

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİYLE YÜZEYİNE KARBÜR
TAKVİYE EDİLMİŞ DÜŞÜK KARBONLU ÇELİKLERİN
ÜRETİMİ VE MİKROYAPISI

Seval Hale MAHMUTOĞLU

Tez Yöneticisi
Doç.Dr.Mehmet EROĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ, 2006

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİYLE YÜZEYİNE KARBÜR
TAKVİYE EDİLMİŞ DÜŞÜK KARBONLU ÇELİKLERİN
ÜRETİLMESİ VE MİKROYAPISI

Seval Hale MAHMUTOĞLU

Yüksek Lisans Tezi

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu tez, 16/06/06 tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği /oyçokluğu ile başarılı / başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Danışman: Doç.Dr Mehmet EROĞLU

Üye: Doç.Dr Fahrettin YAKUPHANOĞLU

Üye: Yrd.Doç.Dr Mehtap MURATOĞLU

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŐEKKÖR

Tez çalışmasının her aşamasında bilgi ve yardımıyla beni destekleyen ve bana yön veren sayın hocam Doç.Dr Mehmet EROĞLU'na ve yüksek lisans çalışmalarım boyunca yardımlarını gördüğüm tüm hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Benden maddi ve manevi desteklerini eksik etmeyen aileme ve daima yanımda olan dostlarıma teşekkür ederim.

Haziran, 2006

Seval Hale MAHMUTOĞLU

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR

İÇİNDEKİLER.....	I
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	III
TABLOLAR LİSTESİ.....	IX
ÖZET.....	X
ABSTRACT.....	XI
1.GİRİŞ.....	1
2. TOZ METALURJİSİ.....	3
2.1.Toz Hazırlama.....	4
2.1.1Tozların Üretimi.....	4
2.1.1.1Kimyasal Yöntem.....	5
2.1.1.2 Elektrolitik Yöntem.....	6
2.1.1.3 Mekanik Yöntem.....	6
2.1.1.4 Granülasyon.....	7
2.1.1.5 Erimiş Metallerin Atomizasyon Teknikleri.....	7
2.1.2 Tozların Özelliklerini Belirleme Yöntemleri.....	9
2.2 Karıştırma.....	11
2.2.1 Difüzyonal Karıştırma.....	12
2.2.2 Konveksyonla Karıştırma.....	12
2.2.3 Pnmatik Karıştırma.....	13
2.3 Presleme	13
2.3.1 Presleme Teknikleri.....	17
2.3.1.1 Rijit Kalıpta Presleme.....	18
2.3.1.2 Soğuk İzostatik Presleme	18
2.3.1.3 Üç Eksenli Presleme.....	20
2.4 Sinterleme	21
2.4.1 Çok Bileşenli Sistemlerde Sinterleme.....	23
2.4.2 Katı Hal Sinterleme Aşamaları.....	24

2.4.3 Malzemede Kütle Taşınım Mekanizmaları.....	26
2.4.3.1 Buharlaşma ve Yoğunlaşma.....	28
2.4.3.2 Yüzeysel Yayınım	28
2.4.3.3 Hacimsel Yayınım.....	30
2.4.3.4 Tane Sınırı Yayınımı	31
2.4.3.5 Sinterleme Sırasında Gözenek Yapıları	32
2.4.4 Kayma ile Sürtünme Yayınımı Deformasyonu	33
2.4.5 Sinterlemenin Mikroyapıya Etkileri.....	34
2.5 Toz Özelliklerinin, Kompaktlama ve Sinterleme Koşullarının Sinterlemede Meydana Gelen Yoğunluk ve Boyut Değişimi.....	34
3. SERT METALLER.....	40
4. DENEY ÇALIŞMALARI.....	43
4.1 Kullanılan Tozların Özellikleri ve Karışımların Hazırlanması.....	43
4.2 Tozların Preslenmesi.....	44
4.3 Sinterleme İşleminin Yapılması.....	44
4.4 Mikroyapı İncelemeleri	44
4.4.1 Optik Mikroskop İncelemele.....	44
4.4.2 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Noktasal Analiz (EDX) İncelemeleri..	44
4.4.3 X Işını Difraksiyonu İncelemeleri.....	45
4.4.5 Mikro Sertlik Ölçümleri.....	45
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	46
5.1 Mikroyapı Sonuçları.....	46
5.1.1 Yüksek Alaşımli Bölge.....	46
5.1.2 Kısmen Alaşımlanmış Bölge.....	46
5.1.3 Geçiş Bölgesi.....	47
5.1.4 Ana Malzeme	47
5.2 EDX ve X-Ray Sonuçları.....	86
5.3 Mikrosertlik Sonuçları.....	92
6.SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	94
KAYNAKLAR.....	95
ÖZGEÇMİŞ.....	98

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil 2.1 Atomizasyon işleminin şematik gösterimi.....	8
Şekil 2.2 Toz partiküllerinin şekilleri.....	10
Şekil 2.3 Difüzyonal ve konveksiyonal karıştırıcı.....	13
Şekil 2.4 T/M yöntemi ile üretilen parçada kompakt yoğunluğunun dağılımı.....	14
Şekil 2.5 Partiküllerin kohezyonunun şematik gösterimi.....	15
Şekil.2.6 Yeniden düzenlenen toz partiküllerinin şematik gösterimi.....	15
Şekil 2.7 Ham mukavemet-ham yoğunluk, kompaktlama basıncı-ham yoğunluğa yağlayıcının etkisi.....	16
Şekil 2.8 Küresel partiküllerin kompaktlama sonrası görünümü.....	17
Şekil 2.9 Farklı kompaktlama tekniklerinin gerilim basınç diyagramında gösterimi....	17
Şekil 2.10 Rijit kalıpta presleme.....	18
Şekil 2.11 Soğuk ve sıcak izostatik presleme.....	20
Şekil 2.12 Üç eksenli presleme.....	20
Şekil 2.13 Sinterleme esnasında partiküllerin birleşip yeni bir taneyi oluşturma aşamaları.....	26
Şekil 2.14 Difüzyon ile kütle taşınımı.....	27
Şekil 2.15 Buharlaştan malzemenin tercihen boyun bölgesine yoğunlaşması.....	28
Şekil 2.16 Katıların yüzeyinde farklı bölgeler arası kütle taşınımı	29
Şekil 2.17 Boyun bölgesine partikülün yüzeyinden malzeme transferi.....	31
Şekil 2.18 Sinterleme sırasında gözenek yapısındaki değişim.....	32
Şekil 2.19: Sinterleme sırasında gözenek yapısındaki değişim.....	33
Şekil 2.20:138Mpa basıncında kompaktlanan ve çeşitli sıcaklıklarda sinterlenen (-74+43) boyutlarındaki bakır tozlarının sinterleme zamanının bir fonksiyonu olarak % çekmesi.....	35
Şekil 2.21.325-580MPa preslenen ve sinterleme zamanının bir fonksiyonu olarak hidrojen atmosferinde 3 saat sinterlenmiş molibden tozlarının sinter yoğunluğu.....	35
Şekil 2.22 Kompaktlama basıncının bir fonksiyonu olarak bir dizi sıcaklıkta 2 saat sinterlenmiş karbonil nikel tozunun yoğunluğu.....	36
Şekil 2.23 Tungsten partikül boyutunun bir fonksiyonu olarak 1800°C de 5 saat sinterlenen tungsten tozlarının % çekmesi.....	37
Şekil 2.24 Sinter zamanının bir fonksiyonu olarak 865° C de sinterlenen 44µm ve75- 105µm iki farklı partikül boyutlu elektrolitik bakır kompaktın yoğunluğu	

.....	37
Şekil 2.25 Sinterleme sıcaklığının bir fonksyonu olarak vakumda 1 saat sinterlenen ve 1200-6000 Mpa basınçla kompaktlanan Cu tozunun kompakt yoğunluğu....	38
Şekil 3.1 Refrakter metallerin erime noktaları.....	41
Şekil 5.1 Numune 1'in yüksek alaşımlı bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı.....	48
Şekil 5.2 Numune 1'in yüksek alaşımlı bölgesinden alınan optik mikroskop fotoğrafı.....	48
Şekil 5.3 Numune 1'in yüksek alaşımlı bölgesinden alınan SEM fotoğrafı	49
Şekil 5.4 Numune 1'in kısmen alaşımlandırılmış + geçiş (perlitik) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı	49
Şekil 5.5 Numune 1'in içeren numunenin kısmen alaşımlandırılmış + geçiş (perlitik) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı	50
Şekil 5.6 Numune 1'in geçiş (perlitik) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı	50
Şekil 5.7 Numune 2'nin yüksek alaşımlı bölgesinden alınan optik mikroskop fotoğrafı.....	51
Şekil 5.8 Numune 2'nin yüksek alaşımlı bölgesinden alınan optik mikroskop resmi...	51
Şekil 5.9 Numune 2'nin yüksek alaşımlı bölgesinden alınan SEM fotoğrafı	52
Şekil 5.10 Numune 2'nin kısmen alaşımlandırılmış + geçiş (perlitik) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı	52
Şekil 5.11 Numune 2'nin kısmen alaşımlandırılmış + geçiş (perlitik) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı	53
Şekil 5.12 Numune 2'nin geçiş (perlitik) bölgesini gösteren optik mikroskop. fotoğrafı	53
Şekil 5.13 Numune 2'nin geçiş perlit+ (perlit+ferrit) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı	54
Şekil 5.14 Numune 2'nin geçiş (perlit+ferrit) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı	54
Şekil 5.15 Numune 3'ün yüksek alaşımlı bölgesinden alınan optik mikroskop fotoğrafı.....	55
Şekil 5.16 Numune 3'ün yüksek alaşımlı bölgesinden alınan optik mikroskop fotoğrafı.....	55

Şekil 5.17 Numune 3'ün yüksek alaşımlı bölgesinden alınan SEM fotoğrafı	56
Şekil 5.18 Numune 3'ün kısmen alaşımlandırılmış + geçiş (perlitik) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı	56
Şekil 5.19 Numune 3'ün kısmen alaşımlandırılmış + geçiş (perlitik) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı	57
Şekil 5.20 Numune 3'ün geçiş (perlitik) gösteren optik mikroskop fotoğrafı	57
Şekil 5.21 Numune 3'ün geçiş (perlit +(perlit+ferrit) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı	58
Şekil 5.22 Numune 3'ün geçiş (perlit + (perlit+ferrit) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı	58
Şekil 5.23: Numune 3'ün geçiş (perlit+ferrit) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı	59
Şekil 5.24: Numune 3'ün %0.2 grafit içerikli ana malzemesi	59
Şekil 5.25 Numune 4'ün yüksek alaşımlı bölgesinden alınan optik mikroskop fotoğrafı	60
Şekil 5.26 Numune 4'ün yüksek alaşımlı bölgesinden alınan optik mikroskop fotoğrafı	60
Şekil 5.27 Numune 4'ün yüksek alaşımlı bölgesinden alınan SEM fotoğrafı	61
Şekil 5.28 Numune 4'ün kısmen alaşımlandırılmış + geçiş (perlitik) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı	61
Şekil 5.29 Numune 4'ün kısmen alaşımlandırılmış + geçiş (perlitik) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı	62
Şekil 5.30 Numune 4'ün geçiş (perlitik) gösteren optik mikroskop fotoğrafı	62
Şekil 5.31 Numune 4'ün geçiş (perlit+(perlit+ferrit) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı	63
Şekil 5.32 Numune 4'ün geçiş (perlit+(perlit+ferrit) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı	63
Şekil 5.33 Numune 4'ün %0.2 grafit içerikli ana malzemesi	64
Şekil 5.34 Numune 5'in yüksek alaşımlı bölgesinden alınan optik mikroskop fotoğrafı	64
Şekil 5.35 Numune 5'in yüksek alaşımlı bölgesinden alınan optik mikroskop	

fotografi.....	65
Şekil 5.36 Numune 5'in yüksek alaşımlı bölgesinden alınan SEM fotografi.....	65
Şekil 5.37 Numune 5'in kısmen alaşımlandırılmış + geçiş (perlitik) bölgesini gösteren optik mikroskop resmi	66
Şekil 5.38 Numune 5'in geçiş (perlit+ (perlit+ferrit) bölgesini gösteren optik mikroskop fotografi.....	66
Şekil 5.39 Numune 5'in %0.2 grafit içeren ana malzemesi.....	67
Şekil 5.40 Numune 6'nın yüksek alaşımlı bölgesinden alınan optik mikroskop fotografi.....	67
Şekil 5.41 Numune 6'nın yüksek alaşımlı bölgesinden alınan optik mikroskop fotografi.....	68
Şekil 5.42 Numune 6'nın yüksek alaşımlı bölgesinden alınan SEM fotografi.....	68
Şekil 5.43 Numune 6'nın kısmen alaşımlandırılmış + geçiş(perlitik) bölgesini gösteren optik mikroskop fotografi.....	69
Şekil 5.44 Numune 6'nın kısmen alaşımlandırılmış + geçiş (perlitik) bölgesini gösteren optik mikroskop fotografi.....	69
Şekil 5.45 Numune 6'nın geçiş (perlitik) gösteren optik mikroskop fotografi.....	70
Şekil 5.46 Numune 6'nın geçiş (perlit+ferrit) bölgesini gösteren optik mikroskop fotografi.....	70
Şekil 5.47 Numune 6'nın %0.2 grafit içeren ana malzemesi.....	71
Şekil 5.48 Numune 7'nin yüksek alaşımlı bölgesinden alınan optik mikroskop fotografi.....	71
Şekil 5.49 Numune 7'nin yüksek alaşımlı bölgesinden alınan optik mikroskop fotografi.....	72
Şekil 5.50 Numune 7'nin yüksek alaşımlı bölgesinden alınan optik mikroskop fotografi	72
Şekil 5.51 Numune 7'nin yüksek alaşımlı bölgesinden alınan SEM fotografi.....	73
Şekil 5.52 Numune 7'nin kısmen alaşımlandırılmış + geçiş(perlitik) bölgesini gösteren optik mikroskop fotografi.....	73
Şekil 5.53 Numune 7'nin geçiş (perlit+ (perlit+ferrit) bölgesini gösteren optik mikroskop fotografi.....	74
Şekil 5.54 Numune 7'nin geçiş (perlit+ (perlit+ferrit) bölgesini gösteren optik mikroskop fotografi.....	74

Şekil 5.55 Numune 8'in yüksek alaşımlı bölgesinden alınan optik mikroskop fotografı.....	75
Şekil 5.56 Numune 8'in yüksek alaşımlı bölgesinden alınan optik mikroskop fotografı.....	75
Şekil 5.57 Numune 8'in yüksek alaşımlı bölgesinden alınan optik mikroskop fotografı.....	76
Şekil 5.58 Numune 8'in yüksek alaşımlı bölgesinden alınan optik mikroskop fotografı.....	76
Şekil 5.59 Numune 8'in yüksek alaşımlı bölgesinden alınan SEM fotoğrafı.....	77
Şekil 5.60 Numune 8'in kısmen alaşımlandırılmış + geçiş (perlitik) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı.....	77
Şekil 5.61 Numune 8'in kısmen alaşımlandırılmış + geçiş (perlitik) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı.....	78
Şekil 5.62 Numune 9'un yüksek alaşımlı bölgesinden alınan optik mikroskop fotografı.....	78
Şekil 5.63 Numune 9'un yüksek alaşımlı bölgesinden alınan optik mikroskop fotografı.....	79
Şekil 5.64 Numune 9'un yüksek alaşımlı bölgesinden alınan SEM fotoğrafı.....	79
Şekil 5.65 Numune 9'un geçiş (perlit) bölgesini gösteren optik mikroskop fotografı.....	80
Şekil 5.66 Numune 9'un geçiş (perlit+(perlit+ferrit) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı.....	80
Şekil 5.67 Numune 10'un yüksek alaşımlı bölgesinden alınan optik mikroskop fotografı.....	81
Şekil 5.68 Numune 10'un yüksek alaşımlı bölgesinden alınan optik mikroskop fotografı.....	81
Şekil 5.69 Numune 10'un yüksek alaşımlı bölgesinden alınan SEM resmi	82
Şekil 5.70 Numune 10'un kısmen alaşımlandırılmış + geçiş (perlitik) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı.....	82
Şekil 5.71 Numune 10'un alaşımlandırılmış + geçiş (perlitik) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı.....	83
Şekil 5.72 Numune 10'un kısmen alaşımlandırılmış + geçiş (perlitik) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı.....	83
Şekil 5.73 Numune 10'un geçiş (perlit +(perlit+ferrit) bölgesini gösteren optik	

VIII

mikroskop fotoğrafı.....	84
Şekil 5.74 Numune 10'un geçiş (perlit + (perlit+ferrit) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı.....	84
Şekil 5.75. Numune 6'nın yüksek alaşımlı bölgesinden ana malzemeye kadar kesiti boyunca mikro yapısının değişimini gösteren optik mikroskop fotoğrafları	85
Şekil 5.76 Numune 1'in yüksek alaşımlı bölgesindeki matris üzerinden alınan EDX analizi.....	87
Şekil 5.77 Numune 3'ün yüksek alaşımlı bölgesindeki matris üzerinden alınan EDX analizi.....	87
Şekil 5.78 Numune 5'in yüksek alaşımlı bölgesindeki VC üzerinden alınan EDX analizi.....	88
Şekil 7.79 Numune 7'nin yüksek alaşımlı bölgesindeki matris üzerinden alınan EDX analizi.....	88
Şekil 7.80 Numune 8'in yüksek alaşımlı bölgesindeki matris üzerinden alınan EDX analizi.....	89
Şekil 7.81 Numune 10'un kısmen alaşımlı bölgesindeki VC üzerinden alınan EDX analizi.....	89
Şekil 7.82 Numune 10'un yüksek alaşımlı bölgesindeki VC üzerinden alınan EDX analizi	90
Şekil 7.83 Numune 10'un XRD analizi	90
Şekil 7.84 Numune 1'in yüksek alaşımlı bölge için element dağılım haritası.....	91
Şekil 7.85 Numune 10'un yüksek alaşımlı bölgesi için element dağılım haritası.....	91

TABLOLARIN LİSTESİ

Tablo 2.1 Toz metalurjisi yönteminin endüstride kullanım alanları.....	4
Tablo 2.2 Su ve gaz atomizasyonunda işletme koşulları ile ilgili değerler.....	9
Tablo 2.3 Toz partiküllerinin boyut dağılımı.....	11
Tablo 2.4 Yağlayıcıların özellikleri.....	16
Tablo 2.5 Hacim yayılımı yolu ve etkileri.....	30
Tablo 4.1 VC'nin kimyasal kompozisyonu.....	43
Tablo 4.3 Alaşımli tabakanın grafit ve VC yüzdeleri (%ağırlıkça)	43
Tablo 5.1 Alaşımli tabakanın grafit ve VC yüzdeleri (%ağırlıkça).....	47
Tablo 5.2 Numunelerin yüksek alaşımli ve kısmen alaşımli bölgelerinden alınan EDX analiz sonuçları (% ağırlık).....	86
Tablo 5.3 Numunelerin alaşımli bölgesinin mikrosertlik değerleri	92
Tablo 5.4 Numunelerin ara bölgelerinin mikrosertlik değerleri	93

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİYLE YÜZEYİNE KARBÜR TAKVİYE EDİLMİŞ
DÜŞÜK KARBONLU ÇELİKLERİN ÜRETİLMESİ VE MİKROYAPISI

Seval Hale MAHMUTOĞLU

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

2006, Sayfa :98

Bu çalışmada yüzeyi farklı oranlarda grafit ve VC ile alaşımlandırılmış düşük karbonlu çelikler toz metalurjisi yöntemi ile üretilmişlerdir. Çalışmada alaşımlı yüzeyin ve düşük karbonlu ana malzemenin bölgesinin toz karışımları ayrı ayrı hazırlanmıştır. Alaşımlı kısmı oluşturmak için grafit içeriği %0.6 ve %1.2 ancak vanadyum karbür içeriği %5, %10, %15, %20 ve %25 olacak şekilde değişen iki ayrı toz karışımı hazırlanmıştır. Numunelerin düşük karbonlu çelik kısmını oluşturmak için ise %0.2 grafit içeren Fe-grafit toz karışımı hazırlanmıştır. Kalıba önce düşük grafit içerikli tozlar ve onun üzerine yüksek alaşımlı tozlar konularak oda sıcaklığında 800MPa basınç altında presleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Preslenme işleminden sonra preslenmiş numuneler 1200 °C’de 60 dk süre ile sinterlenmişlerdir. Sinterleme işleminden sonra elde edilen numunelerde mikroyapı incelemeleri (EDX, element dağılım haritası, X ışınları analizi dahil) ve sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Mikroyapı incelemeleri sonucunda bütün numunelerde yüzey alaşımlanmış bölgeden düşük karbonlu ana malzemeye doğru mikroyapısal olarak dört bölge tespit edilmiştir. Bunlar yüksek alaşımlı bölge, kısmen alaşımlandırılmış bölge, geçiş bölgesi ve düşük karbonlu ana malzemedir. Özellikle geçiş bölgesinin oluşumunda yüksek alaşımlı bölgeden düşük karbonlu bölgeye doğru meydana gelen karbon difüzyonu neden olmuştur. Ayrıca karbon difüzyonu nedeniyle fonksiyonel olarak değişen malzeme oluşumu da gerçekleşmiştir. Sertlik ölçümleri sonucunda en yüksek sertlikler vanadyum karbür (V_8C_7) üzerinde elde edilmiş olup, düşük karbonlu ana malzemeye doğru düşüş göstermiştir. Sonuç olarak; bu çalışmayla yüzeyi alaşımlanmış fonksiyonel olarak değişen malzemelerin toz metalurjisi yöntemi ile üretilebileceği gerek mikroyapısal gerekse sertlik ölçümleri ile gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yüzey Kompoziti, Fonksiyonel Olarak Değişen Malzeme, Toz Metalurjisi, Vanadyum Karbür, Mikro Yapı, Sertlik

ABSTRACT

Master Thesis

PRODUCING OF LOW CARBON STEELS HAVING SURFACES REINFORCED
WITH CARBIDE BY POWDER METALLURGY TECHNIQUE AND
MICROSTRUCTURE

Seval Hale MAHMUTOĞLU

Firat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Metallurgical and Materials Engineering

2006, Page : 98

In the present study, low carbon steel specimens of which surfaces were alloyed with different amounts of graphite and vanadium carbides have been produced by powder metallurgy technique. In the study the powder mixtures for surface alloyed side and for low carbon parent metal were prepared, respectively. To produce surface alloyed side two different Fe-graphite powder mixtures containing two different amounts of graphite powder (0.6 wt% and 1.2 wt%) with the same amount of vanadium carbide powder changing as 5, 10, 15, 20 and 25 wt% were prepared. To produce the side of low carbon steel the powder mixture containing 0.2 wt% graphite were prepared. The low graphite powder mixture was filled into the mould first and the alloyed powder mixture was filled on the low graphite powder and compacted with a pressure of 800 MPa at room temperature. After compacting process, the specimens were sintered at 1200 °C for 60 min. After sintering operation, microstructural investigation including SEM, EDX, elemental mapping and X-ray, and hardness measurements were performed. From the results of microstructural investigation, from the surface alloyed side to low carbon steel side, it was observed four different microstructural regions, namely high alloyed region, partially alloyed region, transient region and low carbon steel parent metal. Especially, carbon diffusion from high alloyed side to low carbon parent metal caused the formation of transient region. In addition, functionally graded material produced because of carbon diffusion. From the results of hardness measurement, higher values were obtained for vanadium carbide (V_8C_7) and the hardness values showed a decrease towards the low carbon steel side. As a result, this study showed that surface alloyed and functionally graded materials can be obtained by powder metallurgy route as shown by microstructural investigations and hardness measurements.

Keywords: Surface Composite, Functionally Graded Material, Powder Metallurgy, Vanadium Carbide, Microstructure, Hardness

1.GİRİŞ

Toz metalurjisi, (T/M) tozların üretimi ve üretilen tozların mühendislik yapılarına dönüşümünü gerektiren bir metottur. Toz metalurjisi yöntemi rijit bir kalıp içerisinde tozların preslenmesi ve toz parçacıklarının bağlanmasını sağlamak için sinterlenme basamaklarını içerir. T/M’de presleme ve sinterleme ile metalik malzemelerin üretimi birçok şekilde parça üreten büyük bir endüstridir. Toz metalurjisi ürünler basit silindirik miller, yataklar, filitreler, dişli çarklar gibi girift parçaların üretimini kapsar. Ancak en büyük avantajı T/M parçalarda boyut sınırlamasının olmasıdır. Yüksek üretim maliyetinden dolayı otomobiller, iş makineleri, ev aletleri, bilgisayarlar, diğer elektronik parçalar gibi yüksek oranda fabrikasyon olan yapıları hedeflemektedir [1].

Fonksiyonel olarak kademeli değişen bir malzemede (FGM), kademeli değişme özelliği mesafeye bağlı olarak kimyasal kompozisyon, mikroyapı veya atomik düzenin değişimi ile elde edilir. Mesafeye bağlı kimyasal kompozisyon değişimi, mesafenin bir fonksiyonu olan c_i bileşeninin konsantrasyonunu belirleyen ve $c_i(x,y,z)$ olarak adlandırılan geçiş fonksiyonu ile tanımlanabilir [2-4].

FGM üretim işlemi, yapının hacimsel bir yapıya dönüşümü ve homojen bir yapı oluşumu şeklinde iki kademelidir. Bu malzemelerdeki kademeli değişim işlemi imalat, homojenleştirme ve segregasyon işlemi olarak sınıflandırılabilir. İmalat işleminde malzemenin ilk şeklinden itibaren değişik bileşimde tozların kademe kademe değişimi esastır. Son 10 yıl boyunca ileri otomasyon tekniklerinde teknolojik ve pratik olarak uygulanabilir imalat işlemleri kullanılmıştır. Homojenleştirme işleminde ise iki malzeme arasında keskin bir ara yüzey mevcuttur ve dış bölgelerden (örneğin elektrik alan) malzeme taşınımıyla birlikte bir kademeli değişen malzemeye dönüştürülebilir. Ham kütlede pürüzsüz yüzey ya da kademeli değişim elde edilip edilmeyeceği toz çökeltisi için uygulanan metoda bağlıdır. Sıcak presleme ya da sinterleme boyunca ham kütlenin sağlamlaşması farklı kompozisyonların partikülleri arasındaki kimyasal reaksiyonlar ve gerekli olan yoğunluğun sağlanacağı difüzyon prosesinin hızlı olduğu yüksek sıcaklıklar gerektirir. T/M yöntemi ile üç tip kademeli değişim üretilebilir: Porozite ve por boyu değişimi, iki ya da çok fazlı malzemede tane boyutu değişimi, tek fazlı malzemelerin kimyasal kompozisyonunda değişimi.[2]

Literatürde toz metalurjisi yöntemi [2,5-7], plazma sprey[12-14] ve lazer [8-11] gibi diğer metotlar ile yüzeyi alaşımlanmış kademeli değişen malzeme elde etmek için çalışmalar yapılmıştır. Çalışmalar özellikle toz metalurjisi yöntemi ile yüzey kompoziti üretimi yada kademeli değişen malzeme üretimi yoğunlaşmaktadır. Çalışmalarda farklı seramik tozlarının

kullanılmasına karşın vanadyum karbür ile ilgili bir çalışmaya rastlanmamaktadır. Bu nedenle bu çalışmada yüzeyi alaşımlanan çelik kompozit numuneler vanadyum karbür kullanılarak üretilmiştir. Yayınlanmış çalışmalar ile bu çalışmanın farkı ise sinterleme boyunca difüzyon ile elde edilen fazların hacim içeriğinin değişimi ve seramik tozlarla yüzey kompozit oluşumunun her ikisinin de aynı numunede oluşturulmasıdır. Bunun için iki farklı toz karışımı hazırlanmış ve aynı kalıpta preslenmiştir. Bunun sonucunda üst tarafı alaşımlı alt tarafı düşük grafit içerikli demir esaslı numuneler elde edilmiştir.

2.TOZ METALURJİSİ

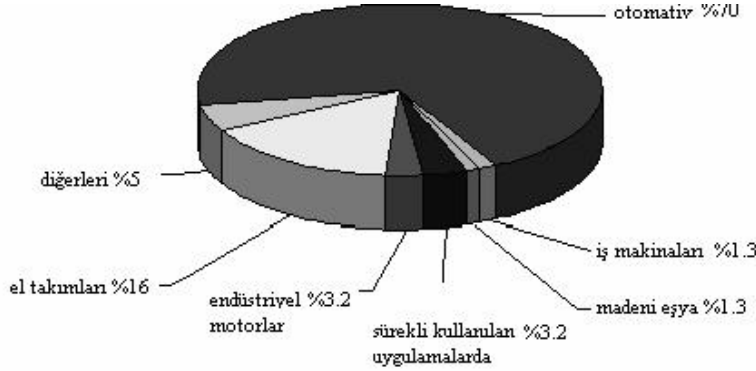
Eski ve orta çağlarda sert çelikten üretilen silahlar, kızıl derecede ısıtılan metal parçaları sıcakta dövüp birleştirmekle imal edilmiştir. M.Ö 3000 yıllarında Mısır'da toz metalurjisi kullanılarak demir takımlar yapılmıştır. Daha sonraki yıllarda İnkalarda değerli metal tozlarını kullanarak çeşitli eşyalar yapmışlardır.19. yüzyıl sonlarında endüstride platin ve iridyum gibi yüksek sıcaklıkta ergiyen metallerin kullanılmasına başlanmıştır. İlk modern toz metalurjisi ürünü 1900'li yıllarda elektrik lambası için üretilen tungsten flamenttir. 1902de tungsten karbiden kesme takım malzemesi, 1940-1950'li yıllarda bakır tozu ve kendiliğinden yağmalı yataklar ve bunun devamında demir esaslı malzemelerden çeşitli dişliler, kam mili ve diğer yapısal malzemeler, 70'li yıllardan itibaren tam şekilli ve yoğun parçaların üretilmesi için sıcak izostatik pres toz metalurjine kazandırılmıştır. Bu yıllarda takım çelikleri ve süperalaşımların üretimi gerçekleştirilmiş ve aynı zamanda otomobil parçalarının toz metalurjisinden üretimde yapılmaya başlanmıştır.1980'de uçakların türbin motor parçaları toz metalurjisinden üretilen ürünlerdir. Bu yıllarda hızlı katılma ve enjeksiyonla kalıplama yöntemleride ticari olarak gelişmeye başlamıştır. Günümüzde ticari toz metalurjisi metodu çok gözenekli metalik filtrelerden kendiliğinden yağmalı yataklara ve yoğunluğu kontrol edilen toz metalurjisi parçalardan tamamen yoğun dövme toz metalurjisi metal sistemlerine kadar geniş bir yelpazeye yayılmaktadır [1].

Toz metalurjisi yöntemi hassas parçalar için daha uygun bir yöntemdir. Toz metalurjisi tekniği:

- Hassas boyut kontrolü veya yüksek mekaniksel özelliklerin önem taşıdığı parçaların üretiminde
- Döküm sıcaklıklarının çok yüksek olması veya döküm özelliklerinin kötü olduğu ve fiziksel, mekaniksel özelliklerin sağlanamadığı parçaların üretiminde
- Plastisitelerinin zayıf olması nedeniyle plastik şekil verme teknikleri ile üretilmeleri mümkün olmayan parçaların imalinde kullanılabilir.

Çeşitli dişli parçaları ve makine elemanları, yatak malzemeleri, seramik ve metalik filtreler, manyetik malzemeler, elektrik kontaktör malzemeleri, toz metalurjisi tekniğinin uygulamalarına örnek olarak gösterilebilir.

Tablo 2.1: Toz metalurjisi yönteminin endüstride kullanımı [28]



Toz metalurjisi, saf metal ve alaşım tozları ile seramik esaslı tozların preslenip sinterlenmesi ile mukavemetlendirilmesi tekniği şeklinde tanımlanmaktadır. Uygun özelliklere sahip metal tozları, bazı katkı maddeleri ilave edilmesiyle veya ilavesiz olarak mekanik veya hidrolik presleme, enjeksiyon, ekstrüzyon veya haddeleme teknikleri ile şekillendirilirler. Şekil verme işlemleri normal sıcaklıklarda yapılabildiği gibi sıcak presleme veya sıcak izostatik presleme tekniklerinde olduğu gibi yüksek sıcaklıklarda da yapılabilir. Bu durumda şekil verme ve sinterleme işlemleri birlikte uygulanmış olur. Soğuk şekil verilmiş parçaların mukavemet kazanabilmeleri için daha sonra sinterlenmeleri gerekir. Sinterleme işlemi bir bakıma malzemelerin pişirilmesi olarak da düşünülebilir [38].

Toz metalurjisi tekniği ile son ürün veya ara ürünler elde edilir. Ara ürünlere sıcak dövme gibi işlemlerle son şeklin verilmesi mümkündür. Toz metalurjisi ile üretim tekniği dört aşamada gerçekleştirilir.

- a) Toz hazırlama
- b) Presleme
- c) Sinterleme
- d) Son işlemler

2.1.TOZ HAZIRLAMA

2.1.1.Tozların Üretimi

Belirli bir uygulama için amaca uygun özellikleri taşıyan ürünün elde edilmesi, her şeyden önce uygun özelliklere sahip tozların üretimi ile mümkündür. Diğer taraftan, belirli özelliklere sahip toz malzeme ile bu malzemenin şekillendirilmesinde kullanılacak teknik arasında bir ilişki vardır. Bu sebeple, bir uygulama için parçadan beklenen özellikler, bu

özellikleri sağlayacak toz üretim tekniği ve söz konusu tozun şekillendirilmesinde kullanılacak tekniğin seçimi birlikte düşünülmelidir. Metal ve alaşım tozlarının üretiminde uygulanabilecek teknikler şunlardır [38].

2.1.1.1. Kimyasal Yöntemler

Metal oksitlerin katı karbon veya gazlarla redüksiyonu kimyasal yöntemlerden biridir. Oksitlerin redüksiyonu ile toz üretim tekniğinin avantaj ve dezavantajları şunlardır.

Avantajları:

1. Karbonun ucuz olması
2. Ucuz metal oksitlerin bulunabilmesi
3. Oksit ve metal partikül boyutunun kontrol edilebilmesi
4. Gözenekli tozlarının üretilebilmesi
5. Proses kapasitesinin elastizitesi

Dezavantajları:

1. Saf indirgeyici gazların yüksek maliyeti
2. Metal oksitlerin saflığının toz saflığını etkilemesi
3. Alaşım tozlarının yapımının mümkün olmayışı

Demir oksit cevherlerinin veya hadde tufalinin (Fe_3O_4) redüksiyonu ile demir tozlarının üretimi mümkündür. Demir cevherinden “sünger demir” üretiminde manyetit, kok ve kireçtaşı karıştırılıp $1200\text{ }^\circ\text{C}$ ye ısıtılır. İndirgenme tamamlanınca sünger demir külçeleri ile artık kok ve kül ayrılır. Elde edilen sünger demir pulverize edilir. Hidrojen atmosferinde tavlanarak oksijen ve karbondan mümkün olduğu kadar arındırılır. Son olarak eleme yapılır. Hadde tufalinden demir tozu üretiminde öğütülerek toz haline getirilen tufal $1000\text{ }^\circ\text{C}$ de hidrojen gazı ile redüklenir. Redüklenen toz daha sonra öğütülüp kalibre edilir. Bu işlem için büyük miktarda hidrojen gazına ihtiyaç vardır. Akışkan yatakta demir tozu üretiminde ise, toz haline getirilen yüksek kaliteli demir cevheri veya hadde tufali bir akışkan yatak üzerinde ön ısıtılmış hidrojen ile $550\text{ }^\circ\text{C}$ ve 3-4 atmosfer basınç altında indirgenir. Elde edilen demir tozu oksijen ile temas sonucu ani olarak yanabileceğinden azot atmosferi altında depo edilir.

İkinci bir kimyasal yöntem, çökeltme reaksiyonu ile toz üretimidir. Bir metalin tuz çözeltisinden çökeltilmesi, prensip olarak sulu çözeltiye elektromotif serisinde daha yüksek olan

bir metalin ilave edilmesidir. Örneğin, kalay klorür çözeltisine çinko ilave edildiğinde kalay tozu, gümüş nitrat çözeltisine bakır ve demir ilave edildiğinde gümüş tozu üretilir [38].

2.1.1.2.Elektrolitik yöntem

Bakır, berilyum, demir gibi metal tozları elektroliz yoluyla çözeltilerden veya ergimiş tuzlardan elde edilebilirler. Elektrolitik demir tozunun diğer yöntemlerle elde edilenlerden daha pahalı olmasına karşılık bakır tozu hemen hemen aynı fiyattadır. Elektrolitik metal tozlarının en önemli avantajları saflıklarının çok yüksek olması ve metal dışı kalıntıların bulunmayışıdır. Metal dışı kalıntılar tozun sıkıştırılabilirliğini düşürürler.

2.1.1.3. Mekanik Yöntemler

Metal tozlarının mekaniksel yöntemlerle ekonomik olarak üretimi aşağıdaki durumlar için mümkündür. Bunlar; Sb, Bi gibi kırılıp toz haline getirilmeleri kolay olan gevrek metaller, gevrek alaşımlar ve seramikler, oksijensiz ortamda hazırlanmaları gereken berilyum ve metal hidrürler gibi reaktif malzemeler, demir ve alüminyum gibi pul partikülleri şeklinde istenilen metallerdir. Bu tür metaller sünek bir davranış gösterdiklerinden kırma, öğütme gibi işlemler sırasında yassılaşıp pul şeklini alırlar. Mekaniksel toz hazırlama teknikleri aşağıda verildiği gibidir.

a) Talaş kaldırma; torna talaşı eğe talaşı v.b işlemlerle elde edilir ve daha sonra kırma öğütme eleme uygulanır

b) Kırma; gevrek (kırılgan) davranış gösteren malzemelere uygulanır. Oksit ve diğer bazı bileşikler kırılıp öğütüldükten sonra redüksiyonla metal tozuna çevrilirler. Bazı metaller kükürt veya benzeri bir katkı elemanı ile gevrekleştirilebilirler. Bu katkı elemanları sürekli ve gevrek bir tane sınırı filmi oluşturur. Daha sonra uygulanan mekanik kırma ile toz elde edilir. IVA ve VA grubu metalleri normal sıcaklıklarda hidrojen difüzyonu ile gevrekleştirilebilirler. Gevrek hidrürler kolayca kırılarak toz haline getirilir ve daha sonra vakum altında yapılan tavlamayla hidrojen alınır. Kırma işleminde kullanılan teçhizat çekiçler, çeneli kırıcılar ve döner kırıcılarıdır. Kırma işlemiyle elde edilen tozlara daha sonra öğütme işlemi uygulanır.

c)Öğütme; toz haline getirilecek malzeme ile sert bir cisim arasında bir darbe meydana gelmesini sağlamaktır. Bu amaçla bilyeli öğütücüler, titreşimli öğütücüler ve pervaneli öğütücüler

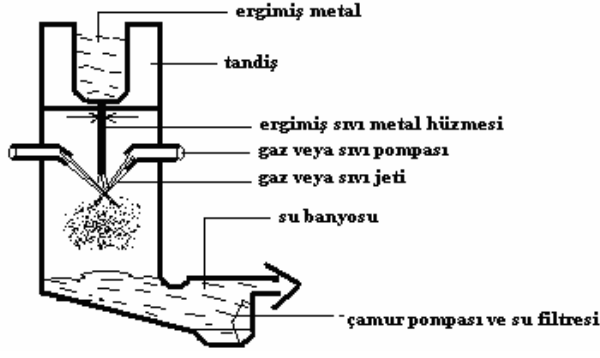
kullanılabilir. Islak öğütme ile ve bazı yüzey aktif elamanların ilavesiyle toz boyutunun küçültülmesi mümkündür. Bu amaçla ferrisiyanür, alüminyum nitrat, seryum nitrat v.b. inorganik tuzlar kullanılabilir. Örneğin, karbonikel tozu seryum veya alüminyum nitrat kullanılarak bilyeli öğütücüde alkol varlığında 0.1 mikron tane boyutuna kadar öğütülebilir. Organik esaslı aktif yüzey elamanları arasında en iyisi stearik asittir. Pul şeklindeki tozlar bilyalı, çekiçli veya merdaneli öğütücüler kullanılarak elde edilirler. Ticari olarak, pul şeklindeki üretilen tozlar alüminyum, bakır, bronz, gümüş, demir ve paslanmaz çelik tozlarıdır. Öğütme işlemi bazı sistemlerde karıştırma işlemi ile birleştirilebilir. Örneğin sinterlenmiş karbürlerin üretiminde kobalt ve karbür birlikte öğütülürken aynı zamanda karışımları sağlanır [38].

