

**A7075-T651 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ VE ST37 ÇELİK
MALZEMESİNİN SÜRTÜNMELİ DELME YÖNTEMİ
İLE DELİNMESİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ**

Zülküf DEMİR

**Doktora Tezi
Makine Eğitimi Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Cebeli ÖZEK**

EYLÜL-2012

**T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**A7075-T651 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ VE ST37 ÇELİK MALZEMESİNİN
SÜRTÜNMELİ DELME YÖNTEMİ İLE DELİNMESİNİN DENEYSEL
İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Zülküf DEMİR

(06219202)

Anabilim Dalı: Makine Eğitimi

Programı: Talaşlı Üretim

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Cebeli ÖZEK

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 12 Eylül 2012

EYLÜL-2012

**T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**A7075-T651 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ VE ST37 ÇELİK MALZEMESİNİN
SÜRTÜNMELİ DELME YÖNTEMİ İLE DELİNMESİNİN DENEYSEL
İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Zülküf DEMİR

(06219202)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 12Eylül 2012

Tezin Savunulduğu Tarih : 18Ekim 2012

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Cebeli Özek (F.Ü.)
Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Mustafa KURT (M.Ü.)
Prof. Dr. Niyazi ÖZDEMİR (F.Ü.)
Doç. Dr. Ahmet HASÇALIK (F.Ü.)
Doç. Dr. Ulaş ÇAYDAŞ (F.Ü.)

EYLÜL 2012

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın yürütülmesinde bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım danışmanım Yrd. Doç. Dr. Cebeli ÖZEK'e, çalışma boyunca maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Niyazi ÖZDEMİR, Doç. Dr. Orhan ÇAKIR, Doç. Dr. Mehmet KAPLAN, Yrd. Doç. Dr. Faruk KARACA, Yrd. Doç. Dr. Ali Kaya GÜR, Arş. Gör. Yakup SAY, Arş. Gör. Dr. Engin ÜNAL ve Otomotiv, Makine ve Metal Eğitimi Bölümlerinde çalışan teknisyenlere, mikro sertlik testlerinin ölçümünde desteklerini benden esirgemeyen Bartın Üniversitesi Metalürji Mühendisliği Öğretim üyesi Doç. Dr. Bülent KURT'a teşekkür ederim

Bu tez çalışmasını, 2016 numaralı proje kapsamında maddi olarak destekleyen F.Ü. Proje Destekleme Birimi, (FÜBAP), Diyarbakır TEMSAN Elektromekanik Sanayi Yönetimi ve çalışanlarına, deneylerin yapılmasında verdikleri desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Bu eğitim seviyesine kadar, bana verdikleri emeklerinin karşılığını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim değerli anne ve babama, çalışma süresince bana destek veren sevgili eşim Necibe DEMİR, değerli kızım Gülen ve oğlum Gürkan'a sonsuz şükranlarımı sunarım.

Zülküf DEMİR

ELAZIĞ – 2012

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ	VIII
TABLolar LİSTESİ	XV
SEMBOLLER VE KISALTMALAR LİSTESİ	XVI
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
3. GENEL BİLGİLER	8
3.1. Sürtünmeli Delme	8
3.2. SDY'nin Kullanıldığı Yerler	9
3.3. SDY'nin Avantajları	10
3.4. SDY'de Kullanılan Takımlar	11
3.5. Uzun Tip Sürtünmeli Delme Takımı	12
3.6. Kısa Tip Sürtünmeli Delme Takımı	13
3.7. Kesici Boyunlu Sürtünmeli Delme Takımları	13
3.8. Kesici Ağızlı Sürtünmeli Delme Takımları	14
3.9. Malzeme Kalınlığına Göre Sürtünmeli Delme Takımının Seçimi	14
3.10. SDY'nin Aşamaları	15
3.11. SDY'de Meydana Gelen İtme Kuvveti F (N)	17
3.12. SDY'de Gerekli Olan Güç P (kW)	19
3.13. SDY'de Meydana Gelen Dönme Momenti M (N.m)	20
3.14. SDY'de Takımın Yüzey Sıcaklığı ve Takım Aşınması	21
3.15. SDY'de İş Parçasının Sıcaklığı ve Kovan Biçimi	24
3.16. SDY'de Devir Sayısının Önemi	26
3.17. SDY'de İlerleme Hızının Önemi	27
3.18. Sürtünmeli Delme Takımının Koniklik Açısının (β) Önemi	28
3.19. SDY'de Isıl İşlem, Mikro Yapı ve Malzemenin Mikro Sertliği	28
4. MATERYAL ve METOT	31
4.1. Çalışmanın Amacı	31
4.2. Deneysel Çalışmalar	32
4.2.1. İş Parçalarının ve Takımların Kimyasal Bileşimleri ve Mekanik Özellikleri	32

4.2.2.	Deneysel Çalışmada Kullanılan SDY ve Matkap Uçları	35
4.2.3.	Deney Düzeneği ve Deneylerin Uygulama Sırası	37
4.2.4.	Yüzey Pürüzlülüğünü Ölçme Düzeneği	39
4.2.5.	Çekme Testi Düzeneği	40
4.2.6.	Mikro sertlik Ölçme Düzeneği	41
4.2.7.	Mikro Yapı Fotoğraflarını Çekme Düzeneği	43
5.	DENEY SONUÇLARI ve TARTIŞMA	44
5.1.	Yüzey Pürüzlülüğü (R_a) Ölçüm Sonuçları	44
5.1.1.	İlerleme Hızının Yüzey Pürüzlülüğüne (R_a) Etkisi	44
5.1.2.	Takım Koniklik Açısının Yüzey Pürüzlülüğüne (R_a) Etkisi	48
5.1.3.	Malzeme Kalınlığının Yüzey Pürüzlülüğüne (R_a) Etkisi	53
5.1.4.	Takım h_1 uzunluğunun Yüzey Pürüzlülüğüne (R_a) Etkisi	57
5.1.5.	Delik Çapının Yüzey Pürüzlülüğüne (R_a) Etkisi	60
5.1.6.	WC Takımda İlerleme Hızının Yüzey Pürüzlülüğüne (R_a) Etkisi	63
5.1.7.	WC Takımda Koniklik Açısının Yüzey Pürüzlülüğüne (R_a) Etkisi	63
5.1.8.	WC Takımda Malzeme Kalınlığının Yüzey Pürüzlülüğüne (R_a) Etkisi	67
5.1.9.	WC Takımda Malzeme Cinsinin Yüzey Pürüzlülüğüne (R_a) Etkisi	68
5.1.10.	Takım Cinsinin Yüzey Pürüzlülüğüne (R_a) Etkisi	73
5.1.11.	St37 ve WC'de İlerleme Hızının Yüzey Pürüzlülüğüne (R_a) Etkisi	76
5.1.12.	SDY ve GDY'nin Yüzey Pürüzlülüğüne (R_a) Etkisi	77
5.2.	Kovan Yüksekliği (h_a), Kovan Dış Çapı (d), Kovan ve Pul Biçimleri.....	79
5.2.1.	İlerleme Hızının Kovan Yüksekliğine (h_a), Kovan Dış Çapına (d), Kovan ve Pul Biçimine Etkisi	79
5.2.2.	Takım Koniklik Açısının Kovan Yüksekliğine (h_a), Kovan Dış Çapına (d), Kovan ve Pul Biçimine Etkisi.....	86
5.2.3.	Takım h_1 Uzunluğunun Kovan Yüksekliğine (h_a), Kovan Dış Çapına (d), Kovan ve Pul Biçimine Etkisi.....	93
5.2.4.	WC Takımda İlerleme Hızının Hızının Kovan Yüksekliğine (h_a), Kovan Dış Çapına (d), Kovan ve Pul Biçimine Etkisi.....	100
5.2.5.	WC Takımda Takım Koniklik Açısının Kovan Yüksekliğine (h_a), Kovan Dış Çapına (d), Kovan ve Pul Biçimine Etkisi	105
5.2.6.	WC Takımda Malzeme Cinsinin Kovan Yüksekliğine (h_a), Kovan Dış Çapına (d), Kovan ve Pul Biçimine Etkisi	111
5.3.	SDY'de Vida Dişlerinin Sıyrma Kuvveti.....	115
5.3.1.	İlerleme Hızının Sıyrma Kuvvetine Etkisi	116

	<u>Sayfa No</u>
5.3.2. Malzeme Cinsinin Sıyırma Kuvvetine Etkisi	121
5.3.3. Takım Cinsinin Sıyırma Kuvvetine Etkisi	124
5.3.4. Delme Yönteminin Sıyırma Kuvvetine Etkisi.....	128
5.4. SDY'nin Mikro Sertliğe Etkisi	132
5.4.1. Devir Sayısının Mikro Sertliğe Etkisi	133
5.4.2. Takım Koniklik Açısının Mikro Sertliğe Etkisi	139
5.4.3. Takım Malzemesinin Mikro Sertliğe Etkisi	143
6. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER	147
6.1. Genel Sonuçlar	147
6.2. Öneriler.....	152
KAYNAKLAR.....	153
ÖZGEÇMİŞ.....	155

ÖZET

Sürtünmeli delme, dönen bir takım ile iş parçası-takım ara yüzeyinde sürtünme sonucu oluşan ısının etkisiyle delikler işleme yöntemidir. Sürtünmeli delme işleminin amacı, ince cidarlı malzemelerde, deliğin alt kısmında meydana gelen kovan aracılığıyla bağlantı uzunluğunun artırılmasıdır. Bu çalışmada, 2mm, 4mm ve 6mm kalınlıklarında, havacılık ve otomotiv endüstrisinde yoğun olarak kullanılan çökeltme sertleşmesi işlemine tabi tutulmuş A7075-T651 alüminyum alaşımına ve St37 çelik malzemeye sürtünmeli delme yöntemiyle 8mm, 10mm ve 12mm çaplarında delikler açılmıştır. Deneysel çalışmalar, 2400d/d, 3600d/d ve 4800d/d devir sayılarında, 50mm/dak, 75mm/dak ve 100mm/dak ilerleme hızları, 24^0 , 36^0 ve 48^0 takım koniklik açıları, takım silindirik bölge yüksekliği 8mm, 16mm ve 24mm olan yüksek hız çeliği (HSS) ve tungsten karbür (WC) takımlar kullanılarak yapılmıştır. Deney parametrelerinin, yüzey pürüzlülüğü, kovan yüksekliği, kovan dış çapı, sürtünmeli delme yönteminin sağladığı bağlantı uzunluğu, kovan ve pul biçimleri, mikro sertlik ve mikro yapı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Sürtünmeli delme işleminin mikro yapıda meydana getirdiği değişiklikler incelenmiştir. Yapılan çalışmada, 2mm kalınlık için çapı 8mm'den küçük deliklerin delinmesi gerektiği ve 36^0 koniklik açısının en uygun açı olduğu, 2mm ve 4mm kalınlıklarda $h_1=8\text{mm}$ ve 6mm kalınlık için ise $h_1=16\text{mm}$ boyutunun uygun olduğu, artan malzeme kalınlığı ile kovan biçimi silindirik biçimde elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü kriterine göre A7075-T651 alaşımında en uygun ilerleme hızı 50mm/min, devir sayısı 4800d/min, takım koniklik açısı ise 36^0 , kovan biçimi kriterine göre ise 100mm/min, 2400d/min ve 36^0 takım koniklik açısının uygun olduğu, St37'de 2400d/min için 50/min, 3600d/min için 75mm/min ve 4800d/min için ise 100mm/min parametrelerinin tüm kriterler için uygun olduğu tespit edilmiştir. A7075-T651 alüminyum alaşımında maksimum mikro sertlik değerinin delik yüzeyinden itibaren 70µm uzaklıkta, St37 çelik malzemedede ise mikro sertlik değerinin fazla değişmediği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sürtünmeli Delme, Yüzey Pürüzlülüğü, Mikro Sertlik, Kovan Yüksekliği

SUMMARY

Investigation the Friction Drilling of A7075-T651 Aluminium Alloy and St37 Steel Materials Experimentally.

Friction drilling is a process that utilizes heat effect between conical tool and the work material to form a hole. The purpose of friction drilling method is increased the fixtures length utilizes of bushing height such as screw threads for thin work pieces. The tool used in this study has 8 mm, 10 mm, and 12 mm diameters, 8 mm, 16 mm, and 24 mm cylindrical shape lengths, 90° tip point angle, 24° , 36° , 48° conical angles and the tool materials were HSS and WC. The spindle speeds used 2400 rpm, 3600 rpm, 4800 rpm, and the feed rates 50 mm/min, 75 mm/min, and 100 mm/min respectively. 2mm, 4mm, and 6mm thickness ageing tempered A7075 – T651 material that widely uses in aerospace and automotive industries and St37 materials used for experiments in this friction drilling study. In this study the effects of selected experimental parameters on the surface roughness, bushing height and out diameter, bushing and flake shapes, fixture strength, micro hardness and micro structure were investigated. Friction drilling and non-traditional hole making methods were compared. The photographs of the micro structure were taken with SEM microscopy and the changes in micro structure were investigated. At the result of this study investigated that for 2mm material thicknesses smaller than 8mm diameters, 36° , for 2mm and 4mm thicknesses $h_1=8\text{mm}$, and for 6mm material thickness $h_1=16\text{mm}$ were the most appropriate parameters and with increasing material thickness the bushing shape were formed more optimum. According to the surface roughness criteria, 50mm/min, 4800rpm and 36° tool conical angle were the most appropriate parameters in friction drilling of A7075-T651. According to all criteria 2400rpm for 50/min, 3600rpm for 75mm/min and 4800rpm for 100mm/min parameters were the most appropriate parameters in friction drilling of St37 alloy. In friction drilling of A7075-T651 the maximum micro hardness were got 70 μm away from the hole surface and in friction drilling of St37 the micro hardness were not changed so much as aluminium alloy.

Keywords: Friction Drilling, Surface Roughness, Micro Hardness Bushing Height

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.1.	Sürtünmeli delme işlemi (a) [10]. (b) [15]..... 8
Şekil 3.2.	SDY'nin aşamaları [4]. 9
Şekil 3.3.	SDY'de kullanılan takım geometrisi [8, 3, 4, 13, 14]..... 11
Şekil 3.4.	Uzun tip sürtünmeli delme takımının kesit görünüşü [17].. 12
Şekil 3.5.	Kısa tip sürtünmeli delme takımının kesit görünüşü [17]..... 13
Şekil 3.6.	Kesici boyunlu sürtünmeli delme takımlarının kesit görünüşü [17]. a)Kısa tip b)Uzun tip 13
Şekil 3.7.	Kesici ağızlı sürtünmeli delme takımlarının kesit görünüşü [17]. a)Kısa tip, b)Uzun tip..... 14
Şekil 3.8.	Malzeme kalınlığına göre sürtünmeli delme takımı seçme grafiği [17]..... 15
Şekil 3.9.	SDY başlangıç aşamasında, itme kuvveti (F) ile takım ilerlemesi (h) arasındaki ilişki [17]..... 16
Şekil 3.10.	SDY'nin akma aşamasında, itme kuvveti (F) ile takımın ilerleme mesafesi (h) arasındaki ilişki [17]. 16
Şekil 3.11.	SDY'nin şekillenme aşamasında, itme kuvveti (F) ile takımın ilerleme mesafesi (h) arasındaki ilişki [17].. 17
Şekil 3.12.	SDY'de itme kuvvetinin delik çapına bağlı olarak değişimi [17] 18
Şekil 3.13.	SDY'de itme kuvvetinin takımın dalma mesafesine bağlı olarak değişimi [17] 19
Şekil 3.14.	SDY'de güç miktarının delik çapına bağlı olarak değişimi [17]..... 20
Şekil 3.15.	SDY'de dönme momentinin takımın dalma mesafesine bağlı olarak değişim [4]..... 21
Şekil 3.16.	SDY'de takım aşınmasının sıcaklığa bağlı olarak değişimi [4]. 22
Şekil 3.17.	SDY'de takımın aşınmaya maruz kalan kısımları [10]..... 23
Şekil 3.18.	SDY'de takım ağırlığı ve takımın % olarak ağırlık kaybı [10]. 24
Şekil 3.19.	SDY'de iş parçası sıcaklığının dalma mesafesi ve zamana bağlı olarak değişimi [14]. 25
Şekil 3.20.	a) Gevrek(Al380), b) Sünek (AISI 1020) malzemelerin SDY'de oluşan kovan biçimleri [8]. 26
Şekil 3.21.	SDY'de devir sayısının delik çapına bağlı olarak değişimi [17]. 27
Şekil 3.22.	SDY'de mikro sertlik değerinin delik yüzeyine olan mesafeye bağlı olarak değişimi [3]. 28
Şekil 3.23.	SDY'de delik yüzeyinden itibaren metalografik görüntü ve mikro sertlik ölçüm mesafesi [3]. 29
Şekil 4.1.	SDY'de kullanılan takımların geometrik boyutları a) Takımın kesiti b) Takım fotoğrafları 37
Şekil 4.2.	SDY'nin uygulandığı tezgah(a), bağlama kalıbı(b) ve deney seti(c). 38
Şekil 4.3.	SDY'de deney numunelerine delik delme sırası..... 39
Şekil 4.4.	Yüzey pürüzlülüğü ölçme cihazı ve düzeneği 39

Şekil 4.5.	Sıyırma kuvveti ölçmeye hazırlanmış ve 40 Vida dişi açılmış, M12 vida takılmış numune
Şekil 4.6.	Çekme testlerinin uygulandığı çekme cihazı 40
Şekil 4.7.	Mikro sertlik testi ve SEM fotoğraflarının çekimi için numuneleri hazırlama aşamaları. 41
Şekil 4.8.	Sürtülmeli delinmiş numuneler üzerinde Mikro sertlik testinin uygulandığı noktalar 42
Şekil 4.9.	Mikro sertlik testlerinin uygulandığı cihaz 42
Şekil 4.10.	JEOL JSM 7001F Taramalı Elektron Mikroskobu'nda (SEM). 43
Şekil 5.1.	t=2mm için ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi. 45
Şekil 5.2.	t=4mm, $h_1=16mm$ için ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi. 46
Şekil 5.3.	t=6mm, $h_1=16mm$ için ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi. 48
Şekil 5.4.	$h_1=8mm$, t=2mm için takım koniklik açısının yüzey pürüzlülüğüne etkisi.. 50
Şekil 5.5.	$h_1=16mm$, t=4mm için takım koniklik açısının yüzey pürüzlülüğüne etkisi. 51
Şekil 5.6.	$h_1=16mm$, t=6mm için takım koniklik açısının yüzey pürüzlülüğüne etkisi. 52
Şekil 5.7.	$h_1=24mm$, $\beta=24^\circ$ için malzeme kalınlığının yüzey pürüzlülüğüne etkisi. ... 54
Şekil 5.8.	$h_1=8mm$, $\beta=36^\circ$ için malzeme kalınlığının yüzey pürüzlülüğüne etkisi..... 55
Şekil 5.9.	$h_1=8mm$, $\beta=48^\circ$ için malzeme kalınlığının yüzey pürüzlülüğüne etkisi..... 56
Şekil 5.10.	a,b,c) $\beta=24^\circ$, d=10mm, t=2mm, d,e,f) $\beta=36^\circ$, d=10mm, t=4mm g,h) $\beta=48^\circ$, d=10mm, t=2mm d=8mm, t=4mm için takım h_1 uzunluğunun yüzey pürüzlülüğüne etkisi 58
Şekil 5.11.	t=6mm için takım h_1 uzunluğunun. yüzey pürüzlülüğüne etkisi..... 59
Şekil 5.12.	t=2mm için delik çapının yüzey pürüzlülüğüne etkisi..... 61
Şekil 5.13.	$h_1=16mm$ için delik çapının yüzey pürüzlülüğüne etkisi. 62
Şekil 5.14.	$h_1=16mm$ için delik çapının yüzey pürüzlülüğüne etkisi. 63
Şekil 5.15.	A7075-T651 malzeme ve WC takımında $h_1=16mm$, d=10mm için ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi..... 65
Şekil 5.16.	A7075-T651 malzeme ve WC takımında $h_1=16mm$, d=10mm için takım koniklik açısının yüzey pürüzlülüğüne etkisi. 66
Şekil 5.17.	A7075-T651 malzeme ve WC takımında $h_1=16mm$, d=10mm için malzeme kalınlığının yüzey pürüzlülüğüne etkisi. 68
Şekil 5.18.	A7075-T651 malzeme ve WC takımında $h_1=16mm$, t=2mm, d=10mm için malzeme kalınlığının yüzey pürüzlülüğüne etkisi. 70
Şekil 5.19.	A7075-T651 malzeme ve WC takımında $h_1=16mm$, t=4mm, d=10mm için malzeme kalınlığının yüzey pürüzlülüğüne etkisi. 71
Şekil 5.20.	A7075-T651 malzeme ve WC takımında $h_1=16mm$, t=6mm, d=10mm için malzeme kalınlığının yüzey pürüzlülüğüne etkisi. 72
Şekil 5.21.	A7075-T651 malzeme ve WC takımında $h_1=16mm$, t=4mm, d=10mm için takım cinsinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi. 74
Şekil 5.22.	A7075-T651 malzeme ve WC takımında $h_1=16mm$, t=6mm, d=10mm için takım cinsinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi. 75
Şekil 5.23.	St37 çelik malzeme WC takımında ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi. 77
Şekil 5.24.	SDY ve GDY'nin yüzey pürüzlülüğüne etkisi. 78
Şekil 5.25.	t=4mm, d=10mm, $h_1=8mm$, $\beta=24^\circ$ 'de İlerleme hızının a) kovan yüksekliğine, b) kovanın dış çapına, c) kovan ve biçimine etkisi. 80
Şekil 5.26.	t=4mm, d=10mm, $h_1=24mm$, $\beta=24^\circ$ 'de İlerleme hızının a)kovan

Şekil 5.27.	yüksekliğine, b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi. 81 t=4mm, d=10mm, h ₁ =16mm, β=36°'de İlerleme hızının a)kovan	81
Şekil 5.28.	yüksekliğine, b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi. 82 t=4mm, d=10mm, h ₁ =8mm, β=24°'de ilerleme hızının a) kovan	82
Şekil 5.29.	yüksekliğine, b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi. 83 t=6mm, d=8mm, h ₁ =16mm, β=48°'de ilerleme hızının a) kovan	83
Şekil 5.30.	yüksekliğine, b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi. 84 t=6mm, d=10mm, h ₁ =8mm, β=48°'de ilerleme hızının a) kovan	84
Şekil 5.31.	yüksekliğine, b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi. 85 t=6mm, d=12mm, h ₁ =16mm, β=48°'de ilerleme hızının a)kovan	85
Şekil 5.32.	yüksekliğine, b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi. 86 t=2mm, d=8mm, h ₁ =8mm, n=2400d/min'de takım koniklik açısının,	86
Şekil 5.33.	a) kovan yüksekliğine, b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi 87 t=4mm, d=8mm, h ₁ =8mm, n=4800d/min'de takım koniklik açısının,	87
Şekil 5.34.	a) kovan yüksekliğine, b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi 88 t=4mm, d=10mm, h ₁ =16mm, n=2400d/min'de takım koniklik açısının,	88
Şekil 5.35.	a) kovan yüksekliğine, b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi 89 t=6mm, d=10mm, h ₁ =16mm, n=3600d/min'de takım koniklik açısının,	89
Şekil 5.36.	a) kovan yüksekliğine, b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi 90 t=6mm, d=10mm, h ₁ =16mm, n=4800d/min'de takım koniklik açısının,	90
Şekil 5.37.	a) kovan yüksekliğine, b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi. 91 t=6mm, d=12mm, h ₁ =16mm, n=2400d/min'de takım koniklik açısının,	91
Şekil 5.38.	a) kovan yüksekliğine, b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi 92 t=6mm, d=12mm, h ₁ =16mm, n=4800d/min'de takım koniklik açısının,	92
Şekil 5.39.	a) kovan yüksekliğine, b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pul biçimine etkisi 93 t=4mm, d=8mm, β=24°, n=2400d/min'de takımın h ₁ uzunluğunun,	93
Şekil 5.40.	a) kovan yüksekliğine, b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi 94 t=4mm, d=8mm, β=24°, n=2400d/min'de takımın h ₁ uzunluğunun,	94

Şekil 5.41.	c) kovan ve pulun biçimine etkisi 95 t=4mm, d=10mm, $\beta=24^0$, n=3600d/min'de takımın h_1 uzunluğunun, a) kovan yüksekliğine, b) kovanın dış çapına,
Şekil 5.42.	c) kovan ve pulun biçimine etkisi 96 t=4mm, d=8mm, $\beta=36^0$, n=2400d/min'de takımın h_1 uzunluğunun, a) kovan yüksekliğine, b) kovanın dış çapına,
Şekil 5.43.	c) kovan ve pulun biçimine etkisi 97 t=6mm, d=10mm, $\beta=48^0$, n=2400d/min'de takımın h_1 uzunluğunun, a) kovan yüksekliğine, b) kovanın dış çapına,
Şekil 5.44.	c) kovan ve pulun biçimine etkisi 98 t=6mm, d=12mm, $\beta=48^0$, n=3600d/min'de takımın h_1 uzunluğunun, a) kovan yüksekliğine, b) kovanın dış çapına,
Şekil 5.45.	c) kovan ve pulun biçimine etkisi 99 t=4mm, d=10mm, $h_1=16$ mm, $\beta=48^0$, WC ve A7075-T651'de ilerleme hızının a) kovan yüksekliğine,
Şekil 5.46.	b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi..... 101 t=6mm, d=10mm, $h_1=16$ mm, $\beta=36^0$, WC ve A7075-T651'de ilerleme hızının, a) kovan yüksekliğine,
Şekil 5.47.	b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi..... 102 t=2mm, d=10mm, $h_1=16$ mm, $\beta=24^0$, WC ve St 37'de ilerleme hızının, a) kovan yüksekliğine,
Şekil 5.48.	b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi..... 103 t=4mm, d=10mm, $h_1=16$ mm, $\beta=36^0$, WC ve ST 37'de ilerleme hızının, a) kovan yüksekliğine,
Şekil 5.49.	b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi..... 104 t=4mm, d=10mm, $h_1=16$ mm, $\beta=48^0$, WC ve St 37'de ilerleme hızının, a) kovan yüksekliğine,
Şekil 5.50.	b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi..... 105 t=2mm, d=10mm, $h_1=16$ mm, n=3600d/min, WC ve A7075-T651'de takım koniklik açısının, a) kovan yüksekliğine,
Şekil 5.51.	b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi..... 106 t=4mm, d=10mm, $h_1=16$ mm, n=4800d/min, WC ve A7075-T651'de takım koniklik açısının, a) kovan yüksekliğine,
Şekil 5.52.	b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi..... 107 t=6mm, d=10mm, $h_1=16$ mm, n=3600d/min, WC ve A7075-T651'de takım koniklik açısının, a) kovan yüksekliğine,

	Sayfa No
Şekil 5.53.	b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi..... 108 t=2mm, d=10mm, h ₁ =16mm, n=4800d/min, WC ve St 37'de takım koniklik açısının, a) kovan yüksekliğine,
Şekil 5.54.	b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi..... 109 t=4mm, d=10mm, h ₁ =16mm, n=3600d/min, WC ve St 37'de takım koniklik açısının, a) kovan yüksekliğine,
Şekil 5.55.	b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi..... 110 t=6mm, d=10mm, h ₁ =16mm, n=2400d/min, WC ve St 37'de takım koniklik açısının, a) kovan yüksekliğine,
Şekil 5.56.	b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi..... 111 t=2mm, d=10mm, h ₁ =16mm, n=4800d/min, β=36°, WC takımında malzeme cinsinin, a) kovan yüksekliğine,
Şekil 5.57.	b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi..... 112 t=4mm, d=10mm, h ₁ =16mm, n=4800d/min, β=24°, WC takımında malzeme cinsinin, a) kovan yüksekliğine,
Şekil 5.58.	b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi..... 113 t=4mm, d=10mm, h ₁ =16mm, n=4800d/min, β=36°, WC takımında malzeme cinsinin, a) kovan yüksekliğine,
Şekil 5.59.	b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi..... 114 t=6mm, d=10mm, h ₁ =16mm, n=2400d/min, β=24°, WC takımında malzeme cinsinin, a) kovan yüksekliğine,
Şekil 5.60.	b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi..... 115
Şekil 5.61.	Vidanın çekme cihazında a) A7075-T651, b) St 37 için ölçülmüş sıyırma kuvvetleri 116 A7075-T651, t=4mm, h ₁ =16mm, d=10mm, β=24°, HSS takımında ilerleme hızının vidanın sıyırma kuvvetine etkisi
Şekil 5.62.	a) grafik ve b) resimler..... 117 A7075-T651, t=4mm, h ₁ =16mm, d=10mm, β=24°, WC takımında ilerleme hızının vidanın sıyırma kuvvetine etkisi
Şekil 5.63.	a) grafik ve b) resimler..... 118 St 37, t=2mm, h ₁ =16mm, d=10mm, β=48°, WC takımında ilerleme hızının vidanın sıyırma kuvvetine etkisi
Şekil 5.64.	a) grafik ve b) resimler..... 119 St 37, t=4mm, h ₁ =16mm, d=10mm, β=24°, WC takımında ilerleme hızının vidanın sıyırma kuvvetine etkisi
	a) grafik ve b) resimler..... 120

Şekil 5.65.	$t=4\text{mm}$, $h_l=16\text{mm}$, $d=10\text{mm}$, $\beta=24^\circ$, $n=3600\text{d/min}$, WC takımında malzeme cinsinin vidanın sıyırma kuvvetine etkisi a) grafik ve b) resimler.....	122
Şekil 5.66.	$t=4\text{mm}$, $h_l=16\text{mm}$, $d=10\text{mm}$, $\beta=24^\circ$, $n=4800\text{d/min}$, WC takımında malzeme cinsinin vidanın sıyırma kuvvetine etkisi a) grafik ve b) resimler.....	123
Şekil 5.67.	$t=4\text{mm}$, $h_l=16\text{mm}$, $d=10\text{mm}$, $\beta=36^\circ$, $n=2400\text{d/min}$, WC takımında malzeme cinsinin vidanın sıyırma kuvvetine etkisi a) grafik ve b) resimler.....	124
Şekil 5.68.	$t=4\text{mm}$, $h_l=16\text{mm}$, $d=10\text{mm}$, $\beta=24^\circ$, $n=2400\text{d/min}$, takım cinsinin vidanın sıyırma kuvvetine etkisi a) grafik ve b) resimler.....	125
Şekil 5.69.	$t=4\text{mm}$, $h_l=16\text{mm}$, $d=10\text{mm}$, $\beta=24^\circ$, $n=3600\text{d/min}$, takım cinsinin vidanın sıyırma kuvvetine etkisi a) grafik ve b) resimler.....	126
Şekil 5.70.	$t=4\text{mm}$, $h_l=16\text{mm}$, $d=10\text{mm}$, $\beta=24^\circ$, $n=4800\text{d/min}$, takım cinsinin vidanın sıyırma kuvvetine etkisi a) grafik ve b) resimler.....	127
Şekil 5.71.	$t=4\text{mm}$, $h_l=16\text{mm}$, $d=10\text{mm}$, $\beta=36^\circ$, $n=2400\text{d/min}$, takım cinsinin vidanın sıyırma kuvvetine etkisi a) grafik ve b) resimler.....	128
Şekil 5.72.	$t=4\text{mm}$, $h_l=8\text{mm}$, $d=10\text{mm}$, $\beta=24^\circ$, $n=2400\text{d/min}$ için delme yönteminin vidanın sıyırma kuvvetine etkisi a) grafik ve b) resimler.....	129
Şekil 5.73.	$t=4\text{mm}$, $h_l=16\text{mm}$, $d=10\text{mm}$, $\beta=24^\circ$, $n=3600\text{d/min}$ için delme yönteminin vidanın sıyırma kuvvetine etkisi a) grafik ve b) resimler.....	130
Şekil 5.74.	$t=4\text{mm}$, $h_l=16\text{mm}$, $d=10\text{mm}$, $\beta=36^\circ$, $n=2400\text{d/min}$ için delme yönteminin vidanın sıyırma kuvvetine etkisi a) grafik ve b) resimler.....	131
Şekil 5.75.	$t=4\text{mm}$, $h_l=8\text{mm}$, $d=10\text{mm}$, $\beta=36^\circ$, $n=2400\text{d/min}$ için delme yönteminin vidanın sıyırma kuvvetine etkisi a) grafik ve b) resimler.....	132
Şekil 5.76.	SDY’de, delik yüzeyine yakın bölgelerde meydana gelmiş termal ve basınç gerilmelerinin sebep olduğu çatlaklar, a – e) A7075-T651, g ve h) St 37.....	133
Şekil 5.77.	$t=4\text{mm}$, $h_l=24\text{mm}$, $\beta=24^\circ$, A7075-T651 malzeme, HSS takım için devir sayısının mikro sertliğe etkisi a) 2400 d/min, b) 3600 d/min, c) 4800 d/min.....	134
Şekil 5.78.	$t=6\text{mm}$, $h_l=24\text{mm}$, $\beta=24^\circ$, A7075-T651 malzeme, HSS takım için devir sayısının mikro sertliğe etkisi a) 2400 d/min, b) 3600 d/min, c) 4800 d/min.....	135
Şekil 5.79.	$t=4\text{mm}$, $h_l=24\text{mm}$, $\beta=36^\circ$, A7075-T651 malzeme, HSS takım için devir sayısının mikro sertliğe etkisi a) 2400 d/min, b) 3600 d/min, c) 4800 d/min.....	136
Şekil 5.80.	$t=6\text{mm}$, $h_l=24\text{mm}$, $\beta=36^\circ$, A7075-T651 malzeme, HSS takım için devir sayısının mikro sertliğe etkisi a) 2400 d/min, b) 3600 d/min, c) 4800 d/min.....	137
Şekil 5.81.	$t=4\text{mm}$, $h_l=24\text{mm}$, $\beta=48^\circ$, A7075-T651 malzeme, HSS takım için devir sayısının mikro sertliğe etkisi a) 2400 d/min, b) 3600 d/min, c) 4800 d/min.....	138

Şekil 5.82.	$t=4\text{mm}$, $h_l=16\text{mm}$, $\beta=24^\circ$, St 37 malzeme, WC takım için devir sayısının mikro sertliğe etkisi a)2400 d/min, b)3600 d/min, c) 4800 d/min	139
Şekil 5.83.	$t=4\text{mm}$, $h_l=24\text{mm}$, $n=2400\text{d/min}$, A7075-T651 malzeme, HSS takım için koniklik açısının mikro sertliğe etkisi a)24° b)36° c) 48°	140
Şekil 5.84.	$t=4\text{mm}$, $h_l=24\text{mm}$, $n=3600\text{d/min}$, A7075-T651 malzeme, HSS takım için koniklik açısının mikro sertliğe etkisi a)24° b)36° c) 48°	141
Şekil 5.85.	$t=6\text{mm}$, $h_l=24\text{mm}$, $n=2400\text{d/min}$, A7075-T651 malzeme, HSS takım için koniklik açısının mikro sertliğe etkisi a)24° b)36° c) 48°	142
Şekil 5.86.	$t=6\text{mm}$, $h_l=24\text{mm}$, $n=4800\text{d/min}$, A7075-T651 malzeme, HSS takım için koniklik açısının mikro sertliğe etkisi a)24° b)36° c) 48°	143
Şekil 5.87.	$t=4\text{mm}$, $\beta=48^\circ$, $n=2400\text{d/min}$, A7075-T651 malzeme için takım malzemesinin mikro sertliğe etkisi a)HSS b)WC	144
Şekil 5.88.	$t=4\text{mm}$, $\beta=48^\circ$, $n=3600\text{d/min}$, A7075-T651 malzeme için takım malzemesinin mikro sertliğe etkisi a)HSS b)WC	145
Şekil 5.89.	$t=4\text{mm}$, $\beta=48^\circ$, $n=4800\text{d/min}$, A7075-T651 malzeme için takım malzemesinin mikro sertliğe etkisi a)HSS b)WC	146

TABLolar LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 4.1. A7075 – T6 alüminyum alaşıımının kimyasal bileşimi	32
Tablo 4.2 St 37 çelik malzemenin kimyasal bileşimi	32
Tablo 4.3. Kullanılan delme takımının kimyasal bileşimi.....	33
Tablo 4.4. Takım malzemelerinin bazı mekanik ve fiziksel özellikleri	33
Tablo 4.5. Deney numunelerinin mekanik özellikleri.....	34
Tablo 4.6. Deneysel çalışmada kullanılan parametreler.....	35
Tablo 4.7. Deneysel çalışmada kullanılan takımların boyutları	36

SEMBOLLER LİSTESİ

α	: Takım uç açısı ($^{\circ}$)
β	: Koniklik açısı ($^{\circ}$)
D	: Takım sapının çapı (mm)
D_a	: Kovanın dış çapı (mm)
D_1	: Takımın omuz bölgesinin çapı (mm)
d	: Delik çapı (mm)
F	: İtme Kuvveti (N)
f	: İlerleme Hızı (mm/min)
h_a	: Kovan yüksekliği (mm)
h_c	: Takım uç bölgesinin uzunluğu (mm)
h_l	: Takımın silindirik bölgesinin uzunluğu (mm)
h_n	: Takımın konik bölgesinin uzunluğu (mm)
L	: Takım sapının uzunluğu (mm)
M	: Dönme Momenti(N.m)
m	: Kovanın silindirik bölge yüksekliği (mm)
n	: Devir sayısı (d/min)
P	: Gerekli olan güç (kW)
r	: Delik yarıçapı (mm)
T	: Takım omzunun kalınlığı (mm)
t	: Malzeme kalınlığı (mm)
$\frac{t}{d}$	: Malzeme kalınlığının delik çapına oranı

KISALTMALAR LİSTESİ

FEM	: Sonlu Elemanlar Modelleme Yöntemi
GDY	: Geleneksel Delme yöntemi
HSS	:Yüksek Hız Çeliği
SDY	: Sürtünmeli Delme Yöntemi
WC	: Tungsten Karbür

1. GİRİŞ

Delme işlemi, talaşlı imalat yöntemleri arasında %40 gibi yüksek bir orana sahiptir. Geleneksel delme yönteminde (GDY) yüksek hız çeliğinden imal edilmiş takımlar kullanılmaktadır [1]. Bu takımlar ile yapılan delme işlemlerinde yüksek miktarda ısı oluşur. Isı etkisiyle kesici takım aşınır ve ömrü kısalmır. İş parçasında ise ısı işlemin etkisiyle sertleşme meydana gelir. İşlem sırasında çıkan talaşlar, delik yüzeyine yapışır, yüzeyi aşındırır ve yüzey kalitesini kötüleştirir [2].

İnşaat, tesisat, otomotiv, havacılık ve birçok alanda, farklı kalınlıklarda plaka, profil ve boru bağlantıları yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Bu bağlantılar; kullanım amacına ve yerine göre geçmeli, kaynaklı veya vidalı olarak yapılmaktadır. İnce cidarlı malzemelerde, bağlantı uzunluğunun yetersiz olması, kaynak sırasında bağlantı bölgesinde aşırı ergime, delme sırasında delik bölgesinde deformasyon ve yırtılmalara yol açmakta, ince kesitli parçalarda ise vida boyunun yetersiz olması, bağlantının mukavemetini azaltmaktadır. Bu tür konstrüksiyonlarda yeterli bağlantı mukavemetinin elde edilebilmesi için ilave parça kullanılarak delikler delinmekte ve vida dişi açılmaktadır. Bu da maliyeti artırmaktadır [3]. GDY’de genellikle soğutma sıvısı kullanılmaktadır. Kullanılan soğutma sıvısı operatörün sağlığını olumsuz etkilemekte ve çevre kirliliğine neden olmaktadır [4].

Sürtünmeli delme yöntemi (SDY), ucu konik bir takım ile iş parçası arasındaki temas alanında sürtünme sonucu meydana gelen ısıya etkisiyle viskoz hale gelmiş iş parçasına takımın dalmasıyla meydana gelen, talaşsız bir form delme yöntemidir [5–7].

SDY ile yapılan işlem sonucunda meydana gelen kovan yardımıyla, bağlantı uzunluğu artmaktadır. SDY ile sünek malzemelerde silindirik kovan elde edilirken, gevrek malzemelerde ise bağlantı uzunluğunu artırmayan, çatlakların yoğun olduğu ve taç yaprağı biçiminde kovanlar meydana gelmektedir [8].

İşlem sırasında meydana gelen maksimum ısı miktarı, yaklaşık olarak iş parçası malzemesinin ergime sıcaklığının 0.3 – 0.7 katı kadardır. Malzeme kalınlığının delik çapına oranı ($\frac{t}{d}$), oluşan kovanın biçimi ve yüksekliği için önemli bir parametredir. Bu oranın artmasıyla kovan oluşumunu sağlayan malzeme miktarı artar [8].

Takım ucu iş parçasına tamamen dalıncaya kadar itme kuvveti hızlı bir şekilde yükselir ve maksimum değerine ulaşır. Takımın konik kısmının iş parçasına dalması ile itme kuvveti işlem sonuna kadar azalmaya devam eder [9].

Kovanın biçimi, takımın ilerleme doğrultusunda hareket etmesiyle meydana gelmektedir. İşlemin başlangıcında malzeme akışı, takımın ilerleme hareketinin tersi yönünde olur. Akan malzeme, deliğin giriş kısmında yığılır ve pul şeklini alır. Meydana gelen kovanın yüksekliği, iş parçası kalınlığının yaklaşık 2–3 katı kadar olmaktadır [10, 11].

SDY’de en etkili olan parametreler; takımın devir sayısı (d/min), ilerleme hızı (mm/min) ve takımın koniklik açısıdır. Devir sayısı ve takım koniklik açısı, takım–iş parçası temas alanında meydana gelen ısı miktarını etkileyen en önemli faktörlerdir. Devir sayısının artması ve koniklik açısının azalması ile ara bölgedeki sıcaklık miktarı artar. İlerleme hızının artması ile SDY’de işlem süresi kısalmıştır [3, 4, 8, 9, 12–16].

SDY ile işleme yöntemi 5 aşamada tamamlanmaktadır. Birinci aşamada, takım iş parçasına yaklaşır, temas eder ve itme kuvveti maksimuma ulaşır. İkinci aşamada, takımın konik kısmının iş parçasına dalmasıyla temas bölgesindeki ısı miktarı ve dönme momenti hızlı bir şekilde yükselir. Üçüncü aşamada, takımın silindirik bölgesi iş parçasına dalar, takım yumuşamış malzemeyi aşağıya doğru iter ve kovan oluşmaya başlar. Dördüncü aşamada, takımın omuz kısmı takımın ilerleme hareketinin tersi doğrultuda akan malzemeyi iş parçasının yüzeyine bastırarak sızdırmazlık halkası olarak adlandırılan pul oluşur ve itme kuvveti tekrar yükselir. Beşinci aşamada ise delme işlemi tamamlanarak takım geri çekilir [12–16].

Bu çalışmada, otomotiv ve havacılık endüstrisinde yaygın olarak kullanılan plaka, boru, v.b. biçimlerdeki ince cidarlı A7075–T651 alüminyum alaşımının ve birçok alanda yaygın olarak kullanılan St 37 malzemelerin konstrüksiyonlarında ilave malzeme gerekliliği ve kaynaklı birleştirmelerde meydana gelebilecek gerilmeler elimine edilerek mukavemetin artırılması amaçlanmıştır. SDY ve GDY’de vida sıyırma kuvvetine etki eden parametreler analiz edilmiştir. SDY’de mikro yapıda meydana gelen değişiklikler incelenmiş ve bu değişikliklerin bağlantı mukavemetine etkileri analiz edilmiştir. A7075-T651 alaşımının SDY’de malzemenin yapısında bulunan çökelti meydana gelen ısı, basınç, takımın ilerleme ve dönme hareketlerinin etkisiyle, delik çevresinde toplanarak birim alandaki çökelti sayısı artırmıştır. Birim alandaki çökelti yoğunluğunun artması ile mikro sertlik ve vida sıyırma kuvveti artmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

SDY, 1970'li yıllarda keşfedilmiş ve son yıllarda yapılan çalışmalarda, devir sayısı, ilerleme hızı, takımın geometrisi ve takım malzemesi, iş parçasının kalınlığı ve cinsi, delik çapı parametrelerinin, yüzey pürüzlülüğü, kovan biçimi, işlemde meydana gelen itme kuvveti, dönme momenti, mikro yapıdaki değişimler, sertlik değişimleri ve meydana gelen sıcaklık üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Chow vd. [3], 2mm kalınlığındaki AISI 304 paslanmaz çelik plakaya, koniklik açıları 30^0 , 40^0 ve 60^0 , konik bölgesi çokgen piramit ve konik bölgesi silindirik olan WC takımları kullanarak, CNC freze tezgâhında, SDY ile 8 mm çapında delikler işlemişlerdir. 75mm/min, 100mm/min, 125mm/min, 1200d/min, 2400d/min ve 3600d/min'yi seçmişler. Çalışmada, AISI304'ün SDY delinmesinde takım koniklik açısının ilerleme hızı ve devir sayısının, yüzey pürüzlülüğü ve mikro sertlik üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Delikler tam merkezden iki eşit parçaya bölünerek delik yüzeyinden itibaren ilk ölçüm 0.2mm'de, sonraki ölçümler ise 0.5'er mm aralıklarla olacak şekilde 10 değişik noktada mikro sertlik değerlerini ölçmüşlerdir. Çalışmanın sonunda, konik bölgesi çokgensel piramit şeklinde olan takımlarla 3 delik, konik bölgesi silindirik olan takımlarla 60 delik işlendikten sonra takımın çok az aşındığını görmüşlerdir. Takım koniklik açısının artması ile yüzey pürüzlülüğünün arttığı, 100mm/min ve 3600d/min'de en düşük yüzey pürüzlülüğünün elde edildiğini, delik yüzeyinden uzaklaştıkça mikro sertlik değerinde azalma olduğu ve maksimum mikro sertlik değerinin delik yüzeyinde meydana geldiğini tespit etmişlerdir.

Lee vd. [4], 30x30x2 mm boyutlarındaki AISI304 plakaya, TiAlN, AlCrN kaplanmış WC ve kaplanmamış WC takımlarla, CNC Fulland FMC – 1000 işleme merkezli tezgâhta, SDY ile 8 mm çapında delikler delmişlerdir. 2400d/min, 3600d/min, 4800d/min, 6000d/min ve 100mm/min'de, TiAlN, AlCrN kaplanmış WC ve kaplanmamış WC takımların değişik devir sayılarındaki itme kuvvetlerini, yüzey sıcaklıklarını, aşınma miktarlarını ve işlem boyunca meydana gelen itme kuvvetlerini araştırmışlardır. Devir sayısının artması ile takımların yüzey sıcaklığının arttığı, kaplanmamış WC, TiAlN ve AlCrN kaplanmış takımların yüzey sıcaklıklarının ısı iletkenlik katsayılarına bağlı olarak farklılık gösterdiği ve düşük yüzey sıcaklığının kaplanmamış WC takımında ve en yüksek yüzey sıcaklığı ise AlCrN kaplanmış takımında meydana geldiğini teps etmişlerdir. Delinen delik sayısının artması ile takımın yüzey sıcaklığının arttığı, işlem sırasında iş parçasının takıma yapışması nedeniyle takım yüzeyinin pürüzlülüğü ve sürtünme katsayısı artmıştır.

Düşük devir sayılarında, kaplanmış takımlardaki aşınma miktarı ve yüzey sıcaklığı kaplanmamış takımlara göre daha az olmuştur. Yüksek devir sayılarında ise kaplanmış ve kaplanmamış takımların aşınma miktarları ve yüzey sıcaklıkları arasındaki fark azaldığından takımın yapısındaki W ve Co iş parçasına, iş parçasındaki Fe ve Cr'un takıma geçişi engellenmiştir. 20 delik delindikten sonra kaplanmamış WC ve TiAlN kaplanmış takımların yüzey sıcaklıklarında ve itme kuvvetlerinde büyük oranlarda değişiklik olurken, AlCrN kaplanmış takımda ise çok az değişiklik meydana gelmiştir.

Miller vd. [8], 4mm kalınlığındaki Al380 ve MgAZ91D'ye, uç açısı $\alpha=90^0$, konik açısı $\beta=36^0$, uç yüksekliği $h_c=0,94\text{mm}$, silindirik kısmın yüksekliği $h_1=7.04\text{mm}$ olan Co bağlayıcılı WC ve Titanyum Karbür (TiC) takımları kullanarak SDY ile 5,3mm çapında delikler delmişlerdir. 100^0C , 200^0C ve 300^0C 'de ön ısıtılmış Al380'a, 5500d/min, 254mm/min, 305mm/min, 356mm/min ve 406mm/min'de, 25^0C 'de Al380 ve MgAZ91D'e, 3000d/min, 5500d/min, 7000d/min, 11000d/min, 15000d/min, 254mm/min'de, ön ısıtmanın, kovan biçimine, itme kuvvetine, dönme momentine, enerji miktarına ve güce etkisini araştırmışlardır. İş parçasının ön ısıtılması ve yüksek devir sayılarında, itme kuvveti, dönme momentini, enerji ve gerekli güç miktarlarının azaldığı, Al380'nın ön ısıtma sıcaklığının artması ile kovan biçiminin düzeldiği, kovandaki çatlakların azaldığı, 25^0C oda sıcaklığında ise kovan biçiminin değişmediği, MgAZ91D'da ise artan devir sayısı ile kovandaki çatlak miktarının arttığını tespit etmişlerdir.

Gopal Krishna vd. [9], 1 mm kalınlığındaki AA6351'e, koniklik açıları 45^0 ve 90^0 olan HSS takımlarla, Batli-Boi Matkap Tezgâhında, 2000d/min, 3000d/min, 0,1mm/dev ve 0,3mm/dev'de, SDY ile delikler delmişlerdir. Çalışmada yüzey pürüzlülüğünü, itme kuvvetini ve dönme momentini incelemişlerdir. Takım koniklik açısının, itme kuvvetini ve dönme momentini etkileyen en önemli parametre olduğunu, 3000d/min'de yüzey pürüzlülüğünün daha az olduğunu tespit etmişlerdir.

Miller vd. [10], 1,5mm kalınlık ve 19x19x600mm boyutlarında AISI 1015 içi boş kare profile, uç açısı $\alpha=90^0$, koniklik açısı $\beta=36^0$, uç yüksekliği $h_c=0,94\text{mm}$, silindirik kısmın yüksekliği $h_1=7.043\text{mm}$, konik yüzeyinin etrafına 120^0 'lik eşit aralıklarla üç adet düzlem yüzey işlenmiş, WC takımlarla, 2800d/min ve 254mm/min'de SDY ile 5,3mm çapında delikler delmişlerdir. İşlem sırasında meydana gelen itme kuvvetini ve dönme momentini Kistler Model 9272A Piezoelektrik dinamometre ile ölçmüşlerdir. Birinci, 2., 3., 4., 5., 10., 50., 100., 500., 1000., ve her bin delik delindikten sonra takımın ağırlığını ölçmüşler ve takımın biçimini incelemişlerdir. Aynı WC takım ile toplam 11000 delik

delmişlerdir. 9000 delik delindikten sonra takımı SEM (scanning electron microscope) ile analiz etmişlerdir. Birinci 5000. ve 11000. delik işlendikten sonra, deliğin giriş kısmından itibaren, 0,46mm, 1,99mm ve 4,46mm derinliklerde olmak üzere üç değişik noktada deliğin daireselliğini ölçmüşlerdir. Çalışmada takım aşınmasını, takım yüzeyindeki girinti ve çıkıntıları, takımın biçiminde ve hacminde meydana gelen değişiklikleri, aşınmış takım yüzeyinin kimyasal özelliklerini analiz etmişlerdir. İşlem sırasında meydana gelen itme kuvvetini, dönme momentini, delik iç çapını ölçmüşler ve meydana gelen değişiklikleri incelemişlerdir. Takımın silindirik–konik bölgelerinin geçiş kısmında takımın çevresinde aşınma meydana gelmiştir. İlk delinen delikten sonra ergimiş malzemenin yapışmasından dolayı takımın ağırlığı artmış, 100 delik işlendikten sonra aşınma etkisinden dolayı takımın ağırlığı azalmıştır. Birinci delik işlendikten sonra takımın ağırlığı 0,011g artmış, 11000. delik delindikten sonra ise 0,089g azalmış, 9000. delik işlendikten sonra takımda oksidasyon aşınmanın etkisi fazla olmuş, Co elementi takımdan uzaklaşmış, takımın bünyesinde yüksek miktarda Fe, C ve Mn bulunmuştur. Birinci ve 11000. delik işlendikten sonra çaptaki azalma miktarı, 4,46mm derinlikte 0,29mm, birinci, 2., 4000. ve 11000. delik delindikten sonra itme kuvvetleri sırasıyla 1600N, 2100N, 1700N ve 1400N olarak ölçmüşlerdir. Birinci ve ikinci delikler delinirken yapışma etkisi ve takım-iş parçası temas alanı arttığından itme kuvvetinde artma meydana gelmiştir. Sıcaklığın artması ile oksit tabakasının oluşumu ve oksidasyon aşınma miktarı artmıştır. Takım aşınmasının dönme momentine etkisi, takım ile iş parçası temas alanı sürekli olarak değiştiğinden, kesin olarak tespit edememişlerdir.

Doğru [12], 1,5 mm kalınlığındaki AISI 1010 içi boş kare profile, koniklik açısı 30^0 , 45^0 ve 60^0 , WC takımlarla, 75mm/min, 150mm/min, 225mm/min, 50m/min, 75m/min, 100m/min ve 125m/min kesme hızlarında, SDY ile 6mm, 8mm ve 10mm çaplarında delikler delmiştir. Koniklik açısının, kesme hızının ve ilerleme hızının oluşan ısı miktarı, yüzey pürüzlülüğü, kovan ve pul biçimine etkisini araştırmıştır. Kesme hızının artışı ile yüzey pürüzlülüğü ve kovan biçiminde çatlakların azaldığı, ilerleme oranının artışı ile yüzey pürüzlülüğünün ve pul kenarlarında meydana gelen yırtıkların arttığı, koniklik açısının artması ile yüzey pürüzlülüğünün, pul ve kovan biçimindeki çatlakların arttığını tespit etmiştir.

Miller vd. [13], SDY ile 1,56mm kalınlığındaki AISI 1020, 1,43mm kalınlığındaki AISI4130, 1,62mm kalınlığındaki Al5052 ve 1,59mm kalınlığındaki CPTi malzemelere Co bağlayıcılı WC takımları kullanarak, 5,3mm çapında delikler delmişlerdir. AISI 1020 ve

4130 için 2800d/min, CPTi için 1000d/min, ve Al5052 için ise 3600d/min devir sayılarını seçmişlerdir. Çalışmada, mikro yapıda meydana gelen değişiklikleri, çentik, oyuk vb. gibi sertlik değişimine neden olan yapıları, yapının mikro sertliğini, sıcaklık ve deformasyonun sürtünmeli delme işlemi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Mikro yapıyı etkileyen en önemli parametrelerin sıcaklık ve iş parçasının ısı iletkenlik katsayısı olduğu, ısı iletkenlik katsayısı ve sürtünme enerjisine bağlı olarak iletilmeyen bölgesel ısının, malzemenin sertleşmesini engellediğini ve plastik deformasyonu arttırdığını, takımın yüzeyine yapışmış malzemenin sürtünme etkisini arttırdığını tespit etmişlerdir.

Lee vd. [14], SDY ile 30x30x2mm boyutlarındaki IN – 713LC Ni esaslı süper alaşıma, Co bağlayıcılı, bileşimi %12 Co, %87 WC ve %1 diğer olan WC takımlarla, 2400d/min, 3600d/min, 4800d/min, 6000d/min, 100mm/min, 125mm/min ve 150mm/min’de 8mm çapında delikler delmişlerdir. Mikro sertlik ölçümlemleri, 500g yük altında, 0,5mm aralıklarla delik yüzeyinden itibaren 10 değişik noktada, yüzey pürüzlülüğünü ise 5 değişik noktada ölçmüşlerdir. Mikro yapıyı Hitachi S–3500N SEM mikroskop ile incelemişlerdir. Çalışmada devir sayısının ve ilerleme oranının, mikro yapı, mikro sertlik, deliğin daireselliği ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırmışlardır. Yüksek devir sayılarında deliğin yüzey pürüzlülüğünün azaldığını, mikro sertlik ve delik daireselliğinin arttığını, düşük devir sayılarında ise yüzey pürüzlülüğünün arttığını, mikro sertlik ve deliğin daireselliğinin azaldığını tespit etmişlerdir.

Miller vd. [15], SDY ile 1,2mm kalınlığındaki AISI 1020’e, uç açısı $\alpha=90^0$, koniklik açısı $\beta=36^0$, silindirik bölgenin yüksekliği $h_1=9\text{mm}$, Co matrisli WC takımlarla, 4000d/min ve 165mm/min’de 7,3mm çapında delikler delmişlerdir. Çalışmada FEM yöntemiyle, itme kuvvetini, dönme momentini, meydana gelen sıcaklığı, takım–iş parçası temas alanındaki basınç miktarına ve iş parçasının gerilme dayanımına bağlı olarak hesaplamışlardır. Meydana gelen ısının iş parçasının gerilme dayanımına bağlı olduğu, modelleme sonucunda bulunan itme kuvveti ve dönme momenti değerlerinin deneysel sonuçlarla uyumlu olduğunu tespit etmişlerdir. FEM yönteminde, sürtünme katsayısı, tribolojik özellikler ve işlem sırasında takım ve iş parçası malzemelerine geçen ısı miktarının hesaplanmasının daha uygun olacağını önermişlerdir.

Miller vd. [16], SDY ile 1,6mm kalınlığındaki Al6061–T6’ya, hava çeliğinden imal edilmiş takımlarla, 3000d/min, 152mm/min, 253mm/min ve 355mm/min’de, 5,3mm çapında delikler delmişlerdir. Meydana gelen itme kuvvetini, dönme momentini ve sıcaklığı ise delik merkezinden 5,1mm ve 7,5mm uzaklıklarda, çapı 0,13mm olan bir

termokupl ile ölçmüşlerdir. FEM yöntemiyle, iş parçasının sıcaklığını, itme kuvvetini, dönme momentini, iş parçasında meydana gelen deformasyon miktarını, sürtünme katsayısını üç boyutlu olarak analiz etmişler ve deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlar, en uygun sürtünme katsayısını ve iş parçasının gerilme miktarını bulmuşlardır. Sürtünme katsayısının artması ile itme kuvveti azalmış ve deneysel sonuçlara en yakın değerler, 0,7 sürtünme katsayısını seçtikleri modellemede elde etmişlerdir. Analiz sonucunda, iş parçası sıcaklığının 580°C'ye yükseldiği ve bu değer de iş parçasının ergime sıcaklığına çok yakın olduğunu tespit etmişler. İşlem sırasında meydana gelen maksimum plastik deformasyon miktarının %2,2 olduğunu, gerilme değerinin boşalan malzemenin hacmine bağlı olarak ve takımın hareketinden bağımsız olduğunu tespit etmişlerdir. FEM yöntemi, takımın sıcaklığı, deformasyon biçimi, kayma hızı, takım–iş parçası temas alanındaki basınç miktarı, değişik takım geometrileri ve işlem boyunca sürtünme katsayısının değişmesine etki eden parametreler de eklenerek daha yararlı ve kullanılabilir sonuçların elde edilebileceğini önermişlerdir.

Bu çalışmada, mevcut literatürden farklı olarak, 2mm, 4mm ve 6mm kalınlıklardaki plakalar, 2400d/min, 3600d/min, 4800d/min, 50mm/min, 75mm/min ve 100mm/min'de SDY ile delinmiştir. Delmede Otomotiv ve havacılık endüstrisinde yaygın olarak kullanılan A7075–T651 alüminyum alaşımının ve birçok alanda yaygın olarak kullanılan St 37 malzemeleri kullanılmıştır. 24°, 36° ve 48° farklı koniklik açılarında, 8mm, 16mm ve 24mm takım silindirik bölge uzunluklarında, 8mm, 10mm ve 12mm çaplarında HSS ve WC malzemelerinden imal edilmiş takımların, yüzey pürüzlülüğüne, kovan yüksekliğine, kovan dış çapına mikro yapıya ve mikro sertliğe, kovan ve pul biçimlerine etkileri incelenmiştir. A7075–651 ve St 37 malzemelere GDY ve SDY yöntemleri ile 10mm çapındaki deliklere M12 diş açılmış ve deney parametrelerinin sıyırma kuvvetine etkileri incelenmiştir. SDY'de elde edilen kovan, bağlantıda vida diş sayısını arttırdığından mukavemet artmıştır. Mikro yapıdaki tanelerin boyutu SEM mikroskop ile incelenmiş, ısıtılardan etkilenen mikro yapıdaki tanelerin delik yüzeyinden uzaklığı ve mikro sertliğe etki eden parametreler araştırılmıştır.

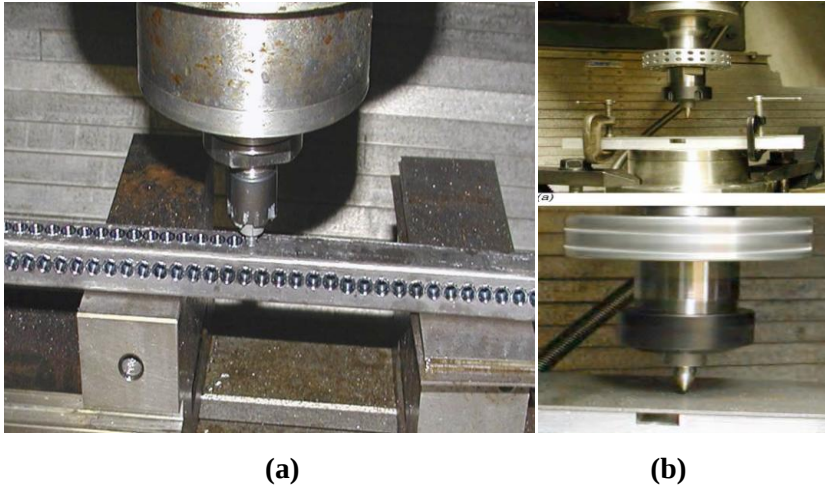
Çalışmanın, otomotiv, havacılık, inşaat, tesisat ve delme yöntemiyle imalatın yoğun bir şekilde uygulandığı alanların yanı sıra akademik çalışmalara da katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

3. GENEL BİLGİLER

3.1. Sürtünmeli Delme Yöntemi

Talaşlı üretim alanında delik işleme operasyonları yaklaşık olarak %40 gibi yüksek bir orana sahiptir. Sanayide GDY’de HSS takımlar kullanılır. Bu takımlarla yapılan delme işlemlerinde yüksek miktarda ısı oluşur. Isı etkisiyle, takım körelir ve ömrü azalır, iş parçası ise sertleşir. İşlem sırasında çıkan talaşlar, delik yüzeyine yapışır, yüzeyi aşındırarak yüzey kalitesini olumsuz etkiler [1 – 3].

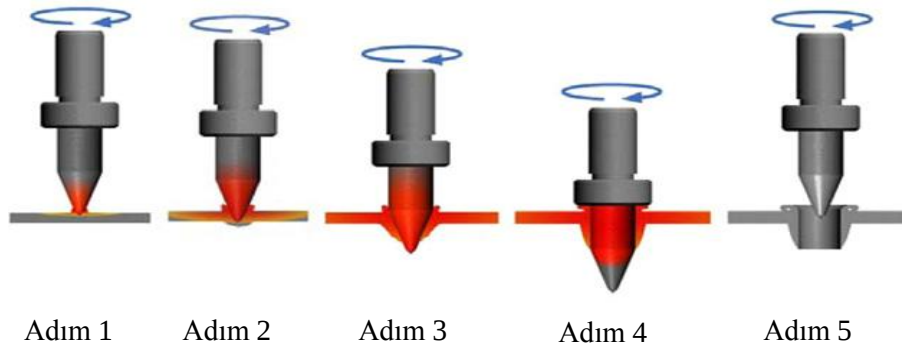
İşlemden soğutma sıvısı kullanılmadığından, soğutma sıvısının operatör, çevre ve tezgâh üzerindeki zararlı etkileri ortadan kalkmaktadır [3, 5 – 8, 10, 14, 15]. İşlem sırasında yumuşamış ve viskoz hale gelmiş malzeme, takımın ilerleme hareketinin doğrultusunda aşağıya ve tersi doğrultuda ise yukarıya doğru çıkar. Aşağıya doğru itilen malzeme kovan, yukarıya doğru çıkan malzeme ise pul oluşumunu sağlar. Kovan, ince kesitli malzemelerde bağlantı uzunluğunu, oluşan pul ise delik girişinde sızdırmazlık halkasını meydana getirir (Şekil 3.1). Sünek malzemelerde amaca uygun kovan biçimi elde edilirken, gevrek malzemelerde ise taç yaprağı biçiminde, amaca uygun olmayan, çatlak ve yırtıkların yoğun olduğu kovan biçimi elde edilir [8].



Şekil 3.1. Sürtünmeli delme işlemi (a) [10]. (b) [15].

SDY 5 aşamada tamamlanmaktadır. Birinci aşamada, takım ucu iş parçası ile temas eder. Takım ucu, matkap ucunun öz kısmı gibi, takıma ilerleme ve dairesel doğrultularda kılavuzluk yapar. İkinci aşamada, takım ucu tamamen iş parçasına dalarak aksenel itme

kuvveti maksimum seviyeye çıkar, böylece takım ile iş parçası arasındaki temas alanı, sürtünme kuvveti ve meydana gelen ısı miktarı artar, yumuşamış ve takımın ilerleme hareketinin tersi doğrultuda çıkan malzeme pul oluşumunu sağlar. Üçüncü aşamada, takımın konik yüzeyi iş parçasına dalar, yumuşamış ve kovan oluşumunu sağlayan malzeme, takımın ilerleme hareketi doğrultusunda akmaya başlar. Dördüncü aşamada, takımın silindirik bölgesi tamamen iş parçasına dalar, takımın omuz bölgesi ise yukarıya doğru akmış olan malzemeyi iş parçasının yüzeyine bastırarak pul oluşumunu sağlar. Beşinci aşamada ise takım geri çekilir ve delme işlemi tamamlanır (Şekil 3.2) [4, 8, 13, 14].



Şekil 3.2. SDY'nin aşamaları[4].

3. 2. SDY'nin Kullanıldığı Yerler

SDY, ince kesitli her türlü malzemelerin delinmesinde kullanılan bir imalat yöntemidir. Yapı çeliği, paslanmaz çelik, pirinç, bakır, alüminyum, manyetik malzemeler ve özellikle aşınma direnci yüksek, deformasyon sertleşmesi olan malzemelerde kullanılabilir. Sürtünmeli delme işleminin kullanıldığı alanlar aşağıda belirtildiği gibi sıralanabilir.

1. İnce kesitli malzemelerin vidalı bağlantılarında,
2. Düzgün ve geniş yüzeyli lehim bağlantılarında,
3. Sızdırmazlık istenen sıvı, gaz v.b. boru bağlantılarında,
4. Güneş enerjisi sistemlerinin yüksek mukavemetli kaymalı yatak mekanizmalarında,
5. Rulmanlı ve kaymalı yatakların ince cidarlı borulara, plakalara ve içi boş profil malzemelere oturtulmasında,
6. Kaynaklı bağlantılarda,
7. Su ve basınç tanklarında,

8. İç içe geçmiş, profil, boru v.b. parçalara eş eksenli delik delme işlemlerinde,
9. Otomotiv endüstrisinde,
10. Çelik konstrüksiyon mobilyalarındaki bağlantı yerlerinde sürtünmeli delme yöntemi kullanılmaktadır.

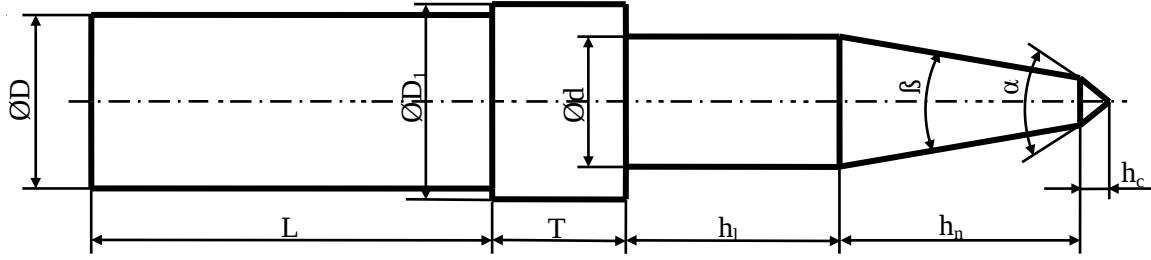
3. 3. SDY'nin Avantajları

SDY, ince kesitli malzemelere açılan deliklere dış açılmasında büyük avantaj sağlamaktadır. Üretimde yaygın olarak kullanılmayan bir yöntem olmasına rağmen, kullanılması durumunda üretime katkısı olan bir imalat yöntemidir. Yöntemin avantajları aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

1. GDY, malzeme üzerine mekanik kuvvet uygulama sonucunda, plastik deformasyon ve kayma gerilmeleri meydana getiren, talaş kaldırarak delik delme yöntemidir. SDY ise takım ile iş parçası arasında sürtünme sonucu meydana gelen ısı etkisiyle iş parçasının yumuşaması ve yumuşamış malzemeye takımın dalmasıyla delik delme yöntemidir. Bu nedenle aşınma direnci yüksek ve deformasyon sertleşmesine uğrayabilecek malzemeler bu yöntemle kolay bir şekilde delinebilmektedir.
2. SDY, ince kesitli plakaların bağlantılarında oluşan kovan yardımıyla bağlantı uzunluğunu artırdığından, ek malzeme kaynatma, perçinleme ve puntalama gibi ek işlem gerektirmediğinden, yöntemin imalat maliyeti düşük ve işlem süresi daha kısadır.
3. İnce kesitli plaka bağlantılarında ek malzemelerin kullanılması durumunda meydana gelen gerilmeler, SDY'de giderilmektedir.
4. SDY'de meydana gelen kovan biçimi, delinmiş deliğin devamı niteliğinde olduğundan, ince cidarlı plaka, boru ve içi boş profil malzemelere kılavuz çekilmesini kolaylaştırır.
5. SDY'de soğutma sıvısı kullanılmadığından, sıvının operatör, tezgâh ve çevre üzerindeki zararlı etkilerini ortadan kaldırır.
6. İşlem hızı daha yüksek, işlem süresi daha kısa ve takım ömrü daha uzundur.
7. Vida çekme işlemlerinin seri üretiminde zamandan ve maliyetten tasarruf, borularda ise güvenli bağlantı sağlar [1,2].

3. 4. SDY’de Kullanılan Takımlar

SDY’de HSS, WC ile TiAlN ve AlCrN kaplanmış takımlar kullanılmaktadır [3, 4, 8, 9, 12 – 16]. İşlemden önce kullanılacak takımların çalışma sıcaklığı, delinecek iş parçası ergime sıcaklığının en az 0.7 katı olmalıdır. SDY’de kullanılan bir takım geometrisi (Şekil 3.3)’de görülmektedir.



Şekil 3.3. SDY’de kullanılan takımın geometrisi [8, 3, 4, 13, 14].

