

T. C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

734 816

**Al Si7 Mg2/SiCp METAL MATRİKSLİ KOMPOZİTLERİN
TALAŞLI İŞLENMESİNİN ARAŞTIRILMASI**

Erol KILIÇKAP

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON BİRİMİ

DOKTORA TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ - 2003

Anabilim Dalı : Makina Mühendisliği
Programı : Makina Mühendisliği
Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr.Muhammet YÜRÜSOY
Tez Türü ve Tarihi : Yüksek Lisans 2004

Kompozit malzeme üretiminde kullanılan hidrolik pres tasarımı ve imalatı.

Murat ERGÜL

Anahtar Kelimeler : Hidrolik sistemler, hidrolik pres, kompozit malzemeler, pres tasarımı, pres imalatı, hidrolik presle kompozit malzeme üretimi

Özet : Bu çalışmada daha önceden beton basma presi olarak kullanılan laboratuvar test cihazından faydalanılmıştır. Beton basma presinin ana gövdesi üzerinde gerekli hidrolik, mekanik ve elektriksel aksamalarda birtakım tadilatlar yapılarak kompozit malzeme üretiminde kullanılan sıcak kalıpla basma yapabilen hidrolik pres dizaynı ve imalatı yapılmıştır. İlk etapta mevcut prese ait piston, kumanda ünitesi, güç ünitesi ve bağlantı elemanları sökülerek iptal edilmiştir. Daha sonra üretimi yapılacak hidrolik presle ve kompozit malzemelerle ilgili genel bir araştırma yapılmıştır. Kompozit malzemelerin üretim parametreleri baz alınarak gerekli olan basınç, basma süresi, kalıp sıcaklığı konuları göz önünde bulundurularak uygun piston çapı, hidrolik pompa, elektrik motoru, yağ tankı kapasitesi, manometre, kumanda valfi ve tesisat bağlantı elemanları seçilmiştir. İmalatı yapılan hidrolik pres ile yaklaşık olarak 300 bar basınçta ve 400 °C sıcaklığa kadar üretimi yapılabilen kompozit malzemelerin numune üretimi yapılabilecektir.

Desing and manufacturing of a hydrolics press used for production of composite materials

Murat ERGÜL

Keywords : Hydraulic system, hydraulic press, composite materials, design of pres, manufacture of pres, production of composites materials by hydraulic pres

Abstract : In this study, a hydraulics press which was formerly used as concrete compresion press has been re-designed. The necessary hydraulics, mechanical and electrical parts of main frame were maintained to manufacture an hydraulic press. First, the piston, control unit, power source and connection parts were removed. Then a general search on hydraulics press, planned to be manufactured, and composite materials was conducted. Diameter of the piston, hydraulics pump, electrical engine, capacity of oil tank, manometer, command valve and system connection parts were chosen conforming the process requirements (e.g. pressure, pressing time and mold temperature) of composite materials. Using this hydraulics press, compozit materials, which will be used as specimens, will produce with having process requirements of 300 bar pressure and about 400 ° C temperature.

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**Al Si7 Mg2/SiCp METAL MATRİKSİ KOMPOZİTLERİN
TALAŞLI İŞLENMESİNİN ARAŞTIRILMASI**

Erol KILIÇKAP

DOKTORA TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez,tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile başarılı/başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Ali İNAN

Üye : Doç. Dr. Mustafa AKSOY

Üye : Doç. Dr. Mehmet EROĞLU

Üye : Yrd. Doç. Dr. Orhan ÇAKIR

Üye : Yrd. Doç. Dr. Haşim PIHTILI

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 08./10./2003 tarih ve 38/2 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŞEKKÜR

Hazırlamış olduğum bu doktora tezi çalışmasında; böyle bir konuda araştırma yapmam için imkan tanıyan ve çalışmalarımı teşvik eden, her türlü yakın ilgi ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ali İNAN Bey'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında daima desteğini eksik etmeyen ve görüşleriyle de yönlendiren doktora tezimin tez izleme komitesi üyeleri Sayın Doç. Dr. Mustafa AKSOY Bey ile Sayın Yrd.Doç. Dr. Orhan ÇAKIR Bey'e, Fırat Üniv. Makine Müh. Böl. Başkanı Prof. Dr. Aydın TURGUT Bey'e, Dicle Üniv.Müh.-Mim. Fak. Makine Müh. Bölüm Başkanı Yrd. Doç Dr. Sedat KOLUKISA Bey'e, deneysel çalışma esnasında takım tezgahlarını kullanımına sunan TEMSAN Su Türbinleri ve Generatör Fabrikası Müdürü Sayın Mak. Müh. Zeki İZ Bey'e ve çalışanlarına, deneylerde kullanılan kesici takımları tarafıma temin eden Böhler Sert Maden ve Takım San. Ve Tic. A.Ş. nezdinde Sayın Mak. Yük. Müh. Tahsin ALŞAN Bey'e, Mak. Yük. Müh. Tamer ÖZBEN'e, Mak. Yük Müh. Ahmet YARDIMEDEN'e, Fırat Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Hocalarıma ve Atölye Teknisyenlerine, manevi desteğini her zaman yanımda hissettiğim aileme ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Erol KILIÇKAP

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEŞEKKÜR	
İÇİNDEKİLER	I
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	V
TABLoların LİSTESİ	XIV
EKLER LİSTESİ	XXII
SEMBOLLER	XXIII
ÖZET	XXIV
ABSTRACT	XXV
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	13
2.1. Kompozit Malzeme ve Sınıflandırması	13
2.1.1. Fiber Takviyeli Kompozit Malzemeler	15
2.1.2. Parçacıklı Kompozit Malzemeler	17
2.1.2.1. Dağınımla Mukavemetlendirilmiş Metal Matriksli Kompozit Malzemeler	17
2.1.2.2. Partikül Takviyeli Metal Matriks Kompozit Malzemeler	18
2.1.3. Tabakalı Kompozit Malzemeler	19
2.1.4. Polimer Matriksli Kompozitler	20
2.1.5. Seramik Matriksli Kompozitler	22
2.2. Metal Matriksli Kompozitler	23
2.3. MMK Malzemelerin Uygulama Alanları	24
2.3.1. Rijitlik	24
2.3.2. Dayanım	25
2.3.3. Sürünme Direnci	25
2.3.4. Aşınma Direnci	26
2.3.5. Yoğunluk	26
2.3.6. Isıl Genleşme	26
2.3.7. Diğer Faktörler	26
2.4. Metal Matriks Kompozitlerde Kullanılan Takviyeler ve Türleri	28
2.4.1. Yapılarına Göre Sınıflandırma	29
2.4.1.1. Oksit Seramikler	29
2.4.1.2. Oksit Olmayan Seramikler	31
2.4.2. Şekillerine Göre Sınıflandırma	32

2.4.2.1 Partiküller	32
2.4.2.2 Süreksiz Fiberler	32
2.4.2.3 Whiskerler	32
2.5. Metal Matriks	34
2.6. MMK Malzemelerde Üretim Yöntemleri	35
2.6.1.Sıvı Faz Üretim Yöntemleri	35
2.6.1.1.Sıkıştırma Döküm Yöntemi	36
2.6.1.2.Karıştırma Döküm	37
2.6.1.3.Metal Püskürtme	37
2.6.1.4 İn-situ Kompozit Malzemeler	37
2.6.2. Katı Faz Yöntemleri	38
2.6.2.1. Toz metalürjisi	38
2.6.2.2 Folyoların Sıcak Presleme ile Birleştirilmesi	39
2.6.2.3. Haddeleme	39
2.6.2.4. Diğer Yöntemler	39
2.7. Takım Aşınma Tipleri	40
2.7.1. Ana Serbest Yüzey Aşınması	41
2.7.2. Çentik Aşınması	41
2.7.3. Talaş Yüzeyi Aşınması	41
2.7.4. Yan Yüzey Aşınması	42
2.8. Kesici Takım Malzemeleri	42
2.8.1. Karbonlu ve Alaşımlı Takım Çelikleri	43
2.8.2. Yüksek Hız Çelikleri (HSS)	44
2.8.3. Sert Alaşımlar (Stellit)	44
2.8.4. Sert Maden Uçlu Kesiciler (HM)	45
2.8.5. Sermetler	45
2.8.6. Seramikler	45
2.8.7. Kübik Bor Nitrür (CBN)	46
2.8.8. Elmas	47
2.9. Takım Aşınmasının Ölçülmesi	48
2.10. Takım Ömrü	50
2.10.1. Genişletilmiş Takım Ömrü Bağıntısı	52
2.10.2. Takım Ömrü Kıstasları	53
2.11. Yüzey Kalitesi ve Yüzey Pürüzlülüğü	53
3. DENEY MALZEMELERİNİN SEÇİMİ VE HAZIRLANMASI	57

3.1. İş Parçası Malzemesinin Üretilmesi	57
3.1.1. Matriks Alaşımı	57
3.1.2 Takviye Malzemesi	58
3.1.3. Kompozit Malzemelerin Üretilmesi	59
3.2. Isıl İşlemler	59
3.3. Üretilen Kompozit Malzemelerin Özelliklerinin Tespiti	60
3.3.1. Yoğunluk	60
3.3.2. Sertlik	60
3.3.3. Darbe Dayanımı	60
3.3.4. Çekme Mukavemeti	61
3.4. Metalografik İncelemeler	61
3.5. Deneyde Kullanılan Tezgah ve Cihazlar	61
3.5.1. Torna Tezgahı	61
3.5.2. Yüzey Pürüzlülük Ölçü Aleti	62
3.5.3. Mikroskop	62
3.5.4. Takım Malzemesi	62
3.6. Deney Şartlarının Belirlenmesi	62
3.6.1. Kesme Hızı	62
3.6.2. İlerleme	63
3.6.3. Paso Derinliği	63
3.6.4. Kesici Takım Parametreleri	63
3.6.5. Soğutucu Akışkan Kullanılması	63
4. DENEYLERİN YAPILMASI VE SONUÇLARI	64
4.1. Al Si7 Mg2 MMK Malzemenin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	64
4.1.1. Yoğunluk	64
4.1.2. Sertlik	65
4.1.3. Çekme Mukavemeti	66
4.1.4. Darbe Dayanımı	67
4.2. Metalografik Çalışmalar	68
4.3. Al Si7 Mg2 MMK Malzemenin Talaşlı İşlenmesi	70
4.3.1. Aşınma-Zaman Deneyleri	71
4.3.2. Yüzey Pürüzlülüğü Deneyleri	178
4.3.2.1. İşlem Şartlarının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin İncelenmesi	179
4.3.2.2. İlerleme Hızının ve Talaş Derinliğinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin İncelenmesi	188

4.4.Tornalama Sonucu Elde Edilen Talaş Şekilleri	192
5. DENEY SONUÇLARININ MATEMATİKSEL MODELLENMESİ	195
5.1. Regresyon Analiz ve Regresyon Metotları	195
5.1.1. Basit Regresyon	196
5.1.2. Regresyon Katsayılarının Elde Edilmesi	197
5.1.3. Çoklu Regresyon	198
5.1.4. Lineer Olmayan Regresyon	200
5.1.5. Polinom Regresyonu	201
5.2. Regresyon Metodu İçin Matris Formülasyonu	202
5.2.1. Önemlilik Testi	203
5.3. Faktöriyel Denemeler	204
5.3.1. 2 ⁿ Faktöriyel Denemeler	205
5.4. Kesici Takımdaki Aşınmanın Matematiksel Modellenmesi	206
5.5. Yüzey Pürüzlülüğünün Matematiksel Modeli	213
6. SONUÇLARIN İRDELENMESİ	215
6.1. Kesme Hızının İşlenebilirliğe Etkisi	225
6.2. İlerlemenin İşlenebilirliğe Etkisi	228
6.3. Kesme Derinliğinin İşlenebilirliğe Etkisi	232
6.4. İşleme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi	235
7. GENEL SONUÇLAR	239
KAYNAKLAR	241
ÖZGEÇMİŞ	249
EK1.	250
EK 2.	251

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No.

Şekil 2.1. Kompozit malzeme tipleri; a) Parçacık takviyeli kompozit, b) Fiber takviyeli kompozit, c) Tabakalı kompozit malzeme	15
Şekil 2.2. Kesici takımındaki aşınma türleri	49
Şekil 2.3. Ömür-kesme hızı ilişkisi	51
Şekil 2.4. Çeşitli iş malzemesi için ömür-kesme hızı ilişkisi (1. Yüksek karbonlu çelik, 2. Dökme demir, 3. Düşük karbonlu çelik)	51
Şekil 2.5. Aşınma-ömür-kesme hızı ilişkisi (a) $V=120$ m/dak, (b) $V= 100$ m/dak, (c) $V=70$ m/dak, (d) 50 m/dak)	52
Şekil 2.6. R_a ile R_p arasındaki ilişki	54
Şekil 2.7. Yüzey pürüzlülüğü ile ilgili örnekler	55
Şekil 2.8. Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi	56
Şekil 2.9. Yüzey kalitesini tayin eden faktörler	56
Şekil 3.1. Al-Si faz diyagramı	58
Şekil 3.2. Çentik darbe cihazına uygun standartlarda hazırlanmış yuvarlak kesitli darbe numunesinin şematik görünümü	60
Şekil 3.3. Çekme cihazına uygun standartlarda hazırlanmış yuvarlak kesitli çekme numunelerinin şematik görünümü	61
Şekil 4.1. Teorik olarak hesaplanan ve deneysel olarak ölçülen kompozitlerin yoğunluk değişimi	64
Şekil 4.2. Üretilen kompozit malzemenin Brinell Sertlik değişimi	65
Şekil 4.3. Üretilen kompozit malzemenin çekme mukavemeti değerleri	66
Şekil 4.4. Al Si7 Mg2MMK malzemenin darbe dayanımındaki değişim.....	67
Şekil 4.5. % 5 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 MMK malzemenin mikro yapısı	68
Şekil 4.6. % 15 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 MMK malzemenin mikro yapısı	69
Şekil 4.7. % 15 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 MMK malzemenin partikül dağılımı	69
Şekil 4.8. Hamlacın parça üzerindeki konumu	71
Şekil 4.9. Deney düzeneği	72
Şekil 4.10. Yan yüzey aşınmasının optik mikroskopla görünüşü.....	73
Şekil 4.11. Kesici takımın üstten görünüşü (Büyütme:10x20)	73
Şekil 4.12. Kesici takımda yığma kenar ağzı oluşumu(Büyütme:10x20)	74
Şekil 4.13. Kesici takımda yığma kenar ağzı oluşumu(Büyütme:10x20)	74

Şekil 4.14. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b)Kaplamasız	76
Şekil 4.15. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız	77
Şekil 4.16. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız	78
Şekil 4.17. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız	79
Şekil 4.18. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız	80
Şekil 4.19. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız	81
Şekil 4.20. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız	82
Şekil 4.21. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız	83
Şekil 4.22. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız	84
Şekil 4.23. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız	85
Şekil 4.24. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız	86
Şekil 4.25. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız	87
Şekil 4.26. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız	88
Şekil 4.27. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız	89
Şekil 4.28. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız	90
Şekil 4.29. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız	91
Şekil 4.30. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız	92

Şekil 4.31. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	93
Şekil 4.32. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	94
Şekil 4.33. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	95
Şekil 4.34. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	96
Şekil 4.35. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	97
Şekil 4.36. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	98
Şekil 4.37. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	99
Şekil 4.38. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	100
Şekil 4.39. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	101
Şekil 4.40. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	102
Şekil 4.41. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	103
Şekil 4.42. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	104
Şekil 4.43. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	105
Şekil 4.44. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	106
Şekil 4.45. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	107
Şekil 4.46. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	108
Şekil 4.47. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	109

Şekil 4.48. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	110
Şekil 4.49. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	111
Şekil 4.50. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	112
Şekil 4.51. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	113
Şekil 4.52. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	114
Şekil 4.53. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	115
Şekil 4.54. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	116
Şekil 4.55. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	117
Şekil 4.56. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	118
Şekil 4.57. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	119
Şekil 4.58. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	120
Şekil 4.59. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	121
Şekil 4.60. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	122
Şekil 4.61. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	123
Şekil 4.62. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	124
Şekil 4.63. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	125
Şekil 4.64. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	126

Şekil 4.65. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	127
Şekil 4.66. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	128
Şekil 4.67. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	129
Şekil 4.68. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	130
Şekil 4.69. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	131
Şekil 4.70. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	132
Şekil 4.71. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	133
Şekil 4.72. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	134
Şekil 4.73. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	135
Şekil 4.74. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	136
Şekil 4.75. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	137
Şekil 4.76. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	138
Şekil 4.77. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	139
Şekil 4.78. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	140
Şekil 4.79. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	141
Şekil 4.80. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	142
Şekil 4.81. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	143

Şekil 4.82. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	144
Şekil 4.83. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	145
Şekil 4.84. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	146
Şekil 4.85. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	147
Şekil 4.86. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	148
Şekil 4.87. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	149
Şekil 4.88. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	150
Şekil 4.89. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	151
Şekil 4.90. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	152
Şekil 4.91. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	153
Şekil 4.92. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	154
Şekil 4.93. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	155
Şekil 4.94. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	156
Şekil 4.95. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	157
Şekil 4.96. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	158
Şekil 4.97. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	159
Şekil 4.98. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	160

Şekil 4.99. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	161
Şekil 4.100. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	162
Şekil 4.101. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	163
Şekil 4.102. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	164
Şekil 4.103. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	165
Şekil 4.104. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	166
Şekil 4.105. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	167
Şekil 4.106. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	168
Şekil 4.107. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	169
Şekil 4.108. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	170
Şekil 4.109. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	171
Şekil 4.110. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	172
Şekil 4.111. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	173
Şekil 4.112. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	174
Şekil 4.113. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	175
Şekil 4.114. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	176
Şekil 4.115. Aşınma zaman değişimi	
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız.....	177
Şekil 4.116. Yüzey pürüzlülüğünün ölçümü	178

Şekil4.117. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün işleme şartlarına göre değişimi	
a) $t=0,5\text{mm}$ b) $t=1\text{mm}$ c) $t=1,5\text{mm}$	180
Şekil4.118. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün işleme şartlarına göre değişimi	
a) $t=0,5\text{mm}$ b) $t=1\text{mm}$ c) $t=1,5\text{mm}$	182
Şekil4.119. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün işleme şartlarına göre değişimi	
a) $t=0,5\text{mm}$ b) $t=1\text{mm}$ c) $t=1,5\text{mm}$	183
Şekil4.120. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün işleme şartlarına göre değişimi	
a) $t=0,5\text{mm}$ b) $t=1\text{mm}$ c) $t=1,5\text{mm}$	184
Şekil4.121. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün işleme şartlarına göre değişimi	
a) $t=0,5\text{mm}$ b) $t=1\text{mm}$ c) $t=1,5\text{mm}$	186
Şekil4.122. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün işleme şartlarına göre değişimi	
a) $t=0,5\text{mm}$ b) $t=1\text{mm}$ c) $t=1,5\text{mm}$	187
Şekil4.123. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün işleme şartlarına göre değişimi	
a) $t=0,5\text{mm}$ b) $t=1\text{mm}$ c) $t=1,5\text{mm}$	189
Şekil4.124. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün işleme şartlarına göre değişimi	
a)Isıl işlemsiz b)Homojenleştirilmiş c)Yaşlandırılmış d) Soğuk Talaşlı İşlem ..	191
Şekil4.125. Homojenleştirilmiş malzemenin talaşlı işleme sonucunda elde edilen talaş	
Şekilleri a) $V=150\text{ m/sn}$ b) $V=150\text{ m/sn}$ c) $V=100\text{ m/sn}$ d) $V=50\text{ m/sn}$	192
Şekil4.126. Yaşlandırılmış malzemenin talaşlı işleme sonucunda elde edilen talaş şekilleri	
a) $V=150\text{ m/sn}$ b) $V=150\text{ m/sn}$ c) $V=100\text{ m/sn}$ d) $V=100\text{ m/sn}$	193
Şekil4.127. Soğuk talaşlı işleme sonucunda elde edilen talaş şekilleri	
a) $V=150\text{ m/sn}$ b) $V=100\text{ m/sn}$ c) $V=50\text{ m/sn}$ d) $V=50\text{ m/sn}$	194
Şekil 5.1. Deneysel ve teorik işleme süresi-aşınma ilişkisi	
a) $S=0.1\text{mm/dev}$, b) $S=0.2\text{ mm/dev}$	209
Şekil 5.2. Deneysel ve teorik işleme süresi-aşınma ilişkisi	
a) $S=0.1\text{mm/dev}$, b) $S=0.3\text{ mm/dev}$	210
Şekil 5.3. Deneysel ve teorik işleme süresi-aşınma ilişkisi	
a) $S=0.1\text{mm/dev}$, b) $S=0.3\text{ mm/dev}$	211
Şekil 5.4. Deneysel ve teorik işleme süresi-aşınma ilişkisi	
a) $S=0.2\text{mm/dev}$, b) $S=0.1\text{ mm/dev}$	212
Şekil 5.5. Deneysel ve teorik yüzey pürüzlülüğü-kesme hızı ilişkisi	
a) $S=0.1\text{mm/dev}$, b) $S=0.2\text{mm/dev}$ c) $S=0.3\text{mm/dev}$	214
Şekil 6.1. Al Si7 M2 MMK malzemenin Brinell Sertlik değerleri	216
Şekil 6.2. Isıl işlem sonucu sertlik değerleri	217

Şekil 6.3. Teorik olarak hesaplanan ve deneysel olarak ölçülen kompozitlerin yoğunluk değişimi.....	218
Şekil 6.4. Farklı yöntemlerle üretilen kompozit malzemenin çekme mukavemeti değerleri.....	219
Şekil 6.5. Al Si7 Mg2 MMK malzemenin darbe dayanımındaki değişim.....	220
Şekil 6.6. % 5 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 MMK malzemenin mikro yapısı.....	220
Şekil 6.7. % 15 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 MMK malzemenin mikro yapısı.....	221
Şekil 6.8. % 15 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 MMK malzemenin partikül dağılımı.....	221
Şekil 6.9. Sıkıştırma döküm yöntemi ile elde edilen ve % 5 SiC takviyeli MMK malzemenin optik görüntüsü	222
Şekil 6.10. Sıkıştırma döküm yöntemi ile elde edilen ve % 5 SiC takviyeli MMK malzemenin optik görüntüsü	222
Şekil 6.11. Sıkıştırma döküm yöntemi ile elde edilen ve % 5 SiC takviyeli MMK malzemenin optik görüntüsü	223
Şekil 6.12. %15SiC takviyeli kompozit malzemenin SEM görüntüsü.....	223
Şekil 6.13. %15SiC takviyeli kompozit malzemenin SEM görüntüsü.....	224
Şekil 6.14. Takım aşınması-kesme hızı ilişkisi (% 5 SiC) a) Kaplamalı b) Kaplamasız.....	226
Şekil 6.15. Takım aşınması-kesme hızı ilişkisi (%15 SiC) a) Kaplamalı b) Kaplamasız.....	228
Şekil 6.16. Takım aşınması-ilerleme ilişkisi (% 5 SiC) a) Kaplamalı b) Kaplamasız.....	229
Şekil 6.17. Takım aşınması-ilerleme ilişkisi (% 15 SiC) a) Kaplamalı b) Kaplamasız.....	230
Şekil 6.18. İlerlemeye bağlı serbest yüzey aşınması eğrileri	231
Şekil 6.19. Takım aşınması-kesme derinliği ilişkisi (%5 SiC) a) Kaplamalı b) Kaplamasız.....	233
Şekil 6.20. Takım aşınması-kesme derinliği ilişkisi (%15 SiC) a) Kaplamalı b) Kaplamasız.....	234
Şekil 6.21. Deneysel ve teorik yüzey pürüzlülüğü-kesme hızı ilişkisi (S=0.2mm/dev).....	235
Şekil 6.22. Deneysel ve teorik yüzey pürüzlülüğü-kesme hızı ilişkisi(S=0.3mm/dev).....	236
Şekil 6.23. İlerleme miktarı ile yüzey pürüzlülüğünün değişimi	237

TABLOLAR LİSTESİ

	Sayfa No.
Tablo 2.1. MMK Malzemelerin Potansiyel uygulama alanları getirilebilecektir	27
Tablo 2.2 (a)Seramik partikül, (b) Seramik fiber, (c) Whisker karakteristikleri	33
Tablo 2.3. Tipik takım malzemeleri veya bileşenlerinin sertlikleri	43
Tablo 2.4. Kompozitlerin talaşlı işlenmesinde kullanılan kesici takım malzemelerinin fiziksel özellikleri.....	48
Tablo 2.5. Takım aşınmasını belirleme metotları	50
Tablo 3.1. Al Si7 Mg2 matris alaşımının kimyasal bileşimi.....	58
Tablo 3.2. Torna tezgahının devir sayısı kademeleri.....	62
Tablo 4.1. Teorik olarak hesaplanan ve deneysel olarak ölçülen kompozitlerin yoğunluk değerleri.....	64
Tablo 4.2. Üretilen kompozit malzemenin Brinell Sertlik değerleri.....	65
Tablo 4.3. Üretilen kompozit malzemenin çekme mukavemeti değeri.....	66
Tablo 4.4. Al Si7 Mg2 MMK malzemenin darbe dayanım değerleri.....	67
Tablo 4.5. Deneylerde değişken olarak kullanılan parametreler ve değerleri.....	70
Tablo 4.6. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin V=150 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi (S=0.1 mm/dev, t=0.5 mm).....	76
Tablo 4.7. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin V=150 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi (S=0.2 mm/dev, t=0.5 mm).....	77
Tablo 4.8. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin V=150 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi(S=0.3 mm/dev, t=0.5 mm).....	78
Tablo 4.9. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin V=150 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi(S=0.1 mm/dev, t=1 mm).....	79
Tablo 4.10. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin V=150 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi(S=0.2 mm/dev, t=1 mm).....	80
Tablo 4.11. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin V=150 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi (S=0.3 mm/dev, t=1 mm).....	81
Tablo 4.12. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin V=150 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi (S=0.1 mm/dev, t=1.5 mm).....	82
Tablo 4.13. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin V=150 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi(S=0.2 mm/dev, t=1.5 mm).....	83
Tablo 4.14. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin V=150 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi (S=0.3 mm/dev, t=1.5 mm).....	84

Tablo 4.15. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin V=100 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi (S=0.1 mm/dev, t=0.5 mm).....	85
Tablo 4.16. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin V=100 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi (S=0.2 mm/dev, t=0.5 mm).....	86
Tablo 4.17. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin V=100 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi (S=0.3 mm/dev, t=0.5 mm).....	87
Tablo 4.18. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin V=100 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi (S=0.1 mm/dev, t=1 mm).....	88
Tablo 4.19. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin V=100 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi(S=0.2 mm/dev, t=1 mm)	89
Tablo 4.20. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin V=100 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi(S=0.3 mm/dev, t=1 mm)	90
Tablo 4.21. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin V=100 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi (S=0.1 mm/dev, t=1.5 mm).....	91
Tablo 4.22. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin V=100 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi(S=0.2 mm/dev, t=1.5 mm).....	92
Tablo 4.23. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin V=100 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi(S=0.3 mm/dev, t=1.5 mm).....	93
Tablo 4.24. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin V=50 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi(S=0.1 mm/dev, t=0.5 mm).....	94
Tablo 4.25. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin V=50 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi(S=0.2 mm/dev, t=0.5 mm).....	95
Tablo 4.26. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin V=50 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi(S=0.3 mm/dev, t=0.5 mm).....	96
Tablo 4.27. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin V=50 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi(S=0.1 mm/dev, t=1 mm).....	97
Tablo 4.28. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin V=50 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi(S=0.2 mm/dev, t=1 mm).....	98
Tablo 4.29. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin V=50 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi(S=0.3 mm/dev, t=1 mm).....	99
Tablo 4.30. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin V=50 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi(S=0.1 mm/dev, t=1.5 mm).....	100
Tablo 4.31. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin V=50 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi(S=0.2 mm/dev, t=1.5 mm).....	101

Tablo 4.32. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin V=50 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi(S=0.3 mm/dev, t=1.5 mm)	102
Tablo 4.33. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin V=150 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi(S=0.1 mm/dev, t=0.5 mm)	103
Tablo 4.34. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin V=150 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi(S=0.2 mm/dev, t=0.5 mm)	104
Tablo 4.35. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin V=150 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi(S=0.3 mm/dev, t=0.5 mm)	105
Tablo 4.36. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin V=150 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi(S=0.1 mm/dev, t=1 mm)	106
Tablo 4.37. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin V=150 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi(S=0.2 mm/dev, t=1 mm)	107
Tablo 4.38. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin V=150 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi(S=0.3 mm/dev, t=1 mm)	108
Tablo 4.39. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin V=150 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi(S=0.1 mm/dev, t=1.5 mm)	109
Tablo 4.40. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin V=150 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi(S=0.2 mm/dev, t=1.5 mm)	110
Tablo 4.41. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin V=150 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi(S=0.3 mm/dev, t=1.5 mm)	111
Tablo 4.42. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin V=100 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi(S=0.1 mm/dev, t=0.5 mm)	112
Tablo 4.43. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin V=100 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi(S=0.2 mm/dev, t=0.5 mm)	113
Tablo 4.44. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin V=100 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi(S=0.3 mm/dev, t=0.5 mm)	114
Tablo 4.45. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin V=100 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi(S=0.1 mm/dev, t=1 mm)	115
Tablo 4.46. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin V=100 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi(S=0.2 mm/dev, t=1 mm)	116
Tablo 4.47. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin V=100 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi(S=0.3 mm/dev, t=1 mm)	117
Tablo 4.48. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin V=100 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi(S=0.1 mm/dev, t=1.5 mm)	118

Tablo 4.49. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin V=100 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi(S=0.2 mm/dev, t=1.5 mm).....	119
Tablo 4.50. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin V=100 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi(S=0.3 mm/dev, t=1.5 mm).....	120
Tablo 4.51. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin V=50 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi(S=0.1 mm/dev, t=0.5 mm).....	121
Tablo 4.52. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin V=50 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi(S=0.2 mm/dev, t=0.5 mm).....	122
Tablo 4.53. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin V=50 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi(S=0.3 mm/dev, t=0.5 mm).....	123
Tablo 4.54. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin V=50 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi(S=0.1 mm/dev, t=1 mm).....	124
Tablo 4.55. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin V=50 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi(S=0.2 mm/dev, t=1 mm).....	125
Tablo 4.56. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin V=50 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi(S=0.3 mm/dev, t=1 mm).....	126
Tablo 4.57. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin V=50 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi(S=0.1 mm/dev, t=1.5 mm).....	127
Tablo 4.58. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin V=50 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi(S=0.2 mm/dev, t=1.5 mm).....	128
Tablo 4.59. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin V=50 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi(S=0.3 mm/dev, t=1.5 mm).....	129
Tablo 4.60. %5 SiC takviyeli ısıtılmış MMK malzemenin farklı hızlarındaki aşınma zaman tablosu(S=0.1 mm/dev, t=0.5 mm).....	130
Tablo 4.61. %5 SiC takviyeli homojenleştirilmiş MMK malzemenin farklı hızlarındaki aşınma zaman tablosu (S=0.1 mm/dev, t=0.5mm).....	131
Tablo 4.62. %5 SiC takviyeli yaşlandırılmış MMK malzemenin farklı hızlarındaki aşınma zaman tablosu(S=0.1 mm/dev, t=0.5 mm).....	132
Tablo 4.63. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin soğuk talaşlı işlemede farklı hızlarındaki aşınma zaman tablosu (S=0.1 mm/dev, t=0.5 mm).....	133
Tablo 4.64. %5 SiC takviyeli ısıtılmış MMK malzemenin farklı hızlarındaki aşınma zaman tablosu(S=0.3 mm/dev, t=1.5 mm).....	134
Tablo 4.65. %5 SiC takviyeli homojenleştirilmiş MMK malzemenin farklı hızlarındaki aşınma zaman tablosu (S=0.3 mm/dev, t=1.5 mm).....	135

Tablo 4.66. %5 SiC takviyeli yaşlandırılmış MMK malzemenin farklı hızlarındaki aşınma zaman tablosu($S=0.3$ mm/dev, $t=1.5$ mm).....	136
Tablo 4.67. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin soğuk talaşlı işlemede farklı hızlarındaki aşınma zaman tablosu ($S=0.3$ mm/dev, $t=1.5$ mm).....	137
Tablo 4.68. %15 SiC takviyeli ısıl işlemsiz MMK malzemenin farklı hızlarındaki aşınma zaman tablosu($S=0.1$ mm/dev, $t=0.5$ mm).....	138
Tablo 4.69. %15 SiC takviyeli homojenleştirilmiş MMK malzemenin farklı hızlarındaki aşınma zaman tablosu ($S=0.1$ mm/dev, $t=0.5$ mm).....	139
Tablo 4.70. %15 SiC takviyeli yaşlandırılmış MMK malzemenin farklı hızlarındaki aşınma zaman tablosu($S=0.1$ mm/dev, $t=0.5$ mm).....	140
Tablo 4.71. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin soğuk talaşlı işlemede farklı hızlarındaki aşınma zaman tablosu ($S=0.1$ mm/dev, $t=0.5$ mm).....	141
Tablo 4.72. %15 SiC takviyeli ısıl işlemsiz MMK malzemenin farklı hızlarındaki aşınma zaman tablosu($S=0.3$ mm/dev, $t=1.5$ mm).....	142
Tablo 4.73. %15 SiC takviyeli homojenleştirilmiş MMK malzemenin farklı hızlarındaki aşınma zaman tablosu($S=0.3$ mm/dev, $t=1.5$ mm).....	143
Tablo 4.74. %15 SiC takviyeli yaşlandırılmış MMK malzemenin farklı hızlarındaki aşınma zaman tablosu ($S=0.3$ mm/dev, $t=1.5$ mm).....	144
Tablo 4.75. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin soğuk talaşlı işlemede farklı hızlarındaki aşınma zaman tablosu ($S=0.3$ mm/dev, $t=1.5$ mm).....	145
Tablo 4.76. %5SiC takviyeli MMK malzemenin $V=150$ m/dak kesme hızında, farklı paso derinliklerindeki aşınma-zaman tablosu (İşlemsiz, $S= 0.1$ mm/dev).....	146
Tablo 4.77. %5SiC takviyeli MMK malzemenin $V=150$ m/dak kesme hızında, farklı paso derinliklerindeki aşınma-zaman tablosu (Homojenleştirilmiş, $S= 0.1$ mm/dev)....	147
Tablo 4.78. %5SiC takviyeli MMK malzemenin $V=150$ m/dak kesme hızında, farklı paso derinliklerindeki aşınma-zaman tablosu (Yaşlandırılmış, $S= 0.1$ mm/dev)...	148
Tablo 4.79. %5SiC takviyeli MMK malzemenin $V=150$ m/dak kesme hızında, farklı paso derinliklerindeki aşınma-zaman tablosu (Soğuk İşleme, $S= 0.1$ mm/dev)....	149
Tablo 4.80. %5SiC takviyeli MMK malzemenin $V=50$ m/dak kesme hızında, farklı paso derinliklerindeki aşınma-zaman tablosu (İşlemsiz, $S= 0.3$ mm/dev).....	150
Tablo 4.81. %5SiC takviyeli MMK malzemenin $V=50$ m/dak kesme hızında, farklı paso derinliklerindeki aşınma-zaman tablosu (Homojenleştirilmiş, $S= 0.3$ mm/dev)....	151
Tablo 4.82. %5SiC takviyeli MMK malzemenin $V=50$ m/dak kesme hızında, farklı paso derinliklerindeki aşınma-zaman tablosu (Yaşlandırılmış, $S= 0.3$ mm/dev).....	152

Tablo 4.83. %5SiC takviyeli MMK malzemenin V=50m/dak kesme hızında, farklı paso derinliklerindeki aşınma-zaman tablosu (Soğuk İşleme, S= 0.3 mm/dev).....	153
Tablo 4.84. %15SiC takviyeli MMK malzemenin V=150m/dak kesme hızında, farklı ilerlemelerdeki aşınma-zaman tablosu (İşlemsiz, S= 0.1 mm/dev).....	154
Tablo 4.85. %15SiC takviyeli MMK malzemenin V=150m/dak kesme hızında, farklı paso derinliklerindeki aşınma-zaman tablosu (Homojenleştirilmiş, S= 0.1 mm/dev).....	155
Tablo 4.86. %15SiC takviyeli MMK malzemenin V=150m/dak kesme hızında, farklı paso derinliklerindeki aşınma-zaman tablosu (Yaşlandırılmış, S= 0.1 mm/dev)....	156
Tablo 4.87. %15SiC takviyeli MMK malzemenin V=150m/dak kesme hızında, farklı paso derinliklerindeki aşınma-zaman tablosu (Soğuk İşleme, S= 0.1 mm/dev)....	157
Tablo 4.88. %15SiC takviyeli MMK malzemenin V=50m/dak kesme hızında, farklı paso derinliklerindeki aşınma-zaman tablosu (İşlemsiz, S= 0.3 mm/dev).....	158
Tablo 4.89. %15SiC takviyeli MMK malzemenin V=50m/dak kesme hızında, farklı paso derinliklerindeki aşınma-zaman tablosu (Homojenleştirilmiş, S= 0.3 mm/dev)....	159
Tablo 4.90. %15SiC takviyeli MMK malzemenin V=50m/dak kesme hızında, farklı paso derinliklerindeki aşınma-zaman tablosu (Yaşlandırılmış, S= 0.3 mm/dev)..	160
Tablo 4.91. %15SiC takviyeli MMK malzemenin V=50m/dak kesme hızında, farklı paso derinliklerindeki aşınma-zaman tablosu (Soğuk İşleme, S= 0.3 mm/dev)....	161
Tablo 4. 92. %5SiC takviyeli MMK malzemenin V=150m/dak kesme hızında, farklı ilerlemelerdeki aşınma-zaman tablosu (İşlemsiz, t=0,5mm).....	162
Tablo 4.93. %5SiC takviyeli MMK malzemenin V=150m/dak kesme hızında, farklı paso derinliklerindeki aşınma-zaman tablosu (Homojenleştirilmiş, t=0,5mm).....	163
Tablo 4.94. %5SiC takviyeli MMK malzemenin V=150m/dak kesme hızında, farklı paso derinliklerindeki aşınma-zaman tablosu (Yaşlandırılmış, t=0,5mm).....	164
Tablo 4.95. %5SiC takviyeli MMK malzemenin V=150m/dak kesme hızında, farklı paso derinliklerindeki aşınma-zaman tablosu (Soğuk İşleme, t=0,5mm).....	165
Tablo 4.96. %5SiC takviyeli MMK malzemenin V=50m/dak kesme hızında, farklı paso derinliklerindeki aşınma-zaman tablosu (İşlemsiz, t=0,5mm).....	166
Tablo 4.97. %5SiC takviyeli MMK malzemenin V=50m/dak kesme hızında, farklı paso derinliklerindeki aşınma-zaman tablosu (Homojenleştirilmiş, t=0,5mm).....	167
Tablo 4.98. %5SiC takviyeli MMK malzemenin V=50m/dak kesme hızında, farklı paso derinliklerindeki aşınma-zaman tablosu (Yaşlandırılmış, t=0,5mm).....	168
Tablo 4.99. %5SiC takviyeli MMK malzemenin V=50m/dak kesme hızında, farklı paso derinliklerindeki aşınma-zaman tablosu (Soğuk İşleme, t=0,5mm).....	169

Tablo 4.100. %15SiC takviyeli MMK malzemenin V=150m/dak kesme hızında, farklı ilerlemelerdeki aşınma-zaman tablosu (İşlemsiz, t=0,5mm).....	170
Tablo 4.101. %15SiC takviyeli MMK malzemenin V=150m/dak kesme hızında, farklı ilerlemelerdeki aşınma-zaman tablosu (Homojenleştirilmiş, t=0,5mm).....	171
Tablo 4.102. %15SiC takviyeli MMK malzemenin V=150m/dak kesme hızında, farklı ilerlemelerdeki aşınma-zaman tablosu (Yaşlandırılmış, t=0,5mm).....	172
Tablo 4.103. %15SiC takviyeli MMK malzemenin V=150m/dak kesme hızında, farklı ilerlemelerdeki aşınma-zaman tablosu (Soğuk talaşlı işleme, t=0,5mm).....	173
Tablo 4.104. %15SiC takviyeli MMK malzemenin V=50m/dak kesme hızında, farklı ilerlemelerdeki aşınma-zaman tablosu (İşlemsiz, t=1,5mm).....	174
Tablo 4.105. %15SiC takviyeli MMK malzemenin V=50m/dak kesme hızında, farklı ilerlemelerdeki aşınma-zaman tablosu (Homojenleştirilmiş, t=1,5mm).....	175
Tablo 4.106. %15SiC takviyeli MMK malzemenin V=50m/dak kesme hızında, farklı ilerlemelerdeki aşınma-zaman tablosu (Yaşlandırılmış, t=1,5mm).....	176
Tablo 4.107. %15SiC takviyeli MMK malzemenin V=50m/dak kesme hızında, farklı ilerlemelerdeki aşınma-zaman tablosu (Soğuk Talaşlı İşleme, t=1,5mm).....	177
Tablo4.108. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün işleme şartlarına göre değişimi (% 5 SiC, S= 0.1 mm/dev.).....	179
Tablo4.109. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün işleme şartlarına göre değişimi (% 5 SiC, S= 0.2 mm/dev.).....	181
Tablo4.110. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün işleme şartlarına göre değişimi (% 5 SiC, S= 0.3 mm/dev.).....	182
Tablo4.111. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün işleme şartlarına göre değişimi (% 15 SiC, S= 0.1 mm/dev.).....	183
Tablo4.112. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün işleme şartlarına göre değişimi (%15 SiC, S= 0.2 mm/dev.).....	185
Tablo4.113. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün işleme şartlarına göre değişimi (% 15 SiC, S= 0.3 mm/dev.).....	186
Tablo 4.114. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ile değişimi (% 5 SiC, Isıl işlemsiz).....	188
Tablo4.115. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün paso derinliği ile değişimi (%15SiC,S=0.2mm/dev).....	189
Tablo 5.1. Matematiksel modelde kullanılan değişkenler ve elde edilen takım aşınmaları (%5 SiC, Kaplamalı, İşlemsiz).....	209

Tablo 5.2. Matematiksel modelde kullanılan değişkenler ve elde edilen takım aşınmaları (%5 SiC, Kaplamalı, İşlemsiz).....	210
Tablo 5.3. Matematiksel modelde kullanılan değişkenler ve elde edilen takım aşınmaları (%15 SiC, Kaplamalı, İşlemsiz).....	211
Tablo 5.4. Matematiksel modelde kullanılan değişkenler ve elde edilen takım aşınmaları (%15 SiC, Kaplamalı, İşlemsiz).....	212
Tablo 5.5. Matematiksel modelde kullanılan değişkenler ve elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri (%15 SiC, İşlemsiz).....	213
Tablo 6.1. Farklı üretim metotları ile üretilmiş Al Si7 M2 MMK malzemenin Brinell Sertlik değerleri.....	216
Tablo 6.2. Isıl işlem şartları ve sertlik değerleri.....	216
Tablo 6.3. Takım aşınması-kesme hızı ilişkisi (% 5 SiC, S=0.1 mm/dev, t=0.5mm, 90sn).....	225
Tablo 6.4. Takım aşınması-kesme hızı ilişkisi (% 15 SiC, S=0.1 mm/dev, t=0.5mm, 90sn).....	227
Tablo 6.5. Takım aşınması-ilerleme ilişkisi (% 5SiC, V= 150m/dak, t=0.5mm, 60sn).....	229
Tablo 6.6. Takım aşınması-ilerleme ilişkisi (% 15SiC, V= 150m/dak, t= 0.5mm, 60sn).....	230
Tablo 6.7. Takım aşınması-kesme derinliği ilişkisi (% 5SiC, V= 50m/dak, S=0.3 mm/dev, 90sn).....	232
Tablo 6.8. Takım aşınması-kesme derinliği ilişkisi (% 15SiC, V=50m/dak, S= 0.3 mm/dev, 90sn).....	233

EKLER LİSTESİ

EK 1.Kaplamalı ve Kaplamasız Kesicilerin Ömür Hesapları.....	250
EK 2.Kaplamalı ve Kaplamasız Kesicilerin Biri Birine Göre Aşınma Yüzdelерinin Hesabı.....	251



SEMBOLLER

		<u>Birim</u>
α	:Takım- ömür denklemindeki takım ömrü sabiti	-
$a_0, a_1, a_2 \dots a_n$	:Regresyon fonksiyonunun bilinmeyen katsayıları	-
e	: Deneysel hata	-
$F\alpha$	:F istatistik anlamlılık düzeyi	-
F	:F istatistik	-
K_t	:Krater derinliği	(mm)
L	:Eksenel kesme uzunluğu	(mm)
m	:Regresyon fonksiyonunun faktör sayısı	-
n	:Deney sayısı veya gözlem sayısı	-
R	:Korelasyon katsayısı	-
R_a	:Ortalama yüzey pürüzlülüğü	-
R_p	:Maksimum yüzey pürüzlülüğü	-
S	:İlerleme	(mm/dev)
S_e	:Hataların karelerinin toplamı	-
S_r	:Regresyon kareler toplamı	-
t	:Paso derinliği	(mm)
V	:Kesme hızı	(m/dak)
V_B	:Ana serbest yüzey aşınma genişliği	(mm)
$x_1, x_2, \dots x_n$	:Bağımsız değişkenler	-
$\bar{x}$	:Bağımsız değişkenlerin aritmetik ortalaması	-
y	:Regresyon fonk. bağımlı değişkenlerinin gözlem değeri	-
$\bar{Y}$	:Bağımlı değişkenin aritmetik ortalaması	-
$z_1, z_2, \dots z_n$	:Regresyon fonksiyonunun bağımsız değişkenleri	-

ÖZET

Doktora Tezi

Al Si7 Mg2/SiCp METAL MATRİKSİ KOMPOZİTLERİN TALAŞLI İŞLENMESİNİN ARAŞTIRILMASI

Makina Yük. Müh. Erol KILIÇKAP

Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

2003, Sayfa: 251

Kompozit malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinden dolayı otomobil, nükleer ve uzay sanayinde, özellikle de aşınma ve sürtünmeye maruz kalan makine parçalarının imalatında ve hafif olması gereken yerlerde bu malzemeler uygulama alanı bulmaktadır. Kompozit malzemelerin endüstriyel uygulamalarının artması, bu malzemelerin talaşlı işlenmesi konusunu da beraberinde getirmiştir. Ancak bu malzemelerin kullanımının istenilen seviyeye ulaştığı söylenemez. Bunun sebebi ise üretimin ve talaşlı işlenmesindeki problemlerdir.

Bu çalışmada, %5 ve 15 SiCp takviyeli Al Si7 Mg2 metal matriks kompozit malzeme üretilerek fiziksel ve mekanik özellikleri tespit edildi. Homojenleştirme ve yaşlandırma ısı işlemine tabi tutulan deney numuneleri tornalama işlemine tabi tutuldu.

Bütün deneylerde K 10 kalitesinde kaplamasız ve TiN kaplı sert karbür torna kalemı kullanılarak, farklı kesme şartları (50, 100 ve 150 m/dak'lık kesme hızları, 0.1, 0.2 ve 0.3 mm/dev'lik ilerlemeler, 0.5, 1 ve 1.5mm talaş derinlikleri) altında yapıldı. Deneysel araştırma ısı işlem uygulanmamış, ısı işlem uygulanmış, homojenleştirilmiş ve yaşlandırılmış gibi değişik malzeme tipleri kullanılarak yapılmıştır. Kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği ve soğutucu uygulamalarının takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkileri incelenmiştir.

Matematiksel modelin çıkarılmasında faktöryel regresyon analiz metodu kullanılarak elde edilen teorik değerlerle deneysel değerler karşılaştırılarak çalışma tamamlandı.

Anahtar Kelimeler: Metal matriks kompozitler, Talaşlı işlenebilirlik, Takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

SUMMARY

PhD Thesis

THE MACHINABILITY INVESTIGATION OF Al Si7 Mg2/SiCp METAL MATRIX COMPOSITES

Erol KILIÇKAP

Fırat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

2003, Page:251

Composite materials have found wide applications in automotive, nuclear and aerospace industries, because of their physical and mechanical properties. Their wear and friction resistances, and lightness provide major advantages. Increase of composite materials applications in various industries brought machining of these materials, but the use of these materials is not expected level. This is due to production and machining problems.

In this study, MMC containing 5% and 15% SiCp were produced and then the physical and mechanical properties of the composites were determined. Homogenization and aging heat treatments processes were applied and then turning process was used. The experimental investigation carried out by using various material types such as not-treated, heat treated, homogenized and aged. The effects of cutting speed, feed, depth of cut and cryogenic coolant application on tool wear and surface roughness were examined.

In all machining, K 10 grade cutting tools (uncoated and TiN coated) were used at different machining parameters (cutting speeds of 50, 100 and 150 m/min; feeds of 0.1, 0.2 and 0.3 mm/rev and depths of cut of 0.5, 1 and 1.5 mm).

Mathematical model was obtained by using factorial regression analysis method. For this purpose, experiments were concluded depending on experimental planning and tool wear and surface roughness equations were obtained by the method.

Key words: Metal matrix composites, Machinability, Tool wear, Surface roughness

1. GİRİŞ

Malzeme teknolojisindeki hızlı gelişmeler, 1970'li yılların sonlarından itibaren değişik özelliklere sahip yeni malzemelerin mühendislik uygulamalarında yoğun olarak kullanımına sunulmuştur. Yaygın kullanım alanına sahip olan metal matriks kompozit malzemeler, mühendislik uygulamalarında hala bir çok probleme sahiptir. Bu problemlerden biri de, metal matriks kompozit malzemelerin talaşlı şekillendirilmesinde kesici takımda meydana gelen aşırı aşınma ve hasardır.

Aşınma veya hasardan dolayı meydana gelen takım değiştirme maliyeti, üretim yapılan fabrika ve atölyelerde önemli bir yere sahiptir. Araştırmalarda, takım hasarının imalat sistemlerinin maliyetinde %6.8'e varan bir artış meydana getirdiğini ifade etmiştir.

Schaefer ve Christion (1969), metal matriks kompozitler (MMK) üzerinde yapılan delme testlerinde klasik yüksek hız çeliği (HSS) matkaplar kullanıldığı zaman takım aşınmasının ve delinen yüzeyin yüzey pürüzlülüğünün aşırı fazla olduğunu bulmuşlardır [1].

McGinty, Kahles ve Koster (1985), tarafından yapılan çalışmada, Du-Pont tarafından imal edilen alumina (Al_2O_3) fiber takviyeli alüminyum matriksli malzeme kullanmışlardır. MMK malzeme hacimce %50-55 alumina içermektedir. Karbür takımlar ile delme yapılırken takım aşınmasının, ilerleme hızının bir fonksiyonu olarak değiştiği, fakat matkap hızındaki değişikliklere bağlı olmadığı bulunmuştur. Bu çalışmada, çok kristalli elmas (PCD) matkaplarla yapılan deneysel çalışmadan elde edilen sonuçların karbür matkaplar ile elde edilen sonuçlara benzediği ve bu nedenle de MMK malzemeler delinirken PCD matkaplardan ziyade daha ucuz olan karbür matkapların kullanılması gerektiğini belirtmişlerdir [2].

Brun, Lee Gorsler (1985), %40 SiC-Al kompozitin işlenebilirliğini, HSS, PCD ve kaplamalı tungsten karbür (WC) takımların geniş bir koleksiyonunu kullanarak araştırmışlardır. Bütün kesme takımlarında aşınma hızlı bir şekilde meydana gelirken, sadece çok kristalli elmas takımlarda uzun takım ömrü elde etmişlerdir [3].

Konig ve Grass (1989), fiber takviyeli termosetlerin delinmesinde yüzey pürüzlülük miktarını ölçerek analiz etmişler ve deliklerin yüzey dokusu üzerinde çalışmışlardır. Yüzey yapısında ilerlemenin artması ile yüzey pürüzlülük değerlerinin düştüğünü görmüşlerdir [4].

Dan ve Mahew (1990), imalat esnasında aşınmayı ölçme tekniklerini ele almış ve son yıllarda geliştirilmiş olan aşınma tekniklerini (abrasiv, adhesiv...) açıklamışlardır [5].

Chamber ve Stepfens (1991), yapılan çalışmada, %5 saffil ve %15 SiC takviyeli AL5-Mg kompozit malzemeyi farklı kesme takımları kullanarak tornada işlemişlerdir. PCD matkaplarda yüksek aşınma direncinin mevcut olduğu, takım ömrünün daha uzun olduğu ve bu matkaplarla

işlemenin yapılması durumunda en düşük yüzey pürüzlülük değerinin elde edilebileceğini göstermişlerdir [6].

Tomac ve Tonnessen (1992) yapmış olduğu çalışmada, %14 SiC takviyeli AlSi7Mg kompozit malzemeyi 20-120 (m/dak)'lık kesme hızlarında, 0.4 ve 0.6 (mm/dev)'lık ilerleme devirlerinde ve 0.4 ve 2 mm kesme derinliklerinde; kaba pasolar için çok tabakalı TiN, TiCN/Al₂O₃ ve tek tabakalı TiN kaplamalı sert metal takımlar ve ince pasolar için PCD takımlar kullanılarak tornalama işlemi yapmışlardır. Sonuç olarak; kaplamalı sert metal takımların kaba tornalamalar için daha ekonomik olduğu, ama takım aşınmasının hızlı olduğu, ince veya son talaş kaldırma işlemleri için PCD takımların pahalı olmasına rağmen kullanımının uygun olacağını ortaya koymuşlardır. Yüzey pürüzlülüğünün araştırılması özellikle PCD takımlar kullanılarak yapılmış ve düşük kesme hızlarında ve düşük ilerleme değerlerinde daha iyi yüzey kalitesinin elde edildiğini belirtmişlerdir [7].

Monaghan ve O'Reilly (1992), %25 SiC-Al metal matriks kompozitin PCD uçlu matkap, TiN kaplanmış HSS ve karbür matkap kullanarak bir dizi delme işlemleri yapmışlar ve takım üzerindeki; kesici kenar aşınması, delme torku ile kesme kuvvetleri üzerine takım malzemesi sertliğinin etkisini araştırmışlardır. Takım sertliğinin, MMK verimli ve düşük bir maliyetle delinmesinde önemli bir rol oynadığını gösteren sonuçlar tespit etmişlerdir. PCD uçlu takımların delme işlemlerini sürdürürken karbür takımlara göre daha üstün oldukları görülmüştür. Ayrıca tornalamada, kaplanmış ve kaplanmamış HSS takımlardan çok daha iyi olduklarını bulmuşlardır. Bu değerlendirmeyi serbest yüzey ve yan kenar aşınması, tork, teğetsel kuvvet ve yüzey bitirme için kaydedilen değerlerin tümü için yapmışlardır. HSS matkapta seramik TiN kaplamanın etkisi, kaplamasız yüksek kobaltlı HSS matkaplarla karşılaştırıldığında, performansta önemli bir gelişim sağlamadığını göstermişlerdir [8].

Chen ve Toshi (1992) yaptıkları çalışmada, yüksek hızlı talaş kaldırma tekniğini 6 saat homojenleştirilmiş 0.1-1.0 µm çapında 30-100 µm boyunda hacimce %18 SiC whisker takviyeli Al MMK malzemelere uygulamışlardır. Bu uygulamada; kesici takım olarak K10 kalitesindeki kendi eksenine etrafında dönen kaplamasız karbür kesici takım, TiN kaplamalı kendi eksenine etrafında dönen kesici takım (K10) ve dikdörtgen geometriye sahip elmas kesici takımlar kullanılmıştır. 60-800 m/dak kesme hızlarında, 0.2-0.4 mm/dev ilerlemelerde 0.25-1.5mm kesme derinliğinde kesme sıvısı kullanılarak belirtilen MMK'leri yüksek hızlı talaş kaldırma işlemine tabi tutarak takım aşınması, takım ömrü, kesici takım üzerine gelen kuvvetler ve yüzey pürüzlülüğünü araştırılmışlardır. Bu malzemenin işlenmesinde, döner kaplamalı-kaplamasız takımların normal dikdörtgen geometrili takıma göre daha uzun takım ömrü verdiklerini ve yüzey pürüzlülüğü açısından bakıldığında da döner karbürlü kesici takımların çok iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca döner kesici takımın çok iyi bir takım aşınması direnci

göstererek, PCD takımlara yaklaşık bir ömür göstermiştir. Döner kesici takımlar, özellikle yüksek kesme hızlarında ve yüksek ilerlemelerde yani yüksek hızlı talaş kaldırmalarda iyi bir kabiliyet göstermişlerdir. Kesme kuvveti %30-40 kadar düşmüş ve takım aşınması azalarak yüzey pürüzlülüğü açısından oldukça iyi sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir [9].

Wern, Ramulu ve Colligan (1993) tarafından yapılan çalışmada, grafik/epoksi kompozitin delme deneylerini değişen ilerleme oranlarında, iki farklı PCD uçlu matkap kullanarak yapmışlar ve işlenmiş yüzeylerin yüzey pürüzlülüğünü incelemişlerdir. Delikler üzerinde matkap geometrisinin etkisinin çok önemli olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca, ilerleme oranının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünün düştüğünü tespit etmişlerdir [10].

Yuan ve Geng (1993) farklı alüminyum MMK malzemelerin (%15, %20 ve %25 SiC whisker içeren kompozitler) 60 m/dak kesme hızı ve 10 µm kesme derinliğini sabit tutarak çeşitli ilerleme değerleri (2.5 ve 5 µm/dev) için mikro işleme konusunu incelemişlerdir. Tek kristalli elmas takımların kullanıldığı bu çalışmada, yüksek kesme hızı ve düşük ilerleme değerinde yüzey pürüzlülüğü değerinin küçük çıktığı ve en düşük yüzey pürüzlülük değeri olarak $Ra=0.01$ µm bir sonucun elde edildiğini belirtmişlerdir [11].

Bergman ve Jacobson (1994), çeşitli alüminyum MMK'ların farklı kesici takımlarla talaşlı işlenebilirliğini araştırmışlardır. Bu amaçla, HSS ve kaplamalı-kaplamasız sert metal takımları kullanmışlardır. Kaplamalı sert metal takımların HSS ve kaplamasız sementit takımlara göre daha uzun takım ömrü verdiği ve MMK' da takviye elemanının takım aşınmasında önemli bir parametre olduğunu vurgulamışlardır [12].

Coelho, Yamada, Aspinwall ve Wisel (1995), yaptıkları çalışmada %15 SiCp takviyeli Al-Si metal matriks kompozit malzemeyi, matkap ile delerken ve 28.6, 40 ve 56.6 m/dak kesme hızlarında, 0.05, 0.12 ve 0.20 mm/dev ilerleme hızlarında delme işlemleri yapılırken PCD takım kullanarak takım ömrünü incelemişlerdir. Bu çalışmada, takviye olan SiC partiküllerin aşındırıcı olmasından dolayı, kullanılan PCD matkabın ömrünün azaldığını gözlemlemişlerdir [13].

Mubarakki, Bandyopadhyay, Fowle ve Mathew (1995), %20 Al_2O_3 takviyeli Al metal matriks kompozit malzemeyi; sert metal (WC), PCD ve HSS matkaplar kullanarak delme testleri yapmış ve matkaplardaki aşınmayı incelemişlerdir. HSS matkaplarda bir tek operasyonda aşırı bir şekilde yan kenar aşınması ile birlikte uç aşınması oluşumuna rastlamışlardır. sert metal matkaplarda hem uç aşınmasını hem de kesici kenar aşınmasını gözlemlemişlerdir. sert metal matkaplarla delme işleminde matkap kanalları, delme işlemi sırasında malzemeden kopan talaşla dolduğu gözlemlenmiş ve talaş sıkışmasıyla karşılaşıldığından delmede gecikme olmuştur. PCD matkaplarla yapılan delme operasyonunda oluşan yan kenar aşınması diğer matkaplara nazaran çok daha az olduğu tespit edilmiştir. PCD matkaplarla yapılan delme işleminde matkap ucunda önce aşırı talaş yapışması, sonra da ucun

kararlı duruma geçtiğini tespit etmişlerdir. PCD matkaplarla delme işleminde başlangıçta hızlı yan kenar aşınması olduğunu ve daha sonra önemsiz artışlar olduğunu gözlemlemişlerdir [14].

Lin, Bhattacharyya ve Lane (1995) %20 SiC partiküllü alüminyum kompozitin işlenmesinde, PCD takım kullanarak tornalama işlemi ile talaş kaldırma işlemini gerçekleştirmişlerdir. 300, 500 ve 700 m/dak kesme hızlarında; 0.1, 0.2 ve 0.4 mm/dev ilerleme değerlerinde ve 0.5 mm sabit kesme derinliğinde yapılan deneysel çalışmada, kesme hızının artması ile takım aşınmasının arttığı sonucu verildiği gibi, özellikle yüksek ilerleme değerlerinde toplam kaldırılan hacimsel talaş miktarının artması dikkat çekici sonuç olarak belirtilmiştir. Yüzey pürüzlülüğünde ilerleme değerinin kesme hızından daha etkili olduğunu ve yüksek ilerleme değerlerinde düşük yüzey kalitesinin elde edildiğini ortaya çıkarmışlardır. Talaş oluşumu açısından yapılan incelemede ise, bu kompozit malzemenin işlenmesinde kısa talaşın elde edildiği ve bu nedenle talaş kırıcısı kullanılmasının gereksiz olduğunu vurgulamışlardır[15].

Morin, Masounave ve Laufer (1995), Duralcan ve %20 SiCp takviyeli metal matriks kompozit malzemelerin delme işleminde, kesme kuvvetlerinin takım aşınması üzerine etkisini HSS matkap uçları kullanarak incelemişlerdir. Bu incelemede, aynı kesme hızı (35m/dak) için ilerleme değeri arttıkça takım aşınmasının arttığını belirtmişlerdir [16].

Hung, Boey, Khor, Phau ve Lee (1996) tarafından yapılan çalışmada, HSS, TiN kaplamalı HSS, sert metal(K10), CBN ve PCD takımlar kullanılarak %10 ve %20 SiCp takviyeli alüminyum metal matriks kompozit malzemeyi tornalama işlemine tabi tutmuşlardır. Deneysel çalışma sonucu olarak, CBN ve PCD takımların daha uzun ömürlü olduğunu belirlemişlerdir[17].

Hung ve Zhong (1996) alüminyum esaslı metal matriks kompozit malzemenin sert metal (K10) takımla işlenmesinde takım aşınması açısından modelleme yapmışlardır. Bu çalışmanın devamı olan ve Hung, Loh ve Xu tarafından yapılan çalışmada ise (1996), çeşitli kesici takımlarla [sert metal(K10), PCD ve CBN] %15 ve %20 Al₂O₃ takviyeli kompozitin işlenmesi gerçekleştirilmiş ve CBN ve PCD takımların daha uzun takım ömrü değerleri verdikleri gözlenmiştir [18,19].

Barnes, Pashaby ve Mok (1996) yapmış oldukları çalışmada, ağırlıkça %18 SiC takviyeli 2618 alüminyum kompozit malzemeyi, lazer yardımı ile 380-420°C sıcaklıklar arasında tavlایarak 20-90 m/dak kesme hızlarında, 0.2 mm/dev ilerleme ve 2 mm kesme derinliğinde TiC/Al₂O₃ kaplamalı sert metal takımlar kullanarak talaşlı işlemişlerdir. Düşük kesme hızlarında yığma ağız oluşumu görülmüş, önceden yapılan ısıtmanın takım ömrü üzerinde olumsuz etki yaptığını belirtmişler ve ön tavlama sıcaklığı arttığında serbest yüzey aşınmasının buna bağlı olarak arttığını tespit etmişlerdir [20].

Chambers (1996), %5 saffil (alüminyum oksit elyaf) ve %15 SiC takviyeli Al5Mg ve %15 SiC takviyeli A356(Duralcan) metal matriks kompozit malzemeleri, sert metal (K10) ve PCD takımlar kullanarak, 0.2 mm/dev ilerleme ve 1 mm kesme derinliğinde tornalamıştır. Bu araştırmada, seçilen kesme hızı değerleri, kullanılan takım malzemesine göre değişmekte ve sert metal takım için düşük hızları seçerken, PCD takımlar için 100-800 m/dak kesme hızlarını seçmiştir. Takım ömrü açısından sert metal (K10) takımın Duralcan kompozitin işlenmesinde, Al5Mg kompozite göre daha uzun takım ömrü verdiği ortaya çıkmıştır. PCD takımın kullanılması durumunda sert metal (K10) göre daha uzun takım ömrü sunucunun elde edildiği fakat bu takımların pahalı oluşunun bir problem oluşturduğu vurgulanmıştır. Yüzey pürüzlülüğü değerleri incelendiğinde, sert metal (K10) takımın PCD takıma göre daha yüksek yüzey pürüzlülüğü değerleri verdiğini ortaya çıkarmıştır [21].

Songmene, Stephenson ve Warner (1997) %10 SiC ve %5 grafit içeren alüminyum kompozit malzemeyi, çeşitli talaş kaldırma yöntemlerini (tornalama, frezeleme ve delme) kullanarak işlenmesini araştırmışlardır. Tornalama işlemleri için PCD ve DCC (elmas kaplı sert metal) takımlar kullanılmış, frezelemede TiCN kaplı sert metal plaketer ve delme işlemleri için TiN kaplamalı HSS matkap uçları ve CVD kaplamalı takımlar kullanılmıştır. Yapılan inceleme sonucunda, tornalama işlemlerinde TiC ve TiCN kaplamalı takımların kaba tornalama işlemleri için kullanılması gerektiği, ince tornalama işlemleri için de PCD ve DCC takımların kullanılması gerektiğini belirtilmişlerdir. Frezeleme işlemlerinde kullanılan takımların, talaş kaldırma işleminin özelliğinden dolayı uygun olduğu, delme işlemlerinde ise düşük hacimli işlemlerde kaplamalı HSS takımların daha ekonomik olduğu ortaya konmuştur. Yüzey pürüzlülüğü incelemesi yapılmış ve en önemli işleme parametresinin ilerleme değeri olduğunu, düşük ilerleme değerleri için de daha kaliteli yüzey değerlerinin elde edilebileceğini göstermişlerdir [22].

Durante, Rutelli ve Rabezzana (1997), alüminyum esaslı metal matriksli kompozitin işlenmesinde, elmas uçlu takımlar ile standart tungsten karbür takımlar arasındaki bağıl problemleri araştırmışlardır. Bu çalışmada, A3594 %20 SiC alaşımının işlenmesinin çok zor olduğu bulunmuş ve kaplama kalınlığının takım ömrünü değiştirdiğini tespit etmişlerdir [23].

Hung, Yeo ve Oon (1997) sert metal ve PCD takımlar kullanarak %20 SiC partikül takviyeli alüminyum kompozitin talaşlı işlenmesi çalışmasında kesme sıvısının etkisi konusunda çok net bir sonucun ortaya konamayacağını belirtmektedirler [24].

Hocheng, Yen, Ishihara ve Yen (1997), sert metal (K10) takım kullanarak, %56 grafit içeren alüminyum kompozitin tornalanmasını araştırmışlardır. İşleme parametreleri olarak; 25, 50, 150 ve 300 m/dak kesme hızları, 0.03, 0.1 ve 0.3 mm/dev ilerlemeler ve 0.25, 0.5 ve 1 mm kesme derinlikleri seçilmiştir. Deneyler kesme sıvısı kullanılarak yapılmış, araştırma sonucunda

optimum takım geometrisinin belirlenmesi ve kesme sıvısının kullanılması ile takım ömrünün ve yüzey pürüzlülüğünün iyileştirilebileceğini gözlemlemişlerdir [25].

Monaghan ve Brazil (1997), %35 SiC partikül takviyeli alüminyum A356 kompozit malzemeyi sert metal takım kullanarak talaşlı işlenmesi gerçekleştirilmiş ve talaş kaldırma işlemi sırasında, işleme olayındaki mikro mekanik oluşumları sonlu elemanlar yöntemini kullanarak incelemişlerdir [26].

Lin, Bhattacharyya ve Ferguson (1998)'un çalışmasında, Duralcan adlı MMK'î PCD takım kullanarak 300, 500 ve 700 m/dak kesme hızlarında, 0.4 mm/dev ilerleme ve 1.5 mm kesme derinliğinde tornalamış ve talaş oluşumu açısından malzemenin davranışını incelemişlerdir. Malzemenin süneklilik özelliğinin azalması ile kesikli talaş oluşumunun ortaya çıktığını ve bu durumun talaş kaldırma işlemini kolaylaştırdığını belirtmişlerdir [27].

Hung, Venkatesh ve Loh (1998) yaptıkları çalışmada, metal matriks kompozit malzemenin tornalanmasında, CBN ve PCD kesici takımların sert metal takımlara göre daha uzun ömürlü olduklarını, fakat ekonomiklik açısından kaba talaş kaldırma işlemlerinde sert metal takımların kullanılmasını tavsiye etmektedirler. Kesme sıvısının kullanılması ile yığılma ağız oluşumunun azaldığı ama bunun takım ömrü üzerinde olumlu veya olumsuz bir etki yapmadığını gözlemlemişlerdir [28].

Iuliano, Settimeri ve Gatto (1998) yüksek hızlı talaş kaldırma tekniğini MMK malzemelere uygulamışlardır. Bu talaş kaldırma tekniğinin geleneksel talaş kaldırma tekniğinden tek ayrıldığı nokta, kullanılan kesme hızlarının daha yüksek seçilmesi ve böylece daha verimli ve ekonomik talaş kaldırma işlemi elde edilmesidir. Kullanılan kesici takımlar kaplamasız ve CVD elmas kaplamalı K sınıfı sert metal takımlardır ve kesme hızları olarak 630, 800, 1000 ve 1260 m/dak seçilmiştir. Kesme derinliği 2 mm sabit alınmış ve değişik ilerleme değerleri (0.03, 0.1 ve 0.17 mm/dev) için deneyler yapmışlardır. Kaplamalı takımın aşınmasının kaplamasız takıma göre daha az olduğu, seçilecek uygun takım geometrisi ile daha yüksek oranlarda talaş kaldırılabilceği ve sonuç olarak yüksek hızlı talaş kaldırma tekniğinin MMK malzemelerin işlenmesinde kullanılabileceği vurgulanmıştır [29].

Özellikle kullanılan takım malzemesine bağlı olarak MMK malzemelerin işlenmesi üzerine yapılan en kapsamlı çalışma, El-Gallab ve Sklad (1998 ve 2000) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmalarda Al_2O_3 , TiN ve PCD takımlar kullanılmıştır. Bu takımlar çeşitli kesme hızlarında, ilerleme değerlerinde ve değişik kesme derinliklerinde, %20 SiCp takviyeli alüminyum MMK malzemenin işlenmesinde kullanılmıştır. Çalışmanın ilk raporunda, Al_2O_3 ve TiN takımlarda PCD takımlara göre daha yüksek takım aşınması olduğu, kesme kuvvetleri açısından ise, PCD takımların daha az değerler verdiği görülmüş ve bu nedenle, deneysel incelemelerde PCD takımlar temel alınarak yapılmıştır. PCD kesici takımın aşınmasının

incelemesinde iki farklı işleme parametresi kullanılmıştır. Bunlardan bir tanesi 894 m/dak kesme hızı, 0.45 m/dev ilerleme değeri ve 2.5 mm kesme derinliği seçilmiş, diğer işleme parametresi ise 670 m/dak kesme hızı, 0.25 mm/dev ilerleme değeri ve 1.5 mm kesme derinliği kabul edilmiştir. Yapılan bu çalışmada takım aşınmasına takım geometrisinin büyük etkisi olduğu, talaş açısının 0° , 5° ve -5° olması durumunda takım aşınmasının 0° talaş açısı ile en düşük olduğu, -5° talaş açılı takımın 5° açılı takıma göre daha uzun takım ömrü verdiği ortaya konmuştur [30,31,32].

Yukarıda belirtilen çalışmanın devamı olarak (1998) aynı işleme parametrelerinde yüzey pürüzlülüğü incelenmiş ve kesme hızı ile kesme derinliğinin çok önemli parametreler olmadığı, en önemli parametrenin ilerleme değeri olduğu belirtilmiştir [31].

El-Gallab ve Sklad (2000) yaptıkları tüm deneysel çalışmalarında, sonlu elemanlar analizi yardımıyla, takım aşınmasının matematiksel modellemesini yapmışlar ve değişik takım malzemeleri için, uygun takım geometrisinin takım aşınması üzerindeki etkilerini ortaya koymuşlardır [32].

Joshi, Ramakrishnan, Nagarwalla ve Ramakrishnan (1999), %10 ve %30 SiC takviyeli alüminyum metal matriks kompozit malzemeyi döner sert metal takımlar kullanarak tormalamışlardır. Araştırmacılar bu çalışmada, döner karbür takımların normal karbür takımlara göre daha iyi takım ömrü değerleri verdiklerini ve hatta bu açıdan döner takımların PCD takımlarla karşılaştırılabilecek bir durumda olabileceklerini belirtmişlerdir [33].

Hooper, Henshall ve Klopfer (1999) PCD takımlar kullanarak, Si ve SiC takviyeli alüminyum metal matriks kompozit malzemelerin talaşlı işlenmesini incelemişlerdir. Takım ömrü açısından, karşılaştırma yapmak amacıyla sert metal (K10) takımlar kullanılmış ve sonuç olarak, PCD takımların çok daha iyi olduğunu belirtmişlerdir. Yüzey pürüzlülüğü açısından ise, PCD takımlar kullanarak yapılan talaş kaldırma yüzeyi sert metal (K10) takıma göre daha iyi yüzey kalitesi verdiğini tespit etmişlerdir [34].

Talaş oluşumu ile ilgili bir çalışma; Joshi, Ramakrishnan ve Ramakrishnan (1999) tarafından yapılmıştır. %10, %20 ve %30 SiCp takviyeli alüminyum metal matriks kompozit malzemeyi, sert metal takımlar kullanarak planyalama işlemine uygulamışlardır. Deneysel çalışmada, 5.8 ve 16.5 m/dak kesme hızlarında, 0.04, 0.08 ve 0.12 mm/dev ilerleme hızlarında ve kesme derinliği parametreleri seçilmiş; takım geometrisinin talaş oluşumuna büyük oranda etki ettiğini, talaş kırılmasının daha iyi incelenmesi ile uygun takım malzemesi ve takım geometrisinin oluşturulabileceğini belirtmişlerdir [35].

Barnes, Pashbey ve Hashim(1999), tarafından yapılan bir çalışmada ise, %18 SiCp/2618 Al metal matriks kompozit malzemenin, matriks mikro yapısının delme performansı üzerindeki etkisi araştırılmış olup, aşınma mekanizmasının abrazyon olduğunu tespit etmişlerdir [36].

Narahari, Pai, Pillai (1999), yaptıkları çalışmada, 23 ve 42 μm partikül boyutlarında %15 ve %20 SiC takviyeli ötektik Al-Si, 6 saat yaşlandırılmış (LM 6-15/20) kompozit malzemeyi ve takviyesiz 6 saat yaşlandırılmış LM6 malzemeyi, yine 23 ve 42 μm partikül boyutlarında %10, %15 ve %20 SiC takviyeli LM25-10/15/20 kompozit malzemeyi ve takviyesiz LM25 malzemeyi, HSS ve sert metal takımlarla tornalamaya tabi tutmuşlar. LM6 malzemesi için; 50, 60, 70, 85, 90, 145 ve 250 m/dak kesme hızlarında, 0.5, 0.10, 0.15 ve 0.20 mm/devir ilerlemelerde takım ömrünü ve talaş uzunluğunu kuru ve kesme sıvısı kullanarak tespit etmeye çalışmışlardır. LM25 malzeme için 40, 50, 60, 65, 70 ve 75 m/dak kesme hızlarında 0.05, 0.07, 0.10, 0.14, 1.00 ve 1.50 mm/devir ilerlemelerde kesme sıvısı kullanarak ve kullanmadan takım ömrünü ve talaş uzunluğunu tespit etmişlerdir. Bu çalışmaya göre, takviyeli LM6 kompozit malzeme, LM6 malzeme ile karşılaştırıldığında, takım ömrünün düştüğünü ancak talaş uzunluğunun arttığını gözlemlemişlerdir. Aynı şekilde takviyeli LM25 malzeme ile takviyesiz LM25 malzeme ile karşılaştırıldığında takım ömrünün yine düştüğü ancak talaş uzunluğunun arttığını tespit etmişlerdir. Bu çalışmada, kesme sıvısının kullanılması ile takım ömrünün arttığı, talaş uzunluğunun ise kısaldığı da tespit edilmiştir. Ayrıca, sert metal takım, HSS takıma göre daha iyi bir takım ömrü verirken, talaş uzunluğu HSS takımında daha uzun olmaktadır. Partikül boyutunun artmasıyla takımlardaki aşınmanın daha fazla olması sonucu takım ömrü düşmekte ve talaş uzunluğu da kısalmaktadır [37].

Joshi, Ramakrishnan, Ramakrishnan (1999), hacimce %10, 20, 30 SiCp takviyeli Al metal matriks kompozit malzemeyi, 5.8 ve 16.5 m/dak kesme hızlarında, 0.04, 0.08 ve 0.12 mm/dev ilerlemelerde, serbestlik açısı $+6^\circ$, 0° , -6° olan sert metal kesici takım kullanarak, talaş oluşumunu inceleyip bir model geliştirmişlerdir. Bu çalışmada, kesme açısının azalmasıyla daha geniş çaplı helisel talaşların elde edildiğini gözlemlemişlerdir [38].

Yanming ve Zehua (2000), değişik çaplı SiC partiküllerle oluşturulan alüminyum kompozitlerin talaşlı işlenmesini araştırmışlardır. Kompozit malzemenin işlenmesinde, PCD ve CBN (K10) kesici takımlar, TiC-Ti(C,N)-TiN kaplamalı (M30) ve Al_2O_3 kaplamalı TiC takımlar kullanarak; 60 m/dak kesme hızı, 0.1 mm/dev ilerleme ve 0.5 mm kesme derinliği için takım ömrünü tespit etmeye çalışmışlardır. Bu çalışmanın sonucunda, en iyi takım ömründen en kötü takım ömrüne doğru bir sıralama yapıldığında CBN, PCD, K10, M30 ve TiC takım sıralaması olabileceğini belirtmişlerdir. Takım aşınmasına etken olan faktörlerin incelenmesinde, öncelikli olarak işlenen malzemenin özellikleri (SiC miktarı ve boyutları) ve kullanılan kesme hızı (düşük ve orta kesme hızlarında daha yüksek takım ömrü) olduğu vurgulanmıştır [39].

Xiaoping ve Seah (2000) yapmış olduğu çalışmada, metal matriksli kompozit malzemelerde, özellikle partikül takviyelerinin boyut ve oranının takım aşınmasını nasıl

etkilediğini ortaya koymuşlardır. SiC oranı %2.5'dan %15'e kadar, partikül boyuları 15µm'den 75µm'ye kadar değişen Al-SiC kompozit malzeme ile çalışmalar gerçekleştirmiş ve bu çalışmada kaplamalı sert metal plaketer kullanmışlardır. Ayrıca bu araştırmada, kesme hızı 65m/dak, ilerleme 0.1mm/dev ve kesme derinliği 0.5mm alınmıştır. Bu çalışmada partikül boyut ve oranının, kesici takım uç yarıçapına bağlı olarak aşınma değerlerini tespit etmişlerdir. Partikül boyutu, takviye oranı ve takım uç yarıçapının artmasıyla takım aşınması hızlanmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre; abrazif takım aşınması, MMK'deki takviye elemanının yüzdesi kritik bir değeri aştığında hızlanmaktadır. Takviye elemanları arasında oluşan ara yüzeyin, kesici takımda aşınma artışına ve takviye elemanının kritik ağırlık yüzdesinin de bu duruma yardımcı olduğunu tespit etmişlerdir [40].

Li ve Seah (2001), çeşitli oranlarda SiC takviye ve farklı çaplarda partiküller kullanarak elde ettikleri alüminyum kompozit malzemelerin tornalanmasını gerçekleştirmişlerdir. Bu araştırmayı, kaplamalı karbür uçlar kullanılarak, 65 m/dak kesme hızında, 0.1 mm/dev ilerlemede ve 0.5 kesme derinliğinde yapmışlardır. Araştırma sonucunda, artan SiC oranı ile takım aşınmasının arttığını gözlemlemişlerdir [41].

Lin, Hung, Liu ve Kang (2001) %7 SiCp takviyeli 356 Al metal matriks kompozit malzemeye farklı metalurjik işlemler uygulayarak tornada talaş kaldırma işlemine tabi tutmuşlardır. Talaş kaldırma işleminde PCD takımlar için 60 m/dak kesme hızı, 0.05 mm/dev ilerleme ve 1 mm kesme derinliğini işleme parametreleri olarak kabul etmişlerdir. Soğuk talaşlı işleme ve klasik talaş kaldırma işlemi kullanılarak, takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü karşılaştırılmıştır. Araştırma sonucunda, soğuk talaşlı işlemin daha uzun takım ömrü ve daha iyi yüzey kalitesi verdiğini ortaya koymuşlardır [42].

Davim ve Antonio (2001) alüminyum kompozitlerin talaşlı işlenmesinde optimum işleme parametrelerinin ortaya konması konusunda yaptıkları çalışmada, PCD takımlarla yapılacak işlemlerin daha uygun sonuçlar verdiğini, bu takım malzemesi temel alınarak optimum kesme şartlarının analizinin yapılabileceğini ortaya koymuşlardır [43].

Ramesh, Chan, Lee ve Cheung (2001) yaptıkları çalışmada, SiCp takviyeli 6061Al MMK malzemeyi elmas kesici takım kullanarak tornalamış ve talaş oluşumu açısından malzemenin davranışını incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlarla bir model kurarak, bu modele sonlu elemanlar yöntemini uygulayıp sayısal çözümler geliştirmişlerdir [44].

Tosun (2002), %17 SiCp takviyeli 2124 Al alaşımlı MMK malzemenin delme performansı üzerinde matriks mukavemetinin etkisini tespit etmeye çalışmıştır. Isıl işlemin etkisini araştırmak amacıyla, iş parçası; ısıl işlemsiz, homojenleştirme, 4 saat ve 24 saat yaşlandırma ısıl işlemi şartları altında 90°, 118° ve 130° uç açısına sahip 5 mm çapında HSS, TiN ve karbür matkaplar kullanarak 260 ve 1330 d/dak devir sayılarında 0.08 ve 0.16mm/devir

ilerleme hızlarında delme işlemleri yaparak, iş parçasının mikro yapısını ve yüzey pürüzlülüğünü araştırmıştır. Yapılan deneyler sonunda, matkap sertliği, uç açısı ve ilerleme hızı arttıkça delinmiş yüzeydeki deformasyonun ve yüzey pürüzlülüğünün azaldığı, devir sayısı arttıkça HSS matkaplarda yüzey pürüzlülüğünün arttığı buna karşın TiN kaplı ve karbür matkaplarda ise azaldığı ve en iyi delinmiş yüzey kalitesinin karbür matkaplar kullanıldığı zaman olduğunu tespit etmiştir [45].

Altan, Kıyak ve Çakır (2002), günümüze kadar araştırmacılar tarafından yapılan ve endüstride yaygın olarak kullanılan MMK'ların işlenebilirliği konusundaki çalışmaları incelemişlerdir. Bu amaçla, geleneksel talaşlı (tornalama, frezeleme, delme vb.) ve geleneksel olmayan (elektroerozyon, elektrokimyasal, lazer vb.) işleme yöntemleri ile yapılan çalışmaları araştırarak, MMK'ların işlenmesinde kullanılan takım malzemelerini ve bunların özelliklerini; kesme hızlarını, ilerleme değerlerini, kesme derinliklerini, takım aşınmasını, kesme kuvvetlerini ve yüzey pürüzlülüğü üzerine olan etkilerini araştırılmışlardır. Bunun neticesinde de, endüstriyel uygulamalarda etken olan işleme parametrelerini detaylı olarak ortaya koymuşlardır[46].

VaradaRajan, Vijayaraghavan ve Krishnamurthy (2002), K20 sert metal kesici takım kullanarak, partikül takviyeli metal matriks kompozitin talaşlı işlenmesini araştırmışlardır. 5µm boyutunda hacimce %30 SiC takviyeli 2124Al MMK malzemeyi, K20 sert metal (işlenmemiş) ve K20 karbit (Mikrodalga ile işlenmiş) kesici takımlar kullanarak; 50, 80, 125, 200 ve 315 m/dak kesme hızları, 0.05 ve 0.20mm/dev ilerlemeler ve 0.5 ve 1 mm kesme derinliklerini işlemişlerdir. Deneyler soğutma sıvısı kullanılmadan yapılmış. Çalışma sonucunda belirtilen parametreler göz önünde tutularak optimum takım geometrisini belirlemeye çalışırken; kesme kuvveti, takım aşınması ve kesme zamanını dikkate almışlardır [47].

Weinert, Lange ve Petzoldt (2002) çalışmalarında, 3µm partikül boyutlu hacimce %10SiC takviyeli AlCu5, 15 µm partikül boyutlu hacimce %15 SiC takviyeli AlCu5, 7 µm çapında 70µm boyunda hacimce %20 C-fiber takviyeli AZ91 ve 3 µm çapında 50 µm boyunda hacimce %20 δ -Al₂O₃ fiber takviyeli AZ91 kompozit malzemeleri basınçlı döküm yöntemiyle üreterek, mekanik özelliklerini tespit etmişler ve talaşlı işleme tabi tutmuşlardır [48].

Metal matriks kompozit malzemeler, 500 m/dak kesme hızı, 0.5 mm/devir ilerleme ve 1 mm derinliğinde tornalanarak, takım aşınması ile talaş oluşumu açısından malzemenin davranışını incelemişlerdir.

Aynı çalışmada, C-fiber ve δ -Al₂O₃ takviyeli AZ91 kompozit malzemeleri, PCD kesici takım kullanarak 250 ve 500 m/dak kesme hızları, 0.15, 0.3 ve 0.5 mm/devir ilerlemeler ve 0.5mm kesme derinliğinde frezeleyerek freze çıkısındaki aşınmayı incelemişlerdir. Aynı şartlarda yapılan talaşlı işlemede δ -Al₂O₃ takviyeli AZ91 kompozit malzemenin δ -Al₂O₃ fiber

takviyenin sertliğinden (800HV) dolayı takım aşınmasının daha fazla olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca aynı malzemeler (C-fiber ve δ - Al_2O_3 fiber takviyeli AZ91) matkap uç açısı 118° ve 140° olan kaplamasız, TiAlN, TiAlN/ Al_2O_3 , TiN/TiAlN ve DLC kaplı matkap uçları kullanılarak, 200m/dak kesme hızı ve 0.4 mm/dev ilerlemede delinerek takım aşınmasını incelemişlerdir. Bu işleme neticesinde, kaplamasız matkabın kaplamalı matkaplara (TiAlN, TiAlN/ Al_2O_3 , TiN/TiAlN) nazaran iyi bir sonuç verdiğini tespit etmişlerdir. Kaplamalı matkapların pahalı oluşundan dolayı kaplamasız matkapların daha verimli olduğunu belirtilmişlerdir [48].

Boschetts, Vediali, Di Ilio ve Pasletti (2002), %20 SiC partikül takviyeli Al-2009/SiC-20p metal matriks kompozitin işlenmesinde sert metal, CVD ve PCD kesici takımlar kullanarak tornada talaş kaldırma işlemini gerçekleştirmişlerdir. 300 ve 540 m/dak kesme hızlarında, 0.08 ve 0.1 mm/devir ilerleme değerlerinde ve 0.4 ve 1 mm kesme derinliğinde yapılan tornalamada, kesme hızlarının artması ile takım aşınmasının arttığı ve kaldırılan talaş miktarı arttığında kesme kuvvetinin azalması dikkat çekici sonuç olarak belirtmişlerdir. Kesme hızının ve ilerleme değerinin artmasıyla kesme kuvvetlerinin arttığı ve bu kesme kuvvetinin en büyük değerinin sert metal takımlarda olduğu ve CVD takım ile PCD takımlarda kesme kuvvetinin daha az olduğunu tespit etmişlerdir [49].

Talaş oluşumu açısından yapılan incelemede ise, bu kompozit malzemelerin CVD ve PCD takımlarla işlenmesinde kısa talaş, sert metal takımlarla işlenmesinde de uzun talaş elde edildiğini göstermişlerdir.. Kısa talaş elde edilen CVD ve PCD takımlarda talaş kırıcısına gerek olmadığı ancak sert metal takımlarla malzeme işlendiğinde uzun talaş elde edildiği için talaş kırıcısına gerek olduğunu belirtmişlerdir. Takım aşınması yönünden yapılan çalışmada ise sert metal ve CVD takım ile yapılan tornalamada, aşındırıcı SiCp'den dolayı takımlarda yan kenar aşınmasının fazla olduğu ve PCD takımla yapılan tornalamada ise bu aşınmanın az olduğunu görmüşlerdir[49].

Sadat (2002), hacimce %20 Al_2O_3 p takviyeli 6061Al metal matriks kompozit malzemeyi, tungusten karpit kaplamalı kesici takımlarla tornalamış ve tornalama sonrasında kesici takım aşınmasını ve son pasonun yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisini araştırmıştır. 0.50, 1.00 ve 1.50 m/s kesme hızlarında, 0.75, 1.50 ve 3.00 mm/dev ilerleme ve 0.83 mm kesme derinliğinde kesme sıvısı kullanarak belirtilen malzemeyi ince paso ile işleyerek, kesici takımlardaki kesme kenar aşınmasını tespit edip takım ömrünü ve yüzey pürüzlülüğünü incelemiştir. Sonuç olarak ilerleme miktarı arttıkça yüzey pürüzlülüğünün azaldığını göstermiştir. Ayrıca ilerleme miktarının artmasıyla, işleme zamanının arttığı ve takım aşınmasının azaldığını gözlemlemiştir[50].

Manna ve Bhattacharyya (2002), hacimce %10 SiCp takviyeli Al metal matriks kompozitin işlenmesinde farklı bir takım sistemi kullanarak tornalama işlemini gerçekleştirmişlerdir. Kendi eksenini etrafında dönen (FRT) bir kesici takım ve bu kesici takımın tutturulduğu yeni bir takım tutucu tasarlayarak 2080 Al/SiC-10p malzemeyi, K10 kaplamasız kendi eksenini etrafında dönen silindirik sert metal, K10 kaplamasız sabit silindirik sert metal, P01 kaplamalı sert metal ve K10 kaplamasız sert metal takımlar kullanarak, 40-225 m/dak kesme hızlarında, 0.16-1.25 mm/dev ilerleme hızında ve 0.5-1.5 mm kesme derinliklerinde kompozit malzemeyi işleyerek kesici takım yüzey aşınmasını incelemişlerdir. Aynı şartlarda en fazla aşınmanın K10 kaplamasız sert metal takımında meydana geldiğini belirtmişlerdir. Silindirik döner takımın diğer kesici takımlardan çok daha fazla aşınma direnci gösterdiğini tespit etmişlerdir. Düşük kesme derinliğinde ve yüksek hızlarda FRT takımın daha çok verimli olduğu ve FRT takımın FST ve RCT takımlara göre son pasoda daha iyi bir yüzey verdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca yüksek kesme derinliğinde ve yüksek hızlarda FCT takımın çok daha iyi sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir. Bu çalışmanın sonucu olarak, tornalama işlemlerinde işleme problemlerinde ekonomik bir çözüm üretmek için modern imalat mühendisleri Al/SiC MMK işlenmesinde pahalı olan ancak verimli olan PCD ve CBN kesici takımları önermişlerdir[51].

Derrico ve Calzavarini (2002), %10 Al₂O₃p takviyeli 6061 Al metal matriks kompozit ve %20 SiCp takviyeli 359 Al metal matriks kompozit malzemeyi tornalama işlemine tabi tutmuşlardır. Kaplamasız, 20µm, 50 µm ve 500 µm film tabaka ile kaplı CVD K10(ISO) takım ve PCD takımlar ile 200-500 m/dak kesme hızlarında, 0.4-0.1 mm/dev ilerleme ve 1.5 mm kesme derinlikleri seçilerek MMK'leri tornalayarak takım aşınması, kesici takım performansı ve kaplamalı takımlarda film ile kesici takım ara yüzeyini incelemişlerdir. Kaplamasız takım ile tornalamada 359 SiC-20p Al malzemeyi tornalamada kesici takımın çok çabuk aşındığı (10-24 sn), ince film tabakası ile kaplı takımlarda kesici takım ömrünün arttığı (32-1080 sn) ve takım ömrünün, ilerleme hızının düşmesiyle daha çok arttığı (0.1 mm/dev, 1080sn), PCD takımla yapılan tornalamada takım ömrünün oldukça iyi olduğunu (600-900sn) tespit etmişlerdir. Ayrıca kesme hızının artmasıyla takım ömrünün azaldığını gözlemlemişlerdir [52].

Bu çalışmanın amacı, % 15 SiCp takviyeli Al Si7Mg2 metal matriks kompozit malzemenin tornalanmasında, MMK malzemenin; takım ömrü, yüzey pürüzlülüğü ve takım maliyeti üzerindeki etkilerini araştırmaktır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Kompozit Malzeme ve Sınıflandırması

Kompozit malzemeler yeni bir alan olup, II. Dünya savaşı esnasında mevcut klasik malzemelerin tek başına teknoloji karşısında belli ihtiyaçlara cevap veremez hale gelmesi ile başlamış ve zamanla bu malzemelerin üretimi ve mekanik özellikleri üzerine araştırma ve geliştirme faaliyetleri genişleyerek devam etmiştir. Bu gelişmelerin sebebi malzemelerde yüksek dayanım/yoğunluk ve yüksek elastisite modülü/yoğunluk oranı elde edilmesidir. Bu nedenle, spesifik uygulama alanlarında kullanımları hızla artmaktadır. Bu malzemeler belirli uygulama alanları için, üstün mekanik ve fiziksel özellikler elde etmek amacıyla belli spesifik konfigürasyonda, değişik fazdaki malzemelerin bir araya getirilmesi ile oluşan malzemeler olduklarından çok fazlı malzeme olarak da adlandırılırlar [53].

Genel olarak karışmayan iki veya daha fazla katının makroskopik bileşimlerine kompozit malzeme denir. Karışmaz olmaları nedeniyle malzeme içerisinde fazlar arası büyük miktarda iç yüzey (ara yüzey) oluşur. Kompozitlerde sürekli (kopuşumsuz) faza matriks adı verilir. Kesintili (parçalı) veya elyaf (fiber) şeklindeki fazlar ise matrikslerden ayrı bölgeler olarak malzeme içerisinde yer alır [54]. İki malzeme, orijinal malzemelerle elde edilmeyen bir özellik kombinasyonu elde etmek için birleştirildiğinde kompozitler üretilir. Kompozit malzemeler alışılmışın dışındaki bükülmezlik, mukavemet, ağırlık, yüksek sıcaklık performansı, korozyon direnci, sertlik ve iletkenlikten oluşan kombinasyonları elde etmek için seçilebilmektedir[55].

Optimum özellikler elde etmek için; bir malzemenin diğer malzeme içine kontrollü bir şekilde dağıtılması ile iki ayrı malzeme karıştırılarak kompozit (karma) bir malzeme oluşturulmalıdır [53].

Çağdaş uygulamalarda önemli bir ileri malzeme grubu olarak ortaya çıkan kompozitler iki veya daha fazla malzemenin karması ve/veya kombinasyonu ile ortaya çıkar. Burada hedef farklı malzemelerin farklı ve değişken özelliklerinin en optimal şekilde kullanılması, hatta oluşan kompozitin daha üstün özelliklere kavuşturulmasıdır [56].

Yukarıdaki tanıma göre, kompozit malzemede genelde aşağıdaki koşullar aranmaktadır:

- Kimyasal bileşimleri birbirinden farklı ve belirli ara yüzeylerle ayrılmış en az iki malzemenin bir araya getirilmiş olması,
- Farklı malzemenin üç boyutlu olarak bir araya getirilmiş olması,
- Bileşenlerinin hiçbirinin tek başına sahip olmadığı özellikleri taşıması, dolayısıyla bu amaçla üretilmiş olması [57].

Uygulamada, kompozit malzeme üretiminde genellikle aşağıdaki özelliklerden birinin veya birkaçının geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu özelliklerden başlıcaları;

- Mekanik dayanım, basınç, çekme, eğilme, çarpma dayanımı,
- Yorulma dayanımı, aşınma direnci, korozyon direnci,
- Kırılma tokluğu,
- Yüksek sıcaklığa dayanıklılık, ısı iletkenliği ve ısı direnci,
- Elektrik iletkenliği ve elektriksel direnç,
- Akustik iletkenlik, ses tutuculuğu veya ses yutuculuğu,
- Rijitlik,
- Ağırlık
- Görünüm

ve benzeri özellikler şeklinde sıralanabilir [58].

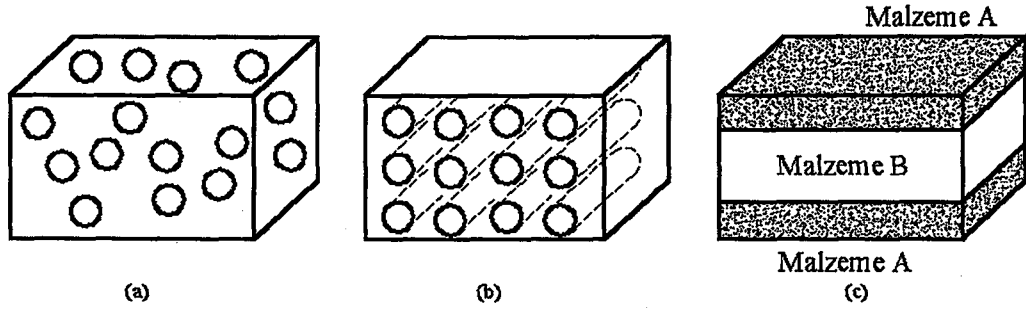
Bu amaca yönelik olarak, kompozit malzeme üretiminde farklı yöntemler kullanılmaktadır. Ancak, tüm yöntemlerde değişmeyen temel ilke, bileşenlerinin zayıf yönlerinin amaç doğrultusunda iyileştirilerek daha nitelikli bir yapının elde edilmesidir. Bir kompozitin yapısı, genelde matriks olarak adlandırılan sürekli bir faz ile, onun içinde dağılıp değişik özelliklere sahip donatı fazından meydana gelmektedir.

Kompozit malzemeleri oluşturma seçeneklerine göre sınıflandırma zordur ve değişik açılardan yapılabilir. Kompozit malzeme; kuvvetleri takviyeye iletmek, lifleri ortamın etkisinden ve darbelerden korumak, kompozit malzemelerin tokluğunu arttırmak gibi görevleri üstlenen matrikse ve matriks malzemesine göre kompozit malzeme belli bir sınıflandırmaya tabi tutulur.

- a) Plastik matriksli malzemeler
- b) Metal matriksli malzemeler
- c) Seramik matriksli malzemeler
- d) Karbon/grafit matriksli malzemeler

Takviye malzemelerini şekilleri açısından yapılacak sınıflandırmaya göre:

- a) Fiber takviyeli (elyafı) kompozit malzemeler
- b) Parçacıklı kompozit malzemeler
 - Dağınımla (dispersiyonla) mukavemetlendirilmiş
 - Partikül takviyeli kompozit malzemeler
- c) Tabakalı kompozit malzemeler



Şekil 2.1. Kompozit malzeme tipleri; a) Parçacık takviyeli kompozit, b) Fiber takviyeli kompozit, c) Tabakalı kompozit malzeme [55]

Takviyelerin yapılışı bakımından sınıflandırmada ise:

a) Elyaf takviyeli kompozit malzemeler (ETKM): Burada matriks kuvvetleri elyafa iletilir. Kuvvet tümüyle elyaf tarafından taşınır özellikler anizotropiktir.

b) Küçük parçacıklarla dayanımı artırılmış malzemeler: Kuvvetler matriks tarafından taşınır. Küçük parçacıklar ($0.01-0.1\mu m$) metal malzemede dislokasyonların hareketini engelleyerek dayanımı artırılırlar. Özellikleri izotropiktir. Örneğin çökme sertleşmesi uygulanmış alüminyum alaşımlar.

c) İri parçacık takviyeli kompozit malzemeler: Yükü matriks ve takviye birlikte taşırlar. Özellikleri izotropiktir. Örnek olarak beton verilebilir.

2.1.1. Fiber Takviyeli Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler arasında en fazla önem taşıyan fiber takviyeli kompozitlerdir. Metallerin plastik özelliklerinde yapı hatalarının daha iyi anlaşılmış olması ve özellikle whisker olarak adlandırılan yüksek mukavemetli tek kristallerin geliştirilmesi, çok yüksek mukavemetli kompozit malzeme üretimine önemli katkılarda bulunmuştur. Bazı metallerin sertlik ve mukavemetlerinin çok yüksek olmasına karşın, çentik hassasiyetleri çok yüksektir. Gerilim altında oluşan bir çatlağın sünek matriks içerisinde ilerlemesi son derece zordur. Yüksek mukavemetli malzemelerde çentik hassasiyetinin azaltılmasında uygulanan bazı yöntemler vardır. Bunlardan biri, dış etkenlerin neden olabileceği mekanik hasarlara karşı koyabilmek için sert malzeme sünek matriks ile kaplanır veya fiber demeti halinde iken sünek matriks

malzemesi içinde uygun olarak dağıtılır. Böylece hem mukavemetli hem de tok bir malzeme elde edilir [59].

Fiber takviyeli kompozitler, fiberin ve whiskerlerin kullanılması ile geliştirilen malzemelerdir. Matriks malzemesi metalik, seramik veya polimerik esaslı olabilir. Matriks, fiberleri birbirine bağlar ve onları mekaniksel ve kimyasal hasarlara karşı korur. Ayrıca fiberleri birbirinden ayırarak gevrek bir çatlağın, malzemenin tüm kesiti boyunca yayılmasını önler. Fiber ile matriks arasındaki bağ, dış yükler altında fiberlerin matriksten kopup ayrılmasını veya ara yüzeyin bozulmasını önleyecek kadar kuvvetli olmalıdır. Ayrıca fiber ile matriks arasında malzemeyi zayıflatacak bir kimyasal reaksiyon olmamalıdır [59].

Sünek matriks içerisine güçlü, bükülmez, kırılğan fiberlerin ilavesiyle fiber takviyeli kompozitlerin mukavemeti, yorulma direnci ve ağırlığa göre mukavemet oranı iyileşmektedir. Fiberler, uygulanan yükün büyük bir kısmını taşıırken matriks malzeme yükün fiberlere transferini sağlamakta, süneklik ve tokluk temin etmektedir. Dağılım; mukavemetlendirilmiş kompozitlerin aksine kompozitlerin mukavemeti hem oda sıcaklığında, hem de yüksek sıcaklıklarda artar [55].

Malzemelerin fiberlerle donatılması, öncelikle mekanik dayanımları daha iyi olan kompozit malzemeyi üretmeye yöneliktir. Malzemeler, özellikle çekme, eğilme ve çarpma dayanımları gibi mekanik dayanımlarının iyileştirilmesi, gevrek kırılma özelliğinin kısmen giderilebilmesi amacıyla lifler, teller, çubuklar veya değişik yapıda örgü malzemeleriyle donatılmaktadır [60].

Metallerde çalışma koşulları altında genellikle iki tür bozulma görülür. Bunlar sürünme ve yorulma sonucu meydana gelen hasarlardır. Sürünme daha çok yüksek sıcaklarda görülür ve matriksteki gerilimle ilgilidir. Matriksin kuvvetli fiberlerle pekiştirilmesi ile sürünme direnci yükselir. Metallerde yorulma sonucu meydana gelen hasarlara da çok rastlanır. Bu tür bozulma yapı çatlakların oluşması ve yayılması sonucu görülür. Yapıda kuvvetli fiberlerin bulunuşu, bu çatlakların oluşumunu ve yayılmasını önler [59].

Fiber takviyeli malzemelerin mikro yapısal özelliklerini tek boyuta sahip fiber takviye belirler. Çoğu metal ve alaşımlara benzemeyen fiber takviyeli metal kompozitler anizotropiktir. Anizotropinin derecesi ilk olarak fiber oryantasyonunun derecesine bağlıdır. Fiberlerin ilk rolü metal matriks fiberlere yük dağılımını ve transferlerine çalışırken yükü taşımaktır. Matriksten fibere transfer edilen yükün etkisi (verimi) matriks ile fiber arasındaki ara yüzeyin yapışmasına bağlıdır. Yüksek ara yüzey etkisi düşünülünce kompozitin mekaniksel özelliklerinden daha çok fiber özelliklerine bağlıdır [61].

2.1.2. Parçacıklı Kompozit Malzemeler

2.1.2.1. Dağılımla Mukavemetlendirilmiş Metal Matriksli Kompozit Malzemeler

Bu kompozit, üniform bir şekilde dağıtılmış ince parçacıklara sahip ana matriksin içerdiği bir mikro yapı tarafından karakterize edilir. Partikül çapı $0.01\ \mu\text{m}$ den $0.1\ \mu\text{m}$ civarında değişir ve partikülün hacimce oranı %3 ile 5 arasındadır. Dispersiyonla kuvvetlendirilmiş alaşımların yapı ve özelliklerinin kontrol eden faktörler disperse olan fazın kendi özellikleri, yapı içerisindeki dağılımın üniform olması, matriks-partikül ara yüzey özellikleridir [61].

Dispersiyonla pekiştirmenin gerçekleşebilmesi için yapı içerisinde mikro ve makro düzeyde toplanmalar (segregasyonlar) olmadan, üniform bir dağılımın sağlanması gerekir [59].