2.1.1.4. Granülasyon:

Erimiş metal bir elekten geçirilerek dökülürse sıvı metal damlalar halinde dağılır. Bu damlalar serbest düşme esnasında katılaşırsa saçma tanesi şeklinde küresel partiküller elde edilir. Elde edilen partiküllerin boyutları büyük olduğundan mekanik inceltmeye ihtiyaç vardır.

2.1.1.5. Erimiş Metallerin Atomizasyon Teknikleri

Bu teknik, ergitilmesi mümkün olan her metale uygulanabileceği gibi saf ve ön alaşımlandırılmış metal tozlarının doğrudan doğruya erimiş metalden elde edilmesinde de başarıyla uygulanabilir. Atomizasyon tekniklerinde prensip bir potanın dibindeki delikten akmakta olan erimiş metalin üzerine basınçlı gaz veya sıvı hüzmesi yollamaktır. Buna göre atomizasyon, erimiş sıvı metal kitlesinden yüksek hız ve basınçlı bir akışkanın etkisiyle sıvı damlalarının oluşumu ve daha sonra toz partikülleri şeklinde katılaşması olarak tanımlanabilir. Atomize edici ortam olarak su veya gazlar kullanılır. Buna göre atomizasyon su atomizasyonu, veya gaz atomizasyonu şeklinde sınıflandırılabilir. Gaz atomizasyonunda hava, azot, argon ve bu gazların karışımları ile helyum kullanılır. Suyun vizkozitesi, yoğunluğu, ve soğutma kapasitesi gazlardan yüksektir. Buna karşılık su atomizasyonu reaktif metallerde oksidasyona neden olma eğilimi gösterir. Asal gazlar kullanıldığında oksidasyon önlenir. Su atomizasyonu işlemleri gaz atomizasyonuna göre daha basit olup daha düşük bir yatırıma ihtiyaç gösterir. Bu nedenle su atomizasyonu esas olarak düzensiz şekilli demir esaslı alaşım tozlarının yüksek tonajlı üretiminde kullanılırken asal gaz atomizasyonu yaklaşık küresel şekle sahip partiküllerin ihtiyaç duyulduğu reaktif ve özel alaşım tozlarının üretiminde kullanılır.



Şekil 2.1. Atomizasyon işleminin şematik olarak gösterimi [1]

Atomizasyon tekniğinde tozların boyutunu boyut dağılımını ve şeklini kontrol eden parametreler şunlardır:

- Su veya gazın basıncı ve hızı, debisi
- Vizkozitesi, soğutma kapasitesi
- Erimiş metalin katılma sıcaklık aralığı, bileşimi, vizkozitesi
- Yüzey gerilimi
- Aşırı ısı, yoğunluğu
- Metal besleme hızı
- Sıvı hüzmenin çapı
- Jet geometrisi, jet ile metal hüzmesi arasındaki mesafe
- Jet ile metal hüzmesinin çarpma açısıdır.

Tozların tane boyutu ve şekli atomize edici akışkanın özelliklerine ve türüne bağlıdır. Suyun soğutma kapasitesi daha yüksek olduğundan (gazlara göre) elde edilen partiküller düzensiz şekillidir. Buna karşılık gazlar az veya çok küresel şekilli partiküller verirler. Akışkanın basıncı, hızı, kütle akışı ve jet ile metal hüzmesi arasındaki mesafe azaldığında toz partikül boyutu küçülür. Tanelerin şeklini etkileyen esas faktör metal damlacıklarının soğuma hızıdır. Bu nedenle soğutma kapasitesi yüksek olan su ile buna göre daha düşük soğutma kapasiteli gazlarla yapılan atomizasyonda partiküllerin şekilleri değişiklik gösterir. Hızlı soğutma ile düzensiz şekilli, yavaş soğutma ile küresel şekilli partiküller elde edilir

Erimiş metalin katılma aralığının geniş olması soğuma süresinin uzamasına neden olur ve küresel şekilli partiküllerin oluşum eğilimi artar. Metalin aşırı ısısının artması benzer sonuç verir. Aşırı ısının artması metalin yüzey gerilimini ve vizkozitesini düşürür ve böylece küreselleşmeyi teşvik eder. Akışkan jetin geometrisi çok değişik olabilir. Metal hüzmesi alttan, üstten, yanlardan veya çok yönlü olarak atomize edilebilir. Akışkan jeti ile metal hüzmesi arasındaki mesafe azaldığında ortalama tane çapı küçülür [38].

Tablo 2.2. Su ve gaz atomizasyonunda işletme koşulları ile ilgili değerler [38]

	Su atomizasyonu	Gaz atomizasyonu
Basınç	$35 \times 10^6 - 210 \times 10^5$	$14 \times 10^5 - 42 \times 10^5$ Pa
Hız	40-150 m/s	50-150 m/s
Aşırı ısı	100-250 °C	100-200 °C
Çarpışma açısı	$< 30^\circ$	15-90°
Partikül soğuma hızı	10^3 °C/s	10^2 °C/s

2.1.2. Tozların Özelliklerini Belirleme Yöntemleri

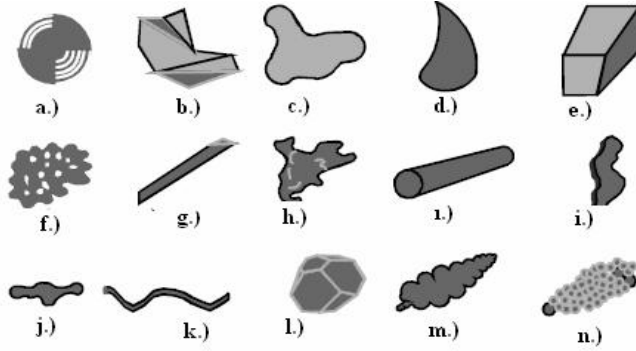
Metal tozları, seçilen toz üretim tekniğinde toza daha sonra uygulanan işlemlere ve tozun hazırlanmasında başlangıç malzemesi olarak kullanılan ham maddenin özelliklerine bağlı olarak değişik özellikler gösterirler. Tozların özellikleri ile tozlara şekil verme amacıyla uygulanan kalıplama işlemi sırasındaki davranışları, sinterleme özellikleri ve sonuç ürünün özellikleri arasındaki belirli bağıntılar vardır. Bu sebeple, toz karakterizasyonu olarak adlandırılan toz özelliklerinin tanımlanması, ölçülmesi toz metalurjisi tekniğinde büyük önem taşır. Örneğin, tozların boyut ve şekilleri toz üretim tekniğine ve bu teknikteki parametrelere bağlıdır. Su atomizasyonu genellikle düzensiz şekilli partiküller verirken, gaz atomizasyonu ile küresel şekilli partiküller elde edilir. Gaz veya su atomizasyonunda atomizasyon koşullarına bağlı olarak tane büyüklüğü geniş bir aralıkta değişebilir. Tane boyutu, boyut dağılımı ve şekli tozların kalıplanma özelliklerini etkileyen önemli parametrelerdir. Toz üretiminde metal, alaşım, oksitli cevher gibi başlangıç maddeleri kullanılabilir. Örneğin, oksit esaslı metal cevherleri kullanıldığında, cevherin redüksiyonu ile üretilen tozlarda değişik tür ve miktarlarda safsızlıklar bulunabilir. Bu safsızlıklar arasında en önemlisi oksit esaslı bileşenlerdir. Toza şekil verdikten sonra uygulanan sıcak dövme, sıcak ekstrüzyon gibi işlemler sırasında malzemenin davranışı ve elde edilen ürünün özellikleri üzerinde oksit empuriteleri önemli bir etkiye sahiptir. Diğer taraftan, en yüksek saflıkta tozlar elektroliz yöntemiyle üretilirler.

Bilyeli ve çubuklu değirmenlerde öğütme gibi mekaniksel yöntemlerle toz hazırlanırken, öğütücü sistemin aşınması sonucu toz bileşimine yabancı maddeler girebileceği gibi tozlarda oksitlenme de meydana gelebilir. Demir, bakır, alüminyum gibi sünek metallerin mekaniksel yöntemlerle hazırlanmaları sırasında partiküller deforme olduklarından deformasyon sertleşmesi gösterebilirler. Bu açıklamalardan anlaşılacağı gibi toz özellikleri, tozun hazırlanma yöntemine ve toza uygulanan işlemlere bağlı olup bu özellikler tozun

presleme ve sinterleme davranışlarını ve sonuç ürünün özelliklerini etkilerler. Toz metalurjisinde önemli olan toz özellikleri aşağıdaki gibidir.

- Tane boyutu
- Tane boyut dağılımı
- Tane yapısı
- Tane şekli
- Tozun kimyasal özellikleri
- Tozun akma hızı
- Tozun görünür yoğunluğu
- Tozun sıkıştırılabilirliği, sıkıştırma oranı ve kompakt mukavemeti

Metal tozlarının üretim yöntemleri ile ürünün şekli ve mikro yapısı arasında bir ilişki vardır. Metal tozlarının üretim yöntemleri atomizasyon, kimyasal elektroliz ve mekanik yöntemler olarak özetlenebilir. Atomizasyon yöntemi ile kimyasal şekilli tozlar üretilir. Bunların yüzeyleri düz ve muntazam olabileceği gibi pütürlüde olabilir. Kimyasal yöntemle ise karmaşık şekilli tozlar üretilebilir. Bu toz partikülleri sünger şeklinde yapıları verir. Bu tozlara elektron mikroskobu ile bakıldığında kaktüs şeklinde bir görünümü vardır. Elektroliz yöntemiyle dentrit şekilli tozlar üretilir. Mekanik yöntemle ise lamel şekilli tozlar üretilir. Lamel şeklindeki tozların kenarları düzensiz ve dantelli olup genişlik ve uzunlukları genellikle kalınlıklarından büyüktür [1].



Şekil 2.2.a.) küresel b.) angular c.) yuvarlak d.) damlacık e.) kübik f.) gözenekli g.) asiküler h.) düzensiz i.) silindirik j.) flake k.) ligamental l.) fiber m.) dentritik n.) aggregate [35].

Tane boyutu ancak, tane şekli tanımlandığı zaman bir anlam kazanır. Örneğin küresel şekilli partiküller için partikül çapının verilmesi yeterli olacaktır. Buna karşılık düzensiz şekilli taneler için boyut ifadesi bu boyutun ölçüldüğü yönteme bağlı olacaktır. İğnesel şekilli partiküller d çapları ve l uzunlukları ile tanımlanmalıdırlar. Elek analizi yapılırken belirli bir

elek aralığından iğnesel şekilli partiküllerin geçip geçmeyeceği partikülün elek aralığına göre konumuna bağlıdır. Partikül elek aralığına dik konumda ise bir alt eleğe geçebilir, buna karşılık, aralık üzerinde boyuna duruyorsa alt eleğe geçmeyecektir. Tane boyutu belirli bir aralık içinde dağılım gösterdiklerinde boyut analizleri ile her bir aralıktaki tozların % miktarları (tane boyutu dağılımı) ve ortalama tane boyutu belirlenir. Tozun tane boyut aralığı 5-45 μ m arasında değişiyorsa boyut dağılımı için aşağıdaki gibi bir tablo verilebilir;

Tablo 2.3.Toz partiküllerin boyut dağılımı [39].

Boyut aralığı (μ)	Ağırlık (%)
0-5	0
5-10	5
10-15	15
15-20	20
20-25	25
25-30	10
30-35	10
35-40	5
40-45	10
45-50	0
	100 %

Böylece belirli bir boyuttaki partiküllerin ağırlık yüzdeleri belirlenmiş olur. Yukarıdaki örneğe göre toz karışımında 5 μ dan küçük 45 μ dan büyük taneler mevcut değildir. Boyut dağılımı kümülatif olarak da ifade edilir. Bu tür bir ifadede belirli bir boyuttan büyük ve küçük partiküllerin ağırlık yüzdeleri verilir [39].

2.2 Karıştırma

Karıştırma değişik boyut, şekil ve yoğunluktaki tozların homojen olarak karışmasını ve böylece presleme ve sinterleme performanslarının yüksek olmasını sağlar. Herhangi bir yağlayıcı ilavesi yapılmaksızın preslenen tek bileşenli sistemler hariç, diğer tüm sistemlerde karıştırma işlemi her zaman uygulanır. Karıştırma farklı toz tiplerinin uniform dağılımını sağlamak için gereklidir. Karıştırma öncesi boyut, yoğunluk, akış farkı, partiküller arası etkileşim elverişsiz durumdadır. Karıştırma sırasında bazı problemler mevcuttur. Bunlar;

- Rutubet
- Aşırı Karıştırma
- Boyut Farkı
- Yoğunluk farkı
- Akış karakteristik farkı ‘dir.

Karıştırma işleminde önemli olan diğer bir faktör karıştırma sırasında tozlarda meydana gelebilecek deformasyon sertleşmesidir. Bakır, demir gibi yumuşak metal tozlarının hızlı ve şiddetli karıştırılmaları deformasyon sertleşmesine neden olur. Bu ise tozun sıkıştırılabilirlik özelliğinin düşmesine yol açar. Bu sebeptendir ki yumuşak toz karışımlarının hazırlanmasında bu olay dikkate alınmalı, hızlı ve şiddetli karıştırmadan kaçınılmalıdır. Şiddetli bir karıştırma partiküller arasındaki sürtünmeyi artırdığından karışım sıcaklığının yükselmesine neden olur. Toza ilave edilen yağlayıcıların bu ısının etkisiyle kısmen erimesi nedeniyle partiküllerin aglomerasyonuna sebebiyet verirler. Aglomerasyon ise tozun serbest akma özelliğini bozar. Karıştırma işlemi, metal partiküllerinin birbiri üzerinde kayma hareketi yapmasını sağlayacaktır. Fakat partiküllerin karıştırıcı içinde serbest düşme hareketlerini önleyecek şekilde yapılmalı ve buna uygun karıştırıcı sistemi seçilmelidir [33].

2.2.1.Difüzyonal Karıştırma

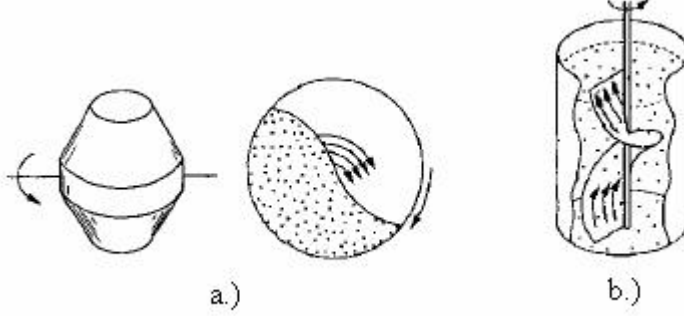
Partiküller toz kütesinin yayılmasının bir sonucu olarak indirgenen partiküller arası sürtünme ve tozların rastgele hareketiyle oluşan yer değişimiyle beraber birbirleriyle ilişkili olarak yeniden düzenlenirler. Bu karıştırıcının V-karıştırıcı, yatık koni, yatay yada dikey davul, çift konili, küp tipleri mevcuttur. Şekil 2.3 davul tipli bir difüzyonal karıştırıcı görülmektedir [33].

2.2.2.Konveksiyonel Karıştırma

Partiküller mekanik hareketin bir sonucu olarak yeniden düzenlenirler. Bu yöntemde toz karıştırma için kullanılan konteynırın içerisinde karıştırıcı bir uç yer alır. Bu karıştırıcının şerit, çift yatay kollu, küresel değirmen tipleri mevcuttur. Şekil 2.3’de dikey tip bir konveksiyonel karıştırıcı görülmektedir [33].

2.2.3. Pnömatik Karıştırma

Herhangi bir gazın kullanılması ile toz kütlesinin kap içerisinde yayınarak yeniden düzenlenmesi sonucu yapılan karıştırma yöntemidir [33].



Şekil 2.3. a.) Difüzyonal b.) konveksiyonel karıştırıcı [33]

Bu karıştırma tekniklerinde tozun boyut ve şeklinde önemli değişimler meydana gelmez. Bazı durumlarda toz türlerinden birinin karıştırma sırasında diğerinin yüzeyini kaplaması veya tozun boyutunun küçültülmesi istenebilir. Bu durumda bilyeli veya çubuklu öğütücüler kullanılır. Sert karbür karışımlarının hazırlanmasında bu tür karıştırıcılardan yararlanılır. Bilyeli öğütücülerde karıştırma yaş veya kuru olarak yapılır. Özellikle farklı boyuttaki tozların karıştırılmasında yaş öğütme tekniğinin uygulanması ile daha homojen toz karışımı elde edilir. Yaş öğütme aynı zamanda ince tozları oksidasyona karşı korumak ve toz partiküllerinin yüzeyini diğer bir toz ile kaplamak amacıyla da kullanılabilir. Bilyeli öğütücülerde karıştırmanın önemli bir sakıncası bilye ile öğütücü astarı arasındaki sürtünme sonucu aşınmanın meydana gelmesi ve tozun kirlenmesidir.

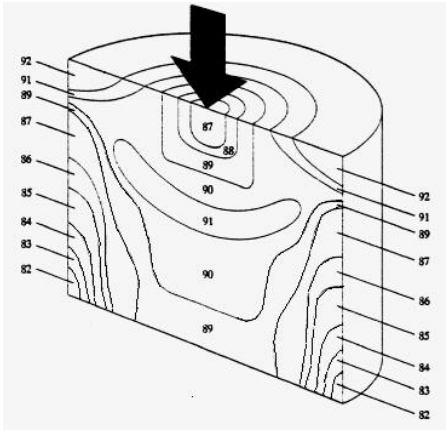
2.3. Presleme

Preslenmiş metal tozlarının sinterlenmiş durumdaki mukavemet ve yoğunluğu toz özelliklerine ve presleme basıncına bağlıdır. Belirli bir toz karışımı sabit presleme basıncı için mukavemet ve yoğunluk parça geometrisine bağlı olarak değişir. Yumuşak metal tozları nispeten düşük basınçlarda iyi bir mukavemet kazanabilirken, sert tozlar için daha yüksek basınçlara ihtiyaç duyulur. Partiküllerin levha veya küre bir simetriye sahip olmaları da kompakt mukavemetini ve yoğunluğunu etkiler. Presleme toz partiküllerinin yüzey temaslarının artırılması ile ilgili olduğundan levha yapılı tozlarla daha yüksek yoğunlukta kompaktlar elde edilebilir. Küresel şekilli partiküllerin presleme özellikleri iyi değildir ve yüksek basınçların uygulanmasını gerektirir. Partikül temasını etkileyen diğer bir faktör tozların yüzey temizliğidir.

Partikül yüzeyindeki oksit filmlerinin olması partiküller arasında kuvvetli bir bağ oluşumu için gerekli yüzey temasını önleyebilir.

Preslemenin ilk aşamasında birbirine gevşek bağlı olan partiküllerin düzeninde bir bozulma meydana gelir, partiküller arası mesafe değişir. İkinci aşamada elastik ve plastik deformasyonlar görülür. Elastik deformasyon önemli bir etkiye sahip değildir. Plastik deformasyon miktarı ise tozların sünekliğine bağlı olup tungsten veya tungsten karbür gibi sert metal tozlarında ihmal edilebilir düzeydedir. Ancak, tozların yeterli bir plastiziteye sahip olmaları durumunda tozlarda soğuk işlem sertleşmesi meydana gelir ve bunun sonucunda gerilme altında daha ileri safhalarda deformasyon zorlaşır. Üçüncü aşamada ise uygulanan basınç altında partiküllerde kırılma ve küçük parçalara ayrılma görülür.

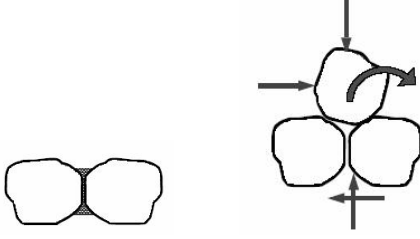
Uygulanan basıncın artması ile kompakt yoğunluğu artarken porozite azalır. Ancak, rijit kalıpların kullanıldığı presleme tekniklerinde yoğunluk değişimi homojen değildir. Tozların preslenmesi esas olarak basıncın uygulanması yönündedir. Örneğin, Şekil 2.4 rijit kalıplarda yapılan preslemede basınç tek taraftan veya iki taraftan uygulanabilir. Basıncın zımbadan parçaya iletilmesi sırasında sürtünme nedeni ile meydana gelen basınç kaybı preslenen parçanın şekline bağlıdır. Basıncın uygulandığı kesit alanı ne kadar küçük, parça boyu ne derece yüksek ise basınç kaybı o ölçüde fazla ve presin orta bölgelerindeki yoğunluk da düşük olur. Preslenen parçada yoğunluk ve gerilme parça boyunun yanı sıra radyal yönle değişir. Silindirin üst kısmının dış çevresel bölgelerinde yoğunluk en yüksek, alt kısmın dış bölgelerinde ise en düşüktür [32].



Şekil 2.4. TM üretilen bir çelik parçada kompakt yoğunluğu dağılımı [32]

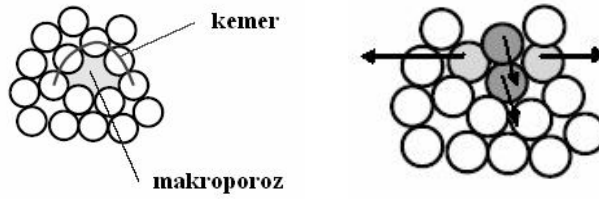
Presleme işleminde iki temel işlem mevcuttur. Parçacıkların yapışmasıyla yüzey difüzyonu ve yeniden düzenleme işlemi:

a. Kohezyon (Yapışma): Kohezyon ilk durumda tozlarda mevcut olabilir. Bazen basınç altında partikül yüzeylerinin plastikleşmesi ile meydana gelebilir. Bazen de partiküllerin nispi hareketinden dolayı kohezyon yok olabilir. Şekilde iki partikül arasındaki kohezyon görülmektedir [33].



Şekil 2.5. Partiküllerin yapışmasının şematik gösterimi [33]

b. Yeniden Düzenleme: Malzemenin başlangıçtaki yoğunluğu kohezyon ve partiküller arası sürtünmeye bağlıdır. Partiküllerin bir araya gelmesiyle oluşan kemerler yeniden düzenleme ile kırılır ve partiküller daha fazla basınç konfigürasyonu içinde kuvvetlenir. Basıncın etkisiyle parçacıklar daha yakın paketlenmeye yönelmektedir. Düşük basıncın etkisiyle paketlenme yoğunluğu ve koordinasyon sayısı artmaktadır. Genellikle paketlenme yoğunluğu 0.05MPa'da düşük sıcaklıklarda gerçekleşmektedir. Küresel olmayan parçacıklar için düzenlenme ile hacim azalması küresel olanlara göre çok daha fazladır. Örneğin yassı toz parçacıkları için bu değer %55'leri bulurken küresel parçacıklar için yeniden düzenleme ile yoğunluk artışı %1'ler mertebesinde [33].



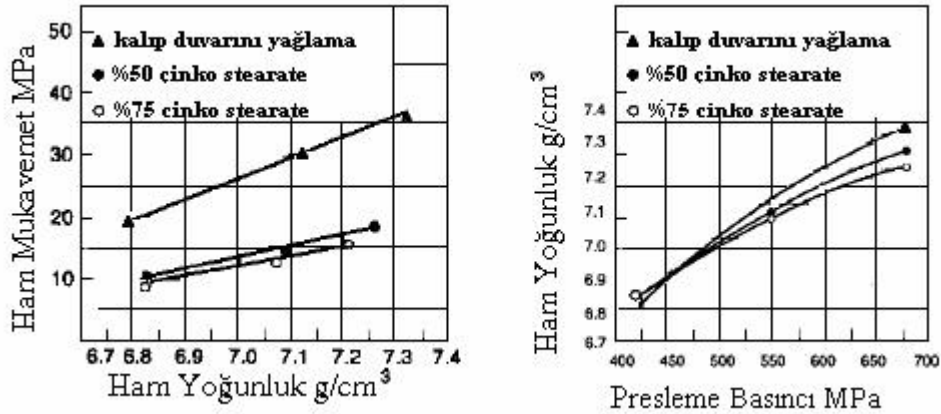
Şekil 2.6. Yeniden düzenlenen toz partiküllerin şematik gösterimi [33]

Ön şekil verilmiş metal tozlarının yoğunluğu yaş yoğunluk olarak da adlandırılabilir. Yaş yoğunluk değeri artan şekillendirme basıncı, azalan şekillendirme basınç hızı, artan tane boyutu, azalan sertlik ve partikül dayanımı ile artmaktadır. Preslenmiş bir malzeme içerisinde bir yoğunluk farklılığı olabilmektedir. Bu yoğunluk farklılığı preslenmiş malzeme içinde gerilim değişiminden kalıp çeperleri ile metal tozları arasındaki sürtünme sonucu oluşur. Böyle bir gerilim dağılımı tane hareketini etkiler. Yaş yoğunluk oranı ön şekil verilmiş malzemenin yüksekliği ile çapı arasındaki orana bağlıdır. Sinterleme sonrası oluşan çekme yaş yoğunlukla

ters orantılıdır. Yaş yoğunluk arttıkça sinterleme sonrası oluşan çekme azalır. Bu nedenle yaş numunedeki yoğunluk gradiyenti uniform olmayan çekmeye neden olur. Az yoğun olan bölgeler sinterlemenin daha az etkisinde kalmaktadır ve bu bölgelerde daha fazla sinterleme çekmesi oluşur. Kalıp duvarı ile sürtünmeden dolayı oluşan yoğunluk gradyanı sinterleme sonrası boyutsal gradyana dönüşmektedir. Bu istenmeyen durumların önlenmesi için tane boyutu büyük olan tozlar kullanılarak yüksek basınç altında ön şekillendirme yapılır. Yağlayıcı kullanılarak kalıp çeperi arasındaki sürtünme azaltılır. Yağlayıcının görevi iyi bir akışkanlık sağlayarak preslemeye yardımcı olmaktır. Tablo 2.4’de bazı yağlayıcıların özellikleri ve Şekil 2.7’de ham mukavemete yağlayıcının etkisi verilmiştir.

Tablo 2.4. Yağlayıcıların özellikleri [34]

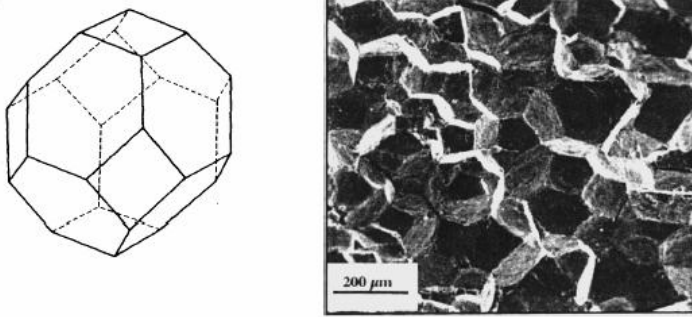
Yağlayıcı	Kimyasal Formül	Erime Noktası °C
Çinko Stearate	$Zn(C_{18}H_{35}O_2)_2$	130
Lityum Stearate	$LiC_{18}H_{35}O_2$	221
Parafin	$C_{22}H_{46}$ yada $C_{27}H_{56}$	40-60
Acrawax	-	140-143



Şekil 2.7. Ham mukavemet-ham yoğunluk, presleme basıncı-ham yoğunluğa yağlayıcının etkisi [34]

İki yönlü metal kalıpta presleme işlemi tek yönlü presleme işlemine göre daha homojen bir yaş yoğunluk dağılımını verir. İzostatik presleme işleminde bu gibi sorunlar gözlenmez basınç homojen bir dağılım gösterdiğinden dolayı yoğunluk dağılımı ve mekanik özellikler homojendir Sinterleme öncesi toz karışımının ön şekillendirilmesi gözenek sayısını azaltırken partikül sayısını artırır. Dislokasyon yoğunluğunun artması sinterlemenin ilk anlarındaki sinterleme hızını artırır. Dislokasyonlar numune içindeki boşluklarla karşılıklı etkileşime

girerek kütle taşınımını arttırmaktadır. Gözeneklerden dışarı doğru yayılan boşlukların dislokasyonların etrafında toplanması durumunda dislokasyon tırmanması gerçekleşir. Yapılan araştırmalarda dislokasyon yoğunluğunun yoğunlaşma hızını arttırdığını belirtmiştir. Boşluklar dislokasyonlar da yok olmakta ve dislokasyonlar toplu halde yeni bir kayma düzlemine doğru kaymaktadır.

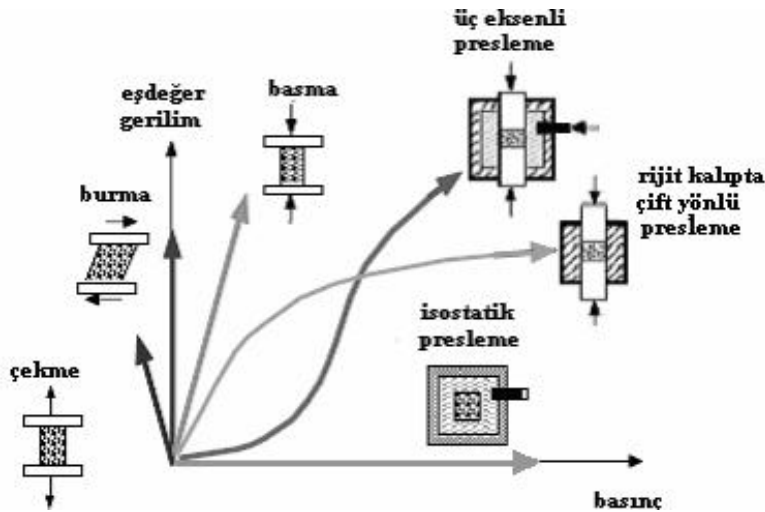


Şekil 2.8: Küresel tozların preslemeden sonraki görüntüsü [32]

2.3.1. Presleme Teknikleri

Presleme tekniğinin seçiminde göz önünde tutulması gereken faktörler fiziksel ve kimyasal özellikleri, parça şekli ve büyüklüğü, sonuç üründen beklenen özelliklerdir. Tozlara şekil vermede endüstriyel olarak uygulanan değişik teknikler mevcuttur. Bunlar;

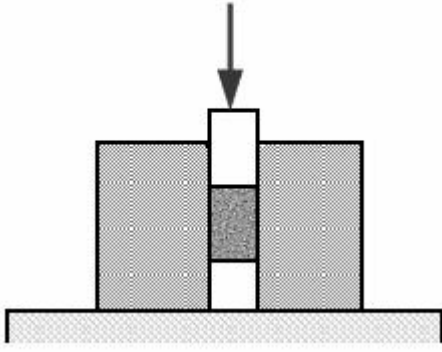
- Rijit kalıpta presleme
- İzostatik presleme
- Üç eksenli presleme yöntemleridir.



Şekil 2.9. Farklı presleme tekniklerinin gerilim-basınç diyagramında gösterimi [33]

2.3.1. Rijit Kalıpta Presleme

Preslemede kullanılabilecek değişik tür ve kapasitelerde presler mevcuttur. Toz özelliği preslenmiş parçadan beklenen özellikler, parça geometrisi kriterlerine bağlı olarak kapasitesi, hızı, zımba çarpma uzunluğu ve hareket sayısı değişebilen presler seçilebilir. En çok kullanılan mekanik ve hidrolik preslerdir. Hidrolik preslerin üretim hızları eşdeğer kapasiteli mekanik preslerin yarısı kadardır. Presleme 1000 tona kadar çıkabilir. Avantajları, basıncın hassas olarak kontrol edilmesidir. Bu sebeple büyük ve uzunluğu fazla olan parçaların preslenmesinde tercih edilirler. Mekanik ve hidrolik presler de basınç tek veya iki taraftan uygulanabilir. Şekil.2.10'da görüldüğü gibi tek ve dik yönde uygulanan basınç kalıp kenarlarına paralel basınçları doğurur.



Şekil 2.10: Rijit kalıpta preslemenin şematik gösterimi [33]

2.3.1.2. Soğuk İzostatik Presleme

Sıkıştırılabilirliği kötü olan tozların ve normal tek eksenli presleme sistemleri ile şekillendirilemeyen karmaşık şekilli parçaların preslenmesinde kullanılır. Toz kütlelerinin tüm dış yüzeylerine aynı anda üniform basınç uygulayarak yapılan bir preslemedir. Diğer tekniklerde görülen toz-kalıp yüzeyi sürtünmesi yoktur. Soğuk izostatik preslemenin karakteristik özellikleri, avantaj ve dezavantajları şöyledir;

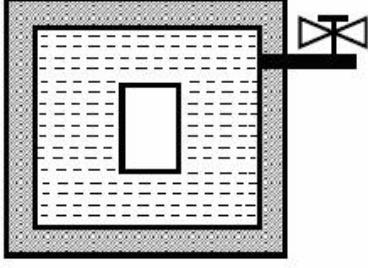
- Üniform basınç nedeniyle parçanın yoğunluğu yüksek ve üniformdur.
- Boy / çap oranı yüksek olan ve bu kesitli parçaların üretimi mümkündür.
- Toz kalıp sürtünmesi olmadığından preslemeden önce metal tozlarının yağlayıcı ile karıştırılma zorunluluğu yoktur.
- Preslemede kullanılan kalıplar rijit kalıplardan daha ucuzdur.

Bu üstünlüklerin yanı sıra izostatik preslemenin bazı dezavantajları vardır, Bunlar;

- Rijit kalıplarda preslenmiş parçaların boyut kontrolü izostatik preslemeden daha hassastır.
- Rijit kalıplarda presleme ile elde edilen yüzey düzgünlüğü izostatik preslemeden daha yüksektir.
- Genel olarak izostatik presleme hızı rijit kalıplarda presleme hızından çok düşüktür. Ancak, geliştirilmiş izostatik presleme tekniklerinde üretim hızı yükseltilmiştir.

İzostatik preslemede kullanılan kalıp malzemesi rijit kalıplardan daha ucuz olmakla beraber kullanım ömrü çok daha kısadır. İzostatik presleme yüksek basınç dayanıklı basınç kalıplarında yapılır. Soğuk izostatik preslemede kalıp malzemesi olarak değişik plastik ve lastikler kullanılır. Bunlar uygulamaya bağlı olarak bir defa kullanıldıktan sonra atılan veya tekrar kullanılabilen kalıplardır. Bir defa kullanılan kalıplar rijit yapılı polistiren veya polietilenden yapılırlar, ince cidarlıdırlar ve preslenmiş parçanın çıkarılması sırasında bozulmalarını (mekanik hasar görmelerini) önlerler. Ancak sadece bir defa kullanılmaları nedeniyle presleme maliyetini artırırılar. Tekrar kullanılabilen kalıplar ürethan, silikon kauçuğu, neopron veya doğal kauçuktan yapılırlar. Cidar kalınlıkları daha fazladır ve şekil kontrolüne daha uygundurlar. Ancak, et kalınlıklarının preslemeden sonra kalıptan çıkarılmaları sırasında mekaniksel hasar görmeleri mümkündür.

Kullanılan kalıp malzemelerinin elastik modüllerinin yüksek, kalıcı deformasyonlarının düşük olması, aşınmaya karşı yeterli bir direnç gösterecek kadar sert olmaları gerekir. Tozla doldurulan esnek kalıplar ya mekanik olarak veya lastik yapıştırıcı ile kapatılırlar. Kullanılan plastik veya lastik kalıpların esnek yapıları nedeniyle izostatik presleme bazen “esnek kalıplama presleme” olarak adlandırılır. Böylece, mekanik veya hidrolik preslerde tek eksenli preslemede kullanılan metalik/rijit kalıplardan ayırt edilirler. Parçaya uygulanan izostatik basınç toz vasıtasıyla alt ve üst kısımlara iletiğinden eksenel basınç çevresel basınçtan daha düşüktür. Üretim hızının yaş kalıplamadan daha yüksek olmasına karşın, kuru izostatik presleme ancak basit şekilli parçalara uygulanabilir. Yaş izostatik kalıplamada, yeterli büyüklükteki basınç kamaralarında her bir peryotta birden fazla parçanın kalıplanması mümkündür. Kuru izostatik preslemede ise bir çevrimde ancak tek bir parça preslenebilir. Titanyum alaşımları, yüksek hız takım çelikleri, paslanmaz çelik parçalar, tungsten alaşımları izostatik preslemenin uygulandığı metallerdir.

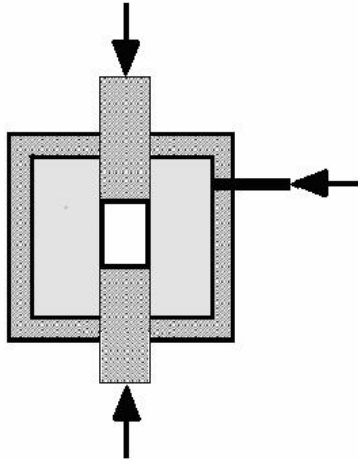


Şekil 2.11: Soğuk ve Sıcak İzostatik presleme [33]

2.3.1.3.Üç Eksenli Presleme

Üç eksenli pres prensip olarak kuru izostatik preslemeye benzer. Preslenen parça üzerinde ayrı ayrı kontrol edilebilen farklı değerlerde çevresel ve eksenel gerilimler oluşturur. Eksenel ve çevresel asal gerilimler arasındaki fark parça üzerinde kayma gerilimlerinin meydana gelmesine neden olur. Preslenmiş parçanın yoğunluk ve mukavemeti diğer yöntemlerle elde edilen değerlerden daha yüksektir. Preslenecek toz sabit kalıba doldurulur. İzostatik basınç σ_3 değerinde ulaşıncaya dek uygulanır. σ_3 basıncı hem eksenel hem de çevresel basınç şeklindedir.

Rijit olmayan bir kalıpta preslenen parçaya uygulanabilecek kayma gerilmesinin bir sınır değeri vardır ve bu sınırın aşılması parçada kayma etkisiyle kırılmaya neden olur. Çevresel izostatik basıncın artırılması asal gerilme farkını veya kayma gerilmesini yükseltir. Çevresel izostatik basıncının artması $\sigma_1 - \sigma_3$ farkını ve böylece kayma gerilmesi artırmakta, parça yoğunluğu yükselmektedir.



Şekil 2.12. Üç eksenli presleme [33]

2.4 Sinterleme

Toz metalurjisi metodu ile toz üretiminin üretimin son aşaması sinterlemedir. Ön şekil verilmiş metal tozlarının mutlak ergime sıcaklığının yarısının üzerinde bir sıcaklığa ısıtıldığında aralarında sıkı bir bağ oluşur. Bu bağ sinterleme olarak adlandırılır.