SDY’de takımın iş parçasına ilk temas eden ve takım ile iş parçası arasındaki sürtünmenin ilk başladığı kısım takımın uç kısmıdır (h_c) (Şekil 3.3). Takım ucu, matkap ucunun özü gibi, delme işleminde sadece takımın ilerleme doğrultusuna kılavuzluk görevi yapar ve sürtünme kuvvetinin oluşması için takım ile iş parçasının temas alanında, teğetsel yönde kuvvetler meydana getirir. Uç açısı α , yapılmış tüm çalışmalarda, 90° olarak seçilmiştir. Uç açısının değeri küçüldükçe delme işleminin başlangıcında meydana gelen itme kuvveti azalır. Takım ucu, SDY’de deformasyon mekanizmasının başlangıcını oluşturur [14].

SDY takımının konik bölgesinin (h_n) koniklik açısı β , uzunluğu ise h_n ’dir (Şekil 3.3). Takımın koniklik açısının değeri uç açısının değerinden ($\beta < \alpha$) daha küçüktür. Takımın bu bölgesi iş parçası ile temas ederek sürtünme kuvvetini ve yumuşamış iş parçası malzemesini takımın ilerleme doğrultusunda iter ve kovan oluşumunu sağlar. Koniklik açısı β ’nın değeri küçüldükçe takım–iş parçası temas alanı artar [14].

SDY silindirik bölgesinin (h_1) çapı $\varnothing d$ ve uzunluğu ise h_1 ile gösterilmiş ve bu çap, delinen delik çapına eşittir (Şekil 3.3). h_1 ise meydana gelebilecek kovan yüksekliği ile iş parçası malzemesinin kesit kalınlığının toplamından büyük seçilir. İşlemden önce meydana gelen kovan yüksekliği iş parçası kesit kalınlığının yaklaşık 2–3 katı olur. Bu durumda takımın silindirik bölgesinin uzunluğu (h_1), yaklaşık olarak malzeme kalınlığının 3 ($h_1 > 3t$) veya 4

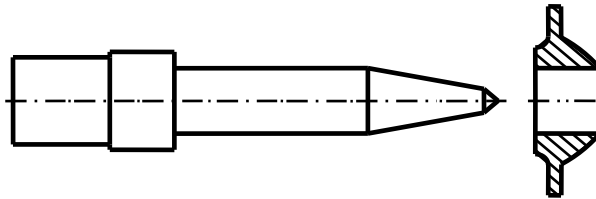
katından daha büyük ($h_i > 4t$) seçilmelidir. Silindirik bölgenin uzunluğu yetersiz olduğu zaman, takımın konik kısmının tamamı oluşan kovandan çıkmadığından delinen delik konik olur [14].

SDY takımının omuz bölgesinin (T) çapı $\varnothing D_1$ ve uzunluğu ise T 'dir (Şekil 3.3). Takımın omuzu, SDY'de, takımın ilerleme hareketinin tersi doğrultuda çıkan malzemeyi iş parçasının yüzeyine bastırarak pul olarak adlandırılan sızdırmazlık halkasını oluşturur. Takımın omuz çapı ($\varnothing D_1$), $\varnothing d$ ve $\varnothing D$ çaplarından daha büyük seçilir. Omuz çapı, yukarıya doğru çıkan malzemeyi kenarlarından taşmayacak şekilde altına alarak iş parçasının yüzeyine bastırabilecek çapta olmalıdır. Bu durumda omuz çapı sürtünmeli delme yöntemiyle delinecek malzemenin kesit kalınlığına ve delik çapına bağlı olarak seçilmelidir. Omuz uzunluğu T ise işlem sırasında mukavemet değeri ile ilgili bir boyut olup çıkan malzemeyi bastırması sırasında, meydana gelen basma kuvvetini karşılayacak uzunlukta seçilir [14].

SDY takımının sap bölgesi (L) ise takımın tezgâha bağlanmasını sağlayan, çapı $\varnothing D$ ve uzunluğu ise L ile gösterilmiştir (Şekil 3.3). Çapı bağlama türüne, uzunluğu ise takım tutucusunun geometrik boyutlarına göre seçilir. Takımın L boyu, tutucunun takımı yeterince kavrayabileceği bir uzunlukta olmalıdır [14].

3. 5. Uzun Tip Sürtünmeli Delme Takımı

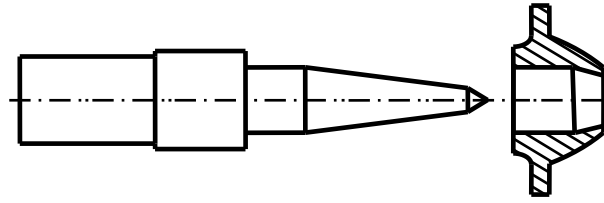
Uzun tip sürtünmeli delme takımları, düz silindirik deliklerin elde edilmesinde kullanılırlar (Şekil 3.4). Bu takımların silindirik bölgesinin uzunluğu fazla olduğundan genellikle kesit kalınlığı (t) 2mm ve üstü ($t \geq 2\text{mm}$) olan malzemelerin delinmesinde kullanılırlar [17].



Şekil 3.4. Uzun tip sürtünmeli delme takımının kesit görünüşü [17].

3. 6. Kısa Tip Sürtünmeli Delme Takımı

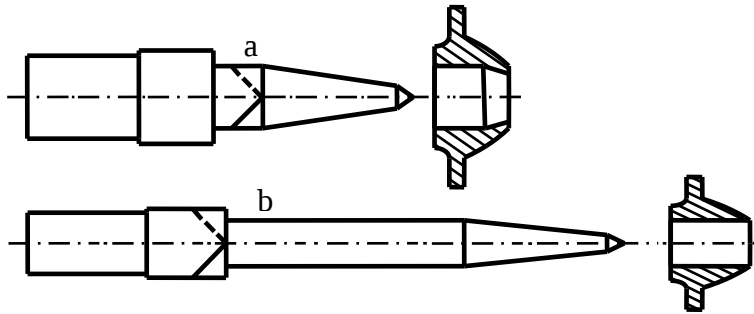
Kısa tip sürtünmeli delme takımlarının silindirik bölgesinin uzunluğu daha azdır. Bu takımlarla uygulanan SDY’de kesit kalınlığı vida dişi açmak için yeterli olan konik çaplı kovanlar elde edilir (Şekil 3.5). SDY’nin sonunda deliklere vida dişi açılacak veya sıvama kılavuzları kullanılacaksa kısa tip takımlar kullanılır. Bu takımlarla delinen deliklerin çapında deliğin alt kısmına doğru daralma olur. Bu takımlar genellikle sürtünmeli delme kılavuzları ile birlikte kullanılırlar ve kovan iç çapının konik olması vida dişi çekme sırasında kılavuzu zorlayabilir. Deliğin konik olmaması durumunda, malzemenin kesit kalınlığı az olduğundan meydana gelen kovanın kesit kalınlığı vida dişi çekmek için yetersiz olur. Bu takımlar, kalınlığı (t) 2mm’den daha az ($t \leq 2\text{mm}$) olan malzemelerin delinmesinde kullanılırlar [17].



Şekil 3.5. Kısa tip sürtünmeli delme takımının kesit görünüşü [17].

3. 7. Kesici Boyunlu Sürtünmeli Delme Takımları

Bu takımların omuz kısımlarında kesici ağızlar oluşturulur (Şekil 3.6). Bu ağızlar, işlem sırasında yumuşayarak takımın ilerleme hareketinin tersi doğrultuda deliğin giriş kısmına doğru akan malzemeyi keserek temizler. Bu takımların kullanıldığı delme işlemlerinde deliğin giriş kısmında sızdırmazlık halkası meydana gelmez.

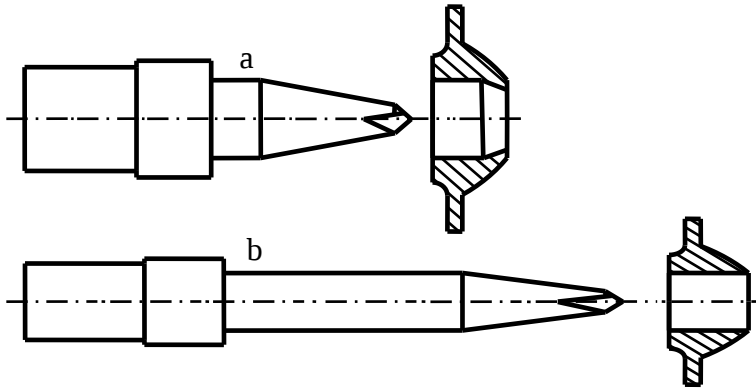


Şekil 3.6. Kesici boyunlu sürtünmeli delme takımlarının kesit görünüşü [17].

a)Kısa tip b)Uzun tip

3. 8. Kesici Ağızlı Sürtünmeli Delme Takımları

Bu takımlarda, takımın ucundan başlayarak konik bölgenin de bir kısmını kapsayacak şekilde, belirli bir yüksekliğe kadar kesici kenarlar mevcuttur (Şekil 3.7). Bu kenarlar, itme kuvvetini yaklaşık olarak 0.33 oranında azalttığı için el matkapları ile uygulanacak SDY’de kullanılırlar. Yüzeyleri galvanizlenmiş iş parçalarının SDY’de, çabuk ergiyen galvaniz kaplanmış tabaka kesilerek erime sonucu meydana gelebilecek yağlama etkisini önler.

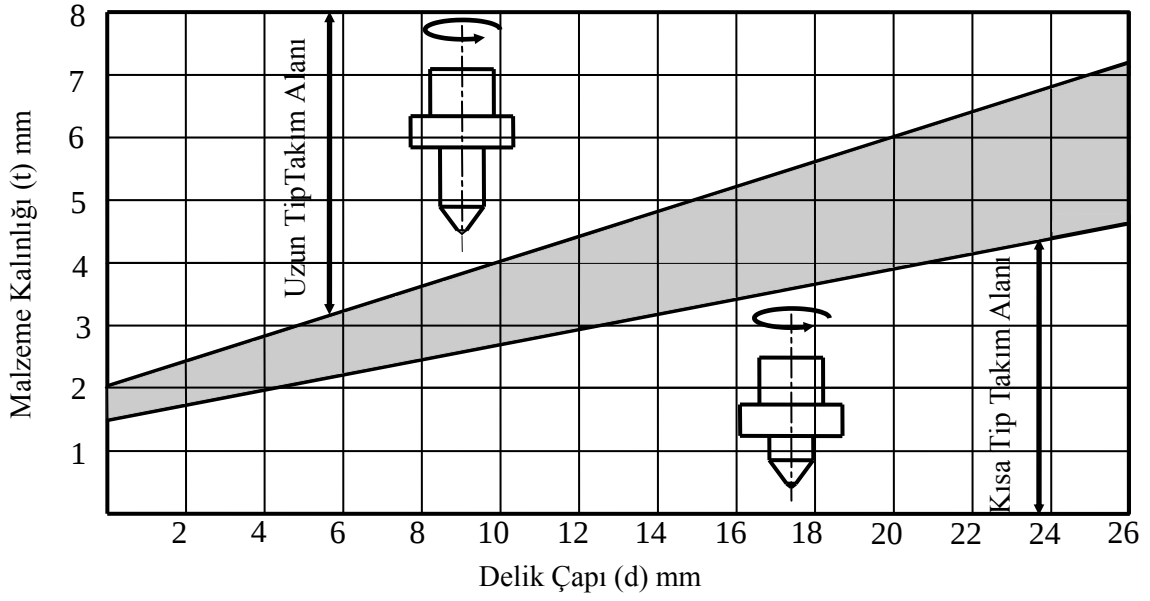


Şekil 3.7. Kesici ağızlı sürtünmeli delme takımlarının kesit görünüşü [17].

a) Kısa tip, b) Uzun tip

3. 9. Malzeme Kalınlığına Göre Sürtünmeli Delme Takımının Seçimi

Sürtünmeli delme takımlarının seçiminde etkili olan en önemli parametrelerden biri malzeme kalınlığıdır. SDY’de kullanılacak uzun ve kısa tip takımların hepsi malzeme kalınlığı (t) parametresine göre seçilirler (Şekil 3.8).



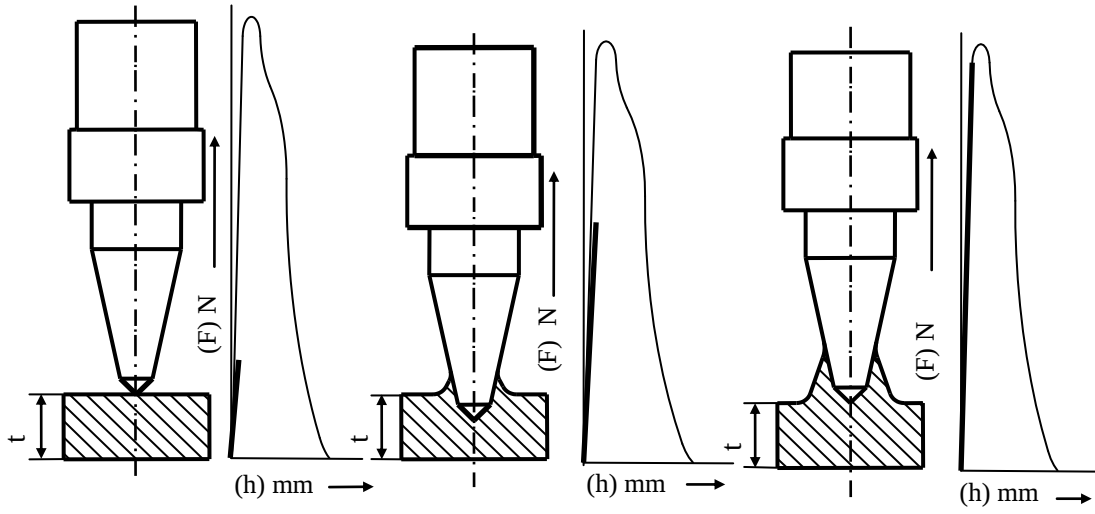
Şekil 3.8. Malzeme kalınlığına göre sürtünmeli delme takımı seçme grafiği [17].

Grafikte gri renge boyanmış o alan, kısa ve uzun tip takımların kesişme alanıdır. Bu alanda seçilecek takım, elde edilecek deliğin kullanım amacına göre belirlenir [17].

3. 10. SDY'nin Aşamaları

SDY, başlangıç aşaması, akma aşaması ve şekillendirme aşaması olmak üzere 3 aşamadan meydana gelir, elde edilen kovanın biçimine, deliğin çapına ve takımın geometrisine bağlıdır. [17].

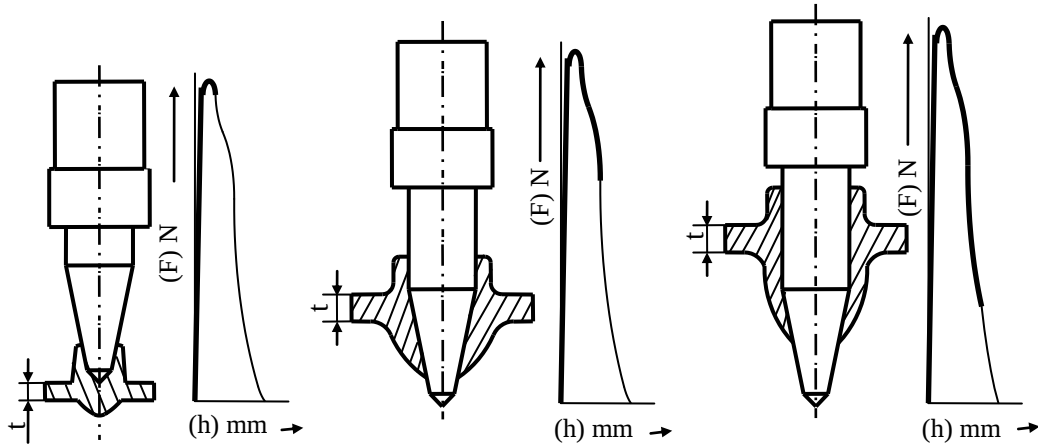
Başlangıç aşamasında takım delme yapmaz, itme kuvvetinin etkisi ile iş parçası eğilir ve deformasyona uğrar. İş parçasının ergimesi ve gerekli olan sürtünme enerjisinin meydana gelebilmesi için takımın devir sayısı ve ilerleme hızı yeterli olmalıdır. Başlangıç aşamasında takım ucu iş parçasına temas eder ve takımın ucu iş parçasına tamamen dalar (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. SDY başlangıç aşamasında, itme kuvveti (F) – takım ilerlemesi (h) arasındaki ilişki[17].

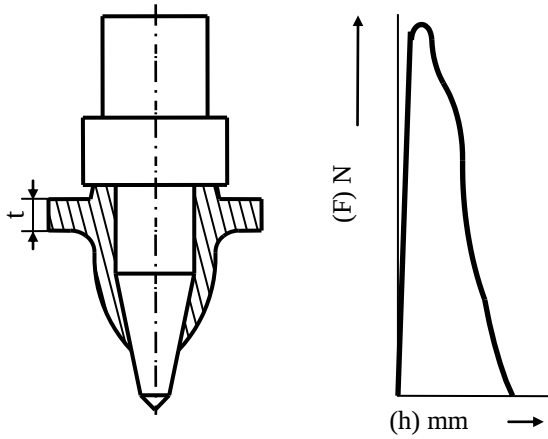
İnce kesitli malzemelerde yüksek ilerleme oranlarında, takım-iş parçası temas alanında yüksek ısı oluşturan itme kuvveti meydana gelir. Takımın uç bölgesinin çapı küçük olduğundan çevresel hızı düşük olur. İnce kesitli malzemelerin SDY’de, takım ucu ile iş parçasının temas alanında yeterli ısı meydana gelebilmesi için yüksek devir sayıları seçilmelidir. Seçilen uygun devir sayısı ve ilerleme hızı ile kısa sürede yeterli ısı oluşur ve iş parçası malzemesi viskoz hale gelir. Bu aşamada meydana gelebilecek itme kuvveti maksimum değerine ulaşır ve yumuşamış malzeme takımın ilerleme hareketinin tersi doğrultuda, delik giriş kısmına doğru akar.

Akma aşamasında, işlemin ısı enerjisi ve takımın ilerleme hızı hızlı bir şekilde artmaya, itme kuvveti ise azalmaya başlar (Şekil 3.10) [17].



Şekil 3.10. SDY’nin akma aşamasında, itme kuvveti (F) – takım ilerlemesi (h) arasındaki ilişki [17].

Şekillenme aşamasında ise takımın silindirik ve konik kısımları tamamen iş parçasına daldığından takımın omuz bölgesi, takımın ilerleme hareketinin tersi doğrultuda delik giriş kısmına doğru akan malzemeyi iş parçasının yüzeyine bastırarak sızdırmazlık halkası oluşturur. Bu aşamada itme kuvveti ikinci kez maksimum değerine yükselir ve takımın geri çekilmesi ile sıfır olur. Kovan oluşumunun tamamlanması ve takımın geri çekilmesi ile SDY tamamlanır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. SDY şekillenme aşamasında, itme kuvveti (F) – takım ilerlemesi (h) arasındaki ilişki [17].

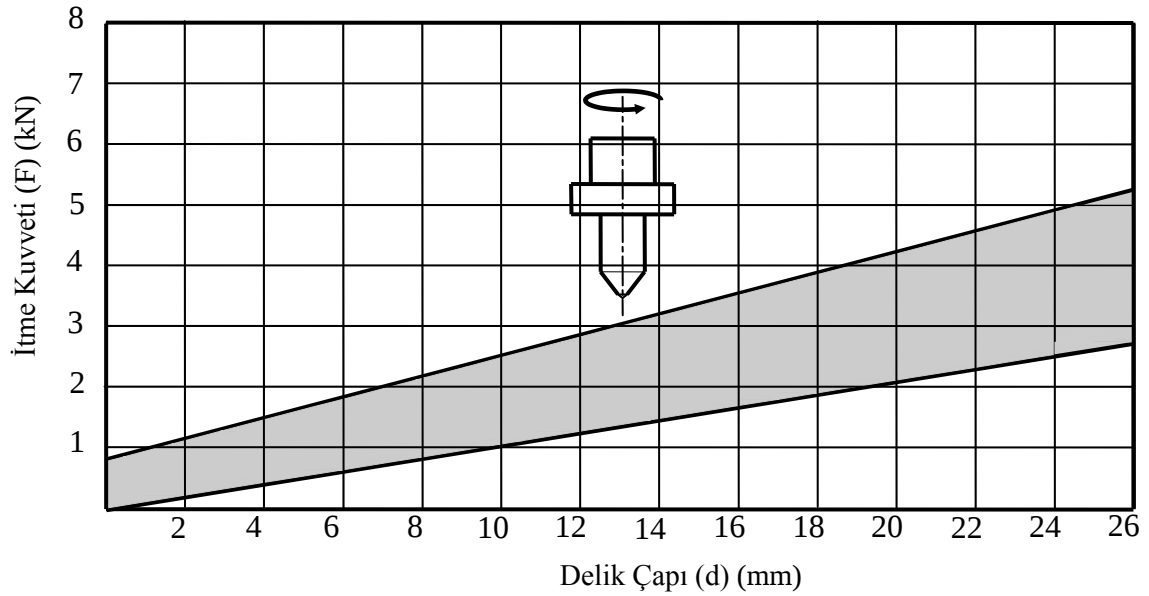
3. 11. SDY’de Meydana Gelen İtme Kuvveti F (N)

SDY’nin başlangıcında, takım ucunun iş parçasına temas ettiği andan itibaren, itme kuvveti hızlı bir şekilde artar ve takım ucunun iş parçasına tamamen dalması anında maksimum değerine ulaşır. Sıcaklığın yükselmesi ve iş parçasının yumuşaması ile itme kuvveti azalmaya ve ilerleme hızı artmaya başlar. Omuz bölgesi, takımın ilerleme doğrultusunun tersi yönünde akan malzemeyi, delik giriş kısmında, iş parçasının yüzeyine bastırmasıyla itme kuvveti yeniden artar. Takımın geri çekilmesi ile itme kuvveti azalır ve işlemin tamamlanması ile sıfır olur. Bu aşamada, iş parçasının sıcaklığı ergimeyi ve malzeme akışını sağlayacak düzeye ulaşmıştır. Gerilme dayanımı yüksek olan malzemelerin SDY’de itme kuvveti büyük olur. İş parçasının ön ısıtma sıcaklığı devir sayısı, malzeme kalınlığının (t) delik çapına (d) oranı ($\frac{t}{d}$) ve delinen delik sayısı arttıkça itme kuvveti azalır, ilerleme hızının artması ile işlem süresi kısalmıştır [4, 8, 10, 15].

SDY’de itme kuvveti 4 aşamada meydana gelir. Birinci aşamada, takım ucunun iş parçasına teması ile itme kuvvetinde ani bir artma olur ve maksimum seviyeye ulaşır.

İkinci aşamada takım, yumuşamış iş parçasına dalar ve itme kuvveti azalmaya başlar. Üçüncü aşamada yumuşamış malzeme, takımın ilerleme ve dönme hareketlerinin etkisiyle aşağı-yukarı doğrultularda hareket ederek kovan ve pul oluşur. Takımın omuz bölgesi, yukarıya akan malzemeyi, iş parçasının yüzeyine bastırmasıyla itme kuvvetinde yeniden artma olur. Dördüncü aşamada ise delme işleminin tamamlanmasıyla takım geri çekilir, itme kuvveti azalır ve sıfır olur [4, 8, 10, 15].

Şekil 3.12’deki grafikte görüldüğü gibi delik çapının artması ile itme kuvveti artmıştır.

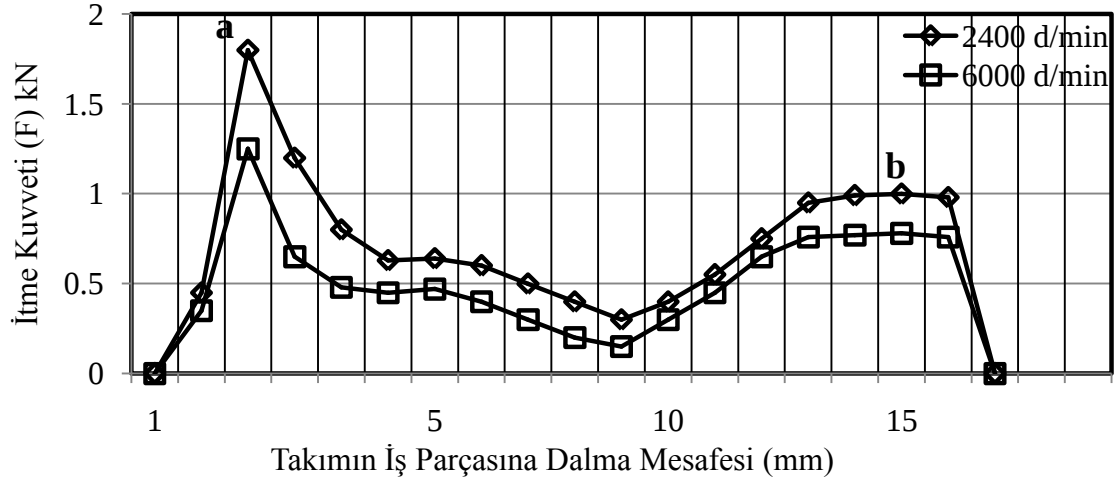


Şekil 3.12. SDY’de itme kuvvetinin delik çapına bağlı olarak değişimi [17].

Grafikte gri renkli alan, çapa göre meydana gelebilecek itme kuvvetini belirleyen alandır. Örneğin, 8 mm çaplı bir deliğin SDY’de meydana gelen maksimum itme kuvveti 2200 N civarında olmuştur. İtme kuvvetinin çok yüksek olması durumunda iş parçasında, meydana gelen ısı miktarı, deformasyon ve takımdaki ısıl gerilme miktarları artar, takım ucu mekanik olarak zorlanır, malzemenin mikro yapısı ve deliğin yüzey pürüzlülüğü kötüleşir [8, 10, 15, 17]. İtme kuvvetinin çok düşük olması durumunda iş parçası yeterince ısınmaz, yumuşamaz, takım ucu aşırı ısınır, aşınır ve takım ömrü kısalmır [17].

SDY’de meydana gelen itme kuvvetinin değeri işlemin başlangıcında ve sonunda sıfır olur. İşlem sırasında, itme kuvveti iki kez artar. Birincisi takım ucunun iş parçasına dalması aşamasında maksimum olurken (Şekil 3.13’te **a** noktası), ikincisi ise takımın omuz kısmının yukarıya akan malzemeyi iş parçasının yüzeyine bastırması aşamasında meydana

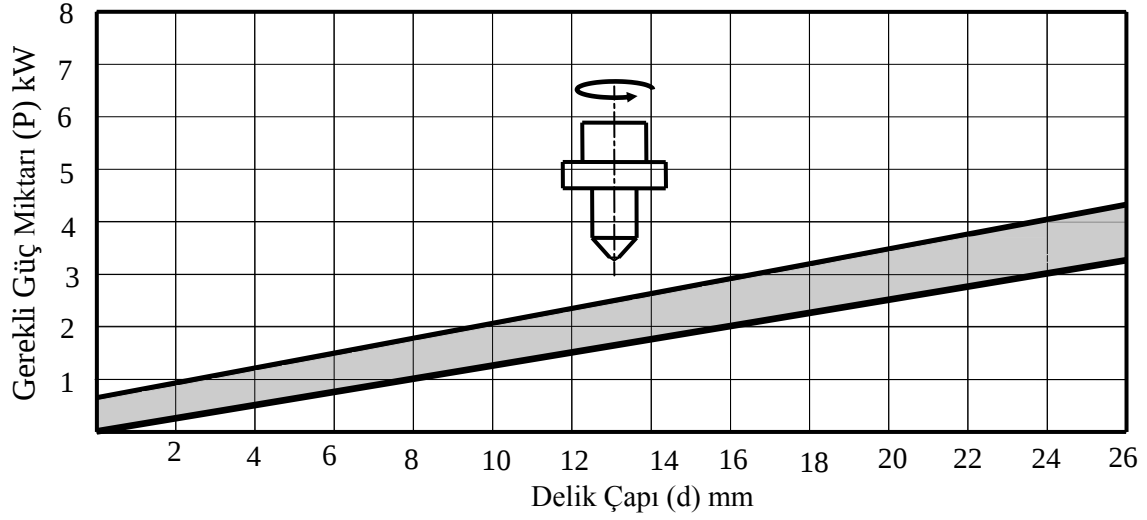
gelmektedir (Şekil 3.13'te **b** noktası). **a** noktasındaki itme kuvveti, **b** noktasındaki itme kuvvetinden daima daha fazla olur [4, 8, 10, 15, 17].



Şekil 3.13. SDY’de itme kuvvetinin takımın dalma mesafesine bağlı olarak değişimi [17].

3. 12. SDY’de Gerekli Olan Güç P (kW)

SDY’de gerekli olan güç, delik çapına, devir sayısına, oluşan ısı miktarına ve takımın geometrisine bağlı olarak değişir. Delik çapının ve takım koniklik açısının azalması ile takım–iş parçası yüzey temas alanı artacağından gerekli olan güç miktarı artar (Şekil 3.14). Devir sayısının artması ile işlem sıcaklığı artar, iş parçası yumuşar ve ergimiş malzeme daha hızlı akar. SDY’de harcanan gücün büyük bir kısmı ısı enerjisine dönüşerek iş parçasına geçer ve güç azalır [8, 17].

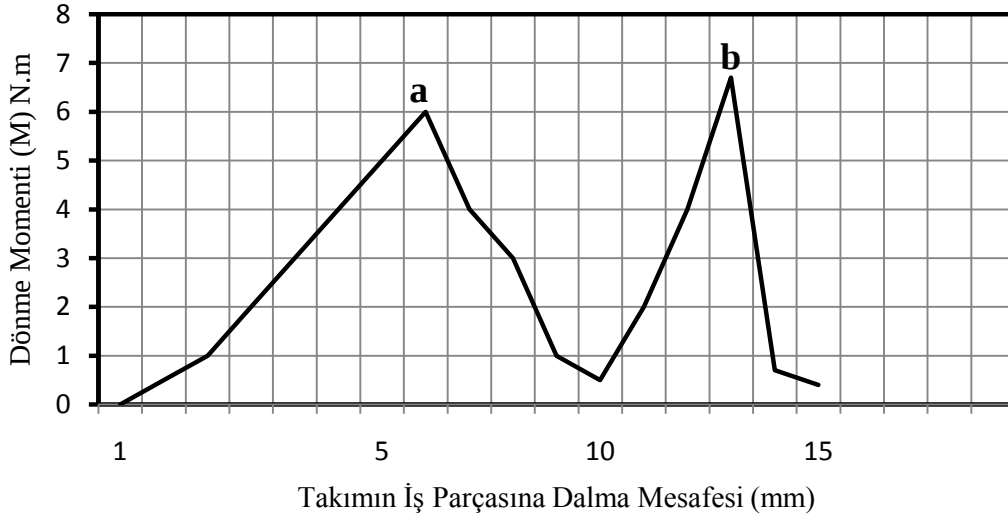


Şekil 3.14. SDY’de güç miktarının delik çapına bağlı olarak değişimi [17].

3. 13. SDY’de Meydana Gelen Dönme Momenti M (N.m)

SDY’de meydana gelen dönme momentinin miktarı, takım-iş parçası temas alanının artması ile artar. Temas alanı, takımın sadece konik yüzeyi ile iş parçası arasındaki temas alanı değil, takımın uç, silindirik, omuz ve konik bölgelerinin toplam yüzey temas alanlarından meydana gelmektedir. Dönme momentinin değeri, itme kuvvetinde olduğu gibi delme işleminin tamamlanması ve takımın geri çekilmesi ile sıfır olmaz. Çünkü takım iş parçasının içerisinde döndükçe, delme işlemi tamamlanmış olsa bile, takım-iş parçası arasında az da olsa temas alanı olur. Bu nedenle dönme momentinin değeri, delme işleminin tamamlanıp, takımın geri çekilmesi ve tamamen iş parçasından ayrılması ile sıfır olur. İşlem sırasında, takımın konik bölgesinin tamamen iş parçasına dalması sırasında dönme momenti yükselir (Şekil 3.15’te a noktası) ve daha sonra iş parçasının yumuşaması ile azalmaya başlar. Takımın omuz kısmı yukarıya akan malzemeyi iş parçasının yüzeyine bastırmasıyla takım-iş parçası temas alanı artacağından, dönme momentinin değeri ikinci kez maksimum olur (Şekil 3.15’te b noktası). Devir sayısı ve malzeme sıcaklığının artması ile dönme momenti azalır, ancak alüminyum v.b. alaşımların SDY’de yüksek devir sayılarında ergiyen malzemenin takıma sıvanması ile

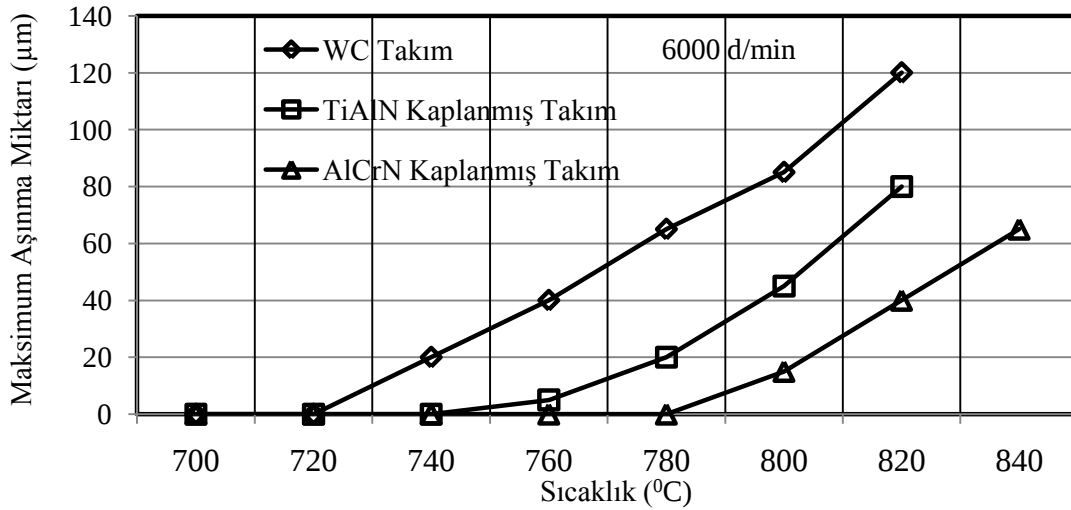
yüzey pürüzlülüğü kötüleşir, dönme momenti ise fazla azalmaz [4, 8, 15]



Şekil 3.15. SDY’de dönme momentinin takımın dalma mesafesine bağlı olarak değişimi [4].

3. 14. SDY’de Takımın Yüzey Sıcaklığı ve Takım Aşınması

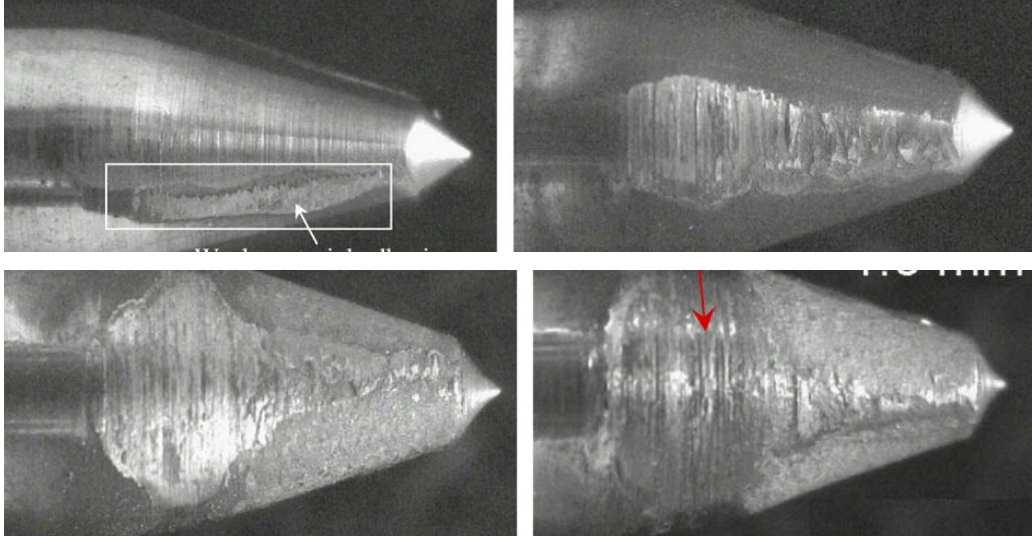
SDY’de kullanılan takımların yüzey sıcaklığını etkileyen parametreler, devir sayısı, delinen delik sayısı ve takım malzemesinin ısı iletkenlik katsayısıdır. Devir sayısının artması ile takım–iş parçası temas bölgesinde meydana gelen ısı miktarı artar. Takım malzemesinin ısı iletkenlik katsayısının azalması ile meydana gelen ısı, takım tarafından iletilemez ve takımın yüzeyinde depolanır. İletkenlik katsayısı yüksek olan takımların yüzeylerine, AlCrN, TiAlN v.b. ısı iletkenlik katsayısı düşük malzemeler kaplandığında takımın yüzey sıcaklığının artması ile takımın bünyesinde bulunan Cr, Co v.b. elementler iş parçasına, iş parçasının bünyesinde bulunan Fe v.b. elementler ise difüzyon ve yapışma etkisiyle takıma geçmektedir. Yapışma etkisiyle Fe v.b. elementlerin takıma geçmesi ile takım aşınır ve ömrü azalır (Şekil 3.16) [4, 10].



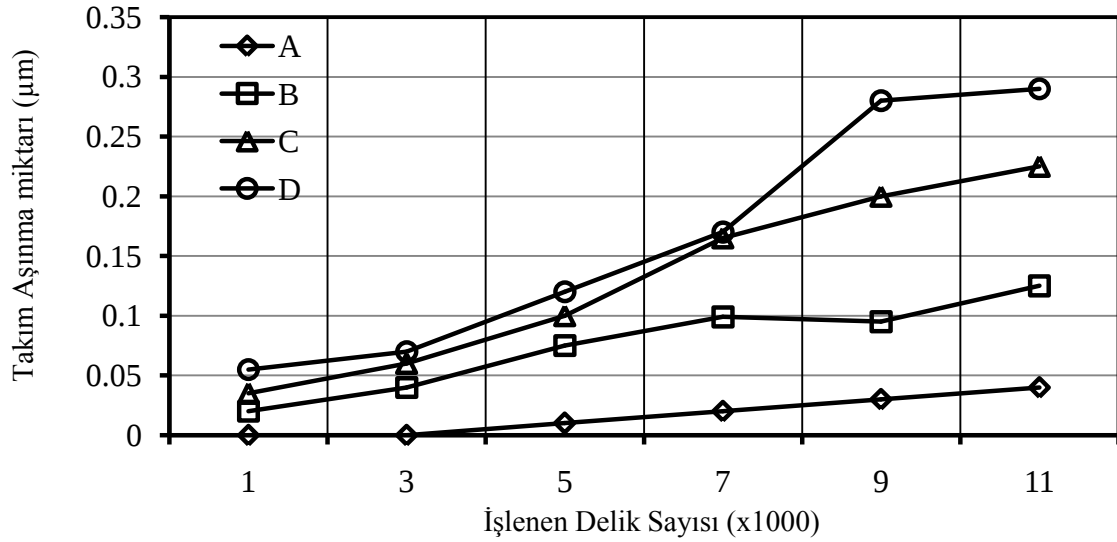
Şekil 3.16. SDY'de takım aşınmasının sıcaklığa bağlı olarak değişimi [4].

SDY'de, adhezyon, difüzyon, oksidasyon ve abrasyon aşınma mekanizmaları etkilidir. Takımın konik ve uç bölgelerinde adhezyon ve oksidasyon aşınma mekanizmalarında meydana gelen silindirik oyuklar abrasyon aşınmayı artırır. Devir sayısı ve delinen delik sayısının artması ile temas alanında meydana gelen ısı miktarı artacağından takım aşınması da artar. Çok yüksek devir sayılarında, kaplanmamış ve kaplanmış takımların yüzey sıcaklıkları ve aşınma miktarları arasındaki fark azalmaktadır. Kaplanmış takımlarda, kaplanmış tabaka işlem sırasında katı yağ tabakası görevi yaparak aşınmayı azaltır ve takım ömrünü artırır. Takım ucunda meydana gelen aşınma, takım ucunu sivrileştirerek (uç açısının değerini düşürerek) itme kuvvetini, gerekli güç ile harcanan enerji miktarlarını ve dönme momentini azaltır (Şekil 3.17.a) [4, 10].

SDY'de takımın konik bölgesi ve takım ucu en fazla aşınmaya maruz kalan bölgelerdir. Uç bölgesinden sonra en fazla aşınmanın meydana geldiği kısımlar sırasıyla uç bölgesinin orta kısmı, konik-silindirik bölgelerin geçiş bölgesi ve silindirik bölge takip etmektedir (Şekil 3.17) [10].



a

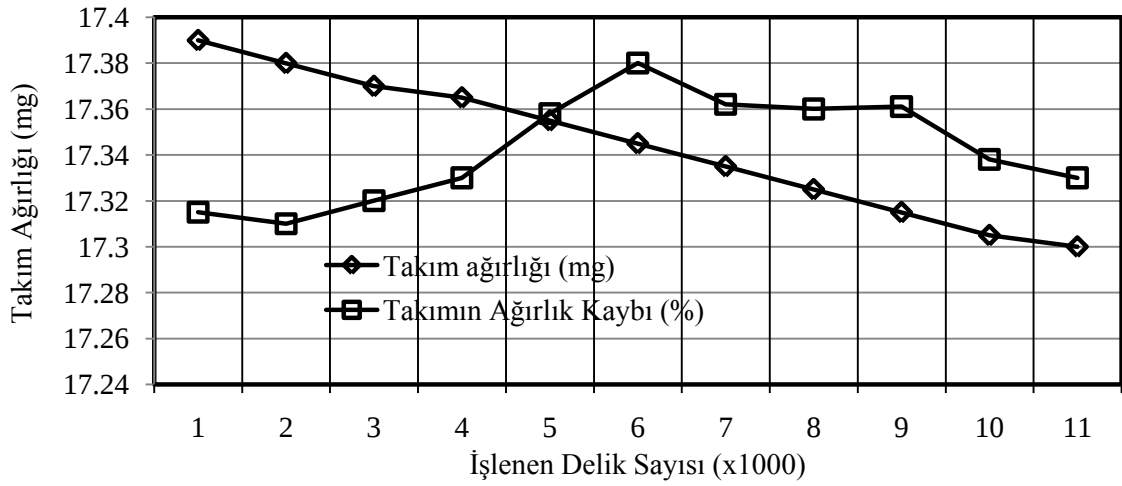


b

A) Takımın konik bölgesine yakın silindirik kısmı, B) Takımın silindirik–konik bölgelerinin geçiş kısmı, C) Takım uç bölgesinin orta kısmı, D) Takım ucu.

Şekil 3.17. SDY’de a) ucu, konik bölgesi ve konik – silindirik bölgelerin geçiş bölgesi aşınmış takım resimleri, b) takımın aşınmaya maruz kalan kısımların grafiği [10].

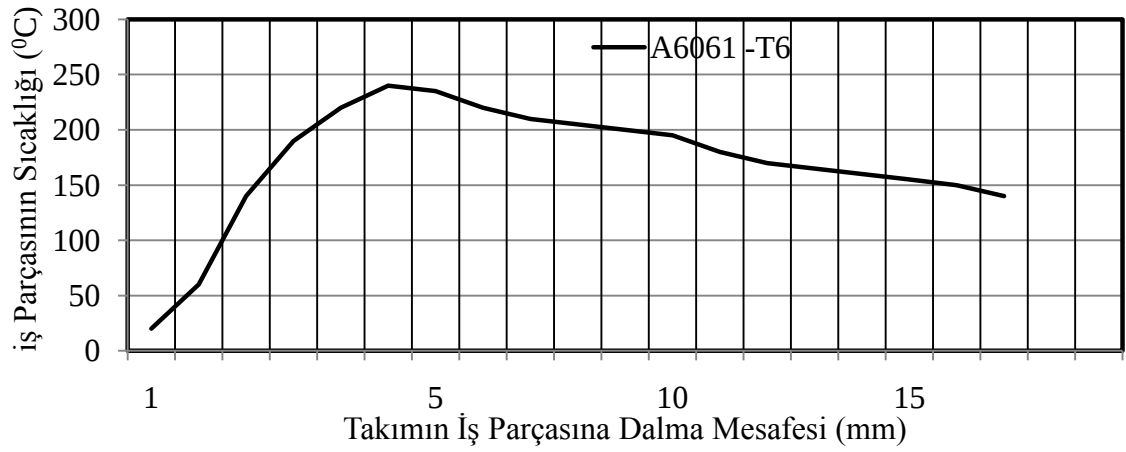
SDY’de delinen delik sayısının artması ile takım aşınır ve kütle kaybına uğrar. İşlenen ilk deliklerde yapışan malzemeden dolayı takımın ağırlığı artar. Delik sayısının artması ile aşınma mekanizması aktif hale gelir, takım daha fazla aşınır ve takımda kütle kaybı meydana gelir (Şekil 3.18) [10].



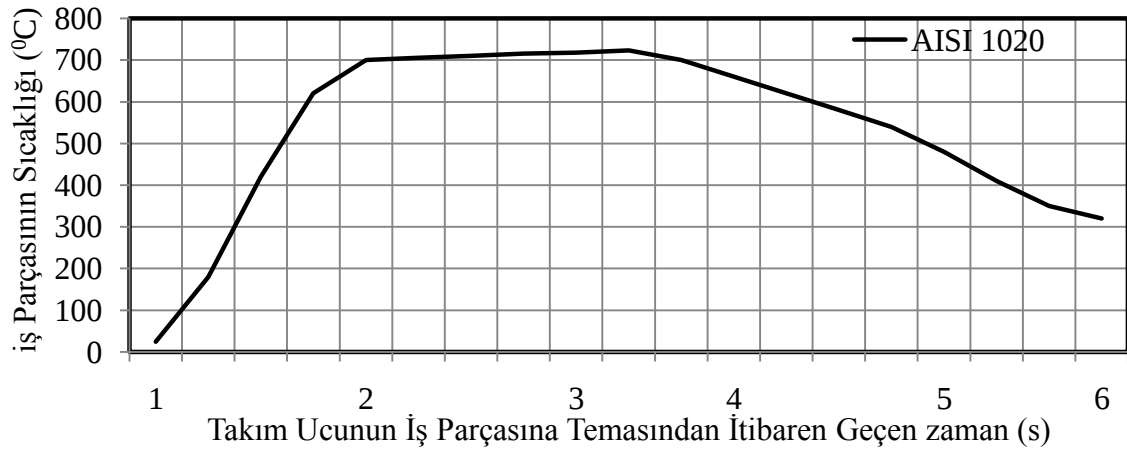
Şekil 3.18. SDY’de takım aşınması, d) takım ağırlığı ve takımın % olarak ağırlık kaybı [10].

3. 15. SDY’de İş Parçasının Sıcaklığı ve Kovan Biçimi

SDY’de, iş parçasının maksimum sıcaklığı yaklaşık olarak ergime sıcaklığının $\frac{1}{3}$ - $\frac{1}{2}$ ’si arasında olmaktadır. Büyük bir kısmı devir sayısı tarafından üretilen sıcaklığın çoğu iş parçasına geçer, iş parçasının sünekliğini artırır ve iş parçasını yumuşatır. Isıl iletkenlik katsayısı yüksek olan iş parçası ve takım malzemeleri, meydana gelen ısıyı temas alanından uzaklaştırarak ergime için gerekli olan ısı miktarını azaltır, sıcaklığı düşürür, yeterince sünek ve yumuşak olmayan iş parçasında elde edilen kovan biçimi bozulur (Şekil 3.19) [4, 8, 15, 16].



(a)



(b)

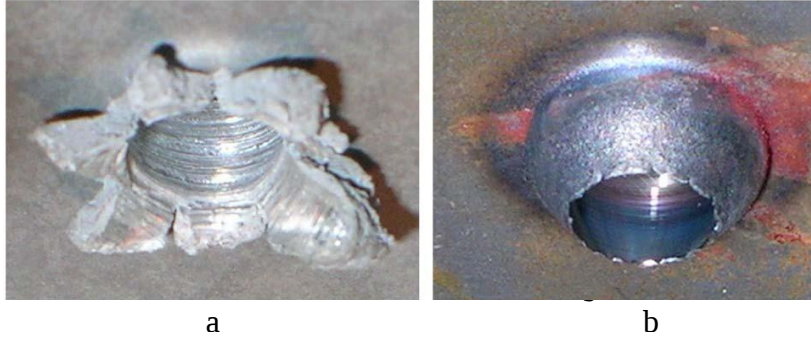
- a) A6061 –T6 malzemesinin sürtünmeli delme işleminde takımın iş parçasına dalma mesafesine [15],
b) AISI 1020 malzemesinin sürtünmeli delme işleminde takım ucunun iş parçasına temasından itibaren geçen zamana bağlı olarak değişimi [14].

Şekil 3.19. SDY’de iş parçası sıcaklığının değişimi

SDY’de oluşan kovanın biçimi ve delik derinliği ölçülmesi zor fakat önemli iki parametredir. Bu iki parametre SDY’de kaliteyi belirleyen kovan biçimi, kovanın daireselliği, çeper kalınlığı, yüksekliği ve deliğin yüzey pürüzlülüğünü etkiler. Taç yaprağı biçiminde meydana gelen kovanda çatlaklar yoğun olduğundan bağlantı uzunluğu kısadır.

(t) iş parçası kalınlığının, (d) delik çapına oranı $\left(\frac{t}{d}\right)$ azaldıkça, kovandaki çatlak sayısı ve kovanın taç yaprağı biçiminde meydana gelme olasılığı artar (Şekil 3.20.a) [3, 4, 15, 16].

SDY’de meydana gelen kovan biçimi gevrek malzemelerde taç yaprağı biçiminde meydana gelirken, sünek malzemelerde ise çatlakların olmadığı, silindirik ve bağlantı uzunluğunu artıracak biçimde oluşur. Ancak ön ısıtılma durumunda iş parçasının sünekliği ve meydana gelen kovanın kalitesi artırılabilir. (Şekil 3.20.b) [3, 4, 8].



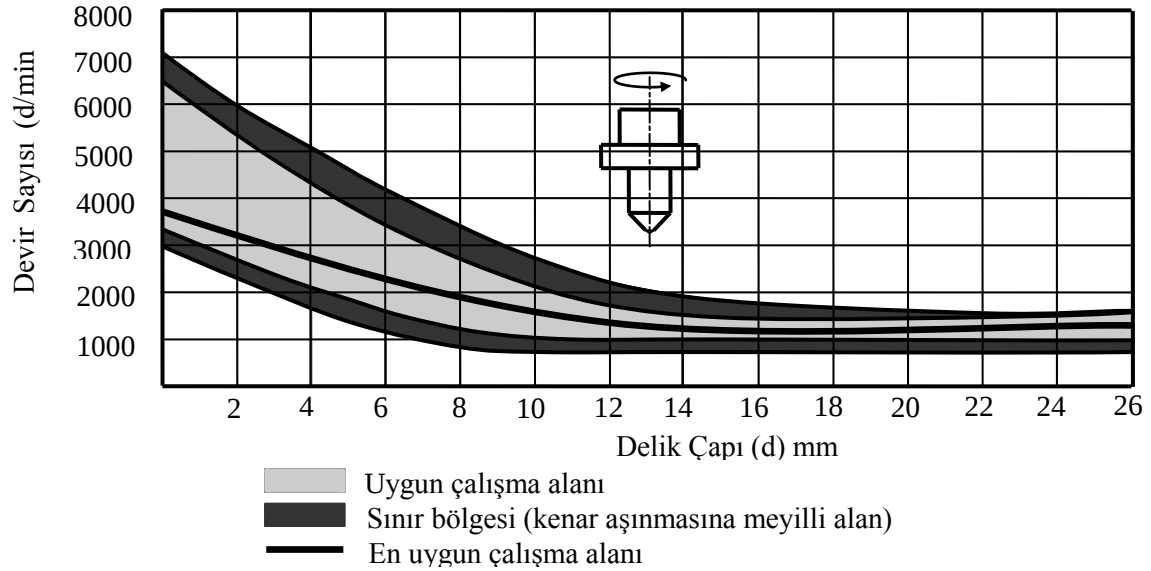
Şekil 3.20. a) Gevrek(Al380), **b)** Sünek (AISI 1020) malzemelerin SDY’de oluşan kovan biçimleri [8].

3. 16. SDY’de Devir Sayısının Önemi

SDY’de devir sayısının artması ile itme kuvveti, dönme momenti, yüzey pürüzlülüğü (R_a) azalırken, kovanın biçiminde bir değişiklik olmaz, takım-iş parçası temas bölgesinde sıcaklık artar ve kovanın taç yaprağı biçiminde meydana gelme olasılığı artar. SDY’de devir sayısı, meydana gelen ısı miktarı ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkili parametredir. Devir sayısının çok yüksek olması durumunda, ergimiş malzeme delik yüzeylerine sıvanarak yüzey kalitesini olumsuz etkiler. SDY’de iş parçasının kalınlığına ve delinecek delik çapına bağlı olarak uygun seçilmiş devir sayısı takım ömrünü artırır [3, 8].

SDY’de takım-iş parçası temas bölgesinde meydana gelen ısı, devir sayısına bağlı olarak değişir. Devir sayısının düşük olması durumunda yüzey temas bölgesinde yetersiz ısı meydana geldiğinden iş parçası malzemesi yeterince ergimez ve itme kuvveti artar. İtme kuvvetinin artması ile iş parçasında çökme ve uygun olmayan kovan biçimi meydana gelir [13]. Isıl iletkenlik katsayısı yüksek olan malzemelerin SDY’de daha yüksek devir sayıları kullanılmalıdır. Gerilme dayanımı yüksek olan yüksek alaşımlı ve paslanmaz çelikler gibi malzemelerin SDY’de daha düşük devir sayıları kullanılır. Delme işleminin sonunda takım geri çekildiğinde, düşük sıcaklıktan dolayı yeterince ergimemiş ve takımın yüzeyine

sıvanmış malzeme, kazıma etkisiyle delik yüzeyinin pürüzlülüğünü artırır ve takım ömrünü kısaltır. Takım çapına bağlı olarak en uygun devir sayısı Şekil 3.21’deki grafikten seçilebilir [17].



Şekil 3.21. SDY’de devir sayısının delik çapına bağlı olarak değişimi [17].

3. 17. SDY’de İlerleme Hızının Önemi

İlerleme hızının artması ile itme kuvveti ve gerekli olan güç miktarı artar. İtme kuvvetinin hızlı bir şekilde artması, pratik olarak İlerleme hızının yüksek olduğunun göstergesidir. Takımın iş parçasına dalma zamanı ilerleme oranına bağlıdır. SDY’de harcanan enerji miktarı, ilerleme hızından bağımsızdır [8].

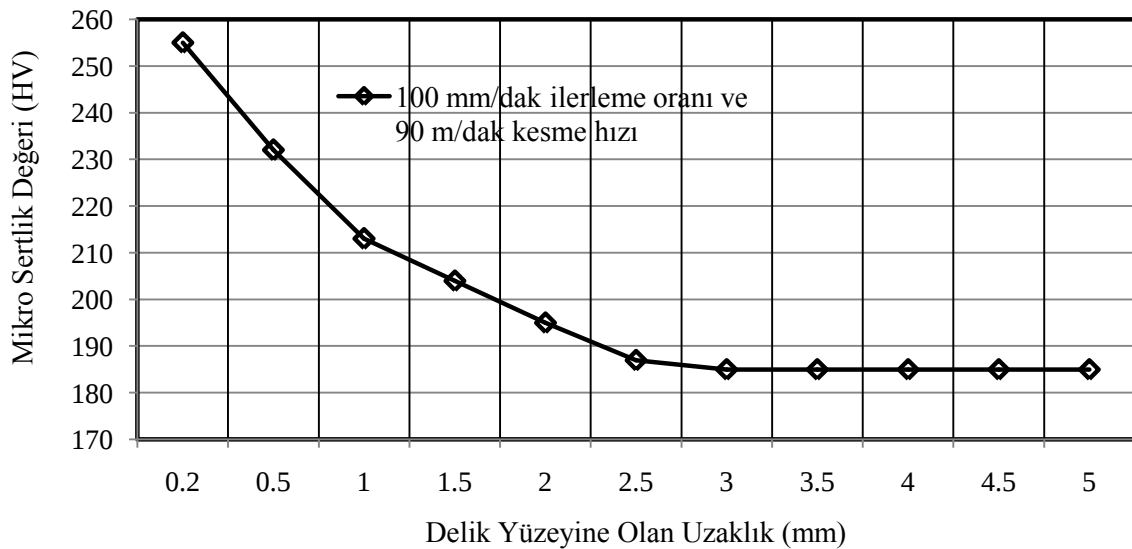
Yüksek ilerleme hızlarında, takım–iş parçası ara yüzeyindeki ısı oluşumu azalır, iş parçası yeterince yumuşamaz, yeterince ergimemiş malzeme deliğin dyüzeyine sıvanır ve yüzey kalitesi (Ra) bozulur, düşük devir sayılarında ilerleme hızının deliğin daireselliğine etkisi daha fazladır. SDY’de ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğü ve delinen deliğin daireselliği üzerindeki etkisi, devir sayısının etkisinden daha azdır. İlerleme hızının çok düşük olması durumunda temas alanında meydana gelen ısı miktarı artar, SDY’nin süresi uzar ve delinen deliğin yüzeyinde farklı soğuma bölgeleri meydana gelir. Deliğin giriş kısmına yakın yüzeyinin alt kısımları daha hızlı soğuduğundan takım iş parçasına yapışır ve yüzey kalitesi bozulur [3, 4, 13].

3. 18. SDY’de Takımın Koniklik Açısı (β)’nın Önemi

SDY takımlarının koniklik açısı, takım–iş parçası temas alanını belirleyen önemli bir parametredir. Koniklik açısının azalması ile konik bölgenin uzunluğu ve takım–iş parçası temas alanı artarken, koniklik açısının artması ile temas alanı azalır [4]. Temas alanının artması ile takım–iş parçası ara yüzeyinde sürtünme enerjisi ile meydana gelen ısı miktarı artar, işlem sırasında dengeli bir ergime meydana gelir ve deliğin yüzey kalitesi artar [8,14].

3. 19. SDY’de Isıl İşlem, Mikro Yapı ve Malzemenin Mikro Sertliği

SDY tamamlandıktan sonra deliğin yüzeyi hızlı bir şekilde hava akımına maruz kalır ve soğur. Delik yüzeyi, iç bölgelere göre daha hızlı soğur. Bu nedenle en küçük tane boyutu ve en büyük mikro sertlik değerleri delik yüzeyinde meydana gelmektedir. Delik yüzeyinden uzak bölgeler, hava akımına direkt maruz kalmadığından, iş parçasının ısıl iletkenlik katsayısına bağlı olarak daha yavaş soğur. Böylece delik yüzeyinden iç bölgelere doğru ara yüzeyde meydana gelen ısının uzaklaşma ve ısıl işlem süresi uzadığından daha iri taneli ve yumuşak bir mikro yapı oluşur. Isıl iletkenlik katsayısı yüksek olan malzemelerde ise ara yüzeydeki ısının uzaklaşma ve ısıl işlem süresi kısa olduğundan tane boyutu küçük ve mikro sertlik değeri ise büyük olur (Şekil 3.22) [3].



Şekil 3.22. SDY’de mikro sertlik değerinin delik yüzeyine olan mesafeye bağlı olarak değişimi [3].

[illegible]

Şekil 3.23. SDY’de delik yüzeyinden itibaren metalografik görüntü ve mikro sertlik ölçüm mesafesi [3].

İlerleme hızı mikro sertlik değerini etkilemez. Yüksek devir sayılarında ısınan bölgenin alanı fazla, soğuma süresi uzun, tane boyutu büyük ve mikro sertlik değeri düşük olur. Düşük dönme hızlarında ise ısınan bölgenin alanı az, soğuma süresi kısa, tane boyutu küçük ve mikro sertlik değeri ise yüksek olur. Isınan bölgenin artması ile iş parçasının soğuma süresi, malzemenin ısıl iletkenlik katsayısına bağlı olarak değişir. ısıl iletkenlik katsayısı yüksek malzemelerde soğuma süresi, ısıl iletkenlik katsayısı düşük olan malzemelere göre daha kısadır. İş parçasının iç bölgeleri hava akımına maruz kalmadığından soğuma, malzemenin ısıl iletkenlik katsayısına bağlı olarak yavaş bir şekilde gerçekleşir (Şekil 3.23).

29

değeri ile aynı olmuştur. Mikro sertlik değerinin iş parçasının mikro sertlik seviyesine düşme mesafesi, iş parçası malzemesinin ısıl iletkenlik katsayısına ve işlem sırasında oluşan sıcaklık değerine bağlı olarak değişir [3, 13, 14].

4. MATERYAL ve METOT

4.1. Çalışmanın Amacı

SDY, inşaat, otomotiv, tesisat v.b. birçok alanda yaygın olarak kullanılan ince kesitli malzemelerde bağlantı uzunluğunu artıran, önemli bir imalat yöntemidir. Bu yöntemde, devir sayısı, ilerleme hızı, takım geometrisi, takım malzemesi, işlenecek malzemenin kalınlığı ve cinsi gibi parametrelerin işlem üzerinde önemli etkisi vardır. SDY ile ilgili yapılmış çalışmalarda, bağlantı uzunluğunu artıran kovanın yüksekliği, kovanın kesit kalınlığı, pul yüksekliği, kovanın ve pulun dış çapı gibi parametreler hakkında yeterli çalışmalar yapılmamıştır. Yapılan çalışmalarda kovanın biçimi, 1–2mm malzeme kalınlıkları ve 8mm'den daha küçük delik çapları için araştırılmıştır. Değişen malzeme kalınlığı ve delik çapları ile sonucun nasıl değişeceği bilinmemektedir.

Bu çalışmanın amacı, otomotiv ve havacılık endüstrisinde yaygın olarak kullanılan plaka, boru, v.b. biçimlerdeki ince cidarlı A7075–T651 alüminyum alaşımının ve birçok alanda yaygın olarak kullanılan St 37 malzemelerin konstrüksiyonlarında ilave malzeme gerekliliği ve kaynaklı birleştirmelerde meydana gelebilecek gerilmeler elimine edilerek mukavemetin artırılması amaçlanmıştır. Havacılık sanayinde özellikle de uçak kanatlarının yapımında ve otomotiv endüstrilerinde kullanılan, çökeltme sertleşmesi uygulanmış A7075–T651 ve imalat alanında yoğun bir şekilde kullanılan St 37 plakalarının bağlantılarında bağlantı mukavemetini artırmak ve değişik kalınlıklardaki malzemelere değişik delik çapları için uygulanabilirliğini araştırmaktır. Devir sayısının (d/min), ilerleme hızının (mm/min), takımın geometrisinin ve malzeme cinsinin, iş parçasının kalınlığı ve cinsinin, delik çapının; yüzey pürüzlülüğüne, kovanın yüksekliğine ve biçimine, sızdırmazlık halkasına, kovanın dış çapına, mikro sertlik ve mikro yapıya, vida sıyrma kuvvetlerine etkisini analiz etmektir. SDY ve GDY'de vida sıyrma kuvvetine etki eden parametreleri, mikro yapı ve mikro sertlikte değişikliklerin bağlantı mukavemetine etkilerini incelemektir.

4.2. Deneysel Çalışmalar

4.2.1. İş Parçalarının ve Takımların Kimyasal bileşimleri ve Mekanik Özellikleri

Bu çalışmada deney malzemesi olarak 2mm, 4mm ve 6mm kalınlıklarında, 70x500mm ebatlarında, A7075-T651 ve St37 plakalar kullanılmıştır. Altek Metal Ticaret A.Ş. Fabrikalarının analiz raporlarına, [17–19] kaynaklarına ve Fırat Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölüğü Taramalı Elektron Mikroskopunda (SEM) çekilen EDX sonuçlarına göre, A7075-T651'in kimyasal bileşimi Tablo 4.1'de, St37'nin kimyasal analizi Tablo 4.2'de, HSS ve WC takımların kimyasal analizleri ise Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.1. A7075 – T651 alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi

Element	t= 2 mm			t= 4 mm			t= 6 mm		
	% (Analiz Sonuçları)	Olması Gereken %(Min-Max)		% (Analiz Sonuçları)	Olması Gereken %(Min-Max)		% (Analiz Sonuçları)	Olması Gereken %(Min-Max)	
Silisyum (Si)	0.08	-	0.4	0.06	-	0.4	0.07	-	0.4
Demir (Fe)	0.28	-	0.5	0.27	-	0.5	0.16	-	0.5
Bakır (Cu)	1.67	1.2	2	1.73	1.2	2	1.4	1.2	2
Mangan (Mn)	0.61	-	0.3	0.21	-	0.3	0.04	-	0.3
Magnezyum (Mg)	2.37	2.1	2.9	2.51	2.1	2.9	2.5	2.1	2.9
Krom (Cr)	0.19	0.18	0.28	0.18	0.18	0.28	0.19	0.18	0.28
Çinko (Zn)	5,76	5.1	6.1	5,97	5.1	6.1	5,8	5.1	6.1
Titanyum (Ti)	0.036	-	0.2	0.05	-	0.2	0.06	-	0.2
Geriye Kalan (Al)	89.004	91.42	87.32	89.02	91.42	87.32	89.78	91.42	87.32

Tablo 4. St 37 malzemenin kimyasal bileşimi

Element	%	Element	%
Karbon (C)	0.17	Kükürt (S)	0.05
Mangan (Mn)	0.2	Silisyum (Si)	0.4
Fosfor (P)	0.025	Azot (N)	0.009
Geriye Kalan (Fe)			99.721

Tablo 4.3. Kullanılan delme takımının kimyasal bileşimi

Element	HSS Takım			WC Takım
	% (Analiz Sonuçları)	Olması Gereken % (Min–Max)		% (Analiz Sonuçları)
Wolfram (W)	6	1.2	19	-
Krom (Cr)	4	3.75	4	-
Karbon (C)	0.8	0.6	1.6	-
Kobalt (Co)	5	2	14	-
Molibden (Mo)	5	0.7	10	-
Vanadyum (V)	2	1.4	5	-
Geriye Kalan (Fe)	77.2	90.35	46.4	-
Wolfram Karbür (WC)	-	-	-	90
Kobalt (Co)	-	-	-	10

Altek Metal Ticaret A.Ş. Fabrikalarının analiz raporlarına, [17–19] kaynaklarına göre, HSS ve WC takımların mekanik özellikleri Tablo 4.4'te A7075–T651 ve St 37 plakaların mekanik özellikleri ise Tablo 4.5'te, verilmiştir.

Tablo 4.4. Takım Malzemelerinin bazı mekanik ve fiziksel özellikleri

Malzemenin Mekanik Özellikleri	Malzeme cinsi ve Kesit kalınlığı (mm)	
	Yüksek Hız Çeliği (HSS)	Tungsten Karbür (WC)
Maksimum Çalışma Sıcaklığı (°C)	600	1000
Sertlik Değeri	64 HRC	92 HRA
Elastiki modülü (kN/mm ²)	200	600
Poission oranı	0.30	0.24
Isıl İletkenlik Katsayısı (W/m-K)	21	84
Erime Sıcaklığı (°C)	1540	2850
Yoğunluğu (g/cm ³)	8.67	14.5

Tablo 4.5. Deney numunelerinin mekanik özellikleri

Malzemenin Mekanik Özellikleri	Malzeme cinsi ve Kesit kalınlığı (mm)				
	A707 –T6 (2mm)	A707 –T6 (4mm)	A707–T651 (6mm)	St 37 (2mm)	St 37 (4 ve 6mm)
Akma dayanımı (N/mm ²)	567	580	605	235	
Çekme dayanımı (N/mm ²)	490	505	550	340	
Kayma Gerilmesi (N/mm ²)	331			370	
Sertlik Değeri	150 HB, 53.50 HRA, 175 HV, Mikro Sertliği 191			320 HB	
(%)Uzama	13.4	11.7	10.5	21	26
Elastiklik modülü (kN/mm ²)	71.7			210	
Poisson oranı	0.33			0.3	0.3
Isıl İletkenlik Katsayısı (W/m-K)	130			76	
Erime Sıcaklığı (°C)	635			1530	
Isıl İşlem Sıcaklığı (°C)	413			-	
Çözünürlük Sıcaklığı (°C)	466 – 482			-	
Yaşlandırma sıcaklığı (°C)	121			-	
Yoğunluğu (kg/cm ³)	2.81			7,85	

SDY ile HSS takım kullanılarak A7075-T651 alaşımına 594 adet, WC takım kullanılarak A7075-T651 alaşımı ve St37 çelik malzemelere 162 adet, HSS takımlar kullanılarak A7075-T651 alaşımı ve St37 çelik malzemelere GDY ile 162 adet delik delinmiştir. Toplam 818 adet deney yapılmıştır. Deneylerde kullanılan parametreler Tablo 4.6’da verilmiştir.

Tablo 4.6. Deneysel çalışmada kullanılan parametreler

Deneysel Çalışma Parametreleri			
Devir sayısı (d/min)	2400	3600	4800
İlerleme Hızı(mm/min)	50	75	100
Koniklik Açısı ($^{\circ}$)	24	36	48
Malzeme Kesit Kalınlığı (mm)	2	4	6
Delik Çapı (mm)	8	10	12
Malzeme Cinsi	A7075 –T651	St 37	
Takım Malzemesi	HSS	WC	
Delme Yöntemi	SDY	GDY	

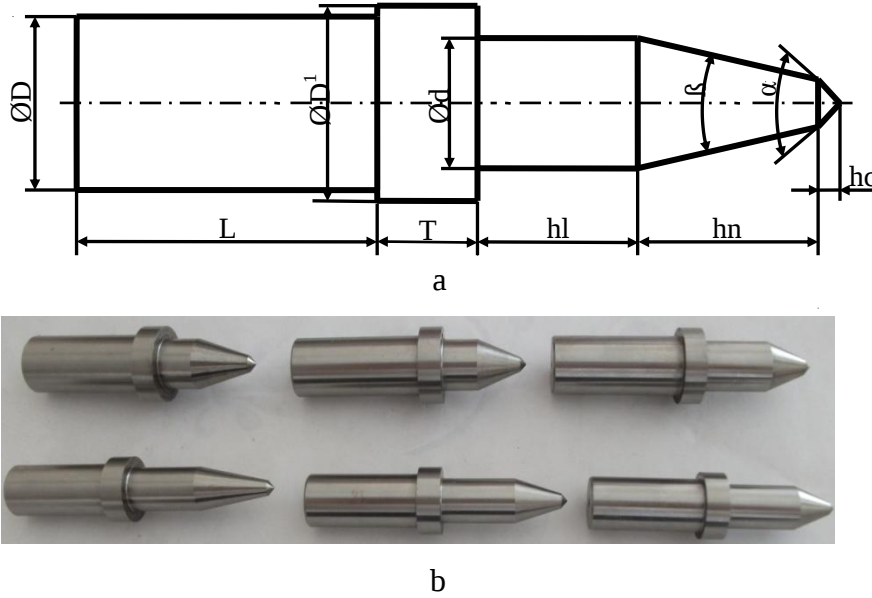
4.2.2. Deneysel Çalışmada Kullanılan SDY ve Matkap Uçları

Deneyslerde HSS ve WC takımlar kullanılmıştır. Takımların boyutları, adedi ve takım sıra numaraları Tablo 4.7’de verilmiştir. 1. – 27. sıra numaralı takımlar HSS, 28. – 30. sıra numaralı takımlar ise WC malzemeden imal edilmişlerdir. SDY’ toplam 81 adet HSS ve 9 adet WC sürtünmeli delme ucu, Ayrıca 8mm, 10mm ve 12mm çaplarında toplam 54 adet HSS matkap uçları kullanılmıştır.