Dağılımla mukavetlendirilmiş kompozitlerin parçacık boyutu çok küçüktür (parçacık çapı $100\text{-}2500\ \text{\AA}$). Çünkü küçük parçacıklar dislokasyonların hareketlerini engelleyerek belirtilen mukavetlenme etkisini oluşturmaktadır. Çok az miktarda dağılım malzemesine ihtiyaç duyulmaktadır [55].

Partikül boyutu hem kendi mukavemetini hem de kompozit malzeme mukavemetini kontrol etmesi yönünden kritik bir öneme sahiptir. Küçük boyutlu partiküllerin dislokasyon şebekeleri üzerindeki etkileri daha büyük olacaktır. Boyut büyüklüğünde, partiküllerin kendi yapılarında dislokasyon veya çatlak gibi yapı hatalarının bulunma ihtimali artacağından, kompozit malzemenin mukavemetinde düşme meydana gelir. Belirli bir hacim için partikül boyutu doğrudan doğruya partiküller arası mesafeyi kontrol eder. Aynı hacim oranı için partikül boyutu küçüldüğünde partiküller arası mesafe de küçüleceğinden dislokasyon hareketleri daha etkili bir şekilde önlenecek ve kompozit malzemenin mukavemeti artacaktır [59].

Matriks ve partiküller arasındaki ara yüzey özellikleri bir çok yönden önem taşır. Kuvvetli ara yüzey bağı elde etme büyük öneme sahiptir [53]. Bu nedenle, ideal olarak matriksin partikülleri ıslatması, temas açısının düşük olması istenir. Ancak, oksitlerle metallerin kristal yapıları arasındaki farklılıklar nedeniyle ara yüzeyde iyi bir atomik uygunluğun gerçekleşmesi genellikle güçtür. Karbür ve nitrürlerle metaller arasında oksitlere göre daha iyi uygunluk sağlanabilmekle beraber, karbür ve nitrürlerin kararlılıkları oksitlerden daha düşüktür. Bazı oksitler küçük boyutlarda olduklarından iyi bir atomik uygunluk ve kuvvetli bir ara yüzey elde edilebilir. Örneğin, bakır içerisinde iç oksitlenmeyle elde edilen THO_2 ve MgO partikülleri yaklaşık $300\ \text{\AA}$ boyutunda olduklarında bakırın kristal yapısı ile uyumludurlar. Bu tür bir uyum iç oksitlenme tekniğinde olduğu gibi, partiküller doğrudan doğruya metal partikülleri üzerinde oldukları zaman elde edilir [59].

Normal sıcaklıklarda dağılım mukavemetlendirilmiş kompozitler iki fazlı metal alaşımlarından daha zayıf olabilmektedir. Buna karşın dağılım mukavemetlendirilmiş kompozitler, aşırı yaşlanma, temperlenme, dağılan fazın tane büyümesi ve kabalaşması sonucu şiddetli şekilde yumuşamaması nedeniyle, kompozitin dayanımı artan sıcaklık ile sadece kademeli olarak azalmaktadır. Dahası kompozitin sürünme direnci metal ve alaşımlara göre daha üstündür[55].

Dispersiyonla kuvvetlendirilmiş alaşımlar esas olarak yüksek sıcaklık uygulamaları için geliştirildiklerinden, disperse olan fazın yüksek sıcaklıktaki kararlılığı önem kazanır. Oksit partiküllerinin servis sıcaklıklarında ayrışmaması, matriks içerisinde çözünmemesi ve boyutların büyümemesi gerekir. Bileşenler arasında iyi bir bağ mevcut olduğunda ara yüzey enerjisi düşeceğinden partiküllerin büyümesi önemli ölçüde azalacaktır. Bunun yanı sıra, partiküllerin matriks içerisindeki difüzyon hızı da tane büyümesini kontrol eden bir etkidir. Matriks bileşimi ve empürte miktarının kontrolü ile difüzyon hızı ve buna bağlı olarak partikül büyümesinin en az düzeylerde tutulması mümkündür [59].

2.1.2.2. Partikül Takviyeli Metal Matriks Kompozit Malzemeler

Partikül takviyeli kompozit malzemelerde, belirgin üniform olarak dağılmış sert, gevrek malzeme yumuşak daha sünek bir matriksle kuşatılmıştır. Aslında yapı, iki fazlı dağılım, mukavemetlendirilmiş metal alaşımlarına benzemektedir. Buna karşın, kompozitlerde dağılan parçacıkları oluşturmak için faz dönüşümü kullanılmaz [55].

Bu kompozit, hacim oranı %5 'den daha fazla ve çapı da 1 μm 'den daha büyük disperse partiküller tarafından karakterize edilir [61].

Partikül takviyeli metaller, mikron seviyesindeki küçük partiküllerin metalik bir matriks içerisinde dağılmalarıyla elde edilen ve yüksek derecede izotropik özellikler gösteren kompozit malzemelerdir. Metallerin sertliklerini geliştirmek için değişik türde oksit, karbür veya nitrür partiküllerden yararlanılabilir. Sermet olarak bilinen kompozit malzemede oksit, karbür veya nitrür gibi seramik esaslı bir faz, metalik bir faz içerisinde dağılmıştır. Tungsten karbür, titanyum karbür, krom karbür, bor karbür gibi karbürlerin tipik özellikleri, yüksek sertlik ve aşınma dayanımlarıdır. Alüminyum oksit, magnezyum oksit, toryum oksit gibi oksitler, yüksek ısı kararlılık özellikleri ile bilinirler. Partiküllerin boyutları, hacim oranları, partiküller arası mesafe, matriks içerisinde dağılım üniformalılığı, matriks içerisindeki çözünürlükleri ve ısı kararlılıkları bu tür malzemelerin özelliklerini kontrol eden esas faktörlerdir. Partiküllerin boyut ve hacim oranlarına göre iki farklı türde alaşımlarla ikinci faz bir kaç yüz angstrom boyutunda

olup hacim oranı %3-5'i aşmaz. Disperse olan faz genellikle oksitlerdir. Diğer taraftan sermetlerde, oksit veya karbür partiküllerinin boyutlarının çok daha büyük olmasının yanı sıra hacim oranları %70'in üstündedir [59].

Partikül kompozitlerin sermetleri ve dispersiyonla kuvvetlendirilmiş metaller şeklinde gruplara ayrılması kimyasal bileşim yönünden gerçekçi değildir. Zira, pekiştirici faz her iki malzemede de aynı olabilir. Örneğin Cr-Al₂O₃ veya Cr-MgO sermetlerinde yer alan Al₂O₃ ve MgO partikülleri, daha düşük hacim oranlarında ve daha düşük boyutlarda olmak üzere Al-Al₂O₃, Ag-MgO, Cu-Al₂O₃ gibi dispersiyonla kuvvetlendirilmiş alaşımların yapı bileşenini de oluşturabilir. Bu nedenle ayırımın partikül boyutuna ve hacim oranına göre yapıldığına dikkat edilmelidir. Bu ayırımı daha açık bir şekilde yapabilmek için çoğu zaman partikül kompozitler ve dispersiyonla kuvvetlendirilmiş metaller şeklinde bir sınıflandırma yoluna gidilebilir [59].

Partikül boyutları ve hacim oranları arasındaki fark, mekanik özellikleri de farklı şekilde etkiler. Dispersiyonla kuvvetlendirilmiş alaşımlarda ikinci fazın etkisi dislokasyon hareketlerini engellemesi şeklindedir. Hacimsel olarak %3-5 oranındaki ve angstrom boyutlarındaki partiküllerden oluşan kompozitlerde partiküller, gerilme taşıyan veya yüksek sertlikleri nedeniyle aşınmaya karşı direnci doğrudan doğruya arttıran fazı oluştururlar. Boyutlarının büyük olması nedeniyle dislokasyon hareketleri üzerindeki etkileri zayıftır [59].

2.1.3. Tabakalı Kompozit Malzemeler

Tabakalı kompozit malzemeler çok ince kaplamalar, kalın koruyucu yüzeyler, giydirmeler, ikili metaller, katmanlar ve pek çok diğer malzemelerden meydana gelmektedir[55]. Çeşitli tabakaların birbirine yapıştırılmaları şeklindeki üretimin bir sonucu olarak, tabakalı kompozit malzemeler, yapısal nitelikleri bakımından diğer kompozit malzeme türlerinden farklılık göstermektedirler. Diğer kompozit malzeme türlerinde, taneli kompozitlerde veya liflerle donatılı kompozitlerde yapılan sürekli faz ve dağınık faz veya matris ve faz gibi niteleme ve ayrımlar, tabakalı malzeme için aynı anlamda kullanılmamaktadır[60].

Tabakalı kompozit malzemeler, çeşitli yönlerden farklılıklar gösteren tabakaların bir araya getirilmesi ile üretilmektedir. Bu farklılık, mukavemet, ısı iletimi, gözeneklilik, ağırlık, yüzey sertliği, suya veya diğer dış etkilere karşı direnç gösterme gibi çok çeşitli yönlerden olabilmektedir. Tabakalı kompozitlerde genelde kompoziti oluşturan farklı özelliklere sahip tabakalardan her biri, kompoziti iki yönde katetmektedir. Bu tabakalar, herhangi bir teknikle veya yapıştırıcıyla bir araya getirilmektedir[60].

Tabakalanmış yapılar, fiberlerle pekiştirilmiş kompozit tabakaları veya pekiştirilmemiş metal tabakaları arasında bir bağ oluşturarak elde edilen malzemelerdir. Farklı özelliklere sahip metal tabakalarının birleştirilmesi ile değişik uygulamalar için önem kazanan özelliklerin kazanılması mümkündür. Bu özellikler [59];

- Yüksek yüzey sertliği, aşınma direnci,
- Tokluk, esneklik, darbe direnci,
- Korozyon direnci,
- Geliştirilmiş ısı ve elektrik özellikler,
- Görünüm,
- Maliyet.

Tabaka yapılı metalik kompozitler endüstride değişik uygulamalarda kullanılabilir. Örneğin kimya endüstrisinde basınç altında çalışan tanklarda mükemmel bir korozyon ve erozyon direncine sahip olan titanyum kullanılır. Aynı amaçla, çelik üzerine titanyum kaplı malzeme kullanıldığında maliyet düşürülebilir. Reaktiflerde temas eden iç yüzeydeki titanyum tabakası korozyon direncini sağlarken, çelikten yapılan dış tabaka malzemeye gerekli mukavemet kazandırır. Tabaka yapılı metal kompozitlerde diğer bir örnek zırhlı plakalardır. Bu tür malzemelere de çok yüksek sertlikteki bir çelik levha ile bundan daha tok, sünek ve yumuşak çelik arasında metalurjik bir bağ oluşturulmuştur. Zırhın ön yüzeyindeki sert çelik, mermilerin malzemeyi delip geçmesini önlerken arkadaki tok tabaka öndekine destek olur ve merminin çarpması sonucu meydana gelen darbe enerjisini absorbe eder.

2.1.4. Polimer Matriksli Kompozitler

Polimerler, metal ve seramik malzemelere göre oldukça kompleks kimyasal bileşime sahip malzemelerdir. Matriks olarak kullanıldıklarında polimerler, ucuz ve kolay çalışılabilir malzemelerdir, ama düşük modüle ve düşük kullanım sıcaklığına sahip olduklarından kullanım yerleri sınırlıdır [59].

Termoset ve termoplastik olarak iki gruba ayrılan polimer matriksler genelde sürekli fiberlerle kullanılırlar. En çok kullanılan Matriks malzemesi epoksi reçineler, polyamidler (naylonlar), ve polyesterlerdir. Takviye malzemesi olarak cam, karbon ve organik fiberler tercih edilir, ayrıca polimer matriksli kompozitler havacılık alanında geniş bir kullanıma sahiptirler. F-14 ve F-15 uçaklarında dengeleyici olarak bor-epoksi, F-16 ve F/A-18 uçaklarında kanat yüzeyleri, hız frenleri ve kontrol yüzeylerinde karbon epoksi kompozitler kullanılmaktadır [59].

Polimer matriksli kompozitlerde çalışırken göz önüne alınması gereken en önemli

faktörlerden ikisi sıcaklık ve nemdir. Özellikle bu iki faktörün beraber etkin olduğu şartlarda polimer matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerinde, hidrotermal etkilerden dolayı düşüşler meydana gelmektedir.

Bir çok uygulamada tercih edilmelerinin başlıca nedenleri şunlardır:

- Oldukça düşük yoğunluğa sahiptirler.
- Kitle üretim teknikleri kolay, hızlı ve ekonomik olarak üretilebilirler.
- Atmosferik koşullara ve bir çok kimyasala dirençlidirler.
- Moleküler yapıları değiştirilerek ve katkı maddeleri kullanılarak niteliklerinin geliştirilmesi mümkündür.
- Çeşitli renklerde üretilebilirler, dekoratiftirler.

Polimer matrisli kompozitlerde kullanılan pekiştiricilerden en yaygın olanları cam, karbon, grafit, kevlar, asbest, mika, SiC ve Al_2O_3 fiberleri ile diğer bazı katkı malzemeleridir.

Cam esaslı pekiştiriciler polimer esaslı kompozitlerde en çok kullanılan malzemelerdir. Bu tür kompozitlerin yaklaşık % 90'ında cam fiberler kullanılmaktadır. Elektrik camı olarak da bilinen E- camının elektrik ve ısı direnci oldukça yüksektir. Sürekli flamalar halinde standart tekstil camı olarak kullanılır. C-camı yüksek korozyon direnci istenen uygulamalarda kullanılan ve asitlere karşı dayanıklı bir cam türüdür. S-camının çekme mukavemeti elastiklik modülü yüksektir ve bu özelliklerini yüksek sıcaklıklarda da koruyabilir.

Aramid veya ticari adıyla kevlar fiberleri; karbon, hidrojen, oksijen ve azottan oluşan aromatik bir organik bileşiktir. Uzun zincirli poliamid (nylon) plastiklerinden çekme işlemleriyle üretilirler. Diğer organik esaslı fiberlere göre çekme mukavemeti ve modülleri oldukça yüksektir. Yoğunlukları ve üretim maliyetleri düşük, spesifik mukavemet ve modülleri yüksek pekiştiricilerdir. Kompozit malzeme teknolojisinde Kevlar 29 ve Kevlar 49 türü aramid fiberleri olarak adlandırılıp kullanılmaktadırlar.

Asbest fiberler bir grup silikat minerallerinin adıdır. Krizotil ($3MgO, 2SiO_2, 2H_2O$), amosit ($5.5FeO, 1.5MgO, 8SiO_2, H_2O$), tremolit ($2CaO, 5MgO, 8SiO_2, H_2O$), antofillit ($7MgO, 8SiO_2, H_2O$), aktinolit ($2CaO, 4MgO, FeO, 8SiO_2, H_2O$), krosidolit ($Na_2O, Fe_2O_3, 3FeO, 8SiO_2, H_2O$) bu grubun önemli üyelerindendir. Parantez içerisinde verilen temel bileşenlerin yanı sıra diğer bazı oksitleri de değişik oranda içerirler.

Asbest fiberler kristalin yapıları, çap ve boyları yönünden cam fiberlerden farklılık gösterirler. Cam esaslı pekiştiricilerin amorf yapıda olmasına karşılık asbest fiberleri kristalin yapıdadırlar. Bu nedenle rijitlikleri daha yüksektir. Asbest minerallerinden elde edilen pekiştiricilerin uzunlukları sınırlıdır ve süreksiz fiber karakterindedirler.

Karışık fiberler (hibritler), termoset ve termoplastik reçinelerinin pekiştirilmesinde

kullanılan grafit, bor, kevlar veya cam fiberlerinin kombinasyonlarından oluşan pekiştiricilerin birlikte kullanılması ile elde edilirler. Pekiştirici bileşenlerin faydalı özelliklerinin birlikte kazanılması kompozit malzeme özelliklerinin çok daha dengeli olmasını sağlar [62].

Plastiklerin pekiştirilmesinde cam, karbon, bor, kevlar fiberleri ve bunlardan elde edilen çeşitli tekstil ürünlerinin yanı sıra, daha az oranlarda olmak üzere talk, bazı oksitler, karbonatlar, silikatlar ve metal gibi inorganik malzemelerle polipropilen, akrilonitril, poliester, keten gibi organik esaslı pekiştiriciler veya dolgu malzemeleri kullanılır [63].

2.1.5. Seramik Matriksli Kompozitler

Seramik malzemeler çok sert, kırılgan ve düşük yoğunluğa sahiptirler. Yüksek sıcaklıklarda bile yüksek elastik özellikler gösterirler ama kimyasal olarak inerttirler. Ayrıca termal şok direnci ve tokluğu düşük olan malzemelerdir. Dolayısı ile kullanım sırasında ani zorlanmalara karşı kolay hasar sergilediklerinden, kullanım yerleri sınırlıdır. Seramik malzemelerin, seramik fiberlerle takviye edilmesi durumunda, mukavemet yükselmekte ve tokluklarında monolitik seramiklere göre 20 kat kadar arttırılabilmektedir. Alumina ve Zirkon esaslı seramik kompozitler üzerinde son yıllarda çalışmalar, bu malzemenin sadece roket başlığı, uzay araçları gibi uygulamaların yanı sıra insan vücudunda da kullanılmaya başlanmıştır. Seramik matriksli kompozitlerde proses parametreleri ile oynanarak mikro çatlaklar oluşturulur. Oluşturulan bu mikro çatlaklarla gerilme konsantrasyonlarının yoğunlaşması engellenir ve böylece gerilmeler absorbe edilir.

Kompozit malzemelerde seramik kullanılmasının amacı, seramiklerin yüksek sıcaklık ve korozyon dayanımından yararlanmak ve bu arada malzemenin tokluğunu artırmaktır. Seramik matriksli karma malzemelerde kullanılan elyaf çatlak ilerlemesini durdurarak veya geciktirerek tokluğu artırır[64].

Bu kompozit malzemelerde en çok kullanılan bileşimler (elyaf/matriks olarak) SiC/cam, SiC/Si₃N₄, karbon/SiC'dir. Malzemelerin başlıca kullanım yerleri; roket ekzos çıkışları C/SiC ve SiC/SiC kompozit malzeme, turbojet motorlarında ekzos çıkışları C/SiC kompozit malzeme, uzaya fırlatılan uydularda karbon/cam boru ve tüplerdir[64].

Yüksek sıcaklıklığa dayanıklılık, kimyasal kararlılığın yüksek olması, çok sert olmaları, metallere hafif olmaları (%40 mertebesine varan), hammadde olarak bol miktarda bulunması ve genellikle metallere kıyasla ucuz olması, pahalı ve stratejik malzemelere ihtiyaç göstermemesi, erozyon ve aşınmaya karşı dayanıklı olması, oksitlenmeye karşı dirençlerinin yüksek olması, sürtünme katsayısının düşük olması, basma dayanımının yüksek olması, düşük

yoğunluk ve yüksek elastisite modülüne sahip olmaları seramik matriksli kompozit malzemelerin geniş kullanım alanına neden olmaktadır[65].

2.2. Metal Matriksli Kompozitler

Partikül takviyeli MMK malzemeler yüksek elastik modül ve mukavemet, yüksek aşınma direnci, üretiminin diğer takviye türlerine göre kolay, çok çeşitli ve düşük maliyetli olarak yapılması sonucu bu konu üzerinde yapılan çalışmalar önemli hale gelmiştir. Özellikle 1960 yıllarından itibaren nikel kaplı grafitler argon gazı ile matriks içerisine başarılı bir şekilde enjekte edilmesi ile konu geliştirilmeye değer kazanmıştır.1968'de Hindistan Teknoloji Enstitüsü vorteks metodunu ilk defa kullanmış ve Al-Al₂O₃ kompozitini dökmüştür. Bu çalışmalardan sonra Rooke Üniversitesi'nde yapılan çalışmalarda, sıvı-katı aralığında yarı katı malzemeye partikül ilavesi üzerine çalışmalar yapılmıştır.

Matriks metali olarak kesin bir ayırım yapmak, mümkün olmamakla birlikte, kullanılacak takviye elamanına uygunluğu ve üretim yönteminden gelen kısıtlamalar, matriks malzemesi olarak bazı malzemeleri öne çıkartmıştır. Alüminyum, Bakır, Magnezyum, Titanyum gibi değişik özelliklerdeki malzemeler saf olarak kullanıldığı gibi yaygın olarak alaşımları ile birlikte kullanılmaktadır. Ayrıca takviye malzemesi ile matriks malzemesinin uygunluğu, matriks malzemesinin ıslatması,oluşan reaksiyonlar sonucu meydana gelen ara yüzeyin mekanik özellikleri, seçim yapılırken ne kadar hassas olunması gerektiği konusunda temel fikri vermektedir.

Matriks-takviye ara yüzeyinde, ıslatabilirlik kavramı önem kazanmaktadır. Islatmanın meydana gelebilmesi için ara yüzey bağ mukavemetinin sıvının yüzey gerilimine galip gelmesi gerekmektedir.

Ara yüzey bağ mukavemetini dolaysı ile sıvı katı ara yüzeyinde ıslanmayı etkileyen temel faktör partikül dağılımıdır. Ara yüzeyde partikül dağılımının homojen olması için partikül boyutunun, sıvının viskozitesinin ve katılma hızının yüksek olması gerekir.

Düşük yoğunluk ve iyi süneklik davranışının yanı sıra takviye elemanları ile güçlendirilmesi sonucunda rijitlik, dayanım, yorulma ve aşınma direncindeki artışlar alüminyum matriksli kompozit malzemelerin kullanımını cazip hale getirmiştir.

En az iki bileşenin mevcut olduğu metal matriksli kompozitlerde genelde matriks metaldir, fakat saf metal nadiren matriks olarak kullanılır. Genellikle bir alaşımdır ve ikinci bileşen bir takviyedir. Kompozitin üretiminde, matriks ve takviye aralıksız karıştırılırlar. Bu, iki veya daha fazla fazlı alaşımlardan kompozit farklıdır. Kompozit malzemeler üretilirken, ikinci

fazlar ötektik veya ötektoit reaksiyonlarla makro parçacık olarak şekillendirilir. Diğer bir deyişle, bir kompozitte başlangıçta metal matriks ve takviye gibi iki ayrı bileşen mevcuttur [61].

Metalsel malzemelerin yüksek ergime sıcaklıkları, polimer sistemlerine göre çok daha yüksek sıcaklıklarda üretim ve şekil verme yöntemlerinin kullanılmasını zorunlu hale getireceğinden, metal matriks kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin düşünmesine neden olan fiber matriks reaksiyonları görülebilir. Metal matriks kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan grafit, bor, silisyum karbür, alumina gibi refrakter karakterli, yüksek mekanik özellik kazandırabilen takviye elemanlarının üretimi ileri teknoloji gerektiren pahalı yöntemlerdir. Ayrıca sıvı halde üretim yönteminde, erimiş metalin takviye elemanlarını ıslatmaması, matriks metalin oksidasyonu, homojen bir yapının elde edilememesi dökümde akıcılığın sağlanamaması gibi zorluklar bu malzemelerin üretiminde görülebilecek engeller olarak bilinmeli ve bu yönde gerekli önlemler alınmalıdır [59, 66].

Metal matriks kompozit malzemelerin yüksek dayanımı, elastik modülü, tokluk ve darbe dayanımı, sertlik ve aşınma direnci, ısı dayanımı gibi, mekanik ve fiziksel özelliklerinin istenilen düzeyde olması metal matrikslerin özellikleri ile ilgili olduğu kadar takviye malzemelerinin yapısına, dağılımına, boyutlarına ve karışım oranlarına da bağlıdır. Uygun üretim yöntemleri, matriks ve takviye malzemeleri ile ilgili parametrelerin kontrollü kombinasyonu, yapıya bağlı olarak seçilen ısı işlem koşullarının değerlendirilmesi, metal matriks kompozit malzemelerin değişik özelliklerinde üretilmesine olanak sağlar. Ekonomik koşulların, yeterli bilgi iletişiminin sağlanması ve bitmiş malzemeler için uygulama alanlarının doğru seçilmesi bu malzemelerin yaygın olarak üretilmesini ve kullanılmasını artırabilir [59, 66].

2.3. MMK Malzemelerin Uygulama Alanları

MMK malzemelerin üretimindeki zorluklara rağmen, bu malzemelerin klasik malzemelere olan üstünlükleri, endüstride geniş bir uygulama alanı bulmasına sebep olmuştur. Bu özellikler ve buna bağlı uygulama alanları aşağıda özet olarak verilmiştir.

2.3.1. Rijitlik

MMK malzemelerin, özgül rijitlik ve rijitliğin artırılması ile ilgili potansiyel oluşturması, bu malzemelerin kullanılmasını cazip hale getirir. Rijitlik bir çok mühendislik bileşeni için kritik tasarım parametresidir. Çünkü aşırı elastik sapmanın önlenmesi veya buna karşı direncin

artırılması oldukça zor bir olaydır. Dönen parçalar, destek parçaları gibi bir çok makine elemanlarının tasarımı için metalsel malzemeler, tokluk, yüksek dayanım, şekillendirilebilme, çeşitli imalat yöntemleri gibi özellikleri sağlarlar. Ancak bazı istisnalar dışında (örneğin Al-Li) küçük katkılarla ve mikro yapının kontrol edilmesiyle rijitliğin artırılması hedeflenemez. Uzun araçlarının bazı parçalarının yapımında, kırılma ve tokluk problemlerine rağmen berilyum gibi pahalı ve zor malzemelerin kullanılması gerekli olabilir.

Rijitliğin ön planda arandığı, transmisyon elemanları, hassas ölçü aletleri, bisiklet türü binek araçların gövdeleri, yat direkleri, sondaj tijleri MMK malzemelerin uygulama alanları için birer örnektir. Ekstrüzyon yöntemi ile Al-SiC_p üretilen 10 m uzunluğunda ve 45 cm çapında yelken direği, tek parçada imal edilebilmiştir. Uzun mekiklerinin Al-%60 bor fiber kompozit malzemeden imal edilen kargo bölümlerinin iskeleti, MMK malzemeler için kritik bir özgül rijitlik uygulaması olarak söylenebilir [66, 67].

2.3.2 Dayanım

Takviye elemanları ile malzeme dayanımının, buna bağlı olarak akma sınırının, yorulma dayanımının yükseltilmesi bir çok tasarımda gerekli bir faktördür. Ancak bu mekanik özelliklerin iyileştirilmesi çoğu zaman kırılma tokluğunun azalmasına neden olur. Genelde, MMK malzemeler yüksek dayanım (en azından oda sıcaklığında) özelliklerinden dolayı çok az uygulama alanı bulurlar. Bununla birlikte, uçakların iniş takımlarında yüksek dayanımlı, düşük tekrarlı yorulma direncine sahip alaşımlara (Ti-6Al-4V) alternatif olarak MMK malzemelerin kullanılması daha uygun olabilir [66, 67, 68].

2.3.3 Sürünme Direnci

Özellikle sürekli fiberlerden imal edilen MMK malzemeler sürünme direncinin etkin olarak artırılması konusunda potansiyel oluşturmaktadır. Bu potansiyele bir örnek gaz türbinlerinin jet motorlarıdır. Burada amaç nikel bazlı rotor bıçaklarının ve arka disklerin (sıcak alanlardaki) daha hafif malzemelerden imal edilmesidir. Titanyum bu iş için en iyi aday malzemeler arasında bulunmasına rağmen, sürünme direncinin zayıf olması engel teşkil etmektedir. Titanyum matriksin sürekli seramik fiber takviyesi ile, sürünme dirençleri ve rijitlikleri artırılarak MMK malzemelerin kullanımları cazip hale getirilebilecektir [59, 66].

2.3.4. Aşınma Direnci

MMK malzemelerin uygulama amaçlarına uygun, aşınma hızının en az on kat azaltılabilmesi için, değişik aşınma şartlarına bağlı olarak çeşitli takviye malzemeleri kullanılır. Ayrıca maliyetlerin düşürülmesi, yeterli ısı iletkenliğinin sağlanması amacı ile sadece aşınan veya aşınma riski olan yüzeylere takviye uygulanabilir. Genelde aşınma direnci gereksinimi, tokluk, rijitlik, ısıya dayanıklılık ve iyi ısı iletimi gibi diğer özelliklerle birleştirilerek uygulanır [59, 66].

2.3.5. Yoğunluk

Yoğunluk, MMK malzemelerin uygulama alanları için cazip bir özelliktir. Bazı uygulamalarda takviye malzemesinin yapısına bağlı olarak yoğunluk artabilir ancak bu artış, dayanım ve rijitliğin artması ile dengelenir. Diğer bir çok uygulamada MMK malzemenin yoğunluğunun belirgin olarak düştüğü gözlemlenebilir. Dayanım, rijitlik gibi bir çok mekanik özelliklerden taviz vermeksizin daha hafif kompozit malzemelerin üretimi mümkündür. Örneğin gaz türbinlerinde nikel süper alaşımı yerine seramik takviyeli nikel matrisli kompozit malzemelerin kullanılması ağırlık yönünden avantaj sağlar, ancak yüksek sıcaklıklarda ara yüzey reaksiyonlarını önlemek oldukça problem arz edebilir [59, 66].

2.3.6. Isıl Genleşme

Seramiklerin düşük ısı genleşme özelliklerinden yararlanılarak, değişik ısı genleşme katsayısına ve özelliğine sahip kompozit malzemelerin üretimi mümkün olur. Bu özelliklerden yararlanılarak değişik oranlarda kullanılan seramik takviye malzemeleri ile üretilen MMK malzemeler, mikro elektronik parça imalatında, hassas ölçme cihazlarında, ve düşük ısı genleşme özelliği aranan cihaz parçalarının imalinde kullanılırlar [81]. Uydu anten direkleri, dalga kılavuzu, gibi eksensel rijitliğin önemli olduğu yerlerde çok düşük ısı genleşme katsayılı (sıfıra yakın) MMK malzemeler (Al-C_r) başarıyla kullanılmaktadır [66].

2.3.7. Diğer faktörler

MMK malzemelerin uygulama alanları bu malzemelerin sağladığı mekanik özelliklere bağlıdır. Ancak ticari uygulamalar için seri üretim olanakları ve üretim maliyetleri de çok

önemlidir. Uzay araştırmaları, hava taşımacılığı gibi büyük projelerde bu malzemelerin üretim maliyetleri çok önemli olmayabilir, ancak günlük kullanım araçlarında, bu malzemelerin üretimi için, fizibilitelerin sağlıklı olarak yapılması önemlidir. MMK malzemelerin potansiyel uygulama alanları Tablo 2.1’de verilmiştir [59, 81].

Tablo 2.1. MMK Malzemelerin potansiyel uygulama alanları [59, 66, 69].

MATRİK	TAKVİYE ELEMANI	ARANAN ÖZELLİKLER	UYGULAMA ALANLARI
Al Alaşımları	Grafit %60 C (f)	Rijitlik, dayanım, düşük yoğunluk Eksensel rijitlik, düşük yoğunluk, çok düşük eksensel ısı genleşme	Uydu, güdümlü mermi, helikopter parçaları, Uzay teleskopu dalga kılavuzu ve yapısal destek parçaları
	Bor	Rijitlik, yorulma dayanımı, Aşınma direnci	Kompresör kanatları, yapısal destekler
	Alumina %5 Al ₂ O ₃ (w) %20 Al ₂ O ₃ (p) %12 Al ₂ O ₃ + %9 C	Düşük ısı genleşme, rijitlik yüksek ısı iletkenliği Aşınma direnci, sıcak çalışma dayanımı, iyi ısı iletkenliği Yüksek rijitlik, düşük yoğunluk, tokluk Aşınma direnci, düşük yoğunluk,	Fizyon güç reaktörlerinde süper iletken durdurucular Dizel motor pistonları Kardan mili, şaft Motor silindir blokları
	Silisyum Karbür %20 SiC (p) %20 SiC (p)	Sürünme dayanımı, Aşınma direnci, düşük yoğunluk, iyi ısı iletimi Yüksek rijitlik, yorulma, düşük yoğunluk	Yüksek sıcaklık motor parçaları Fren rotor diskleri Bisiklet kasaları
Mg Al.	Bor	Eksensel rijitlik, düşük yoğunluk,	Anten yapıları
	Grafit	Düşük yoğunluk, rijitlik, düşük ısı genleşme	Uydu parçaları
	Alumina	Rijitlik, yorulma dayanımı, düşük yoğunluk	Helikopter transmisyon parçaları
Ti Alaşımları	Bor	Yüksek sıcaklık dayanımı, kırılma tokluğu	Jet motoru fan kanatları
	Silisyum kaplı bor	Rijitlik, sürünme dayanımı	Yüksek sıcaklık yapı elemanları
	%40 SiC (f)	Dayanım, yüksek sıcaklık performansı, rijitlik, düşük yoğunluk,	Uçak motor parçaları
Süper Alş.	Molibden, tungsten	Dayanım, yüksek sıcaklık performansı, rijitlik, düşük yoğunluk, sürünme dayanımı	Yüksek sıcaklık, motor parçaları

2.4. Metal Matriks Kompozitlerde Kullanılan Takviyeler ve Türleri

Metal matriksli kompozitlerde bileşenlerin kimyasal uygunluğu kritik bir öneme sahiptir. Bazı kompozitlerde iki faz üretim sıcaklığında termodinamik olarak dengelidir. Denge koşulları altında yönlü katılaştırılmış ötektik kompozitler bunlara örnek olarak gösterilebilir. Diğer kompozit sistemlerinde kimyasal uygunluk, bileşenler arasındaki kimyasal reaksiyonlar, ara yüzeyde difüzyon bağlarının oluşumu ve ergimiş matriksin katkıları ıslatma özelliği ile ilgilidir. Bazı metalik sistemlerde yüksek sıcaklıklarda bileşenler arasındaki reaksiyonla, özellikleri olumsuz şekilde etkileyen ara bileşikler oluşur. Bu tür reaksiyonlar bileşenlerin reaksiyon serbest enerjileri arasındaki farka bağlıdır. Bu farkın büyük olması sadece üretim aşamasında değil, aynı zamanda yüksek sıcaklıklarda kullanım sırasında da ara bileşiklerin oluşması açısından önemlidir.

Üretim ve yüksek sıcaklıklarda kullanım sırasında birbiri ile reaksiyona girmeyen, özellikleri düşüren ara yüzey reaksiyonları göstermeyen ve kuvvetli ara yüzey bağları oluşturan yapı bileşenlerin kimyasal uygunluk özelliğine sahip olduğu kabul edilir [61].

Takviyeler sürekli ve süreksiz olmak üzere iki ana gruba ayrılır. En çok kullanılan süreksiz takviyeler hem partikül hem de whisker şeklindeki TiB_2 , SiC ve Al_2O_3 'tir. Sürekli takviyelerin çoğu metal değildir. Bununla birlikte, sürekli metal filamentler de kullanılır. En belirgin olan W'dır, fakat paslanmaz çelik de takviye gibi kullanılmaktadır [61].

Üretimi planlanan kompozit malzemelerde kullanılacak takviye elemanlarında aranan özellikler, doğal olarak hedef malzemedeki beklentilere paralel olarak farklılıklar gösterecektir. Bazı malzemelerde mekanik özellikler öncelikle aranırken, başka bir malzemede fiziksel özellikler ve üretim maliyetleri ön plana çıkabilecektir. Dolayısıyla bu değişkenler çok iyi analiz edildiği takdirde, hedef malzemeye ulaşma ve üretimde başarılı olma şansı daha da artabilecektir. Genel olarak takviye elemanlarında aranan ortak özellikler aşağıda belirtilmiştir [67].

- i) **Isıl direnç ve kararlılık;** işletme şartlarına bağlı olarak, fonksiyonel parçaların herhangi bir nedenle oluşan ısı hareketlerine karşı direnç gösterebilmesi için, yüksek sıcaklıklardaki karakteristiklerinin iyi ve kararlı olması çok önemlidir.
- ii) **Kimyasal uygunluk;** takviye elemanının matriks ile kimyasal bir reaksiyona girmemesi ve ara yüzey bağının iyi teşekkül etmesi gerekir.
- iii) **Yoğunluk;** ağırlığın önemli olduğu uygulama alanları için (uzay araçları ve hava taşımacılığı), spesifik mukavemet, spesifik modülün yüksek olması istenilen projelerde düşük yoğunluklu ve yüksek mekanik özelliklere sahip takviye elemanları tercih edilir.

- iv) **Üretim kolaylığı;** yüksek miktarlarda yapılan üretimlerde, parça maliyetini doğrudan ilgilendiren durumlarda bu önemli bir faktördür. Ancak büyük bir projede imal edilecek az miktardaki parçalar için kabul edilebilir sınırlar içerisinde, üretimin yavaş olması, zor olması veya yüksek maliyetli olması bütün proje kapsamı içerisinde bir engel olarak görülmeyebilir.

Takviye elemanları yapılarına göre, oksit seramikler ve oksit olmayan (karbürler, nitrürler) seramik olarak iki başlık altında [70], şekillerine göre, partiküller, süreksiz fiberler ve whiskerler olarak üç başlık altında verilmiştir [67].

Kullanılan takviye malzemeleri, sürekli veya kırılmış elyaf, kılcal kristaller (whisker), pul veya parçacık biçiminde olabilir. Takviye malzemeleri olarak metaller (bor), karbürler (SiC, B₄C), nitrürler (Si₃N₄, AlN), oksitler (Al₂O₃, SiO₂) ile bazı elementler (C) kullanılabilir. Bunlar arasında en yaygın olarak kullanılanlar, bor elyaf, grafit elyaf, SiC ve Al₂O₃ takviyeleridir. En uygun takviyenin türü ve biçiminin seçiminde bir çok faktörün dikkate alınması gereklidir. Bu faktörler arasında metal matriks kompozitlerden istenen özellikler (yüksek dayanım, yüksek rijitlik, ısı iletkenlik, ısı genleşme), üretim yöntemine uygunluk (matriksin sıvı veya katı halde olması üretim yönteminin gerçekleştirildiği sıcaklık, matriks ile ara yer reaksiyonları) ve ekonomiklik en önemlileridir.

2.4.1. Yapılarına Göre Sınıflandırma

2.4.1.1. Oksit Seramikler

Yüksek sıcaklık performansları iyi olan metal ve metaloid elementlerin oksijenle oluşturdukları bileşikler olarak tanımlanabilir. Yüksek elastiklik modülü ve sertlik, buna bağlı olarak gevreklik, düşük ısı genleşme, korozyon direnci ve iyi refrakter özellikleri seramik oksitlerin belirgin karakteristikleridir. Ancak malzemenin çeşitli ortamlarda, yüksek sıcaklık, oksidasyon, hidrasyon, buharlaşmaya ve redüklemeye direnç gösterme kararlılığı üretim miktarlarını kısıtlar ve maliyetleri artırır. Bazı mühendislik uygulamalarda, torya ve berilya gibi sınırlı imkanlarla üretilen bazı oksitlerin üstün özellikleri nedeniyle kullanılması kaçınılmaz olabilir. Bu özel durumların dışında silis, alümina, magnezya, kalsiya, mullit gibi kompleks oksitler doğada bol miktarda bulunmaktadır.

Seramik oksitleri, sadece bir metal/metaloid içeren tek oksit seramikler, iki ve daha fazla metal/metaloid içeren karmaşık oksit seramikler olarak sınıflandırmak da mümkündür. Ergime

noktası 1728 °C'nin üzerinde, basit oksit oluşturan 24 element ve ergime noktası bu sıcaklığın üzerinde bir çok karmaşık oksit mevcuttur [70].

- i) **Alumina (Al_2O_3)**; ticari üretimi ve sanayide kullanımı son yarım asırda büyük bir gelişme göstermiştir. Özellikle yüksek sıcaklık fırınlarında, kesici takım, yatak malzemesi, elektronik endüstrisinde, hava taşıtları imalatında yaygın olarak kullanılmaktadır. Vasat sıcaklıklarda kimyasal maddelere ve mekanik zorlamalara karşı en dayanıklı refrakter malzemelerden biri olan alüminanın ergime sıcaklığı 2000 °C (± 30 °C)'dir. Kullanımındaki sınırlama nispeten düşük ergime noktasından kaynaklanmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda flor gazı dışındaki bütün gazlara direnç gösterir, oksitleyici ve redükleyici atmosferde 1900 °C'ye kadar kullanılabilir. Saf alümina düşük sıcaklıklarda birkaç formda bulunur, ancak ortam şartları, zaman gibi değişkenlere bağlı olarak 750-1200 °C arasında α -alüminaya dönüşür [70].
- ii) **Magnezya (MgO)**; refrakter oksitlerin içinde en bol bulunan MgO'in ergime sıcaklığı 2800 °C'dir. Oksitleyici atmosferde, alüminadan daha yüksek sıcaklıklarda kullanılabilir. Ortama bağlı olarak yüksek sıcaklıklarda redüklenir ve 2400 °C sıcaklıkta buharlaşır.[70]
- iii) **Zirkon (ZrO_2 , SiO_2)**; alüminyum gibi bazı ergimiş metaller tarafından ısıtılması güç olduğundan özellikle karıştırmalı döküm yöntemi ile kompozit üretimi oldukça problemlidir. 2420 °C'de ergiyen zirkon, ısıtma direnci nedeniyle alüminyum, platin, nikel ve paslanmaz çeliğin ergitilmesinde, geniş çapta kullanılmaktadır. Isıl genleşmesi çok düşük olduğu için, termal şok direnci fazladır[70].

Metal matriks kompozitlerin kullanılmasıyla, özelliklerinden fedakarlık etmeden %50'ye varan ağırlık tasarrufları sağlanabilmektedir. Ancak bu malzemelerin kullanımının hızla yaygınlaşmasını engelleyen en önemli faktör maliyetleridir. Buna rağmen son 20 yıl içinde, yüksek dayanım ve hafifliğin ön planda olduğu, fiyatın ise ikincil önemde kaldığı uygulamalarda metal matriks kompozitler de hızlı bir gelişim göstermiştir. Bir çok uygulamada ise metal matriks kompozit kullanımı ile sağlanan diğer avantajlar, bu malzemelerin yüksek maliyetlerini karşılamaktadır. Özellikle yüksek hızlı makinelerde hem dayanım ve rijitliğin yüksek, hem de ağırlığın düşük olması önemli avantajlar sağlar. Ayrıca tüm metal matriks kompozitleri pahalı olduğunu söylemekte doğru değildir. Özellikle parçacık veya süreksiz elyaf takviyeli malzemeler diğer metal malzemelerle rekabet edebilir düzeydedir ve ileri ülkelerde standart mühendislik malzemeleri arasına girmişlerdir. Günümüzde maliyetleri kabul edilebilir düzeye indirecek imalat yöntemleri üzerinde yoğun bir şekilde çalışılmaktadır. Bu tür malzemeleri, havacılık ve uzay sanayi için üreten firmalar, araştırma -geliştirme faaliyetlerini

devlet desteğiyle yürütmektedirler. Otomotiv sanayi de önemli bir diğer pazardır. Maliyetler halen çok yüksektir ancak muhtemel ürünler arasında; pistonlar, biyeller, transmisyon kutuları, dişli ve kavrama parçaları ve diferansiyel kutuları sıralanabilir. Havacılık/uzay ve otomotiv uygulamaları dışında metal matriks kompozitler tıp ve spor alanında da ilgi çekmektedir.

2.4.1.2. Oksit Olmayan Seramikler

- i) **Bor karbür (B_4C)**; yüksek sertlik, ergime sıcaklığı, düşük yoğunluk, kimyasal maddelere karşı yüksek direnç ve üstün mekanik özellikleri ile kompozit malzemeler için önemli bir takviye elemanıdır. Dünyadaki bor karbür rezervlerinin % 70'i ülkemizde yer almaktadır. Özellikle nükleer reaktörlerde, hafif zırh üretiminde ve yüksek işletme şartlarında yaygın olarak kullanılırlar[70]
- ii) **Silisyum Nitrür (Si_3N_4)**; dayanım, aşınma direnci ve ısıl şok dayanımının iyi olması nedeniyle, gaz türbinlerinde, kesici takımlarda, şalome başlıklarının imalatında yaygın olarak kullanılırlar. Silisyum ile azotun 1200 °C sıcaklıkta doğrudan reaksiyonu ile üretilir [70].
- iii) **Grafit**; karbonun değişik bir formu olan grafit, karbon içeren malzeme olarak da kabul edilmektedir. Yüksek sıcaklık dayanımı, düşük yoğunluk, yüksek buharlaşma sıcaklığı ve ısıl şoklara karşı dirençli olması gibi üstün özellikleri nedeniyle ileri teknoloji malzemelerinin (kompozit) üretiminde çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak yapı özelliklerindeki heterojenlik, oksidasyon direncinin düşük ve kırılgan olması uygulama alanları için kısıtlayıcı faktörlerdir[70].
- iv) **Bor elyaf**: bor elyaf, volfram filament üzerine kimyasal çökeltme yöntemiyle üretilir. 150-200µm kalınlığında elyafın elde edildiği bu yöntem yavaş ve pahalı bir tekniktir. Pahalı olduğundan genellikle matrikslerde sürekli takviye olarak kullanılır[70].
- v) **Grafit elyaf**: grafit tek kristallerinde karbon atomları düzlemler içinde ve hekzagonal olarak düzenlenir. Düzlem içinde atamlar arasında güçlü kovalent bağlar vardır, düzlemler arasında ise zayıf van der waals kuvvetleri söz konusudur. Takviye olarak kullanılan elyafta bu düzlemler elyaf eksenine paralel hale getirilir. Değişik üretim teknikleri arasında en çok kullanılanı, poliakronitril (PAN) elyafından yola çıkarak değişik mekanik ve ısıl işlemlerin uygulanması ile bu elyafın karbon dışı elementlerinin çok azaltılması ve güçlü karbon bağlarının lif eksenine paralel hale getirilmesidir. Daha sonra yapılan bir grafitleme işlemi ise elyafın kristalleşme oranını ve dolayısıyla

elastiklik modülünü belirler. bunun dışında petrol yan ürünlerinde yola çıkarak elde edilen karbon takviyelerde vardır [70].

- vi) **Silisyum karbür (SiC):** silisyum karbür, elmasa benzer bir yapıya sahiptir düşük yoğunluğu, yüksek rijitlik ve dayanımı yanında, ısı kararlılığı da çok iyidir. Parçacık halinde kolaylıkla büyük miktarlarda ucuz olarak elde edilebilir. Elyaf olarak elde edilmesi daha zordur. İnce karbon veya volfram elyaf üzerinde kimyasal buhar çökeltme yöntemiyle, 100-150µm çapında sürekli elyaf olarak elde edilebilir. Ayrıca çoğu kez bir yüzey kaplamasıda uygulanır. Bunun dışında polikarbosilan elyaftan başlayarak karbon elyafa benzer şekilde bir çok kimyasal ve ısı işlemler uygulanarak 15µm çapında SiC elyaf üretilmektedir [70].

2.4.2 Şekillerine Göre Sınıflandırma

2.4.2.1 Partiküller

Partiküller, Alüminyum Metal Matriks kompozit malzemelerin üretiminde çok uygulama alanına sahip takviye elemanlarıdır. Mekanik özelliklerin iyileştirilmesi amacı ile değişik türde ve değişik yöntemlerle elde edilen, oksit, karbür, nitrür partiküllerden yararlanılır. Silisyum karbür, titanyum karbür, krom karbür, bor karbür gibi karbürlerin tipik özellikleri sertlik ve aşınma dayanımlarıdır. Alüminyum oksit, magnezyum oksit, toryum oksit gibi oksitler yüksek ısı kararlılık özellikleri ile karakterize edilirler. Çeşitli seramik partikül karakteristikleri Tablo 2.2(a)'da verilmiştir [67].

2.4.2.2 Süreksiz Fiberler

Özellikle küçük çaplı ve düzgün dağılımlı süreksiz fiberler (takviyeler) AMK malzemelerin mekanik özelliklerini artırıcı özellik gösterirler. Ancak değişik yönlere dağılmış karmaşık yapıya sahip fiber takviyeli AMK malzemeler özelliklerine uygun olarak uygulama alanı bulmuşlardır. Karbon, alümina, silika, silisyum karbür süreksiz fiber karakteristikleri Tablo 2.2 (b)'de verilmiştir[67].

2.4.2.3 Whiskerler

Whiskerler monokristalin, oldukça yüksek dayanımlı kısa fiberleridir. Bu yüksek dayanım, dislokasyon gibi kristal hatalar olmadığından, teorik dayanıma çok yakındır. Kaliteli

kristal yapısının (tane sınırı yok) sağladığı belirgin mekanik özellik artışı, whiskerlerin takviye malzemesi olarak kullanımına ilgiyi artırmıştır. Küçük çapları ve uygun boyutları ($l/d \approx 50-100$) yük transferine imkan sağladığı gibi dispersiyonla kuvvetlendirmeye bağlı takviye mekanizmasını oluşturur. Tablo 2.2 (c)'de çeşitli whisker takviyelere ait karakteristikler verilmiştir[59, 67].

Tablo 2.2 (a)Seramik partikül, (b) Seramik fiber, (c) Whisker karakteristikleri [67]

TİPİ	BİLEŞİMİ	BOYUT (μm)	YOĞUNLUK (g/cm^3)	ÇEKME DAYANIMI (GPa)	E (GPa)
(a) Partikül	Grafit	40-250	1.6-2.2	20	910
	SiC	15-340	3.2	3	480
	SiO ₂	53	2.3	4.7	70
	MgO	40	2.7-3.6		
	Si ₃ N ₄	46	3.2	3-6	360
	TiC	46	4.9	0	320
	BN	46	2.25	0.8	100-500
	ZrO ₂	75-180	5.65-6.15	0.14	210
	B ₄ C	40-340	2.5	6.5	480
	TiO ₂	20	3.9-4.3		
	Al ₂ O ₃	40-340	3.97	8	460
	Cam	30-120	2.55	3.5	110
(b) Fiber	Karbon T 300	2.5 (l) 7.8 (d)	1.75	3.45	230
	SiC Nicalon	1-6 (l) 10-15 (d)	2.55	3	195
	Al ₂ O ₃ FP	3-6 (l) 15-25 (d)	3.96	1.7	380
	Al ₂ O ₃ Saffil	0.1-1 (l) 1-5 (d)	3.3	2	300
(c) Whisker	SiC (Tokai)	50-200 (l) 0.1-1 (d)	3.2	3-14	400-700
	SiC (arco)	50 (l) 0.2-1 (d)	3.2	13	700
	Al ₂ O ₃	100 (l) 2 (d)	3.97	15	2275
		l (mm) fiber uzunluğu		d (μm) fiber çapı	

2.5. Metal Matriks

Metal matriks kompozitlerde çok yaygın olarak kullanılan matriks malzemesi düşük yoğunluklu iyi tokluk ve mekanik özelliklere sahip olan hafif metal ve alaşımlardır. Bu hafif metal alaşımları dayanım ve özgül ağırlık oranlarının iyi olması nedeniyle hafif yapı konstrüksiyonlarında tercih edilirler. Atmosfere karşı korozyon dayanımının da çok yüksek olması diğer karakteristik özelliklerden biridir. Genellikle Al, Ti, Mg, Cu, Zn, Ni, Co metalleri matriks malzemesi olarak seçilir[64], bu metaller içerisinde Al ve alaşımları, Ti ve Mg yaygın olarak kullanılır.

Kompozit malzemelerde iki veya daha fazla sayıda farklı fazlar bir araya geldiğinden, malzemeden beklenen özelliklerin gerçekleşebilmesi için fazlar arasında belirli bir fiziksel ve kimyasal uygunlukların mevcut olması gerekir. Fiziksel uygunlukların süneklik ve ısıl genleşme özellikleri ile ilgilidir. Kimyasal uygunluk ise, ara yüzey bağı ve ara yüzey reaksiyonları açısından önem taşır [59].

Matriks metali, önemli bir süreksizlik olmaksızın yapısal gerilmeleri pekiştirici faza iletebilmek için yeterli mukavemet ve sünekliliğe sahip olmalıdır. Çoğu uygulamalarda matriks sünekliliğinin yüksek olması istenir. Kompozit malzemeye plastik şekil verme tekniklerinin uygulanabilirliği ve kırılma tokluğunun artırılması matriksin plastiklik özelliğine bağlıdır [59].

Pekiştirici ve matriksin ısıl genleşme katsayıları arasındaki uyum, kalıcı yapısal gerilmelerin oluşması yönünden önemlidir. Isıl genleşme katsayıları arasındaki fark büyük olduğunda yüksek sıcaklıklarda şekillendirme sonrası büyük kalıcı ısıl gerilmeler oluşabilir. Matriks ve fiberin ısıl genleşme katsayıları α_m ve α_f şekillendirme sıcaklığı ile oda sıcaklığı arasındaki fark ΔT ise, oda sıcaklığında elastiklik modülü E_m olan matrikste meydana gelecek ısıl gerilme;

$$\sigma_m = (\alpha_m - \alpha_f) \cdot \Delta T \cdot E_m \quad (2.1)$$

Matriks metalinin yeterli bir sünekliliğe sahip olması, bu gerilmelerin aktive ettiği çatlak ilerlemesini durdurma açısından önemlidir [59].

Metal matriksli kompozitlerde bileşenlerin kimyasal uygunluğu kritik bir öneme sahiptir. Bazı kompozitlerde iki faz üretim sıcaklığında termodinamik olarak dengededir. Kompozit sistemlerde kimyasal uygunluk, bileşenler arasındaki kimyasal reaksiyonlar, ara yüzey difüzyon bağlarının oluşumu ve ergimiş matriksin pekiştiricileri ısılatma özelliği ile ilgilidir. Bazı metalik sistemlerde yüksek sıcaklıklarda bileşenler arasındaki reaksiyonlar, özellikleri olumsuz şekilde etkileyen ara bileşikler oluşur. Bu tür reaksiyonlar bileşenlerin reaksiyon serbest enerjileri arasındaki farka bağlıdır. Bu farkın büyük olması sadece üretim sırasında değil, aynı zamanda

yüksek sıcaklıklarda kullanım sırasında da ara bileşiklerin oluşması açısından önemlidir. Katı halde üretim tekniklerinin kullanımı sırasında difüzyon bağlarının oluşumu güçleşir ve ara yüzey özellikleri düşer. Diğer taraftan, bileşenleri ile kimyasal potansiyellerin çok farklı olması, difüzyonu aktive edecek ve kararsız bir ara yüzeyin oluşmasına neden olacaktır. Tane sınırı veya yüzey difüzyon sabitleriyle kontrol edilen ikincil difüzyonun etkisiyle kompozitin mekaniksel özelliklerinde düşme görülebilir. Örneğin tungsten fiberleri ile pekiştirilmiş nikel alaşımlarında nikelin, tungstenin tane sınırlarına difüzyonu sonucu tungsten telin yeniden kristalleşme sıcaklığını düşürür [59].

Ergimiş matriks metalin fiberler arasındaki filtrasyonu gibi sıvı halde üretim teknikleri seçildiğinde, ergimiş matriksin fiberleri ıslatma özelliği önem kazanır. Fiberlerin ıslanmaması ara yüzey bağlarının oluşumunu engellemesine ve boşlukların oluşmasına neden olur.

Üretim ve yüksek sıcaklıklarda kullanım sırasında birbiriyle reaksiyona girmeyen, özellikleri düşüren ara yüzey reaksiyonları göstermeyen ve kuvvetli ara yüzey bağları oluşturan yapı bileşenlerinin kimyasal uygunluk özelliğine sahip olduğu kabul edilir [59].

Matriks olarak tüm metaller kullanılabilir, ancak uygulamada genellikle hafif metaller tercih edilmektedir. Alüminyum, magnezyum ve titanyum özellikle uzay ve havacılık sanayinde en çok kullanılan metal matrikslerdir. Bu malzemeler, rijit ve yüksek dayanımlıdır. Ancak üretimleri güçtür ve her takviye malzemesi ile kullanılamazlar [72].

2.6. MMK Malzemelerde Üretim Yöntemleri

MMK malzemelerin üretimi için değişik yöntemler geliştirilmiş ve araştırmalar devam etmektedir. Genel olarak bu yöntemler, yapıyı oluşturan malzemelerin üretimi ve şekillendirme işlemleri olarak ayrılabilir. Bu nedenle her üretim tekniğinin bileşen yapısı, büyüklüğü ve buna bağlı içyapı özellikleri ile ilgili kendine özgü sınırlamaları vardır. Temelde üç grupta incelenebilir;

- Sıvı faz yöntemleri
- Katı faz döküm yöntemleri
- Reaksiyon (in-situ) yöntemleri

2.6.1. Sıvı Faz Üretim Yöntemleri

Sıvı faz üretim yöntemleri geleneksel döküm yöntemlerinin kompozit malzemeler üzerine uygulanması ile geliştirilen yöntemlerdir. Değişik yöntemlerin uygulandığı bu yöntemde

matriks, seramik takviye ile temas sağlandığında, kısmen veya tamamen eriyik durumdadır. Bu durum, matriks ile takviye malzemesi arasında iyi bir temas sağlandığından ara yüzey bağları kuvvetli olur, ancak sıcaklık basınç, temas süresi gibi değişkenlerin kontrol edilememesi halinde, ara yüzey reaksiyonları oluşabileceği için, kırılgan bir yapı ile karşılaşılabilir. Buna rağmen yöntemin, aşağıda verilen genel avantajlarından dolayı, ticari bakımdan daha uygun bir yöntem olmasına yol açmıştır.

MMK malzemelerin dökümü sırasında meydana gelen temel olaylar sıvı metalle seramik partikülün teması ve bağların oluşmasıdır. Bu olaylar seramik fazın sıvı metale karıştırılması ile ya da basınçlı dökümle başarılabılır. Seramik fazın bir çok metal tarafından düşük ıslatma kabiliyeti, döküm sırasında temel sorun oluşturur. Islatılabilirliğin suni olarak arttırılması ve ya yüzey enerjisinin dışardan uygulanacak kuvvetin yenilmesiyle aşılabılır.

- Basit ve ucuz olması
- Kompleks ve şekilli parçaların mekanik işlemeye tabi tutulmadan elde edilmesi
- Çeşitli metal matriks ve fiberler için uygun olması
- Sık ihtiyaç duyulan kompleks parçaların üretim kolaylığı.

2.6.1.1. Sıkıştırma Döküm Yöntemi

MMK malzemelerin üretilmesinde sıkıştırma döküm tekniğinin, pratik ve geleceği olan yöntemlerden birisi olduğu bildirilmektedir. Sıkıştırma döküm yöntemi, katılaşma sistemine genelde hidrolik pistonla basınç uygulanmasıdır. Eriyiğin yeteri derecede hızlı soğutulması sağlandığı takdirde ince taneli içyapı elde etme olasılığı artmakta ve sıvı metalin uygun süreksizlikte ve ortamlarda yapılması halinde, porozite çok düşük seviyelere indirilebilir. En önemli avantajlarından biri katılaşma sürecinde basıncın kesintisiz uygulanması ile dendrit büyüme düzenini bozarak tipik % 5 kendini çekme boşluğunu kompanse etmesidir.

Döküm tekniği açısından ve elde edilen ince taneli yapı nedeniyle bu yöntem kompozit malzeme üretimi için önemli potansiyel oluşturmaktadır. Sıkıştırma döküm yöntemi, bir metalin basınç altında takviye türünden ödün vermeden sıkıştırılması esasına dayanmaktadır. Bu işlemin ardından sıvı metal üzerine basınç uygulanmaktadır. Böylece yüksek bu basınç (70-100 Mpa) takviye malzemesi ile matriks arasında oluşan bağ mukavemetini arttırmaktadır. Oluşan bu yüksek mukavemetten dolayı da otomotiv, uçak ve yüksek mukavemet gerektiren yapılarda geniş kullanım alanları bulmaktadır.

Uygulanan basıncın, takviye ve matriks arasındaki sürtünme kuvvetlerini yenmesi gerekmektedir. Metal matriksler ve seramik takviyeler için bu basınç 70-100 MPa arasındadır.

Basıncın sürekli olması, ince taneli yapı elde edilmesi, iyi bir yüzey kalitesi ve düşük porozite avantajlarının olmasının yanı sıra parça boyutu sınırlayıcı bir faktördür. Diğer bir dezavantaj ise takviye malzemesin basınç esnasında kırılma ihtimalinin daha yüksek olmasıdır.

2.6.1.2. Karıştırma Döküm

Kompozit malzeme üretim yöntemleri içinde en kolay ve ucuz olan bir üretim yöntemidir. Takviye malzemesi olarak SiC, Al₂O₃, mika, cam, grafit, TiC ve MgO gibi fiber yada partikül şeklindeki güçlendiriciler kullanılır. Katı durumdaki güçlendiriciler eriyik haldeki metale katılarak karıştırılır ve katılaşana kadar beklenir. Ancak bu yöntemin en büyük dezavantajı takviyelerin yeterince iyi ısıtılmamamsı, arayüzey mukavetinin çok düşük seviyelerde olma ihtimali ve porozite miktarının fazla oluşu gibi kompozit malzemesi için çok önemli mekanik özelliklerin olumsuzluğudur. Bu yüzden bu yöntemle üretilen malzemeler ekstrüzyon ve haddeleme gibi son şekil verme işleminden geçirilmeli yada basınçlı döküm için hammadde olarak kullanılmaktadır[72].

2.6.1.3. Metal püskürtme

Bu yöntemde, takviyesiz metaller için geliştirilmiş püskürtme yöntemlerinde, püskürtülen metalin içine takviyeler enjekte edilmektedir. Alcan adlı bir firma, bu yöntemle 10 kg / dak hızla 200 kg'a varan ingotlar üretmektedir. Bu yöntemde tekrar bir ergitilme söz konusu değilse, matriks ile takviyelerin temas süreleri kısa olduğundan arayüzeyde genellikle reaksiyon oluşmaz ve değişik takviye/matriks çiftleri için kullanılabilir. Malzeme % 5 oranında gözenek içerdiğinden ikinci şekillendirme yapılması gereklidir. Püskürtme yöntemi toz metalurjisi tekniğinden daha ucuz, döküm tekniğinden daha pahalıdır. Bu yöntemin kullanılması ile matriks metalinin, takviye malzeme üzerine püskürtülmesi ile tabakalar halinde malzeme elde edilmesidir. Örneğin alüminyum matriks, silisyum karbür kaplı bor elyaf üzerine başarıyla püskürtülebilirler ve daha sonra, bu tabakalar sıcak presleme ile birleştirilebilirler[72].

2.6.1.4 İn-situ Kompozit Malzemeler

Metal alaşımlarının kontrollü yada yönlü katılaştırılması tekniğine dayanılarak geliştirilen bir yöntemdir. Belirli geometrik düzene sahip iç yapıların elde edilmesi, ötektiklerin normalde eş sıcaklıklarda katılaşarak iki fazlı yapı oluşturmaları prensibine dayanır. Ötektik

alaşımlar, yönlendirilmiş katılaşma ile fazın biri matriks daha sert ve gevrek olan diğeri ise levha veya çubuk biçimindeki takviye olmak üzere katılaştırılabilirler. Bu teknikle üretilen kompozitler mükemmel bir kimyasal ve ısı kararlılığına sahiptir. Bu kararlılık fazlar arasındaki ara yüzey enerjisinin minimum olmasından kaynaklandığı kabul edilmektedir [72].

İn-situ kompozitler özellikle türbin kanatçıkları gibi yüksek sıcaklıklarda çalışan parçalarda kullanılırlar. Yüksek sıcaklık malzemeleri olarak önceleri Fe, Ni veya Co esaslı Cr, Mo ve W gibi alaşım elementleri içeren süper alaşımlar kullanılmaktaydı. Ancak bu malzemelerde zamanla ikinci faz çökelp özellikler değiştiğinden parçaların kullanım sıcaklık ve süreleri sınırlı olmaktaydı. Ötektikleri yönlendirerek yapılan yeniden katılaştırmada ise, fazlar etkiyen gerilmeye paralel olarak katılaştırıldığından gerilmeye dik faz sınırları bulunmaz. İn-situ kompozitlerinin üstünlüğü tek bir işlemle elde edilmeleri, iç yapılarının arayüzey reaksiyonları sonucu ve takviye kusurları gibi mekanik özellikleri olumsuzlaştıran yapıların bulunmayışıdır [72].

2.6.2. Katı Faz Yöntemleri

Metal matriksi sıvılaştırmadan kompozit malzeme üretmek mümkündür. Aşağıda bu üretim tekniklerinden önemli olanlarından kısaca bahsedilmektedir.

2.6.2.1. Toz metalürjisi

Takviyelerin erimiş metal ile ısıtılmaları genellikle güç olduğundan ve bazı malzemeler için bu mümkün olmadığından kompozit malzeme üretiminde geliştirilen ilk katı hal üretim tekniğidir. Metal tozlarının takviye malzemesi ile birlikte karıştırılarak harmanlanması ile başlayan bu işlemde genellikle presleme yöntemiyle % 90 yoğunluğa varan bir ön biçim oluşturulur. Bu şekilde hazırlanan malzeme vakumlanır, yüksek sıcaklıkta sinterlenerek katı hal bağı hazırlanır. Daha sonra ekstrüzyon gibi bir yöntemle biçimlendirilerek gözenekler giderilir ve tozların yüzeyindeki oksit filmi kırılarak metal-metal teması arttırılır. Bu arada kümeleşmiş takviyeler daha homojen olarak dağıtılmış olur. Ancak bu şekillendirme esnasında elyaf takviyeler kırılabilir ve yönlenerak anizotropi oluşabilir. Kompozit malzeme üretiminde kullanılan toz metalürji tekniğinin özellikleri şunlardır[72]:

- Her türlü matriks alaşımı ve takviye türü için uygulanabilir.
- Katı hal yayınması sırasında ara yüzeydeki reaksiyonlar en alt düzeyde oluşur.
- Yüksek hacim oranlarında takviye katmak mümkündür.
- Yöntem çok sayıda işlem gerektirdiğinden pahalı bir uygulamadır (100 \$ /kg).

2.6.2.2 Folyoların Sıcak Presleme ile Birleştirilmesi

Bu yöntemde lifler; alüminyum, magnezyum ve titanyum gibi metal folyoların arasına yerleştirilerek, yüzeye püskürtülen ve daha sonra presleme sırasında yanarak uzaklaşan bir bağlayıcı ile konumlarından kaymamaları sağlanır. Bu şekilde hazırlanan kompozit malzeme istenilen boyutta kesilerek sıcak preslenir.

Bu yöntemde birleştirme bazen vakum ortamında yapılır. Paslanmaz çelik, bor ve silisyum karbür gibi elyaf, titanyum ve alüminyum gibi matriksle birlikte kullanılabilir. Gerekli yüzey işlemlerden sonra, lifler istenilen aralıklarda ve yönlerde metal sacların üzerinde düzenlenir. Tabakalar halinde hazırlanan bu malzemeler bir metal kaba yerleştirilir, sızdırmazlık sağlanır ve vakuma alınır. Sonra tümü ısıtılarak yayınma ile birleşmenin sağlanması için preslenir. Plazma püskürtme, sıcak haddeme ve buhar yoğunlaştırma ile elde edilmiş levha halindeki ön biçimler, ısı ve basınç altında yayınma ile birleştirilebilir [72].

2.6.2.3. Haddeme

Metal bantlar ve elyaf birlikte sürekli bant olarak haddelenir. Temas süresi kısa olmasına rağmen sıcaklık ve basınç etkisiyle yayınma bağı sağlanır. Daha sonra bu şekilde elde edilen tabakalar üst üste konularak malzemenin kalınlığı artırılabilir. Haddeme yönünde yüksek mukavemet değerlerine ulaşmak mümkündür.

2.6.2.4. Diğer Yöntemler

Buhar Fazından Çökeltme; Buhar fazına alınan matriks takviye ve malzeme üzerine çökertilir. Alçak sıcaklıkta yapılması önemli bir avantajdır. Yüksek elyaf yoğunluğu elde edilebilir, ama bir yöntemdir. Örneğin; titanyum için kullanılır ve sürekli olarak bir vakum odasından geçirilen elyafın üzerine metal buharları çökertilir. Metal buharı çubuk şeklindeki matriks metalinin ucuna yüksek enerjili bir elektron ışıını göndererek elde edilir. Kaplanmış elyaf bir demet halinde toplanarak sıcak presleme ile birleştirilebilir. Bu şekilde % 80'e varan hacim oranları ve homojen bir dağılım elde edilmektedir.

Elektrolitik Yöntem; Elektroliz banyosuna katot olarak görev yapan bir mandrel daldırılır. Mandrel sarılmış elyafın arasına çökelen matriks metali kompozit malzemeyi oluşturur. Bor, silisyum karbür ve volfram gibi elyaf türleri bu yöntemle örneğin nikel bir matrikse gömülebilir. İşlem düşük sıcaklıkta yapıldığından elyafın özellikleri bozulmaz [72].

2.7. Takım Aşınma Tipleri

Takım aşınması, kesme sırasında kalem malzemesinin yavaş yavaş azalması ile kalemin ilk biçimini değiştirmesine denir. Talaşlı imalat esnasında kesicide meydana gelen sürtünme ve sıcaklık takım aşınmasının en önemli nedenlerindendir. Kesme işleminde sürtünme, aşınmanın ana sebebi olup sıcaklık ise kesicinin aşınmaya karşı direncini azaltan ve olayı hızlandıran en önemli etkenlerden biridir. Sürtünme takım ile talaş ara yüzeyi ve iş parçası ile takım serbest yüzeyi arasında meydana geldiğinden, aşınma en çok serbest yüzey, talaş yüzeyi ya da her iki yüzeyde meydana gelir. Aşınmayı hızlandıran diğer etkenler ise uygun seçilmeyen kesici takım, kesme hızı, ilerleme, paso derinliği ve soğutma sıvısı kullanmama gibi kesme şartlarıdır.

Aşınma nedeniyle kesicilerin değiştirilmesi, üretim yapılan fabrikalardaki talaşlı imalat sistemlerinin bir parçasıdır. Takım aşınması, imal edilen bir parçanın işleme süresini %6.8'e kadar artırdığı ifade edilmiştir [5]. Bir kesicinin aşınma durumu ve aşınmanın miktarı işlenen parçanın kalitesi, kesici kalitesi ve kesme şartlarına bağlı olarak değişir. Bir çok durumda kesici yavaş yavaş aşınarak iş parçasının boyut toleransının elde edilmesi imkansızlaşır. Ayrıca kesme kuvvetlerinin artması titreşimlere yol açar ve böylece yüzey pürüzlülüğünün de çok artmasına sebep olur. Aşınma, tüm bölgelerde sürekli olamaz genellikle bir bölgede meydana gelir.

Talaş kaldırma işlemlerinde, takım malzemelerinin geliştirilmesi büyük oranda insanların pratik uygulamalar ile elde edilmektedir. Aşırı artan ihtiyaçlar teknolojik olarak değişmeyi ve ekonomik rekabeti ortaya çıkarmaktadır. Bu ihtiyaçları karşılamak için de yeni takım malzemeleri araştırılmakta, bunu yaparken de sadece takımların iyileştirilmesi değil, iyi ve kaliteli üretim, hassas yüzey kalitesi, az güç sarfiyatı ve ekonomiklik sağlanması gerekir. Ancak bunları gerçekleştirmede kesici takımda oluşan aşınma tipleri ve kriterlerinin ve kesme esnasında oluşan problemlerin bilinmesi, anlaşılması ve buna göre gerekli tedbirlerin alınması ile gerçekleşir. Talaş kaldırma işleminde iş parçası, takım/talaş ara yüzeyinde sürtünmeler ve meydana gelen ısı, takımın aşınması ve plastik deformasyonuna sebep olur. Plastik deformasyon işlemi ve sürtünme sonucu açığa çıkan enerjinin çoğu ısıya dönüşürken bir kısmı talaşla taşınmasına rağmen, takım ucunda kalan kısmı da kesme şartlarına, iş parçası ve takım çiftine bağlı olarak yüksek sıcaklıklar oluşturur. Takım ucunda oluşan bu yüksek sıcaklıklar ve mekanik gerilmelerden dolayı kesici takım tedrici veya ani olarak aşınmaya maruz kalır [75].

Kalem aşınmasında kıstas olarak göz önüne alınabilecek dört aşınma bölgesi vardır. Bunlar aşağıda detaylı olarak incelenmiştir.

2.7.1. Ana Serbest Yüzey Aşınması

En iyi bilinen aşınma tipidir. Kesicinin yan yüzeyi üzerindeki az üniform ya da çok üniform olarak aşınan yüzey kısmıdır. Aşınan serbest yüzeyin genişliği çoğu kez serbest yüzeyin ortasında ve diğer kısımlarda aynıdır. Aşırı yüksek kesme hızları kullanılmadıkça, bütün kalem malzemeleri başlangıçta serbest yüzey aşınmasına karşı dayanıklıdır. Bununla beraber kısa bir süre kesme işlemi yapıldıktan sonra genellikle bu mukavemet azalır.

Hız çeliği kalemlerde çok yüksek kesme hızları kullanılmadıkça yüzey aşınması, sert metal uçlardan farklı şekilde gerçekleştiği için yan yüzey aşınmasında ölçülebilen çok küçük bir aşınma artışı için uzun bir sürenin geçmesini beklemek gerekebilir. Bu durum özellikle sünek malzemelerin düşük kesme hızlarında işlenmesinde görülür. Sementit karbür kesicilerde sıcaklığın yan yüzey aşınması üzerinde çok fazla etkili olmadığı ifade edilmiştir[96].

2.7.2. Çentik Aşınması

Bu durum ana serbest yüzey aşınmasının özel bir durumu olup, iş yüzeyi ile kesme kenarının kesiştiği yerdedir ve bu aşınma nadiren kalemin değişmesini gerektirir. Çentik aşınmasının diğer bütün aşınmalardan çok olduğu bütün özel durumlarda, aşınma çentiğinin uzunluğu kalem aşınma ölçüsü olarak kullanılabilir [87]. Bu aşınma genellikle iş parçasının dış çapından dolayı meydana gelir.

2.7.3. Talaş Yüzeyi Aşınması

Krater aşınması talaş yüzeyi aşınmasının bilinen en genel şeklidir. Krater kesicinin talaş yüzeyinin içe çökük kısmı olup, talaş-takım ara yüzey sıcaklığı ve sürtünme gerilmesinden meydana gelir. Küçük hızlarda, krater aşınması esas yan yüzey aşınması ile mukayese edildiği zaman genellikle pek az olur. Sementit karbür ve hız çeliği kalemlerde yüksek hızlarda meydana gelen bir hasardır. Krater aşınma hızı sıcaklığa bağlı olarak artar. Krater derinliği (Kt), genellikle kesme kenarının belirli bir mesafesinde olur ve krater şekli talaş eğrilik yarıçapına göre oluşur. Krater derinliğinin önceden belirlenmiş bir değeri kalem ömrü kistası olarak kullanılabilir. Krater aşınması sert metal kalemler için yüksek hız ve seramik kalemlerden daha önemlidir.

Krater konumu kesici kenara göre bağıl konumda belli bir önem taşır. Kesme kenarından uzakta olan derin ve geniş krater, kesici kenara yakın az derin bir kraterden daha az tehlikeli olabilir[87].

2.7.4.Yan Yüzey Aşınması

Kalemin yardımcı yan yüzeyi ile iş parçası arasında meydana gelen sürtünmeden dolayı oluşan bir hasardır. Yan yüzey aşınması sebebiyle kalem yüzeyinde meydana gelecek herhangi bir değişiklik, işlenen yüzey üzerinde etkili olur. Küçük ilerlemeler ile yapılan ince tornalamada, belirli bir kesme süresinde yan yüzeyde genellikle bir veya daha çok izin meydana geldiği görülür. Bu ise işlenen yüzeyin pürüzlülüğünün artmasına neden olur. Bu tür kalem aşınmasının doğrudan gözlenmesi zordur. Ancak pürüzlülüğün belli bir değeri kalem ömrü kıstası olarak kullanılabilir[96].

2.8. Kesici Takım Malzemeleri

Kesici takımlar talaş kaldırma işleminde diğer malzemelere şekil verme, şekil değiştirme, kesme, koparma ve istenilen toleransta ölçüye getirme işlemi esnasında değişik zorlamalara maruz kalırlar. Ekonomikliğin yanında değişik makine ve makine parçalarının imalatını sağlamak için kullanılan kesici takımın talaş kaldırma esnasında oluşan yüksek zorlamaları karşılaması zorunludur. Talaş kaldırma yöntemlerinin çeşitliliği ve farklılığı takımın kullanılmasında gerekli olan farklılıklar ve aşırı artan ihtiyaçlar nedeniyle teknolojik rekabet ortaya çıkmış bu da metalik ve metalik olmayan çok sayıda takım malzemesinin geliştirilmesini sağlamıştır. Bu malzemelerle kesme işlemi ve takım geliştirilmesi büyük oranda farklı şartlarda yapılan farklı uygulamaları ile elde edilmektedir [78].

Bir kesici takımın kesme esnasında yüksek sıcaklıklarda kesme yeteneğini muhafaza etmesi için yüksek sertliğe sahip olması gerekir. Uçta meydana gelen sıcaklık için kesici sertliği yeterli değilse o zaman takım hızla bozulur ve kullanılmaz hale gelir. Takım sürekli dönme çevriminden de oluşan ısıtma ve soğutma etkisini yenmesi için yeterli ısıl darbe direncine sahip olması gerekir. Talaş kaldırma esnasında oluşan kuvvetler, basınç, sürtünme, ısı oluşumu ve aşınma vb. olaylar ve ekonomiklik dikkate alınır, genellikle bir kesici takımında bulunması gereken özellikler şöyle özetlenebilir:

- Yüksek basma ve eğilme mukavemeti,
- Yüksek sertlik ve abrasyon direnci,

- Yüksek sıcaklıkta aşınmaya karşı dayanıklılık ve kimyasal kararlılığa sahip olması,
- Isı birikiminin önlenmesi için yüksek ısı iletim yeteneğine sahip olması,
- Ucuz olması yanında darbe etkisine karşı kafi derecede tok olmalıdır [78]
- Takım sadece oda sıcaklığında değil, çalışma sıcaklıklarında da iş parçasının en sert bileşeninden daha sert olmalıdır (Tablo 2.3) [79]

Tablo 2.3. Tipik takım malzemeleri veya bileşenlerinin sertlikleri [79, 80]

Takım Malzemesi veya Bileşeni	Sertlik, HV
Martenzitik çelik	500-1000
Nitrürlenmiş çelik	950
Sementit (Fe_3C)	850-1100
Sert krom kaplama	1200
Alumina	2100-2400
WC (kobalt bağlı)	1800-2200
W_2C	2200
$(Fe, Cr)_7C_3$	1200-1600
VC	2800
TiC	3200
TiN	3000
B_4C	3700
SiC	2600
CBN	6500
Polikristalin elmas/WC	5500-8000
Elmas	8000-12000

Kesici takımlar çeşitli şartlarda farklı sonuçlar verecek şekilde kullanılabilir. Yaygın kullanılan takım malzemeleri aşağıda ele alınmıştır.

2.8.1. Karbonlu ve Alaşımli Takım Çelikleri

Karbon çelikleri, kesici takım malzemesi olarak kullanılan en eski tip çeliklerdir. Karbon içerikleri %0.6-1.4 arasında değişmektedir. Düşük alaşımli çeliklerde, kesme özelliklerini iyileştirmek amacıyla az miktarda krom (Cr), vanadyum (V), tungsten (W), molibden (Mo), mangan (Mn) gibi alaşım elementleri bulunmaktadır. Çelikler, tavlama şartlarında kolayca şekillendirilebilir ve takiben su verme ve temperleme ile yüzeyi sertleştirilir. Takım kesitinin tamamı martenzite dönüşmez, iç kısım tok ve yüksek şok direncine sahip olur [81]. Karbon çeliklerinin sertliği martenzitik yapısından ileri gelir (58-64 Rc). 250°C üzerindeki sıcaklıklarda temperleme sonucu martenzit yumuşar; bu nedenle, karbon çelikleri sadece ahşap gibi yumuşak

malzemelerin işlenmesi için uygundur ve sadece düşük üretim hızlarında (≤ 10 m/dk) kullanılırlar. Karbon çeliklerinin en önemli avantajı, kolay işlenmesi ve ucuz olmasıdır [80].

2.8.2. Yüksek Hız Çelikleri (HSS)

Taylor tarafından geliştirilmiş olan HSS günümüzde en yaygın kullanılan takım malzemesidir. 20. yüzyıl başlarından beri bilinen ve kullanılan bu takım malzemesi grubu halen, gerek maliyeti gerek şekillendirilebilirliği bakımından kullanılmaktadır [81]. Bu takımlar tek yada çok kesen ağızlı takımlar olarak endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Üretimlerinin göreceli olarak kolaylığı ve istenilen forma bilenererek kullanılmaları ekonomiklik sağlamaktadır. Yüksek hız çelikleri yüksek oranlarda W, Mo, Cr ve V gibi karbür yapıcı elementlerle alaşımlandırılmıştır [82]. Bu gruptaki takım malzemeleri Amerikan standartlarına(AISI) göre M ve T grubu olarak iki gruba ayrılırlar. M grubu olarak tanımlanan kesici takım malzemesi %0.8C, %0.4Cr, %5-8Mo, %0.6W ve %1-2V içermekte bunlara Molibdenli Yüksek Hız Çelikleri denmektedir. T grubu olarak tanımlanan kesici takım malzemesi ise %0.7C, %4Cr %18W ve %1V içermekte ve Tungstenli yüksek hız çeliği olarak bilinmektedir. Yüksek hız çeliği olarak üretilen malzemelerin büyük bir çoğunluğunu M grubu çelikler oluşturmaktadır bu grup çelikler T grubuna göre imalatı daha ekonomik, aşınma direnci daha yüksektir [83].

HSS takımlara 500°C civarında PVD yöntemi ile TiN kaplama uygulanarak performansları artırıldığı gibi, ayrıca buharda temperlenerek mavi oksit tabakası şeklinde dayanım artırıcı bir Fe₃O₄ tabakası oluşturulabilir [79].

2.8.3. Sert Alaşımlar (Stellit)

Sert alaşımlar, tungsten, krom ve kobalt alaşımı olup ticari olarak “stelit” olarak adlandırılır ve döküm veya kaynak ile imal edilirler. Ancak hız çeliklerine göre kesme hızları çok yüksek olmadığından 800°C’ye kadar sıcaklıklarda çalışabilmektedir. Kesme işlemlerinde kesici takım olarak pek fazla kullanılmamakla beraber bu takımlar kaplanarak kullanılabilir. Pres takımı olarak da kullanılmaktadırlar [78].

Darbe dayanımlarının düşük olması metal matriks kompozit malzemelerin talaşlı şekillendirilmesinde kullanılmalarını olumsuz yönde etkilemektedir [84].

2.8.4. Sert Maden Uçlu Kesiciler (HM)

Sinter karbür adı ile de anılan bu gruptaki kesici takım malzemeleri, WC, TiC, TaC, NbC gibi karbür bileşiklerinin kobalt ile sinterlenmesiyle elde edilmektedir. Belirli geometrik şekillerde 4000-5000 atü basınç altında preslendikten sonra 900°C civarında ön presleme(sinterleme) ve 1400-1600°C civarında son presleme işlemi uygulanarak elde edilirler. Sert metaller, dayanımlı, sert ve aşınma dayanımı ve tokluğu mükemmel olan takım malzemeleridir. PCD, CBN elmas kaplama gibi tabakalar için iyi bir alt yapı oluştururlar. Tek yada çok tabakalı kaplanmış sert metal plaketer oldukça iyi performans göstermektedirler. Kaplama PVD yada CVD yöntemleri uygulanarak gerçekleştirilmektedir. ISO standartlarına göre, özellikle K kalite sert metal plaketer MMK malzemelerin talaşlı şekillendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır [78].

2.8.5. Sermetler

Sermetler esas olarak metalik bağ ile bağlanmış seramiklerdir. Bu gruptaki kesici takım malzemelerinde %8-25Ni, %115-8Mo₂C, %60-80TiC bulunmaktadır. Ayrıca WC, Co ve TiN içerebilir. Sermetler, sert metallerden daha gevrek yapıdadır. Darbeli işlemlerde kullanılması uygun sonuçlar vermemektedir. Bundan dolayı metal matriksli kompozit malzemelerin talaşlı şekillendirilmelerine uygun olmamaktadır. Ancak literatürde bu amaçla kullanıldığına rastlanmamıştır[78,79].

2.8.6. Seramikler

Takım malzemesi olarak kullanılan seramikler, ortalama birkaç mikron boyutundaki çok kristal taneli yoğun korindon yapılı alumina esaslı malzemelerdir. Seramik takım plaketer sıcak yada soğuk presleme ile imal edilirler. Soğuk presleme yönteminde plaketer istenilen geometride şekillendirilir ve 1600-1700°C'da sinterlenir. Sıcak preslemede ise sinterleme basınç altında uygulanır. Bazı seramik yapılarına sinterlenmeye yardımcı olmak ve tane büyümesini geciktirmek için az miktarda Titanyum Oksit ve Magnezyum Oksit ilave edilir [80, 85]. Bu takımlar, sert metallerden daha yüksek sıcaklıklara dayanım göstermektedir. Kesici takım malzemesi olarak seramikler oksit, siyah seramik; silisyum nitrürlü seramikler ve wiskerlerle güçlendirilmiş seramikler olmak üzere farklı alt gruplarda toplanmaktadır. Bu takım malzemelerinin, kaplamasız yada çok tabakalı kaplamalı olarak MMK'lerin talaşlı işlenmelerinde kullanılmalarının uygun olduğu literatürde yer almıştır. Ayrıca yine seramikler

grubunda yer almakta olan bir başka kesici takım malzemesi de Sialon'dur. Sialon(Si-Al-O-N); bir seramik malzemedir. Sialon; silisyum nitrür, alüminyum nitrür ve alüminyum okside, yitrium oksit (Y_2O_3) katkısıyla 1800°C'de sinterlenme ile elde edilir. Sinterlenebilen silisyum nitrürün(Si_3N_4) bir türevidir. Silisyum nitrürün kırılma tokluğu alüminyum oksidin yaklaşık iki katıdır ve daha yüksek bağ mukavemetine sahiptir. Isıl genleşme katsayısı düşük olması nedeniyle oldukça iyi ısıl şok direnci sağlar. Alüminanın kırıldığı hızlı ve darbeli talaş kaldırma işlemlerinde kullanılabilmektedir [78, 84].

Takım malzemesi olarak kullanılan seramikler, ortalama birkaç mikron boyutundaki çok kristal taneli yoğun korindon yapılı alumina esaslı malzemelerdir. Seramik takım plaketer sıcak yada soğuk presleme ile imal edilirler. Soğuk presleme yönteminde plaketer istenilen geometride şekillendirilir ve 1600-1700°C'da sinterlenir. Sıcak preslemede ise sinterleme basınç altında uygulanır. Bazı seramik yapılarına sinterlemeye yardımcı olmak ve tane büyümesini geciktirmek için az miktarda Titanyum Oksit ve Magnezyum Oksit ilave edilir. Bu takımlar, sert metallere daha yüksek sıcaklıklara dayanım göstermektedir. Kesici takım malzemesi olarak seramikler oksit, siyah seramik; silisyum nitrürlü seramikler ve whiskerlerle güçlendirilmiş seramikler olmak üzere farklı alt gruplarda toplanmaktadır. Bu takım malzemelerinin, kaplamasız yada çok tabakalı kaplamalı olarak MMK'lerin talaşlı işlenmelerinde kullanılmalarının uygun olduğu literatürde yer almıştır. Ayrıca yine seramikler grubunda yer almakta olan bir başka kesici takım malzemesi de Sialon'dur. Sialon(Si-Al-O-N); bir seramik malzemedir. Sialon; silisyum nitrür, alüminyum nitrür ve alüminyum oksite, yitrium oksit (Y_2O_3) katkısıyla 1800°C'de sinterlenme ile elde edilir. Sinterlenebilen silisyum nitrürün(Si_3N_4) bir türevidir. Silisyum nitrürün kırılma tokluğu alüminyum oksitin yaklaşık iki katıdır ve daha yüksek bağ mukavemetine sahiptir. Isıl genleşme katsayısı düşük olması nedeniyle oldukça iyi ısıl şok direnci sağlar. Alüminanın kırıldığı hızlı ve darbeli talaş kaldırma işlemlerinde kullanılabilmektedir [76, 78, 84].

2.8.7. Kübik Bor Nitrür (CBN)

Kesici takım malzemesi olarak kullanılan kübik bor nitrür doğal olarak bulunmaz, hegzagonal bor nitrürden; 1500°C sıcaklık ve 80Kbar basınçta elde edilmektedir. Elmaştan sonra bilinen en sert malzemedir. Bu sertlik değeri kullanımda sıcaklık artışı ile azalmaktadır. Metallerin talaşlı şekillendirilmesinde özellikle yüksek sıcaklıklarda elmasa göre daha karardır. Çok kristalli kübik bor nitrür endüstriyel alanda son birkaç yıldır kullanım alanı bulmaktadır. Özellikle, elmas takımların kullanımını zorlaştıran hızlı aşınma olmaksızın yüksek

kesme hızlarda sert dökme demir ve sertleştirilmiş çeliğin kesimi için kullanılmaktadır. Kübik bor nitrür kesici takımlar, sert metallerden çok daha yüksek kesme hızlarında kullanılabilir. Literatürde MMK'lerin talaşlı işlenmesinde kullanıldığı görülmektedir [78, 79, 83].

2.8.8. Elmas

Elmas karbonun tetrahedral formudur. Elmas hem doğal hem yapay olarak bulunabilen bilinen en sert malzemedir. Bu özelliklerinden dolayı elmas, takım malzemesi olarak kullanılmaktadır. Fakat endüstriyel alanda kullanılan doğal tek kristal elmasın küçük miktarları bile oldukça pahalıdır. Ayrıca elmas çok gevrek ve belirli kristallografik düzlemler boyunca kolayca ayrılır. Elmas 730°C'de hızla okside olmaya başlar ve atmosferik basınçta 1500°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda tekrar grafitte dönüşür. Talaş kaldırma esnasında oluşan yüksek sıcaklıklarda karbonun kolaylıkla çözünmesi veya demire difüze olan grafitte dönüşmesi sebebiyle, demir esaslı malzemelerin talaşlı işlenmesinde yeterli performansı sağlayamamaktadır. Elmas takımlar, yüksek silisyumlu alüminyum alaşımların, bakır ve alaşımlarının, sinterlenmiş tungsten karbürler, cam, cam-fiber/plastik ve karbon/plastik kompozitler ve yüksek alüminyum oksitli seramiklerin işlenmesinde kullanılmaktadır. Çelik malzemelerde kullanılması tavsiye edilmeyen bu takımlar, Al-Si alaşımlarının talaşlı işlenmesinde ise yaklaşık 150m/dak.lık kesme hızlarında uzun süre kullanılabilir. 1960'ların başında grafitten 1500°C sıcaklıkların üstünde ve çok yüksek basınç(125Kbar) altında sentetik elmas üretilmiş ve kesici takım malzemesi olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu şekilde üretilen ince elmas taneleri kobalt gibi bir bağlayıcı kullanılarak sinterlenmiş ve böylece çok kristalli elmas(PCD) takım elde edilmiştir. Üretimlerinin çok pahalı olmasından dolayı kesici takımın tamamının bu şekilde üretilmesi ekonomik olmamakta, ortalama 0.5-1mm kalınlığındaki PCD katmanı sert metal bir alt yapıyla birlikte sinterlenerek plaketa şeklinde kesici uçlar üretilmektedir [77, 78].

Kübik bor nitrür ve elmas takımlar sert metal takımlardan daha iyi aşınma direncine sahiptir. Sert metal takımlar, kübik bor nitrür ve elmas takımlara göre ekonomik olduğundan, özellikle kaba boşaltma işlemlerinde kullanılabilir, bu işlemlerde özellikle TiN kaplamalı olanlar tercih edilmektedir. PCD takımlar ise bitirme işlemleri için kullanılabilir. PCD takımlarda büyük tanecik boyutları uzun takım ömürleri için uygundur. PCD takımlar MMK'lerin talaşlı işlenmesinde etkin bir şekilde uygulanabilir. Kesici takım malzemelerinin bazı özellikleri Tablo 2.4'de verilmektedir.

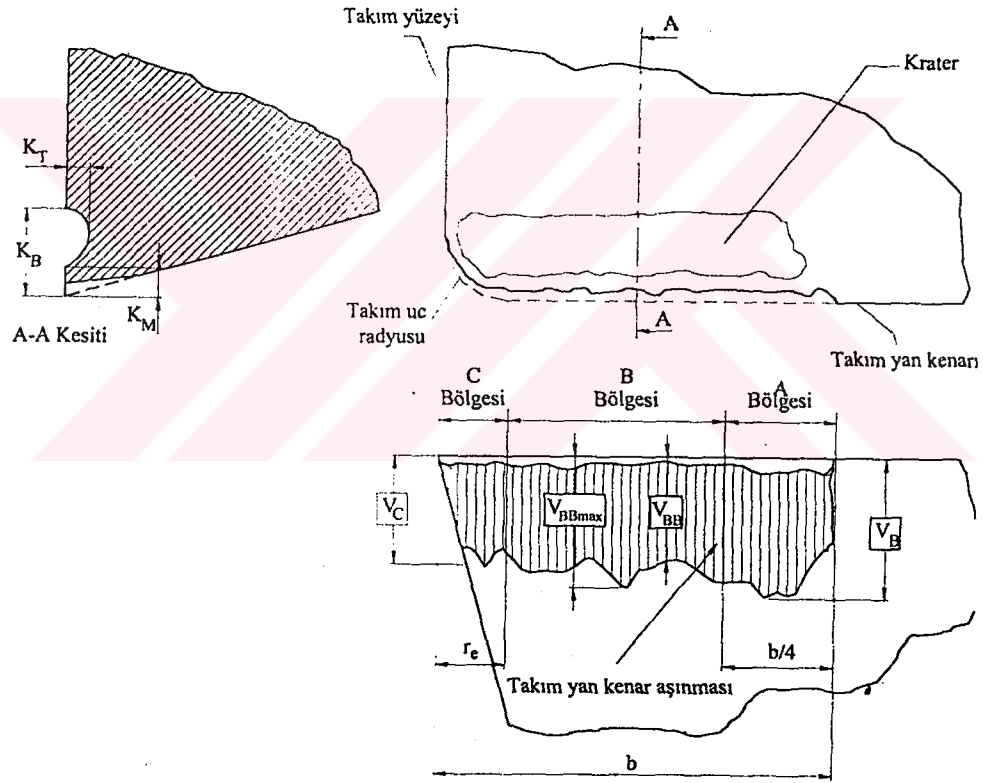
Tablo 2.4. Kompozitlerin talaşlı işlenmesinde kullanılan kesici takım malzemelerinin fiziksel özellikleri[86]

Takım malzemeleri Özellikler	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ +TiC	Sialon	Sert Metal (K10 ISO)	PCD	CBN	MCD
Yoğunluk(g/cm ³)	3.9 1	4.28	3.20	14.7	4.12	4.28	3.52
Basma dayanımı(Gpa)	4.0 0	5.50	3.50	4.44	7.60	3.55	8.68
Kırılma tokluğu(Mpa/m ²)	2.3 3	2.94	5.00	10.48	8.81	3.7	3.4
Knopp sertliği(Gpa)	16	17	13	17	50	27.5	57-104
Young modülü(Gpa)	380	390	300	593	776	587	1141
Isıl uzama katsayısı(10 ⁻⁶ /°K)	8.5	7.8	3.2	5.4	4.2	4.7	1.5-4.8
Isıl iletkenlik(W/m/°K)	8.4	9.0	20-25	100	540	44	500-2000
Aşınma katsayısı	0.7 6	0.92	0.91	1.15	3.89	1.34	2.14-5.46

2.9. Takım Aşınmasının Ölçülmesi

Aşınma alanında doğrudan yan kenara yapışan parçacıklar daha büyük aşınma alanı genişliği oluşturur. Keza krater içinde meydana gelen birikinti tabakası krater derinliğini azaltır. Kopmuş malzeme parçacıkları dikkatlice kaldırılmalı fakat test sonu değilse kimyasal dağlama maddesi kullanılmamalıdır. Aşınmanın ölçülmesi için Şekil 2.2.'de gösterildiği gibi, kesici uç dört bölgeye ayrılır. Bunlar; A bölgesi, takım bölgesinden en uzak b mesafesi aşınmış kesici ucun çeyreği; B bölgesi, A ve C bölgeleri arasında kesici ucun kalan düz kısmı; C bölgesi, takım kesici ucun eğri kısmından takım köşesine kadar olan mesafesi; N bölgesi, esas kesici kenar boyunca yaklaşık 1-2 mm iş parçası ve takım arsındaki aynı temas alanına kadar uzanmakta olup, aşınma şekli çentik tiplidir. Esas kesici kenara dik kesici uç düzleminde B bölgesi içinde yan kenar aşınma bölgesi, V_{BA} ölçülebilir. Orijinal esas kesici uç durumundan yan kenar aşınma alanı genişliği ölçülmelidir. Krater derinliği (KT), B bölgesi içinde orijinal yüzey ve krater dibi arasındaki maksimum mesafe ölçülecektir [78].

Takım aşınmasının belirlenmesi iki ana kategoride sınıflandırılabilir. Gerçek takım aşınmasının belirlendiği direkt belirleme ve ölçülen takım aşınmasının bir parametre ile karşılaştırıldığı indirekt belirlemedir. Takım aşınmasının belirleme metodları Tablo 2.6’de verilmiştir[5].



Şekil 2.2. Kesme işleminde takım aşınma bölgeleri [78]

Tablo 2.5. Takım aşınmasını belirleme metotları [5]

	Ölçme Yöntemi	Ölçülen Değer	Ölçme Cihazı
Direk Ölçüm	Optik	Kesici ağzın biçimi	TV Kamerası,optik cihaz
	Radyoaktif parçacıklar	Parçacıkların büyüklüğü	Spektrofotometre
	Takım-iş parçası temas direnci	Temas direncindeki değişim	Voltmetre
	İş parçası boyutu	İş parçası çapı	Mikrometre, optik, ultrasonik, Elektromanyetik cihaz
	Takım-iş parçası açıklığı	Takım ya da takım tutucu ile iş parçası arasındaki açıklık	Mikrometre, Pnomatik gauge, deplasman ölçer
İndirek Ölçüm	Kesme Kuvvetleri	Kesme kuvvetindeki değişim	Dinamometre, strain-gauge
	Akustik emisyon	Gerilim dalga enerjisinin akustik emilmesi	Ae çevirici mikrofon
	Titreşim	Takım ya da takım tutucunun titreşimi	Akselometre
	Sıcaklık	Takım üzerindeki kesme sıcaklığının değişimi	Termocupol, pirometre
	Güç girişi	İlerleme motorunun ya da aynanın güç veya akım girişi	Ampermetre, dinamometre
	İşlenen yüzeyin pürüzlülüğü	İşparçasının yüzey pürüzlülüğü	Mekanik iğneli cihaz

2.10. Takım Ömrü

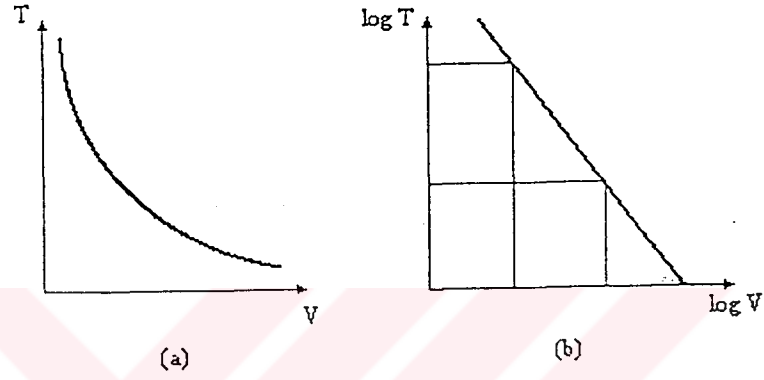
Takım ömrü, kesici takımın iki bilenmesi arasında geçen süre ya da kalem ömrü kıstasına ulaşmak için gereken kesme süresi olarak tarif edilir. Bazı hallerde örneğin delme, planyalama, broşlama gibi işlemlerde takım ömrü işleme uzunluğu (L) veya frezelemede olduğu gibi talaş hacmine göre de ifade edilebilir.

Kesme işleminin optimizasyonu için kesme hızı ve takım ömrü arasındaki ilişkiyi bilmek gerekir. Bu konuda ilk çalışma Taylor tarafından yapılmış olup, aşağıdaki ampirik formül ile ifade edilmektedir.

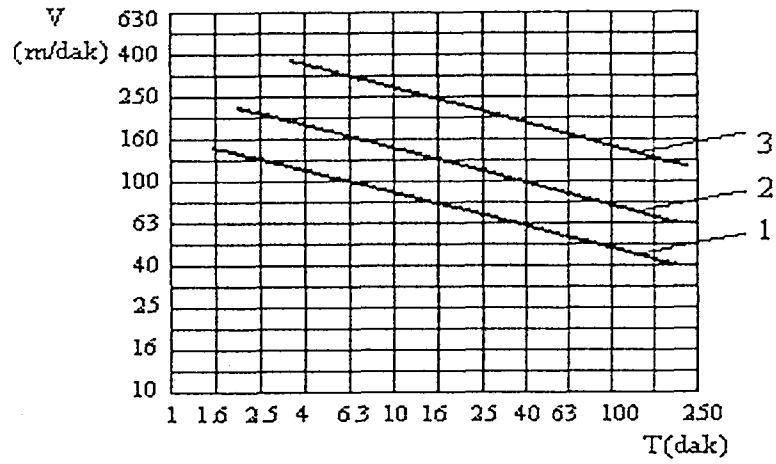
$$\frac{V_1}{V_2} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^n, V_1.T_1^n = V_2.T_2^n = C \quad (2.2)$$

Yukarıdaki denklemde n takım-malzeme çiftine bağlı; C ise takım-malzeme çifti, ilerleme, kesme derinliği, kesme sıvısı gibi faktörlere bağlıdır. Bu bağıntının grafik şeklinde gösterilişine T-V diyagramı adı verilir ve bu bağıntı Şekil 2.3'te gösterildiği gibidir. Her iş

parçası-takım malzemesi çifti için belirli kesme koşullarına bağlı olarak T-V diyagramı vardır. Aynı kesme şartları için çeşitli iş parçalarının V-T diyagramları Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



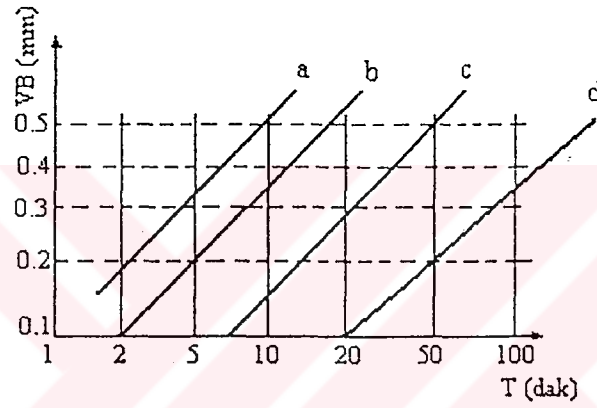
Şekil 2.3. Ömür-kesme hızı ilişkisi



Şekil 2.4. Çeşitli iş malzemesi için ömür-kesme hızı ilişkisi [86]

(1. Yüksek karbonlu çelik, 2. Dökme demir, 3. Düşük karbonlu çelik)

Belirli bir hız için takım ömrünün değeri müsaade edilen aşınma (v_B) değerine bağlıdır. Müsaade edilen aşınma değeri büyük olursa takım ömrü de büyür. Dolayısıyla ömür-kesme hızı-aşınma miktarı arasında sıkı bir bağıntı vardır. Bu bağıntı bir örnek üzerinde Şekil 2.5'te verilmiştir. Bu durumda belirli bir hız- ömür ifadesi belirli bir aşınma değeri için geçerli olacaktır.



Şekil 2.5. Aşınma-ömür-kesme hızı ilişkisi [86]

(a) $V=120$ m/dak, (b) $V=100$ m/dak, (c) $V=70$ m/dak, (d) 50 m/dak)

2.10.1. Genişletilmiş Takım Ömrü Bağıntısı

Kesme hızı-ömür ilişkisini etkileyen önemli bir faktör talaş kalınlığı ve genişliğidir. Talaş kalınlığı (t) ve talaş genişliği (ilerleme) dikkate alındığında genişletilmiş Taylor bağıntısı aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$V = \frac{C_0}{T^n \cdot t^y \cdot s^z} \quad (2.3)$$

Bu bağıntıdaki C_0 , n , y ve z katsayılarının değerleri iş parçası-takım malzemesi çifti için deneysel çalışmaların sonucu olarak tayin edilirler.

2.10.2. Takım Ömrü Kıstasları

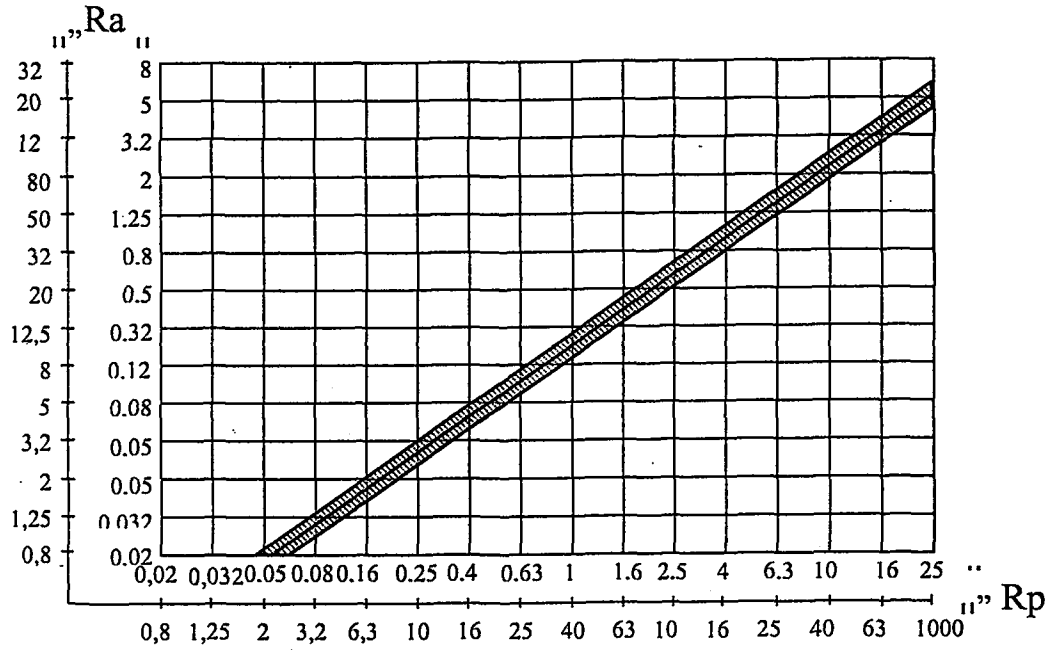
Deneyler sonucu faydalı kalem ömrünün sona ermesinde oldukça etkili olduğu inanılan aşınma şekli aşağıda belirtilen kalem ömrü kıstaslarının birinin seçiminde rehber olarak kullanılmalıdır (TS 10329, 1992)[87]. Kullanılacak olan kıstasların tipi ve değeri belirtilmelidir.