1.)Sinterleme Atmosferi: Oksitlenme, indirgenme karbürizasyon, dekarbürizasyon, nitrasyon ve parçalanma gibi kimyasal reaksiyonların oluşmasına olanak vermeyecek yada kontrol edebilecek bir özelliğe sahip olmalıdır. Ana bileşenin yada alaşım elementinin istenmeyen buharlaşmasını önleyecek bir özellik taşımalıdır. Sinterleme sırasında buharlaşması gereken katkıların ve bunların ürünlerinin sistemden uzaklaşması sağlanmalıdır. Fırın içerisinde ısı iletimi konveksiyonla sağlanmalıdır. Konveksiyonla ısı iletimi vakum sinterlemesinde mümkün değildir.

Gazın su buharı içeriği çığlenme noktası olarak tanımlanır. Çığlenme noktası su buharı yoğunlaşmasının başladığı sıcaklığı ifade etmektedir. Sıcaklık azaldıkça gazın daha kuru ve daha düşük bir çığlenme noktasına sahip olduğu anlaşılmaktadır. Azot ve soygazlar gibi indirgeyici olmayan gazlarda genellikle su buharının yanı sıra elementel oksijende bulunabilir. Bu durumda çığlenme noktası oksitlenme potansiyeli açısından kesin bir değer ifade etmez.

Sinterleme sırasında atmosferde beklenen en önemli özellikle oksitlenmeye imkan vermemesidir. Bu nedenle metalik malzemelerin çoğu koruyucu gaz ortamında sinterlenir. Oksit ve karbürleri çok kararlı olan çok yüksek reaktivlikteki metallerin geleneksel sinterleme gazları ile indirgenmesi ve dekarbürizasyonu mümkün olmamaktadır. Oksitlenme eğilimi çok yüksek olan metallerin sinterlenmesinde O_2 ve H_2O içermeyen çok yüksek saflıktaki H_2 gazı kullanılarak düşük vakum ortamında sinterleme yapılarak sinterleme sırasında oksit oluşumundan kaçınılmaya çalışılır.

Al_2O_3 , MgO , Cr_2O_3 gibi oluşum enerjileri yüksek olan oksitler normal vakum ve indirgeyici gaz sinterlemesi koşullarında bile çok karardır indirgenemezler. Bu oksit tabakaları metalik yüzeyler arasındaki karşılıklı difüzyonu azalttıklarından yada olanaksız kıldıklarından sinterlemeye çok kuvvetli bir şekilde engeller. Ergime sıcaklığı düşük olan metaller, ergime sıcaklığı çok yüksek olan kendi oksidi ile kaplandığı zaman, uygulanan sinterleme sıcaklığı yüzeydeki oksit tabakası nedeniyle çok düşük olmakta ve bu sıcaklıkta oksit tabakası içerisinde atom taşınımı gerçekleşmemektedir. Dolayısıyla saf Al tozlarından oluşan bir parçanın üretimi geleneksel soğuk presleme ve ergime sıcaklığına yakın bir sinterleme sıcaklığında gerçekleştirilen bir sinterleme ile gerçekleştirilmez. Oksit tabakasını parçalayarak sıvı bir fazın oluşması yada ekstrüzyon işlemi ile gerçekleştirilen çok kuvvetli bir deformasyonla oksit

tabakasının mekanik olarak parçalanması ve yeni metalik yüzeylerin elde edilmesi mantıklı bir çözüm olabilir. Oksijen miktarı yalnızca sinterlemeyi etkilemez. Aynı zamanda oksijen inkilüzyonları fiziksel ve mekanik özellikleri azaltır. Oluşum enerjileri çok düşük olan oksit tabakaları için geçerlidir. Bu oksitlerden bazıları sinterleme sırasında buharlaşır bazıları ise indirgenir ve bazıları da kısmen metal matris içerisinde çözünür. Özellikle indirgemediği sonra giderilmiş oksitler geride aktivitesi çok yüksek olan metalik yüzeyler bırakır.

2.)Sinterleme Mekanizması: Ön şekil verilmiş yaşı numunedeki bağlanma ise sabit bir basınç altında tozların belirli bir kalıp içerisinde sıkıştırılması sonucu oluşan yüzeysel yapışmadır. Bu bağlanma tipi kristal kafesin içinde meydana gelen bağlanmaya göre çok çok zayıftır. Sinterleme sırasında atomlar arasında bağ oluştuğundan parçacık değme noktalarında artma olur ve parçacıkların birbirine kaynaşması daha da artar. Tek bileşenli sistemlerde, sinterleme sıcaklığı olarak ergime sıcaklığının altındaki bir sıcaklık seçilir. Bu sıcaklık değeri yaklaşık olarak ergime sıcaklığının %80'ine karşı gelen bir sıcaklıktır. Bu tür sinterleme işlemine katı hal sinterlemesi denir. Çok bileşenli sistemlerde sinterleme sıcaklığı bileşenlerden en az birinin ergime sıcaklığının üstünde olabilir. Sinterleme sırasında numunenin geometrik yapısını bozmayacak ölçüde yapıda sıvı faz bulunur. Sinterlemeyi gerçekleştiren itici güç sistemin iç enerjisindeki azalmadır. Bu azalmayı sağlayan etkenler ise şunlardır; Parçacık değme alanlarının büyümesinden dolayı olan yüzey alanının bozulması, gözenek hacmindeki azalma ya da gözeneklerin küreselleşmesi, çok bileşenli sistemlerde katı fazın sıvı faz içerisinde çözünmesi ile oluşan konsantrasyon farklılığının giderilmesi gibi etkenlerdir [22].

İtici güç ile sinterleme mekanizması birbirinden farklı kavramlardır. İtici güç kütle hareketine neden olan malzeme üzerindeki gerilimi oluşturur. Bu gerilmeyi sağlayan itici güç ise genellikle parçacık yüzey enerjisidir. Birim hacim başına düşen yüzey enerjisi parçacık çapıyla ters orantılıdır. Yüzey enerjisi yüzey alanı ile ifade edilir. Bu nedenle daha fazla yüzey alanına sahip olan parçacıklar daha fazla yüzey enerjisine sahip olacaklarından daha hızlı olarak sinterlenecektir.[20] Bütün yüzey enerjisinin sinterleme için kullanımı mümkün olmamaktadır. Çünkü kristal katı içerisinde hemen hemen her parçacık teması yeni tane sınırları ve bu sınırlarla ilgili tane sınırı enerjileri açığa çıkacaktır. Dolayısıyla parçacık yüzey enerjilerinin bir kısmı yerine tane sınırı enerjisi olarak harcanacaktır. Tane sınırları özellikle atomik hareket bakımından çok önemlidir. Çünkü tane sınırları en fazla atomik hareketlerin olduğu kusurlu bölgelerdir. Sinterleme mekanizmaları ise kütle hareketini belirleyen atomik hareketin yolunu belirler. Diğer bir ifade ile taşıma mekanizmaları itici güçlerin etkisi ile kütle hareketinin nasıl olacağını belirler [22].

Yüzeysel taşınımındaki kütle hareketi, partiküller üzerinde başlayıp yine partiküller üzerinde bitmesi nedeniyle parçacıklar arası mesafede herhangi bir değişim olmaksızın boyun büyümesi olabilir. Hacimsel taşınımın etkin olduğu sinterleme işleminde ise yapıda yoğunlaşma olur. Sinterleme sırasında meydana gelen boyun büyümesi aslında bir yayınım işlemi olan taşınım mekanizmaları ile ilgilidir. Yayınma işlemi sıcaklıkla daha etkin hale gelmektedir. Bu durum şu şekilde açıklanabilir: Atomik hareket aktivasyon enerjisi yada daha fazla enerjiye sahip olan atomların bulundukları konumdan serbest hale geçmelerine ve boş olan atomik yerlere hareket edebilecek atom sayısına bağlıdır. Yüksek sıcaklıkta hem aktif atom hemde boş atomik yerlerin sayısında artış olduğundan yüksek sıcaklıkta sinterleme daha hızlı gerçekleşir [19].

2.4.1.Çok Bileşenli Sistemlerde Sinterleme

Toz karışımının sinterlenmesi sıvı fazın oluşumuyla yada oluşmaması ile gerçekleşebilir. Katı halde sinterleme bileşenlerinin birbiri içerisinde katı halde çözünürlüğü olabilir. Genel ön koşul, sistemdeki toplam yüzey enerjisinin γ 'nın azalmasıdır. İki bileşenli bir karışımda üç tür partikül teması vardır. Bunlar A-A, A-B ve B-B şeklindedir. Bunlara karşı gelen ara yüzey enerjileri ise sırasıyla γ_A , γ_B , γ_C şeklindedir. Birbiri içerisinde çözünmeyen sistemlerde $\gamma_{AB} > \gamma_A + \gamma_B$ 'dir. Bu sistemde A-B temasının sinterlenmesi gerçekleşmezken A-A ve B-B temaslarının sinterlenmesi gerçekleşir. A-B temasının sinterlenmesi için gerekli koşul $\gamma_{AB} > \gamma_A + \gamma_B$ 'dir

$\gamma_{AB} > \gamma_A - \gamma_B$ olduğu zaman termodinamik olarak tam bir sinterleme mümkün olmaktadır. Arayüzey enerjisi sıvı fazın olduğu yada oluşmadığı bütün sistemlerde prosesi kontrol eder. Daha düşük γ_{AB} daha fazla itici kuvvet demektir. Sıvı fazın olduğu sistemlerde γ_{AB} etkisi çok daha belirgin olarak görülür. Sıvı fazın oluşmadığı durumlarda γ_{AB} etkisinin belirlenmesi çok zor iken, karakteristik ıslatma açısı yardımıyla γ_{AB} etkisi kolaylıkla belirlenir. Toz karışımı özellikle katı haldeki sinterlenebilirliği sinterleme gerilmelerinden etkilenmektedir. Bu gerilmelerin oluşum nedenlerini aşağıdaki gibi özetleyebiliriz.

- Kübik olamayan fazlardaki anisotropik ısı genleşme
- Ön şekillendirmenin ya da aglomerasyonun neden olduğu karışım içerisindeki kısa ya yada geniş bir aralıkta gözlenen yoğunluk farkının ve bu durumun neden olduğu homojen olmayan sinterleme
- Fazlar arasında ısı genleşme uyumsuzluğu
- Karışımdaki faz homojensizliğinin neden olduğu farklı Sinterleme proseslerinin numune içerisinde gözlemlenmesi

1 ve 2. maddeler aynı zamanda tek bileşenli sistemler içinde geçerlidir. Sinter gerilmeleri nedenleri ile oluşan en önemli hasar tipleri makro ve mikro çatlaklardır [16].

2.4.2.Katı Hal Sinterleme Aşamaları

Ergime sıcaklığının altındaki bir sıcaklıkta katı halde atomsal taşınma ile taneler arasındaki bağ oluşumuna katı hal sinterlemesi denir. Katı hal sinterlemesinin de taneciklerin atomsal düzeyde taşınması; yüzey yayınımlı, hacim yayınımlı, tane sınırı yayınımlı, viskoz akış, plastik akış katı yüzeyde buharlaşma ve yeniden yoğunlaşma gibi değişik kütle hareket yolları ile gerçekleşir. Katı hal sinterlemesi birbirini takip eden altı aşamadan oluşur [19]. Bu aşamalar,

- Partiküller arası ilk bağın oluşması
- Boyun büyümesi
- Gözenek kanallarının kapanması
- Gözeneklerin yuvarlaklaşması
- Yoğunlaşma ya da gözeneklerin küçülmesi
- Gözeneklerin irileşmesi şeklindedir.

a) Partiküller Arası İlk Bağın Oluşması: Malzeme ısıtılırken sinterleme işleminin ilk aşamalarında bağ oluşumu gerçekleşir. Bağ oluşumu atomların yayınımlı ve bunun sonucunda oluşan tane sınırının oluşumunu içerir. Bu işlem çok yakın fiziksel teması olduğu birbirine komşu toz partikülleri arasında gerçekleşir. Ön şekil verilmiş malzemelerde bağlanma sağlayacak yeteri kadar temas noktaları vardır. Bağlanma işleminin büyük bir kısmı sinterleme sıcaklığına kadar geçen ısıtma işlemi sırasında ve sabit sinterleme sıcaklığının ilk anlarında gerçekleşir. Sinterlemenin bu aşamasında malzemede boyutsal değişim olmaz. Fakat bu aşamada sertlik ve dayanımda önemli değişiklikler olur.

b) Boyun Büyümesi: Sinterlemenin ilk aşaması ile yakından ilgilidir. Oluşan bağ bölgelerine boyun adı verilir. Bu aşamada boyunlar boyutsal olarak büyür. Bu durum sinter kütlesi içerisinde daha büyük oranda bağlanmayı ifade eder. Fakat gözeneklerde bir azalma olmaz. Ayrıca gözeneklerin sürekliliğine de etki yapmaz. Eğer, ön şekil verilmiş malzemedeki gözenekleri düzensiz ve birbiriyle bağlantılı olarak düşünersek, boyun büyümesi bu kanalların daha düzenli pürüzsüz olmasını sağlar. Sinterlemenin ilk anlarında boyun büyümesi bu kanalların daha düzenli pürüzsüz olmasını sağlar. Sinterlemenin ilk anlarında boyun büyümesinin hızlı bir şekilde meydana geldiği kabul edilirse. Sinterlemenin diğer aşamalarının

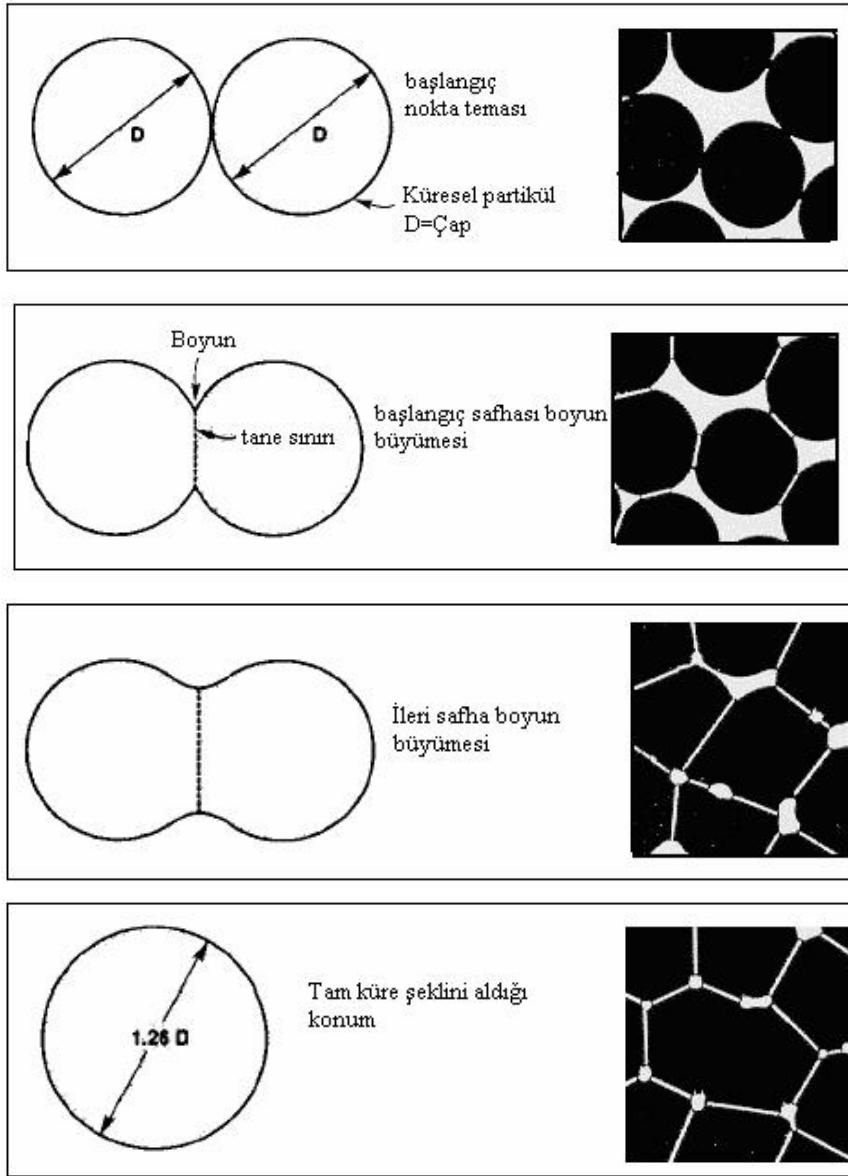
oluşumu sırasında boyun büyümesi devam edebilir. Bu durum özellikle sinterlemenin üçüncü ve beşinci aşamalarında oluşan yeni bağların büyümesi ile olur.

c) Gözenek Kanallarının Kapanması: Bu aşamada gözeneklerde önemli değişiklikler olur düzensiz şekilli ve birbiriyle bağlantılı gözenek kanallarının kapanması kapalı ve izole olmuş gözeneklerin oluşmasına neden olur. Gözenek kanallarının kapanmasına neden olan olaylardan biriside boyun büyümesidir. Ancak beşinci aşamada gözeneklerin küçülmesi sonucu gözenek yüzeyleri arasında yeni temaların oluşmasıyla, gözenek kanallarının kapanması bir süre daha devam edebilir ve sinterlemenin dördüncü ve beşinci aşamaları ile çakışabilir. Malzeme içerisinde gözenek miktarı %10'dan daha fazla ise gözenekler birbirleriyle temas halindedir. Eğer gözenek miktarı %5-10'dan daha az ise gözeneklerin çoğu kapalı ve birbiriyle teması yoktur.

d) Gözeneklerin Yuvarlaklaşması: Gözeneklerin yuvarlaklaşması, boyun büyümesinin doğal bir sonucudur. Gözenek yüzeylerinden boyun kısmına malzeme taşınımıyla gözenekler daha yuvarlaklaşır. Gözenek yuvarlaklaşması gözenek küçülmesini getirmemekle birlikte aynı zamanda gerçekleşir. Gözenek yuvarlaklaşması hem kapalı hemde birbiri ile bağlantılı gözenekler için geçerli olmasına karşın genellikle kapalı gözenekler için düşünülür. Yeterli süre ve uygun sıcaklıkta çok düzgün küresel gözenekler elde etmek mümkündür. Yüksek sinterleme sıcaklıkları gözenek yuvarlaklaşmasını artırır. Bu aşama gözeneklerin sinterlenmiş malzemenin mekanik özelliklerine etkisi bakımından çok önemlidir.

e) Gözenek Küçülmesi: Gözeneklerin küçülmesi veya azalması sinterlemenin en önemli aşamasıdır. Sinterlemenin özelliklerinden biri olmasına karşın, bu aşama gerçekleştirilmeden de sinterleme işlemi bitirilebilir. Gözenek küçülmesinin en önemli göstergesi, parçanın hacimce küçülmesidir. Bu olay katı malzemelerin gözeneklere gözeneklerdeki gazın dış yüzey hareketini kapsamaktadır. Yoğunluk artışının ölçülmesi genellikle sinterlemenin ilerlemesinin göstermesine karşın, sinterlemenin diğer aşamaları sonucu malzeme içerisinde oluşan değişimleri yansıtmaz. Ön şekil verilmiş malzemenin yoğunluğu arttıkça, gözenek küçülmesi aşamasının önemi azalır. Toz metalurjisinin de malzemedeki gözeneklerin tamamen yok edilmesi istenilen bir hedeftir. Fakat gerek sıcaklık gerekse süre nedeniyle bunun gerçekleşmesi ekonomik olmamaktadır.

f) Gözenek İrileşmesi: Bu aşamada kapalı küçük gözeneklerin iri gözeneklere hareketi daha büyük kapalı gözeneklerin oluşması gerçekleşir. Toplam gözenek sayısı azalırken, gözenek yüzdesi değişmez ve ortalama gözenek boyutu artar. Dolayısıyla bu aşamada yoğunluk artışı olmaz.

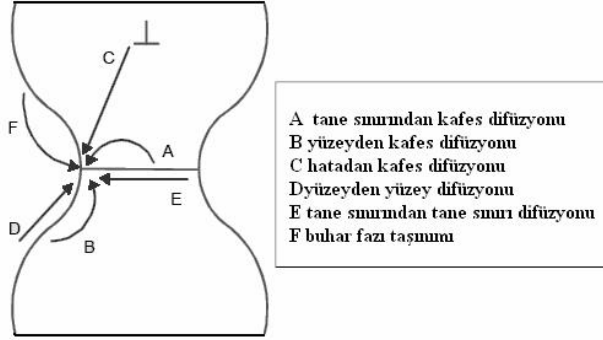


Şekil 2.13. Sinterleme esnasında partiküllerin birleşip yeni bir taneyi oluşturma aşamaları [32]

2.4.3. Malzemede Kütle Taşınım Mekanizmaları

Malzeme taşınım mekanizmaları beş ana başlık altında toplanabilir. Sinterlemenin başlangıç aşamasında taşınımı değişik şekillerde meydana gelebilir. Muhtemel taşınım yolları aşağıdaki şekilde görülmektedir.

Taşıyım yolu	Malzeme kaynağı
1- Yüzey difüzyonu	yüzey
2- Latis difüzyonu	yüzey
3- Buhar taşınımı	yüzey
4- Sınır difüzyonu	tane sınırı
5- Latis difüzyonu	tane sınırı
6- Latis difüzyonu	dislokasyonlar ve kristal sınırları



Şekil 2.14. Difüzyon ile kütle taşınımı [33]

Çok saf malzemelerde bile çözünen atomlar tane sınırlarında toplanma eğilimi gösterirler. Bu emprüteler sınırın hareket hızını düşürürler. Aynı etkiyi yapıdaki inklüzyonlarda gösterir. Inklüzyonların bu etkisi boyutlarının küçük olması oranında artar. Tane büyümesini sınırlayan diğer etkenler yapıdaki porozite ve sıvı fazın varlığıdır. Sinterlemenin ilk aşamalarında tane büyümesi için itici güç büyük iken tane sınırları porları aşır geçebilirler. Daha sonraki aşamalarda tane boyutu arttığında sınır hareketi için itici güç azalır. Porların bu etkisi plastik deformasyon işlemlerinin uygulanmadığı seramik sistemlerde önemlidir. Tane sınırlarında sinterleme koşulları altında oluşan sıvı faz sınır hareketini azaltma eğilimi gösterir. Başlangıç tane boyutunun küçük olması büyüme hızını arttırır. Küçük taneler, bunlardan daha büyük taneler için çekirdeklenme merkezi etkisi gösterirler.

Metal tozlarının sinterlenmesinde tozun partikül büyüklüğü, sertliği önem taşır. Partikül boyutu difüzyon mesafesini belirler. Küçük boyutlu partiküller kullanıldığında difüzyon mesafesi azaldığından difüzyon hızı artar, bunun sonucu sinterleşme hızı yükselir. Tozların yumuşak olması presleme sırasında belirli bir basınç altında partiküller arası temas alanının artması difüzyon ve sinterleşme hızlarını arttırır. Toz özellikleri ile ilgili diğer bir etken metal tozlarının yüzeyindeki oksit filmleridir. Yüzeydeki oksit tabakası difüzyonu engeller veya

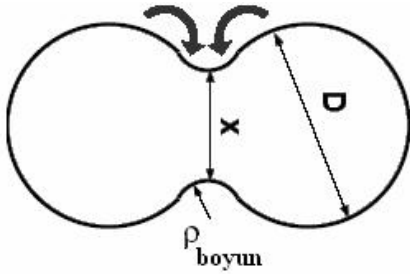
difüzyon hızını düşürür. Uygulanan mekaniksel işlemlerin sinterleşme üzerindeki etkileri ise şöyledir;

Tozun preslenmesi sırasında uygulanan basıncın artması yoğunluğu artırır, partiküller arasında daha iyi bir temas olmasını sağlar ve bunun sonucu difüzyon mesafesi azaldığından difüzyon ve sinterleşme hızları artar.

Sinterleme sonrası yoğunluk ve mukavemeti daha ileri derecede arttırtmak amacıyla uygulanan mekanik işlemlerde(yeniden presleşme gibi) latis hataları oluşur. Bu tür hatalar difüzyon hızını artırır.

2.4.3.1.Buharlaştırma ve Yoğunlaşma

Dışbükey yüzeyler üzerinde buhar basıncı, boyun bölgesindeki buhar basıncından daha büyük olduğundan, bazı sistemler için malzemenin boyun bölgesine taşınımı buhar şeklinde olabilmektedir. Boyun büyümesi, gözenek yuvarlaklaşması ve gözenek kanallarının kapanması bu mekanizma ile gerçekleşebilir. Sinterlenen kütle içerisindeki kıvrımlar arasında önemli farklılıklar olduğu sürece bu mekanizma gerçekleşebilir. Bu mekanizmanın gerçekleşmesi sonucu, malzeme yeniden düzenlenir ve gözenek hacminde bir azalma olmaz, yani yoğunlaşma olmaz. Düşük buhar basınçlı elementler olduğu zaman aktif mekanizmadır [19].



Şekil 2.15: Buharlaştıran malzemenin tercihen boyun bölgesinde yoğunlaşması [32]

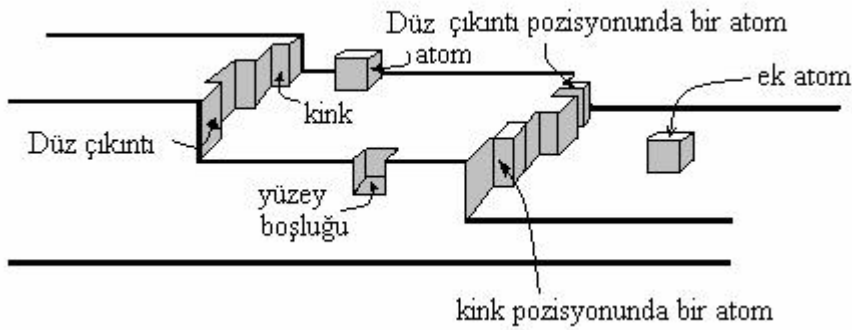
2.4.3.2.Yüzeysel Yayınım

Katı içerisinde atom hareketi ayrıca yüzey yayınımları olarak bilinen bir mekanizma ile de gerçekleşir. Bu durum atomların dış yüzeyindeki hareketini ifade eder. Yüzeylerde atomların hareket edebileceği değişik yollar vardır. Bununla birlikte hacim yayınımlarına benzer olarak yüzey atomlarının yüzey boşlukları ile yer değiştirmesi, sinterleme işleminde belkide en önemli yol olarak görülebilir. Çünkü atomlar yüzeylerde çok daha gevşek bağlandıklarından, genellikle yüzey yayınımlarından çok daha büyüktür. Fakat, yüzey yayınımları çevre gaz atomlarının adsorbsiyonundan büyük ölçüde etkilenebilir. Yüzey yayınımlarının yüksek olmasına karşın, bu

mekanizma ile önemli miktarda malzeme taşınabilmesi için, yüzey alanının latislerden daha fazla olmasının gerektiğini de göz ardı etmemek gerekir.

Yüzey yayınının kontrol ettiği malzeme taşınımı için en uygun oluşum, boyun büyümesidir. Yüzey kıvrımlarındaki doğal farklılıklar nedeniyle boşluk konsantrasyonu oluşur. Bu nedenle atomlar dışbükey tane yüzeylerinden boyun bölgesine doğru hareket ederler. Sinterlemenin ilk aşamalarında oluşan boyun oluşumu, sinterleme sırasında en fazla yüzey alanı oluşumuna neden olur. Birçok deneysel sonuç, bu mekanizmanın boyun büyümesi için geçerliliğini göstermiştir. Küçük taneli tozlarda yüzey alanının hacme oranı maksimumdur. Bu tozların kullanılması ile sinterlemede bu mekanizmanın daha baskın olacağı açıktır. Genel olarak yüzey difüzyonu gözenek küçülmesi yada giderilmesi için geçerli bir mekanizma değildir. Atomların uzun mesafelerde yüzey yayınına maruz kalması için gerekli itici kuvvetin bulunmaması, bu durumu doğrulamaktadır. Özellikle atomların dış bölgelerinden kütle içine yayınma olasılığı çok azdır. Sinterlemenin ilerlemesinde, sinterleme atmosferinin istenildiği şekilde kullanılabilmesi bakımından, yüzey yayını sinterlemede önemli bir rol oynamaktadır.[19]

Kristal katıların yüzeyleri genellikle düzgün değildir. Şekil 2.16'da görüldüğü gibi yüzeyler düz çıkıntı, kink, boşluk ve ek atomlar gibi hataları içerir. Yüzey difüzyonu bu alanlar arasında atomların hareketini gerektirir. Alanlar arasındaki hareket ve alanların yoğunluğunun her ikisinde sıcaklığın yüzey difüzyonuna olan etkisiyle termal olarak harekete geçer. Bir kinkin yoğunluğu sıcaklığa ve oritasyona bağlıdır. Tipik bir yüzey difüzyonunda bir kink mevcut bağlarından kopar gelişigüzel bir hareketle karşı yüzeye taşınır ve bu yüzeyde tekrar yüzey alanına bağlanır.[32]



Şekil.2.16. Katıların yüzeylerinde farklı bölgeler arasında kütle taşınımı [32]

Yüzey difüzyonu sinterleme sıcaklığına ısıtmadan itibaren aktif bir prosestir. Genel olarak yüzey difüzyonu için gerekli aktivasyon enerjisi diğer kütle transfer proseslerinden daha azdır.

2.4.3.3 Hacimsel Yayınım

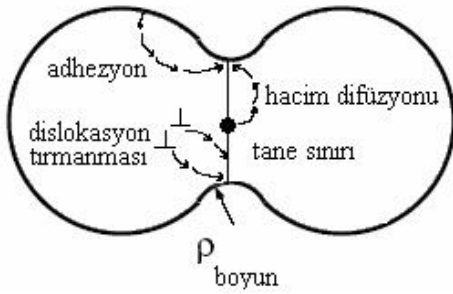
Hacimsel yayınımlı metalik malzemelerin sinterlenmesinde kabul edilen genel bir malzeme taşınım yöntemidir. Bununla birlikte hacimsel yayınımlı içeren birçok mekanizmalarda bulunmaktadır. Hacimsel yayınımlı, kristalin katı malzeme içerisindeki atomların hareketini ifade eder. En yaygın özgül atom hareket türü boşluk değiştirme mekanizmasıdır. Bunun anlamı atomları latis kenarındaki boşluklara doğru hareket etmesidir. Eğer önemli miktarda benzer atomik hareket yönlendirilirse varsa belirli yönde net bir malzeme taşınımı olur. Bu kütle taşınımının büyüklüğü verilen kristal katı içerisindeki atomların yayımına bağlıdır.

Tablo 2.5. Hacim yayınımlı yolu ve etkileri [19]

Durum	Boşlukların Kaynağı	Boşlukların gittiği yer	Oluşabilecek olaylar
1	İçbükey boyun yüzeyleri	Dışbükey tane yüzeyleri	Boyun büyümesi Gözenek yuvarlaklaşması
2	İçbükey boyun yüzeyleri	Tane sınırları	Boyun büyümesi Gözenek yuvarlaklaşması Gözenek küçülmesi
3	İçbükey boyun yüzeyleri	Dislokasyonlar	Boyun büyümesi Gözenek yuvarlaklaşması Gözenek küçülmesi Gözenek Büyümesi
4	Yuvarlaklaşmış küçük gözenekler	Büyük gözenekler	Gözenek Büyümesi
5	Yuvarlaklaşmış küçük gözenekler	Tane sınırları	Gözenek küçülmesi Gözenek Büyümesi
6	Yuvarlaklaşmış küçük gözenekler	Dislokasyonlar	Gözenek küçülmesi Gözenek Büyümesi
7	Dislokasyonlar	Tane sınırları	Gözenek Büyümesi Boyun büyümesi
8	Dislokasyonlar	Tane yüzeyleri	Boyun büyümesi Gözenek yuvarlaklaşması
9	Dislokasyonlar	Tane sınırları	Boyun büyümesi Gözenek yuvarlaklaşması

Atomların bir bölgeden diğer bir bölgeye yayılmaları, katı içerisindeki kimyasal potansiyel farkından dolayı gerçekleşir. Atomların tek bir yöndeki taşınmaları, boşlukların karşıt yönden hareket ettiğini göstermektedir. Katı içindeki boşluk hareketleri yüksek konsantrasyonu farklılıkları nedeniyle oluşan hacimsel yayınımda, boşlukların hareketleri yüksek konsantrasyon bölgelerinden düşük konsantrasyon bölgelerine doğrudur. Atomlarda buna ters yönde hareket ederler. Bu yayımlı kütle taşınımı, boşluk hareketi olarak ifade edilir. Boşluk konsantrasyonu farklılığı, sinterleme için itici bir kuvvet olarak kullanılabilir. Tabloda hacimsel yayınım yolu ve sinterlemeye etkisi belirtilmektedir. [19]

Şekil 2.17’de iki partikül geometrisinde hacim difüzyonu mekanizmasında boşluk akışı gösterilmiştir. Buna göre sinterlemeye katkısı olan üç boşluk difüzyonu rotası vardır. İlk rota partikülün iç kısımlarından boyun bölgesindedir. Bunun sonucu olarak boyun bölgesinde kütle birikimi gerçekleşir. Bu durum bir yüzey kaynağından bir yüzeye kütle transferini gösterir ve bu sebeple yoğunluk ve çekme mevcut değildir. Yoğunluk prosesinden bu prosesi ayırt etmek için bu proses hacim difüzyonu adhezyonu olarak adlandırılır. İkinci rota boyun yüzeyinden ara partikül tane sınırlarına boşluk akışını kapsar. Partiküller arası etkileşime zıt yönde atom hareketinden dolayı çekme ve yoğunluk meydana gelir. Yani boşluk yolu atom akışına zıt yöndedir. Bu proses hacim difüzyonu yoğunluğu olarak adlandırılır. Son olarakta boşluklar dislokasyon tırmanması adı verilen bir proses yolu ile yayılır yada yok edilir. Bu durum dislokasyon ve boşlukların her ikisi tarafından ortak etkileşim gerektirir ve ayrıca bu proses ısıtma boyunca devam eder [32].



Sekil 2.17. Okla çizilen iki nokta arası, serbest yüzeylerden tane sınırlarından ve dislokasyonlardan kütle taşınımına ters yönde boşluk akışının olduğunu göstermektedir [32]

2.4.3.4. Tane Sınırı Yayınımı

Boşlukların, boyun yüzeyleri ve diğer gözenek yüzeyleri ile temas halindeki tane sınırlarına doğru hareket edebilecekleri ileri sürülmektedir. Orijinal sinter kütlesi içerisindeki bitişik taneler arasında tane sınırlarının oluşma ihtimali yüksektir. Boşluklar, tane sınırları

boyunca hareket ederek dış yüzeylere ulaşabilirler ya da katı içerisinde tane sınırları boyunca oluşan toplanma yerlerinden tane sınırlarına yayılması; boyun büyümesi, gözenek yuvarlaklaşması veya gözenek küçülmesine neden olur. Doğrudan bir etkisi olmasa bile, gözenek küçülmesi için atomların dış yüzeylerinden hareket etmesi gerekir. Gözenek küçülmesi için tane sınırlarının gerekli olduğu daha önce belirtilmişti. Fakat, tane sınırları yayılımı ile kontrollü malzeme taşınımı, hacim yayılımı olmaksızın da meydana gelebilir.

Çoğu sinterlenen kütlelerde doğal olarak, hem tane sınırı yayılımı hem de hacimsel yayılım mekanizmaları aynı anda gerçekleşebilir. Fakat yayılım verilerinin analizi, tane sınırının yayılımının sinterleme sıcaklığı azaldıkça daha etkin olmayacağını göstermiştir. Bu duruma iki önemli faktör neden olmaktadır:

- a.) Her zaman yayılım için, tane sınırı hacminden daha fazla latis vardır
- b.) tane sınırı yayılımı için gerekli aktivasyon enerjisi, hacim yayılımı için gerekli olan aktivasyon enerjisinden daha azdır. Ayrıca yüksek tane sınırı yayılımı ve düşük hacim yayılımı arasındaki fark, sıcaklık azalmasıyla artar. Yalnızca az miktarda deneysel kanıt böyle bir mekanizmayı desteklemektedir. Ayrıca boyun büyümesi ve gözenek küçülmesi için kabul edilmiş matematiksel bir eşitlik de bulunmamaktadır [32]



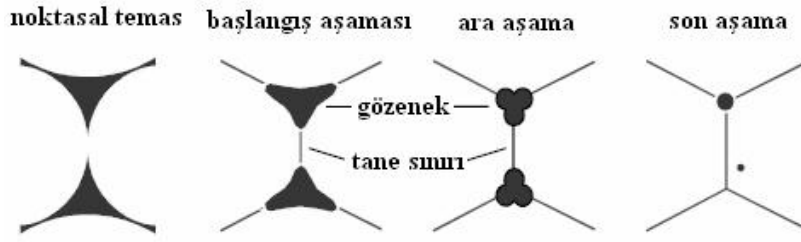
Şekil 2.18. Bir tane sınırı yapısının şematik gösterimi [32]

Şekil 2.18’de de görüldüğü gibi bir sinterleme prosesi olarak taşınım tane sınırı yolu ile porlar arasında meydana gelir ve kaba porların oluşmasına yol açar.

2.4.3.5. Sinterleme Sırasında Gözenek Yapıları

Sinterleme sırasında partiküller arasındaki temas arttıkça gözenek yapısında şekildeki gibi bir takım değişiklikler olur. Partiküller arası temas noktaları boyun şekline dönüşmeye başlar. Başlangıç aşamasından sonra tane sınırları ve gözenek şekli sinterleme hızını kontrol eder. Ara aşamanın başlamasıyla birlikte, gözenek geometrisi oldukça karmaşık bir şekil alır ve gözenekler tane sınırlarının kesiştiği bölgelerde yerleşir. Sinterlemenin devam etmesiyle birlikte gözenek şekli silindirik şekle dönüşür ve gözenek yarıçapı küçülerek yoğunlaşma meydana

gelir. Sinterlemenin daha sonraki aşamalarında gözenekler ile tane sınırları arasındaki etkileşim üç şekilde olabilir. Tipik sinterleme sıcaklığında ise orta düzeydeki tane büyüme hızlarıyla yüksek düzeydeki tane büyüme hızları arasında değişen büyüme hızları malzeme içerisinde görülebilir. Sıcaklık artışıyla birlikte tane sınırı hareketi hızlanır. Gözenekler tane sınırlarına göre daha yavaş hareket ettiklerinden dolayı, tane sınırları gözeneklerden uzaklaşır. Düşük sinterleme sıcaklığında ise tane büyüme hızı yavaş olduğundan, gözenekler tane sınırları ile temas halinde kalarak, tane büyüme hızını azaltıcı bir etki yapar. Hareket eden tane sınırlarının oluşturduğu gerilimin etkisindeki gözenekler; hacim yayınımlı, yüzey yayınımlı yada buharlaşma-yoğunlaşma ile hareket ederler. Fakat sıcaklık arttıkça tane büyüme hızı belli bir noktaya kadar artar ki, bu noktadan sonra tane sınırları gözeneklerden ayrılır [22].



Şekil 2.19: Sinterleme sırasında gözenek yapısındaki değişim [32]

2.4.4.Kayma ile Sürünme Deformasyonu

Yüksek sıcaklıkta sabit yük ya da gerilim altında zamanla gerçekleşen plastik deformasyona denir. Birçok temel sürünme deformasyonu olmasına karşın, metalik malzemelere en çok uygulananı kayma mekanizmasıdır. Kayma dislokasyonların kristal içerisinde belli kristallografik düzlemlerde ve doğrultularda hareket etmesini ifade eder. Birçok sürünme modelleri sürünmenin olması için dislokasyon tırmanmasının gerekli olduğunu belirtirler. Tırmanma kenar dislokasyonunun, bu dislokasyonları kapsayan düzlemlere dik yöndeki hareketleridir. Bu hareket doğrudan hacim yayınmasının bir sonucudur ve bu dislokasyonları meydana getiren atomları ilgilendirir. Tırmanma işlemi plastik deformasyona sebep olmaz, fakat dislokasyonların yeniden düzenlenmesini sağlar. Gerçek sürünme işlemi iki aşamada olur.