Tablo 4.7. Deneysel çalışmada kullanılan takımların boyutları.

Takım Sıra.No:	ØD	ØD ₁	Ød	h ₁	h _n	h _c	L	Takım Adedi	β	T
1	10	12	8	8	12	1,45	20	3	24 ⁰	5
2	12	15	10	8	15	1,81	25	3		
3	14	18	12	8	18	2,17	30	3		
4	10	12	8	16	12	1,45	20	3		
5	12	15	10	16	15	1,81	25	3		
6	14	18	12	16	18	2,17	30	3		
7	10	12	8	24	12	1,45	20	3		
8	12	15	10	24	15	1,81	25	3		
9	14	18	12	24	18	2,17	30	3		
10	10	12	8	8	8	1,40	20	3	36 ⁰	
11	12	15	10	8	10	1,75	25	3		
12	14	18	12	8	12	2,10	30	3		
13	10	12	8	16	8	1,40	20	3		
14	12	15	10	16	10	1,75	25	3		
15	14	18	12	16	12	2,10	30	3		
16	10	12	8	24	8	1,40	20	3		
17	12	15	10	24	10	1,75	25	3		
18	14	18	12	24	12	2,10	30	3		
19	10	12	8	8	6	1,33	20	3	48 ⁰	
20	12	15	10	8	7,5	1,66	25	3		
21	14	18	12	8	9	1,99	30	3		
22	10	12	8	16	6	1,33	20	3		
23	12	15	10	16	7,5	1,66	25	3		
24	14	18	12	16	9	1,99	30	3		
25	10	12	8	24	6	1,33	20	3		
26	12	15	10	24	7,5	1,66	25	3		
27	14	18	12	24	9	1,99	30	3		
28	12	15	10	16	15	1,81	25	3	24 ⁰	5
29	12	15	10	16	10	1,75	25	3	36 ⁰	
30	12	15	10	16	7,5	1,66	25	3	48 ⁰	

Takımların, $\varnothing D$, $\varnothing D_1$, $\varnothing d$, h_1 , h_n , h_c , L , β ve T geometrik boyutları ve fotoğrafları Şekil 4.1’de gösterilmiştir. HSS takımlar Eris Makine A.Ş., WC takımlar ise Pıksan A.Ş. firmaları tarafından ince silindirik taşlanarak $0.05 - 0.2\mu\text{m}$ yüzey pürüzlülüğü değeri (R_a) ve ± 10 boyut toleranslarında imal edilmiştir.



Şekil 4.1. SDY’de kullanılan takımların geometrik boyutları a) Takımın geometrisi b) Takım fotoğrafları

4.2.3. Deney Düzeneği ve Deneylerin Uygulama Sırası

Deneyler, Diyarbakır Elektro Mekanik Sanayi (TEMSAN) Su Tribünü ve Generatör İmalat Fabrikasının Atölyesinde, HESSAP True-Trace C-360/3D 1095 Model Kopya Freze tezgâhında gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.2.a). Çalışmada 70x500mm boyutlarında hazırlanmış deney numuneleri, bağlama kalıbı (Şekil 4.2.b) aracılığıyla tezgaha rijit bir şekilde bağlanmıştır.



a

b

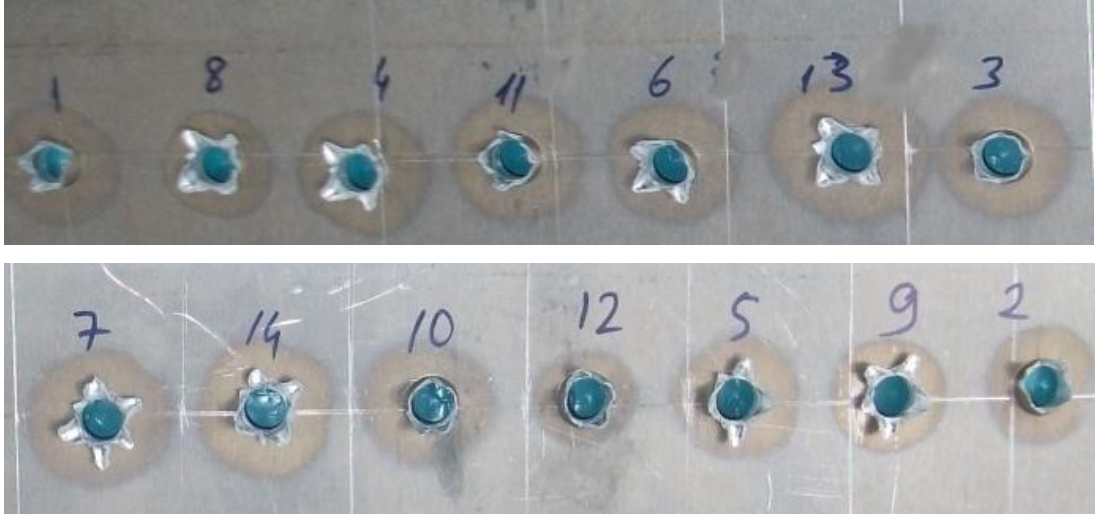
c

Şekil 4.2. SDY'nin uygulandığı tezgah(a), bağlama kalıbı(b) ve deney seti(c)

Deney numunelerine delikler eşit aralıklarla delinmiştir (Şekil 4.3). Deneysel çalışmada sırasında iş parçası sıcaklığının oda sıcaklığına soğuması için gerekli zaman kaybını önlemek için numune üzerindeki delme sırası Şekil 4.3'te gösterildiği gibi ard arda delinmiş delikler birbirlerinden uzakta delinmiştir. Böylece delme işleminde iş parçasının sıcaklığı oda sıcaklığına düşmesi için gerekli olan zamandan tasarruf edilmiştir. Uygulamada iş parçasının ve takımın sıcaklığı oda sıcaklığında olmuştur. İki adet deney numunesine işlenen delik sayısının toplamı, aynı şartlar altında 3 farklı devir sayısı, 3 farklı İlerleme Hızı ve 3 farklı takım silindirik bölgesinin uzunluğu (h_1) şartlarında olmak üzere toplam 27 adet deney sayısına göre belirtilmiştir. Şekil 4.3'te gösterilmiş iki adet numunenin toplamı, deneysel çalışmada kullanılmış bir adet numuneyi, üzerindeki numaralar ise delikleri delme sırasını göstermektedir. Numunenin tamamı sayfaya sığmadığından ikiye bölünerek alt alta gösterilmiştir. Deneyler, 2 adet numuneye toplam 27 delik delinecek şekle tasarlandı. Bu numunelerden birisine 13, diğerine ise 14 adet delik delinmiştir.

Deney numuneleri delme işleminden önce markalanmış, numunelere deney sıra numaraları yazılmış ve numuneler tezgâh tablasına bağlı olan kalıba bağlanarak sabitlenmişlerdir.

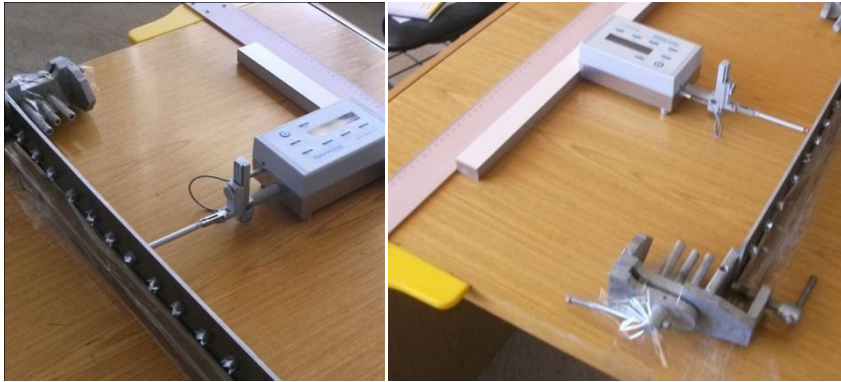
Kovan yüksekliği, iş parçasının yüzeyi referans düzlem olarak seçilmiş ve derinlik mikrometresi ile üç değişik konumda, kovan dış çapları ise 1/100 dijital kumpas ile kovanın iş parçası yüzeyine yakın ve silindirik olan bölgesinde dört farklı konumda ölçülmüş ve elde edilen değerlerin ortalaması alınmıştır.



Şekil 4.3. Sürtünmeli delme işleminde deney numunelerine delik delme sırası (1. Deney Numunesi)
(İkisi de tek bir numunedir. 3. delikten sonra 7. delik gelmektedir)

4.2.4. Yüzey Pürüzlülüğünü Ölçme Düzeneği

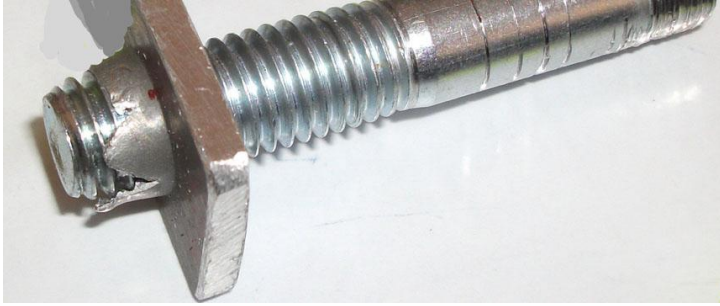
Deliklerin yüzey pürüzlülük değerleri, Taylor Hobson Surtronic 3+ marka yüzey pürüzlülük cihazı ile 0.25cm mesafede ölçülmüştür. Önce numuneler dikdörtgen masaya T cetveli yardımıyla bağlandı ve sabitlendi. Cihazın probu delinmiş deliğin içerisine geçirildi ve probun kenarı T cetvelinin kenarına paralel olacak şekilde deliğin bir kenarına değdirildi, T cetvelinin konumu bozulmadan cihaz delik çapı ile prob çapı arasındaki farkın yarısı kadar numuneye paralel bir şekilde kaydırılarak yüzey pürüzlülüğü ölçüldü. Yüzey pürüzlülüğü ölçme düzeneği Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Yüzey pürüzlülüğü ölçme cihazı ve düzeneği

4.2.5. Çekme Testi Düzenegi

2mm ve 4mm kalınlığındaki numunelere, $h_1=8\text{mm}$ ve $h_1=16\text{mm}$ takım silindirik bölge uzunluklarında, 24° , 36° ve 48° takım koniklik açılarında, 2400d/min, 3600d/min ve 4800d/min devir sayılarında, 50mm/min, 75mm/min ve 100mm/min ilerleme hızlarında, 10mm çapında delinen deliklere M12 kılavuz ile vida dişleri çekilmiştir. M12 bir vida ile çekme testi uygulanmıştır (Şekil 4.5). Çekme testi uygulanan numuneler, HSS takım ile A7075-T651 alaşımına uygulanan SDY'de 109. – 121., 298. – 311. numunelere, HSS matkap uçları ile GDY'de 766. – 789. numunelere ve WC takım ile A7075-T651 alaşımına uygulanan SDY'de 28. – 40. ve 96. – 122. numunelere çekme testleri uygulanmıştır.



Şekil 4.5. Sıyırma kuvveti ölçmeye hazırlanmış ve vida dişi açılmış M12 vida takılmış numune

Şekil 4.6'da görüldüğü gibi çekme testleri, SHIMADZU marka AG – X 50kN kapasiteli çekme cihazına özel aparat ile bağlanarak, 5mm/min çekme hızında çekilmiştir (Şekil 4.6). Çekme işleminde vida dişlerinin sıyırma kuvveti ölçülmüştür.

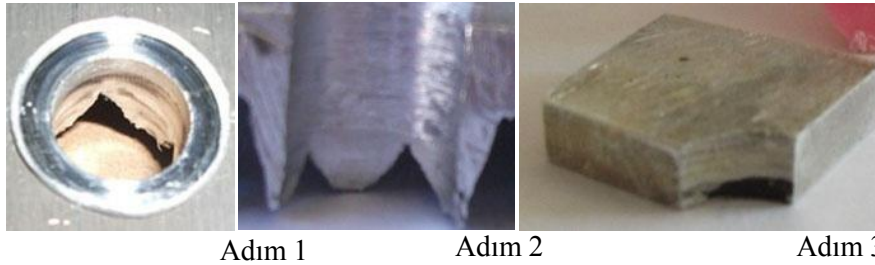


Şekil 4.6. Çekme testlerinin uygulandığı çekme cihazı

4.2.6. Mikro Sertlik Ölçme Düzenegi

4mm kalınlığındaki numunelere, 2400d/min, 3600d/min ve 4800d/min devir sayıları, 75mm/min ilerleme hızı, $h_1=8\text{mm}$ ve $h_1=16\text{mm}$ takım silindirik bölge uzunlukları, 24° , 36° ve 48° koniklik açlarına sahip HSS ve WC takımlarla delinmiş delik yüzeylerinin mikro sertliği ölçülmüş ve deliklerin SEM fotoğrafları çekilmiştir.

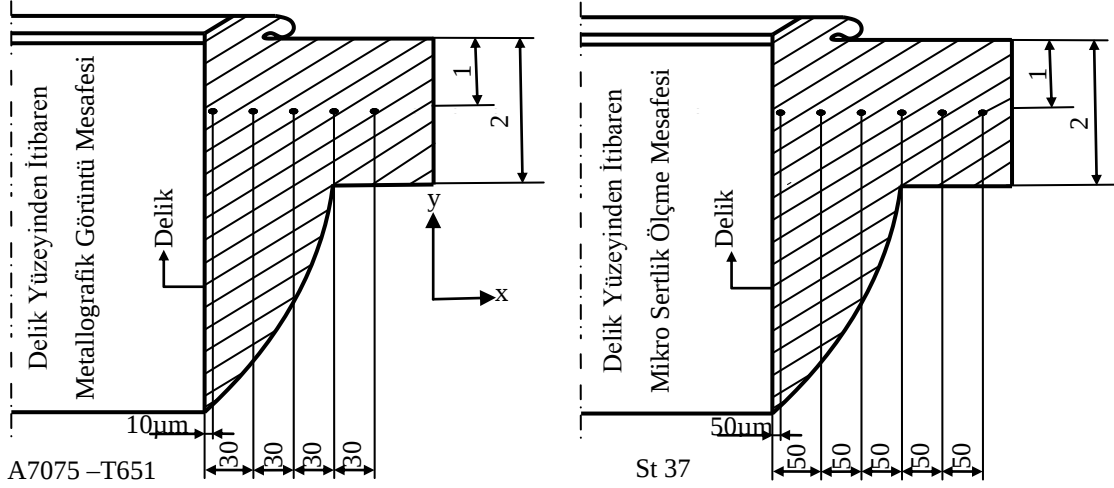
Mikro sertlik testleri ve SEM fotoğraflarının çekimi için numuneler 3 aşamada hazırlanmıştır. Adım 1'de delik bozulmayacak şekilde numuneden kesildi. Adım 2'de kesilmiş numune, delik ekseninden iki eşit parçaya bölündü. Adım 3'te ise Adım 2'de elde edilen numuneler tekrar ikiye bölündü ve elde edilen numunelerin testere ile kesilmiş yüzeyleri ince dişli eğe ile eğelendi, A1200 zımpara kâğıdı ile yüzeyleri zımparalandıktan sonra $1\mu\text{m}$ tane boyutlu elmas pasta ve çuha kullanılarak parlatıldı. A7075–T651 alüminyum numuneler, %5 ml HNO_3 , %1,5 ml HCl , %1 ml HF , %92,5 ml saf su bileşiminden oluşan ve keller olarak adlandırılan dağlayıcı ile yaklaşık olarak 40s, St 37 çelik numuneler ise %10 ml HNO_3 ve %90 ml etil alkol bileşiminden oluşan ve nital olarak adlandırılan dağlayıcı ile yaklaşık olarak 60s dağlanmıştır (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Mikro sertlik testi ve SEM fotoğraflarının çekimi için numuneleri hazırlama aşamaları

A7075 – T651 alüminyum numuneler, dağlama işleminden sonra y ekseninde iş parçası kalınlığının orta çizgisinden, x ekseninde ise delik yüzeyinden $10\mu\text{m}$, $40\mu\text{m}$, $70\mu\text{m}$, $100\mu\text{m}$ ve $130\mu\text{m}$ mesafede olmak üzere toplam 5 noktada mikro sertlik değerleri ölçülmüştür. St37 çelik numunelerin ise delik yüzeyinden itibaren $50\mu\text{m}$, $100\mu\text{m}$, $150\mu\text{m}$, $200\mu\text{m}$ ve $250\mu\text{m}$ ve $300\mu\text{m}$ mesafede, toplam 6 noktada mikro sertlik değerleri ölçülmüştür (Şekil 4.8). Delik yüzeyinden itibaren mikro sertlik ölçüm mesafeleri, sertlik değerinin iş parçası sertlik değerine eşit olduğu ve ısıdan etkilenmiş bölgenin delik yüzeyindeki uzaklığa göre belirlenmiştir. A7075-T651 alaşımında mikro sertlik ölçümlerinin 5 noktada, St37 ise 6 noktada alınması, mikro sertlik değerlerinin

malzemenin kendi mikro sertlik değerine ulaşma mesafesine göre belirlenmiştir. A7075-T651 alaşımında malzeme mikro sertlik değerine delik yüzeyinden en fazla 130 μ m'de St37 çelik malzemede ise en fazla 300 μ m mesafede ulaşılmıştır.



Delik Yüzeyinden İtibaren Mikro Sertlik Ölçme Noktası (mm)

Şekil 4.8.Sürtünmeli delinmiş numuneler üzerinde Mikro sertlik testinin uygulandığı noktalar

Mikro sertlik testleri Şekil 4.9’da gösterilen konumlarda, Future-Tech FM – 700 marka mikro sertlik cihazı ile ölçülmüştür(Şekil 4.9).



Şekil 4.9. Mikro sertlik testlerinin uygulandığı cihaz

4.2.7. Mikro Yapı Fotoğraflarını Çekme Düzeneği

JEOL JSM 7001F Taramalı Elektron Mikroskobu'nda (SEM) 500X büyütmede, termal ve basınç gerilmelerinden dolayı delik yüzeyinde meydana gelen çatlaklar ise 2000X büyütmede çekilmiştir (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. JEOL JSM 7001F Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

5. DENEY SONUÇLARI ve TARTIŞMA

5.1. Yüzey Pürüzlülüğü (R_a) Ölçüm Sonuçları

SDY’de deliğin yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli parametre sıcaklıktır. SDY, ısı etkisiyle malzemenin yumuşaması, viskoz hale gelerek takım tarafından aşağıya doğru itilmesi şeklinde meydana gelmektedir. Bu nedenle devir sayısı (d/min), ilerleme hızı (mm/min), takımın koniklik açısı, iş parçası ve takımın ısıl iletkenlik katsayıları, delik çapı ve iş parçasının kalınlığı parametreleri dolaylı olarak takım-iş parçası temas alanında meydana gelen ısı miktarını etkilediklerinden yüzey pürüzlülüğünü etkilemektedir.

5.1.1. İlerleme Hızının Yüzey Pürüzlülüğüne (R_a) Etkisi

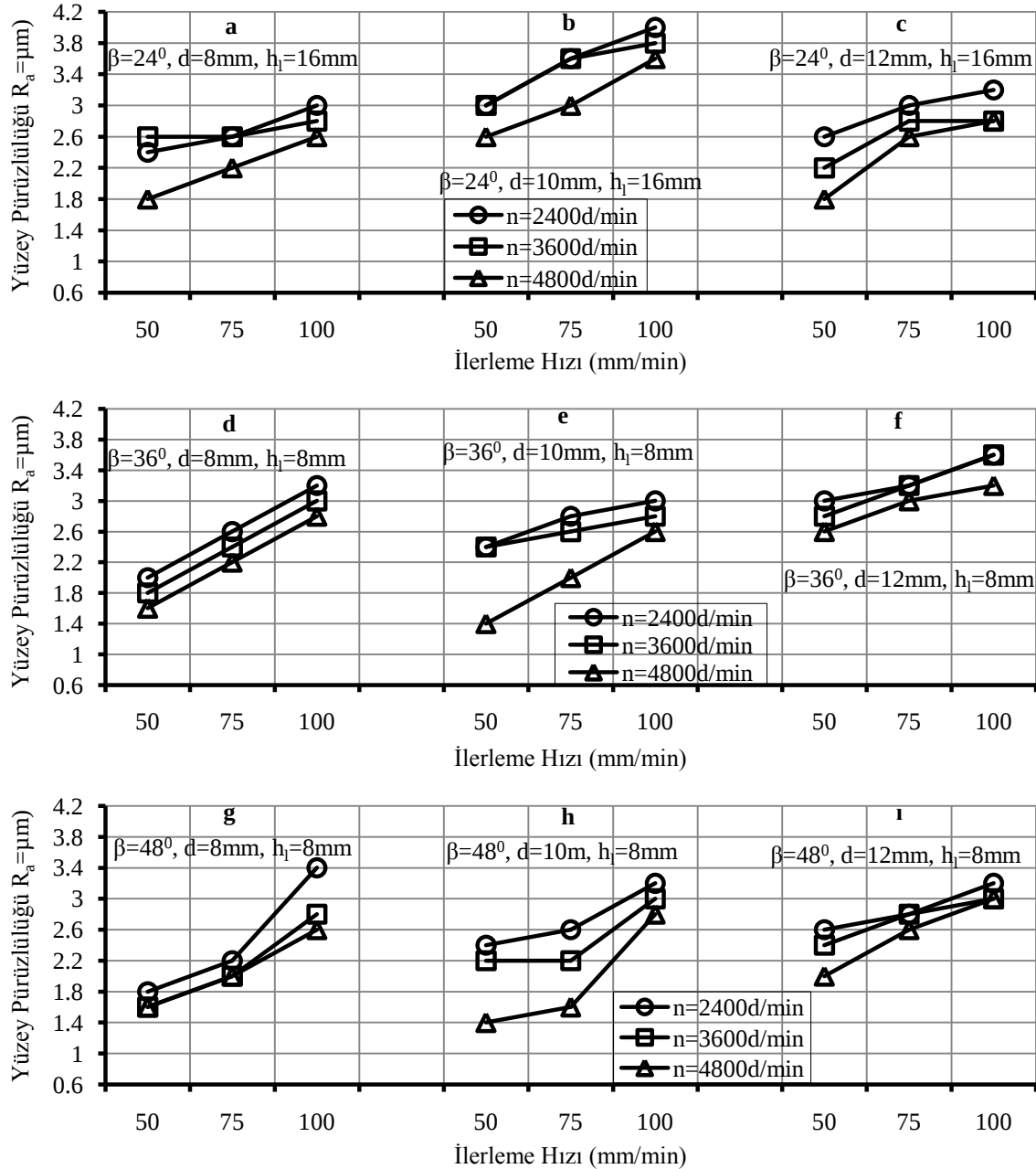
İlerleme Hızının artması ile takım-iş parçası temas alanında meydana gelen ısı miktarı azaldığından malzeme yeterince ergimemiş ve delik yüzeyine sıvanarak yüzey kalitesini olumsuz etkilemiştir. Devir sayısının artması ile takım-iş parçası temas alanında meydana gelen ısı miktarı artmış, malzeme yeterince yumuşamış, viskoz hale gelmiş ve yüzey kalitesi iyileşmiştir. Şekil 5.1–5.3’teki grafiklerde delme parametrelerinin etkileri görülmektedir.

24° koniklik açısında takım–iş parçası temas alanı ve sürtünme etkisi ile meydana gelen ısı miktarı arttığından çapın artması ile artan malzeme yeterince ergimiş, düzenli akmış ve yüzey kalitesi iyileşmiştir. Düşük delik çaplarında ise meydana gelen ısı miktarı fazla olduğundan aşırı şekilde ergimiş malzeme takım tarafından delik yüzeyine sıvanmış ve yüzey kalitesi azalmıştır. 36° ve 48° koniklik açılarında, takım-iş parçası temas alanı azalmış ve meydana gelen ısı miktarı 24° koniklik açısına göre daha az olmuştur.

2mm kalınlığındaki malzemeye delinmiş deliklerin en düşük yüzey pürüzlülüğü, Şekil 5.1. a,b ve c’de 24° koniklik açısında, 10mm çapındaki delik yüzeyinde 1.4µm, d, e ve f’de 36° koniklik açısında, 8mm çapındaki delik yüzeyinde 1.8µm, g, h ve ı’da 48° koniklik açısında, 12mm çapındaki delik yüzeyinde 1.4µm olarak ölçülmüştür.

Artan ilerleme hızı ile işlem sırasında meydana gelen ısı miktarı azalmış, malzemenin ısı etkisiyle yumuşaması ve akması için gerekli olan sıcaklığa ulaşamadığından, delme işleminde deformasyon etkisi fazla olmuş, akan malzeme delik yüzeyine sıvanmış ve yüzey pürüzlülüğü artmıştır.

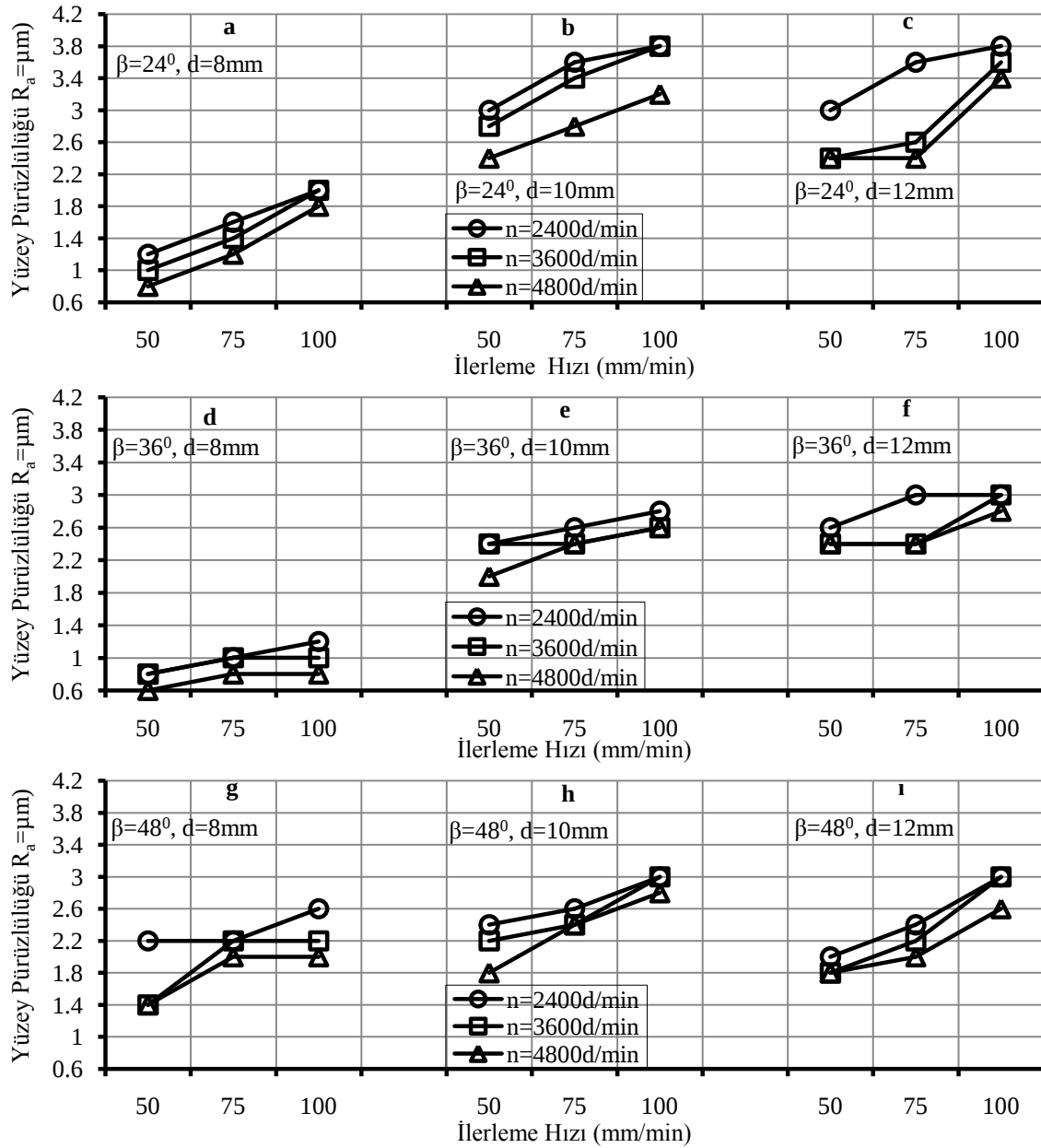
Artan devir sayısı ile takımın konik yüzeyi ile iş parçasının temas alanı üzerinde, birim ilerleme hızındaki devir sayısı arttığından işlem sırasında meydana gelen ısı miktarı artmıştır. Malzeme artan ısı etkisiyle yeterince yumuşamış ve akıcı hale gelmiştir. Akan malzeme deliğin yüzeylerine sıvanmadan, takımın ilerleme doğrultusunda aşağı doğru hareket ettiğinden yüzey kalitesi iyileşmiştir. Şekil 5.1’de en kaliteli yüzeyler 50mm/min’de ve 4800d/min’de, en kötü yüzey kalitesi ise 100mm/min’de ve 2400d/min’de elde edilmiştir.



Şekil 5.1. $t=2$ mm için İlerleme Hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi

4mm kalınlığındaki A7075-T651 malzemeye SDY ile deliklerin delinmesinde, en düşük yüzey pürüzlülüğü, 50mm/min ve 4800d/min’da 8mm çapındaki delik yüzeyinde Şekil 5.2. a, b ve c’de 24° koniklik açısında $0.8\mu\text{m}$, d, e ve f’de 36° koniklik açısında $0.6\mu\text{m}$ ve g, h ve i’de 48° koniklik açısında $1.4\mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür.

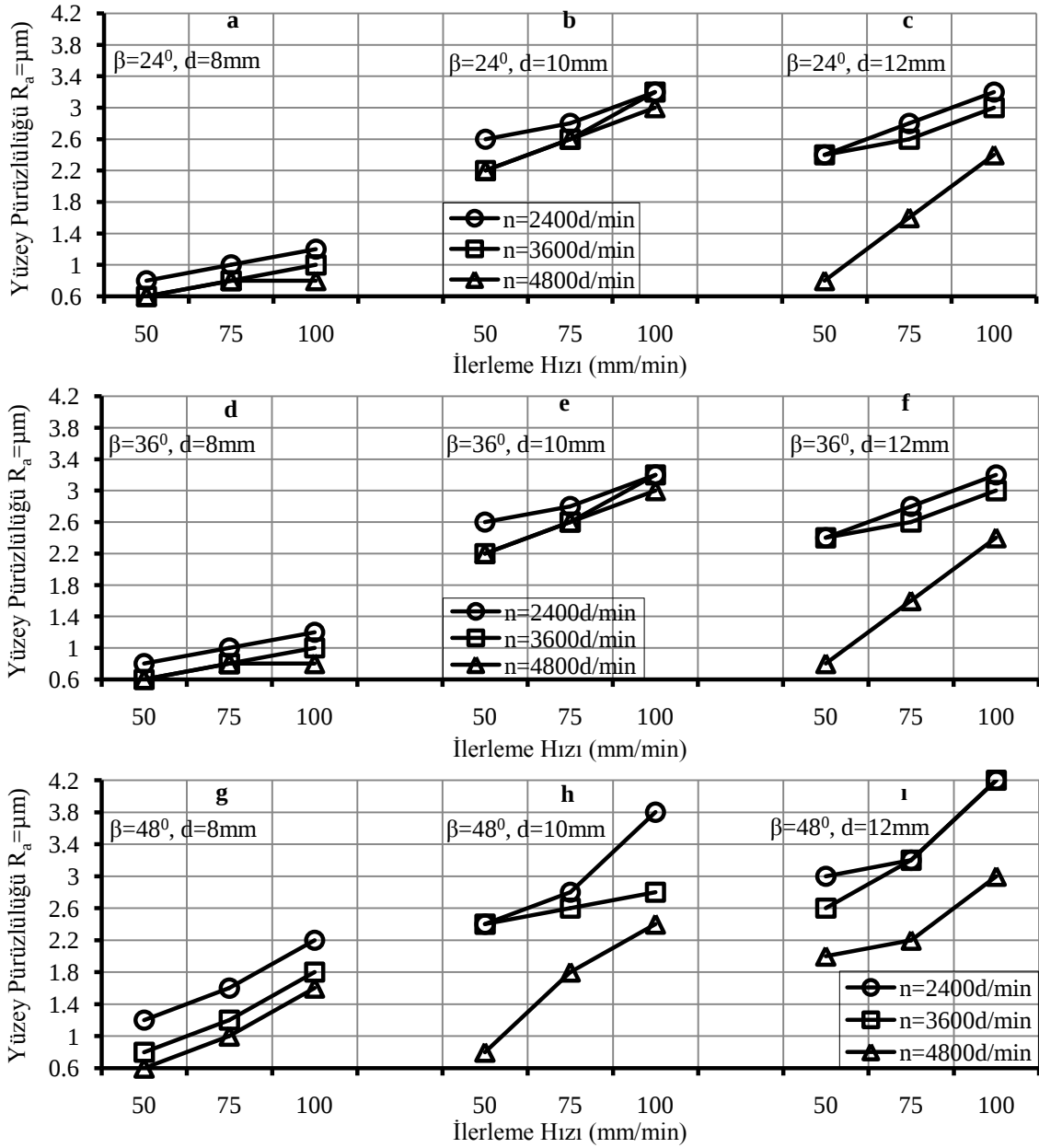
Malzeme kalınlığının 2mm’den 4mm’ye yükselmesi ile ergimesi gereken malzeme miktarı arttığından takım-iş parçası temas alanında meydana gelen en uygun ısı miktarı 8mm çap ve 36° koniklik açısında elde edilmiştir. Delik çapının ve malzeme kalınlığının artması ile delmede boşalan malzeme miktarı arttığından ergime için daha fazla ısı gerekmiştir.



Şekil 5.2. . $t=4\text{mm}$, $h_i=16\text{mm}$ için İlerleme Hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi

6mm kalınlığındaki A7075-T651 malzemeye SDY ile deliklerin delinmesinde en düşük yüzey pürüzlülüğü, Şekil 5.3. a, b ve c’de 24^0 koniklik açısında, 8mm çapındaki delik yüzeyinde 50mm/min, 75mm/min ve 4800d/min’de $1,4\mu\text{m}$, d, e ve f’de 36^0 ’de, 8mm çapındaki delik yüzeyinde 50mm/min, 3600d/min ve 4800d/min’de $0,6\mu\text{m}$, g, h ve ı’da 48^0 koniklik açısında 10mm çapındaki delik yüzeyinde 50mm/min, 75mm/min ve 4800d/min’de $0,6\mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür.

Malzeme kalınlığının 6mm’ye yükselmesi ile takım-iş parçası temas alanı arttığından sürtünme etkisi ile bölgede meydana gelen ısı miktarı, malzemenin ergimesi için yeterli olmuştur. Bu nedenle 6mm kalınlığındaki A7075-T651 malzemede en kaliteli yüzey pürüzlülüğü 8mm çapındaki delik yüzeyinde $0.6\mu\text{m}$, 10mm çapındaki delik yüzeyinde ise $0.8\mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.3. $h_f=16\text{mm}$, $t=6\text{mm}$, için İlerleme Hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi

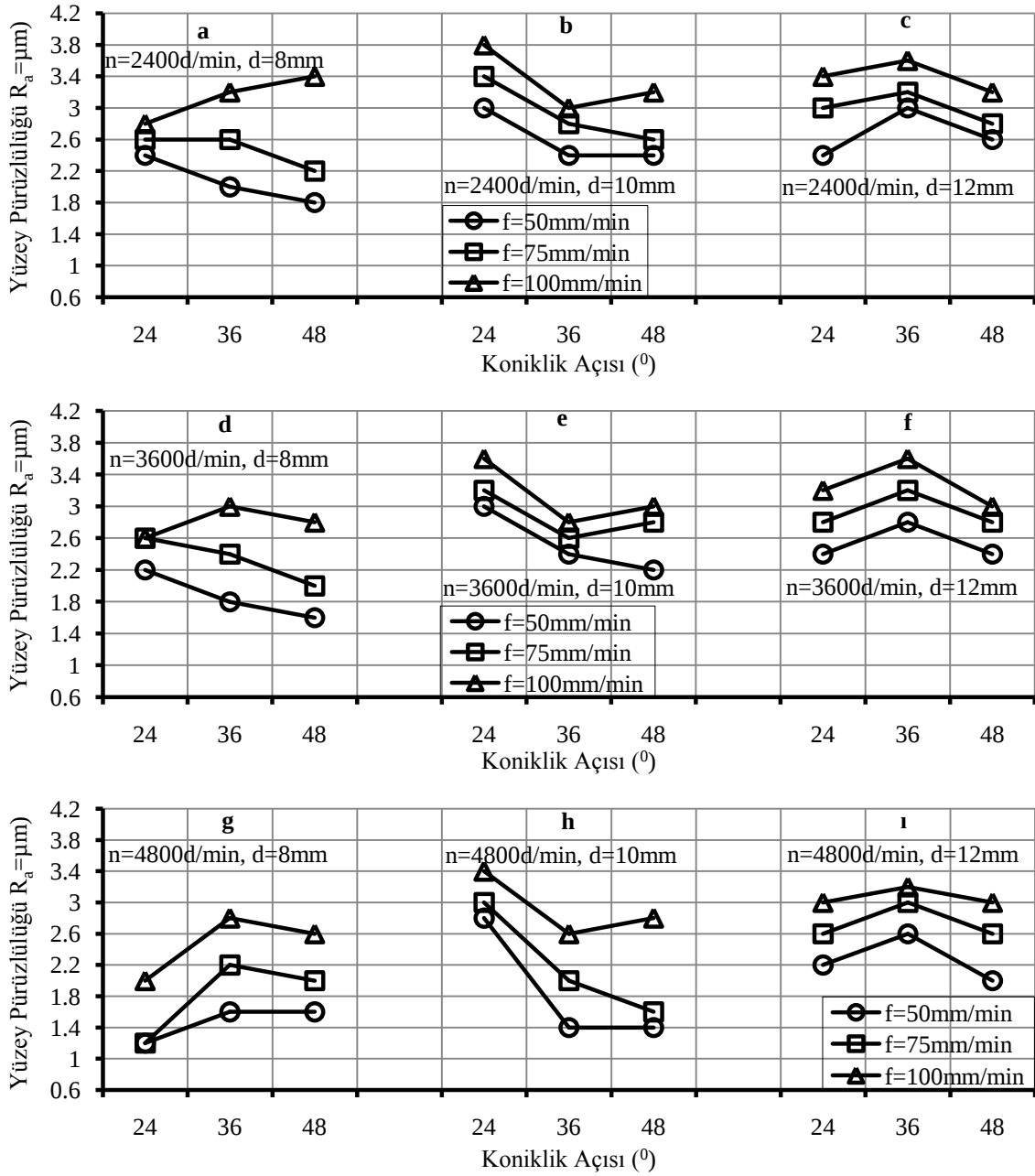
5.1.2. Takım Koniklik Açısının Yüzey Pürüzlülüğüne (R_a) Etkisi

Koniklik açısının azalması ile takım-iş parçası temas alanında meydana gelen ısı miktarı artmıştır. Takım koniklik açısının yüzey pürüzlülüğüne etkisi Şekil 5.4–5.6’daki grafiklerde gösterilmiştir.

Şekil 5.4’te, $h_f=8\text{mm}$ ve $t=2\text{mm}$ için takım koniklik açısının yüzey pürüzlülüğüne etkisi gösterilmiştir. En düşük yüzey pürüzlülüğü, a, b ve c’de 2400d/min, 48° koniklik açısı, 8mm çapındaki delik yüzeyinde $1.8\mu\text{m}$, d, e ve f’de 3600d/min, 48° koniklik açısı, 8mm

apındaki delik yüzeyinde $1.6\mu\text{m}$, g, h ve ı'da 4800d/min, 24^0 koniklik açısı, 50mm/min ve 75mm/min'de, 8mm çapındaki delik yüzeyinde $1.2\mu\text{m}$, 48^0 koniklik açısı, 50mm/min'de, 10mm çapındaki delik yüzeyinde $1.2\mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür.

Delik çapının artması ile boşalan malzeme miktarı artmış, meydana gelen ısı miktarı yetersiz olduğundan malzeme yeterince ergimemiş, takım tarafından yzeeye sıvanmış ve yüzey kalitesi olumsuz etkilenmiştir. $t=2\text{mm}$ A7075-T651'nin 50mm/min ilerleme hızındaki SDY'de en kaliteli yüzeyler, 2400d/min'de, 8mm çapta 48^0 'de, 10mm'de 36^0 'de ve 12mm'de 24^0 'de, 3600d/min'de 8mm ve 10mm'de 48^0 'de, 12mm'de 24^0 'de, 4800d/min'de 8mm'de 24^0 'de, 10mm'de 36^0 'de ve 12mm'de ise 48^0 'de elde edilmiştir. Artan delik çapı ile malzeme miktarı arttığından ergime için daha fazla ısıya gereksinim duyulmuş, gerekli olan ısı miktarı azalan takım koniklik açısı ve artan devir sayısı ile elde edilmiştir.

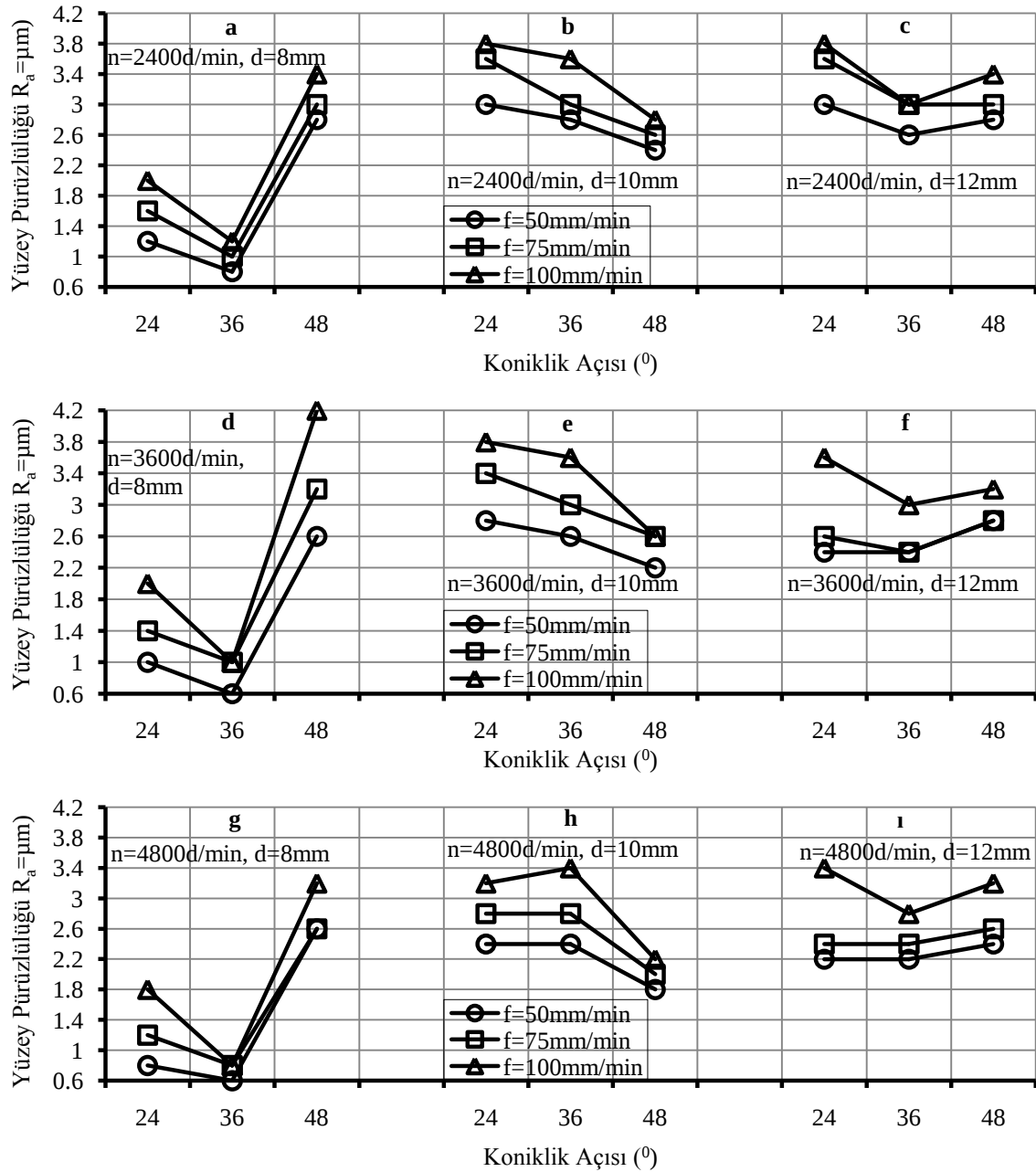


Şekil 5.4. $h_1=8\text{mm}$, $t=2\text{mm}$ için takım koniklik açısının yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Şekil 5.5'te, $h_1=16\text{mm}$, $t=4\text{mm}$ için takım koniklik açısının yüzey pürüzlülüğüne etkisi gösterilmiştir. En düşük yüzey pürüzlülüğü, 36° koniklik açısında, 8mm çapındaki delik yüzeyinde a, b ve c'de 2400d/min 'de $0.8\mu\text{m}$, d, e ve f'de 3600d/min 'de $0.6\mu\text{m}$, g, h ve ı'da 4800d/min 'de $0.6\mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür.

4mm kalınlığındaki A7075-T651 malzemeye SDY ile delinmiş deliklerde, delik çapının artması ile boşalan malzeme miktarı arttığından takım-iş parçası temas alanında sürtünme etkisi ile meydana gelen ısı miktarı yetersiz olmuş, malzeme yeterince viskoz hale

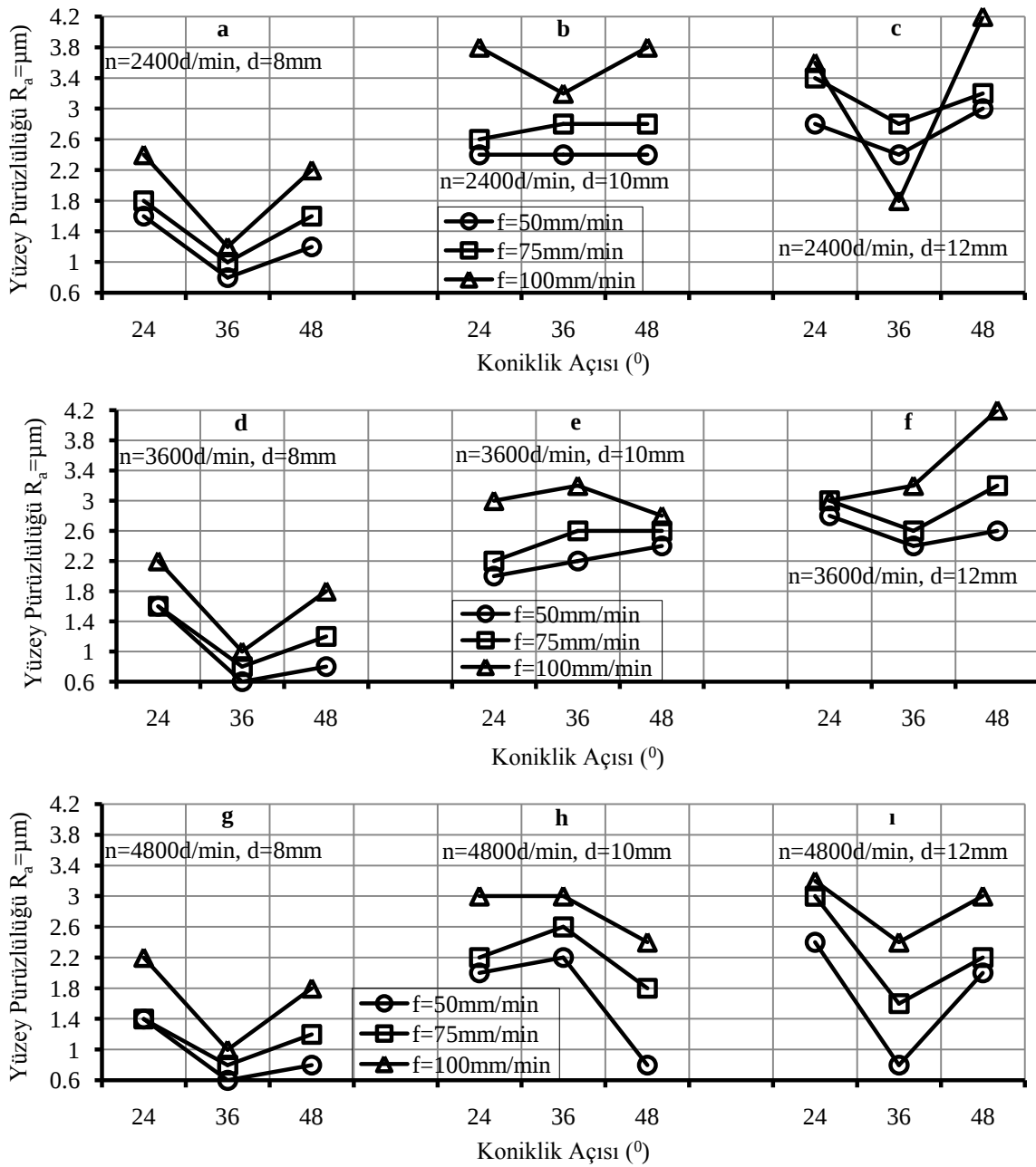
gelerek akmadığından takım tarafından delik yüzeyine sıvanmış ve yüzey pürüzlülüğü artmıştır. Şekil 5.5'te en kaliteli yüzey, 8mm çapındaki delik yüzeyinde, 50mm/min, 36° koniklik açısında, 3600d/min ve 4800d/min'de, en kötü yüzey kalitesi ise 48° koniklik açısında, 3600d/min ve 100mm/min'de elde edilmiştir.



Şekil 5.5. $h_1=16\text{mm}$, $t=4\text{mm}$ için takım koniklik açısının yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Şekil 5.6'da, $h_1=16\text{mm}$, $t=6\text{mm}$ için takım koniklik açısının yüzey pürüzlülüğüne etkisi gösterilmiştir. En kaliteli yüzey pürüzlülüğü, a, b ve c'de 2400d/min'da 8mm çapındaki delik

yüzeyinde $0.8\mu\text{m}$, d, e ve f'de 3600d/min 'da 8mm çapındaki delik yüzeyinde $0.6\mu\text{m}$, g, h ve i'de 4800d/min , 8mm çapındaki delik yüzeyinde, $0.6\mu\text{m}$, 10mm çapındaki delik yüzeyinde $0.8\mu\text{m}$, 12mm çapındaki delik yüzeyinde ise 36° koniklik açısında $0.8\mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Koniklik açısının artması ile takım-iş parçası temas alanı ve meydana gelen ısının miktarında meydana gelen azalma devir sayısının artması ile giderilmiş ve çapı büyük deliklerin SDY ile delinmesinde yüzey kalitesi iyileşmiştir. Yüzey kalitesi kriterine göre A7075-T651 malzemesinin SDY ile delinmesinde 36° koniklik açısı en uygun açı olduğu görülmüştür.

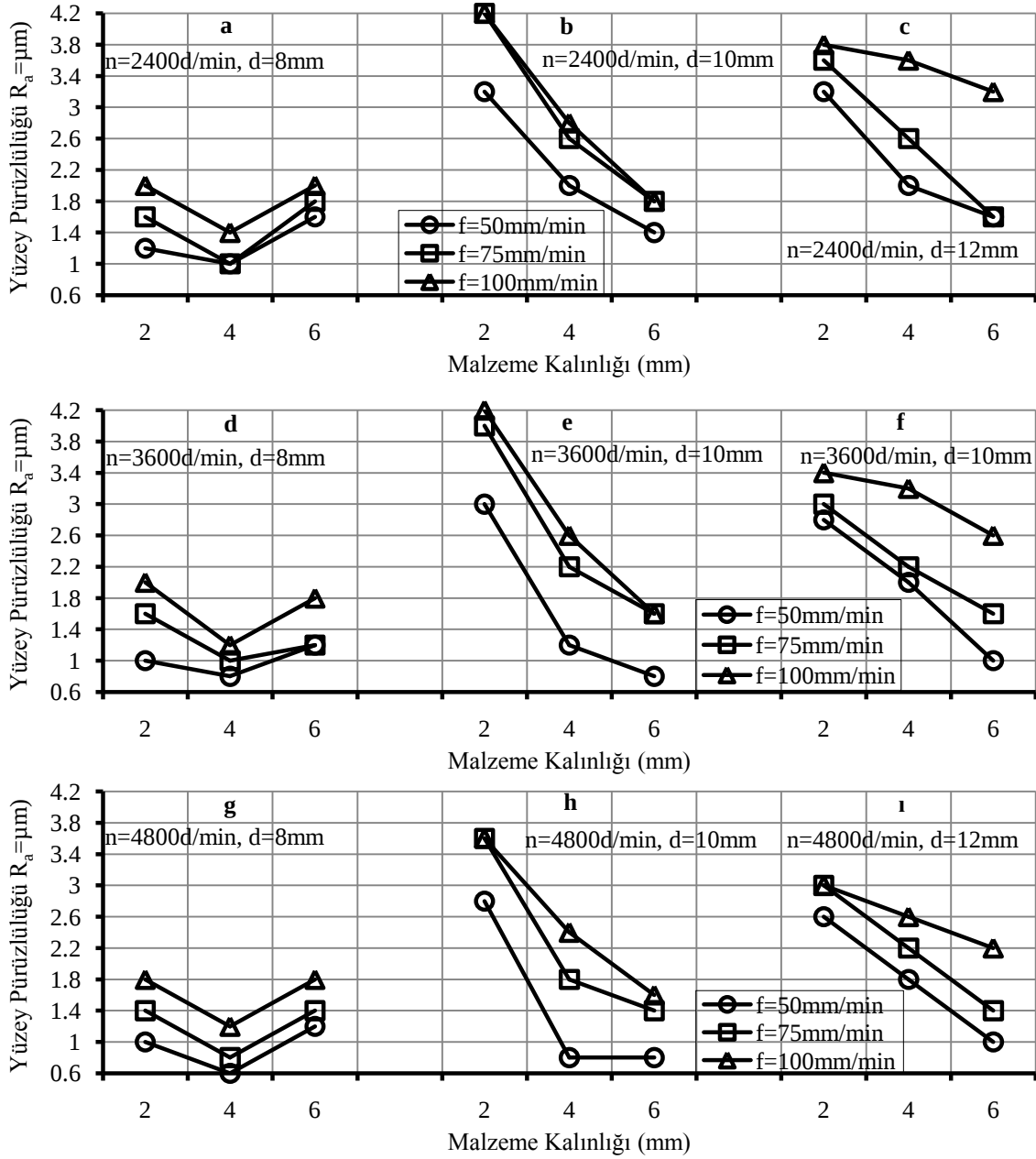


Şekil 5.6. $h_1=16\text{mm}$, $t=6\text{mm}$ için takım koniklik açısının yüzey pürüzlülüğüne etkisi

5.1.3. Malzeme Kalınlığının Yüzey Pürüzlülüğüne (R_a) Etkisi

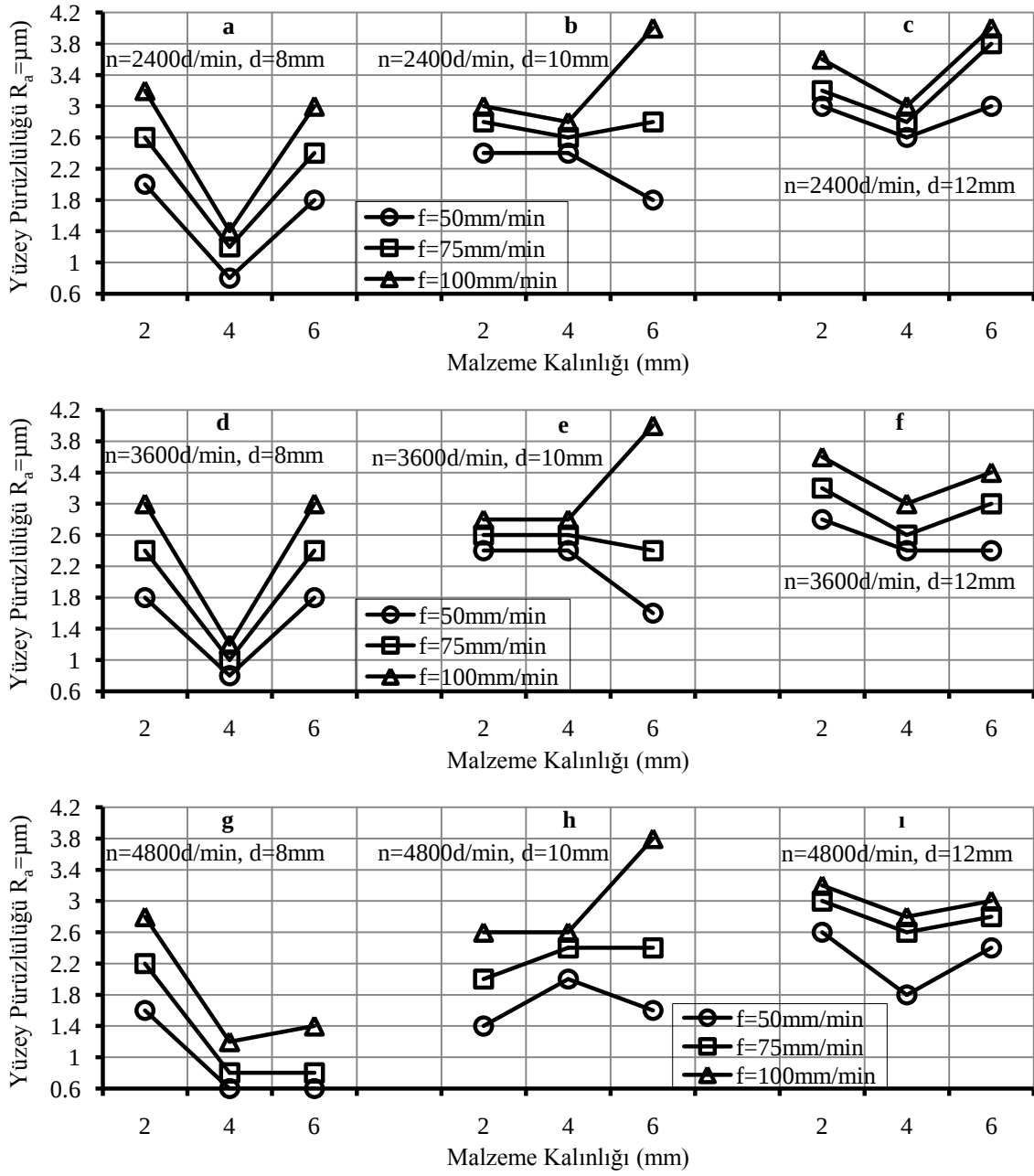
Malzeme kalınlığının artması ile SDY’de takım-iş parçasının temas alanı ve meydana gelen ısı miktarı artmıştır. Isı miktarının artması ile işlem sırasında malzeme yeterince ergimiş ve akmıştır. Delik çapının artması ile boşalan malzeme miktarı arttığından malzemenin viskoz hale gelmesi ve akması için daha fazla ısıya ihtiyaç duyulmuştur. Meydana gelen ısı miktarı yetersiz olduğu zaman iş parçası yeterince yumuşamamış ve takım tarafından yüzeye sıvanarak yüzey pürüzlülüğü artmış ve elde edilen sonuçlar $\frac{t}{d}$ oranına uygun olmuştur. Malzeme kalınlığının yüzey pürüzlülüğüne etkisi Şekil 5.7 –5.9’daki grafiklerde gösterilmiştir.

Şekil 5.7’de, $h_1=24\text{mm}$, $\beta=24^\circ$ için malzeme kalınlığının yüzey pürüzlülüğüne etkisi gösterilmiştir. a, b ve c’de 4mm kalınlığındaki malzemede en kaliteli yüzeyler, 2400d/min, 24° , 8mm çapındaki delik yüzeyinde 50mm/min ve 75mm/min, 2400d/min’de $1\mu\text{m}$, 10mm çapındaki delik yüzeyinde 50mm/min’de $1.4\mu\text{m}$, 12mm çapındaki delik yüzeyinde 50mm/min ve 75mm/min’de $1.6\mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Buna göre SDY’de 8mm çap için 4mm malzeme kalınlığı, 10mm ve 12mm çaplar için ise 6mm malzeme kalınlığı daha uygun olduğu görülmüştür. d, e ve f’de 3600d/min, en düşük yüzey pürüzlülüğü, 10mm delik çapı, 4mm malzeme kalınlığında $1.2\mu\text{m}$ olurken 6mm malzeme kalınlığında ise $0.8\mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. g, h ve ı’da 4800d/min, en düşük yüzey pürüzlülüğü, 50mm/min’de 4mm’de 8mm çap için $0.6\mu\text{m}$, 10mm çap için 4mm ve 6mm’de $0.8\mu\text{m}$, 12mm çap için ise $1\mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Buna göre 8mm delik çapı için, 4mm, 10mm çap için 4mm ve 6mm, 12mm çap için ise 6mm malzeme kalınlığı uygun olmuş ve artan devir sayısı ile $\frac{t}{d}$ oranı azalmıştır.



Şekil 5.7. $h_f=24\text{mm}$, $\beta=24^\circ$ için malzeme kalınlığının yüzey pürüzlülüğüne etkisi

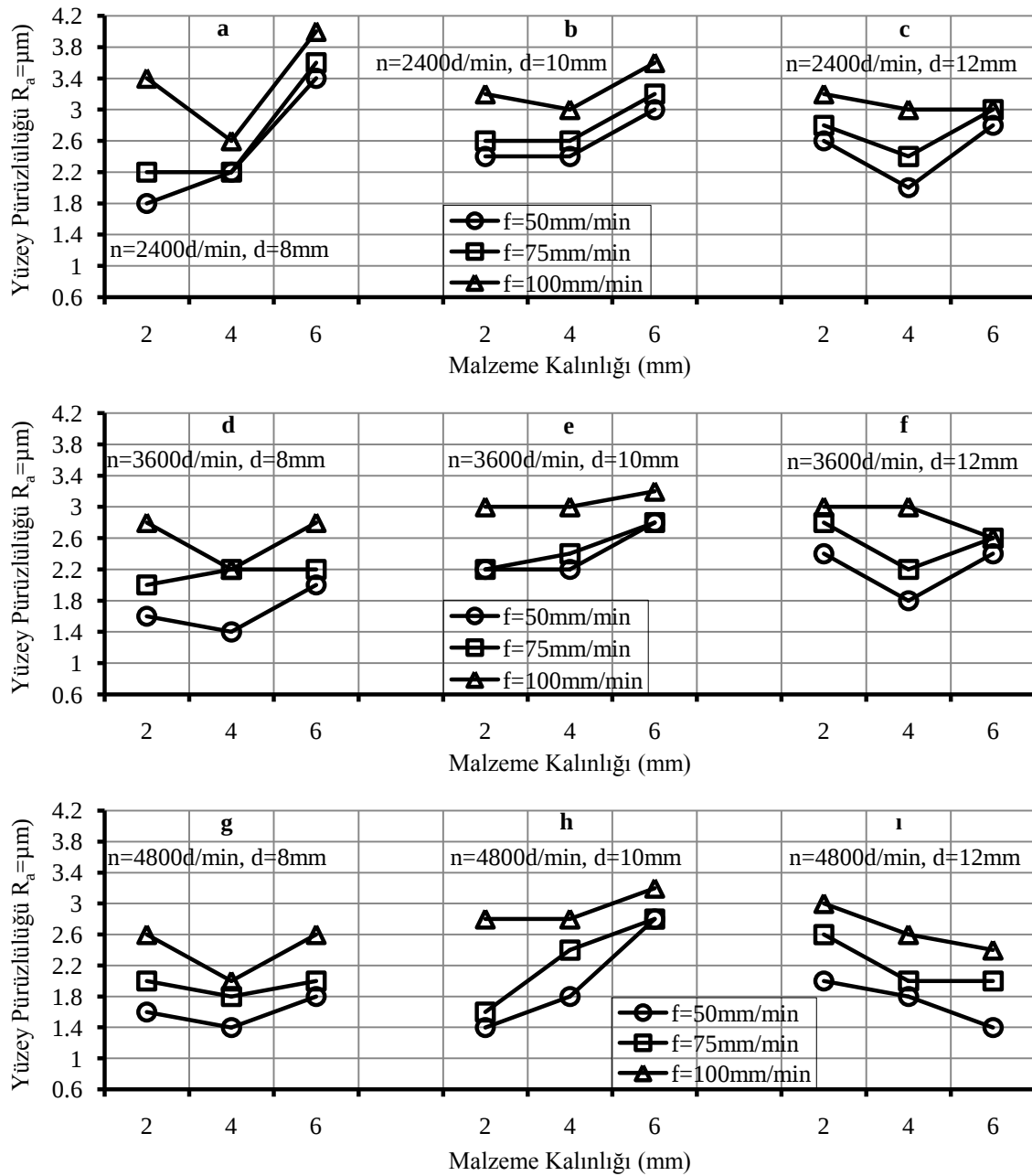
Şekil 5.8’de, $h_f=8\text{mm}$, $\beta=36^\circ$ için malzeme kalınlığının yüzey pürüzlülüğüne etkisi gösterilmiştir. En düşük yüzey pürüzlülüğü 36° takım koniklik açısında, 4mm malzeme kalınlığı, 8mm çapındaki delik yüzeyinde a, b ve c’de 2400d/min’de, 0,8µm, d, e ve f’de 3600d/min’de, 0,8µm, g, h ve i’de 4800d/min’de 0,6µm olarak ölçülmüştür. 2400d/min ve 3600d/min’de, 8mm çap için 4mm, 10mm çap için 6mm, 4800d/min’de 12mm çap için 4mm malzeme kalınlığının uygun olduğu, artan devir sayısı ile yüzey kalitesi iyileşmiş ve $\frac{t}{d}$ oranı azalmıştır.



Şekil 5.8. $h_1=8\text{mm}$, $\beta=36^\circ$ için malzeme kalınlığının yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Şekil 5.9’da, $h_1=8\text{mm}$, $\beta=36^\circ$ için malzeme kalınlığının yüzey pürüzlülüğüne etkisi gösterilmiş ve koniklik açısının 48° ’ye yükselmesi ile takım-iş parçası temas alanı, meydana gelen ısı miktarı ve $\frac{t}{d}$ oranı azalmıştır. En düşük yüzey pürüzlülüğü, a, b ve c’de 2400d/min’de, 2mm kalınlık ve 8mm çap için $1.8\mu\text{m}$, d, e ve f’de 3600d/min’de 4mm kalınlık ve 8mm çap için $1.4\mu\text{m}$, g, h ve i’de 4mm kalınlık, 8mm ve 10mm çapları ile 6mm kalınlık ve

12mm çap için $1.4\mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. 2mm kalınlığındaki A7075-T651 malzemeye SDY ile 8mm'den büyük çaplardaki deliklerin delinmesinde deformasyon etkili olduğundan yüzey pürüzlülüğü artmış, 2mm kalınlığındaki malzemeye $\frac{t}{d}$ oranına göre 8mm'den daha küçük çaplı deliklerin delinmesi daha uygun olacağı önerilmiştir. 48° koniklik açısında 8mm ve 10mm çapındaki deliklerin 4mm kalınlığındaki malzemeye, 12mm çapındaki deliklerin ise 6mm kalınlığındaki malzemeye delinmesi daha uygun olduğu tespit edilmiştir.

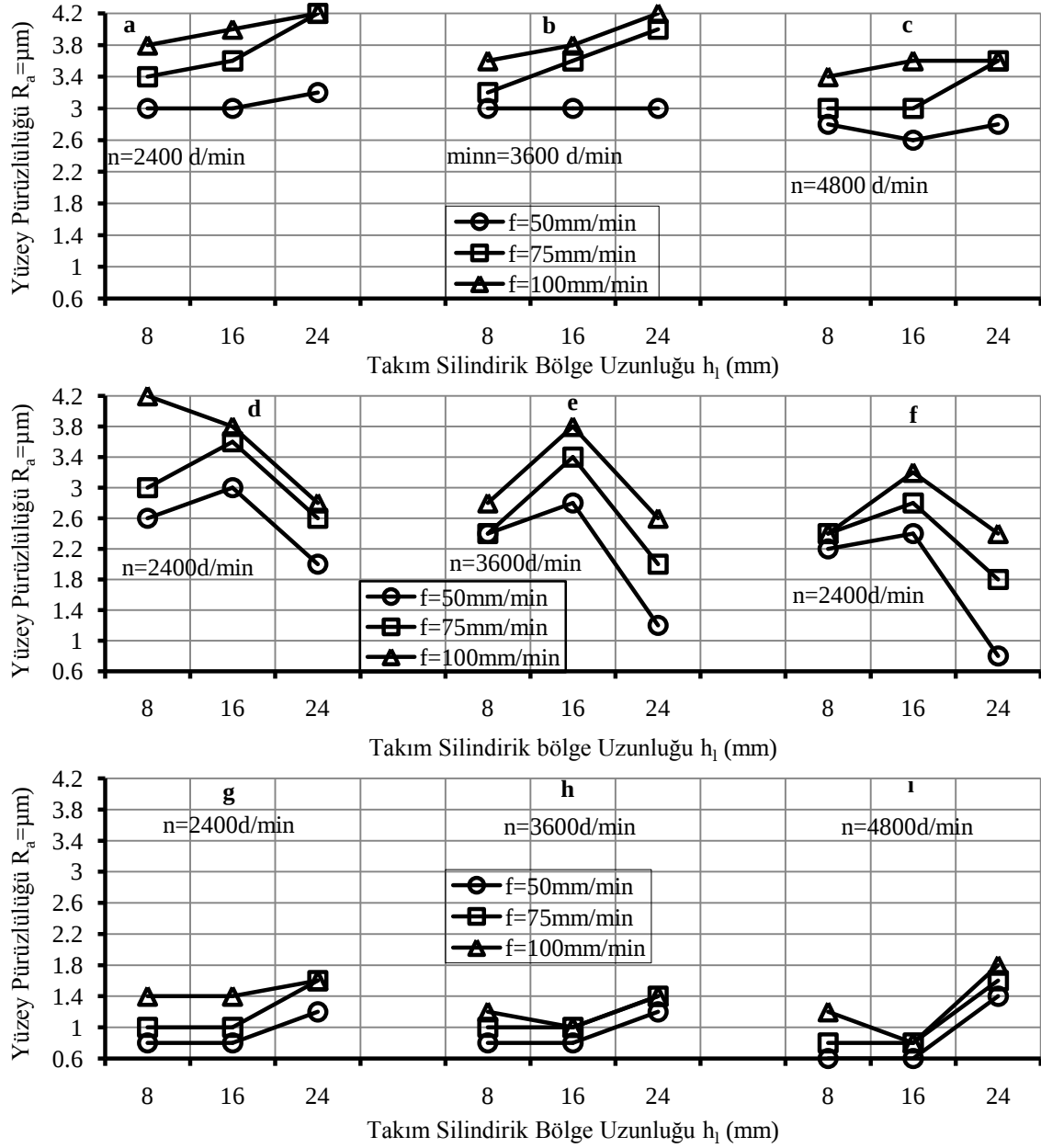


Şekil 5.9. $h_1=8\text{mm}$, $\beta=48^\circ$ için malzeme kalınlığının yüzey pürüzlülüğüne etkisi

5.1.4. Takımın h_1 uzunluğunun Yüzey Pürüzlülüğüne (R_a) Etkisi

Takımın h_1 uzunluğu, deliğin silindirik biçimde meydana gelmesini sağlayan takımın silindirik bölgesi olup yüzey pürüzlülüğünden daha çok, kovan yüksekliğini etkileyen bir parametre olmuştur. Takımın h_1 uzunluğunun yüzey pürüzlülüğüne etkisi Şekil 5.10 – 5.12’deki grafiklerde gösterilmiştir.