Aşınma tipinin hangisinin hakim olduğu belli ise, ya V-T sonuç eğrisi üzerinde iki kıstas veya kesik V-T sonuç eğrisi üzerinde karma bir kıstas kullanmak mümkündür. TS 10329'a göre kalem kıstasları aşağıdaki gibidir.

- Kullanılmaz hale getiren aşınma
- Ana serbest yüzeyin aşınan kısmının azami genişliği $VB_B = 0.3$ mm ise B bölgesi için bu aşınma normal kabul edilir.
- Ana serbest yüzeyin aşınan kısmının azami genişliği $VB_{mak} = 0.6$ mm ise B bölgesinde kazınma dökülme veya çukurlaşmayla meydana gelen aşınma normal olmayan aşınmadır.

2.11. Yüzey Kalitesi ve Yüzey Pürüzlülüğü

Yüzey kalitesi, parça yüzeyinde genellikle kesici takımın bıraktığı izlerden ve baskılardan meydana gelen düzgünsüzlük olarak ifade edilmektedir. Parçanın yüzey kalitesini gösteren düzgünsüzlük iki türdür. Birincisi çok küçük yüzeysel hatalardan meydana gelen ve yüzey pürüzlülüğü denilen mikro geometrik düzgünsüzlük, ikincisi parçanın ideal şeklinden sapmalarını belirten ve form düzgünsüzlüğü denilen makro geometrik bozukluktur. Tamamen giderilemeyecek şekilde olan ve ekonomik bakımdan uygun görülen her iki yüzey düzgünsüzlüğü parçanın fonksiyonuna göre belirli sınırlar içerisinde tutulması gerekir. Bu sınırlar fonksiyonel ve ekonomik faktörler göz önüne alınarak tayin edilir.



Şekil 2.6. R_a ile R_p arasındaki ilişki [86]

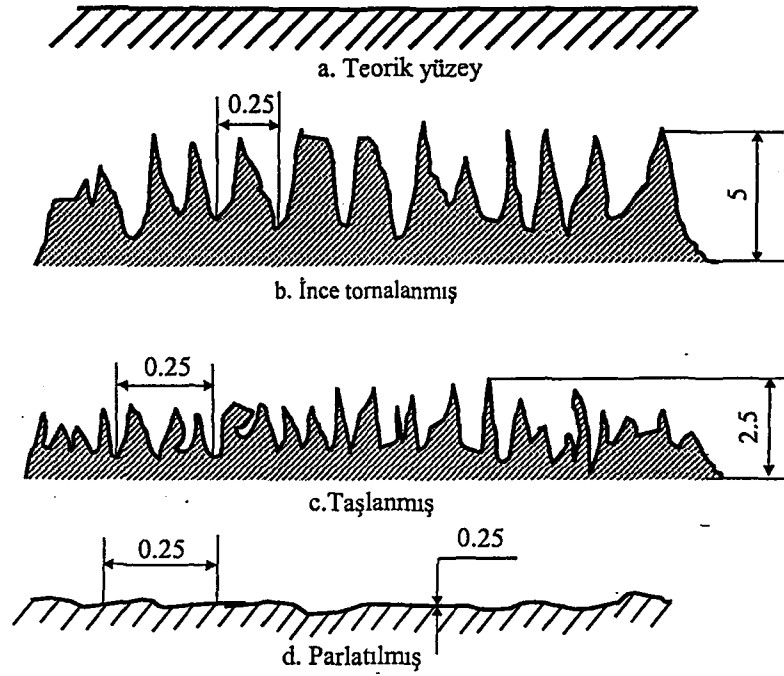
Yüzey pürüzlülüğü Şekil 2.6'da görüldüğü gibi bir takım çıkıntı ve girintilerden meydana gelmiştir. Ölçme tekniğinin gelişmesi ile bu düzensizlik kolayca ölçülebilir. Ayrıca bu yöntem uygun olarak yüzey pürüzlülüğünü somut bir şekilde ifade eden ve uluslar arası standartlarda kabul edilen bir sistem kurulmuştur. Bu sisteme göre pürüzler, yüzeye dik olan kesitlere göre tespit edilir. Bu kesitte numune uzunluğu boyunca pürüzlerin şeklini gösteren profilin ortalama çizgisine göre ortalama sapmaları tayin edilir (Şekil 2.7). Profil ile ortalama çizginin üstünde ve altında kalan alanların toplamı birbirine eşit olmak üzere bu çizginin yeri tespit edilir. Yüzey pürüzlülüğü profilin aritmetik olarak ortalama yüksekliğidir ve R_a ile gösterilir. Böylece referans olarak profilin ortalama çizgisi alınır, yüzey pürüzlülüğü;

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l y \times dx \quad (2.4)$$

$$R_a = \frac{|y_0| + \dots + |y_n|}{n} \quad (2.5)$$

bağıntısı ile ifade edilir. Burada $y_0, \dots, y_n$ geometrik ortalama için pürüz yükseklikleri ve numune uzunluğuna tekabül eden pürüz sayısıdır.

Bu ana ifadenin yanı sıra, pürüzlülüğü karakterize eden pürüzlülüğün eni, dalga yüksekliği, dalga eni, kesici takımın çoğunlukta olan izleri gibi ikinci mertebeden faktörler de vardır(Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Yüzey pürüzlülüğü ile ilgili örnekler [86]

Yüzey pürüzlülüğünün birimi mikron (10^{-3} mm) veya mikroiç (10^{-6}) dir. Teorik bakımdan yüzey pürüzlülüğünü ifade etme imkanı sonsuz olmasına rağmen pratik nedenlere dayanarak, tercih edilen diziler veya yüzey pürüzlülüğü temsili sayıları tespit edilmiştir. Müşterek çarpanı (1.25) olup R10 serisinden oluşan ve tercih esnasında gerçekleşen yüzey pürüzlülüğü, işleme usulüne de bağlıdır. R_a 'nın yanı sıra, en yüksek çıkıntı ile en düşük çıkıntı arasındaki uzaklığı belirten R_t değerleri de pürüzlülük kontrolünde kullanılmaktadır (Şekil 2.8). Ancak maksimum pürüzlülüğü ifade eden R_t değeri ölçülen yere göre değiştiğinden bu yöntem yetersizdir. Bu nedenle yüzeyin maksimum pürüzlülüğü, ezilme yüksekliği denilen R_p ile ifade edilmektedir. Burada referans(ölçme) profili olarak en yüksek çıkıntıya teğet olan çizgi alınırsa;

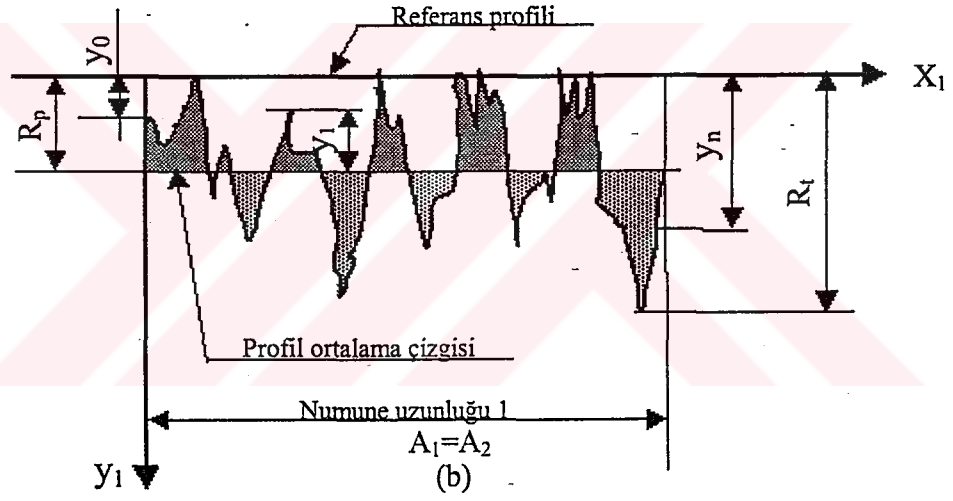
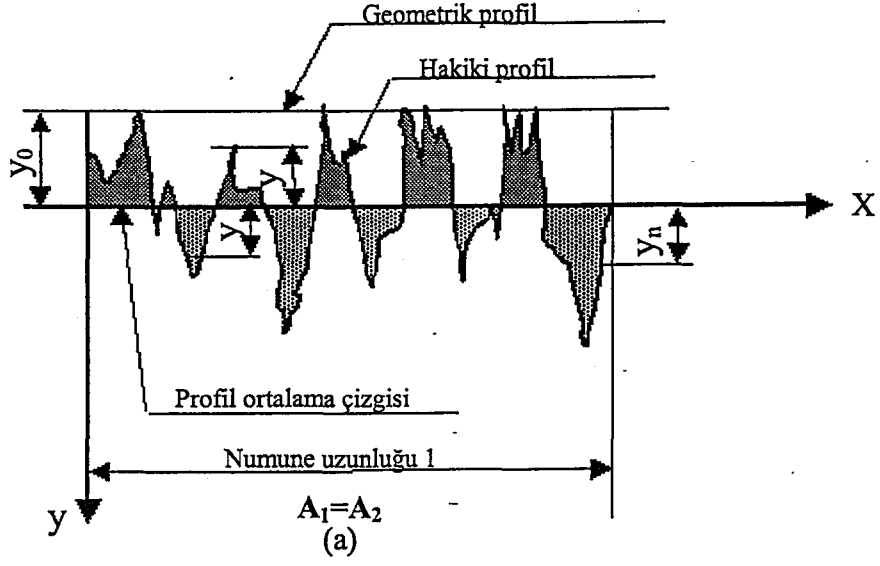
$$R_p = \frac{1}{l} \int_0^l y_1 \times dx \quad (2.6)$$

$$R_p = \frac{y_0 + \dots + y_n}{n} \quad (2.7)$$

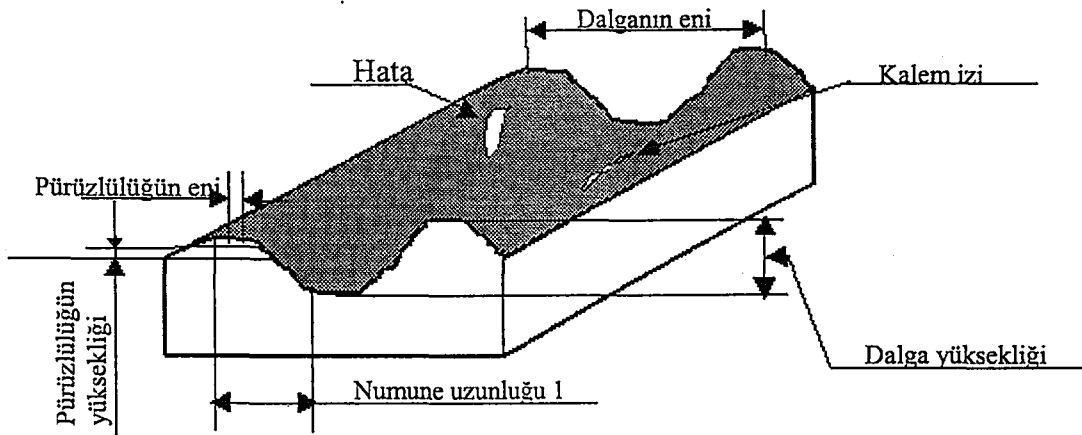
şeklinde ifade edilirler.

R_a ile R_p arasında belirli bir bağıntı olmamakla birlikte Şekil 2.9'da istatistiki değerlere dayanarak sayısal bağıntılar vardır. Bu bağıntı ortalama değer olarak;

$R_a = (0,2 \dots 0,25) \times R_p$; $R_p = 0,6 \times R_t$ alınabilir.



Şekil 2.8. Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi [86]



Şekil 2.9. Yüzey kalitesini tayin eden faktörler [86]

3. DENEY MALZEMELERİNİN SEÇİMİ VE HAZIRLANMASI

3.1. İş Parçası Malzemesinin Üretilmesi

Kompozit malzemeler yüksek performans gerektiren uygulama alanlarının yanı sıra daha düşük performanslı alanlarda da örneğin otomotiv endüstrisinde kullanma isteği, araştırmacıları, kompozit malzeme üretim maliyetini, bu tür endüstriler için daha makul seviyelere indirecek çalışmalara yöneltmiştir. Çünkü bu tür alanlar ticari kaygıların ön planda olduğu ve rekabetin endüstrideki gelişmeyi belirlediği alanlardır.

Malzeme ve makine mühendisleri, kompozit malzeme tasarım ve üretim proseslerinde maliyet etkisini göz önünde tutarak, kullanıma sunulan kompozit malzemelerin, rekabet gücünü arttıracak düzeyde yüksek mukavemet değerlerine sahip olmasını amaçlamaktadırlar.

Kompozit malzeme tasarım ve üretiminde, matriks alaşımını ve takviye elemanının uygun seçilmesi malzemenin iyi mekanik özelliklere sahip olması bakımından oldukça önemlidir [89]. Çünkü malzemenin gerilme altındayken göstereceği dayanım, matriks ve takviye elemanlarının oluşturacağı arayüzeyle yakından ilgilidir.

3.1.1. Matriks Alaşımı

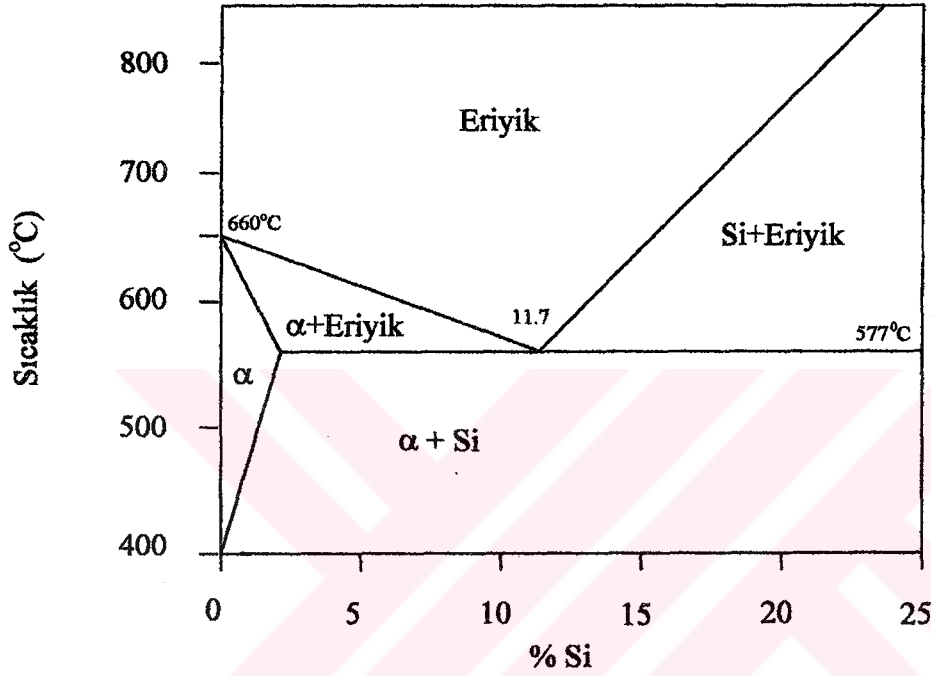
Kübik yüzey merkezli olan alüminyum kristal kafes yapısına ancak çok küçük oranlarda alaşım elementi alabilir. Bu element oranlarının daha yüksek olması durumunda alüminyum atomlarından ve alaşım elementlerinin çözünmeyen kısmından sert ve kırılgan kristal çeşitleri oluşur. Bu oran şekillendirilmek istenen döküm malzemeler için % 3-8 oranındadır. Ancak Al-Si alaşımı istisnai bir durum oluşturur ve % 11,7' de ötektik noktaya sahip olur(Şekil 3.1).

Döküm alaşımı olarak kullanılan Al-Si alaşımı kolay şekillendirilebilir. Bu alaşım, ince cidarlı ve kompleks parçaların dökümlerine elverişli bir alaşımdır. Bu alaşıma, Mg ilavesi ile matriks alaşımının mukavemetini arttırmak ve korozyona karşı direncini geliştirmek amaçlanmıştır.

Matriks alaşımı olarak sıkıştırma döküme uygun Al-Si alaşımı kullanılmıştır. Ayrıca matriks alaşımı ile takviye elemanı arasındaki yüzey enerjisini düşürerek (ıslatma açısını düşürerek) iyi bir bağ oluşturmasını sağlamak ve böylelikle dayanımı yüksek bir arayüzey bağı oluşturmak için % 2 Mg ilave edilmiştir. Kompozit malzemenin kimyasal analizi ODTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü tarafından spektro analiz cihazında yapılarak aşağıdaki değerler elde edilmiştir (Tablo 3.1).

Tablo 3.1. Al Si7 Mg2 matriks alaşımlarının kimyasal bileşimi.

Alüminyum	Si	Mg	Fe	Mn	Zn	Ni	Co	Cu	Ti
Kalan	7	2	0.54	0.38	0.110	0.074	0.116	0.13	0.086



3.1.2 Takviye Malzemesi

Takviye malzemesi olarak matriks alaşımı ile iyi bir arayüzey bağı oluşturan ve kolay elde edilebilen, 10-30µm boyutunda silisyum karbür (SiC) partiküller kullanılmıştır. Farklı boyutlarda partikül kullanılmasının sebebi; daha büyük boyutlu partiküllerin homojen karışım elde etmeye yardımcı olması, küçük partiküllerin daha fazla oranda kullanılması ise dayanım artışına yardımcı olmaktadır [62].

Takviye malzemesi olarak kullanılan SiC_p 'nin yoğunluğu 2,80 gr/cm³ olup, kompozit malzemenin spesifik mukavemet değerleri için önemli avantajlar sağlamaktadır.

3.1.3. Kompozit Malzemelerin Üretilmesi

Deneylerde kullanılan Al Si7 Mg2 MMK malzeme, ODTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Kompozit Malzeme Üretimi Dökümhanesinde 90mm çapında ve 150 mm boyunda üretildi. Üretimin ilk aşamasında matriks malzemesinin elde edilmesi için, ETİAL-140 alaşımına Si oranını % 7'ye düşürecek oranda % 99.9 saflıkta alüminyum ilave edildi. Silisyum oranının ötektik nokta % 11.7'den çekilmesindeki temel amaç katılaşma aralığını genişleterek, takviyelerin matriks alaşımı tarafından ısıtılması için yeterli bir süre tanımaktır. Takviyeleri ısıtma kabiliyetini arttırabilmek için % 2 Mg ilave edilmiştir.

Matriks alaşımının ergitilmesi sağlandıktan sonra içyapıda istenmeyen yapıların oluşumunu engellemek için yaklaşık 550 °C'de cüruf alınmış, 2 KW gücünde ve 1000 °C'ye çıkabilen indüksiyon ocağı fırınının kullanıldığı ergitme işleminde, takviyelerin (SiC) ilavesi ile oksidasyonu önlemek için koruyucu gaz olarak azot üflenmiştir. Takviye ilavesi yaklaşık 15gr/dak hızla yapılmıştır. Bu aşamada malzeme sıvı- katı aralığında olup, grafit bir çubukla karıştırılmaktadır. Karıştırma işlemi, partikül dağılımının homojen olmasına yardım etmek amacı ile karıştırıcı indüksiyon ocağı içerisinde yukarı-aşağı hareket ettirilmektedir. Partikül ilavesinden sonra, fırına verilen güç kesilerek eriyik sıvı-katı aralığına getirilmiş ve takviye-matriks arayüzey oluşumunun başlanması sağlanmıştır.

Karıştırma işlemi, eriyik hamur haline gelene kadar ve mekanik zorlama ile devam edildikten sonra kompozit malzemenin sıcaklığı 750 °C'ye çıkarılıp metal kalıba dökülerek, 100 MPa'lık basınç, malzeme katılaşmaya kadar uygulanarak sıkıştırma döküm yöntemiyle kompozit malzeme elde edilmiştir.

3.2. Isıl İşlemler

İş parçasının tornalanmasında, ısıl işlemin tornalanma performansı üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla; ısıl işlemsiz, homojenleştirme ve 8 saat yaşlandırma gibi 3 farklı işlem uygulanmış numuneler üzerinde gerçekleştirildi.

Homojenleştirme ısıl işleminde numuneler, 550 °C'de 5 saat bekletildikten sonra suya çekildi. Isıl işlem görebilen alüminyum alaşım serisinden olan malzemeye uyguladığımız yapay yaşlandırma işlemi için katı çözeltiliye yüksek sıcaklıkta tek faz bölgesinde çözündürme işlemi uygulanıp (550 °C'de 5 saat bekletme) ve sonra birden çözünürlüğün çok daha az olduğu oda sıcaklığında hızlı bir şekilde soğutulup (suya çekme işlemi), katı çözeltili aşırı doymuş katı çözeltili olarak yarı kararlı duruma getirildi. Bu aşırı doymuş katı çözeltili düşük sıcaklıkta ısıtılarak (185 °C'de 8 saat) yarı kararlı durumdan kararlı duruma getirildi. Yaşlandırılan numuneler tornada işleninceye kadar -10 °C'de tutularak aşırı yaşlanma önlendi.

3.3. Üretilen Kompozit Malzemelerin Özelliklerinin Tespiti

3.3.1. Yoğunluk

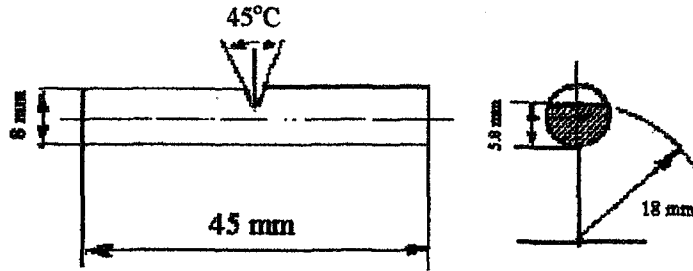
MMK malzemelerin yoğunluk ölçümleri, her numuneden 5 adet küp şeklinde parça alınmış ve bu parçalar 180, 320, 400, 600 ve 800 meshlik zımpara kademelerinden geçirilmiştir. Zımparalama kademelerinden sonra numune yüzeyleri temizlenerek kurutulmuştur. Yoğunluk ölçümleri 0.0001 gram hassasiyetli, 4 saniye tepki süresine ve 125 gr tartım alanına sahip Precisa 125 A/ SCS model cihazında yapılmıştır. Archimet Prensibi kullanılarak su içerisindeki ağırlık ve yoğunlukları ölçülmüştür. Her numune için elde edilen yoğunluk değerinin ortalaması alınarak numunelerin yoğunluğu belirlenmiştir.

3.3.2. Sertlik

Kompozit malzemelerden alınan numunelerin sertlik değerleri, TEMSAN Su Türbinleri ve Genaratör Fabrikasındaki Wolpert-Werstooffprafmachinen Amsler Otto Wolpert Tester cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Yüzeyleri temizlenen ve ölçüm için hazırlanan her numune üzerinden 5 adet ölçüm yapılarak, bulunan değerlerin ortalaması alınıp, malzemenin sertlik değeri tespit edilmiştir.

3.3.3. Darbe Dayanımı

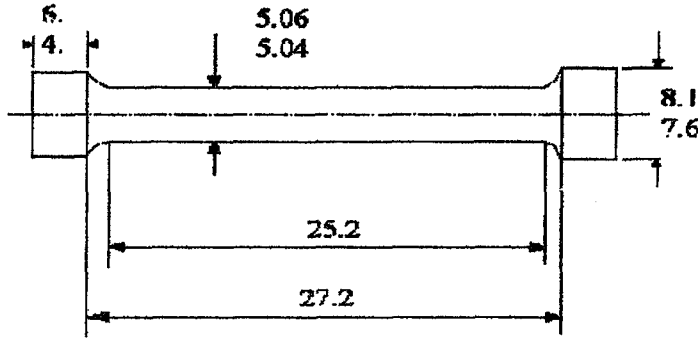
Çentik darbe deneyi için kompozit malzemeden alınan numuneler, Balanced Impact Machine cihazına uygun standartlara göre hazırlanmıştır. Şekil 3.2'de şematik olarak gösterilen numunelerden her takviye oranında işlemsiz, homojenleştirilmiş ve yaşlandırılmış numuneler için üç ölçüm yapılmış ve elde edilen değerlerin ortalaması malzemelerin darbe dayanımı olarak bildirilmiştir.



Şekil 3.2. Çentik darbe cihazına uygun standartlarda hazırlanmış yuvarlak kesitli darbe numunesinin şematik görünümü.

3.3.4. Çekme Mukavemeti

Çekme deneyi için kompozit malzemelerden alınan numuneler, Monsnto Tensometer Type “W” cihazına uygun standartlara göre hazırlanmıştır. Şekil 3.3’te şematik olarak gösterilen numunelerden her takviye oranı için 3 ölçüm yapılmış ve elde edilen değerlerin ortalaması malzemelerin çekme mukavemetleri olarak bildirilmiştir.



Şekil 3.3. Çekme cihazına uygun standartlarda hazırlanmış yuvarlak kesitli çekme numunelerinin şematik görünümü.

3.4. Metalografik İncelemeler

Metalografik incelemeler için kompozit numunelerin yüzeyi, zımparalama esnasında kopan partiküller tarafından aşındırılmaması ve yüzeyde farklı oluşumlara engel olmak için işlem, sulu ortamda ve 180, 320, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 meshlik zımparalar kullanılarak yapılmıştır. Daha sonra 6 µm hassasiyetindeki elmas pasta ile parlatma cihazından geçirilen numuneler kurutularak, yüzeyi temizlenmiş ve optik mikroskopta incelenmeye ve fotoğraf çekimine hazırlanmıştır.

3.5. Deneyde Kullanılan Tezgah ve Cihazlar

Takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü deneylerinin tümünde aşağıda özellikleri verilen tezgah ve cihazlar kullanılmıştır.

3.5.1. Torna Tezgahı

Al Si7 Mg2 metal matriks kompozit malzemenin işlenmesi için kullanılan torna tezgahı, Fritz Warner lisansı ile Makine Kimya Endüstrisi Kurumu tarafından imal edilmiştir. Tezgah 6.5 KW gücünde ve 24 kademeli devir sayısına sahip olup (Tablo 3.2) punta açıklığı 2000mm’dir. Araba üzerinde işlenebilecek maksimum parça çapı 220mm ve kızaklar üzerinde işlenebilecek parça çapı ise 400mm’dir.

Tablo3.2. Torna tezgahının devir sayısı kademeleri

Devir Sayıları (dev/dak)			
22.4	180	45	360
31.5	250	63	500
45	360	90	710
63	500	125	1000
90	710	180	1400
125	1000	250	2000

3.5.2. Yüzey Pürüzlülük Ölçü Aleti

Yüzey pürüzlülüğünü ölçmek için kullanılan ölçü aleti, Mitutoyo marka Surftest 211 modelinde olup dijital göstergeli mekanik iğnelidir. Ölçme aralığı Ra: 0.05~40 μ m, Rq: 0.05~0.40 μ m ve Ry: 0.3 ~160 μ m arasındadır.

3.5.3. Mikroskop

Nikon Epiphot 200 marka 5 ile 1000x büyütme kapasiteli 12 volt ve 8.4 amper transformatorlu metal mikroskoptur.

3.5.4. Takım Malzemesi

Al Si7 Mg2 metal matriks kompozit malzemenin işlenmesi için yapılan çalışmada K10 kalitesindeki kesici tavsiye edilmiştir. Bu kesicinin ve katerlerinin özellikleri aşağıda görülmektedir.

Kesici : TNMA 160408

Kater : PTGNR/L 2525 M16

3.6. Deney Şartlarının Belirlenmesi

3.6.1. Kesme Hızı

Al Si7 Mg2 metal matriks kompozit malzemenin işlenmesi için önerilen kesme hızları 20~200 m/dak arasındadır [30, 32, 41, 47]. Ancak bazı araştırmacılar, daha küçük ve daha yüksek hızlarda da çalışmışlardır. Bu nedenle kesme hızının seçimi, iş parçası çapı ve tezgah devir sayıları dikkate alınarak yapıldı. Bu nedenle deneylerde 50, 100 ve 150 m/dak'lık kesme hızları kullanıldı.

3.6.2. İlerleme

İşlenecek parçanın yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli faktörlerden biri ilerlemedir. Ancak tezgah konstrüksiyonunun ilerleme değerlerinin seçiminde etkili olması ve literatürlerdeki ilerlemeler de dikkate alınarak, 0.1, 0.2 ve 0,3 mm/dev olmak üzere üç farklı değerde seçildi.

3.6.3. Paso Derinliği

Daha önceki araştırmacıların deneylerinde kabul ettikleri paso derinlikleri, tezgahın konstrüksiyonu ve kesici takım üreticilerinin K10 kesicilerle Al Si7 Mg2 metal matriks kompozit malzemenin işlenmesi için önerdikleri paso derinlikleri dikkate alınarak, deneylerde 0.5, 1 ve 1,5mm paso derinlikleri seçildi.

3.6.4. Kesici Takım Parametreleri

Üretilen Al Si7 Mg2 metal matriks kompozit malzemenin tornalanması işleminde, kesici takım kaplamasının takım ömrü üzerindeki etkisinin araştırılması için kesici takım kaplamasız ve kaplamalı (TiN) olarak seçildi.

3.6.5. Soğutucu Akışkan Kullanılması

Kompozit malzemenin talaşlı işlenmesinde, soğutucu akışkanın takım ömrü üzerindeki etkisinin araştırılması için CO₂ gazı kullanılarak soğuk (~ -3°C) talaşlı işleme (Cryogenic Machining) yapılacaktır.

4. DENEYLERİN YAPILMASI ve SONUÇLARI

Al Si7 Mg2 alaşımına, ağırlıkça yüzde 5 ve 15 oranlarında SiC_p takviye edilerek, sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilmiş malzemelerin, fiziksel ve mekanik özellikleri (yoğunluk, sertlik, darbe dayanımı) tespit edildi. Metalografik çalışmalar, optik mikroskobu kullanılarak yapıldı. Ayrıca, Al Si7 Mg2 MMK malzemenin talaşlı işlenmesi yapılarak, takım aşınması farklı işleme şartlarında tespit edildi.

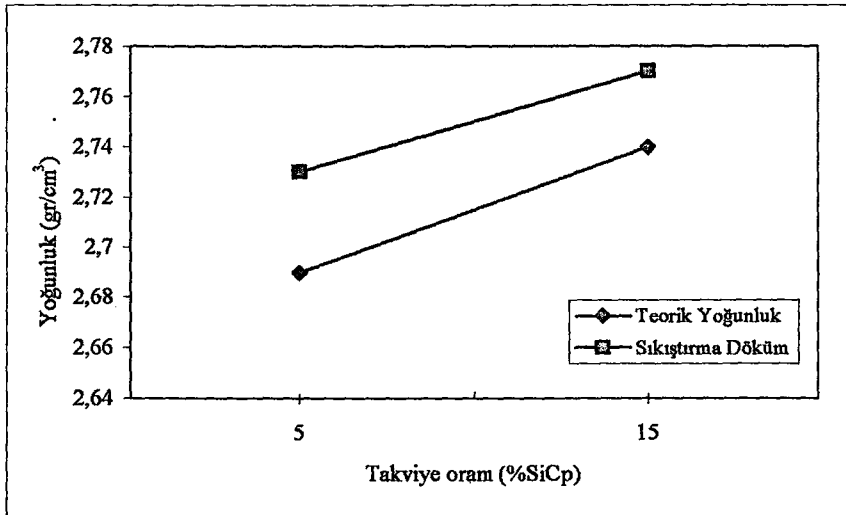
4.1. Al Si7 Mg2 MMK Malzemenin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

4.1.1. Yoğunluk

Al Si7 Mg2 matriks alaşımının yoğunluğu 2,65 gr/cm³, takviye malzemesi olan SiC_p'ün yoğunluğu ise 2.80 gr/cm³ olduğundan, takviye oranının artması ile karışımlar kuralına göre hesaplanan kompozit malzemenin teorik yoğunluk değerleri beklenildiği gibi yüksektir[62]. Bu yükselme takviye elemanı ile matriks elemanı arasındaki yoğunluk farkı ile açıklanabilir. Kompozit malzemelerin yoğunluk değerleri aşağıda Tablo 4.1 ve Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Teorik olarak hesaplanan ve deneysel olarak ölçülen kompozitlerin yoğunluk değerleri

Takviye oranı (% Ağırlık)	Yoğunluk (g/cm ³)	
	Teorik Yoğunluk	Sıkıştırma Döküm
% 5 SiC _p	2,69	2,73
% 15 SiC _p	2,74	2,77



Şekil 4.1. Teorik olarak hesaplanan ve deneysel olarak ölçülen kompozitlerin yoğunluk değişimi

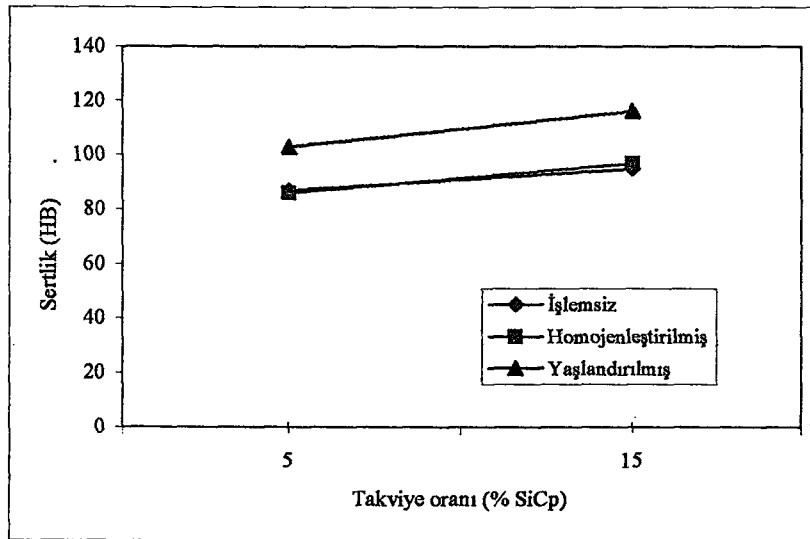
Şekil 4.1 incelendiğinde kompozit malzemenin yoğunluğunun artmasının sebebi, sıkıştırma döküm sonrası boşlukların oluşması için yeterli zaman olmaması ve uygulanan basınç sayesinde partikülün iyi ıslatılması ile partikül civarlarında boşluk oluşması için gerekli zamanın olmayışıdır.

4.1.2. Sertlik

Al Si7 Mg2 MMK malzemede sertlik, artan takviye miktarının artması ile orantılı olarak yükselmiştir. Al Si7 Mg alaşımlı matriks malzemesinin sertlik değeri 65 HB [90] olduğu dikkate alındığında Tablo 4.2’de işlemsiz, homojenleştirilmiş ve yaşlandırılmış olan numunelerin sertlik ölçüm sonuçları verilmiştir. Farklı şartlardaki numunelerin sertlik değişimleri Şekil 4.2’de görüldüğü gibidir.

Tablo 4.2. Üretilen kompozit malzemenin Brinell Sertlik değerleri

Takviye Türü	Sertlik (HB)		
	İşlemsiz	Homojenleştirilmiş	Yaşlandırılmış
% 5 SiC	87	86	103
% 15 SiC	95	97	116



Şekil 4.2. Üretilen kompozit malzemenin Brinell Sertlik değişimi

Tablo 4.2 ve Şekil 4.2 incelendiğinde, %5 SiC takviyeli kompozit malzemede %33 artış olduğu aynı şekilde homojenleştirilen kompozitlerdeki sertlik, işlemsiz malzemeyele aynı olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanında %5 SiC takviyeli malzeme yaşlandırıldıktan sonra elde edilmiş malzemenin sertlik değerinde %63'lük bir artış olduğu tespit edilmiştir. %15 SiC takviyeli kompozit malzemenin sertliğinde %46 artış olduğu, homojenleştirilmiş numunenin sertlik değerinin ısı işlemsiz malzemeye yakın olduğu, ancak yaşlandırılmış numunenin sertlik değerinde %78'lik bir artış olduğu tespit edilmiştir. Bu durum kompozit malzeme üretim amaçlarına uygun bir sonuçtur, çünkü sıkıştırma döküm yönteminde kullanılan basınç ve yine üretim yönteminden kaynaklanan hızlı soğuma, ince taneli iç yapı oluşumuna neden olmaktadır. Ayrıca oldukça yüksek sertliğe sahip (2480 Knoop Sertliği) SiC_p oranı küçük taneli kompozit malzeme ile bir arada olması diğer mekanik özelliklerinin yanı sıra sertlik değerlerinin de yükselmesinde önemli rol oynamaktadır.

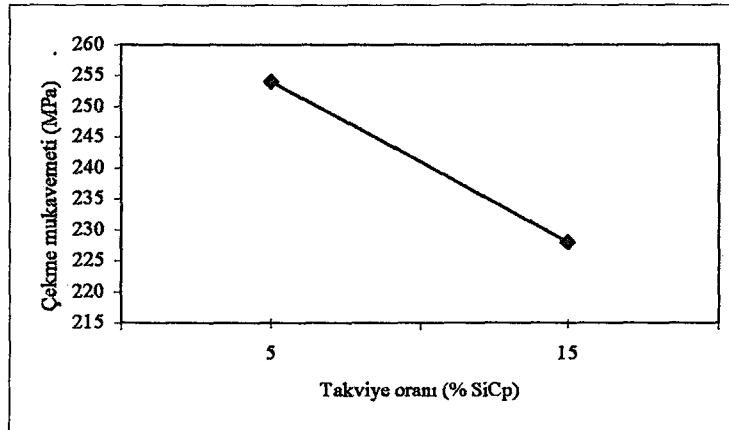
Yaşlandırma işlemi sonucu Al matrikste çok küçük partiküllerin çökmesi matriks sertliğini arttırmaktadır[91].

4.1.3. Çekme Mukavemeti

Al Si7 Mg alaşımının çekme mukavemeti kum döküm yönteminde 140 MPa, metal kalıba döküm de ise çekme mukavemeti 180 MPa'dır [90]. Isıl işlemsiz malzemenin çekme mukavemeti değerleri Tablo 4.3'te görülmektedir.

Tablo 4.3. Üretilen kompozit malzemenin çekme mukavemeti değeri

Takviye oranı	Çekme Mukavemeti [MPa]
% 5 SiC _p	254
% 15 SiC _p	228



Şekil 4.3. Üretilen kompozit malzemenin çekme mukavemeti değerleri

Deneylemler sonucunda elde edilen çekme mukavemeti değerleri incelendiğinde, %5 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 metal matriks kompozit malzemede %41'lik artış olduğu, % 15 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 metal matriks kompozit malzemede ise %25'lik bir artış olduğu tespit edilmiştir.

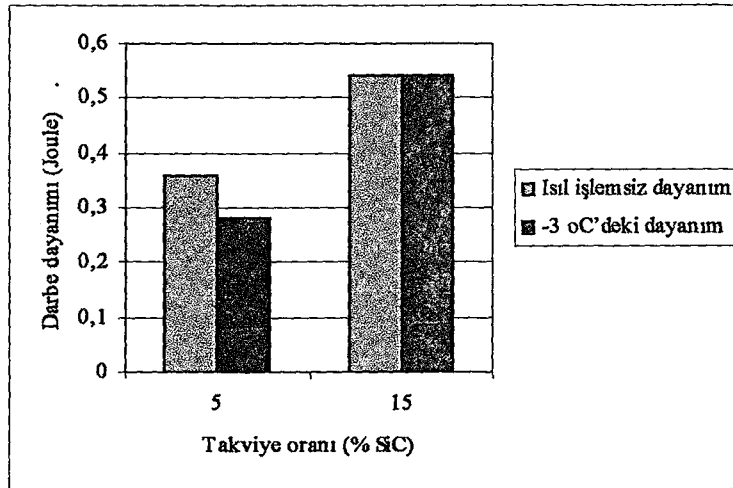
4.1.4. Darbe Dayanımı

Kompozit malzemelerin darbe dayanımı, takviye malzemesinin çok gevrek bir yapıya sahip olmasından dolayı düşüktür. Özellikle takviye elemanı ile matriks malzemesi arayüzeyinde oluşan oldukça kırılmalı olan intermetalik bileşiklerin varlığı, kompozit malzemenin darbe dayanımının düşmesine neden olur. Ayrıca partikül boyutundaki takviyelerin büyüklüğü, matriks içerisindeki dağılımı ve köşeli olması kompozit malzemenin düşük dayanımlı bir özellik göstermesine yardımcı olur. Yavaş soğumadan dolayı oluşan hava boşluğu da kırılmalı bir yapının oluşumunda önemli bir etkidir.

Matriks alaşımı sünek bir yapıya sahip olmasına rağmen tüm kompozit malzemeleri darbe dayanımının düşük olduğu gözlemlenmiştir (Tablo 4.4).

Tablo 4.4. Al Si7 Mg2 MMK malzemenin darbe dayanım değerleri

Takviye oranı (% Ağırlık)	Darbe Tokluğu (Joule)	
	Sıkıştırma Döküm	-3 °C'deki dayanım
% 5 SiC _p	0,36	0,28
% 15 SiC _p	0,54	0,54



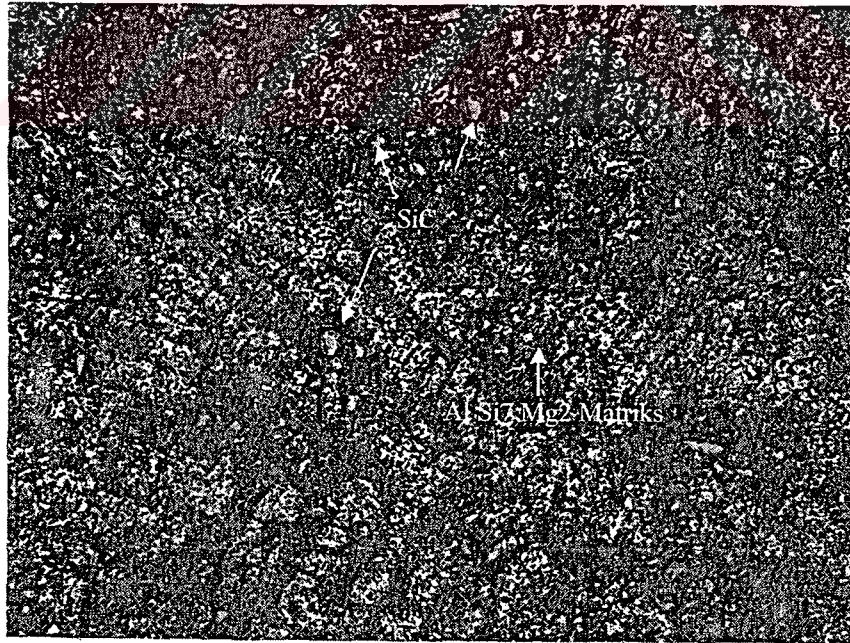
Şekil 4.4. Al Si7 Mg2MMK malzemenin darbe dayanımındaki değişim

4.2. Metalografik Çalışmalar

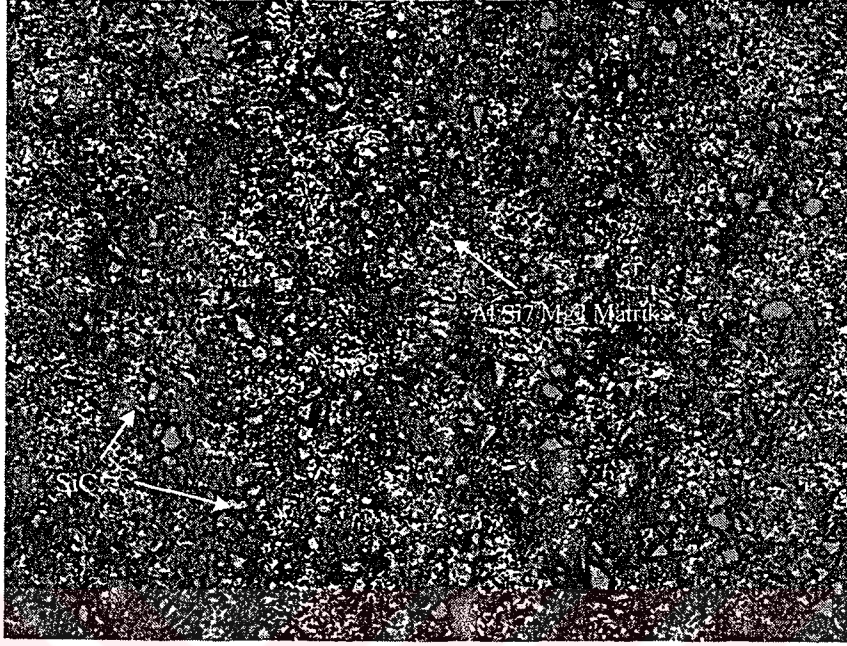
Partikül boyutunda % 5 ve %15 silisyum karbür (SiC) ile takviyelendirilerek sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilmiş, Al Si7 Mg2 metal matriks kompozit malzemenin optik mikroskopta elde edilen görüntüleri Şekil 4.5- Şekil 4.7’de verilmiştir. Şekiller incelendiğinde açık renkli bölgeler matriks malzemesi Al Si7 Mg2 alaşımını, siyah bölgeler ötektik silisyum fazını, gri parçacıklar ise silisyum karbürü göstermektedir.

Şekil 4.5’te % 5 SiC takviyeli sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilen kompozit malzemeden elde edilen görüntü görülmektedir. Sıkıştırma döküm yönteminde kullanılan basınç, takviye-matriks arayüzeyinde boşluk oluşumunu engellemiş ve ötektik silisyumun belirgin oluşumu ve dengeli dağılımı görülmektedir. Ancak silisyum ötektiği, katılaşmanın son evresinde silisyumu zengin sıvıdan oluştuğu için ve silisyum karbürün ısı iletim katsayısı düşük olduğundan, genellikle silisyum karbür etrafında daha geniş alan olarak gözlenmektedir.

Şekil 4.6 ve Şekil 4.7, % 15 SiC takviyeli sıkıştırma döküm kompozitinin mikro yapı fotoğraflarını göstermektedir. Takviye oranının artması düzgün dağılımı zorlaştırmasının yanı sıra sıkıştırma döküm esnasında kullanılan basınç takviyelerin çatlamasına hatta bazı bölgelerde parçalanmasına neden olmaktadır.



Şekil 4.5. % 5 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 MMK malzemenin mikro yapısı



Şekil 4.6. % 15 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 MMK malzemenin mikro yapısı



Şekil 4.7. % 15 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 MMK malzemenin partikül dağılımı

4.3. Al Si7 Mg2 MMK Malzemenin Talaşlı İşlenmesi

Deneylerde, Al Si7 Mg2 metal matrisli kompozitlerin işlenmesinde etkili olan takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğünün araştırılması ISO 3685-E de belirtilen norm değerler göz önüne alınarak yapıldı. Yukarıda bahsedilen konulara Al Si7 Mg2 MMK'leri işlemede etkili olan faktörlerin çokluğu ve bunların tümünün birden araştırılmasının sıhhatli bir şekilde yapılmasına yardımcı olacağı düşüncesiyle aşağıda görülen bir program hazırlandı.

1. Aşınma-zaman deneyleri
 - 1.1. Hız değişken
 - 1.2. İşleme şartları değişken
 - 1.3. Paso derinliği değişken
 - 1.4. Devir başına ilerleme değişken
2. Yüzey pürüzlülüğü deneyleri
 - 2.1. Yüzey pürüzlülüğü-kesme hızı deneyleri
İşleme şartları değişken
 - 2.2. Yüzey pürüzlülüğü-işleme şartları deneyleri
Kesme hızı değişken
 - 2.3. Yüzey pürüzlülüğü-paso derinliği deneyleri
İşleme şartları değişken
 - 2.4. Yüzey pürüzlülüğü-devir başına ilerleme deneyleri
İşleme şartları değişken

şeklinde bir yol takip edilerek tüm deneylerde kullanılan parametreler ve değerleri Tablo 4.5.'te verilerek deneyler yapıldı. Elde edilen sonuçların tablo ve grafikleri hazırlanarak, araştırmanın tamamlanmasına çalışıldı.

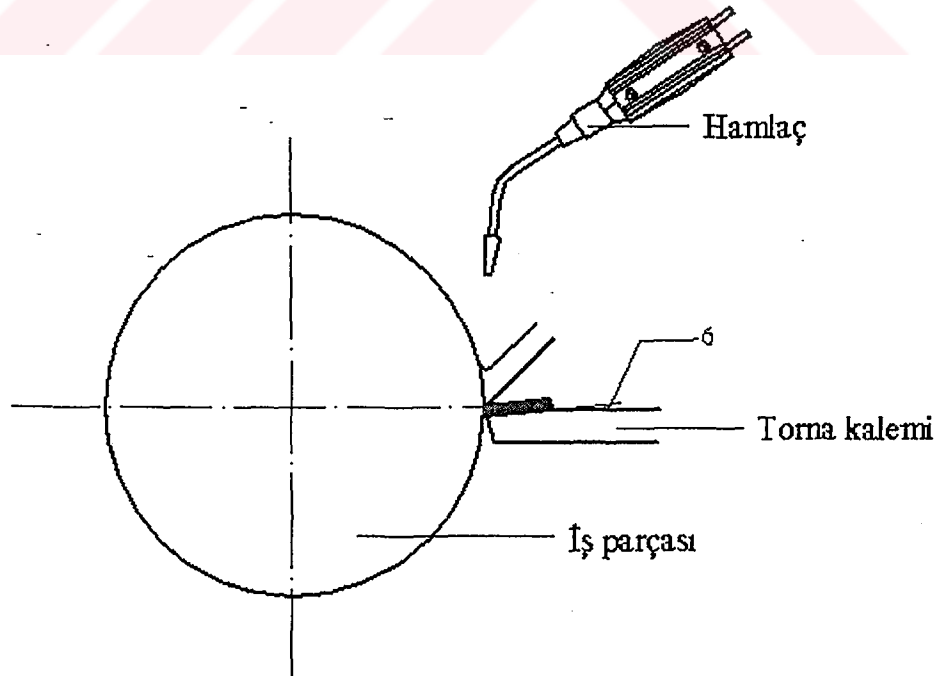
Tablo 4.5. Deneylerde değişken olarak kullanılan parametreler ve değerleri

Parametreler	Değerleri
Takviye Oranı	% 5 ve %15 SiC takviyeli
İşleme Şartları	İşlemsiz, Homojenleştirilmiş, Yaşlandırılmış, Soğuk Talaşlı İşleme(Isıl işlemsiz numuneler)
Takım Cinsi	WC Kaplamasız (K10), WC TiN Kaplı(K19)
Kesme Hızı	50,100,150 (m/dak.)
İlerleme	0.1, 0.2, 0.3 (mm/dev)
Paso derinliği	0.5, 1, 1.5 (mm)

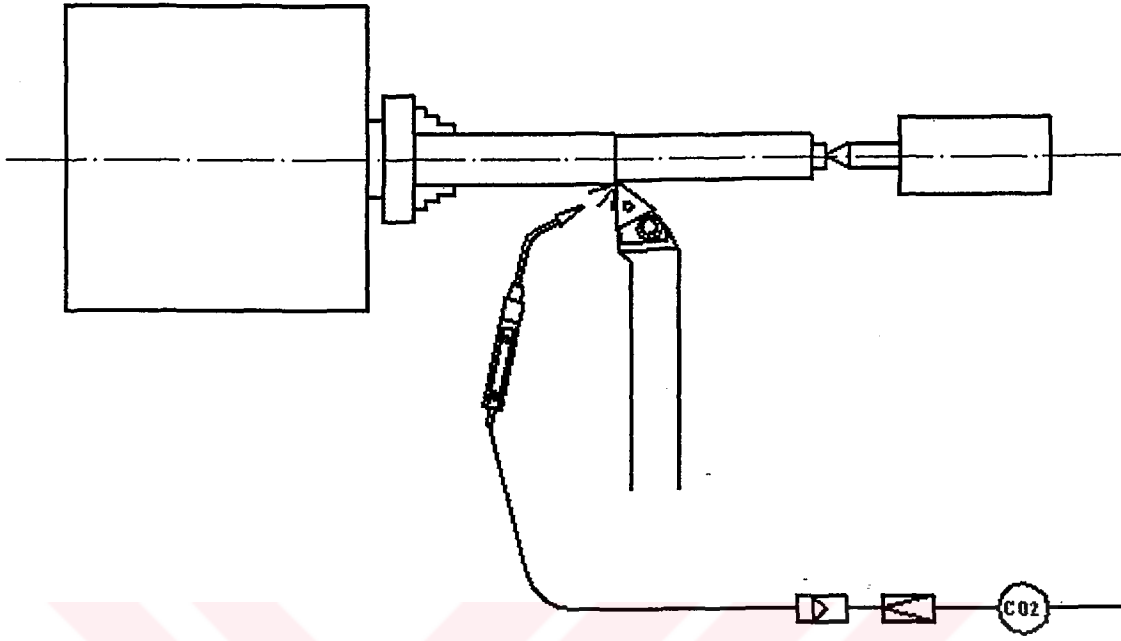
4.3.1. Aşınma-Zaman Deneyleri

Al Si7 Mg2 MMK'lerin işlenmesi için, 90 mm çapında ve 150 mm boyunda malzemeler kullanıldı. Önce bu malzemelerin punta delikleri özel olarak temin edilen sert metal uçlu kesicilerle standart bir şekilde açıldı. Daha sonra bu malzemeler tezgaha sırasıyla ayna ile punta arasına alınarak bağlandı. Deneyler işlemsiz, homojenleştirilmiş, yaşlandırılmış ve soğuk talaşlı olarak yapılması planlandığı için, ilk deneyler işlemsiz talaşlı olarak yapıldı. Ayrıca dökümden çıkmış Al Si7 Mg2 MMK'lerin yüzeyleri, aşınma deneylerine olumsuz etkisini ortadan kaldırmak için deney malzemeleri K10 kesicilerle tornalanarak kaba paso ile temizlendi.

Al Si7 Mg2 MMK'lerin işlenmesinde talaşlı işleme deneylerinde kullanılan kesme şartları (kesme hızı, ilerleme, paso derinliği) aynı şekilde kullanıldı ve deneyler işlemsiz, homojenleştirilmiş, yaşlandırılmış ve soğuk talaşlı işleme için yapıldı. Özellikle soğuk talaşlı işlemeye başlamadan önce hamlaç Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da gösterildiği gibi kesme noktasında 15 mm mesafede olmasına dikkat edildi ve bunun için özel bir aparat yapıldı. Soğuk talaşlı işleme, -10°C 'de soğutucuda tutulan işlemsiz Al Si7 Mg2 MMK malzeme tezgaha bağlanarak ve kesme bölgesine CO_2 gazı gönderilerek -3°C civarında tutulması sağlandı. Kalibrasyon işlemi, deney sıcaklığında ve her deney öncesi enfrauj temassız termometre ile yapıldı.

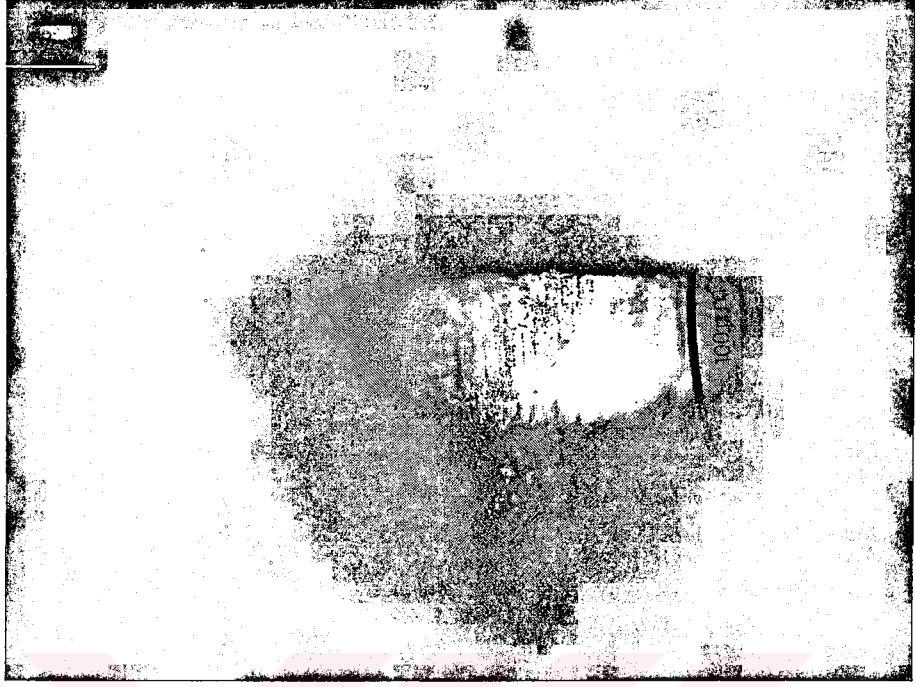


Şekil 4.8. Hamlacın parça üzerindeki konumu

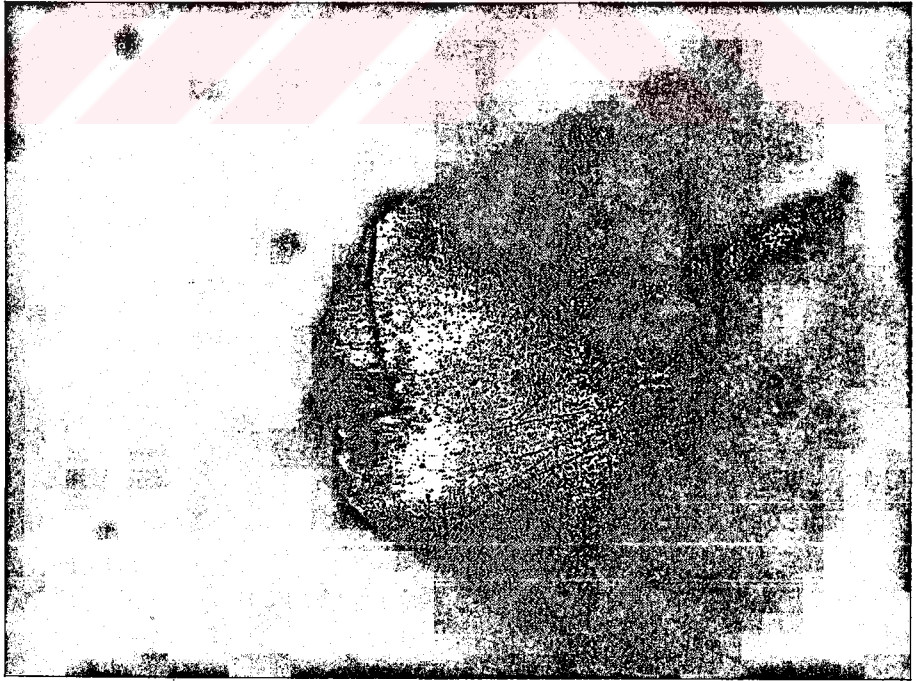


Şekil 4.9. Deney düzeneği

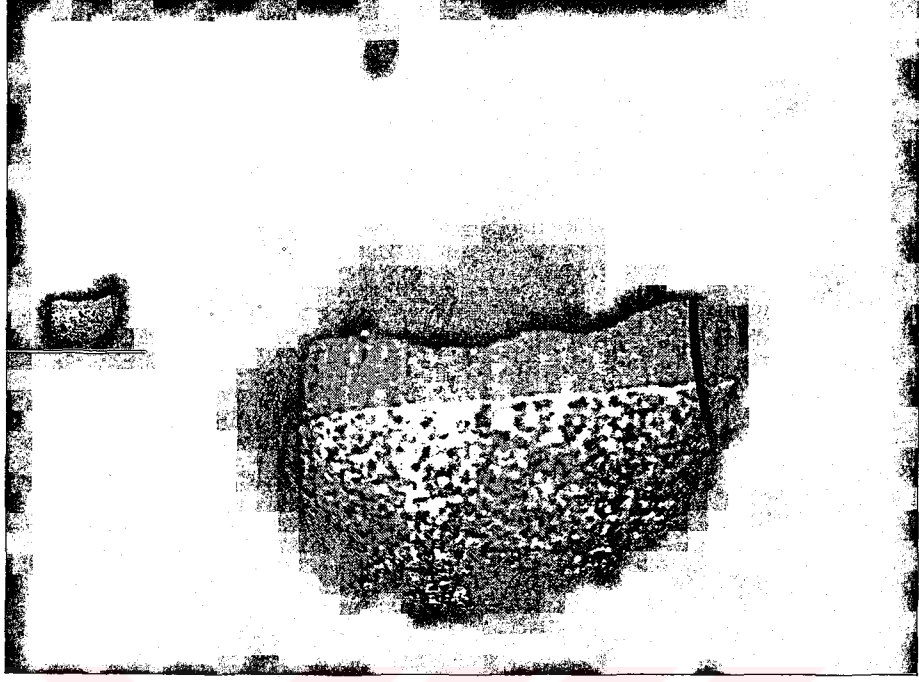
Yüzeyleri temizlenen iş parçalarının işlemsiz, homojenleştirilmiş, yaşlandırılmış ve soğuk talaşlı işleme deneylerinde, önceden belirlenen standart kesme hızları kullanıldı. Bunun için iş parçalarının çapları belirlenen kesme hızını sağlayacak şekilde tornalanarak deneye hazır bir hale getirildi. Kesme hızının belirlenmesinde iş parçası çapı olarak ISO 3685-E de belirtildiği gibi işlenecek yüzey esas alındı ve iş parçaları çapları deneyler için önceden belirleyen kesme hızlarını sağlayacak ölçülere getirildi. Deneylerde kesici takımda meydana gelen aşınmalar 50 , 100 ve 150 m/dak kesme hızlarında 30 sn zaman aralıklarında yan yüzey aşınması (V_B) değerleri ölçüldü (Şekil 4.10). Kesici plakentinin özelliğinden dolayı kalemin talaş yüzeyinde krater aşınması meydana gelmedi (Şekil 4.11). Kalemin yan yüzeyi üzerindeki aşınma miktarları çeşitli büyütmelemlerde büyütülerek mikroskobun optik ekranından ölçüldü. Bu işlem sırasında plaket üzerine yapışan metalik parçacıklar dikkatlice temizlendi. Kalem aşınması dışında, kesici ucun ani kırılması ve bozulmasından meydana gelen hasarlar, deneylerde dikkate alınmadı ve aynı deneyler kesici uç değiştirilerek tekrarlanıp kalem aşınmaları ölçüldü. Ayrıca talaşlı işleme esnasında özellikle düşük hızlarda kesici takımın uç kısmında yığılma kenar ağzı oluştuğu gözlemlendi (Şekil 4.12-4.13).



Şekil 4.10. Yan yüzey aşınmasının optik mikroskopla görünüşü
(Büyütme:10x 20)



Şekil 4.11 Kesici takımın üstten görünüşü (Büyütme:10x20)



Şekil 4.12. Kesici takımında yığma kenar ağzı oluşumu(Büyütme:10x20)



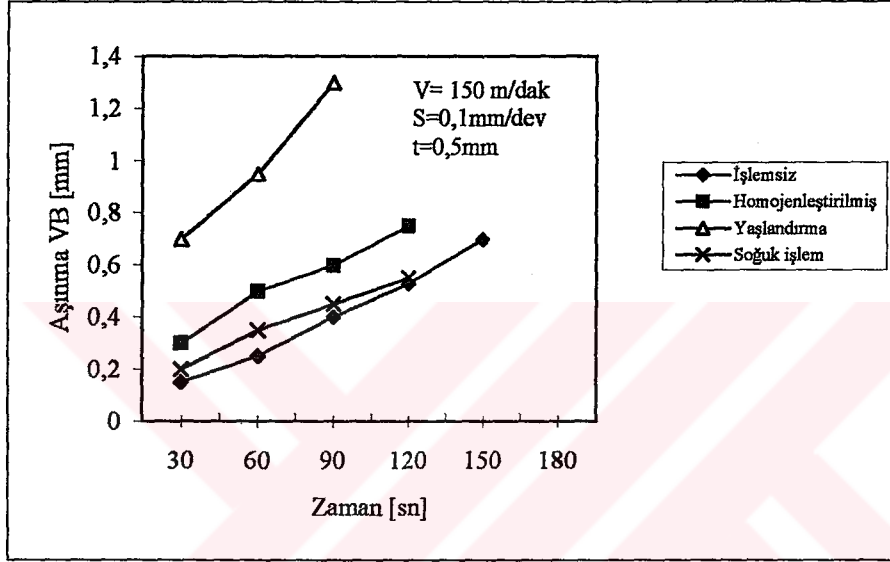
Şekil 4.13. Kesici takımında yığma kenar ağzı oluşumu(Büyütme:10x20)

Deneyler neticesinde elde edilen sonuçlar, % 5 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 MMK malzeme için (Tablo 4.6-4.32) ve %15 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 MMK malzeme için (Tablo 4.33-4.59) tablolar haline getirildi. Tablolar haline getirilen değerler için aşınma-zaman eğrileri, %5 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 MMK malzeme için (Şekil 4.14.-4.40) ve %15 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 MMK malzeme için (Şekil 4.41 -4.67) çizildi. Deneylerde, kesme hızının takım aşınması üzerine etkisini tespit etmek için, aşınma zaman grafikleri esas alınarak, % 5 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 MMK malzeme için (Tablo 4.60-4.67) ve %15 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 MMK malzeme için (Tablo 4.68-4.75) tablolar oluşturularak grafikleri çizildi (Şekil 4.68-4.83). Aynı şekilde kesme derinliğinin takım ömrüne etkisi Tablo 4.76-4.91'de ve grafikleri Şekil 4.84-4.99'da ve ilerleme hızının takım ömrüne etkisi Tablo 4.92-4.107'de verilerek grafikleri Şekil 4.100-4.115'te çizilmiştir.

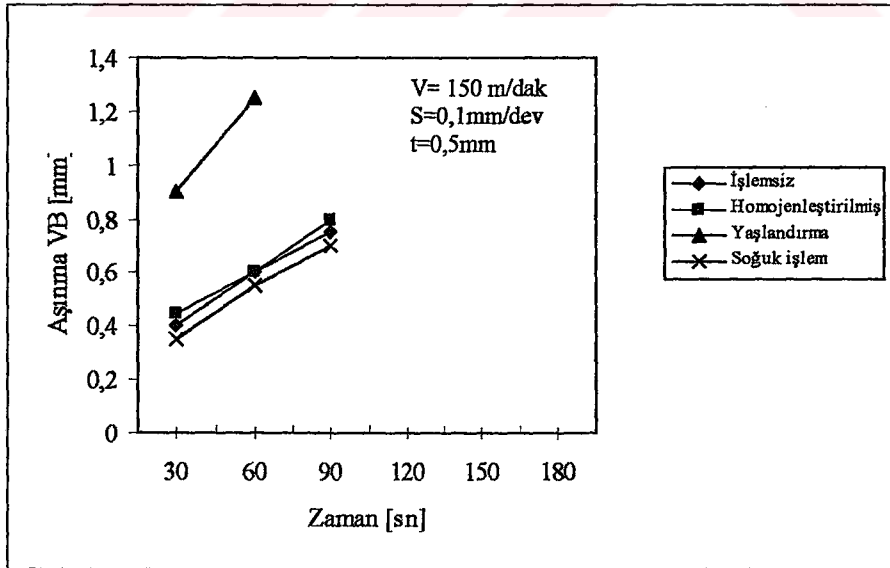


Tablo 4.6. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin V=150 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi (S=0.1 mm/dev, t=0.5 mm)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk talaşlı işleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,15	0,40	0,30	0,45	0,70	0,90	0,20	0,35
60	0,25	0,60	0,45	0,65	0,95	1,25	0,35	0,55
90	0,40	0,75	0,60	0,80	1,30		0,45	0,70
120	0,53		0,75				0,55	
150	0,70							
180								



(a)

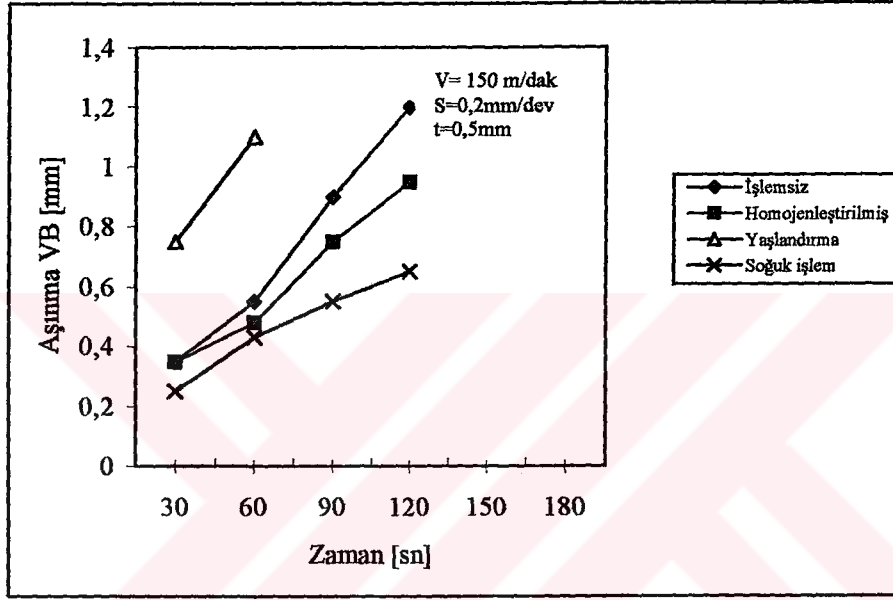


(b)

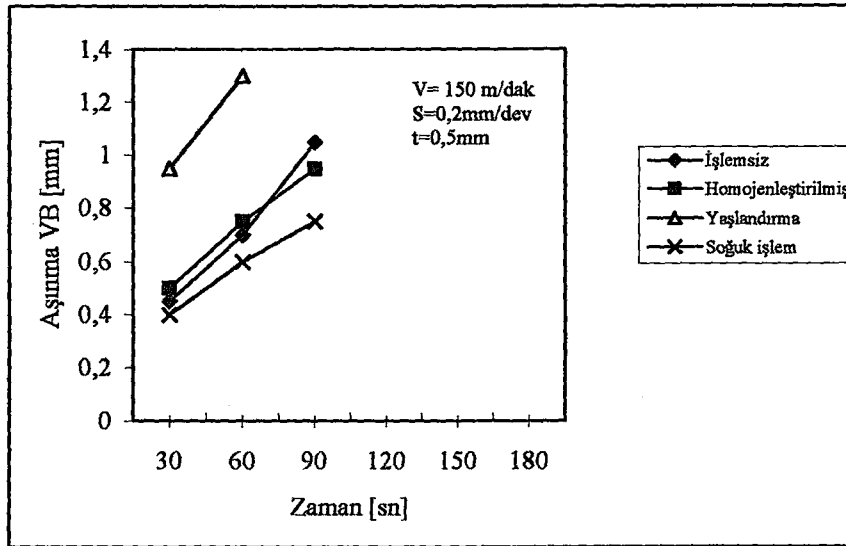
Şekil 4.14. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b)Kaplamasız

Tablo 4.7. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin V=150 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi (S=0.2 mm/dev, t=0.5 mm)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk Talaslı İşleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,35	0,45	0,35	0,5	0,75	0,95	0,25	0,40
60	0,55	0,70	0,48	0,75	1,10	1,3	0,43	0,60
90	0,90	1,05	0,75	0,95			0,55	0,75
120	1,20		0,95				0,65	
150								
180								



(a)

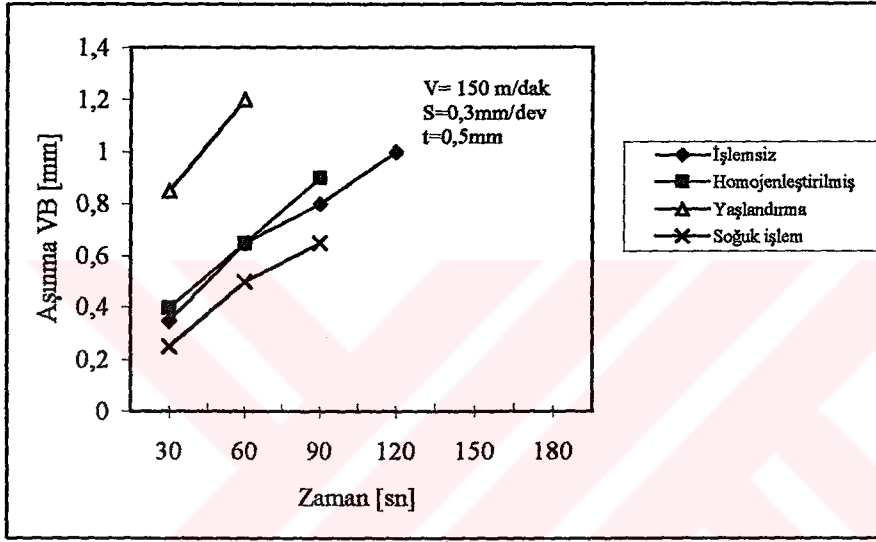


(b)

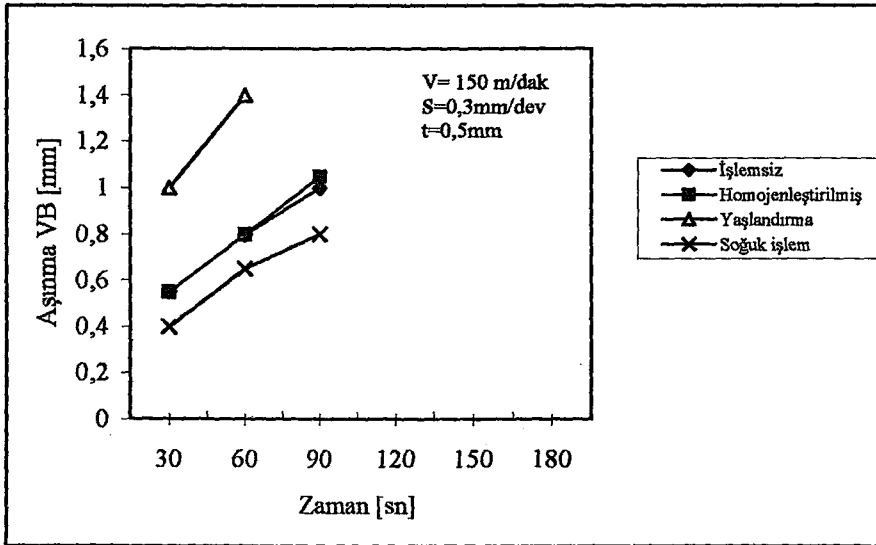
Şekil 4.15. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.8. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin $V=150$ m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi
($S=0.3$ mm/dev, $t=0.5$ mm)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk Talaşlı İşleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,35	0,55	0,40	0,55	0,85	1,00	0,25	0,40
60	0,65	0,80	0,65	0,80	1,20	1,40	0,50	0,65
90	0,80	1,00	0,90	1,05			0,65	0,80
120	1,00							
150								
180								



(a)

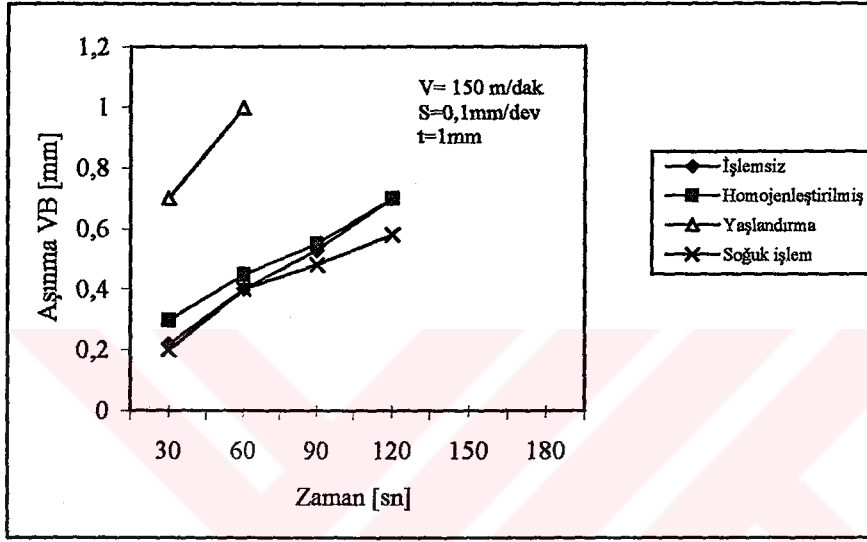


(b)

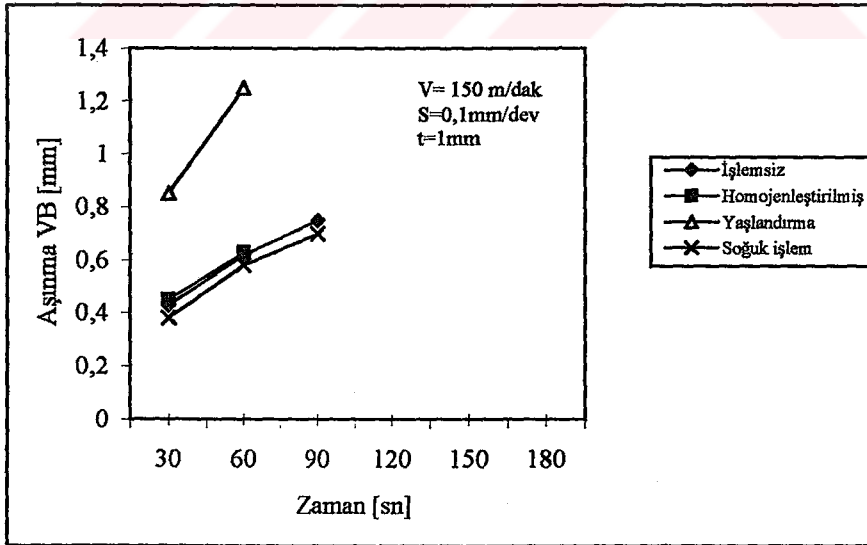
Şekil 4.16. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.9. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin V=150 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi (S=0.1 mm/dev, t=1 mm)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk Talahlı İşleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,22	0,43	0,30	0,45	0,70	0,85	0,20	0,38
60	0,40	0,62	0,45	0,63	1,00	1,25	0,40	0,58
90	0,53	0,75	0,55				0,48	0,75
120	0,70		0,70				0,58	
150								



(a)

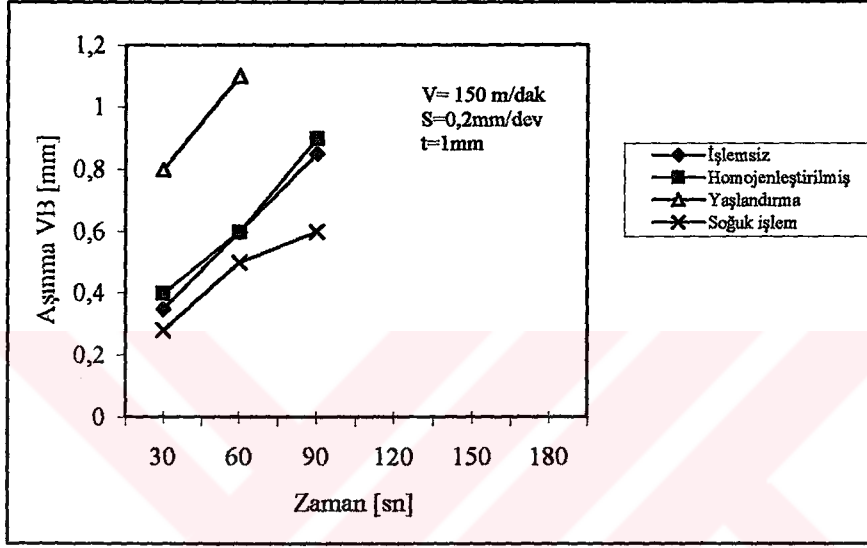


(b)

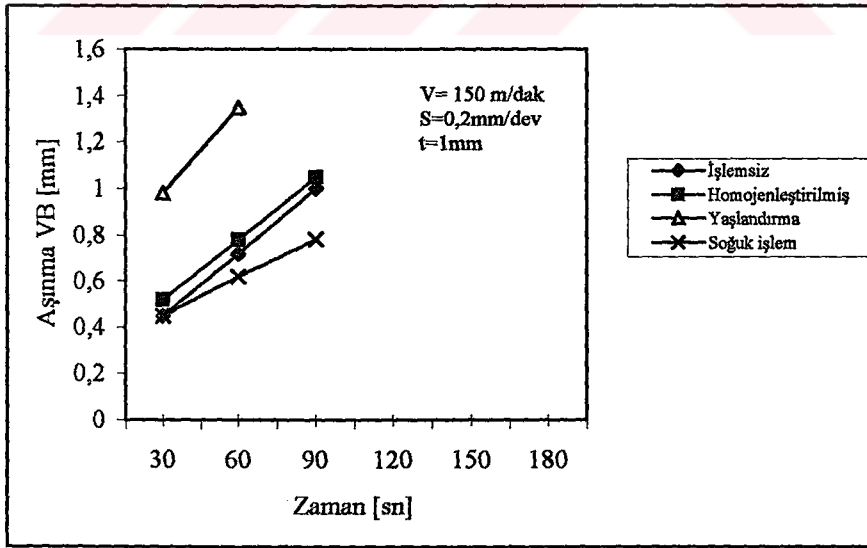
Şekil 4.17. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.10. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin V=150 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi (S=0.2 mm/dev, t=1 mm)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk Talaslı İşleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,35	0,45	0,40	0,52	0,80	0,98	0,28	0,40
60	0,60	0,72	0,60	0,78	1,10	1,35	0,45	0,62
90	0,85	01,00	0,90	1,05			0,60	0,78
120								
150								



(a)

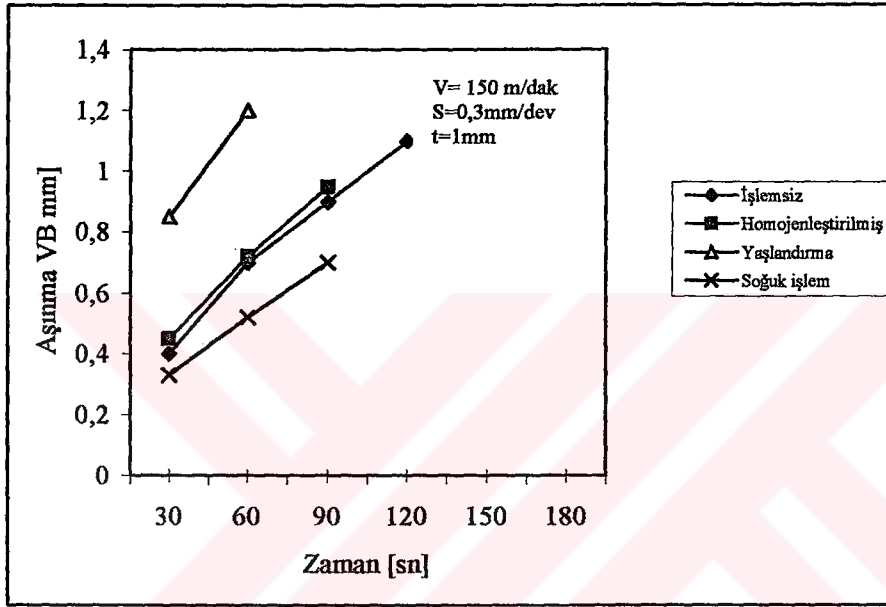


(b)

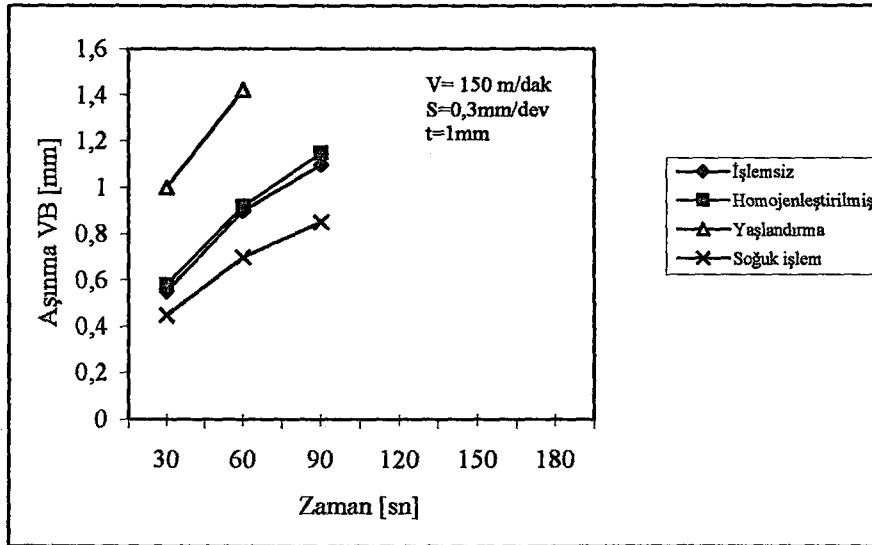
Şekil 4.18. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.11. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin V=150 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi
(S=0.3 mm/dev, t=1 mm)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk Talash İşleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,40	0,55	0,45	0,58	0,85	1,00	0,33	0,45
60	0,70	0,90	0,72	0,92	1,20	1,42	0,52	0,70
90	0,90	1,10	0,95	1,15			0,70	0,85
120	1,10							
150								



(a)

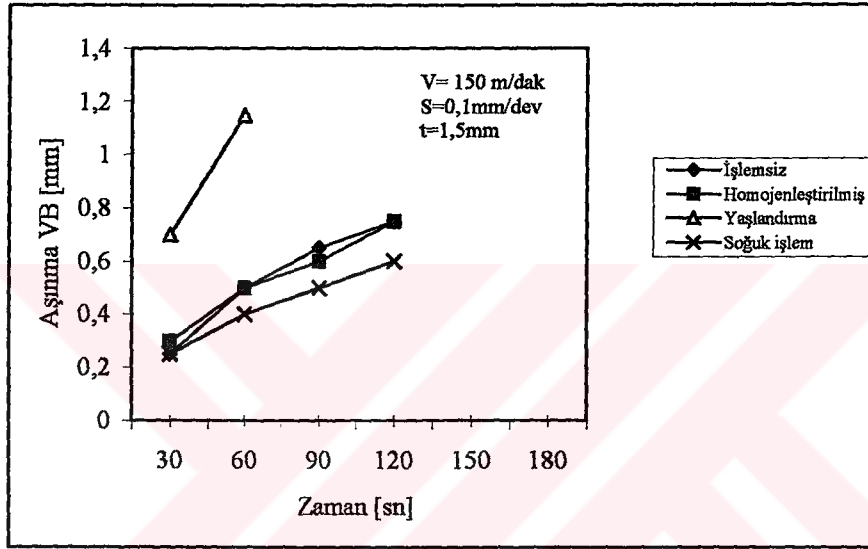


(b)

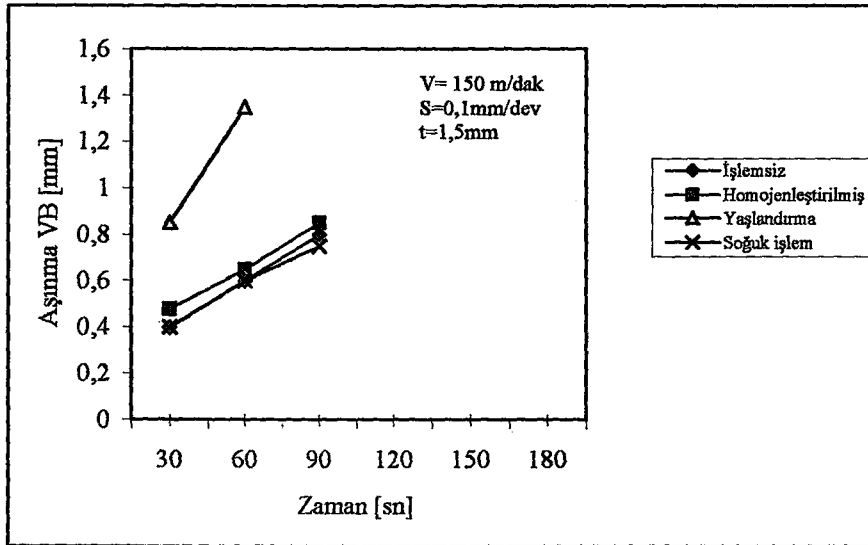
Şekil 4.19. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.12. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin $V=150$ m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi ($S=0.1$ mm/dev, $t=1.5$ mm)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk Talashlı İşleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,25	0,40	0,30	0,48	0,70	0,85	0,25	0,40
60	0,50	0,60	0,50	0,65	1,15	1,35	0,40	0,60
90	0,65	0,80	0,60	0,85			0,50	0,75
120	0,72		0,75				0,60	
150								
180								



(a)

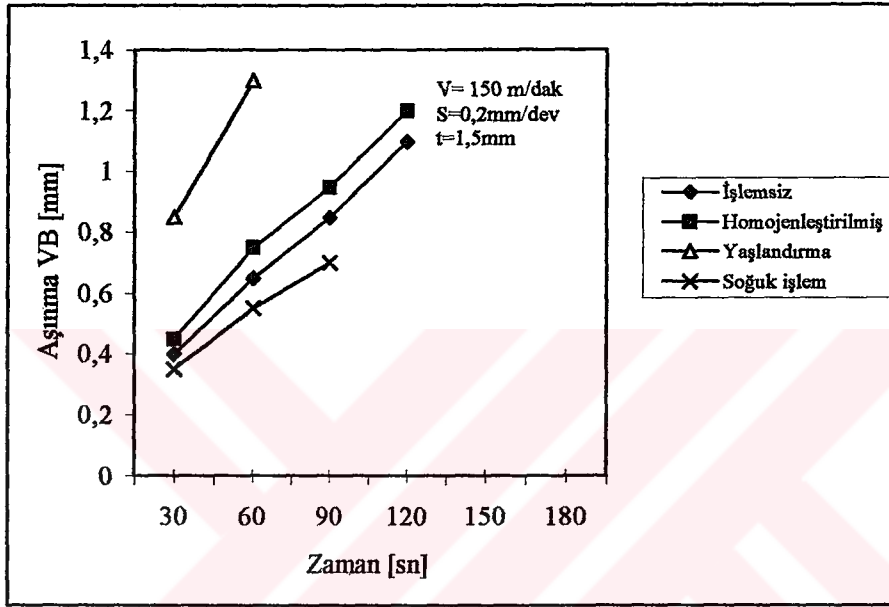


(b)

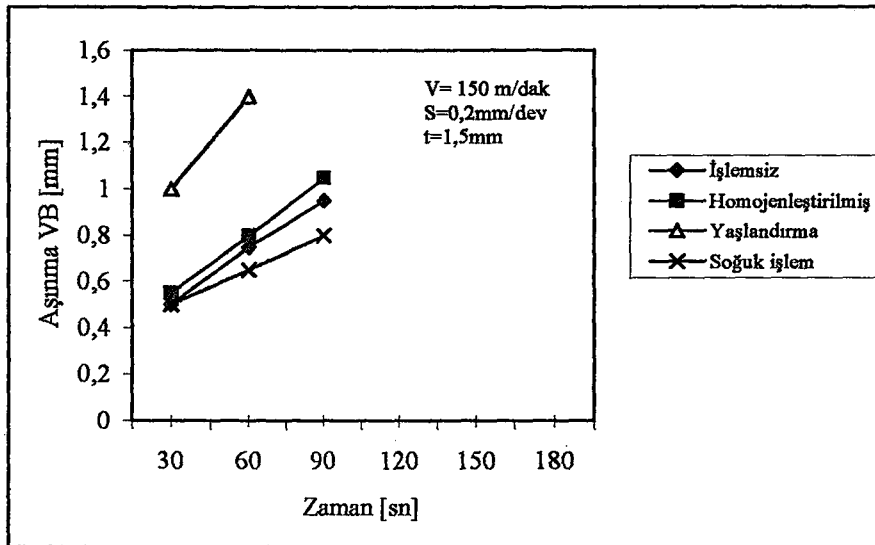
Şekil 4.20. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kapasız

Tablo 4.13. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin V=150 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi
(S=0.2 mm/dev, t=1.5 mm)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk Talaşlı İşleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,40	0,50	0,45	0,55	0,85	1,00	0,35	0,50
60	0,65	0,75	0,70	0,85	1,25	1,45	0,55	0,65
90	0,85	0,95	0,95	1,05			0,70	0,80
120	1,10		1,20					
150								
180								



(a)

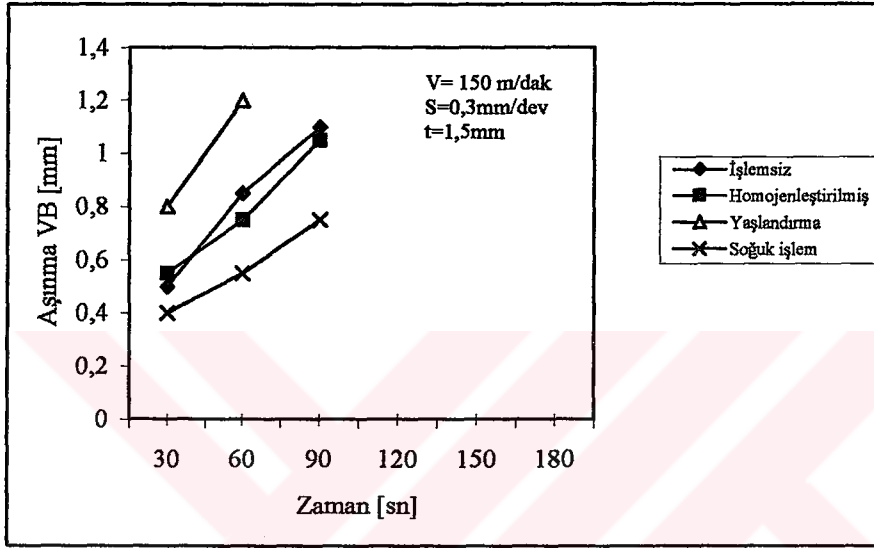


(b)

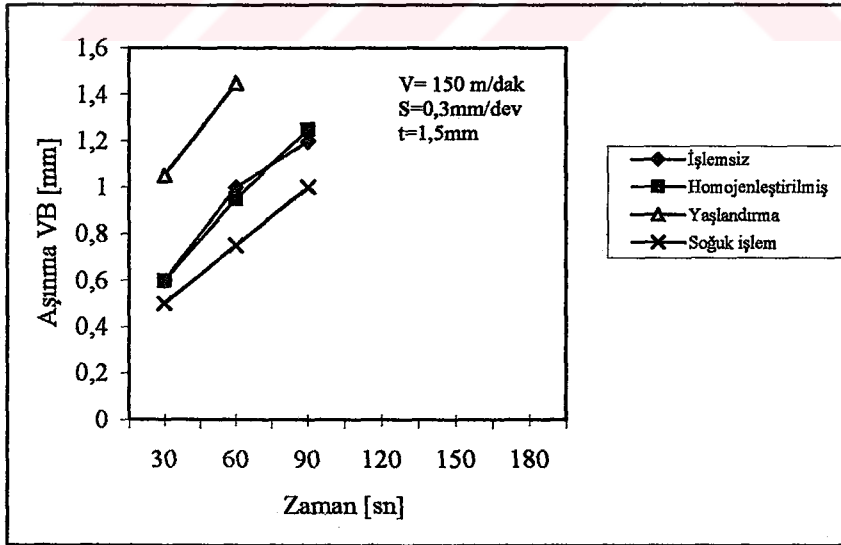
Şekil 4.21. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.14. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin V=150 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi (S=0.3 mm/dev, t=1.5 mm, Talaş açısı= -6°)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk Talaşlı İşleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,50	0,60	0,55	0,60	0,80	1,05	0,40	0,50
60	0,85	1,00	0,75	0,95	1,20	1,45	0,55	0,75
90	1,10	1,20	1,05	1,25			0,75	1,00
120								
150								



(a)

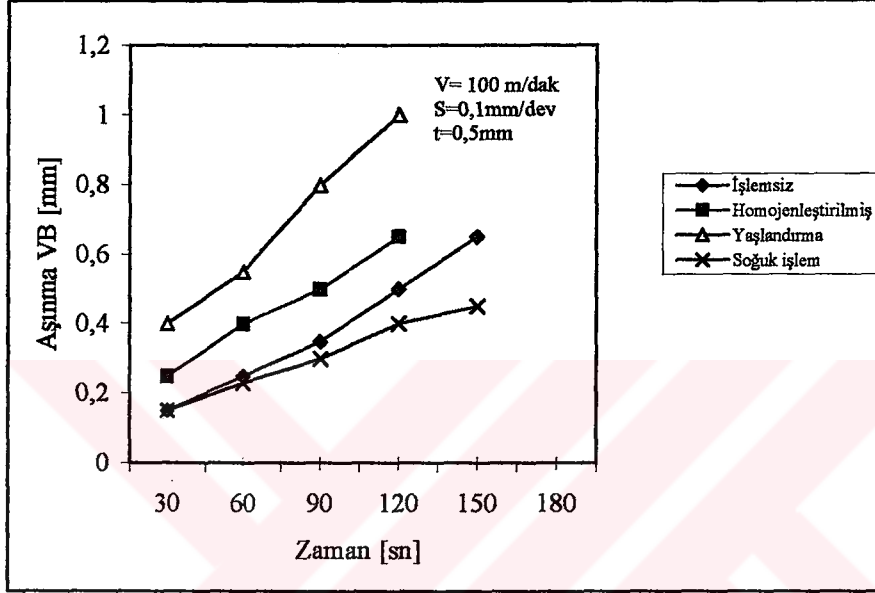


(b)

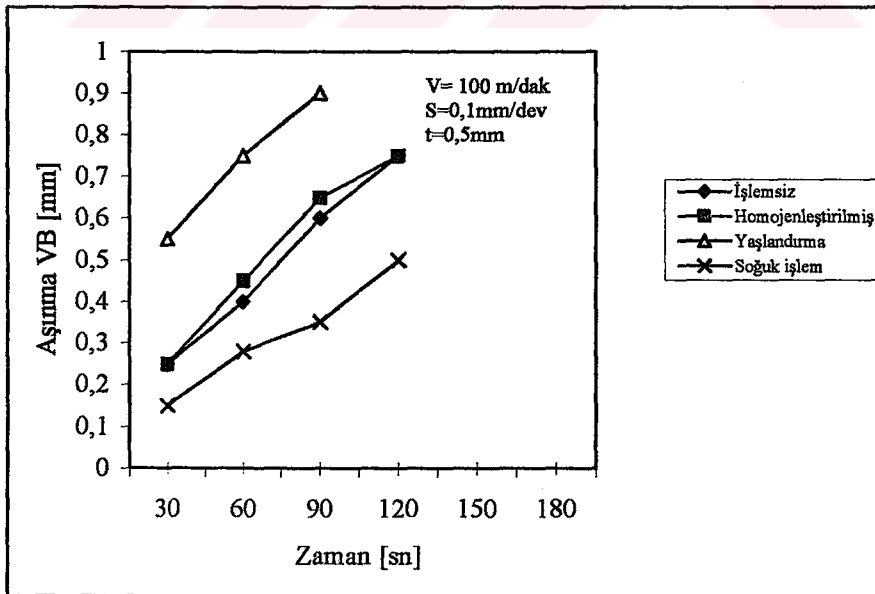
Şekil 4.22. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.15. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin $V=100$ m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi ($S=0.1$ mm/dev, $t=0.5$ mm)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk Talaslı İşleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,15	0,25	0,25	0,25	0,40	0,55	0,15	0,15
60	0,25	0,40	0,40	0,45	0,50	0,80	0,23	0,25
90	0,35	0,60	0,50	0,65	0,80	0,90	0,30	0,35
120	0,50	0,75	0,65	0,75	1,00		0,40	0,50
150	0,65						0,45	



(a)

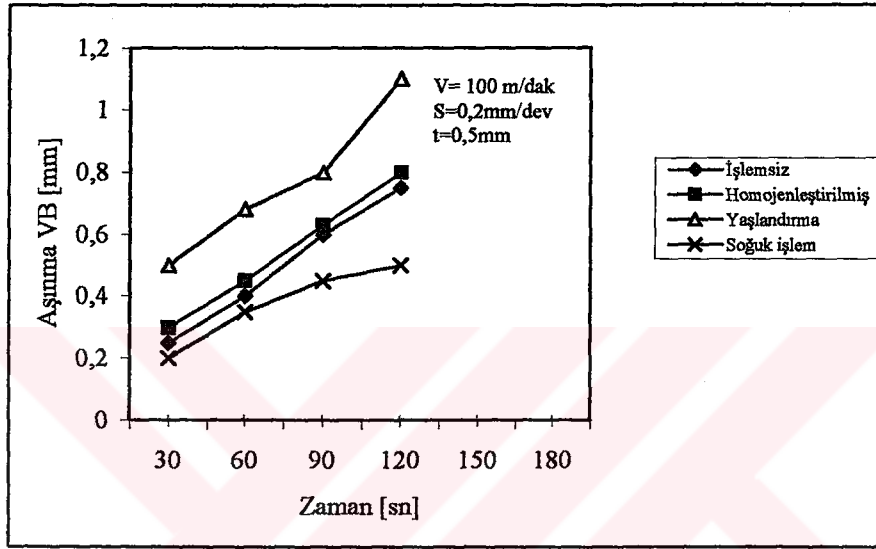


(b)

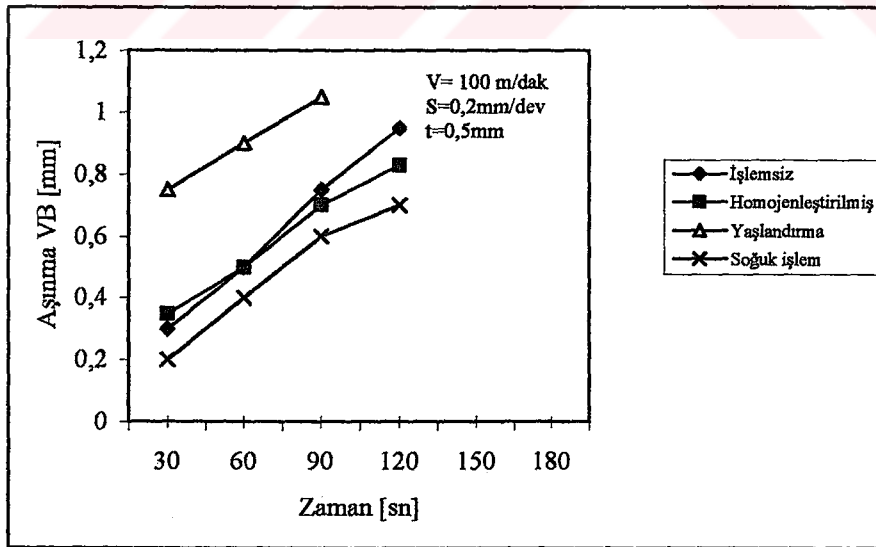
Şekil 4.23. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.16. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin V=100 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi (S=0.2 mm/dev, t=0.5 mm)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk Talaşlı İşleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,25	0,30	0,30	0,35	0,50	0,75	0,20	0,20
60	0,40	0,55	0,45	0,55	0,68	0,90	0,35	0,40
90	0,60	0,75	0,63	0,72	0,80	1,05	0,45	0,60
120	0,75	0,95	0,80	0,83	1,10		0,50	0,70
150								



(a)

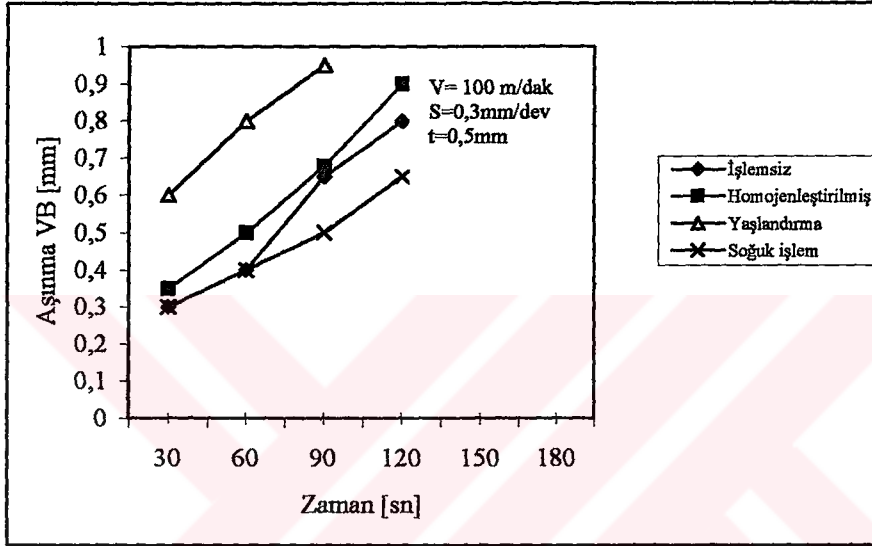


(b)