Bir kayma gerilmesi ile aktif hale getirilmiş malzemedeki bazı kaynaklardan dislokasyonların oluşturulması, bu dislokasyonların kayma düzlemindeki hareketi, diğer bir deyişle plastik deformasyonun yaratılması ve bunların latis içerisindeki herhangi bir engelle sönümlenmesidir

Kayma düzlemindeki engelde biriken dislokasyonların içerisindeki öncü dislokasyonların kayma düzleminin dışında bulunan bir engele karşı tırmanışı, kaynakta yeni dislokasyonların yaratılmasına neden olur. Sürünme deformasyonu, bu iki kademenin tekrarlanması sonucu oluşur. Sürünme hızını kontrol eden aşama yayınıma bağlı tırmanmadır. Biriken dislokasyonların ön kısmında gerilme konsantrasyonu vardır. Bu gerilme konsantrasyonu boşlukların üretilmesine yada yok olmasına neden olur. Burada malzemenin taşınması için gerekli olan itici kuvvet, katı içerisindeki kayma gerilmesidir

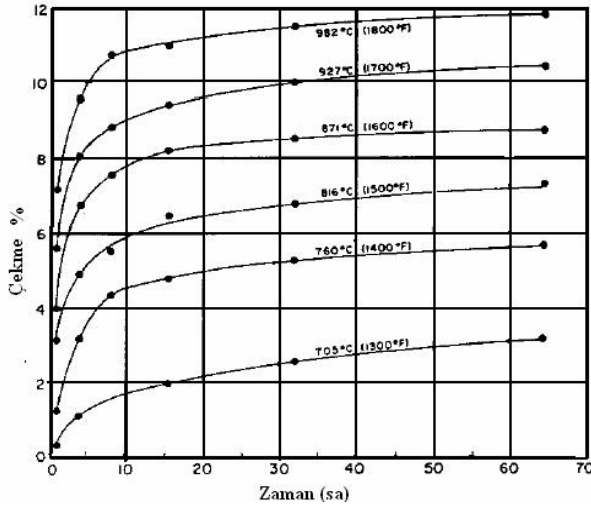
2.4.5.Sinterlemenin Mikroyapı Üzerindeki Etkileri

Partikül boyut dağılımı geniş bir aralıkta değişen tozlar preslendiklerinde basıncın etkisiyle partikül şekil ve boyutlarında bir değişim meydana gelir. Ancak boyut dağılımı değişmez. Sinterlenmesi sırasında mikroyapıda değişimler meydana gelir, orijinal partiküllerdeki tane sınırları kaybolabilir, bunun yerine dövülmüş ve tavllanmış metallerin yapılarına benzer bir yapı oluşur. Belirli koşullarda preslenmiş parçaların mikro yapılarında meydana gelen değişim sinterleme süresi ve sinterleme sıcaklığına bağlıdır. Yapıdaki porların boyut ve şekillerinin değişimi, yeniden kristalleşme, tane büyümesi gibi mikroyapıyı belirleyen faktörler difüzyon kontrollü olduğundan sinterleme sıcaklığı ve süresinin etkisinde kalacağı açıktır. Yeniden kristalleşme ve tane büyümesinin meydana geleceği sıcaklık ve süre presleme basıncına ile ilgili olduğundan presleme basıncının artması yeniden kristalleşme ve tane büyümesinin meydana geleceği sıcaklığın düşmesine neden olur.

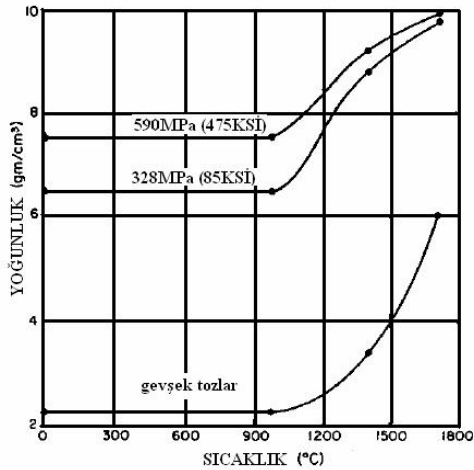
2.5.Toz Özelliklerinin, Kompaktlama ve Sinterleme Koşullarının Sinterlemede Meydana Gelen Yoğunluk ve Boyut Değişimlerine Etkileri

Sinterlenmesi sırasında meydana gelen boyutsal değişimlerle yoğunluk değişimi arasında yakın bir ilişki vardır. Sinterlenmiş ve sinterlenmemiş durumdaki yoğunluklar arasındaki fark esas olarak boyutsal değişimlerin bir sonucudur. Ancak, partikül yüzeylerindeki oksit filmlerinin redükleyici sinterleme atmosferinde redüksiyonu sonucu meydana gelen kütleli değişimler de ihmal edilmeyecek düzeydedir. Deneysel gözlem sonuçları, kompaktı hızlı bir şekilde sinterleme sıcaklığına ısıtıp bu sıcaklıkta belirli bir süre tutmak, daha sonra oda sıcaklığına soğutup meydana gelen boyutsal değişim ve yoğunluk değişimini ölçerek elde edilmektedir. Deneysel veriler preslemede meydana gelen izotermal çekilmeyi verir. Ancak ısıtma ve soğutma sırasında çekilmenin meydana geldiği unutulmamalıdır.

74,+43 mikro metre boyutunda redüklenmiş bakır tozlarının 138 MPa basınç altında preslendikten sonra hidrojen atmosferinde sinterlendiklerinde meydana gelen büzülmeler Şekil 2.20’de sinterleme sıcaklığı ve süresinin fonksiyonu olarak gösterilmiştir. Kompaktlamalardaki çekilme başlangıçta hızlı iken artan sinterleme süresi ile yavaşlamaktadır. Sinterleme sıcaklığının artması çekilme oranının artmasına ve çekilmede zamanla meydana gelen yavaşlamanın daha ileri sürelerde oluşmasına neden olmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda yoğunluk artışı, düşük sıcaklık uzun sinterleme sürelerinde elde edilen artış hızından daha büyüktür.



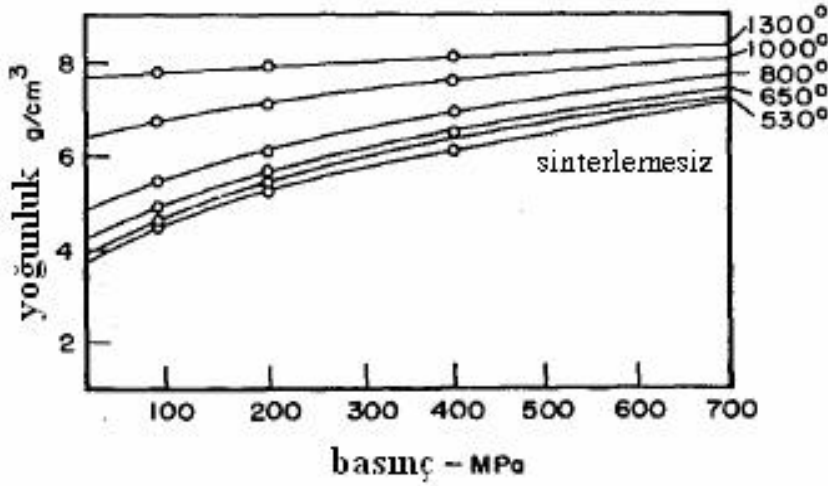
Şekil 2.20. 138MPa basınçında kompaktlanan ve çeşitli sıcaklıklarda sinterlenen -74+43 boyutlarındaki bakır tozlarının sinterleme zamanının bir fonksiyonu olarak % çekmesi [34]



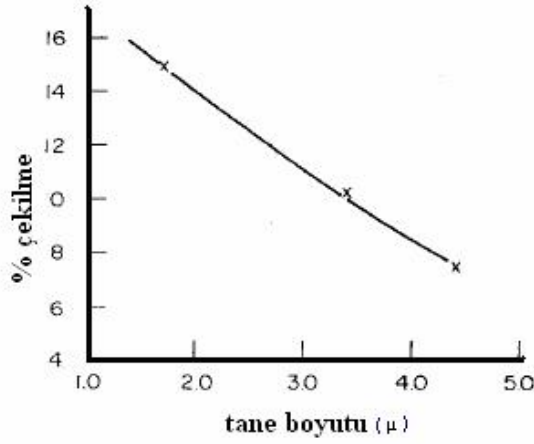
Şekil.2.21. 325-580MPa’da preslenen ve sinterleme zamanının bir fonksiyonu olarak hidrojen atmosferinde 3 saat sinterlenmiş molibden tozlarının sinter yoğunluğu [34]

Presleme basıncı ve sinterleme sıcaklığının yoğunluk üzerindeki etkisi Şekil 2.21 de molibden presleri için gösterilmiştir. Preslenmemiş toz ile 328 ve 590 MPa basınçları altında preslenmiş parçaların 1600 °C de hidrojen atmosferinde 3 saat sinterlendikten sonra ölçülen yoğunluk değişimleri çekilmenin başladığı sıcaklığın basınçtan hemen hemen bağımsız olduğunu göstermektedir. Her üç örnekte de yoğunluk değişimi yaklaşık 1000 °C de başlamaktadır. Sinterlemenin ilk aşamasında termal bir genişleme meydana gelmekte, sıcaklık yükseldiğinde çekilme hızı artmaktadır. Soğutma sırasında sinterlemenin devam ettiği boyutsal çekilmeden anlaşılmaktadır. Yüksek basınçta preslenmiş parçada meydana gelen çekilmenin (690 Mpa) en düşük basınç olan 276 MPa da preslenmiş parçadaki çekilmenin yaklaşık yarısı kadar olduğu anlaşılmaktadır. Sinterleme sonrası önemli bir boyut değişimi meydana gelmeden mukavemet ve yoğunluk artışının sağlanabilmesi presleme basıncının yüksek olması gerekir.

Presleme basıncının yoğunluk değişimi üzerindeki etkisine diğer bir örnek Şekil 2.22 de görülmektedir. Karbonil nikel tozunun farklı basınçlarda preslendikten sonraki yoğunlukları, artan presleme basıncı ve sinterleme sıcaklığı ile yükselmektedir.

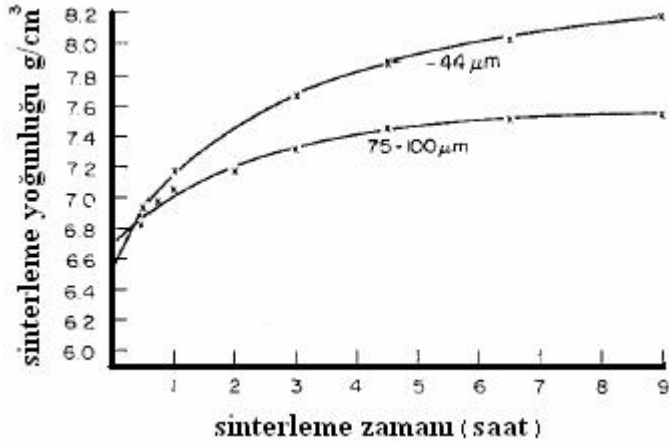


Şekil 2.22. Presleme basıncının bir fonksiyonu olarak bir dizi sıcaklıkta 2 saat sinterlenmiş karbonil nikel tozunun yoğunluğu [34]



Şekil 2.23. Tungsten partikül boyutunun bir fonksiyonu olarak 1800° C'de 5 saat sinterlenen tungsten tozlarının % çekmesi [34]

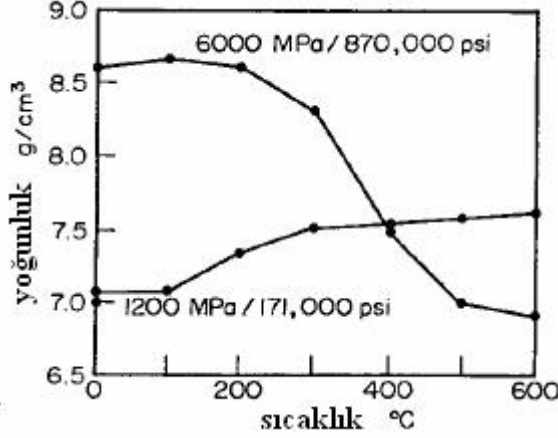
Toz partikül boyutunun sinterleme sırasında meydana gelen boyutsal değişimlere etkisine bir örnek Şekil 2.23'de görülmektedir. 1800°C de 5 saatlik sinterleme sırasında meydana gelen % çekilme miktarı tungsten partiküllerinin boyutlarının göre ifade edilen partikül boyutunun fonksiyonu olarak gösterilmiştir. Boyut küçüldüğünde çekilme miktarının arttığı bu diyagramdan görülmektedir.



Şekil 2.24. Sinter zamanının bir fonksiyonu olarak 865° C de sinterlenen 44μm ve 75-105μm iki farklı partikül boyutlu elektrolitik bakır presleme yoğunluğu [34]

75-105 μm ve 44 μm elekaltı boyutundaki elektrolitik bakır tozlarından hazırlanan kompaktların yoğunluk değişimine sinterleme süresinin etkisi Şekil 2.24'de görülmektedir. Bu diyagramda da ince tozlardaki çekilmenin kaba tozlara göre çok daha hızlı olduğu görülmektedir.

Sinterlenmesi sırasında çekilmenin yanı sıra genleşme de görülebilir. Daha önceden değinildiği gibi hacimsel genleşme yapıda sıkışan gazların etkisiyle meydana gelir. Özellikle metal tozu bakır tozlarının yumuşaklığında veya ondan daha yumuşak olduğunda yüksek basınçlarda yapılan presleme sırasında kapalı porlar içinde sıkışıp kalırlar. 700 MPa'a kadar olan presleme basınçlarında preslenmiş demir ve diğer sert metal tozlarının sinterlenmesi sırasında genellikle genleşme görülmez.



Şekil 2.25. Sinterleme sıcaklığının bir fonksiyonu olarak vakumda 1 saat sinterlenen ve 1200-6000 Mpa basınçla preslenen Cu tozunun pres yoğunluğu [34]

Şekil 2.25’de 1µ boyutundaki çok ince bakır tozları 1200 ve 6000 MPa değerinde iki farklı basınçta preslendikten sonra 1 saat süreyle değişim sinterleme sıcaklığının fonksiyonu olarak gösterilmiştir. Yoğunluk başlangıçta artarak sinterleme süresinde maksimum değerine ulaştıktan sonra azalmakta ve sinterlenmemiş durumdaki preslenme yoğunluktaki azalma gaz basıncının artması sonucu meydana gelen hacimsel genleşme ile ilgilidir

Tek bileşenli metal tozlarından veya homojen katı çözelti halinde bulunan alaşım tozlarından üretilen yapısal amaçlı parçalarda sinterleme sonrası yüksek mukavemet ve yoğunluklu parçaların elde edilmesi amaçlanır. Toz metalurjisi ile üretilen parçalarda yüksek mukavemet ve yoğunluğun yanısıra sonuç ürünün boyut kontrolü ile büyük önem taşır. Bu nedenle ham mukavemeti sağlanan parçaların sinterlenmesi sırasında büyük ölçüde çekilmenin meydana gelmesi istenmez. Bunun sağlanabilmesi için sıkıştırılabilirlik özelliği yüksek olan tozların kullanılması, presleme basıncının yüksek tutulması gerekir. Demir ve çelik tozlarından üretilen parçaların preslenmeleri sırasında gaz sıkışması problemiyle karşılaşılmaz ve sinterleme sonrası %5 den daha az bir çekilme gösterirler. Bakır, pirinç, nikel gümüşü, paslanmaz çelik; tozlarından yapılan ham mukavemeti sağlanmış parçaların sinterlenmeleri sırasında bir miktar çekilme olmaksızın arzu edilen mekaniksel özelliklerin kazanılması

mümkün değildir. Özellikle bakır ve bazı bakır alaşımı tozlarında yüksek basınçlarda preslemeden sonra uygulanan sinterleme sırasında hacimsel genleşme görülür. Bu alaşımlardan elde edilen toz metalurjisi ürünlerinin boyut kontrolünü sağlamak, yoğunluklarını arttırmak için genellikle sinterleme sonrası yeniden preslenmeleri gerekir.

3.SERT METALLER

Toz metalurjisi tekniği ile üretilen ve sert metaller veya sinterlenmiş karbürler olarak da bilinen semente karbürler çok sert, aşınma dirençleri yüksek olan malzemelerdir. Bu özellikleri nedeniyle metallerin kesilmesi, delinmesi gibi talâşlı imalâtlarında, madencilikte kullanılan sondaj, kazı ekipmanlarında, kayaçların kırılması ve benzeri işlemlerde kullanılırlar. Sinterlenmiş sert alaşımları başlıca bileşenlerinin metalsel karakterli sert mamulle bilhassa TiC, VC, NbC, TaC, WC, Mo₂C'dür. Karbürlerin ve sert mamüllerin ergime sıcaklıkları çok yüksektir. Karbürler beş değişik yöntemle hazırlanırlar.

- Ergitme yolu ile
- Toz halinde bir oksit ve metalin katı karbonla karbürizasyonu ile
- Toz halindeki bir oksidin karbon içeren bir gazla karbürizasyonu ile
- Gaz fazından ayırma
- Karbür ihtiva eden bir ferroalaşım kimyasal muamelesi ile

İlk dört yöntem modern sert alaşım tekniğinde hiçbir rolü yoktur. En çok kullanılan usul, refrakter metal veya bunun oksitlerinden birinin katı sıcaklıkta (TiC, VC, NbC, TaC, WC, Mo₂C) karbürün ergime sıcaklığının üzerinde bir sıcaklıkta karbürizasyonu şeklindeki yöntemdir. Wolfram, molibden ve tantal karbürleri metal tozlarının 1400-1600°C arasında karbürizasyon ile hazırlanır. Titan karbürün hazırlanması için is ve TiO₂ kullanılır. Karbürizasyon sıcaklığı 1700-1900 arasındadır. Teorik bileşimim sağlanması için karbür karbürizasyon sıcaklığında yeniden ısıtılır. Bu işlem karbon fazlılığı halinde karışıma saf metal veya metal oksit karbon yetersizliği halinde ise is ilave edilir. Wolfram ise adi sıcaklıkta kararlı iki karbür verir. WC ve W₂C. Vanadyum ve niobyum karbürleri trioksit ve pentoksitlerin karbürizasyonu ile hazırlanır. Bu aşamadan sonra semente karbürlere karıştırma ve öğütme işlemleri uygulanır. Toz karışımı bilyeli değirmenlerde karıştırılırlar. Bilye semente karbürden yapılmıştır. Değirmende karbür astar malzemesi kullanılabileceği gibi paslanmaz çelikten de yapılabilirler. Öğütmeyi izleyen kurutma aşamasında organik sıvı uzaklaştırılır. Öğütülmüş toz karışımı genellikle soğuk presleme ile kompartlanır. Bu amaçla hidrolik presler veya izostatik presler kullanılabilir. Bunun yanısıra grafit kayıplarda sıcak presleme de uygulanmaktadır. Plastifiyan ilavesi yapılmış semente karbürlerin ekstrüzyonu ile nispeten basit şekilli parçalar (tüp, boru, çubuk v.b) üretilebilir.

Preslenmiş parçadaki yağlayıcı elemanı uçurarak uzaklaştırmak ve istenilen sonuç şekli vermek için uygulanacak mekaniksel işlemlere elverişli bir mukavemet kazandırmak amacıyla hidrojen atmosferinde bir önsinterleme yapılır. Ön sinterlemeden sonra parçaya son şekil verilip hidrojen

bağlayıcı fazda, bir kısmı ise karbür fazında yer alır. Mekanik şok ve ısı yorulma dirençleri tungsten karbür esaslı malzemelerden daha düşüktür. “Ferro-tic” olarak adlandırılan malzemelerde titanyum karbür partiküllerinin bağlanmasında çelik esaslı malzeme kullanılır. Sinterlendikten sonra işlenmeleri ve ısı ile sertleştirilmeleri mümkündür. Bağlayıcı fazın oranı % 50 – 60 arasındadır. Çekme kalıplarında, istampalamada ve bazı makine elemanlarında kullanılır.

Endüstride kullanılan diğer bir karbür türü sement krom karbürdür. Mükemmel aşınma direnci ile birlikte korozyon ve oksidasyon direncine sahiptirler, ancak kesici takım malzemesi olarak kullanılamazlar, toklukları düşüktür. Korozyonun önem taşıdığı valflerde, pistonlarda ve benzeri uygulamalarda kullanılırlar. Bu grupta yer alan bileşimlere örnek olarak % 83 Cr_3C_2 , % 15 Ni, % 2 W gösterilebilir.

4.DENEY ÇALIŞMALARI

4.1. Kullanılan Tozların Özellikleri ve Karışımın Hazırlanması

Bu çalışmada ortalama 45 μm boyutunda Fe tozu, 2.59 μm boyutunda vanadyum karbür tozu ve 1 μm boyutunda grafit tozu kullanılmıştır. Vanadyum karbür tozunun kimyasal analizi Tablo 4.1.'de verilmiştir.

Tablo 4.1. VC'nin kimyasal kompozisyonu

Toplam C	Serbest C	O	N
17.67	1.32	0.46	0.24

Bu çalışmada iki farklı tabakanın aynı numunede olması hedeflendiği için alt ve üst tabakalar ayrı ayrı hazırlanmıştır. Alt tabaka olarak %0.2 grafit tozu ile demir tozları karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi bir mikser vasıtasıyla paslanmaz çelik bir kap içerisinde gerçekleştirilmiştir.

Üst tabakada Fe tozlarına farklı oranlarda karbür ve grafit katılmıştır. Alt tabaka ile aynı karıştırma işleminden geçirilmiştir. Tablo 4.3'de verildiği gibi farklı vanadyum karbür içeriğine sahip olan numuneler orta (%0.6) ve yüksek (%1.2) grafitli olacak şekilde hazırlanmıştır.

Tablo 4.3.Alaşımli tabakanın grafit ve VC içeriği (%ağırlıkça)

Numune No	Grafit	VC	Fe
1	0.6	5	Geri kalan
2	0.6	10	Geri kalan
3	0.6	15	Geri kalan
4	0.6	20	Geri kalan
5	0.6	25	Geri kalan
6	1.2	5	Geri kalan
7	1.2	10	Geri kalan
8	1.2	15	Geri kalan
9	1.2	20	Geri kalan
10	1.2	25	Geri kalan

Numuneler boyut olarak 15 mm yükseklik ve 12 mm çaplarında üretilmiştir. Üst tabakanın kalınlığı 2 mm tutulmaya çalışılmıştır.

4.2. Tozların Preslenmesi:

Toz karışımları hazırlandıktan sonra, kalıba önce düşük grafitli toz karışımları konulmuş ve üstüne alaşımlı toz karışımı konularak oda sıcaklığında preslenmişlerdir. Presleme işleminde 800 MPa yük kullanılmıştır.

4.3.Sinterleme İşleminin Yapılması

Preslenmiş numuneler argon atmosferli indüksiyon ısıtma ünitesinde sinterlenmişlerdir. Sinterleme işlemi sırasında sıcaklık 1200 °C’de sabit tutularak 60 dk süreyle gerçekleştirilmiştir.

4.4. Mikroyapı İncelemeleri

4.4.1. Optik Mikroskop İncelemeleri

Sinterlenen numuneler boylamasına kesilmişlerdir. Daha sonra bu numuneler önce zımparalama sonra parlatma işlemine tabii tutulmuştur. Kaba ve ince zımparalardan sonra 6 ve 3 mikron’luk elmas pastalara tutularak parlatılmıştır. Dağlama işlemi için %2’lik nital çözeltisi kullanılmıştır. Optik mikroskop incelemeleri sonucunda uygun resimler çekilmiştir.

4.4.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) İncelemeleri ve Noktasal Analizler (EDX)

Optik mikroskop incelemelerinin yanında SEM incelemeleri de yapılmış ve numunelerin matris ve karbür dağılımları incelenerek çeşitli fotoğraflar çekilmiştir. Hem matris hem de karbürler üzerinden EDX (Enerji Dispersive X-ray) analizleri ile beraber element dağılımı haritalarıda alınmıştır. SEM incelemeleri Leo marka cihaz da yapılmıştır

4.4.3. X Işını Difraksiyonu Ölçümleri

Gerekli bileşik analizleri için X ışınlarından faydalanılmıştır. Bakır bir tüp kullanılarak 40kV ve 40mA’de 20-90 °lik açılarla tarama işlemi gerçekleştirilmiştir.

4.4.5. Mikro Sertlik Ölçümleri

Numunelerden mikro sertlik ölçümü matrix, karbür ve tüm numune boyunca ayrı ayrı alınmıştır. Numunelerin sertlik ölçümleri MHT-10 Anton Paar markalı cihazda HV olarak 50 gr yük altında gerçekleştirilmiştir.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

5.1. Mikroyapı Sonuçları

Yapılan mikro yapı incelemeleri sonucunda çekilen resimler Şekil 5.1- Şekil 5.74 'de ve Numune 6'ya ait bir bütün halinde kesit boyunca mikroyapısının değişimi Şekil.5.75'de verilmiştir. Gerek optik mikroskop gerekse SEM fotoğraflarında da görülebileceği gibi numunelerde dört farklı bölge görülmüştür. Bunlar yüksek alaşımlı bölge, kısmen alaşımlanmış bölge, geçiş bölgesi ve düşük karbonlu ana malzeme şeklinde sınıflandırılmıştır. Aşağıda bu bölgelerin oluşumları ile ilgili daha detaylı bilgiler verilmiştir.

5.1.1. Yüksek Alaşımlı Bölge

Bütün numunelerde bu bölge perlit matrisinde bulunan VC'lerden oluşmaktadır. Bölüm 5.2'de verilmiş olan EDX ve X-Ray sonuçlarında da görüleceği gibi vanadyum karbürün tipi V_8C_7 olarak tespit edilmiştir. V_8C_7 'ye ilaveten bütün numunelerde bir miktar FeV bileşiğininde olduğu X-Ray sonuçlarından tespit edilmiştir. Yine mikroyapı sonuçlarından görüleceği gibi vanadyum karbür tozunun miktarındaki artışla beraber V_8C_7 miktarı artmıştır. Mikro yapı resimleri kıyaslandığında %1.2 grafit katılan numunelerde oluşan perlitlerin daha ince yapıları oldukları görülmüştür. Bu durum artan karbon miktarıyla beraber perlit lamelleri arasındaki mesafenin azalmasıyla izah edilebilir. [36].

5.1.2. Kısmen Alaşımlanmış Bölge

Bu bölge perlit ve bir miktar V_8C_7 'den oluşmaktadır. Bu durum Bölüm 5.2'de EDX analizleri ile gösterilmiştir. Bu bölgede bütün numuneler için karbür miktarı alaşımlı bölgedeki karbür miktarından daha düşüktür. Bütün numunelerde bu bölge düşük grafitli toz karışımı ile yüksek grafitli ve vanadyum karbür içeren toz karışımının kompaktlanması esnasında meydana gelen kısmi karışma sonucunda oluşmuştur. Bu bölgede oluşan perlitik matris yüksek alaşımlı bölgeden bu bölgeye doğru gerçekleşen karbon difüzyonu ile açıklanabilir [36].

5.1.3. Geçiş Bölgesi

Bu bölge kısmen alaşımlanmış bölge ile ana malzeme arasında oluşan bölgedir. Bu bölgenin oluşum nedeni yüksek alaşımlı bölgeden bu bölgeye karbonun difüzyonudur. Mikroyapı sonuçlarından görüldüğü gibi bu bölge tamamen perlitik ve perlit+ferrit bölgesi olarak iki grup altında toplamamız mümkündür. Kısmen alaşımlandırılmış bölgeye yakın kısımlarda perlitik yapı hakim iken, ana malzemeye doğru ferrit+perlit yapısı hakim olmuştur.

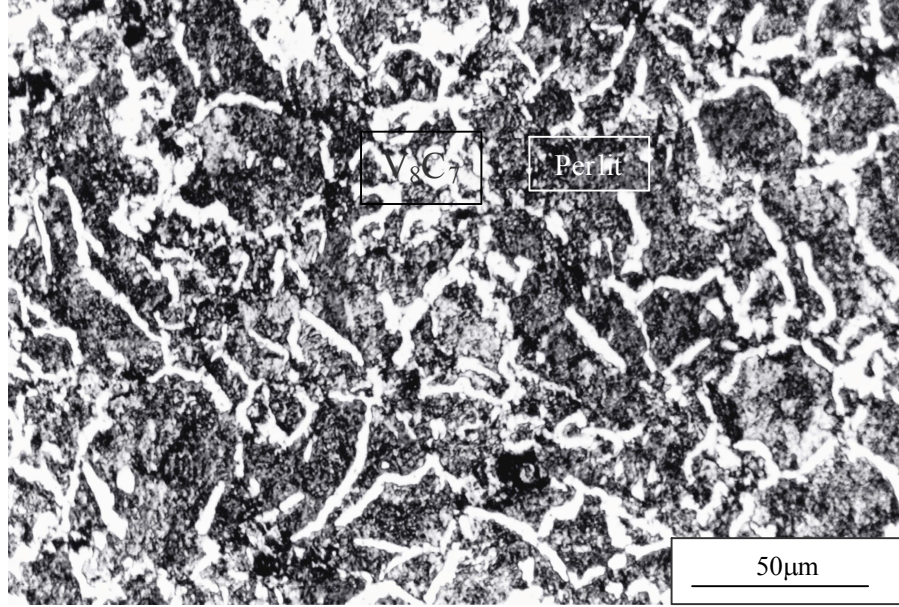
Mikroyapı incelemeleri ve yapılan ölçümler sonucunda numunelerde kısmen alaşımlanmış ve geçiş bölgelerinin uzunlukları Tablo.5.1’de verilmiştir. Tablodanda görüleceği gibi %1.2 grafit içeriğine sahip olan numunelerdeki kısmen alaşımlanmış ve geçiş bölgelerinin uzunlukları %0.6 grafit içeren numunelerinkine göre daha uzundur. Bu durum %1.2 grafit içeren numunelerde meydana gelen karbon difüzyonunun daha yüksek olması ile izah edilir [36]. Yine Tablo.5.1’de görüleceği gibi vanadyum karbür içeriğindeki artışla beraber kısmen alaşımlanmış ve geçiş bölgesinin uzunluğunun arttığı görülmüştür. Bu durum vanadyum karbür tozlarının sinterleme esnasında bir miktar çözülmesiyle açıklanabilir [36,37].

Tablo.5.1. Numunelerin alaşımlı bölgelerinin bitişinden ana malzemeye kadar olan mesafe

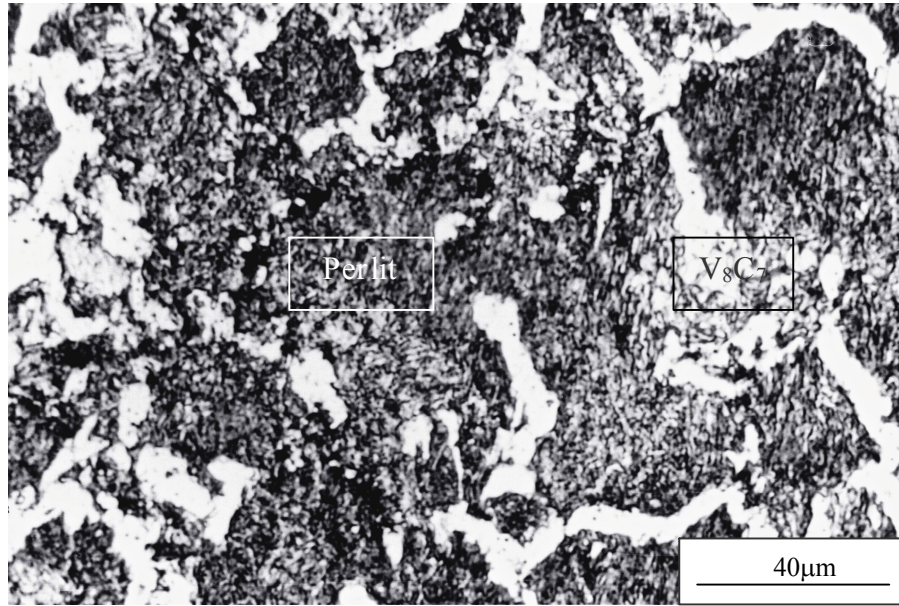
Numune No	mesafe (mm)
Numune 1	1.11
Numune 2	1.17
Numune 3	1.23
Numune 4	1.35
Numune 5	1.41
Numune 6	1.50
Numune 7	1.60
Numune 8	1.64
Numune 9	1.75
Numune 10	1.92

5.1.4. Ana Malzeme

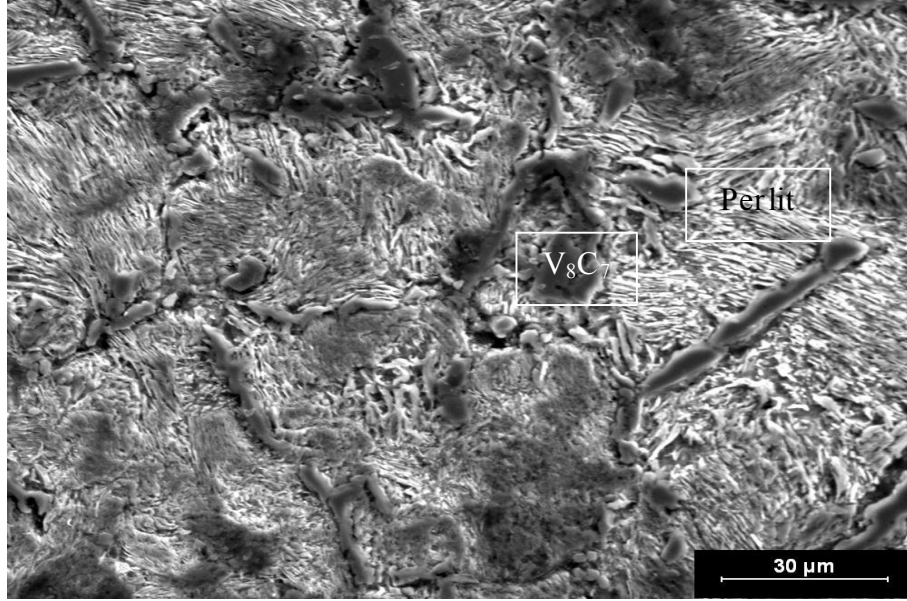
Numune üretimi öncesinde tasarlandığı gibi yaklaşık %0.2 içeriğe sahip düşük karbonlu bir çeliğin görüntüsü elde edilmiştir. Mikroyapı ferrit + perlitten oluşmaktadır.