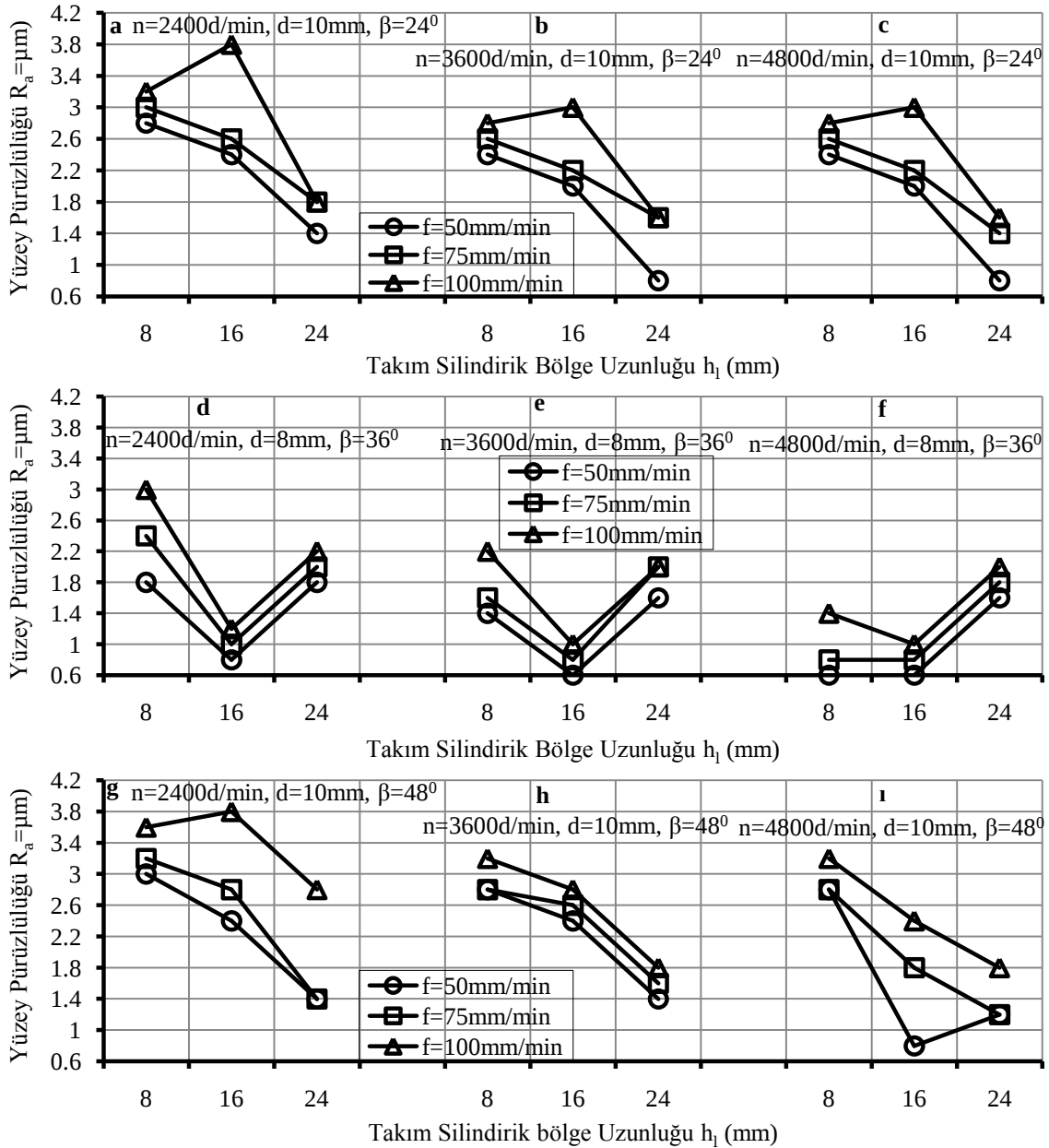
Şekil 5.10’da, $t=2\text{mm}$, $t=4\text{mm}$, $d=10\text{mm}$ için h_1 uzunluğunun yüzey pürüzlülüğüne etkisi gösterilmiştir. a, b ve c’de 2mm malzeme kalınlığında artan h_1 uzunluğu ile takımın silindirik bölgesi delik yüzeyi ile sürekli temas halinde olduğundan yüzey kalitesi bozulmuş ve en uygun h_1 uzunluğunun 8mm olduğu görülmüştür. d, e ve f’de 4mm kalınlığında, en kaliteli yüzey $h_1=24\text{mm}$ ’de 2400d/min’de $2\mu\text{m}$, 3600d/min’de $1.2\mu\text{m}$ ve 4800d/min’de ise $0.8\mu\text{m}$, g, h ve ı’da 2400d/min ve 3600d/min’de $h_1=16\text{mm}$ ’de $0.8\mu\text{m}$, 4800d/min’de $0.6\mu\text{m}$ olarak ölçülmüş ve artan devir sayısı ile yüzey kalitesi iyileşmiştir.



Şekil 5.10. a,b,c) $\beta=24^\circ$, $d=10\text{mm}$, $t=2\text{mm}$, d,e,f) $\beta=36^\circ$, $d=10\text{mm}$, $t=4\text{mm}$ g,h,i) $\beta=48^\circ$, $d=8\text{mm}$, $t=4\text{mm}$ için takım h_1 uzunluğunun yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Şekil 5.11’de, $t=6\text{mm}$ için h_1 uzunluğunun yüzey pürüzlülüğüne etkisi gösterilmiştir. En kaliteli yüzey pürüzlülüğü, a, b ve c’de, $h_1=24\text{mm}$ uzunluğunda, 2400d/min ’de $1.4\mu m$, 3600d/min ’de $0.8\mu m$, 4800d/min ’de ise $0.6\mu m$, d, e ve f’de $h_1=16\text{mm}$ uzunluğunda, 2400d/min ’de $0.8\mu m$, 3600d/min ve 4800d/min ’de $0.6\mu m$, g, h ve i’da $h_1=24\text{mm}$ uzunluğunda, 2400d/min ’de $1.4\mu m$, 3600d/min ’de $1.4\mu m$ ve 4800d/min ’de $h_1=16\text{mm}$ uzunluğunda $0.8\mu m$ olarak ölçülmüştür.

Yüzey pürüzlülüğüne göre 4mm ve 6mm kalınlıklarındaki A7075-T651 malzemesinin SDY ile delinmesinde $h_1=16\text{mm}$ takım silindirik uzunluğunun yeterli olduğu tespit edilmiştir. 2mm kalınlığındaki malzemeye ise 8mm'den daha küçük çaplı deliklerin delinmesi gerektiği, $h_1=8\text{mm}$ takım silindirik bölge uzunluğunun 2mm malzeme kalınlığı için yeterli olduğu görülmüştür.

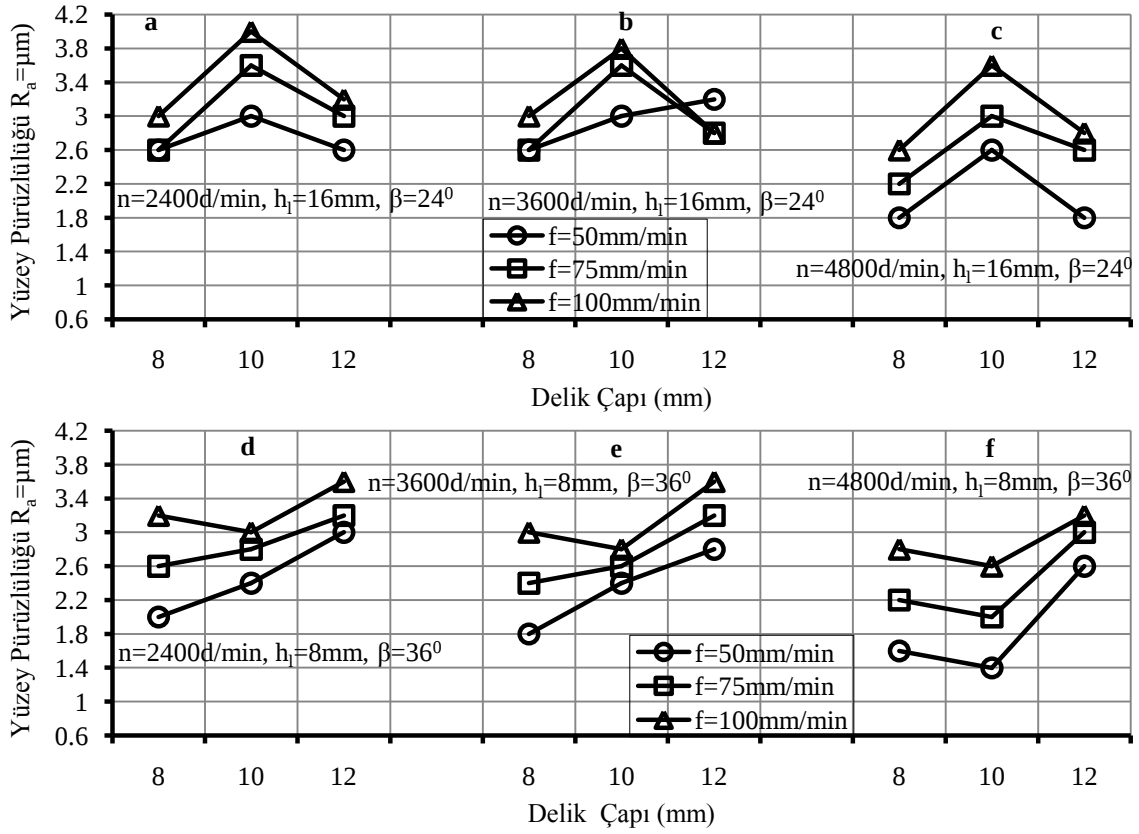


Şekil 5.11. $t=6\text{mm}$ için takım h_1 uzunluğunun yüzey pürüzlülüğüne etkisi

5.1.5. Delik apının Yüzey Pürüzlülüğüne (R_a) Etkisi

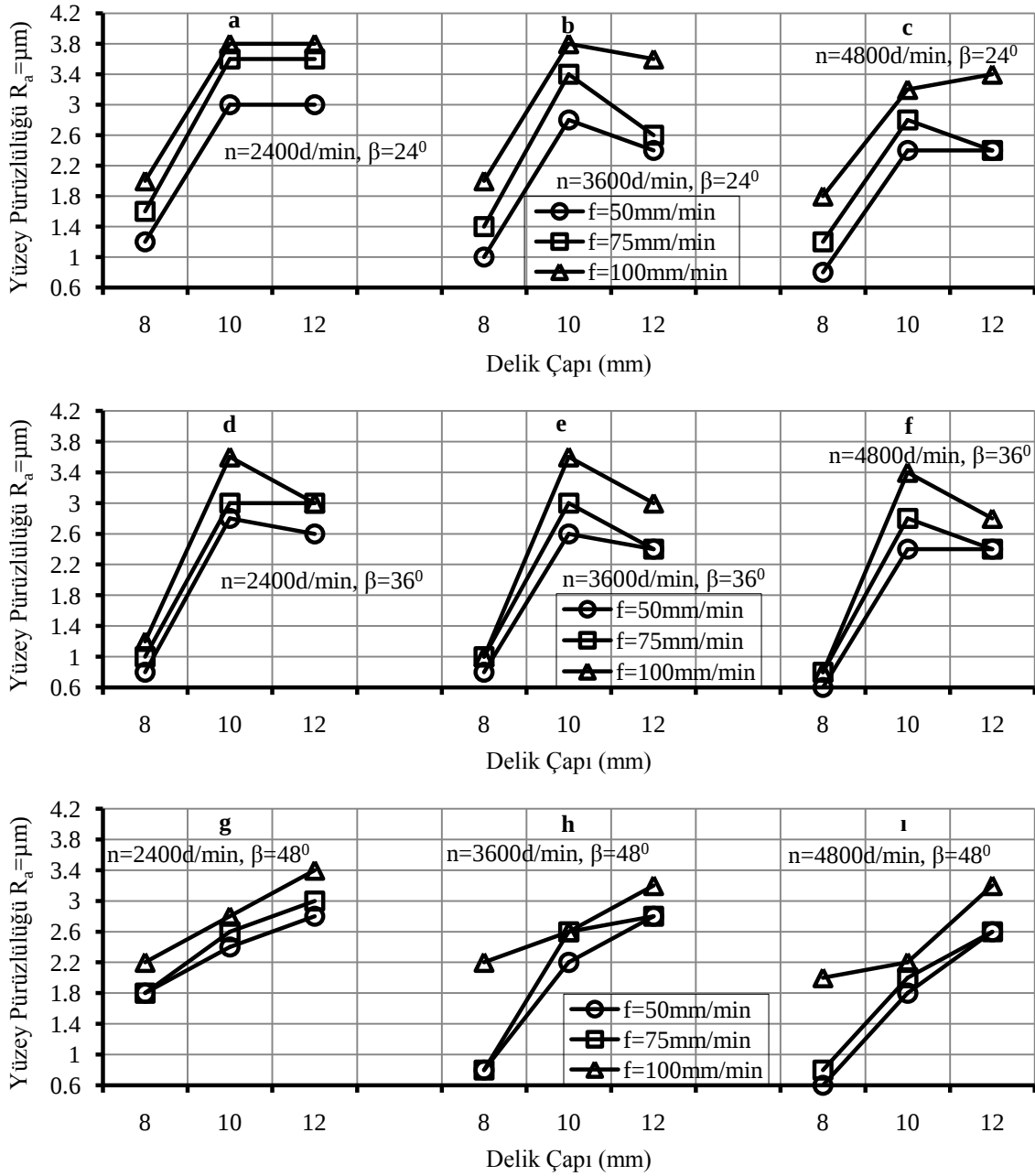
Delik çapının artması ile boşalan malzeme miktarı artmıştır. SDY’de, malzeme miktarının artması ile malzemenin akabilmesi için takım-iş parçası temas alanında daha fazla ısının meydana gelmesi gerektiğinden boşalan malzeme ısı etkisiyle yumuşamamış, meydana gelen ısı miktarı yetersiz olduğundan malzeme yeterince ergimemiş, akmamış, takım tarafından yüzeye sıvanmış ve yüzey kalitesi bozulmuştur. Delik çapının yüzey pürüzlülüğüne etkisi Şekil 5.13 –5.15’teki grafiklerde gösterilmiştir.

Şekil 5.12’de, $t=2\text{mm}$ için delik çapının yüzey pürüzlülüğüne etkisi gösterilmiştir. 2mm malzeme kalınlığı için en düşük yüzey pürüzlülüğü, a, b ve c’de $h_1=16\text{mm}$ uzunluğunda 8mm çapındaki delik yüzeyinde 2400d/min ve 3600d/min’de $2.6\mu\text{m}$, 4800d/min’de ise $1.8\mu\text{m}$, d, e ve f’de $h_1=8\text{mm}$ uzunluğunda 8mm çapındaki delik yüzeyinde 2400d/min’de $2\mu\text{m}$, 3600d/min’de ise $1.8\mu\text{m}$, 4800d/min’de 10mm çapındaki delik yüzeyinde ise $1.4\mu\text{m}$, g, h ve ı’da artan h_1 uzunluğu ile yüzey pürüzlülüğü düzenli azalmış, 2400d/min ve 3600d/min’de $h_1=24\text{mm}$ ’de $1.4\mu\text{m}$, 4800d/min’de ise $h_1=16\text{mm}$ ’de $0.8\mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. 8mm çap, 2mm malzeme kalınlığı için $h_1=8\text{mm}$ takım silindirik bölge uzunluğunun yeterli olduğu tespit edilmiştir. Artan devir sayısı ile dönme momenti ve malzemenin çevreye yayılma hızı arttığından $h_1=8\text{mm}$ uzunluğu, 10mm çap için de uygun olduğu tespit edilmiştir.



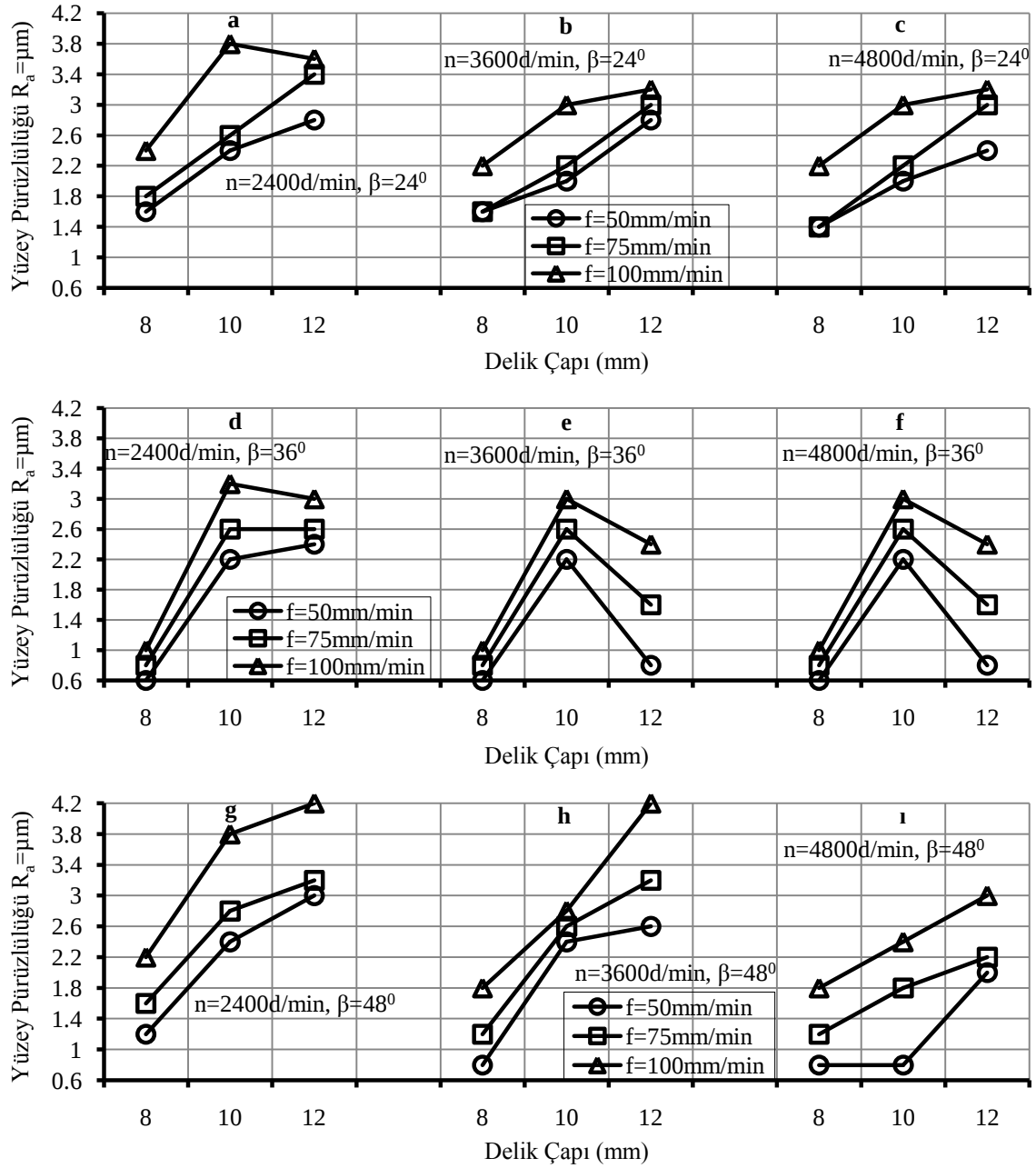
Şekil 5.12. $t=2$ mm için delik çapının yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Şekil 5.13'te, $t=4$ mm, $h_1=16$ mm için delik çapının yüzey pürüzlülüğüne etkisi gösterilmiş ve 4 mm malzeme kalınlığı için 8 mm delik çapının en uygun çap olduğu görülmüştür. En düşük yüzey pürüzlülüğü, a, b ve c'de 2400 d/min'de 1.2 μm , 3600 d/min'de 1 μm , 4800 d/min'de 0.8 μm , d, e ve f'de 2400 d/min'de 0.8 μm , 3600 d/min ve 4800 d/min'de 0.6 μm , g, h ve ı'da 2400 d/min'de 1.8 μm , 3600 d/min'de 0.8 μm , 4800 d/min'de 0.6 μm olarak ölçülmüştür. Artan delik çapı ile takım-iş parçası temas alanında meydana gelen ısı yetersiz olduğundan malzeme yeterince ergimemiş, takım tarafından yüzeye sıvanmış ve yüzey kalitesi bozulmuştur.



Şekil 5.13. $h_1=16$ mm, $t=4$ mm için delik çapının yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Şekil 5.14'te, $t=6$ mm, $h_1=16$ mm için delik çapının yüzey pürüzlülüğüne etkisi gösterilmiş ve 6mm kalınlığındaki A7075-T651 malzemeye SDY ile delinebilecek en uygun delik çapı 8mm olduğu görülmüştür. En kaliteli yüzey pürüzlülüğü, a, b ve c'de 24° , 2400d/min ve 3600d/min'de $1.6\mu m$, 4800d/min'de $1.4\mu m$, d, e ve f'de 36° $0.6\mu m$, g, h ve i'da 48° , 2400d/min'de $1.2\mu m$, 3600d/min ve 4800d/min'de $0.8\mu m$ olarak ölçülmüştür. 6mm kalınlığa 12mm çapındaki deliğin delinmesi $\frac{t}{d}$ oranına göre uygun olmadığı görülmüştür.



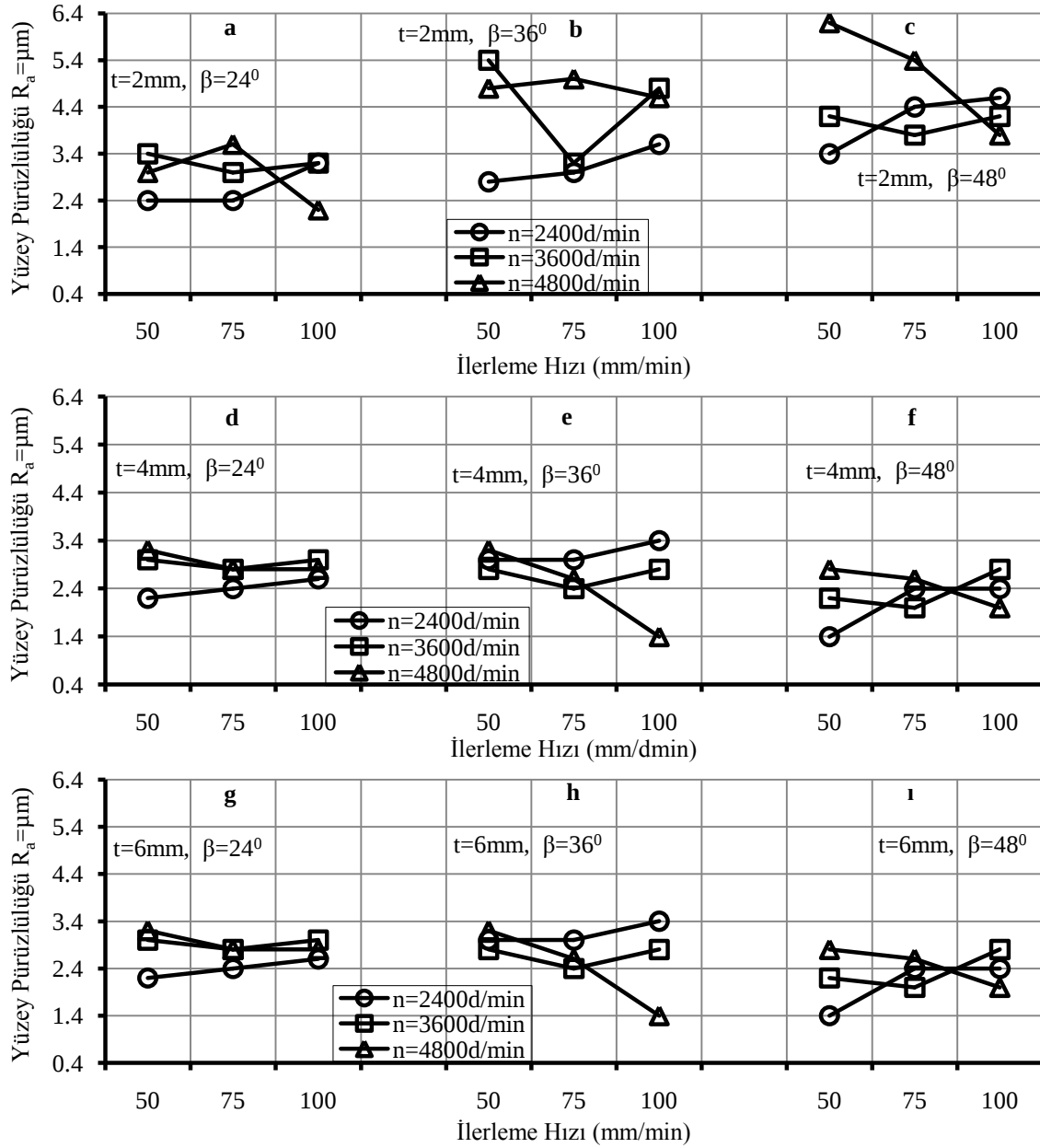
Şekil 5.14. $h_1=16$ mm, $t=6$ mm için delik çapının yüzey pürüzlülüğüne etkisi

5.1.6. WC Takımda İlerleme Hızının Yüzey Pürüzlülüğüne (R_a) Etkisi

SDY' de devir sayısının artması ile ısı miktarı artarken ilerleme hızının artması ile de ısı miktarı azalmıştır. İşlem ısı etkisiyle malzemenin akabilecek düzeyde yumuşaması esasına dayanan bir delme işlemi olduğundan devir sayısı ve ilerleme hızı çifti, işlem sırasında meydana gelen ısı miktarını etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Bu nedenle takım ve iş parçası malzemelerinin ısı iletkenlik katsayıları önemli rol oynamıştır. WC takımın ısı iletkenlik katsayısı 84 w/m-K ve HSS takımın ısı iletkenlik katsayısı 21 w/m-K dır. WC

takımla uygulanan SDY’de devir sayısının ve ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi Şekil 5.15 ’teki grafiklerde gösterilmiştir.

Şekil 5.15’de, WC takımında $h_1=16\text{mm}$, $d=10\text{mm}$ için ilerleme hızı ve devir sayısının yüzey pürüzlülüğüne etkisi gösterilmiş, 2400d/min ve 50mm/min’de, 3600d/min ve 75mm/min’de, 4800d/min ve 100mm/min’de en kaliteli yüzeyler elde edilmiştir. a, b ve c’de $t=2\text{mm}$ kalınlığındaki malzemenin SDY’de deformasyonlar etkili olduğundan yüzey pürüzlülüğü 4mm ve 6mm kalınlıklara göre daha fazla olmuştur. Malzeme kalınlığının artması ile deformasyonların etkisi azalmış, meydana gelen ısı miktarı yeterli olduğundan malzeme ergimiş ve yüzey kalitesi artmıştır. En kaliteli yüzey pürüzlülüğü değerleri, d, e ve f’de 2400d/min ve 50mm/min’de $2\mu\text{m}$, 3600d/min ve 75mm/min’de $2\mu\text{m}$, 4800d/min ve 100mm/min’de $2.4\mu\text{m}$, g, h ve ı’da 36° , 4800d/min, 100mm/min’de ve 48° , 2400d/min, 50mm/min’de $1.4\mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. 2400d/min için 50mm/min, 3600d/min için 75mm/min ve 4800d/min için 100mm/min en kaliteli yüzeyler elde edilmiştir.



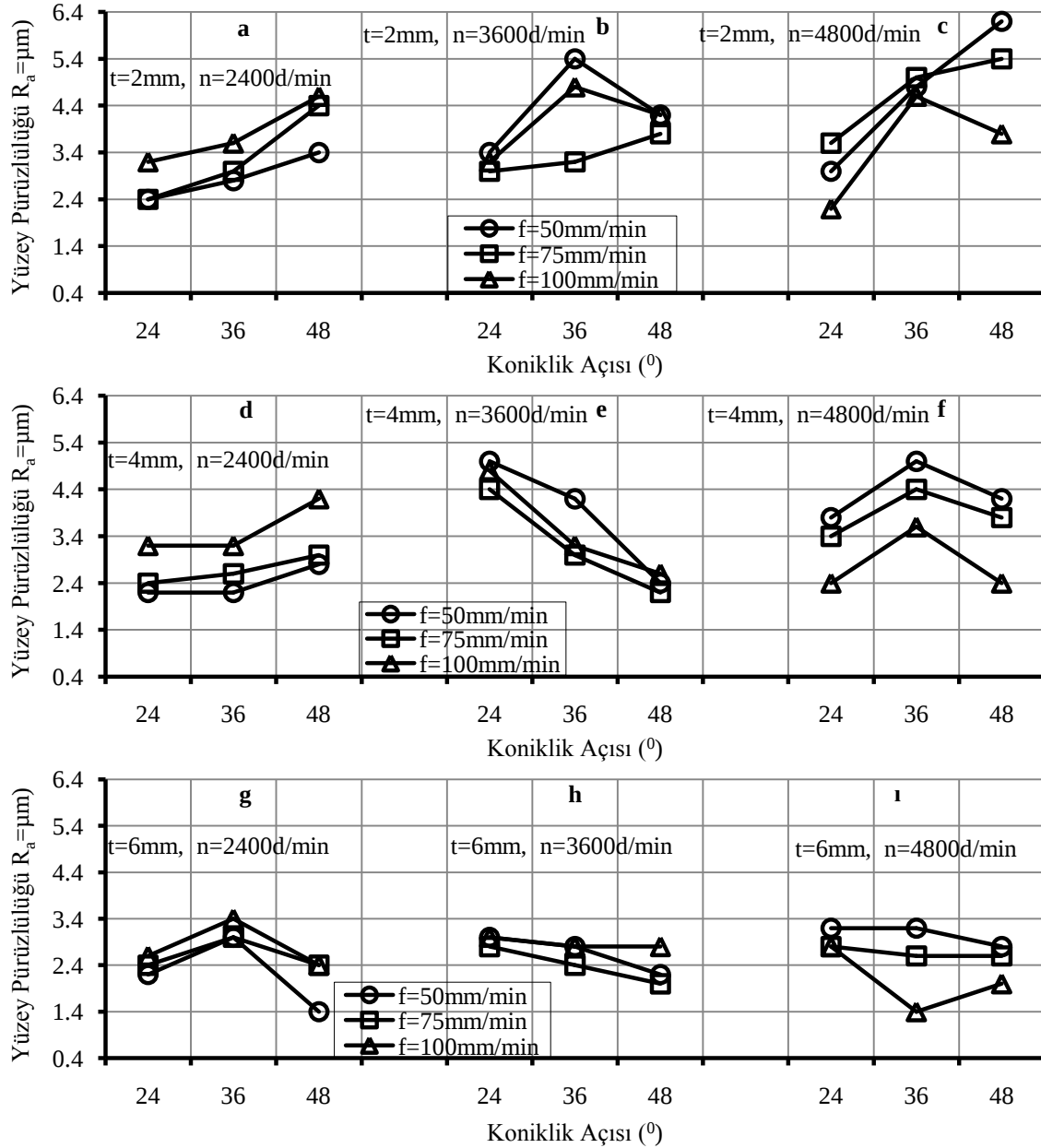
Şekil 5.15. A7075–T651 malzeme ve WC takımında $h_1=16\text{mm}$, $d=10\text{mm}$ için ilerleme hızı ve devir sayısının yüzey pürüzlülüğüne etkisi

5.1.7. WC Takımda Koniklik Açısının Yüzey Pürüzlülüğüne (R_a) Etkisi

Takım koniklik açısının azalması ile takım–iş parçası temas alanı, birim ilerleme hızındaki döngü sayısı ve işlemin sıcaklığı artmıştır. A7075-T651 WC takım ile SDY’de takım koniklik açısının yüzey pürüzlülüğüne etkisi Şekil 5.16’daki grafiklerde gösterilmiştir.

Şekil 5.16’da, WC takımında $h_1=16\text{mm}$, $d=10\text{mm}$ için takım koniklik açısının yüzey pürüzlülüğüne etkisi gösterilmiştir. a, b ve c’de $t=2\text{mm}$ kalınlık, 24° ’de 2400d/min için

50mm/min’de, 3600d/min için 75mm/min’de ve 4800d/min için ise 100mm/min’de en kaliteli yüzeyler elde edilmiştir. 24° koniklik açısında takım-iş parçası temas alanı ve işlem ısısı arttığından deformasyonların etkisi azalmış, yüzey kalitesi artmış ve en kaliteli yüzey $2\mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. d, e ve f’de $t=4\text{mm}$ malzeme kalınlığında 2400d/min için 24° , 3600d/min için 36° ve 4800d/min için ise 48° koniklik açısı daha uygun olduğu tespit edilmiş ve en kaliteli yüzey $2\mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür.



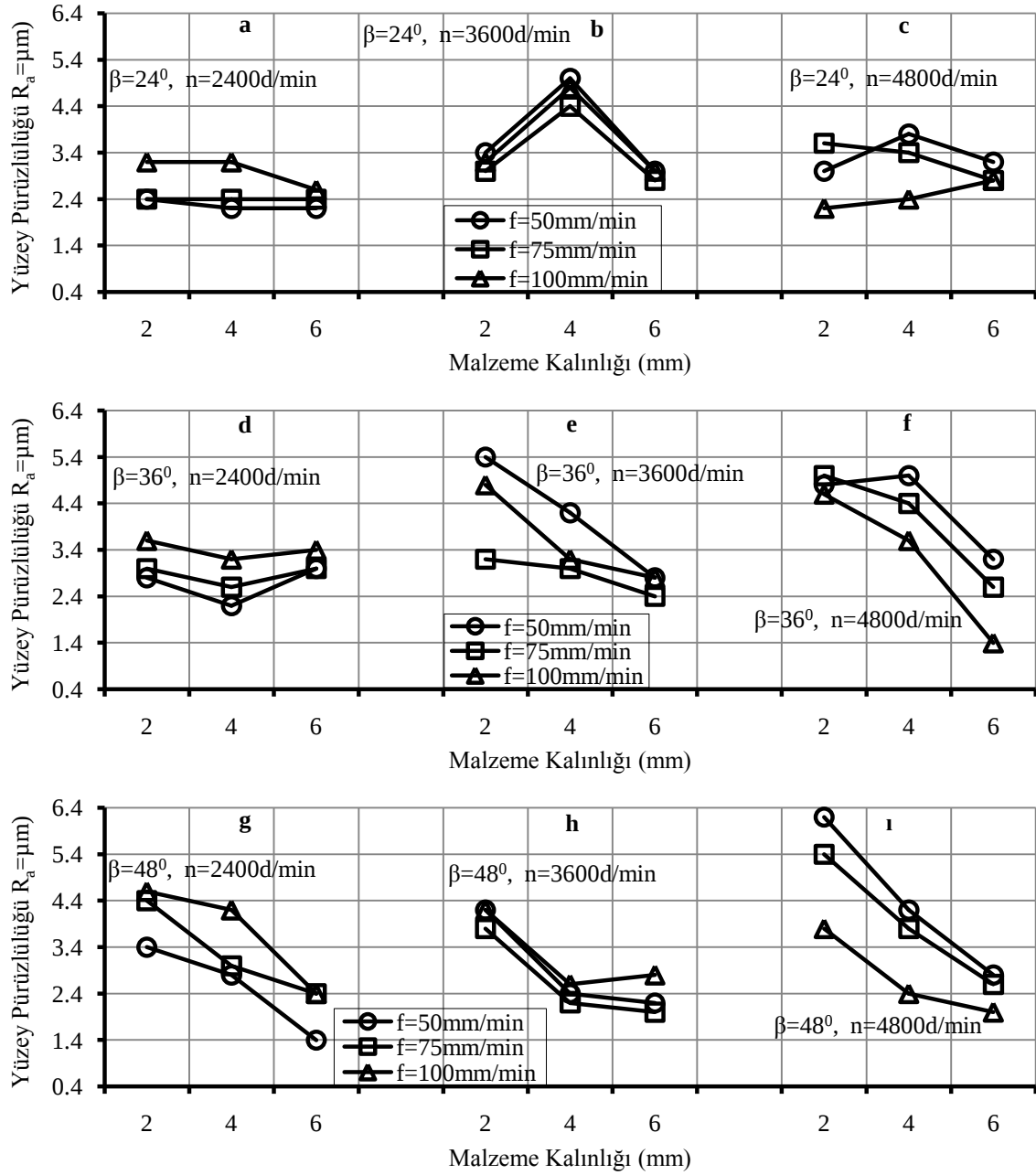
Şekil 5.16. A7075–T651 malzeme ve WC takımda $h_1=16\text{mm}$, $d=10\text{mm}$ için takım koniklik açısının yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Şekil g, h ve ı'da $t=6\text{mm}$ malzeme kalınlığında takım-iş parçası temas alanı arttığından 2400d/min ve 3600d/min için 48^0 'de ve 4800d/min için 36^0 koniklik açısında en kaliteli yüzeyler $1.4\mu\text{m}$ olarak elde edilmiştir. Koniklik açısının artması ile azalan takım-iş parçası temas alanının neden olduğu ısı kaybı devir sayısının artması ile giderilmiş ve böylece devir sayısı ve koniklik açısının artması ile yüzey kalitesi iyileşmiştir. 6mm malzeme kalınlığında, 2400d/min – 50mm/min ve 3600d/min – 75mm/min çiftleri için en uygun koniklik açısı 48^0 , 4800d/min – 100mm/min çifti için en uygun koniklik açısı 36^0 olduğu tespit edilmiştir.

5.1.8. WC Takımda Malzeme Kalınlığının Yüzey Pürüzlülüğüne (R_a) Etkisi

Malzeme kalınlığının artması ile takım-iş parçası temas alanı ve işlem sıcaklığı artmış, malzeme yeterince ergimiş, akmış ve yüzey kalitesi iyileşmiştir. WC takım ile uygulanan SDY'de malzeme kalınlığının, yüzey pürüzlülüğüne etkisi Şekil 5.17'deki grafiklerde gösterilmiştir.

Şekil 5.17'de, WC takımında $h_1=16\text{mm}$, $d=10\text{mm}$ için malzeme kalınlığının yüzey pürüzlülüğüne etkisi gösterilmiştir. a, b ve c'de 24^0 koniklik açısında takım-iş parçası temas alanı fazla olduğundan yüzey pürüzlülüğü artan malzeme kalınlığı ile fazla değişmemiştir. d, e ve f'de 36^0 koniklik açısında artan malzeme kalınlığı ile yüzey pürüzlülüğü azalmış, en düşük yüzey pürüzlülüğü, 4mm malzeme kalınlığı, 2400d/min'de $2.2\mu\text{m}$, 3600d/min, 6mm'de $2.4\mu\text{m}$, 4800d/min, 6mm'de $1.4\mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. g, h ve ı'da 48^0 'da artan malzeme kalınlığı ile yüzey kalitesi artmış, en düşük yüzey pürüzlülüğü, 6mm malzeme kalınlığında, 2400d/min ve 50mm/min'de $1.4\mu\text{m}$, 3600d/min ve 75mm/min'de $2\mu\text{m}$, 4800d/min ve 100mm/min'de $1.6\mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür.



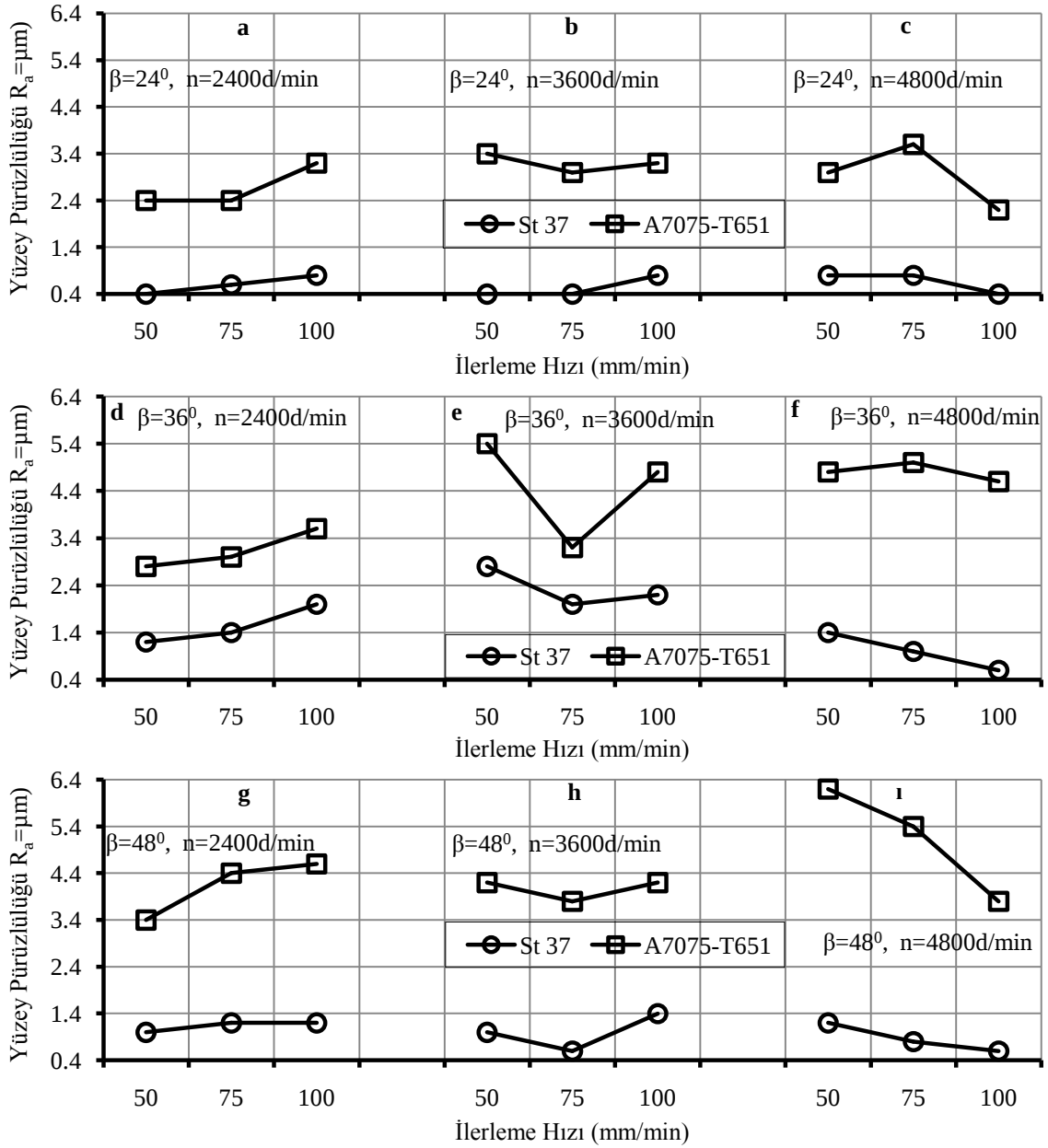
Şekil 5.17. A7075–T651 malzeme ve WC takımında $h_1=16\text{mm}$, $d=10\text{mm}$ için malzeme kalınlığının yüzey pürüzlülüğüne etkisi

5.1.9. WC Takımda Malzeme Cinsinin Yüzey Pürüzlülüğüne (R_a) Etkisi

Malzeme cinsinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi, malzemelerin ısı iletkenlik katsayıları ile değişmiştir. Isıl iletkenlik katsayısı yüksek olan malzemelerde meydana gelen ısının büyük bir kısmı iş parçası tarafından iletilerek ortamdan uzaklaştırıldığından takım-iş parçası temas alanında meydana gelen ısı miktarı azalmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan A7075-T651'in ısı iletkenlik katsayısı 130 w/m-K , St 37'nin ısı iletkenlik katsayısı ise 76 w/m-K dır.

Alüminyum alaşımının SDY’de, iş parçası tarafından takım–iş parçası temas alanından daha fazla ısı uzaklaştırılmıştır. St 37’nin ısı iletkenlik katsayısı daha düşük, sünekliği daha fazla olduğundan A7075-T651’e göre St 37’de daha kaliteli yüzeyler elde edilmiştir. St 37’de 24^0 koniklik açısı için $t=2\text{mm}$, 2400d/min ve 50mm/min’de, 36^0 koniklik açısı için $t=4\text{mm}$, 3600d/min ve 75mm/min’de, 48^0 koniklik açısı için $t=6\text{mm}$, 4800d/min ve 100mm/min’de en kaliteli yüzeyler elde edilmiştir. WC takım ile uygulanan SDY’ de malzeme cinsinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi Şekil 5.18–5.20’deki grafiklerde gösterilmiştir.

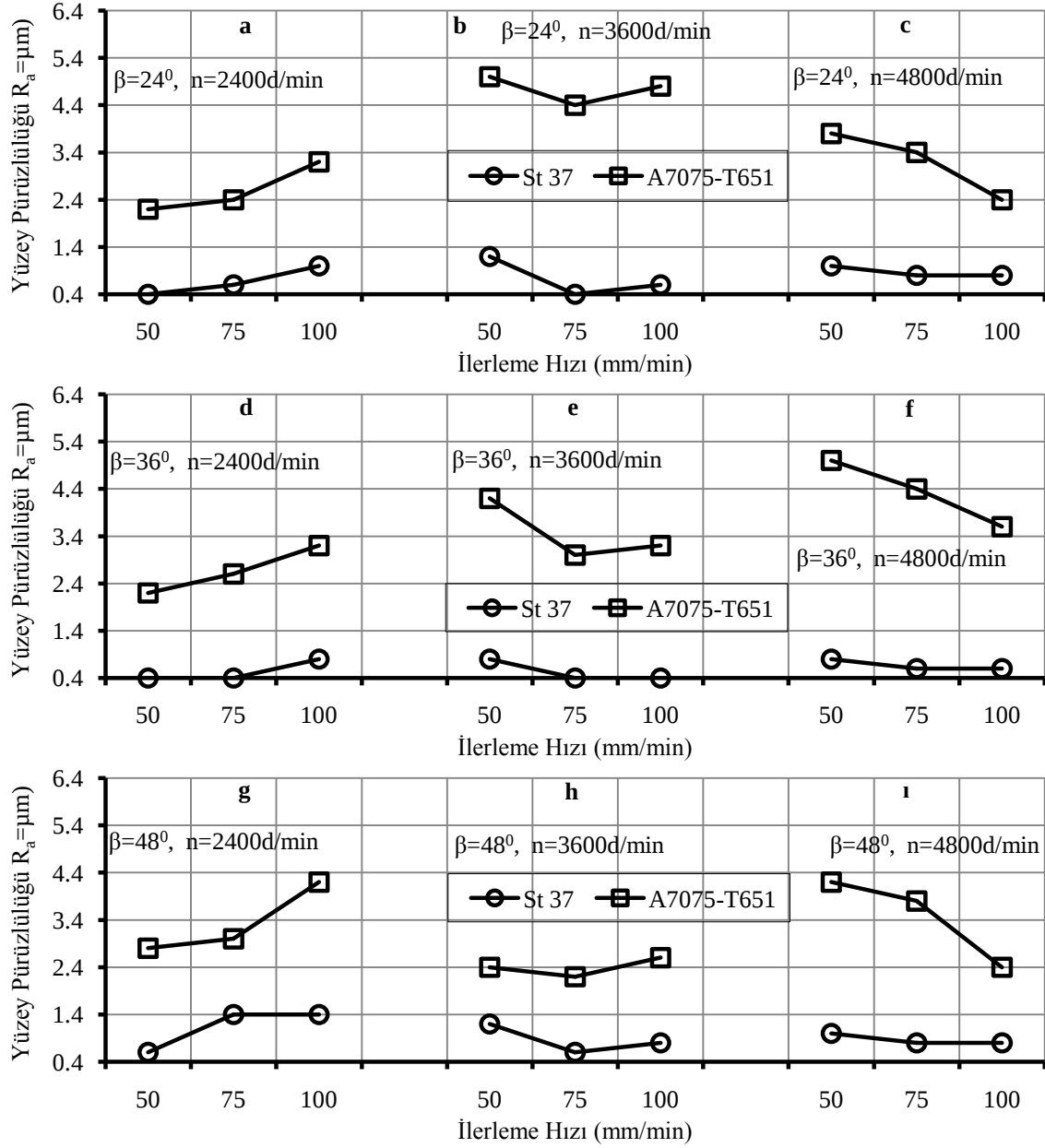
Şekil 5.18’de, WC takımda $h_1=16\text{mm}$, $d=10\text{mm}$, $t=2\text{mm}$ için malzeme cinsinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi gösterilmiştir. $t=2\text{mm}$ kalınlığındaki malzemede en düşük yüzey pürüzlülüğü, a, b ve c’de 24^0 , 2400d/min için 50mm/min’de, 3600d/min için 75mm/min’de ve 4800d/min için 100mm/min’de St 37’de $0.4\mu\text{m}$, A7075-T651’de ise sırasıyla $2.4\mu\text{m}$, $3\mu\text{m}$ ve $2\mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. d, e ve f’de 36^0 , St 37’de 2400d/min için 50mm/min’de $1\mu\text{m}$, 3600d/min için 75mm/min’de $2\mu\text{m}$ ve 4800d/min için 100mm/min’de $0.6\mu\text{m}$, A7075-T651’de ise sırasıyla $2.8\mu\text{m}$, $3.2\mu\text{m}$ ve $4.6\mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. g, h ve ı’da 48^0 , St 37’de 2400d/min için 50mm/min’de $1\mu\text{m}$, 3600d/min için 75mm/min’de $0.6\mu\text{m}$ ve 4800d/min için 100mm/min’de $0.6\mu\text{m}$, A7075-T651’de ise sırasıyla $3.4\mu\text{m}$, $3.8\mu\text{m}$ ve $3.8\mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. St 37, A7075-T651’den daha sünek olduğundan SDY işlemine daha uygun olmuş ve St 37’de SDY ile daha kaliteli yüzeyler elde edilmiştir. St 37’de 2400d/min, 50mm/min’de en kaliteli yüzey pürüzlülüğü $0.4\mu\text{m}$ olarak elde edilmiştir.



Şekil 5.18. A7075-T651 malzeme ve WC takımda $h_1=16$ mm, $t=2$ mm, $d=10$ mm için malzeme kalınlığının yüzey pürüzlülüğüne etkisi

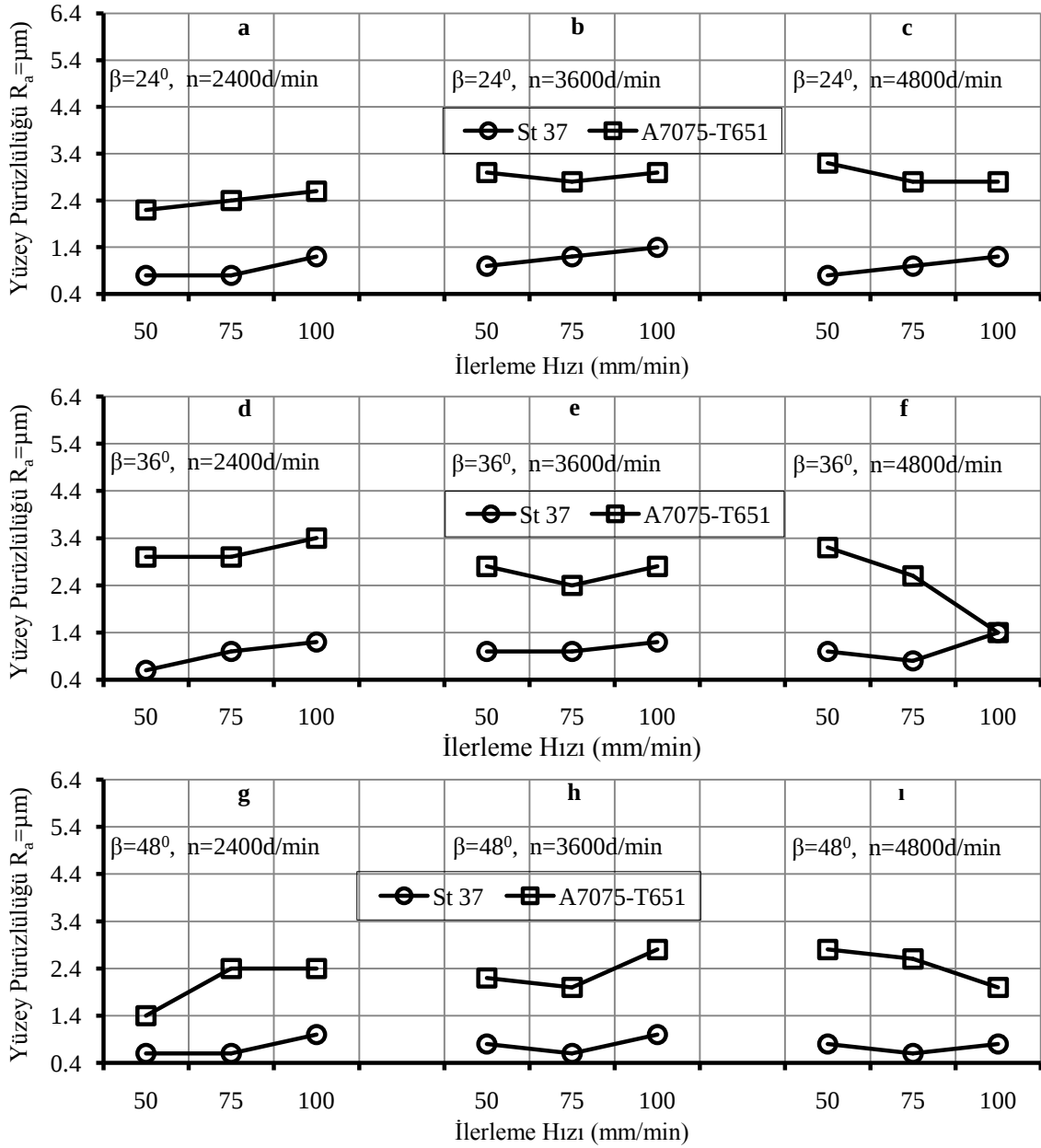
Şekil 5.19’da, WC takımında $h_1=16$ mm, $d=10$ mm, $t=4$ mm için malzeme cinsinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi gösterilmiştir. $t=4$ mm kalınlığındaki malzemede en düşük yüzey pürüzlülüğü, a, b ve c’de 24° , St 37’de 2400d/min için 50mm/min’de, $0.4\mu m$, 3600d/min için 75mm/min’de $0.4\mu m$ ve 4800d/min için 100mm/min’de $0.6\mu m$, A7075-T651’de ise sırasıyla $2.2\mu m$, $4.2\mu m$ ve $2.4\mu m$ olarak ölçülmüştür. d, e ve f’de 36° , St 37’de 2400d/min için 50mm/min’de $0.4\mu m$, 3600d/min için 75mm/min’de $0.4\mu m$ ve 4800d/min için 100mm/min’de $0.6\mu m$, A7075-T651’de ise sırasıyla $2.2\mu m$, $3\mu m$ ve $3.6\mu m$ olarak

ölçülmüştür. g, h ve ı'da 48° , St 37'de 2400d/min için 50mm/min'de $0.6\mu\text{m}$, 3600d/min için 75mm/min'de $0.6\mu\text{m}$ ve 4800d/min için 100mm/min'de $0.8\mu\text{m}$, A7075-T651'de ise sırasıyla $2.8\mu\text{m}$, $2.2\mu\text{m}$ ve $2.4\mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Malzeme kalınlığının 4mm'ye yükselmesi ile takım-temas alanı arttığından yüzey kalitesi artmıştır.



Şekil 5.19. A7075-T651 malzeme ve WC takımda $h_1=16\text{mm}$, $t=4\text{mm}$, $d=10\text{mm}$ için malzeme kalınlığının yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Şekil 5.20'de, WC takımda $h_1=16\text{mm}$, $d=10\text{mm}$, $t=6\text{mm}$ için malzeme cinsinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi gösterilmiştir.



Şekil 5.20. A7075–T651 malzeme ve WC takımında $h_f=16\text{mm}$, $t=6\text{mm}$, $d=10\text{mm}$ için malzeme kalınlığının yüzey pürüzlülüğüne etkisi

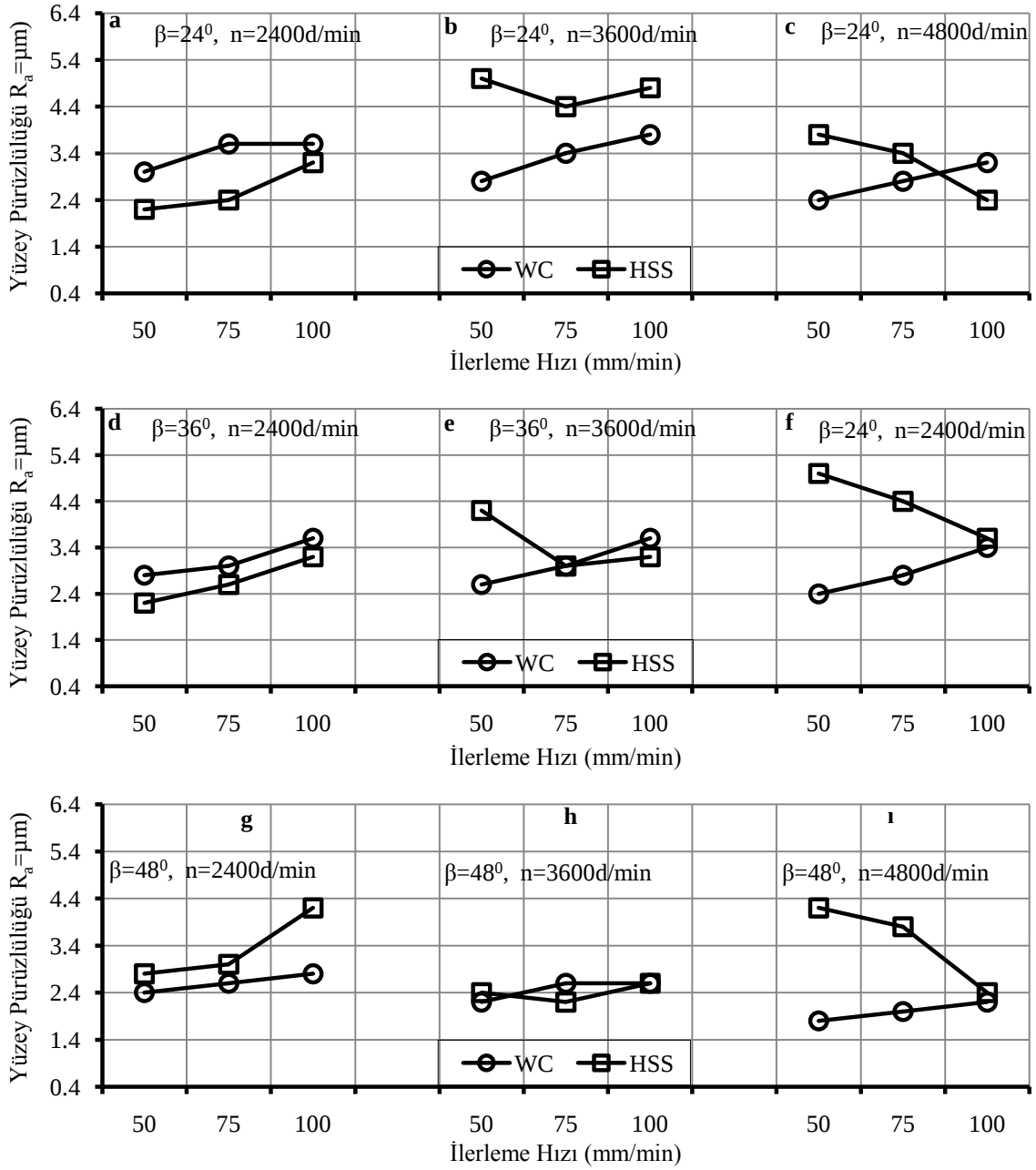
Şekilde $t=6\text{mm}$ kalınlığındaki malzemede en düşük yüzey pürüzlülüğü, a, b ve c’de 24° , St 37’de 2400d/min için 50mm/min’de, 0.6 μm , 3600d/min için 75mm/min’de 0.8 μm ve 4800d/min, 100mm/min’de 0.6 μm , A7075-T651’de ise sırasıyla 2,2 μm , 2.6 μm ve 2.6 μm olarak ölçülmüştür. d, e ve f’de 36° , St 37’de 2400d/min için 50mm/min’de 0.6 μm , 3600d/min için 75mm/min’de 1 μm ve 4800d/min, 100mm/min’de 0.8 μm , A7075-T651’de ise sırasıyla 3 μm , 1.4 μm ve 1.4 μm olarak ölçülmüştür. g, h ve i’da 48° , St 37’de 2400d/min için 50mm/min’de, 3600d/min için 75mm/min’de ve 4800d/min için 100mm/min’de 0.6 μm ,

A7075-T651’de ise sırasıyla 1.4 μ m, 2 μ m ve 2 μ m olarak ölçülmüştür. Malzeme kalınlığının 6mm’ye yükselmesi ile takım-iş parçası temas alanı arttığından yüzey kalitesi artmıştır.

5.1.10. Takım Cinsinin Yüzey Pürüzlülüğüne (R_a) Etkisi

Takım malzemesinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi takım malzemesinin ısı iletkenlik katsayısı ile değişmiştir. Takım, işlemden meydana gelen ısıyı iletterek işlem sıcaklığını etkilemiştir. Isıl iletkenlik katsayısı yüksek takımlar tarafından daha fazla ısı iletilmiş ve temas alanında meydana gelen ısı miktarı azalmıştır. WC takımın ısı iletkenlik katsayısı 84 W/m-K, HSS takımın ısı iletkenlik katsayısı ise 21 W/m-K dır. Temas alanında meydana gelen ısı miktarının yetersiz olması durumunda iş parçası yeterince yumuşamamış ve ergimemiş malzeme takım tarafından yüzeye sıvanarak yüzey kalitesi azalmıştır. HSS takımında en kaliteli yüzey, tüm devir sayılarında 50mm/min ilerleme hızında elde edilirken WC takımında ise 2400d/min için 50mm/min’de, 3600d/min için 75mm/min’de ve 4800d/min için 100mm/min ilerleme hızında elde edilmiştir. Takım cinsinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi Şekil 5.21–5.22’deki grafiklerde gösterilmiştir.

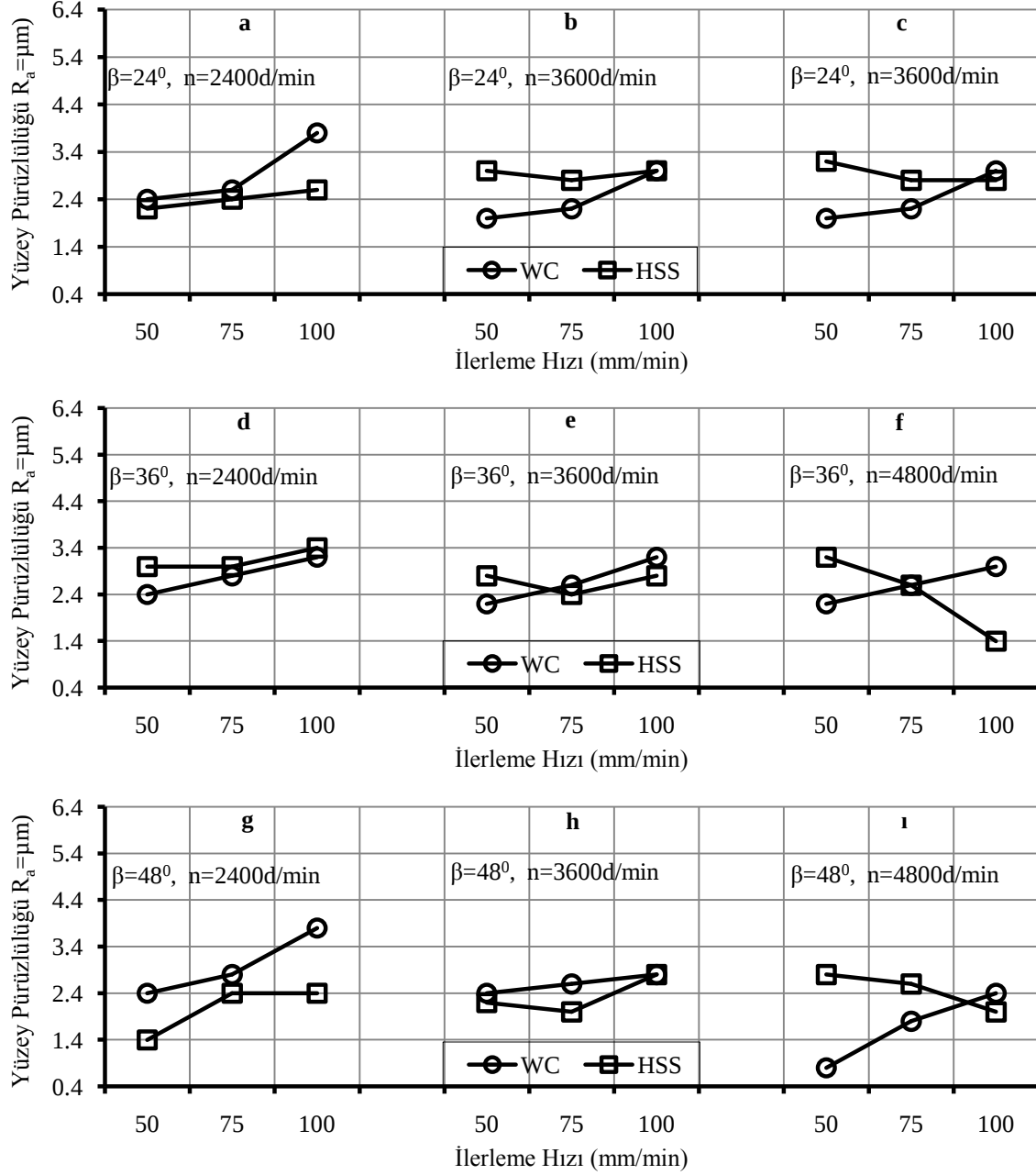
Şekil 5.21’de, A7075-T651 malzeme, $h_1=16$ mm, $t=4$ mm, $d=10$ mm için takım cinsinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi gösterilmiştir. $t=4$ mm malzeme kalınlığı için a, b ve c’de 24° koniklik açısında, 2400d/min’de HSS takımın ısı iletkenlik katsayısı düşük olduğundan temas bölgesinde meydana gelen ısı miktarı fazla olmuş, malzeme aşırı ergimiş, malzeme takım tarafından yüzeye sıvanarak yüzey kalitesi azalmıştır. 3600d/min ve 4800d/min’de WC takımın yüksek ısı iletkenlik katsayısının sebep olduğu ısı kaybı devir sayısı tarafından giderilmiş ve yüzey kalitesi iyileşmiştir. En düşük yüzey pürüzlülüğü, WC takım için 2400d/min’de 2.2 μ m, 3600d/min’de 4.4 μ m, 4800d/min’de 2.4 μ m, HSS takım için sırasıyla 3 μ m, 2.8 μ m ve 2.4 μ m olarak ölçülmüştür. d, e ve f’de en düşük yüzey pürüzlülüğü WC takım için 2400d/min’de 2.2 μ m, 3600d/min’de 3 μ m, 4800d/min’de 3.6 μ m, HSS takım için sırasıyla 2.8 μ m, 2.6 μ m ve 2.4 μ m olarak ölçülmüştür. g, h ve i’de en düşük yüzey pürüzlülüğü WC takım için 2400d/min’de 2.8 μ m, 3600d/min’de 2.4 μ m, 4800d/min’de 2.4 μ m, HSS takım için sırasıyla 2.4 μ m, 2.2 μ m ve 1.8 μ m olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.21. A7075-T651 malzeme ve WC takımında $h_1=16mm$, $t=4mm$, $d=10mm$ için takım cinsinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi

Şekil 5.22’de, A7075-T651 malzeme, $h_1=16mm$, $t=6mm$, $d=10mm$ için takım cinsinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi gösterilmiştir. $t=6mm$ malzeme kalınlığı için a, b ve c’de 24° koniklik açısında en düşük yüzey pürüzlülüğü, WC takım için 2400d/min’de $2.2\mu m$, 3600d/min’de $2.8\mu m$, 4800d/min’de $3.2\mu m$, HSS takım için sırasıyla $2.4\mu m$, $2\mu m$ ve $2\mu m$ olarak ölçülmüştür. d, e ve f’de en düşük yüzey pürüzlülüğü WC takım için 2400d/min’de $3\mu m$, 3600d/min’de $2.8\mu m$, 4800d/min’de $2.8\mu m$, HSS takım için sırasıyla $2.4\mu m$, $2.2\mu m$ ve

2.2 μm olarak ölçülmüştür. Şekil 5.22.g, h ve ı'da en düşük yüzey pürüzlülüğü WC takım için 2400d/min'de 1.4 μm , 3600d/min'de 2.2 μm , 4800d/min'de 2 μm , HSS takım için sırasıyla 2.4 μm , 2.4 μm ve 0.8 μm olarak ölçülmüştür.