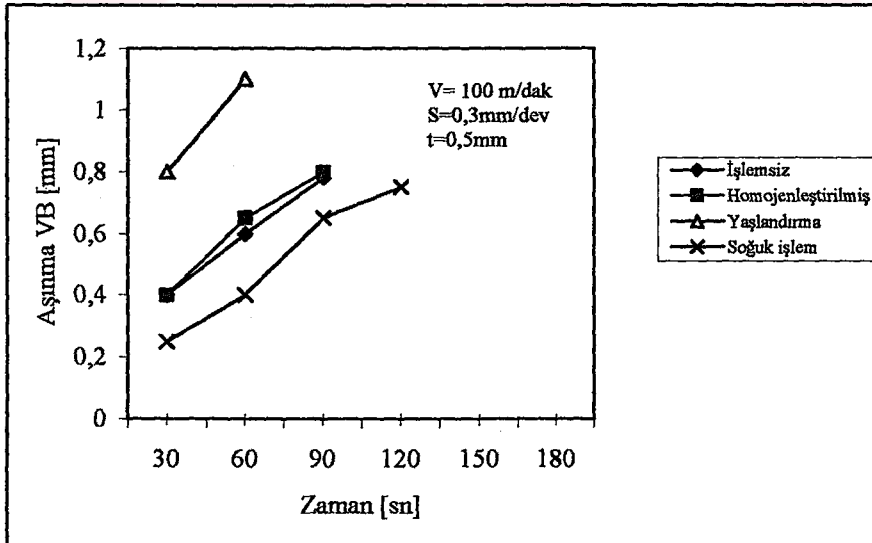
Şekil 4.24. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kapasız

Tablo 4.17. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin V=100 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi (S=0.3 mm/dev, t=0.5 mm)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk Talaşlı İşleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,30	0,40	0,35	0,40	0,60	0,80	0,30	0,25
60	0,40	0,65	0,50	0,65	0,80	1,10	0,40	0,40
90	0,65	0,80	0,68	0,82	0,95		0,50	0,65
120	0,80		0,90				0,65	0,75
150								
180								



(a)

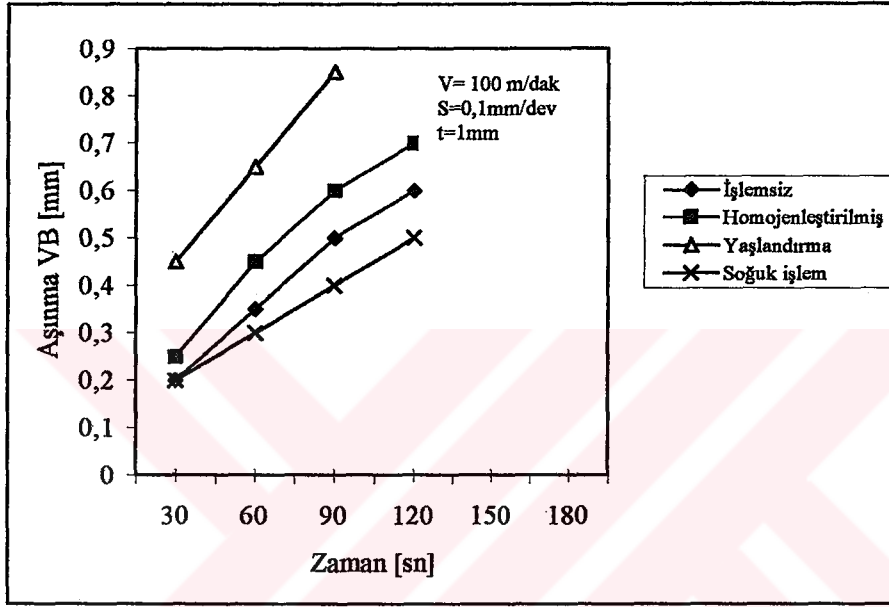


(b)

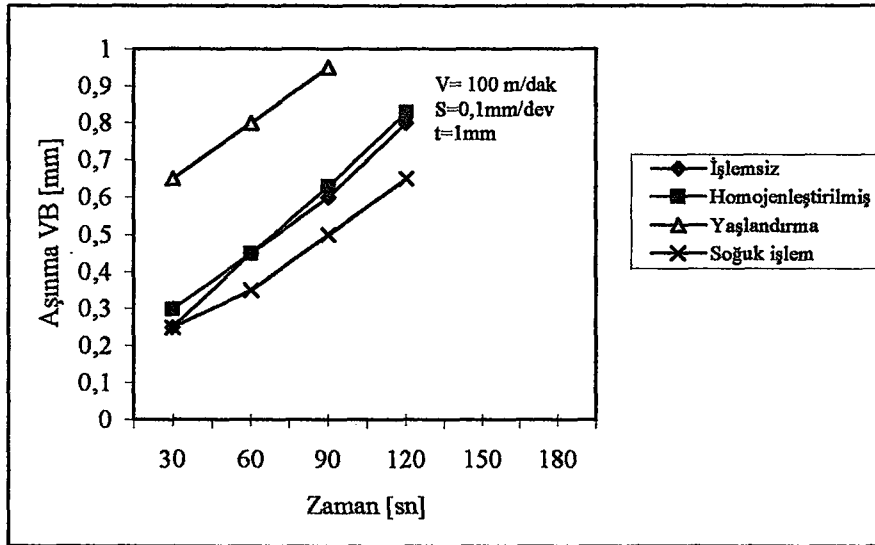
Şekil 4.25. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.18. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin $V=100$ m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi ($S=0.1$ mm/dev, $t=1$ mm)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk Talash İşleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,20	0,25	0,25	0,30	0,45	0,65	0,20	0,25
60	0,35	0,45	0,40	0,50	0,60	0,85	0,30	0,35
90	0,50	0,60	0,60	0,63	0,85	0,95	0,40	0,50
120	0,60	0,80	0,70	0,85			0,50	0,65
150								
180								



(a)

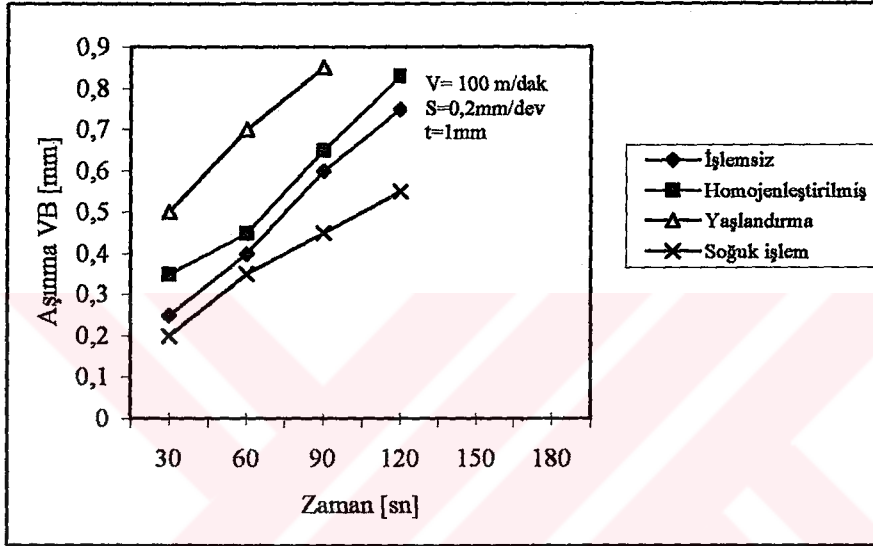


(b)

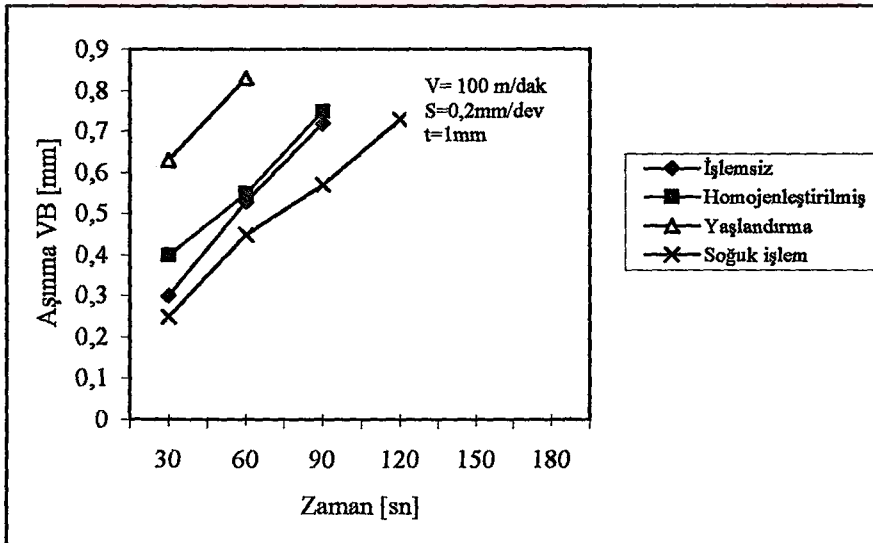
Şekil 4.26. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.19. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin V=100 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi
(S=0.2 mm/dev, t=1 mm)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk Talaşlı İşleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,25	0,30	0,35	0,40	0,50	0,63	0,20	0,25
60	0,40	0,53	0,45	0,55	0,70	0,83	0,35	0,45
90	0,60	0,72	0,65	0,75	0,85		0,45	0,57
120	0,75		0,83				0,55	0,73
150								
180								



(a)

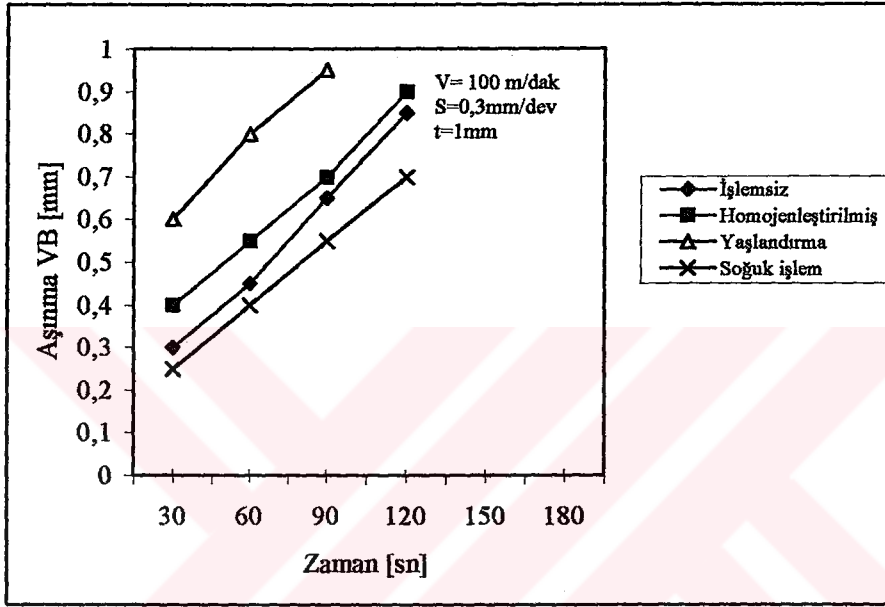


(b)

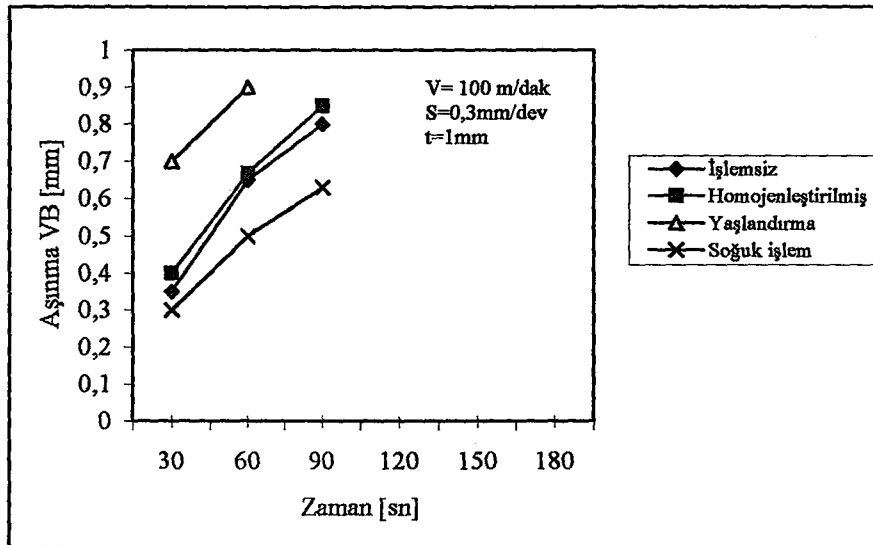
Şekil 4.27. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.20. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin $V=100$ m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi
($S=0.3$ mm/dev, $t=1$ mm, Talaş açısı= -6°)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk Talaşlı İşleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,30	0,35	0,40	0,40	0,60	0,70	0,25	0,30
60	0,45	0,65	0,55	0,67	0,80	0,90	0,40	0,50
90	0,65	0,80	0,70	0,85	0,95		0,55	0,63
120	0,85		0,90				0,70	
150								
180								



(a)

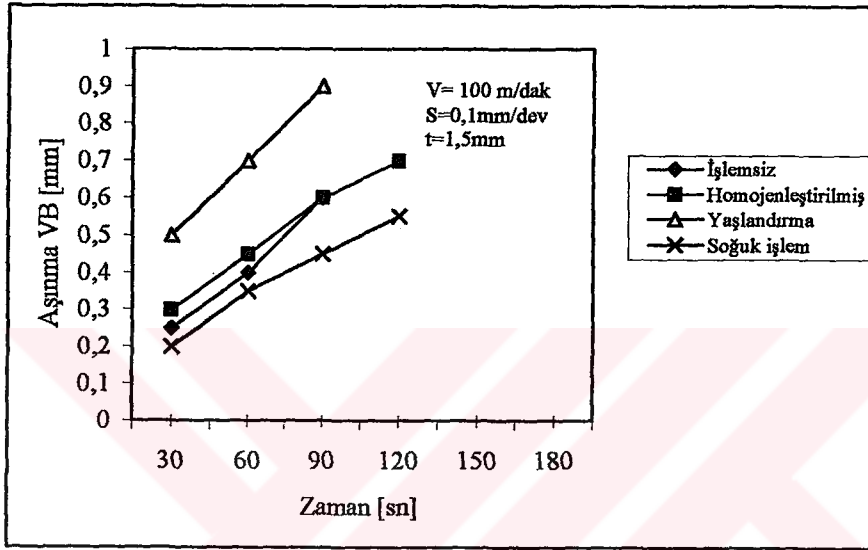


(b)

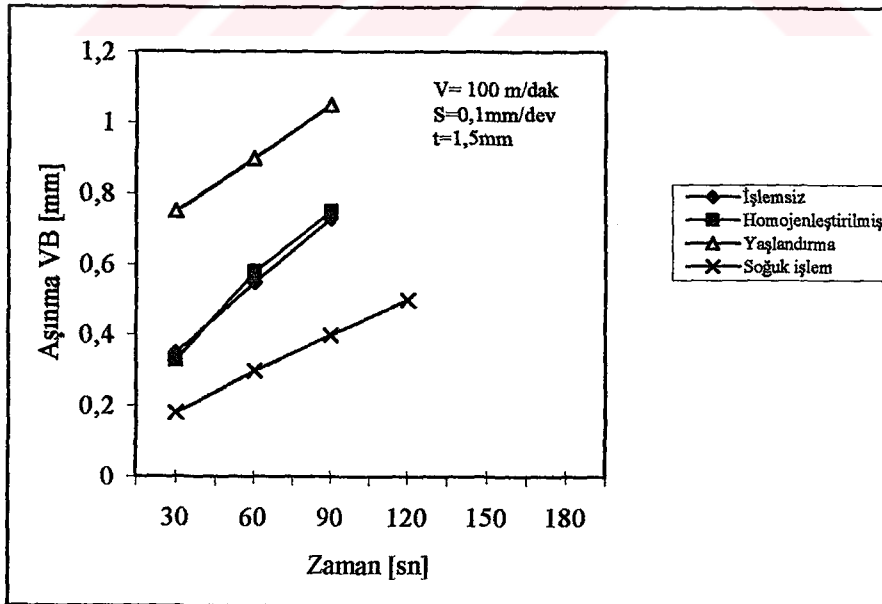
Şekil 4.28. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.21. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin $V=100$ m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi ($S=0.1$ mm/dev, $t=1.5$ mm)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk Talaşlı İşleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,25	0,35	0,30	0,33	0,50	0,75	0,15	0,20
60	0,40	0,55	0,45	0,58	0,70	0,90	0,30	0,32
90	0,60	0,73	0,60	0,75	0,90	1,05	0,40	0,45
120	0,70		0,70				0,50	0,55
150								
180								



(a)

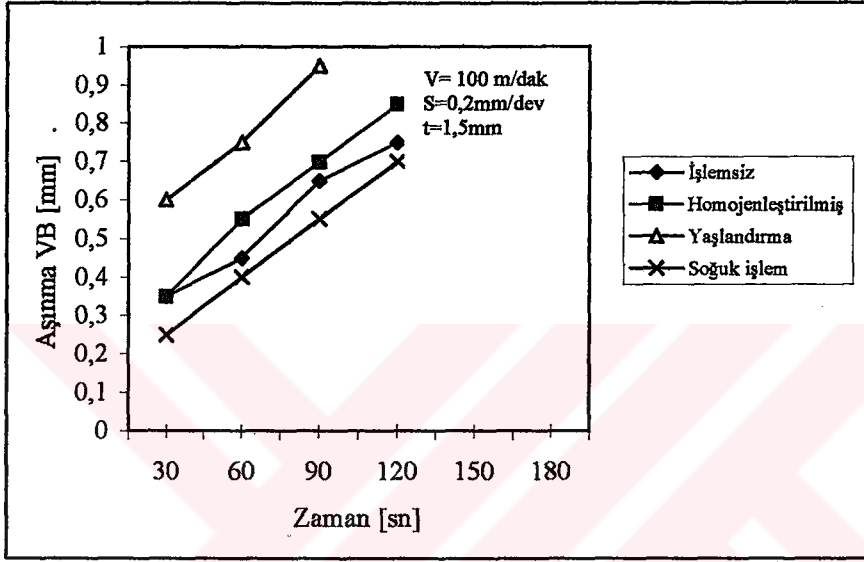


(b)

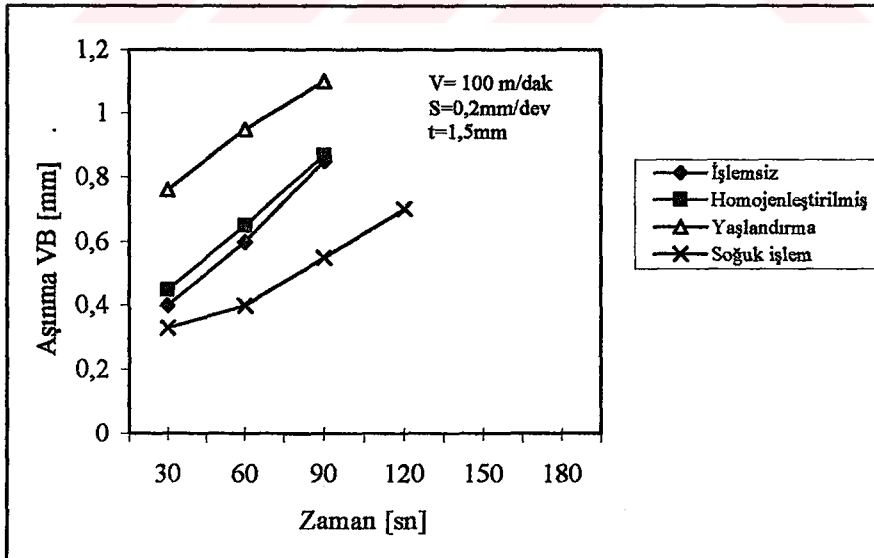
Şekil 4.29. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.22. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin $V=100$ m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi ($S=0.2$ mm/dev, $t=1.5$ mm)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk Talaşlı İşleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,35	0,40	0,35	0,45	0,60	0,76	0,25	0,33
60	0,45	0,60	0,55	0,65	0,75	0,95	0,35	0,40
90	0,65	0,90	0,70	0,90	0,95	1,13	0,40	0,55
120	0,75		0,85				0,52	0,70
150								



(a)

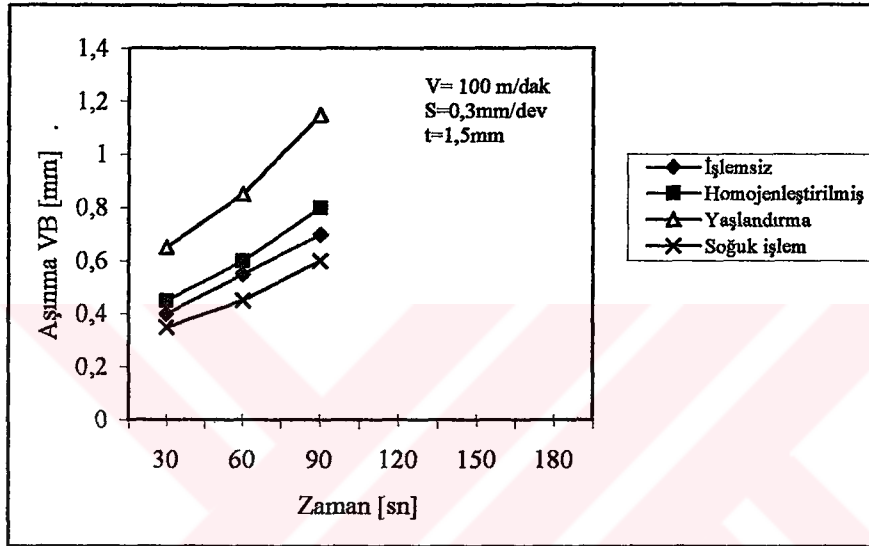


(b)

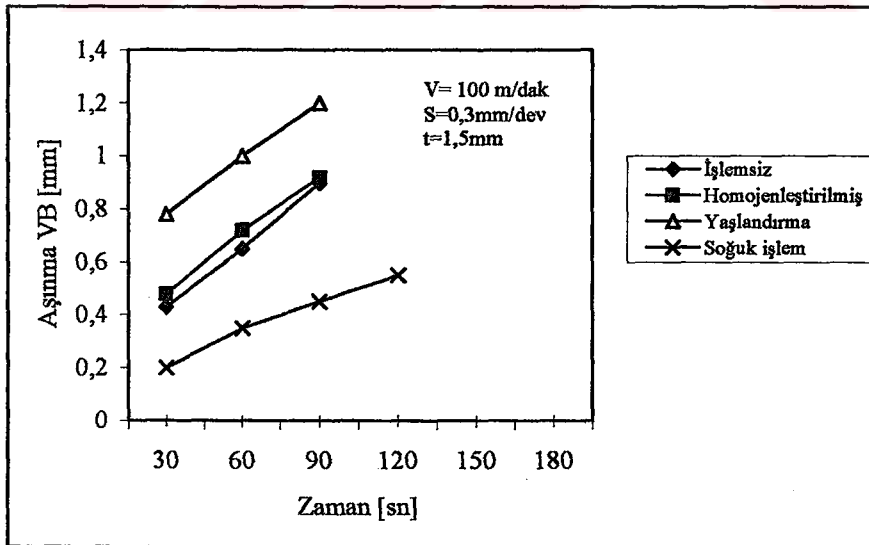
Şekil 4.30. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.23. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin V=100 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi (S=0.3 mm/dev, t=1.5 mm)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk Talaşlı İşleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,40	0,43	0,45	0,48	0,65	0,78	0,35	0,20
60	0,55	0,65	0,60	0,72	0,85	1,00	0,45	0,35
90	0,70	0,90	0,80	0,90	1,15	1,20	0,60	0,45
120								0,55
150								



(a)

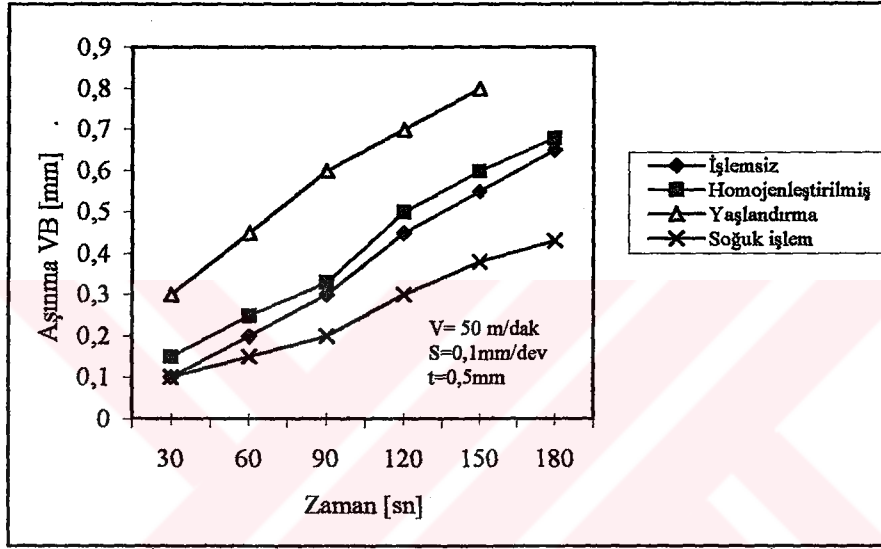


(b)

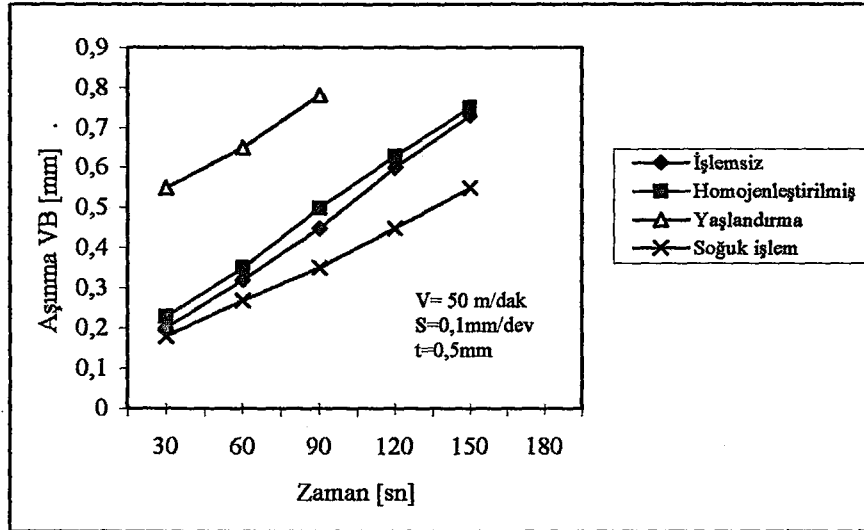
Şekil 4.31. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.24. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin $V=50$ m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi ($S=0.1$ mm/dev, $t=0.5$ mm)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk Talaslı İşleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,10	0,20	0,15	0,23	0,30	0,50	0,10	0,18
60	0,20	0,32	0,25	0,35	0,40	0,65	0,15	0,27
90	0,30	0,45	0,33	0,50	0,60	0,78	0,20	0,35
120	0,45	0,60	0,50	0,63	0,70		0,30	0,45
150	0,55	0,73	0,60	0,75	0,80		0,38	0,55
180	0,65		0,68				0,43	



(a)

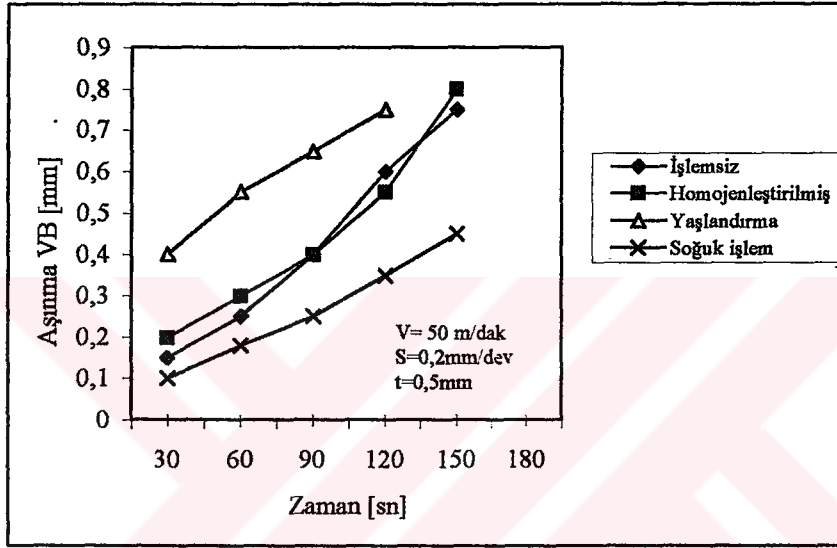


(b)

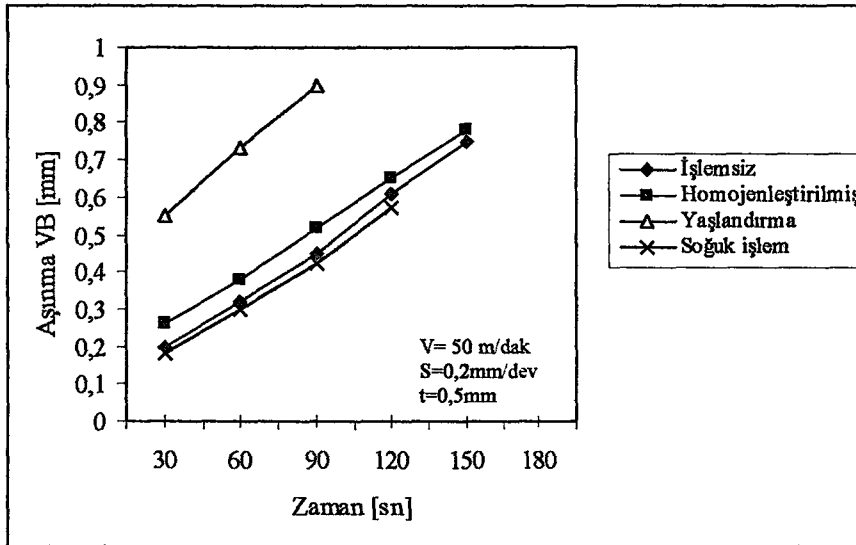
Şekil 4.32. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.25. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin V=50 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi (S=0.2 mm/dev, t=0.5 mm)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk Talaşlı İşleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,15	0,20	0,20	0,26	0,42	0,55	0,10	0,18
60	0,25	0,32	0,30	0,38	0,55	0,73	0,18	0,30
90	0,40	0,45	0,40	0,52	0,65	0,90	0,25	0,42
120	0,60	0,61	0,55	0,65	0,75		0,35	0,57
150	0,75	0,75	0,80	0,78			0,45	
180								



(a)

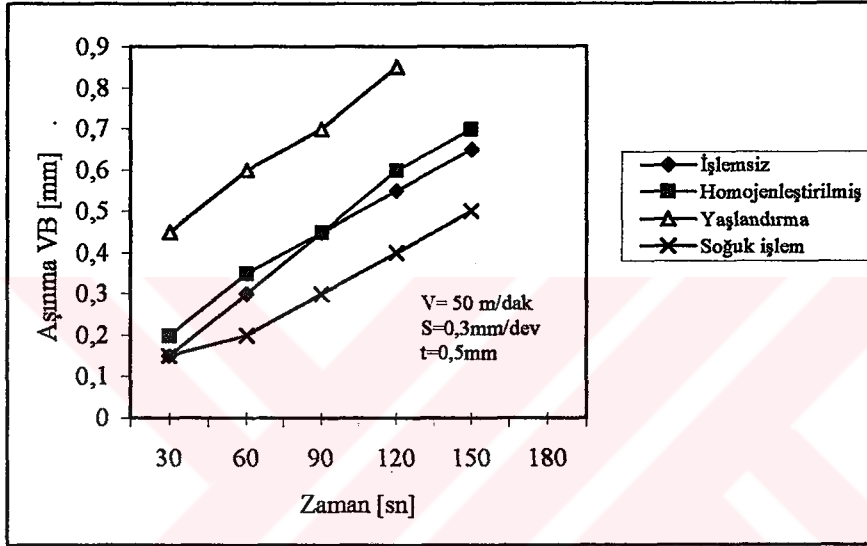


(b)

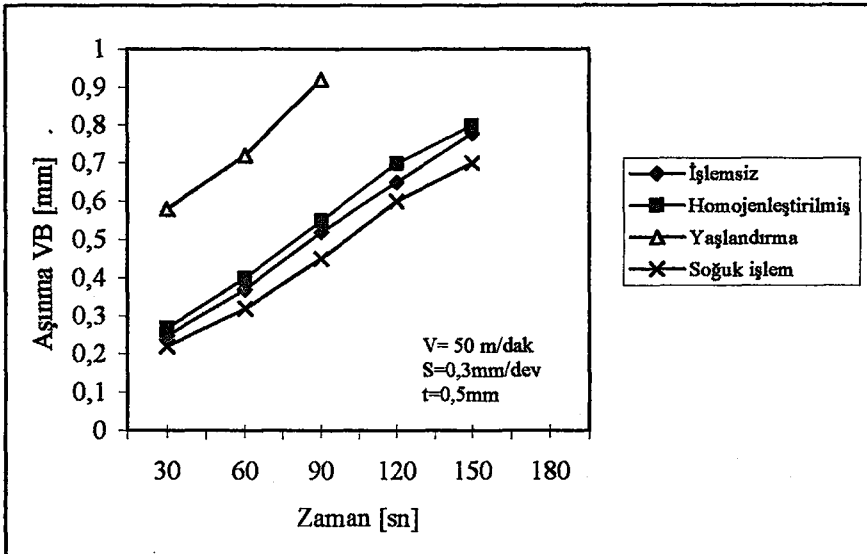
Şekil 4.33. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.26. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin $V=50$ m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi ($S=0.3$ mm/dev, $t=0.5$ mm)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk Talash İşleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,18	0,25	0,20	0,25	0,46	0,57	0,15	0,22
60	0,30	0,40	0,33	0,40	0,60	0,72	0,20	0,32
90	0,45	0,52	0,45	0,55	0,70	0,92	0,30	0,45
120	0,55	0,65	0,60	0,70	0,85		0,40	0,60
150	0,65	0,78	0,70	0,80			0,50	0,70
180								



(a)

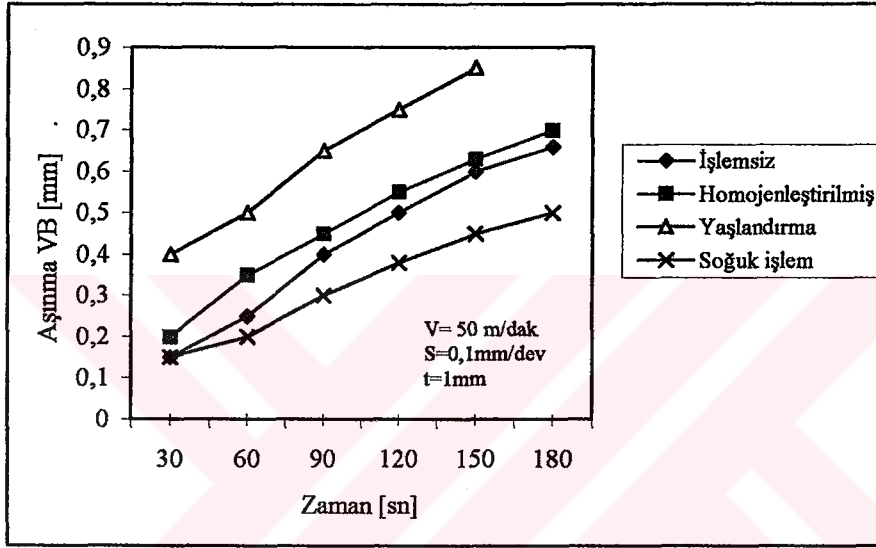


(b)

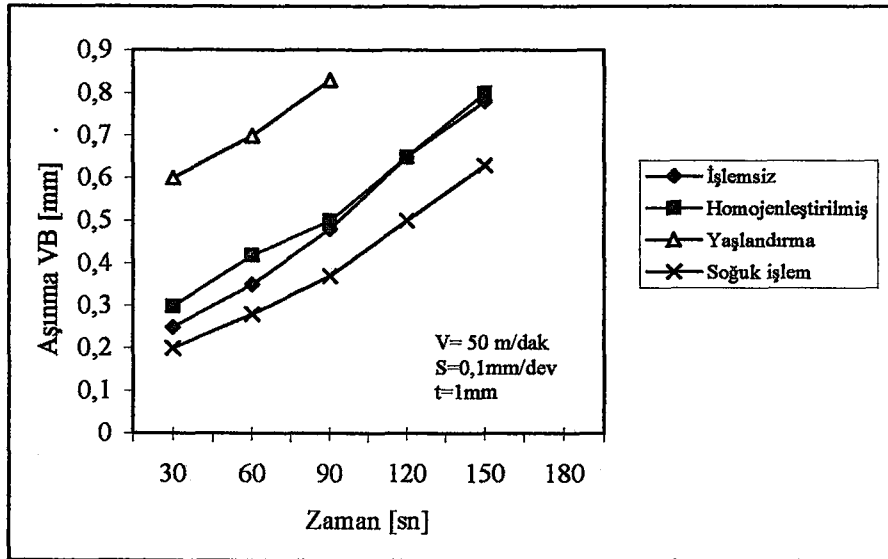
Şekil 4.34. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.27. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin $V=50$ m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi ($S=0.1$ mm/dev, $t=1$ mm)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk Talaşlı İşleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,15	0,25	0,27	0,30	0,40	0,60	0,15	0,20
60	0,25	0,35	0,35	0,45	0,50	0,70	0,20	0,28
90	0,40	0,48	0,45	0,50	0,65	0,83	0,30	0,37
120	0,50	0,65	0,55	0,65	0,75		0,38	0,50
150	0,60	0,78	0,63	0,80	0,85		0,45	0,63
180	0,70		0,70				0,50	



(a)

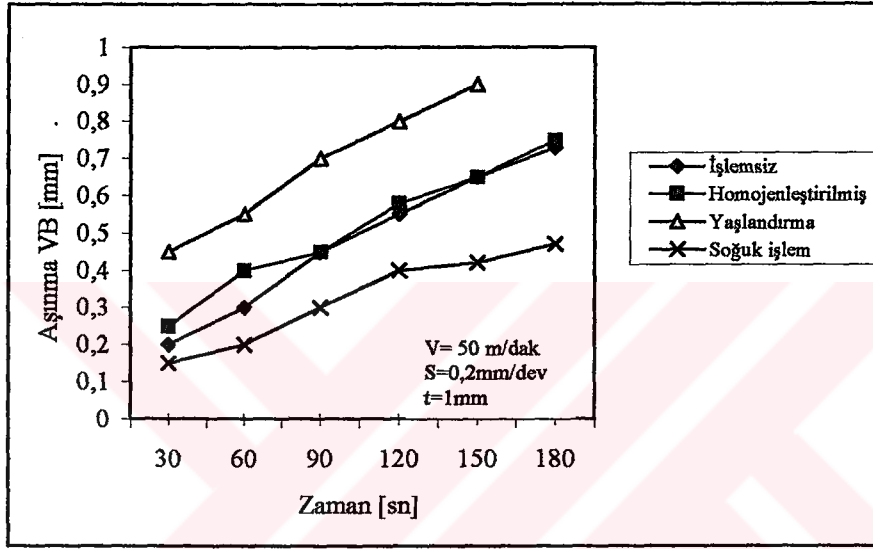


(b)

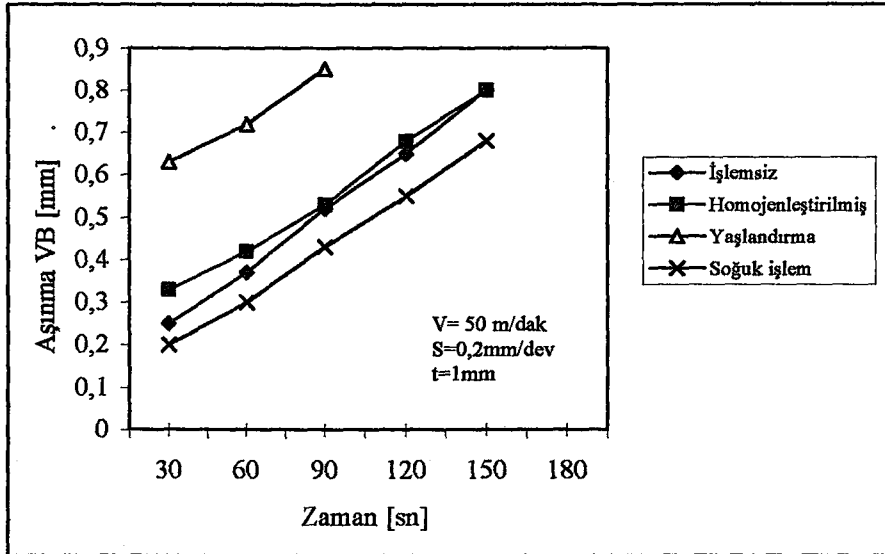
Şekil 4.35. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.28. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin V=50 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi (S=0.2 mm/dev, t=1 mm)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk Talashlı İşleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,20	0,25	0,31	0,35	0,46	0,63	0,15	0,20
60	0,30	0,37	0,40	0,42	0,55	0,73	0,20	0,30
90	0,45	0,52	0,45	0,53	0,70	0,85	0,30	0,43
120	0,55	0,65	0,58	0,68	0,80		0,40	0,55
150	0,65	0,80	0,65	0,80	0,90		0,42	0,68
180	0,73		0,75				0,47	



(a)

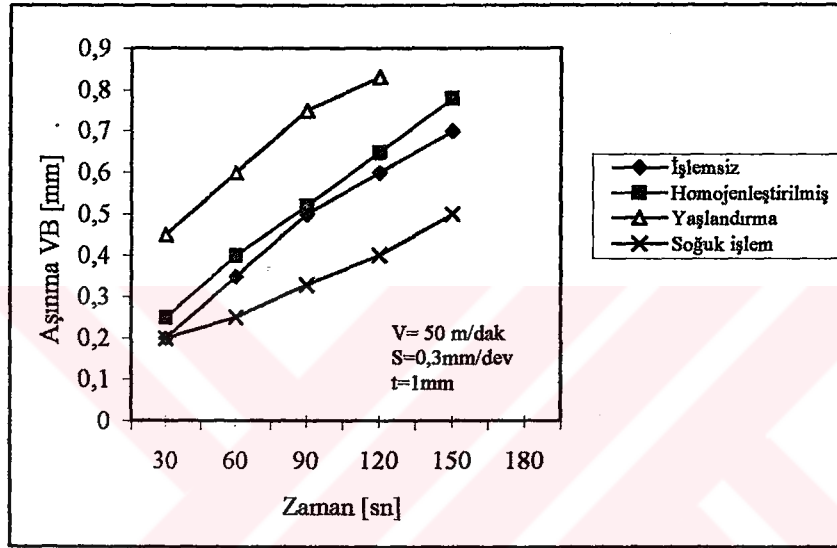


(b)

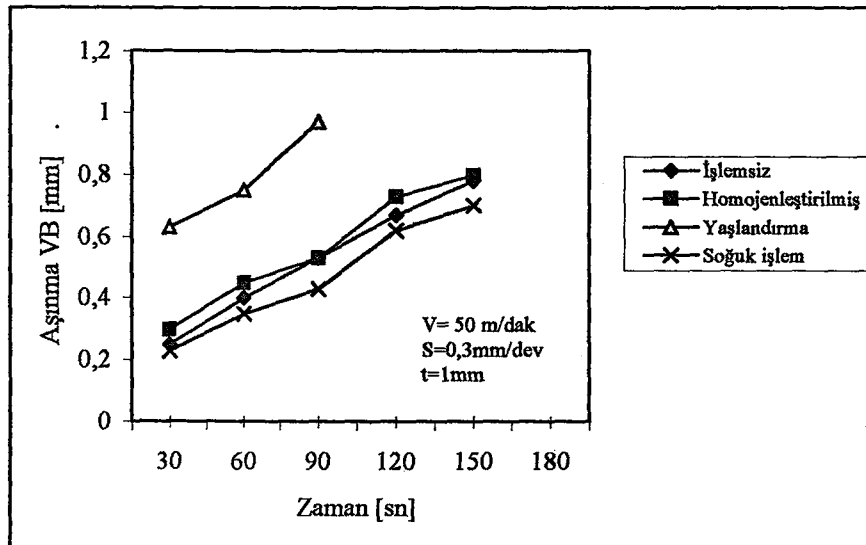
Şekil 4.36. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.29. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin $V=50$ m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi ($S=0.3$ mm/dev, $t=1$ mm)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk Talaşlı İşleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,20	0,25	0,25	0,30	0,45	0,63	0,20	0,23
60	0,35	0,40	0,40	0,45	0,60	0,75	0,25	0,35
90	0,50	0,53	0,52	0,53	0,75	0,97	0,33	0,43
120	0,60	0,67	0,65	0,73	0,83		0,40	0,62
150	0,70	0,78	0,78	0,80			0,50	0,70
180								



(a)

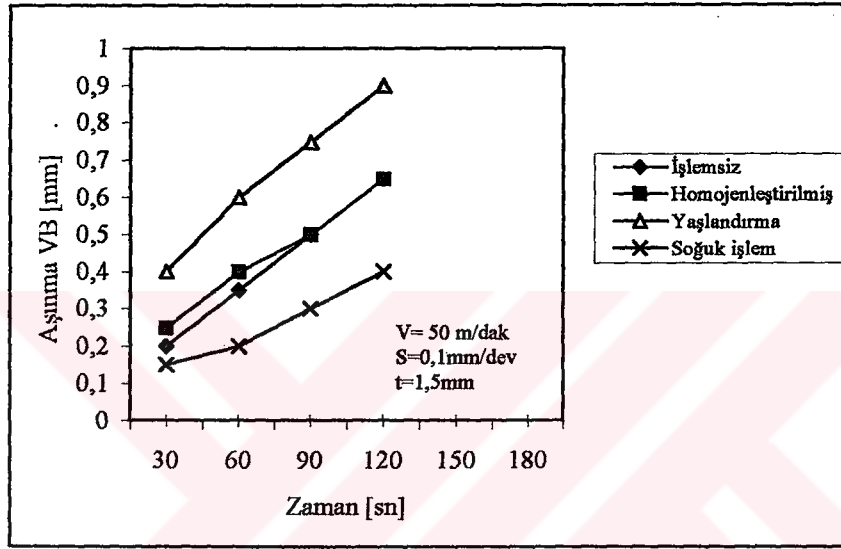


(b)

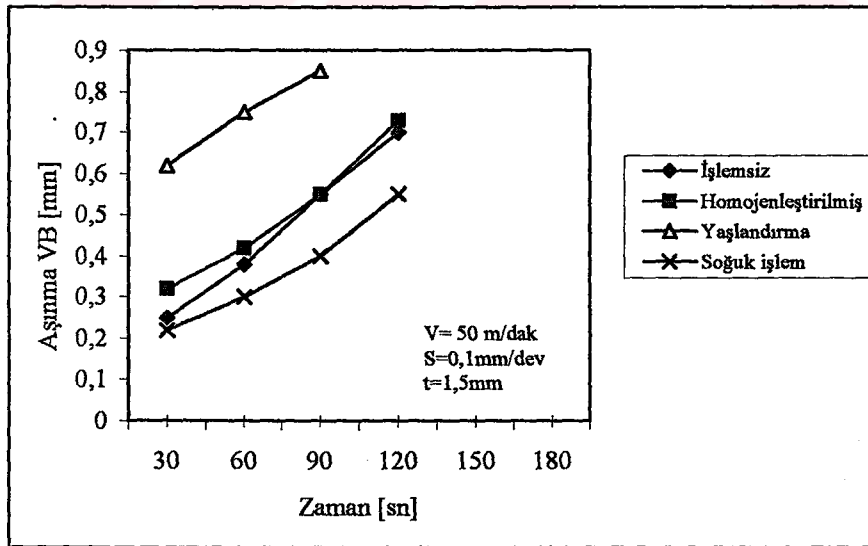
Şekil 4.37. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.30. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin $V=50$ m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi ($S=0.1$ mm/dev, $t=1.5$ mm)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk Talashlı İşleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,20	0,25	0,27	0,30	0,47	0,50	0,15	0,22
60	0,33	0,40	0,40	0,42	0,60	0,70	0,20	0,30
90	0,50	0,55	0,50	0,55	0,75	0,85	0,30	0,40
120	0,65	0,70	0,65	0,73	0,90		0,40	0,55
150								
180								



(a)

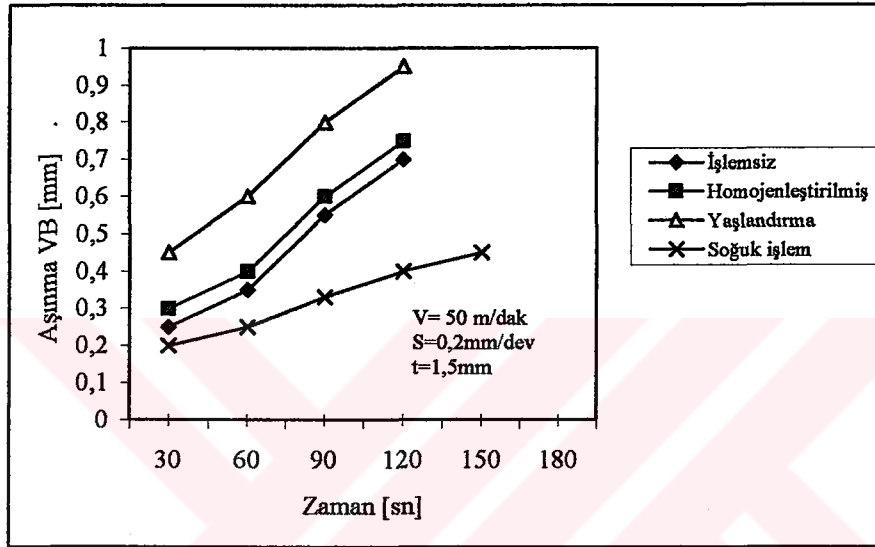


(b)

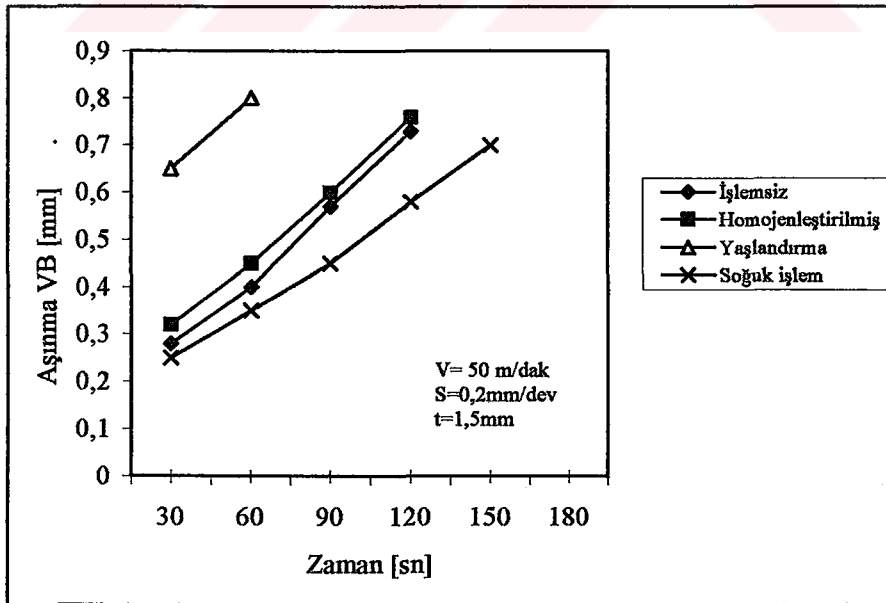
Şekil 4.38. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.31. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin V=50 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi (S=0.2 mm/dev, t=1.5 mm)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk Talaslı İşleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,25	0,28	0,30	0,32	0,45	0,65	0,20	0,25
60	0,35	0,40	0,40	0,45	0,60	0,80	0,25	0,35
90	0,55	0,57	0,60	0,60	0,80		0,33	0,45
120	0,70	0,73	0,75	0,76	0,95		0,40	0,58
150							0,45	0,70



(a)

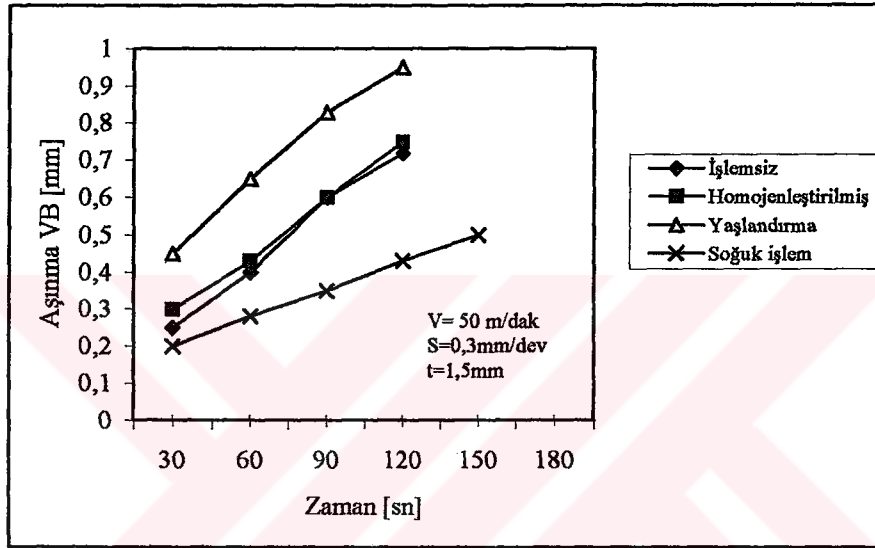


(b)

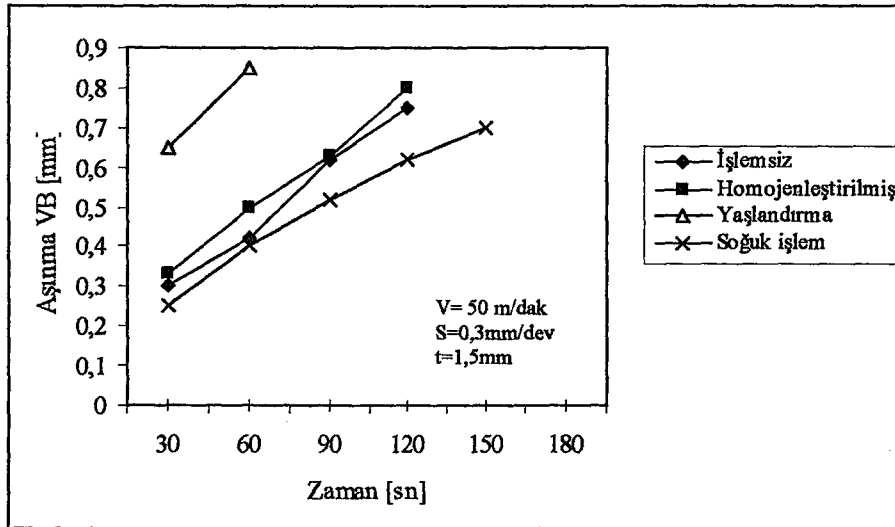
Şekil 4.39. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.32. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin V=50 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi (S=0.3 mm/dev, t=1.5 mm)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk Talaşlı İşleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,28	0,30	0,30	0,33	0,45	0,65	0,20	0,25
60	0,40	0,45	0,43	0,50	0,65	0,85	0,28	0,40
90	0,60	0,62	0,60	0,63	0,83		0,35	0,52
120	0,72	0,85	0,75	0,87	0,95		0,43	0,62
150							0,50	0,70
180								



(a)

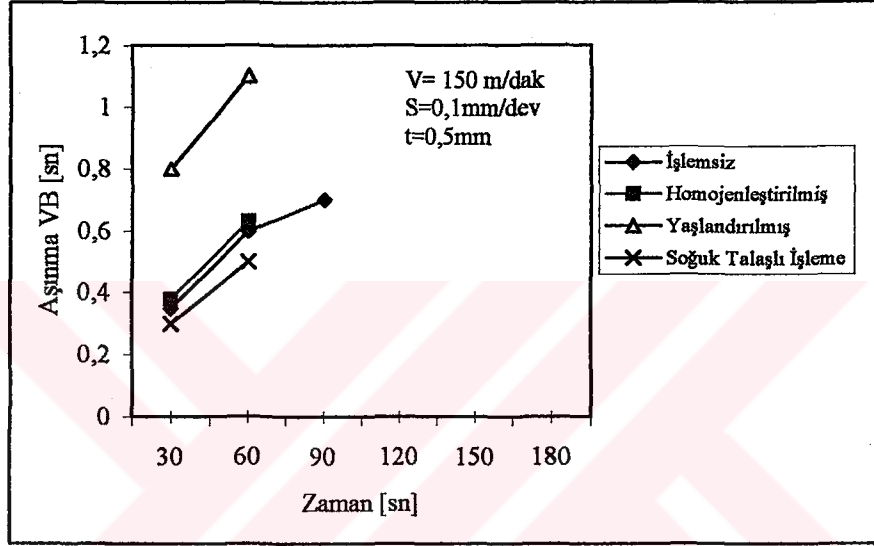


(b)

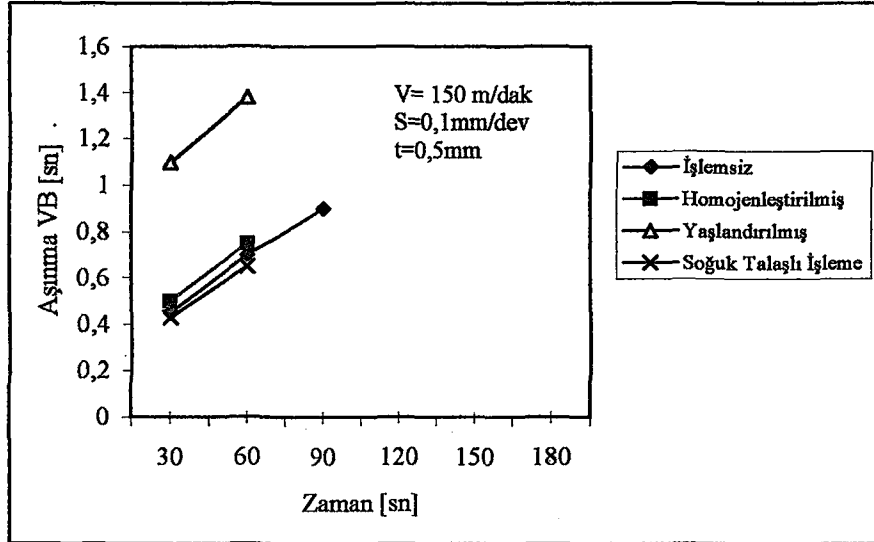
Şekil 4.40. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.33. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin $V=150$ m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi ($S=0.1$ mm/dev, $t=0.5$ mm)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk Talaşlı İşleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,35	0,45	0,38	0,50	0,82	1,08	0,30	0,43
60	0,60	0,70	0,63	0,75	1,10	1,38	0,50	0,65
90	0,70	0,90						
120								
150								
180								



(a)

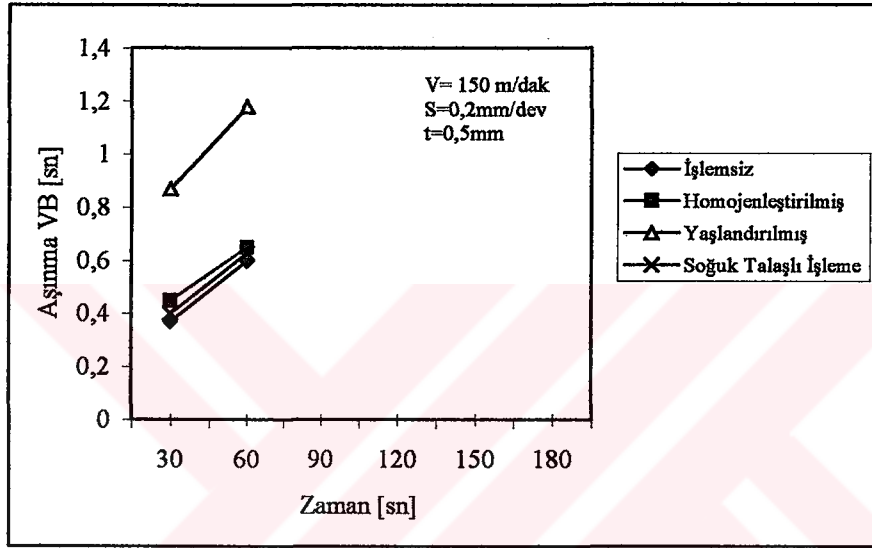


(b)

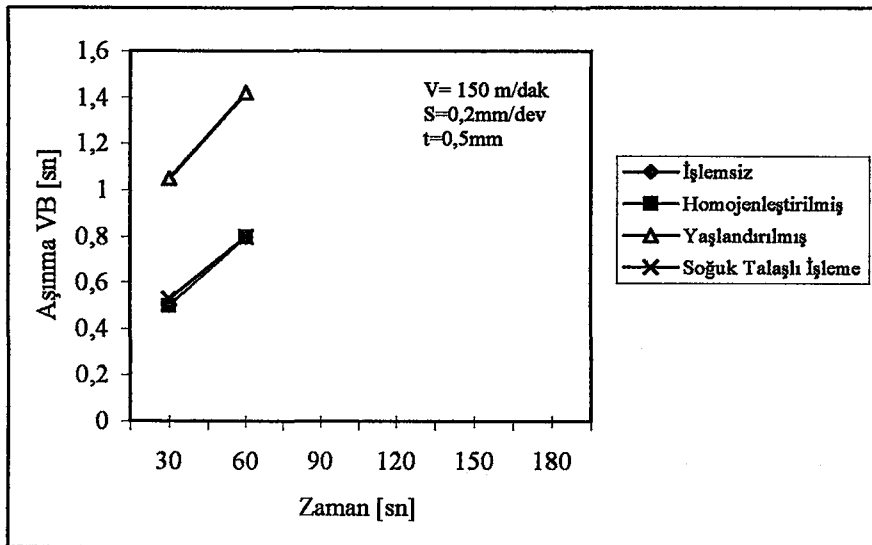
Şekil 4.41. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

**Tablo 4.34.%15 SiC takviyeli MMK malzemenin V=150 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi
(S=0.2 mm/dev, t=0.5 mm)**

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk Talaşlı İşleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,37	0,50	0,45	0,50	0,87	1,05	0,40	0,53
60	0,60	0,80	0,65	0,80	1,18	1,42	0,63	0,80
90								
120								
150								
180								



(a)

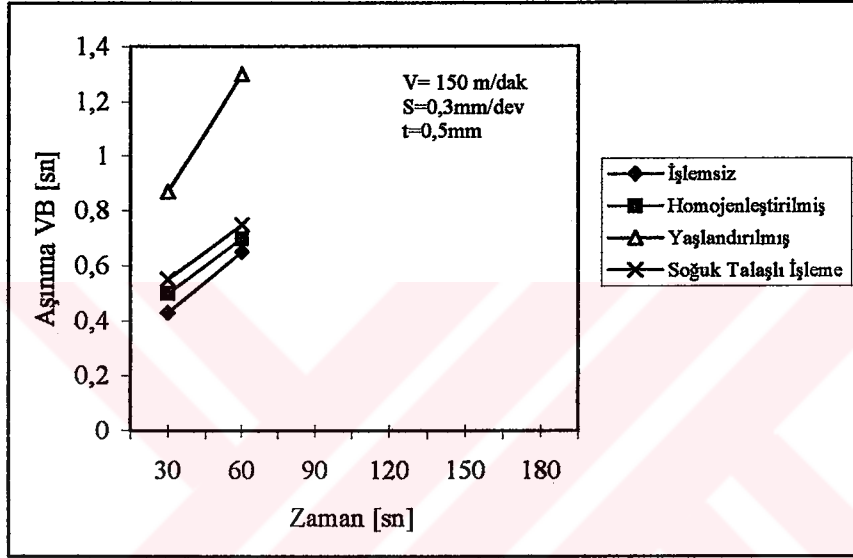


(b)

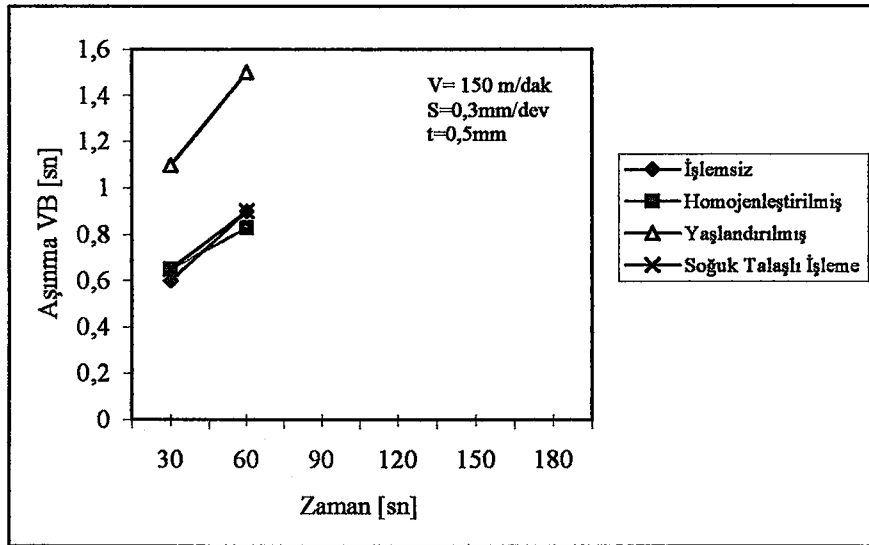
Şekil 4.42. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.35. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin $V=150$ m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi ($S=0.3$ mm/dev, $t=0.5$ mm)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk Talaşlı İşleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,43	0,60	0,50	0,65	0,90	1,07	0,55	0,65
60	0,65	0,90	0,68	0,85	1,30	1,50	0,75	0,90
90								
120								
150								
180								



(a)

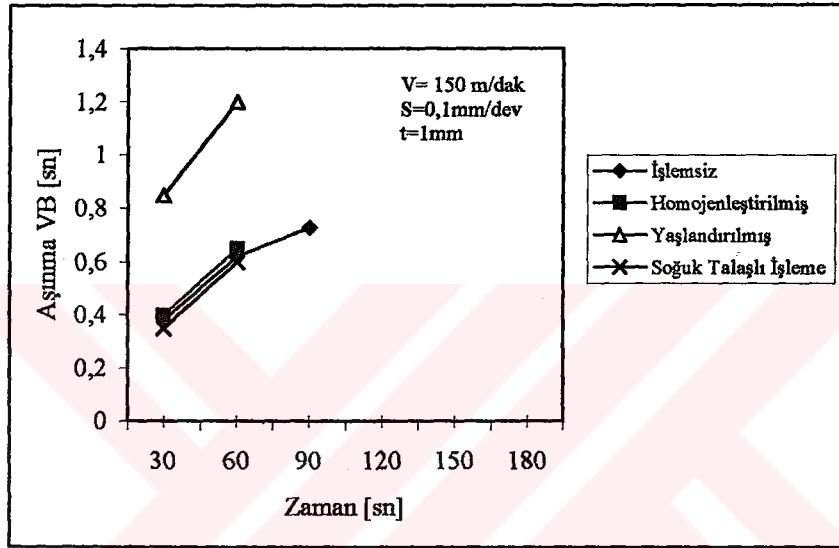


(b)

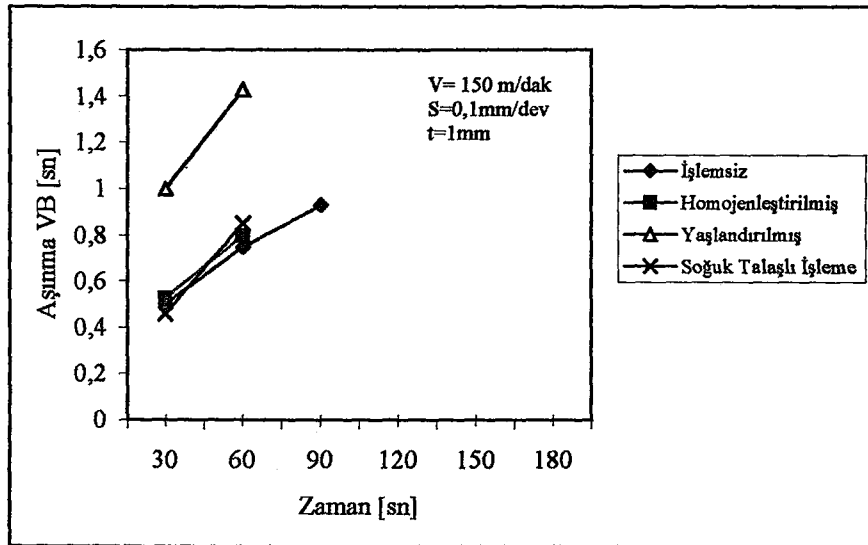
Şekil 4.43. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.36. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin V=150 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi (S=0.1 mm/dev, t=1 mm)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk Talaşlı İşleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,38	0,50	0,40	0,53	0,85	1,00	0,35	0,46
60	0,62	0,75	0,65	0,80	1,20	1,43	0,60	0,85
90	0,73	0,93						
120								
150								
180								



(a)

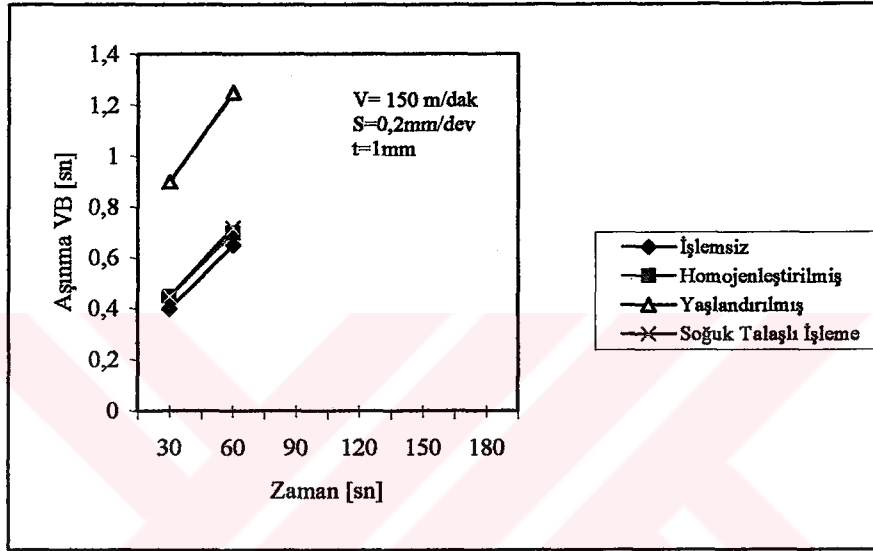


(b)

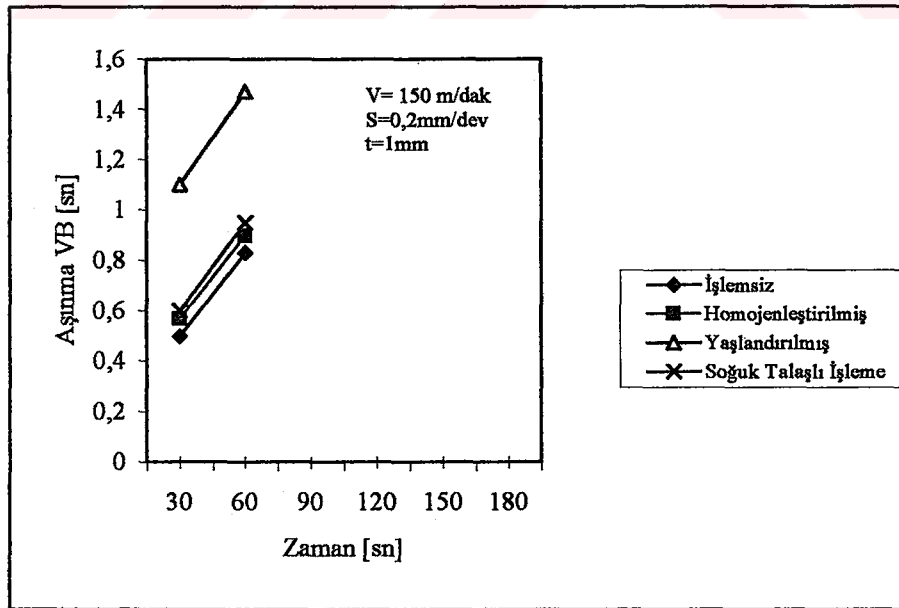
Şekil 4.44. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.37. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin V=150 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi (S=0.2 mm/dev, t=1 mm)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk Talaşlı İşleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,40	0,50	0,45	0,57	0,90	1,10	0,45	0,60
60	0,65	0,83	0,70	0,90	1,25	1,47	0,72	0,95
90								
120								
150								



(a)

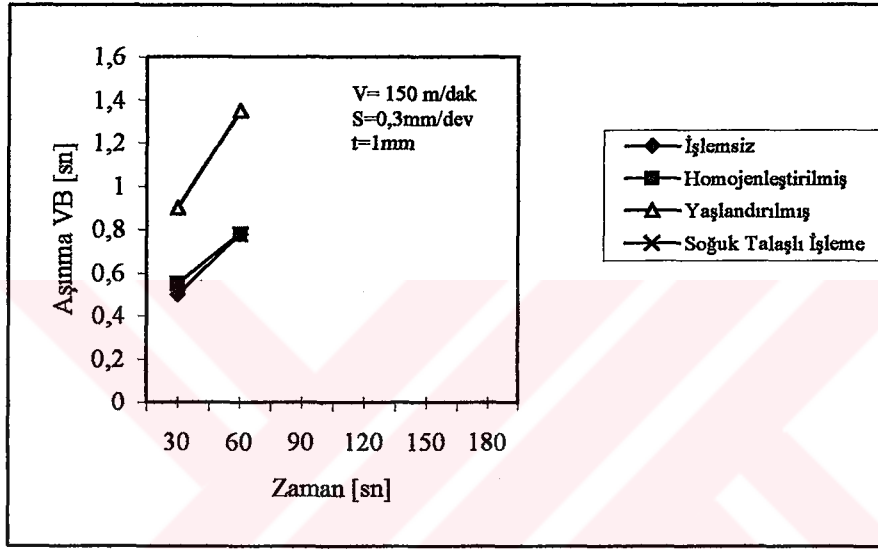


(b)

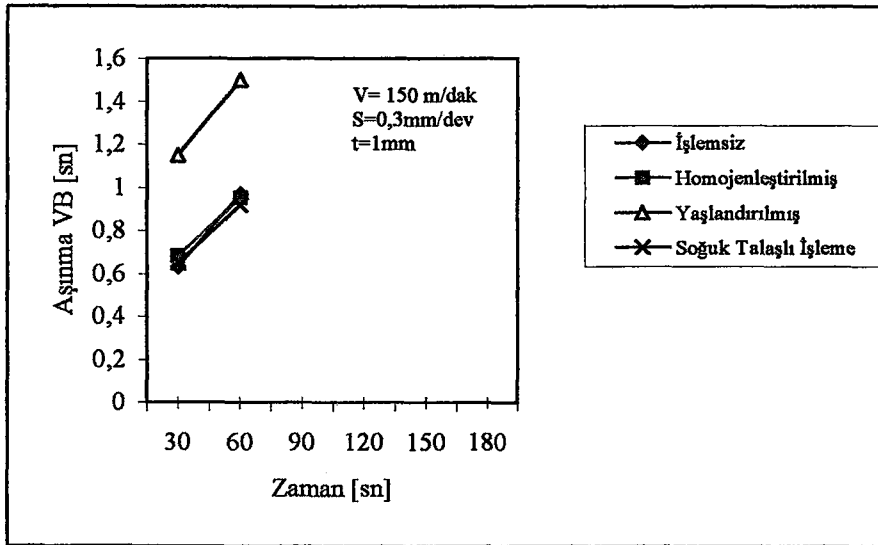
Şekil 4.45. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.38. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin V=150 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi (S=0.3 mm/dev, t=1 mm)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk Talaşlı İşleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,50	0,63	0,55	0,68	1,00	1,10	0,55	0,65
60	0,78	0,97	0,78	0,95	1,35	1,50	0,78	0,92
90								
120								
150								



(a)

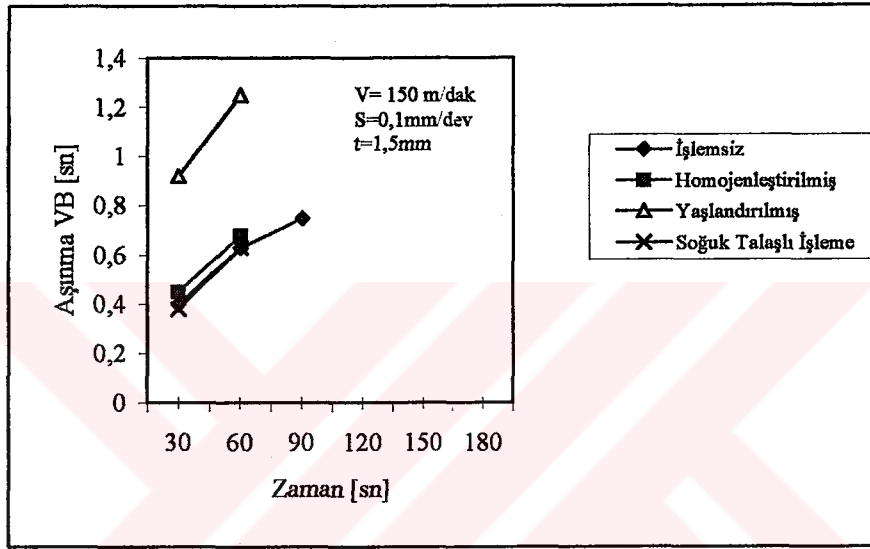


(b)

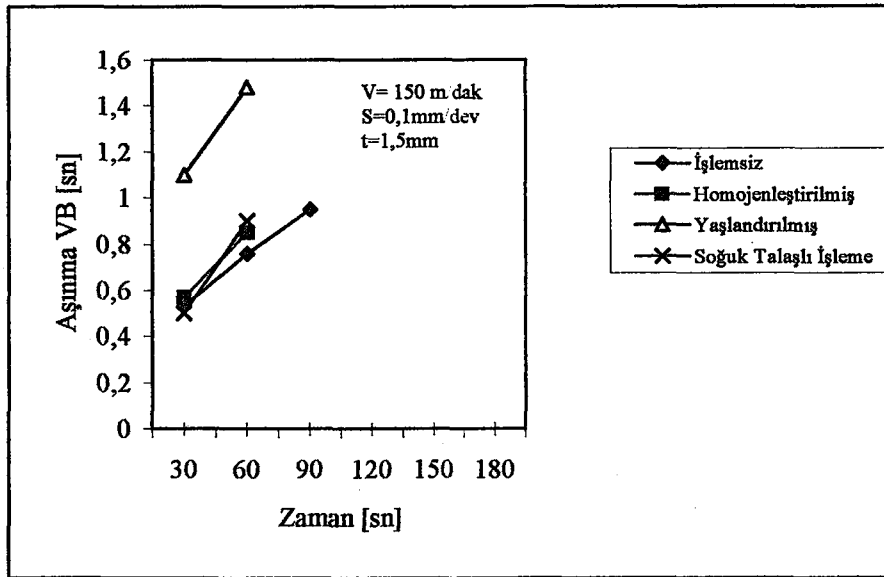
Şekil 4.46. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.39. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin V=150 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi (S=0.1 mm/dev, t=1.5 mm)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk Talaşlı İşleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,40	0,53	0,45	0,57	0,92	1,10	0,38	0,50
60	0,63	0,76	0,68	0,85	1,25	1,48	0,63	0,90
90	0,75	0,95						
120								
150								
180								



(a)

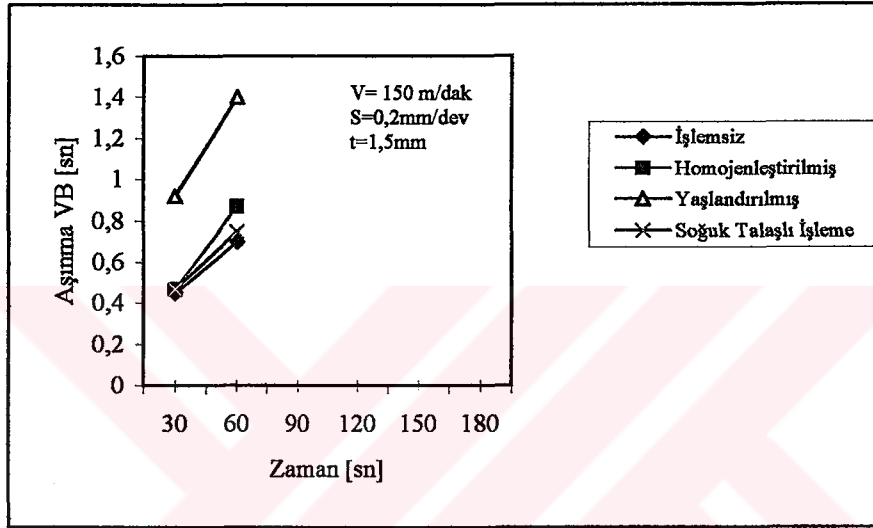


(b)

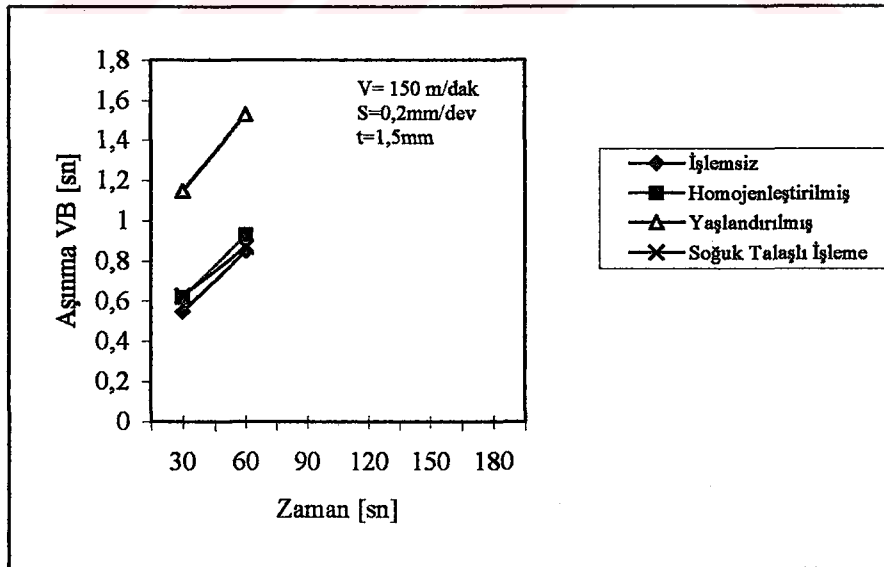
Şekil 4.47. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.40. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin $V=150$ m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi ($S=0.2$ mm/dev, $t=1.5$ mm)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk Talaşlı İşleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,45	0,55	0,46	0,53	1,02	1,10	0,51	0,59
60	0,70	0,85	0,87	0,93	1,40	1,53	0,75	0,87
90								
120								
150								
180								



(a)

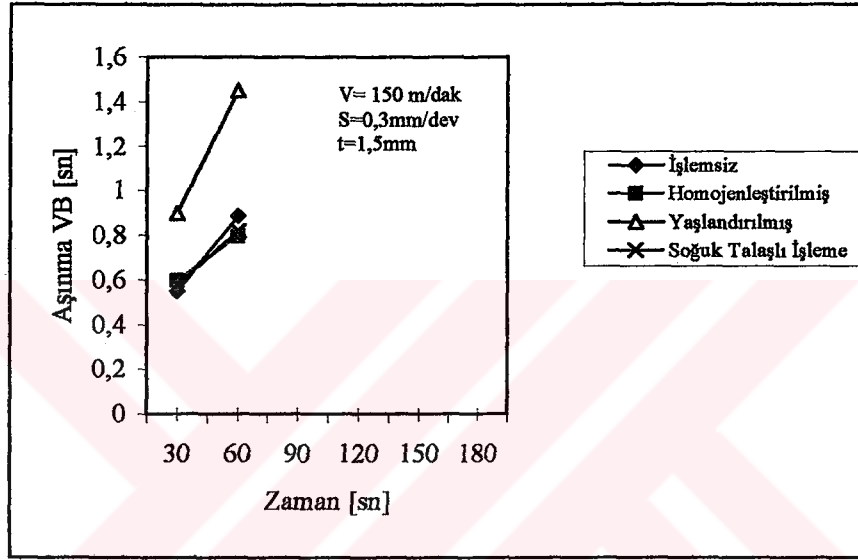


(b)

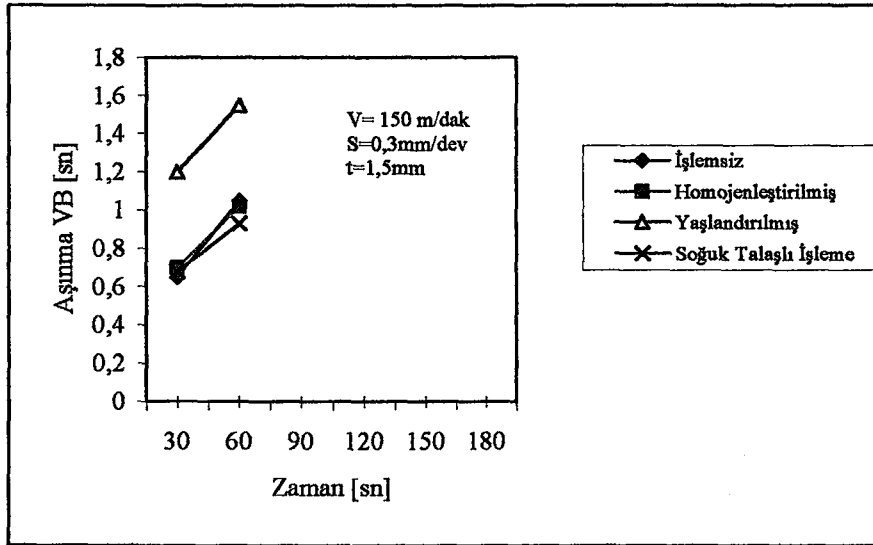
Şekil 4.48. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.41. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin V=150 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi (S=0.3 mm/dev, t=1.5 mm)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk Talaşlı İşleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,55	0,65	0,60	0,70	1,00	1,10	0,58	0,68
60	0,89	1,05	0,80	1,02	1,45	1,55	0,82	0,93
90								
120								
150								
180								



(a)

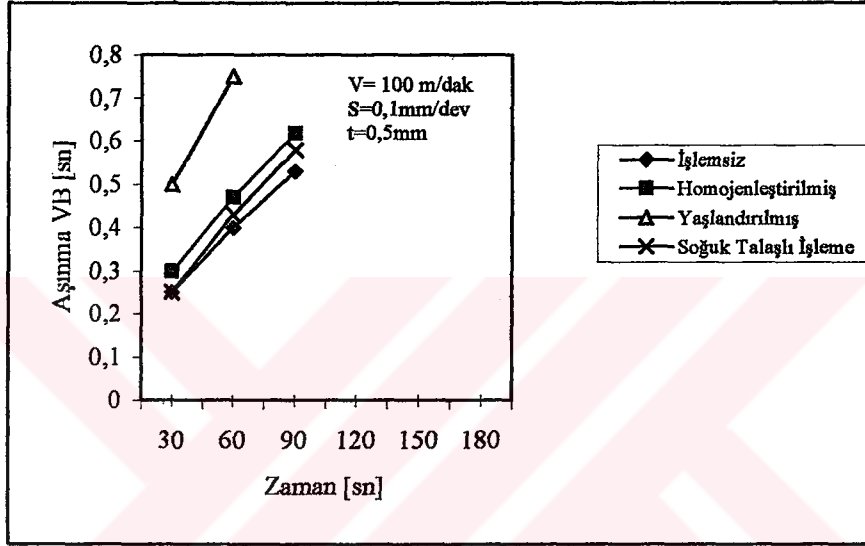


(b)

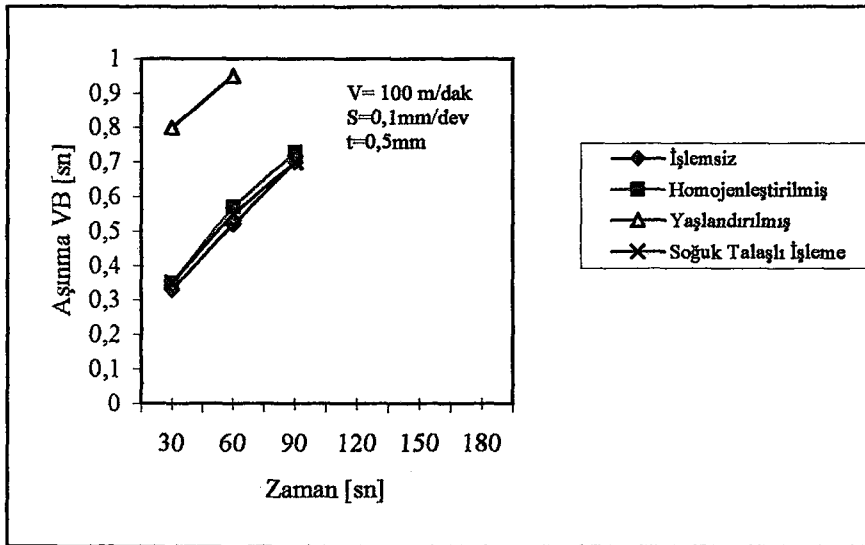
Şekil 4.49. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.42. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin $V=100$ m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi ($S=0.1$ mm/dev, $t=0.5$ mm)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk Talaşlı İşleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,25	0,33	0,30	0,35	0,60	0,70	0,25	0,35
60	0,40	0,52	0,47	0,57	0,75	0,95	0,43	0,55
90	0,53	0,70	0,62	0,73			0,58	0,70
120								
150								
180								



(a)

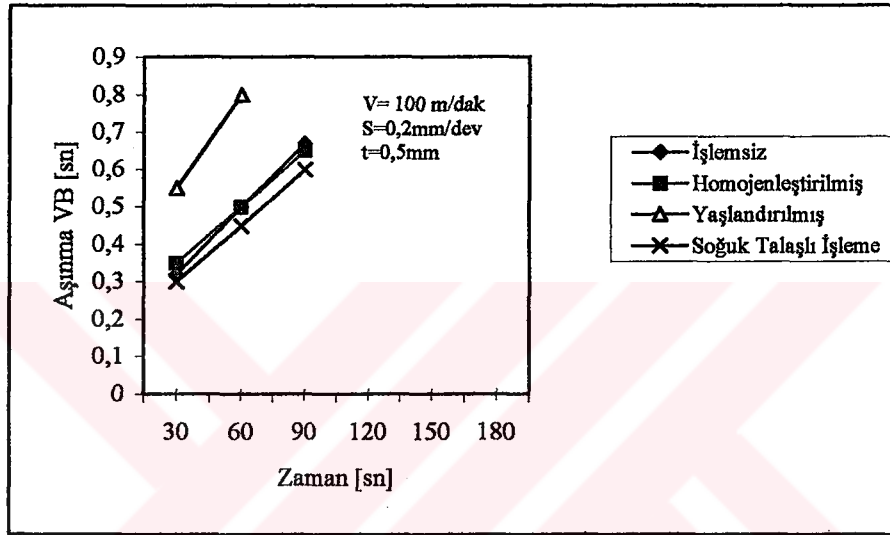


(b)

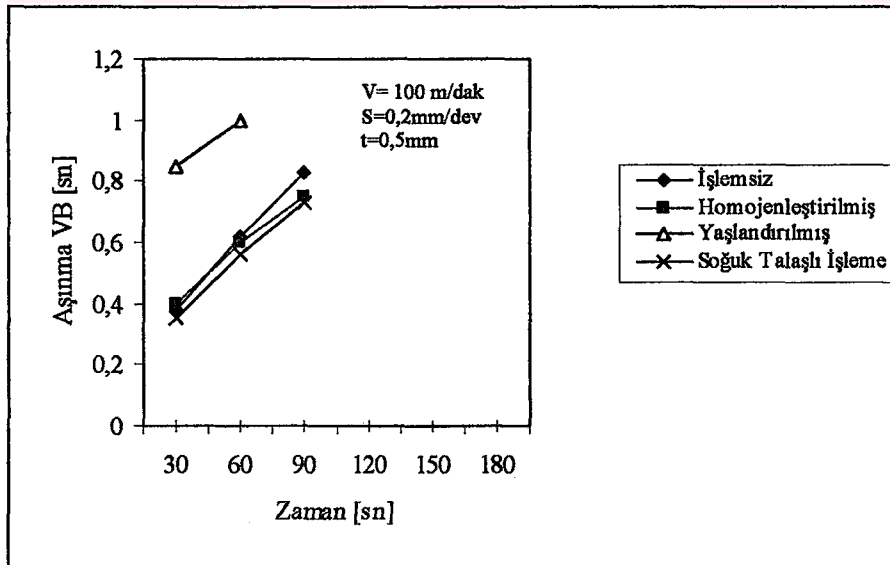
Şekil 4.50. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.43. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin $V=100$ m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi ($S=0.2$ mm/dev, $t=0.5$ mm)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk Talaşlı İşleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,32	0,38	0,35	0,40	0,65	0,75	0,30	0,35
60	0,50	0,62	0,50	0,60	0,80	1,00	0,45	0,56
90	0,67	0,83	0,65	0,75			0,60	0,73
120								
150								
180								



(a)

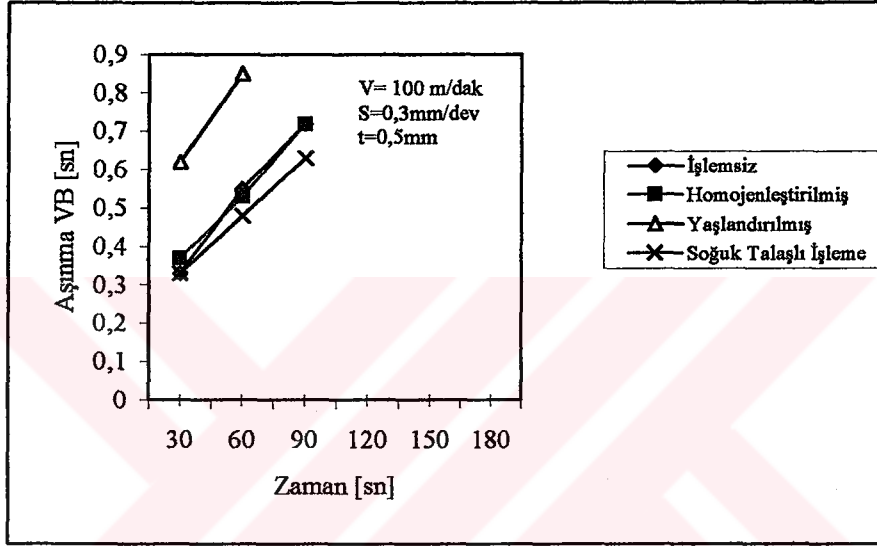


(b)

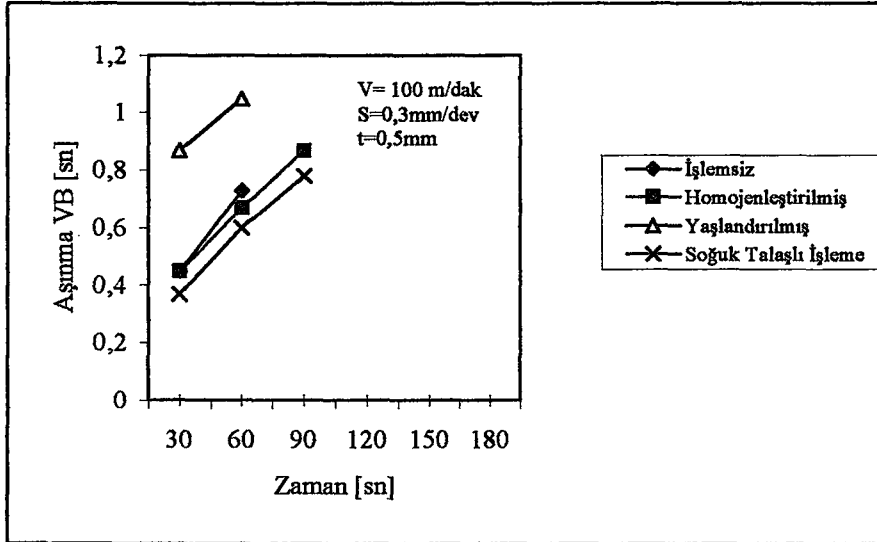
Şekil 4.51. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.44. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin V=100 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi (S=0.3 mm/dev, t=0.5 mm)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk Talashlı İşleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,33	0,45	0,37	0,45	0,67	0,82	0,33	0,37
60	0,55	0,73	0,53	0,67	0,85	1,05	0,48	0,60
90	0,72		0,72	0,87			0,63	0,78
120								
150								
180								



(a)

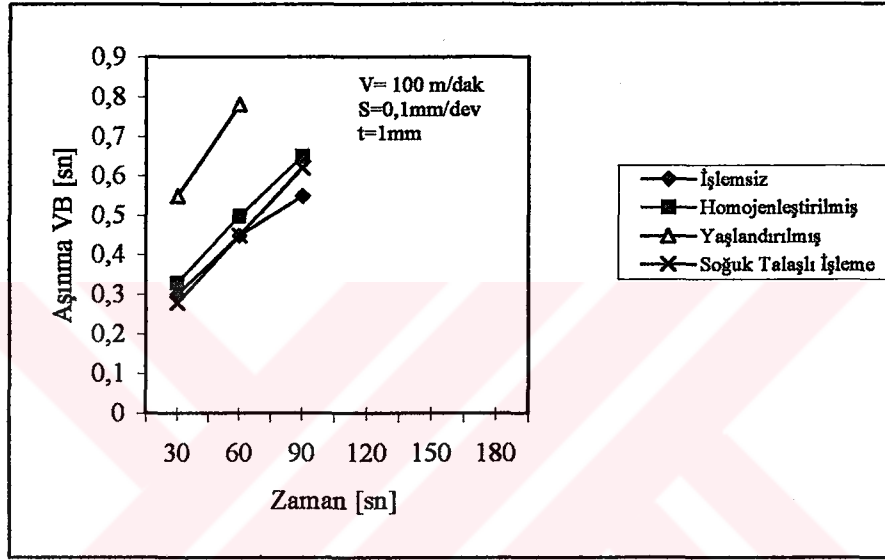


(b)

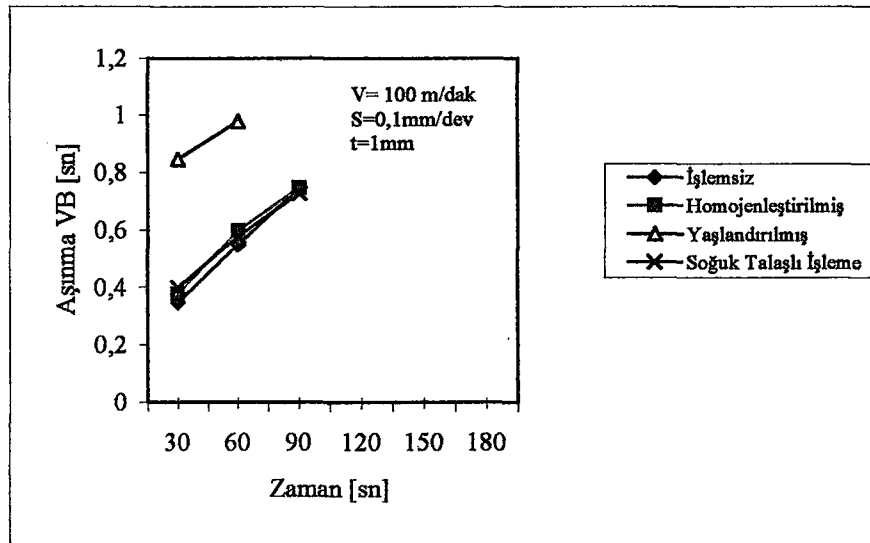
Şekil 4.52. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.45. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin $V=100$ m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi ($S=0.1$ mm/dev, $t=1$ mm)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk Talaşlı İşleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,30	0,35	0,28	0,43	0,65	0,75	0,28	0,40
60	0,45	0,55	0,50	0,60	0,78	0,98	0,45	0,58
90	0,55	0,75	0,65	0,75			0,62	0,73
120								
150								
180								



(a)

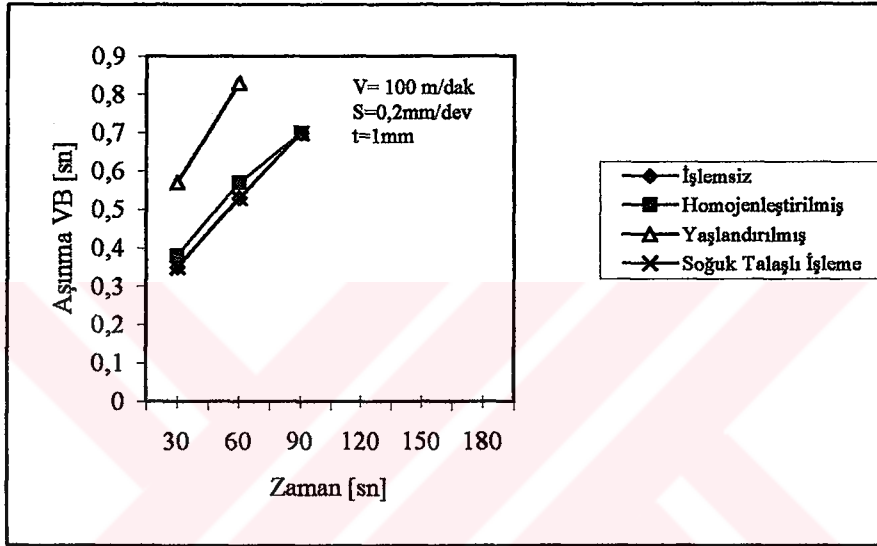


(b)

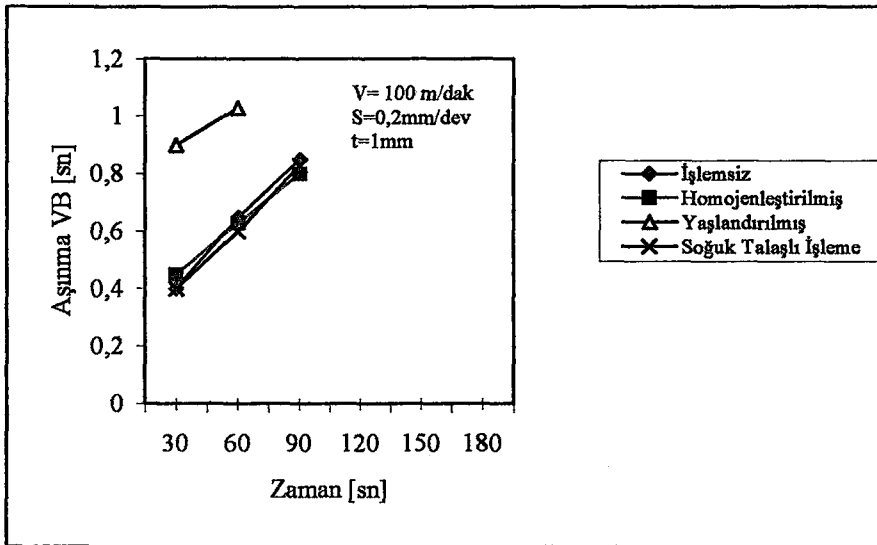
Şekil 4.53. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.46. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin $V=100$ m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi ($S=0.2$ mm/dev, $t=1$ mm)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk Talaşlı İşleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,35	0,40	0,39	0,44	0,70	0,90	0,35	0,40
60	0,53	0,65	0,57	0,63	0,83	1,16	0,53	0,60
90	0,70	0,85	0,70	0,80			0,70	0,83
120								
150								
180								



(a)

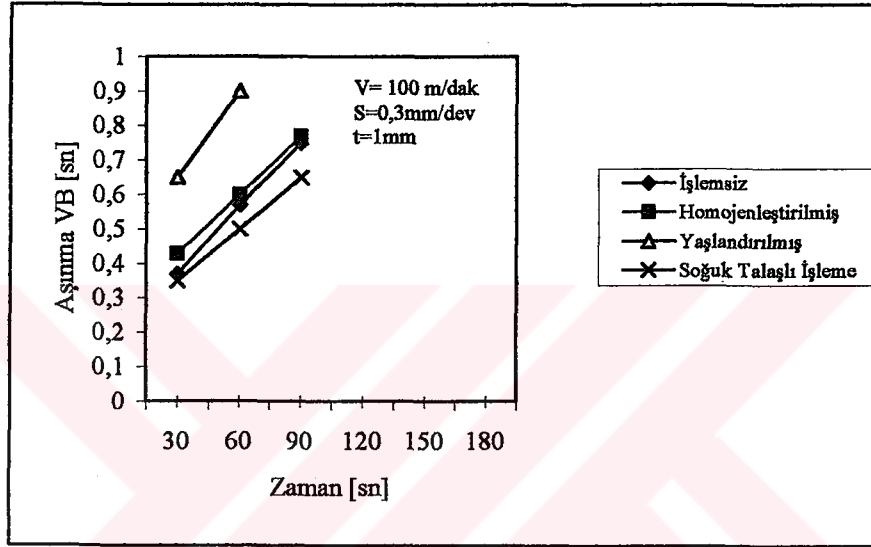


(b)