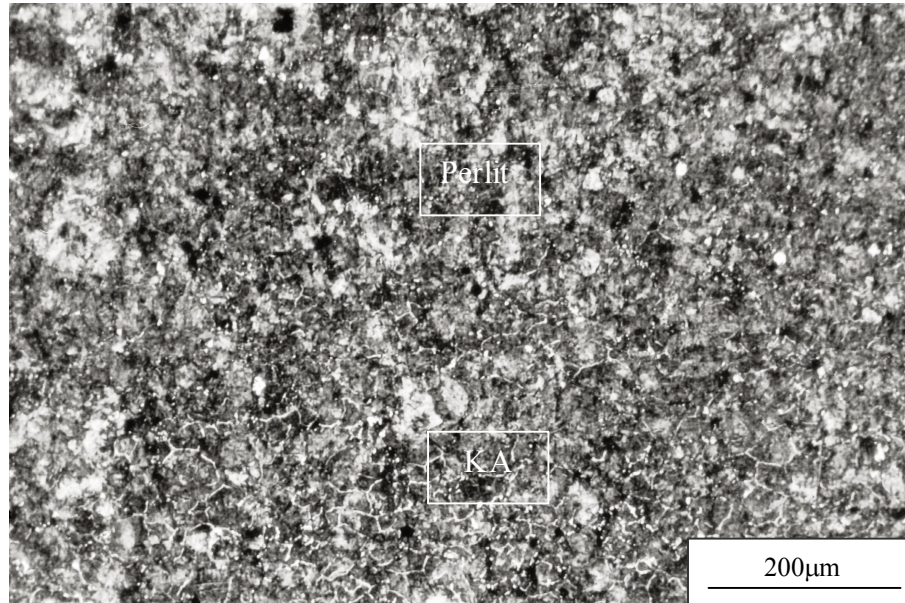
Şekil 5.1. Numune 1'in yüksek alaşımlı bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



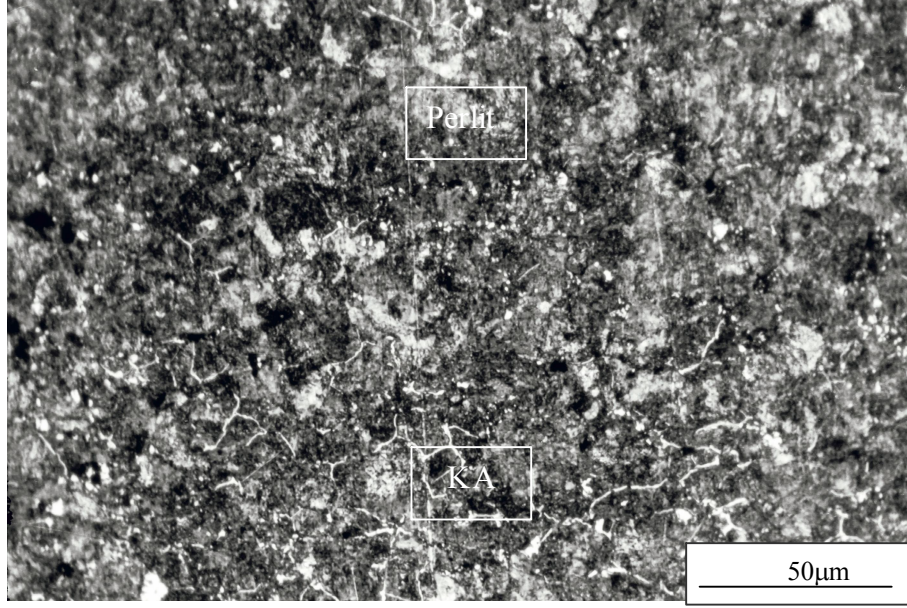
Şekil 5.2. Numune 1'in yüksek alaşımlı bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



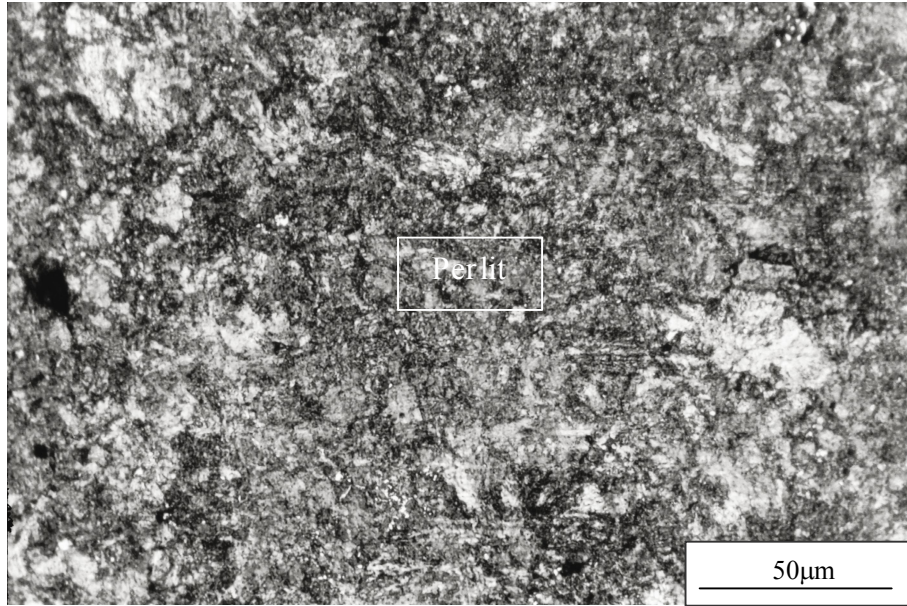
Şekil 5.3. Numune 1'in yüksek alaşımlı bölgesinden alınan SEM fotoğrafı



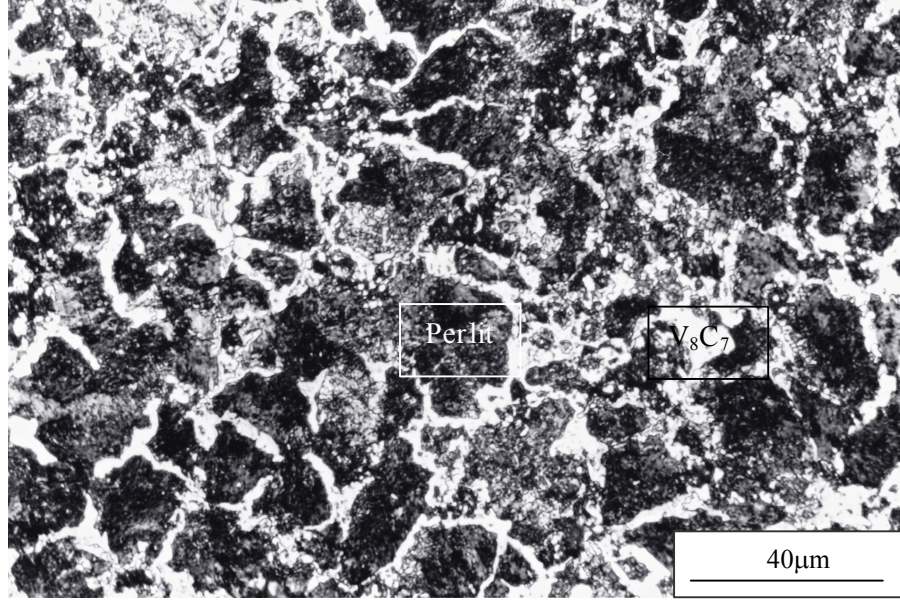
Şekil 5.4. Numune 1'in kısmen alaşımlandırılmış (KA) + geçiş (perlitik) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



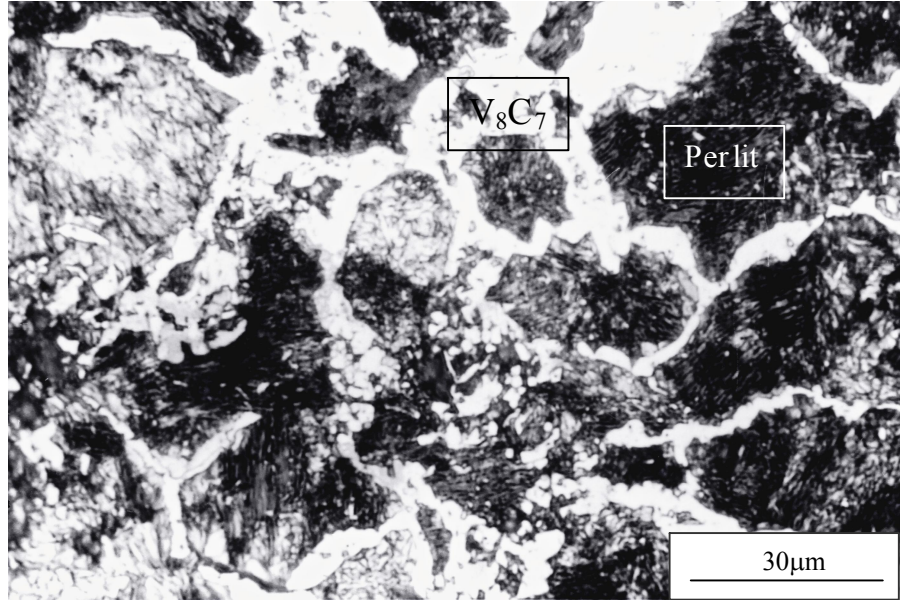
Şekil 5.5. Numune 1'in kısmen alaşımlandırılmış (KA) + geçiş (perlitik) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



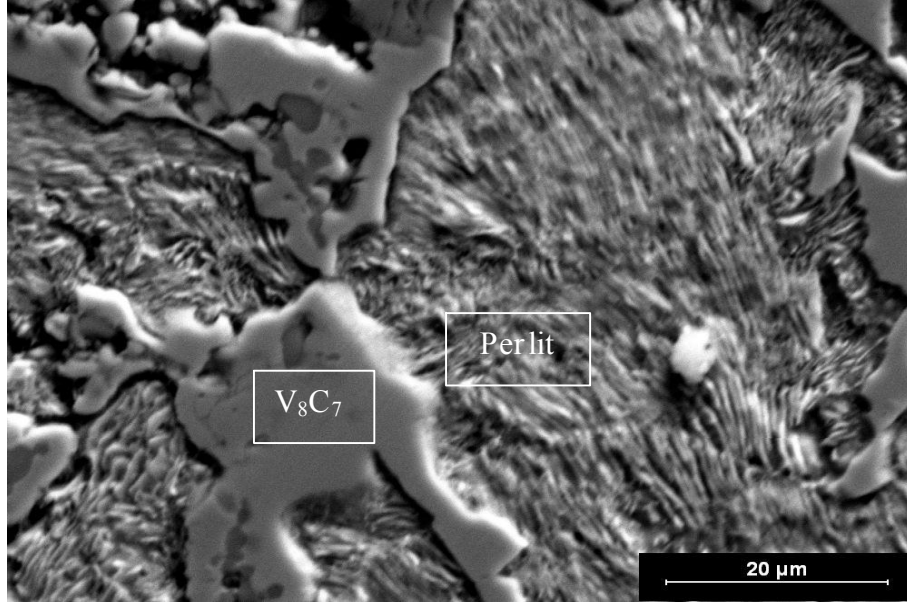
Şekil 5.6. Numune 1'in geçiş (perlitik) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



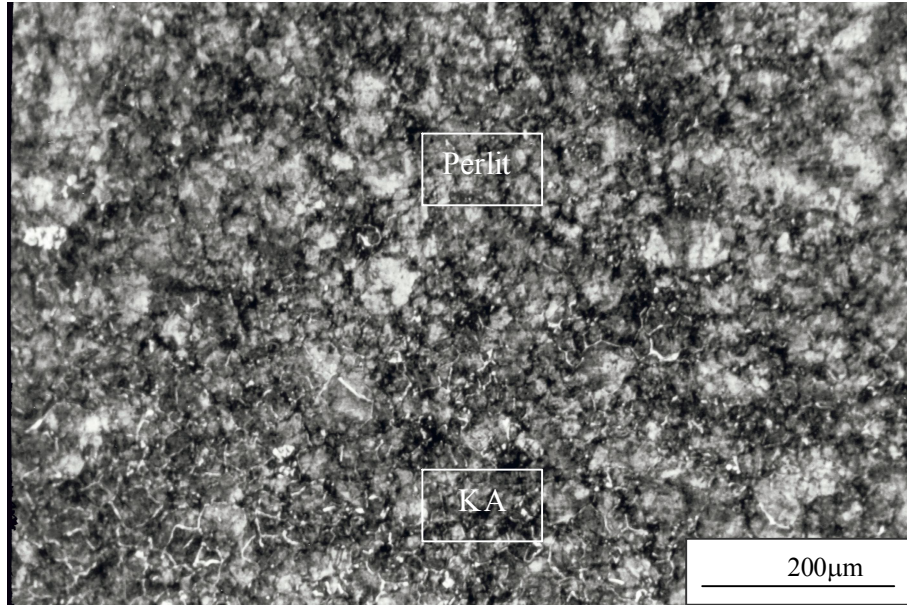
Şekil 5.7. Numune 1'in yüksek alaşımlı bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



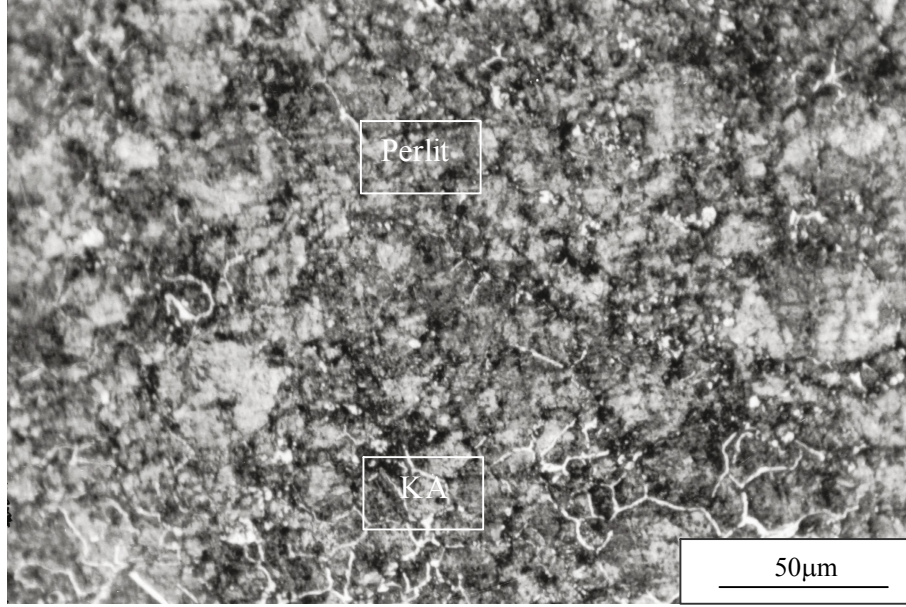
Şekil 5.8. Numune 2'nin yüksek alaşımlı bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



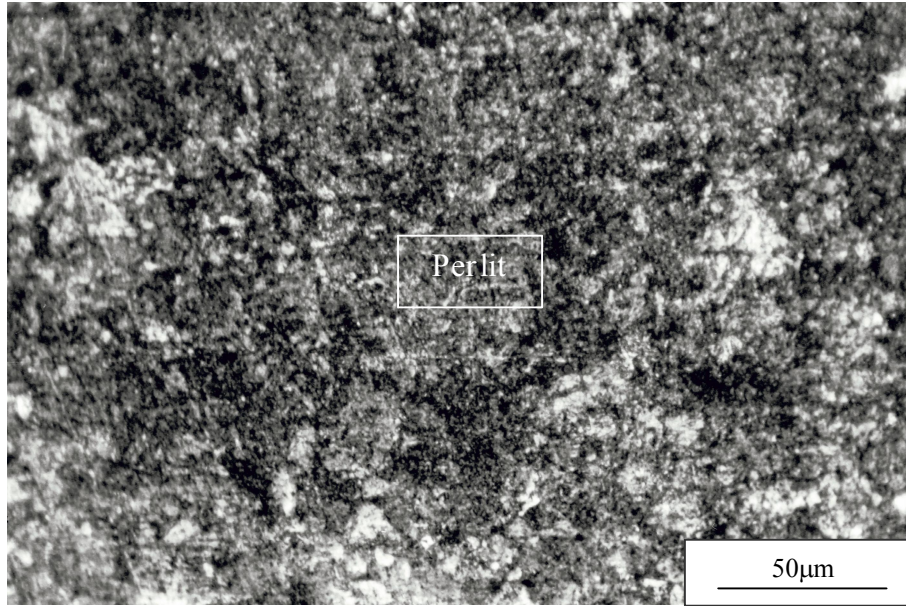
Şekil 5.9. Numune 2'nin yüksek alaşımlı bölgesinden alınan SEM fotoğrafı



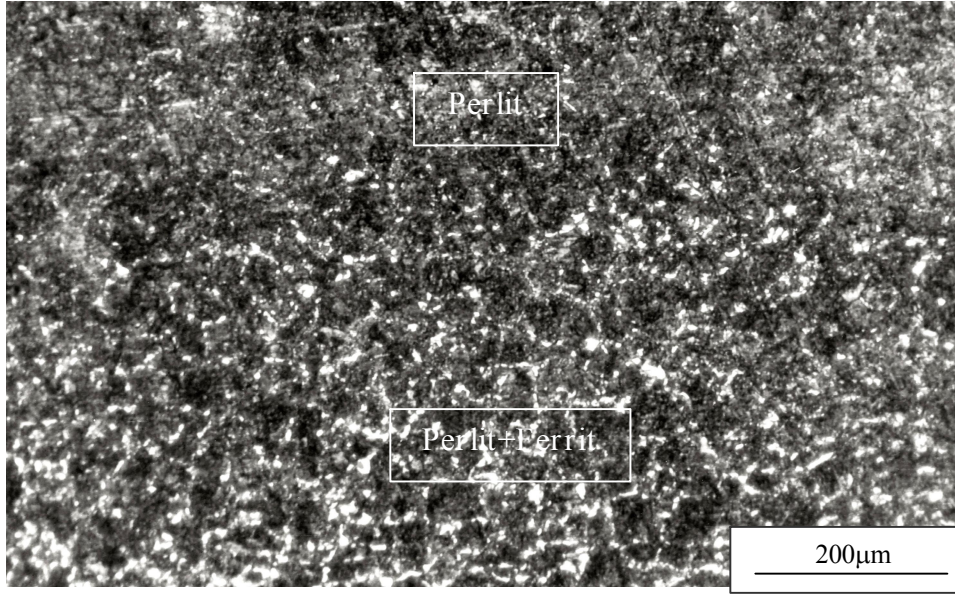
Şekil 5.10. Numune 2'nin kısmen alaşımlandırılmış (KA) + geçiş (perlitik) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



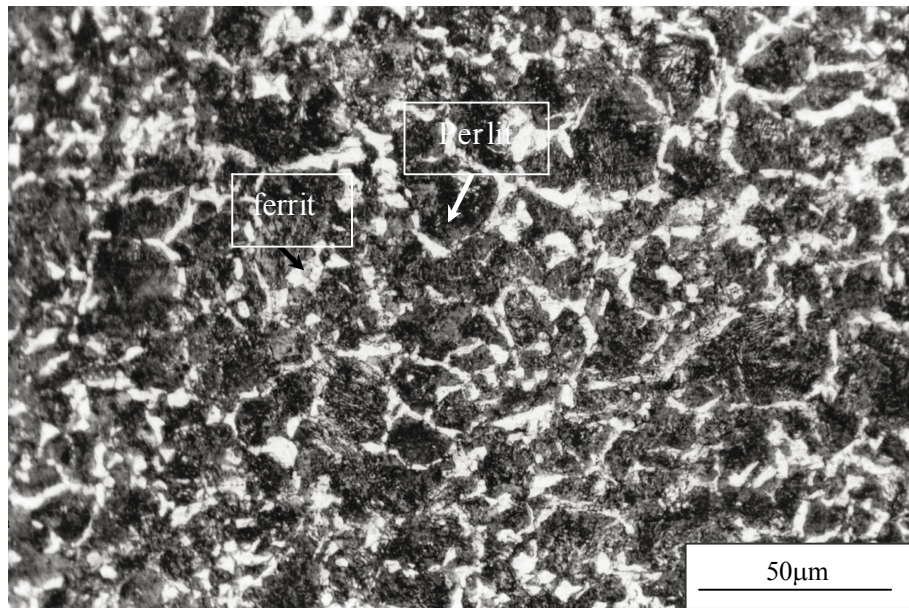
Şekil 5.11. Numune 2'nin kısmen alaşımlandırılmış(KA) + geçiş (perlitik) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



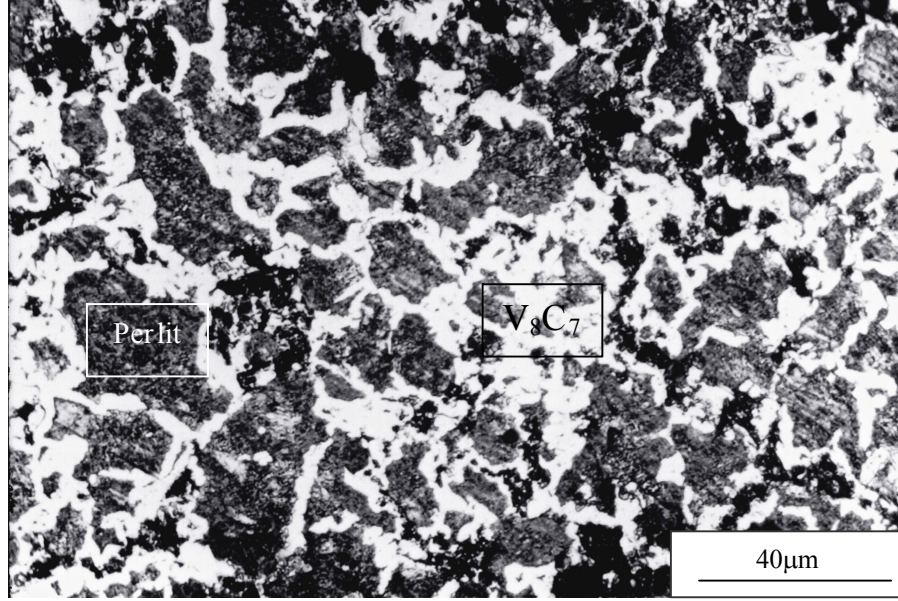
Şekil 5.12. Numune 2'nin geçiş (perlitik) gösteren optik mikroskop fotoğrafı



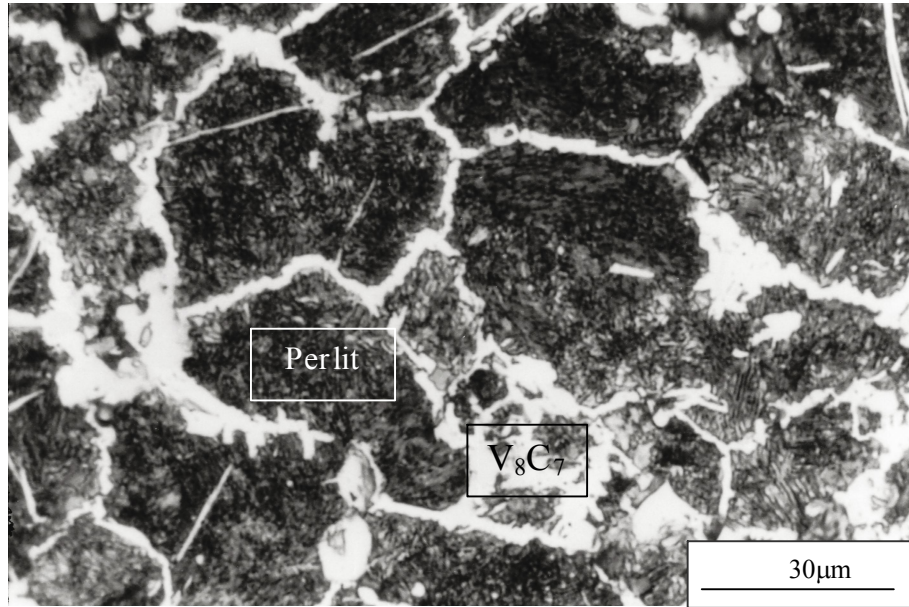
Şekil 5.13. Numune 2'nin geçiş (perlit)+(perlit+ferrit) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



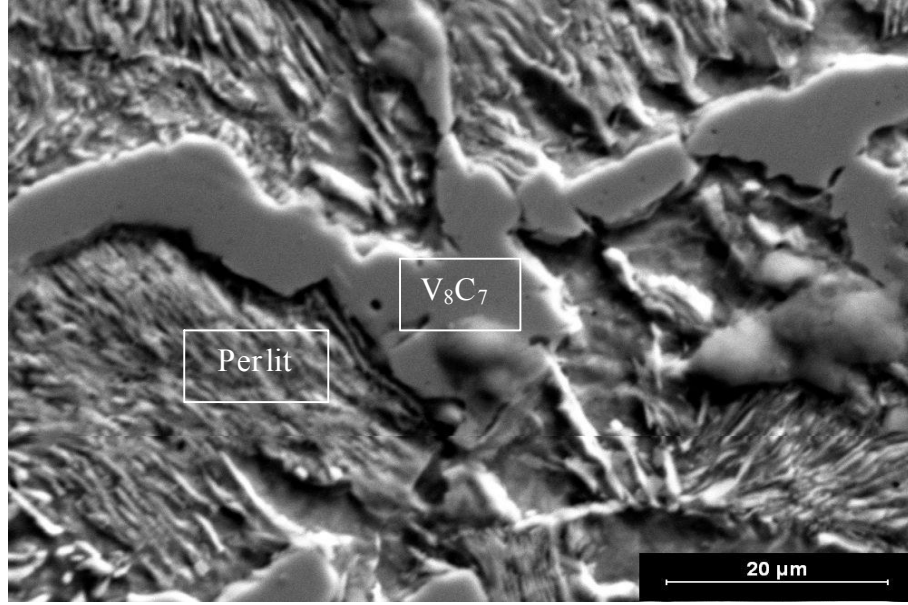
Şekil 5.14. Numune 2'nin geçiş (perlite+ferrite) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



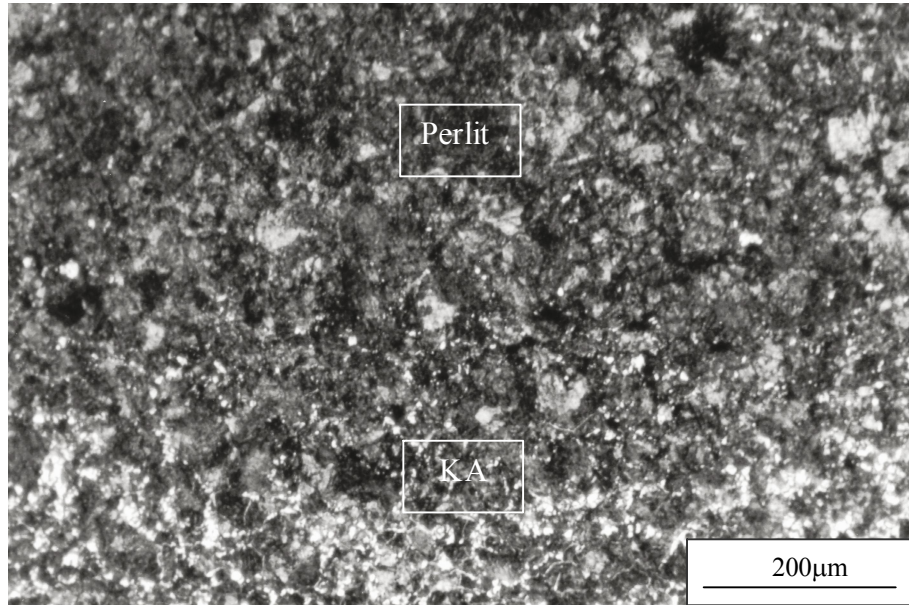
Şekil 5.15. Numune 3'ün yüksek alaşımlı bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



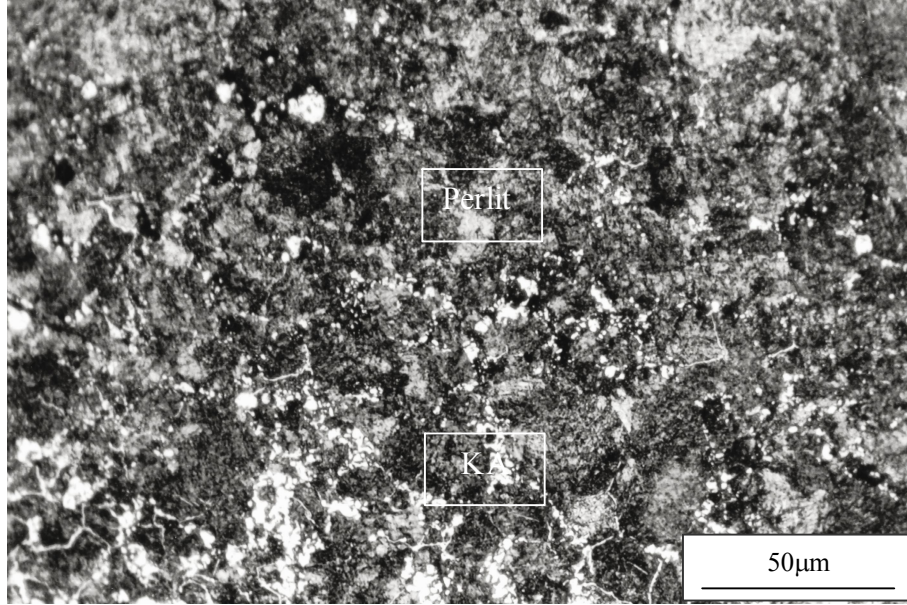
Şekil 5.16. Numune 3'ün yüksek alaşımlı bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



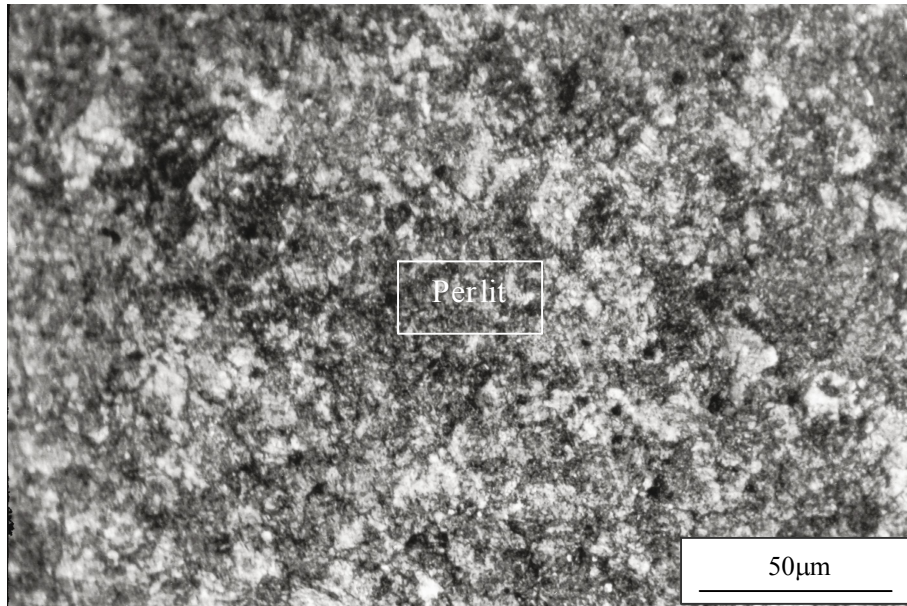
Şekil 5.17. Numune 3'ün yüksek alaşımlı bölgesinden alınan SEM fotoğrafı



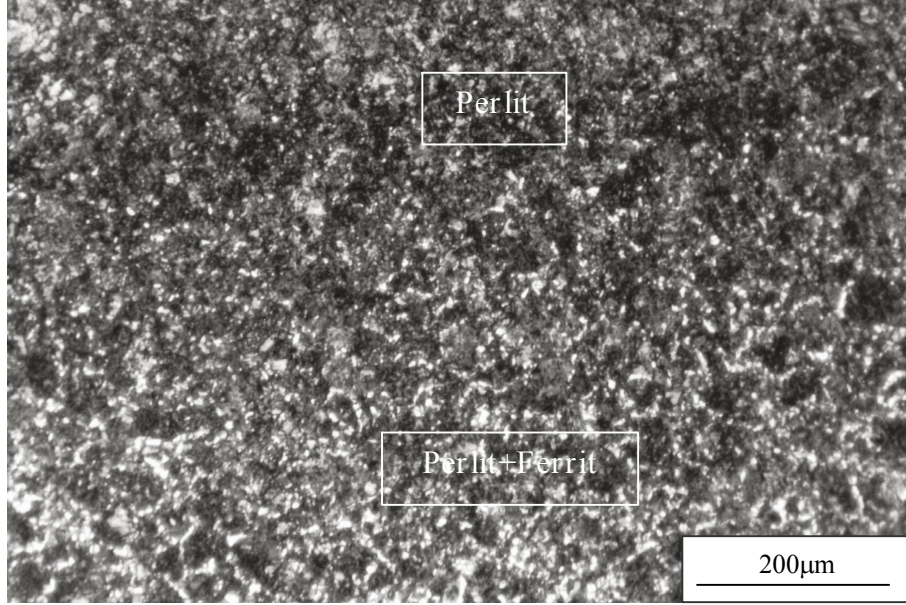
Şekil 5.18. Numune 3'ün kısmen alaşımlandırılmış (KA) + geçiş (perlitik) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



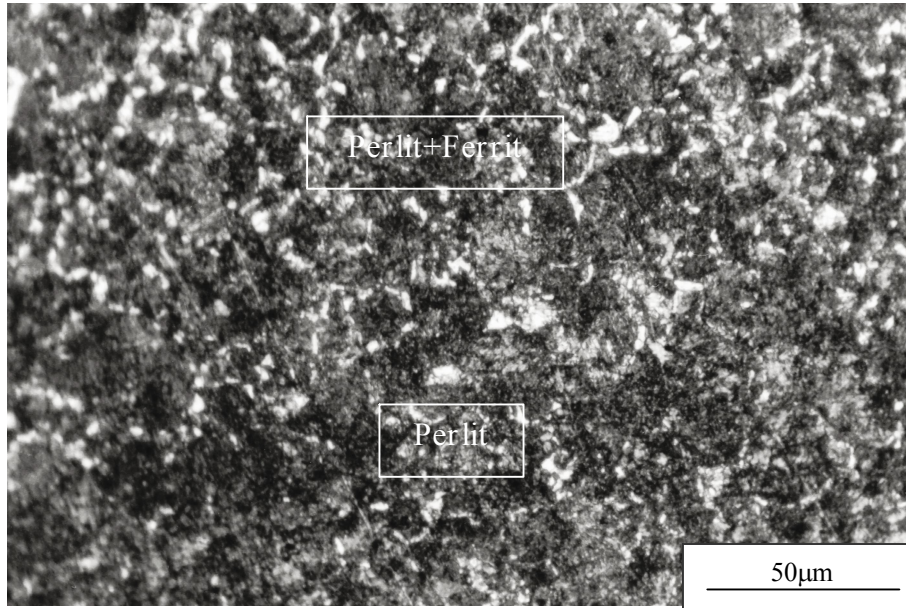
Şekil 5.19. Numune 3'ün kısmen alaşımlandırılmış (KA) + geçiş (perlitik) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



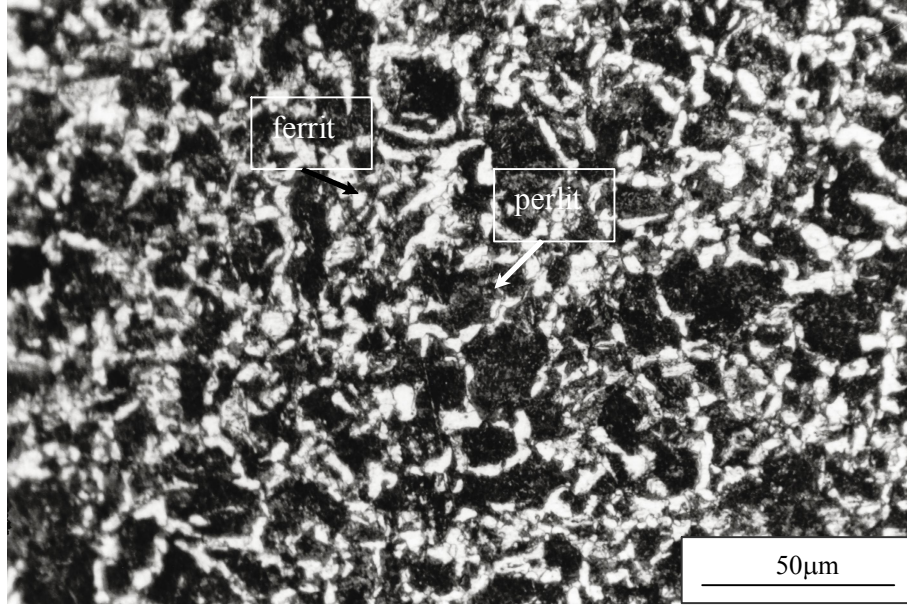
Şekil 5.20. Numune 3'ün geçiş (perlitik) gösteren optik mikroskop fotoğrafı



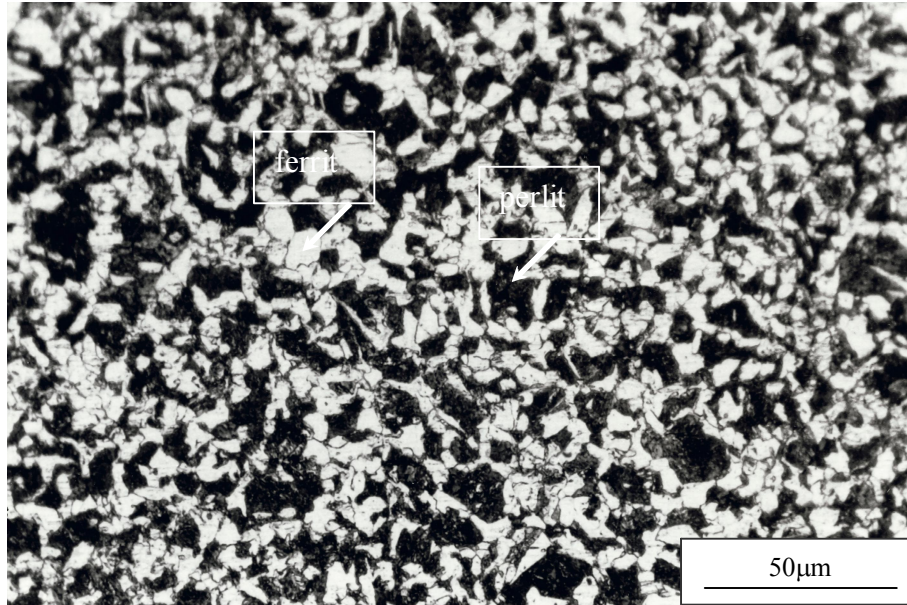
Şekil 5.21.Numune 3'ün geçiş (perlit)+(perlit+ferrit) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



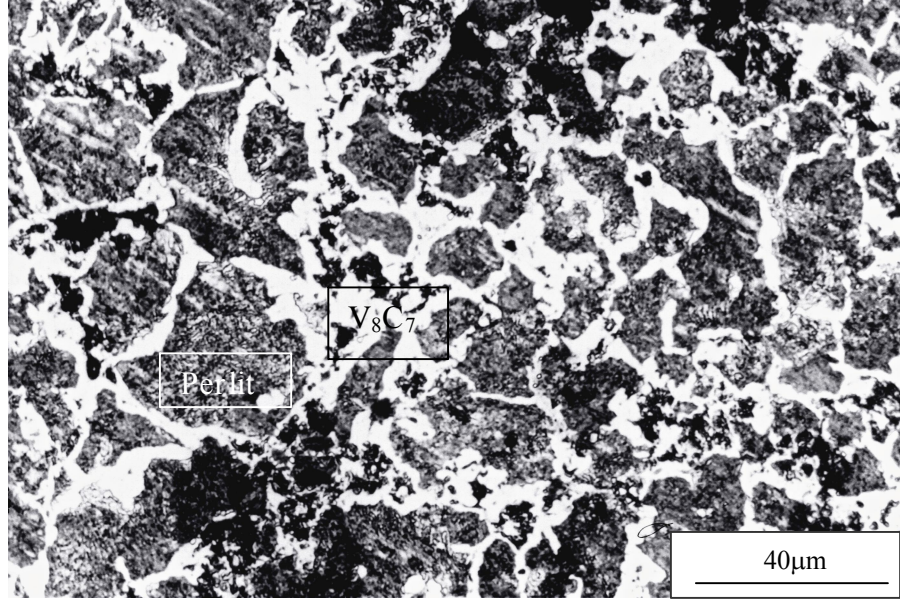
Şekil 5.22.Numune 3'ün geçiş (perlit) + (perlit+ferrit) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



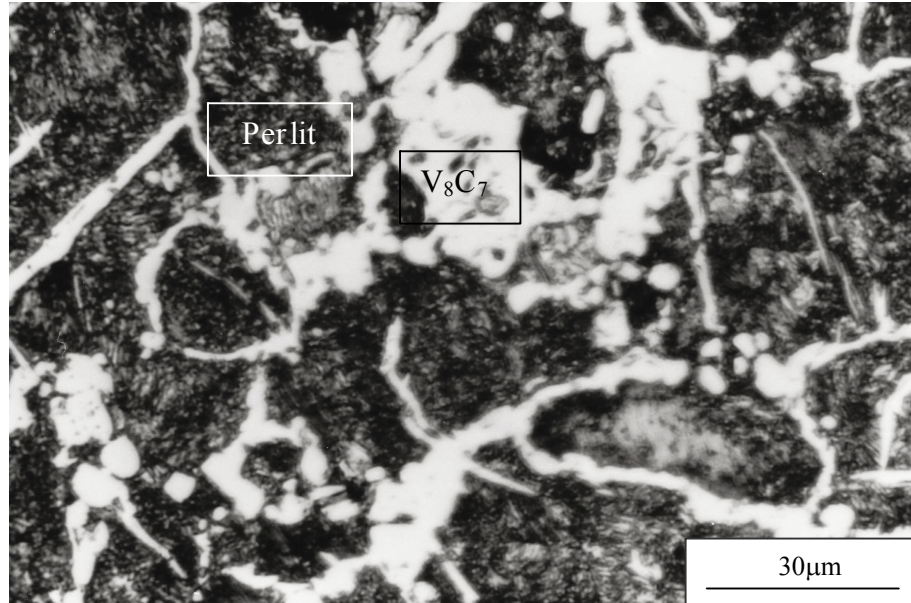
Şekil 5.23. Numune 3'ün geçiş (perlit+ferrit) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



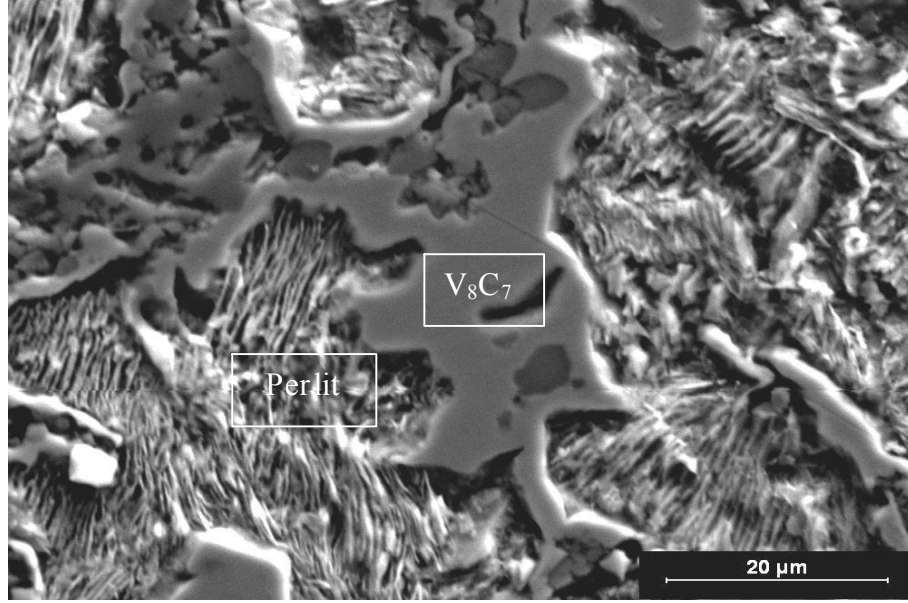
Şekil 5.24. Numune 3'ün düşük grafit içerikli ana malzemesi