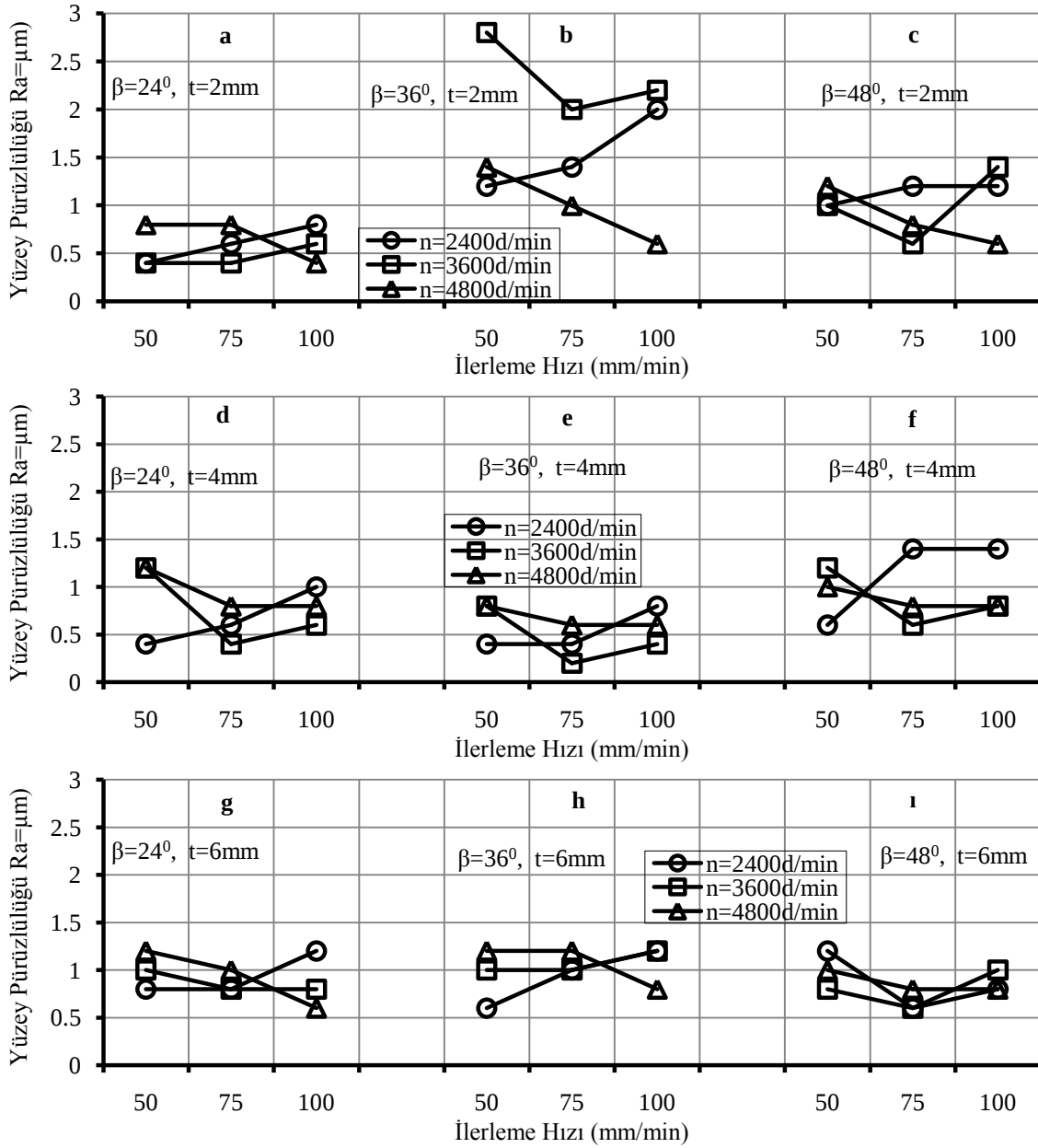
Şekil 5.22. A7075-T651 malzeme ve WC takımında $h_1=16\text{mm}$, $t=6\text{mm}$, $d=10\text{mm}$ için takım cinsinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi

5.1.11. St37 ve WC'de İlerleme Hızının Yüzey Pürüzlülüğüne (R_a) Etkisi

St37 çelik alaşımı, A7075-T651 alaşımına göre daha sünek olduğundan SDY yöntemi ile delik delme işlemine daha uygun olduğu görülmüştür. Isıl iletkenlik katsayısı A7075-T651 alaşımının ısı iletkenlik katsayısından daha düşük olduğundan takım-iş parçası temas alanından iş parçası tarafından iletilen ısı miktarı daha az olduğundan malzemenin viskoz hale gelmesi için A7075-T651 alaşımına göre daha düşük devir sayılarının seçilmesi gerektiği görülmüştür. Yüzey pürüzlülüğü kriterine göre St37'nin SDY'de düşük devir sayıları için düşük ilerleme hızları, yüksek devir sayıları için ise yüksek ilerleme hızları daha uygun olduğu tespit edilmiştir. St37 alaşımının WC takım ile SDY'de ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi Şekil 5.23'te gösterilmiştir.

2mm kalınlığındaki malzemede, işlemden deformasyonun etkisi fazla olduğundan, 24^0 takım koniklik açısında, 3600d/min için 75mm/min'de en kaliteli yüzey pürüzlülüğü değeri $0.4\mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. 4mm kalınlığındaki malzemede, 36^0 takım koniklik açısında, 3600d/min için 75mm/min'de en kaliteli yüzey pürüzlülüğü değeri $0.2\mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. 6mm kalınlığındaki malzemede, 24^0 takım koniklik açısında, 4800d/min için 100mm/min'de, 36^0 takım koniklik açısında 2400d/min için 50mm/min'de ve 48^0 takım koniklik açısında ise 2400d/min ve 3600d/min devir sayıları için 75mm/min'de en kaliteli yüzey pürüzlülüğü değeri $0.6\mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür.

St37 alaşımının SDY'de, yüzey pürüzlülüğü kriterine göre 2400d/min devir sayısı için 50mm/min ilerleme hızı, 3600d/min devir sayısı için 75mm/min ilerleme hızı ve 4800d/min devir sayısı için 100mm/min ilerleme hızının uygun olduğu tespit edilmiştir.

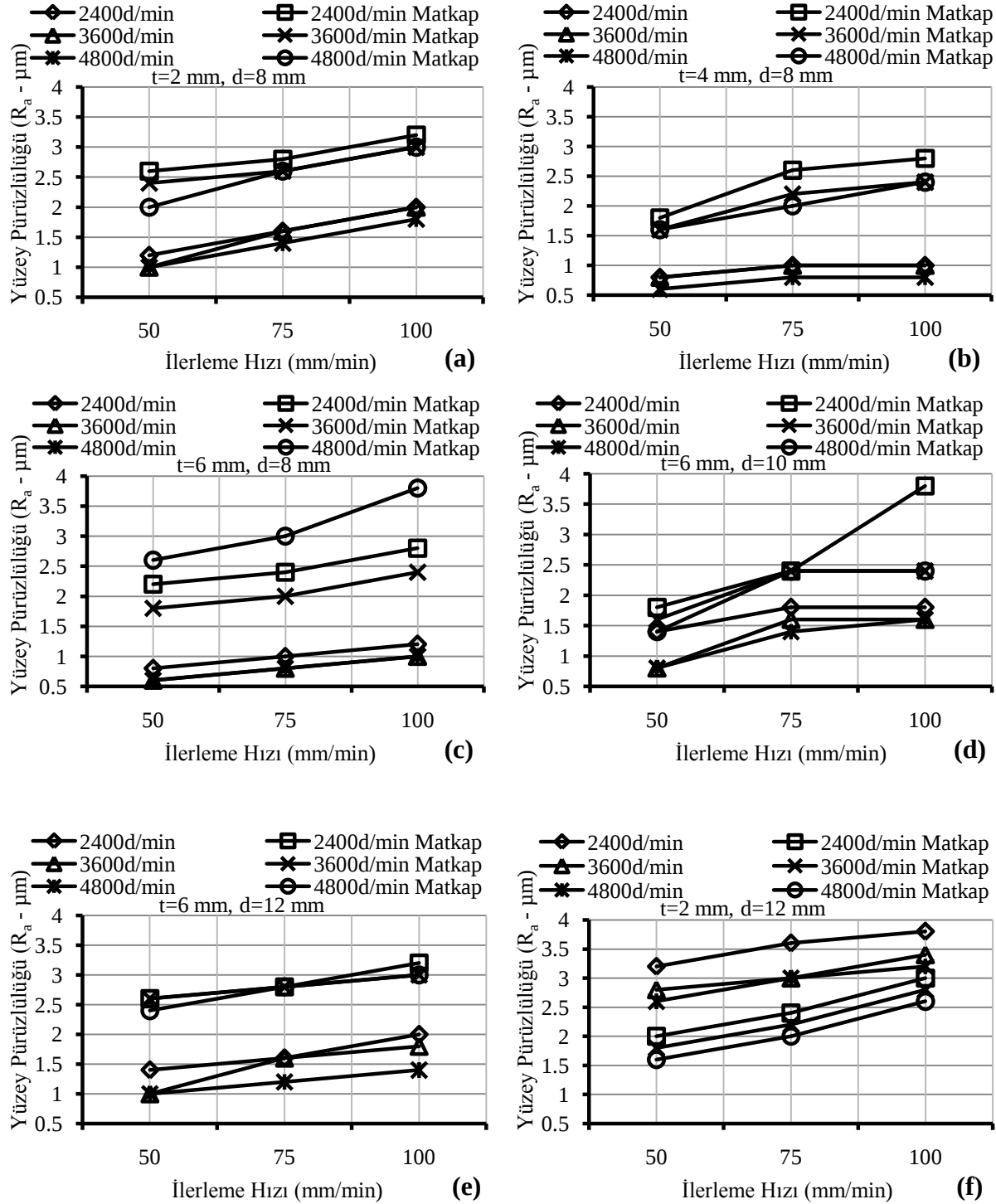


Şekil 5.23. St37 çelik malzeme WC takımında ilerleme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi

5.1.12. SDY ve GDY'nin Yüzey Pürüzlülüğüne (R_a) Etkisi

Şekil 5.23 a, b, c, d, e ve f'deki grafiklerde SDY ve GDY'nin yüzey pürüzlülüğüne etkisi gösterilmiştir. Şekilde, kalınlığı 2mm, 4mm ve 6mm olan A7075 – T651 malzemeye SDY ve GDY ile 8mm, 10mm ve 12mm çaplarında delinmiş deliklerin minimum yüzey pürüzlülüğü $0,6\mu\text{m}$ ve maksimum yüzey pürüzlülüğü ise $3,8\mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. SDY'de boşalan malzeme ısı etkisiyle ergiyerek boşaldığından GDY'ye göre yüzey kalitesi daha iyi olduğu tespit edilmiştir. SDY'de delinmiş deliğin yüzey kalitesi, boşalan malzemenin ergime sıcaklığının uygun olması şartıyla elde edilirken GDY'de kesme işleminden dolayı yüzey

kalitesi bozulmuştur. Tüm işlem şartlarında SDY’de, GDY’ye göre daha kaliteli yüzeyler elde edilmiştir. Ancak 2mm malzeme kalınlığında SDY’de deformasyonun etkisi artmış, malzeme yeterince ergimediğinden yüzey kalitesi bozulmuş ve GDY’de daha kaliteli yüzeyler elde edilmiştir.



Şekil 5.24. SDY ve GDY’nin yüzey pürüzlülüğüne etkisi

5.2. Kovan Yüksekliği (h_a), Kovan Dış Çapı (d), Kovan ve Pul Biçimleri

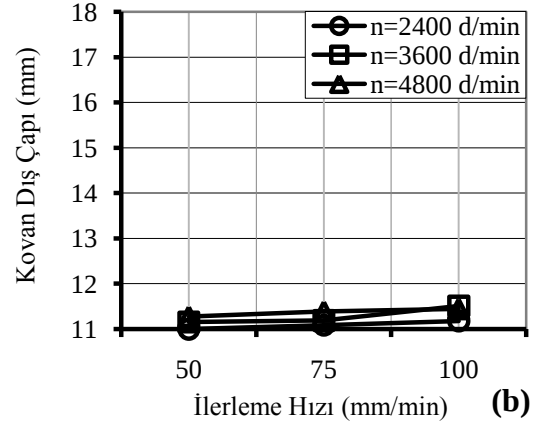
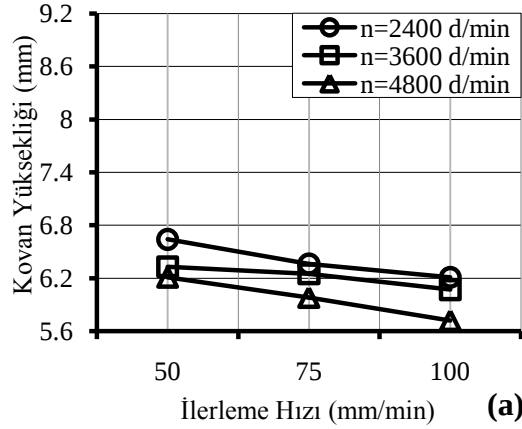
SDY ile delik delmenin amacı, bağlantı uzunluğunu artıran kovan oluşumunu sağlamaktır. Elde edilen kovanın yüksekliği arttıkça bağlantı uzunluğu ve dış çapı arttıkça da kovanın çeper kalınlığı artmıştır. Kovanın çeper kalınlığının artması ile delinmiş deliğe vida açıldığında bağlantı mukavemeti artmıştır. Kovan yüksekliği ve kovanın dış çapı üzerindeki en etkili parametreler, devir sayısı, ilerleme hızı, takımın koniklik ve uç açıları, takım ve iş parçası malzemelerinin ısı iletkenlik katsayıları ile takım ve iş parçası malzemelerinin türü olduğu görülmüştür. SDY’de elde edilen kovan yüksekliği, kovanın dış çapı, kovanın ve pulun biçimleri Şekil 5.24 – 5.58’deki grafik ve resimlerde gösterilmiştir.

5.2.1. İlerleme Hızının Kovan Yüksekliğine (h_a), Kovan Dış Çapına (d), Kovan ve Pul Biçimine Etkisi

Artan ilerleme hızı ile kovan ve pul biçimlerinde biraz yırtılma meydana gelmiş, işlemde deformasyonun etkisi artmış ve ergimiş malzeme dairesel olarak deliğin çevresine yayıldığından kovan yüksekliği azalmış, kovanın dış çapı, dolayısıyla kovanın çeper kalınlığı artmıştır.

Devir sayısının artması ile ergime sıcaklığı artmış ve malzeme yeterince yumuşamıştır. Ancak ergimiş malzeme, yüksek devir sayılarında dönme momentinin etkisi ile deliğin çevresine doğru akmış, kovan yüksekliği azalmış, kovanın dış çapı ise artmış ve kovan ile pul biçimlerinde yırtılmalar meydana gelmiştir. En büyük kovan yüksekliği ve en düşük kovan dış çapı 2400d/min’de elde edilmiştir. Şekil 5.25–5.31 a’da İlerleme Hızının kovan yüksekliğine, b’de kovanın dış çapına ve c’de ise kovan ve pul biçimlerine etkisi gösterilmiştir.

Şekil 5.25 a’da ilerleme hızının kovan yüksekliğine, b’de kovanın dış çapına, ve c’de ise kovanın ve pulun biçimi üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Minimum kovan yüksekliği 5,72mm, maksimum kovan yüksekliği 6,64mm, minimum kovan dış çapı 11mm ve maksimum kovan dış çapı ise 11,51mm olarak ölçülmüştür. İlerleme Hızının artması ile kovan yüksekliği azalmış, kovan dış çapı artmış, pul ve kovan biçimlerinde ise bir değişiklik olmamıştır. Devir sayısının artması ile kovan yüksekliği azalmış, kovan dış çapı artmış, pul ve kovan biçimlerinde ise yırtılmalar meydana gelmiştir.

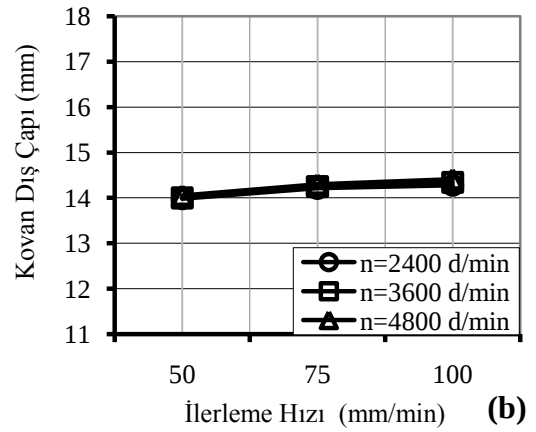
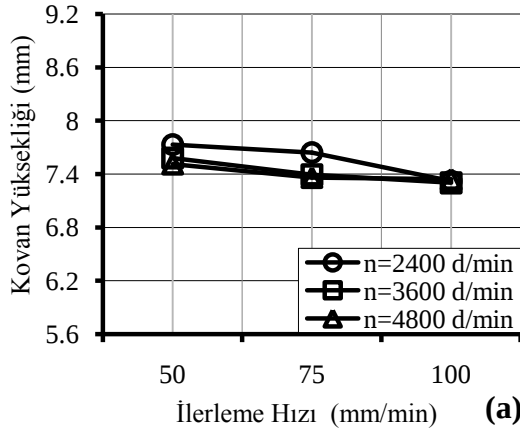


	50 (mm/min)	75 (mm/min)	100 (mm/min)
2400 (d/min)			
3600 (d/min)			
4800 (d/min)			

(c)

Şekil 5.25. $t=4\text{mm}$, $d=8\text{mm}$, $h_1=8\text{mm}$, $\beta=24^\circ$ ’de ilerleme hızının, a) kovan yüksekliğine, b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi

Şekil 5.26 a’da ilerleme hızının kovan yüksekliğine, b’de kovanın dış çapına ve c’de ise kovanın ve pulun biçimi üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Minimum kovan yüksekliği 7,3mm, maksimum kovan yüksekliği 7,73mm, minimum kovan dış çapı 14 mm ve maksimum kovan dış çapı ise 14,41mm olarak elde edilmiştir. Düşük devir sayılarında malzemenin dairesel olarak delik çevresine yayılma oranı azaldığından ve yüksek ilerleme oranlarında ise ergimiş malzemenin düşey doğrultuda akışı hızlandığından kovan yüksekliği artmış ve 2400d/min’de en büyük kovan yüksekliği elde edilmiştir. 3600d/min, 4800d/min ve 100mm/min’de ise hem kovan yüksekliği hem de kovan dışı çapı artmıştır. Diğer şartlarda ise artan devir sayısı ile kovan yüksekliği azalırken kovanın dış çapı artmıştır. Delik çapının 8mm’den 10mm’ye yükselmesi ile kovan oluşumunu sağlayan malzeme miktarı arttığından kovan yüksekliği artmıştır.

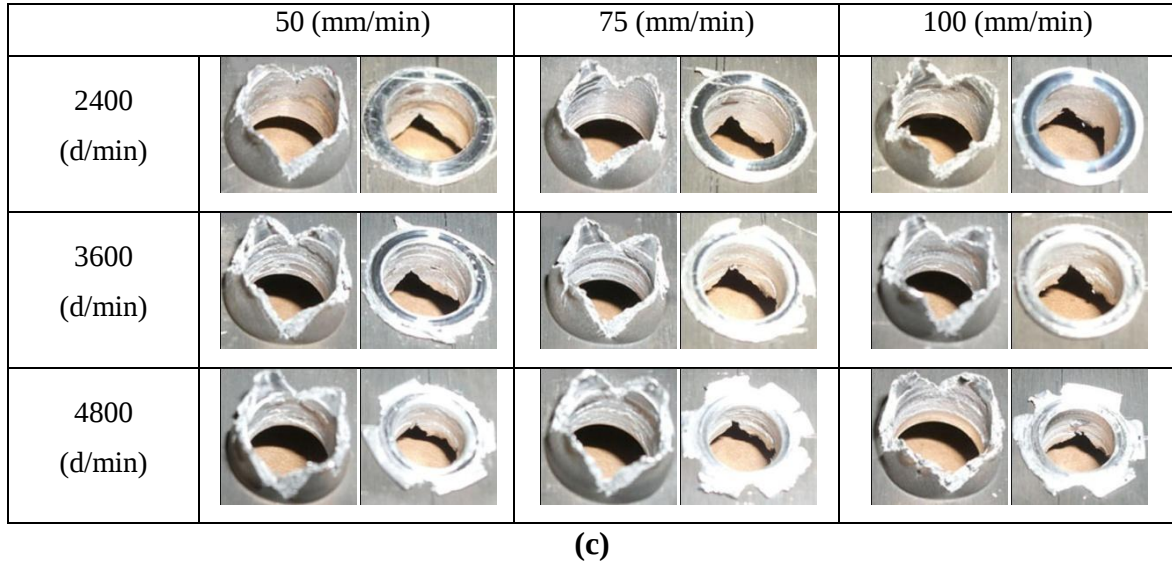
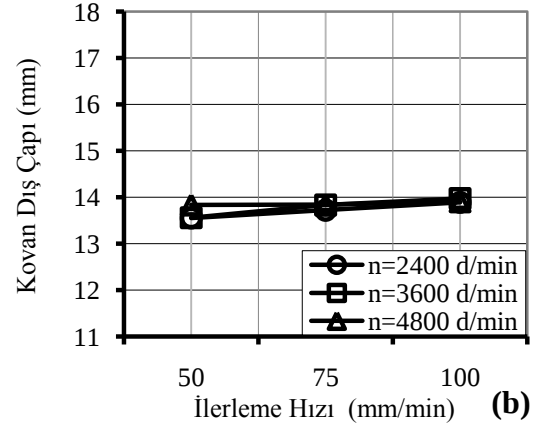
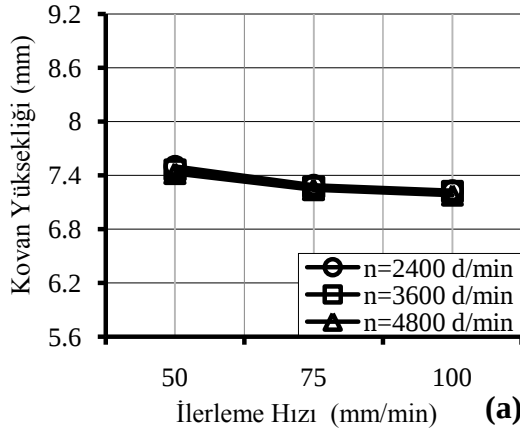


	50 (mm/min)	75 (mm/min)	100 (mm/min)
2400 (d/min)			
3600 (d/min)			
4800 (d/min)			

(c)

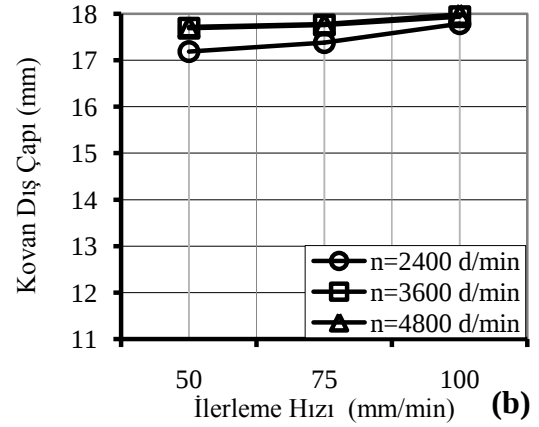
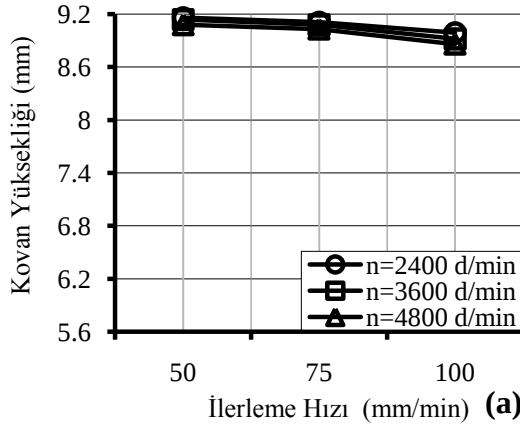
Şekil 5.26 $t=4\text{mm}$, $d=10\text{mm}$, $h_1=24\text{mm}$, $\beta=24^\circ$ 'de ilerleme hızının, a) kovan yüksekliğine, b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi

Şekil 5.27 a'da ilerleme hızının kovan yüksekliğine, b'de kovanın dış çapına ve c'de ise kovanın ve pulun biçimi üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Minimum kovan yüksekliği 7,18mm, maksimum kovan yüksekliği 7,5mm, minimum kovan dış çapı 13,55mm ve maksimum kovan dış çapı ise 13,97mm olarak ölçülmüştür. 4800d/min'de artan ilerleme hızı ile kovan dış çapı artmış, yüksek devir sayılarında ise dönme momentinin etkisiyle çevreye yayılan malzeme miktarı arttığından kovan yüksekliği azalmıştır. 50mm/min'de artan devir sayısı ile kovan dış çapı artmış, 75mm/min, 100mm/min, 3600d/min ve 4800d/min'de ise kovan dış çapı azalmıştır. Takım koniklik açısının 24° 'den 36° 'ye yükselmesi ile takım-iş parçası temas alanı ve meydana gelen ısı miktarı azaldığından deformasyonun etkisi artmış, malzeme yeterince ergimiş, kovan yüksekliği ve kovan dış çapı azalmıştır. Artan devir sayısı ile kovan ve pul biçimlerindeki çatlak miktarı artmıştır.



Şekil 5.27 $t=4\text{mm}$, $d=10\text{mm}$, $h_1=16\text{mm}$, $\beta=36^\circ$ 'de ilerleme hızının, a) kovan yüksekliğine, b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi

Şekil 5.28 a'da ilerleme hızının kovan yüksekliğine, b'de kovanın dış çapına ve c'de ise kovanın ve pulun biçimi üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Minimum kovan yüksekliği 8,86mm, maksimum kovan yüksekliği 9,16 mm, minimum kovan dış çapı 17,19mm ve maksimum kovan dış çapı ise 17,99mm olarak elde edilmiştir. Delik çapının 10mm'den, 12mm'ye yükselmesi ile kovan oluşumunu sağlayan malzeme miktarı ve takım-iş parçası temas alanı arttığından kovan yüksekliği ve dış çapı artmıştır. 3600d/min ve 4800d/min'de kovan dış çapı artmış kovan yüksekliği ise azalmıştır. Artan devir sayısı ile 50mm/min'de pul biçimindeki, tüm ilerleme oranlarında ise kovan biçimindeki çatlak miktarı artmıştır. Malzeme kalınlığının 4mm'den 6mm'ye yükselmesi ile kovan ve pul oluşumunu sağlayan malzeme miktarı ve takım-iş parçası temas alanı arttığından kovan yüksekliği ve dış çapı artmıştır.

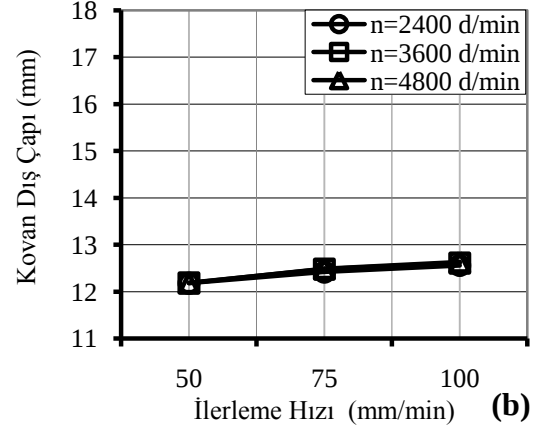
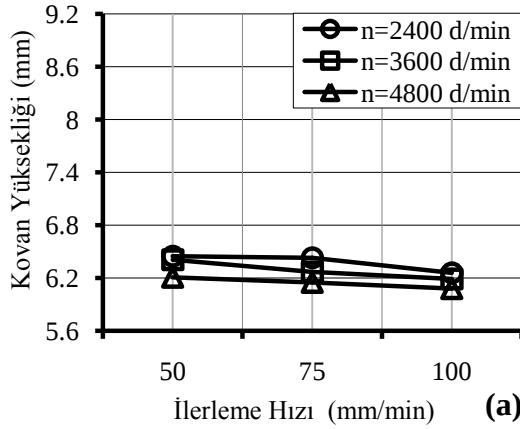


	50 (mm/min)		75 (mm/min)		100 (mm/min)	
2400 (d/min)						
3600 (d/min)						
4800 (d/min)						

(c)

Şekil 5.28 $t=6\text{mm}$, $d=12\text{mm}$, $h_1=16\text{mm}$, $\beta=36^\circ$ 'de ilerleme hızının, a) kovan yüksekliğine, b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi

Şekil 5.29 a'da ilerleme hızının kovan yüksekliğine, b'de kovanın dış çapına ve c'de ise kovanın ve pulun biçimi üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Minimum kovan yüksekliği 6,08mm, maksimum kovan yüksekliği 6,45mm, minimum kovan dış çapı 12,18mm ve maksimum kovan dış çapı ise 12,63mm olarak ölçülmüştür. En büyük kovan yüksekliği ve en küçük kovan dış çapı 50mm/min ve 2400d/min'de elde edilirken, en büyük kovan dış çapı ve en küçük kovan yüksekliği ise 100mm/min ve 4800d/min'de elde edilmiştir. 48° koniklik açısında artan ilerleme hızı ve devir sayısı ile kovan ve pul biçimlerindeki çatlak miktarı değişmemiştir. Sabit delik çapı için malzeme kalınlığının artması ile pul oluşumunu sağlayan malzeme miktarı arttığından 8mm delik çapı için malzeme kalınlığının 4mm'den 6mm'ye yükselmesi ile kovan yüksekliği ve dış çapı artmıştır.

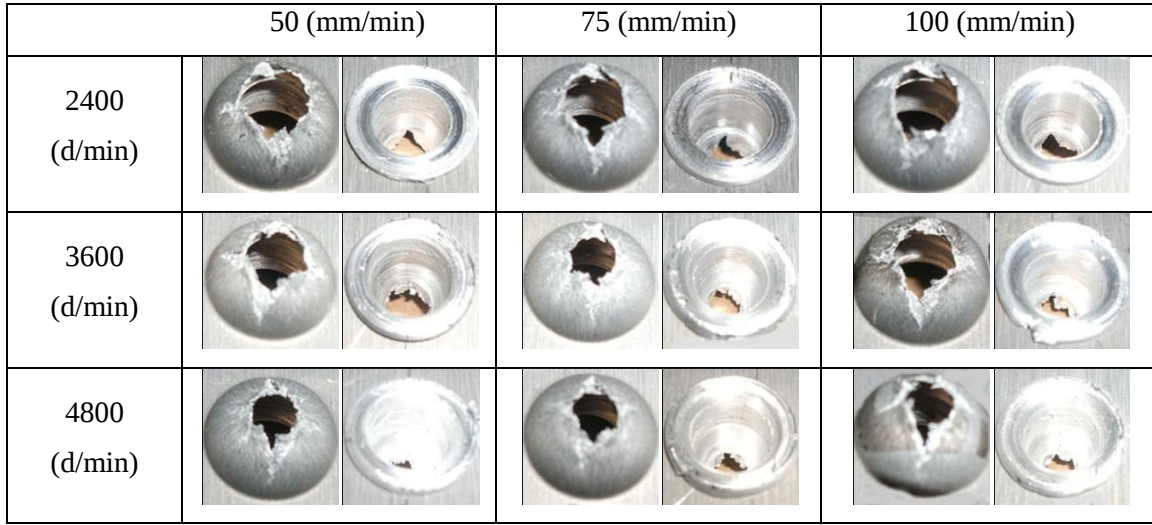
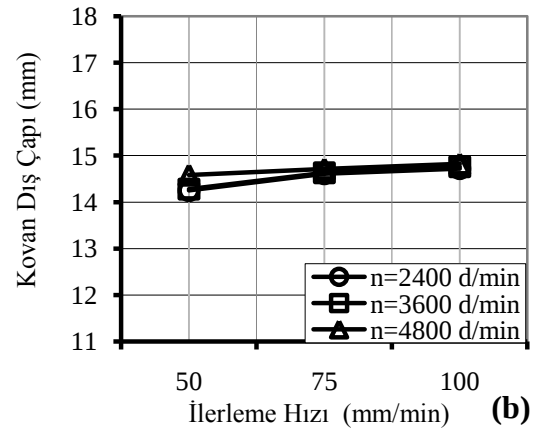
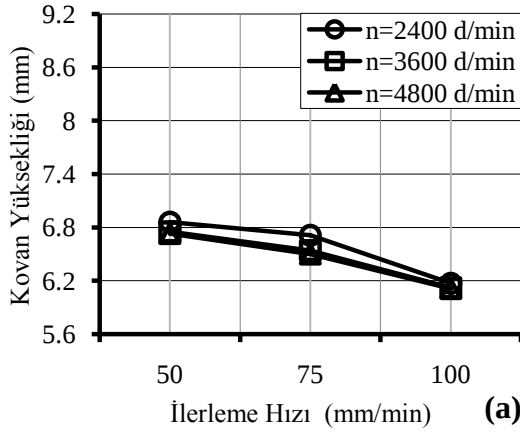


	50 (mm/min)		75 (mm/min)		100 (mm/min)	
2400 (d/min)						
3600 (d/min)						
4800 (d/min)						

(c)

Şekil 5.29. $t=6\text{mm}$, $d=8\text{mm}$, $h_1=16\text{mm}$, $\beta=48^\circ$ de ilerleme hızının, a) kovan yüksekliğine, b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi

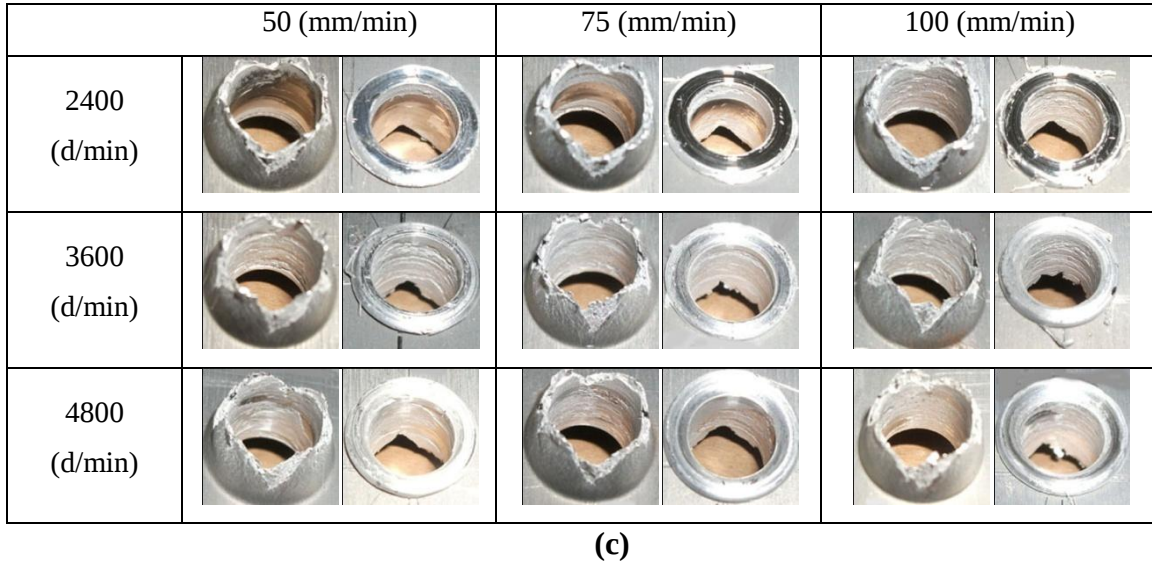
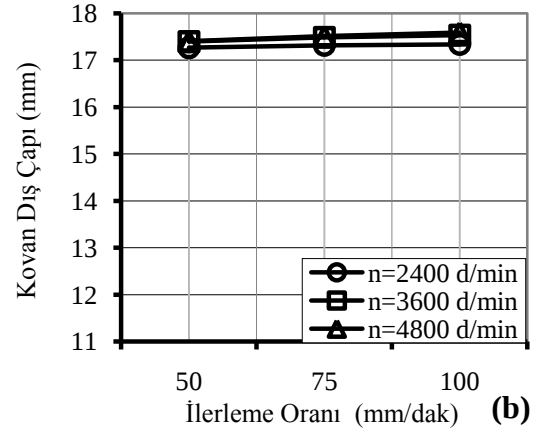
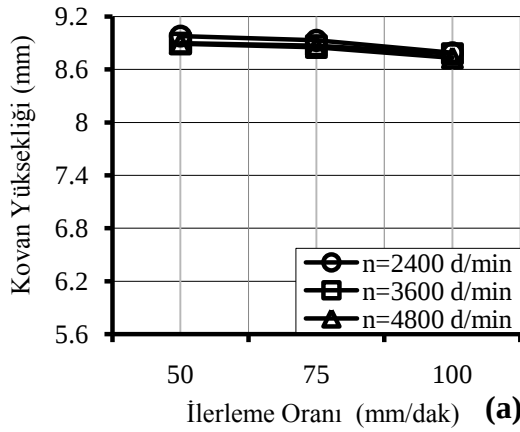
Şekil 5.30 a'da ilerleme hızının kovan yüksekliğine, b'de kovanın dış çapına ve c'de ise kovanın ve pulun biçimi üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Minimum kovan yüksekliği 6,11mm, maksimum kovan yüksekliği 6,86mm, minimum kovan dış çapı 14,25mm ve maksimum kovan dış çapı ise 14,82mm olarak elde edilmiştir. 6mm malzeme kalınlığı için $h_1=8\text{mm}$ takım silindirik bölge uzunluğu yetersiz olduğundan ergimiş malzeme düşey doğrultuda aşağı doğru hareket edemediğinden kovanlar konik biçimde meydana gelmiş, aşağı doğru hareket edemeyen malzeme yukarı doğru aktığından pul oluşumunu sağlayan malzeme miktarı artmış ve pul biçimini oluşturan sızdırmazlık halkası daha büyük olmuştur. Değişen ilerleme hızı ve devir sayısı ile kovan ve pul biçimlerindeki çatlak miktarında bir değişiklik olmamıştır. İlerleme oranı ve devir sayısının artması ile kovan yüksekliği azalmış, kovan dış çapı ise artmıştır.



(c)

Şekil 5.30. $t=6\text{mm}$, $d=10\text{mm}$, $h_f=8\text{mm}$, $\beta=48^\circ$ de ilerleme hızının, a) kovan yüksekliğine, b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi

Şekil 5.31 a'da ilerleme hızının kovan yüksekliğine, b'de kovanın dış çapına ve c'de ise kovanın ve pulun biçimi üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Minimum kovan yüksekliği 8,73mm, maksimum kovan yüksekliği 8,98mm, minimum kovan dış çapı 17,27mm ve maksimum kovan dış çapı ise 17,59mm olarak elde edilmiştir. Delik çapının 10mm'den 12mm'ye yükselmesi ile kovan yüksekliği ve dış çapı artmıştır. 48° koniklik açısında değişen ilerleme hızı ve devir sayısı ile kovan ve pul biçimlerinde fazla bir değişiklik olmazken artan ilerleme hızı ve devir sayısı ile kovan yüksekliği azalmış ve kovan dış çapı ise artmıştır.

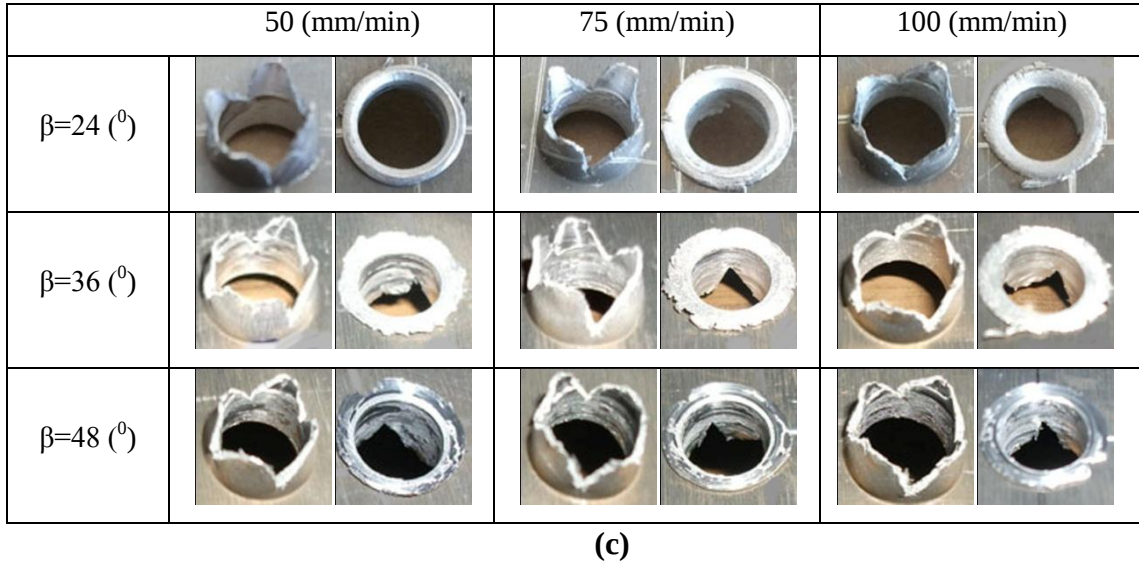
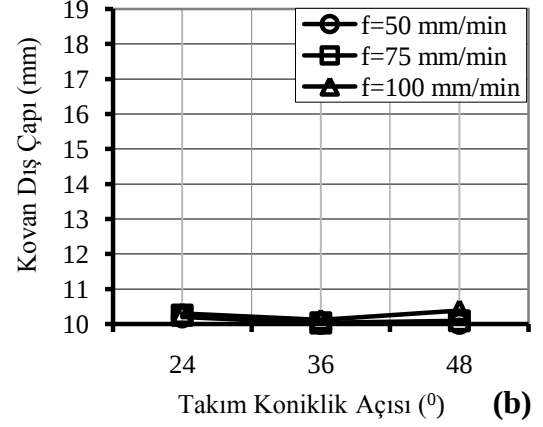
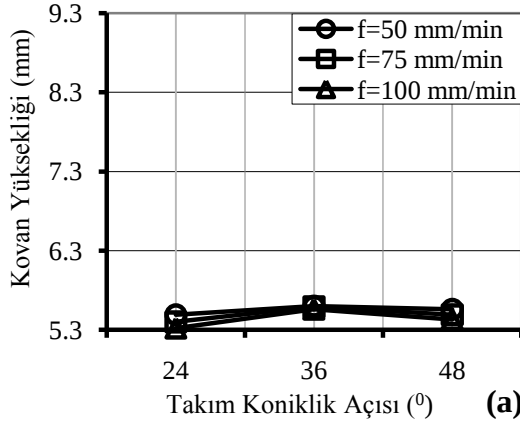


Şekil 5.31. $t=6\text{mm}$, $d=12\text{mm}$, $h_1=16\text{mm}$, $\beta=48^\circ$ 'de ilerleme hızının, a) kovan yüksekliğine, b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi

5.2.2. Takım Koniklik Açısının Kovan Yüksekliğine (h_a), Kovan Dış Çapına (d), Kovan ve Pul Biçimine Etkisi

Takım koniklik açısının atması ile takım-iş parçası temas alanı ve meydana gelen ısı miktarı azalmış, malzeme ısı etkisiyle yeterince ergimemiş, akmamış, kovan ve pul biçimlerinde yırtılmalar meydana gelmiş, kovan dış çapı artmış ve kovan yüksekliği ise azalmıştır. Şekil 5.32-5.38 a'da koniklik açısının kovan yüksekliğine, b'de kovanın dış çapına ve c'de ise kovan ve pul biçimlerine etkisi gösterilmiştir.

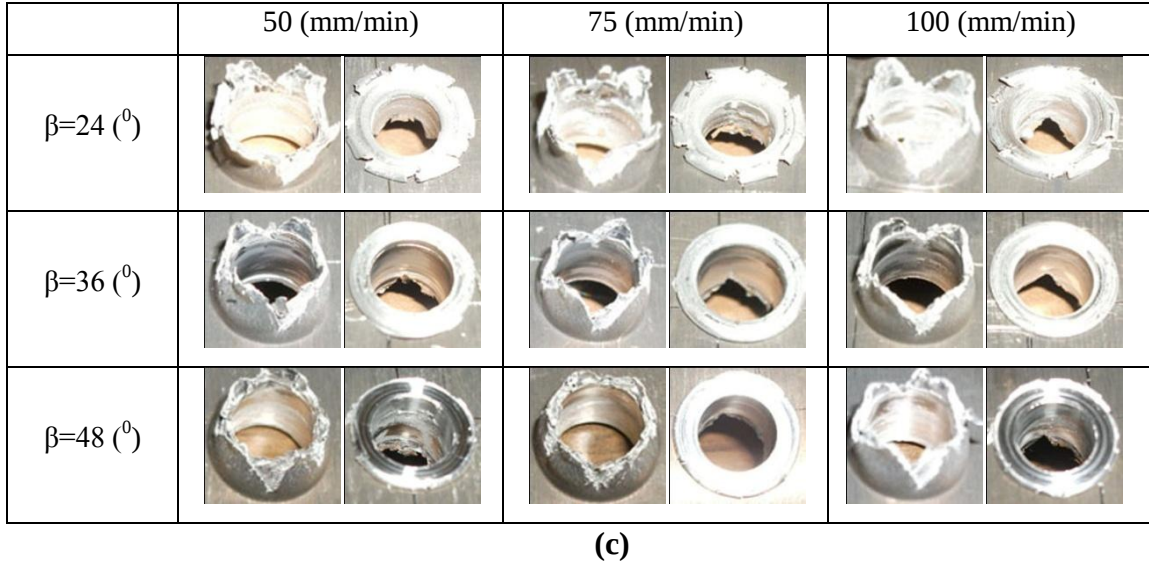
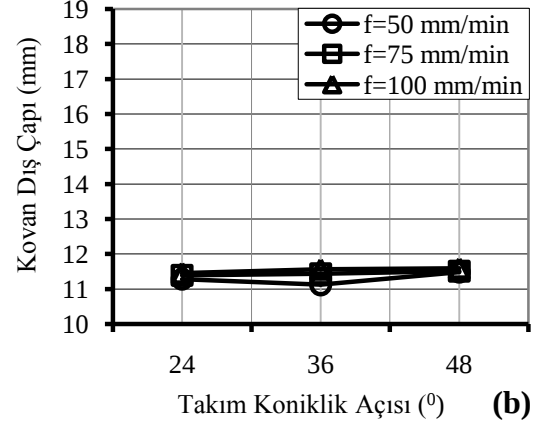
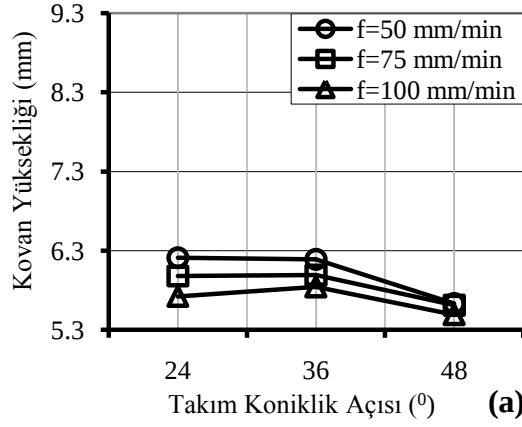
Şekil 5.32 a'da, koniklik açısının kovan yüksekliğine, b'de kovanın dış çapına ve c'de ise kovan ve pul biçimlerine etkisi gösterilmiştir.



Şekil 5.32. $t=2\text{mm}$, $d=8\text{mm}$, $n=2400\text{d/min}$, $h_f=8\text{mm}$ 'de takım koniklik açısının, a) kovan yüksekliğine, b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi

Şekilde minimum kovan yüksekliği 5,32mm, maksimum kovan yüksekliği 5,59mm, minimum kovan dış çapı 10,02mm ve maksimum kovan dış çapı ise 10,38mm olarak ölçülmüştür. 2400d/min'de tüm ilerleme oranları için en büyük kovan yüksekliği 36° 'de elde edilirken en büyük kovan dış çapı ise 24° 'de elde edilmiştir.

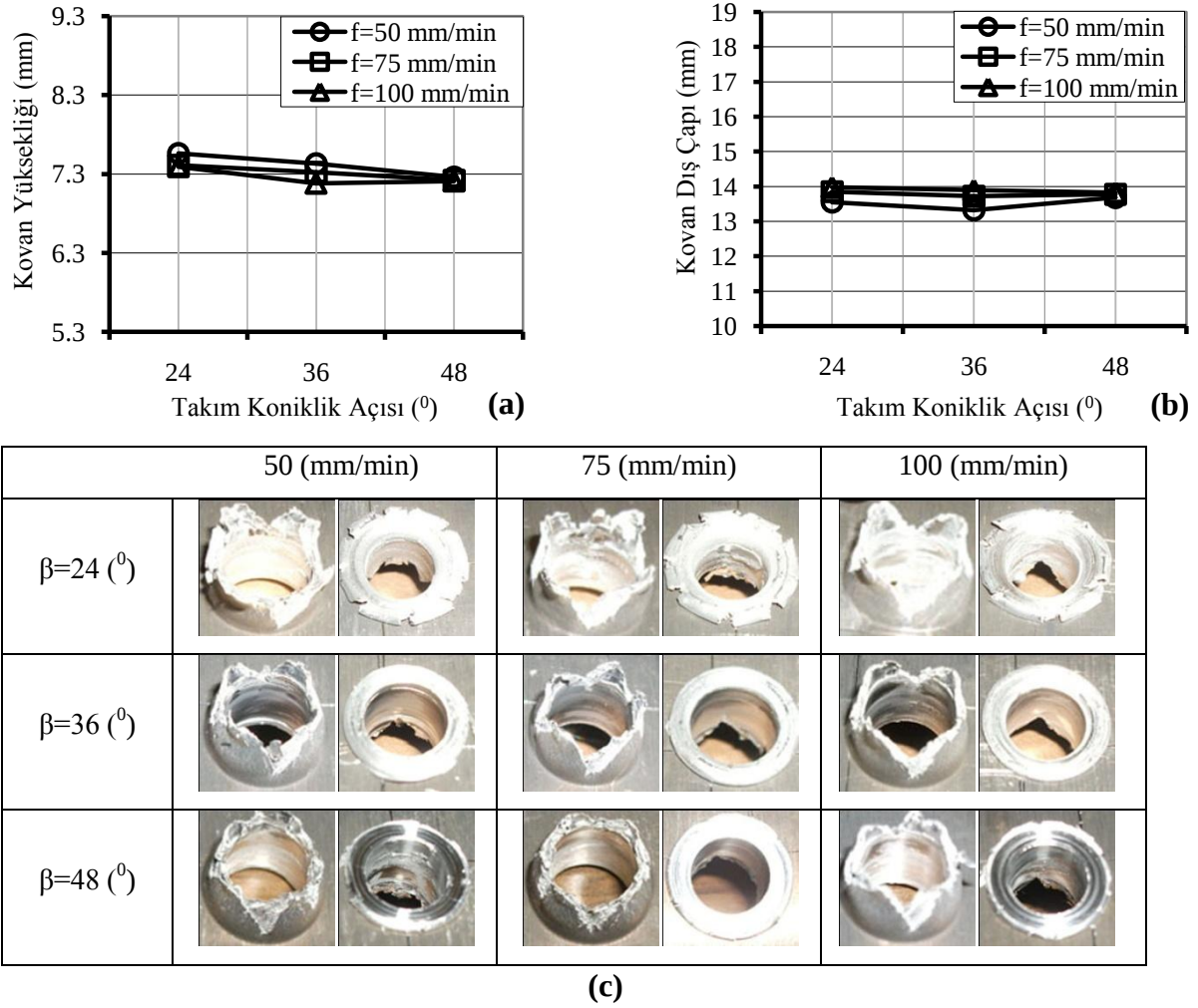
Şekil 5.33 a'da koniklik açısının kovan yüksekliğine, b'de kovanın dış çapına ve c'de ise kovan ve pul biçimlerine etkisi gösterilmiştir.



Şekil 5.33. $t=4\text{mm}$, $d=8\text{mm}$, $n=4800\text{d/min}$, $h_1=8\text{mm}$ 'de takım koniklik açısının, a) kovan yüksekliğine, b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi

Şekilde minimum kovan yüksekliği 5,49mm, maksimum kovan yüksekliği 6,21mm, minimum kovan dış çapı 11,12mm ve maksimum kovan dış çapı ise 11,59mm olarak ölçülmüştür. 50mm/min'de koniklik açısının 24° 'den 36° 'ye yükselmesi ile kovan yüksekliği azalmış, 75mm/min'de sabit kalmış, 100mm/min'de artmış, 36° 'den 48° 'ye yükselmesi ile tüm ilerleme oranlarında kovan yüksekliği azalmıştır. Kovan dış çapında ise artan koniklik açısı ile fazla bir değişiklik olmamıştır. 24° koniklik açısında, kovan ve pul biçimlerindeki çatlak miktarı daha fazla olmuş, artan koniklik açısı ile kovan ve pul biçimlerinde meydana gelen çatlak miktarı azalmıştır. Malzeme kalınlığının artması ile kovan yüksekliği ve dış çapı artmıştır. Devir sayısının artması ile kovan yüksekliği azalmış, kovan dış çapı, kovan ve pul biçimlerindeki çatlak miktarı artmıştır.

Şekil 5.34 a’da koniklik açısının kovan yüksekliğine, b’de kovanın dış çapına ve c’de ise kovan ve pul biçimlerine etkisi gösterilmiştir.

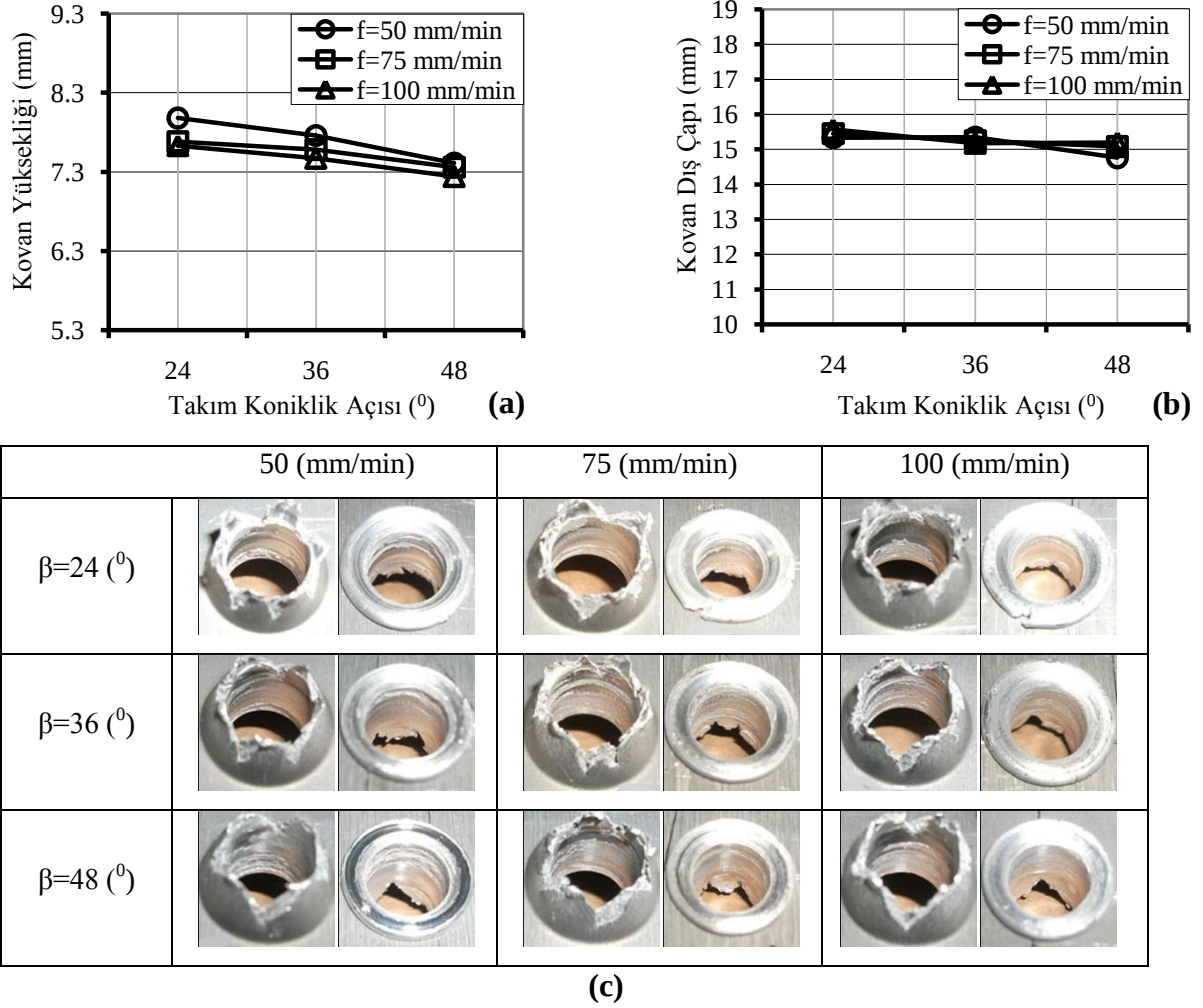


Şekil 5.34. $t=4\text{mm}$, $d=10\text{mm}$, $n=2400\text{d/min}$, $h_1=16\text{mm}$ ’de takım koniklik açısının, a) kovan yüksekliğine, b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi

Şekilde minimum kovan yüksekliği 7,21mm, maksimum kovan yüksekliği 7,56mm, minimum kovan dış çapı 13,72mm ve maksimum kovan dış çapı ise 15,55mm olarak ölçülmüştür. 2400d/min’de artan koniklik açısı ile kovan yüksekliği düzenli olarak azalmış, 50 mm/min ve 24° ’da en büyük kovan yüksekliği ve kovan dış çapı elde edilmiştir. Delik çapının 8mm’den 10mm’ye çıkması ile kovan oluşumunu sağlayan malzeme miktarı arttığından kovan yüksekliği ve kovan dış çapı artmıştır.

Şekil 5.35 a’da koniklik açısının kovan yüksekliğine, b’de kovanın dış çapına ve c’de ise kovan ve pul biçimlerine etkisi gösterilmiştir. Minimum kovan yüksekliği 7,24mm,

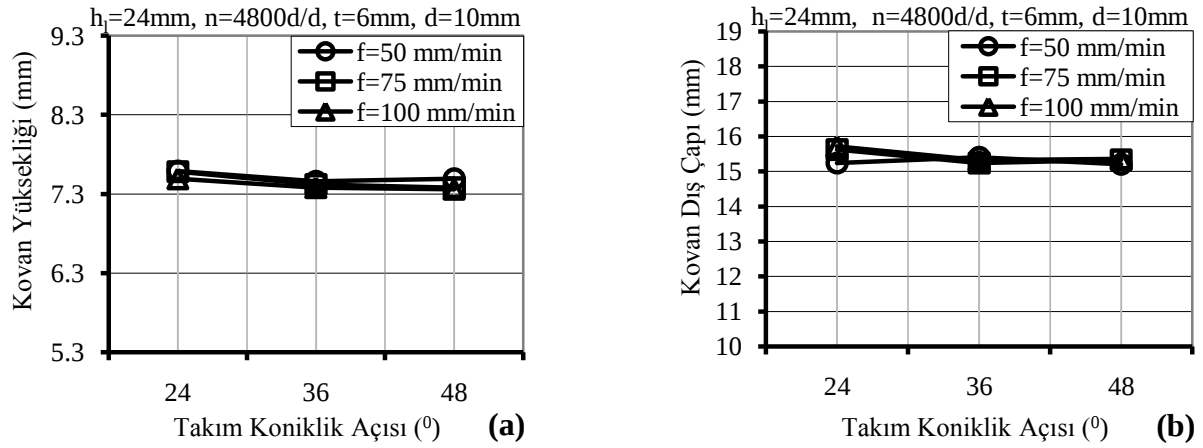
maksimum kovan yüksekliği 7,98mm, minimum kovan dış çapı 14,76mm ve maksimum kovan dış çapı ise 15,57mm olarak ölçülmüştür. Koniklik açısının artması ile kovan yüksekliği düzenli olarak azalmıştır. En büyük kovan yüksekliği ve kovan dış çapı 50mm/min, 24⁰'de elde edilmiştir. Malzeme kalınlığının 4mm'den 6mm'ye çıkması ile kovan yüksekliği ve dış çapı ergiyen malzeme miktarı ve takım-iş parçası temas alanı arttığından artmıştır. 3600d/min'de değişen koniklik açısı ile kovan ve pul biçimlerinde önemli bir değişiklik meydana gelmemiştir.

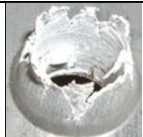


Şekil 5.35. t=6mm, d=10mm, n=3600d/min, h₁=16mm'de takım koniklik açısının, a) kovan yüksekliğine, b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi

Şekil 5.36 a'da koniklik açısının kovan yüksekliğine, b'de kovanın dış çapına ve c'de ise kovan ve pul biçimlerine etkisi gösterilmiştir. Minimum kovan yüksekliği 7,36mm, maksimum kovan yüksekliği 7,59mm, minimum kovan dış çapı 15,20mm ve maksimum kovan dış çapı ise 15,71mm olarak ölçülmüştür. Artan koniklik açısı ile kovan yüksekliğinde

ve dış çapında çok az azalma meydana gelmiş, 24⁰ ve 48⁰'de kovan ve pul biçimlerindeki çatlak miktarı artmıştır. 36⁰'de çatlak miktarı en az olan kovan ve pul biçimleri elde edilmiştir. $h_1=24\text{mm}$ 'ye çıkması ile takım silindirik bölgesi meydana gelen kovanın şekillenmesini sağladığından artan koniklik açısı ile kovan yüksekliği ve dış çapı azalmıştır.



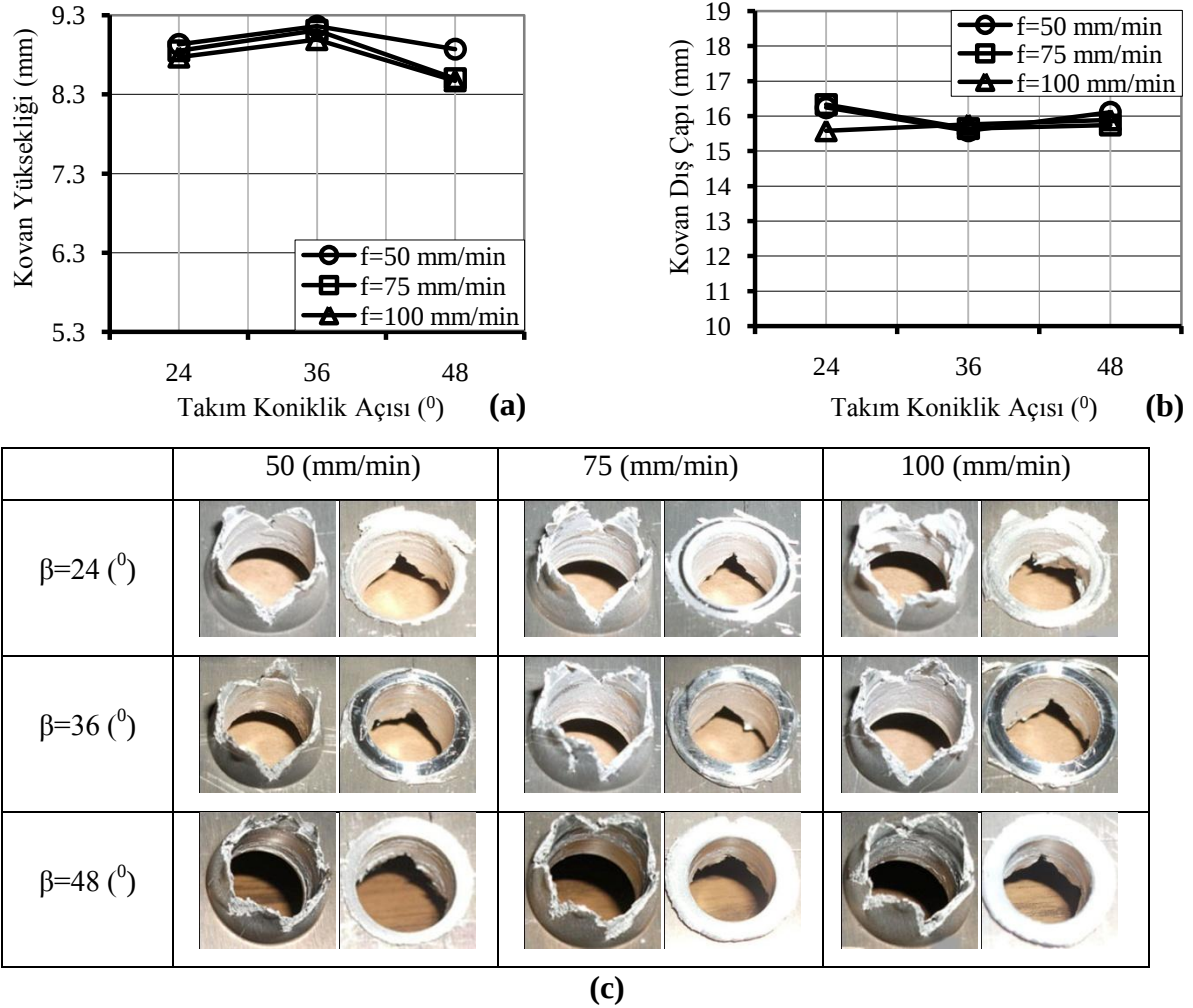
t=6 (mm), d=10 (mm), n=4800 (d/min), h ₁ =24 (mm)						
50 (mm/min)			75 (mm/min)		100 (mm/min)	
$\beta=24\ (^{\circ})$						
$\beta=36\ (^{\circ})$						
$\beta=48\ (^{\circ})$						

(c)

Şekil 5.36. t=6mm, d=10mm, n=4800d/min, $h_1=16\text{mm}$ 'de takım koniklik açısının, a) kovan yüksekliğine, b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi

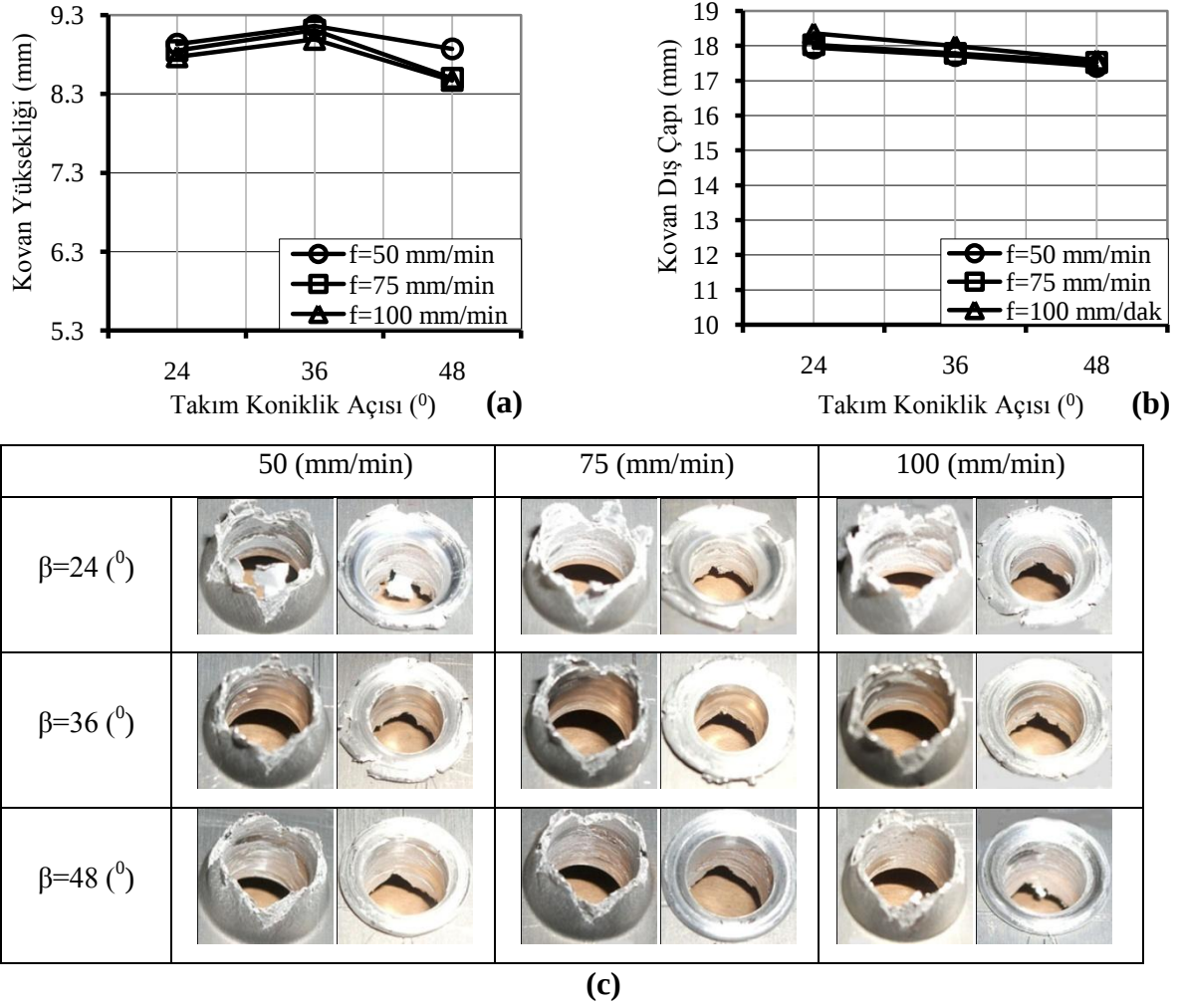
Şekil 5.37 a'da koniklik açısının kovan yüksekliğine, b'de kovanın dış çapına ve c'de ise kovan ve pul biçimlerine etkisi gösterilmiştir. Minimum kovan yüksekliği 8,5mm, maksimum kovan yüksekliği 9,16mm, minimum kovan dış çapı 15,64mm ve maksimum kovan dış çapı ise 16,58mm olarak elde edilmiştir. Delik çapının 12mm'ye çıkması ile kovan oluşumunu sağlayan malzeme miktarı arttığından kovan yüksekliği artmış ve kovan dış çapı

ise azalmıştır. Maksimum kovan yüksekliği ve minimum kovan dış çapı değerleri 36^0 koniklik açısında elde edilmiştir. Kovan ve pul biçimlerinde en fazla çatlak miktarı 24^0 koniklik açısında meydana gelmiştir.



Şekil 5.37. $t=4\text{mm}$, $d=12\text{mm}$, $n=2400\text{d/min}$, $h_1=16\text{mm}$ 'de takım koniklik açısının, a) kovan yüksekliğine, b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi

Şekil 5.38 a'da koniklik açısının kovan yüksekliğine, b'de kovanın dış çapına ve c'de ise kovan ve pul biçimlerine etkisi gösterilmiştir. Minimum kovan yüksekliği 8,62mm, maksimum kovan yüksekliği 9,08mm, minimum kovan dış çapı 17,41mm ve maksimum kovan dış çapı ise 18,36mm olarak elde edilmiştir. Malzeme kalınlığının 6mm'ye çıkması ile kovan ve pul oluşumunu sağlayan malzeme miktarı arttığından kovan yüksekliği ve dış çapı artmıştır. 4800d/min'de artan koniklik açısı ile kovan ve pul biçimindeki çatlak miktarı ve kovan dış çapı azalmış, maksimum kovan yüksekliği ise 36^0 koniklik açısında elde edilmiştir.