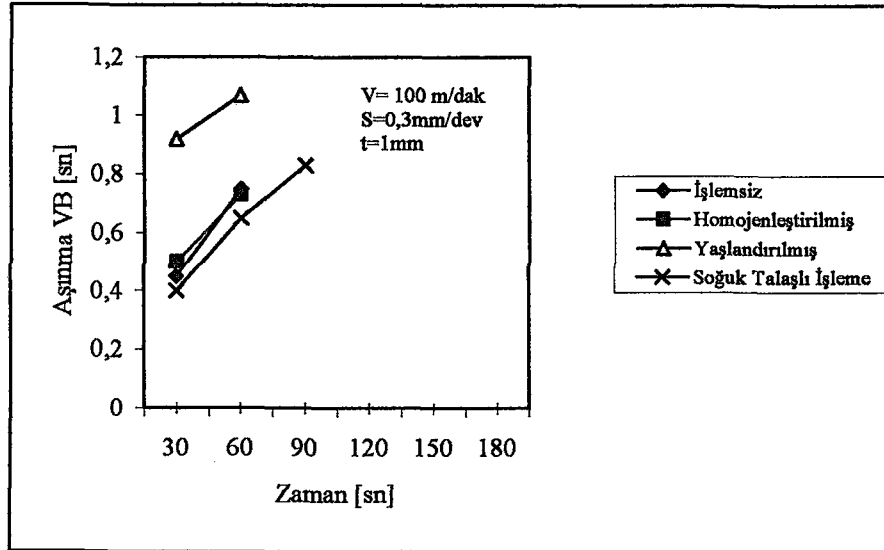
Şekil 4.54. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.47. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin V=100 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi (S=0.3 mm/dev, t=1 mm)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk Talaşlı İşleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,37	0,45	0,43	0,50	0,75	0,82	0,35	0,40
60	0,57	0,75	0,60	0,73	0,90	1,07	0,50	0,65
90	0,75		0,77				0,65	0,83
120								
150								
180								



(a)

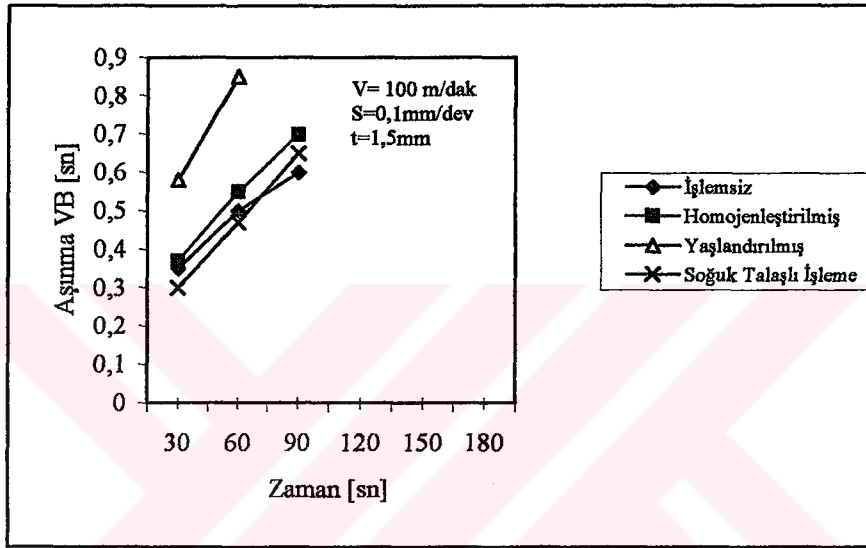


(b)

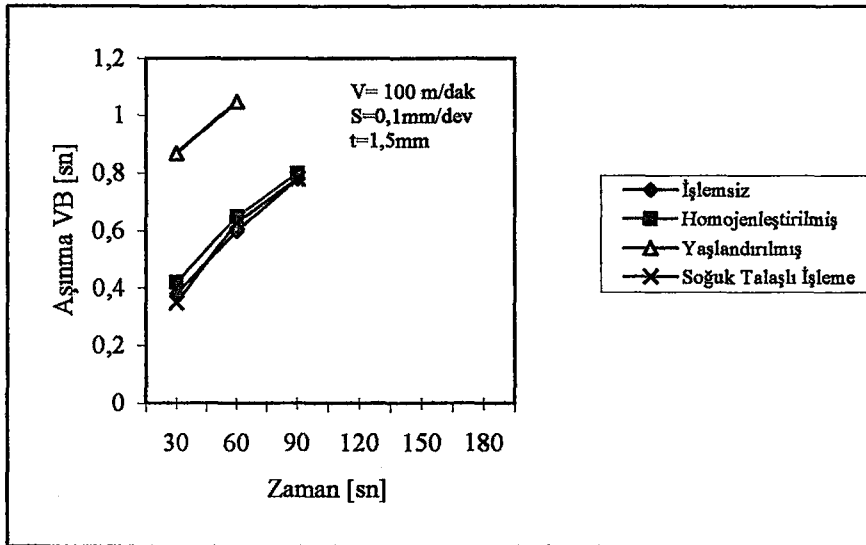
Şekil 4.55. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.48. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin V=100 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi (S=0.1 mm/dev, t=1.5 mm)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk Talahlı İşleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,35	0,38	0,37	0,42	0,67	0,78	0,30	0,35
60	0,50	0,60	0,55	0,65	0,85	1,05	0,47	0,63
90	0,60	0,78	0,70	0,80			0,65	0,78
120								
150								
180								



(a)

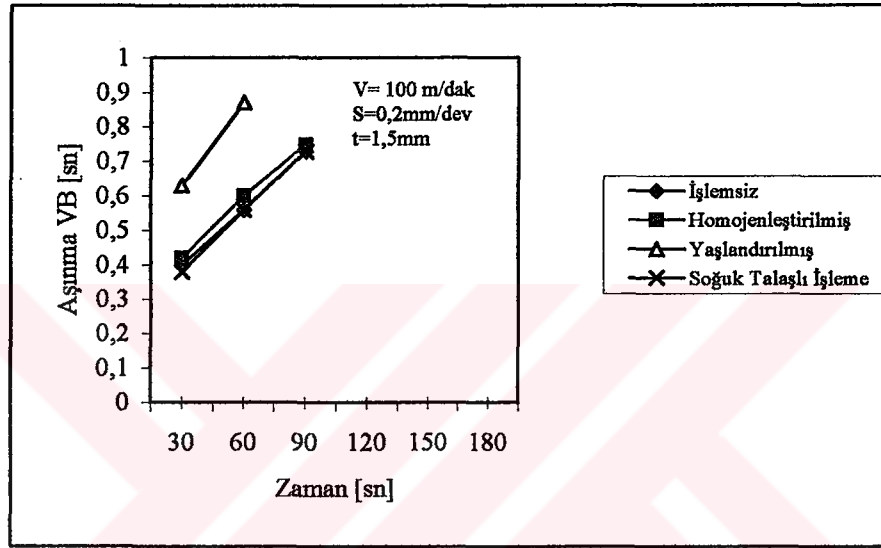


(b)

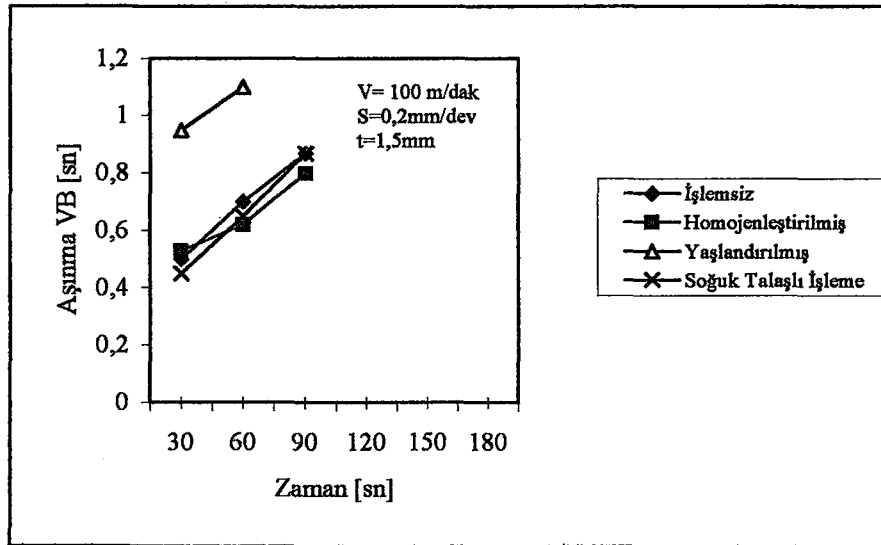
Şekil 4.56. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.49. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin $V=100$ m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi ($S=0.2$ mm/dev, $t=1.5$ mm)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk Talaşlı İşleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,40	0,50	0,44	0,51	0,72	0,86	0,38	0,45
60	0,56	0,70	0,60	0,62	0,87	1,10	0,56	0,65
90	0,73	0,87	0,75	0,80			0,73	0,87
120								
150								
180								



(a)

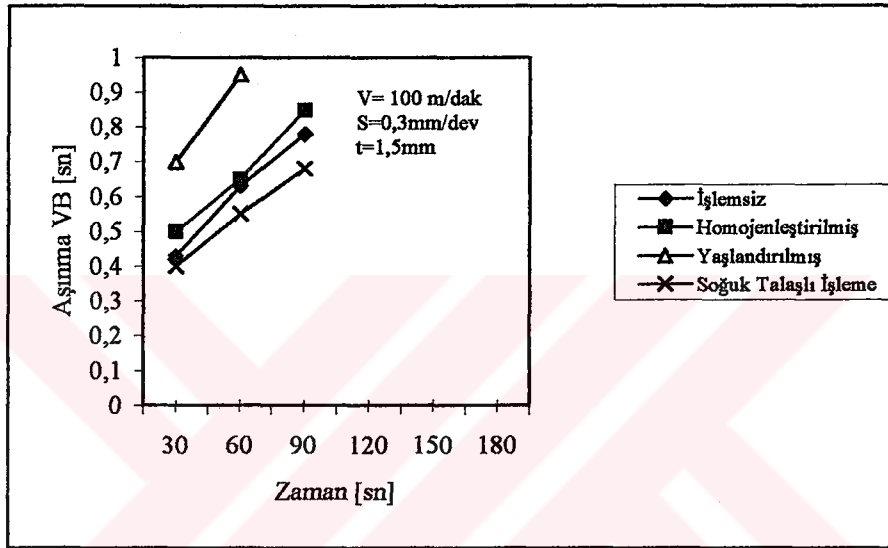


(b)

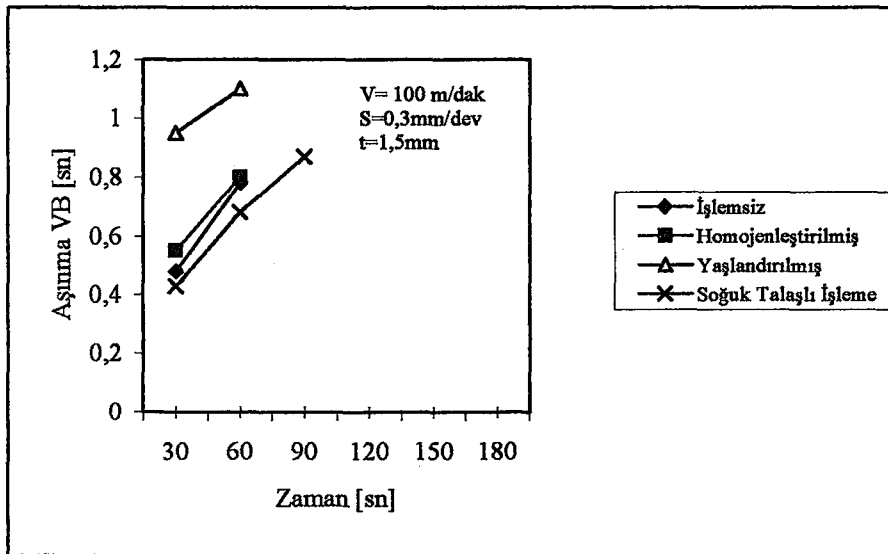
Şekil 4.57. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.50. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin V=100 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi (S=0.3 mm/dev, t=1.5 mm)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk Talaşlı İşleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,43	0,48	0,50	0,55	0,80	0,85	0,40	0,43
60	0,63	0,78	0,65	0,80	0,95	1,10	0,55	0,68
90	0,78		0,85				0,68	0,87
120								
150								
180								



(a)

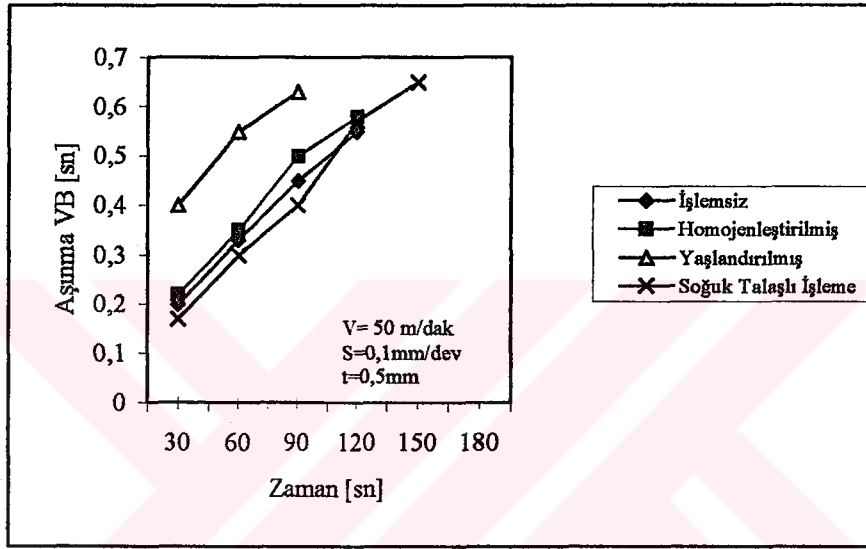


(b)

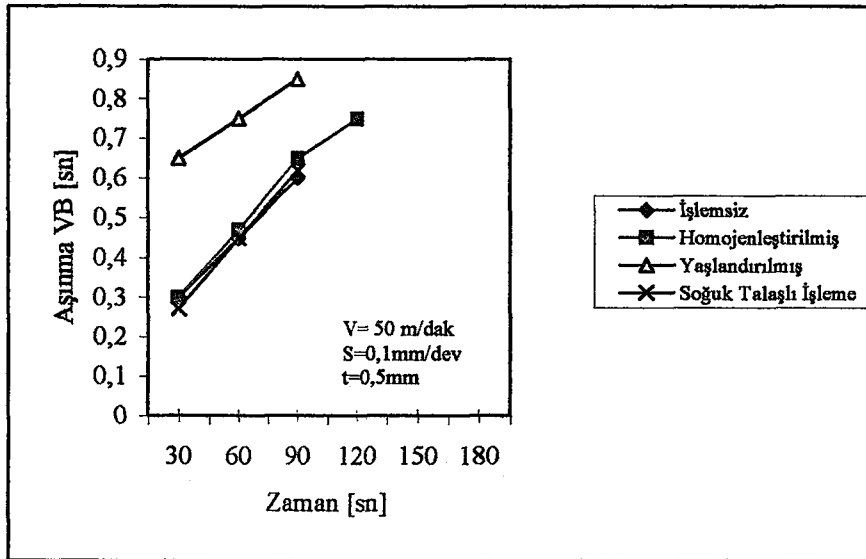
Şekil 4.58. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.51. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin $V=50$ m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi ($S=0.1$ mm/dev, $t=0.5$ mm)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk Talaşlı İşleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,20	0,30	0,22	0,30	0,45	0,60	0,17	0,27
60	0,33	0,45	0,35	0,47	0,55	0,75	0,30	0,45
90	0,45	0,60	0,50	0,65	0,63	0,85	0,40	0,62
120	0,55		0,58	0,75			0,57	
150							0,65	
180								



(a)

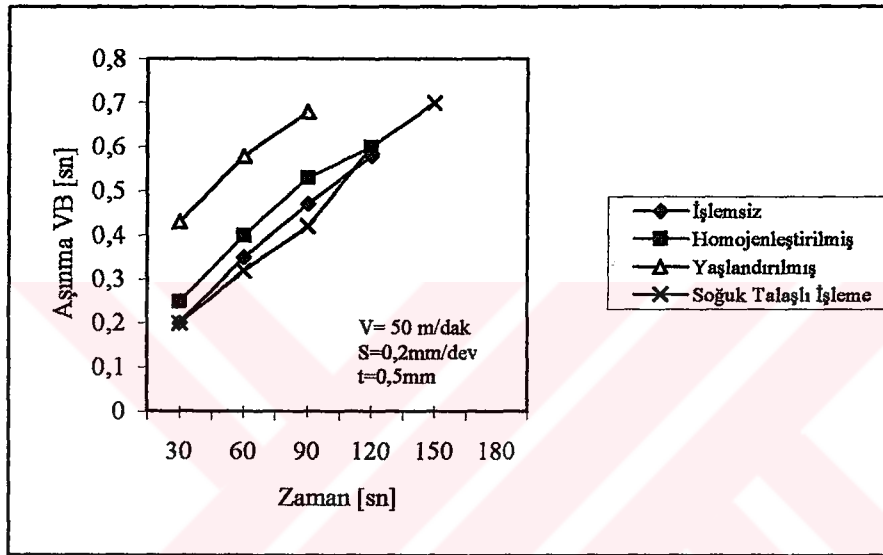


(b)

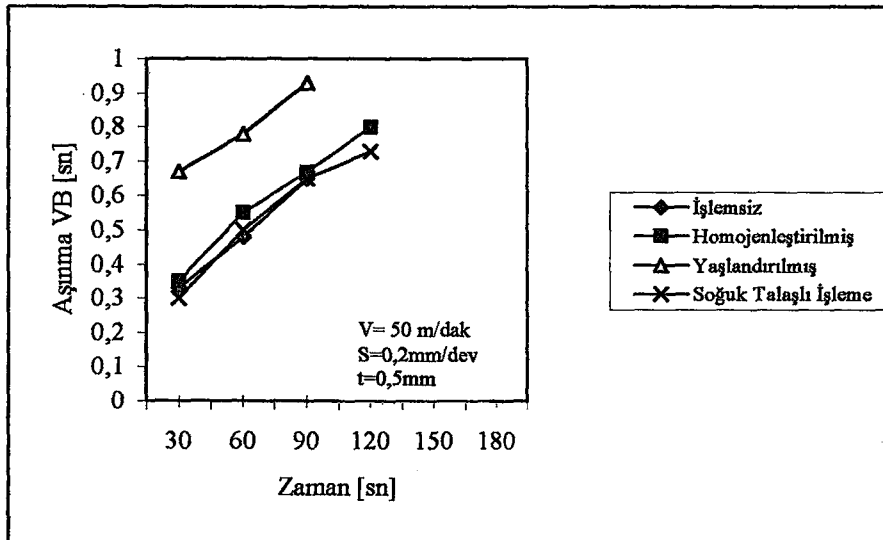
Şekil 4.59. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kapasız

Tablo 4.52. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin V=50 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi (S=0.2 mm/dev, t=0.5 mm)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk Talaşlı İşleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,20	0,33	0,25	0,35	0,47	0,63	0,20	0,30
60	0,35	0,48	0,40	0,55	0,58	0,78	0,32	0,50
90	0,47	0,65	0,53	0,67	0,68	0,93	0,42	0,65
120	0,58		0,60	0,80			0,60	0,73
150							0,70	
180								



(a)

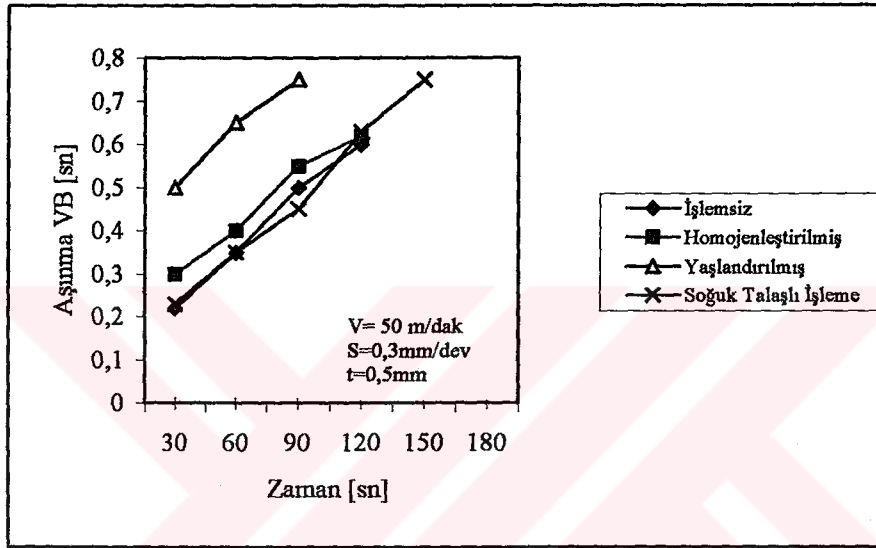


(b)

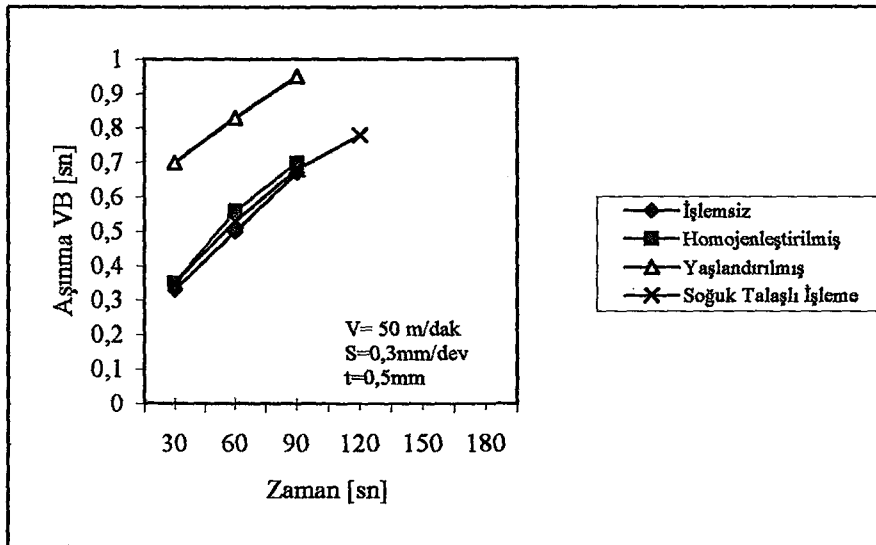
Şekil 4.60. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.53. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin $V=50$ m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi
($S=0.3$ mm/dev, $t=0.5$ mm)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk Talaşlı İşleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,22	0,33	0,30	0,35	0,50	0,70	0,23	0,35
60	0,35	0,50	0,40	0,56	0,63	0,85	0,35	0,53
90	0,50	0,67	0,55	0,70	0,75	0,95	0,45	0,68
120	0,60		0,62				0,63	0,78
150							0,75	
180								



(a)

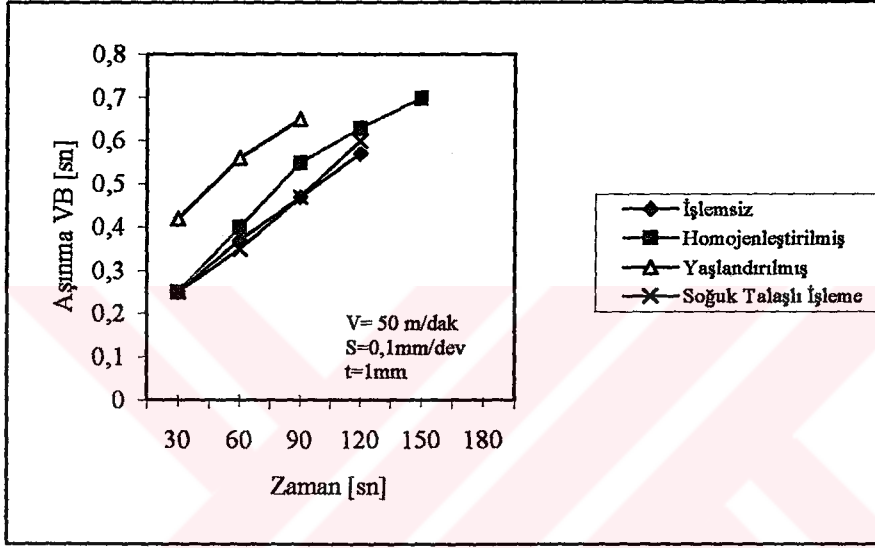


(b)

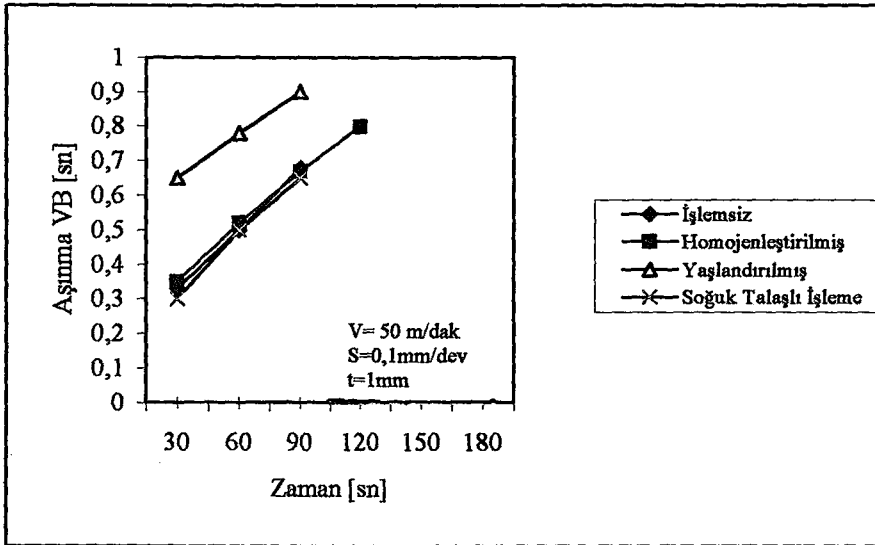
Şekil 4.61. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.54. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin $V=50$ m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi ($S=0.1$ mm/dev, $t=1$ mm)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk Talaşlı İşleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,25	0,33	0,25	0,35	0,43	0,64	0,25	0,30
60	0,37	0,50	0,40	0,52	0,56	0,78	0,35	0,50
90	0,47	0,68	0,55	0,67	0,65	0,90	0,47	0,65
120	0,57		0,63	0,80			0,60	
150			0,70					
180								



(a)

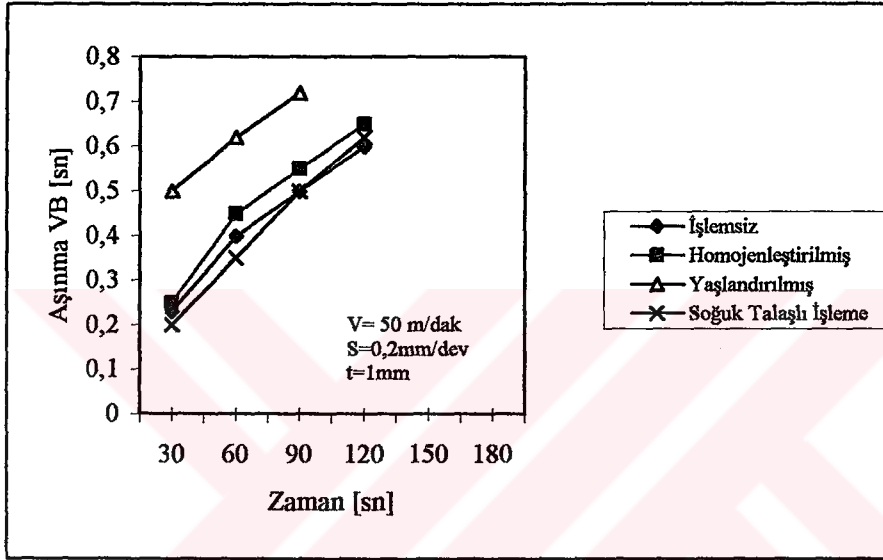


(b)

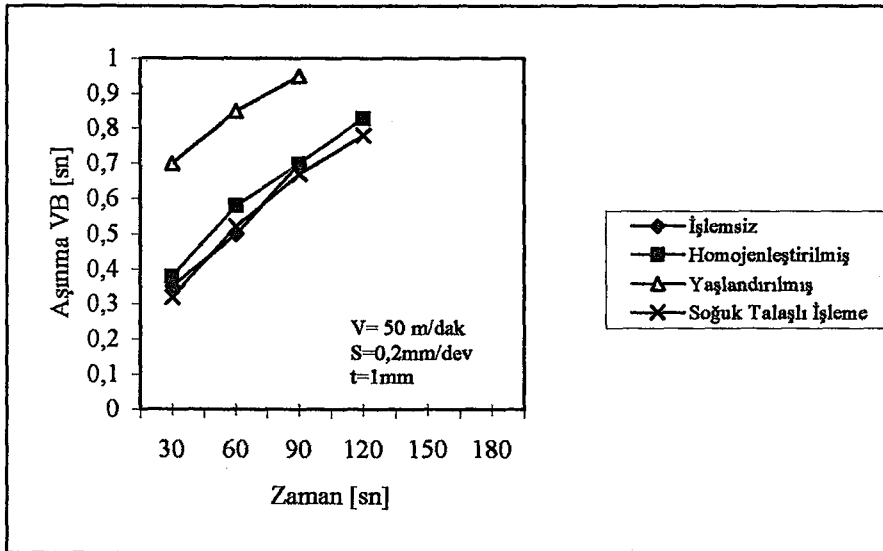
Şekil 4.62. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.55. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin $V=50$ m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi ($S=0.2$ mm/dev, $t=1$ mm)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk Talaşlı İşleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,25	0,33	0,25	0,38	0,50	0,70	0,20	0,32
60	0,40	0,50	0,45	0,58	0,62	0,85	0,35	0,52
90	0,50	0,70	0,55	0,70	0,72	0,95	0,50	0,67
120	0,60		0,65	0,83			0,62	0,78
150								
180								



(a)

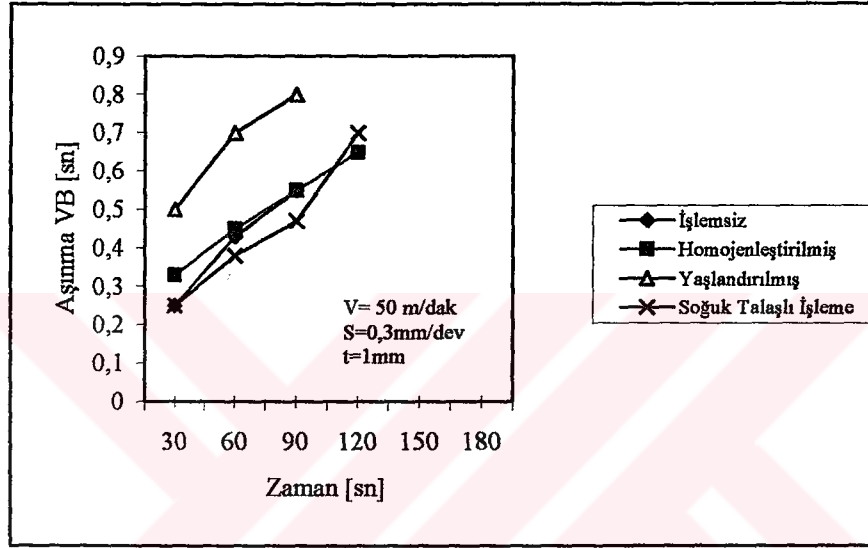


(b)

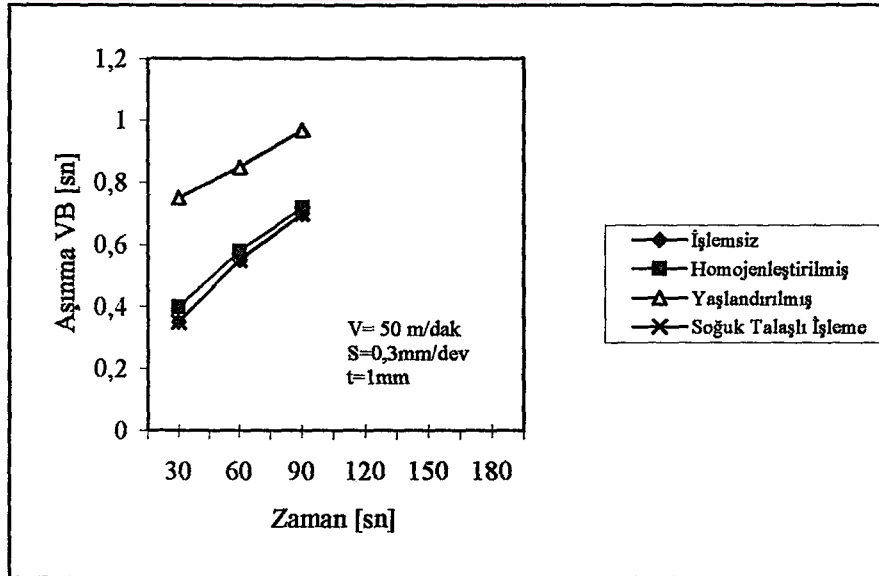
Şekil 4.63. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.56. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin $V=50$ m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi ($S=0.3$ mm/dev, $t=1$ mm)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk Talaşlı İşleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,25	0,35	0,33	0,40	0,60	0,65	0,25	0,35
60	0,43	0,55	0,45	0,58	0,70	0,85	0,38	0,55
90	0,55	0,70	0,55	0,72	0,80	0,97	0,47	0,70
120	0,65		0,65				0,70	
150								
180								



(a)

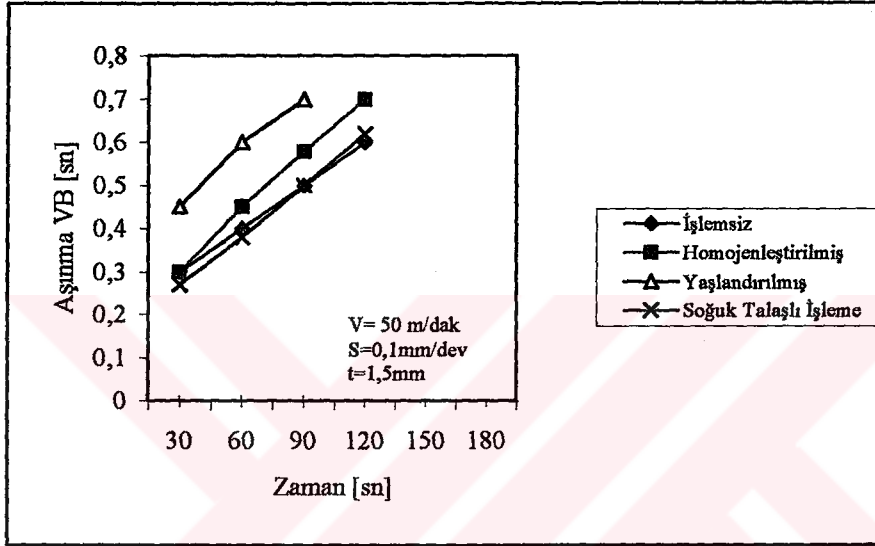


(b)

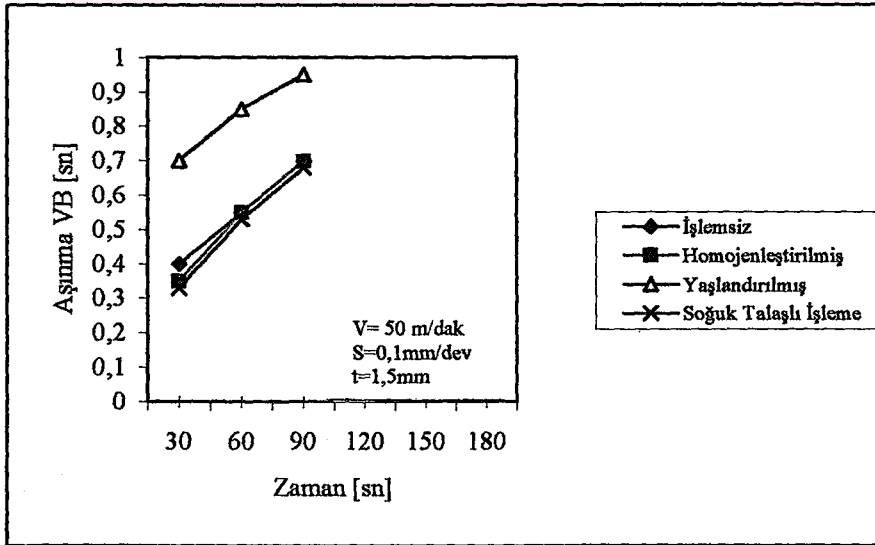
Şekil 4.64. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.57. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin $V=50$ m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi ($S=0.1$ mm/dev, $t=1.5$ mm)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk Talaşlı İşleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,30	0,40	0,30	0,35	0,45	0,70	0,27	0,33
60	0,40	0,55	0,45	0,55	0,60	0,85	0,38	0,53
90	0,50	0,70	0,58	0,70	0,70	0,95	0,50	0,68
120	0,60		0,70				0,62	
150								
180								



(a)

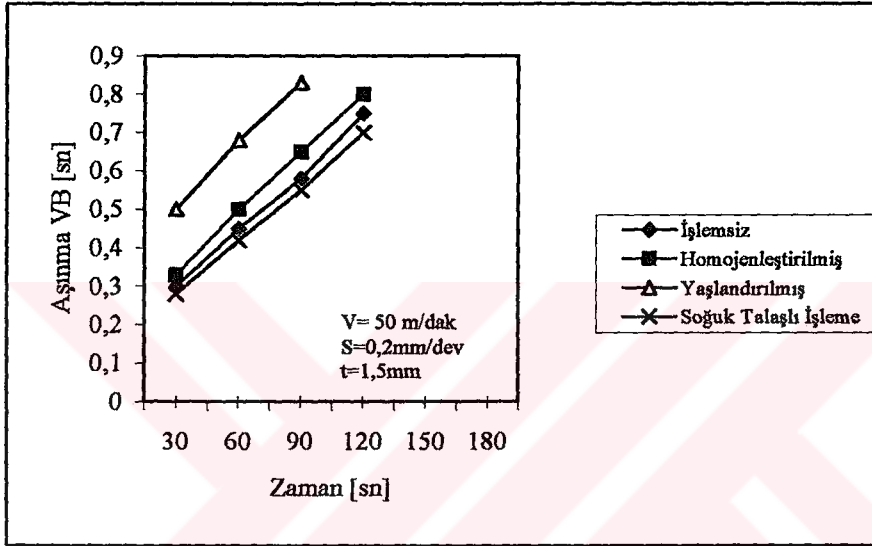


(b)

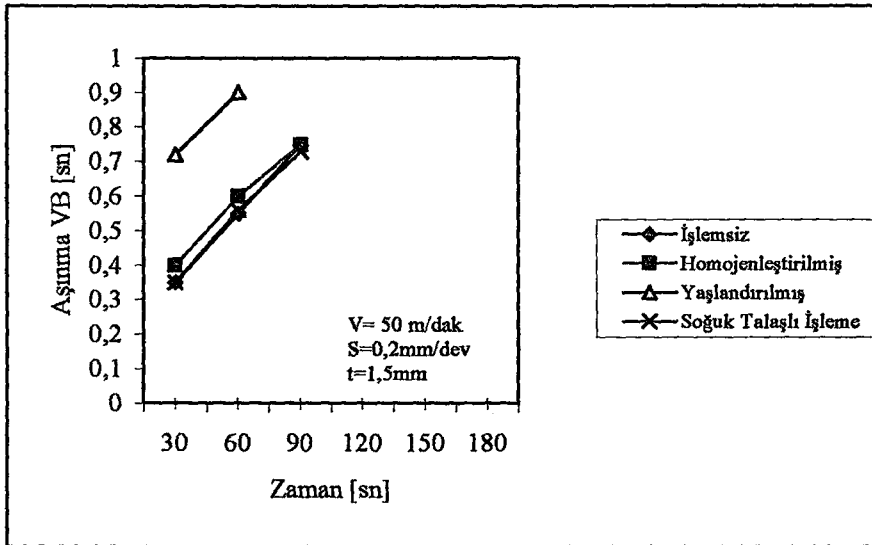
Şekil 4.65. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.58. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin $V=50$ m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi ($S=0.2$ mm/dev, $t=1.5$ mm)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk Talaşlı İşleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,30	0,35	0,33	0,40	0,50	0,72	0,28	0,35
60	0,45	0,55	0,50	0,60	0,68	0,90	0,42	0,56
90	0,58	0,75	0,65	0,75	0,83		0,55	0,73
120	0,75		0,80				0,70	
150								
180								



(a)

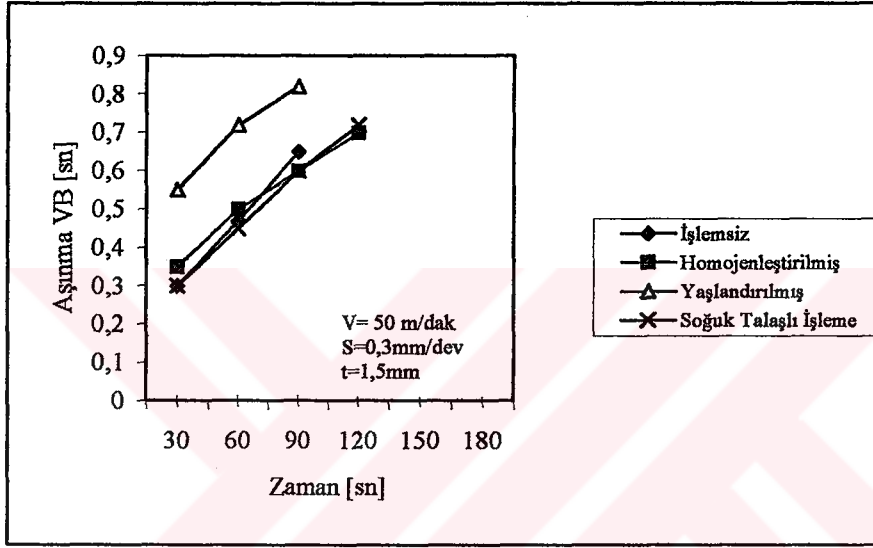


(b)

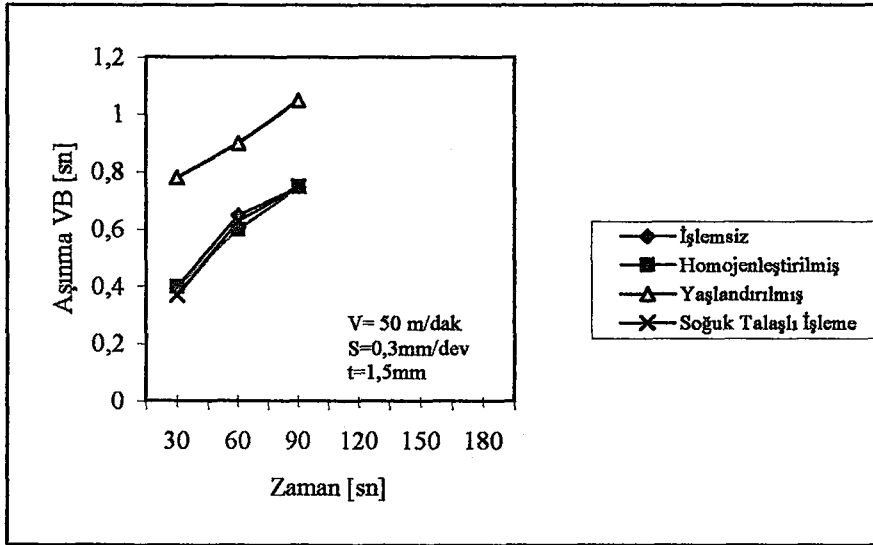
Şekil 4.66. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.59. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin V=50 m/dak. kesme hızı için aşınma zaman ilişkisi (S=0.3 mm/dev, t=1.5 mm)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]							
	İşlemsiz		Homojenleştirilmiş		Yaşlandırılmış		Soğuk Talaşlı İşleme	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,30	0,40	0,35	0,40	0,60	0,73	0,30	0,37
60	0,47	0,65	0,50	0,60	0,72	0,90	0,45	0,63
90	0,65	0,75	0,60	0,75	0,82	1,05	0,60	0,75
120			0,70				0,72	
150								
180								



(a)



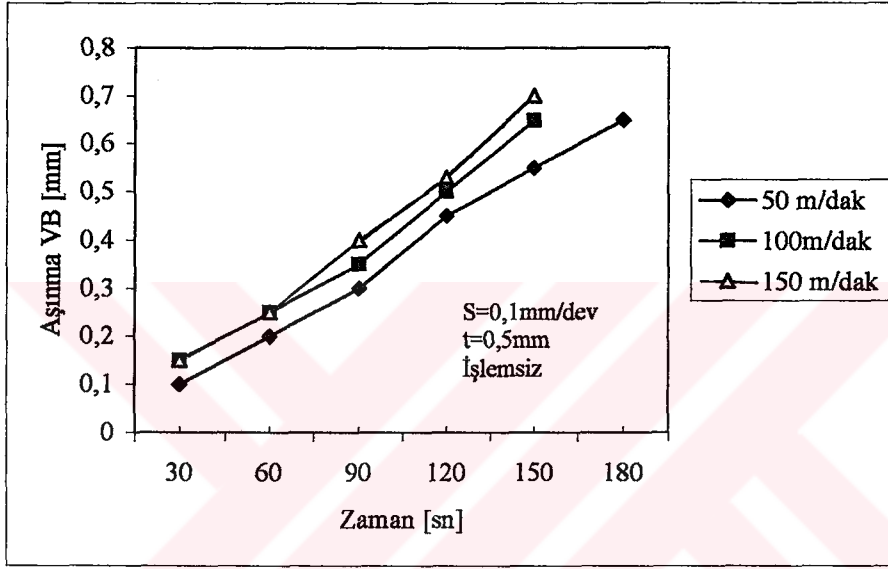
(b)

Şekil 4.67. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

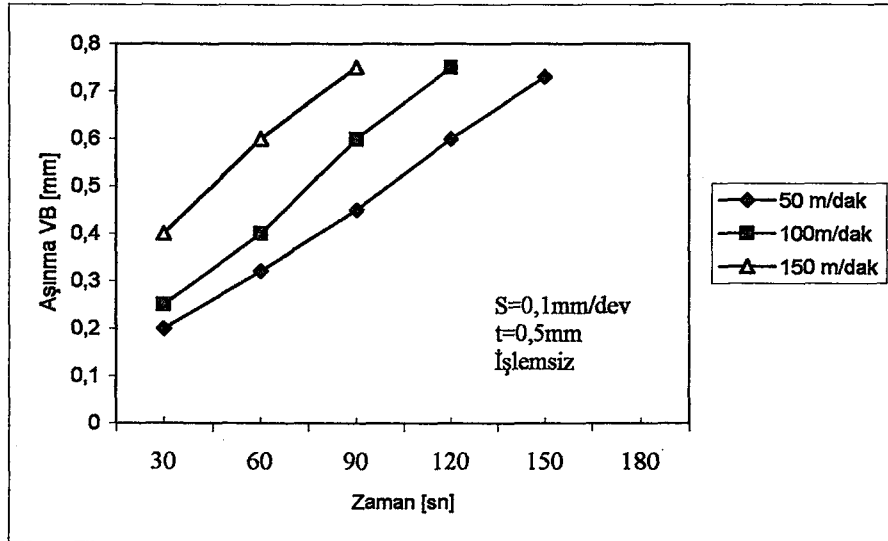
**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
BİLİM VE TEKNOLOJİ ARAŞTIRMALARI BAKANLIĞI**

Tablo 4.60. %5 SiC takviyeli ısıt işlemsiz MMK malzemenin farklı hızlarındaki aşınma zaman tablosu
(S=0.1 mm/dev, t=0.5 mm)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]					
	50 m/dak		100 m/dak		150 m/dak	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,10	0,20	0,15	0,25	0,15	0,40
60	0,20	0,32	0,25	0,40	0,25	0,60
90	0,30	0,45	0,35	0,60	0,40	0,75
120	0,45	0,60	0,50	0,75	0,53	
150	0,55	0,73	0,65		0,70	
180	0,65					



(a)

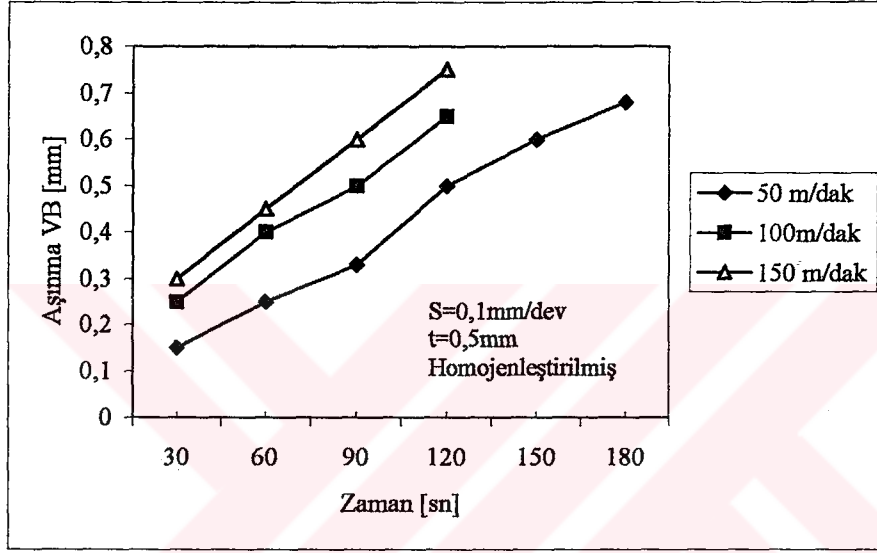


(b)

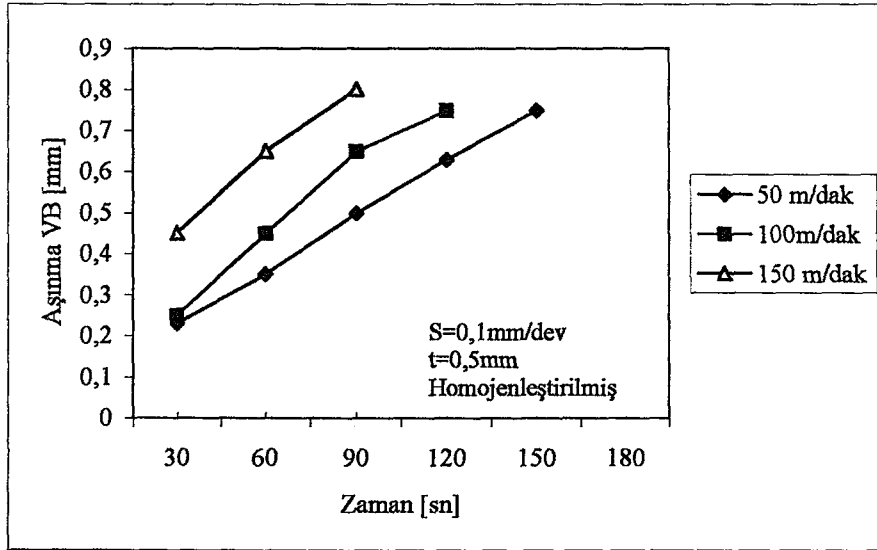
Şekil 4.68. Aşınma-Zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.61. %5 SiC takviyeli homojenleştirilmiş MMK malzemenin farklı hızlarındaki aşınma zaman tablosu ($S=0.1$ mm/dev, $t=0.5$ mm, Talaş açısı= -6°)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]					
	50 m/dak		100 m/dak		150 m/dak	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,15	0,23	0,25	0,25	0,30	0,45
60	0,25	0,35	0,40	0,45	0,45	0,65
90	0,33	0,50	0,50	0,65	0,60	0,80
120	0,50	0,63	0,65	0,75	0,75	
150	0,60	0,75				
180	0,68					



(a)

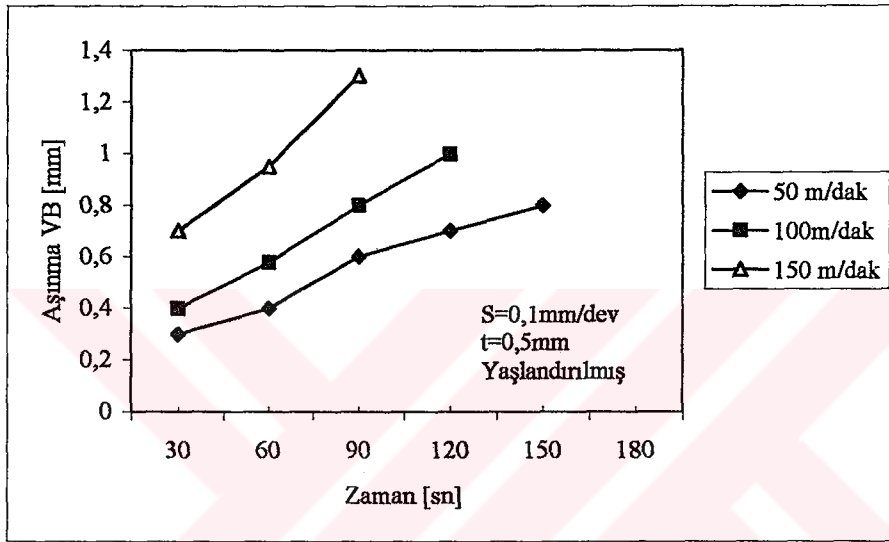


(b)

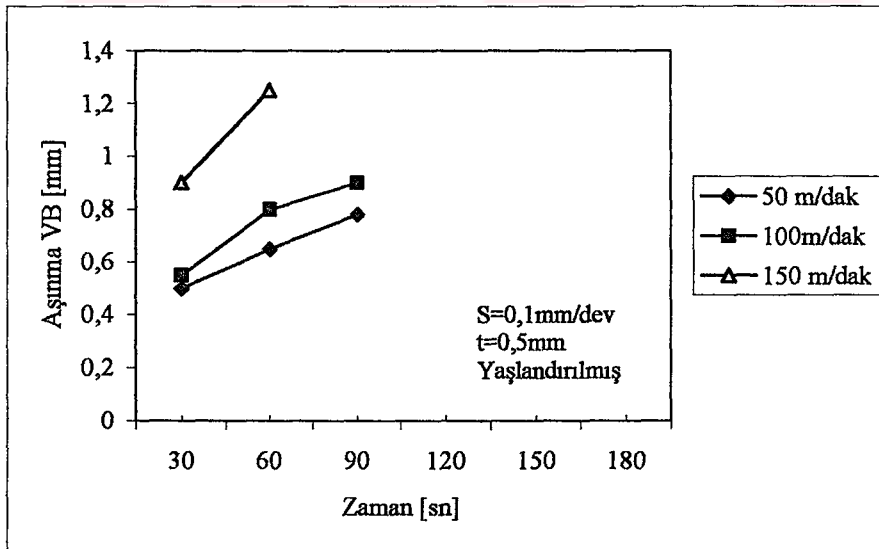
Şekil 4.69. Aşınma-Zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.62. %5 SiC takviyeli yaşılandırılmış MMK malzemenin farklı hızlarındaki aşınma zaman tablosu
($S=0.1$ mm/dev, $t=0.5$ mm, Talaş açısı= -6°)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]					
	50 m/dak		100 m/dak		150 m/dak	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,30	0,50	0,40	0,55	0,70	0,90
60	0,40	0,65	0,50	0,80	0,95	1,25
90	0,60	0,78	0,80	0,90	1,30	
120	0,70		1,00			
150	0,80					
180						



(a)

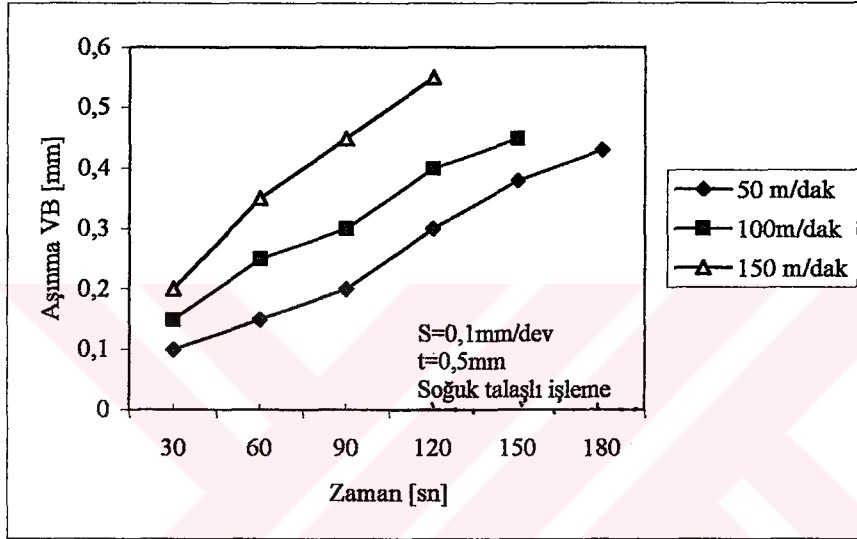


(b)

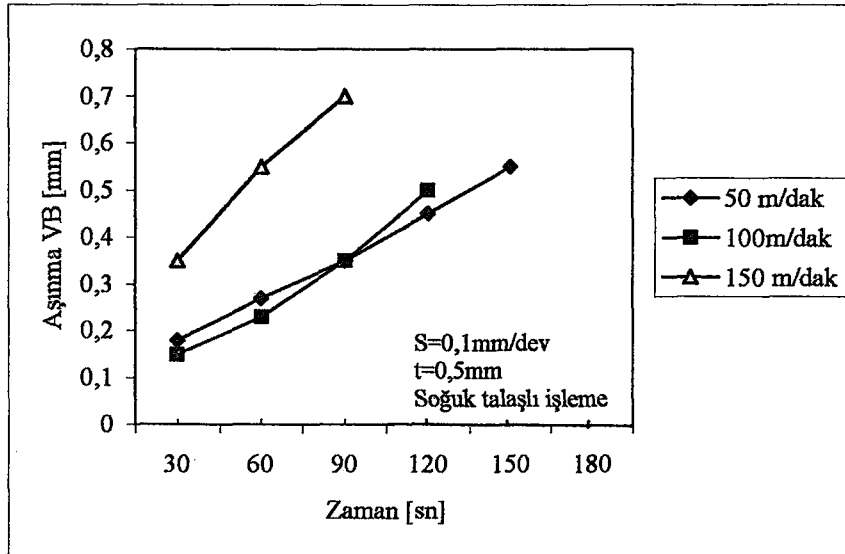
Şekil 4.70. Aşınma-Zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.63. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin soğuk talaşlı işlemede farklı hızlarındaki aşınma zaman tablosu ($S=0.1$ mm/dev, $t=0.5$ mm, Talaş açısı= -6°)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]					
	50 m/dak		100 m/dak		150 m/dak	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,10	0,18	0,15	0,15	0,20	0,35
60	0,15	0,27	0,23	0,25	0,35	0,55
90	0,20	0,35	0,30	0,35	0,45	0,70
120	0,30	0,45	0,40	0,50	0,55	
150	0,38	0,55	0,45			
180	0,43					



(a)

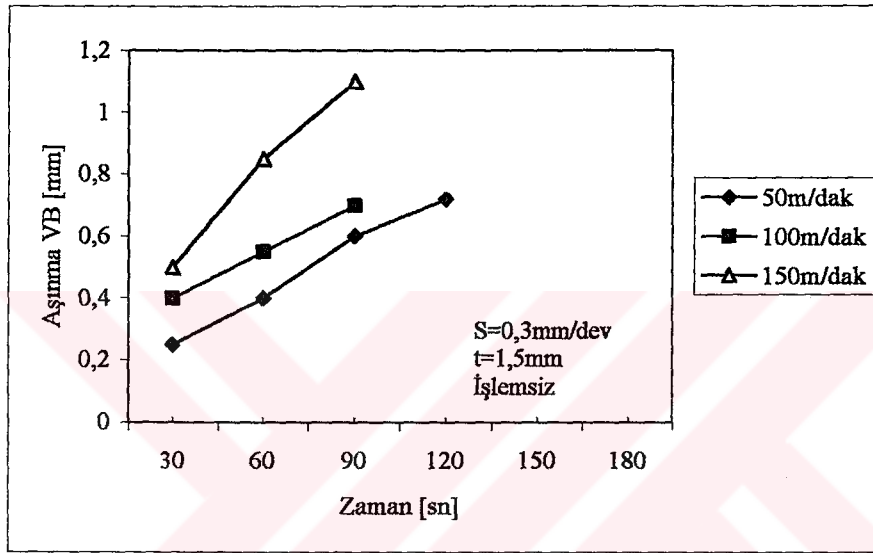


(b)

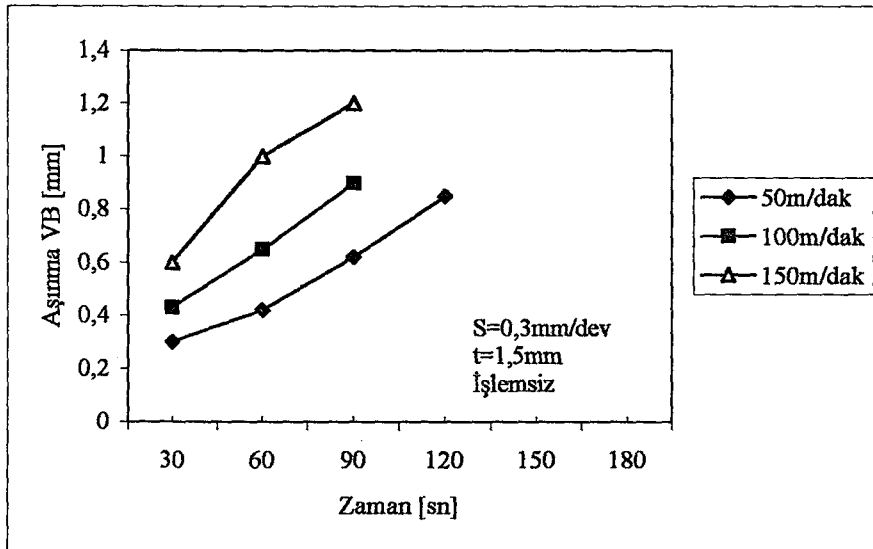
Şekil 4.71. Aşınma-Zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.64. %5 SiC takviyeli ısıt işlemsiz MMK malzemenin farklı hızlarındaki aşınma zaman tablosu
($S=0.3$ mm/dev, $t=1.5$ mm, Talaş açısı= -6°)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]					
	50 m/dak		100 m/dak		150 m/dak	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,28	0,30	0,40	0,43	0,50	0,60
60	0,40	0,45	0,55	0,65	0,85	1,00
90	0,60	0,62	0,70	0,90	1,10	1,20
120	0,72	0,85				
150						
180						



(a)

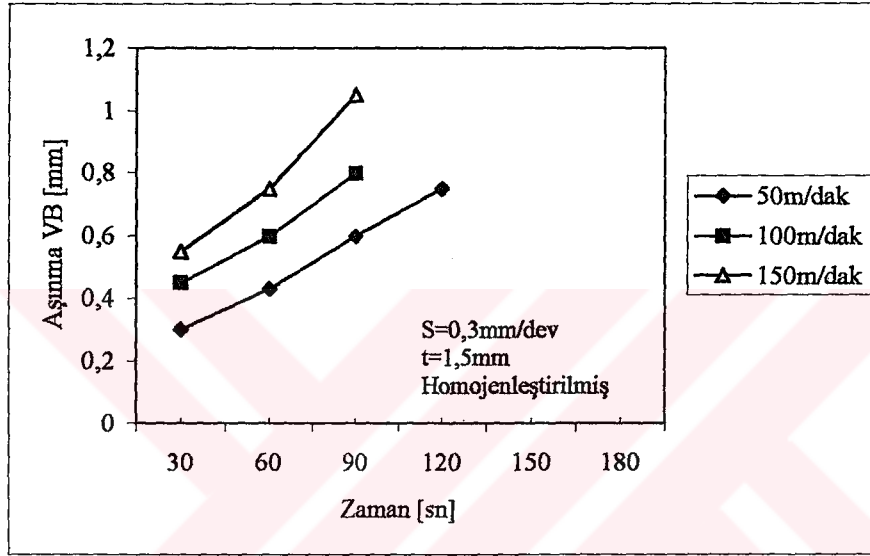


(b)

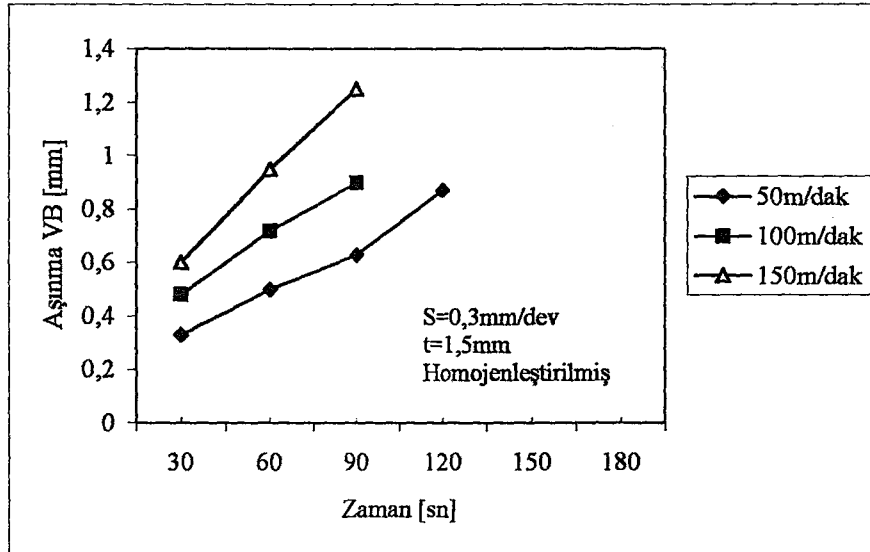
Şekil 4.72. Aşınma-Zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.65. %5 SiC takviyeli homojenleştirilmiş MMK malzemenin farklı hızlarındaki aşınma zaman tablosu ($S=0.3$ mm/dev, $t=1.5$ mm, Talaş açısı= -6°)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]					
	50 m/dak		100 m/dak		150 m/dak	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,30	0,33	0,45	0,48	0,55	0,60
60	0,43	0,50	0,60	0,72	0,75	0,95
90	0,60	0,63	0,80	0,90	1,05	1,25
120	0,75	0,87				
150						
180						



(a)

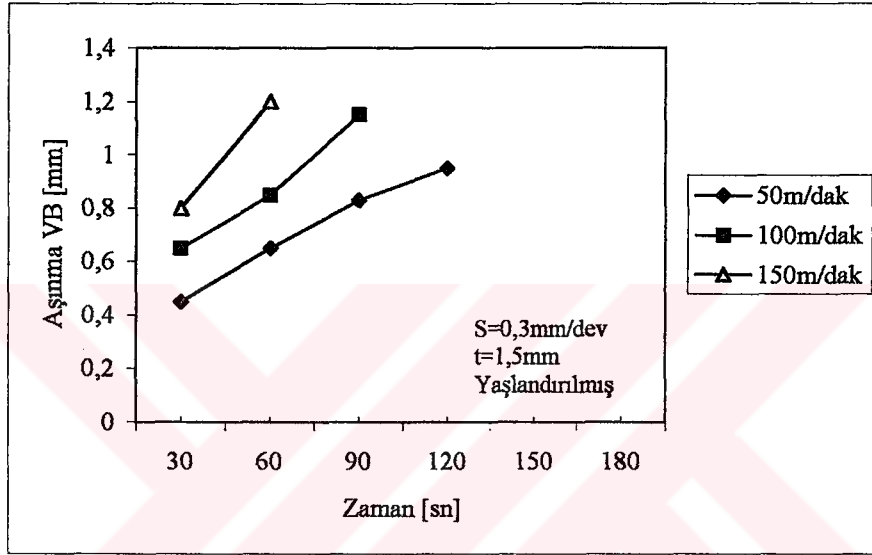


(b)

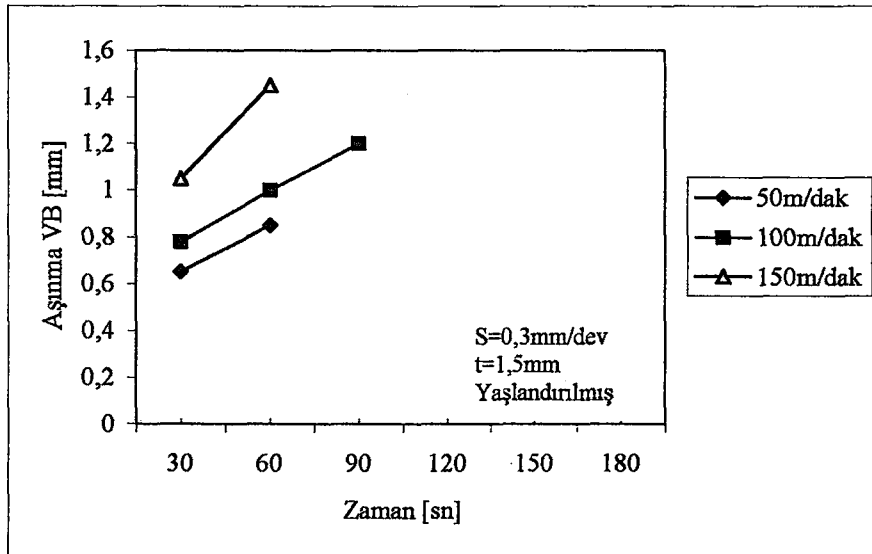
Şekil 4.73. Aşınma-Zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.66. %5 SiC takviyeli yaşlandırılmış MMK malzemenin farklı hızlarındaki aşınma zaman tablosu
($S=0.3$ mm/dev, $t=1.5$ mm, Talaş açısı= -6°)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]					
	50 m/dak		100 m/dak		150 m/dak	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,45	0,65	0,65	0,78	0,80	1,05
60	0,65	0,85	0,85	1,00	1,20	1,45
90	0,83		1,15	1,20		
120	0,95					
150						
180						



(a)

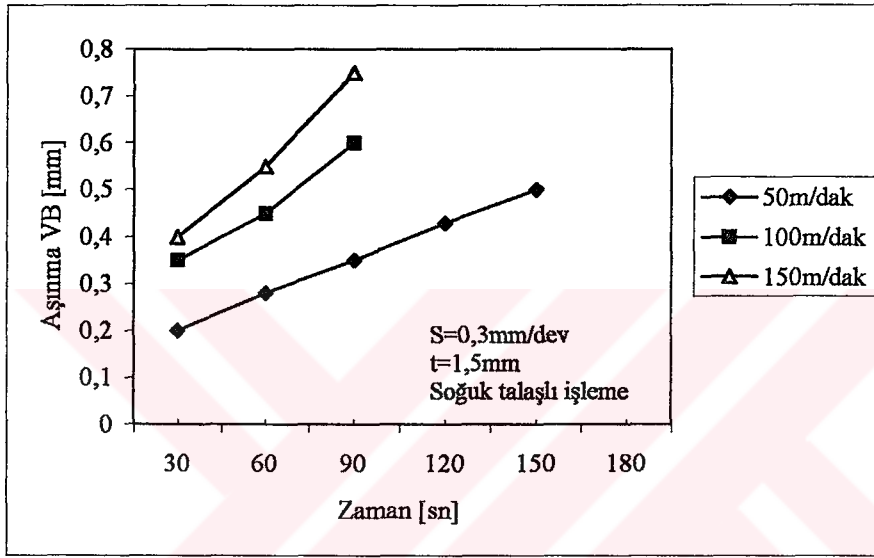


(b)

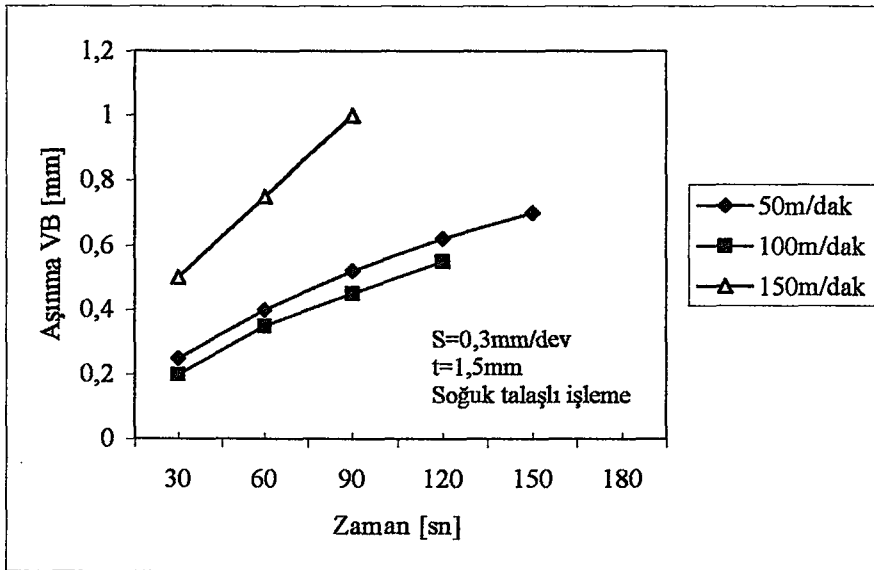
Şekil 4.74. Aşınma-Zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.67. %5 SiC takviyeli MMK malzemenin soğuk talaşlı işlemede farklı hızlarındaki aşınma zaman tablosu ($S=0.3 \text{ mm/dev}$, $t=1.5 \text{ mm}$, Talaş açısı= -6°)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]					
	50 m/dak		100 m/dak		150 m/dak	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,20	0,25	0,35	0,20	0,40	0,50
60	0,28	0,40	0,45	0,35	0,55	0,75
90	0,35	0,52	0,60	0,45	0,75	1,00
120	0,43	0,62		0,55		
150	0,50	0,70				
180						



(a)

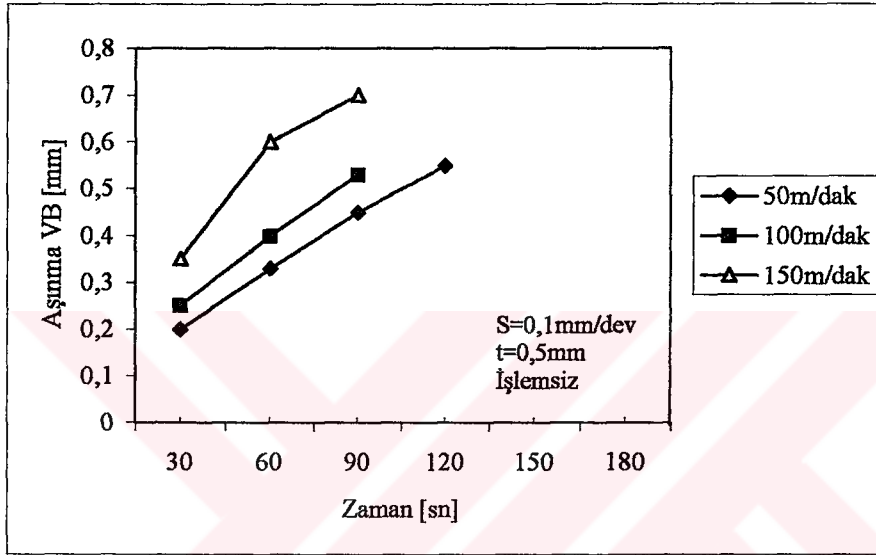


(b)

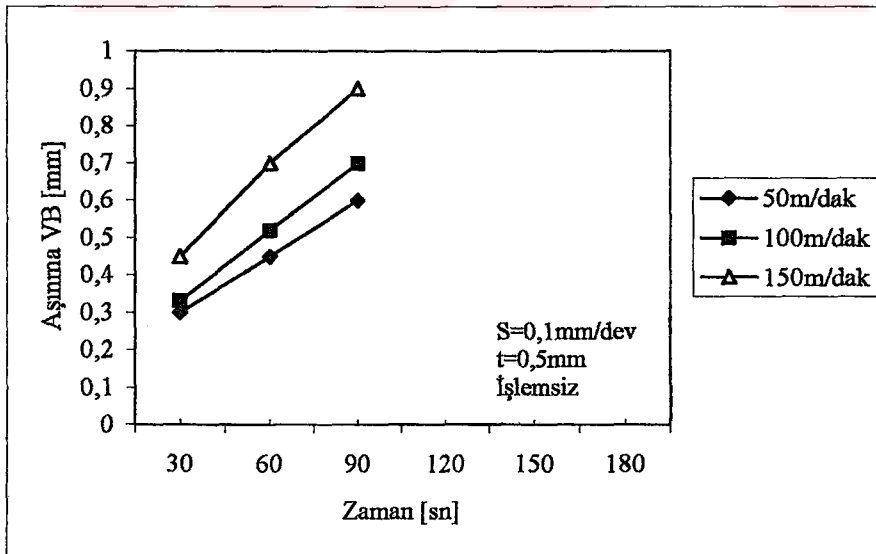
Şekil 4.75. Aşınma-Zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.68. %15 SiC takviyeli ısıt işlemsiz MMK malzemenin farklı hızlarındaki aşınma zaman tablosu
($S=0.1 \text{ mm/dev}$, $t=0.5 \text{ mm}$, Talaş açısı= -6°)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]					
	50 m/dak		100 m/dak		150 m/dak	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,20	0,30	0,25	0,33	0,35	0,45
60	0,33	0,45	0,40	0,52	0,60	0,70
90	0,45	0,60	0,53	0,70	0,70	0,90
120	0,55					
150						



(a)

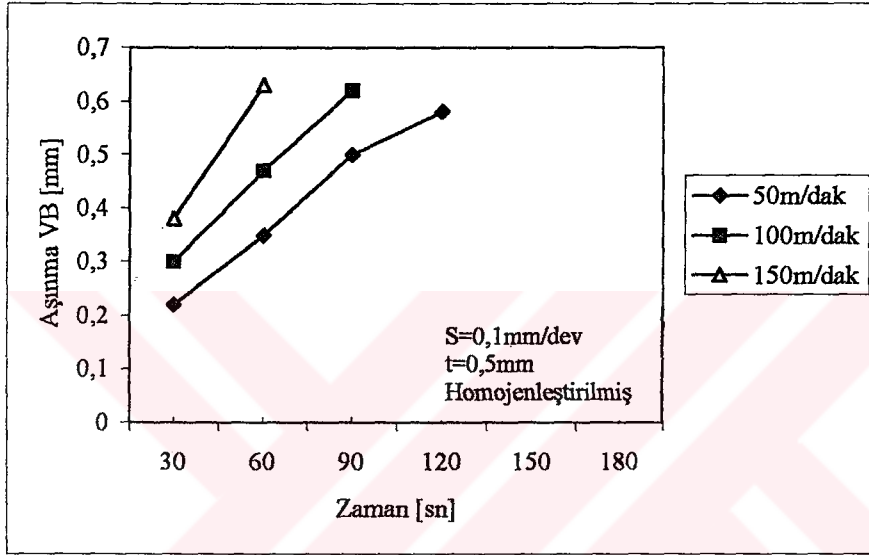


(b)

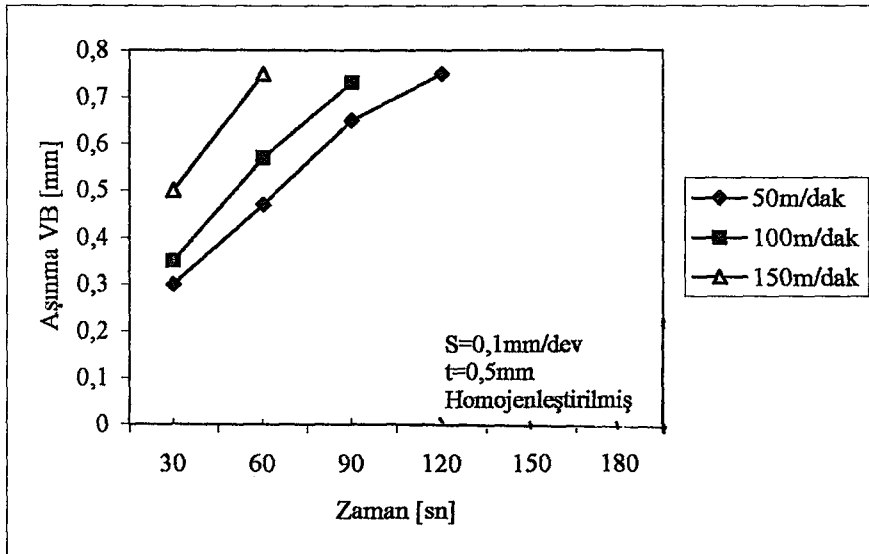
Şekil 4.76. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.69. %15 SiC takviyeli homojenleştirilmiş MMK malzemenin farklı hızlarındaki aşınma zaman tablosu ($S=0.1$ mm/dev, $t=0.5$ mm, Talaş açısı= -6°)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]					
	50 m/dak		100 m/dak		150 m/dak	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,22	0,30	0,30	0,35	0,38	0,50
60	0,35	0,47	0,47	0,57	0,63	0,75
90	0,50	0,65	0,62	0,73		
120	0,58	0,75				
150						
180						



(a)

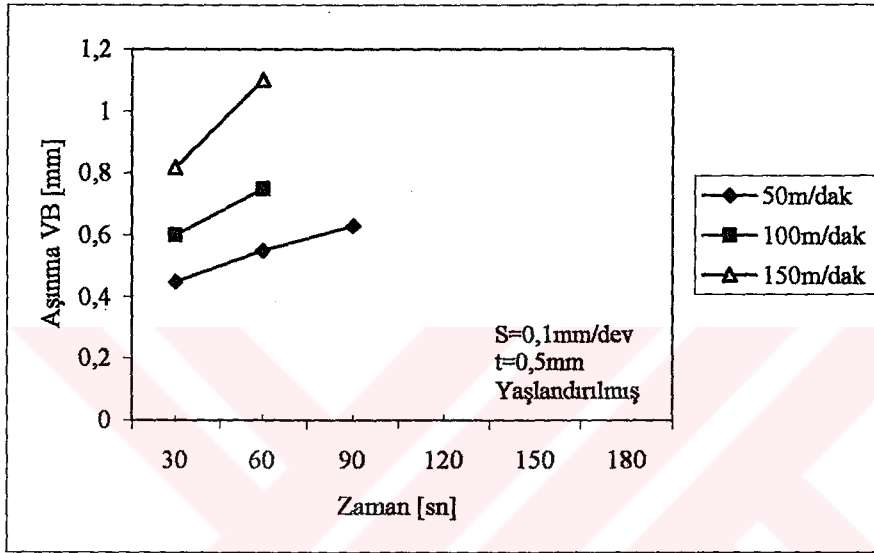


(b)

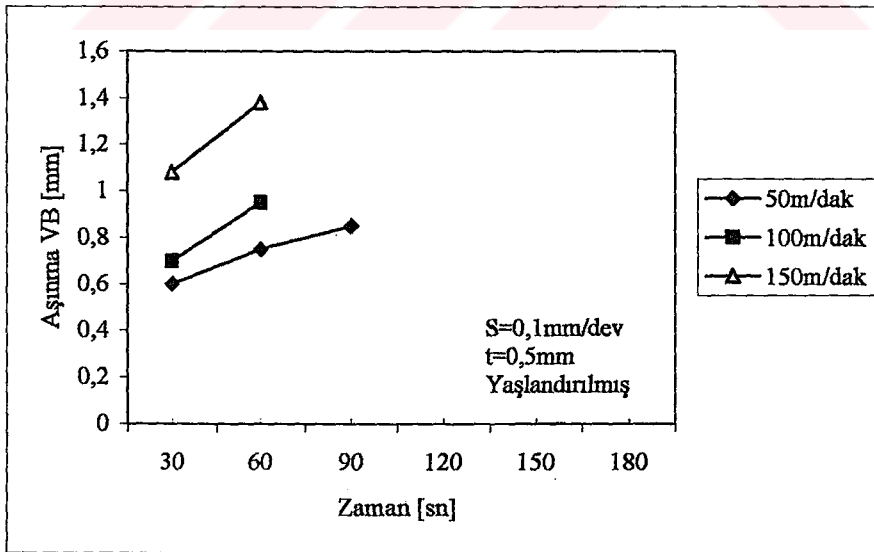
Şekil 4.77. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.70. %15 SiC takviyeli yaşılandırılmış MMK malzemenin farklı hızlarındaki aşınma zaman tablosu(S=0.1 mm/dev, t=0.5 mm, Talaş açısı= -6°)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]					
	50 m/dak		100 m/dak		150 m/dak	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,45	0,60	0,60	0,70	0,82	1,08
60	0,55	0,75	0,75	0,95	1,10	1,38
90	0,63	0,85				
120						
150						



(a)

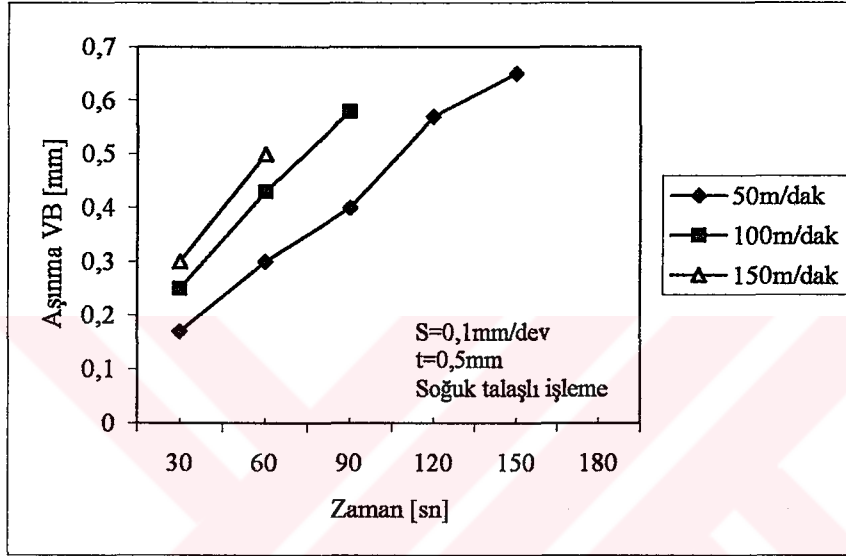


(b)

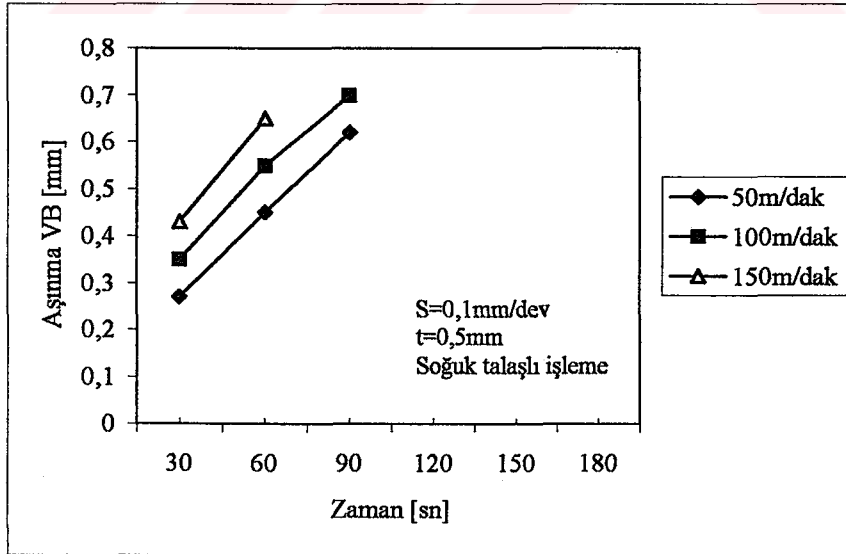
Şekil 4.78. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.71. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin soğuk talaşlı işlemede farklı hızlarındaki aşınma zaman tablosu ($S=0.1$ mm/dev, $t=0.5$ mm, Talaş açısı= -6°)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]					
	50 m/dak		100 m/dak		150 m/dak	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,17	0,27	0,25	0,35	0,30	0,43
60	0,30	0,45	0,43	0,55	0,50	0,65
90	0,40	0,62	0,58	0,70		
120	0,57					
150	0,65					



(a)

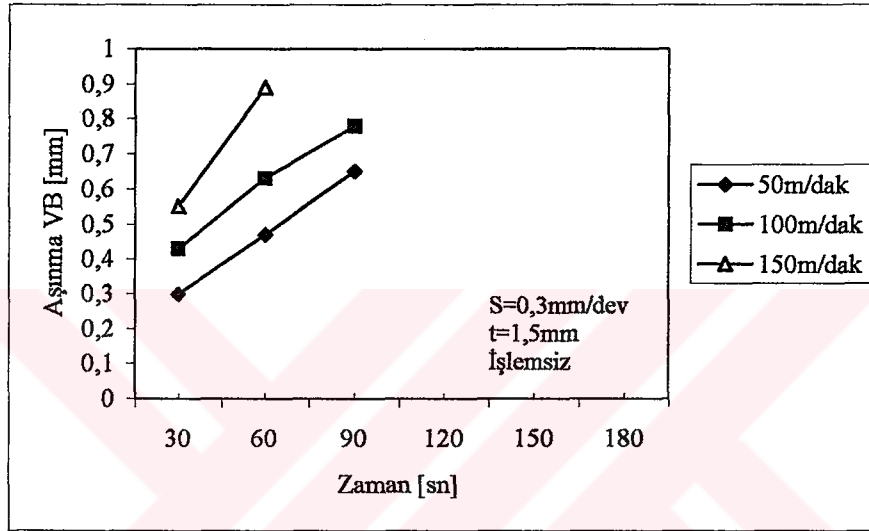


(b)

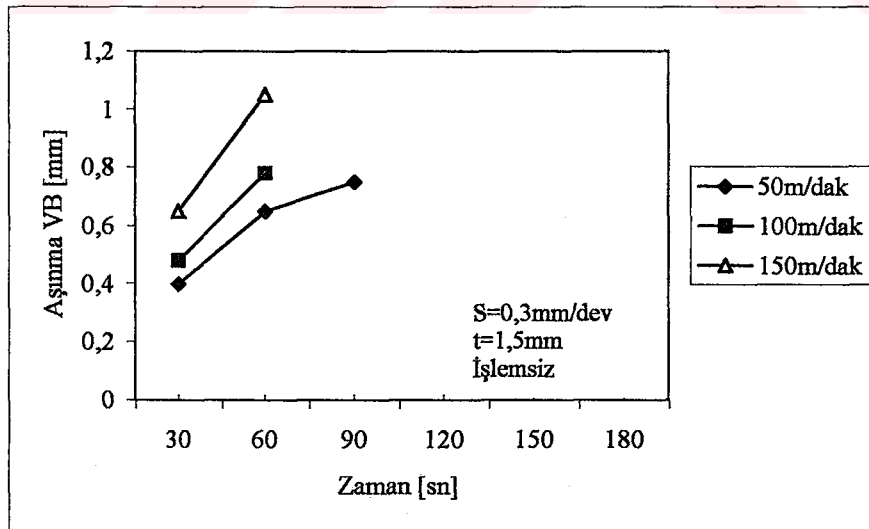
Şekil 4.79. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.72. %15 SiC takviyeli ısıt işlemsiz MMK malzemenin farklı hızlarındaki aşınma zaman tablosu
($S=0.3$ mm/dev, $t=1.5$ mm, Talaş açısı= -6°)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]					
	50 m/dak		100 m/dak		150 m/dak	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,30	0,40	0,43	0,48	0,55	0,65
60	0,47	0,65	0,63	0,78	0,89	1,05
90	0,65	0,75	0,78			
120						
150						
180						



(a)

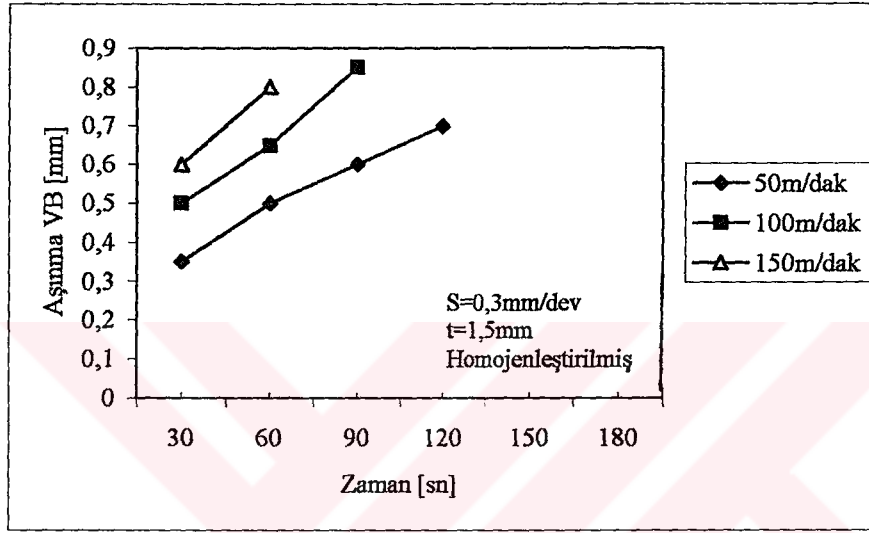


(b)

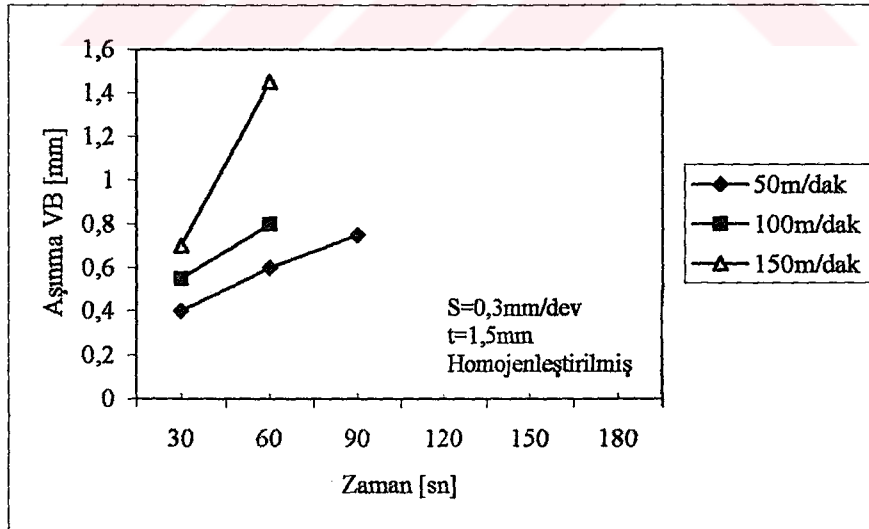
Şekil 4.80. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.73. %15 SiC takviyeli homojenleştirilmiş MMK malzemenin farklı hızlarındaki aşınma zaman tablosu($S=0.3$ mm/dev, $t=1.5$ mm, Talaş açısı= -6°)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]					
	50 m/dak		100 m/dak		150 m/dak	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,35	0,40	0,50	0,55	0,60	0,70
60	0,50	0,60	0,65	0,80	0,80	1,45
90	0,60	0,75	0,85			
120	0,70					
150						



(a)

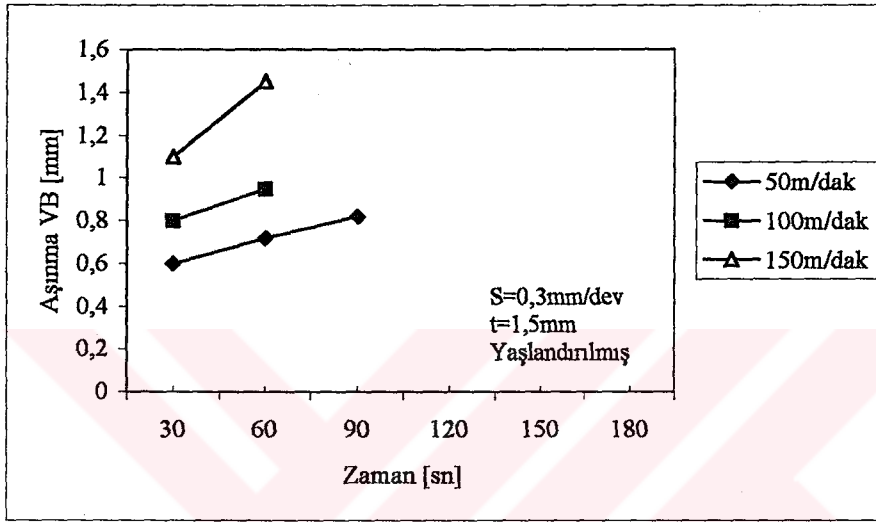


(b)

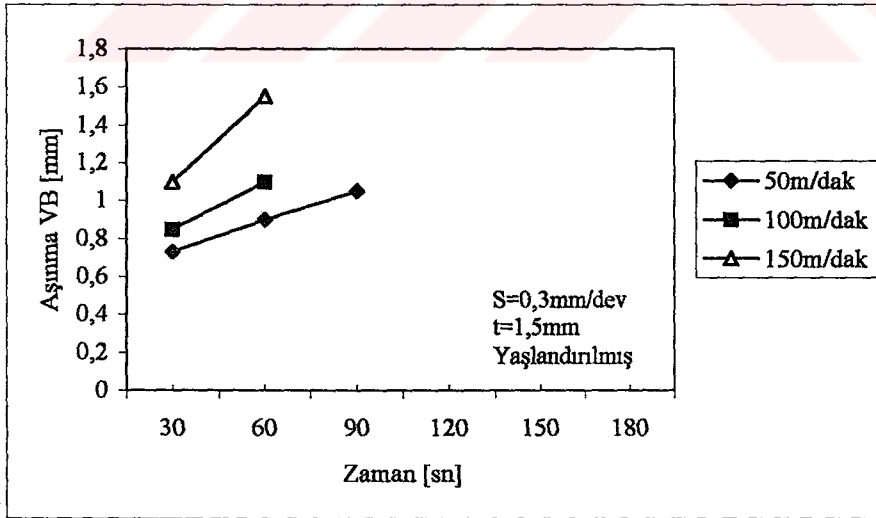
Şekil 4.81. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.74. %15 SiC takviyeli yaşlandırılmış MMK malzemenin farklı hızlarındaki aşınma zaman tablosu ($S=0.3 \text{ mm/dev}$, $t=1.5 \text{ mm}$, Talaş açısı $= -6^\circ$)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]					
	50 m/dak		100 m/dak		150 m/dak	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,60	0,73	0,80	0,85	1,00	1,10
60	0,72	0,90	0,95	1,10	1,45	1,55
90	0,82	1,05				
120						
150						



(a)

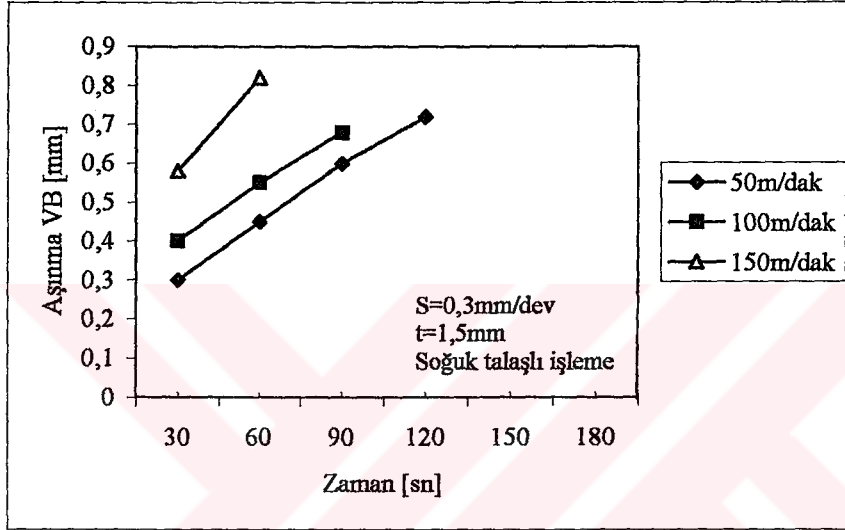


(b)

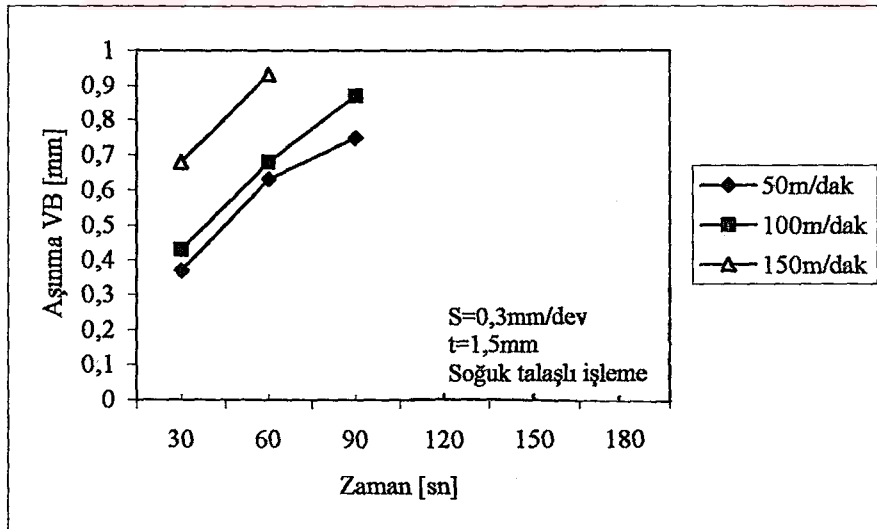
Şekil 4.82. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.75. %15 SiC takviyeli MMK malzemenin soğuk talaşlı işlemede farklı hızlarındaki aşınma zaman tablosu ($S=0.3$ mm/dev, $t=1.5$ mm, Talaş açısı= -6°)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]					
	50 m/dak		100 m/dak		150 m/dak	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,30	0,37	0,40	0,43	0,58	0,68
60	0,45	0,63	0,55	0,68	0,82	0,93
90	0,60	0,75	0,68	0,87		
120	0,72					
150						
180						



(a)

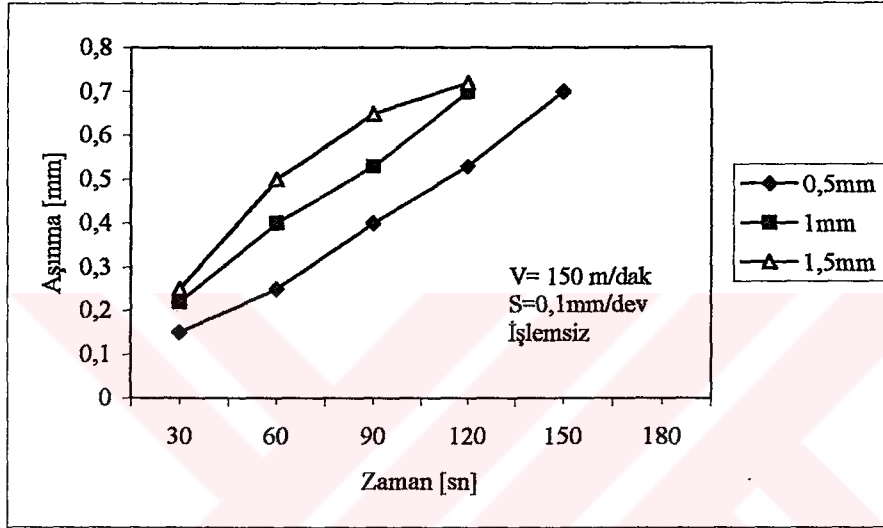


(b)

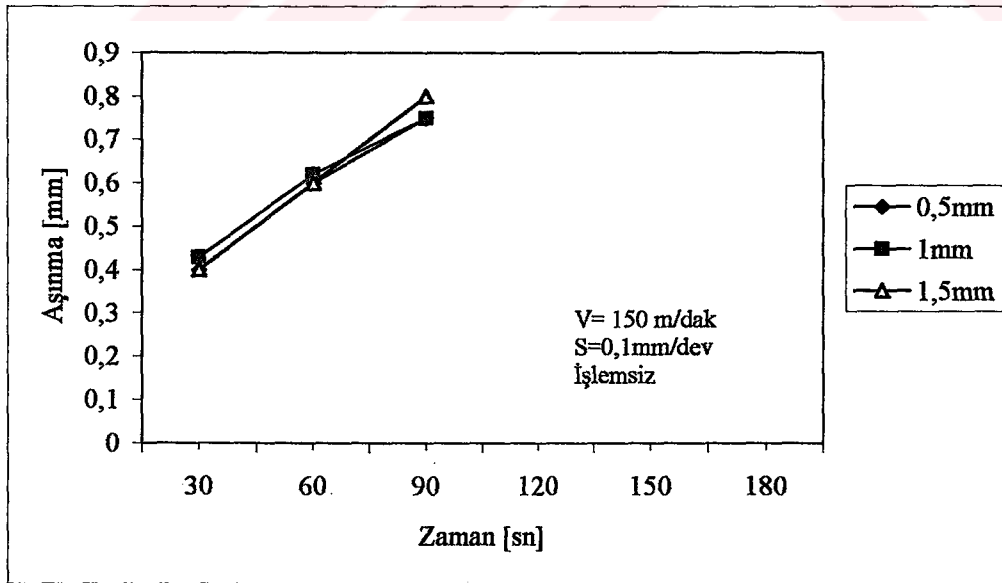
Şekil 4.83. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.76%5SiC takviyeli MMK malzemenin $V=150\text{m/dak}$ kesme hızında, farklı paso derinliklerindeki aşınma-zaman tablosu (İşlemsiz, $S=0,1\text{ mm/dev}$, Talaş açısı= -6°)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]					
	0,5 mm		1 mm		1,5mm	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,15	0,40	0,22	0,43	0,25	0,40
60	0,25	0,60	0,40	0,62	0,50	0,60
90	0,40	0,75	0,53	0,75	0,65	0,80
120	0,53		0,70		0,72	
150	0,70					
180						