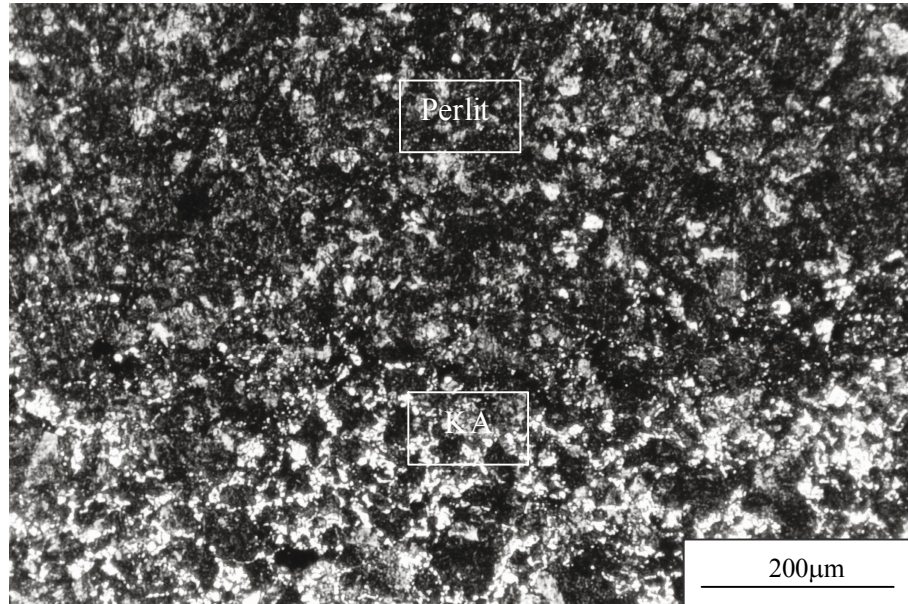
Şekil 5.25. Numune 4'ün yüksek alaşımlı bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



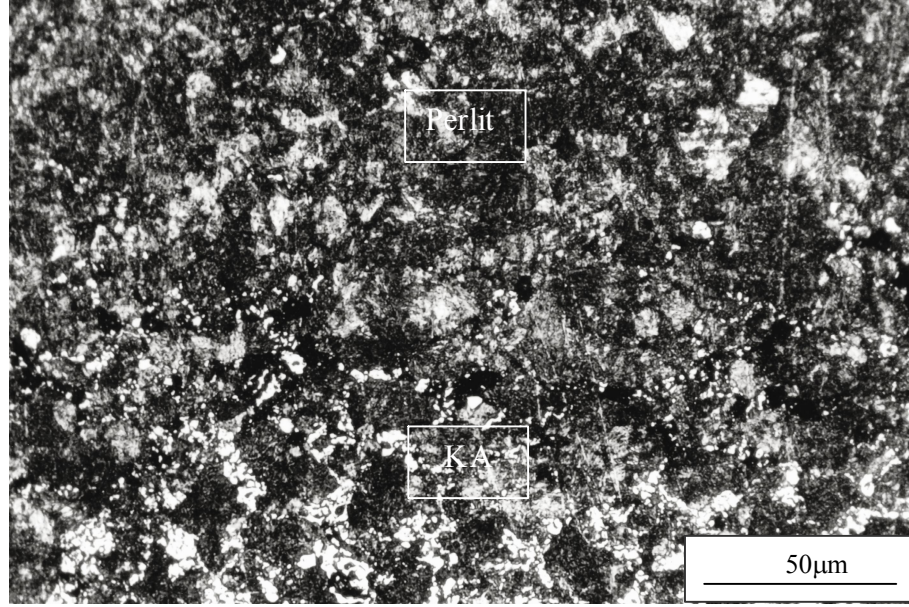
Şekil 5.26. Numune 4'ün yüksek alaşımlı bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



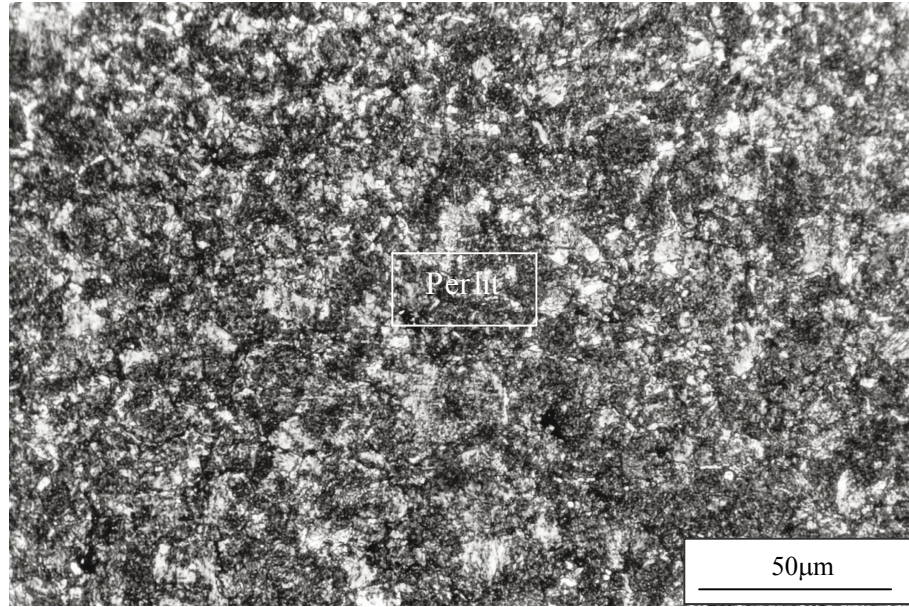
Şekil 5.27. Numune 4'ün yüksek alaşımlı bölgesinden alınan SEM fotoğrafı



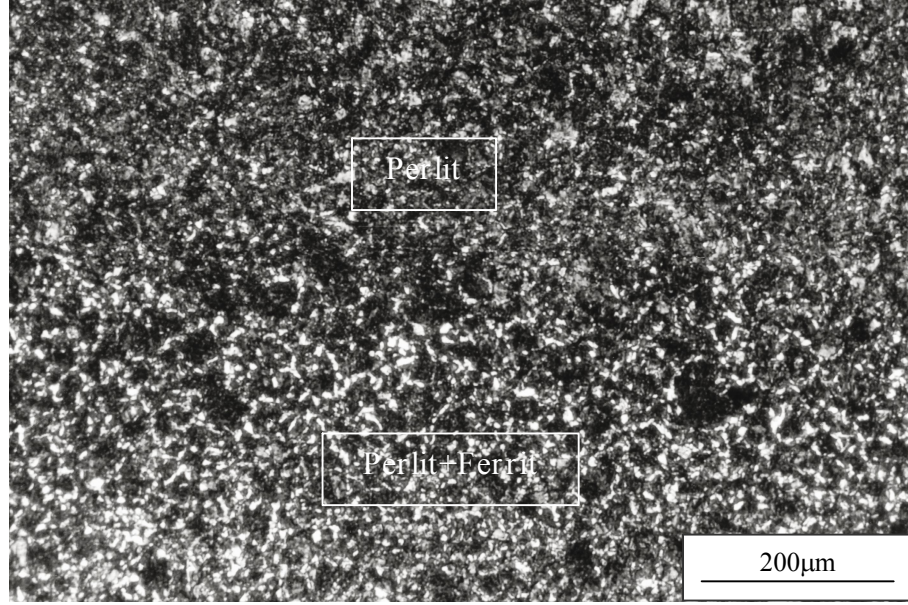
Şekil 5.28. Numune 4'ün kısmen alaşımlandırılmış (KA) + geçiş (perlitik) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



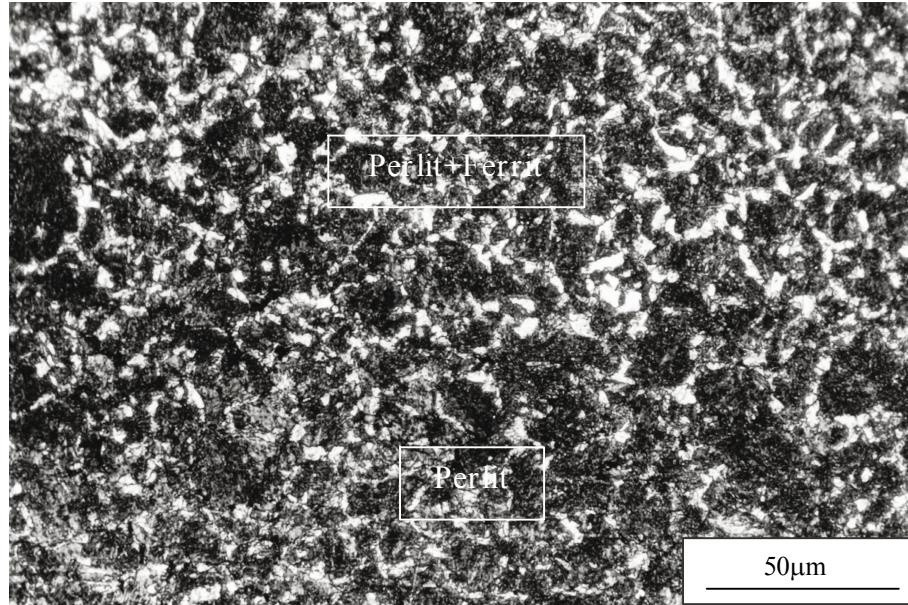
Şekil 5.29. Numune 4'ün kısmen alaşımlandırılmış (KA) + geçiş (perlitik) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



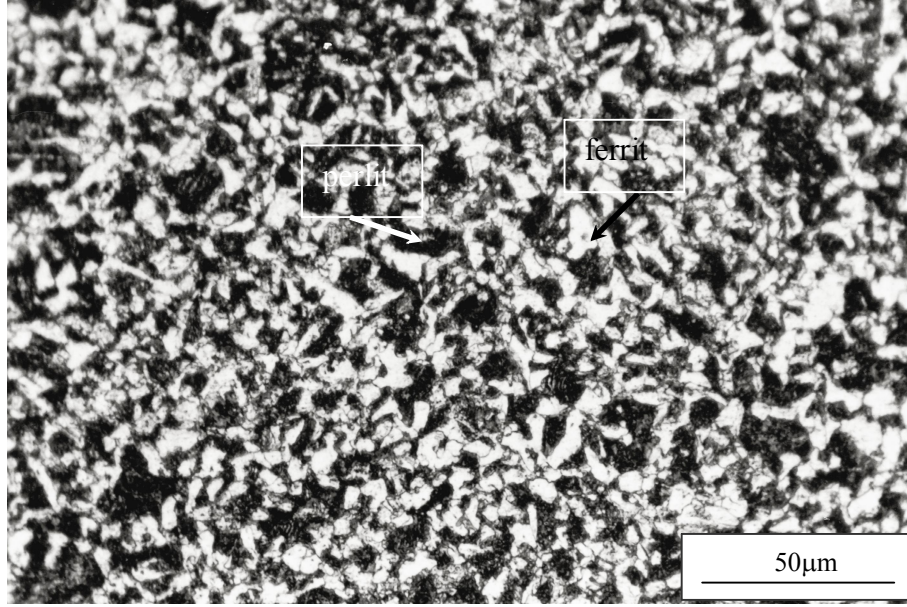
Şekil 5.30. Numune 4'ün geçiş (perlitik) gösteren optik mikroskop fotoğrafı



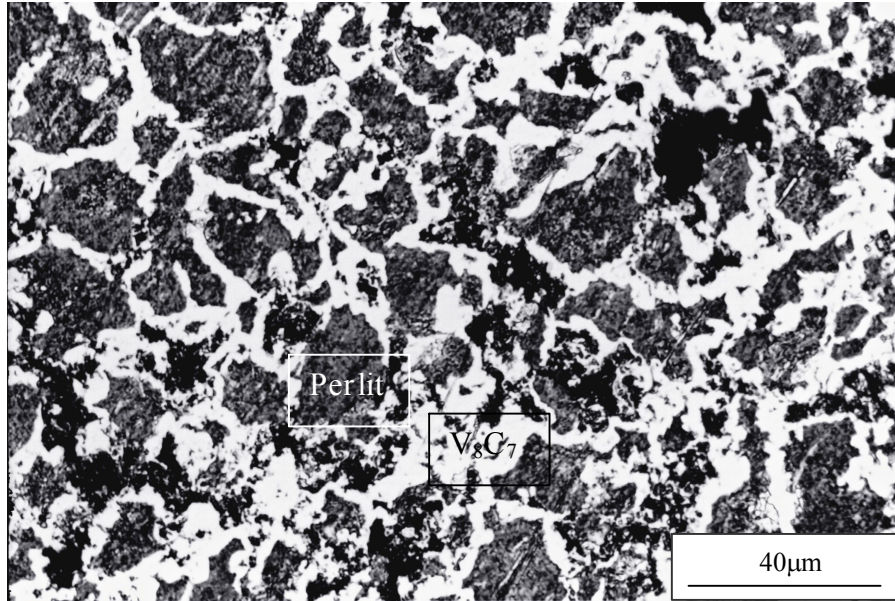
Şekil 5.31. Numune 4'ün geçiş (perlite)+(perlite+ferrit) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



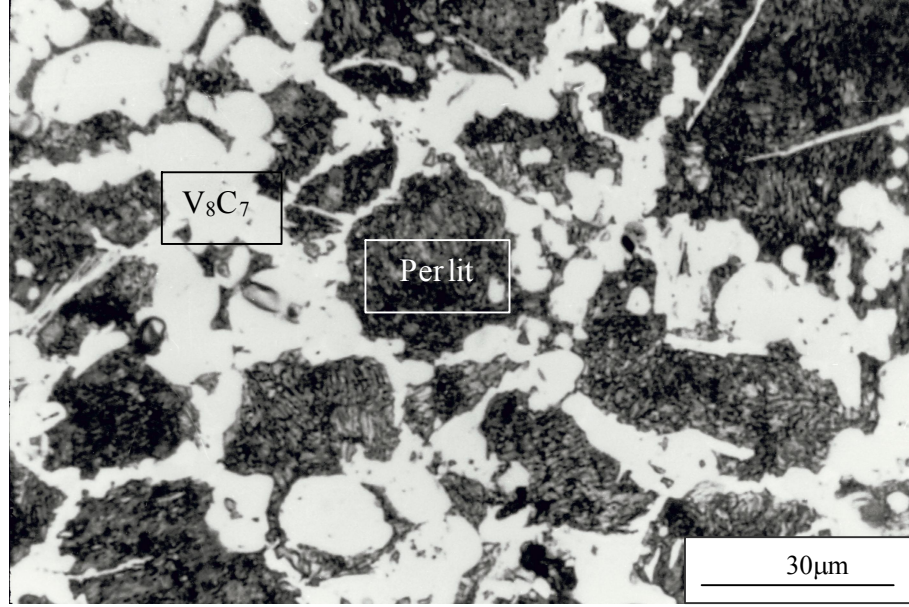
Şekil 5.32. Numune 4'ün geçiş (perlite)+(perlite+ferrit) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



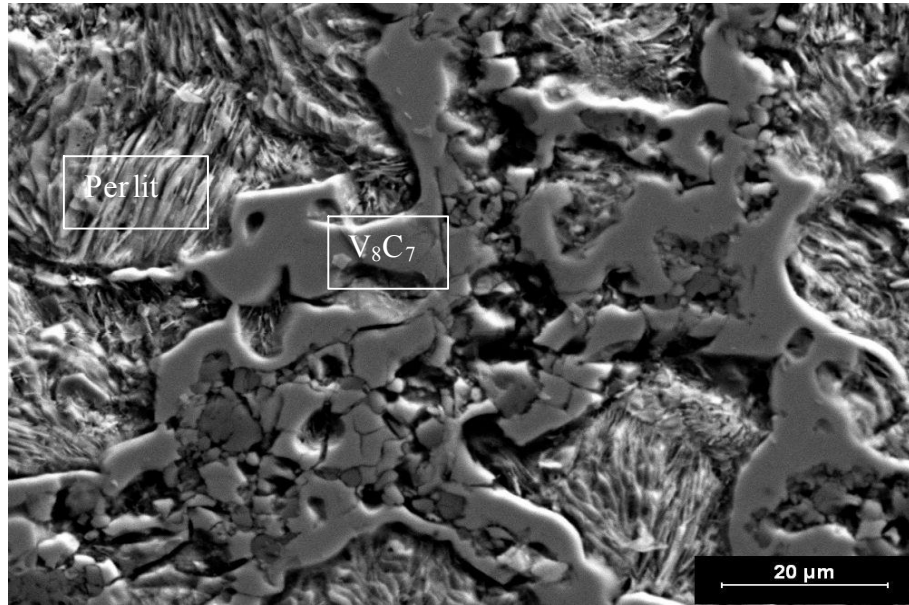
Şekil 5.33. Numune 4'ün düşük grafit içerikli ana malzemesi



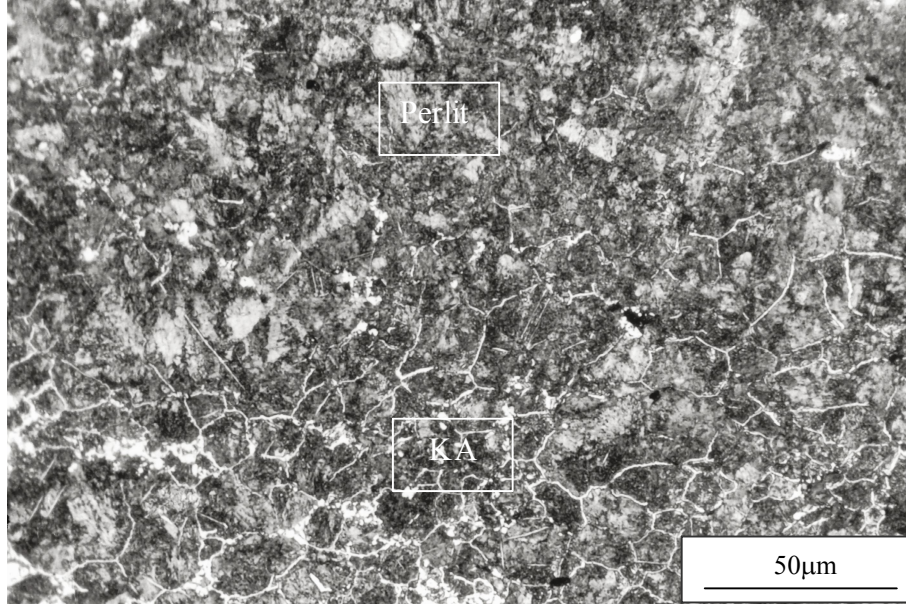
Şekil 5.34. Numune 5'in yüksek alaşımlı bölgesinden alınan optik mikroskop fotoğrafı



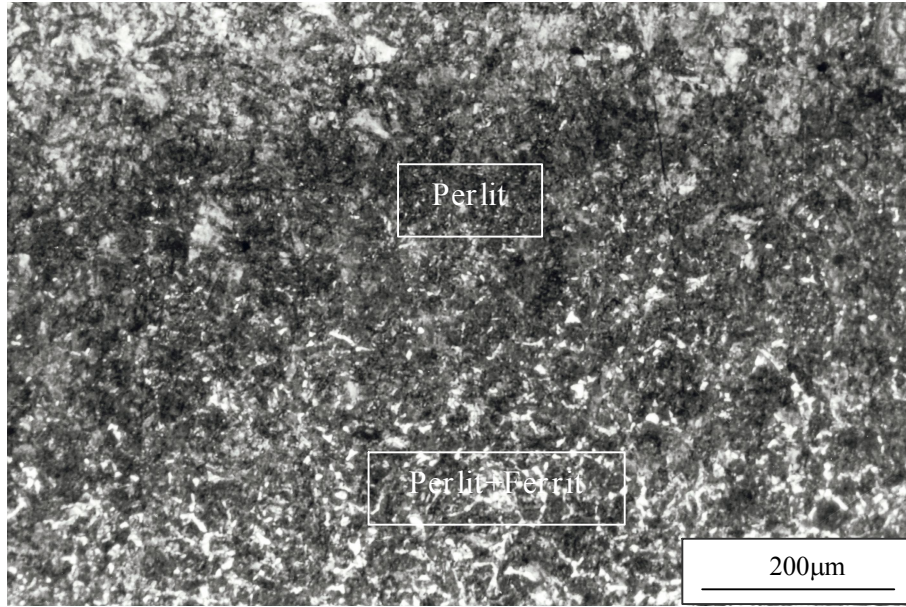
Şekil 5.35. Numune 5'in yüksek alaşımlı bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



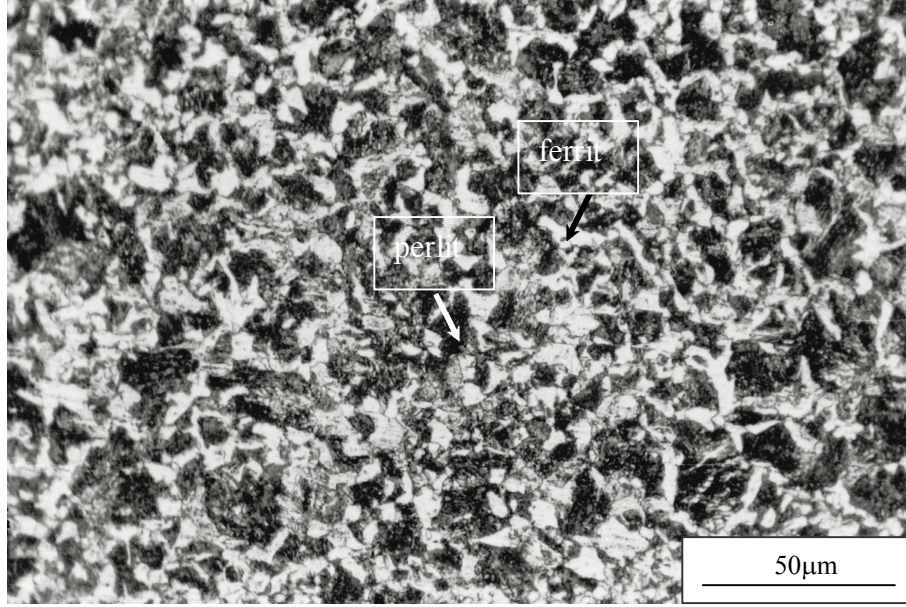
Şekil 5.36. Numune 5'in yüksek alaşımlı bölgesinden alınan SEM fotoğrafı



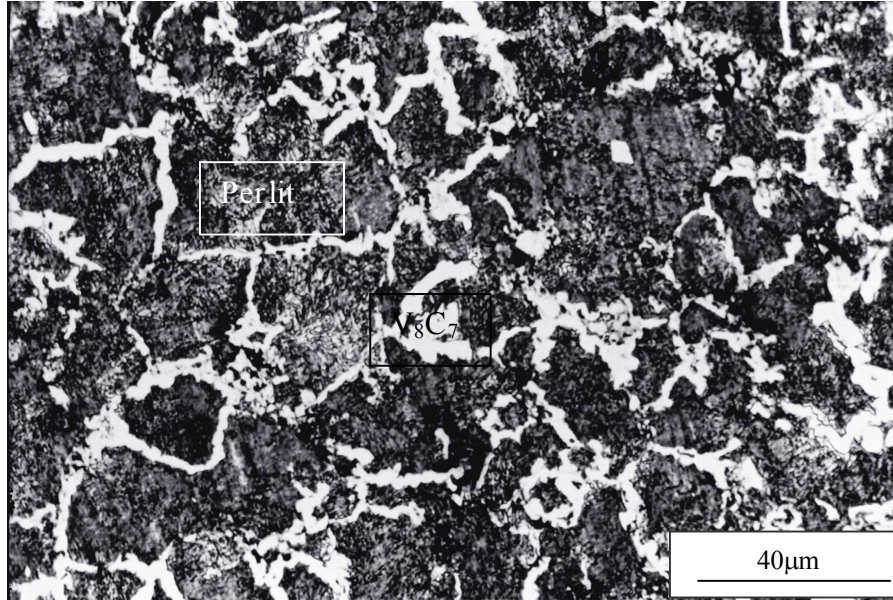
Şekil 5.37. Numune 5'in kısmen alaşımlandırılmış (KA) + geçiş (perlitik) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



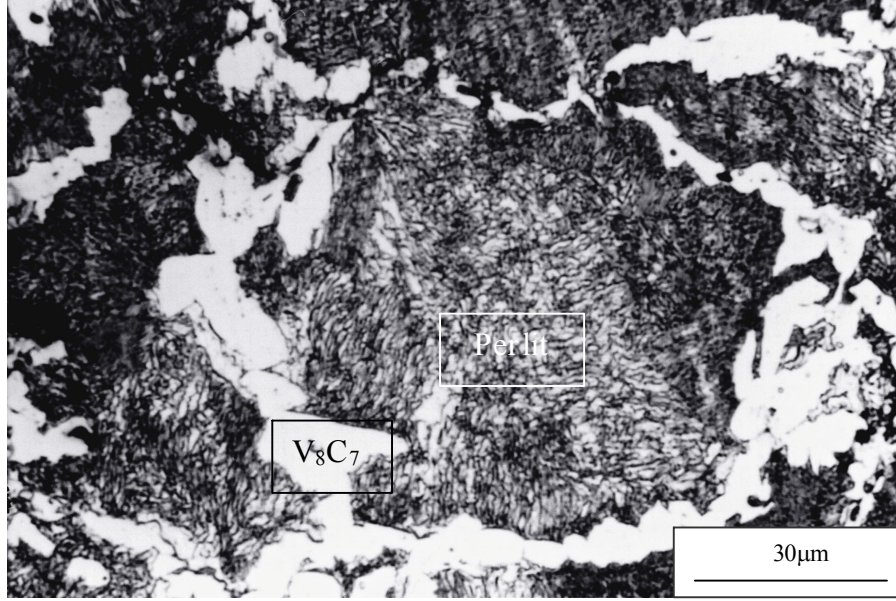
Şekil 5.38. Numune 5'in geçiş (perlit)+(perlit+ferrit) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



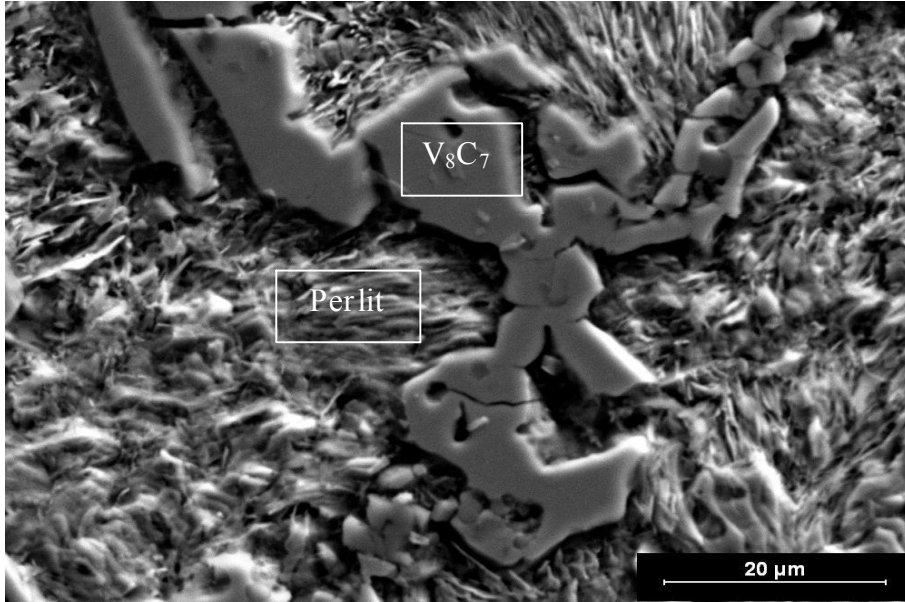
Şekil 5.39. Numune 5'in düşük grafit içerikli ana malzemesi



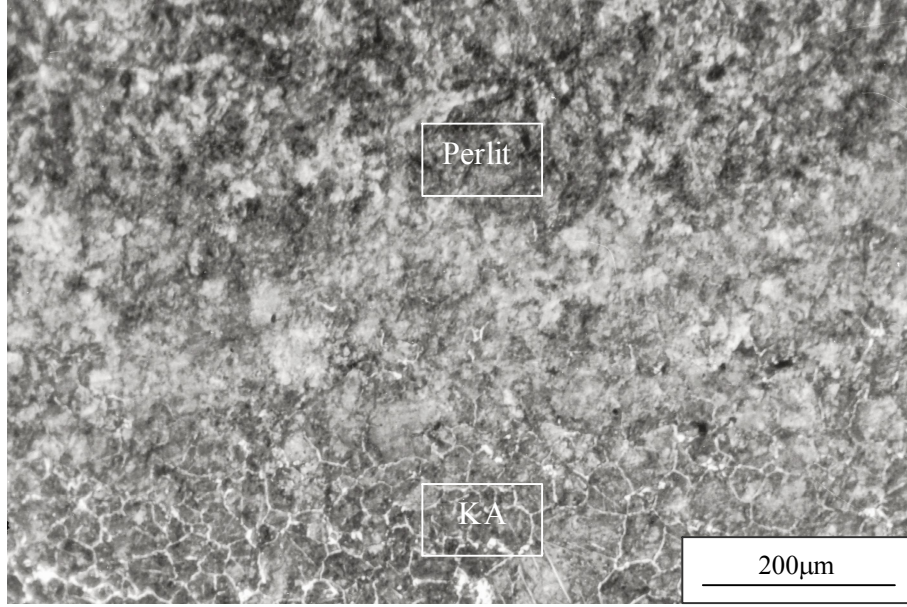
Şekil 5.40. Numune 6'nın yüksek alaşımlı bölgesinden alınan optik mikroskop fotoğrafı



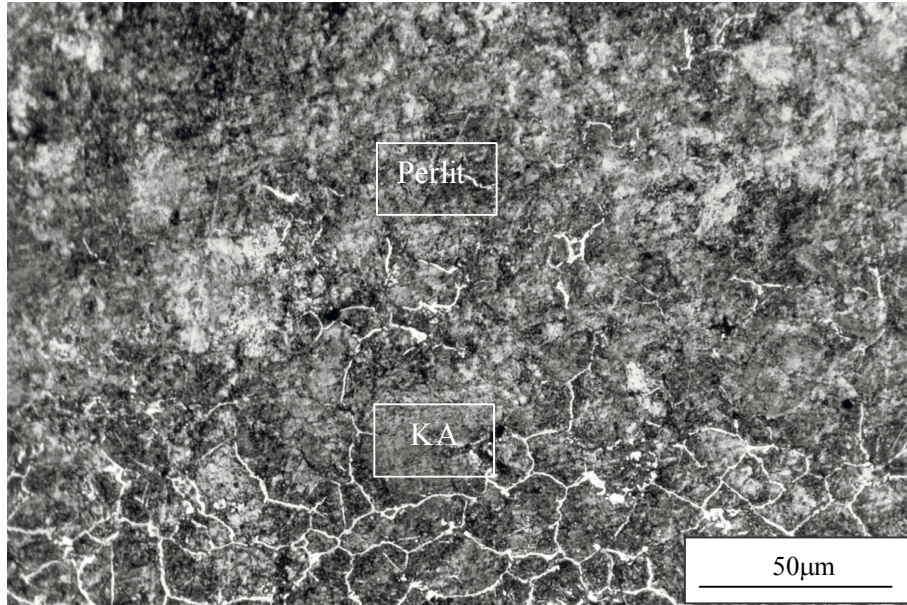
Şekil 5.41. Numune 6'nın yüksek alaşımlı bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



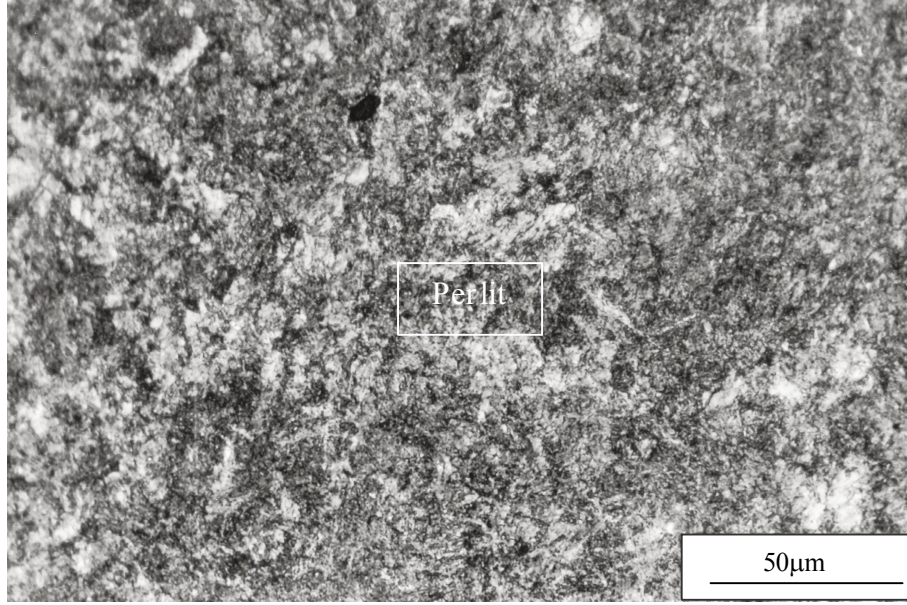
Şekil 5.42. Numune 6'nın yüksek alaşımlı bölgesinden alınan SEM fotoğrafı



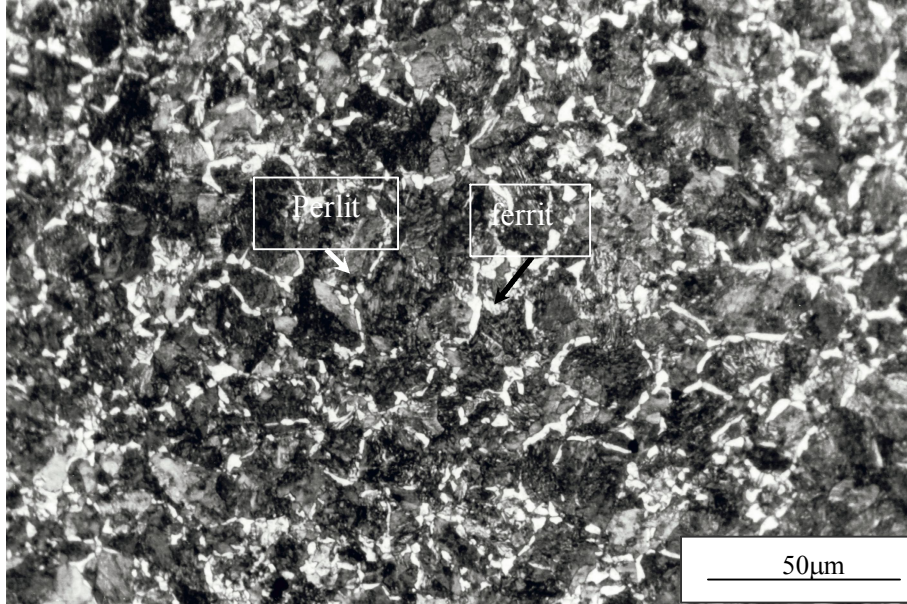
Şekil 5.43. Numune 6'nın kısmen alaşımlandırılmış (KA)+geçiş(perlitik) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



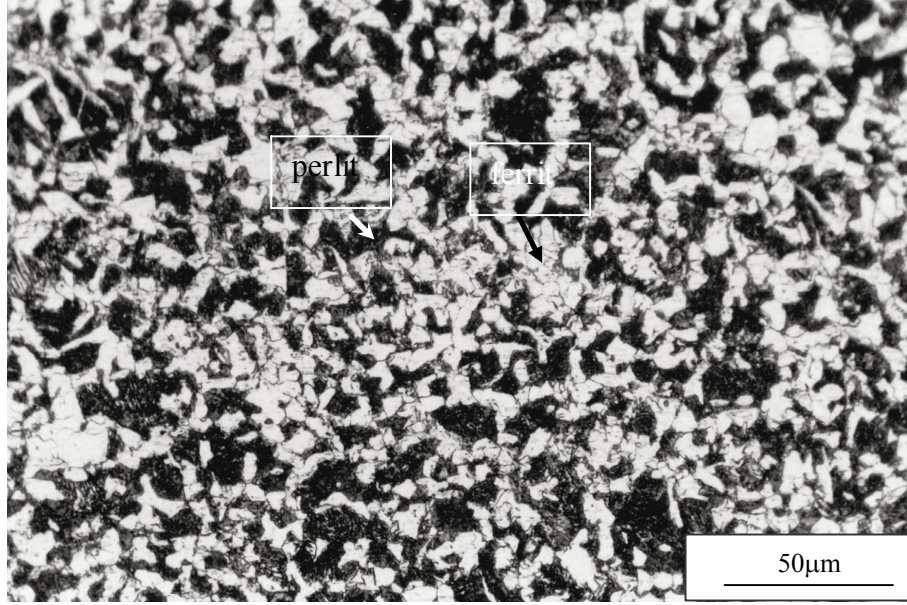
Şekil 5.44. Numune 6'nın kısmen alaşımlandırılmış (KA) +geçiş (perlitik) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



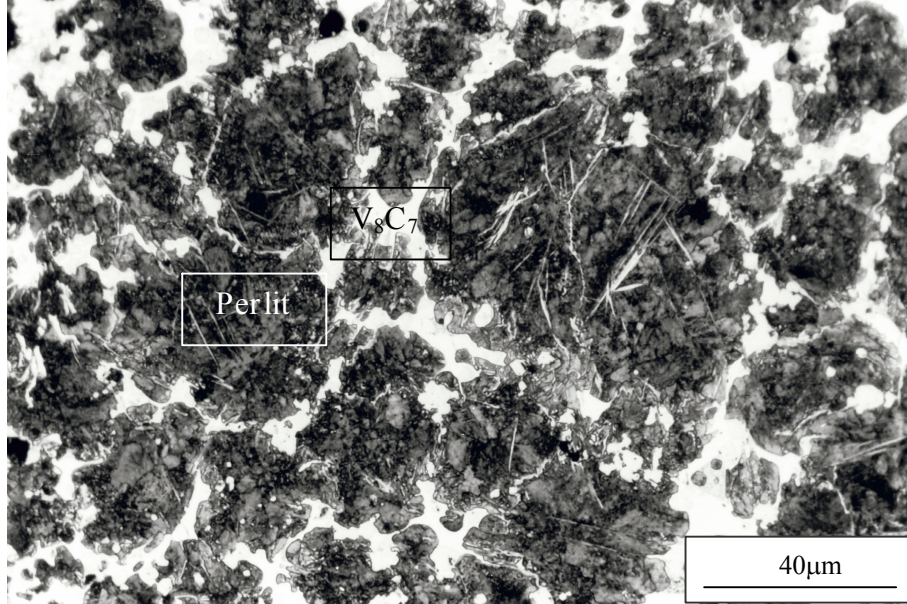
Şekil 5.45. Numune 6'nın geçiş (perlitik) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