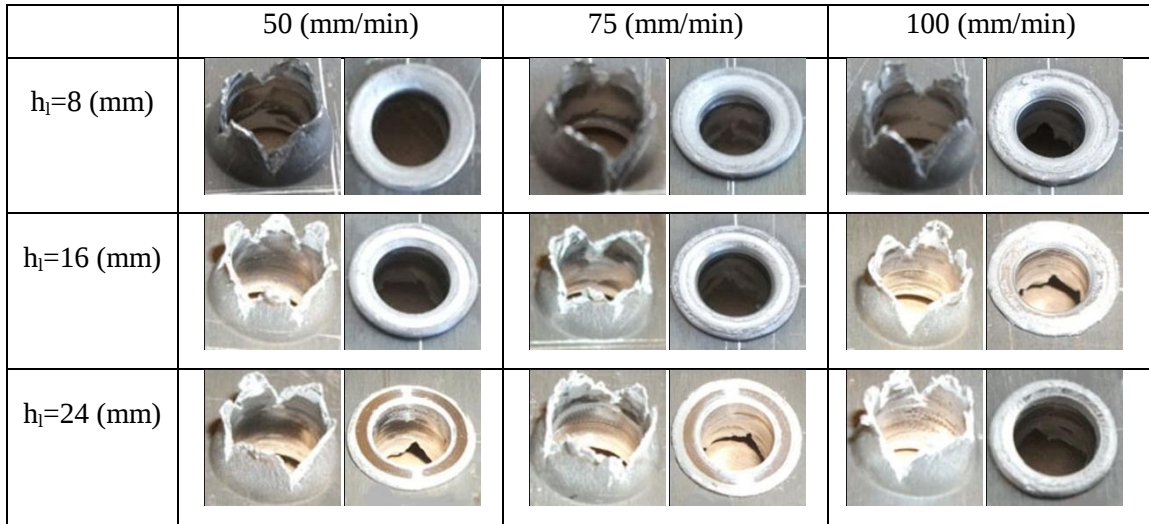
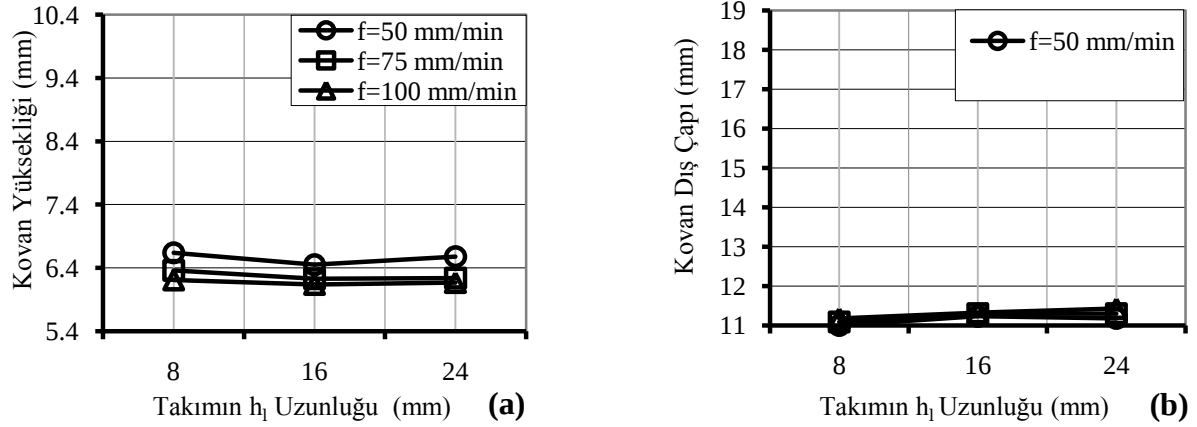
Şekil 5.38. $t=6\text{mm}$, $d=12\text{mm}$, $n=4800\text{d/min}$, $h_1=16\text{mm}$ 'de takım koniklik açısının, a) kovan yüksekliğine, b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi

5.2.3. Takımın h_1 Uzunluğunun Kovan Yüksekliğine (h_a), Kovan Dış Çapına (d), Kovan ve Pul Biçimine Etkisi

Takımın h_1 uzunluğu, malzemenin kalınlığına göre belirlenmiş, kovanın silindirikliğini artırmış, yetersiz olması durumunda elde edilen kovanın biçimi konik olmuş ve yüksekliği azalmış, malzeme kalınlığının yaklaşık olarak 2–3 katı kadar olması gerektiği tespit edilmiştir. Elde edilen kovan yüksekliği, malzemenin kalınlığına göre yeterli olan h_1 uzunluğunu da tespit etmiştir. Artan h_1 uzunluğu ile yüksek devir sayılarında ergimiş malzeme, dönme momentinin etkisiyle çevreye yayıldığından kovan yüksekliği azalmış ve kovan dış çapı ise artmıştır. Şekil 5.39-5.44 a'da, h_1 takım silindirik bölge uzunluğunun kovan

yüksekliğine, b'de kovanın dış çapına ve c'de ise kovan ve pul biçimlerine etkisi gösterilmiştir.

Şekil 5.39 a'da h_1 takım silindirik bölge uzunluğunun kovan yüksekliğine, b'de kovanın dış çapına ve c'de ise kovan ve pul biçimlerine etkisi gösterilmiştir.



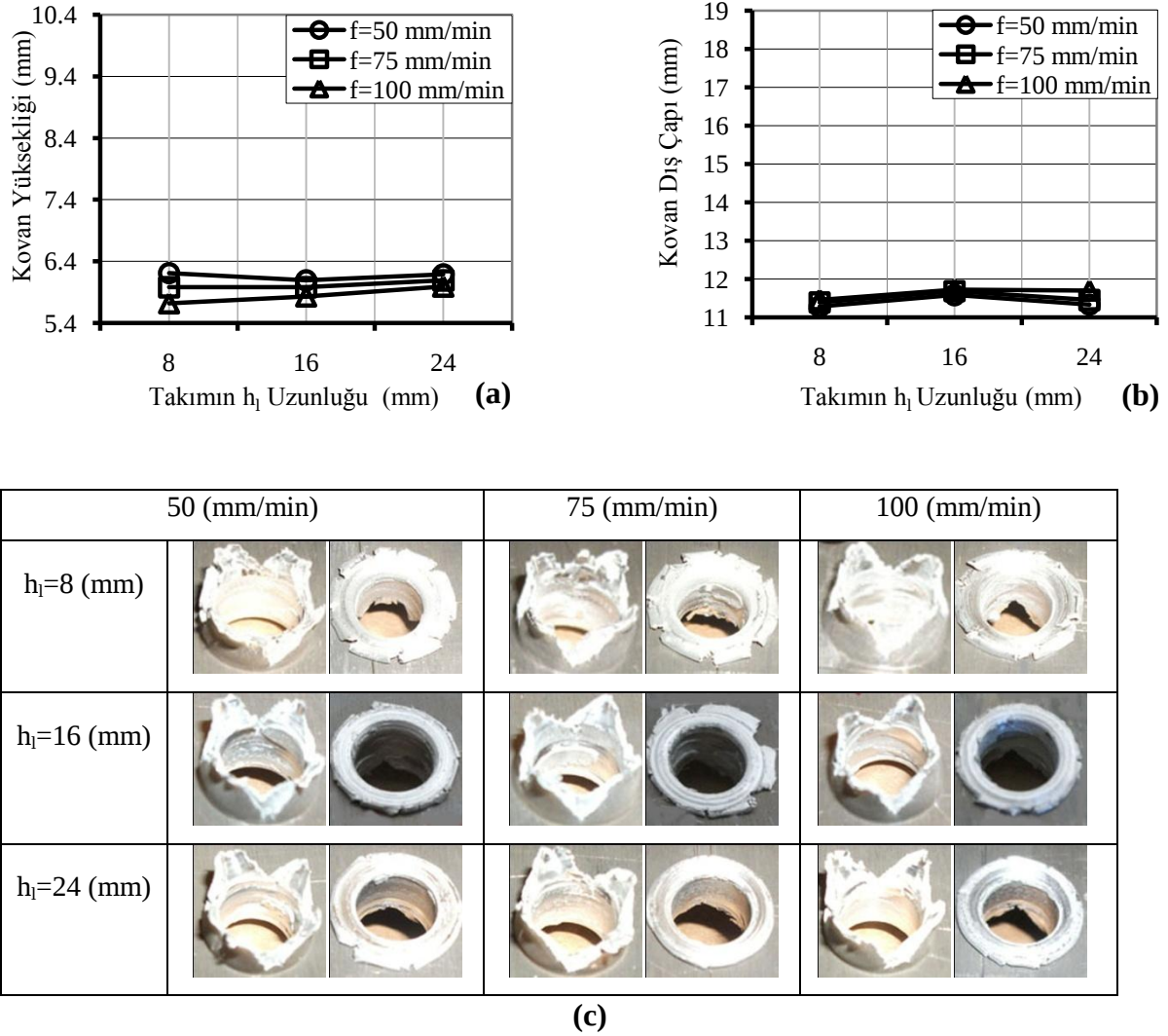
(c)

Şekil 5.39. $t=4$ mm, $d=8$ mm, $n=2400$ d/min, $\beta=24^\circ$ 'de takımın h_1 uzunluğunun, a) kovan yüksekliğine, b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi

Şekilde minimum kovan yüksekliği 6,14mm, maksimum kovan yüksekliği 6,64mm, minimum kovan dış çapı 11mm ve maksimum kovan dış çapı ise 11,43mm olarak elde edilmiştir. h_1 uzunluğunun artması ile kovan dış çapı düzenli bir şekilde artmış, kovan yüksekliği ise $h_1=8$ mm ve $h_1=24$ mm'de artmıştır. $h_1=16$ mm'de minimum kovan yüksekliği elde edilmiştir. Bu da 4mm malzeme kalınlığının SDY' de $h_1=8$ mm takım silindirik bölge

uzunluğunun yeterli olacağını göstermiştir. Artan h_1 uzunluğu ile kovan biçimindeki çatlak miktarı artarken pul biçimi ise değişmemiştir.

Şekil 5.40 a’da h_1 takım silindirik bölge uzunluğunun kovan yüksekliğine, b’de kovanın dış çapına ve c’de ise kovan ve pul biçimlerine etkisi gösterilmiştir.

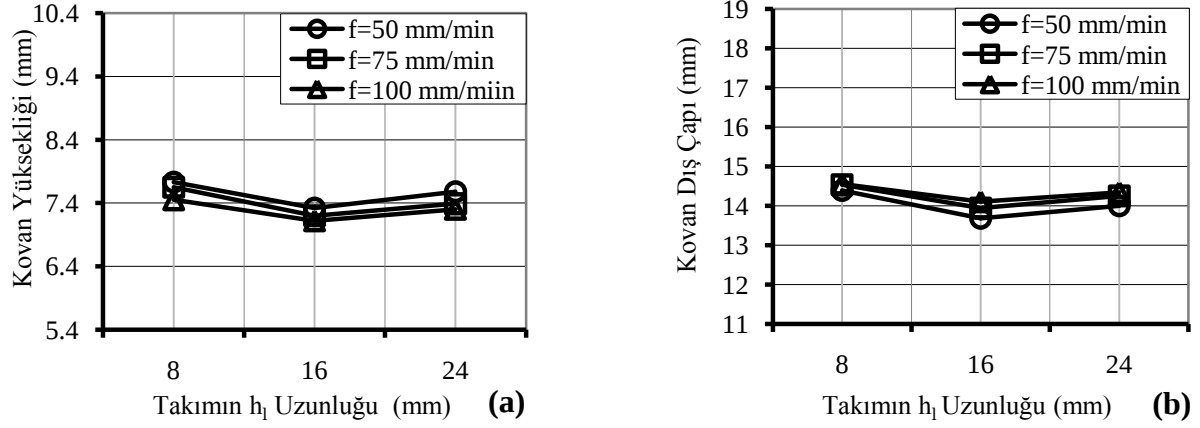


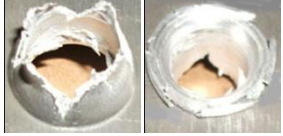
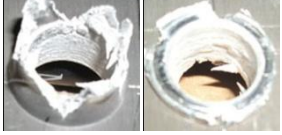
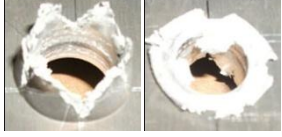
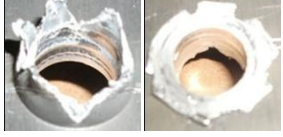
Şekil 5.40. $t=4\text{mm}$, $d=8\text{mm}$, $n=4800$ d/min, $\beta=24^\circ$ ’de takımın h_1 uzunluğunun, a) kovan yüksekliğine, b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pul biçimine etkisi

Şekilde minimum kovan yüksekliği 5,72mm, maksimum kovan yüksekliği 6,21mm, minimum kovan dış çapı 11,28mm ve maksimum kovan dış çapı ise 11,72mm olarak ölçülmüştür. 4800d/min’de minimum kovan yüksekliği ve maksimum kovan dış çapı $h_1=16\text{mm}$ ’de elde edilmiştir. 4mm malzeme kalınlığı için $h_1=8\text{mm}$ takım silindirik uzunluğu yeterli olmuş, $h_1=16\text{mm}$ ’ye kadar artan h_1 uzunluğu ile kovan yüksekliği azalmış ve kovan dış

çapı ise artmıştır. $h_1=8\text{mm}$ 'den büyük takım silindirik bölge uzunluğu 4mm malzeme kalınlığı için fazla olduğundan kovan yüksekliği ve dış çapı olumsuz etkilenmiştir.

Şekil 5.41 a'da h_1 takım silindirik bölge uzunluğunun kovan yüksekliğine, b'de kovanın dış çapına ve c'de ise kovan ve pul biçimlerine etkisi gösterilmiştir.



	50 (mm/min)	75 (mm/min)	100 (mm/min)
$h_1=8\text{ (mm)}$			
$h_1=16\text{ (mm)}$			
$h_1=24\text{ (mm)}$			

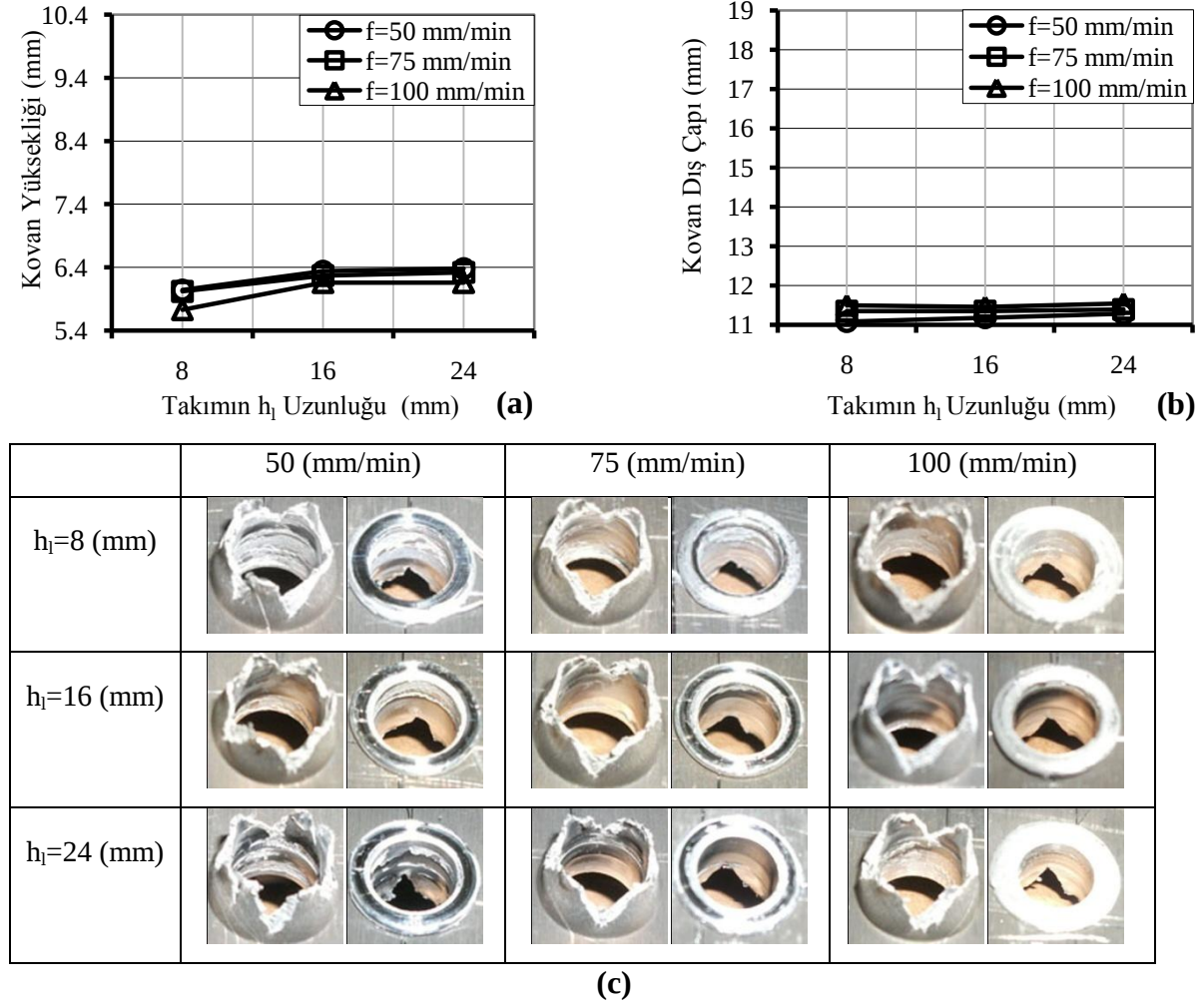
(c)

Şekil 5.41. $t=4\text{mm}$, $d=10\text{mm}$, $n=3600\text{ d/min}$, $\beta=24^\circ$ 'de takımın h_1 uzunluğunun, a) kovan yüksekliğine, b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi

Şekilde minimum kovan yüksekliği 7,12mm, maksimum kovan yüksekliği 7,73mm, minimum kovan dış çapı 13,68mm ve maksimum kovan dış çapı ise 14,5mm olarak elde edilmiştir. Delik çapının 8mm'den 10mm'ye çıkması ile kovan oluşumunu sağlayan malzeme miktarı arttığından kovan yüksekliği ve dış çapı artmıştır. 3600d/min'de 4mm kalınlığındaki malzemenin SDY'de $h_1=16\text{mm}$ uzunluğunda minimum kovan yüksekliği ve kovan dış çapı

elde edilmiştir. Artan h_1 uzunluğu ile kovan ve pul biçimlerindeki çatlak miktarı artmış ve en uygun h_1 uzunluğu 8mm olduğu tespit edilmiştir.

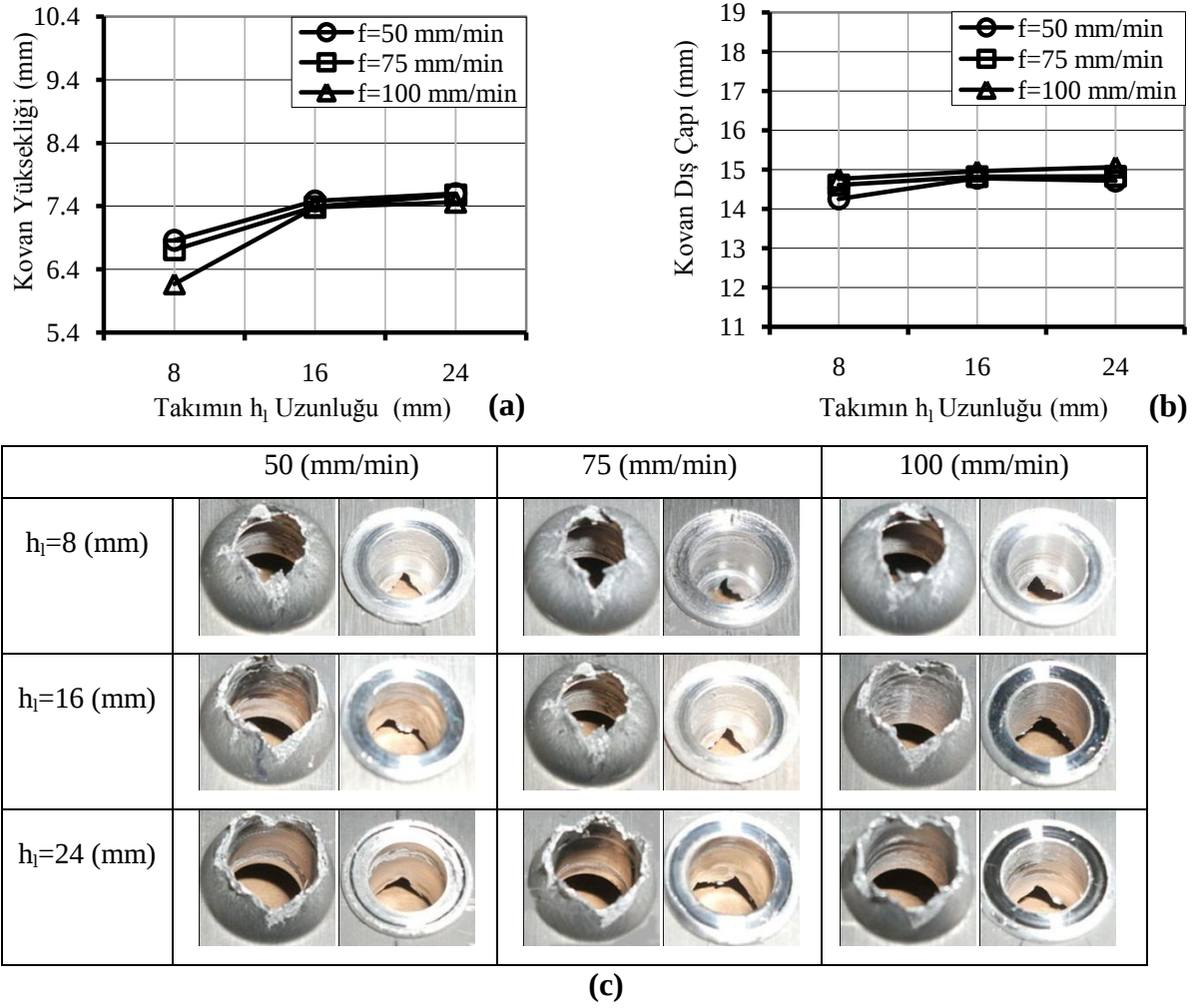
Şekil 5.42 a’da h_1 takım silindirik bölge uzunluğunun kovan yüksekliğine, b’de kovanın dış çapına ve c’de ise kovan ve pul biçimlerine etkisi gösterilmiştir.



Şekil 5.42. $t=4\text{mm}$, $d=8\text{mm}$, $n=3600\text{ d/min}$, $\beta=36^\circ$ ’de takımın h_1 uzunluğunun, a) kovan yüksekliğine, b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi

Şekilde minimum kovan yüksekliği 5,73mm, maksimum kovan yüksekliği 6,38mm, minimum kovan dış çapı 11,08mm ve maksimum kovan dış çapı ise 11,54mm olarak ölçülmüştür. 36° ’de artan h_1 uzunluğu ile kovan yüksekliği artmış ve kovan dış çapı ise biraz azalmıştır. 36° ’de takımın konik bölgesinin uzunluğu 24° ’ye göre daha az olduğundan $h_1=16\text{mm}$ takım silindirik bölge uzunluğunda maksimum kovan yüksekliği elde edilmiş ve 16mm’nin en uygun h_1 uzunluğu olduğu görülmüştür.

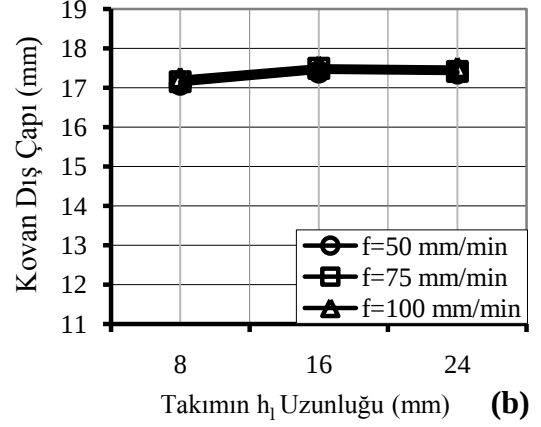
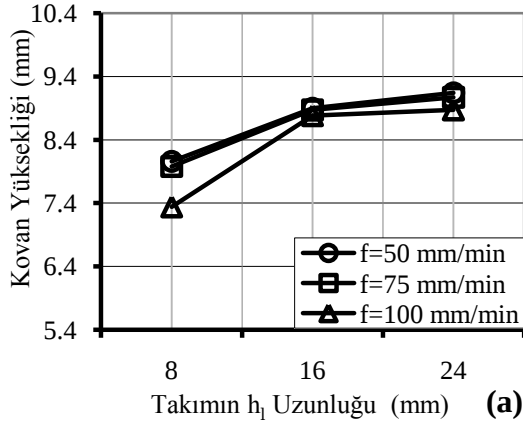
Şekil 5.43 a’da, h_1 takım silindirik bölge uzunluğunun kovan yüksekliğine, b’de kovanın dış çapına ve c’de ise kovan ve pul biçimlerine etkisi gösterilmiştir.

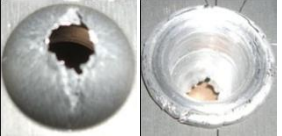
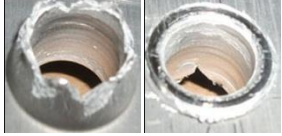
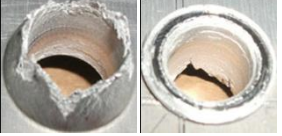


Şekil 5.43. $t=6\text{mm}$, $d=10\text{mm}$, $n=2400\text{ d/min}$, $\beta=48^\circ$ ’de takımın h_1 uzunluğunun, a) kovan yüksekliğine, b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi

Şekilde minimum kovan yüksekliği 6,17mm, maksimum kovan yüksekliği 7,60mm, minimum kovan dış çapı 14,25mm ve maksimum kovan dış çapı ise 15,06mm olarak ölçülmüştür. 6mm malzeme kalınlığı için $h_1=8\text{mm}$ uzunluğu yetersiz olduğundan kovan oluşumu tamamlanmamış, konik biçimde meydana gelmiş ve yüksekliği azalmıştır. 48° ’de takım konik bölgesinin uzunluğu az olduğundan takımın toplam uzunluğu azaldığından $h_1=8\text{mm}$ takım silindirik bölge uzunluğu yetersiz olmuş ve $h_1=16\text{mm}$ ’nin en uygun takım silindirik bölge uzunluğu olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 5.44 a’da h_1 takım silindirik bölge uzunluğunun kovan yüksekliğine, b’de kovanın dış çapına ve c’de ise kovan ve pul biçimlerine etkisi gösterilmiştir.



	50 (mm/min)	75 (mm/min)	100 (mm/min)
$h_1=8$ (mm)			
$h_1=16$ (mm)			
$h_1=24$ (mm)			

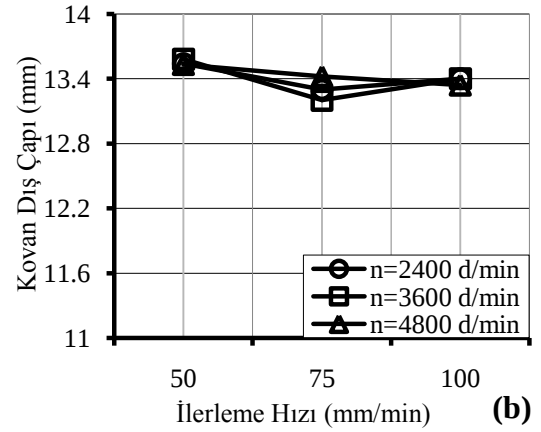
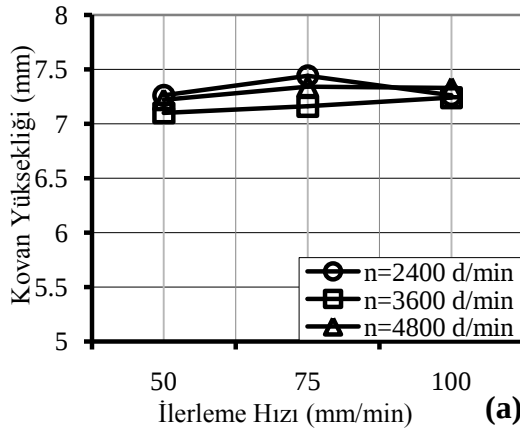
Şekil 5.44. $t=6\text{mm}$, $d=12\text{mm}$, $n=3600\text{ d/min}$, $\beta=48^\circ$ de takımın h_1 uzunluğunun, a) kovan yüksekliğine, b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi

Şekilde minimum kovan yüksekliği 7,34mm, maksimum kovan yüksekliği 9,14mm, minimum kovan dış çapı 17,09mm ve maksimum kovan dış çapı ise 17,54mm olarak elde edilmiştir. $h_1=16\text{mm}$ 'de en büyük kovan yüksekliği ve dış çapı elde edilmiştir. Bu da 6mm malzeme kalınlığı için en uygun takım silindirik bölge uzunluğunun $h_1=16\text{mm}$ olduğunu göstermiştir. $h_1=8\text{mm}$ takım silindirik bölge uzunluğu yetersiz olduğundan ve kovan oluşumu tamamlanamadığından kovan biçimi konik olmuştur.

5.2.4. WC Takımda İlerleme Hızının Kovan Yüksekliğine (h_a), Kovan Dış Çapına (d), Kovan ve Pul Biçimine Etkisi

Artan ilerleme hızı ile kovan ve pul biçimlerinde daha az yırtılma meydana gelmiş, işlemde deformasyonun etkisi artmış ve ergimiş malzeme takım tarafından deliğin çevresine doğru bastırıldığından kovan yüksekliği azalmış, dış çapı ise artmıştır. Devir sayısının artması ile takım-iş parçası temas alanında meydana gelen ısı miktarı, dönme momentinin etkisi ile çevreye yayılan malzeme miktarı, kovan ve pul biçimlerindeki çatlak miktarı artmıştır. WC takımın ısı iletkenlik katsayısı 84 W/m-K, HSS takımın ısı iletkenlik katsayısı ise 21 W/m-K dir. WC ile uygulanan SDY’de takımın ısı iletkenlik katsayısı yüksek olduğundan takım tarafından iletilen ısı miktarı fazla olmuştur. Artan koniklik açısı ile takım-iş parçası temas alanı azaldığından en uygun ergime sıcaklığı, düşük ilerleme hızı ile düşük devir sayısında ve yüksek ilerleme hızı ile yüksek devir sayılarında elde edilmiştir. Şekil 5.45-5.49 WC takım ile uygulanan SDY’de a’da İlerleme Hızının kovan yüksekliğine, b’de kovanın dış çapına ve c’de ise kovan ve pul biçimlerine etkisi gösterilmiştir.

Şekil 5.45 a’da WC takım’da, İlerleme Hızının kovan yüksekliğine, b’de kovanın dış çapına ve c’de ise kovan ve pul biçimlerine etkisi gösterilmiştir. Minimum kovan yüksekliği 7,10mm, maksimum kovan yüksekliği 7,44mm, minimum kovan dış çapı 13,20mm ve maksimum kovan dış çapı ise 13,58mm olarak ölçülmüştür. 48⁰’de 2400d/min ve 75mm/min’de en büyük kovan yüksekliği ve en küçük kovan dış çapı elde edilmiştir. Devir sayısının azalması ile dönme momentinin etkisiyle çevreye yayılan malzeme miktarı azaldığından kovan yüksekliği artmış, kovan ve pul biçimindeki çatlak miktarı ise azalmıştır.

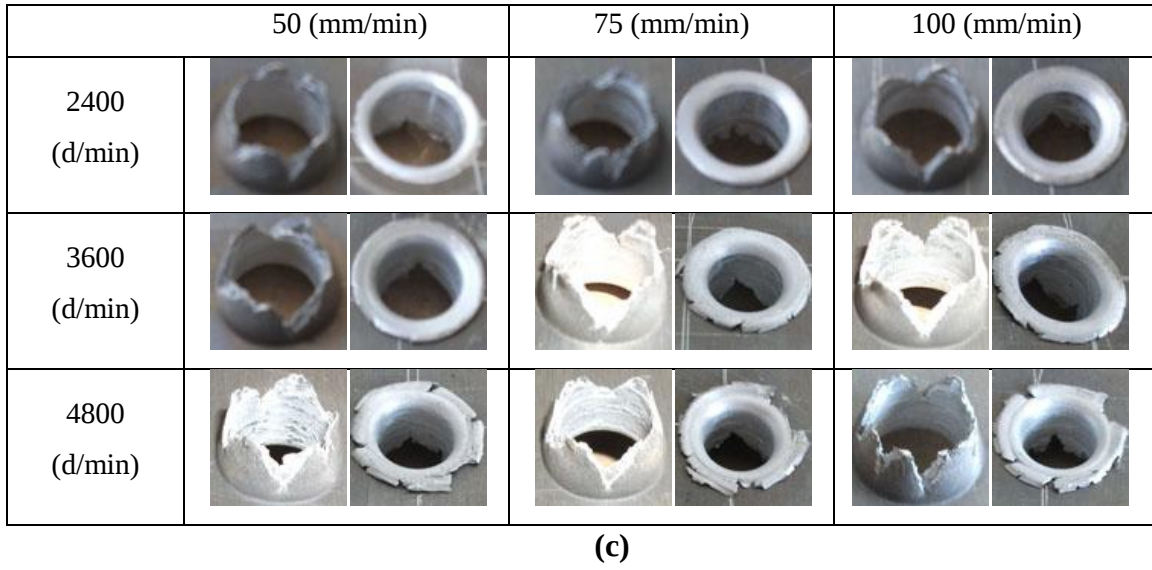
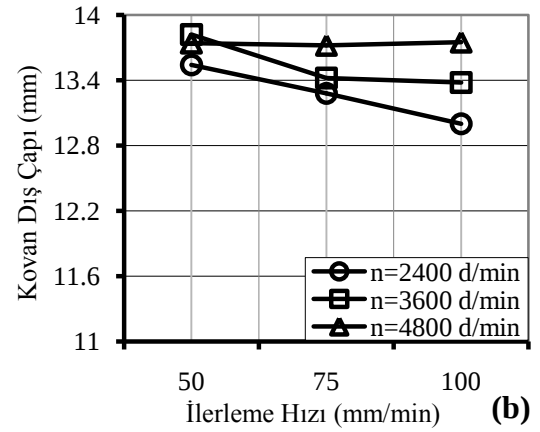
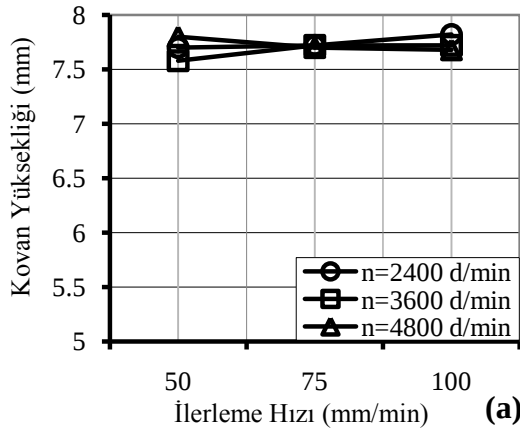


	50 (mm/min)	75 (mm/min)	100 (mm/min)
2400 (d/min)			
3600 (d/min)			
4800 (d/min)			

(c)

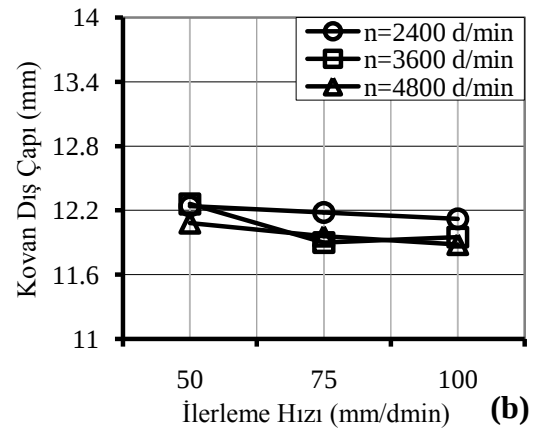
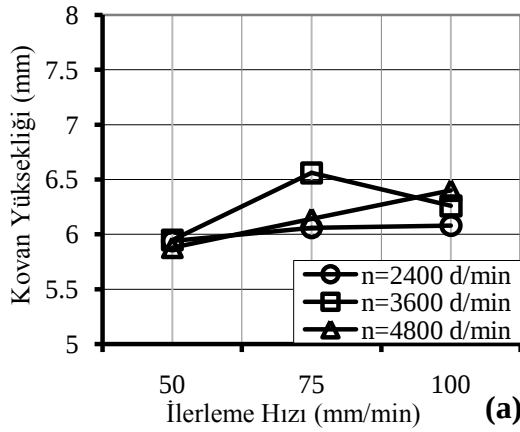
Şekil 5.45. $t=4\text{mm}$, $d=10\text{mm}$, $h_1=16\text{mm}$, $\beta=48^\circ$, WC ve A7075-T651’de ilerleme hızının, a) kovan yüksekliğine, b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi

Şekil 5.46 a’da WC takım’da İlerleme Hızının kovan yüksekliğine, b’de kovanın dış çapına ve c’de ise kovan ve pul biçimlerine etkisi gösterilmiştir. Minimum kovan yüksekliği 7,58mm, maksimum kovan yüksekliği 7,82mm, minimum kovan dış çapı 13mm ve maksimum kovan dış çapı ise 13,82mm olarak ölçülmüştür. Malzeme kalınlığının 4mm’den 6mm’ye çıkması ile kovan oluşumunu sağlayan malzeme miktarı arttığından kovan yüksekliği ve dış çapı artmıştır. Artan ilerleme hızı ile kovan yüksekliği artmış, kovan dış çapı ise azalmıştır. Artan devir sayısı ile kovan yüksekliği azalmış, kovan ve pul biçimindeki çatlak miktarı ise artmıştır. En büyük kovan yüksekliği 100mm/min ve 2400d/min’de, en büyük kovan dış çapı ise 50mm/min ve 3600d/min’de elde edilmiştir. Koniklik açısının 48° ’den 36° ’ye düşmesi ile takım-iş parçası temas alanı ve meydana gelen ısı miktarı arttığından, malzeme yeterince ergimiş ve akmış, kovan yüksekliği ve dış çapı artmıştır.



Şekil 5.46. $t=6\text{mm}$, $d=10\text{mm}$, $h_1=16\text{mm}$, $\beta=36^\circ$, WC ve A7075-T651’de ilerleme hızının, a) kovan yüksekliğine, b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi

Şekil 5.47 a’da WC takım’da, ilerleme hızının kovan yüksekliğine, b’de kovanın dış çapına ve c’de ise kovan ve pul biçimlerine etkisi gösterilmiştir. Minimum kovan yüksekliği 5,88mm, maksimum kovan yüksekliği 6,40mm, minimum kovan dış çapı 11,88mm ve maksimum kovan dış çapı ise 12,26mm olarak elde edilmiştir. 3600d/min’de 50mm/min’den 75mm/min’ya çıkarken kovan yüksekliği artmış, 75mm/min’den 100mm/min’ya çıkarken azalmıştır. 4800d/min’de ise artan ilerleme hızı ile kovan yüksekliği düzenli olarak artmış, 2400d/min’de ise fazla bir değişiklik olmamıştır. 2400d/min, 3600d/min ve 50mm/min’de maksimum kovan dış çapı elde edilmiş, artan ilerleme hızı ile kovan dış çapı azalmıştır. St 37 sünek olduğundan kovan ve pul biçiminde çatlak meydana gelmemiş, A7075-T651’e göre daha düzgün kovan ve pul biçimleri elde edilmiştir.



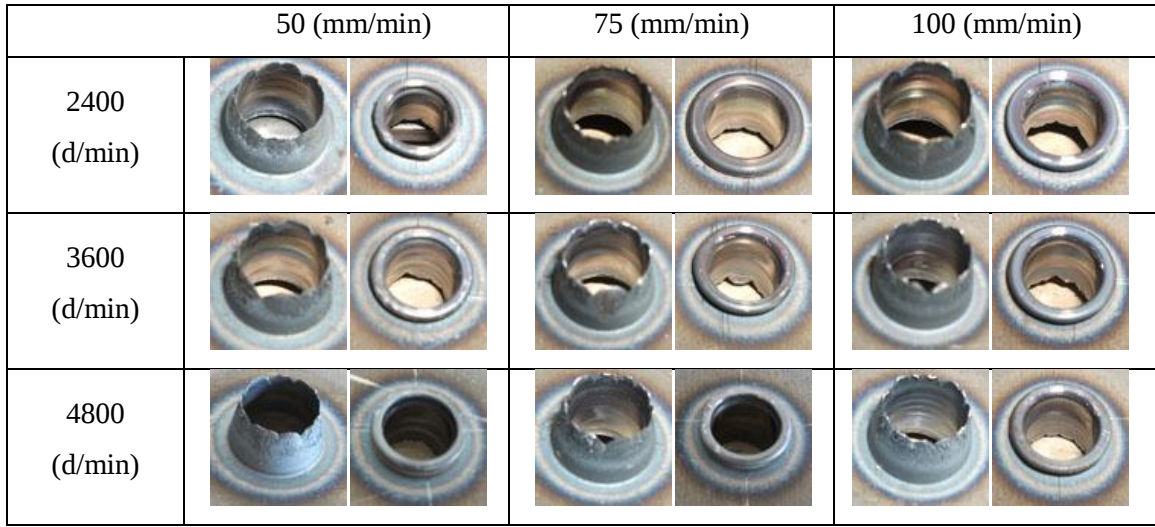
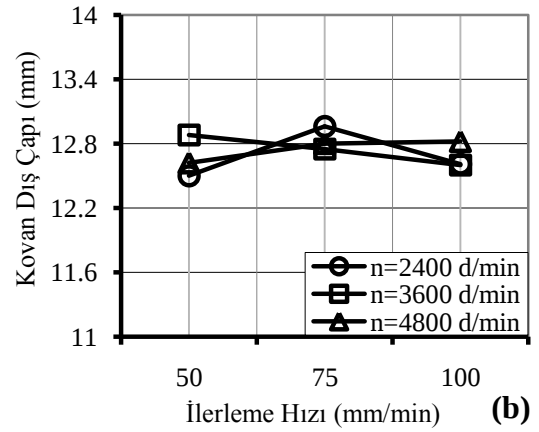
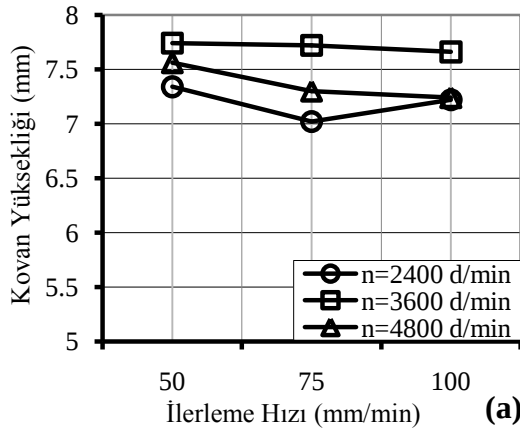
	50 (mm/min)	75 (mm/min)	100 (mm/min)
2400 (d/min)			
3600 (d/min)			
4800 (d/min)			

(c)

Şekil 5.47. $t=2\text{mm}$, $d=10\text{mm}$, $h_1=16\text{mm}$, $\beta=24^\circ$, WC ve St 37’de ilerleme hızının,

a) kovan yüksekliğine, b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi

Şekil 5.48 a’da WC takım’da, ilerleme hızının kovan yüksekliğine, b’de kovanın dış çapına ve c’de ise kovan ve pul biçimlerine etkisi gösterilmiştir. Minimum kovan yüksekliği 7,02mm, maksimum kovan yüksekliği 7,74mm, minimum kovan dış çapı 12,50mm ve maksimum kovan dış çapı ise 12,96mm olarak elde edilmiştir. 36° , 3600d/min ve tüm ilerleme oranlarında en büyük kovan yüksekliği 3600d/min için 50mm/min’de ve en büyük kovan dış çapı ise 2400d/min için 75mm/min’de elde edilmiştir. Malzeme kalınlığının 2mm’den 4mm’ye çıkması ile kovan ve pul oluşumunu sağlayan malzeme miktarı arttığından kovan yüksekliği ve dış çapı artmış, kovan ve pul biçimleri daha düzenli olmuştur.

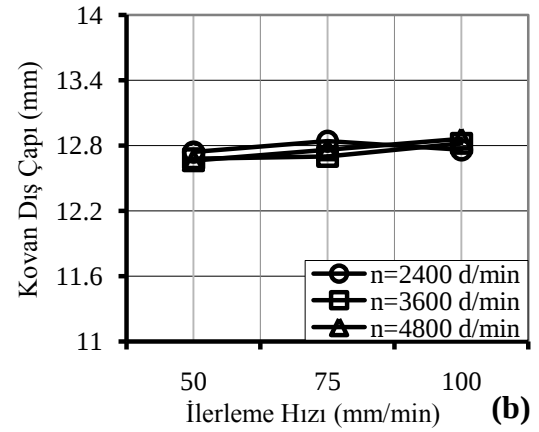
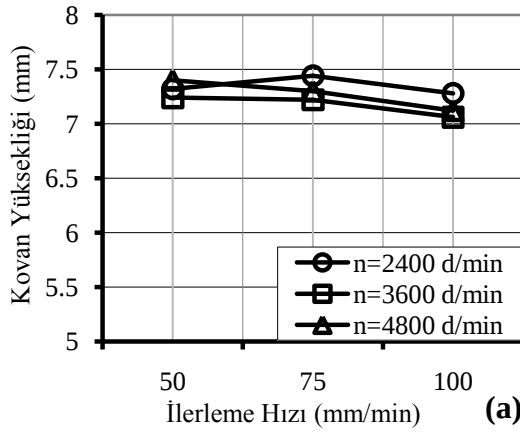


(c)

Şekil 5.48. $t=4\text{mm}$, $d=10\text{mm}$, $h_1=16\text{mm}$, $\beta=36^\circ$, WC ve St 37’de ilerleme hızının,

a) kovan yüksekliğine, b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi

Şekil 5.49 a’da WC takım’da, ilerleme hızının kovan yüksekliğine, b’de kovanın dış çapına ve c’de ise kovan ve pul biçimlerine etkisi gösterilmiştir. Minimum kovan yüksekliği 7,06mm, maksimum kovan yüksekliği 7,44mm, minimum kovan dış çapı 12,66mm ve maksimum kovan dış çapı ise 12,86mm olarak elde edilmiştir. 48° ’de takım-iş parçası temas alanı ve meydana gelen ısı miktarı artmış, 75mm/min ve 2400d/min’de maksimum kovan yüksekliği elde edilmiştir. 75mm/min’den büyük ilerleme oranlarında artan ilerleme hızı ile kovan yüksekliği azalmış, 75mm/min’den küçük ilerleme oranlarında artan ilerleme hızı ile kovan yüksekliği artmış, artan ilerleme hızı ile kovan dış çapı ise artmıştır. Kovan ve pul biçimlerinde çatlaklar meydana gelmemiştir.



	50 (mm/min)	75 (mm/min)	100 (mm/min)
2400 (d/min)			
3600 (d/min)			
4800 (d/min)			

(c)

Şekil 5.49. $t=4\text{mm}$, $d=10\text{mm}$, $h_1=16\text{mm}$, $\beta=48^\circ$, WC ve St 37’de ilerleme hızının,

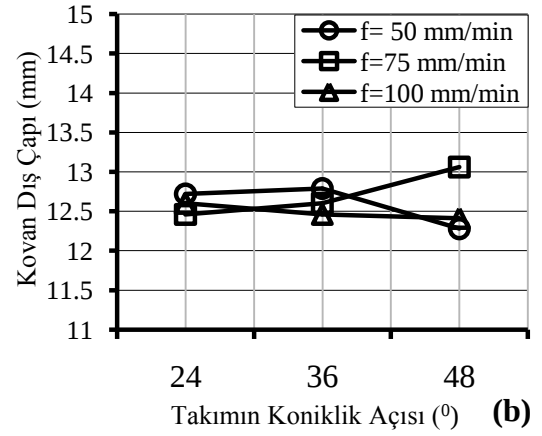
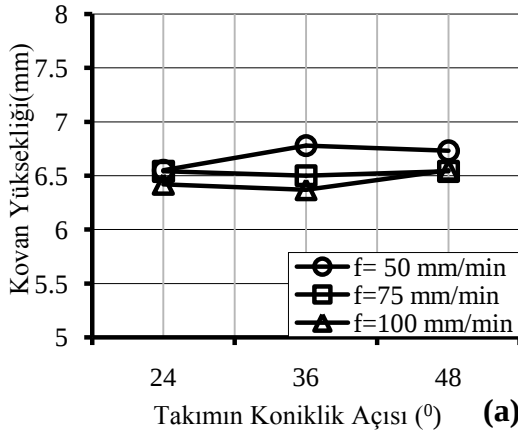
a) kovan yüksekliğine, b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi

5.2.5. WC Takımda Takım Koniklik Açısının Kovan Yüksekliğine (h_a),

Kovan Dış Çapına (d), Kovan ve Pul Biçimine Etkisi

Takım koniklik açısının artması ile takım-iş parçası temas alanı ve meydana gelen ısı miktarı azalmış, iş parçası yeterince ergimediğinden, işlemde deformasyonun etkisi ve işlem sırasında çevreye yayılan malzeme miktarı artmıştır. Deformasyonların etkisinin ve çevreye yayılan malzeme miktarının artması ile kovan ve pul oluşumunu sağlayan malzeme miktarı azaldığından kovan yüksekliği ve dış çapı azalmıştır. Şekil 5.50-5.55 a’da WC takım’da takım koniklik açısının kovan yüksekliğine, b’de kovanın dış çapına ve c’de ise kovan ve pul biçimlerine etkisi gösterilmiştir.

Şekil 5.50 a'da WC takım'da, takım koniklik açısının kovan yüksekliğine, b'de kovanın dış çapına ve c'de ise kovan ve pul biçimlerine etkisi gösterilmiştir. Minimum kovan yüksekliği 6,42mm, maksimum kovan yüksekliği 6,78mm, minimum kovan dış çapı 12,41mm ve maksimum kovan dış çapı ise 13,06mm olarak elde edilmiştir. Takım koniklik açısının artması ile takım-iş parçası temas alanı ve işlemde meydana gelen ısı miktarı azalmıştır. En büyük kovan yüksekliği 50mm/min'de 36°'de en büyük kovan dış çapı ise 100mm/min'de 48°'de elde edilmiş, artan koniklik açısı ile kovan ve pul biçimlerindeki çatlak miktarı azalmıştır. 2mm kalınlığındaki malzemeye 10mm çapında delik delinmesinde deformasyonun etkisi fazla olduğundan ve kovan oluşumunu sağlayan malzeme miktarı yetersiz olduğundan kovanlar taç yaprağı biçiminde meydana gelmiştir.

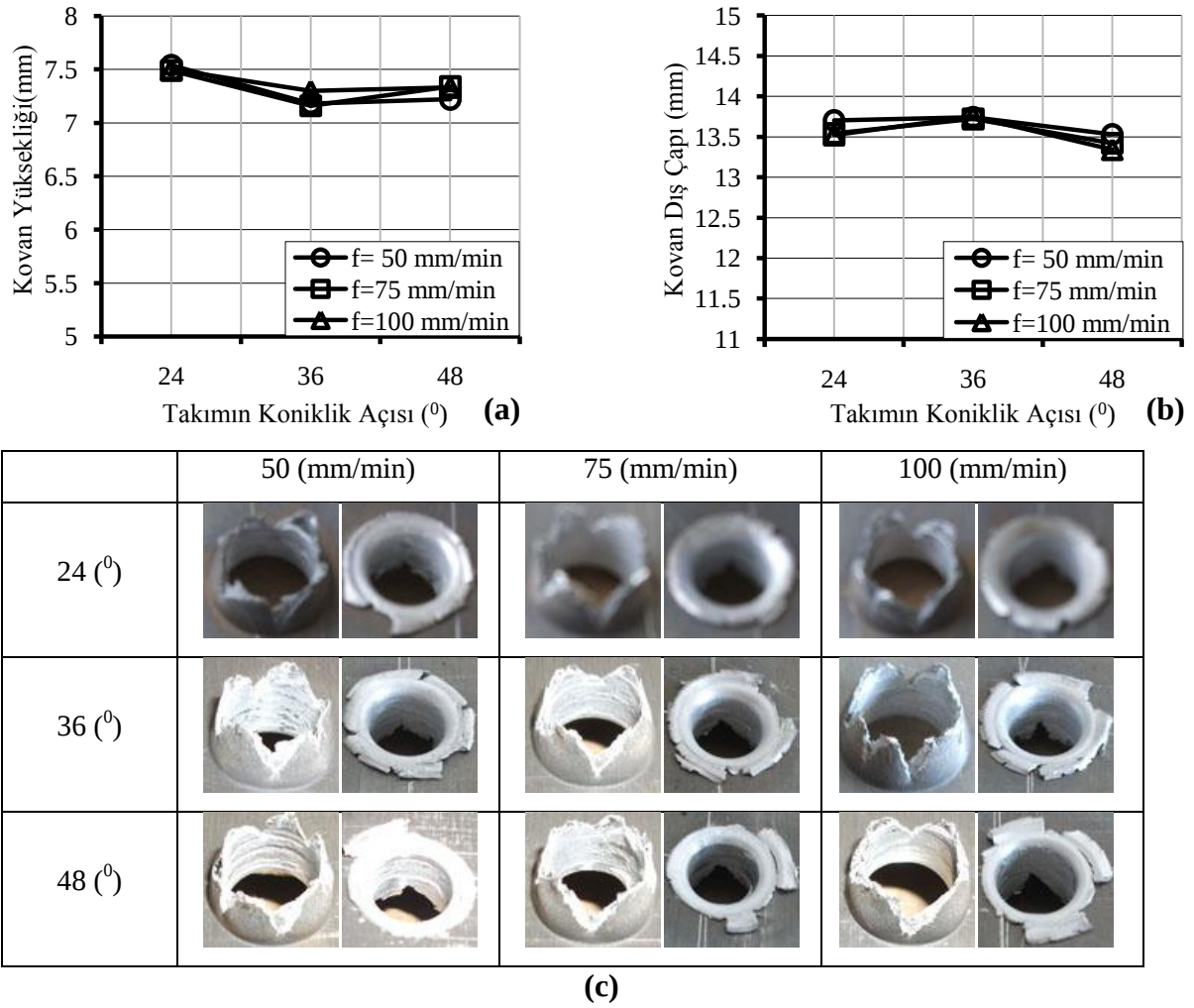


	50 (mm/min)		75 (mm/min)		100 (mm/min)	
24 (°)						
36 (°)						
48 (°)						

(c)

Şekil 5.50. $t=2\text{mm}$, $d=10\text{mm}$, $h_1=16\text{mm}$, $n=3600\text{d/min}$, WC ve A7075-T651'de takım koniklik açısının, a) kovan yüksekliğine, b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi

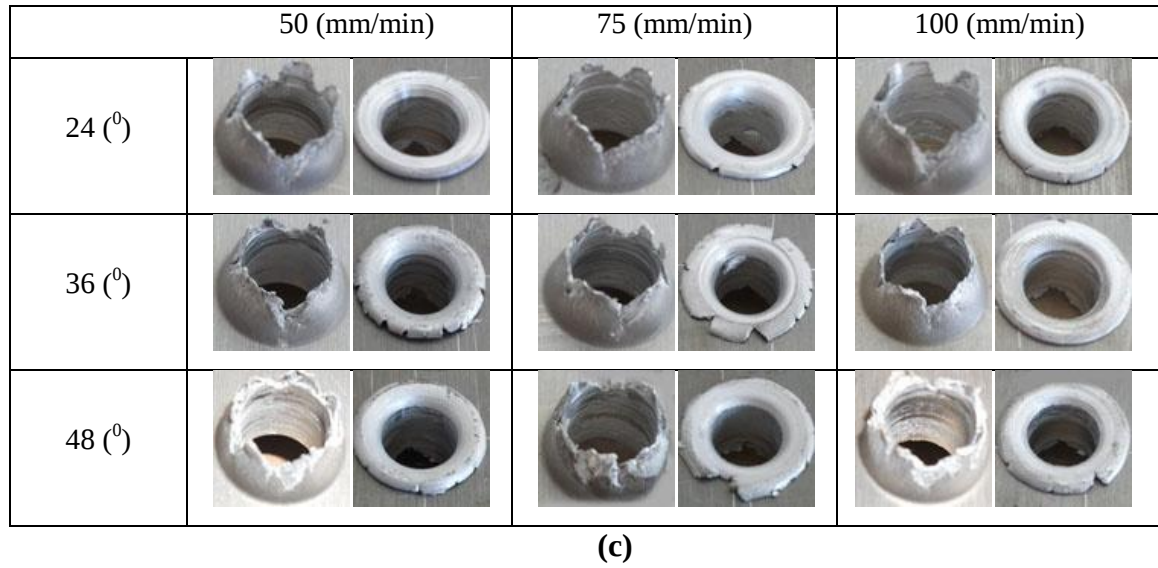
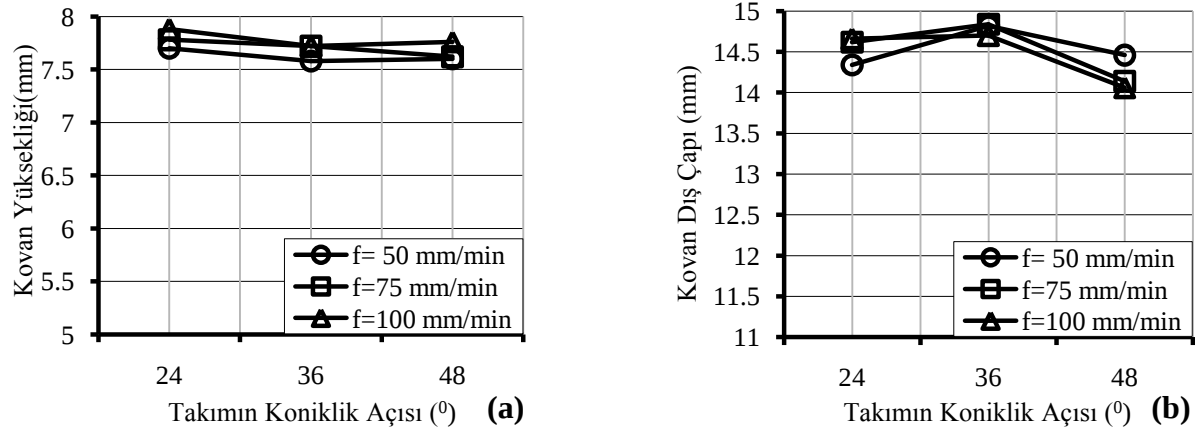
Şekil 5.51 a’da WC takım’da, takım koniklik açısının kovan yüksekliğine, b’de kovanın dış çapına ve c’de ise kovan ve pul biçimlerine etkisi gösterilmiştir. Minimum kovan yüksekliği 7,16mm, maksimum kovan yüksekliği 7,54mm, minimum kovan dış çapı 13,34mm ve maksimum kovan dış çapı ise 13,74mm olarak ölçülmüştür. 24⁰’de maksimum kovan yüksekliği ve maksimum kovan dış çapı, 36⁰’de ise minimum kovan yüksekliği ve maksimum kovan dış çapı elde edilmiştir. Koniklik açısının artması ile kovan ve pul biçimindeki çatlak miktarı artmıştır.



Şekil 5.51. t=4mm, d=10mm, h₁=16mm, n=4800d/min, WC ve A7075-T651’de takım koniklik açısının, a) kovan yüksekliğine,b) kovanın dış çapına,c) kovan ve pulun biçimine etkisi

Şekil 5.52 a’da WC takım’da, takım koniklik açısının kovan yüksekliğine, b’de kovanın dış çapına ve c’de ise kovan ve pul biçimlerine etkisi gösterilmiştir. Minimum kovan yüksekliği 7,60mm, maksimum kovan yüksekliği 7,88mm, minimum kovan dış çapı

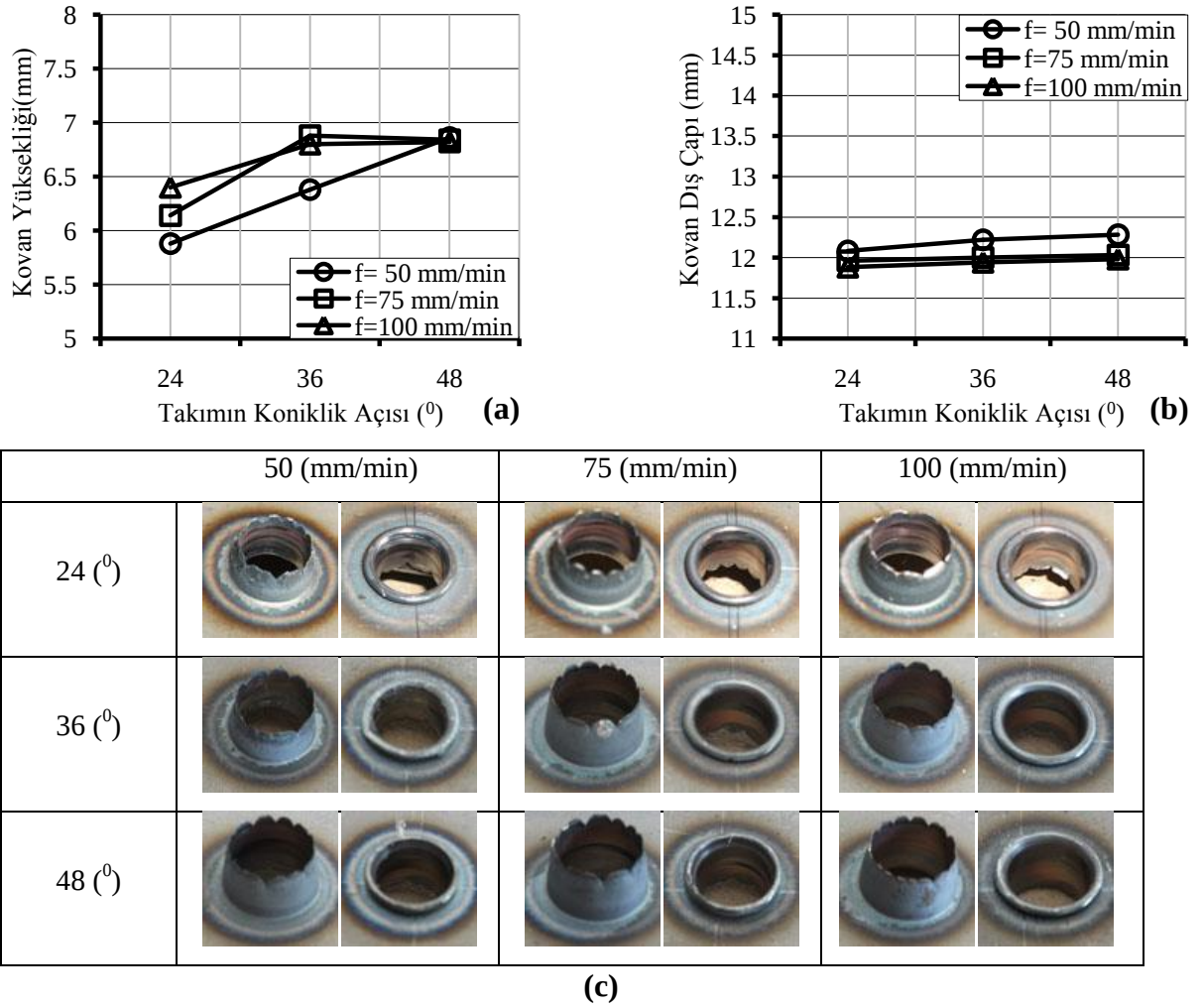
14,06mm ve maksimum kovan dış çapı ise 14,82mm olarak ölçülmüştür. 6mm malzeme kalınlığında takım-iş parçası temas alanı ve ısı miktarı arttığından kovan yüksekliği ve dış çapı artmıştır. 36° ve 50mm/min’de minimum kovan yüksekliği ve maksimum kovan dış çapı elde edilmiştir. Koniklik açısının artması ile takım-iş parçası temas alanı ve meydana gelen ısı miktarı azalmış, deformasyon etkisi artmış, malzeme yeterince ergimedığından kovan ve pul biçimindeki çatlak miktarı artmıştır.



Şekil 5.52. t=6mm, d=10mm, $h_1=16$ mm, n=3600d/min, WC ve A7075-T651’de takım koniklik açısının, a) kovan yüksekliğine, b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi

Şekil 5.53 a’da WC takım’da, takım koniklik açısının kovan yüksekliğine, b’de kovanın dış çapına ve c’de ise kovan ve pul biçimlerine etkisi gösterilmiştir. Minimum kovan yüksekliği 5,88mm, maksimum kovan yüksekliği 6,86mm, minimum kovan dış çapı 11,88mm ve maksimum kovan dış çapı ise 12,28mm olarak elde edilmiştir. St 37’nin

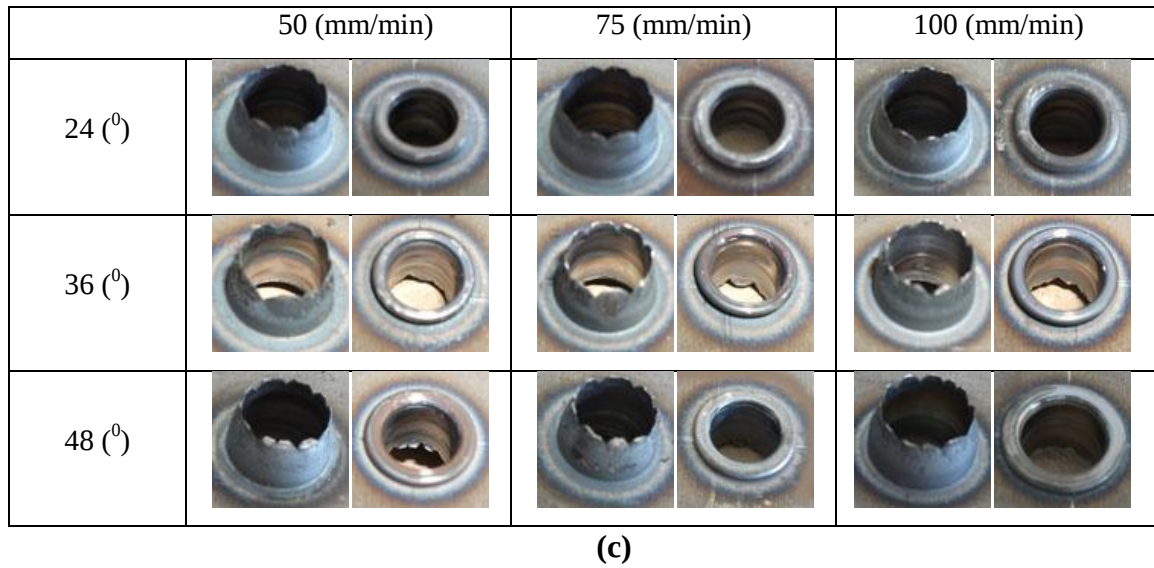
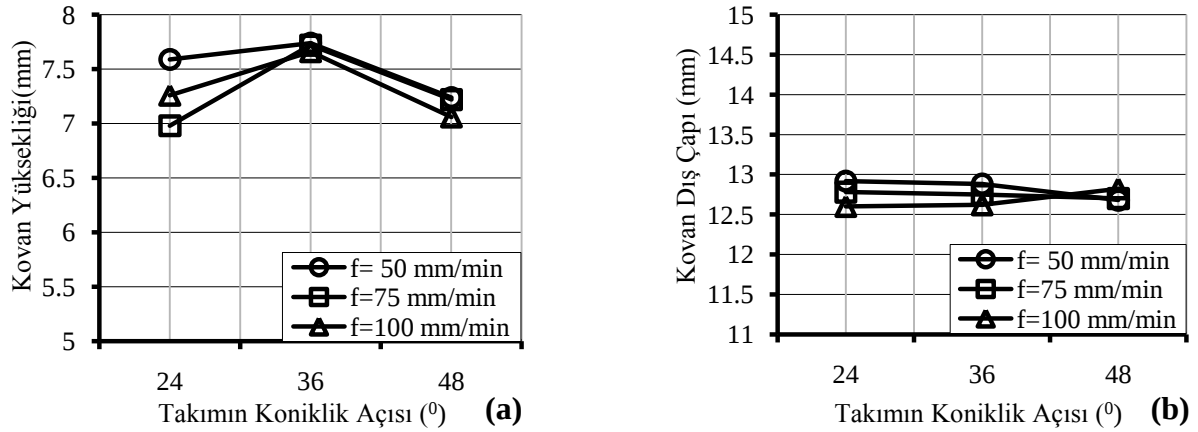
sünekliği A7075-T651'e göre daha iyi olduğundan SDY'de deformasyon etkisinin ve çatlakların az olduğu, silindirik biçimli ve amaca uygun kovan biçimi elde edilmiştir. 50mm/min'de artan koniklik açısı ile kovan yüksekliği düzenli artarken, 75mm/min ve 100mm/min'de ise 36°'den büyük koniklik açılarında kovan yüksekliği sabit kalmış, kovan dış çapı ise artan koniklik açısı ile düzenli artmıştır. Maksimum kovan yüksekliği 75mm/min ve 36°'de, maksimum kovan dış çapı ise 100mm/min ve 48°'de meydana gelmiştir. Koniklik açısının değişmesiyle kovan ve pul biçimi değişmemiştir.