(a)

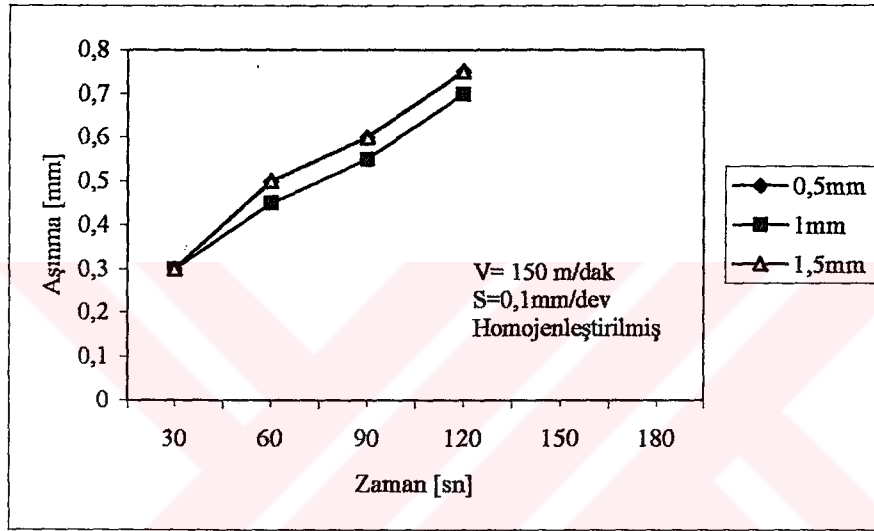


(b)

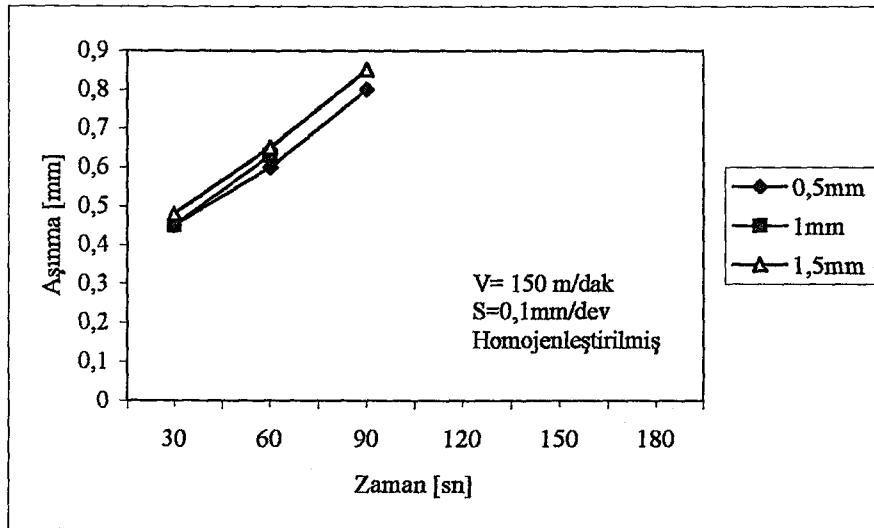
Şekil 4.84. Aşınma zaman değişimi
a)Kaplamalı, b)Kaplamasız

Tablo 4.77. %5SiC takviyeli MMK malzemenin $V=150\text{m/dak}$ kesme hızında, farklı paso derinliklerindeki aşınma-zaman tablosu (Homojenleştirilmiş, $S=0.1\text{ mm/dev}$, Talaş açısı $= -6^\circ$)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]					
	0,5 mm		1 mm		1,5mm	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,30	0,45	0,30	0,45	0,30	0,48
60	0,45	0,65	0,45	0,63	0,50	0,65
90	0,60	0,80	0,55		0,60	0,85
120	0,75		0,70		0,75	
150						
180						



(a)

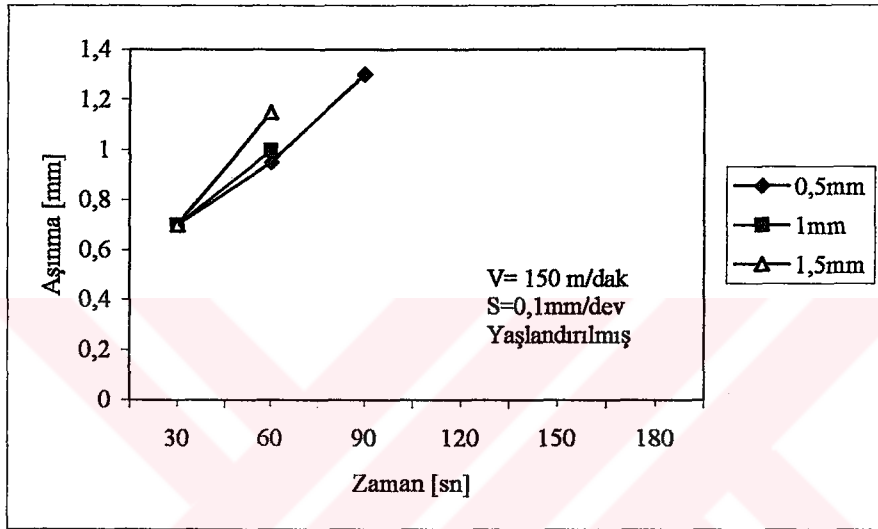


(b)

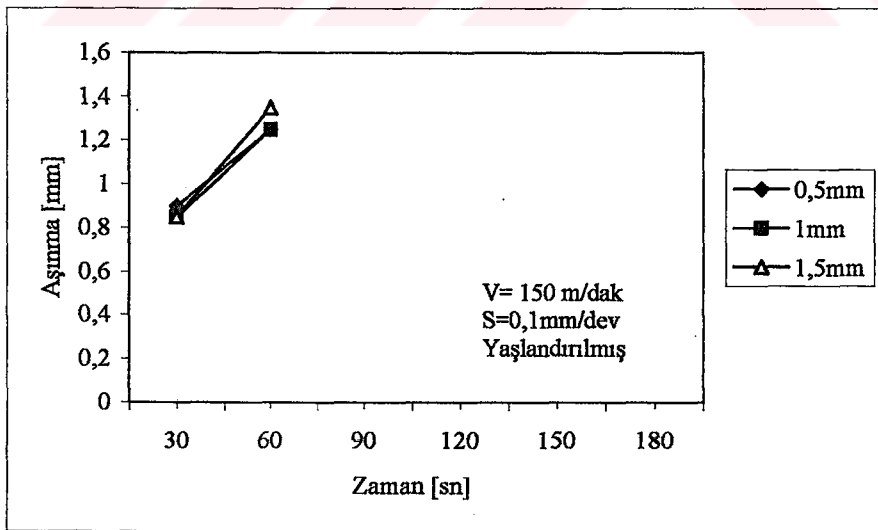
Şekil 4.85. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.78. %5SiC takviyeli MMK malzemenin $V=150\text{m/dak}$ kesme hızında, farklı paso derinliklerindeki aşınma-zaman tablosu (Yaşlandırılmış, $S=0.1\text{ mm/dev}$, Talaş açısı $= -6^\circ$)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]					
	0,5 mm		1 mm		1,5mm	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,70	0,90	0,70	0,85	0,70	0,85
60	0,95	1,25	1,00	1,25	1,15	1,35
90	1,30					
120						
150						
180						



(a)

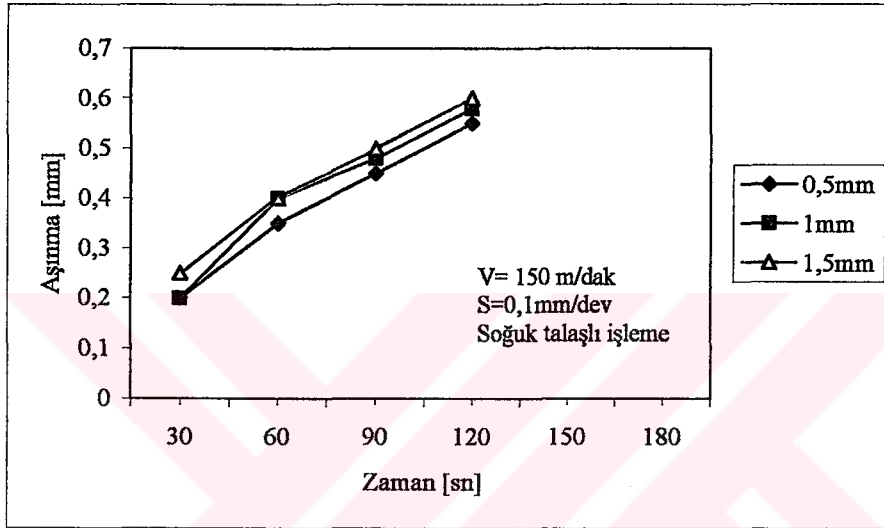


(b)

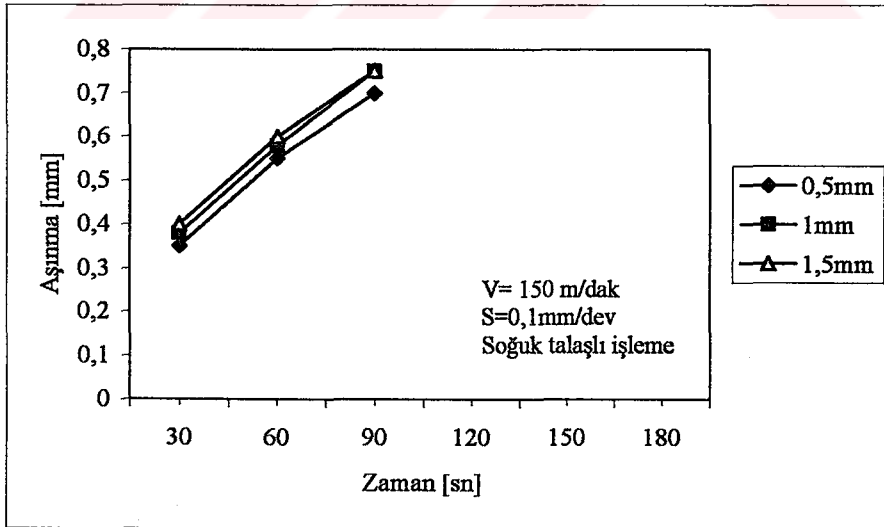
Şekil 4.86. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.79. %5SiC takviyeli MMK malzemenin $V=150\text{m/dak}$ kesme hızında, farklı paso derinliklerindeki aşınma-zaman tablosu (Soğuk İşleme, $S=0.1\text{ mm/dev}$, Talaş açısı $= -6^\circ$)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]					
	0,5 mm		1 mm		1,5mm	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,20	0,35	0,20	0,38	0,25	0,40
60	0,35	0,55	0,40	0,58	0,40	0,60
90	0,45	0,70	0,48	0,75	0,50	0,75
120	0,55		0,58		0,60	
150						
180						



(a)

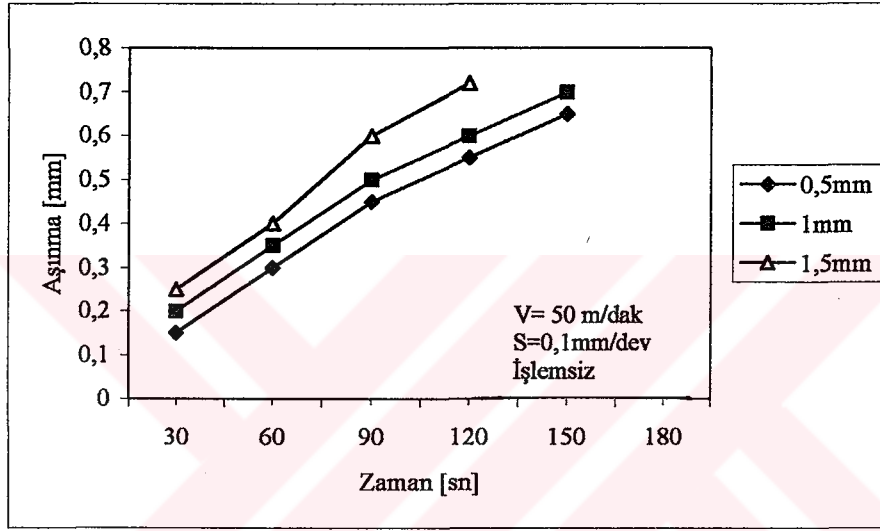


(b)

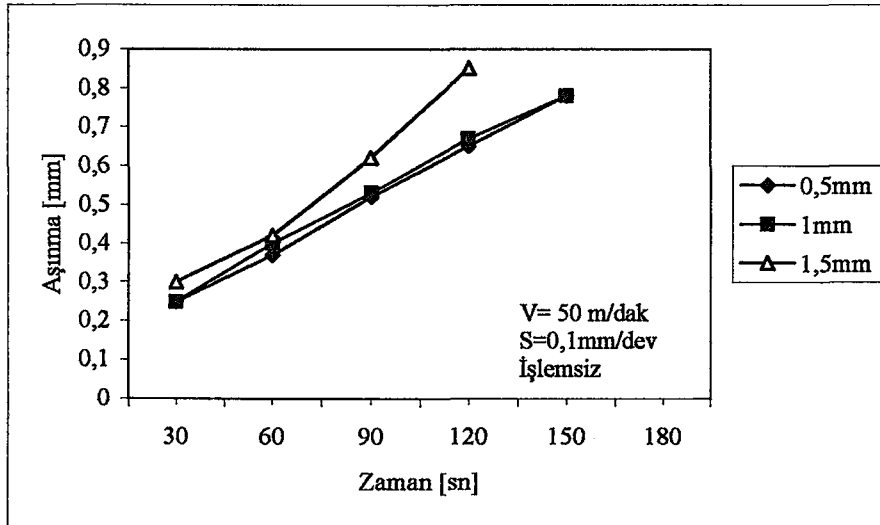
Şekil 4.87. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b)Kaplamasız

Tablo 4.80. %5SiC takviyeli MMK malzemenin $V=50\text{m/dak}$ kesme hızında, farklı paso derinliklerindeki aşınma-zaman tablosu (İşlemsiz, $S=0.3\text{ mm/dev}$, Talaş açısı $= -6^\circ$)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]					
	0,5 mm		1 mm		1,5mm	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,18	0,25	0,20	0,25	0,28	0,30
60	0,30	0,40	0,35	0,40	0,40	0,45
90	0,45	0,52	0,50	0,53	0,60	0,62
120	0,55	0,65	0,60	0,67	0,72	0,85
150	0,65	0,78	0,70	0,78		
180						



(a)

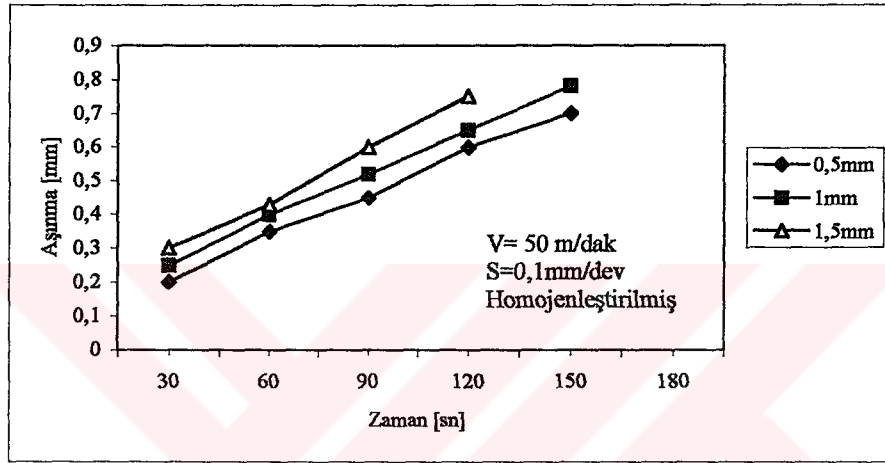


(b)

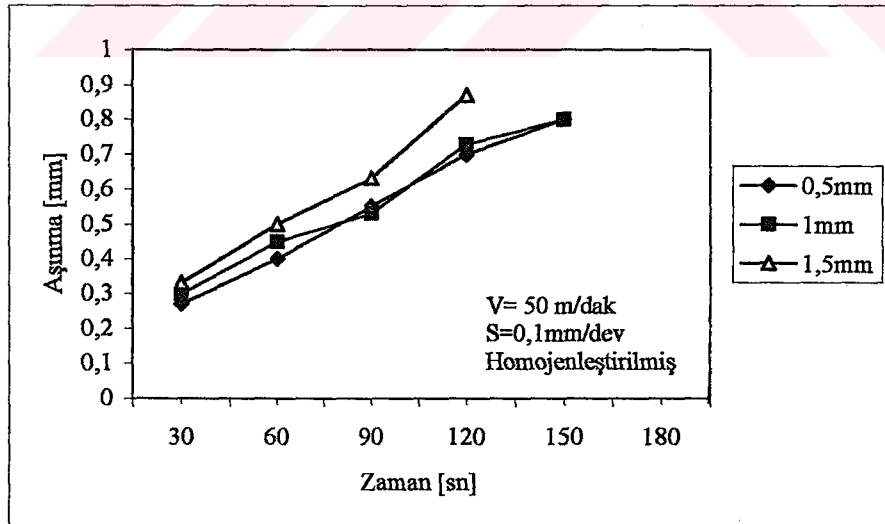
Şekil 4.88. Aşınma zaman değişimi
a)Kaplamalı, b)Kapasız

Tablo 4.81. %5SiC takviyeli MMK malzemenin $V=50\text{m/dak}$ kesme hızında, farklı paso derinliklerindeki aşınma-zaman tablosu (Homojenleştirilmiş, $S=0.3\text{ mm/dev}$, Talaş açısı $= -6^\circ$)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]					
	0,5 mm		1 mm		1,5mm	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,20	0,25	0,25	0,30	0,30	0,33
60	0,33	0,40	0,40	0,45	0,43	0,50
90	0,45	0,55	0,52	0,53	0,60	0,63
120	0,60	0,70	0,65	0,73	0,75	0,87
150	0,70	0,80	0,78	0,80		
180						



(a)

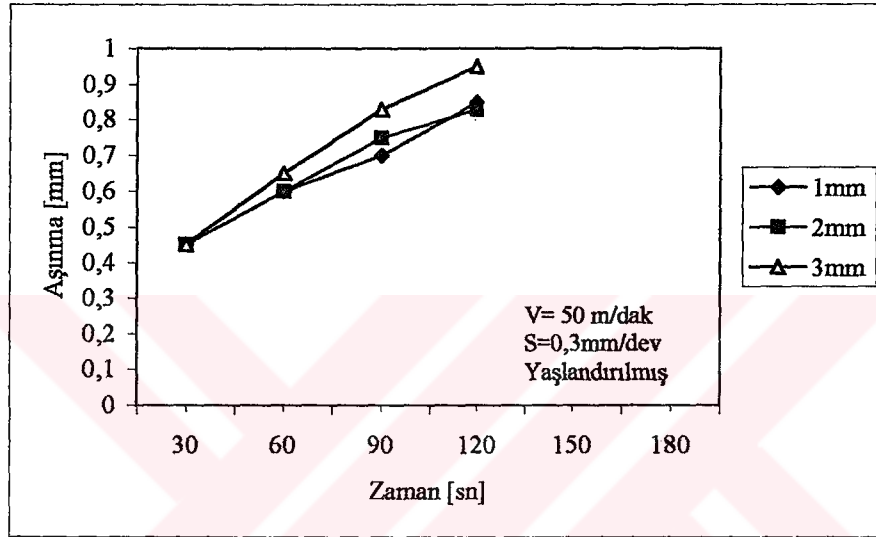


(b)

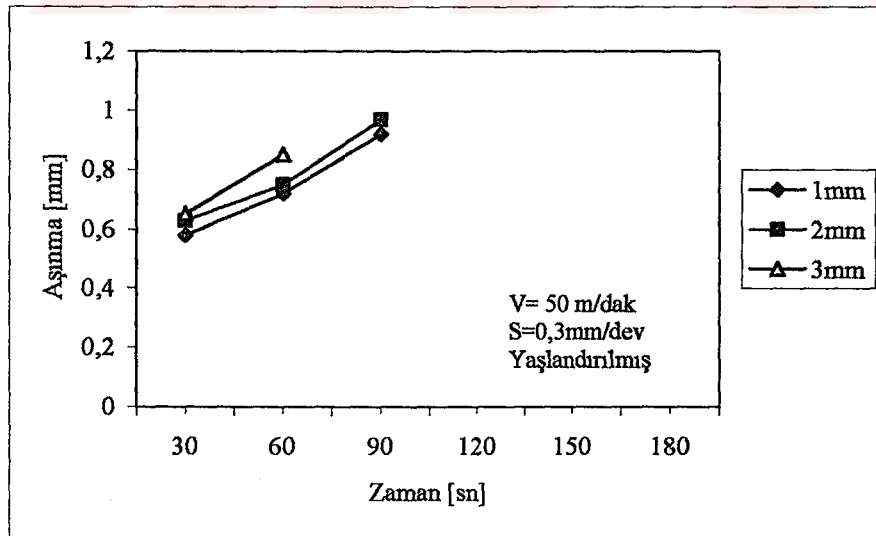
Şekil 4.89. Aşınma zaman değişimi
a)Kaplamalı, b)Kaplamasız

Tablo 4.82. %5SiC takviyeli MMK malzemenin $V=50\text{m/dak}$ kesme hızında, farklı paso derinliklerindeki aşınma-zaman tablosu (Yaşlandırılmış, $S=0.3\text{ mm/dev}$, Talaş açısı= -6°)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]					
	0,5 mm		1 mm		1,5mm	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,46	0,57	0,48	0,60	0,45	0,65
60	0,60	0,72	0,60	0,75	0,65	0,85
90	0,70	0,92	0,75	0,97	0,83	
120	0,85		0,83		0,95	
150						
180						



(a)

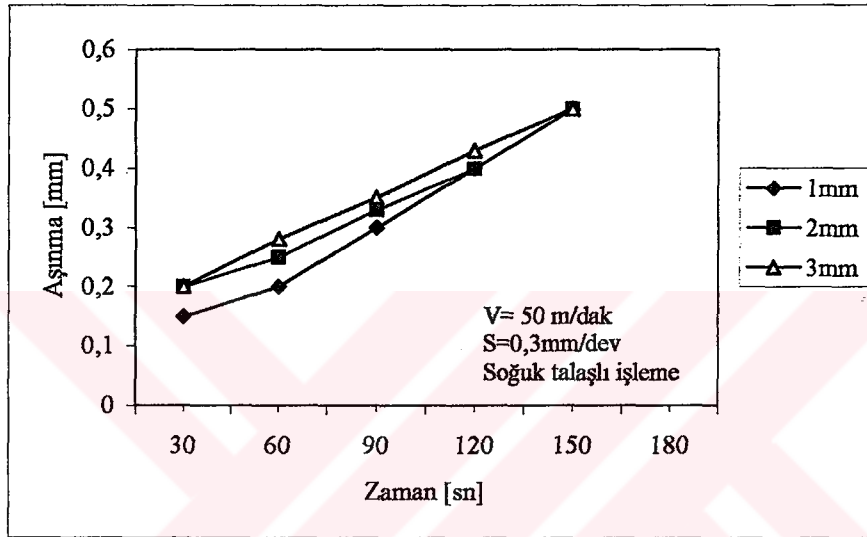


(b)

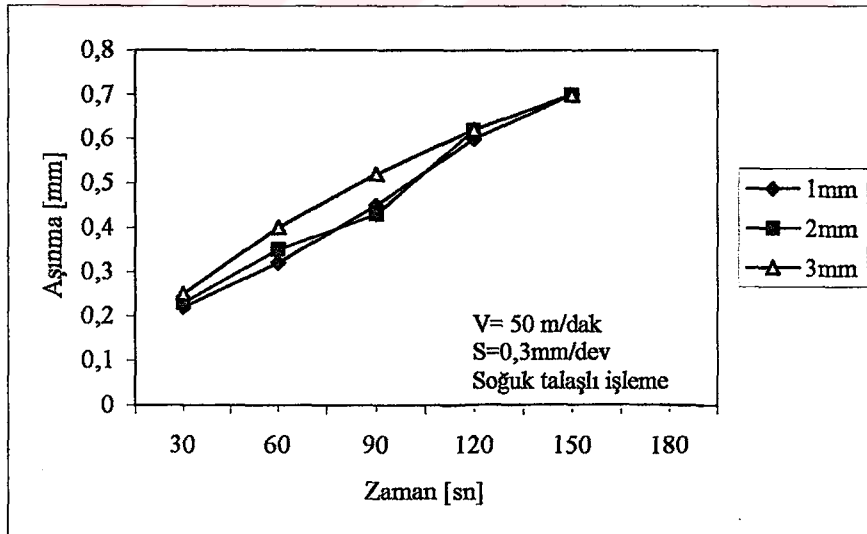
Şekil 4.90. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.83. %5SiC takviyeli MMK malzemenin $V=50\text{m/dak}$ kesme hızında, farklı paso derinliklerindeki aşınma-zaman tablosu (Soğuk İşleme, $S=0.3\text{ mm/dev}$, Talaş açısı $= -6^\circ$)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]					
	0,5 mm		1 mm		1,5mm	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,15	0,22	0,20	0,23	0,20	0,25
60	0,20	0,32	0,25	0,35	0,28	0,40
90	0,30	0,45	0,33	0,43	0,35	0,52
120	0,40	0,60	0,40	0,62	0,43	0,62
150	0,50	0,70	0,50	0,70	0,50	0,70
180						



(a)

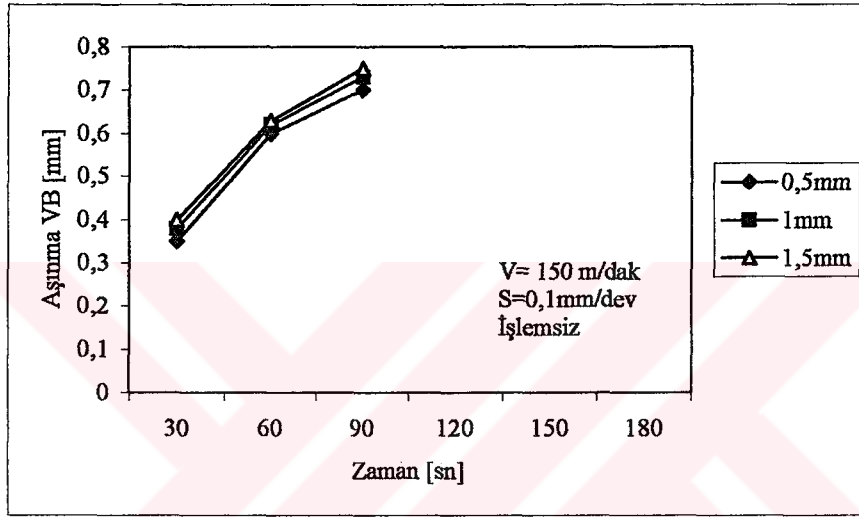


(b)

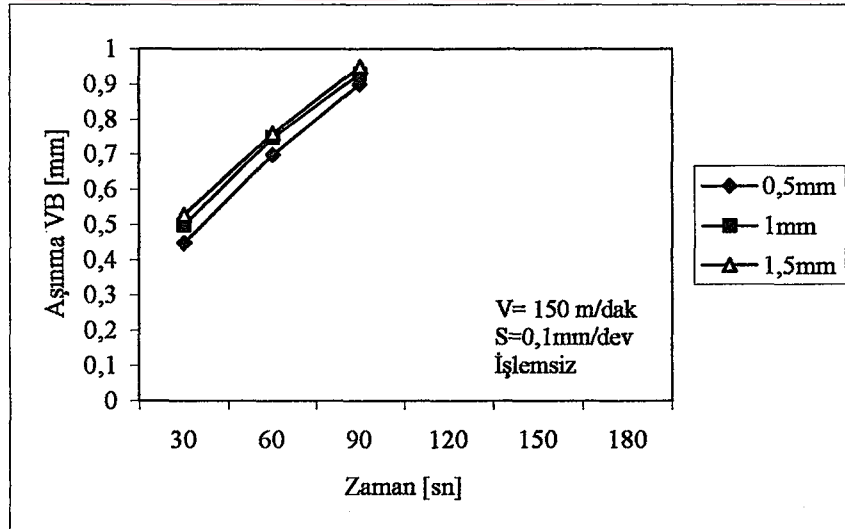
Şekil 4.91. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b)Kaplamasız

Tablo 4.84. %15SiC takviyeli MMK malzemenin $V=150\text{m/dak}$ kesme hızında, farklı ilerlemelerdeki aşınma-zaman tablosu (İşlemsiz, $S=0.1\text{ mm/dev}$, Talaş açısı $= -6^\circ$)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]					
	0,5 mm		1 mm		1,5mm	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,35	0,45	0,38	0,50	0,40	0,53
60	0,60	0,70	0,62	0,75	0,63	0,76
90	0,70	0,90	0,73	0,93	0,75	0,95
120						
150						
180						



(a)

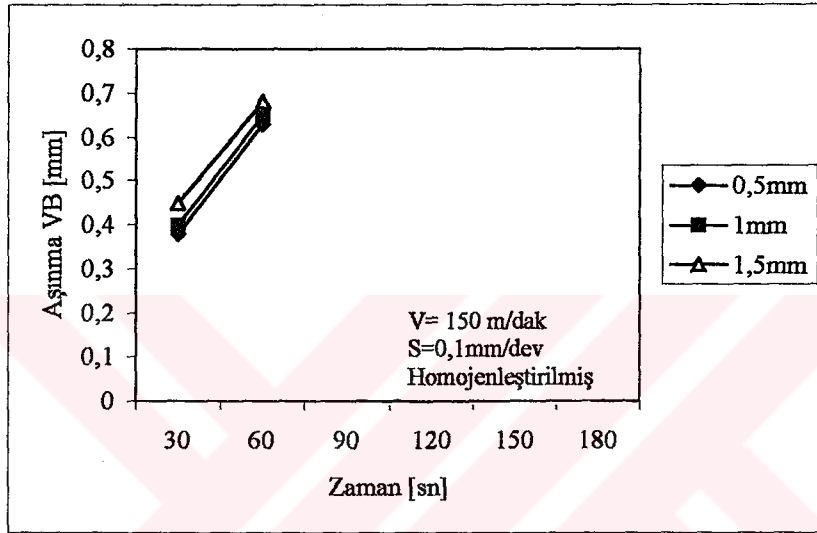


(b)

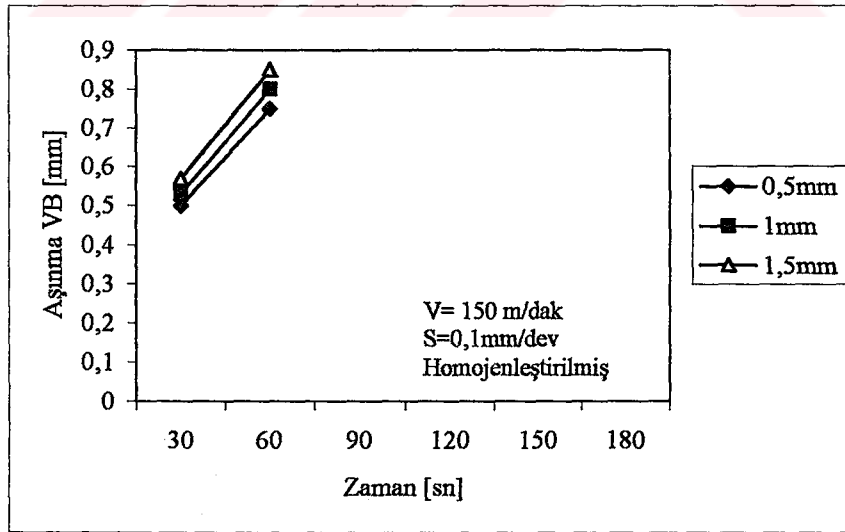
Şekil 4.92. Aşınma zaman değişimi
a)Kaplamalı, b)Kaplamasız

Tablo4.85.%15SiC takviyeli MMK malzemenin V=150m/dak kesme hızında, farklı paso derinliklerindeki aşınma-zaman tablosu(Homojenleştirilmiş, S= 0.1 mm/dev,Talaş açısı= -6°)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]					
	0,5 mm		1 mm		1,5mm	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,38	0,50	0,40	0,53	0,45	0,57
60	0,63	0,75	0,65	0,80	0,68	0,85
90						
120						
150						
180						



(a)

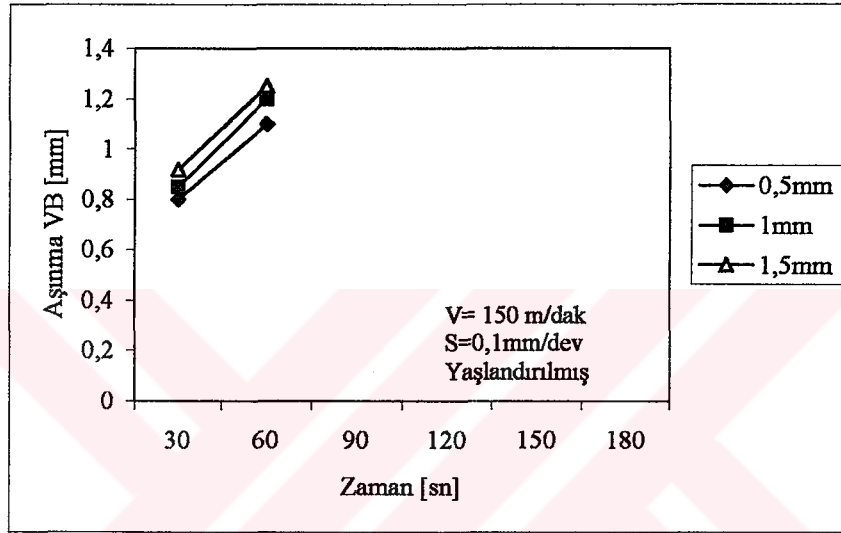


(b)

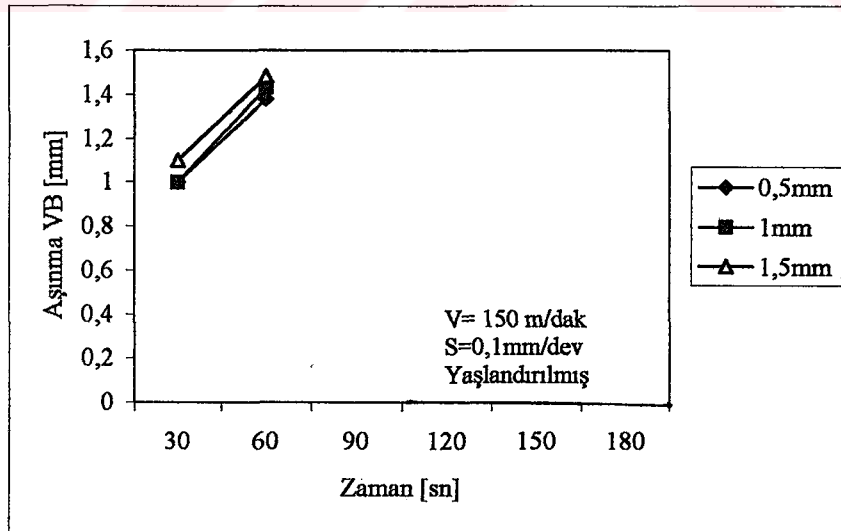
Şekil 4.93. Aşınma zaman değişimi
a)Kaplamalı, b)Kaplamasız

Tablo 4.86. %15SiC takviyeli MMK malzemenin $V=150\text{m/dak}$ kesme hızında, farklı paso derinliklerindeki aşınma-zaman tablosu (Yaşlandırılmış, $S=0.1\text{ mm/dev}$, Talaş açısı $= -6^\circ$)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]					
	0,5 mm		1 mm		1,5mm	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,82	1,08	0,85	1,00	0,92	1,10
60	1,10	1,38	1,20	1,43	1,25	1,48
90						
120						
150						
180						



(a)

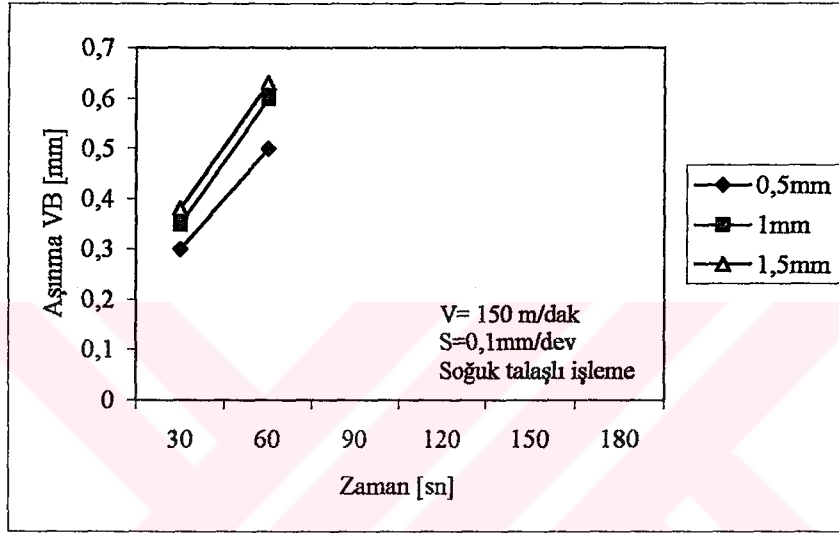


(b)

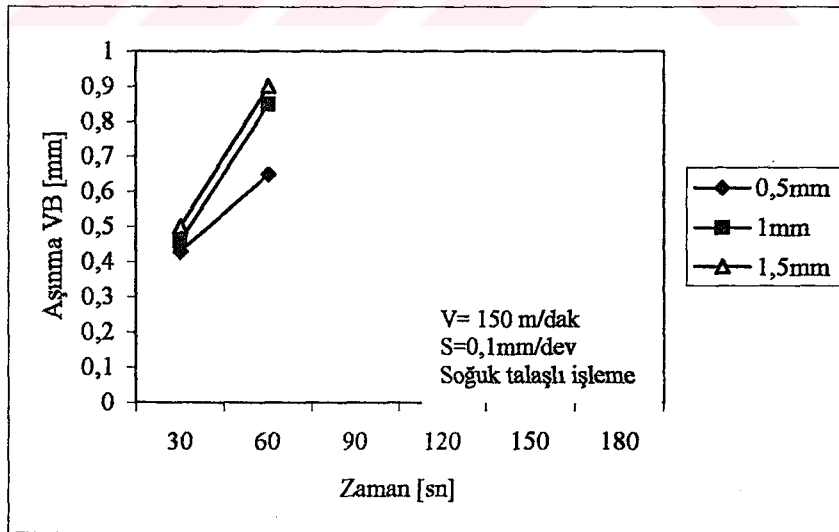
Şekil 4.94. Aşınma zaman değişimi
a)Kaplamalı, b)Kaplamasız

Tablo 4.87. %15SiC takviyeli MMK malzemenin $V=150\text{m/dak}$ kesme hızında, farklı paso derinliklerindeki aşınma-zaman tablosu (Soğuk İşleme, $S=0.1\text{ mm/dev}$, Talaş açısı $= -6^\circ$)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]					
	0,5 mm		1 mm		1,5mm	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,30	0,43	0,35	0,46	0,38	0,50
60	0,50	0,65	0,60	0,85	0,63	0,90
90						
120						
150						
180						



(a)

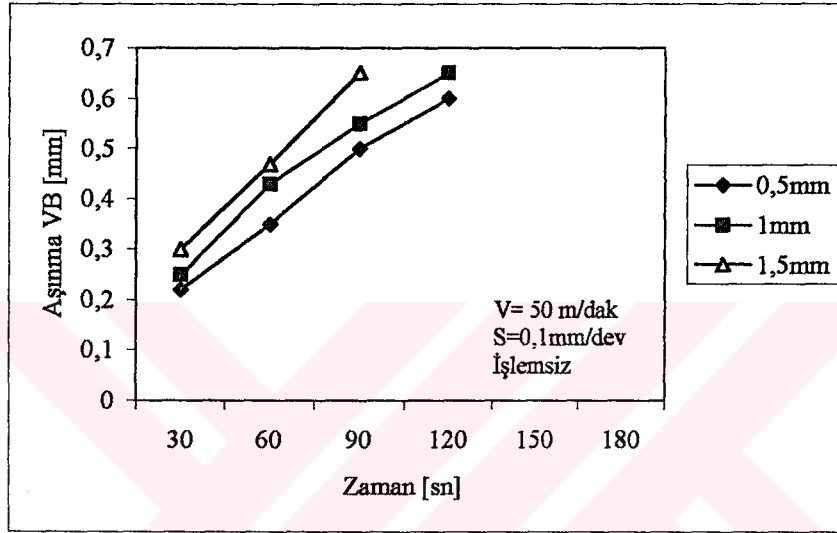


(b)

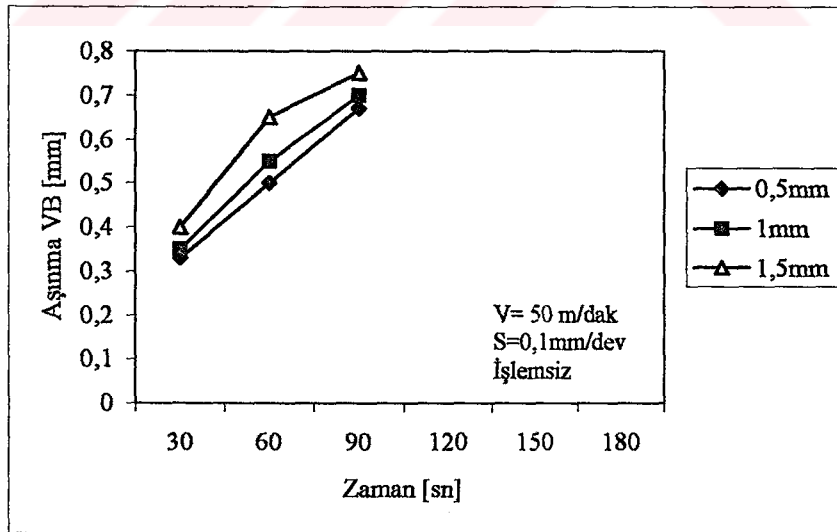
Şekil 4.95. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.88. %15SiC takviyeli MMK malzemenin $V=50\text{m/dak}$ kesme hızında, farklı paso derinliklerindeki aşınma-zaman tablosu (İşlemsiz, $S=0.3\text{ mm/dev}$, Talaş açısı $= -6^\circ$)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]					
	0,5 mm		1 mm		1,5mm	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,22	0,33	0,25	0,35	0,30	0,40
60	0,35	0,50	0,43	0,55	0,47	0,65
90	0,50	0,67	0,55	0,70	0,65	0,75
120	0,60		0,65			
150						
180						



(a)

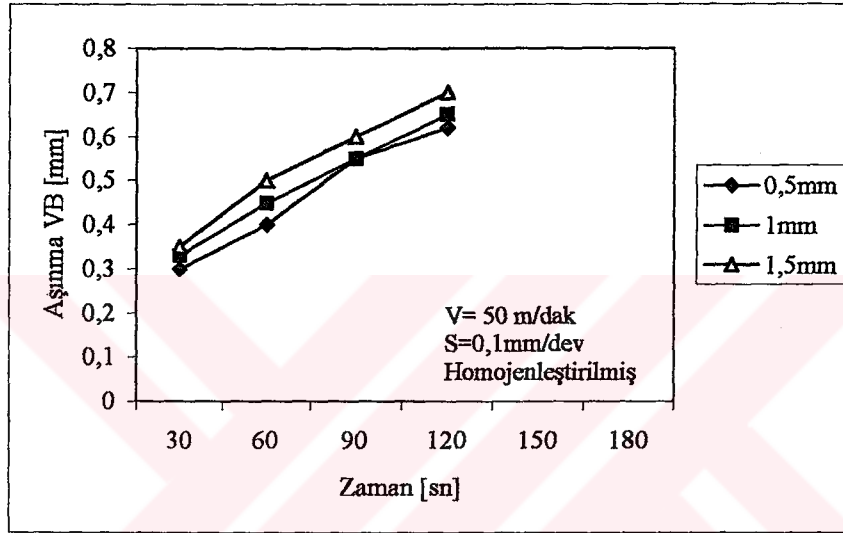


(b)

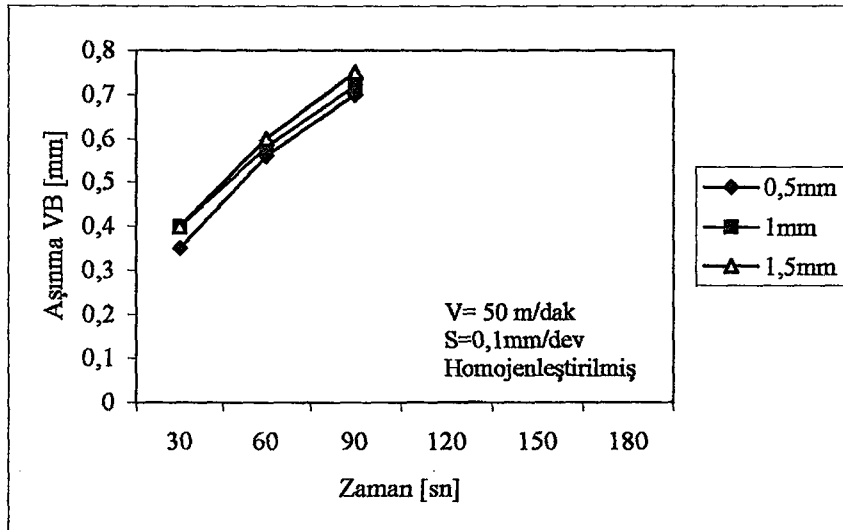
Şekil 4.96. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b)Kaplamasız

Tablo 4.89. %15SiC takviyeli MMK malzemenin $V=50\text{m/dak}$ kesme hızında, farklı paso derinliklerindeki aşınma-zaman tablosu (Homojenleştirilmiş, $S=0.3\text{ mm/dev}$, Talaş açısı $= -6^\circ$)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]					
	0,5 mm		1 mm		1,5mm	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,30	0,35	0,33	0,40	0,35	0,40
60	0,40	0,56	0,45	0,58	0,50	0,60
90	0,55	0,70	0,55	0,72	0,60	0,75
120	0,62		0,65		0,70	
150						
180						



(a)

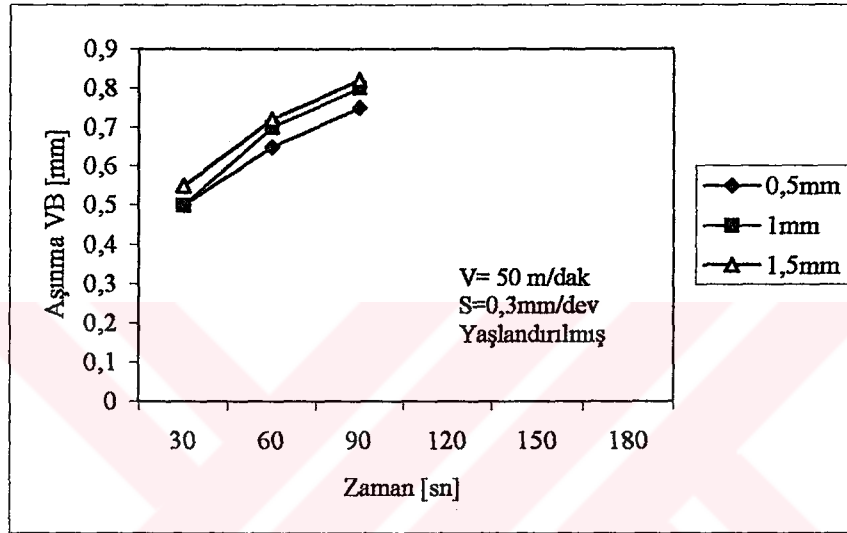


(b)

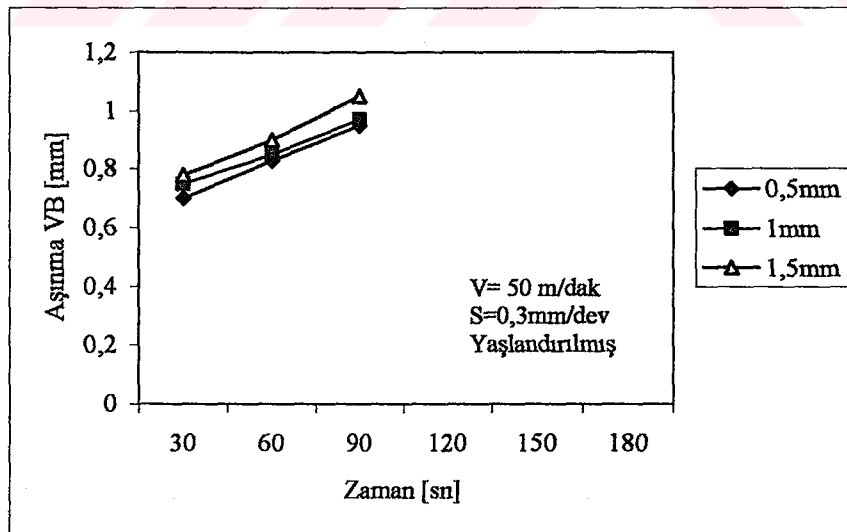
Şekil 4.97. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.90. %15SiC takviyeli MMK malzemenin $V=50\text{m/dak}$ kesme hızında, farklı paso derinliklerindeki aşınma-zaman tablosu (Yaşlandırılmış, $S=0.3\text{ mm/dev}$, Talaş açısı $= -6^\circ$)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]					
	0,5 mm		1 mm		1,5mm	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,50	0,70	0,60	0,65	0,60	0,73
60	0,63	0,85	0,70	0,85	0,72	0,90
90	0,75	0,95	0,80	0,97	0,82	1,05
120						
150						
180						



(a)

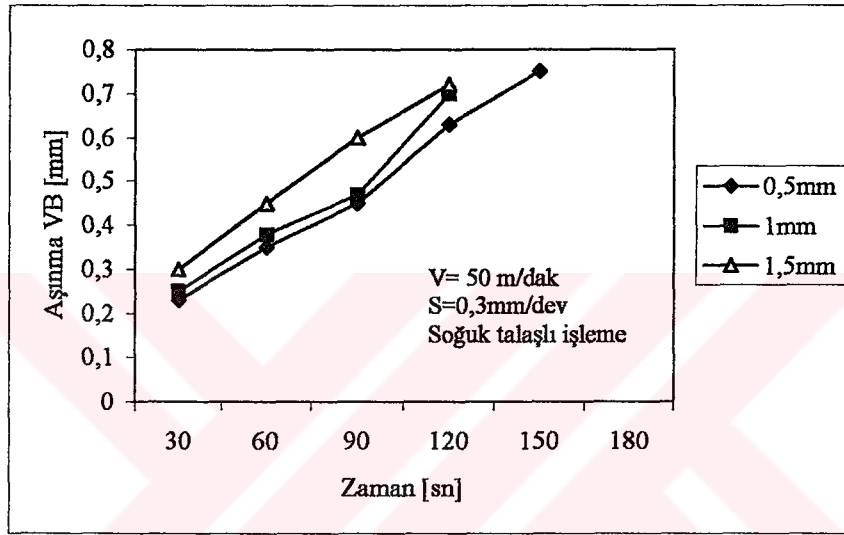


(b)

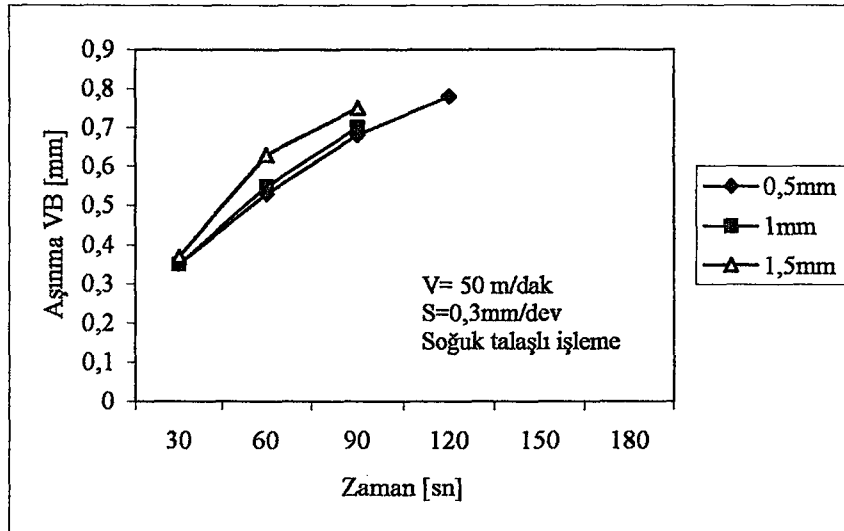
Şekil 4.98. Aşınma zaman değişimi
a)Kaplamalı, b)Kaplamasız

Tablo 4.91. %15SiC takviyeli MMK malzemenin $V=50\text{m/dak}$ kesme hızında, farklı paso derinliklerindeki aşınma-zaman tablosu (Soğuk İşleme, $S=0.3\text{ mm/dev}$, Talaş açısı $= -6^\circ$)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]					
	0,5 mm		1 mm		1,5mm	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,23	0,35	0,25	0,35	0,30	0,37
60	0,35	0,53	0,38	0,55	0,45	0,63
90	0,45	0,68	0,47	0,70	0,60	0,75
120	0,63	0,78	0,70		0,72	
150	0,75					
180						



(a)

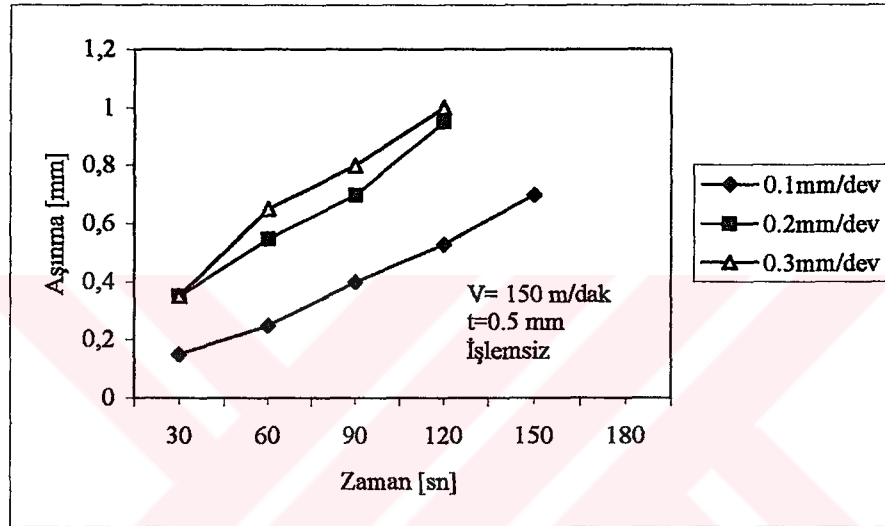


(b)

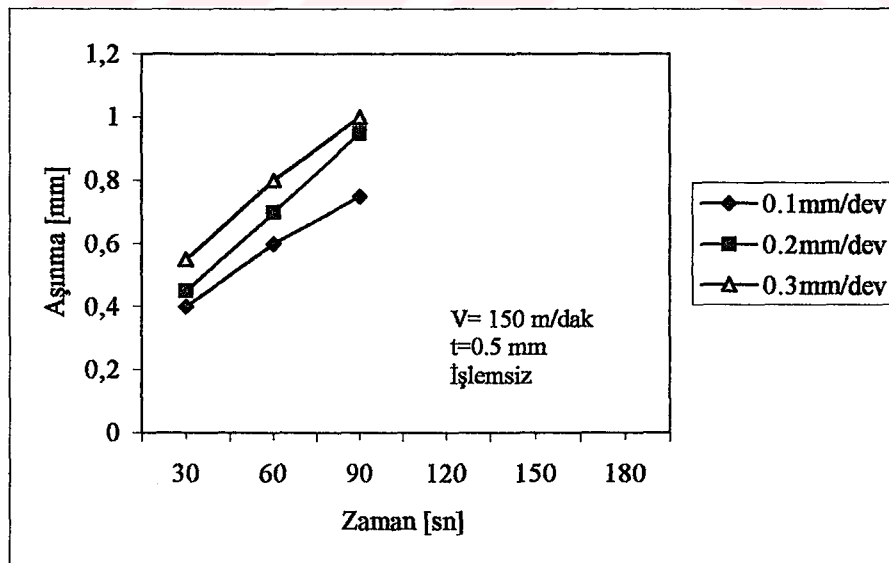
Şekil 4.99. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4. 92. %5SiC takviyeli MMK malzemenin $V=150\text{m/dak}$ kesme hızında, farklı ilerlemelerdeki aşınma-zaman tablosu (İşlemsiz, $t=0.5\text{mm}$, Talaş açısı= -6°)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]					
	0,1 mm/dev		0,2 mm/dev		0,3 mm/dev	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,15	0,40	0,35	0,45	0,35	0,55
60	0,25	0,60	0,55	0,70	0,65	0,80
90	0,40	0,75	0,90	1,05	0,80	1,00
120	0,53		1,20		1,00	
150	0,70					
180						



(a)

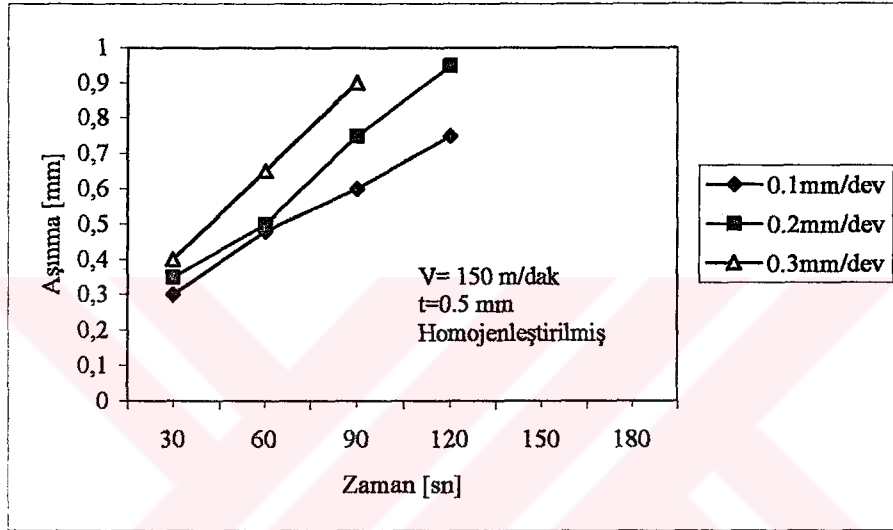


(b)

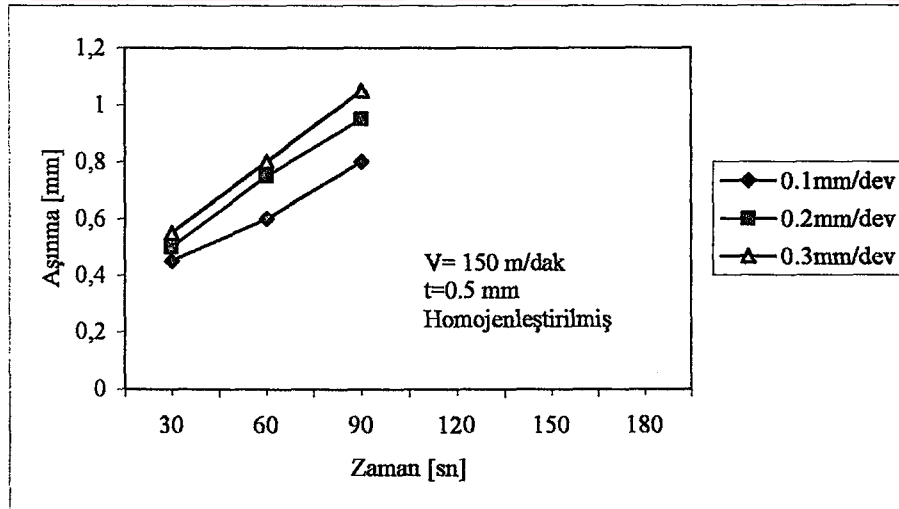
Şekil 4.100. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b)Kapasız

Tablo 4.93. %5SiC takviyeli MMK malzemenin V=150m/dak kesme hızında farklı ilerlemelerdeki aşınma-zaman tablosu (Homojenleştirilmiş, $t=0.5\text{mm}$, Talaş açısı= -6°)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]					
	0,1 mm/dev		0,2 mm/dev		0,3 mm/dev	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,30	0,45	0,35	0,5	0,40	0,55
60	0,45	0,65	0,48	0,75	0,65	0,80
90	0,60	0,80	0,75	0,95	0,90	1,05
120	0,75		0,95			
150						
180						



(a)

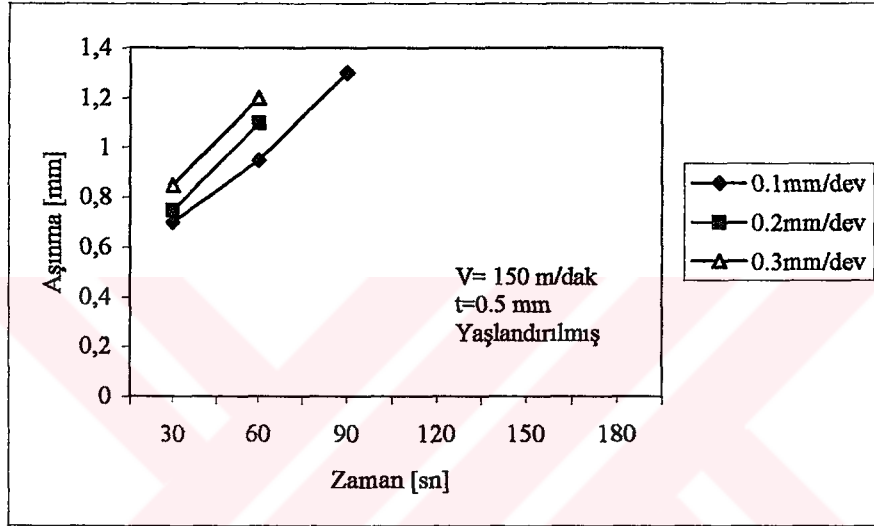


(b)

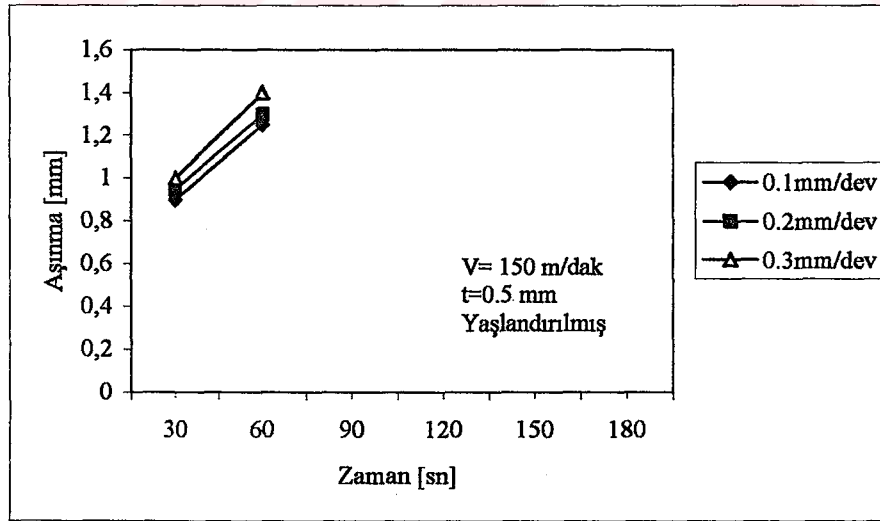
Şekil 4.101. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b)Kaplamasız

Tablo 4.94. %5SiC takviyeli MMK malzemenin V=150m/dak kesme hızında, farklı ilerlemelerdeki aşınma-zaman tablosu (Yaşlandırılmış, t=0.5mm, Talaş açısı= -6°)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]					
	0,1 mm/dev		0,2 mm/dev		0,3 mm/dev	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,70	0,90	0,75	0,95	0,85	1,00
60	0,95	1,25	1,10	1,30	1,20	1,40
90	1,30					
120						
150						
180						



(a)

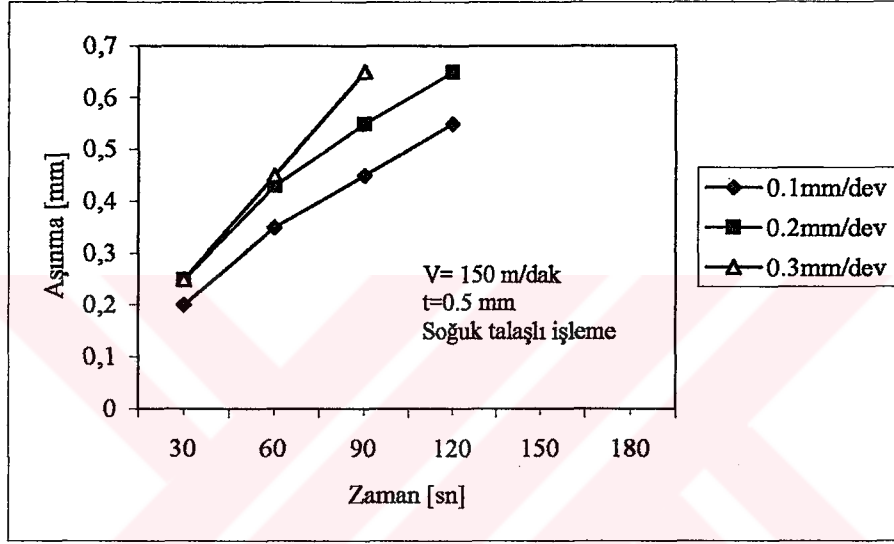


(b)

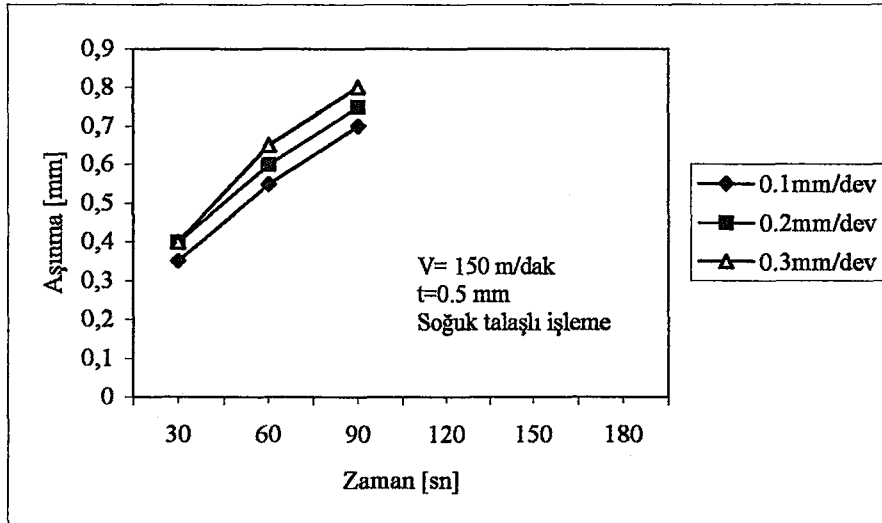
Şekil 4.102. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b)Kaplamasız

Tablo 4.95. %5SiC takviyeli MMK malzemenin $V=150\text{m/dak}$ kesme hızında, farklı ilerlemelerdeki aşınma-zaman tablosu (Soğuk İşleme, $t=0.5\text{mm}$, Talaş açısı= -6°)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]					
	0,1 mm/dev		0,2 mm/dev		0,3 mm/dev	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,20	0,35	0,25	0,40	0,25	0,40
60	0,35	0,55	0,43	0,60	0,50	0,65
90	0,45	0,70	0,55	0,75	0,65	0,80
120	0,55		0,65			
150						
180						



(a)

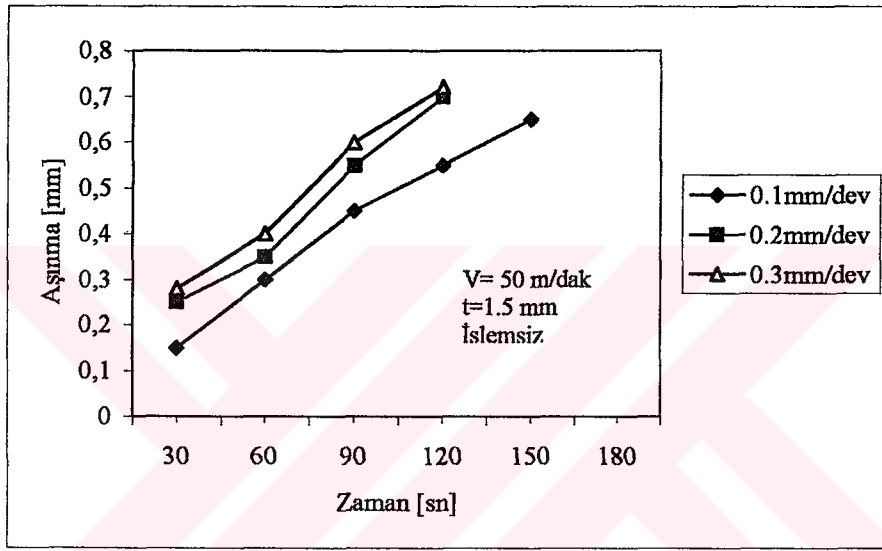


(b)

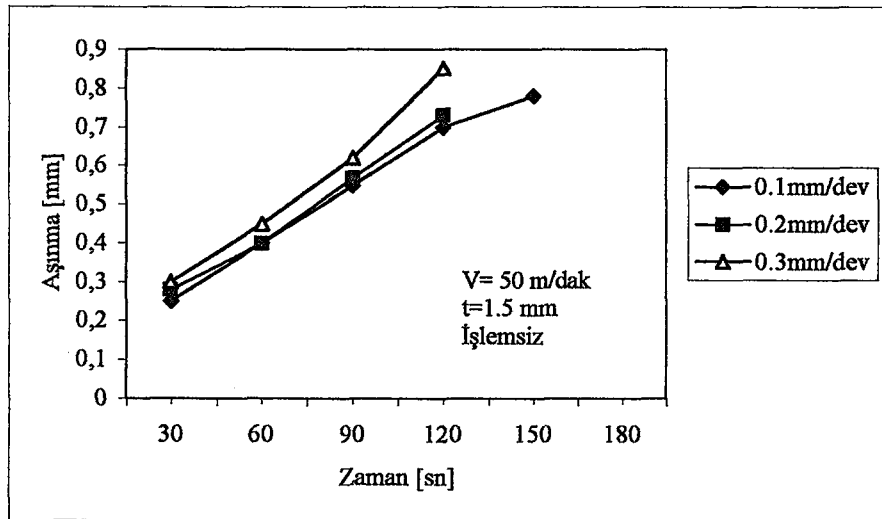
Şekil 4.103. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.96. %5SiC takviyeli MMK malzemenin V=50m/dak kesme hızında, farklı ilerlemelerdeki aşınma-zaman tablosu (İşlemsiz, t=1.5mm, Talaş açısı= -6°)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]					
	0,1 mm/dev		0,2 mm/dev		0,3 mm/dev	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,20	0,25	0,25	0,28	0,28	0,30
60	0,33	0,40	0,35	0,40	0,40	0,45
90	0,50	0,55	0,55	0,57	0,60	0,62
120	0,65	0,70	0,70	0,73	0,72	0,85
150						
180						



(a)

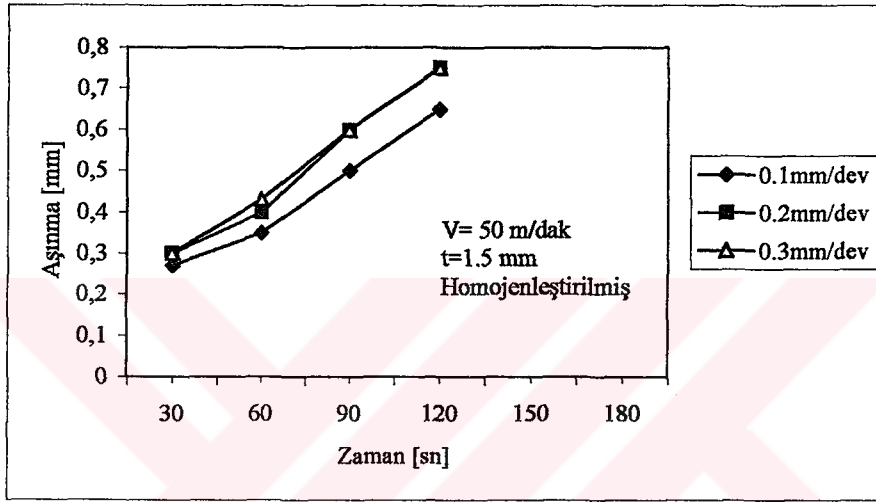


(b)

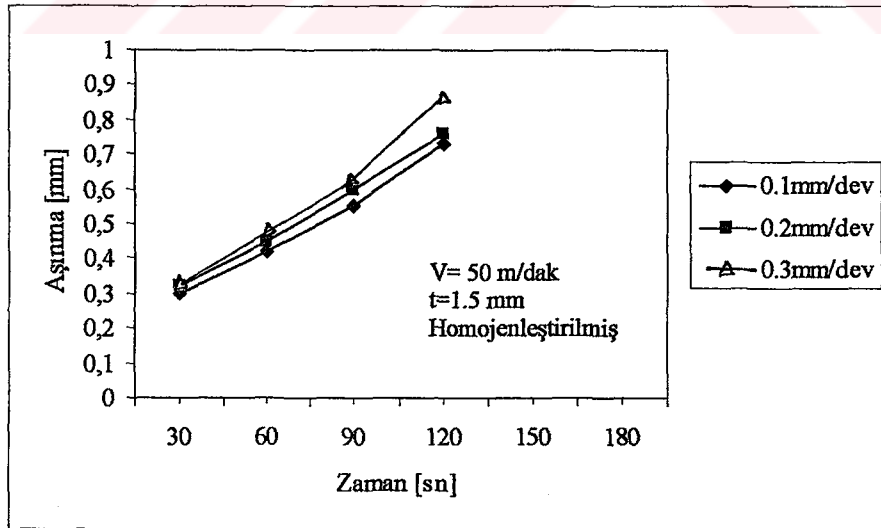
Şekil 4.104. Aşınma zaman değişimi
a)Kaplamalı, b)Kaplamasız

Tablo 4.97. %5SiC takviyeli MMK malzemenin $V=50\text{m/dak}$ kesme hızında, farklı ilerlemelerdeki aşınma-zaman tablosu (Homojenleştirilmiş, $t=1.5\text{mm}$, Talaş açısı= -6°)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]					
	0,1 mm/dev		0,2 mm/dev		0,3 mm/dev	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,30	0,27	0,30	0,32	0,30	0,33
60	0,40	0,42	0,40	0,45	0,43	0,50
90	0,50	0,55	0,60	0,60	0,60	0,63
120	0,65	0,73	0,75	0,76	0,75	0,87
150						
180						



(a)

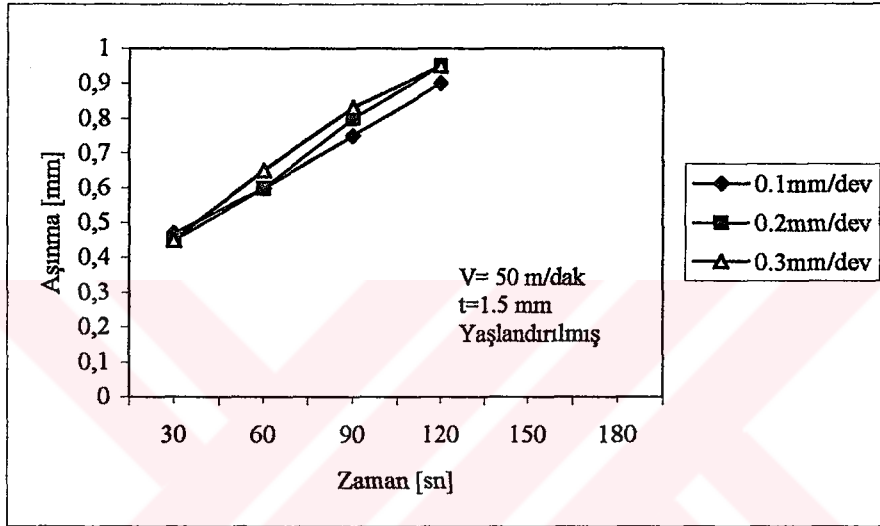


(b)

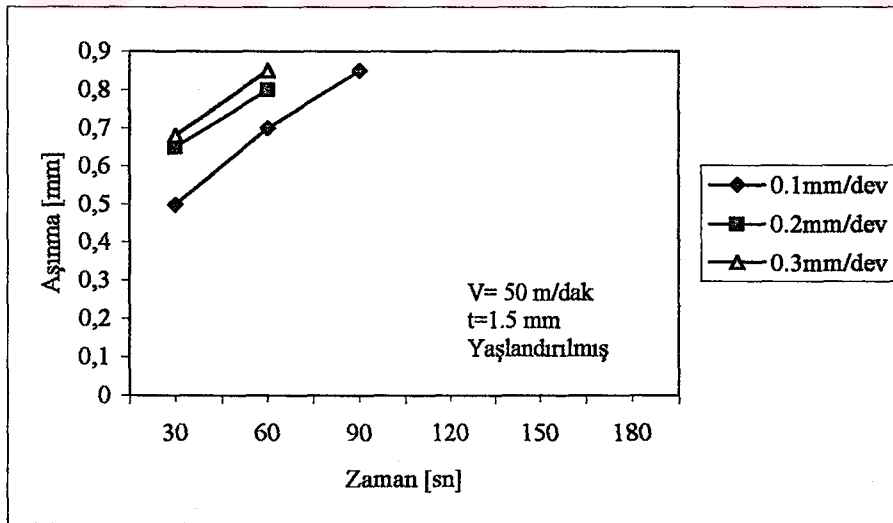
Şekil 4.105. Aşınma zaman değişimi
a)Kaplamalı, b)Kapasız

Tablo 4.98. %5SiC takviyeli MMK malzemenin $V=50\text{m/dak}$ kesme hızında, farklı ilerlemelerdeki aşınma-zaman tablosu ($t=1.5\text{mm}$, Talaş açısı= -6°)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]					
	0,1 mm/dev		0,2 mm/dev		0,3 mm/dev	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,47	0,50	0,45	0,65	0,45	0,65
60	0,60	0,70	0,60	0,80	0,65	0,85
90	0,75	0,85	0,80		0,83	
120	0,90		0,95		0,95	
150						
180						



(a)

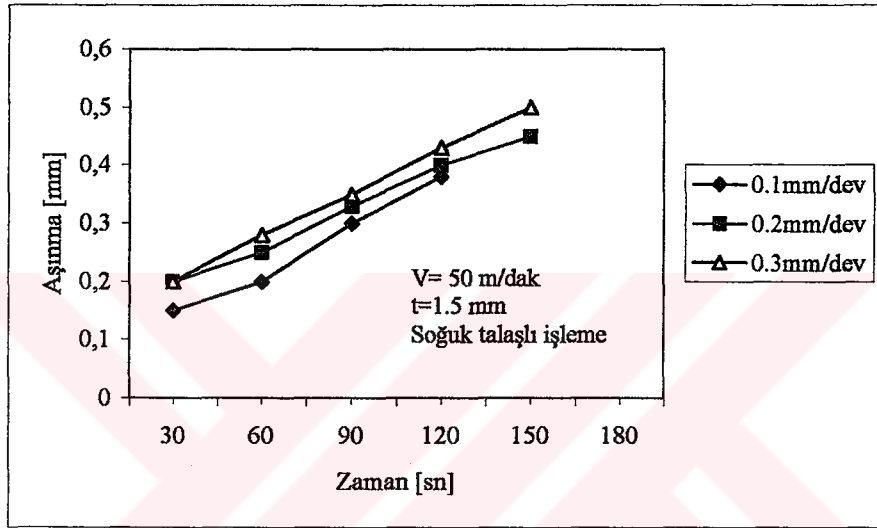


(b)

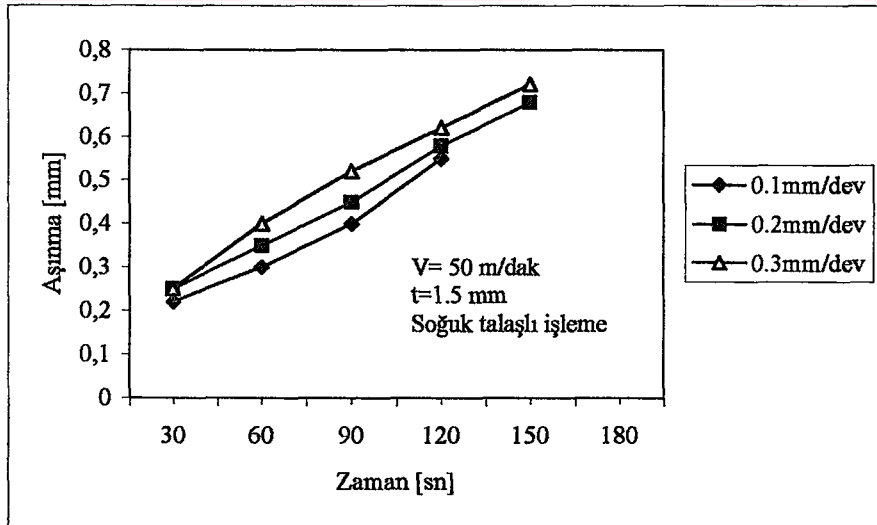
Şekil 4.106. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b)Kaplama-sız

Tablo 4.99. %5SiC takviyeli MMK malzemenin $V=50\text{m/dak}$ kesme hızında, farklı ilerlemelerdeki aşınma-zaman tablosu (Soğuk İşleme, $t=1.5\text{mm}$, Talaş açısı $= -6^\circ$)

Zaman [sn]	Aşınma [mm]					
	0,1 mm/dev		0,2 mm/dev		0,3 mm/dev	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,15	0,22	0,20	0,25	0,20	0,25
60	0,20	0,30	0,25	0,35	0,28	0,40
90	0,30	0,40	0,33	0,45	0,35	0,52
120	0,40	0,55	0,40	0,58	0,43	0,62
150			0,45	0,70	0,50	0,70
180						



(a)

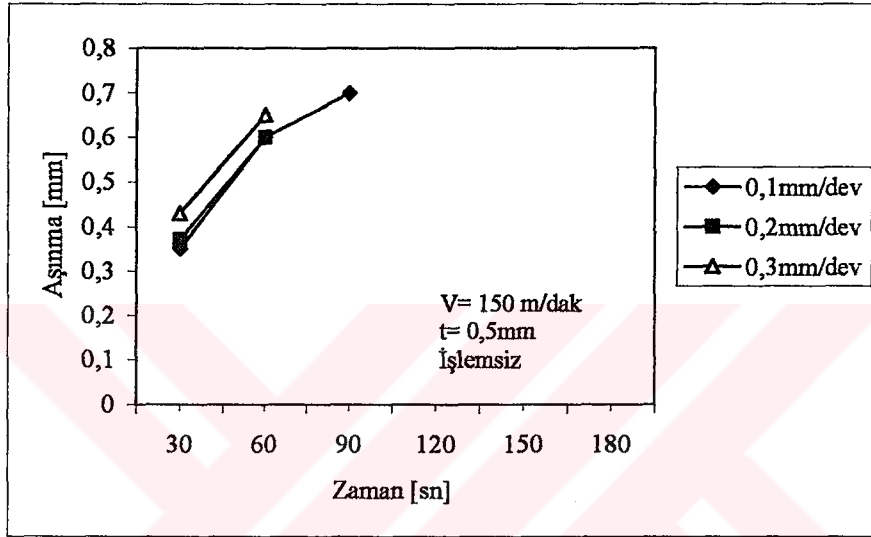


(b)

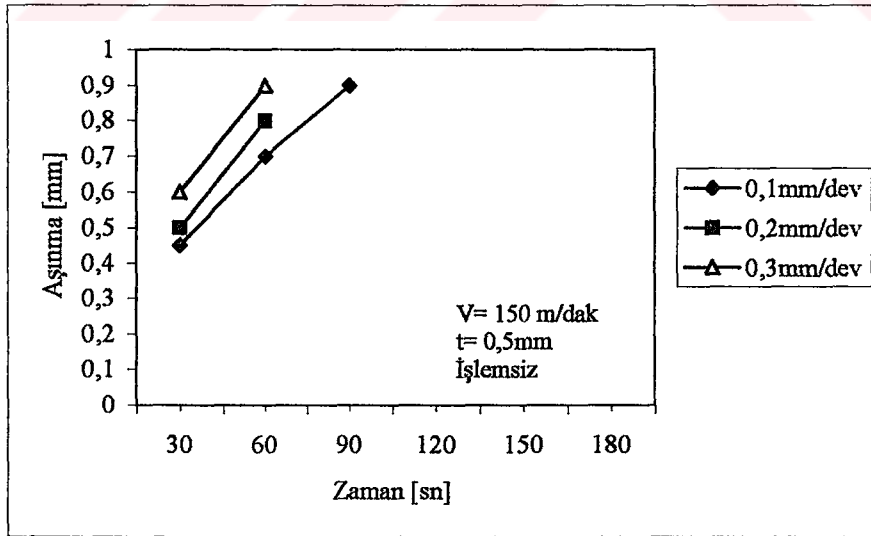
Şekil 4.107. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b)Kaplamasız

Tablo 4.100. %15SiC takviyeli MMK malzemenin $V=150\text{m/dak}$ kesme hızında, farklı ilerlemelerdeki aşınma-zaman tablosu (İşlemsiz, $t=0.5\text{mm}$, Talaş açısı= -6°)

Zaman (sn)	Takım Aşınması [mm]					
	0,1 mm/dev		0,2 mm/dev		0,3 mm/dev	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,35	0,45	0,37	0,50	0,43	0,60
60	0,60	0,70	0,60	0,80	0,65	0,90
90	0,70	0,90				
120						
150						



(a)

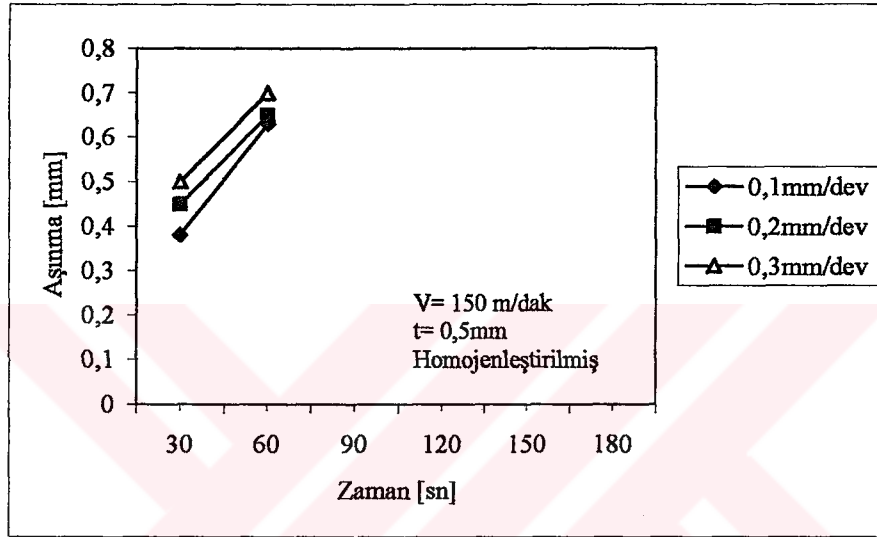


(b)

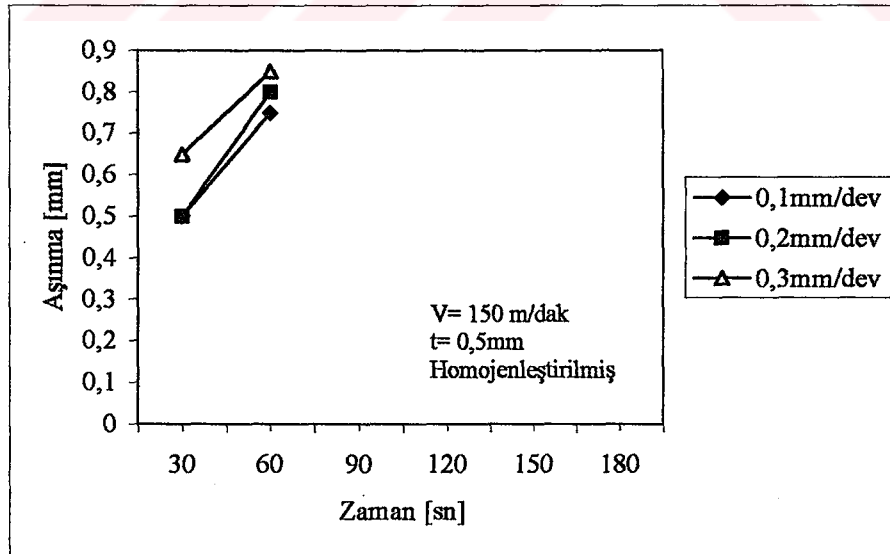
Şekil 4.108. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b)Kaplamasız

Tablo 4.101. %15SiC takviyeli MMK malzemenin $V=150\text{m/dak}$ kesme hızında, farklı ilerlemelerdeki aşınma-zaman tablosu (Homojenleştirilmiş, $t=0.5\text{mm}$, Talaş açısı= -6°)

Zaman (sn)	Takım Aşınması [mm]					
	0,1 mm/dev		0,2 mm/dev		0,3 mm/dev	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,38	0,50	0,45	0,50	0,50	0,65
60	0,63	0,75	0,65	0,80	0,68	0,85
90						
120						
150						



(a)

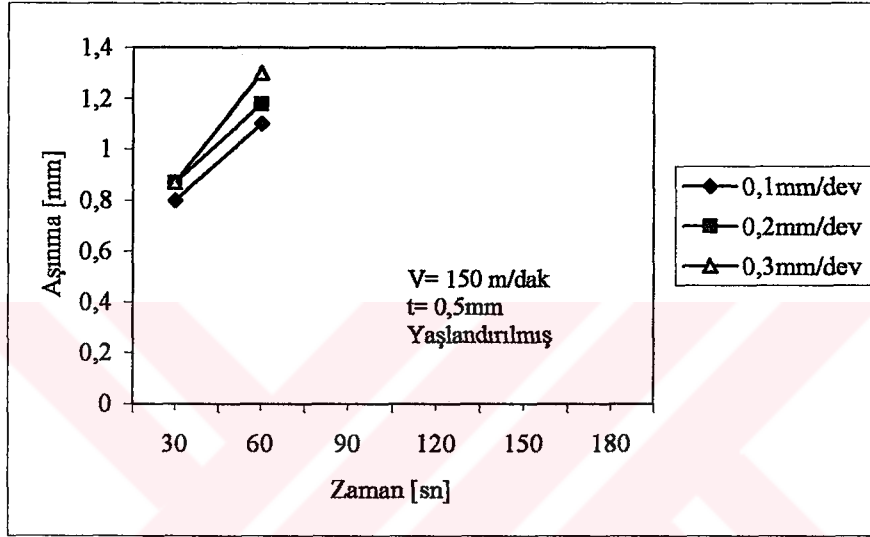


(b)

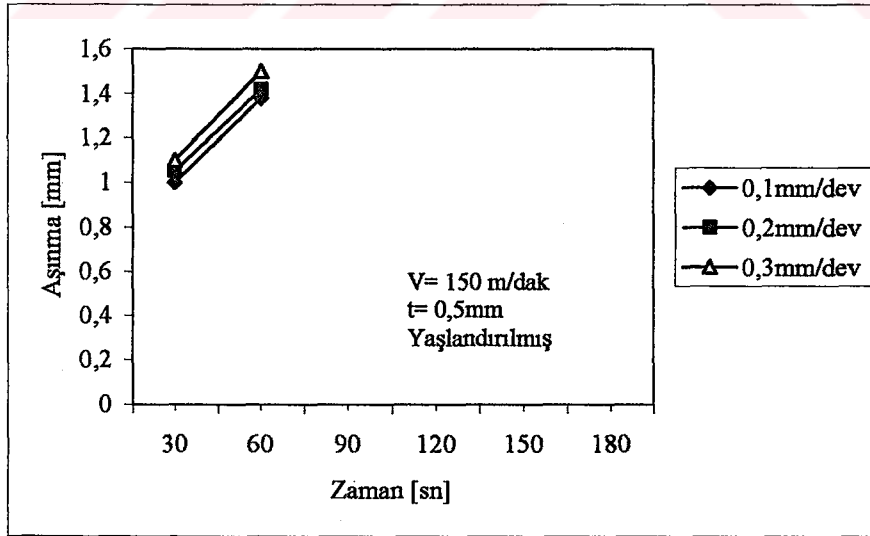
Şekil 4.109. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b)Kaplamasız

Tablo 4.102. %15SiC takviyeli MMK malzemenin $V=150\text{m/dak}$ kesme hızında, farklı ilerlemelerdeki aşınma-zaman tablosu (Yaşlandırılmış, $t=0.5\text{mm}$, Talaş açısı= -6°)

Zaman (sn)	Takım Aşınması [mm]					
	0,1 mm/dev		0,2 mm/dev		0,3 mm/dev	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,82	1,08	0,87	1,05	0,90	1,07
60	1,10	1,38	1,18	1,42	1,30	1,50
90						
120						
150						



(a)

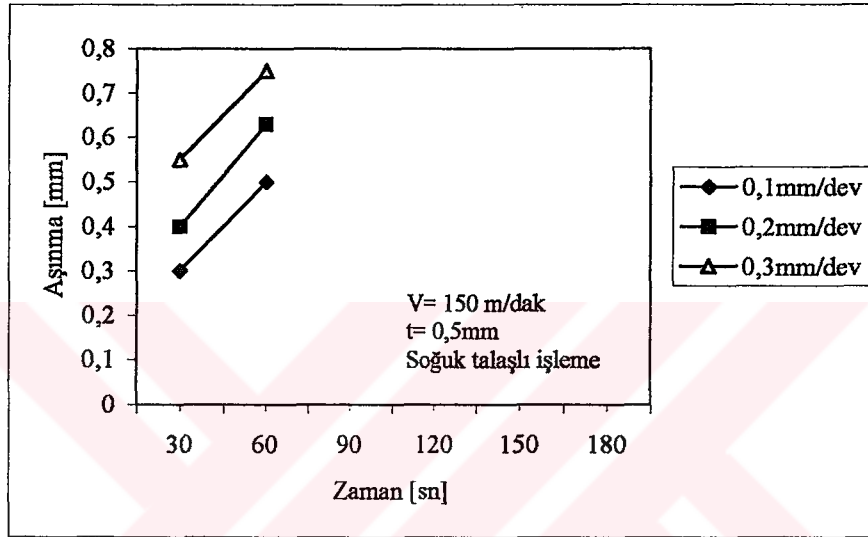


(b)

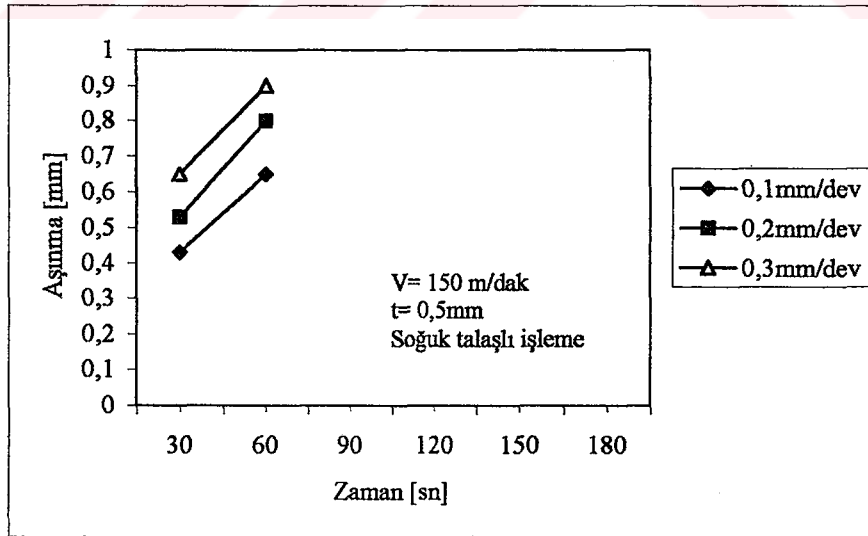
Şekil 4.110. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.103. %15SiC takviyeli MMK malzemenin $V=150\text{m/dak}$ kesme hızında, farklı ilerlemelerdeki aşınma-zaman tablosu (Soğuk talaşlı işleme, $t=0.5\text{mm}$, Talaş açısı $= -6^\circ$)

Zaman (sn)	Takım Aşınması [mm]					
	0,1 mm/dev		0,2 mm/dev		0,3 mm/dev	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,30	0,43	0,40	0,53	0,55	0,65
60	0,50	0,65	0,63	0,80	0,75	0,90
90						
120						
150						



(a)

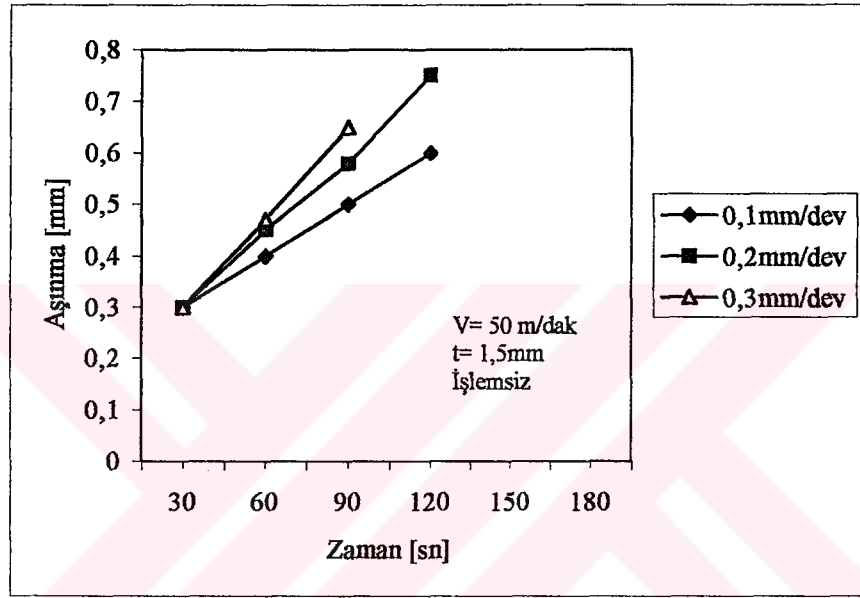


(b)

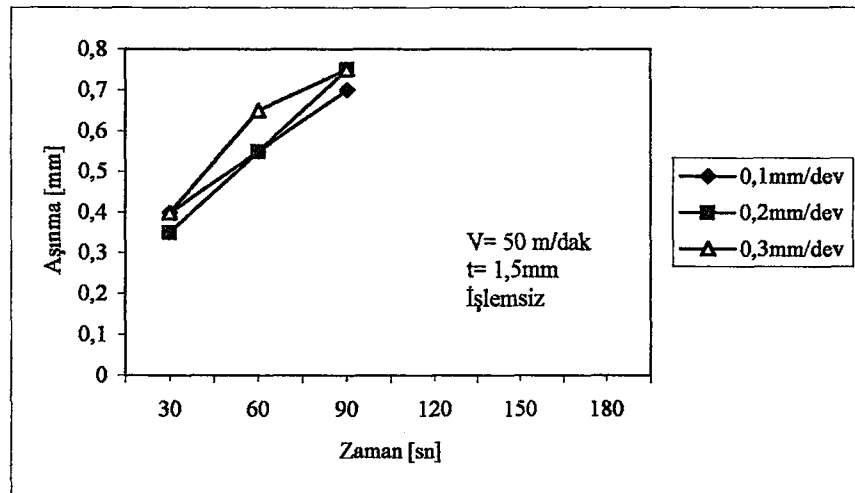
Şekil 4.111. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.104. %15SiC takviyeli MMK malzemenin V=50m/dak kesme hızında, farklı ilerlemelerdeki aşınma-zaman tablosu (İşlemsiz, t=1.5mm, Talaş açısı= -6°)

Zaman (sn)	Takım Aşınması [mm]					
	0,1 mm/dev		0,2 mm/dev		0,3 mm/dev	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,30	0,40	0,30	0,35	0,30	0,40
60	0,40	0,55	0,45	0,55	0,47	0,65
90	0,50	0,70	0,58	0,75	0,65	0,75
120	0,60		0,75			
150						
180						



(a)

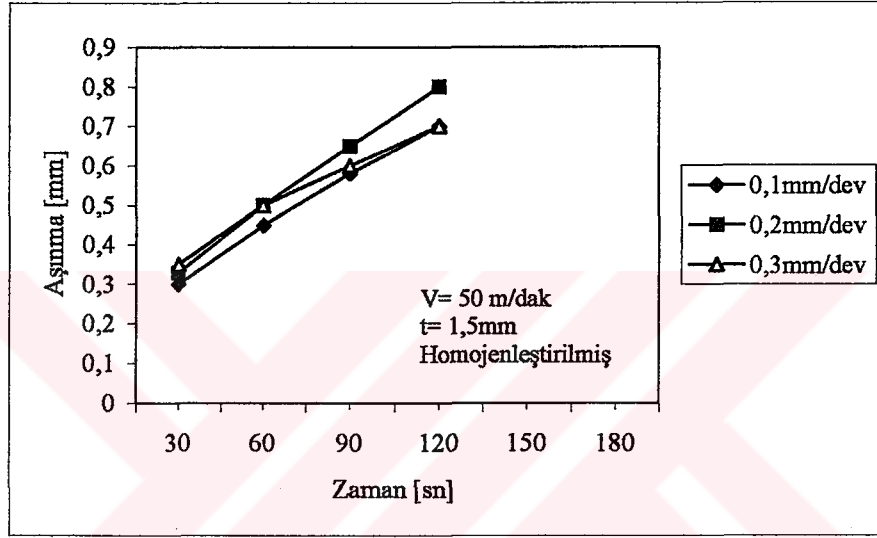


(b)

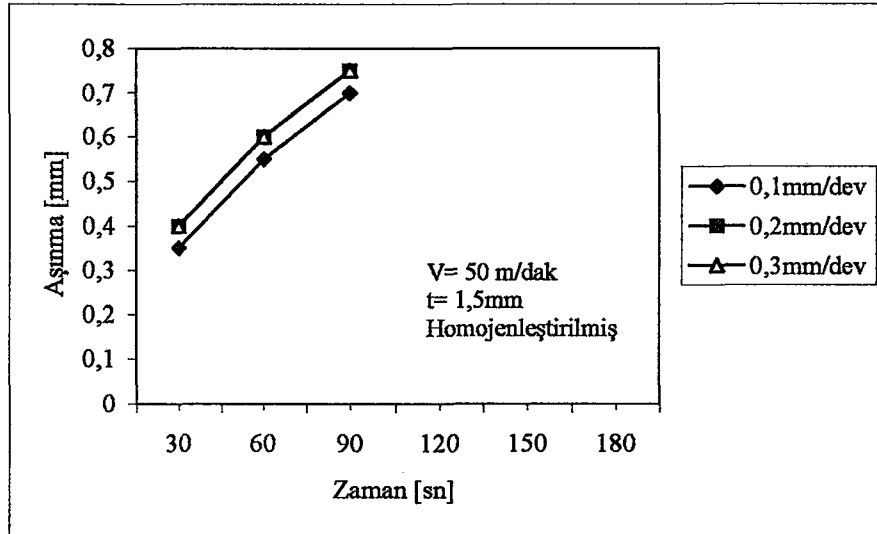
Şekil 4.112. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.105. %15SiC takviyeli MMK malzemenin $V=50\text{m/dak}$ kesme hızında, farklı ilerlemelerdeki aşınma-zaman tablosu (Homojenleştirilmiş, $t=1.5\text{mm}$, Talaş açısı= -6°)

Zaman (sn)	Takım Aşınması [mm]					
	0,1 mm/dev		0,2 mm/dev		0,3 mm/dev	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,30	0,35	0,33	0,40	0,35	0,40
60	0,45	0,55	0,50	0,60	0,50	0,60
90	0,58	0,70	0,65	0,75	0,60	0,75
120	0,70		0,80		0,70	
150						
180						



(a)

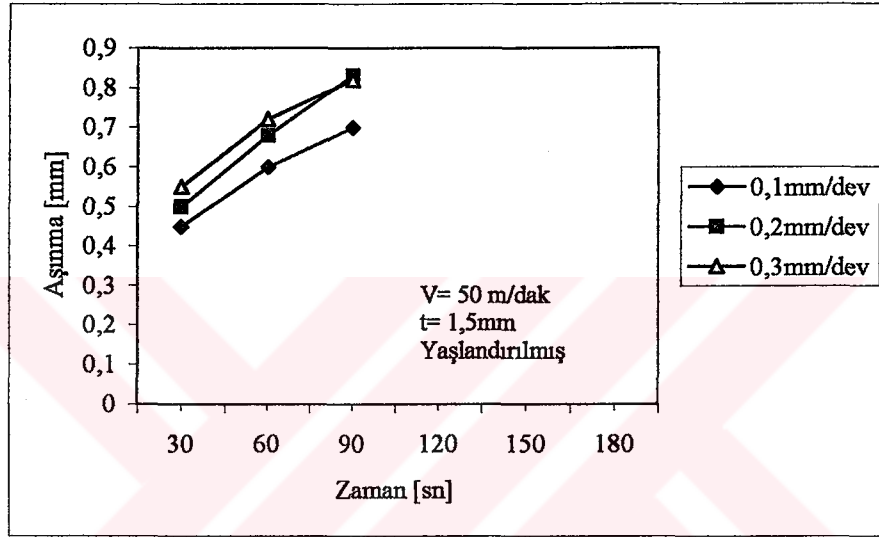


(b)

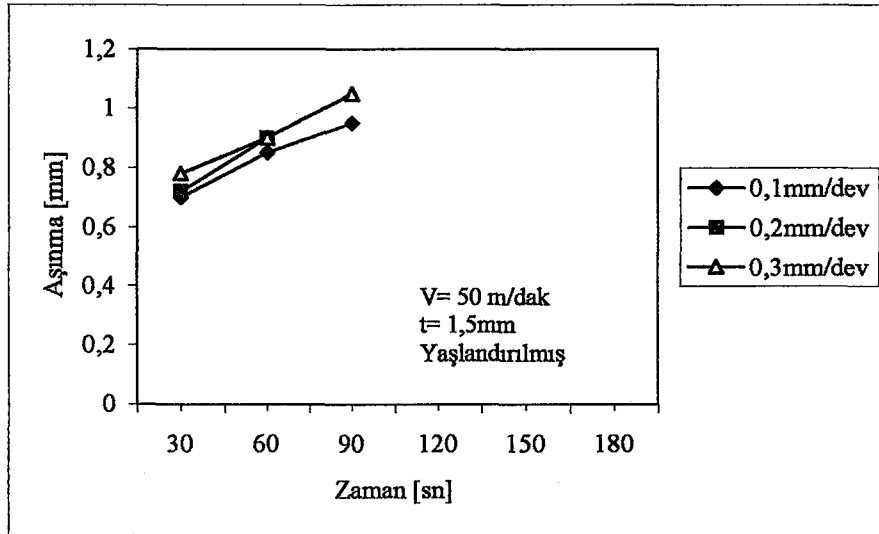
Şekil 4.113. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b)Kapasız

Tablo 4.106. %15SiC takviyeli MMK malzemenin $V=50\text{m/dak}$ kesme hızında, farklı ilerlemelerdeki aşınma-zaman tablosu (Yaşlandırılmış, $t=1.5\text{mm}$, Talaş açısı= -6°)

Zaman (sn)	Takım Aşınması [mm]					
	0,1 mm/dev		0,2 mm/dev		0,3 mm/dev	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,45	0,70	0,50	0,72	0,60	0,73
60	0,60	0,85	0,68	0,90	0,72	0,90
90	0,70	0,95	0,83		0,82	1,05
120						
150						
180						



(a)

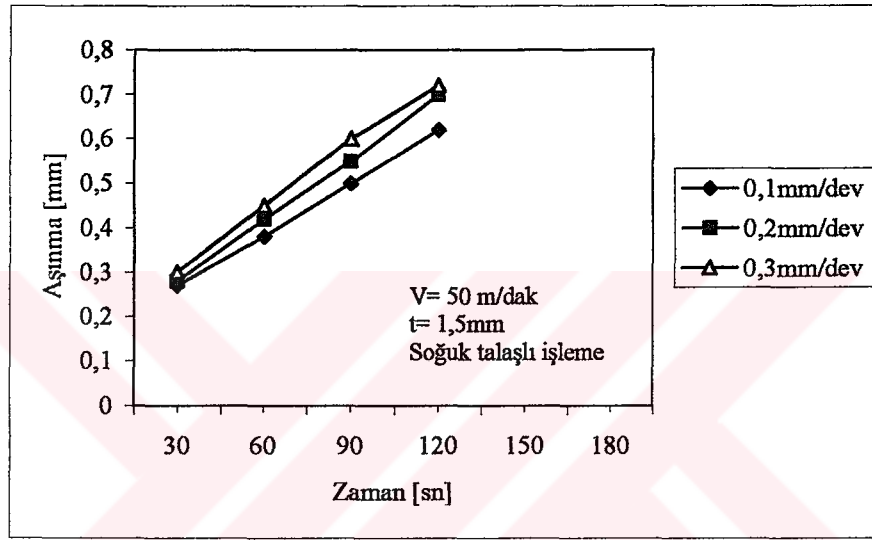


(b)

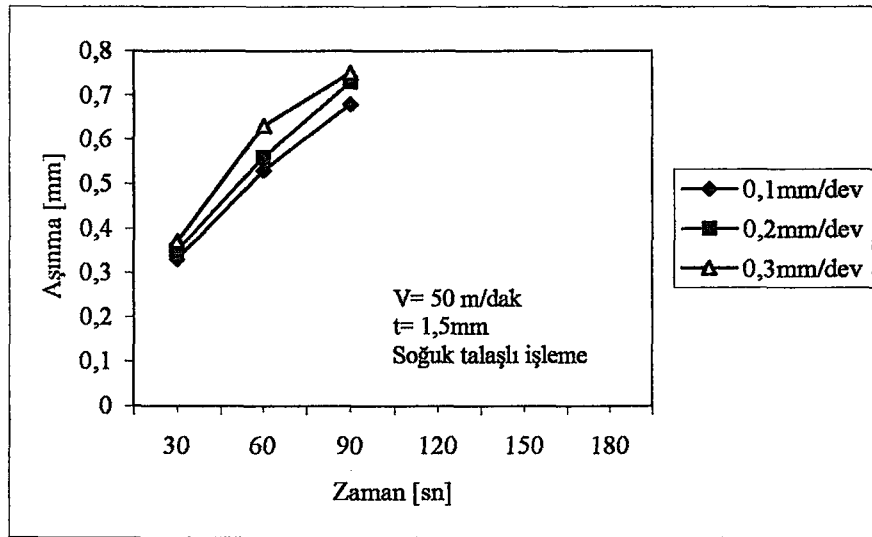
Şekil 4.114. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

Tablo 4.107. %15SiC takviyeli MMK malzemenin $V=50\text{m/dak}$ kesme hızında, farklı ilerlemelerdeki aşınma-zaman tablosu (Soğuk Talaşlı İşleme, $t=1.5\text{mm}$, Talaş açısı $= -6^\circ$)

Zaman (sn)	Takım Aşınması [mm]					
	0,1 mm/dev		0,2 mm/dev		0,3 mm/dev	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
30	0,27	0,33	0,28	0,35	0,30	0,37
60	0,38	0,53	0,42	0,56	0,45	0,63
90	0,50	0,68	0,55	0,73	0,60	0,75
120	0,62		0,70		0,72	
150						
180						



(a)



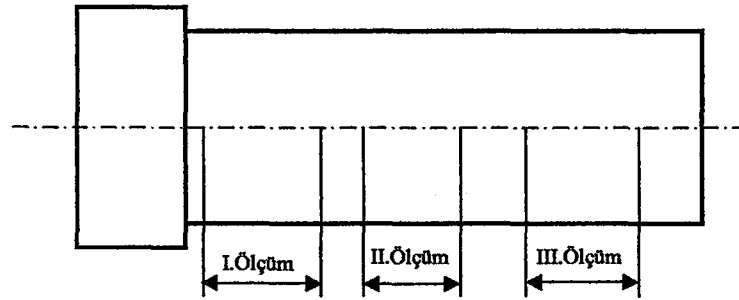
(b)

Şekil 4.115. Aşınma zaman değişimi
a) Kaplamalı, b) Kaplamasız

4.3.2. Yüzey Pürüzlülüğü Deneyleri

Yüzey pürüzlülüğü, iş parçasına uygulanan işlemenin sonrasında oluşan son yüzey kalitesi olduğu için işlenen deney parçalarının sahip olduğu yüzey kalitesi ile kesme hızı, kesme derinliği ve ilerleme hızı gibi parametrelerin doğrudan ilişkisi vardır.