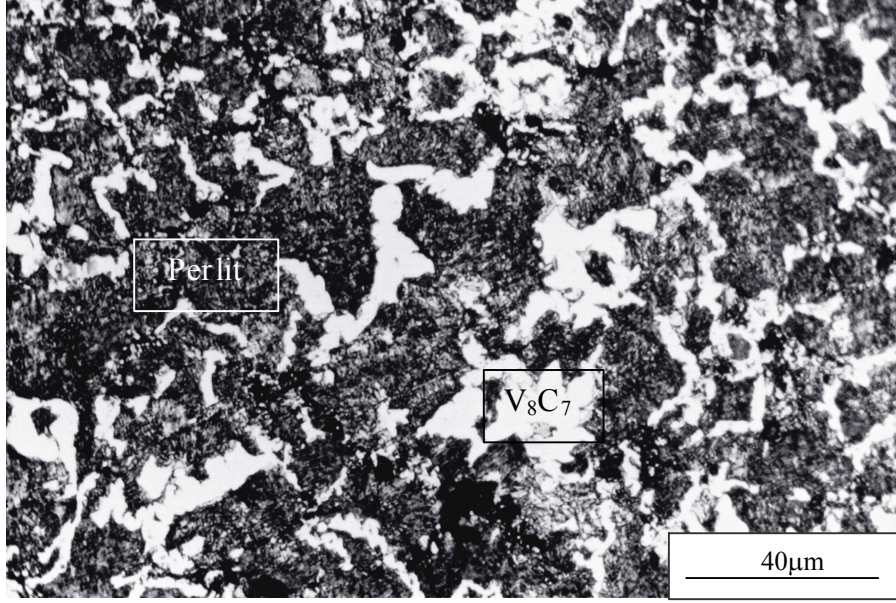
Şekil 5.46. Numune 6'nın geçiş (perlit+ferrit) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



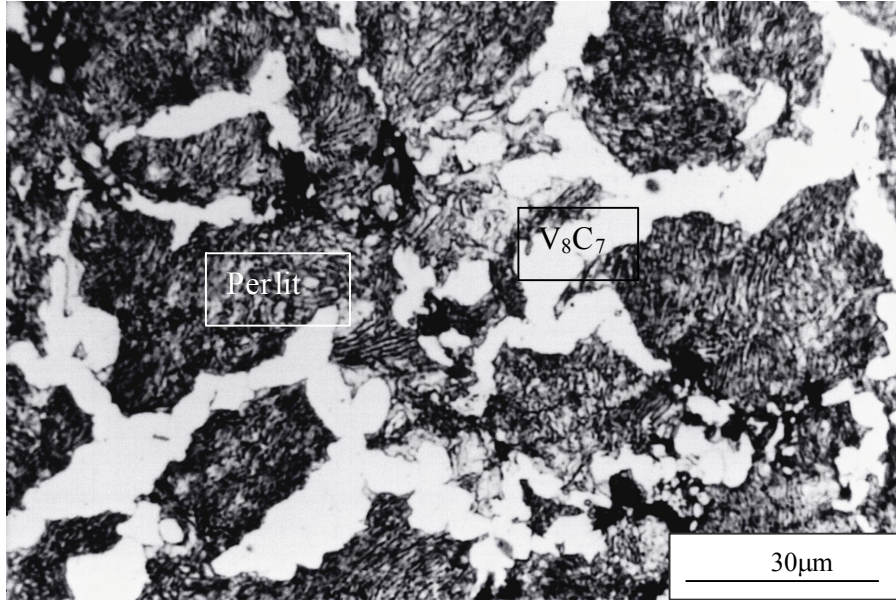
Şekil 5.47. Numune 6'nın düşük grafit içerikli ana malzemesi



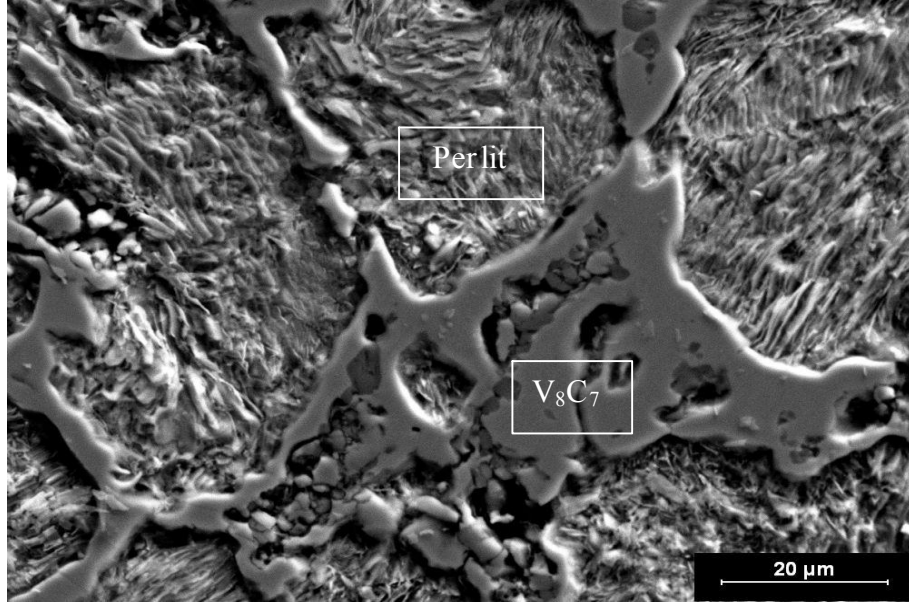
Şekil 5.48. Numune 7'nin yüksek alaşımlı bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



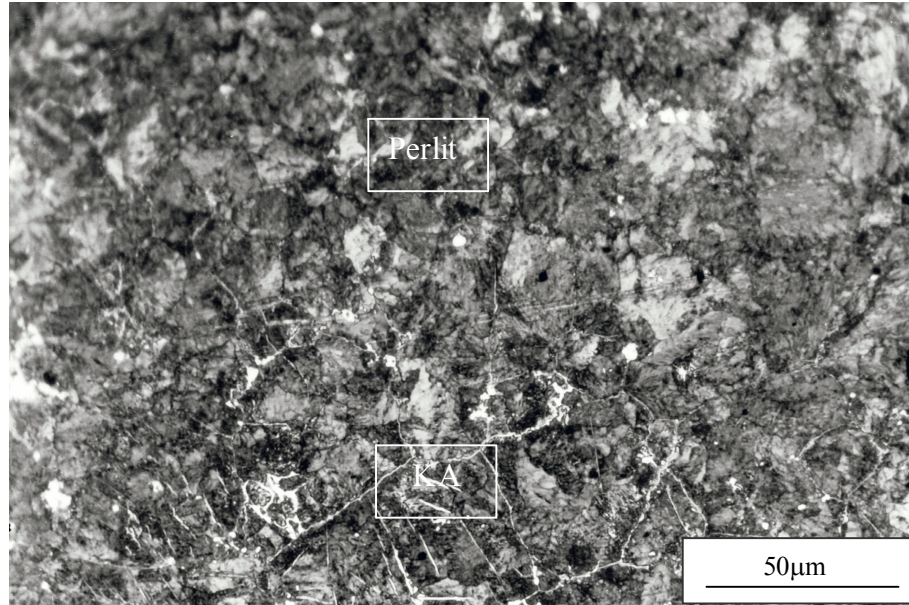
Şekil 5.49. Numune 7'nin yüksek alaşımlı bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



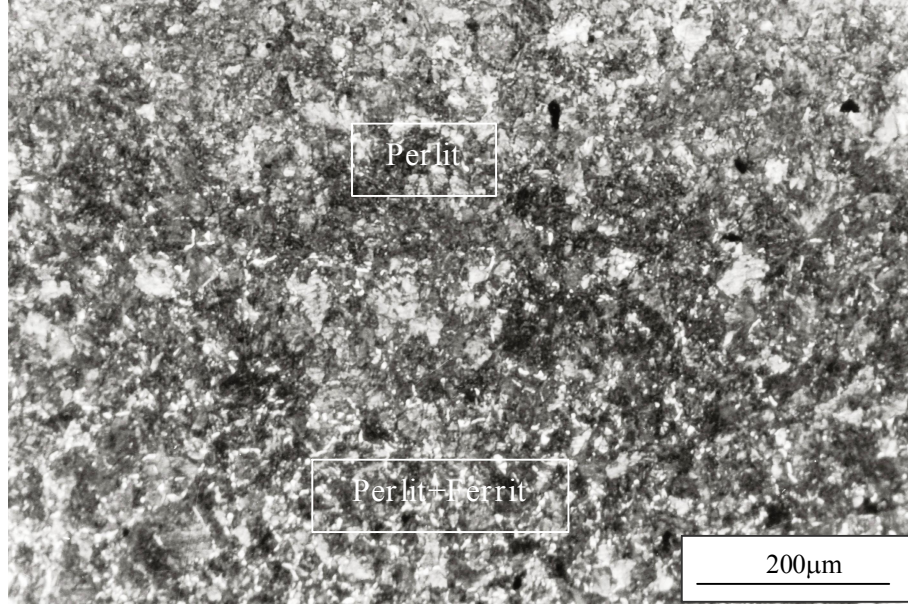
Şekil 5.50. Numune 7'nin yüksek alaşımlı bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



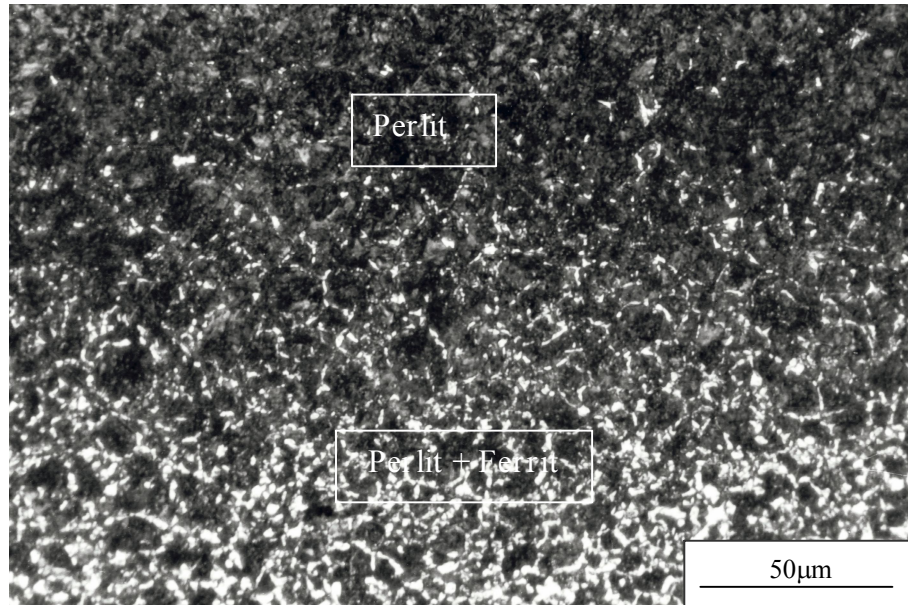
Şekil 5.51. Numune 7'nin yüksek alaşımlı bölgesini gösteren SEM fotoğrafı



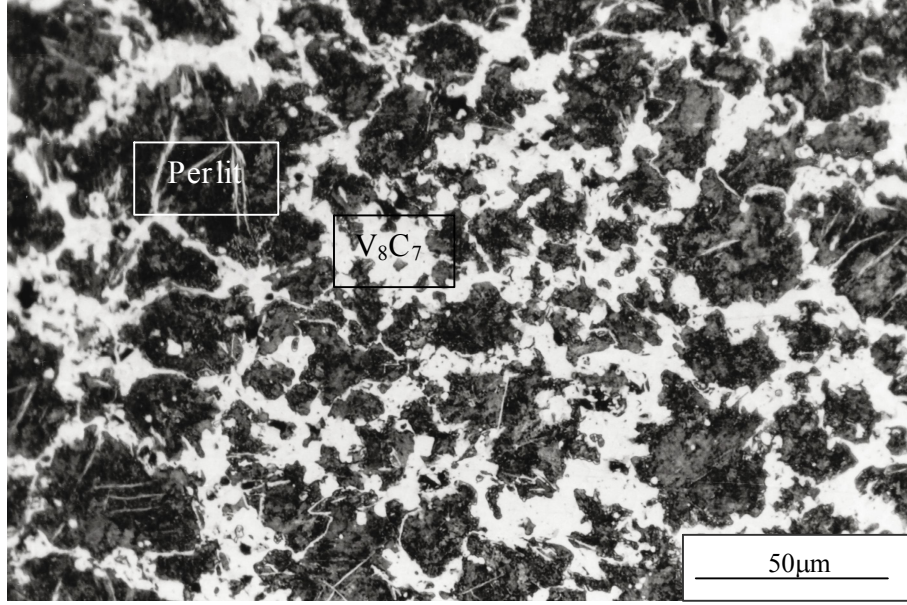
Şekil 5.52. Numune 7'nin kısmen alaşımlandırılmış (KA) + geçiş(perlitik) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



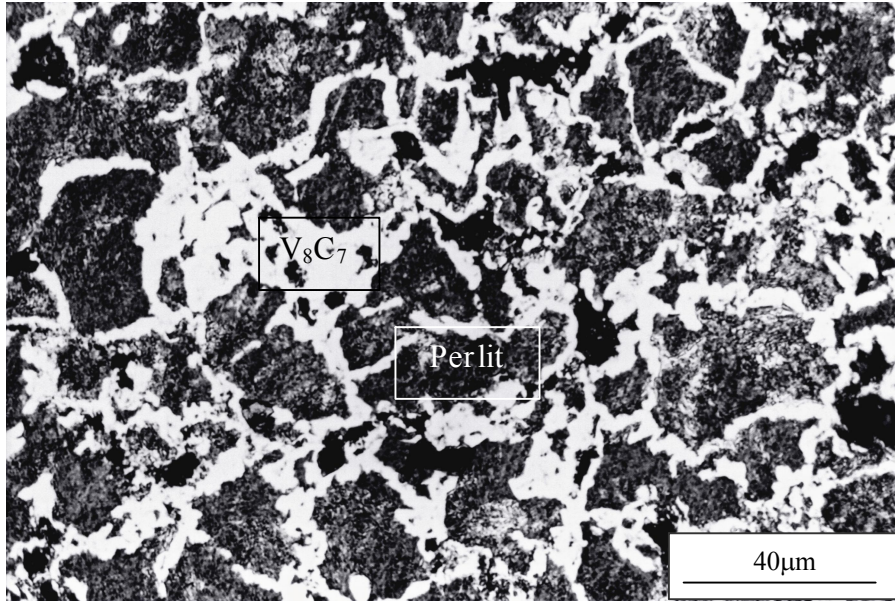
Şekil 5.53.Numune 7'nin geçiş (perlite)+(perlite+ferrit) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



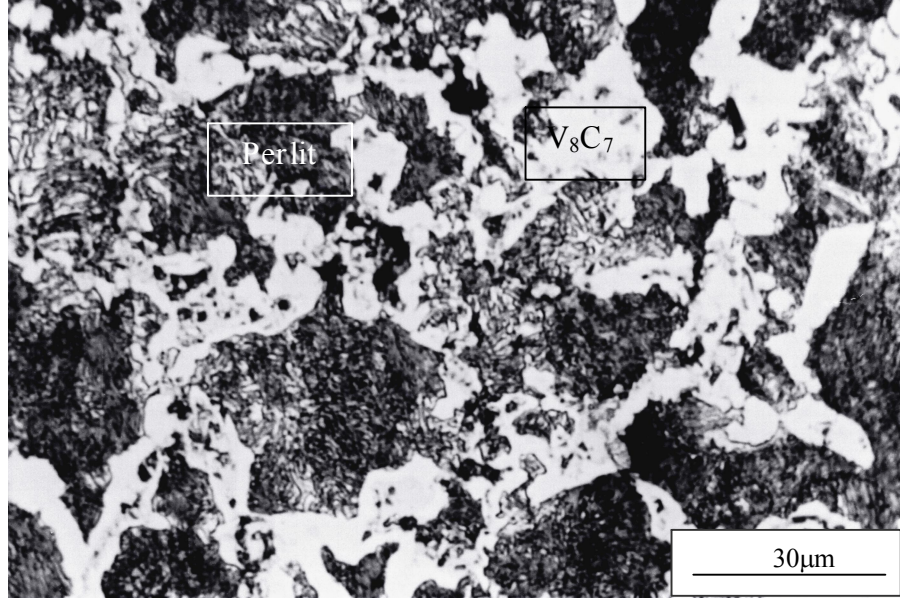
Şekil 5.54.Numune 7'nin geçiş (perlite)+(perlite+ferrit) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



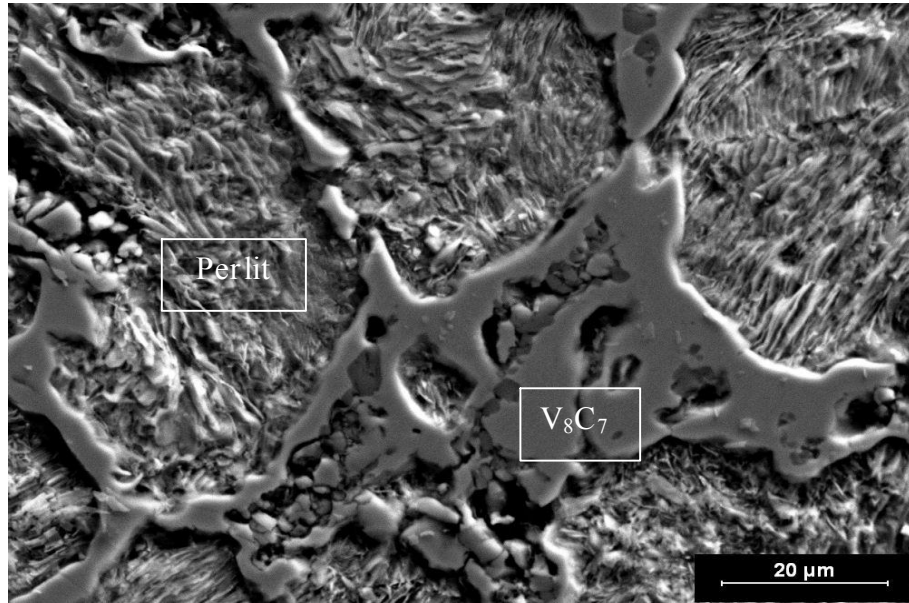
Şekil 5.55. Numune 8'in yüksek alaşımlı bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



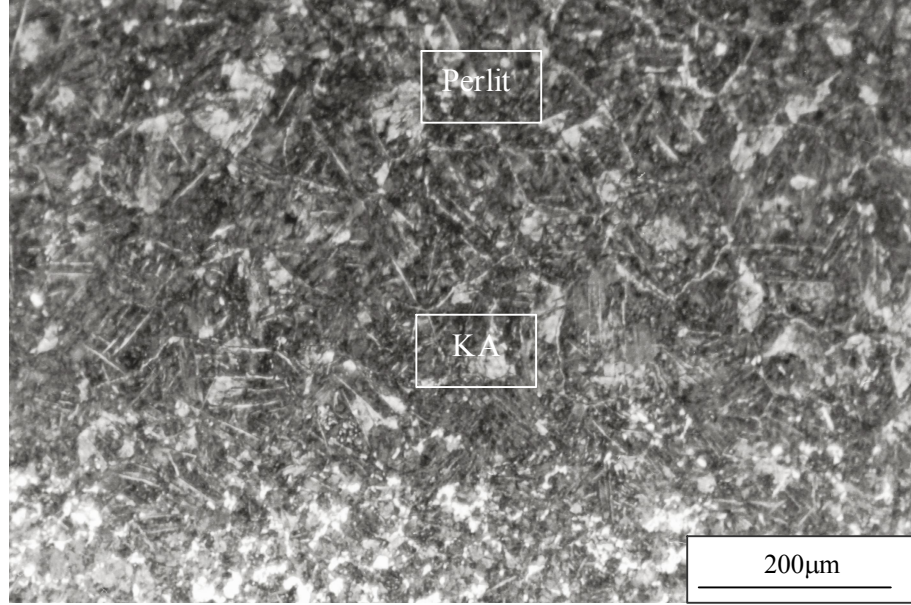
Şekil 5.56. Numune 8'in yüksek alaşımlı bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



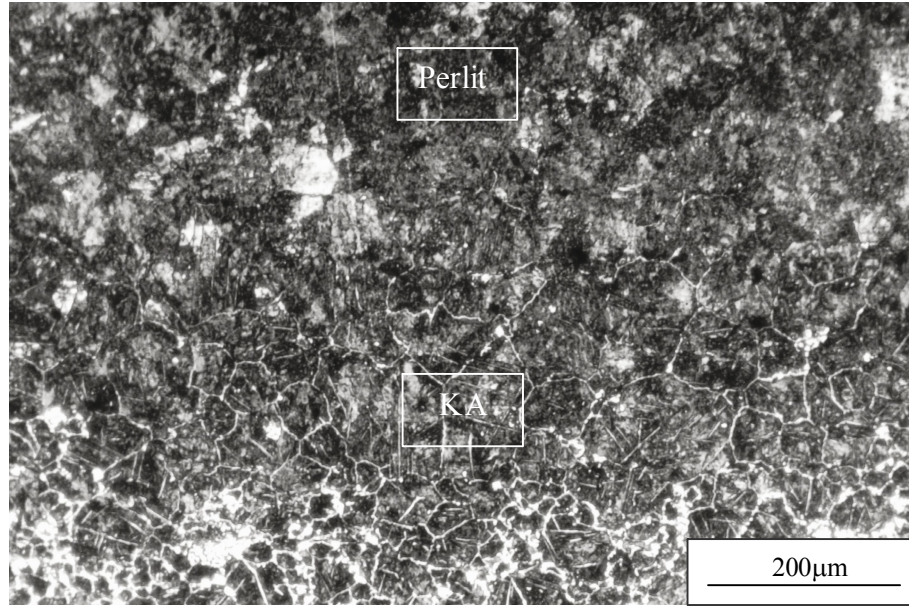
Şekil 5.57. Numune 8'in yüksek alaşımlı bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



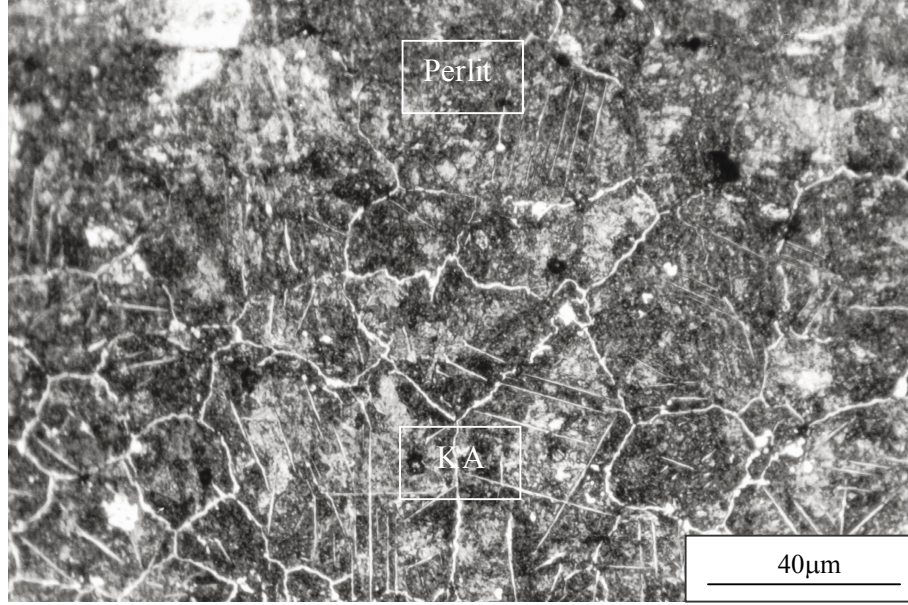
Şekil 5.58. Numune 8'in yüksek alaşımlı bölgesinden alınan SEM fotoğrafı



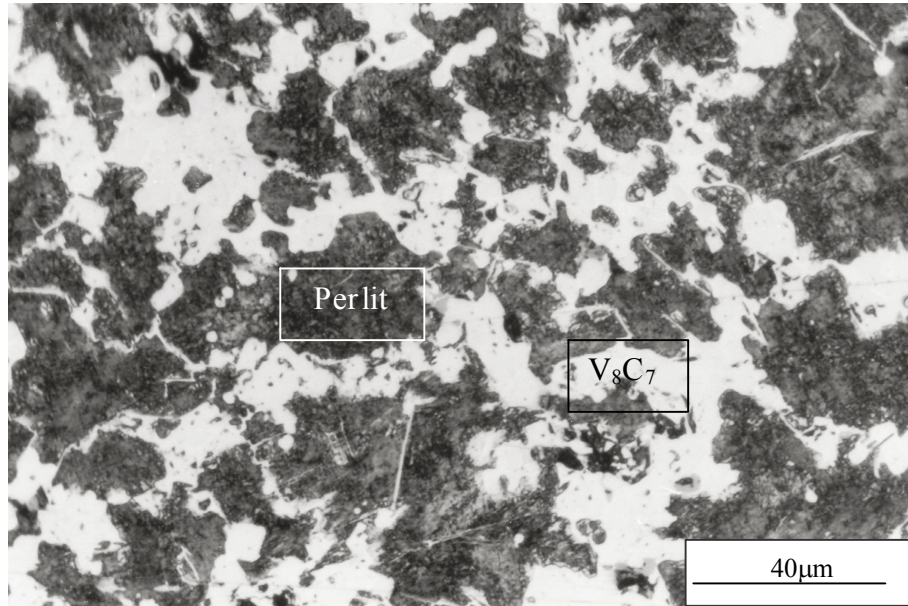
Şekil 5.59. Numune 8'in kısmen alaşımlandırılmış (KA) +geçiş (perlitik) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



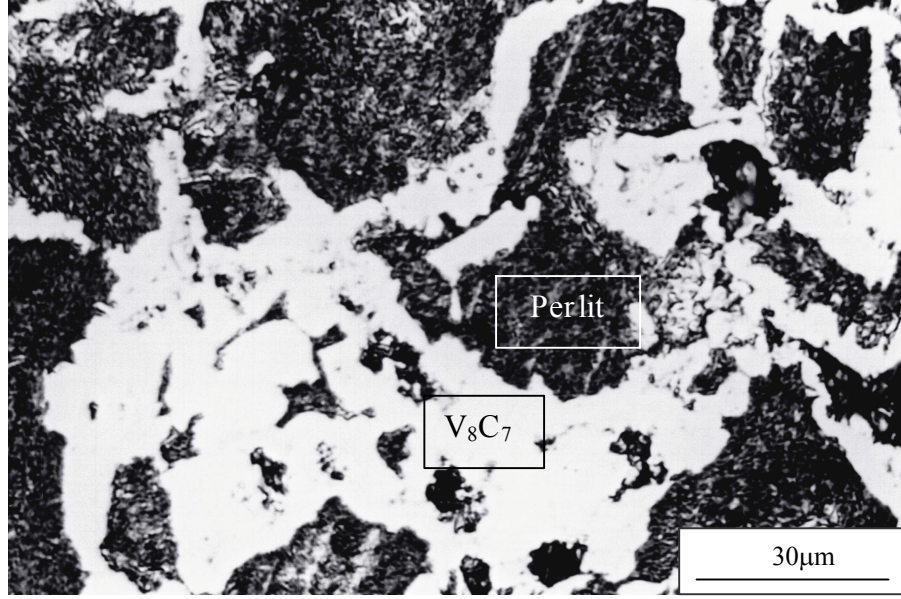
Şekil 5.60. Numune 8'in kısmen alaşımlandırılmış (KA) + geçiş (perlitik) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



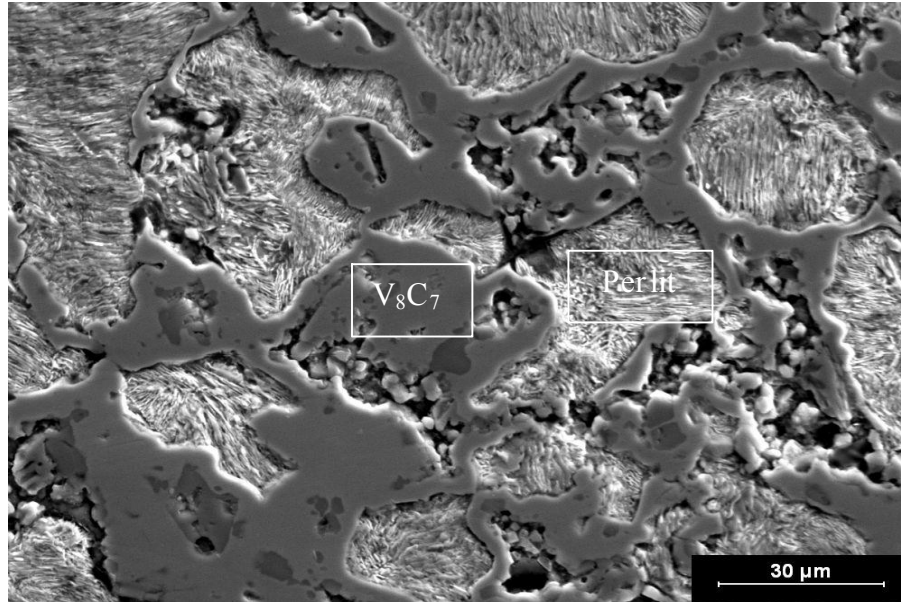
Şekil 5.61.Numune 8'in kısmen alaşımlandırılmış (KA)+geçiş (perlitik) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



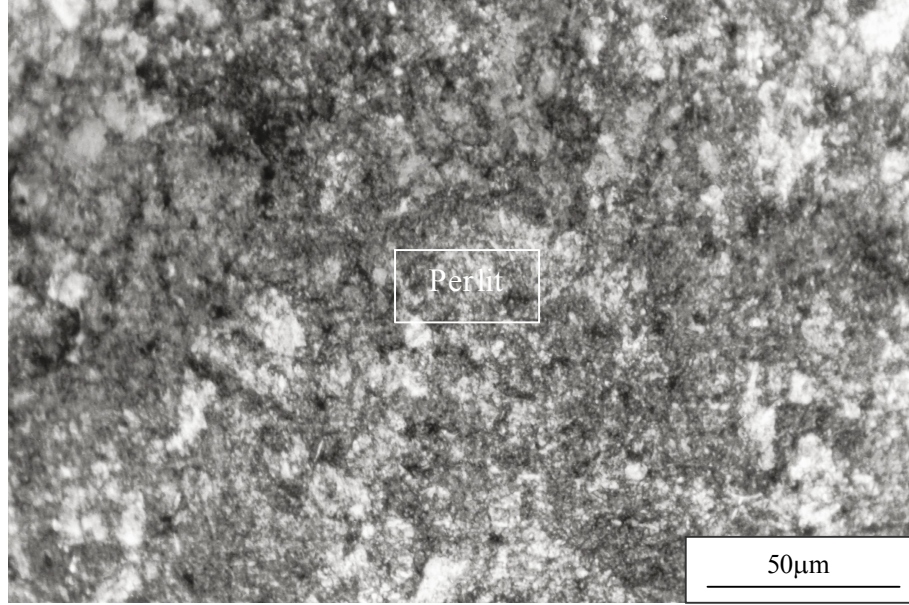
Şekil 5.62.Numune 9'un yüksek alaşımlı bölgesinden alınan optik mikroskop fotoğrafı



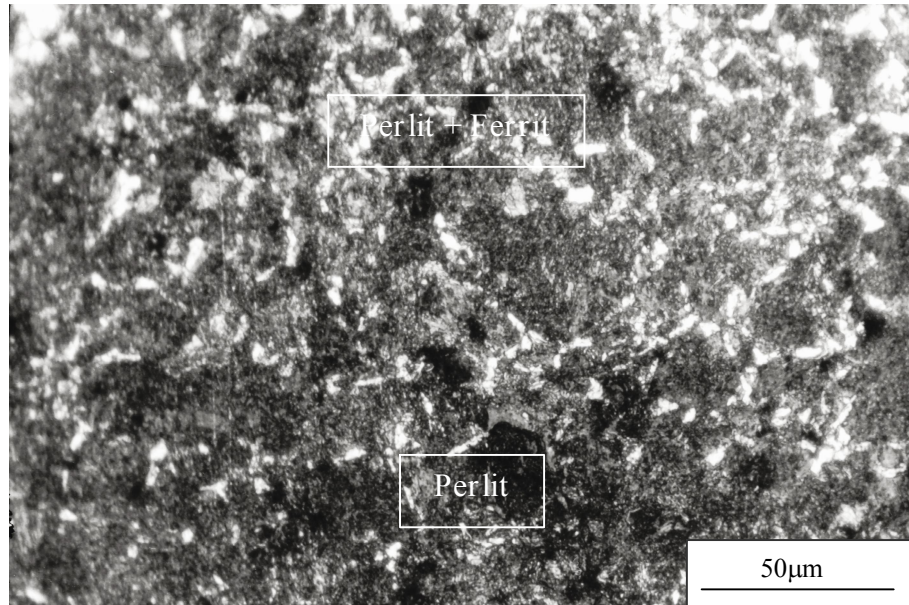
Şekil 5.63. Numune 9'un yüksek alaşımlı bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



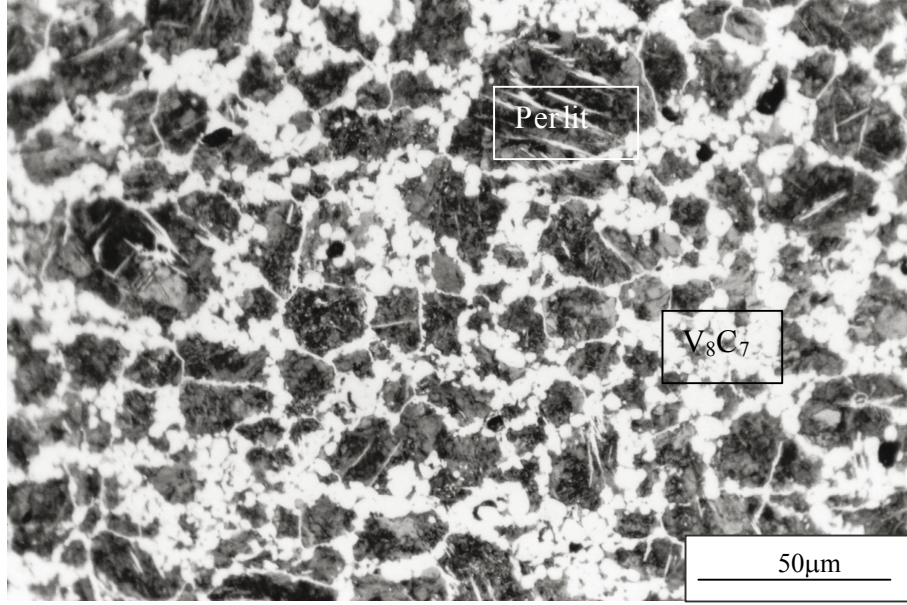
Şekil 5.64. Numune 9'un yüksek alaşımlı bölgesinden alınan SEM fotoğrafı



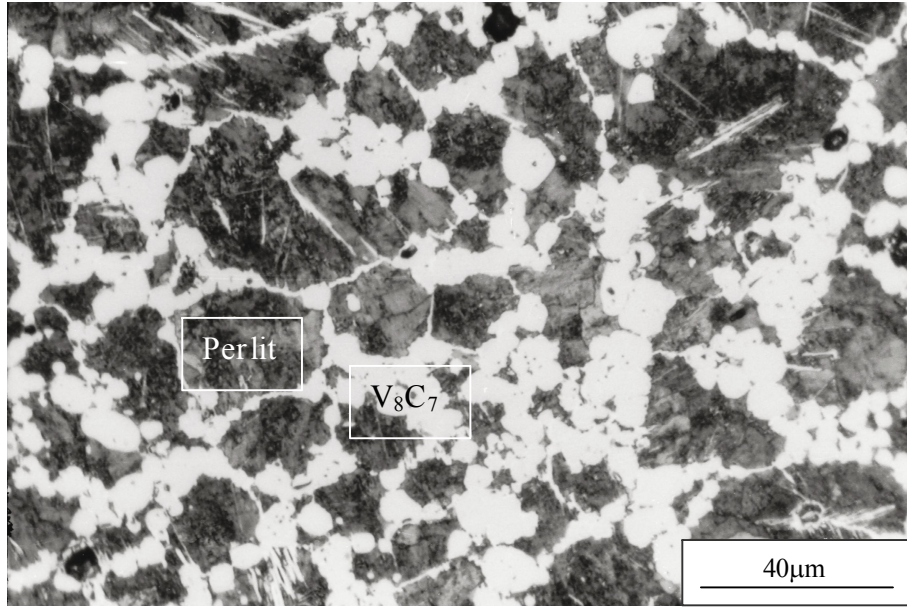
Şekil 5.65.Numune 9'un geçiş (perlitik) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



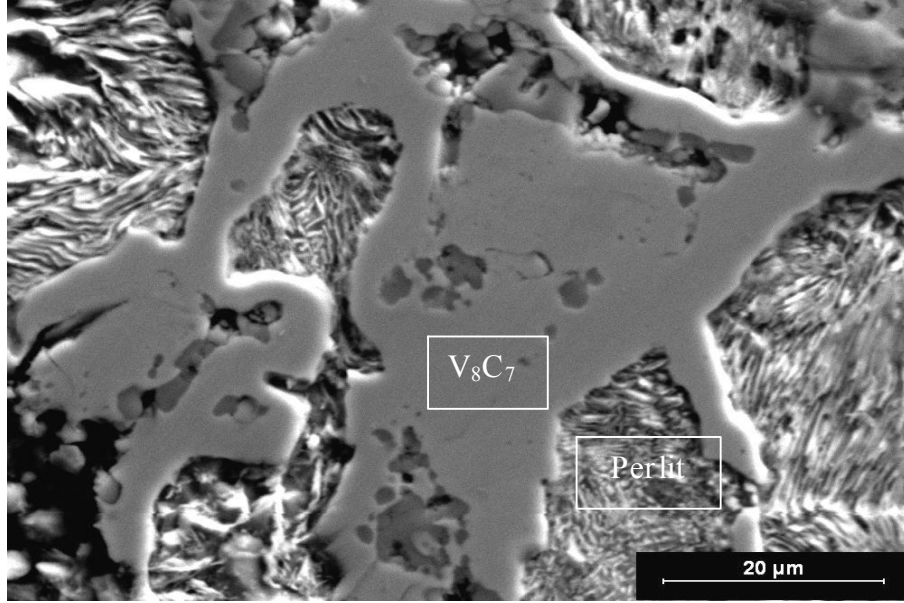
Şekil 5.66.Numune 9'un geçiş (perlit)+(perlit+ferrit) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



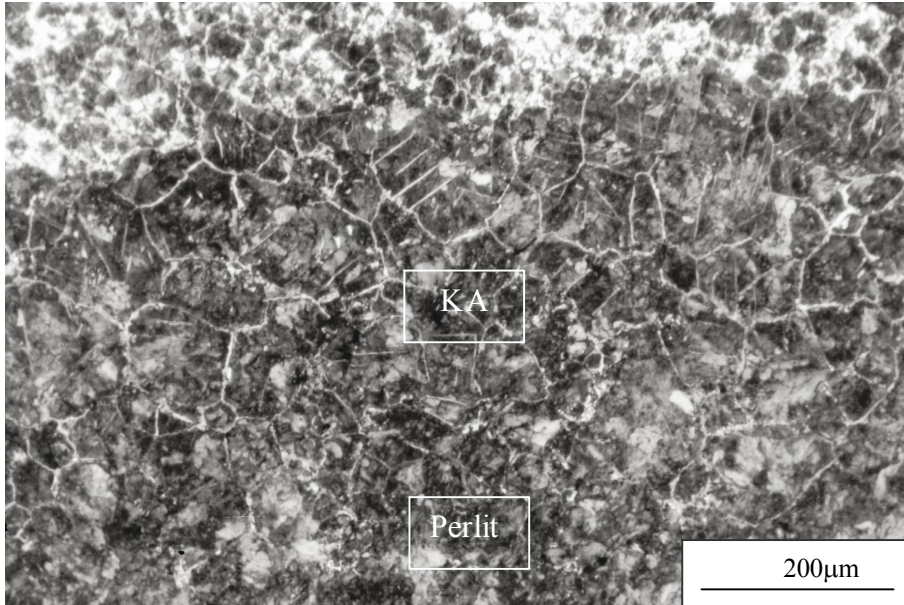
Şekil 5.67. Numune 10'un yüksek alaşımlı bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