Şekil 5.53. $t=2\text{mm}$, $d=10\text{mm}$, $h_1=16\text{mm}$, $n=4800\text{d/min}$, WC ve St 37'de takım koniklik açısının, a) kovan yüksekliğine, b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi

Şekil 5.54 a'da WC takım'da, takım koniklik açısının kovan yüksekliğine, b'de kovanın dış çapına ve c'de ise kovan ve pul biçimlerine etkisi gösterilmiştir. Minimum kovan yüksekliği 6,98mm, maksimum kovan yüksekliği 7,74mm, minimum kovan dış çapı

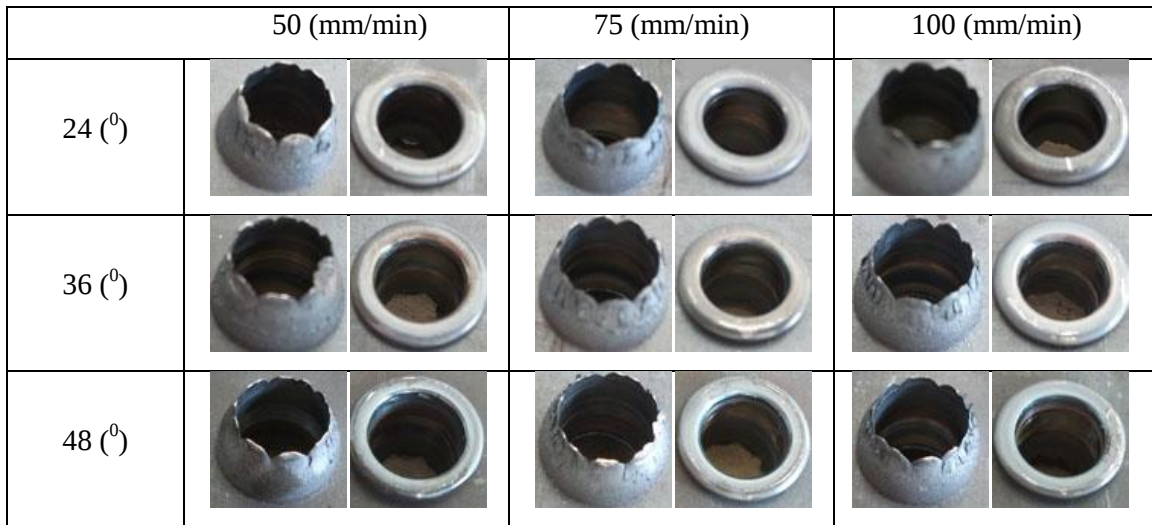
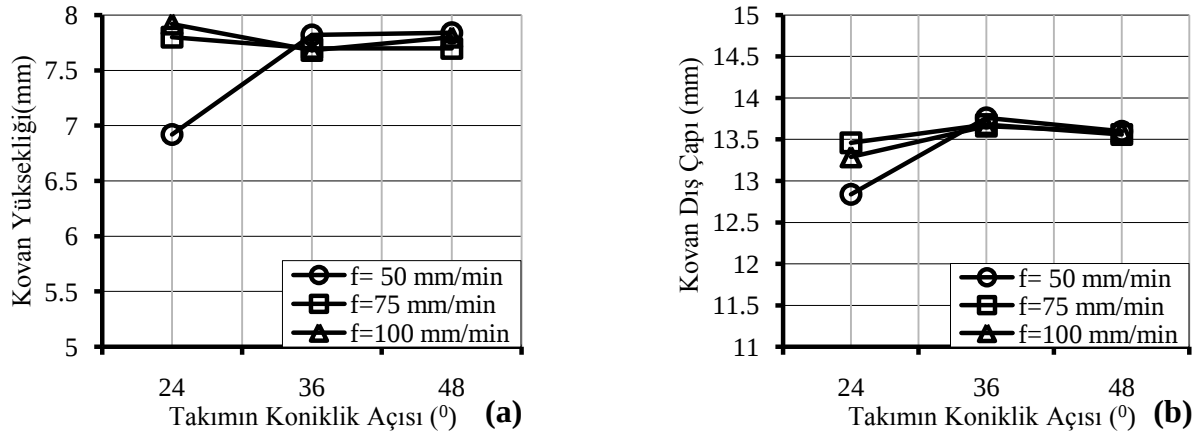
12,60mm ve maksimum kovan dış çapı ise 12,92mm olarak ölçülmüştür. 36^0 koniklik açısında maksimum kovan yüksekliği elde edilmiştir. 50mm/min ve 75mm/min’de artan koniklik açısı ile kovan dış çapı azalırken 100mm/min’de ise artmıştır. $t=4\text{mm}$ ve 36^0 ’de maksimum kovan yüksekliği elde edilirken, kovan dış çapı ise değişen koniklik açısı ile biraz azalmış, kovan ve pul biçimi artan koniklik açısı ile değişmemiştir.



Şekil 5.54. $t=4\text{mm}$, $d=10\text{mm}$, $h_1=16\text{mm}$, $n=3600\text{d/min}$, WC ve St 37’de takım koniklik açısının, a) kovan yüksekliğine, b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi

Şekil 5.55 a’da WC takım’da, takım koniklik açısının kovan yüksekliğine, b’de kovanın dış çapına ve c’de ise kovan ve pul biçimlerine etkisi gösterilmiştir. Minimum kovan yüksekliği 6,92mm, maksimum kovan yüksekliği 7,92mm, minimum kovan dış çapı 12,84 mm ve maksimum kovan dış çapı ise 13,76mm olarak elde edilmiştir. Malzeme kalınlığının 4mm’den 6mm’ye çıkması ile 50mm/min’de koniklik açısının 24^0 ’den 36^0 ’ye çıkması ile

kovan yüksekliği artmış, 75mm/min ve 100mm/min’de azalmış ve 36°’den büyük koniklik açılarında ise sabit kalmıştır. 4mm malzeme kalınlığına göre 6mm’de kovan ve pul oluşumunu sağlayan malzeme miktarı arttığından kovan yüksekliği ve dış çapı artmıştır. Koniklik açısının 24°’den 36°’ye çıkması ile kovan dış çapı artmış, 36°’den büyük koniklik açılarında ise sabit kalmıştır.



(c)

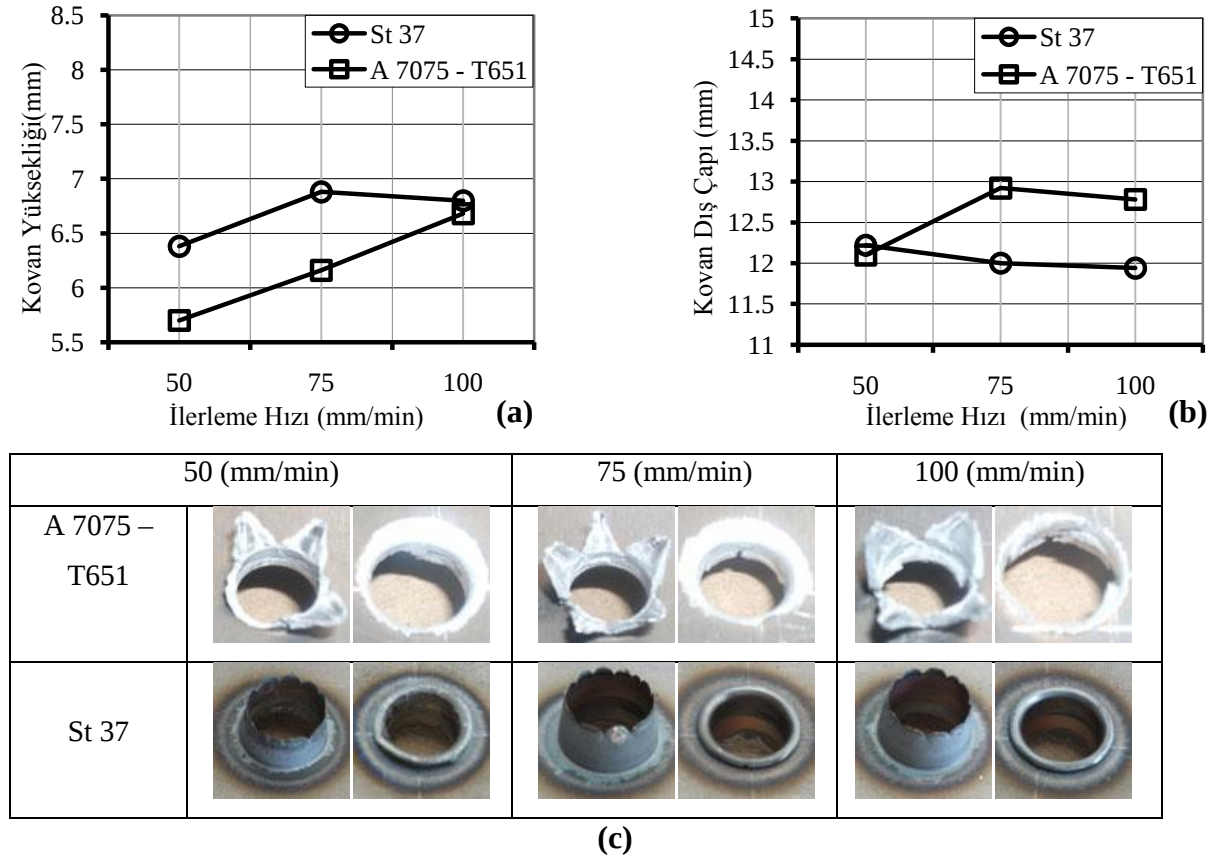
Şekil 5.55. $t=6\text{mm}$, $d=10\text{mm}$, $h_1=16\text{mm}$, $n=2400\text{d/min}$, WC ve St 37’de takım koniklik açısının, a) kovan yüksekliğine, b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi

5.2.6. WC Takımda Malzeme Cinsinin Kovan Yüksekliğine (h_a), Kovan Dış Çapına (d), Kovan ve Pul Biçimine Etkisi

A7075-T651’in ısı iletkenli katsayısı 130 W/m-K iken St 37’nin ısı iletkenlik katsayısı ise 76 W/m-K olduğundan işlem sırasında A7075-T651 numune tarafından takım-ış

parçası temas alanından daha fazla ısı iletilmiştir. Şekil 5.56-5.59 a'da WC takım'da, malzeme cinsinin kovan yüksekliğine, b'de kovanın dış çapına ve c'de ise kovan ve pul biçimlerine etkisi gösterilmiştir.

Şekil 5.56 a'da WC takım'da, malzeme cinsinin kovan yüksekliğine, b'de kovanın dış çapına ve c'de ise kovan ve pul biçimlerine etkisi gösterilmiştir.



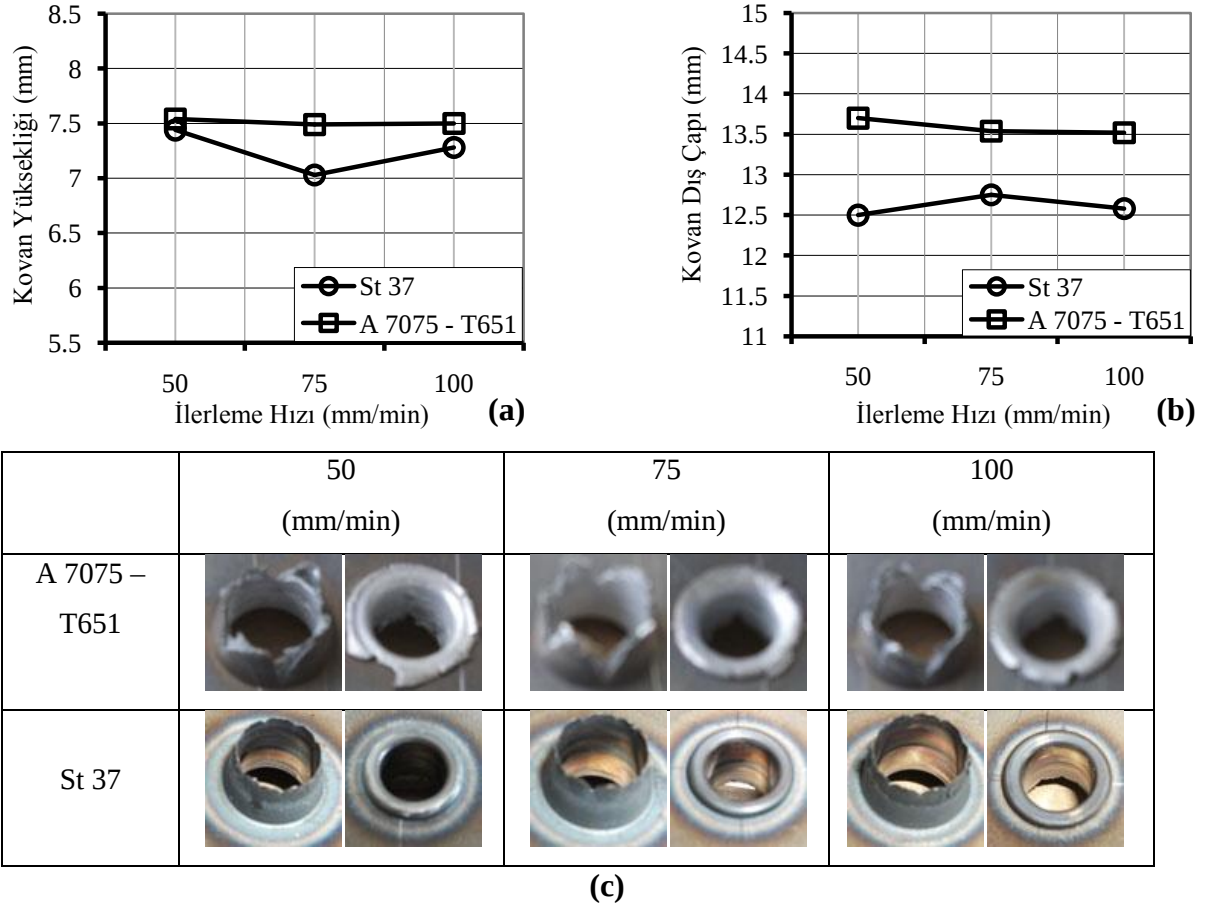
Şekil 5.56. $t=2\text{mm}$, $d=10\text{mm}$, $h_1=16\text{mm}$, $n=4800\text{d/min}$, $\beta=36^\circ$, WC takımında malzeme cinsinin,

a) kovan yüksekliğine, b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi

Şekilde minimum kovan yüksekliği 5,70mm, maksimum kovan yüksekliği 6,88mm, minimum kovan dış çapı 11,94mm ve maksimum kovan dış çapı ise 12,92mm olarak elde edilmiştir. St 37, A7075-T651'e göre daha sünek olduğundan SDY'e daha uygun olmuş, kovan yüksekliği daha büyük ve kovan dış çapı ise daha küçük olmuş, kovan ve pul biçimlerindeki çatlak miktarı ise daha az olmuştur. St 37'de kovan, silindirik, bağlantı uzunluğunu artıran bir biçimde meydana gelirken A7075-T651'de ise amaca uygun olmayan, bağlantı uzunluğunu artırmayan, taç yaprağı biçiminde meydana gelmiştir. St 37'de maksimum kovan yüksekliği 75mm/min'de, maksimum kovan dış çapı ise 50mm/min'de elde

edilirken A7075-T651’de ise maksimum kovan yüksekliği 100mm/min’de, maksimum kovan dış çapı ise 75mm/min’de elde edilmiştir.

Şekil 5.57 a’da WC takım’da, malzeme cinsinin kovan yüksekliğine, b’de kovanın dış çapına ve c’de ise kovan ve pul biçimlerine etkisi gösterilmiştir.



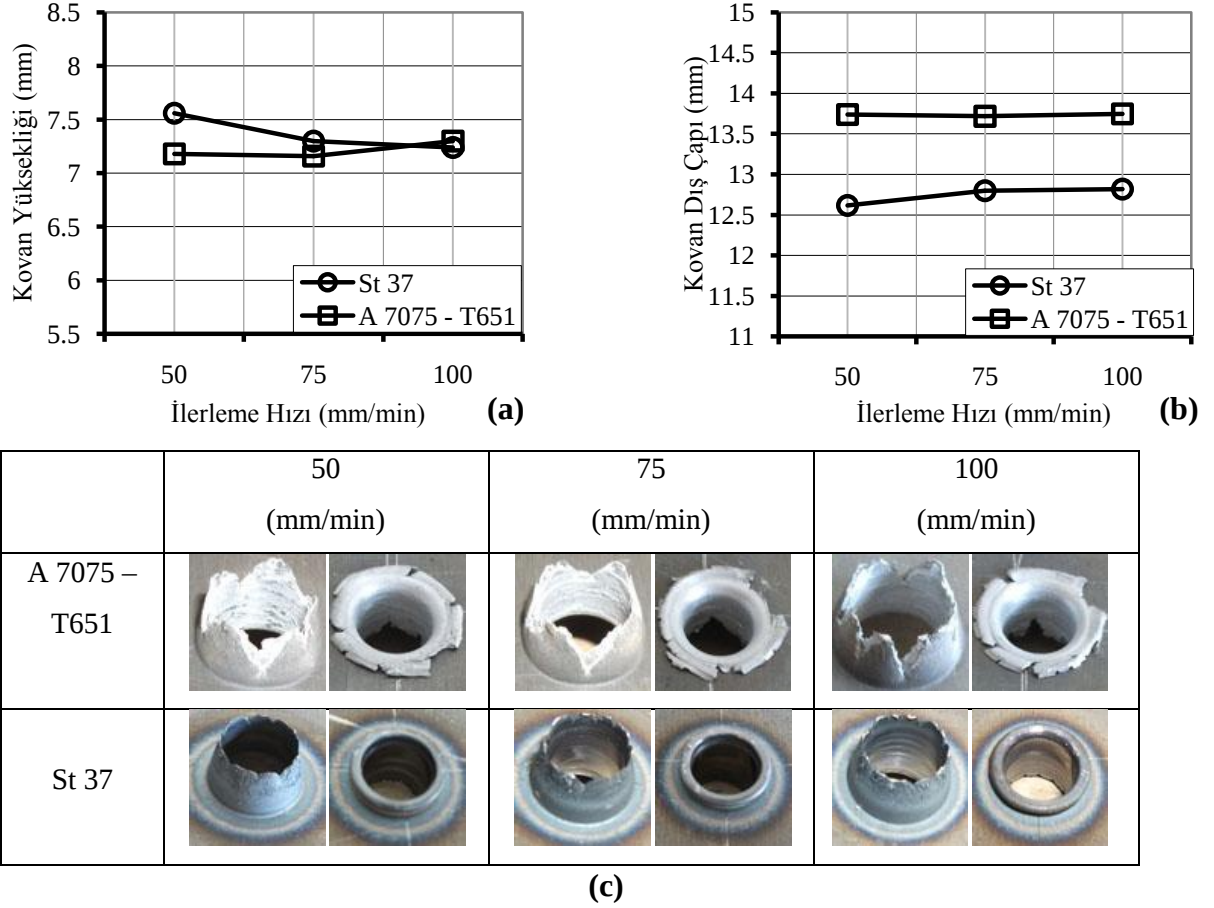
Şekil 5.57. $t=4\text{mm}$, $d=10\text{mm}$, $h_1=16\text{mm}$, $n=4800\text{d/min}$, $\beta=24^\circ$, WC takımında malzeme cinsinin,

a) kovan yüksekliğine, b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi

Şekilde minimum kovan yüksekliği 7,03mm, maksimum kovan yüksekliği 7,54mm, minimum kovan dış çapı 12,50mm ve maksimum kovan dış çapı ise 13,54mm olarak ölçülmüştür. St 37’de 75mm/min’de maksimum kovan yüksekliği ve minimum kovan dış çapı elde edilirken A7075-T651’de kovan yüksekliği ve dış çapında artan ilerleme hızı ile bir değişiklik meydana gelmemiştir.

Şekil 5.58 a’da WC takım’da, malzeme cinsinin kovan yüksekliğine, b’de kovanın dış çapına ve c’de ise kovan ve pul biçimlerine etkisi gösterilmiştir. Minimum kovan yüksekliği 7,16mm, maksimum kovan yüksekliği 7,56mm, minimum kovan dış çapı 12,62mm ve

maksimum kovan dış çapı ise 13,75mm olarak elde edilmiştir. St 37’de artan ilerleme hızı ile kovan yüksekliği azalmış ve kovan dış çapı ise artmış, A7075-T651’de ise önemli bir değişiklik olmamıştır. St 37’de koniklik açısının 24^0 ’den 36^0 ’ye çıkması ile takım-ış parçası temas alanı ve meydana gelen ısı miktarı azaldığından deformasyonun etkisi artmış, kovan yüksekliği azalmış ve kovan dış çapı ise artmıştır.

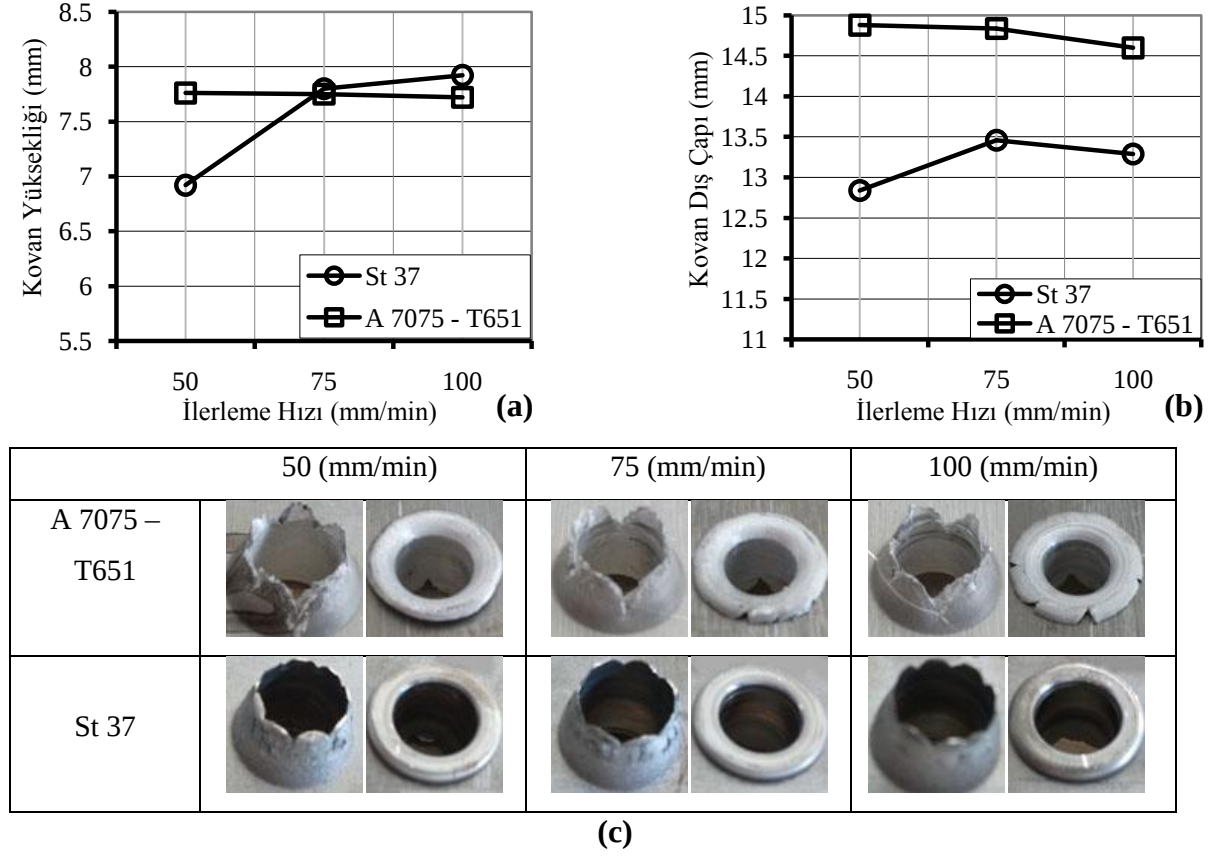


Şekil 5.58. $t=4\text{mm}$, $d=10\text{mm}$, $h_1=16\text{mm}$, $n=4800\text{d/min}$, $\beta=36^0$, WC takımında malzeme cinsinin,

a) kovan yüksekliğine, b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi

Şekil 5.59 a’da WC takım’da, malzeme cinsinin kovan yüksekliğine, b’de kovanın dış çapına ve c’de ise kovan ve pul biçimlerine etkisi gösterilmiştir. Minimum kovan yüksekliği 6,92mm, maksimum kovan yüksekliği 7,92mm, minimum kovan dış çapı 12,84mm ve maksimum kovan dış çapı ise 14,88mm olarak elde edilmiştir. St 37’de 2400d/min ve 36^0 ’de artan ilerleme hızı ile kovan yüksekliği değişmezken kovan dış çapı ise azalmıştır. A7075-T651’de artan ilerleme hızı ile kovan yüksekliği artarken 75mm/min ilerleme hızında maksimum kovan dış çapı elde edilmiştir. Malzeme kalınlığının 4mm’den 6mm’ye çıkması

ile hem St 37’de hem de A7075-T651’de kovan ve pul oluşumunu sağlayan malzeme miktarı, takım-iş parçası temas alanı, meydana gelen ısı miktarı, kovan yüksekliği ve kovan dış çapı artmış, kovan ve pul biçimlerindeki çatlak miktarı azalmıştır.



Şekil 5.59. $t=6\text{mm}$, $d=10\text{mm}$, $h_1=16\text{mm}$, $n=2400\text{d/min}$, $\beta=24^\circ$, WC takımında malzeme cinsinin,

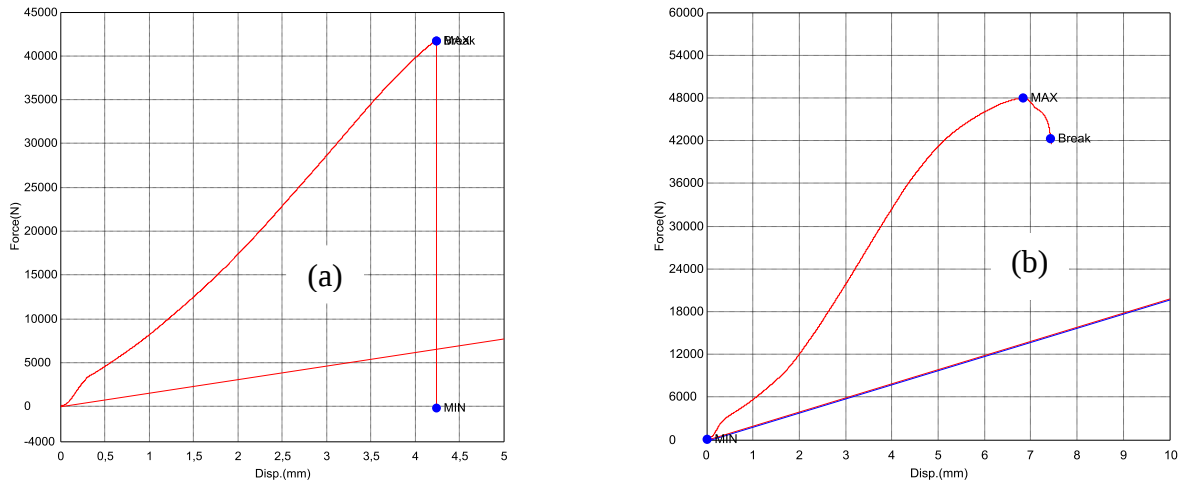
a) kovan yüksekliğine, b) kovanın dış çapına, c) kovan ve pulun biçimine etkisi

5.3. SDY’de Vida Dişlerinin Sıyırma Kuvveti

M12 vidanın adımı 1.75mm ’dir. 4mm kalınlığındaki malzemeye açılan delikte 2.29 ($4/1.75$) diş elde edilirken, SDY’de meydana gelen kovan yüksekliği yaklaşık olarak 8mm olmuş ve 6.86 ($((4+8)/1.75)$) diş elde edilmiştir. Vidanın diş sayısı yaklaşık olarak üç kat arttığından sürtünmeli delinmiş deliklerle uygulanan bağlantılarda, bağlantı uzunluğu ve dayanımı artmıştır. Çekme testinde iş parçasına açılmış vida dişleri yerinden sökülüştür. 4mm kalınlığındaki A7075-T651 ve St37 malzemelere 10mm çapındaki deliklere M12 vida dişleri çekilip karbon çeliğinden imal edilmiş M12 vidalar takılarak çekme testleri

uygulanmış, elde edilen maksimum sıyırma kuvvetinin vida dişlerinde meydana getirdiği değişiklik Şekil 5.60–5.74’te gösterilmiştir.

SHIMADZU marka AG–X 50kN kapasiteli çekme cihazında, 5mm/min çekme hızında, Şekil 5.60’da a’da A7075-T651 ve b’de ise St 37 numunelerin çekilmiş test sonuçları gösterilmiştir. SDY ile delinmiş deliklere çekilmiş vida dişlerinin sıyırma kuvvetindeki değişiklikler, işlem sırasında meydana gelen sıcaklık ve ısıl işlem sonucu mikro yapıdaki tane boyutlarının büyümesi veya küçülmesiyle, termal ve basınç etkisiyle A7075-T651’de birim alandaki çökelti sayısının artması ile meydana gelmiştir. Vidanın sıyırma kuvveti, elde edilen diş sayısından, kovan yüksekliğinden, malzemenin gerilme dayanımından ve meydana gelen sıcaklıktan kaynaklanan ısıl işleminden etkilenmiştir.



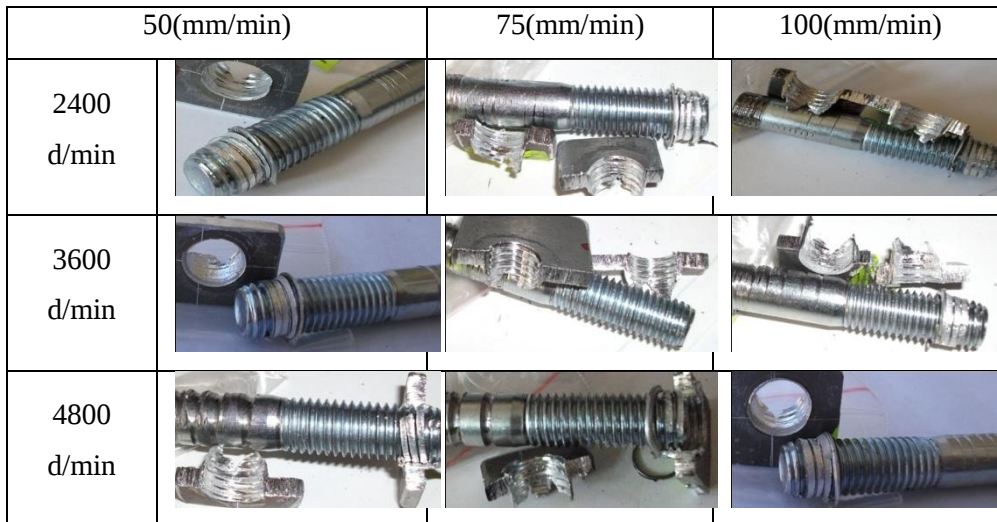
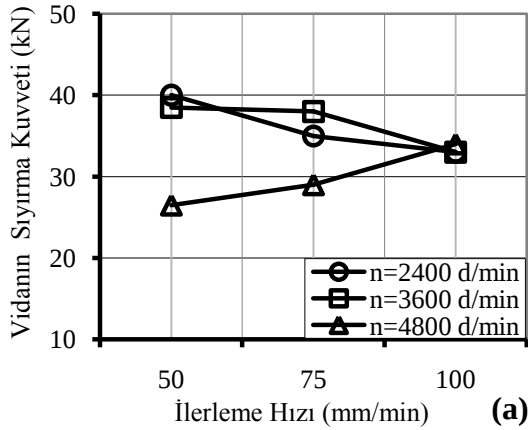
Şekil 5.60 Vidanın çekme cihazında a) A7075-T651, b) St 37 için ölçülmüş sıyırma kuvvetleri

5.3.1. İlerleme Hızının Sıyırma Kuvvetine Etkisi

İlerleme hızının artması ile takım-iş parçası temas alanında meydana gelen ve iş parçasına geçen ısı miktarı azalmıştır. Böylece soğuma sırasında sıcaklık yetersiz olduğundan, meydana gelen ısıl işlem ile tanelerin boyutu küçülmediğinden, malzemenin sertliği ve dişlerin sıyırma kuvveti azalmıştır. SDY’de ısınmış iş parçası ortamdaki hava akımı ile soğuduğundan iş parçasının ısıl iletkenlik katsayısı, meydana gelen ısıl işlemi ve dolayısıyla sıyırma kuvvetini etkileyen önemli bir parametre olmuştur. Deliğin yüzeyi hava akımı ile direkt temas eden açık ortam olduğundan iç kısımlara göre daha hızlı soğumuş ve yüzey sertliği iç kısımların sertliğinden daha fazla olmuştur. İş parçasının iç kısımları ise ısıl iletkenlik katsayısı ile orantılı olarak soğuduğundan, ısıl işlem süresi daha uzun ve yapıdaki

tanelerin boyutu büyümüş ve dayanımı ise azalmıştır. Isıl iletkenlik katsayısı yüksek olan parçalar hızlı soğumuş, düşük olanlarda ise yavaş soğumuş, hızlı soğumada tanelerin boyutu küçülmüş, dayanımı artmış, yavaş soğumada ise tanelerin boyutu büyümüş ve dayanımı ise azalmıştır. Devir sayısının artması ile meydana gelen sıcaklık miktarı ve iş parçasına geçen ısı miktarı artmış, deliğin içerisinden akan hava akımı ile iş parçası hızlı bir şekilde soğumuş, küçük boyutlu taneler meydana gelmiş ve SDY’de ısıl işleme maruz kalan kısımlarda sıyırma kuvveti artmıştır. Yüksek devir sayıları için yüksek ilerleme oranları, düşük devir sayıları için ise düşük ilerleme oranları daha uygun olduğu görülmüştür. İlerleme Hızının sıyırma kuvveti üzerindeki etkisi Şekil 5.61-5.64’te a’da, resimleri ise b’de gösterilmiştir.

İlerleme hızının vida dişlerinin sıyırma kuvveti üzerindeki etkisi Şekil 5.61 a’da, resimleri ise b’de gösterilmiştir.

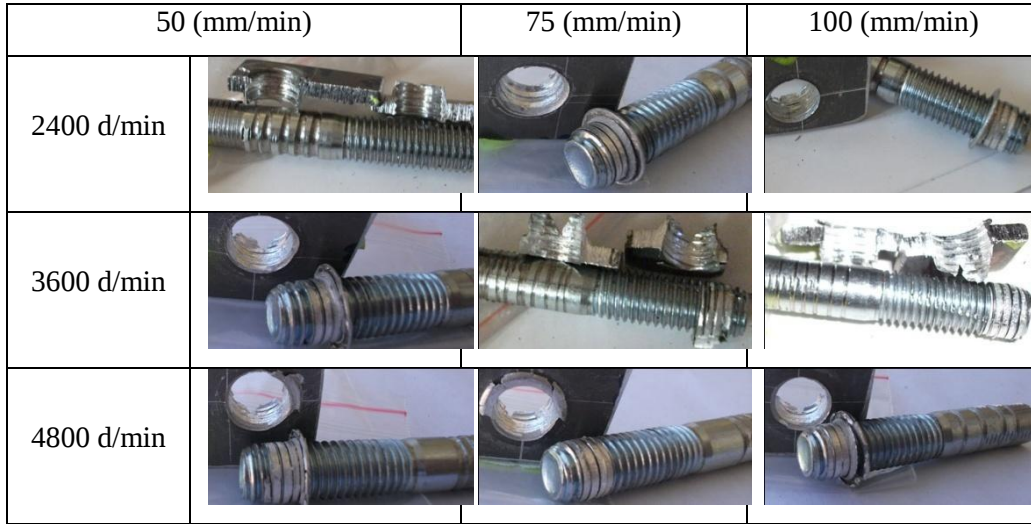
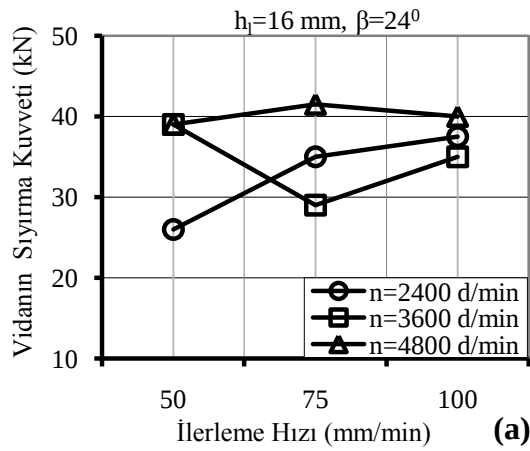


(b)

Şekil 5.61. A7075-T651, $t=4\text{mm}$, $h_1=16\text{mm}$, $d=10\text{mm}$, $\beta=24^\circ$, HSS takımda ilerleme hızının vidanın sıyırma kuvvetine etkisi a) grafik ve b) resimler

Şekilde minimum vida sıyrma kuvveti 26,5kN, maksimum vida sıyrma kuvveti ise 40kN olarak ölçülmüştür. Yüksek devir sayılarında meydana gelen ısı miktarı arttığından soğuma ile tane boyutu daha küçük olmuş, sertlik ve sıyrma kuvveti artmıştır. Azalan kovan yüksekliği ile vida diş sayısı ve sıyrma kuvveti azalmıştır. Vida sıyrma kuvvetine göre 2400d/min ve 3600d/min için 50mm/min, 4800d/min için ise 100mm/min en uygun ilerleme oranları olduğu tespit edilmiştir.

İlerleme hızının vida dişlerinin sıyrma kuvveti üzerindeki etkisi Şekil 5.62 a’da, resimleri ise b’de gösterilmiştir.



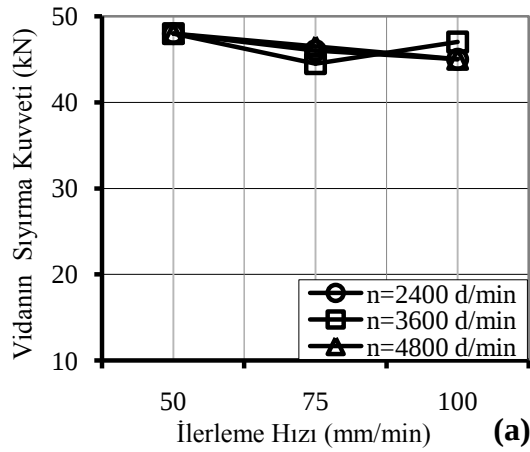
(b)

Şekil 5.62. A7075-T651, $t=4\text{mm}$, $h_1=16\text{mm}$, $d=10\text{mm}$, $\beta=24^\circ$, WC takımda ilerleme hızının vidanın sıyrma kuvvetine etkisi a) grafik ve b) resimler

Şekilde minimum vida sıyrma kuvveti 26kN, maksimum vida sıyrma kuvveti ise 41,5kN olarak ölçülmüştür. 2400d/min’de artan ilerleme hızı ile vida sıyrma kuvveti artarken

75mm/min ve 4800d/min’de maksimum, 3600d/min’de ise minimum değerler elde edilmiştir. WC takım malzemesinin ısı iletkenlik katsayısı 84W/m-K, yüksek hız çeliği HSS takımın ısı iletkenlik katsayısı ise 21W/m-K olduğundan WC takım ile uygulanan SDY’de takım tarafından iletilen ısı miktarı HSS’e göre daha fazla olmuştur. Yüksek devir sayısı, düşük ilerleme hızı ve takım koniklik açısı ile WC yüksek ısı iletkenlik katsayısının neden olduğu ısı kaybı telafi edilmiştir. 2400d/min’de artan ilerleme hızı ile kovan yüksekliği arttığından sıyırma kuvveti artarken 75mm/min, 3600d/min’de minimum ve 4800d/min’de ise maksimum sıyırma kuvveti elde edilmiştir.

İlerleme hızının vida dişlerinin sıyırma kuvvetine etkisi Şekil 5.63 a’da, resimleri ise b’de gösterilmiştir.

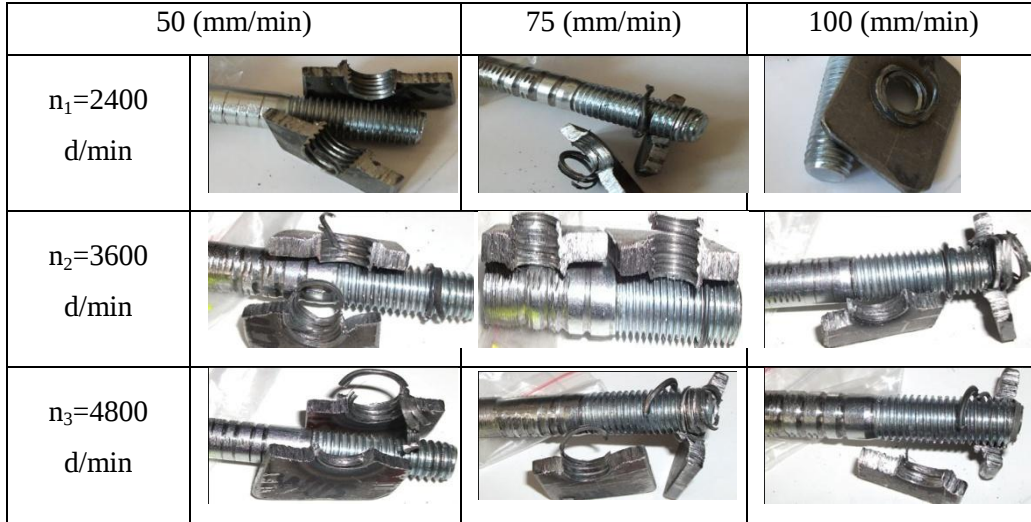
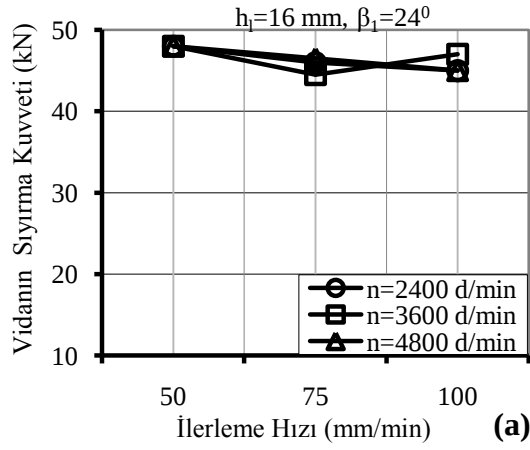


(b)

Şekil 5.63. St 37, $t=2\text{mm}$, $h_f=16\text{mm}$, $d=10\text{mm}$, $\beta=48^\circ$, WC takımda ilerleme hızının vidanın sıyırma kuvvetine etkisi a) grafik ve b) resimler

Şekilde minimum vida sıyrma kuvveti 15kN, maksimum vida sıyrma kuvveti ise 16,5kN olarak elde edilmiştir. Maksimum sıyrma kuvveti 50mm/min ve 2400d/min’de elde edilmiş, 50mm/min’de artan devir sayısı ile sıyrma kuvveti azalmıştır. 2mm malzeme kalınlığında elde edilen vida diş sayısı 4mm kalınlığa göre daha az olduğundan sıyrma kuvveti azalmıştır. St 37 çelik malzemenin ısıl iletkenlik katsayısı 76w/m-K, A7075-T651’in ise 130w/m-K olduğundan St 37’nin SDY’ de daha az ısı kaybı meydana gelmiş, yavaş soğumuş, tane boyutu büyümüş ve sıyrma kuvveti azalmıştır. 75mm/min’de artan devir sayısı ile sıyrma kuvveti değişmezken, 100mm/min’de artan devir sayısı ile azalmıştır.

İlerleme hızının vida dişlerinin sıyrma kuvvetine etkisi Şekil 5.64 a’da resimleri ise b’de gösterilmiştir.



(b)

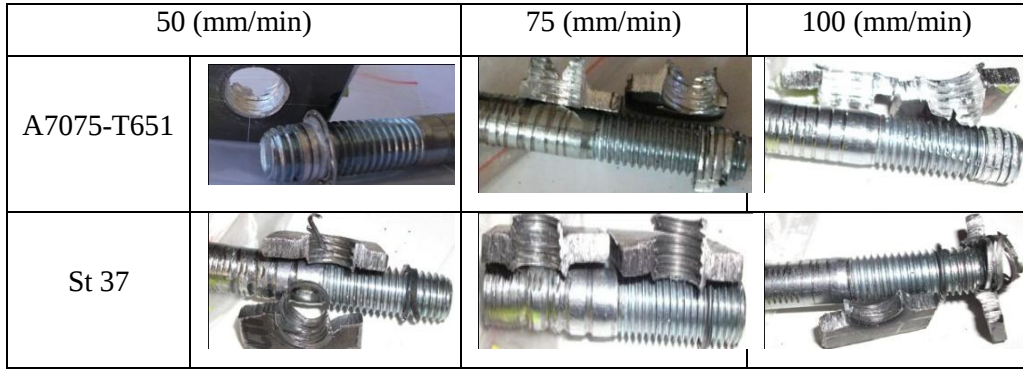
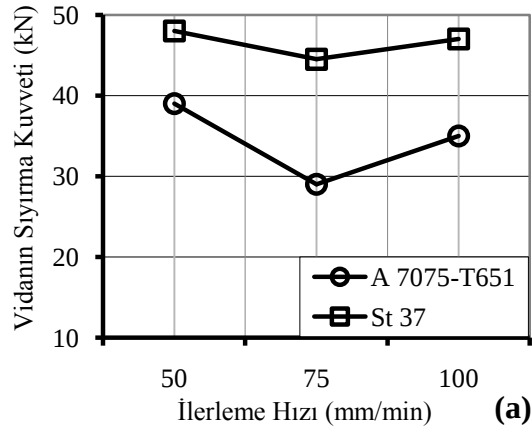
Şekil 5.64. St 37, $t=4\text{mm}$, $h_1=16\text{mm}$, $d=10\text{mm}$, $\beta=24^\circ$, WC takımda ilerleme hızının vidanın sıyrma kuvvetine etkisi a) grafik ve b) resimler

Şekilde minimum vida sıyırma kuvveti 44,5kN, maksimum vida sıyırma kuvveti ise 48kN olarak ölçülmüştür. 50mm/min ilerleme hızında tüm devir sayılarına maksimum sıyırma kuvveti elde edilmiş, artan ilerleme hızı ile 2400d/min ve 4800d/min’de vida sıyırma kuvveti azalırken 3600d/min’de ise 75mm/min’ya kadar azalmış ve daha büyük ilerleme oranlarında ise artmıştır. Malzeme kalınlığının artması ile açılacak diş sayısı ve sıyırma kuvveti artmıştır. St 37’nin ısı iletkenlik katsayısı, A7075-T651’in ısı iletkenlik katsayısından daha düşük olduğundan St 37’de daha az ısı kaybı meydana gelmiş ve soğuma daha yavaş olduğundan elde edilen tane boyutu daha büyük olmuş ve meydana gelen sıcaklık bölgede kalarak iş parçasını ergitmiştir.

5.3.2. Malzeme Cinsinin Sıyırma Kuvvetine Etkisi

St 37’nin ısı iletkenlik katsayısı 76W/m-K ve A7075-T651’in ısı iletkenlik katsayısı ise 130W/m-K dır. St 37’nin ısı iletkenlik katsayısı daha az olduğundan takım-iş parçası temas bölgesinin ısısı daha yüksek olmuş, daha yavaş soğumuş, fakat mikro yapıdaki tane boyutu etkilenmediğinden St 37’de sertlik ve sıyırma kuvveti biraz artmıştır. St 37’nin kayma gerilmesi 370N/mm², A7075-T651’in kayma gerilmesi ise 331N/mm² olduğundan St 37 çelik malzemenin vida dişlerinin sıyırma kuvveti daha büyük olmuştur. Malzeme cinsinin vida dişlerinin sıyırma kuvveti üzerindeki etkisi Şekil 5.65-5.67 a’da, resimleri ise b’de gösterilmiştir.

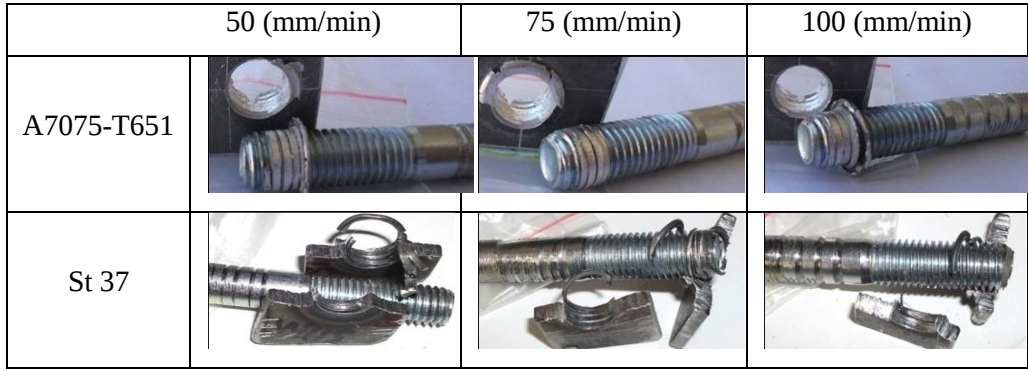
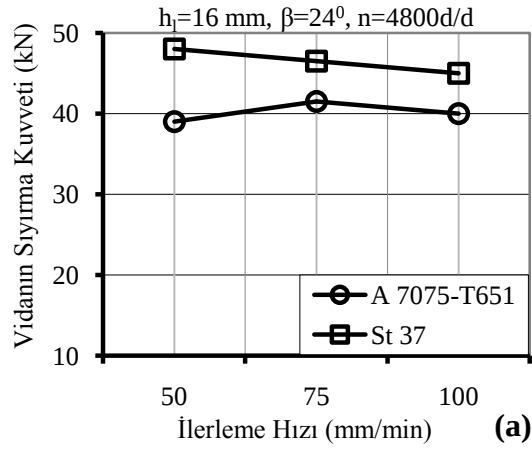
Malzeme cinsinin vida dişlerinin sıyırma kuvveti üzerindeki etkisi Şekil 5.65 a’da, resimleri ise b’de gösterilmiştir. Minimum vida sıyırma kuvveti 29kN, maksimum vida sıyırma kuvveti ise 48kN olarak elde edilmiştir. 3600 d/min ve 75mm/min’de hem A7075-T651’de hem de St 37’de minimum sıyırma kuvveti elde edilirken 50mm/min ve 100mm/min’de ise maksimum sıyırma kuvveti elde edilmiştir.



(b)

Şekil 5.65. $t=4\text{mm}$, $h_1=16\text{mm}$, $d=10\text{mm}$, $\beta=24^\circ$, $n=3600\text{d/min}$, WC takımında malzeme cinsinin vidanın sıyırma kuvvetine etkisi a) grafik ve b) resimler

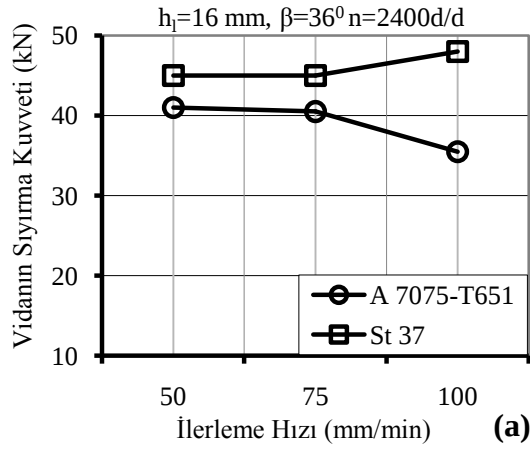
Malzeme cinsinin vida dişlerinin sıyırma kuvveti üzerindeki etkisi Şekil 5.66 a'da, resimleri ise b'de gösterilmiştir. Minimum vida sıyırma kuvveti 39kN, maksimum vida sıyırma kuvveti ise 48kN olarak ölçülmüştür. 4800d/min ve 75mm/min ilerleme hızında hem A7075-T651'de hem de St 37'de 50mm/min'de maksimum sıyırma kuvveti elde edilmiş, fakat artan ilerleme hızı ile sıyırma kuvveti azalmıştır.



(b)

Şekil 5.66. $t=4 \text{ mm}, h_f=16 \text{ mm}, d=10 \text{ mm}, \beta=24^\circ, n=4800 \text{ d/min}$, WC takımda malzeme cinsinin vidanın sıyırma kuvvetine etkisi a) grafik ve b) resimler

Malzeme cinsinin vida dişlerinin sıyırma kuvveti üzerindeki etkisi Şekil 5.67 a'da, resimleri ise b'de gösterilmiştir. Minimum vida sıyırma kuvveti 35,5kN, maksimum vida sıyırma kuvveti ise 48kN olarak ölçülmüştür. 2400d/min ve 36° 'de A7075-T651'de 75mm/min'den büyük ilerleme oranlarında artan ilerleme hızı ile sıyırma kuvveti azalmış, St 37'de artmış, 75mm/min'den küçük ilerleme oranlarında ise sabit kalmıştır.



	50 (mm/min)	75 (mm/min)	100 (mm/min)
A7075-T651			
St 37			

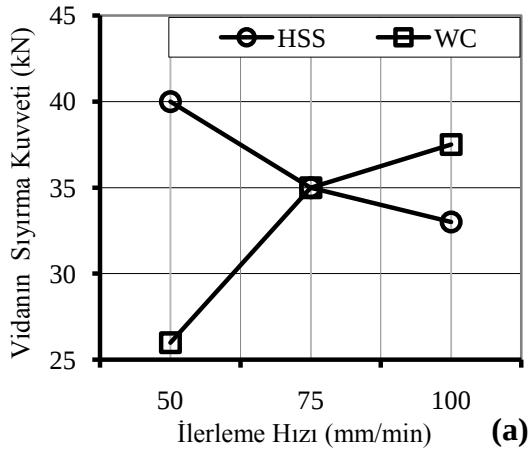
(b)

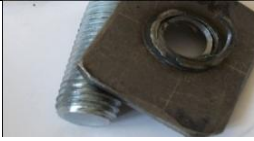
Şekil 5.67. $t=4\text{mm}$, $h_f=16\text{mm}$, $d=10\text{mm}$, $\beta=36^\circ$, $n=2400\text{d/min}$, WC takımda malzeme cinsinin vidanın sıyırma kuvvetine etkisi a) grafik ve b) resimler

5.3.3. Takım Cinsinin Sıyırma Kuvvetine Etkisi

SDY' de takım cinsinin vidanın sıyırma kuvvetine etkisi, takım malzemelerinin ısı iletkenlik katsayısına bağlıdır. Takım malzemesinin ısı iletkenlik katsayısının artması ile takım-iş parçası temas alanından iletilen ısı miktarı arttığından bölgenin ısı miktarı azalmış, deliğin yüzey sertliği ve mukavemeti artmıştır. Takım cinsinin vida dişlerinin sıyırma kuvveti üzerindeki etkisi Şekil 5.68-5.71 a'da, resimleri ise b'de gösterilmiştir.

Şekil 5.68 takım cinsinin vida dişlerinin sıyırma kuvveti üzerindeki etkisi a'da, resimleri ise b'de gösterilmiştir. Minimum vida sıyırma kuvveti 26kN, maksimum vida sıyırma kuvveti ise 40kN olarak ölçülmüştür. HSS takımda artan ilerleme hızı ile sıyırma kuvveti düzenli olarak azalırken WC takımda ise artmıştır. 75mm/min'den büyük ilerleme oranlarında takım-iş parçası temas alanında meydana gelen ısı miktarı azaldığından HSS takımın sıyırma kuvvetindeki azalma miktarı, WC takıma göre daha az olduğu tespit edilmiştir.

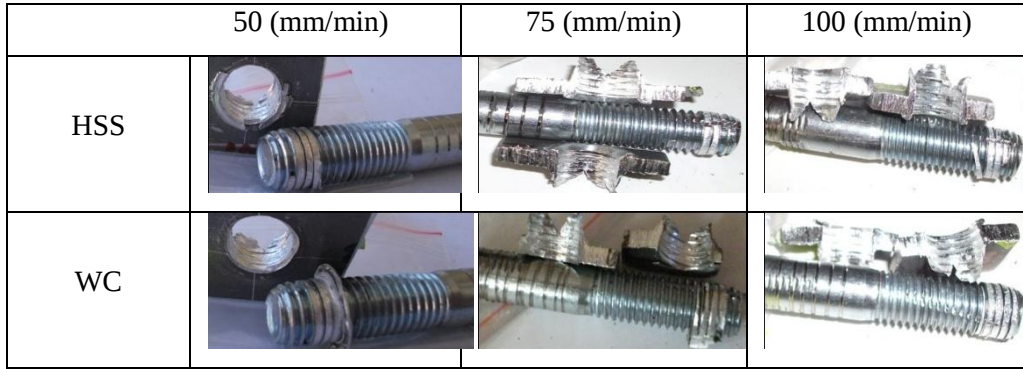
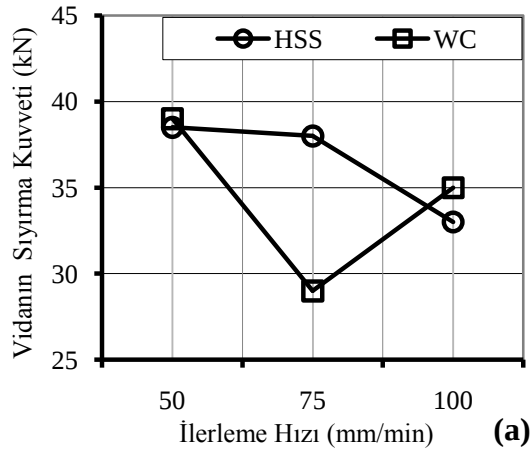


	50 (mm/min)	75 (mm/min)	100 (mm/min)
HSS			
WC			

(b)

Şekil 5.68. $t=4\text{mm}$, $h_1=16\text{mm}$, $d=10\text{mm}$, $\beta=24^\circ$, $n=2400\text{d/min}$, takım cinsinin vidanın sıyrma kuvvetine etkisi a) grafik ve b) resimler

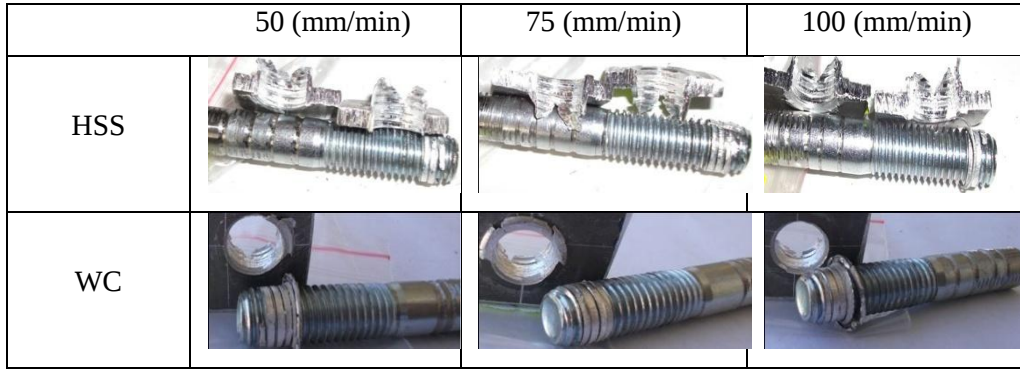
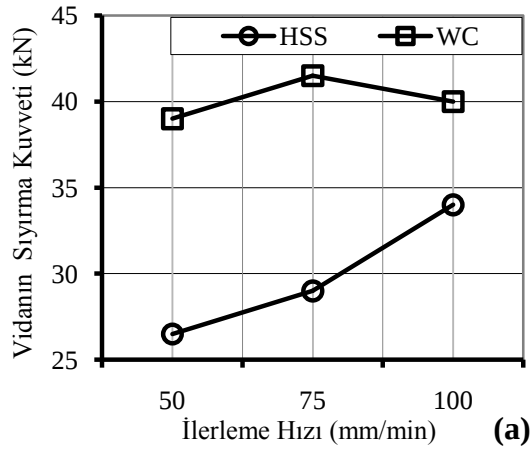
Takım cinsinin vida dişlerinin sıyrma kuvveti üzerindeki etkisi Şekil 5.69 a'da, resimleri ise b'de gösterilmiştir. Minimum vida sıyrma kuvveti 29kN, maksimum vida sıyrma kuvveti ise 38,5kN olarak ölçülmüştür. 3600d/min ve 24° 'de HSS takımda artan ilerleme hızı ile sıyrma kuvveti azalırken WC takımda 75mm/min'den küçük ilerleme oranlarında artan ilerleme hızı ile azalmış, 75mm/min'den büyük ilerleme oranlarında ise artan ilerleme hızı ile artmıştır. En büyük sıyrma kuvveti hem HSS hem de WC'da 3600d/min ve 50mm/min'de elde edilmiştir.



(b)

Şekil 5.69. $t=4\text{mm}$, $h_1=16\text{mm}$, $d=10\text{mm}$, $\beta=24^\circ$, $n=3600\text{d/min}$, takım cinsinin vidanın sıyrma kuvvetine etkisi a) grafik ve b) resimler

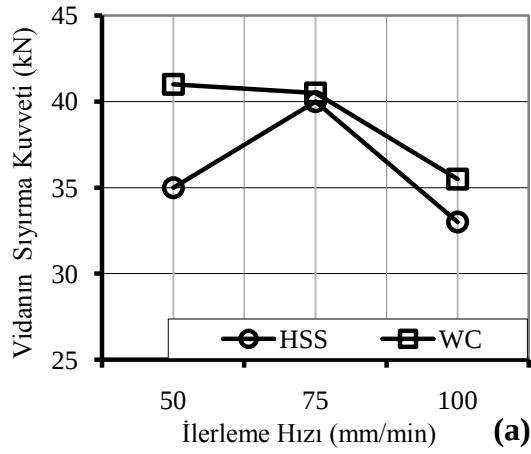
Takım cinsinin vida dişlerinin sıyrma kuvveti üzerindeki etkisi Şekil 5.70 a'da, resimleri ise b'de gösterilmiştir. Minimum vida sıyrma kuvveti 26,5kN, maksimum vida sıyrma kuvveti ise 41,5kN olmuştur. 4800d/min ve 24° 'de HSS takımda artan ilerleme hızı ile sıyrma kuvveti artmış, WC takımda ise 75mm/min'den küçük ilerleme oranlarında artan ilerleme hızı ile sıyrma kuvveti artarken 75mm/min'den büyük ilerleme oranlarında artan ilerleme hızı ile azalmıştır. HSS takımın ısı iletkenlik katsayısı düşük olduğundan (21W/m-K) yüksek devir sayıları ve ilerleme oranlarında maksimum sıyrma kuvveti elde edilmiş ve artan ilerleme hızı ile sıyrma kuvveti düzenli olarak artmıştır. WC takımda ise 4800d/min'de maksimum sıyrma kuvveti 75mm/min ilerleme hızında elde edilmiştir.

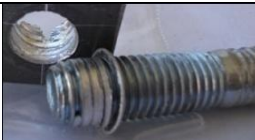


(b)

Şekil 5.70. $t=4\text{mm}$, $h_1=16\text{mm}$, $d=10\text{mm}$, $\beta=24^\circ$, $n=4800\text{d/min}$, takım cinsinin vidanın sıyırma kuvvetine etkisi a) grafik ve b) resimler

Takım cinsinin vida dişlerinin sıyırma kuvveti üzerindeki etkisi Şekil 5.71 a'da, resimleri ise b'de gösterilmiştir. Minimum vida sıyırma kuvveti 33kN, maksimum vida sıyırma kuvveti ise 41kN olarak elde edilmiştir. 2400d/min ve 36° 'de HSS takımda 75mm/min ilerleme hızında, WC takımda ise 50mm/min'de maksimum sıyırma kuvveti elde edilmiş ve her iki takımda da 75mm/min'den büyük ilerleme oranlarında artan ilerleme hızı ile sıyırma kuvveti azalmıştır. HSS takımın ısı iletkenlik katsayısı WC'den daha düşük olduğundan takım tarafından ortamdaki ısı miktarı daha az olmuş ve HSS takımda 2400d/min için en uygun ilerleme hızı 75mm/min olurken WC takımda ise 50mm/min olduğu tespit edilmiştir.



	50 (mm/min)	75 (mm/min)	100 (mm/min)
HSS			
WC			

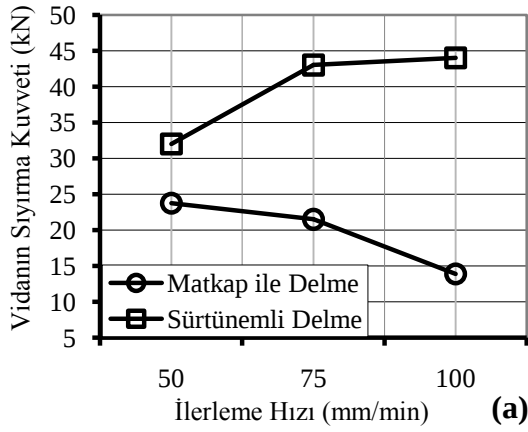
(b)

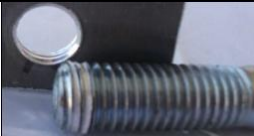
Şekil 5.71. $t=4\text{mm}$, $h_f=16\text{mm}$, $d=10\text{mm}$, $\beta=36^\circ$, $n=2400\text{d/min}$, takım cinsinin vidanın sıyırma kuvvetine etkisi a) grafik ve b) resimler

5.3.4. Delme Yönteminin Sıyırma Kuvvetine Etkisi

SDY ile delinen deliklerde meydana gelen kovan, malzemenin bağlantı uzunluğunu, açılacak vida diş sayısını ve sıyırma kuvvetini artırmıştır. GDY’de bağlantı uzunluğunu sağlayan vida dişleri malzemenin kalınlığına çekilebilirken SDY’de ise malzeme kalınlığı ve kovan yüksekliği toplamına vida dişleri açıldığından SDY’de daha fazla vida dişi elde edilmiş ve GDY’ye göre daha büyük sıyırma kuvvetleri elde edilmiştir. Delme yönteminin vida dişlerinin sıyırma kuvveti üzerindeki etkisi Şekil 5.72- 5.75 a’da, resimleri ise b’de gösterilmiştir.

Takım cinsinin vida dişlerinin sıyırma kuvveti üzerindeki etkisi Şekil 5.72 a’da, resimleri ise b’de gösterilmiştir.



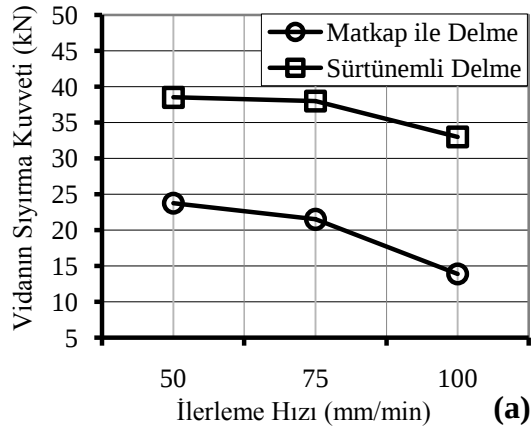
	50 (mm/min)	75 (mm/min)	100 (mm/min)
Matkap ile Delme			
Sürtünmeli Delme			

(b)

Şekil 5.72. $t=4\text{mm}$, $h_1=8\text{mm}$, $d=10\text{mm}$, $\beta=24^\circ$, $n=2400\text{d/min}$ için delme yönteminin vidanın sıyırma kuvvetine etkisi

Şekilde minimum vida sıyırma kuvveti 13,9kN, maksimum vida sıyırma kuvveti ise 44kN olarak elde edilmiştir. 2400d/min ve 24° 'da GDY' de artan ilerleme hızı ile vida dişlerinin sıyırma kuvveti azalırken SDY'de ise artan ilerleme hızı sıyırma kuvveti artmıştır. SDY'de meydana gelen kovandan dolayı daha fazla vida dişi elde edildiğinden GDY'ye göre daha büyük vida sıyırma kuvvetleri elde edilmiştir.

Takım cinsinin vida dişlerinin sıyırma kuvveti üzerindeki etkisi Şekil 5.73 a'da, resimleri ise b'de gösterilmiştir. Minimum vida sıyırma kuvveti 13,9kN, maksimum vida sıyırma kuvveti ise 38,5kN olmuştur. 3600d/min ve 24° 'de GDY'de artan ilerleme hızı ile sıyırma kuvveti azalırken, SDY'de 75mm/min'den küçük ilerleme oranlarında artan ilerleme hızı ile sıyırma kuvveti biraz ve 75mm/min'den büyük ilerleme oranlarında ise artan ilerleme hızı ile sıyırma kuvveti azalmıştır. Her iki delme yönteminde de 3600d/min devir sayısı için en uygun ilerleme hızı 50mm/min olmuştur. SDY'de daha fazla vida diş sayısı elde edildiğinden GDY'ye göre daha büyük vida sıyırma kuvvetleri elde edilmiştir.

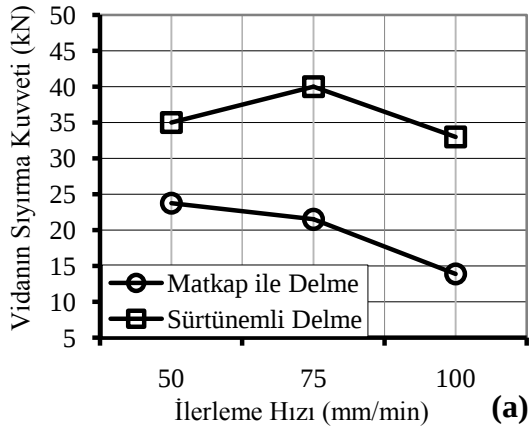


	50 (mm/min)	75 (mm/min)	100 (mm/min)
Matkap ile Delme			
Sürtünmeli Delme			

(b)

Şekil 5.73. $t=4\text{mm}$, $h_1=16\text{mm}$, $d=10\text{mm}$, $\beta=24^\circ$, $n=3600\text{d/min}$ için delme yönteminin vidanın sıyırma kuvvetine etkisi

Takım cinsinin vida dişlerinin sıyırma kuvveti üzerindeki etkisi Şekil 5.74 a'da, resimleri ise b'de gösterilmiştir. Minimum vida sıyırma kuvveti 13,9kN, maksimum vida sıyırma kuvveti ise 40kN olarak ölçülmüştür. 2400d/min ve 36⁰'e GDY'de artan ilerleme hızı ile sıyırma kuvveti azalırken SDY'de ise maksimum sıyırma kuvveti 75mm/min ilerleme hızında elde edilmiştir. SDY'de 2400d/min 'da en uygun ilerleme hızı 75mm/min olurken GDY'de ise 50mm/min olmuştur. SDY'de daha fazla vida diş sayısı elde edildiğinden GDY'ye göre daha büyük vida sıyırma kuvvetleri elde edilmiştir.

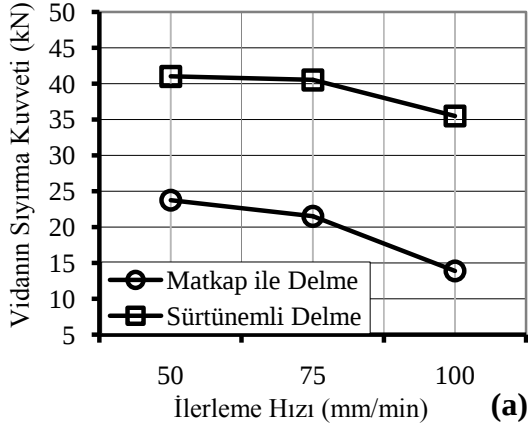


	50 (mm/min)	75 (mm/min)	100 (mm/min)
Matkap ile Delme			
Sürtünmeli Delme			

(b)

Şekil 5.74. $t=4\text{mm}$, $h_1=16\text{mm}$, $d=10\text{mm}$, $\beta=36^\circ$, $n=2400\text{ d/min}$ için delme yönteminin vidanın sıyırma kuvvetine etkisi

Takım cinsinin vida dişlerinin sıyırma kuvveti üzerindeki etkisi Şekil 5.75 a'da, resimleri ise b'de gösterilmiştir. Minimum vida sıyırma kuvveti 13,9kN, maksimum vida sıyırma kuvveti ise 41kN olarak ölçülmüştür. 2400d/min ve 36° 'de her iki delme yönteminde de maksimum sıyırma kuvveti 50mm/min ilerleme hızında elde edilirken SDY'de 75mm/min'den küçük ilerleme oranlarında artan ilerleme hızı ile sıyırma kuvveti biraz, 75mm/min'den büyük ilerleme oranlarında ise artan ilerleme hızı ile sıyırma kuvveti azalmıştır. GDY'de artan ilerleme hızı ile sıyırma kuvveti düzenli bir şekilde azalmıştır. h_1 uzunluğunun artması ile sürtünmeli delme işleminde kovan oluşumu tamamlanmış ve yüksekliği artmıştır. Artan kovan yüksekliği ile vida diş sayısı ve sıyırma kuvveti artmıştır.