Al Si7 Mg2 MMK'lerin farklı şartlarda talaşlı işleme sonrası malzemelerin yüzey pürüzlülüklerinin araştırılmasında ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) değerleri ölçüldü. Ölçme işlemi her deney sonrası malzemelerin üç farklı noktasından ve eksenleri boyunca yapıldı (Şekil 4.116). Şekildeki her bölge cihazın ölçme uzunluğu olan 25 mm'ye karşılık gelmektedir. Ölçme işlemi için, deney malzemeleri özel destekleme aparatı üzerine konuldu ve daha sonra da ölçme işlemi yapıldı. Ölçme işlemi sonrası malzemenin üç ayrı noktasından okunan pürüzlülük değerlerinin ortalaması alındı. Ölçüme başlamadan önce, yüzey pürüzlülük ölçü aleti standart kalibrasyon numunesi ile kalibre edildi. % 5 SiC takviyeli MMK malzemenin işlenmesi sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğünün işleme şartlarına etkisi tablo haline getirilerek (Tablo 4.108-4.110) grafikler halinde sunuldu (Şekil 4.117-4.119). % 15 SiC takviyeli MMK malzemenin işlenmesi sonucunda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğünün işleme şartlarına etkisi tablo haline getirilerek (Tablo 4.111-4.113) grafikler halinde verildi (Şekil 4.120-4.122).



Şekil 4.116. Yüzey pürüzlülüğünün ölçümü

4.3.2.1. Kesme Hızının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin İncelenmesi

Şekil 4.117'den Şekil 4.122'ye kadar olan grafiklerde yüzey pürüzlülüğünün, kesme hızına bağlı olarak değişimi gösterilmiştir.

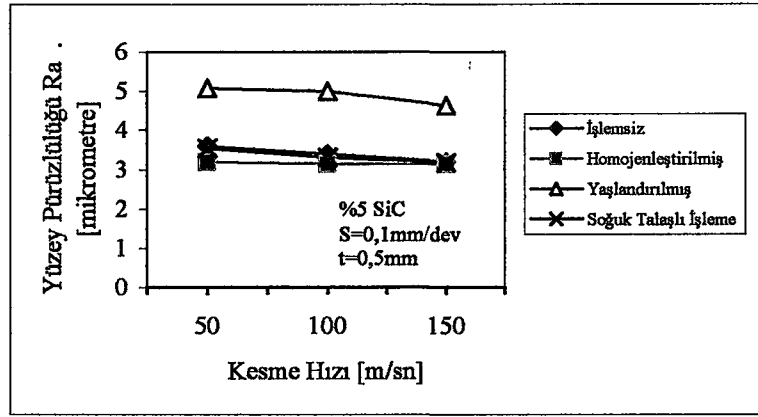
Isıl işlemsiz, homojenleştirilmiş ve soğuk talaşlı işleme sonucunda işlenen numunelerdeki yüzey pürüzlülüğü değerleri birbirine yakın ve düşüktür. Buna karşılık, özellikle yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmış numunelerden ölçülen yüzey pürüzlülük değerlerinin yüksek olduğu görülmüştür. Yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmış numunelerde elde edilen bu yüksek yüzey pürüzlülük değerleri yaşlandırma mekanizması sonucu irileşen çökelti partiküllerinin varlığına bağlanmıştır.

Takım malzemeyi işlemeye başlayıp, zorladığı zaman kırılğan partiküller kopar. Kırılan bu partiküller de, parça yüzeyinde yivlere ve çiziklere neden olur. Bu tip zedelenmeler genellikle alüminyum ve magnezyum alaşımlarında görülür. Bu durum yüzey kalitesini olumsuz yönde etkiler [46].

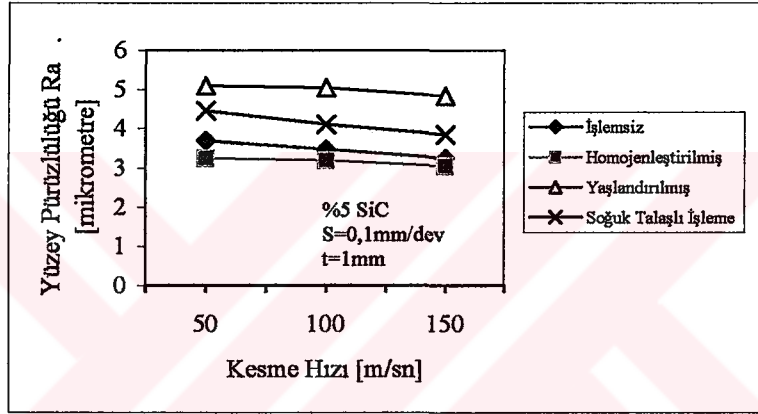
Kompozit malzemelerde SiC partikül boyutlarındaki (10-32 μm) değişim kompozit malzemenin işleme özelliklerini de etkilemektedir. Tane boyutunun artması matrikste meydana gelecek plastik deformasyon olaylarını engellemektedir. Bundan dolayı bu taneler etrafında gerilme yoğunlaşması artar. Oluşan hatalar ve daha ziyade sınır hataları işlenmiş yüzeyin kalitesini etkileyerek daha yüksek yüzey pürüzlülüğü değerleri elde edilmesine sebep olur [17].

Tablo4.108. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün işleme şartlarına göre değişimi (% 5 SiC, S= 0.1 mm/dev.)

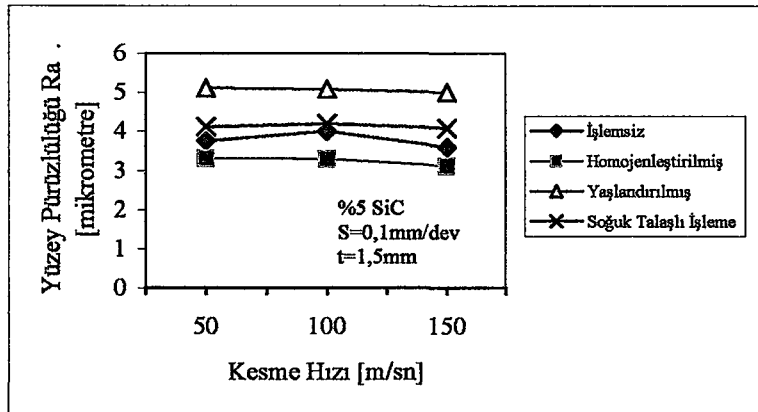
Kesme Hızı (m/sn)	Ra											
	İşlemsiz			Homojenleştirilmiş			Yaşlandırılmış			Soğuk Talaşlı İşleme		
	0.5	1	1.5	0.5	1	1.5	0.5	1	1.5	0.5	1	1.5
50	3,60	3,70	3,76	3,21	3,26	3,32	5,07	5,10	5,12	3,55	4,46	4,12
100	3,40	3,48	4,49	3,15	3,20	3,30	5,00	5,05	5,08	3,32	4,12	4,77
150	3,21	3,26	3,60	3,16	3,05	3,12	4,65	4,84	5,00	3,19	3,86	4,08



(a)



(b)



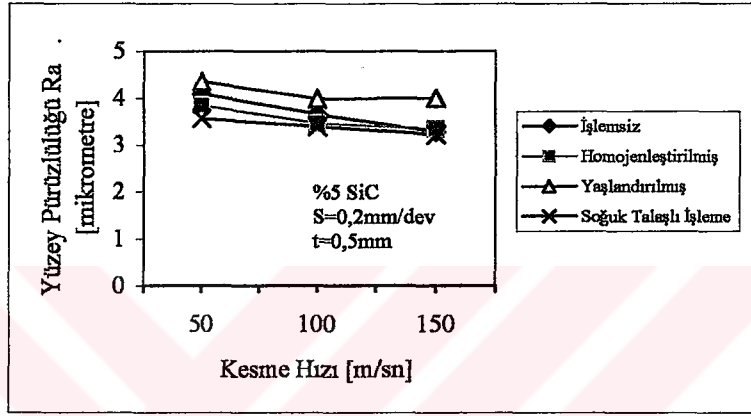
(c)

Şekil4.117. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün işleme şartlarına göre değişimi

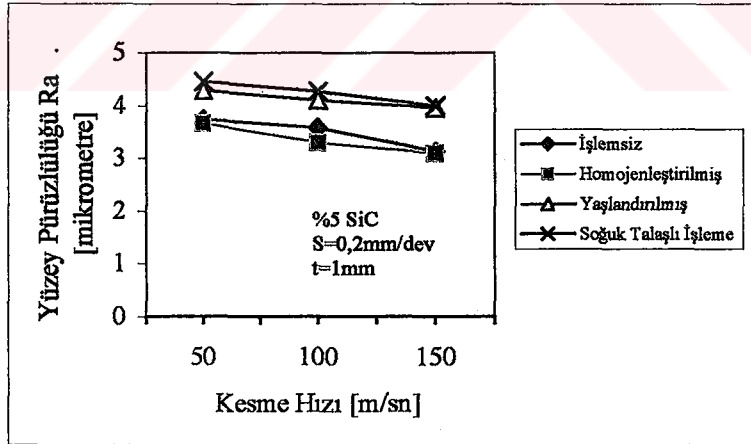
a) t= 0,5mm b) t= 1mm c) t=1,5mm

Tablo4.109. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün işleme şartlarına göre değişimi (% 5 SiC, S= 0.2 mm/dev.)

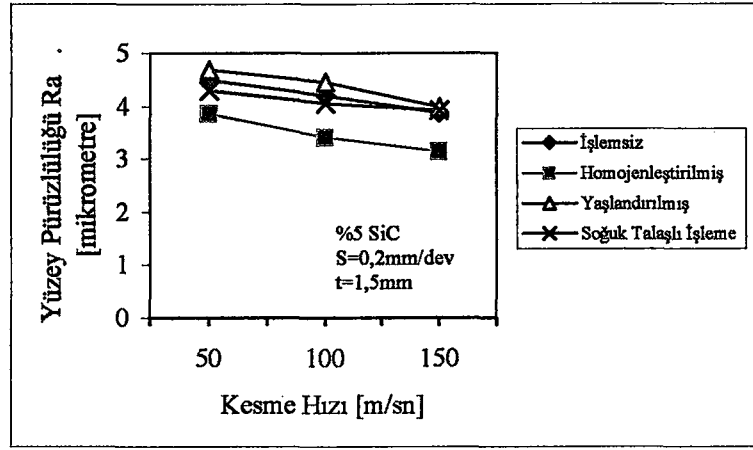
Kesme Hızı (m/sn)	Ra											
	İşlemsiz			Homojenleştirilmiş			Yaşlandırılmış			Soğuk Talaşlı İşleme		
	0.5	1	1.5	0.5	1	1.5	0.5	1	1.5	0.5	1	1.5
50	4,10	3,74	4,49	3,85	3,67	3,86	4,36	4,28	4,69	3,57	4,46	4,30
100	3,67	3,58	4,20	3,47	3,30	3,42	3,99	4,10	4,46	3,40	4,27	4,06
150	3,29	3,14	3,87	3,35	3,28	3,15	4,00	3,96	3,98	3,23	4,00	4,92



(a)



(b)



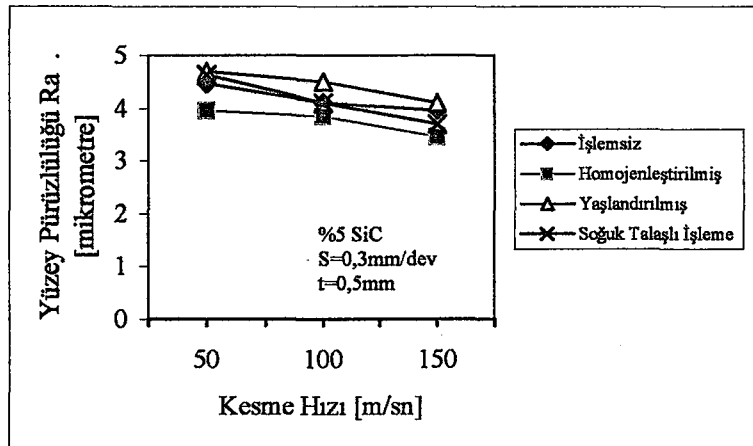
(c)

Şekil4.118. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün işleme şartlarına göre değişimi

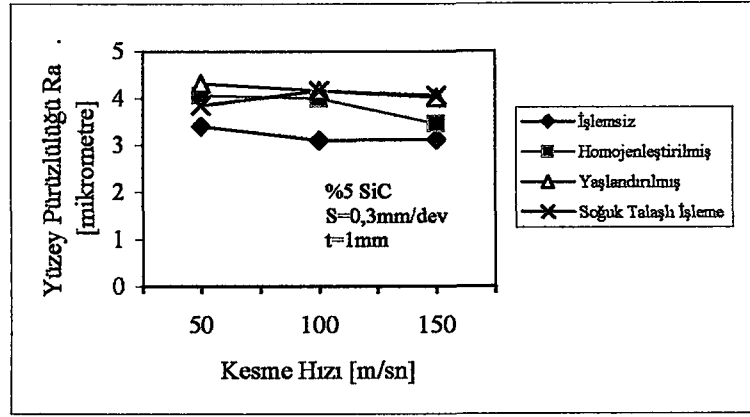
a) t= 0,5mm b) t= 1mm c) t=1,5mm

Tablo4.110. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün işleme şartlarına göre değişimi (% 5 SiC, S= 0.3 mm/dev.)

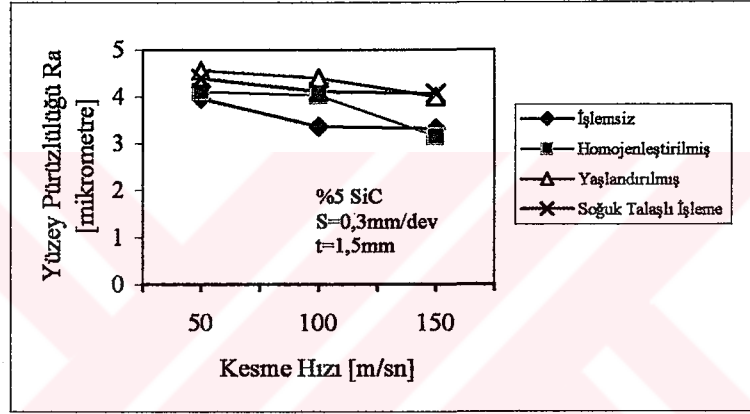
Kesme Hızı (m/sn)	Ra											
	İşlemsiz			Homojenleştirilmiş			Yaşlandırılmış			Soğuk Talaşlı İşleme		
	0.5	1	1.5	0.5	1	1.5	0.5	1	1.5	0.5	1	1.5
50	4,47	3,40	3,97	3,96	4,07	4,12	4,70	4,32	4,56	4,64	3,85	4,40
100	4,10	3,11	3,36	4,16	4,00	4,03	4,50	4,17	4,40	4,10	4,17	4,12
150	3,96	3,12	3,32	3,46	3,46	3,16	4,10	4,02	4,00	3,71	4,06	4,08



(a)



(b)



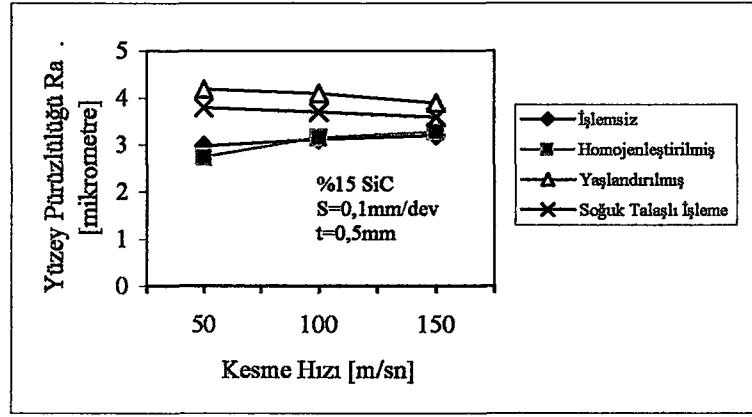
(c)

Şekil4.119. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün işleme şartlarına göre değişimi

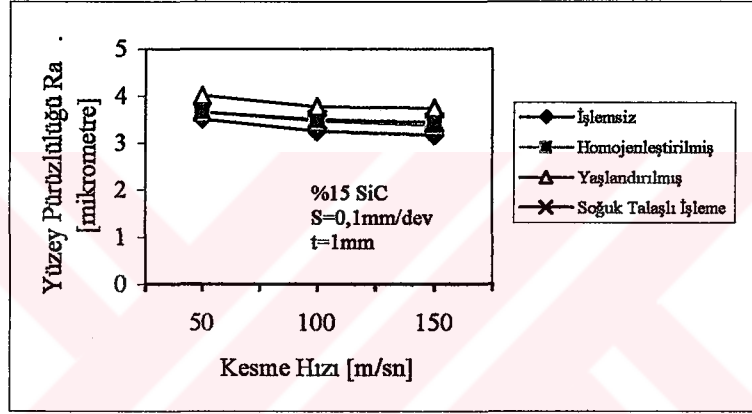
a) t= 0,5mm b) t= 1mm c) t=1,5mm

Tablo4.111. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün işleme şartlarına göre değişimi (% 15 SiC, S= 0.1 mm/dev.)

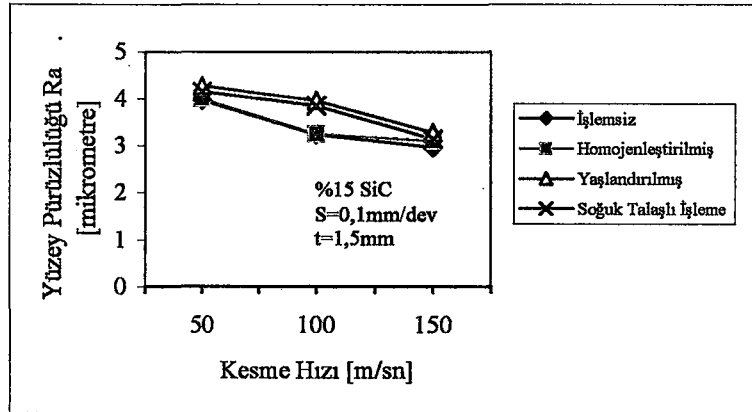
Kesme Hızı (m/sn)	Ra											
	İşlemsiz			Homojenleştirilmiş			Yaşlandırılmış			Soğuk Talaşlı İşleme		
	0.5	1	1.5	0.5	1	1.5	0.5	1	1.5	0.5	1	1.5
50	2,98	3,51	3,97	2,75	3,67	4,00	4,20	4,02	4,28	3,80	3,67	4,15
100	3,12	3,26	3,24	3,16	3,48	3,26	4,10	3,78	3,96	3,71	3,50	3,86
150	3,20	3,18	2,97	3,28	3,38	3,10	3,90	3,74	3,28	3,80	3,45	3,15



(a)



(b)



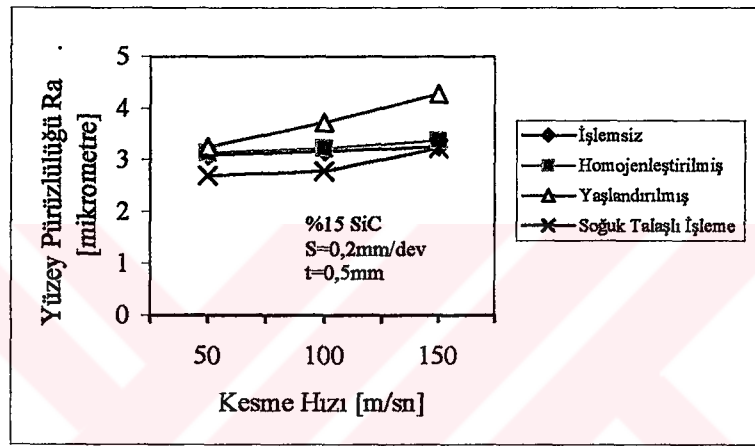
(c)

Şekil4.120. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün işleme şartlarına göre değişimi

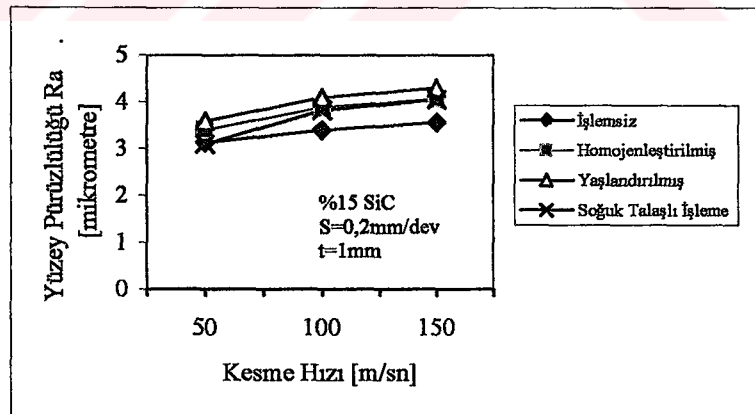
a) t= 0,5mm b) t= 1mm c) t=1,5mm

Tablo4.112. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün işleme şartlarına göre değişimi (%15 SiC, S= 0.2 mm/dev.)

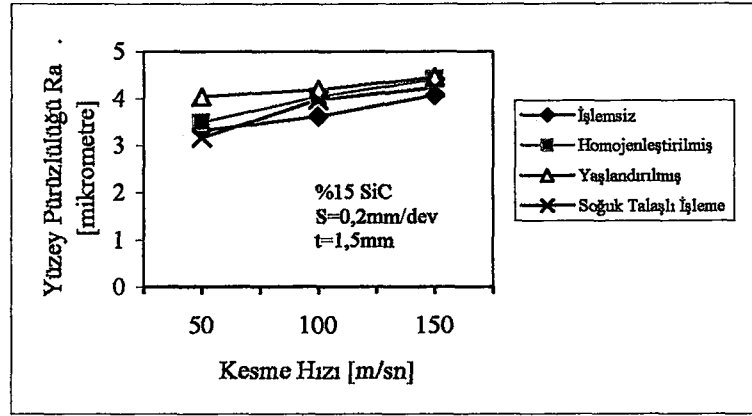
Kesme Hızı (m/sn)	Ra											
	İşlemsiz			Homojenleştirilmiş			Yaşlandırılmış			Soğuk Talaşlı İşleme		
	0.5	1	1.5	0.5	1	1.5	0.5	1	1.5	0.5	1	1.5
50	3,10	3,14	3,32	3,15	3,40	3,92	3,26	3,60	4,05	2,70	3,10	3,17
100	3,17	3,41	3,62	3,23	3,90	4,04	3,73	4,10	4,20	2,79	3,83	3,98
150	3,26	3,57	4,08	3,38	4,08	4,42	4,28	4,30	4,46	3,24	4,06	4,24



(a)



(b)



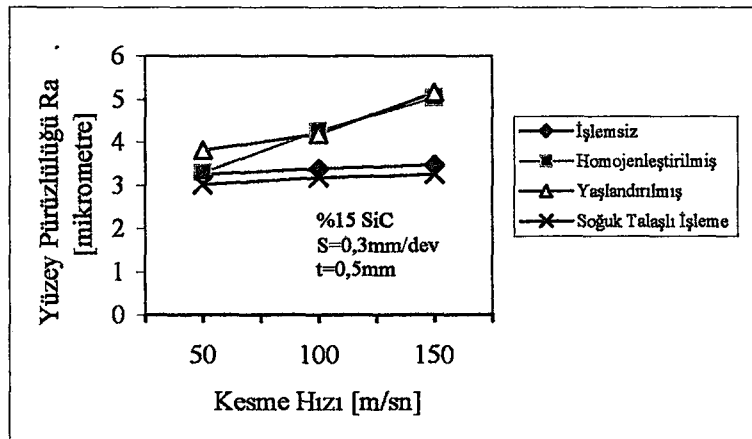
(c)

Şekil4.121. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün işleme şartlarına göre değişimi

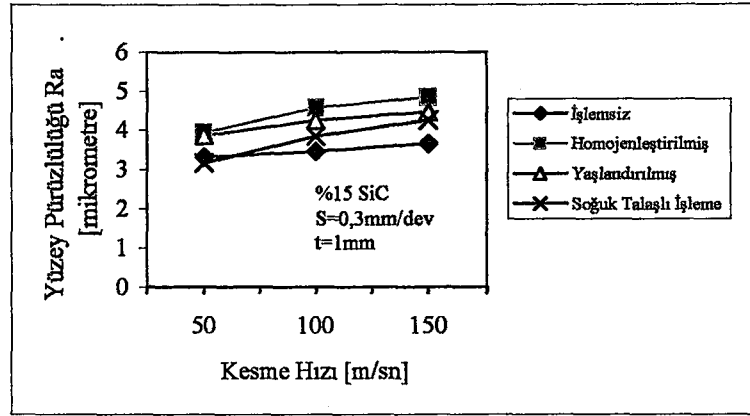
a) t= 0,5mm b) t= 1mm c) t=1,5mm

Tablo4.113. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün işleme şartlarına göre değişimi (% 15 SiC, S= 0.3 mm/dev.)

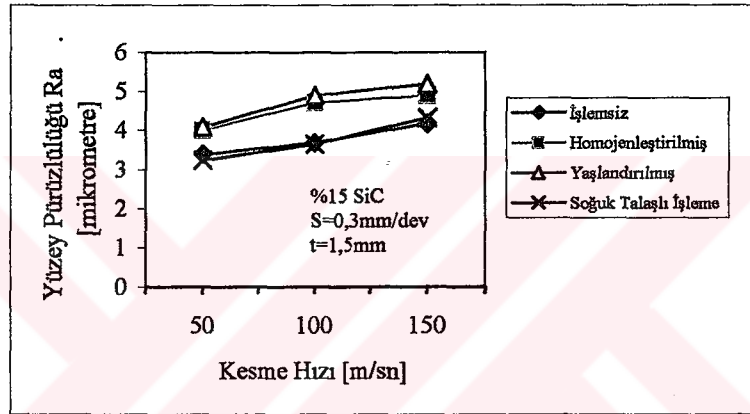
Kesme Hızı (m/sn)	Ra											
	İşlemsiz			Homojenleştirilmiş			Yaşlandırılmış			Soğuk Talaşlı İşleme		
	0.5	1	1.5	0.5	1	1.5	0.5	1	1.5	0.5	1	1.5
50	3,26	3,32	3,40	3,30	3,96	4,02	3,82	3,88	4,10	3,02	3,17	3,26
100	3,40	3,46	3,69	4,26	4,60	4,73	4,20	4,26	4,90	3,18	3,86	3,67
150	3,48	3,67	4,19	5,04	4,86	4,90	5,16	4,48	5,20	3,26	4,26	4,34



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.122. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün işleme şartlarına göre değişimi

a) t= 0,5mm b) t= 1mm c) t=1,5mm

Üç farklı kesme hızı (50, 100, 150 m/dak.) ve sabit ilerlemelerde işlenmiş olan deney numunelerinin yüzey pürüzlülük değerleri, kesme hızı arttıkça yükselmiştir. Şekil 4.117 den Şekil 4.122 ye kadar olan grafikler incelendiğinde genelde en büyük yüzey pürüzlülük değerinin 150 m/dak kesme hızında olduğu görülmektedir.

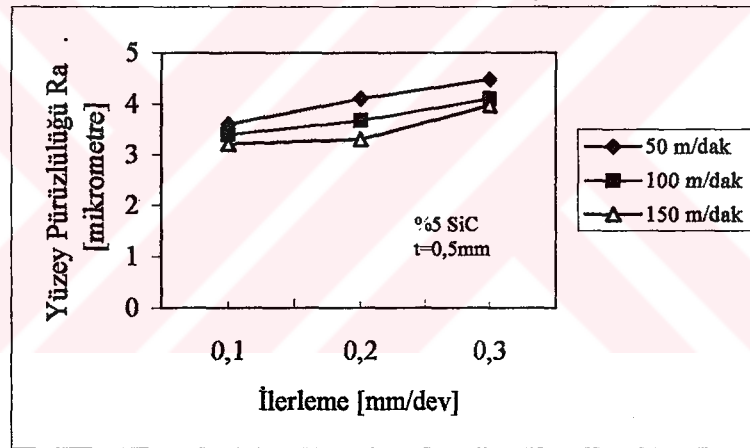
Kesme hızının artması ile başta serbest yüzey aşınması olmak üzere tüm aşınmalar artmaktadır. Bunun başlıca nedeni; hızın artması ile kesici takım ve iş parçası arasındaki temasın artmasıdır. Bu durum Yüzey kalitesini olumsuz yönde etkiler [92].

4.3.2.2. İlerleme Hızının ve Talaş Derinliğinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin İncelenmesi

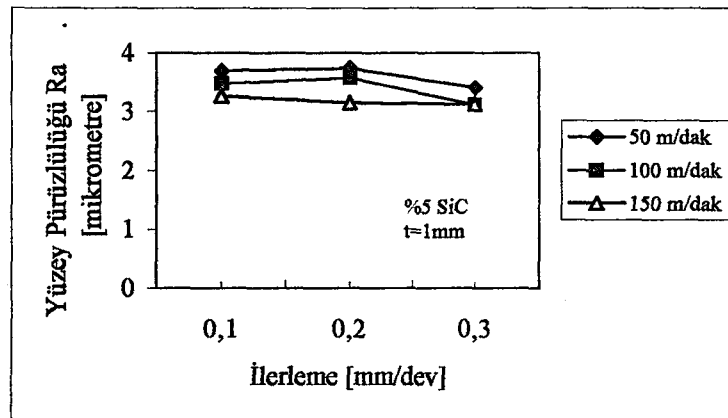
Al Si7 Mg2 metal matriks kompozit malzemenin işlenmesinde, ilerleme hızının ve talaş derinliğinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri Tablo 4.114 ve Tablo 4.115'te verilerek grafikleri çizildi (Şekil 4.123-124).

Tablo 4.114. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ile değişimi
(% 5 SiC, Isıl işlemsiz)

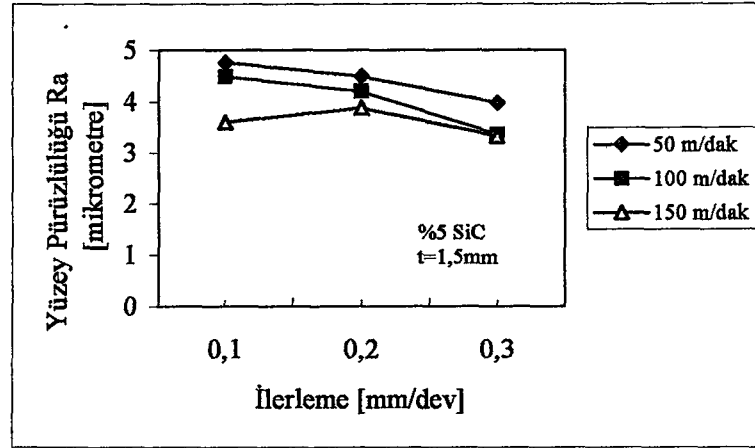
Kesme Hızı (m/sn)	Ra								
	0.1			0.2			0.3		
	0.5	1	1.5	0.5	1	1.5	0.5	1	1.5
50	3,60	3,70	3,76	4,10	3,74	4,49	4,47	3,40	3,97
100	3,40	3,48	4,49	3,67	3,58	4,20	4,10	3,11	3,36
150	3,21	3,26	3,60	3,29	3,14	3,87	3,96	3,12	3,32



(a)



(b)



(c)

Şekil4.123. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün işleme şartlarına göre değişimi

a) $t = 0,5\text{mm}$

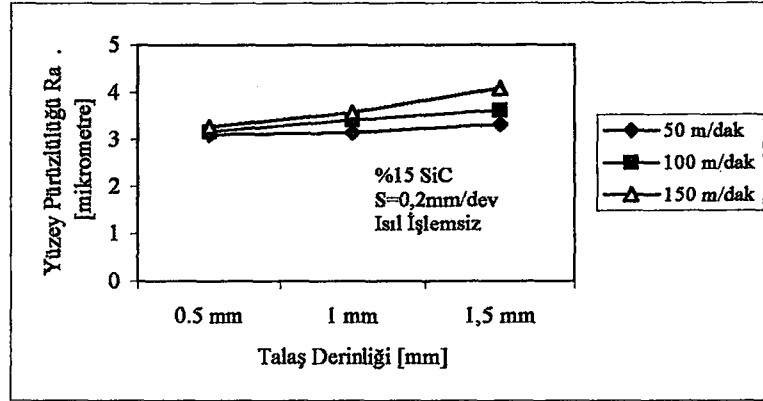
b) $t = 1\text{mm}$

c) $t = 1,5\text{mm}$

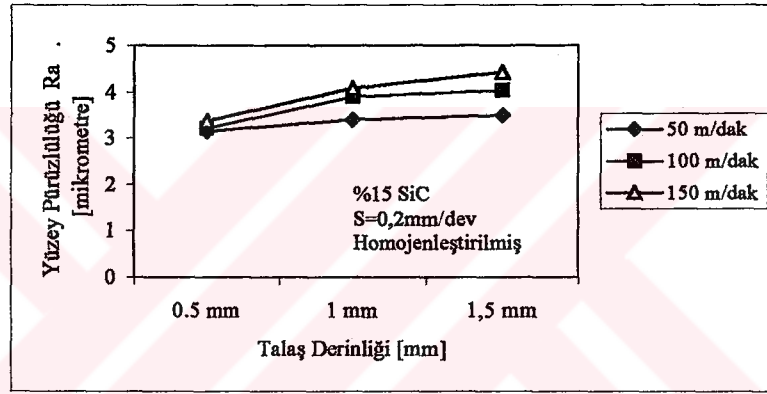
İlerleme hızları ile artan yüzey pürüzlülüğü değerleri aynı zamanda malzemenin sertlik değerlerindeki değişimin bir göstergesidir. İşlenmiş yüzeye yakın kısımlarda kesme parametrelerine bağlı olarak dislokasyon yığılmaları meydana gelir. Oluşan bu yığılmalar, matriksin dolaysı ile de kompozit malzemenin sertleşmesinin bir sebebidir [30, 31, 32].

Tablo4.115. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün paso derinliği ile değişimi (%15SiC, $S=0.2\text{mm/dev.}$)

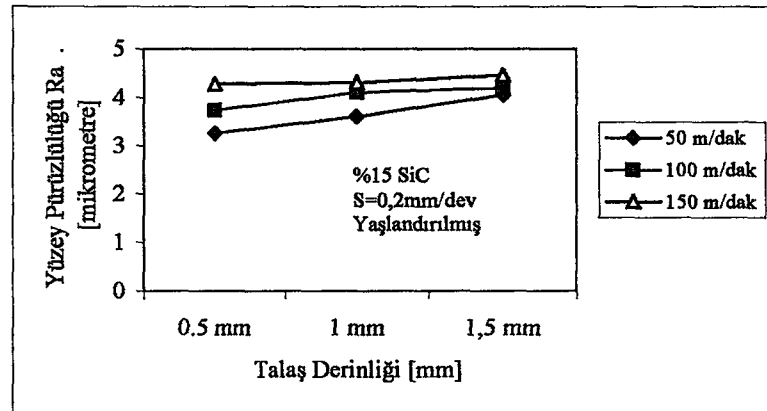
Kesme Hızı (m/dak)	Ra											
	İşlemsiz			Homojenleştirilmiş			Yaşlandırılmış			Soğuk Talaşlı İşleme		
	0.5	1	1.5	0.5	1	1.5	0.5	1	1.5	0.5	1	1.5
50	3,10	3,14	3,32	3,15	3,40	3,50	3,26	3,60	4,05	2,70	3,10	3,17
100	3,17	3,41	3,62	3,23	3,90	4,04	3,73	4,10	4,20	2,79	3,83	3,98
150	3,26	3,57	4,08	3,38	4,08	4,42	4,28	4,30	4,46	3,24	4,06	4,24



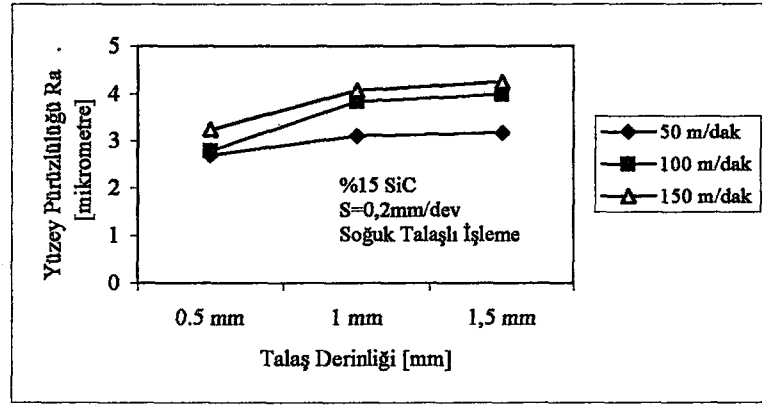
(a)



(b)



(c)



(d)

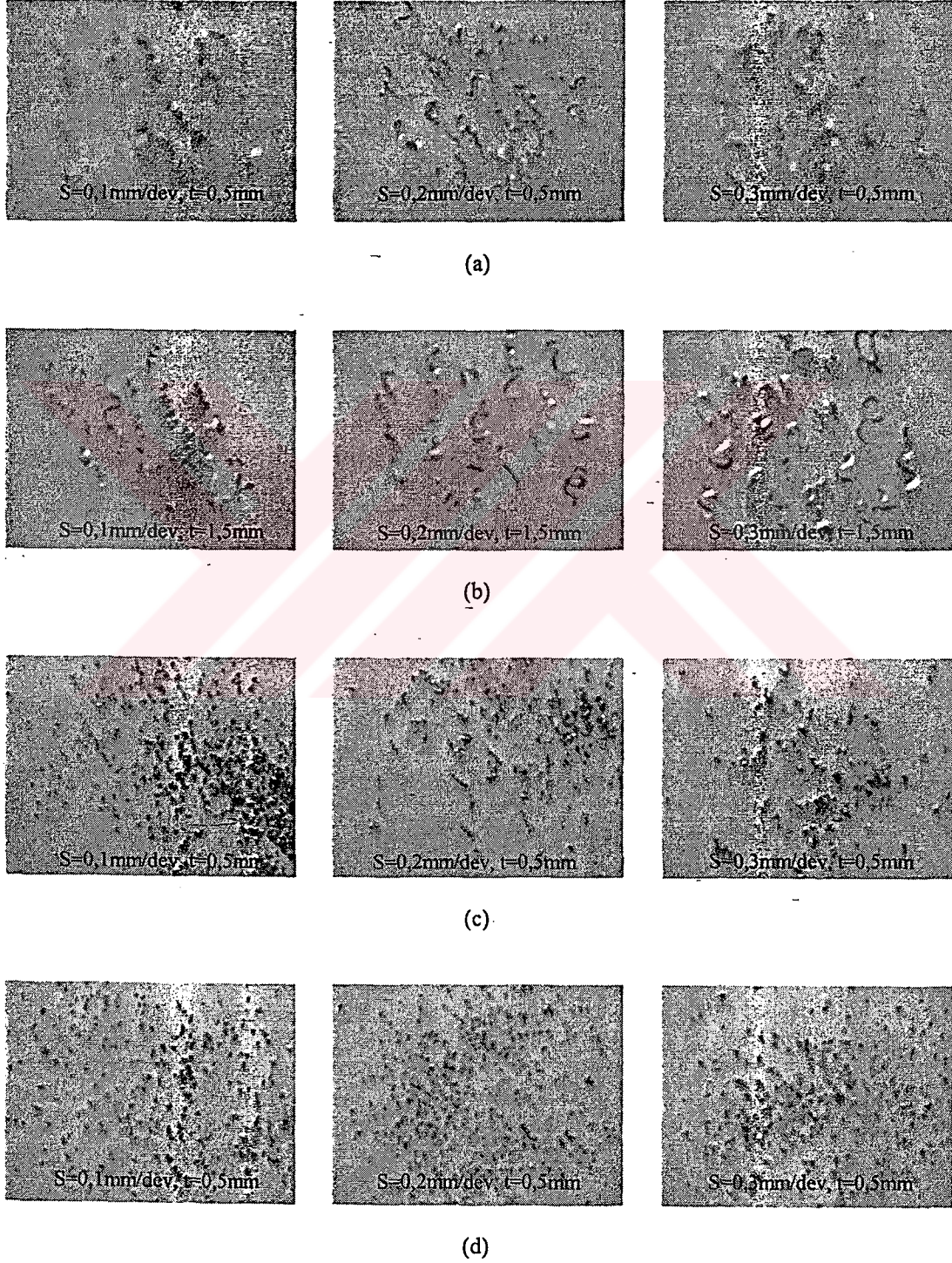
Şekil4.124. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün işleme şartlarına göre değişimi

a)Isıl işlemsiz b)Homojenleştirilmiş c)Yaşlandırılmış d) Soğuk Talaşlı İşleme

Tablo 4.115 ve Şekil 4.124'e kadar olan grafiklerden de görüldüğü gibi paso derinliği arttıkça ortalama yüzey pürüzlülüğü artmaktadır.

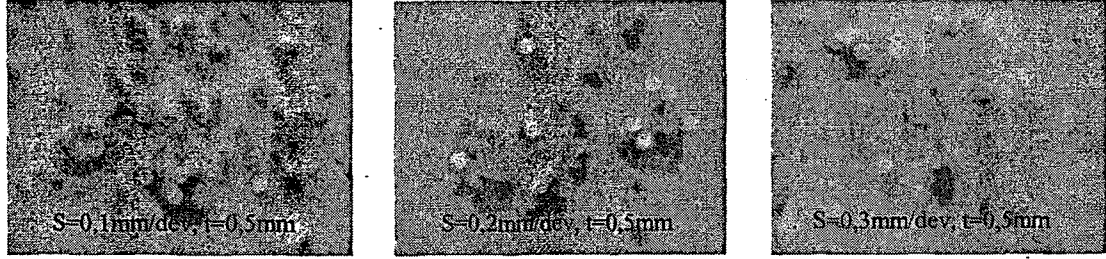
4.4. Tornalama Sonucu Elde Edilen Talaş Şekilleri

Al Si7 Mg2 metal matris kompozit malzemelerin talaşlı işlenmesi sonucu elde edilen talaş şekilleri Şekil 4.125-4.127'de görülmektedir.

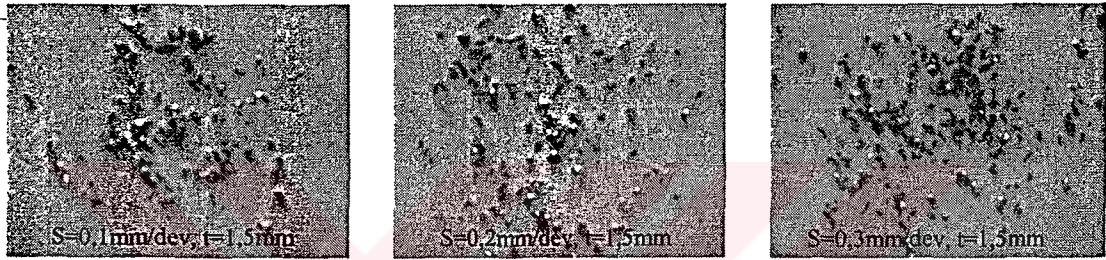


Şekil 4.125. Homojenleştirilmiş malzemenin talaşlı işleme sonucunda elde edilen talaş şekilleri:

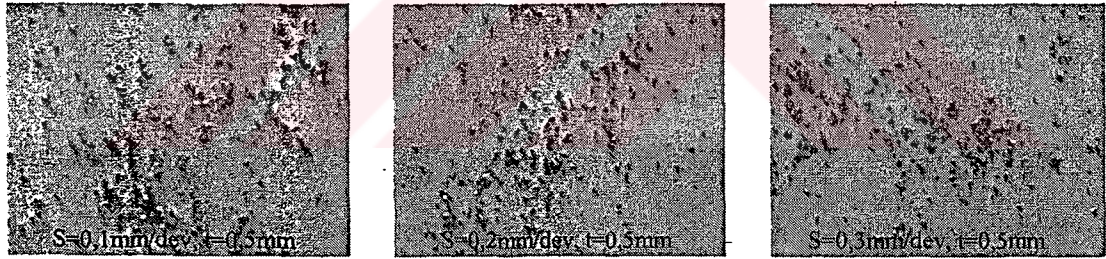
a) $V=150$ m/sn, b) $V=150$ m/sn, c) $V=100$ m/sn, d) $V=50$ m/sn



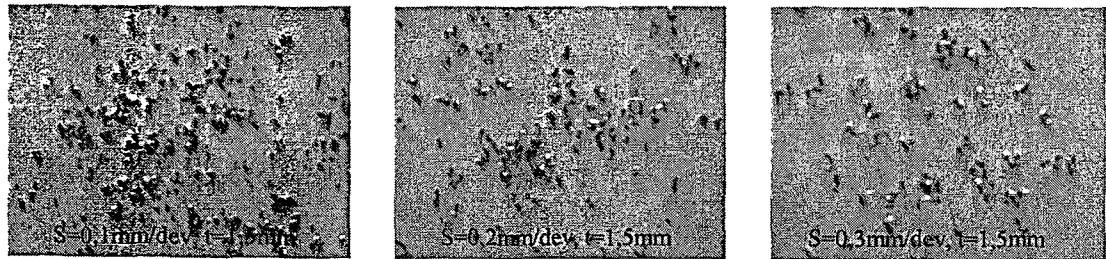
(a)



(b)

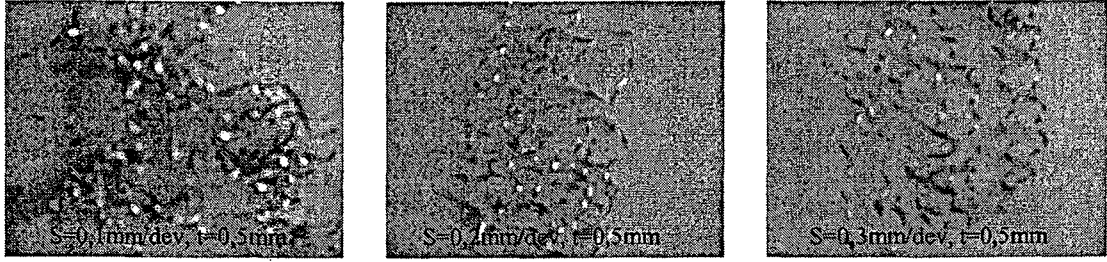


(c)

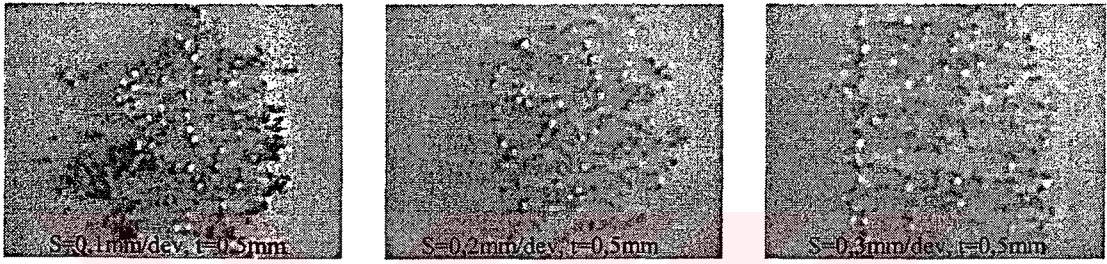


(d)

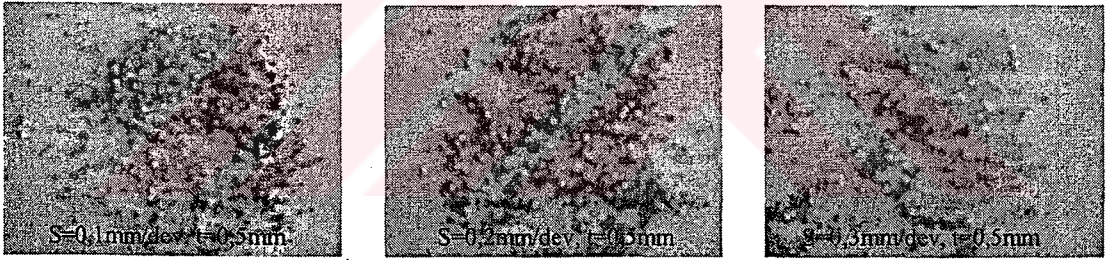
Şekil 4.126. Yaşlandırılmış malzemenin talaşlı işleme sonucunda elde edilen talaş şekilleri
a) $V=150$ m/sn, b) $V=150$ m/sn, c) $V=100$ m/sn, d) $V=100$ m/sn



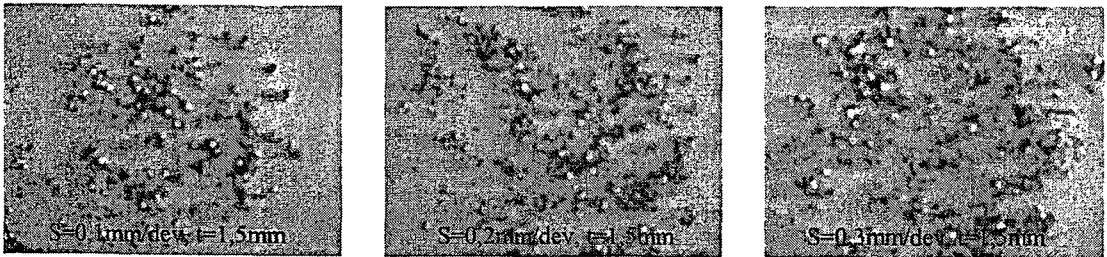
(a)



(b)

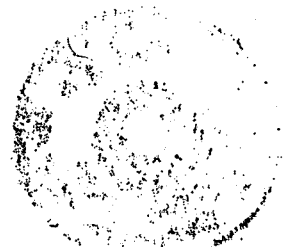


(c)



(d)

Şekil 4.127. Soğuk talaşlı işleme sonucunda elde edilen talaş şekilleri
a) $V=150$ m/sn, b) $V=100$ m/sn, c) $V=50$ m/sn, d) $V=50$ m/sn



5. DENEY SONUÇLARININ MATEMATİKSEL MODELLENMESİ

Talaşlı imalatta üretim hızının ve üretim ekonomikliğinin artırılabilmesi için kesme şartlarının en iyi şekilde belirlenmesi gerekir. Deneysel çalışmalar sonucu elde edilen değerlerle optimum kesme şartlarının tümünün birden belirlenmesi oldukça zordur. Bu nedenle takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğünde etkili olan kesme şartlarının (paso derinliği, ilerleme, kesme hızı gibi) en iyi şekilde belirlenmesi ve yüzey pürüzlülüğü ile takım ömrü denklemlerinin bilinmesi gerekir. Taylor (1907), sabit kesme şartları altında yaptığı ardışık deneyler neticesinde kesme hızı ile takım ömrü arasında bir bağıntı ortaya koymuş ve bir model geliştirmiştir[101]. En çok kullanılan $V.T^n=C$ şeklindeki bu modelde, kesici takım ile iş parçası çifti göz önüne alınarak kesme hızı ile takım ömrü arasında bir ilişki kurulmuştur. Kesme şartlarının değişmesi halinde Taylor modelinin kullanılması her zaman yeterli olmaz. Çünkü takım ömür denkleminin elde edilmesi için değişik kesme şartları altında çok fazla sayıda deneylerin yapılması gerekmektedir. Bu işlem ise çok sayıda zaman alacağı ve çok fazla miktarda iş parçası gerektirdiği için oldukça zordur. Gilbert (1950), tarafından geliştirilen ve bir anlamda Taylor modelinin tamamlayıcısı olan modelde paso derinliğinin ve ilerlemelerinde etkisi göz önüne alınmıştır. Bu modelde takım ömrü $T=C.V^\alpha.S^\beta.t^\gamma$ şeklinde ifade edilmiştir. Sıcak talaşlı imalat da ise yeni bir parametre olan sıcaklık, kesme hızı, ilerleme ve paso derinliği gibi parametrelerin üzerinde çok fazla etkilidir. Takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğü denklemlerinin tayininde sıcaklığın tesiri de göz önüne alınmalıdır [96, 97, 98].

Takım ömrü ve yüzey pürüzlülük denklemlerinde en fazla kullanılan teknik faktöriyel regresyon analiz metodudur. Bu metotlar bir çok araştırmacılar tarafından başarıyla kullanılmıştır. Geleneksel talaşlı imalat için takım ömür denkleminde ilk defa bu metot kullanılmıştır. Sıcak talaşlı imalat da ise takım ömür denkleminin tayininde bu metot bir çok araştırmacı tarafından kullanılmıştır. ayrıca deneysel çalışmalar sonucu yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesi için de bu metot kullanılabilir. Lu ve Chen (1974), yaptıkları çalışmalarında regresyon metodunu kullanarak yüzey pürüzlülüğü denklemlerini tayin etmişlerdir [96, 97, 98].

5.1. Regresyon Analiz ve Regresyon Metotları

Regresyon analiz iki veya daha fazla değişken arasında herhangi bir ilişkinin olup olmadığını, varsa bu ilişkinin derecesinin belirlenmesinde kullanılan metottur. Bir başka deyişle bir y değişkeninin diğer bir x değişkeni ile bağımlılığı inceleme konusu yapılarak bunlar arasındaki ilişkiler karşılıklı olarak incelenir. Matematikte bu ilişkiye fonksiyon adı verilir.

Değişkenler bağımsız değişkenler ve bağımlı değişkenler olmak üzere ayrım yapılırlar. Doğrusal regresyonda bağımlı değişkenin bir tek bağımsız değişkene olan regresyonu inceleme konusu yapılırken, çoklu regresyonda birden fazla bağımsız değişkenin tek bir bağımlı değişkene olan etkileri inceleme konusu yapılır. Regresyon analiz metodu deneysel araştırmayı, matematiksel metotları ve istatistik analizi içine alır. Bir araştırmacı amaç fonksiyonunu belirleme amacıyla ya bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi araştırır ya da optimum çözümü elde etmek için bağımsız değişkenlerin katsayılarını tespit etmek ister. Bu nedenle önceden belirlenen modelin katsayıları deneysel veriler yardımıyla tahmin edilir [99]. Talaşlı imalat da optimum kesme koşullarının elde edilmesi için deneylerin ya çok geniş aralıkta seçilmesi gerekir ya da deneysel tasarım iyi seçilmesi gerekir. Takım ömür ve yüzey pürüzlülük denkleminde en uygun tasarım faktöriyel denemeler olduğu ifade edilmiş ve kullanılmıştır[96]. Faktöriyel denemeler, çoğu kez değişik ve birbirleri ile ilişkili olmayan koşulların (faktörlerin) belli bir karaktere olan etkilerini incelemektedir. Bir başka anlatımla bir faktörün durumu diğer faktör ve faktörlerin değişik seviyelerinde ele alınmakta ve faktörler arasında karşılıklı etkileşim (iteraksiyon) olup olmadığı ortaya çıkarılmaktadır.

Regresyon fonksiyonu, bir tek bağımsız değişken durumunda iki boyutlu koordinat sisteminde bir eğriyi ifade eder. İki bağımsız değişken durumunda sabit regresyon kontürlerini meydana getirir. İki den fazla bağımsız değişken olması durumunda ise bunlar regresyon yüzeyleri ile temsil edilirler. Çoğu kez birden çok faktörün seviyelerinin ele alındığı faktöryel denemeler regresyon yüzeylerini hesaplamak amacıyla planlanmış denemeler olarak kabul edilir. Regresyon yüzeylerinin analizi, matematiksel metotlarla geliştirilmiş olan en küçük kareler metodunun kullanılması ile yapılır.

5.1.1. Basit Regresyon

$(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), \dots, (x_n, y_n)$ gibi bir takım ikili gözlemlerden meydana gelen düz bir doğru en küçük kareler yaklaşımının en basit örneğidir. Düz bir doğru için matematiksel ifade aşağıdaki gibi yazılır.

$$Y_i = a_0 + a_1 \cdot x_i + e \quad (5.1)$$

Burada a_0 ve a_1 eğimi temsil eden katsayılardır. e ise matematiksel model ve gözlemler arasındaki hatadır. 1 nolu denklem tekrar düzenlenirse;

$$e=Y_i-(a_0 + a_1.x_i) \quad (5.2)$$

Böylece hata, önceden lineer denklem yardımıyla elde edilen yaklaşık değer $(a_0 + a_1.x_i)$ ve Y_i 'nin gerçek değeri arasındaki fark olduğu görülür.

5.1.2. Regresyon Katsayılarının Elde Edilmesi

Deneysel gözlemlerdeki amaç x ve y arasındaki ilişkiyi gösteren en iyi hattı bulmaktır. Bu hattı temsil eden denkleme regresyon denklemi denir. Gözlemlere en iyi uyan hat en küçük kareler metodu yardımıyla bulunması yani a_0 ve a_1 katsayılarının elde edilmesidir. Bu işlem ise hataların (artıkların) karelerinin toplamının minimize edilmesi ile olur. Yani tahmin edilen Y_i değerlerindeki hata değerinin en küçük olmasıdır. Hataların toplamı;

$$\sum_{i=1}^n e_i = \sum_{i=1}^n (Y_i - a_0 - a_1.x_i) \quad (5.3)$$

şeklinde ifade edilir ve hataların karelerinin toplamı ise;

$$S_e = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - a_0 - a_1.x_i)^2 \quad (5.4)$$

şeklinde yazılabilir. x ve Y arasındaki ifade eden a_0 ve a_1 katsayıları, hataların karelerinin toplamının her bir katsayıya göre kısmi türevlerinin alınarak sıfıra eşitlenmesi ile elde edilir.

Kısmi türevleri;

$$\begin{aligned} \frac{\partial S_e}{\partial a_0} &= -2 \sum_{i=1}^n (Y_i - a_0 - a_1.x_i) \\ \frac{\partial S_e}{\partial a_1} &= -2 \sum_{i=1}^n (Y_i - a_0 - a_1.x_i).x_i \end{aligned} \quad (5.5)$$

şeklinde elde edilir. Bu değerlerin sıfıra eşitlenmesi ile bir minimum S_e değeri elde edilir.

Denklemden $\sum_{i=1}^n a_0$ yerine $n.a_0$ yazılırsa iki bilinmeyenli iki lineer denklem takımı elde edilir ve aşağıdaki gibi yazılır.



$$n.a_0 + \sum_{i=1}^n x_i.a_1 = \sum_{i=1}^n Y_i \quad (5.6)$$

$$\sum_{i=1}^n x_i.a_0 + \sum_{i=1}^n x_i^2.a_1 = \sum_{i=1}^n x_i.Y_i \quad (5.7)$$

Bu denklemler normal denklemler olarak adlandırılırlar. Denklemler sayısal çözümlendiğinde ise a_1 katsayısı;

$$a_1 = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i.Y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n Y_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad (5.8)$$

şeklinde elde edilir. Elde edilen a_1 katsayısı denklem (5.6)'da yerine konarak a_0 katsayısı elde edilir.

$$a_0 = \bar{Y} - a_1.\bar{x} \quad (5.9)$$

Denklem (5.9)'daki $\bar{Y}$ ve $\bar{x}$ değerleri sırasıyla her bir Y ve x değişkenlerinin aritmetik ortalamalarını ifade eder ve aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n} \text{ ve } \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (5.10)$$

5.1.3. Çoklu Regresyon

Regresyon fonksiyonları inceleme konusu yapıldığında gözlem değeri üç ya da daha fazla gruptandırmaya tabii tutulacaklarsa bunlar arasındaki ilişki artık eğrilerle temsil edilemezler. Çünkü üç ya da daha fazla boyutlu olduklarından regresyon yüzeyleri söz konusu olur. Örneğin herhangi bir x_1 değişkeninin x_2 değişkeni ile birlikte bir ürüne ya da sonuca etkisi varsa bu ilişkiyi bir eğri ile gösterme olanağımız yoktur. Bu ilişki ancak yüzeylerle temsil edilebilirler. x_1 , x_2 ve y arasındaki ilişkiyi grafiksel olarak gösterebilmek için üç karşılıklı dikey eksene ihtiyaç olmaktadır. Bu eksenler arasında meydana gelen noktalar ise yüzeyleri meydana getirirler.

Çoklu regresyonda bir bağımsız değişken ile birden fazla bağımsız değişken inceleme konusu yapılarak cevap fonksiyonu araştırılır. Çoklu regresyon için lineer fonksiyon aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$Y = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + a_3 \cdot x_3 + a_4 \cdot x_4 + \dots + a_m \cdot x_m \quad (5.11)$$

Basit regresyonda olduğu gibi bilinmeyen katsayılar hataların karelerinin toplamının bilinmeyen her bir katsayıya göre ayrı ayrı kısmi türevleri alınarak sıfıra eşitlenmesiyle elde edilir. Hataların karelerinin toplamı;

$$S_e = \sum_{i=1}^n (Y_i - a_0 - a_1 \cdot x_{1i} - a_2 \cdot x_{2i} - \dots - a_m \cdot x_{mi})^2 \quad (5.12)$$

şeklinde yazılır ve bilinmeyen katsayılara göre kısmi türevleri alınırsa;

$$\begin{aligned} \frac{\partial S_e}{\partial a_0} &= -2 \sum (Y_i - a_0 - a_1 \cdot x_{1i} - a_2 \cdot x_{2i} - \dots - a_m \cdot x_{mi}) \\ \frac{\partial S_e}{\partial a_1} &= -2 \sum (Y_i - a_0 - a_1 \cdot x_{1i} - a_2 \cdot x_{2i} - \dots - a_m \cdot x_{mi}) \\ &\vdots \\ \frac{\partial S_e}{\partial a_m} &= -2 \sum x_{mi} \cdot (Y_i - a_0 - a_1 \cdot x_{1i} - a_2 \cdot x_{2i} - \dots - a_m \cdot x_{mi}) \end{aligned} \quad (5.13)$$

denklemleri elde edilirler. Denklemlerdeki toplam sembolleri aksini belirtmedikçe 1'den n'e kadar olan toplamlarını ifade eder. Hataların karelerinin toplamının minimize edilmesi yani sıfıra eşitlenmesiyle;

$$\begin{aligned} n \cdot a_0 + \sum x_{1i} \cdot a_1 + \sum x_{2i} \cdot a_2 + \dots + \sum x_{mi} \cdot a_m &= \sum Y_i \\ \sum x_{1i} \cdot a_0 + \sum x_{1i}^2 \cdot a_1 + \sum x_{1i} \cdot x_{2i} \cdot a_2 + \dots + \sum x_{1i} \cdot x_{mi} \cdot a_m &= \sum x_{1i} \cdot Y_i \\ &\vdots \end{aligned}$$

$$\sum \hat{x}_{mi} \cdot a_0 + \sum x_{mi}^2 \cdot a_1 + \sum x_{mi} \cdot x_{2i} \cdot a_2 + \dots + \sum x_{1i} \cdot x_{mi}^2 \cdot a_m = \sum x_{mi} \cdot Y_i \quad (5.14)$$

normal denklem takımları elde edilir [100].

5.1.4. Lineer Olmayan Regresyon

Lineer regresyon datalardan en iyi doğruyu elde etmek için kullanılan bir tekniktir. Bununla beraber bağımsız ve bağımlı değişkenler arasında lineer olduğu önceden kabul edilir. Bu her zaman geçerli değildir ve bir lineer model kullanılmaksızın herhangi bir regresyon modeli uygulanarak datalar gözle görülür bir şekilde de kontrol edilir. Diğer taraftan dönüştürülebilir bir formda ki datalar lineer regresyon ile de ifade edilebilir. Örnek olarak aşağıdaki gibi eksponansiyel formdaki bir denklem ele alınabilir.

$$Y = a_1 \cdot e^{b_1 \cdot x} \quad (5.15)$$

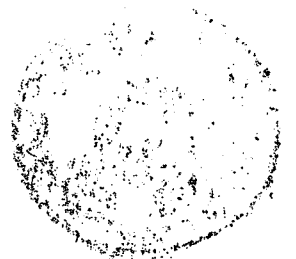
Burada a_1 ve b_1 birer sabiti ifade etmekte ve Y ile x arasında lineer olmayan bir ilişki vardır. Bu tip deneysel çalışmalarda denklemdaki katsayılar lineer olmayan regresyon tekniği kullanılarak elde edilirler. Bununla beraber alternatif olarak lineer olmayan denklem matematiksel dönüşümler kullanılarak lineer forma dönüştürülür ve daha sonra basit ya da çoklu lineer regresyondan datalara en uygun eğri elde edilir. Örnek olarak yukarıda verilen denklem ele alınırsa, lineer olmayan denklemin önce her iki tarafının doğal logaritması alınarak;

$$\ln Y = \ln a_1 + b_1 \cdot x \cdot \ln e \quad (5.16)$$

şeklinde elde edilir ve $\ln e = 1$ yazılırsa;

$$\ln Y = \ln a_1 + b_1 \cdot x \quad (5.17)$$

şeklinde lineer şekle dönüştürülür ve lineer regresyon kullanılmak suretiyle çözüm elde edilir.



5.1.5. Polinom Regresyonu

Deneysel datalar her zaman lineer veya logaritmik eğrilerle temsil edilemezler. Bu durumda bağımsız değişken x ile bağımlı değişken Y arasındaki ilişki genellikle ikinci ya da üçüncü derece polinomlara uydurulabilirler. Bu tip eğrilerde en yüksek üslü bağımsız değişken sayısında bir eksik sayıda pik (en yüksek nokta) ve depresyon (en düşük nokta) vardır. İkinci derecede çoklu polinom regresyonda bağımsız $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ ve bağımlı Y değişkeni arasındaki ilişki genel formda;

$$Y = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i x_i + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n a_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} x_i x_j \quad (5.18)$$

şeklinde yazılır. Denklemdaki n bağımsız değişken sayısıdır. Bilinmeyen katsayılar çoklu lineer regresyonda olduğu gibi hataların karelerinin toplamının minimize edilmesi ile elde edilir.

5.2. Regresyon Metodu İçin Matris Formülasyonu

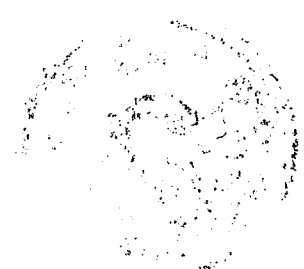
Regresyon analiz basit lineer, çoklu lineer regresyon ve lineer olmayan regresyon olmak üzere üç tipi vardır. Her üç regresyon tipi için en küçük kareler metoduna göre genel denklem aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$Y = a_0 z_0 + a_1 z_1 + a_2 z_2 + \dots + a_m z_m \quad (5.19)$$

Burada $z_0, z_1, \dots, z_m$ farklı $m+1$ fonksiyonlarıdır. Basit ve çoklu lineer regresyonda $z_0=1, z_1=x_1, \dots, z_m=x_m$ olduğu kolay bir şekilde görülür. Lineer olmayan regresyonda ise $z_0=x^0, z_1=x, z_2=x^2, z_3=x^3, \dots, z_m=x^m$ şeklindedir. Denklem (5.19) matris notasyonda genel olarak aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\{Y\} = [z] \{a\} + \{E\} \quad (5.20)$$

Burada $[z]$, bağımsız değişkenler matrisidir ve bu matris aşağıdaki gibi yazılabilir.



$$[Z] = \begin{bmatrix} z_{01} & z_{11} & \dots & z_{m1} \\ z_{02} & z_{12} & \dots & z_{m2} \\ z_{03} & z_{13} & \dots & z_{m3} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{0n} & z_{1n} & \dots & z_{mn} \end{bmatrix} \quad (5.21)$$

Burada m değişkenlerin sayısı ve n data sayısıdır. $\{Y\}$ ise bir kolon vektörü olup bağımlı değişkenlerin gözlem değerini ifade eder ve aşağıdaki gibi yazılır.

$$\{Y\}^T = [Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_n] \quad (5.22)$$

Denklemler 5.13'deki $\{a\}$ bilinmeyen katsayılar ve $\{E\}$ ise hataların kolon vektörü olup aşağıdaki gibi yazılabilirler.

$$\begin{aligned} \{a\}^T &= [a_0, a_1, a_2, \dots, a_m] \\ \{e\}^T &= [e_0, e_1, e_2, \dots, e_n] \end{aligned} \quad (5.23)$$

Daha önceki bölümlerde ifade edildiği gibi hataların karelerinin toplamı bu model için aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$S_e = \sum_{i=1}^n (Y_i - \sum_{j=1}^{m+1} a_j \cdot z_{ji})^2 \quad (5.24)$$

Her bir katsayıya göre hataların karelerinin minimize edilmesi yani kısmi türevlerinin alınması ve sıfıra eşitlenmesi ile normal denklemler elde edilir. Bu denklemler matris notasyonda aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$[Z]^T [Z] \cdot \{a\} = [Z]^T \cdot \{Y\} \quad (5.25)$$

Denklemin çözümü matrisin inversinin alınması ile elde edilir ve $\{a\}$ vektörü aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\{a\} = \left[[z]^T [z] \right]^{-1} [z]^T \cdot \{Y\} \quad (5.26)$$

5.2.1. Önemlilik Testi

Çok değişkenli regresyonlar da Y bağımlı değişken ile $z_1, z_2, z_3, \dots, z_m$ bağımsız değişkenleri arasında doğrusal bağımlılığın bir ölçüsü;

$$r = \left(\frac{S_r}{S_r + S_e} \right)^{1/2} \quad (5.27)$$

şeklinde tanımlanan korelasyon katsayısıdır. r 'nin 1'e yaklaşması regresyon denkleminin ifade ettiği ilişkinin daha doğru bir şekilde olduğunu gösterir. Regresyon denklemindeki m bağımsız değişken sayısı arttıkça r 'nin değeri de artar. Ancak bu durum regresyon denkleminin yapılacak tahminlerdeki hata $n-(m+1)$ 'e eşit olan serbestlik derecesinin azalması yüzünden artabileceği için bağımsız değişken sayısının artması ile regresyon denkleminin daha az hatalı tahminler verebilmesi ancak r 'nin m ile hızlı bir şekilde artması ile mümkün olur.

Kabul edilen regresyon denkleminin $E(y) = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \beta_3 \cdot x_3 + \beta_4 \cdot x_4$ şeklinde olması nedeniyle; F_α testi, regresyon fonksiyonunun önemli olup olmadığını (yani y ile x_1, x_2, x_3 ve x_4 arasındaki ilişki önemlidir ya da önemli değildir şeklinde) belirlemek için kullanılır. Bu test H_0 : hipotezinin kabul edilmesi yani $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4 = 0$ katsayılarının en az birisi sıfır ya da birbirine eşit olması ya da kabul edilmemesi (H_1 : hipotezinin kabul edilmesi $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ ve β_4 katsayılarının en az birisinin sıfıra ya da birbirine eşit olmaması olarak değerlendirilir. Bunun için;

$$F = \frac{S_r / m}{S_e / (n - m - 1)} \quad (5.28)$$

şeklinde tanımlanan F istatistiği kullanılır. Burada S_r regresyon kareler toplamı olup aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$S_r = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^{m+1} a_j \cdot z_{ji} - \bar{Y} \right)^2 \quad (5.29)$$

Denklem (5.28)'de verilen istatistiğin dağılımı s.d.=m, n-m-1 olan F dağılımıdır. (5.28) denklemini ile hesaplanan F değeri F_α anlamlılık düzeyindeki α kritik değerinden büyükse H_0 : hipotezi reddedilir yani değişkenler arasında anlamlı bir bağımlılığın bulunduğu kabul edilir. Uygulamalar da α için genellikle 0.05 kullanılır. anlamlılık düzeyi için standart bir değerin seçilmesi ile bilgilerin iletişimde kolaylık sağlanmış olur. Seçilen F_α değeri küçüldükçe testin sonucu daha anlamlı bir hale gelir. Çünkü bu durumda H_0 : hipotezi reddedilmesiyle yanlış bir karar verme olasılığı daha da azalır [96].

5.3. Faktöriyel Denemeler

Bir çok durumda birden çok faktörün değişik seviyelerinin ele alındığı faktöriyel denemeler regresyon yüzeylerini hesaplamak amacıyla planlanmış denemeler olarak kabul edilirler[99]. Bu gibi yüzeyler sayesinde esas etki ve iteraksiyonlar karşılıklı açıklanabilmektedirler.

Araştırmalarda çoğu kez değişik ve birbirleri ile ilişkili olmayan konuların (faktörlerin) belli bir karaktere olan etkileri inceleme konusu yapılmaktadır. Fakat bazı araştırma problemlerinde, ilgilendiğimiz bir karakteri değişik faktörlerin etkiledikleri düşünülür ve her faktörün bağımsız etkisi kadar diğer faktöründe etkisini bilmek isteriz. Faktöriyel olarak düzenlenen denemelerde iteraksiyon olmasa dahi, faktörler değişik şartlarda düzenlendiklerinde, sonuçlar daha güvenilir ve daha geniş uygulama alanına sahip olmaktadır.

Faktöriyel denemelerde, denemeye alınan değişik faktörlerin etkileri birbirinden bağımsız veya bağımlı olabilirler. Eğer faktörler arasında iteraksiyon yok ise bu faktörlerin etkileri bağımsızdır denir. Aksi halde etkilerin birbirlerine bağımlı oldukları yani birinin etkisi diğerine bağlı olarak değiştiği kabul edilir. Faktöriyel denemeler deneysel çalışmayı, matematiksel modeli ve istatistik analizi içine alan bir koleksiyondur.

Faktöriyel denemede deneysel planı oluştururken her faktör belirlenen seviyelerde alınır. Her faktörün iki seviyede deneysel tasarım 2^n faktöriyel tasarım olarak adlandırılırlar. Birinci derece modellerde iki seviyeli faktöriyel tasarım kullanılabilir. Deneysel dizaynı oluşturan her faktör üç seviyede oluşturuluyorsa 3^n faktöriyel tasarım olarak ifade edilirler. Bu tip deneysel tasarımlar ikinci derece modellerde kullanılırlar[96].

$$Z = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} D$$

şeklinde yazılır.

5.4. Kesici Takımdaki Aşınmanın Matematiksel Modellenmesi

Kesici takımında oluşan yan yüzey aşınmasına (V_B) ait matematiksel model elde edilirken; işleme zamanı (T), kesme hızı (V), ilerleme hızı (S) ve kesme derinliğine (t) bağlı olarak lineer olmayan regresyon modeli:

$$V_B = e^{a_1} \cdot T^{a_2} \cdot V^{a_3} \cdot S^{a_4} \cdot t^{a_5} \quad (5.30)$$

güç fonksiyonu şeklinde ifade edilmiştir. Bu denklemin her iki tarafının doğal logaritması alınarak lineer hale dönüştürülerek lineer çoklu regresyona göre çözüm yapıldı. Daha sonra yan yüzey aşınmasına ait a katsayıları MATLAB Ver 6.0'da hazırlanan bir program yardımıyla elde edildi. Hazırlanan program yardımıyla %5 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 MMK malzemenin talaşlı işlenmesinde kaplamalı takımdaki oluşan aşınma için gerekli olan a katsayıları:

$$a_1 = -5.5913$$

$$a_2 = 0.8063$$

$$a_3 = 0.4674$$

$$a_4 = 0.3899$$

$$a_5 = 0.2702$$

ve korelasyon katsayısı;

$$r = 0.9498$$

şeklinde elde edilir. Bu katsayılar denklem(5.30)'da yerine konur ve düzenlenirse kesici takımındaki aşınmaya ait matematiksel model:

$$V_B = \frac{T^{0.8063} . V^{0.4674} . S^{0.3899} . t^{0.2702}}{e^{5.5913}} \quad (5.31)$$

şeklinde elde edilir.

%5 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 MMK malzemenin talaşlı işlenmesinde kaplamasız takımındaki oluşan aşınma için gerekli olan a katsayıları:

$$a_1 = -5.6700$$

$$a_2 = 0.7167$$

$$a_3 = 0.5554$$

$$a_4 = 0.2130$$

$$a_5 = 0.1266$$

ve korelasyon katsayısı;

$$r = 0.9729$$

şeklinde elde edilir. Bu katsayılar denklem(5.30)'da yerine konur ve düzenlenirse kesici takımındaki aşınmaya ait matematiksel model:

$$V_B = \frac{T^{0.7167} . V^{0.5554} . S^{0.2130} . t^{0.1266}}{e^{5.6700}} \quad (5.32)$$

Aynı şekilde %15 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 MMK malzemenin talaşlı işlenmesinde kaplamalı takımındaki oluşan aşınma için gerekli olan a katsayıları:

$$a_1 = -5.0345$$

$$a_2 = 0.6416$$

$$a_3 = 0.4564$$

$$a_4 = 0.1769$$

$$a_5 = 0.1808$$

ve korelasyon katsayısı;

$$r = 0.9762$$

şeklinde elde edilir. Bu katsayılar denklem(5.30)'da yerine konur ve düzenlenirse kesici takımındaki aşınmaya ait matematiksel model:

$$V_B = \frac{T^{0.6416} V^{0.4564} S^{0.1769} t^{0.1808}}{e^{5.0345}} \quad (5.33)$$

şeklinde elde edilir.

%15 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 MMK malzemenin talaşlı işlenmesinde kaplamasız takımındaki oluşan aşınma için gerekli olan a katsayıları:

$$a_1 = -4.3988$$

$$a_2 = 0.6211$$

$$a_3 = 0.3862$$

$$a_4 = 0.1737$$

$$a_5 = 0.1182$$

ve korelasyon katsayısı;

$$r = 0.9736$$

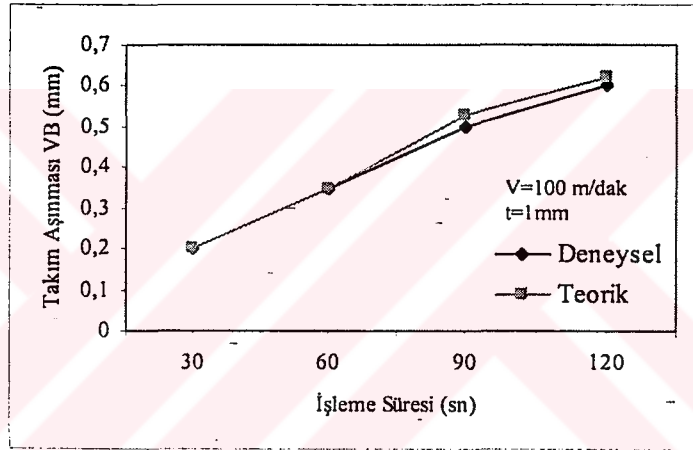
şeklinde elde edilir. Bu katsayılar denklem(5.30)'da yerine konur ve düzenlenirse kesici takımındaki aşınmaya ait matematiksel model:

$$V_B = \frac{T^{0.6211} V^{0.3862} S^{0.1737} t^{0.1182}}{e^{4.3988}} \quad (5.34)$$

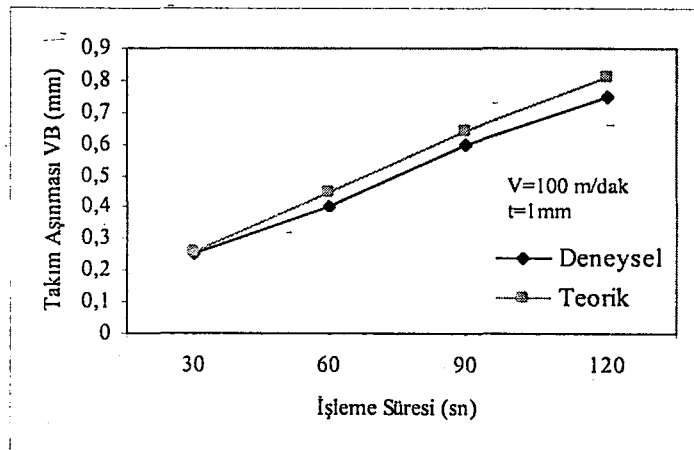
şeklinde elde edilir. Bulunan bu matematiksel denklemler kullanılarak değerler tablolar (Tablo 5.1-5.4) haline getirildi ve grafikleri çizildi (Şekil 5.1-5.4).

Tablo 5.1. Matematiksel modelde kullanılan değişkenler ve elde edilen takım aşınmaları
(%5 SiC, Kaplamalı, İşlemsiz)

Deney No:	İşleme Zamanı T (sn)	Kesme Hızı V (m/sn)	İlerleme S (mm/dev)	Paso Derinliği t (mm)	Aşınma [VB]	
					DeneySEL	Teorik
1	30	100	0.1	1	0.20	0.20
2	30	100	0.2	1	0.25	0.26
3	60	100	0.1	1	0.35	0.35
4	60	100	0.2	1	0.40	0.45
5	90	100	0.1	1	0.50	0.53
6	90	100	0.2	1	0.60	0.64
7	120	100	0.1	1	0.60	0.62
8	120	100	0.2	1	0.75	0.81



(a)



(b)

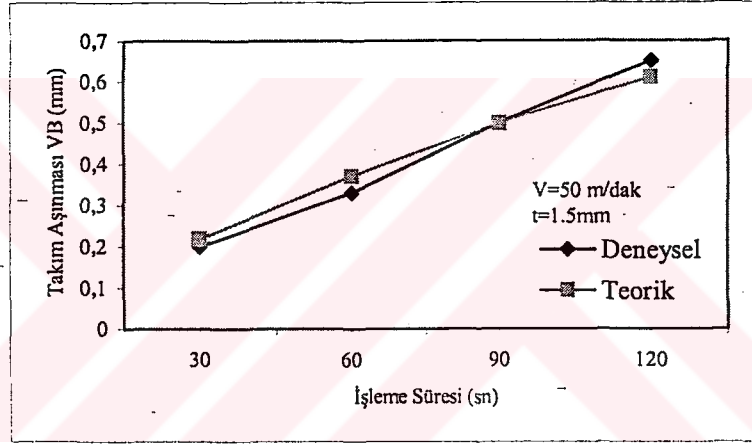
Şekil 5.1. DeneySEL ve teorik işleme süresi-aşınma ilişkisi

a) S=0.1mm/dev, b) S=0.2 mm/dev

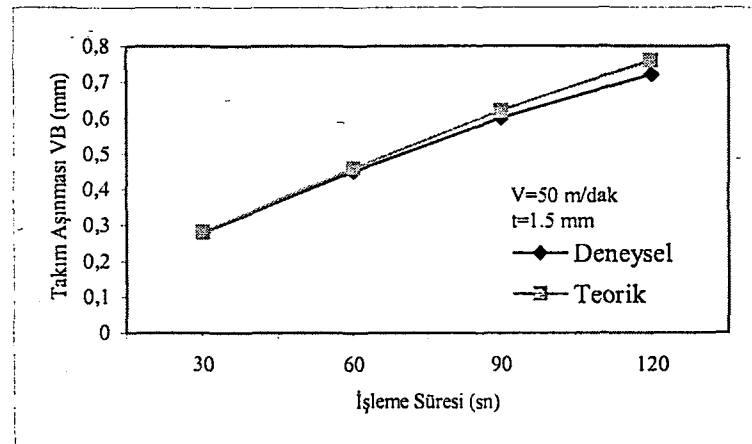
T.C. YATIRIM MENKUL DEĞERLER A.Ş. KURULU
DOKÜMANASYON MERKEZİ

Tablo 5.2. Matematiksel modelde kullanılan değişkenler ve elde edilen takım aşınmaları
(%5 SiC, Kaplamalı, İşlemsiz)

Deney No:	İşleme Zamanı T (sn)	Kesme Hızı V (m/sn)	İlerleme S (mm/dev)	Paso Derinliği t (mm)	Aşınma [VB]	
					Deneysel	Teorik
1	30	50	0.1	1.5	0.20	0.22
2	30	50	0.3	1.5	0.28	0.28
3	60	50	0.1	1.5	0.33	0.37
4	60	50	0.3	1.5	0.45	0.46
5	90	50	0.1	1.5	0.50	0.50
6	90	50	0.3	1.5	0.60	0.62
7	120	50	0.1	1.5	0.65	0.61
8	120	50	0.3	1.5	0.72	0.76



(a)



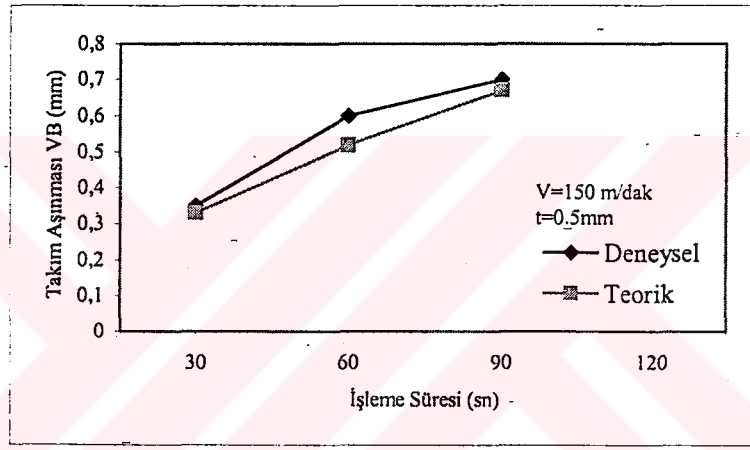
(b)

Şekil 5.2. Deneysel ve teorik işleme süresi-aşınma ilişkisi

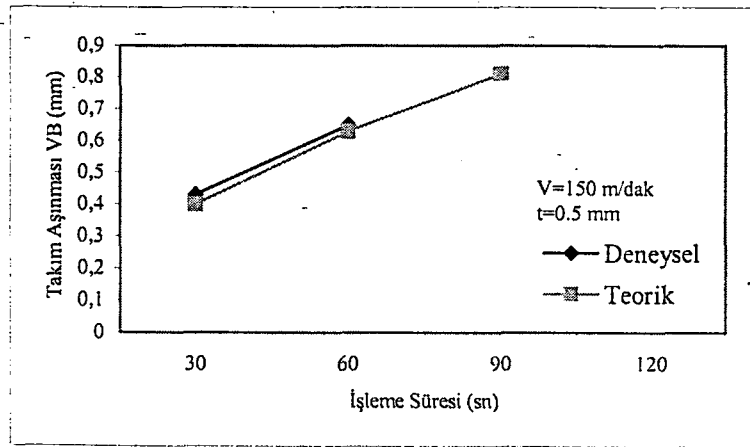
a) S=0.1mm/dev, b) S=0.3 mm/dev

Tablo 5.3. Matematiksel modelde kullanılan değişkenler ve elde edilen takım aşınmaları
(%15 SiC, Kaplamalı, İşlemsiz)

Deney No:	İşleme Zamanı T (sn)	Kesme Hızı V (m/sn)	İlerleme S (mm/dev)	Paso Derinliği t (mm)	Aşınma [VB]	
					Deneyssel	Teorik
1	30	150	0.1	0.5	0.35	0.33
2	30	150	0.3	0.5	0.43	0.40
3	60	150	0.1	0.5	0.60	0.52
4	60	150	0.3	0.5	0.65	0.63
5	90	150	0.1	0.5	0.70	0.67
6	90	150	0.3	0.5		0.81



(a)



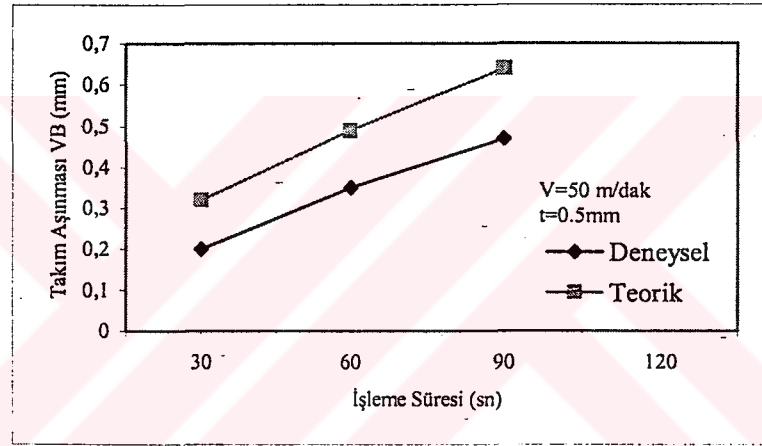
(b)

Şekil 5.3. Deneyssel ve teorik işleme süresi-aşınma ilişkisi

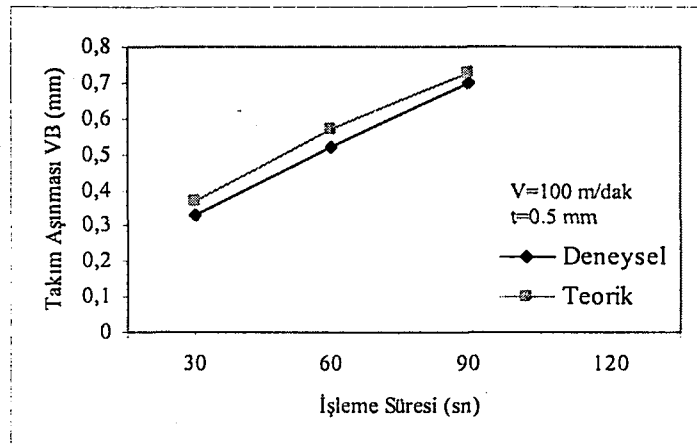
a) S=0.1mm/dev, b) S=0.3 mm/dev

Tablo 5.4. Matematiksel modelde kullanılan değişkenler ve elde edilen takım aşınmaları
(%15 SiC, Kaplamalı, İşlemsiz)

Deney No:	İşleme Zamanı T (sn)	Kesme Hızı V (m/sn)	İlerleme S (mm/dev)	Paso Derinliği t (mm)	Aşınma [VB]	
					Deneyssel	Teorik
1	30	50	0.2	0.5	0.20	0.32
2	30	100	0.1	0.5	0.25	0.37
3	60	50	0.2	0.5	0.35	0.49
4	60	100	0.1	0.5	0.40	0.57
5	90	50	0.2	0.5	0.47	0.64
6	90	100	0.1	0.5	0.53	0.73



(a)



(b)

Şekil 5.4. Deneyssel ve teorik işleme süresi-aşınma ilişkisi

a) S=0.2mm/dev, b) S=0.1 mm/dev

5.5. Yüzey Pürüzlülüğünün Matematiksel Modeli

Takım-iş parçası çifti, kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliğine bağlı olarak ifade edilen ve genellikle araştırmacılar tarafından kullanılan yüzey pürüzlülük denklemi;

$$Ra = e^{a_1} \cdot V^{a_2} \cdot S^{a_3} \cdot t^{a_4} \quad (5.35)$$

Güç fonksiyonu şeklinde ifade edilmiştir. % 15 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 MMK malzemeni talaşlı işlenmesi sonucunda malzemenin yüzey pürüzlülüğüne ait a regresyon katsayıları:

$$a_1 = 0.8002$$

$$a_2 = 0.1234$$

$$a_3 = 0.0738$$

$$a_4 = 0.0938$$

ve korelasyon katsayısı;

$$r = 0.8902$$

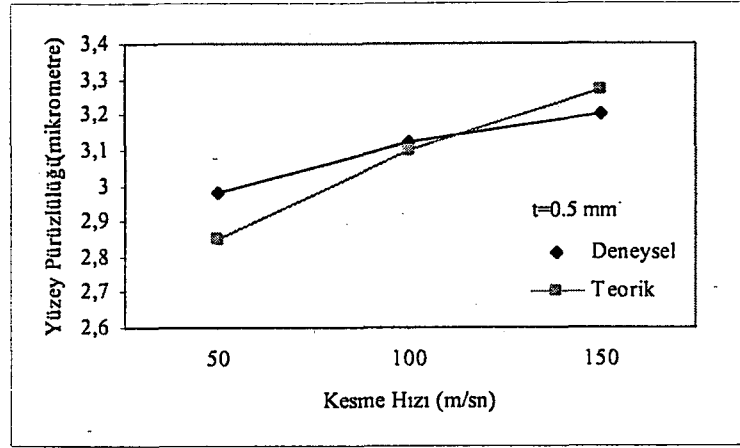
şeklinde elde edildi. Bu katsayılar denklem(5.35)'te yerine konur ve düzenlenirse iş parçası yüzey pürüzlülüğüne ait matematiksel model:

$$Ra = e^{0.8002} \cdot V^{0.1234} \cdot S^{0.0738} \cdot t^{0.0938} \quad (5.36)$$

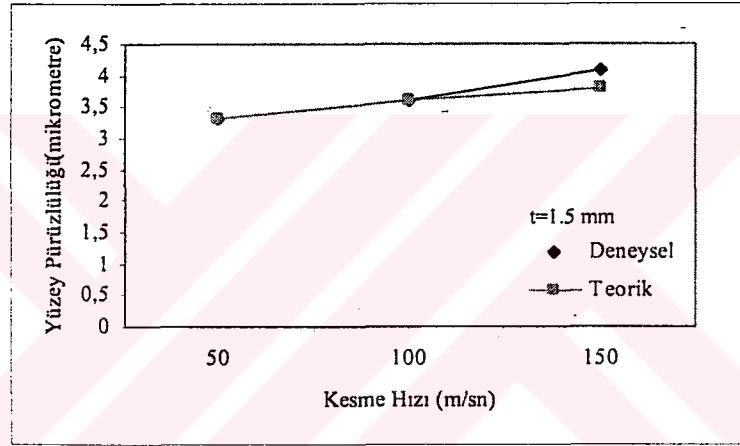
şeklinde elde edilir. Elde edilen değerler Tablo 5.5'te verilerek grafikleri çizildi(Şekil 5.5).

Tablo 5.5. Matematiksel modelde kullanılan değişkenler ve elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri (%15 SiC, İşlemsiz)

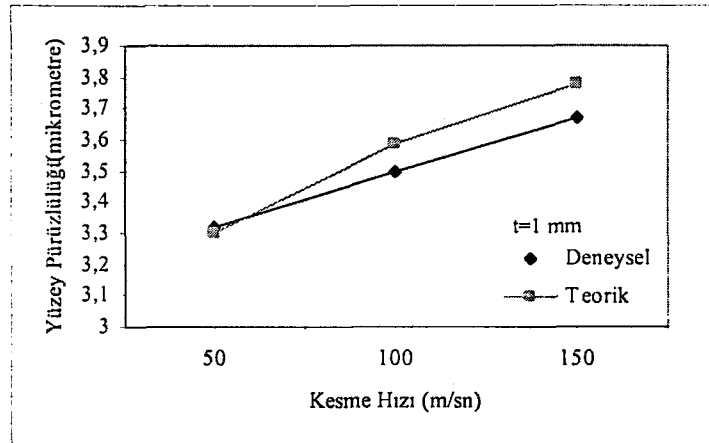
Deney No	Kesme Hızı V (m/sn)	İlerleme S (mm/dev)	Paso Derinliği t (mm)	Pürüzlülük (μm)	
				Deneysel	Teorik
1	50	0.1	0.5	2.98	2.85
2	100	0.1	0.5	3.12	3.10
3	150	0.1	0.5	3.20	3.27
4	50	0.2	1.5	3.32	3.33
5	100	0.2	1.5	3.62	3.62
6	150	0.2	1.5	4.08	3.81
7	50	0.3	1	3.32	3.30
8	100	0.3	1	3.46	3.59
9	150	0.3	1	3.67	3.78



(a)



(b)



(c)

Şekil 5.5. Deneyisel ve teorik yüzey pürüzlülüğü-kesme hızı ilişkisi

a) $S=0.1\text{mm/dev}$, b) $S=0.2\text{mm/dev}$ c) $S=0.3\text{mm/dev}$

6. SONUÇLARIN İRDELENMESİ

Yapılan bu çalışmada, %5 ve 15 SiC_p takviyeli Al Si7 Mg2 metal matriks kompozit malzemenin üretimi yapılarak, torna tezgahında; kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlar kullanılarak, takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü ısıt işlem, kesme hızı, talaş derinliği ve ilerleme hızının etkisine bağlı olarak incelenmiştir.

Parçacık takviyeli metal matriks kompozitlerin daha yaygın olarak kullanılmamasının önemli sebeplerinden birisi de bu malzemelerin kötü işlenebilirliğidir. Çünkü geleneksel malzeme için gerekli bilgi ve tecrübe bu malzemelerde uygulanmaz. Bu malzemelerin işlenebilirliği geleneksel malzemelerden tamamen farklıdır. MMK'lerin işlenmesi üzerine yapılan araştırmalarda daha çok deneysel çalışmalara yönelmiş olup bu da MMK'lerde kesme mekanizmasının temelden araştırılmasını gerekli kılmaktadır [53].

Tornalama işlemlerinden önce kompozit malzemelere uygulanan ısıt işlemler, matriks yapısını değiştirmek ve matrikse farklı mekanik özellikler kazandırmak için yapılmıştır. Kompozit malzemelerdeki SiC partiküllerin hacim yüzdesi ve dağılımları ısıt işlemlerle etkilanmemektedir [36]. Bununla birlikte, ısıt işleme; matriks malzemesinde çökelme sertleşmesinin oluşması sonucu kompozitin sertliği değişmektedir. Kompozit malzemenin farklı ısıt işlem sonucu sertliğinde meydana gelen değişimler (Tablo 4.2) matriks malzemesinde çökelme sertleşmesi meydana geldiğini göstermektedir. Yaşlandırma işlemi sonucu Al matrikste çok küçük partiküllerin çökmesi (θ' -CuAl₂) matriksin sertliğini arttırmaktadır. Bu çökelte partiküllerinin boyutlarının çok küçük olması nedeniyle optik mikroskop altında gözlenmeleri mümkün değildir [91].

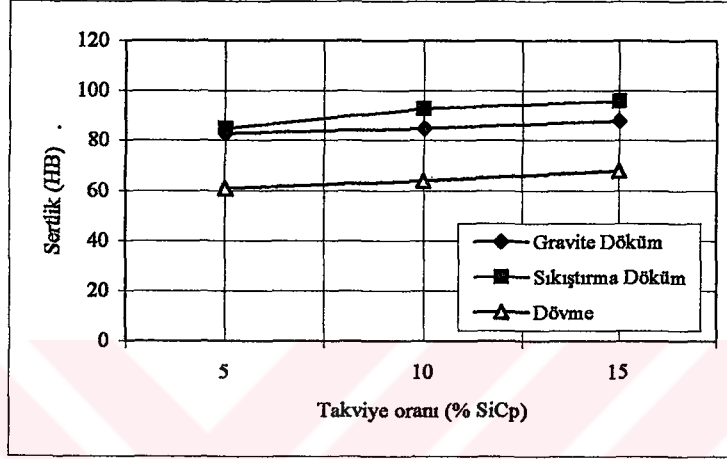
Üretilen deney numunelerinde sertlik, takviye miktarının artması ile orantılı olarak yükselmiştir. ısıt işlem uygulanan metal matriks kompozit malzeme numunelerinde en yüksek sertlik değeri %15 SiC_p takviyeli Al Si7 Mg2 kompozit malzemenin yaşlandırılması sonucu elde edilmiştir. Bakınız Şekil 4.2.