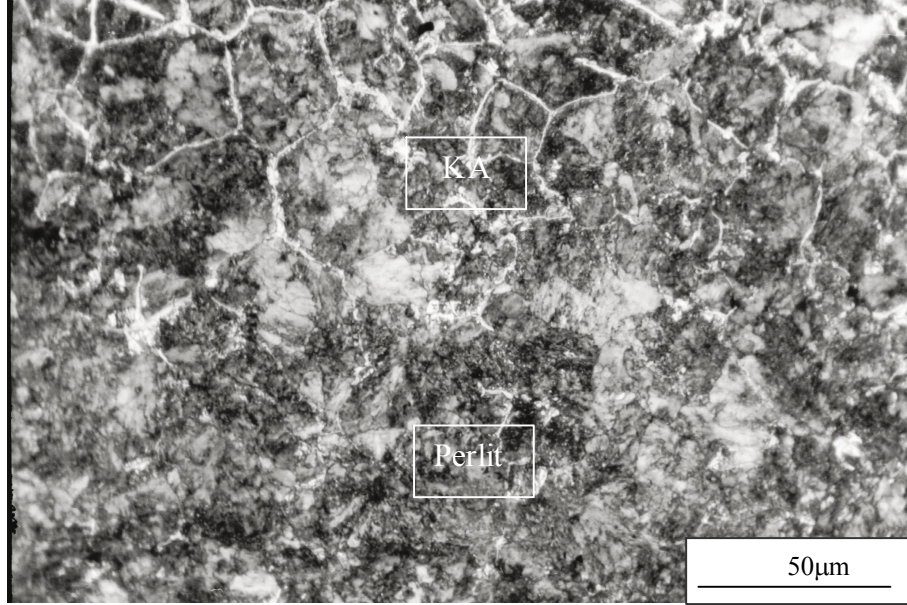
Şekil 5.68. Numune 10'un yüksek alaşımlı bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



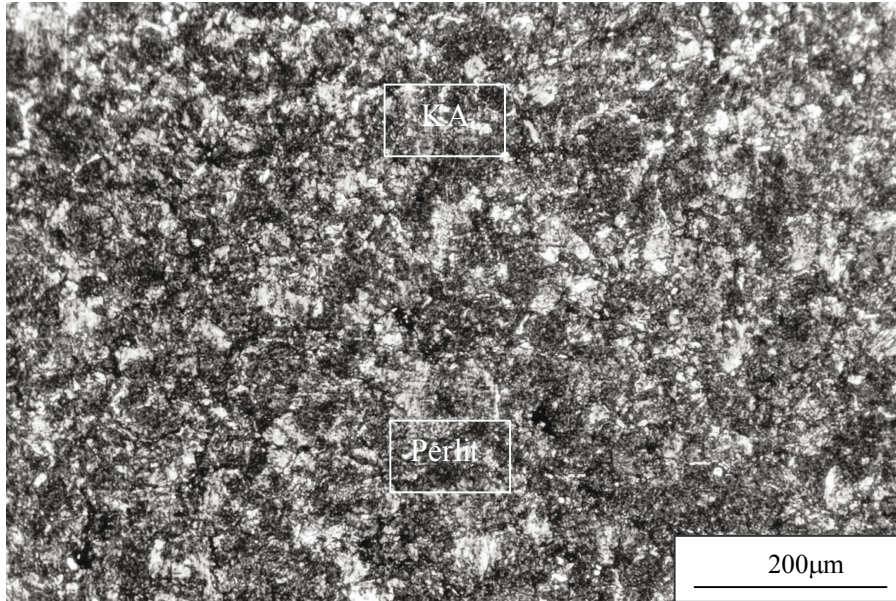
Şekil 5.69. Numune 10'un yüksek alaşımlı bölgesinden alınan SEM fotoğrafı



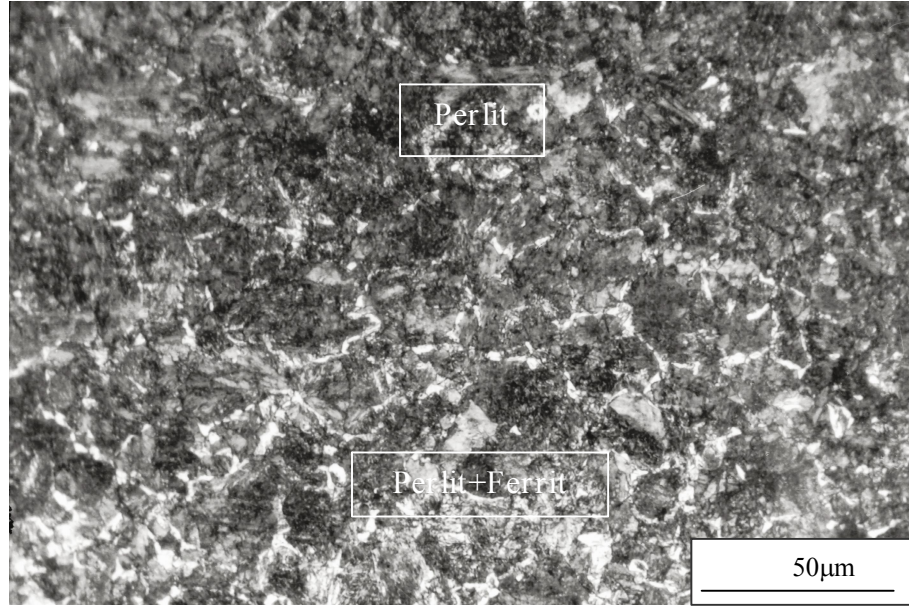
Şekil 5.70. Numune 10'un kısmen alaşımlandırılmış(KA) +geçiş (perlitik) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



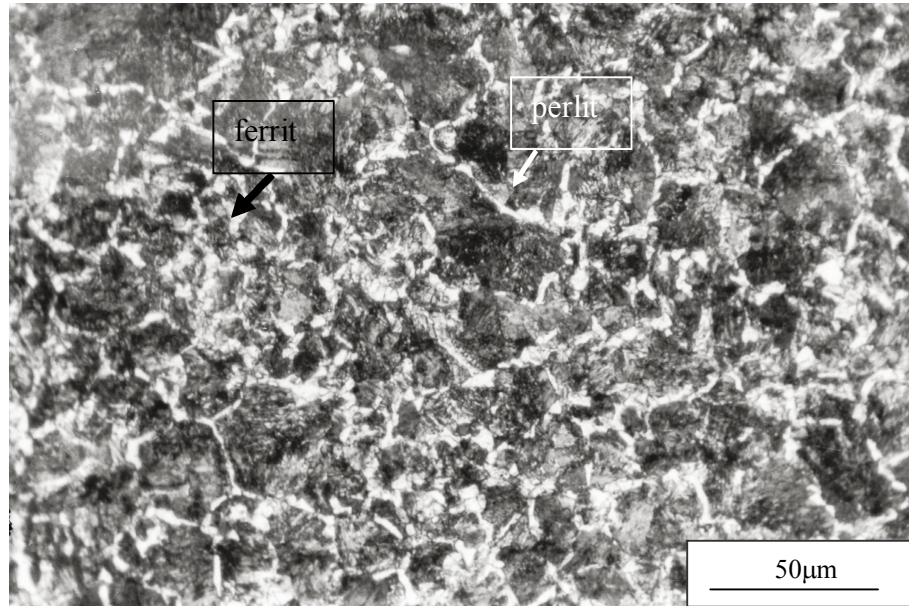
Şekil 5.71.Numune 10'un kısmen alaşımlandırılmış (KA) + geçiş (perlitik) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



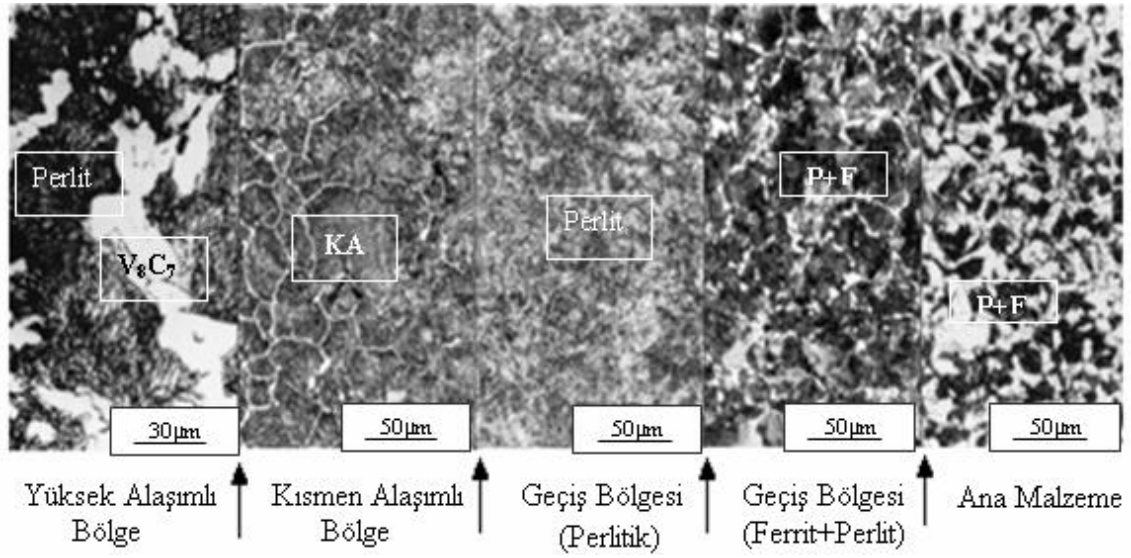
Şekil 5.72.Numune 10'un kısmen alaşımlandırılmış (KA) + geçiş (perlitik) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



Şekil 5.73.Numune 10'un geçiş (perlite)+(perlite+ferrit) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



Şekil 5.74.Numune 10'un geçiş (perlite+ferrit) bölgesini gösteren optik mikroskop fotoğrafı



Şekil 5.75. Numune 6'nın yüksek alaşımlı bölgesinden ana malzemeye kadar kesiti boyunca mikro yapısının değişimini gösteren optik mikroskop fotoğrafları

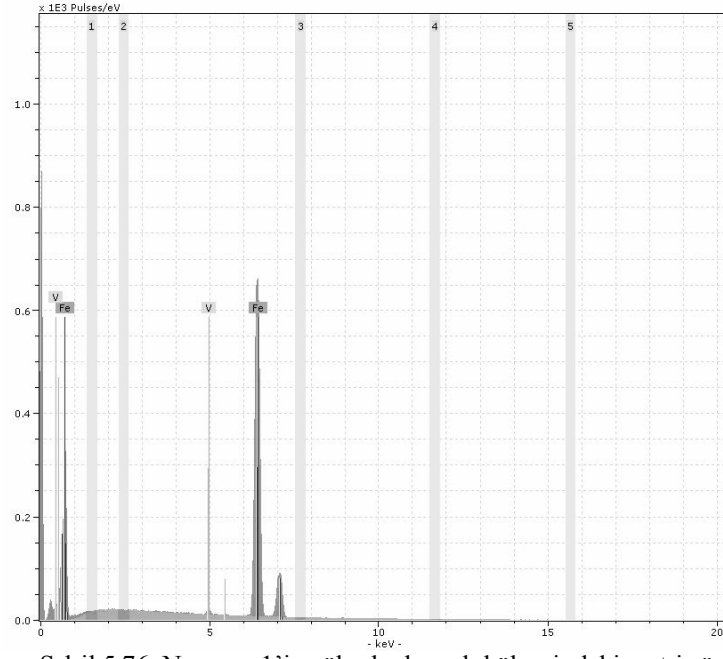
Numunelerin sinterleme sonrası kesitleri boyunca incelenmesi neticesinde oluşan farklı bölgeler Şekil.5.75'de bir bütün olarak gösterilmiştir. Buna göre alaşımlanan üst tabaka ve %0.2 grafit içeren alt tabaka arasında sinterleme sonucunda difüzyon mekanizmasının etkisiyle ara tabakalar elde edilmiştir. Bu tabakalar Bölüm.5.1de isimlendirildiği gibidir. Şekilden görüldüğü gibi numunede kademeli bir değişim mevcuttur.

5.2 EDX ve X-Ray Analiz Sonuçları

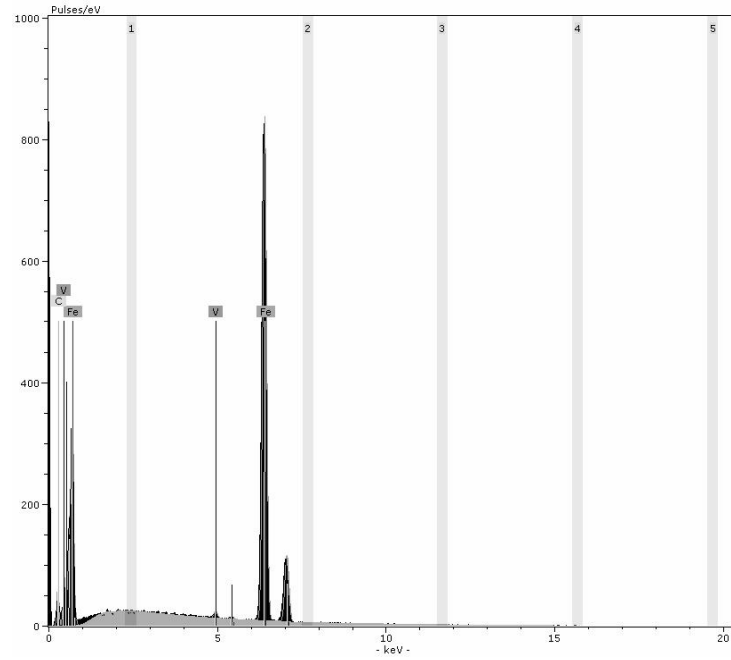
Yapılan EDX analizleri sonucunda bütün numunelerde yüksek alaşımlı ve kısmen alaşımlandırılmış bölgelerde VC'nin bulunduğu ve X-Ray sonucunda da görüleceği gibi bu karbürlerin V_8C_7 olduğu tespit edilmiştir. Bu durum Tablo 5.2 ve Şekil 5.76-5.83'de gösterilmiştir. Matris üzerinde alınan EDX sonuçlarında ise oldukça düşük V miktarına rastlanmıştır (Tablo 5.2). Bu durum Şekil 5.84 ve 85'da verilen element haritasıyla desteklenmektedir. Matriste vanadyum miktarının düşük çıkması 1200°C 'de östenit matrisinde vanadyumun difüzyon hızının yavaş olması ile de izah edilir [36]. Bu bölümde X-Ray sonuçlarının oldukça benzerlik göstermesi nedeniyle yalnızca Numune 10'un analizi verilmiştir. X-Ray sonuçlarındanda görüleceği gibi mikroyapıda FeV bileşiğinde tespit edilmiştir.

Tablo 5.2. Numunelerin yüksek alaşımlı ve kısmen alaşımlı bölgelerinden alınan EDX analiz sonuçları (% ağırlık)

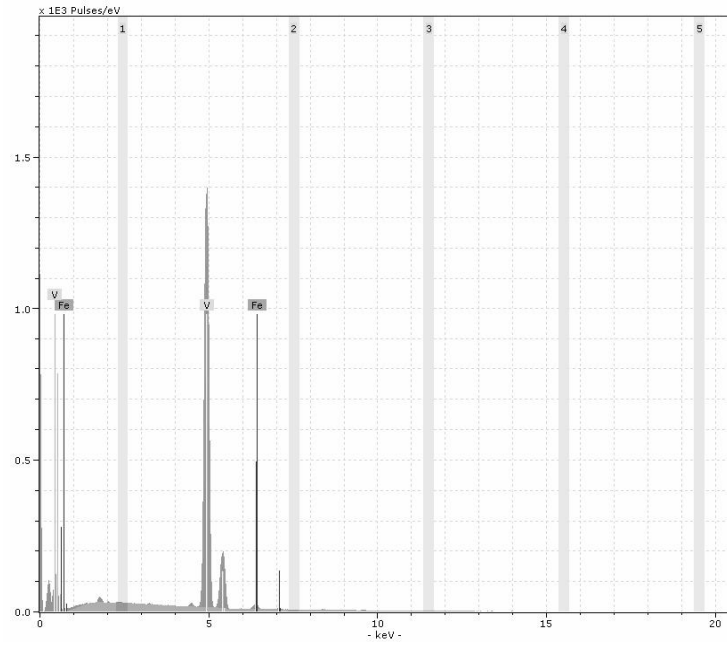
Numune	Yüksek Alaşımlı Bölge		Kısmen Alaşımlı Bölge	
	VC	Matris (Perlit Tanesi) Merkezi	VC	Matris (Perlit Tanesi) Merkezi
Numune 1	80.6	0.65	79.5	0.23
Numune 2	80.5	0.80	79	0.31
Numune 3	80.3	0.88	78.6	0.37
Numune 4	80	0.91	80.1	0.45
Numune 5	81.8	1.31	77.8	0.60
Numune 6	80.2	0.63	80.2	0.21
Numune 7	79.5	0.75	80	0.29
Numune 8	79.8	0.85	80.3	0.35
Numune 9	80.3	0.96	81.2	0.41
Numune 10	81.1	1.25	80	0.55



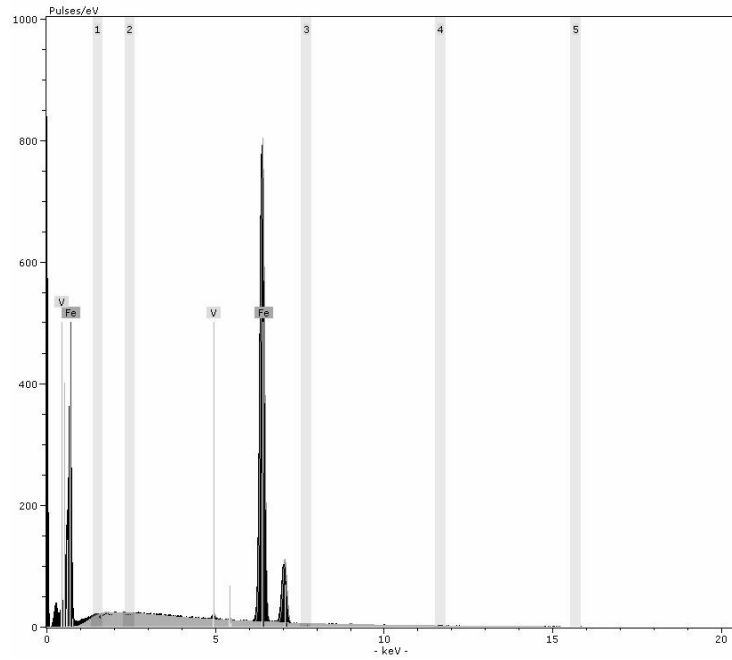
Şekil 5.76. Numune 1'in yüksek alaşımlı bölgesindeki matris üzerinden alınan EDX analizi



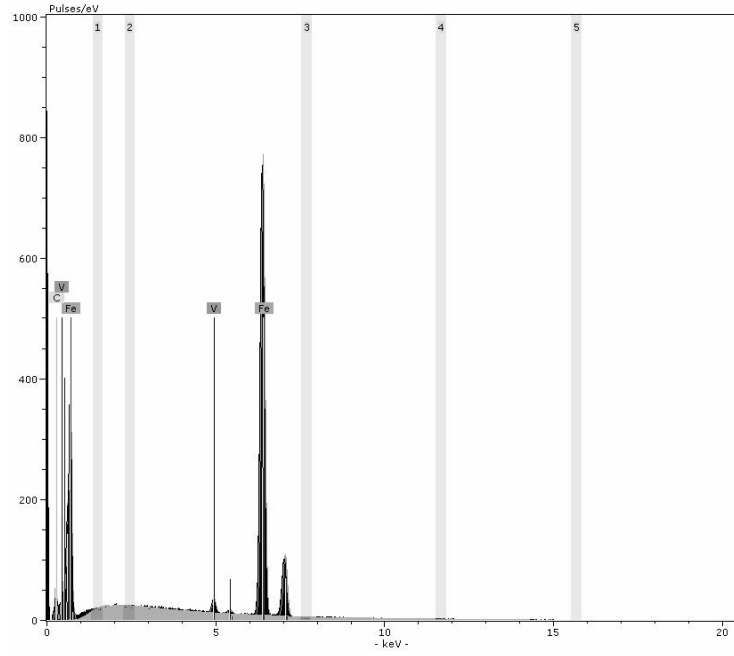
Şekil 5.77. Numune 3'ün yüksek alaşımlı bölgesindeki matris üzerinden alınan EDX analizi



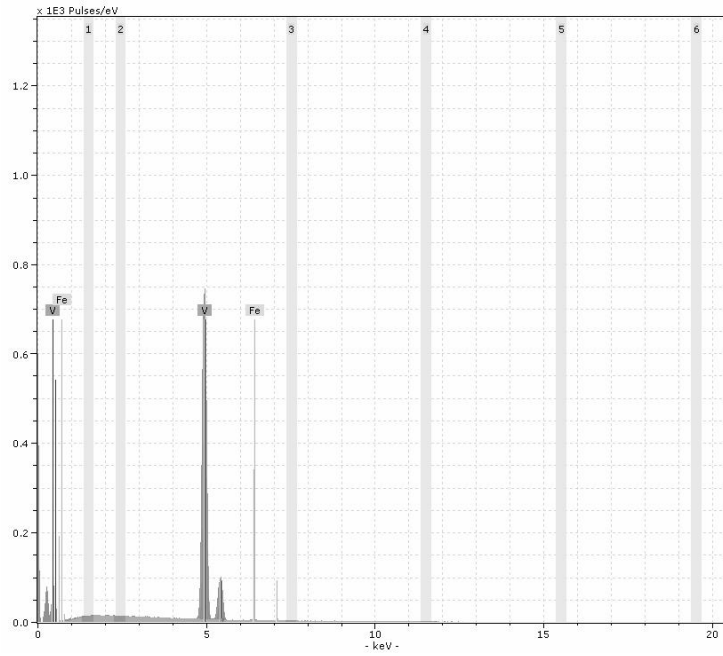
Şekil 5.78. Numune 5'in yüksek alaşımlı bölgesindeki VC üzerinden alınan EDX analizi



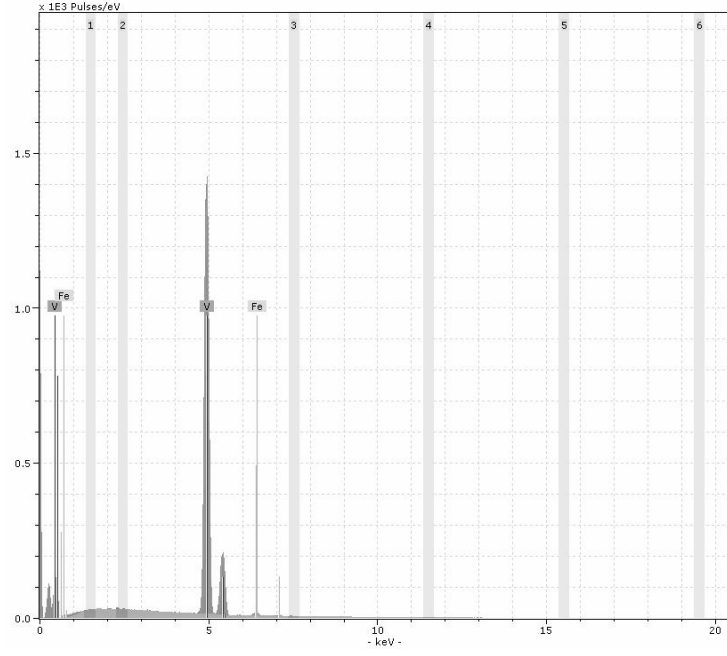
Şekil 5.79. Numune 7'nin yüksek alaşımlı bölgesindeki matris üzerinden alınan EDX analizi



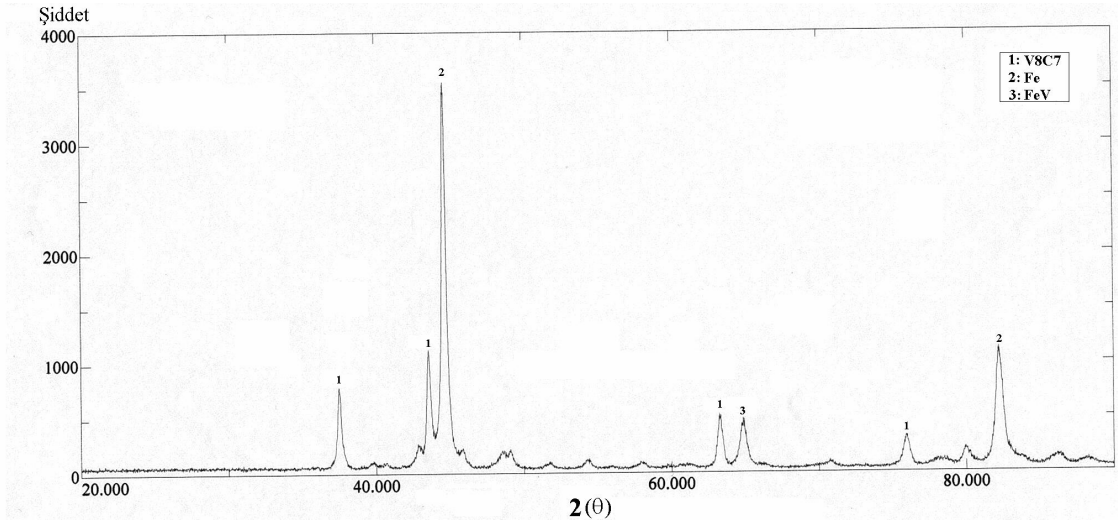
Şekil 5.80.Numune 8'in yüksek alaşımlı bölgesindeki matris üzerinden alınan EDX analizi



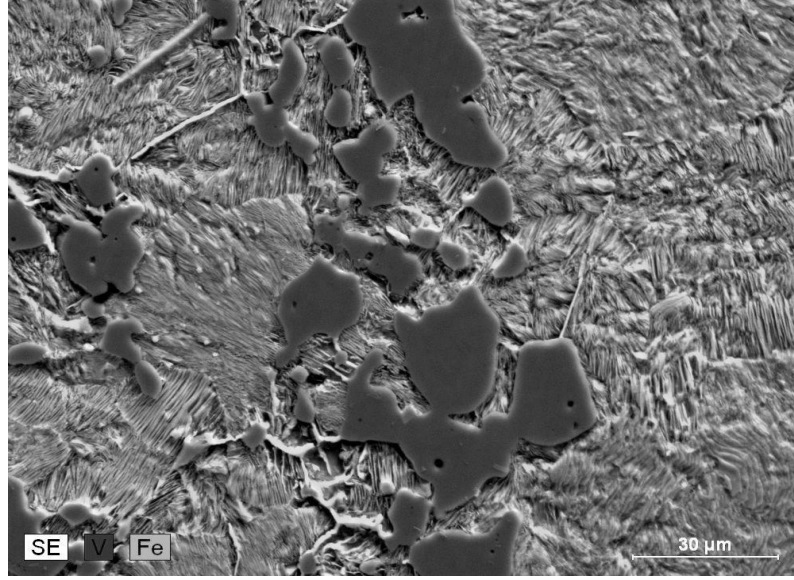
Şekil 5.81.Numune 10'un kısmen alaşımlı bölgesindeki VC üzerinden alınan EDX analizi



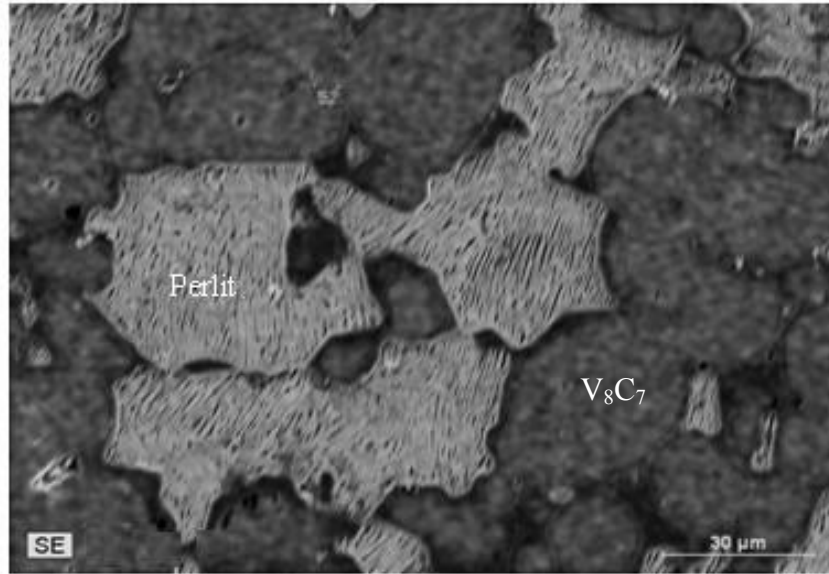
Şekil 5.82. Numune 10'un yüksek alaşımlı bölgesindeki VC üzerinden alınan EDX analizi



Şekil 5.83. Numune 10'un yüksek alaşımlı bölgesinin X-ışını analizi



Şekil 5.84. Numune 1'in yüksek alaşımlı bölgesi için element dağılım haritası



Şekil 5.85. Numune 10'u yüksek alaşımlı bölgesi için element dağılım haritası

5.3.Mikrosertlik Sonuçları

Alaşımli bölgede matris ve karbürler üzerinden alınan sertlikler Tablo 5.3, kısmen alaşımlanmış bölgeden başlayarak düşük karbonlu ana malzemeye doğru alınan sertlikler ise Tablo 5.4’de verilmiştir. Bu tablolardan da görüleceği gibi en yüksek sertlik V_8C_7 üzerinde alınmıştır. Tablo.5.4’de görüleceği gibi kısmen alaşımlı bölgeden ana malzemeye doğru sertlik değerlerinin düştüğü görülmektedir. Sertliklerdeki bu düşüşün nedeni alaşımlı bölgeden uzaklaştıkça karbon difüzyonundaki azalma nedeniyle oluşan perlit miktarındaki azalmaya bağlanmaktadır. Bu durum literatür ile de uyumludur [17,36-37]. Tablo.5.3’de görüleceği gibi %1.2 grafitli numunelerde matris bir miktar sert çıkmıştır. Karbon miktarındaki artışla beraber perlit lamelleri arasındaki mesafenin azalmasıyla bu durum ifade edilir [17,36-37]. Ayrıca Tablo 5.4’de verilen ana malzemenin sertlik değerleri A.Salak, K. Vasilka, M. Selecka ‘nın yapmış olduğu çalışmalarda değerlerle uyumludur [39].

Tablo 5.3. Numunelerin alaşımlı bölgesinin mikrosertlik değerleri

NumuneNo	Matris Sertliği (HV)	Karbür Sertliği (HV)
Numune 1	435	1635
Numune 2	480	1642
Numune 3	487	1651
Numune 4	490	1678
Numune 5	495	1684
Numune 6	503	1687
Numune 7	515	1692
Numune 8	520	1705
Numune 9	530	1728
Numune 10	550	1742

Tablo 5.4. Numunelerin ara bölgelerinin mikrosertlik değerleri

Numune No	Alaşımlı bölge sonu ana malzeme arası mesafe (mm)	Geçiş bölgesi Sertlik (HV)			Ana malzeme sertlik (HV)
Numune 1	1.11	471	450	360	320
Numune 2	1.17	478	454	362	315
Numune 3	1.23	481	461	365	310
Numune 4	1.35	485	465	371	308
Numune 5	1.41	491	472	376	320
Numune 6	1.50	495	478	380	315
Numune 7	1.60	501	481	383	309
Numune 8	1.64	510	492	389	317
Numune 9	1.75	515	494	395	320
Numune 10	1.92	540	501	401	325

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada %0.6, %1.2 grafit ve %5-25 arasında vanadyum karbür içeren tozlarla takviye edilmiş numuneler toz metalurjisi yöntemi ile üretilmiştir. Gerekli numune üretiminden sonra mikro yapı incelemeleri ve sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Buna göre bulunan sonuçlardan aşağıdaki genel sonuçlar çıkarılabilir.

Mikroyapı incelemeleri sonucunda bütün numunelerde görülen mikro yapı dört kısımda toplanmıştır. Bunlar yüksek alaşımlı bölge, kısmen alaşımlanmış bölge, geçiş bölgesi ve düşük karbonlu ana malzemedir.

Yüksek alaşımlı bölgede mikroyapı perlit+ V_8C_7 , kısmen alaşımlı bölgede daha düşük miktarda V_8C_7 +perlit, geçiş bölgesinde perlit+(perlit+ferrit) ve ana malzemedede ferrit+perlit yapıları tespit edilmiştir.

Adı geçen bölgelerin uzunlukları grafit ve vanadyum karbür miktarına bağlı olarak değişim göstermiştir. Alaşımlı bölgeye ilave edilen grafit ve vanadyum karbür miktarının artışı ile beraber bölgenin uzunluklarında artış göstermiştir.

Alaşımlı bölgeden düşük karbonlu ana malzemeye doğru gerçekleşen karbon difüzyonundaki değişim fonksiyonel olarak değişen malzeme oluşumuna neden olmuştur.

Bulunan sonuçlarla hareketle yüzey alaşımlanmış düşük karbonlu çeliklerin üretilbileceği gösterilmiştir.

Bu tür malzemeler için ileri bir araştırma çalışması olarak aşınma testi ve kayma testi deneylerinin yapılması tavsiye edilmektedir.

KAYNAKLAR

1. German, R.M.,1998,Powder Metallurgy of Iron and Steel, Joyn Wiley & Sons. Inc., USA.
- 2.Kieback B., Neubrand A.,Riedel H.,2003, Procesing Tecniques for Functionally Graded Materials, Mater. Sci. Eng. A., 362, 81-105p.
- 3.Neubrand A., Rödel J.,1997, Functionally Graded Materials by Electrochemical Prosessing and Infiltration, Z. Metallkd. 88,358-371p.
- 4.Mortensen A., Suresh S., 1995,Cylindirical Al_2O_3 /TZP Functionally Graded Materials, Int Mater. Rev. 40, 239-265p.
5. Lengever W.,Dreyer K.,2002,Functionally Graded Hardmetals,Journal of Alloys Compounds,Switzarland
6. Jin G., Takeuchi M.,Honda S., Nishikawa T., Awaji H.,2005,Properties of Multilayered Mullite/Mo Functionally Graded Materials Fabricated by Powder Metallurgy Processing Mater. Chem. Phys., 89 238-243.
- 7.Zhu J., Lai Z., Yin Z., Jeon J. and Lee S., 2001, Fabrication of ZrO_2 -NiCr Functionally Graded Materials by Powder Metallurgy, Mater. Chem. Phys., 68,130-135p.
8. Liu W., DuPont J. N., 2003,Fabrication of Functionally Graded TiC/Ti composites by Laser Engineered Net Shaping,Scripta Materialia, 48,1337-1342p.
- 9.Fishman M. R.,Rabkin E.,Levin P.,Frage N.,Dariel M.P.,Weisheit A.,Galun R., Mordike B.L., 2001, Laser Surface Alloying of Medium Carbon Steel with SiC(P),Mater. Sci. Eng. A., 302 ,106-114p.
10. Pei Y.T,De Hosson J.,2000,Functionally Graded Materials Produced by Laser Cladding, Acta Mater.
- 11.Abdul H.J., West D.R.F, Rawlings R.D., 1994,J. Mater. Sci., 29, 3393-3398p.
12. Widjaja S.,Limarga A. M., Yip T.H., 2003, Modeling of Residual Streses in a Plasma Sprayed Zirconia/Alumina Functuonally Graded Thermal Barrier Coating,Thin Solid Films, 23,216-227p.
- 13.Khor K.A.,Dong Z. L.,Gu Y. W.,1999,Plasma Sprayed Functuonally Graded Termal Barrier Coating,Materials Letters, 38 ,437-444p.

14. Cetinel H., Uyulgan B., Tekmen C., Ozdemir I., Çelik E., 2003, Oxidation Behaviour of Functionally Graded Coating Including Different Composition of Cermets, *Surf. Coat. Technol.*, 174-175, 1089-1094p.
15. Eck R., Eiter J. and Glatzle M., 1987, Powder Metallurgy Chromium, *Metal Powder Report*, July/August, pp. 536-537
16. Thümmel F. and Oberacker, R., 1993, Introduction to Powder Metallurgy, The Institute of Materials, London
17. Onaran K., 1993, Malzeme Bilimi, 4. Baskı, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul
18. Lenel F.V., 1980, Powder Metallurgy Principles And Application, MPIF, Princeton, New Jersey
19. Hirschhorn J.S., 1969. Introduction to Powder Metallurgy, American Powder Metallurgy Institute
20. German R.M., 1984, Particle Packing Characteristics, MPIF, Princeton, New Jersey
21. German R.M., 1986. Particle Packing Characteristics, MPIF, Princeton, New Jersey
22. German R.M., 1994. Particle Packing Characteristics, MPIF, Princeton, New Jersey
23. Kingery W.D., 1992, Sintering From Prehistoric Times to The Present, Sintering '91 Chaklade, A.C.D and J.A. Lund, Trans Tech, Brookfield, VT, pp. 69-108
24. Coble R.L., 1961 Sintering Crystalline Solids. 1. Intermediate and Final State Diffusion Models, *J Appl. Phys.*, vol. 32, pp. 787-792
25. Coble R.L., 1965, Intermediate Stage Sintering : Modification and Correction of Lattice Diffusion Model, *J Appl. Phys.*, vol 36, p. 2327.
26. Kingery W.D and Berg M., Study of Initial Stages of Sintering Solids by Viscous Flow, Evaporation-Condensation and Self Diffusion. *J Appl. Phys.*, 1955, vol 26, pp. 1205-1212
27. Aboav D.A and Langdon T.G., 1969, The Distribution of Grain Diameters Polycrystalline Magnesium Oxide, *Metallography*, vol 1, pp. 333-340
28. Exner H.E and Petzow G., 1975, Shrinkage and Rearrangement During Sintering of Glass Spheres, pp. 279-293
29. Bockstiegel G., 1956, On The Rate of Sintering, *trans. TMS-AIME*, vol. 206, pp. 580- 585

30. Heckel W.R, Lanam R.D and Tanzilli R.A., 1970, Techniques for Study of Homogenization in Compacts of Blended Powders, Advanced Experimental Techniques in powder Metallurgy, Hirschhorn J.S and Roll K.H, Plenum Press New York, pp.139-188
31. Exner H.E, 1980, Solid State Sintering: Critical Assessment of Theoretical Concepts and Experimental Methods, Powder Met., vol 23, pp.203-209
32. German R.M., 1996, Sintering Theory and Practice , Joyn Wiley & Sons. Inc., USA
33. Zavaliangos A., 2000, Lectures Notes, Drexel University, USA
34. ASM Handbook, 1978, 7.th Edition vol. Powder Metallurgy
35. Medraj, M., 2003, Lectures Notes, Concordia University, Canada
36. Savaşkan T., 2004, Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, Akademi Ltd. Şti. Yayınları, Trabzon, 210-218p .
37. Erdoğan M., 1998, Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri Cilt.2, Nobel Yayın Dağıtım Ltd.Şti, Ankara
38. Yılmaz O., 2004, Ders Notları, Fırat Üniversitesi, Elazığ
39. Salak. A, Vasilka K, Selecka M, Daminger H., 2006, New Short Time Face Turning Method For Testing the Machinability of PM Steel. Journal of Processing Technology

ÖZGEÇMİŞ

Araştırmacı 1981 yılında Çorum’da doğdu. 1998 yılında Mersin Hacı Sabancı Lisesinden mezun oldu. Yüksek öğrenimini Fırat Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliğinden 2003 yılında mezun olarak tamamladı. 2004 yılından beri F.Ü Metalurji ve Malzeme Mühendisliğinde Arş. Gör. olarak görev yapmaktadır.