Yapılan bir çalışmada, Al Si7 Mg alaşımlı matriks malzemesinin (SiC_p takviye edilmemiş malzeme) Brinell sertlik değeri 65 olduğu dikkate alındığında, Tablo 6.1'de görüldüğü gibi sertlik değerinde maksimum yükselme, %32'lik bir artış ile sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilen %15 SiC_p takviyeli kompozit olduğu belirlenmiştir[62].



Tablo 6.1. Farklı üretim metotları ile üretilmiş Al Si7 Mg2 MMK malzemenin Brinell Sertlik değerleri[62]

Takviye oranı (% Ağırlık)	Sertlik (HB)		
	Gravite Döküm	Sıkıştırma Döküm	Dövme
% 5 SiC _p	83	85	61
% 10 SiC _p	85	93	64
% 15 SiC _p	88	96	68

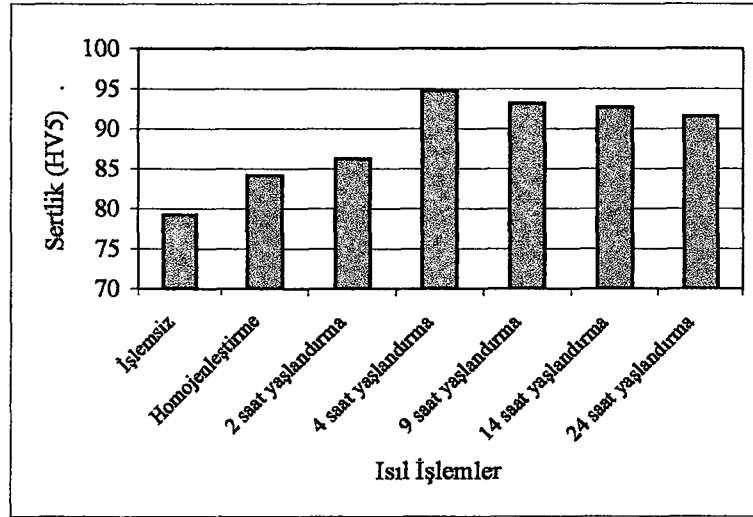


Şekil 6.1. Al Si7 Mg2 MMK malzemenin Brinell Sertlik değerleri[62]

Tosun (2002), %17 SiC_p takviyeli 2124 Al kompozitinin işlenmesinde matriks özelliklerinin işleme şartlarına etkisinin araştırılması adlı çalışmada, deneylerde kullanılan iş parçaları üzerinde ısıtılma işleminin delme performansı üzerindeki etkisini belirlemeye çalışmıştır. Deneyler, ısıtılma işleminin delme performansı üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla ısıtılma işlemsiz ve homojenleştirme, 4 saat ve 24 saat yaşlandırma gibi 3 farklı ısıtılma işlem uygulanmış numuneler üzerinde gerçekleştirilmiş ve sertliklerini tespit etmiştir (Tablo 6.2, Şekil 6.2)[45]. Şekil 6.2 incelendiğinde, yaşlandırma sonucu en yüksek sertlik değeri 4 saat yaşlandırılmış deney numunelerinde olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 6.2. Isıl işlem şartları ve sertlik değerleri[45]

Isıl işlem	Çözündürme işleme	Soğutma şartları	Yaşlandırma işlemi	Sertlik (HV5)
İşlemsiz	-	-	-	79.32
Homojenleştirme	500°C'de 4 saat	Suya çekme	-	84.15
2 saat yaşlandırma	500°C'de 4 saat	Suya çekme	190°C'de 2 saat	86.26
4 saat yaşlandırma	500°C'de 4 saat	Suya çekme	190°C'de 4 saat	94.7
9 saat yaşlandırma	500°C'de 4 saat	Suya çekme	190°C'de 9 saat	93.11
14 saat yaşlandırma	500°C'de 4 saat	Suya çekme	190°C'de 14 saat	92.65
24 saat yaşlandırma	500°C'de 4 saat	Suya çekme	190°C'de 24 saat	91.48



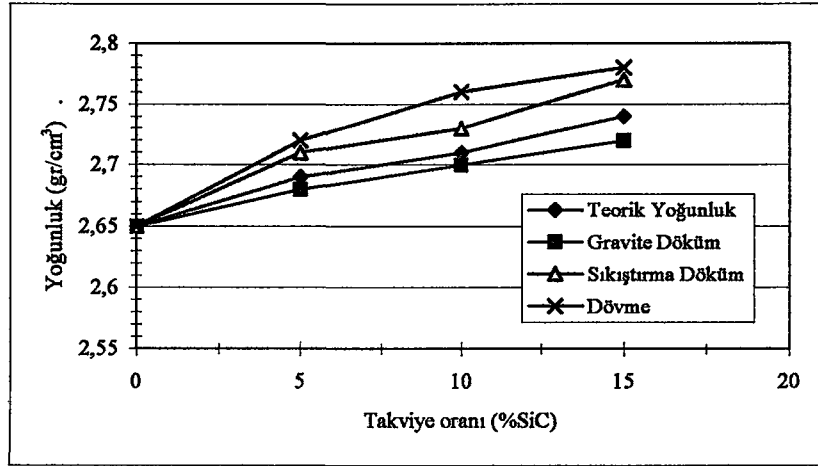
Şekil 6.2. Isıl işlem sonucu sertlik değerleri [45]

Altunpak ve Akbulut (2002), deney numunelerine yaptıkları ısıtma işlem sonucu MMK malzemede çökelme sertleşmesi-işlenebilirlik ilişkisi adlı çalışmalarında, ETIAL 145 matris alaşımına farklı oranlarda takviyeli kompozit malzemeleri, farklı sıcaklıklarda (495-555 °C) farklı sürelerde (8-20 saat) çözeltiye almış ve oda sıcaklığındaki suya daldırarak soğutmuşlardır. Çözeltiye alınmış olan numuneler daha sonra 151, 161, 171 ve 181°C sıcaklıklarda sıcaklıkla 36 saate kadar varan sürelerde suni yaşlandırma işlemine tabi tutularak, sertliklerinin yapılan bu işlem sonucunda arttığını tespit etmişlerdir[95].

Literatürde verilen standart yaşlandırma işlemi ile bu çalışmada, kompozitlerde tespit edilen yaşlandırma işleminde elde edilen sertlik değerindeki artış incelendiğinde, çökelme ile sertleşebilen metal ve alaşımlarına SiC, Al₂O₃ ve TiO₂ gibi ilave edilen seramikler, çökelti fazları için heterojen çekirdekleyici gibi davranarak yaşlanmayı hızlandırdığı ve bunun sonucu olarak, bu alaşımların yaşlanma kinetiğini etkiledikleri bir çok araştırmacı tarafından vurgulanmıştır[93,94].

Al Si7 Mg2 matris alaşımının yoğunluğu 2.65 gr/cm³, takviye malzemesi olan SiC_p'ün yoğunluğu ise 2.80 gr/cm³ olduğundan, takviye oranının artması ile karışımlar kuralına göre hesaplanan kompozit malzemenin teorik yoğunluk değerleri beklenildiği gibi yüksektir. Bakınız Tablo 4.1 ve Şekil 4.1.

Üretim yöntemlerinin ve dövme işleminin %5, 10 ve 15 SiC_p takviyeli Al Si7 Mg2 MMK malzemenin yoğunluğu üzerindeki etkileri Şekil 6.3 de verilmiştir[62].



Şekil 6.3. Teorik olarak hesaplanan ve deneysel olarak ölçülen seramik ilaveli kompozitlerin yoğunluk değişimi[62]

Diğer kompozitlerin aksine gravite döküm yöntemi ile elde edilen numunelerin yoğunluğu, teorik yoğunluktan daha düşük olduğu ölçülmüştür. Bunun sebebi üretim yöntemi ile ilgilidir. Yavaş soğuma sonucu çekirdek oluşumu esnasında meydana gelen dendritlerin büyümesi gözeneklere sebep olmaktadır. Meydana gelen boşluklarda malzeme yoğunluğunun daha düşük elde edilmesine sebep olmaktadır. Ayrıca basınç altında olmadan metal matriks ile takviye elemanının iyi bir arayüzey oluşturmaması ile bu bölgelerde meydana gelen boşluklar, düşük yoğunluk değerlerinin ölçülmesine sebep olmaktadır[62].

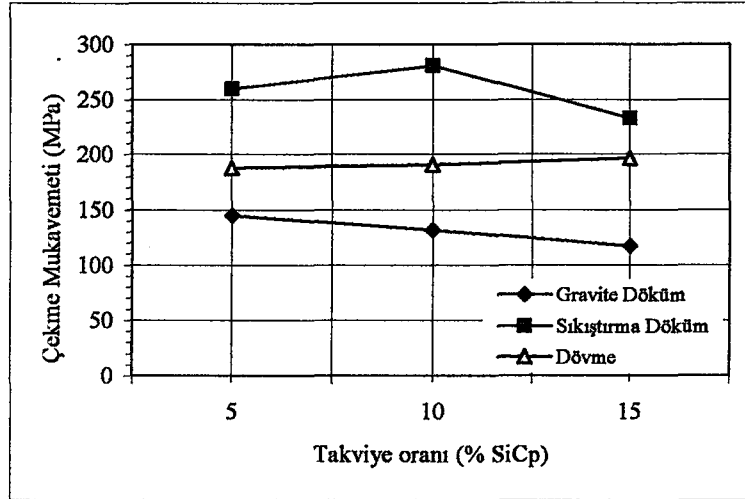
Sıkıştırma döküm sonrası bu boşlukların oluşması için yeterli zaman olmaması ve uygulanan basınç sayesinde partikülün iyi ısıtılması ile civarlarında boşluk olmaması kompozit malzeme yoğunluğunda yükselmeye sebep olmaktadır. Bu durum, dövülmüş kompozit malzemede daha da belirginleşmektedir. Sıkıştırma döküm ve dövme işlemleri sonrasında kompozit malzemelerdeki yoğunluk artışı, bu şartlarda gözeneklerin yaklaşık % 0.05-0.3 değerlerine düşmesi ile açıklanabilir[62].

Üretilen % 5 ve 15 SiC_p takviyeli MMK malzemenin çekme mukavemeti değerleri tespit edildi ve grafik haline getirildi. Bakınız Tablo 4.3 ve Şekil 4.3.

Al Si7 Mg alaşımının çekme mukavemeti kum döküm yönteminde 140 MPa, metal kalıba döküm de ise çekme mukavemeti 180 MPa'dır [90]. Bu değerler dikkate alındığında ısıtılmış işlemsiz deney parçasının çekme mukavemet değeri, % 5 SiC_p takviyeli deney numunesinde kum döküme göre %45, metal kalıba göre ise %29, %15 SiC_p takviyeli deney numunesinde ise kum döküme göre %39, metal kalıba göre ise %21'lik bir artış olduğu tespit edilmiştir.

Sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilen seramik partikül takviyeli Al-Si esaslı metal matriksli kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini tespit etmek için yapılan bir çalışmada,

gravite döküm, sıkıştırma döküm ve sıkıştırma döküm sonrası dövülmüş malzemenin çekme mukavemeti değerleri tespit edilmiştir (Şekil 6.4)[62].

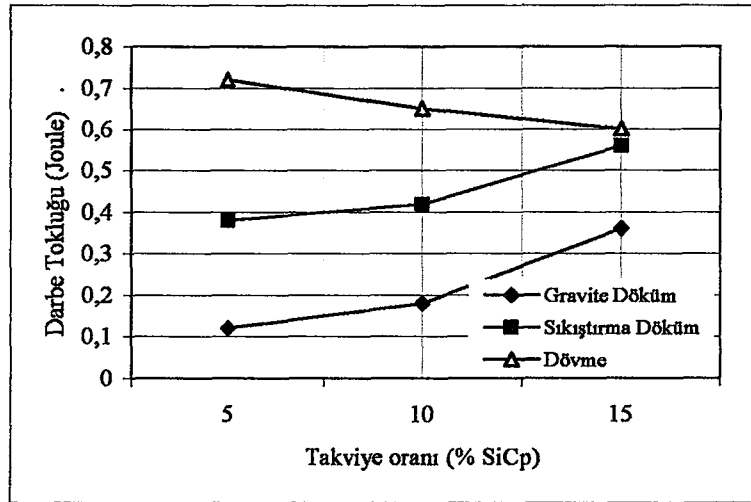


Şekil 6.4. Farklı yöntemlerle üretilen kompozit malzemenin çekme mukavemeti değerleri[62]

Şekil 6.4 incelendiğinde, gravite döküm yöntemi ile elde edilen %5 SiC_p takviyeli kompozit malzemenin çekme mukavemeti matris malzemesine göre yaklaşık % 4 kadar yükselmesine rağmen, daha sonra artan takviye oranı ile % 10 SiC_p takviyeli kompozitte yaklaşık % 4.8, % 15 SiC_p takviyeli kompozitte ise yaklaşık %16.5 oranlarında azalmanın olduğu gözlemlenmiştir. Gravite döküm yönteminde, mikro büzülmeler ve gaz boşlukları sebebiyle gözenekler meydana gelmektedir. Ayrıca zayıf matris-takviye bağlanması sonucu mukavemeti düşük arayüzey ve buna bağlı olarak artan takviye oranı ile arayüzeyde oluşması muhtemel makro gözenekler, gerekli yük iletimini sağlayamamakta ve kompozitin çekme mukavemetinin düşmesine neden olmaktadır[62].

Üretilen kompozit malzemenin darbe mukavemetine ait değerler Tablo 4.4 ve Şekil 4.4 de incelendiğinde, üretilen kompozit malzemenin darbe mukavemeti, takviye malzemesinin çok gevrek bir yapıya sahip olmasından dolayı düşük olduğu görülür. Matris alaşımı sünek bir yapıya sahip olduğundan üretilen kompozit malzemenin darbe mukavemetinin düşük olduğu gözlenmiştir. Özellikle -3°C’de, %5 SiC_p takviyeli MMK malzemenin darbe mukavemetinde daha fazla düşüş olduğu tespit edilmiştir. Bu düşüşün, malzemenin soğuk talaşlı işlenmesinde takım aşınması üzerinde olumlu yönde etkisi olduğu tespit edilmiştir.

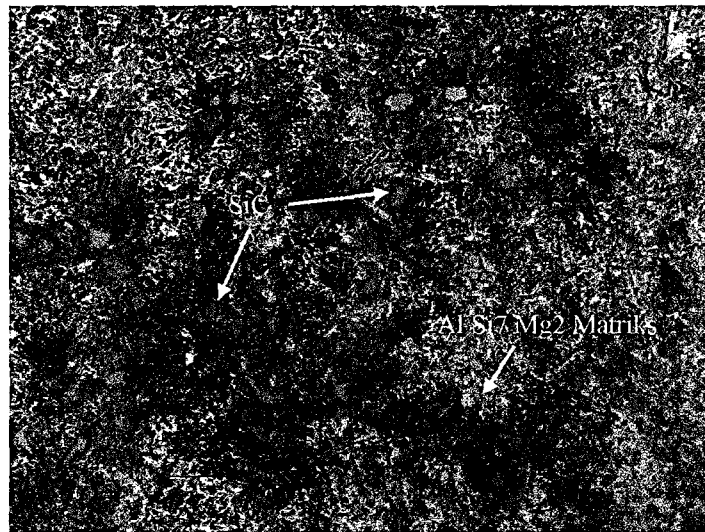
Özben (2001), yapmış olduğu çalışmada, Gravite döküm, sıkıştırma döküm ve dövülmüş kompozit malzemeye ait bulduğu darbe dayanımı değişimi Şekil 6.5’de verilmiştir[62].



Şekil 6.5. Al Si7 Mg2MMK malzemenin darbe dayanımındaki değişim[62]

Şekil 6.5 incelendiğinde, matriks alaşımı sünek bir yapıya sahip olmasına rağmen tüm kompozit malzemelerin darbe dayanımının düşük olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle gravite dökümde görülen düşük dayanım değerleri, matriks-silisyum karbür arayüzeyinde iyi bir ıslatmanın meydana gelmemesi ve oluşan boşluklar ile açıklanmıştır. Ayrıca yavaş soğuma esnasında kompozit malzemede, katı eriyikten oluşan Mg_2Si primer intermetalikleri yapının çentik darbe mukavemetini oldukça düşürdüğünü tespit etmiştir[62].

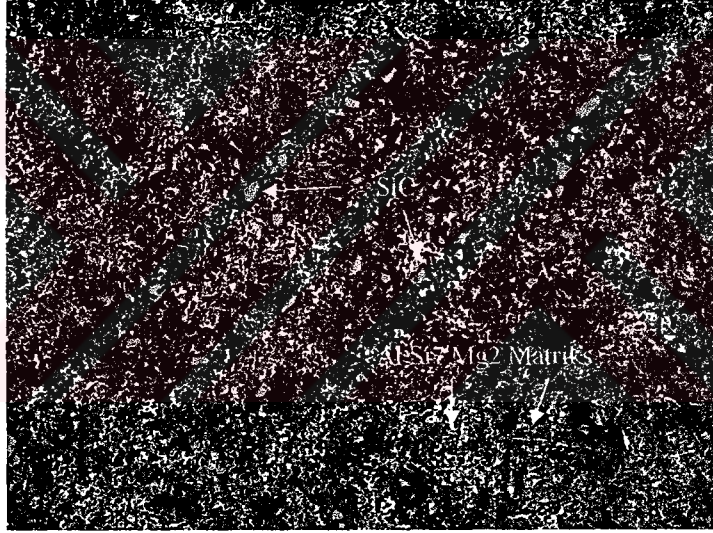
Şekil 6.6-6.8 de sıkıştırma döküm yöntemi kullanılarak, partikül boyutunda %5 ve 15 silisyum karbür (SiCp) ile takviyelendirerek üretilen kompozit malzemelerin, optik mikroskobunda elde edilen mikro yapı görüntüleri gösterilmektedir.



Şekil 6.6. % 5 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 MMK malzemenin mikro yapısı



Şekil 6.7. % 15 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 MMK malzemenin mikro yapısı

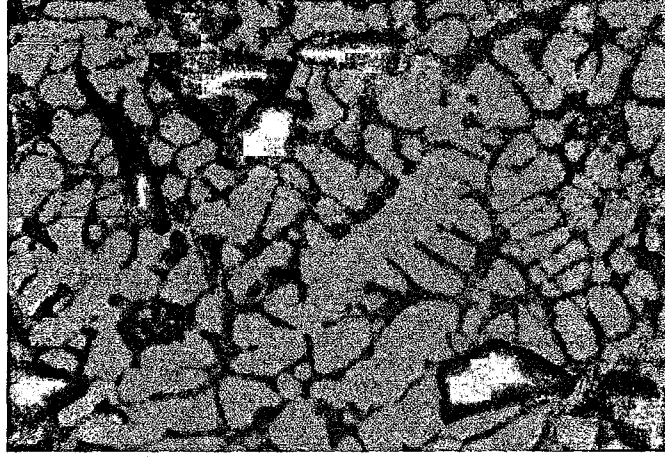


Şekil 6.8. % 15 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 MMK malzemenin partikül dağılımı

Şekil 6.7-6.9 incelendiğinde, açık renkli bölgeler matriks malzemesi Al Si7 Mg2 alaşımını, siyah bölgeler ötektik silisyum fazını, gri parçacıklar ise silisyum karbürü göstermektedir.

Özben (2001), farklı oranlarda üretmiş olduğu kompozit malzemeye ait mikroyapı resimleri Şekil 6.9-6.13'de görülmektedir[62].

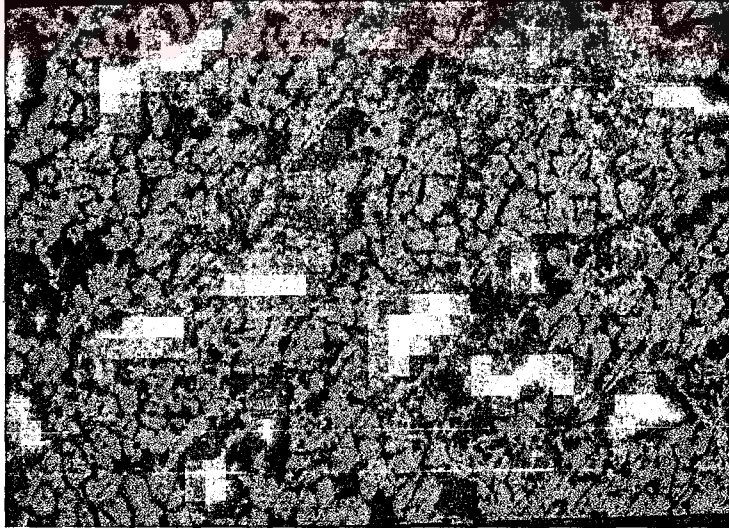
Şekil 6.9 da % 5 SiC takviyeli sıkıştırma döküm yöntemiyle üretilen kompozit malzemenin elde edilen görüntü görülmektedir [62].



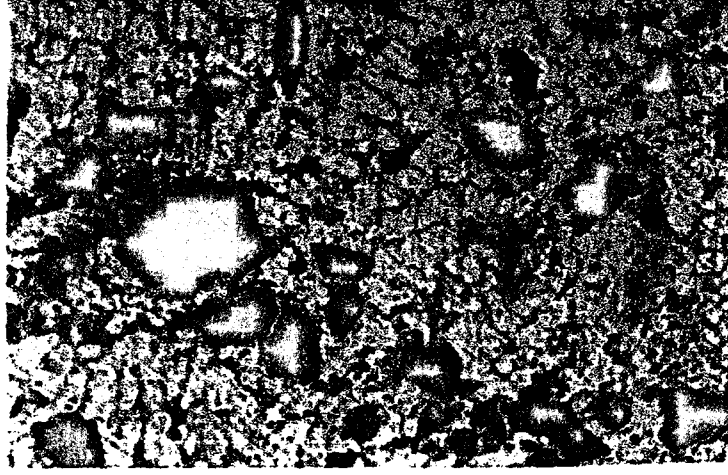
Şekil 6.9. Sıkıştırma döküm yöntemi ile elde edilen ve % 5 SiC takviyeli MMK malzemenin optik görüntüsü [62].

Şekil 6.9, % 5 SiC takviyeli sıkıştırma döküm kompozitinden elde edilen görüntüdür. Söz konusu bu yöntemde kullanılan basınç, takviye–matriks arayüzeyinde boşluk oluşumunu engellemiş ve ötektik silisyumun belirgin oluşumu ve dengeli dağılımı görülmektedir. Ancak, silisyum ötektiğinin partikül civarlarında tercihli olarak meydana geldiği ileri sürülebilir[62].

Şekil 6.10 ve Şekil 6.11, % 15 SiC takviyeli sıkıştırma döküm kompozitinin mikro yapı fotoğraflarını göstermektedir. Takviye oranının artması düzgün dağılımı zorlaştırmasının yanı sıra sıkıştırma döküm esnasında kullanılan basınç takviyelerin çatlamasına hatta bazı bölgelerde parçalanmasına neden olmaktadır

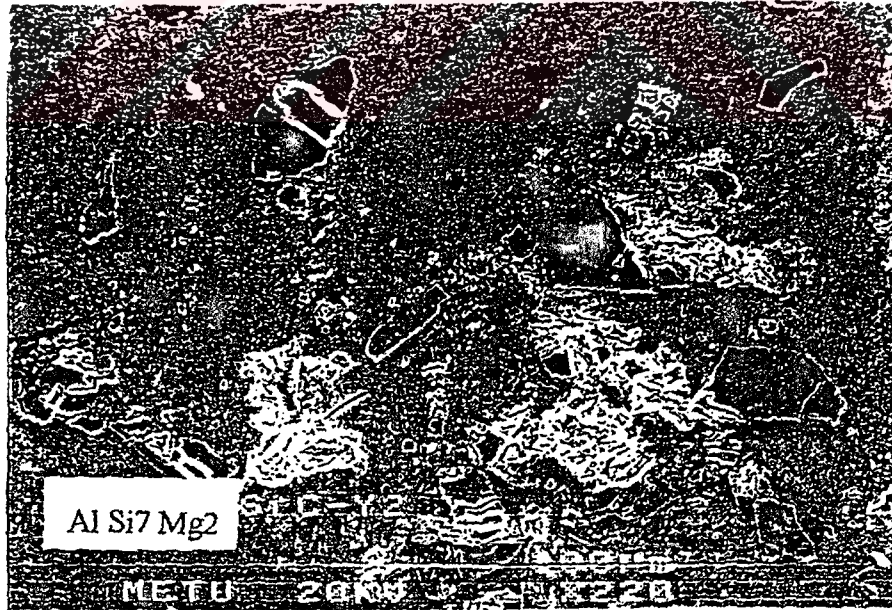


Şekil 6.10. Sıkıştırma döküm yöntemi ile elde edilen ve % 15 SiC takviyeli MMK malzemenin optik görüntüsü [62].



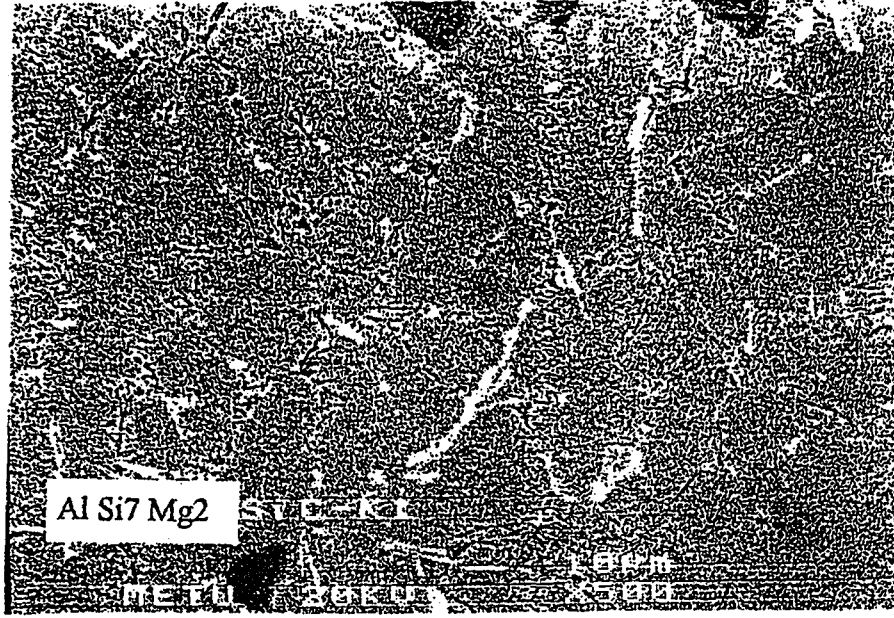
Şekil 6.11. Sıkıştırma döküm yöntemi ile elde edilen ve % 15 SiC takviyeli MMK malzemenin optik görüntüsü [62].

Şekil 6.12 ve Şekil 6.13, % 15 SiC takviyeli sıkıştırma döküm kompozitinin mikroyapı fotoğraflarını göstermektedir. Şekil 6.13'de gösterilen bu çatlaklar ve partikül parçalanmaları matriks içerisinde boşluk oluşumuna neden olmakta ve kompozitin yük taşıma kabiliyetini oldukça zayıflatmaktadır[62].



Şekil 6.12. %15SiC takviyeli kompozit malzemenin SEM görüntüsü[62]





Şekil 6.13. %15SiC takviyeli kompozit malzemenin SEM görüntüsü[62]

Al Si7 Mg2 alaşımı içerisine katılan SiC partiküllerin talaş oluşumuna etkisini incelemek amacıyla, işleme esnasında her takviye oranında kompozit numunesinden çıkan talaşların fotoğrafları alınmıştır. Şekil 4.125-4.127 de farklı işleme şartlarında elde edilen talaş fotoğrafları görülmektedir. Talaşların incelenmesinden de görüleceği üzere kompozit malzemelerde kesme hızı düştükçe ve takviye oranı arttıkça işleme esnasında çıkan talaşların boyunda ve kıvrım miktarında önemli miktarda azalma meydana gelmektedir. Artan ilerleme oranı ile işlenme esnasında özellikle talaşların kıvrım miktarında ciddi azalma gözlenmiştir.

Bir malzemenin işlenebilirlik karakteristiklerini anlamada en etkili ve ucuz yöntem, talaş oluşumunun incelenmesi olduğunu belirten Joshi ve arkadaşları[33], Al/SiCp kompozitleri içerisinde bulunan takviye elemanlarının talaş oluşumuna etkisini incelemişlerdir. İşlenen kompozit malzemelerde, takviye oranı arttıkça çıkan talaşların boyu ve kıvrım miktarının azaldığını belirtmişlerdir [95].

Oluşan talaş tipleri sadece kesme bölgesi yapısından değil aynı zamanda süneklik, ısı iletkenliği ve mikroyapı gibi malzeme özelliklerinde de etkilendiğini ifade eden Lin ve arkadaşları[27], Al matriks içerisine SiC partikül ilavesinin malzemenin sünekliğini düşürdüğünü ve işlenme esnasında kolaylıkla malzeme yüzeyinden uzaklaştırılabilen kısa dairesel talaş oluşumuna katkıda bulunduğunu rapor etmişlerdir.

%5 ve 15 SiC_p takviyeli Al Si7 Mg2 metal matriks kompozit malzemenin tornalanması sonucunda elde edilen işleme zamanı-takım aşınması grafikleri (Şekil 4.14-4.115) çizilerek irdelendiğinde, sırasıyla;

6.1. Kesme Hızının İşlenebilirliğe Etkisi

%5 ve 15 SiC_p takviyeli Al Si7 Mg2 metal matriks kompozit malzemenin tornalanmasında, kesme hızının (50, 100, 150 m/dak) takım aşınması üzerine büyük etkisi olduğu ve elde edilen sonuçlar incelendiğinde, kesme hızının artmasıyla takım aşınmasının arttığı görülmüştür.

%5 SiC takviyeli kompozit malzemenin tornalanmasında, en az takım aşınmasının 50 m/dak kesme hızında, en fazla takım aşınmasının da 150 m/dak kesme hızında olduğu tespit edilmiştir. TiN kaplı ve kaplamasız sert karbür takımlar kullanılarak yapılan tornalama deneylerinde, ısıl işlemsiz numunelerle homojenleştirilerek işlenen numunelerin tornalanmasında oluşan takım aşınmasının, yaklaşık olarak aynı olduğu ve 50 m/dak kesme hızı için 0.33 mm ve 150 m/dak kesme hızı için 0.60 mm(90 sn) olduğu tespit edilerek grafikleri çizildi (Tablo 6.3, Şekil 6.14).

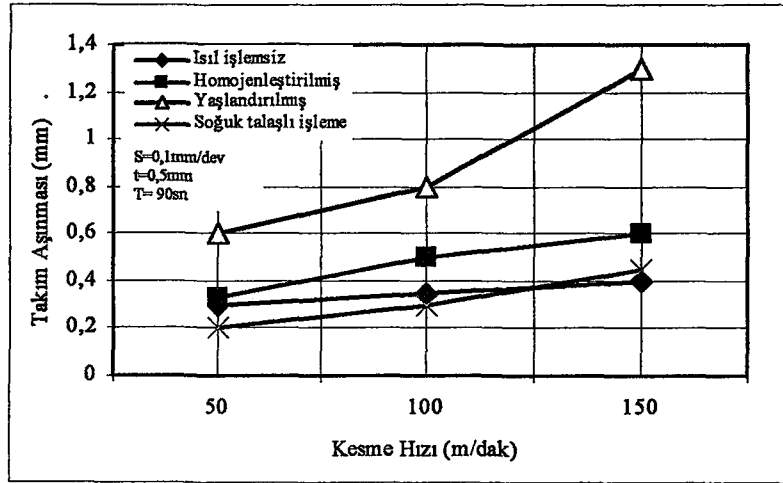
Yaşlandırılmış numunelerin tornalanmasında ise takım aşınmasının çok daha fazla olduğu ve 50 m/dak kesme hızı için 0.60 mm (90sn) ve 150 m/dak kesme hızı için ise 1.30 mm (90sn) olduğu tespit edilerek sonuçları Tablo 6.3’de verilerek grafikleri çizildi(Şekil 6.14).

Kompozit malzemenin soğuk talaşlı işlenmesi ile oluşan takım aşınması ısıl işlemsiz, homojenleştirilmiş ve yaşlandırılmış numunelerin aksine daha az olduğu tespit edilmiştir. 50 m/dak kesme hızında 0.20 mm ve 150 m/dak kesme hızında ise takım aşınması 0.45 mm (90 sn) olarak ölçülmüştür.

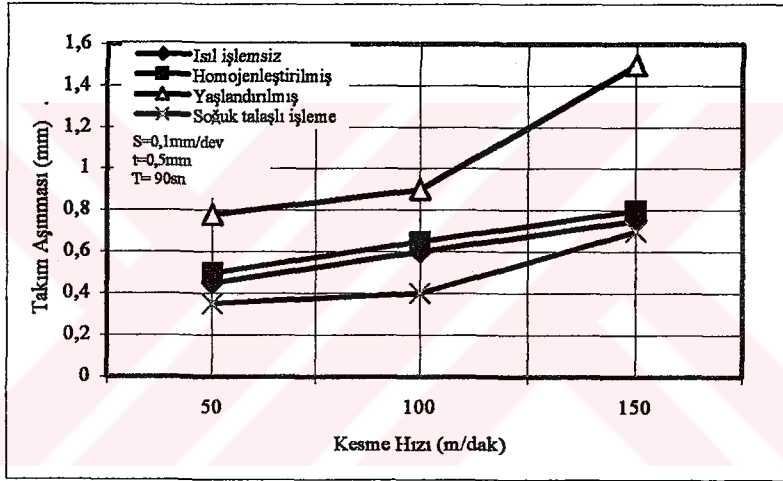
Tablo 6.3. Takım aşınması-kesme hızı ilişkisi (% 5 SiC, S=0.1 mm/dev, t=0.5mm, 90sn)

İşleme Şartları	Takım Aşınması					
	50 m/dak		100 m/dak		150 m/dak	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
Isıl işlemsiz	0.30	0.45	0.35	0.60	0.40	0.75
Homojenleştirilmiş	0.33	0.50	0.50	0.65	0.60	0.80
Yaşlandırılmış	0.60	0.78	0.80	0.90	1.30	
Soğuk Talaşlı İşleme	0.20	0.35	0.30	0.35	0.45	0.70

Y.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ



(a)



(b)

Şekil 6.14. Takım aşınması-kesme hızı ilişkisi (% 5 SiC)
a) Kaplamalı b) Kaplamasız

%15 SiC_p takviyeli Al Si7 Mg2 metal matriks kompozit malzemenin tornalanmasında, farklı kesme hızlarında (50, 100, 150 m/dak) oluşan takım aşınmaları (Tablo 4.68-4.75) incelendiğinde en az takım aşınmasının 50 m/dak'lık kesme hızında olduğu, en fazla takım aşınmasının da 150 m/dak kesme hızında olduğu görülmüştür.

Isıl işlemsiz numunelerin tornalanması sonucunda elde edilen takım aşınmaları, 50m/dak için 0.45 mm (90 sn) ve 150 m/dak için ise 0.70mm (90 sn) olduğu ölçülmüştür (Tablo 6.4, Şekil 6.15).

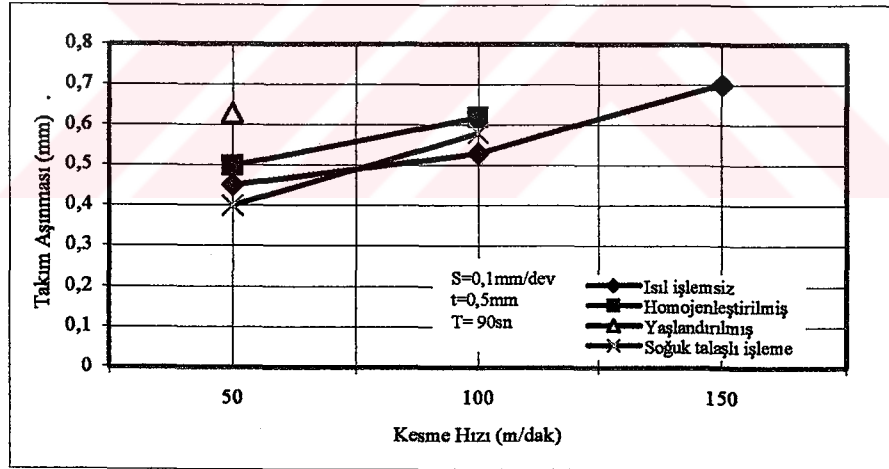
Homojenleştirilmiş numunelerin işlenmesindeki takım aşınmasının da %5SiC takviyeli kompozit malzemenin işlenmesindeki takım aşınmasına benzer olarak, ısıt işlemsiz numunelerin işlenmesindeki takım aşınmasına yakın olduğu tespit edilmiştir (50m/dak için 0.50mm ve 150 m/dak için 0.72mm).

Yaşlandırılmış numunelerin tornalanmasındaki takım aşınması oldukça yüksek çıkmıştır. Bu 50 m/dak kesme hızı için 0.63mm (90sn), 150 m/dak kesme hızı için ise 1.20mm (90sn) olduğu tespit edilmiştir.

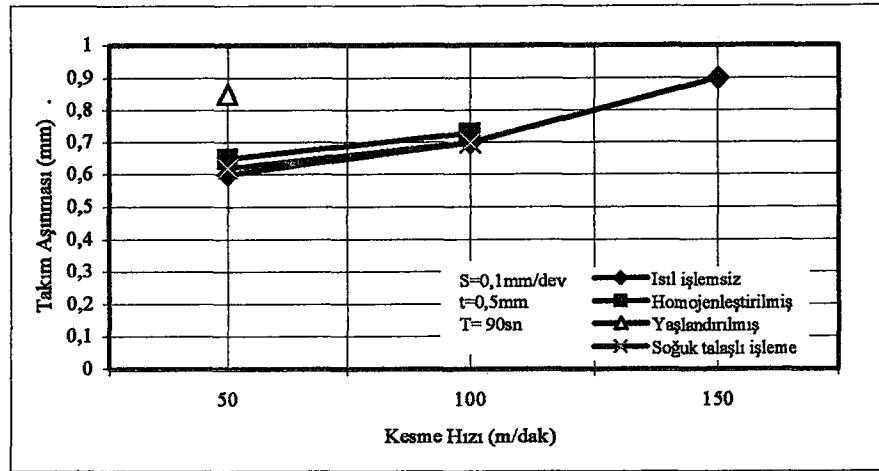
Deney numunelerinin soğuk talaşlı işleme ile tornalanması sonucunda oluşan takım aşınmaları 50m/dak için 0.40 mm (90sn) ve 150 m/dak için ise 0.65 mm (90sn) olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 6.4. Takım aşınması-kesme hızı ilişkisi (% 15 SiC, S=0.1 mm/dev, t=0.5mm, 90sn)

İşleme Şartları	Takım Aşınması					
	50 m/dak		100 m/dak		150 m/dak	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
Isıl işlemsiz	0.45	0.60	0.53	0.70	0.70	0.90
Homojenleştirilmiş	0.50	0.65	0.62	0.73		
Yaşlandırılmış	0.63	0.85				
Soğuk Talaşlı İşleme	0.40	0.62	0.58	0.70		



(a)



(b)

Şekil 6.15. Takım aşınması-kesme hızı ilişkisi (% 15 SiC)
a) Kaplamalı b) Kaplamasız

Düşük kesme hızlarında takım aşınmasının az olmasının sebebi, kalemin talaş yüzeyi üzerindeki temas uzunluğunun küçülmesi nedeniyle takım-talaş direncinin de küçülmesi ve ısının büyük bir miktarının takım-talaş ara yüzeyine harcanmasıdır. Bunun neticesinde, iş parçası mukavemetinin azalması ile kesmenin kolaylaşmasıdır [92].

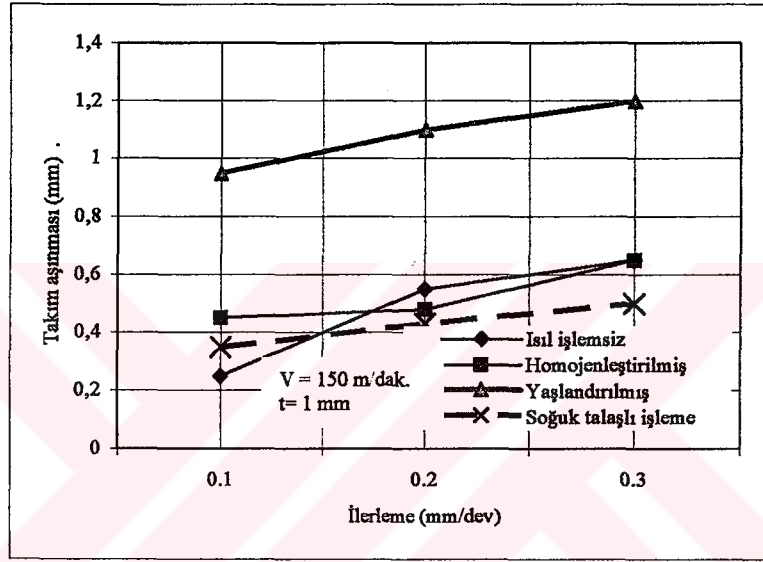
6.2. İlerlemenin İşlenebilirliğe Etkisi

%5 ve 15 SiC_p takviyeli Al Si7 Mg2 metal matriks kompozit malzemenin tornalanmasında; ilerleme hızının (0.1, 0.2, 0.3 mm/dev), takım aşınması üzerine etkisi Tablo 6.5'te verilerek, grafikleri çizildi (Şekil 6.16-6.17).

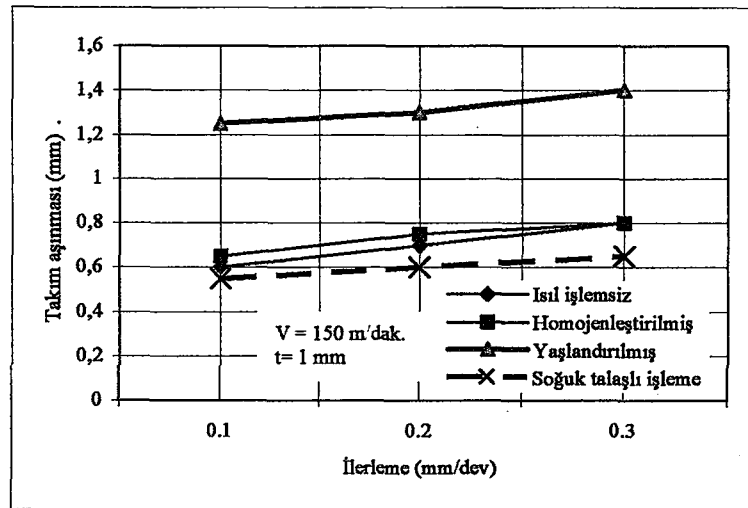
İlerlemenin Al/SiC MMK'lerin işlenmesindeki etkileri araştırma konusudur. Bu durum, bazı araştırmacılara göre; takım aşınması ile ilerleme doğru orantılıdır. Bunun nedeni yüksek ilerleme değerlerinde kompozit malzemenin fazla ısınmasından dolayı yumuşaması ve bu yumuşama neticesinde iş parçası malzemesinin takıma sıvanmaya başlayarak, takım aşınmasını arttırmasıdır. Fakat araştırmacıların büyük bir çoğunluğu bu görüşe katılmamaktadır. Finn ve Srivastava, yapmış oldukları çalışmaya göre yüksek ilerleme değerlerinde takım aşınması azalmaktadır. Bunun nedeni ilerlemenin yüksek olduğu durumlarda kesme ağzı ile SiC partiküller arasındaki temasın azalmasıdır. Çoğu araştırmacının ortak görüşü; alüminyum kompozitlerde kaba talaş kaldırılması sırasında ilerlemenin mümkün olduğunca yüksek tutulması yönündedir [30,31]. Şekil 6.18 ilerlemeye bağlı serbest yüzey aşınmasının değişimine ait sonuçlar gösterilmektedir [92].

Tablo 6.5. Takım aşınması-ilerleme ilişkisi (% 5SiC, V= 150m/dak, t= 0.5mm, 60sn)

İşleme Şartları	Takım Aşınması					
	0.1 mm/dev		0.2 mm/dev		0.3 mm/dev	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
Isıl işlemsiz	0.25	0.60	0.55	0.70	0.65	0.80
Homojenleştirilmiş	0.45	0.65	0.48	0.75	0.65	0.80
Yaşlandırılmış	0.95	1.25	1.10	1.30	1.20	1.14
Soğuk Talaşlı İşleme	0.35	0.55	0.43	0.60	0.50	0.65



(a)

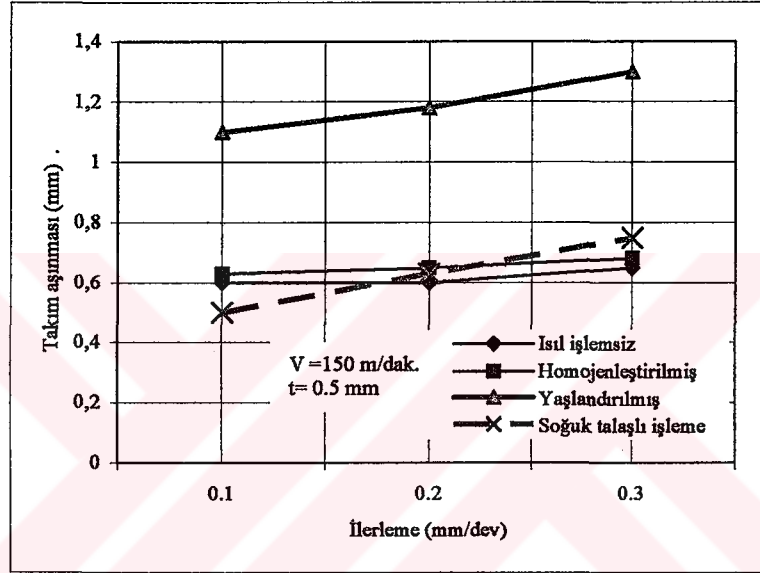


(b)

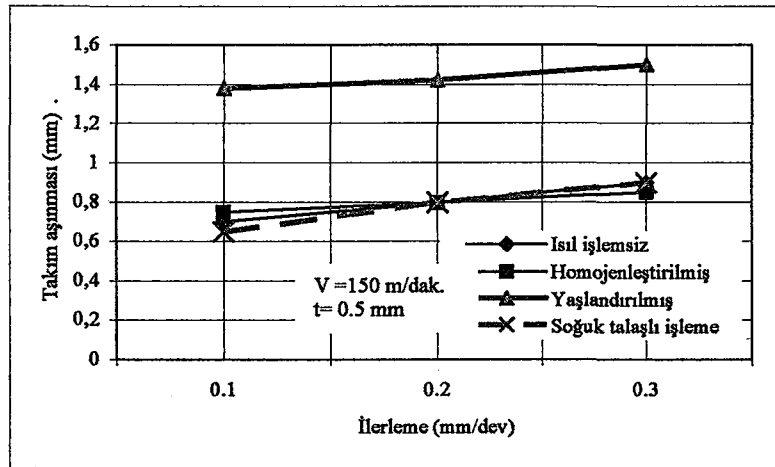
Şekil 6.16. Takım aşınması-ilerleme ilişkisi (% 5 SiC)
a) Kaplamalı b) Kaplamasız

Tablo 6.6. Takım aşınması-ilerleme ilişkisi (% 15SiC, V= 150m/dak, t= 0.5mm, 60sn)

İşleme Şartları	Takım Aşınması					
	0.1 mm/dev		0.2 mm/dev		0.3 mm/dev	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
Isıl işlemsiz	0.60	0.70	0.60	0.80	0.65	0.90
Homojenleştirilmiş	0.63	0.75	0.65	0.80	0.68	0.85
Yaşlandırılmış	1.10	1.38	1.18	1.42	1.30	1.50
Soğuk Talaşlı İşleme	0.50	0.65	0.63	0.80	0.75	0.90



(a)



(b)

Şekil 6.17. Takım aşınması-ilerleme ilişkisi (% 15 SiC)
a) Kaplamalı b) Kaplamasız

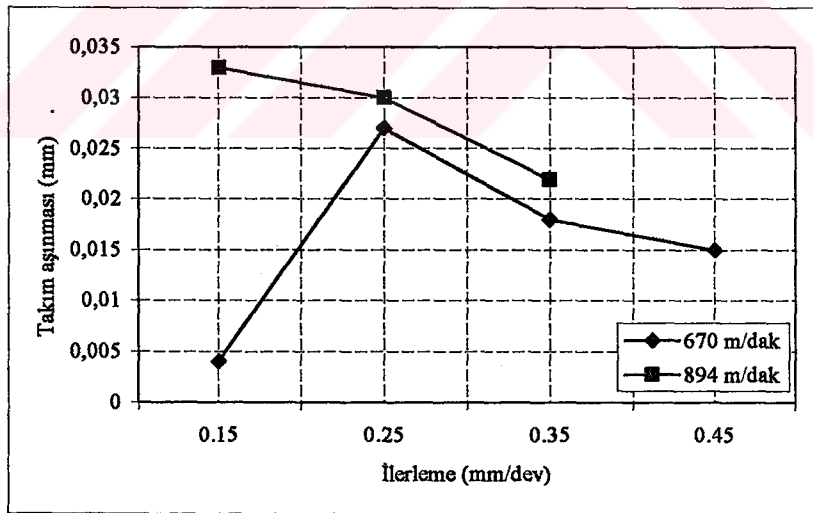
Şekil 6.18 ve Şekil 6.19'daki grafikler incelendiğinde, ilerleme arttığı zaman takım aşınmasının az da olsa arttığı görülmektedir.

% 5 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 MMK'lere ait ilerleme grafikleri incelendiğinde, takviye oranının az olmasından dolayı deneylerde kullanılan ilerleme (0.1, 0.2, 0.3 mm/dev) değerlerinde, takım aşınması geleneksel malzemelerdeki gibi ilerlemeyle doğru orantılıdır. Yani ilerleme arttıkça takım aşınmasının da arttığı tespit edildi.

% 5 SiC takviyeli MMK'lerin işlenmesinde, ısıtılma işleminin ve soğuk talaşlı işleminin takım aşınması üzerindeki etkisine bakıldığında, en iyi sonucu soğuk talaşlı işleme sonucunda elde edildiği görüldü. Ayrıca soğuk talaşlı işlemeden sonra en az takım aşınmasının ısıtılma işlemsiz ve homojenleştirilerek işlenmiş deney numunelerindeki takım aşınmasının olduğu tespit edildi. En fazla aşınmanın ise yaşlandırılarak tornalanan numunelerin olduğu tespit edildi.

% 15 SiC takviyeli MMK'lere ait grafikler incelendiğinde, deneylerde kullanılan ilerleme (0.1, 0.2, 0.3 mm/dev) değerinde, takım aşınması ilerlemenin artmasıyla belirgin olarak artmadığı, aşınma ilerlemenin artmasıyla birlikte yaklaşık olarak aynı kaldığı tespit edilmiştir.

El- Gallab ve Sklad [30, 31] yaptıkları çalışmada, farklı ilerleme (0.15, 0.25, 0.35, 0.40 mm/dev) değerlerinde PCD takımla Al/SiC takviyeli MMK'leri tornalama sırasında takım aşınmasının ilerlemenin artmasıyla arttığını tespit etmişlerdir (Şekil 6.18).



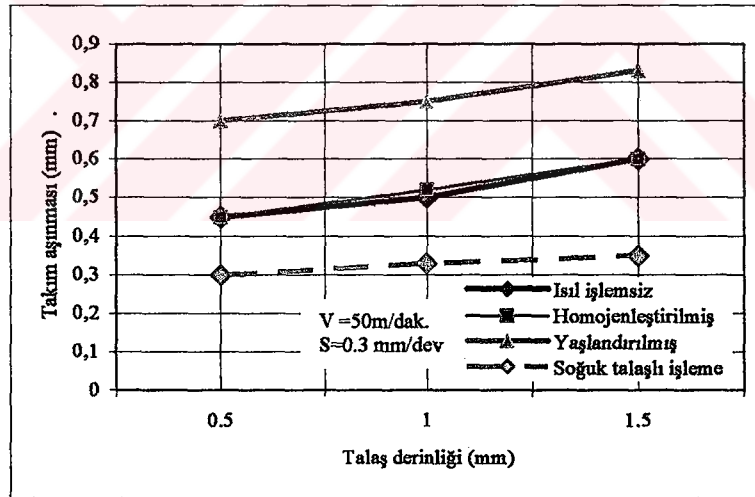
Şekil 6.18. İlerlemeye bağlı serbest yüzey aşınması eğrileri [30]

6.3. Kesme Derinliğinin İşlenebilirliğe Etkisi

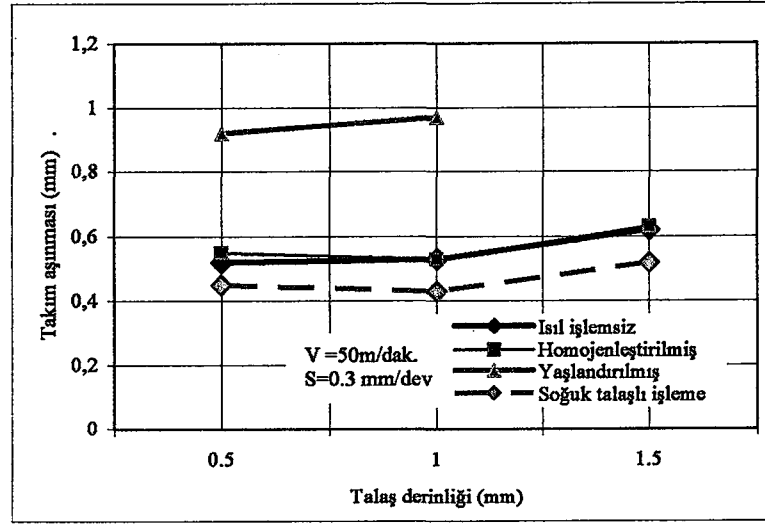
%5 ve 15 SiC_p takviyeli Al Si7 Mg2 metal matriks kompozit malzemenin tornalanmasında; kesme derinliğinin (0.5, 1, 1.5 mm), takım aşınması üzerine etkisi Tablo 6.7 ve Tablo 6.8’de verilerek, grafikleri çizildi (Şekil 6.19-6.20).

Tablo 6.7. Takım aşınması-kesme derinliği ilişkisi (% 5 SiC , V= 50m/dak, S=0.3 mm/dev, 90sn)

İşleme Şartları	Takım Aşınması					
	0.5 mm		1 mm		1.5 mm	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
Isıl işlemsiz	0.45	0.52	0.50	0.53	0.60	0.62
Homojenleştirilmiş	0.45	0.55	0.52	0.53	0.60	0.63
Yaşlandırılmış	0.70	0.92	0.75	0.97	0.83	
Soğuk Talaşlı İşleme	0.30	0.45	0.33	0.43	0.35	0.52



(a)



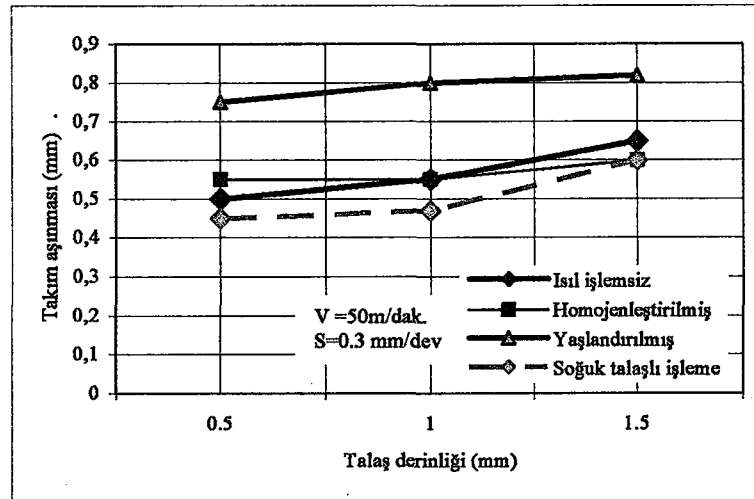
(b)

Şekil 6.19. Takım aşınması-kesme derinliği ilişkisi (%5 SiC)

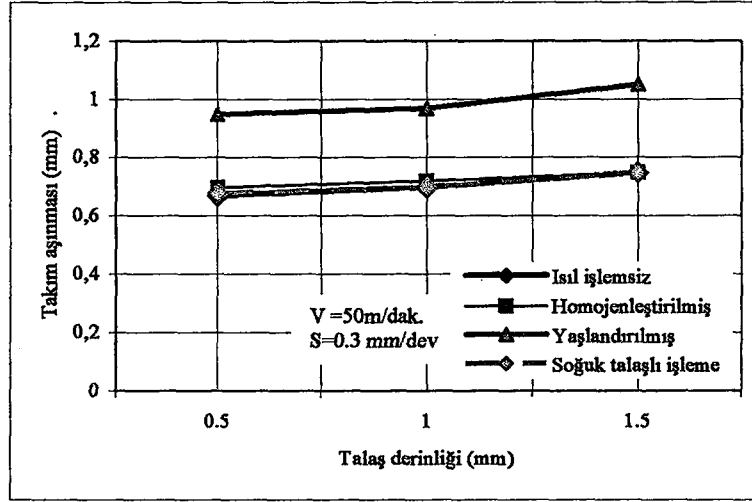
a) Kaplamalı b) Kaplamasız

Tablo 6.8. Takım aşınması-kesme derinliği ilişkisi (% 15SiC, V=50m/dak, S= 0.3 mm/dev, 90sn)

İşleme Şartları	Takım Aşınması					
	0.5 mm		1 mm		1.5 mm	
	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız	Kaplamalı	Kaplamasız
Isıl işlemsiz	0.50	0.67	0.55	0.70	0.65	0.75
Homojenleştirilmiş	0.55	0.70	0.55	0.72	0.60	0.75
Yaşlandırılmış	0.75	0.95	0.80	0.97	0.82	1.05
Soğuk Talaşlı İşleme	0.45	0.68	0.47	0.70	0.60	0.75



(a)



(b)

Şekil 6.20. Takım aşınması-kesme derinliği ilişkisi (%15 SiC)

a) Kaplamalı

b) Kaplamasız

% 5 ve 15 SiC takviyeli Al Si7 Mg2 MMK'lere ait takım aşınması kesme derinliği grafikleri (Şekil 6.19- 6.20) incelendiğinde, kesme derinliğinin artmasıyla takım aşınmasının arttığı görülmüştür. % 5 SiC takviyeli MMK'lerin işlenmesinde; ısıtılmış işlemsiz homojenleştirilmiş ve soğuk talaşlı işleme neticesinde tespit edilen takım aşınmalarının hemen hemen aynı olduğu tespit edildi. Yaşlandırılmış numunelerin tornalanmasında ise talaş derinliği arttığında, takım aşınmasının da arttığı görülmüştür.

% 15 SiC takviyeli MMK'lerin işlenmesinde en az takım aşınmasının soğuk talaşlı işleme sonucunda elde edilmesine rağmen, ısıtılmış işlemsiz, homojenleştirilmiş ve soğuk talaşlı işlemedeki takım aşınmalarının yaklaşık olarak bir birine yakın olduğu görülmüştür. Yaşlandırılarak işlenen numunelerin takım aşınması ise en fazla olduğu tespit edildi.

Kesme derinliği arttıkça kesici takımlarda serbest yüzey aşınması da artar. Bunun nedeni; serbest yüzeydeki mikro kesiklerin aşınmayı arttırmasıdır. Kesme derinliğinin daha da arttırılması, takım serbest yüzeyinde daha geniş bir alanın aşınmasına sebep olur [30, 31]

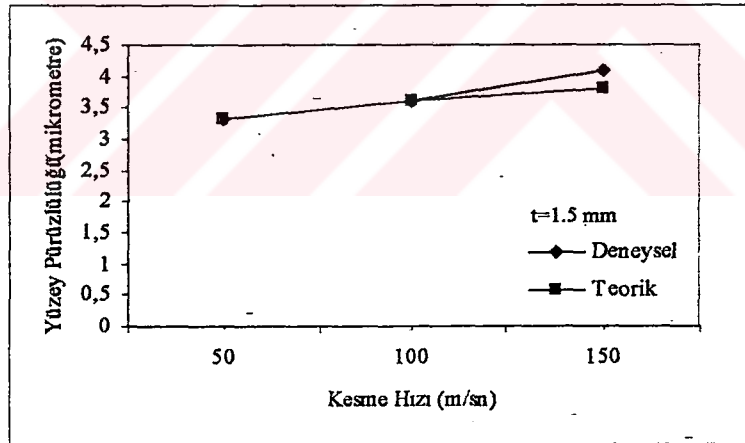
Yapılan tüm deneylerde, kaplamalı ve kaplamasız takımların takım aşınmaları incelendiğinde, kaplamasız takımlardaki aşınma tüm işleme parametrelerinde kaplamalı takımlardaki aşınmalardan % 5 SiCp takviyeli MMK'lerin işlenmesinde %0-%65, %15 SiCp takviyeli MMK'lerin işlenmesinde de %0-%48 arasında fazla olduğu, kalem ömürleri ve bu ömürlerin bir birine göre yüzdeleri hesaplanıp tespit edildi. Ek 1 ve Ek 2.

6.4. İşleme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi

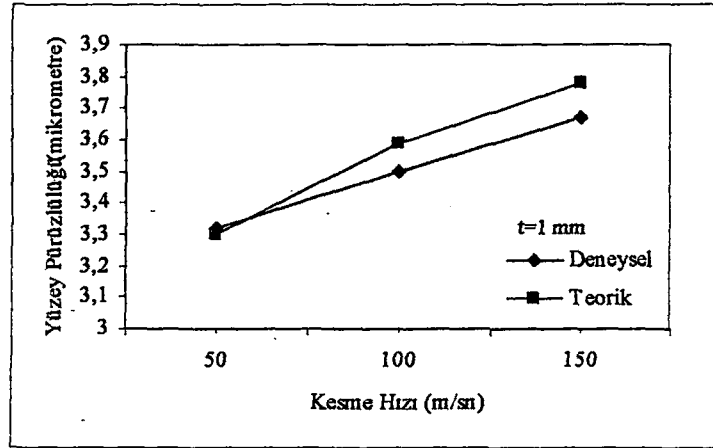
Yüzey pürüzlülüğü, iş parçasına uygulanan işlemenin sonrasında oluşan son yüzey kalitesidir. Mamulün sahip olduğu yüzey kalitesi ile kesme hızı, kesme derinliği ve ilerleme gibi parametrelerin doğrudan ilişkisi vardır.

Üç farklı kesme hızı (50, 100, 150 m/dak.) ve sabit ilerlemelerde işlenmiş olan deney numunelerinin yüzey pürüzlülük değerleri %5 SiCp de kesme hızı arttıkça düşmüştür. Şekil 4.117'den Şekil 4.119'a kadar olan grafikler incelendiğinde en düşük yüzey pürüzlülük değerinin 150 m/dak kesme hızında olduğu görülmektedir. Ancak, %15 SiCp de, kesme hızı arttıkça yüzey pürüzlülük değerlerinde artma görülmüştür. Şekil 4.120'den Şekil 4.122'ye kadar olan grafiklere bakılırsa en düşük yüzey pürüzlülüğü 50 m/dak kesme hızında olduğu görülmektedir. Buradan da şu sonucu çıkarabiliriz; SiCp miktarı arttıkça daha düşük devirlerde daha düzgün yüzey elde edilmektedir.

Deneylerde tespit edilen yüzey pürüzlülüğü ve matematiksel model sonucu elde edilen denklem vasıtasıyla bulunan yüzey pürüzlülüğü Şekil 6.21-6.22'de verilmiştir.



Şekil 6.21. Deneyel ve teorik yüzey pürüzlülüğü-kesme hızı ilişkisi (S=0.2mm/dev)



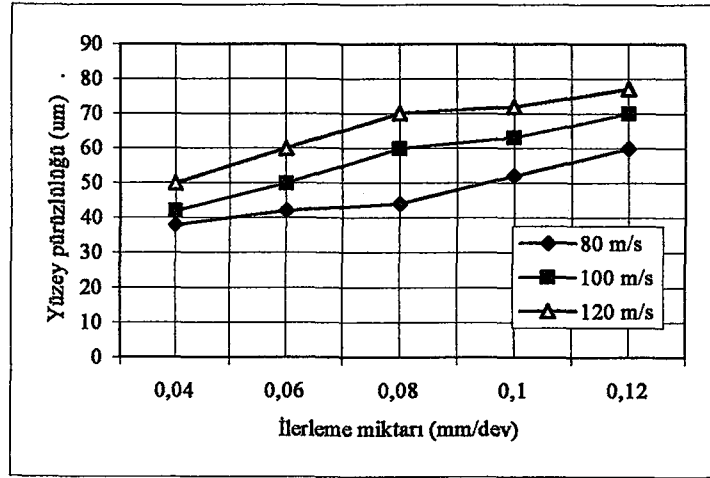
Şekil 6.22. Deneysel ve teorik yüzey pürüzlülüğü-kesme hızı ilişkisi ($S=0.3\text{mm/dev}$)

Şekil 6.21-6.22 incelendiğinde, deney sonucu elde edilmiş pürüzlülük ile matematiksel modelleme sonucu elde edilen denklem vasıtasıyla elde edilen teorik değerlerin yaklaşık olarak bir biriyle örtüştüğü, ancak işleme süresinin artmasıyla çok az bir miktar fark olduğu görülmüştür.

Kesme hızının artması ile başta serbest yüzey aşınması olmak üzere tüm aşınmalar artmaktadır. Bunun başlıca nedeni; hızın artması ile kesici takım ve iş parçası arasındaki temasın ve sıcaklığın artmasıdır. Bu durum yüzey kalitesini olumsuz yönde etkiler[92].

Kesme hızındaki artışla kesme sıcaklığının artması ve buna bağlı olarak da Al matriks yumuşamakta ve SiC parçacıklarla alüminyum arasındaki bağların zayıflamasına yol açmaktadır. Kesici uç, gevrek ve sert olduğundan parçacıkla temas ettiğinde onları kırmaktan veya kesmekten ziyade ileri doğru itme hareketi yaptırmaktadır. Bundan dolayı da parçacıklar iş parçası yüzeyi üzerinde kanallar oluşturmaktadır. Bu tip hasar keza sert parçacıklar ve nispeten yumuşak matriksten oluşan mikro yapıya sahip Al alaşımlarının işlenmesinde görülebilmektedir[53].

Yüzey pürüzlülüğünün ilerleme miktarı ile de yakın bir ilişki gösterdiği bilinmektedir. Şekil 6.23'de partikül takviyeli metal matriks kompozit malzemenin tornalanması sonucu ilerleme miktarına bağlı olarak yüzey pürüzlülük değişimi gösterilmiştir [53].



Şekil 6.23. İlerleme miktarı ile yüzey pürüzlülüğünün değişimi [53]

Takım değiştirme süresini mümkün olduğunca uzatabilmek için ilerlemenin yüksek tutulması tercih edilmelidir. Genelleme yapmak gerekirse; ilerlemenin artması ile yüzey kalitesi azalmaktadır. Düşük ilerleme değerlerinde, yüzey kalitesi pek değişmemekte ancak yüksek ilerleme değerlerine çıkıldıkça yüzey pürüzlülüğü artmaktadır [15].

İlerlemenin artması, kesme sıcaklığını arttırır. Bu da SiC partikülleri ile alüminyum matriks arasındaki bağ bütünlüğünü zayıflatan bir zorlamaya neden olur. Alüminyum matriks yumuşar olduğundan, takım malzemeyi işlemeye başladığı, zorlandığı zaman kırılan partiküller kopar ve kırılan bu partiküller de, parça yüzeyinde yivlere ve çiziklere neden olur. Bu tip zedelenmeler genellikle alüminyum ve magnezyum alaşımlarında görülür. Bu durum yüzey kalitesini olumsuz yönde etkiler [7].

İlerleme hızları ile artan yüzey pürüzlülüğü değerleri aynı zamanda malzemenin sertlik değerlerindeki değişimin bir göstergesidir. İşlenmiş yüzeye yakın kısımlarda kesme parametrelerine bağlı olarak dislokasyon yığılmaları meydana gelir. Oluşan bu yığılmalar, matriksin dolayısı ile de kompozit malzemenin sertleşmesine sebep olur [30].

Lin, Lane ve Bhattacharyya'nın yapmış oldukları çalışmaya göre, sabit kesme hızında farklı ilerleme değerleri (0.1, 0.2, 0.4 mm/dev) için yüzey pürüzlülük değerleri sırasıyla 0.4, 1.6 ve 6.4 μm 'dir. Pratikte elde edilen değerler ile hesaplanan teorik değerler arasındaki sapmanın nedeninin; kesme hızı, kesme derinliği, talaş açısı, yük vb. gibi ikincil parametreler ve bunların sebep olduğu etkileşimler olduğu görülmüştür. Bütün bu etkileşimler, basit bir modelleme için oldukça karmaşıktır [15].

Kompozit malzemelerde SiC partikül boyutlarındaki (10-32 μm) değişim kompozit malzemenin işleme özelliklerini de etkilemektedir. Tane boyutunun artması matrikste meydana gelecek plastik deformasyon olaylarını engellemektedir. Bundan dolayı bu taneler etrafında

gerilme yoğunlaşması artar. Oluşan fazla hatalar ve daha fazla sınır hataları işlenmiş yüzeyin kalitesini etkileyerek daha yüksek yüzey pürüzlülük değerlerinin meydana gelmesine sebep olur[17].



7. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada, %5 ve 15 SiCp takviyeli Al Si7 Mg2 kompozit malzemenin talaşlı işlenmesinde takım aşınması ve yüzey pürüzlülükleri araştırılarak; ısıtıl işlemin, soğuk talaşlı işleminin, kesme hızının, ilerlemenin ve paso derinliğinin takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkisi incelenmiştir. Üretilen kompozit malzemenin mekanik özellikleri tespit edilmiş ve kompozit malzeme; ısıtıl işlemsiz, homojenleştirilmiş, yaşlandırılmış ve soğuk talaşlı işleme yapılarak ısıtıl işlemin takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkileri deneysel ve teorik olarak incelenmiştir.

Elde edilen sonuçlar ana hatlarıyla aşağıdaki gibidir:

%5 SiCp takviyeli Al Si7Mg2 MMK malzemenin soğuk talaşlı işlenmesinde tespit edilen takım aşınması, ısıtıl işlemsiz, homojenleştirilmiş ve yaşlandırılmış deney numunelerinin tornalanmasındaki takım aşınmasından daha az olmuştur.

Kaplamasız ve TiN kaplı sert karbür takımlar kullanılarak homojenleştirme ısıtıl işlem uygulanmış numuneler üzerinde yapılan deney sonuçlarındaki takım aşınması, ısıtıl işlemsiz olarak işlenen takımlardaki takım aşınmasına yakın olduğu görülmüştür.

Yaşlandırılmış Al Si7 Mg2 MMK malzemenin işlenmesindeki takım aşınmasının en fazla olduğu görülmüştür.

Kesme hızı arttıkça takım ömrü azalmış, %5 ve %15 SiCp takviyeli Al Si7 Mg2 MMK malzemenin işlenmesinde en az takım aşınması soğuk talaşlı işlemede 50 m/dak kesme hızında, en fazla takım aşınması da yaşlandırılmış deney numunelerinin tornalanmasında ve 150 m/dak kesme hızında elde edilmiştir.

İlerlemenin Al/SiC MMK'lerin işlenmesindeki etkileri tam olarak bilinmemektedir. %5 SiCp takviyeli Al Si7 Mg2 MMK malzemenin işlenmesinde ilerleme arttıkça takım aşınması da ilerleme ile doğru orantılı olarak artmıştır. %15 SiCp takviyeli Al Si7 Mg2 MMK malzemenin işlenmesinde ise ilerlemenin artması ile en fazla takım aşınması yaşlandırılmış deney numunelerinde, en az takım aşınması ise soğuk talaşlı işleme deney numunelerinin işlenmesinde olduğu görülmüştür.

Üretilen kompozit malzemenin tornalanmasında kesme derinliği arttıkça takım aşınması da artmıştır. Takım aşınmasının en az olduğu kesme derinliği 0.5 mm ve takım aşınmasının en fazla olduğu kesme derinliği ise 1.5 mm olduğu görülmüştür. %5 SiCp takviyeli kompozit malzemenin tornalanmasında en fazla takım aşınmasının olduğu deney numuneleri yaşlandırılarak işlenmiş deney numuneleri, en az aşınmanın olduğu ise soğuk talaşlı işleme sonucundaki takımlarda oluşan aşınma olduğu görülmüştür. %15 SiCp takviyeli Al Si7 Mg2

MMK malzemenin işlenmesinde ise en fazla takım aşınması yaşlandırılmış deney numunelerinde olmasına karşın en az takım aşınması diğer üç numunede olduğu tespit edilmiştir. Talaş derinliği arttıkça aşınma artmaktadır. Fakat bu takım aşınması ihmal edilebilecek kadar küçüktür.

Yapılan tüm deneylerde kesici takım kaplamasının etkisini belirlemek üzere deneyler kaplamasız ve TiN kaplı takımların kullanılarak yapılmıştır. Yapılan deneylerde TiN kaplamalı kesici takımlar kaplamasız takımlara göre daha az aşındıkları gözlenmiştir.

Yaşlandırma ısı işlemi sonucunda matriks sertliği artmıştır. Artan matriks sertliği işlenebilirliği etkilemektedir ve takım aşınmasını artırdığı görülmüştür.

Al Si7 Mg2 MMK malzemenin talaşlı işlenmesi sonucu elde edilen yüzey pürüzlülüklerinin, geleneksel malzemelere göre daha kötü olduğu görülmüştür.

%5 SiCp takviyeli Al Si7 Mg2 MMK malzemenin talaşlı işlenmesinde ortalama yüzey pürüzlülüğü kesme hızı arttıkça düşmüştür. En iyi yüzey pürüzlülüğü 150 m/dak kesme hızında olduğu görülmüştür. %15 SiCp takviyeli Al Si7 Mg2 MMK malzemenin talaşlı işlenmesinde ortalama yüzey pürüzlülüğü kesme hızı arttıkça artmıştır. En düşük yüzey pürüzlülük değeri 50 m/dak'da olduğu tespit edilmiştir.

İlerleme arttıkça ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri dalgalanma göstermiştir. En düşük yüzey pürüzlülüğü 0.1 mm/dev ilerleme değerlerinde elde edilmiştir. En kötü yüksek pürüzlülük değeri de genel olarak 0.3 mm/dev ilerlemede olduğu görülmüştür.

Talaş derinliği arttıkça ortalama yüzey pürüzlülüğü artmaktadır. Ortalama yüzey pürüzlülüğünde en az paso derinliği etkili olmuştur. Bu etkinin ilerleme ve kesme hızı yanında ihmal edilecek seviyede olduğu söylenebilir.

Takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü için matematiksel model, faktoriyel regresyon analiz metodu kullanılarak belirlenmiş ve istatistiksel olarak yeterliliği kontrol edilmiştir. Denklemlerde elde edilen teorik değerlerin, deneysel değerlere yakın olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada, % 5 ve 15 SiCp takviyeli Al Si7 Mg2 metal matriks kompozit malzemenin talaşlı olarak işlenmesinde, sadece tornalama yapılarak takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü tespit edilmiştir. Diğer talaşlı işleme metotları kullanılarak da takım aşınmaları tespit edilebilir. Ayrıca bu malzeme için kesme kuvvetleri araştırılmamış ve kesme şartlarının optimizasyonu yapılmamıştır. Daha sonraki çalışmalarda, kesme kuvvetleri de araştırılarak, kesme şartlarının optimizasyonu yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. Schaefer, W. H., Christion, J.L., 1969, "Evaluation of The Stuctural Behaviour of Filament Reinforced Metal Matrix Composites", Technical Report No: AFML-TR-69-36, vol. 3, Air Force Materials Laboratory.
2. McGinty, M. J., Preuss, C. W., 1985, "On High productivity Machining" ASM Conf., Materials and Processes, Clevend, OH, 231-244.
3. Brun, M. K., Lee, M., Gorsler, F., 1985, "Wear Characteristic of Various Hard Materials for Machining SiC-Reinforced Al alloy", Wear, 104, p. 21-29.
4. Konig, W. And Grass, P. Ann, 1989, CIRP, 38(1), p. 119-124.
5. Dan., L. And Mathew, J., 1990, "Tool Wear and Failure Monitoring Techniques for Turning-A Review", Int. J. Mach. Tool Manufacturing, Vol. 30, p.579-598.
6. Chamber, A. R. and Stephens, S. E., 1991, "Machining of Al-5Mg Reinforced with 5 vol. % Saffiland 15 vol. % SiC", Material Science snd Engineering, A135, p. 287-290.
7. Tomac, N., Tonnessen, K., 1992, "Machinability of Particulate Aluminium Matrix Composites", Annals of the CIRP, Cilt:41, p. 55-58.
8. Monaghan, J., Brazil, D., 1998, "Modelling the flow processes of a particle reinforced metal matrix composite during machining", Composites, Part A, Cilt:29A, s:87-99.
9. Chen P., Toshi T., 1992, "High-Performance Machining of SiC Whisker-Reinforced Aluminium Composite by Self-Propelled Rotary Tools", Annals of the CIRP, v 41, 59-62.
10. Wern C.W., Ramulu M., 1993, "Colligan K., A Study of The Surface Texture of Composite Drilled Holes", Journal of Materials Processing Technology, 37,373-389.
11. Yuan, Z.J., Geng, S., "Ultraprecision machining of SiCw/Al composites", Annals of the CIRP Cilt.42, S:107-109, 1993.
12. Bergman, F., Jacobson, S., "Tool wear mechanisms in intermittent cutting of metal matrix composites", WEAR, Cilt:179, s:89-93, 1994.
13. Coelho R.T., Yamada S., Aspinwall D.K., Wise M. L. H., The Application ff Polycrystalline Diamond (PCD) Tool Materials When Drilling And Reaming Aluminium Based Alloys Including MMC, International Journal of Machine Tools& Manufacture, v 35, n 5, 761-774, May 1995.

14. Mubarak B., Bandyopadhyay s., Fowle R., Mathew P., 1995, "Drilling Studies of Al_2O_3 -Al Matrix Composite Part I Drill Wear Charecteristics", Journal of Materials Science, 30, 6273-6280.
15. Lin, J.T., Bhattacharyya, D., Lane, C., 1995, "Machinability of a silicon carbide reinforced aluminium metal matrix composite", Wear, Cilt:183, s:883-888.
16. Morin, E., Masounave, J., Laufer, E.E., 1995, "Effect of drill wear on cutting forces in the drilling of metal-matrix composites", Wear, Cilt:184, s:11-16.
17. Hung, N.P., Boey, F.Y.C., Khor, K.A., PHUA,Y.S., LEE,H.F., 1996, "Machinability of aluminium alloys reinforced with silicon carbide particulates", Journal of Materials Processing Techonology, Cilt:56, s:966-977.
18. Hung, N.P., Zhong, C.H., 1996, "Cumulative tool wear in machining metal matrix composites, Part I: Modelling", Journal of Materials Processing Technology,, Cilt:58, s:109-113.
19. Hung, N.P., Loh, N.L., Xu, Z.M., 1996 "Cumulative tool wear in machining metal matrix composites, Part II: Machinability", Journal of Materials Processing Technology,, Cilt:58, s:114-120.
20. Barnes, S., Pashaby, I.R., Mok, D.K., 1996, "The effect of workpiece temperature on the machinability of an aluminium/SiC MMC", Transactions of the ASME, Cilt:118, s:422-427.
21. Chambers, A.R., 1996, "The machinability of light alloy MMCs",Composites,PartA Cilt:27A,s:143-147.
22. Songmene, V., Stephenson, T.F., Warner, A.E.M., 2000, "Machinability of graphitic silicon carbide aluminium metal matrix composite GrA-Ni", MED-Cilt:6-2, Manufacturing Science and Technology, ASME, s:193-200.
23. Durante, D., Rabezzana, F. and Rutelli, G., 1997, "Aluminum-based MMC machining with diamond-coated cutting tools", Surface and Coatings Technology, Volumes 94-95, Issues 1-3, Pages 632-640.
24. Hung, N.P., Yeo, S.H., Oon, B.E., 1996, "Effect of cutting fluid on the machinability of metal matrix composites", Journal of Materials Processing Technology, Cilt:67, s:157-161.
25. Hocheng, H., Yen, S.B., Ishihara, T., Yen, B.K., 1997, "Fundamental turning characteristics of a tribology-favored graphite/aluminum alloy composite material", Copmposites, Part A, Cilt:28, s:883-890.
26. Monaghan, J., Brazil, D., 1998, "Modelling the flow processes of a particle reinforced metal matrix composite during machining", Composites, Part A, Cilt:29A, s:87-99.

27. Lin, J.T., Bhattacharyya, D., Ferguson, W.G., 1998, "Chip formation in the machinability of SiC-particle-reinforced aluminium-matrix composites", *Composites Science and Technology*, Cilt:58, s:285-291.
28. Hung, N.P., Venkatesh, V.C., LOH, N.L., 1998, "Cutting tool for metal matrix composites", *Key Engineering Materials*, Cilt:138, s:289-325.
29. Iuliano, L., Settineri, L., Gatto, A., 1998, "High-speed turning experiments on metal matrix composites", *Composites, Part A*, Cilt:29A, s:1501-1509.
30. El-Gallab, M., Sklad, M., 1998, "Machining of Al/SiC particulate metal-matrix composites, Part I: Tool performance", *Journal of Materials Processing Technology*, Cilt:83, s:151-158.
31. El-Gallab, M., Sklad, M., 1998, "Machining of Al/SiC particulate metal-matrix composites, Part II: workpiece surface integrity", *Journal of Materials Processing Technology*, Cilt:83, s:277-285.
32. El-Gallab, M., Sklad, M., 2000, "Machining of Al/SiC particulate metal-matrix composites, Part III: Comprehensive tool wear models", *Journal of Materials Processing Technology*, Cilt:101, s:10-20.
33. Joshi, S.S., Ramakrishnan, N., Ramakrishnan, P., 1999, "Analysis of chip breaking during orthogonal machining of Al/SiCp composites", *Journal of Materials Processing Technology*, Cilt:88, s:90-96.
34. Hooper, R.M., Henshall, J.L., Klopfer, A., 1999 "The wear of polycrystalline diamond tools used in the cutting of metal matrix composites", *Int. Journal of Refractory metals & Hard Materials*, Cilt:17, s:103-109.
35. Joshi, S.S., Ramakrishnan, N., Nagarwalla, H.E., Ramakrishnan, P., 1999, "Wear of rotary carbide tools in machining of Al/SiCp composites", *Wear*, Cilt:230, s:124-132.
36. Barnes, S., Pashby, I. R. and Hashim, A.B., 1999, "Effect of Heat Treatment on the Drilling Performance of aluminum/SiC MMC", *Applied Composite Materials*, v.6, n. 2, p. 121-138.
37. Narahari P., Pai B. C., Pillai R. M., 1999, "Some Aspect of Machining Cast Al-SiCp Composites With Conventional High Speed Steel and Tungsten Carbide Tools", *Journal of Materials Engineering and Performance*, v 5, 538-542.
38. Joshi, S.S., Ramakrishnan, N., Ramakrishnan, P., 1999, "Analysis of chip breaking during orthogonal machining of Al/SiCp composites", *Journal of Materials Processing Technology*, Cilt:88, s:90-96.

39. Yanming, Q., Zehua, Q., 2000, "Tool wear and its mechanism for cutting SiC particle-reinforced aluminium matrix composites", *Journal of Materials Processing Technology*, Cilt:100, s:194-199.
40. Xiapoing, L., Seah, W., 2001, "Tool Wear Acceleration in Relation to Workpiece Reinforcement Percentage in Cutting of Metal Matrix Composites", *Wear*, p.161-171.
41. Li, X., Seah, W.K.H., 2001, "Tool wear acceleration in relation to workpiece reinforcement percentage in cutting of metal matrix composites", *Wear*, Cilt:247, s:161-171.
42. Lin, C.B., Hung, Y.W., Liu, W.C., Kang, S.W., 2001, "Machining and fluidity of 356Al/SiC(p) composites", *Journal of Materials Processing Technology*, Cilt:110, s:152-159.
43. Davim, J.P., Antonio, C.A.C., 2001, "Optimisation of cutting conditions in machining of aluminium matrix composites using a numerical and experimental model", *Journal of Materials Processing Technology*, Cilt:112, s:78-82.
44. Ramesh, M.V., Chan, K. C., Lee, E. B. And Cheung, C. F., 2001, "Finite-Element Analysis of Diamond Turning of Aluminium Matrix Composites", *Composites Science and Technology*, 61, Pages 1449-1456.
45. Tosun G., 2002, "2124 Al/SiC Kompozitinin İşlenmesinde Matris Özelliklerinin İşleme Şartlarına Etkisinin Araştırılması", *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği ABD., Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.*
46. Altan, E., Kıyak, M. ve Çakır, O., 2002, "Metal Matiksli Kompozitlerin İşlenebilirliği",
47. Varadarajan Y.S., Vijayaraghavan L., Krishnamurthy R., 2002, "Machining Of particulate Reinforced Metal Matrix Composite With K20 Carbide Tool", 6th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis, ASME, ESDA2002/MAN-023, Turkey, July 8-11 2002.
48. Weinert K., Lange M., Petzoldt V., 2002, "Machining of Metal Matrix Composites, 6th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis", ASME, ESDA2002/MAN-035, Turkey, July 8-11 2002.
49. Boschetto A., Veniali F., Di Ilio A., Paoletti A., 2002, "Analysis of Different Tool Behaviour in Turning of MMC'S", 6th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis, ASME, ESDA2002/MAN-039, Turkey, July 8-11 2002.

50. Sadat A.B., 2002, "The Wear Pattern Of Coated Tungsten Carbide Cutting Tools And Its Effect On Surface Finish When Machining Al₂O₃/6061Al metal Matrix Composites, 6th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis", ASME, ESDA2002/MAN-040, Turkey, July 8-11 2002.
51. Manna, A. and Bhattacharyya, B., 2002, "A study on different tooling systems during machining of Al/SiC-MMC", Journal of Materials Processing Technology, Volume 123, Issue 3, Pages 476-482, 2002.
52. D'Errico, G. E., Calzavarini R., 2001, "Turning of Metal Matrix Composites", Journal of Materials Processing Technology, 119, 257-260.
53. Şahin, Y., 2000, Kompozit Malzemelere Giriş, Gazi Kitabevi, Ankara.
54. Geçkinli, A. E., 1992, İleri Teknoloji Malzemeleri, İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi, Sayı: 1454, İstanbul.
55. Erdoğan, M., 1998, Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri, Cilt: II, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
56. Cöcen Ü., Önel K., 1997, "Metal Matrisli Kompozitlerde Dayanım Artımı ve Düktilite", 7. Denizli Malzeme Sempozyumu, 138-145.
57. Broutman, L.J., Krock, R.H., 1991, Modern Composite Materials, Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts.
58. Jones, M.J., 1987, "Mechanics of Composite Materials", Scripta Book Company, Washington D.C., McGraw-Hill Book Company, New York.
59. Demirkesen, E., 1991, Kompozit Malzemeler, İTÜ Kimya Metalurji Fak. Yayın No: 3, İstanbul.
60. Ersoy, H.Y., 2001, Kompozit Malzemeler, Literatür Yayınları No:66, İstanbul.
61. Taya, M. and Arsenault, R.J., 1989, Metal Matrix Composites, Thermomechanical Behaviour, Pergamon Press.
62. Özben, T., 2001, Sıkıştırma Döküm Yöntemiyle Üretilen Seramik Partikül Takviyeli Al-Si Esaslı Metal Matrisli Kompozit Malzemelerin Mekanik Özellikleri, YTÜ Fen Bilimler Ens., Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
63. Kolukısa, S., 1999, Uçucu Kül İçeren Alüminyum Matrisli kompozit Üretimi, Özellikleri ve Mikroyapı Karakterizasyonu, YTÜ Fen Bil. Ens., Doktora Tezi, İstanbul.
64. Ögel, B., Gür, C. H., 2001, "Non-destructive microstructural characterization of aluminium matrix composites by ultrasonic techniques", Materials Characterization, Volume 47, Issues 3-4, Pages 227-233.

65. Sınmazçelik, T., 2001, "Makina Elemanlarında Kompozit Malzeme Kullanımı, Özellikleri ve Tasarım İlkeleri", TMMOB Mak. Müh. Odası Makina Tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi MATİT-2001, s:65-74.
66. Clyne, T.W., Withers, P.J., 1992, "An Introduction to Metal Matrix Composites", Material Science and Metallurgy, University of Cambridge, 1-10, 318-340.
67. Girot, F.A., Quenisset, J.M., Naslain, R., 1987, "Discontinuously-Reinforced Aluminium Matrix Composites", Composite Science and Technology, vol.30, pp.155-184.
68. Levin, M., Karlsson, B., 1993, "Fatigue Behaviour of a Saffil-Reinforced Aluminium Alloy (6061)" Composite Science and Technology, vol.24, no.3.
69. Rohatgi, P., 1993, "Cast Aluminium-Matrix Composites for Automotive Applications", JOM, April.93, p. 10-15.
70. Geçginli, A.E., 1992, "İleri Teknoloji Malzemeleri", İTÜ Kimya Metalurji Fak. Yayını, İstanbul.
71. Aran, A., 1991, Elyaf Takviyeli Karma Malzemeler, İTÜ Kütüphanesi, Sayı No. 1420, İstanbul.
72. Aran, A., 1997, "Metal matrisli kompozit malzemeler alanında yeni gelişmeler", MAMKON'97, I. Makina Mühendisliği Kongresi (Bildiri Kitabı), 4-6 Haziran 1997, İstanbul, s:368-372.
73. Ogel, B., Gurbuz, R., 2001, "Microstructural characterization and tensile properties of hot pressed Al-SiC composites prepared from pure Al and Cu powders", Materials Science and Engineering A, Volume 301, Issue 2, 31 March 2001, Pages 213-220.
74. Atas, C., Sayman, O., 2000, "Elastic-plastic stress analysis and expansion of plastic zone in clamped and simply supported aluminum metal-matrix laminated plates", Composite Structures, Volume 49, Issue 1, May 2000, Pages 9-19.
75. Şahin Y., 1997, "Elyaf Takviyeli Metal-Matriksli Kompozitlerin Aşınma ve Sürtünme Davranışlarının İncelenmesi", 7. Denizli Malzeme Sempozyumu, 286-291.
76. Akkurt, M., 1996, Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları, Birsan yayınevi, İstanbul.
77. Rodriguez-Castro, R., Keleştemur, M.H., 2002, "Processing and Microstructural Characterization of Functionally Gradient Al A359/SiCp Composite", Journal of Materials Science, 37, p.1813-1821.

78. Şahin, Y., Murphy, S., 1998, "The Effect of Sliding Speed and Microstructure on The Dry Wear Properties of Metal Matrix Composites, Wear 214, p 98-106.
79. Özdemir Ö., İpek, M., Zeytin, S., 2000, "Kesici Takım Malzemeleri", Mühendis ve Makine Dergisi, Sayı 487.
80. Schey, J.A., 1987, Introduction to Manufacturing Processes, Second Edition, McGraw-Hill Book Comp., p. 472-477, New York.
81. Trent, E.M., 1997, Metal Cutting, London.
82. Edwards, L., Endean, M., 1990, Manufacturing with Materials, Material in Action Series, p. 250-261, England.
83. Culp, N.J., Huffman, D.D. and Henry, R.J., 1997, Tools Materials, Metals Handbook, Desk Edition, ASM, Ohio 19-1-18.14.
84. Kıyak, M., Çakır, O. ve Altan, E., 2002, "Metal Matriks Kompozitlerin Talaşlı Şekillendirme ile İşlenmesi", 11. Uluslar arası Metalurji ve Malzeme Kongresi, TMMOB Metalurji Muh. Odası, İstanbul.
85. Avner, S.H., 1974, Introduction to Physical Metallurgy Book Comp., New York, 472-477.
86. Akkurt, M., 1985, Takım Tezgahları, Birsan Yayınevi, İstanbul.
87. TS 10329, 1992, Torna Kalemleri Ömür Deneyleri, Türk Standartları Enstitüsü.
88. TS 971, 1988, Yüzey Pürüzlülüğü-Parametreler ve Pürüzlülük Tesbit Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü.
89. Ellis, J., 1996, "Joining of Aluminium Based Metal Matrix Composites", International Materials Reviews, Vol. 41, No. 2, p.41-58.
90. Elsevier Materials Selector, Vol. 2, UK.
91. Smallman, R. E., 1985, Modern Physical Metallurgy, 4th edn., Butterworths London.
92. Kayhan, M. ve Altan, E., 2003, "Al/SiC Metal Matriksli Kompozitlerin Tormalanması", www.metalmakina.com/makale/makale001.
93. Chen, K. And Chao, C., 1995, Metall.&Mater. Trans. A., 26A, 1035.
94. Baxter, J. W., and Sachedew, A. K., 1999, Metall.&Mater. Trans. A., 30A, 815.

95. Altunpak, Y., ve Akbulut, H., 2002, “ δ - Al_2O_3 fiber takviyeli Al-Si MMK malzemelerde çökelme sertleşmesi-işlenebilirlik ilişkisi”, 11.Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, 192-200, İstanbul.
96. Özler, L., 1998, “Östenitik Manganlı Çeliğin Sıcak Talaşlı İşlenmesinde Kalem Ömrünün Teorik ve Deneysel Olarak Araştırılması”, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elazığ.
97. Yardımeden, A., 2001 “Lamel Grafitli Dökme Demirlerin Tornalanmasında Kalem ile Parça Arasında Meydana Gelen Gerilim Farklarının Araştırılması”, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.
98. Tosun, N., 2001, Tel Erozyon Tezgaahında Tel Aşınmasının ve Yüzey Pürüzlülüğünün Deneysel Olarak İncelenmesi ve Modellenmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Ens., Elazığ.
99. Yurtsever, N., 1984, Deneysel İstatistik Metotları, T.C. Tarım Orman ve Köy İşleri Bakanlığı Yayınları, Ankara.
100. Charpa, S.C. and Canale, R.P., 1990, Numerical Methods for Engineers, Second Edition McGraw-Hill Inc., Singapore.
101. Taylor, F. W., 1907, On The Art of Cutting Metals, ASME, Vol. 78, p.1119-1126.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi :08.10.1968

Doğum yeri :Ergani

Lise :Ergani Endüstri Meslek Lisesi

Lisans :Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Bölümü (1987-1991)

Yüksek lisans :Fırat Üniv. Fen Bilimleri Ens. Makine Anabilim Dalı (1995-1997)

Doktora : Fırat Üniv. Fen Bilimleri Ens. Makine Anabilim Dalı (Başlama: 1999)



EK 1.Kaplamalı ve Kaplamasız Kesicilerin Ömür Hesapları

(% 5 SiC Takviyeli)

Hız	V=150 m/dak																	
Talaş Derinliği (mm)	0.5						1						1.5					
İlerleme (mm/dev)	0.1		0.2		0.3		0.1		0.2		0.3		0.1		0.2		0.3	
Şekil No	4.14		4.15		4.16		4.17		4.18		4.19		4.20		4.21		4.22	
Kaplamalı/Kaplamasız	K.lı	K.sız	K.lı	K.sız	K.lı	K.sız	K.lı	K.sız	K.lı	K.sız	K.lı	K.sız	K.lı	K.sız	K.lı	K.sız	K.lı	K.sız
EGİM AÇILARI (°)																		
Yaşlandırılmış	41	50	50	50	50	55	46	55	46	52	50	56	58	60	55	58	55	55
Homojenlendirilmiş	28	35	32	41	41	41	28	32	19	42	43	50	19	31	41	46	19	50
İşlemsiz	19	35	19	41	41	41	32	34	41	43	46	50	19	41	41	41	50	55
Soğuk	28	35	32	35	41	41	19	19	31	38	34	41	19	28	19	28	28	41
Hız	V=100 m/dak																	
Talaş Derinliği (mm)	0.5						1						1.5					
İlerleme (mm/dev)	0.1		0.2		0.3		0.1		0.2		0.3		0.1		0.2		0.3	
Şekil No	4.23		4.24		4.25		4.26		4.27		4.28		4.29		4.30		4.31	
Kaplamalı/Kaplamasız	K.lı	K.sız	K.lı	K.sız	K.lı	K.sız	K.lı	K.sız	K.lı	K.sız	K.lı	K.sız	K.lı	K.sız	K.lı	K.sız	K.lı	K.sız
EGİM AÇILARI (°)																		
Yaşlandırılmış	19	41	32	35	35	46	28	35	35	35	35	35	35	35	28	34	35	38
Homojenlendirilmiş	28	35	28	35	28	41	28	35	19	28	28	43	28	41	35	35	28	40
İşlemsiz	19	28	28	41	19	41	28	35	28	39	28	35	28	35	19	35	28	38
Soğuk	16	19	28	35	19	28	19	19	28	35	28	35	23	28	14	28	19	28
Hız	V=50 m/dak																	
Talaş Derinliği (mm)	0.5						1						1.5					
İlerleme (mm/dev)	0.1		0.2		0.3		0.1		0.2		0.3		0.1		0.2		0.3	
Şekil No	4.32		4.33		4.34		4.35		4.36		4.37		4.38		4.39		4.40	
Kaplamalı/Kaplamasız	K.lı	K.sız	K.lı	K.sız	K.lı	K.sız	K.lı	K.sız	K.lı	K.sız	K.lı	K.sız	K.lı	K.sız	K.lı	K.sız	K.lı	K.sız
EGİM AÇILARI (°)																		
Yaşlandırılmış	19	28	25	28	26	28	19	19	18	19	23	28	25	35	28	28	35	35
Homojenlendirilmiş	19	23	19	23	25	28	16	28	18	28	28	28	19	28	19	25	25	31
İşlemsiz	19	23	19	23	23	28	19	19	19	23	28	28	25	38	19	23	23	28
Soğuk	10	18	16	23	10	19	10	16	10	19	10	23	10	16	10	19	16	28

(% 15 SiC Takviyeli)

Hız	V=150 m/dak																	
Talaş Derinliği (mm)	0.5						1						1.5					
İlerleme (mm/dev)	0.1		0.2		0.3		0.1		0.2		0.3		0.1		0.2		0.3	
Şekil No	4.41		4.42		4.43		4.44		4.45		4.46		4.47		4.48		4.49	
Kaplamalı/Kaplamasız	K.lı	K.sız	K.lı	K.sız	K.lı	K.sız	K.lı	K.sız	K.lı	K.sız	K.lı	K.sız	K.lı	K.sız	K.lı	K.sız	K.lı	K.sız
EGİM AÇILARI (°)																		
Yaşlandırılmış	44	46	47	52	55	56	50	56	50	52	50	58	49	53	59	53	50	63
Homojenlendirilmiş	41	41	35	46	32	35	41	43	41	49	39	43	39	44	55	47	35	48
İşlemsiz	41	41	39	46	38	46	40	41	41	49	44	50	39	39	41	46	50	55
Soğuk	35	38	39	43	35	41	41	54	43	51	39	43	41	55	44	40	40	41
Hız	V=100 m/dak																	
Talaş Derinliği (mm)	0.5						1						1.5					
İlerleme (mm/dev)	0.1		0.2		0.3		0.1		0.2		0.3		0.1		0.2		0.3	
Şekil No	4.50		4.51		4.52		4.53		4.54		4.55		4.56		4.57		4.58	
Kaplamalı/Kaplamasız	K.lı	K.sız	K.lı	K.sız	K.lı	K.sız	K.lı	K.sız	K.lı	K.sız	K.lı	K.sız	K.lı	K.sız	K.lı	K.sız	K.lı	K.sız
EGİM AÇILARI (°)																		
Yaşlandırılmış	28	41	28	41	32	39	25	39	25	42	28	41	32	44	28	40	28	41
Homojenlendirilmiş	31	38	28	35	29	38	38	43	32	34	31	39	32	39	18	32	28	41
İşlemsiz	28	34	32	40	38	44	28	35	32	41	35	46	28	38	29	35	35	46
Soğuk	32	35	28	36	28	39	31	32	32	35	28	41	31	44	32	35	28	41
Hız	V=50 m/dak																	
Talaş Derinliği (mm)	0.5						1						1.5					
İlerleme (mm/dev)	0.1		0.2		0.3		0.1		0.2		0.3		0.1		0.2		0.3	
Şekil No	4.59		4.60		4.61		4.62		4.63		4.64		4.65		4.66		4.67	
Kaplamalı/Kaplamasız	K.lı	K.sız	K.lı	K.sız	K.lı	K.sız	K.lı	K.sız	K.lı	K.sız	K.lı	K.sız	K.lı	K.sız	K.lı	K.sız	K.lı	K.sız
EGİM AÇILARI (°)																		
Yaşlandırılmış	19	28	21	28	25	28	25	26	23	28	19	35	28	28	32	32	23	31
Homojenlendirilmiş	25	31	28	35	19	36	28	31	35	35	23	32	28	35	31	35	28	35
İşlemsiz	25	28	28	28	25	31	23	31	28	31	32	35	19	28	28	35	31	45
Soğuk	25	32	23	35	23	32	19	35	28	35	25	35	21	35	26	36	28	42

**EK 2. Kaplamalı ve Kaplamasız Kesicilerin Biri Birine Göre Aşınma Yüzdelerinin Hesabı
(%5 SiC Takviyeli)**

Hız	V=150 m/dak								
Talaş Derinliği (mm)	0.5			1			1.5		
İlerleme (mm/dev)	0.1	0.2	0.3	0.1	0.2	0.3	0.1	0.2	0.3
Şekil No	4.14	4.15	4.16	4.17	4.18	4.19	4.20	4.21	4.22
Yaşlandırılmış	0.18	0.00	0.09	0.16	0.12	0.11	0.03	0.05	0.00
Homojenlendirilmiş	0.20	0.54	0.00	0.13	0.55	0.14	0.39	0.11	0.00
İşlemsiz	0.46	0.22	0.00	0.06	0.05	0.08	0.54	0.00	0.65
Soğuk	0.20	0.09	0.00	0.00	0.18	0.17	0.32	0.31	0.32
Hız	V=100 m/dak								
Talaş Derinliği (mm)	0.5			1			1.5		
İlerleme (mm/dev)	0.1	0.2	0.3	0.1	0.2	0.3	0.1	0.2	0.3
Şekil No	4.23	4.24	4.25	4.26	4.27	4.28	4.29	4.30	4.31
Yaşlandırılmış	0.54	0.09	0.24	0.34	0.00	0.00	0.00	0.18	0.08
Homojenlendirilmiş	0.20	0.20	0.32	0.34	0.32	0.35	0.32	0.00	0.13
İşlemsiz	0.32	0.32	0.54	0.34	0.28	0.20	0.20	0.46	0.26
Soğuk	0.16	0.20	0.32	0.00	0.20	0.20	0.18	0.50	0.32
Hız	V=50 m/dak								
Talaş Derinliği (mm)	0.5			1			1.5		
İlerleme (mm/dev)	0.1	0.2	0.3	0.1	0.2	0.3	0.1	0.2	0.3
Şekil No	4.32	4.33	4.34	4.35	4.36	4.37	4.38	4.39	4.40
Yaşlandırılmış	0.32	0.11	0.07	0.00	0.05	0.18	0.29	0.00	0.00
Homojenlendirilmiş	0.17	0.17	0.11	0.43	0.36	0.00	0.32	0.24	0.19
İşlemsiz	0.17	0.17	0.18	0.00	0.17	0.00	0.11	0.17	0.18
Soğuk	0.44	0.30	0.47	0.38	0.47	0.57	0.38	0.47	0.43

(%15 SiC Takviyeli)

Hız	V=150 m/dak								
Talaş Derinliği (mm)	0.5			1			1.5		
İlerleme (mm/dev)	0.1	0.2	0.3	0.1	0.2	0.3	0.1	0.2	0.3
Şekil No	4.41	4.42	4.43	4.44	4.45	4.46	4.47	4.48	4.49
Yaşlandırılmış	0.04	0.10	0.02	0.11	0.04	0.14	0.08	0.10	0.21
Homojenlendirilmiş	0.00	0.24	0.09	0.05	0.16	0.09	0.11	0.15	0.27
İşlemsiz	0.00	0.15	0.17	0.02	0.16	0.12	0.00	0.11	0.09
Soğuk	0.08	0.09	0.15	0.24	0.16	0.09	0.25	0.09	0.02
Hız	V=100 m/dak								
Talaş Derinliği (mm)	0.5			1			1.5		
İlerleme (mm/dev)	0.1	0.2	0.3	0.1	0.2	0.3	0.1	0.2	0.3
Şekil No	4.50	4.51	4.52	4.53	4.54	4.55	4.56	4.57	4.58
Yaşlandırılmış	0.32	0.32	0.18	0.36	0.41	0.32	0.27	0.30	0.32
Homojenlendirilmiş	0.18	0.20	0.24	0.12	0.06	0.21	0.18	0.44	0.32
İşlemsiz	0.18	0.20	0.14	0.20	0.22	0.24	0.26	0.17	0.24
Soğuk	0.09	0.22	0.28	0.03	0.09	0.32	0.30	0.09	0.32
Hız	V=50 m/dak								
Talaş Derinliği (mm)	0.5			1			1.5		
İlerleme (mm/dev)	0.1	0.2	0.3	0.1	0.2	0.3	0.1	0.2	0.3
Şekil No	4.59	4.60	4.61	4.62	4.63	4.64	4.65	4.66	4.67
Yaşlandırılmış	0.32	0.25	0.11	0.04	0.18	0.48	0.00	0.00	0.26
Homojenlendirilmiş	0.19	0.20	0.47	0.10	0.00	0.28	0.20	0.11	0.20
İşlemsiz	0.11	0.00	0.19	0.26	0.10	0.09	0.32	0.20	0.24
Soğuk	0.22	0.34	0.28	0.46	0.20	0.29	0.40	0.28	0.24