	50 (mm/min)	75 (mm/min)	100 (mm/min)
Matkap ile Delme			
Sürtünmeli Delme			

(b)

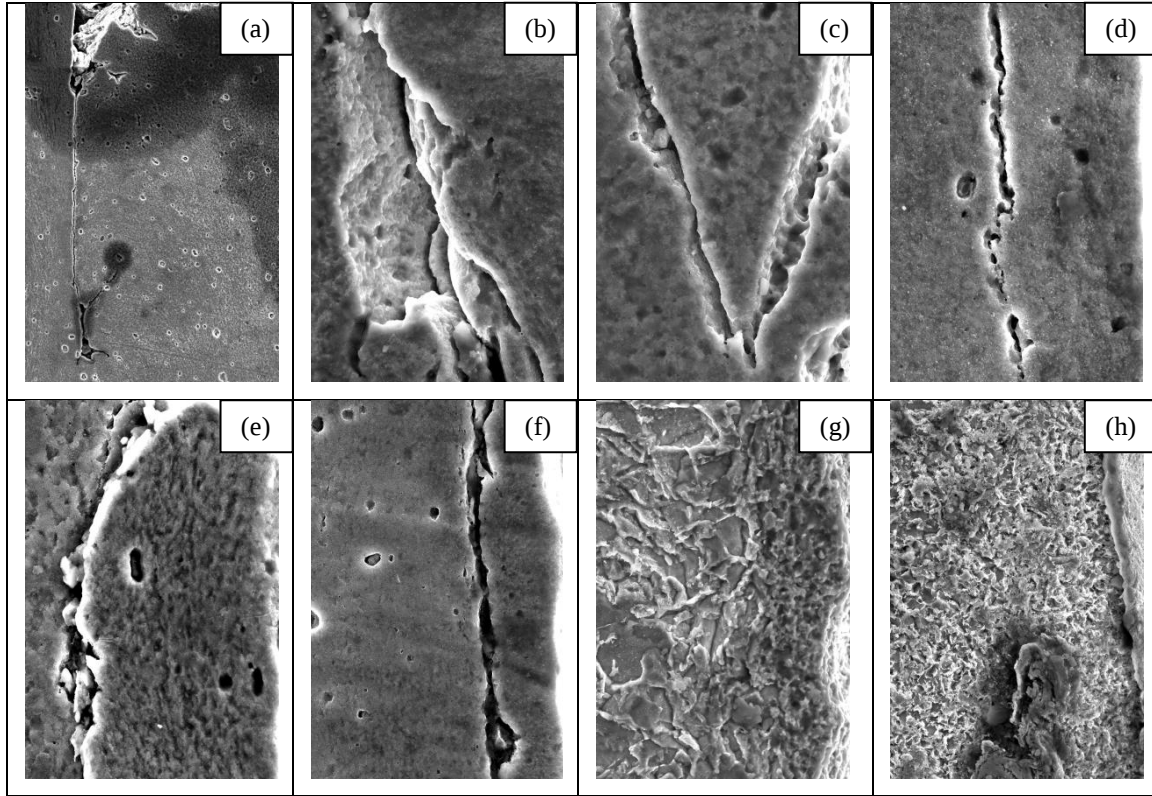
Şekil 5.75 $t=4\text{mm}$, $h_f=8\text{mm}$, $d=10\text{mm}$, $\beta=36^\circ$, $n=2400\text{ d/min}$ için delme yönteminin vidanın sıyrma kuvvetine etkisi

5.4. SDY'nin Mikro Sertliğe Etkisi

SDY'de mikro sertliği etkileyen en önemli parametreler, sıcaklık ve basınç etkisiyle meydana gelen deformasyonlardır. Deliğin çevresi kapalı alan olduğundan soğuma, iş parçası malzemesinin ısı iletkenlik katsayısına bağlı olarak meydana gelmiş ve iş parçasının ısı iletkenlik katsayısının artması ile soğuma hızı artmıştır. Sıcaklık ve basınç deformasyonlarının etkisiyle yumuşamış ve delik eksenini doğrultusunda akmış malzemenin bir kısmı iş parçasının iç kısımlarına doğru basılmıştır. Basmanın etkisiyle tane boyutunun küçülmesi, tanelerin sınır uzunluğunun artması ve malzemenin yapısında bulunan çökeltiler delik yüzeyine yakın bölgede toplandığından birim alandaki çökelti sayısının artması ile mikro sertlik değeri artmıştır. Delik yüzeyinden uzaklaştıkça mikro sertlik değeri azalmıştır. A7075-T651'de delik yüzeyinden itibaren $30\mu\text{m}$ aralıklarda 5 değişik noktada, St 37'da ise delik yüzeyinden itibaren $50\mu\text{m}$ aralıklarda 6 değişik noktada mikro sertlik değerleri

ölçülmüştür. 75mm/min’de devir sayısının, takım koniklik açısının ve takım malzemesinin mikro sertliğe etkisi Şekil 5.77–5.89’deki grafiklerde gösterilmiştir.

SDY sırasında termal ve basınç etkisiyle, delik yüzeyine yakın bölgelerde termal gerilmelerin sebep olduğu çatlaklar meydana gelmiştir. Bu çatlaklar Şekil 5.76 a, b, c, d, e, f, g ve h’da gösterilmiştir.



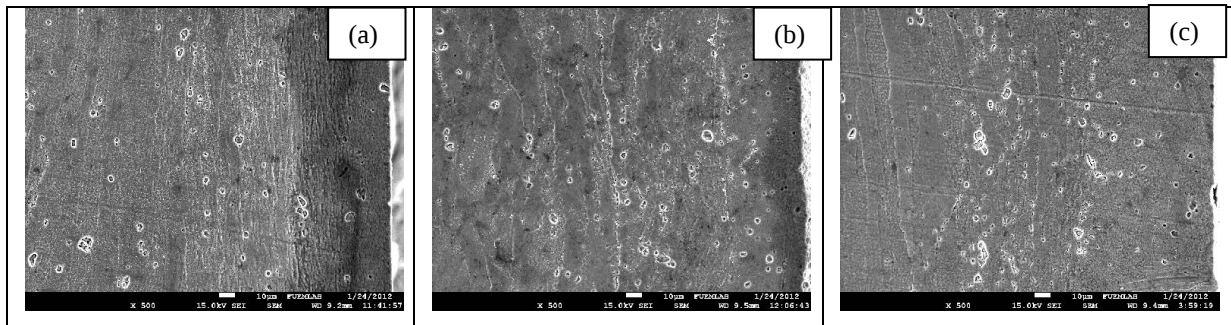
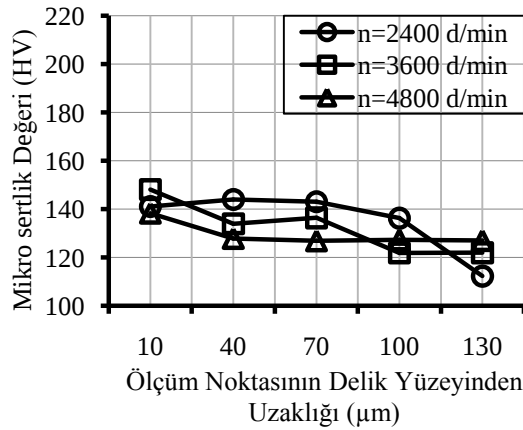
Şekil 5.76 SDY’de, delik yüzeyine yakın bölgelerde meydana gelmiş termal ve basınç gerilmelerinin sebep olduğu çatlaklar, a – e) A7075-T651, g ve h)St 37

5.4.1. Devir sayısının Mikro Sertliğe Etkisi

SDY’de, devir sayısının artması ile takım–iş parçası temas alanının sıcaklığı artmış ve iş parçası yeterince ergimiştir. Delme işlemi tamamlanıp takım iş parçasından uzaklaştıktan sonra deliğin içi hava akımına maruz kalarak hızlı bir şekilde soğuduğundan malzemenin mikro yapısındaki tanelerin boyutu küçülmüş, basınç ve ısı etkisiyle kenarlara basılmış olan malzeme ile birim alandaki çökelti sayısı ve mikro sertlik değeri artmıştır. Takım–iş parçası temas alanındaki ısı miktarı yetersiz olduğunda ise malzeme yeterince ergimemiş ve hava akımı ile sertleşme gerçekleşmemiştir. Ölçülen en küçük mikro sertlik değeri iş parçası

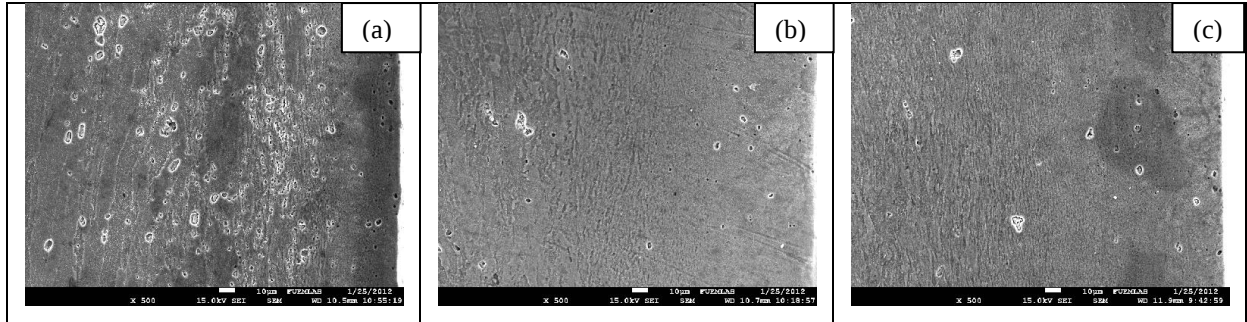
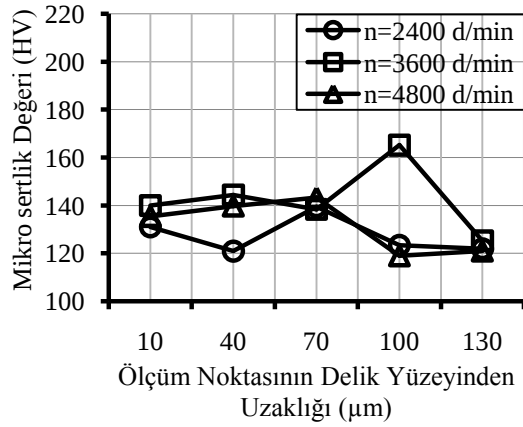
malzemesinin kendi sertlik değerine eşit olduğu kabul edilmiştir. Devir sayısının mikro sertliğe etkisi Şekil 5.77–5.82’deki grafiklerde gösterilmiştir.

$t=4\text{mm}$, $h_1=24\text{mm}$, $\beta=24^\circ$ ’de uygulanan SDY’de mikro sertlik değerleri, A7075-T651’nin delik yüzeyinden itibaren 10, 40, 70, 100 ve 130 μm uzaklıkta olmak üzere 5 değişik noktada ölçülmüş ve mikro yapının SEM’de çekilmiş resimleri ile birlikte Şekil 5.77’de gösterilmiştir. Minimum mikro sertlik değeri 112,3 μm , maksimum mikro sertlik değeri ise 148,1 μm olarak ölçülmüştür. 4mm, 75mm/min, 24° ve 2400d/min’de delik yüzeyinden 40 μm uzaklıkta, 3600d/min ve 4800d/min’de ise 10 μm uzaklıkta maksimum mikro sertlik değeri elde edilmiştir. Malzemenin kendi sertlik değerine 2400d/min’de delik yüzeyinden 130 μm , 3600d/min’de 100 μm ve 4800d/min’de ise 40 μm uzaklıkta ulaşılmış, 3600d/min’da ise 10 μm uzaklıkta maksimum mikro sertlik elde edilmiştir. Devir sayısının artması ile SDY işleminde meydana gelen ısı miktarı artmış, hava akımına maruz kalan malzeme hızlı bir şekilde soğumuş, yapıdaki tanelerin boyutu küçülmüş ve delik yüzeyine daha yakın bölgelerde maksimum mikro sertlik değerleri elde edilmiştir.



Şekil 5.77. $t=4\text{mm}$, $h_1=24\text{mm}$, $\beta=24^\circ$, A7075-T651 malzeme, HSS takım için devir sayısının mikro sertliğe etkisi a)2400 d/min, b)3600 d/min, c) 4800 d/min

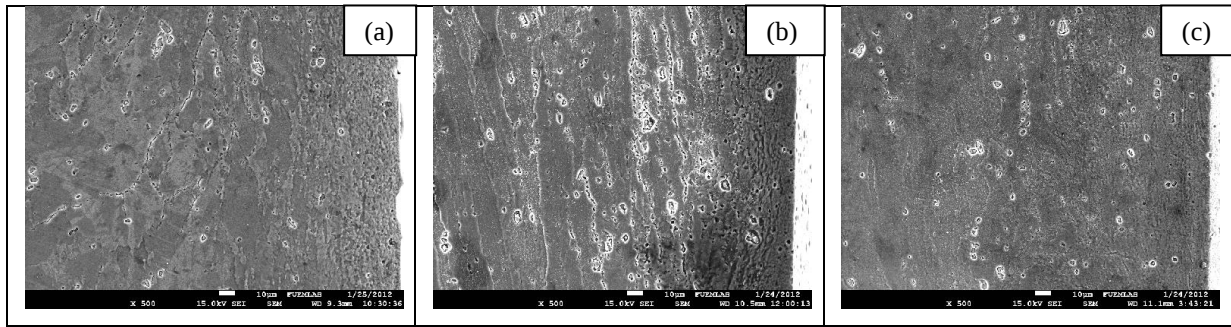
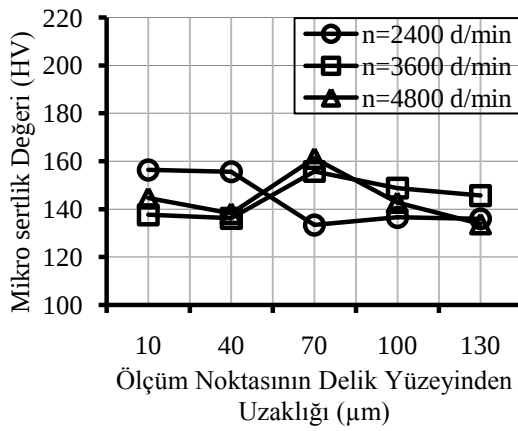
$t=6\text{mm}$, $h_1=24\text{mm}$, $\beta=24^\circ$ 'de uygulanan SDY'de mikro sertlik değerleri, A7075-T651'nin delik yüzeyinden itibaren 10, 40, 70, 100 ve 130 μm uzaklıkta olmak üzere 5 değişik noktada ölçülmüş ve mikro yapının SEM'de çekilmiş resimleri ile birlikte Şekil 5.78'de gösterilmiştir. Minimum mikro sertlik 121 μm , maksimum mikro sertlik ise 165,2 μm olarak ölçülmüştür. 6mm kalınlığındaki malzemeye 24° koniklik açısına sahip HSS takım ile 75mm/min'de SDY uygulanmıştır. 2400d/min'de delik yüzeyinden itibaren 70 μm uzaklıkta, 3600d/min ve 4800d/min'de ise 70 μm uzaklıkta maksimum mikro sertlik değeri elde edilmiştir. Malzemenin kendi sertliğine, 2400d/min ve 3600d/min'de 130 μm uzaklıkta, 4800d/min'de ise 100 μm uzaklıkta ulaşılmıştır. 3600d/min'de delik yüzeyinden 100 μm uzaklıkta maksimum mikro sertlik değeri elde edilmiştir. Malzeme kalınlığının 4mm'den 6mm'ye çıkması ile ergimesi gereken malzeme miktarı arttığından meydana gelen ısı miktarı yetersiz olmuş, maksimum mikro sertlik değeri delik yüzeyinden daha uzakta elde edilmiştir.



Şekil 5.78. $t=6\text{mm}$, $h_1=24\text{mm}$, $\beta=24^\circ$, A7075-T651 malzeme, HSS takım için devir sayısının mikro sertliğe etkisi a)2400 d/min, b)3600 d/min, c) 4800 d/min

$t=4\text{mm}$, $h_1=24\text{mm}$, $\beta=36^\circ$ 'de uygulanan SDY'de mikro sertlik değerleri, A7075-T651'da delik yüzeyinden itibaren 10, 40, 70, 100 ve 130 μm uzaklıkta olmak üzere 5 değişik noktada ölçülmüş ve mikro yapının SEM'de çekilmiş resimleri ile birlikte Şekil 5.79'da gösterilmiştir. Minimum mikro sertlik değeri 133,9 μm , maksimum mikro sertlik değeri ise

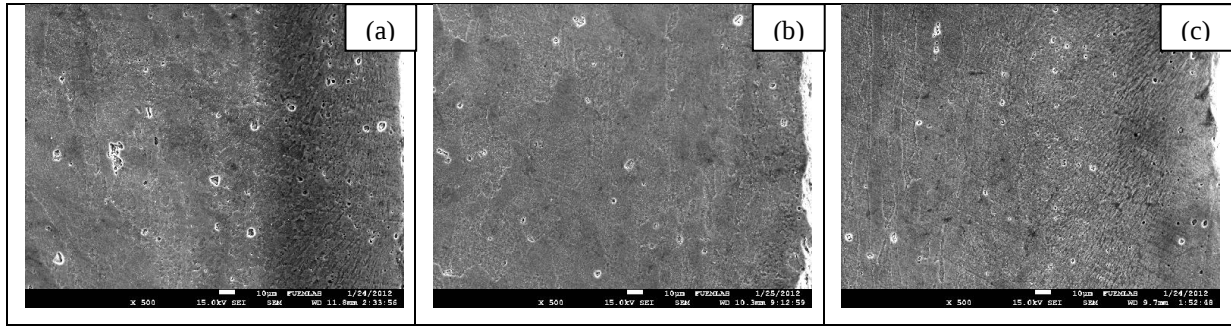
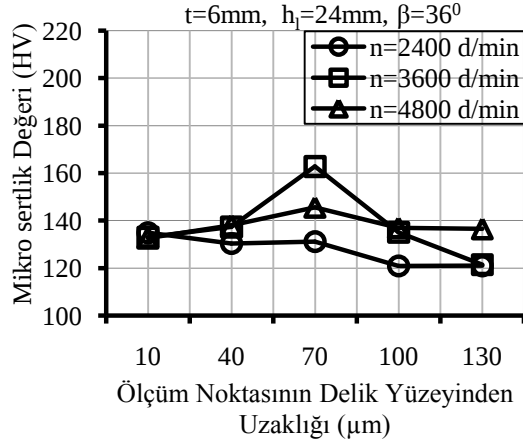
156,4 μ m olarak elde edilmiştir. 4mm, 36⁰'de HSS takım ile 2400d/min'delik yüzeyinden 10 μ m uzaklıkta, 3600d/min ve 4800d/min'de ise 70 μ m uzaklıkta maksimum mikro sertlik değeri elde edilmiştir. Malzemenin kendi sertlik değerine, 2400d/min'da 70 μ m uzaklıkta, 3600d/min ve 4800d/min'de ise 130 μ m uzaklıkta ulaşılmış, en büyük mikro sertlik değeri 4800d/min'de delik yüzeyinden 70 μ m uzaklıkta elde edilmiştir. Koniklik açısının 24⁰'den 36⁰'ye çıkması ile takım-iş parçası temas alanı ve meydana gelen ısı miktarı azaldığından maksimum mikro sertliğin elde edildiği bölgenin delik yüzeyine uzaklığı 10 μ m'den 70 μ m'ye çıkmıştır.



Şekil 5.79. t=4mm, h₁=24mm, β =36⁰, A7075-T651 malzeme, HSS takım için devir sayısının mikro sertliğe etkisi a)2400 d/min, b)3600 d/min, c) 4800 d/min

t=6mm, h₁=24mm, β =36⁰'de uygulanan SDY'de mikro sertlik değerleri, A7075-T651'de delik yüzeyinden itibaren 10, 40, 70, 100 ve 130 μ m uzaklıkta olmak üzere 5 değişik noktada ölçülmüş ve mikro yapının SEM'de çekilmiş resimleri ile birlikte Şekil 5.80'da gösterilmiştir. Şekilde elde edilen minimum mikro sertlik değeri 121 μ m, maksimum mikro sertlik değeri ise 162,8 μ m olarak elde edilmiştir. HSS takımında, t=6mm, 36⁰ ve 2400d/min'da delik yüzeyinden 10 μ m uzaklıkta, 3600d/min ve 4800d/min'de ise 70 μ m uzaklıkta

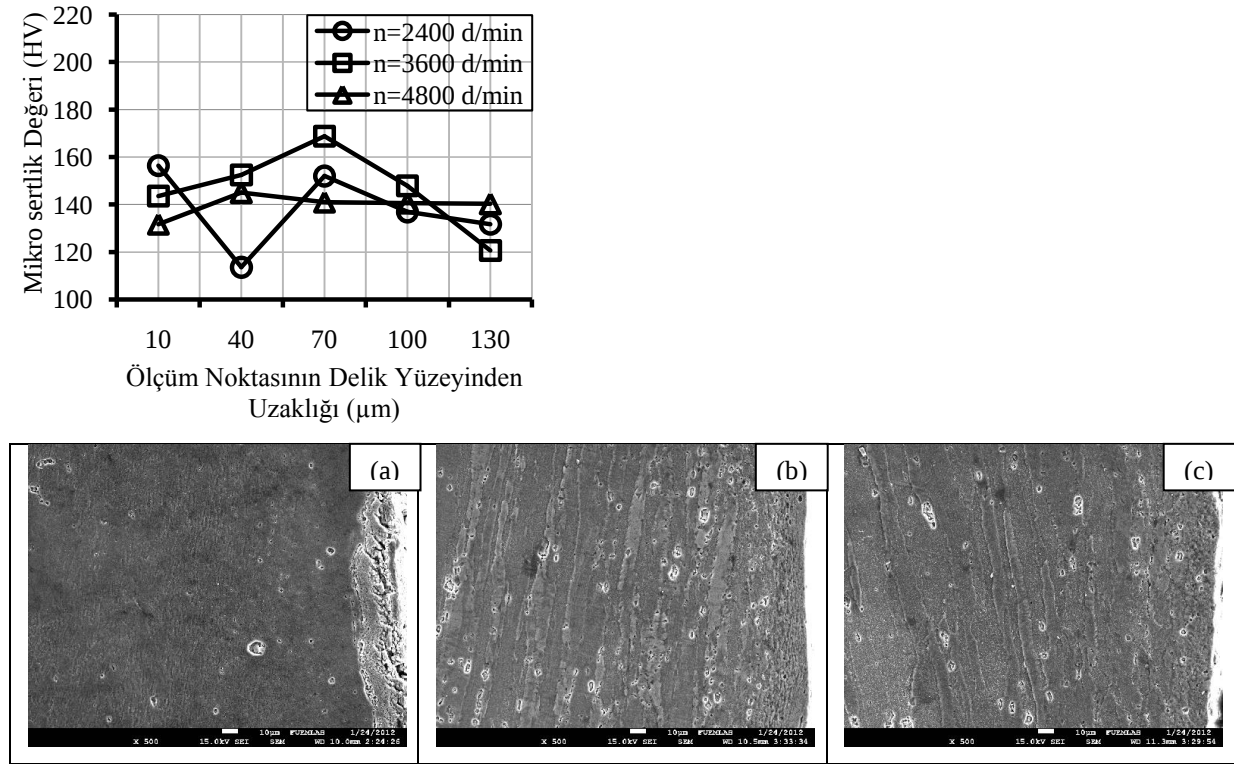
maksimum mikro sertlik elde edilmiştir. Malzemenin kendi sertlik değerine, 2400d/min ve 4800d/min’de 100µm uzaklıkta, 3600d/min’de ise 130µm uzaklıkta ulaşılmıştır. Malzeme kalınlığının 4mm’den 6mm’ye çıkması ile ergimesi gereken malzeme miktarı arttığından meydana gelen ısı miktarı yetersiz olduğundan maksimum mikro sertlik değeri delik yüzeyinden daha uzakta elde edilmiştir.



Şekil 5.80. $t=6\text{mm}$, $h_1=24\text{mm}$, $\beta=36^\circ$, A7075-T651 malzeme, HSS takım için devir sayısının mikro sertliğe etkisi a)2400 d/min, b)3600 d/min, c) 4800 d/min

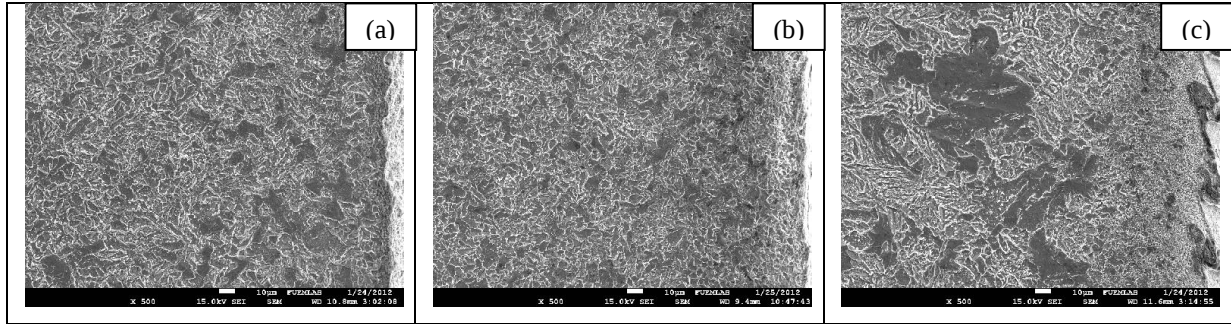
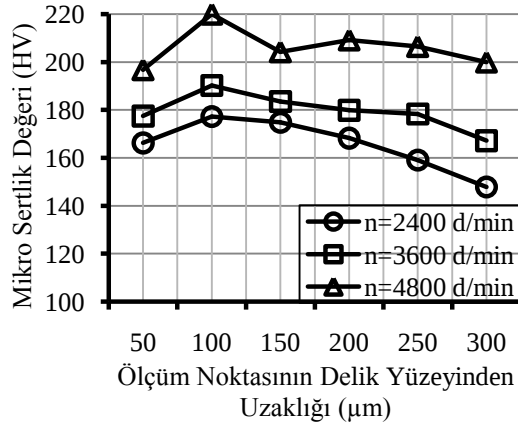
$t=4\text{mm}$, $h_1=24\text{mm}$, $\beta=48^\circ$ ’de uygulanan SDY’de mikro sertlik değerleri, A7075-T651’de delik yüzeyinden itibaren 10, 40, 70, 100 ve 130µm uzaklıkta olmak üzere 5 değişik noktada ölçülmüş ve mikro yapının SEM’de çekilmiş resimleri ile birlikte Şekil 5.81’de gösterilmiştir. Minimum mikro sertlik değeri 120,7µm, maksimum mikro sertlik değeri ise 156,4µm olarak elde edilmiştir. 4mm, 48° , 2400d/min’de delik yüzeyinden 10µm uzaklıkta, 3600d/min’de 70µm uzaklıkta ve 4800d/min’de ise 40µm uzaklıkta maksimum mikro sertlik değeri elde edilmiştir. Malzemenin kendi sertlik değerine, 2400d/min ve 3600d/min’de 130µm uzaklıkta, 4800d/min’de ise 70µm uzaklıkta ulaşılmıştır. Takım koniklik açısının 48° ’ye çıkması ile takım-iş parçası temas alanında meydana gelen ısı miktarı ve mikro sertlik değeri azalmıştır. En büyük mikro sertlik değeri, 3600d/min’de delik yüzeyinden 70µm

uzaklıkta elde edilmiş, koniklik açısının artması ile meydana gelen ısının yetersizliği devir sayısının artması ile giderilmiştir.



Şekil 5.81. $t=4\text{mm}$, $h_1=24\text{mm}$, $\beta=48^\circ$, A7075-T651 malzeme, HSS takım için devir sayısının mikro sertliğe etkisi a)2400 d/min, b)3600 d/min, c) 4800 d/min

$t=4\text{mm}$, $h_1=16\text{mm}$, $\beta=48^\circ$ 'de uygulanan SDY'de mikro sertlik değerleri, St 37'de delik yüzeyinden itibaren 50, 100, 150, 200, 250 ve 300μm uzaklıkta olmak üzere 6 değişik noktada ölçülmüş ve mikro yapının SEM'de çekilmiş resimleri ile birlikte Şekil 5.82'de gösterilmiştir. Minimum mikro sertlik değeri 147μm, maksimum mikro sertlik değeri ise 220μm olarak elde edilmiştir. 4mm, 48° , 2400d/min, 3600d/min ve 4800d/min'de delik yüzeyinden 100μm uzaklıkta maksimum mikro sertlik değeri elde edilmiştir. Malzemenin kendi sertliğine, 2400d/min, 3600d/min ve 4800d/min'de 300μm uzaklıkta ulaşılmıştır. En büyük mikro sertlik değeri 4800d/min'de delik yüzeyinden 100μm uzaklıkta elde edilmiştir. St 37'nin ısı iletkenlik katsayısı A7075-T651'in ısı iletkenlik katsayısından daha düşük olduğundan soğuma sırasında iş parçasının iç kısımlarındaki ısı yavaş iletilmiş tane boyutundaki azalma çok yavaş olmuş ve mikro sertlikte bir değişiklik meydana gelmemiştir.



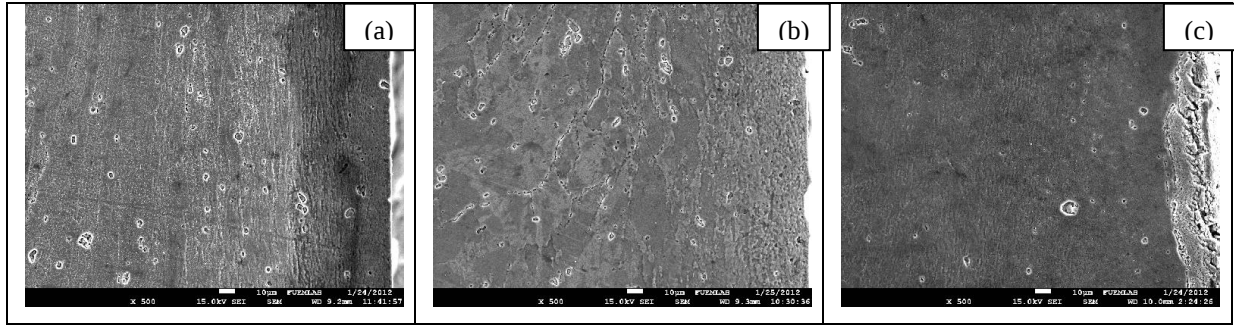
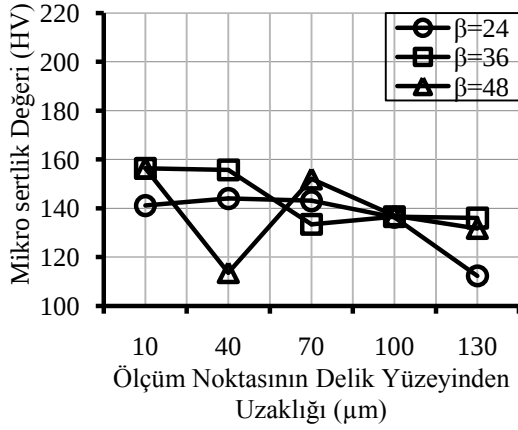
Şekil 5.82. $t=4\text{mm}$, $h_1=16\text{mm}$, $\beta=48^\circ$, St 37 malzeme, WC takım için devir sayısının mikro sertliğe etkisi a)2400 d/min, b)3600 d/min, c) 4800 d/min

5.4.2. Takım Koniklik Açısının Mikro Sertliğe Etkisi

SDY’de mikro sertliği etkileyen en önemli parametreler, işlem sırasında meydana gelen ısı miktarı, termal ve basınç etkisiyle meydana gelen deformasyonların etkisiyle birim alandaki çökelti sayısının ve tanelerin sınır uzunluğunun artması, tane boyutunun küçülmesi ve soğuma hızı olduğu tespit edilmiştir. Takım koniklik açısının artması ile takım-iş parçası temas alanı ve meydana gelen ısı miktarı azalmıştır. Şekil 5.83–5.86’daki grafiklerde takım koniklik açısının mikro sertliğe etkisi gösterilmiştir.

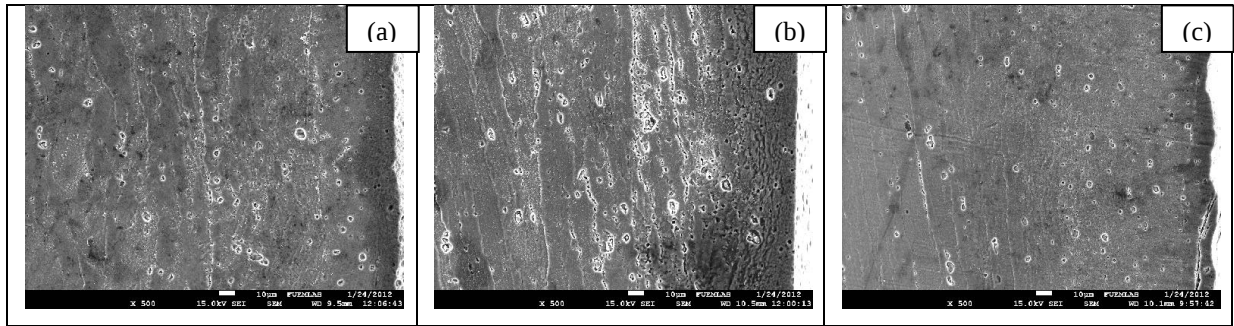
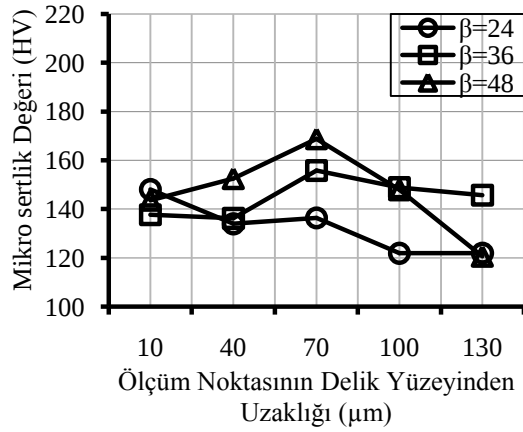
$t=4\text{mm}$, $h_1=24\text{mm}$, $n=2400\text{d/min}$ ’de uygulanan SDY’de mikro sertlik değerleri, A7075-T651’de delik yüzeyinden itibaren 10, 40, 70, 100 ve 130 μm uzaklıkta olmak üzere 5 değişik noktada ölçülmüş ve mikro yapın SEM’de çekilmiş resimleri ile birlikte Şekil 5.83’te gösterilmiştir. Minimum mikro sertlik değeri 112,3 μm , maksimum mikro sertlik değeri ise 156,4 μm olarak ölçülmüştür. 4mm, 2400d/min, 24° ve 36° ’de delik yüzeyinden 40 μm uzaklıkta, 48° ’de ise delik yüzeyinden 70 μm uzaklıkta maksimum mikro sertlik değeri elde edilmiştir. Malzemenin kendi sertlik değerine, 24° ve 48° ’de 130 μm uzaklıkta, 36° ’de ise 100 μm uzaklıkta ulaşılmıştır. Maksimum mikro sertlik değeri 36° ’de 40 μm uzaklıkta elde

edilmiştir. En büyük mikro sertlik değerine göre 2400d/min için en uygun takım koniklik açısı 36^0 olduğu tespit edilmiştir.



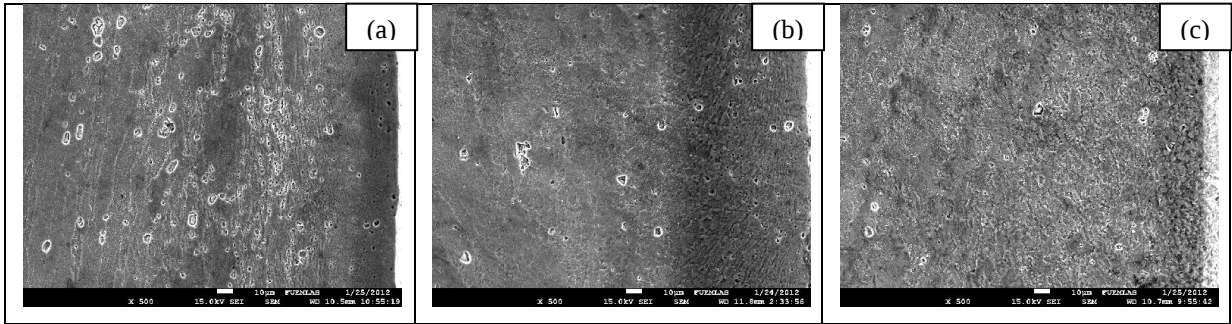
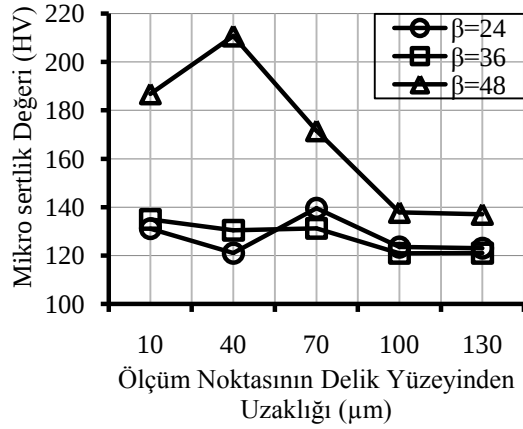
Şekil 5.83. $t=4\text{mm}$, $h_1=24\text{mm}$, $n=2400\text{d/min}$, A7075-T651 malzeme, HSS takım için takım koniklik açısının mikro sertliğe etkisi a) 24^0 , b) 36^0 , c) 48^0

$t=4\text{mm}$, $h_1=24\text{mm}$, $n=3600\text{d/min}$ 'de uygulanan SDY'de mikro sertlik değerleri, A7075-T651'de delik yüzeyinden itibaren 10, 40, 70, 100 ve $130\mu\text{m}$ uzaklıkta olmak üzere 5 değişik noktada ölçülmüş ve mikro yapının SEM'de çekilmiş resimleri ile birlikte Şekil 5.84'te gösterilmiştir. Minimum mikro sertlik değeri $120,7\mu\text{m}$, maksimum mikro sertlik değeri ise $168,8\mu\text{m}$ olarak elde edilmiştir. 4mm , 2400d/min , 36^0 ve 48^0 'de delik yüzeyinden $70\mu\text{m}$ uzaklıkta, 24^0 'de ise delik yüzeyinden $10\mu\text{m}$ uzaklıkta maksimum mikro sertlik değeri elde edilmiştir. Malzemenin kendi sertlik değerine, 24^0 , 36^0 ve 48^0 'de $130\mu\text{m}$ uzaklıkta ulaşılmıştır. En büyük mikro sertlik değeri 48^0 'de $70\mu\text{m}$ uzaklıkta elde edilmiştir. 3600d/min devir sayısı için en büyük mikro sertlik değerine göre en uygun takım koniklik açısı 48^0 , 2400d/min devir sayısı için 36^0 olduğu tespit edilmiştir. Artan devir sayısı ile orantılı olarak takım koniklik açısı da artmıştır. Koniklik açısının artması ile meydana gelen ısı miktarının eksikliği devir sayısının artması ile giderilmiştir.



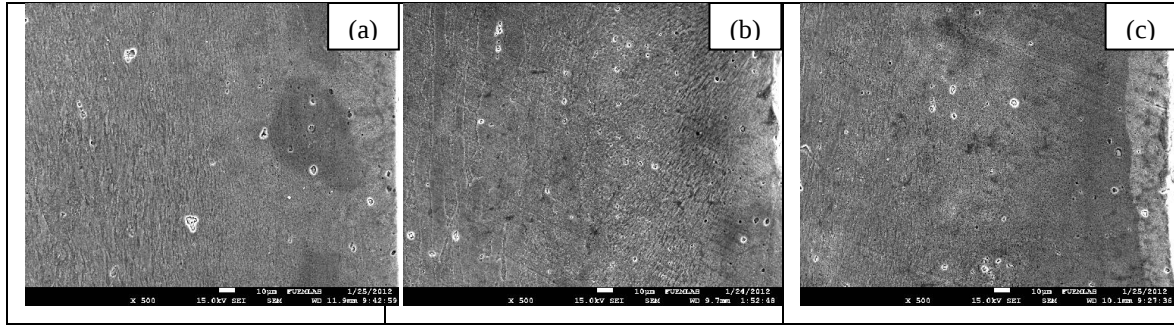
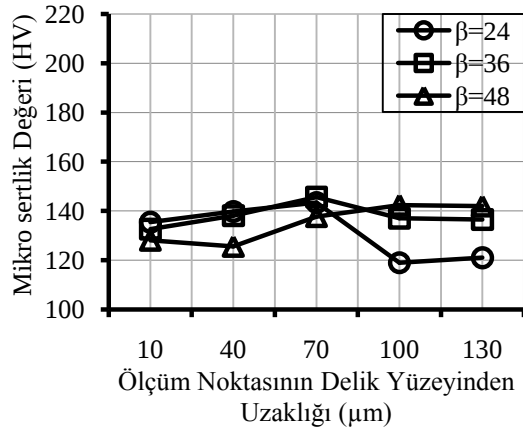
Şekil 5.84. $t=4\text{mm}$, $h_1=24\text{mm}$, $n=3600\text{d/min}$, A7075-T651 malzeme, HSS takım için takım koniklik açısının mikro sertliğe etkisi a) 24° , b) 36° , c) 48°

$t=6\text{mm}$, $h_1=24\text{mm}$, $n=3600\text{d/min}$ 'de uygulanan SDY'de mikro sertlik değerleri, A7075-T651'de delik yüzeyinden itibaren 10, 40, 70, 100 ve $130\mu\text{m}$ uzaklıkta olmak üzere 5 değişik noktada ölçülmüş ve mikro yapının SEM'de çekilmiş resimleri ile birlikte Şekil 5.85'te gösterilmiştir. Minimum mikro sertlik değeri $121\mu\text{m}$, maksimum mikro sertlik değeri ise $210,7\mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. 6mm , 2400d/min , 24° ve 36° 'de mikro sertlik değerinde fazla bir değişiklik olmazken 48° 'de ise delik yüzeyinden $40\mu\text{m}$ uzaklıkta maksimum mikro sertlik değeri elde edilmiştir. Maksimum mikro sertlik değeri, 24° 'de delik yüzeyinden $70\mu\text{m}$ uzaklıkta, 36° 'da $10\mu\text{m}$ uzaklıkta ve 48° 'de $70\mu\text{m}$ uzaklıkta elde edilmiştir. Malzemenin kendi sertlik değerine, 24° , 36° ve 48° 'de $100\mu\text{m}$ uzaklıkta ulaşılmıştır. 2400d/min devir sayısı için büyük mikro sertlik değerine göre en uygun takım koniklik açısı 48° olduğu görülmüştür. Malzeme kalınlığının artması ile takım-iş parçası temas alanı ve meydana gelen ısı miktarı arttığından 2400d/min 'de 48° koniklik açısı en uygun açı olmuş ve bu açıda delik yüzeyinden itibaren $40\mu\text{m}$ uzaklıkta maksimum mikro sertlik değeri elde edilmiştir.



Şekil 5.85. $t=6\text{mm}$, $h_1=24\text{mm}$, $n=2400\text{d/min}$, A7075-T651 malzeme, HSS takım için takım koniklik açısının mikro sertliğe etkisi a) 24° , b) 36° , c) 48°

$t=6\text{mm}$, $h_1=24\text{mm}$, $n=4800\text{d/min}$ 'de uygulanan SDY'de mikro sertlik değerleri, A7075-T651'da delik yüzeyinden itibaren 10, 40, 70, 100 ve $130\mu\text{m}$ uzaklıkta olmak üzere 5 değişik noktada ölçülmüş ve mikro yapının SEM'de çekilmiş resimleri ile birlikte Şekil 5.86'da gösterilmiştir. Minimum mikro sertlik değeri $121\mu\text{m}$, maksimum mikro sertlik değeri ise $145,6\mu\text{m}$ olarak elde edilmiştir. 6mm , 4800d/min , 24° ve 36° 'de delik yüzeyinden $70\mu\text{m}$ uzaklıkta, 48° 'de ise $100\mu\text{m}$ uzaklıkta koniklik açısında delik yüzeyinden $100\mu\text{m}$ uzaklıkta maksimum mikro sertlik değeri elde edilmiştir. Malzemenin kendi sertlik değerine, 24° , 36° ve 48° 'de $100\mu\text{m}$ uzaklıkta ulaşılmıştır. 4800d/min için 36° koniklik açısında delik yüzeyinden $70\mu\text{m}$ uzaklıkta, en büyük mikro sertlik değeri elde edilmiştir. Mikro sertliğe göre 4800d/min 'de en uygun koniklik açısı 36° olduğu tespit edilmiştir.



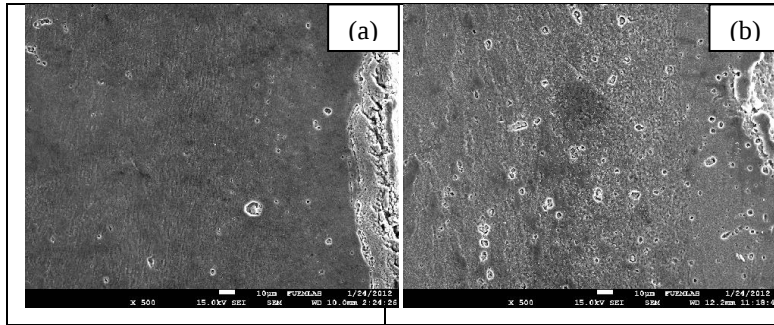
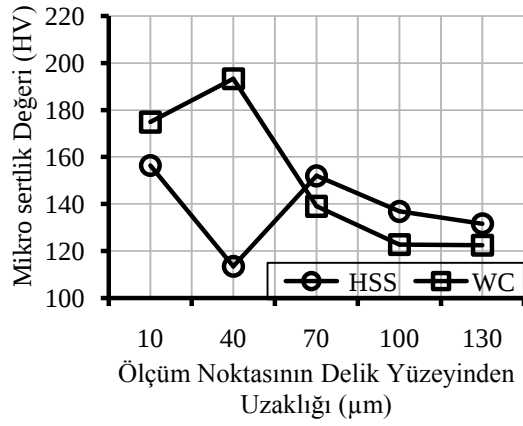
Şekil 5.86. $t=6\text{mm}$, $h_1=24\text{mm}$, $n=4800\text{d/min}$, A7075-T651 malzeme, HSS takım için takım koniklik açısının mikro sertliğe etkisi a) 24° , b) 36° , c) 48°

5.4.3. Takım Malzemesinin Mikro Sertliğe Etkisi

SDY’de takım malzemesinin mikro sertliğe etkisi, takım malzemesinin ısı iletkenlik katsayısı ile değişmiştir. HSS takımın ısı iletkenlik katsayısı 21W/m-K , WC takımın ısı iletkenlik katsayısı ise 84W/m-K dır. WC takımın ısı iletkenlik katsayısı daha yüksek olduğundan işlem sırasında takım malzemesi tarafından takım-iş parçası temas alanından iletilen ısı miktarı daha fazla olmuş, meydana gelen ısı miktarı azalmıştır. Şekil 5.87–5.89’daki grafiklerde takım malzemesinin mikro sertliğe etkisi gösterilmiştir.

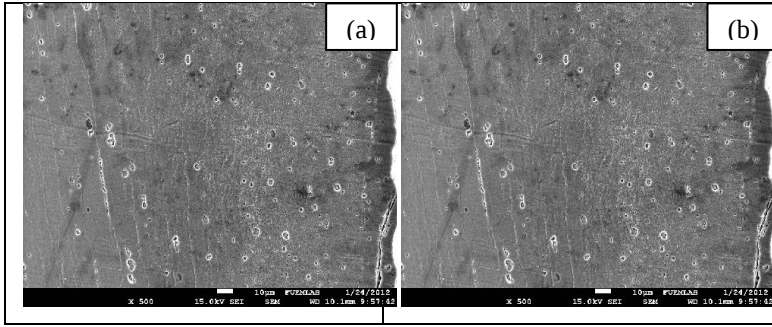
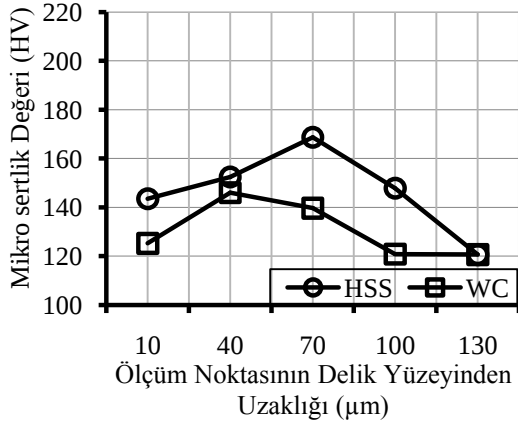
$t=4\text{mm}$, $\beta=48^\circ$, $n=2400\text{d/min}$ ’de uygulanan SDY’de mikro sertlik değerleri, A7075-T651’da delik yüzeyinden itibaren 10, 40, 70, 100 ve 130 μm uzaklıkta olmak üzere 5 değişik noktada ölçülmüş ve mikro yapının SEM’de çekilmiş resimleri ile birlikte Şekil 5.87’de gösterilmiştir. Minimum mikro sertlik değeri $122,5\mu\text{m}$, maksimum mikro sertlik değeri ise $193,3\mu\text{m}$ olarak elde edilmiştir. 4mm , 2400d/min , HSS takımda delik yüzeyinden $10\mu\text{m}$ uzaklıkta, WC takımda ise $40\mu\text{m}$ uzaklıkta maksimum mikro sertlik değeri elde edilmiştir. Malzemenin kendi sertlik değerine, hem HSS hem de WC takımda delik yüzeyinden $130\mu\text{m}$ uzaklıkta ulaşılmıştır. Maksimum mikro sertlik değeri, WC takımda $40\mu\text{m}$ uzaklıkta elde

edilmiştir. Takım malzemesinin mikro sertliğe etkisi, ısıl iletkenlik kat sayısına bağlı olduğu tespit edilmiştir.



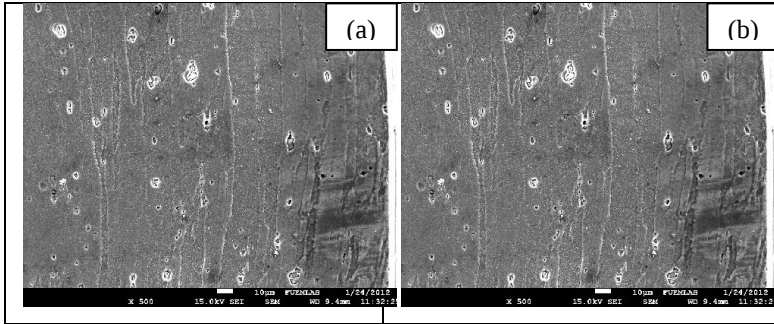
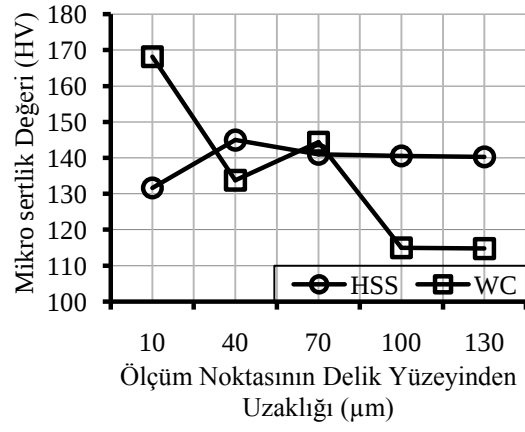
Şekil 5.87 $t=4\text{mm}$, $n=2400\text{d/min}$, $\beta=48^\circ$, A7075-T651 malzeme için takım malzemesinin mikro sertliğe etkisi a)HSS, b)WC

$t=4\text{mm}$, $\beta=48^\circ$, $n=3600\text{d/min}$ 'de uygulanan SDY'de mikro sertlik değerleri, A7075-T65'da delik yüzeyinden itibaren 10, 40, 70, 100 ve 130 μm uzaklıkta olmak üzere 5 değişik noktada ölçülmüş ve mikro yapının SEM'de çekilmiş resimleri ile birlikte Şekil 5.88'de gösterilmiştir. Minimum mikro sertlik değeri $120,7\mu\text{m}$, maksimum mikro sertlik değeri ise $168,8\mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. 4mm , 3600d/min , HSS takımında delik yüzeyinden $70\mu\text{m}$ uzaklıkta, WC takımında ise $40\mu\text{m}$ uzaklıkta maksimum mikro sertlik değeri elde edilmiştir. Malzemenin kendi sertlik değerine, HSS takımında delik yüzeyinden $130\mu\text{m}$ uzaklıkta WC takımında ise $100\mu\text{m}$ uzaklıkta ulaşılmıştır. En büyük mikro sertlik değeri, HSS takımında $70\mu\text{m}$ uzaklıkta elde edilmiştir. Artan koniklik açısı ile meydana gelen ısı miktarının eksikliği devir sayısının artması ile giderilmiştir.



Şekil 5.88. $t=4\text{mm}$, $n=3600\text{d/min}$, $\beta=48^\circ$, A7075-T651 malzeme için takım malzemesinin mikro sertliğe etkisi a)HSS, b)WC

$t=4\text{mm}$, $\beta=48^\circ$, $n=2400\text{d/min}$ 'de uygulanan SDY'de mikro sertlik değerleri, A7075-T651'da delik yüzeyinden itibaren 10, 40, 70, 100 ve 130μm uzaklıkta olmak üzere 5 değişik noktada ölçülmüş ve mikro yapının SEM'de çekilmiş resimleri ile birlikte Şekil 5.89'da gösterilmiştir. Minimum mikro sertlik değeri 114,8μm, maksimum mikro sertlik değeri ise 168,2μm olarak elde edilmiştir. 4mm, 4800d/min, HSS takımında delik yüzeyinden 40μm uzaklıkta, WC takımında ise 10 μm uzaklıkta maksimum mikro sertlik değeri elde edilmiştir. Malzemenin kendi sertlik değerine, HSS takımında delik yüzeyinden itibaren 70μm uzaklıkta WC takımında ise 100μm uzaklıkta ulaşılmıştır. En büyük mikro sertlik değeri, WC takımında 10μm uzaklıkta elde edilmiştir. WC takımının ısı iletkenlik katsayısı yüksek olduğundan takımın neden olduğu ısı kaybı 4800d/min'de giderilmiş ve maksimum mikro sertlik değeri elde edilmiştir.



Şekil 5.89. $t=4\text{mm}$, $n=4800\text{d/min}$, $\beta=48^\circ$, A7075-T651 malzeme için takım malzemesinin mikro sertliğe etkisi a)HSS, b)WC

6. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, 2mm, 4mm ve 6mm kalınlıklarındaki A7075-T651 ve St37 malzemelerin SDY işlemine etkisi olan parametreler deneysel olarak araştırılmıştır. Yüzey pürüzlülüğüne, kovan yüksekliğine, kovan dış çapına, kovan ve pul biçimine, malzemenin mikro yapısına ve mikro sertliğine etki eden parametreler, devir sayısı, ilerleme hızı, koniklik açısı, takımın h_1 uzunluğu, malzeme kalınlığı, malzeme cinsi ve ısı iletkenlik katsayısı, takım malzemesi ve ısı iletkenlik katsayısı ile delik çapı olduğu tespit edilmiştir.

6.1. Genel Sonuçlar

St 37 ve A7075-T651'e HSS ve WC takımlar ile uygulanan SDY'de, ilerleme hızı, devir sayısı, takım koniklik açısı, takım h_1 uzunluğu, malzeme kalınlığı, delik çapı, malzeme ve takım türlerinin sonuçlar üzerindeki etkisi aşağıda belirtilmiştir.

1. A7075-T651 ve HSS takımında artan ilerleme hızı ile meydana gelen ısı miktarı azalmış, malzeme yeterince ergimemiş, deformasyonun etkisi artmış, ergimiş malzeme delik yüzeyine sıvanmış ve yüzey kalitesi bozulmuştur. En kaliteli yüzeyler 50mm/min'de $0.6\mu\text{m}$ olarak elde edilmiştir.
2. A7075-T651 ve HSS takımında artan devir sayısı ile meydana gelen ısı miktarı artmış, malzeme yeterince ergimiş, deformasyonun etkisi azalmış, ergimiş malzeme delik yüzeyine sıvanmadan takımın ilerleme doğrultusunda akmış ve yüzey kalitesi artmıştır. En kaliteli yüzeyler 4800d/min'de elde edilmiştir.
3. A7075-T651 ve HSS takımında takım koniklik açısının artması ile takım-iş parçası temas alanı, meydana gelen ısı miktarı ve yüzey kalitesi azalmıştır. $t=2\text{mm}$ 'de, 50mm/min'de, 2400d/min ve 3600d/min'de 8mm delik çapı için en uygun koniklik açısı 48° , 10mm çap için 36° ve 12mm çap için 24° , 4800d/min'de ise 8mm delik çapı için en uygun koniklik açısı 24° , 10mm çap için 36° ve 12mm çap için 48° olduğu tespit edilmiştir. $t=2\text{mm}$ 'de deformasyonun etkisi fazla olduğundan yüzey kalitesi bozulmuş, en kaliteli yüzeyler, $1.2\mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. $t=4\text{mm}$ ve $t=6\text{mm}$ 'de en kaliteli yüzeyler 50mm/min ve 4800d/min için 36° koniklik açısında $0.6\mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür.
4. A7075-T651 ve HSS takımında malzeme kalınlığının artması ile takım-iş parçası temas alanı ve ısı miktarı artmıştır. En kaliteli yüzeyler, $t=4\text{mm}$ 'de 4800d/min'de 8mm

çapındaki delik yüzeyinde $0.6\mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. $\frac{t}{d}$ oranına göre $t=4\text{mm}$

kalınlığındaki malzemelere 8mm ve 10mm çaplarındaki deliklerin delinmesinin uygun olduğu görülmüştür.

5. A7075-T651 ve HSS takımında takımın h_1 uzunluğu, yüzey pürüzlülüğünden daha çok kovan yüksekliğini etkileyen bir parametre olmuş ve artan h_1 uzunluğu ile yüksek devir sayılarında yüzey kalitesi iyileşmiş, en kaliteli yüzeyler $h_1=16\text{mm}$ 'de $0.6\mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür.
6. A7075-T651 ve HSS takımında delik çapının artması ile boşalan malzeme miktarı arttığından malzemenin yeterince ergimesi için daha fazla ısıya gereksinim duyulmuş ve yüzey kalitesi azalmıştır. En kaliteli yüzeyler, 4800d/min 'de 8mm çapındaki delik yüzeyinde $0.6\mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür.
7. WC takımında 2400d/min için 50mm/min 'de, 3600d/min için 75mm/min 'de, 4800d/min için 100mm/min ilerleme hızı ve devir sayıları çiftleri uygun olduğu görülmüş ve en kaliteli yüzeyler $0.6\mu\text{m}$ olarak elde edilmiştir.
8. WC takımında devir sayısının artması ve koniklik açısının azalması ile takım-iş parçası temas alanındaki ısı miktarı artmıştır. $t=2\text{mm}$ 'de en uygun koniklik açısı 24° , $t=4\text{mm}$ 'de 2400d/min , 50mm/min için 24° , 3600d/min , 75mm/min için 36° , 4800d/min , 100mm/min için 48° , $t=6\text{mm}$ 'de 2400d/min ve 50mm/min , 3600d/min ve 75mm/min , 4800d/min ve 100mm/min için ise 36° olduğu tespit edilmiştir.
9. WC takımında malzeme kalınlığının artması ile takım iş parçası temas alanı ve meydana gelen ısı miktarı artmış, yüzey kalitesi iyileşmiş ve en kaliteli yüzeyler $t=6\text{mm}$ 'de 2400d/min ve 50mm/min 'de $1.4\mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür.
10. WC takımında malzeme cinsinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi, malzemenin ısı iletkenlik katsayısına bağlı olarak değişmiştir. A7075-T651'in ısı iletkenlik katsayısı $St\ 37$ 'den daha fazla olduğundan ısı kaybı fazla ve meydana gelen ısı miktarı yetersiz olmuş, yüzey kalitesi bozulmuştur. $St\ 37$ 'de en kaliteli yüzeyler 24° için $t=2\text{mm}$, 2400d/min ve 50mm/min 'de $0.4\mu\text{m}$, 36° için $t=4\text{mm}$, 3600d/min ve 75mm/min 'de $0.4\mu\text{m}$, 48° için $t=6\text{mm}$, 4800d/min ve 100mm/min 'de $0.6\mu\text{m}$ olarak ölçülürken A7075-T651'de ise 48° , 2400d/min ve 50mm/min 'de $1.4\mu\text{m}$, 3600d/min ve 75mm/min ile 4800d/min ve 100mm/min 'de $2\mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Malzeme kalınlığının artması ile yüzey kalitesi artmış, delik çapının artması ile azalmıştır.

11. A7075-T651’de takım malzemesinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi, takım malzemesinin ısı iletkenlik katsayısına bağı olarak değışmiştir. HSS takımında en kaliteli yüzeyler tüm devir sayılarında 50mm/min’de 0.6µm, WC’de ise 2400d/min ve 50mm/min’de 1.4µm olarak ölçülmüştür.
12. SDY’de boşalan malzeme ısı etkisiyle ergiyerek boşaldığından GDY’ ye göre daha kaliteli yüzeyler elde edilmiş, SDY’de en kaliteli yüzeyler 0.6µm, GDY’de ise 1.6µm olarak ölçülmüştür. t=2mm’de GDY’de SDY’ye göre daha kaliteli yüzeyler elde edilmiştir.
13. SDY’de kovan yüksekliğı ve kovanın dış çapı devir sayısı, ilerleme hızı, takım koniklik açısı, takım silindirik bölge uzunluğu, malzeme kalınlığı, işlenen delik çapı, takım ve malzemenin ısı iletkenlik katsayıları tarafından etkilenmiştir.
14. İlerleme hızının artması ile işlemdede deformasyonun etkisi artmış, kovan ve pul biçimlerinde yırtılmalar meydana gelmiş, kovan yüksekliğı artmış ve kovanın dış çapı ise azalmış, devir sayısının artması ile dönme momenti artmış, kovan ve pul biçimlerinde çatlak ve yırtılmalar meydana gelmiştir. Dönme momentinin etkisi ile kovan oluşumunu sağlayan malzeme deliğın çevresine yayıldığından kovan yüksekliğı azalırken kovanın dış çapı artmıştır. Maksimum kovan yüksekliğı 36°, 2400d/min ve 50mm/min’de ve maksimum kovan dış çapı ise 24°, 48°, 4800d/min ve 100mm/min’de elde edilmiş, kovan yüksekliğının artması ile kovanın dış çapı azalmıştır. Koniklik açısının artması ile kovanın biçiminde meydana gelen çatlak ve yırtılma miktarı artarken pul biçiminde fazla bir değışiklik meydana gelmemiştir.
15. Malzeme kalınlığının artması ile takım silindirik bölge uzunluğu h_1 artmış, 4mm kalınlığına kadar A7075-T651’in ve St37’in SDY’de, $h_1=8\text{mm}$ takım silindirik bölge uzunluğu yeterli iken 6mm malzeme kalınlığı için ise $h_1=16\text{mm}$ bölge uzunluğunun yeterli olduğı görülmüştür. t=6mm için SDY’de $h_1=8\text{mm}$ takım silindirik bölge uzunluğu yetersiz olmuş, kovanın biçimi tamamlanmamış ve kovan konik biçimde meydana gelmiştir. h_1 uzunluğunun artması ile kovan ve pul biçimi değışmemiştir.
16. Delik çapının artması ile kovanın biçimi, yüksekliğı ve dış çapı, $\frac{t}{d}$ oranına bağı olarak değışmiş, bu oran yetersiz olduğı durumda kovan, bağılantı uzunluğunu arttırmayan, çatlak ve yırtıkların yoğun olduğı, taç yaprağı biçiminde meydana gelmiştir. 2mm kalınlığındaki malzemeye 8mm’den büyük çaplardaki deliklerin

delinmesinde $\frac{t}{d}$ oranı yetersiz olduğundan kovan taç yaprağı biçiminde meydana gelmiştir. Delik çapının artması ile kovan oluşumunu sağlayan malzeme miktarı arttığından kovan yüksekliği artmıştır.

17. WC takım ile A7075-T651'e uygulanan SDY'de, 24⁰, 3600d/min ve 50mm/min'de, St37'de ise 75mm/min'de, A7075-T651'de, 36⁰'de, 2400d/min ve 100mm/min'de, St37'de ise 3600d/min ve 75mm/min'de, hem A7075-T651 hem de St37'de 48⁰'de 2400d/min ve 75mm/min'de, maksimum kovan yüksekliği elde edilmiştir.
18. WC takımında 24⁰'de, A7075-T651'de 4800d/min ve 50mm/min'de, St 37'de ise 2400d/min ve 75mm/min'de, 36⁰'de, A7075-T651'de 3600d/min ve 50mm/min'de, St37'de ise 2400d/min ve 100mm/min'de, 48⁰'de A7075-T651'de 3600d/min ve 50mm/min'de, St37'de ise 4800d/min ve 100mm/min'de ve 2400d/min ve 75mm/min'de maksimum kovan dış çapı elde edilmiştir. A7075-T651'in ve St37'nin WC takım ile SDY'de elde edilen kovanların yükseklik ve dış çapları arasındaki farklılık, malzemelerin ısı iletkenlik katsayılarının farklı olmasından kaynaklanmıştır.
19. A7075-T651'e göre daha sünek olan St 37'de ergimiş malzeme takımın ilerleme doğrultusunda (düşey doğrultuda) hareket ettiğinden daha büyük kovan yüksekliği değerleri elde edilirken daha gevrek olan A7075-T651'de ise ergimiş malzeme dönme momentinin etkisiyle dairesel doğrultuda yayıldığından daha büyük kovan dış çapı değerleri elde edilmiştir.
20. HSS ve WC takımlar ile A7075-T651'in SDY'de t=2mm ve 8mm çap için maksimum ve minimum kovan yüksekliği değerleri h₁=5.2-5.6mm, 10mm çap için h₁=6.18-6.75mm, 12mm çap için h₁=7.48-7.83mm, t=4mm ve 8mm çap için h₁=5.83-6.64mm, 10mm çap için h₁=7-7.73mm, 12mm çap için h₁=7.47-9.15mm, t=6mm ve 8mm çap için h₁=5.31-6.74mm, 10mm çap için h₁=7.08-8.50mm, 12mm çap için h₁=8.14-9.16mm olarak ölçülmüştür.
21. HSS ve WC takımlarla A7075-T651'in SDY'de t=2mm ve 8mm çap için kovan dış çapı değerleri yaklaşık 10,5mm, 10mm çap için 13mm, 12mm çap için 15mm, t=4mm ve 8mm çap için 11.5mm, 10mm çap için 14.5mm, 12mm çap için 17mm, t=6mm ve 8mm çap için 12.5mm, 10mm çap için 16mm, 12mm çap için 18.5mm olarak ölçülmüştür.
22. SDY'de 10mm çapındaki deliklere açılan M12 vida dişlerinin sıyrma kuvvetleri, kovan oluşumu bağlantıdaki vida diş sayısını artırdığından GDY'den daha büyük

olduğu tespit edilmiştir. SDY’de mikro sertliği etkileyen parametreler, sıcaklık ve basınç etkisiyle meydana gelmiş deformasyonlar etkisiyle birim alandaki çökelti sayısının ve tanelerin sınır uzunluğunun artması ve tane boyutunun küçülmesi olduğu tespit edilmiştir.

23. İlerleme hızının artması ile kovanın yüksekliği artmış, fakat kovanın çeper kalınlığı ve vida dişlerinin dayanımı azalmıştır. 50mm/min’de maksimum vida sıyrma kuvveti elde edilmiştir. Devir sayısının artması ile takım-iş parçası temas alanındaki ısı miktarı artmış ve ısıl işlem etkisiyle mikro yapıdaki tanelerin boyutu, sertlik ve vida dişlerinin sıyrma kuvveti değişmiştir. 2400d/min için 50mm/min’de, 3600d/min için 75mm/min’de, 4800d/min için 100mm/min’de maksimum sıyrma kuvvetleri elde edilmiştir. St37’nin kayma gerilmesi A7075-T651’nin kayma gerilmesinden daha yüksek olduğundan St37’de daha büyük vida sıyrma kuvvetleri elde edilmiş ve $t=4\text{mm}$ ’de 10mm çap için A7075-T651’de maksimum sıyrma kuvveti 42kN, St 37’de ise 48kN olarak ölçülmüştür.
24. A7075-T651’in SDY’de mikro sertlik değerleri, delik yüzeyinden itibaren termal ve basınç etkisiyle birim alandaki çökelti sayısı, tane boyutunun küçülmesi ile tanelerin sınır uzunluğunun artması, meydana gelen ısıl işlem tarafından etkilenmiştir. 2400d/min’de, maksimum mikro sertlik değeri delik yüzeyinden 40 μm uzaklıkta, 3600d/min ve 4800d/min’de, maksimum mikro sertlik değerleri ise delik yüzeyinden 70 μm uzaklıkta elde edilmiştir. A7075-T651’de, 2400d/min, 75mm/dak, 48⁰ ve 24mm silindirik bölge uzunluğunda 6mm kalınlığındaki delik yüzeyinden 40 μm uzaklıkta maksimum mikro sertlik değeri (210,7HV) elde edilirken, St37’nin mikro sertlik değerinde ise fazla bir değişiklik meydana gelmemiştir. St37’de, delik yüzeyinden 100 μm -130 μm uzaklıkta sertlik değeri iş parçasının sertlik değerine ulaşırken St37’de ise 300 μm uzaklıkta ulaşmıştır.

A7075-T651 alaşımına SDY ile deliklerin delinmesinde, yüzey pürüzlülüğü ve kovan çeper kalınlığı (kovan dış çapı) kriterlerine göre, düşük ilerleme hızları (50mm/min), yüksek devir sayıları (4800d/min), 36⁰ takım koniklik açısının seçilmesinin, kovan yüksekliği ve kovanın biçimi kriterine göre ise yüksek ilerleme hızları (100mm/min) ve düşük devir sayılarının (2400d/min) seçilmesinin daha uygun olduğu tespit edilmiştir.

St37 alaşımı A7075-T651 alaşımına göre daha sünek olduğundan SDY ile deliklerin delinmesinde küçük malzeme kalınlıklarına büyük çaplı deliklerin delinmesinde bile silindirik kovan biçimleri elde edilmiş fakat elde edilen kovan çeper kalınlığı yetersiz

olduğundan vida dişi çekilmesi durumunda bağlantı mukavemetini artırmamıştır. Yüzey pürüzlülüğü ve kovan çeper kalınlığı (kovan dış çapı) kriterlerine göre yüksek devir sayıları için yüksek ilerleme hızları (4800d/min için 100mm/min), düşük devir sayıları için ise düşük ilerleme hızları (2400d/min için 50mm/min, 3600d/min için 75mm/min) daha uygun olduğu tespit edilmiştir.

2mm kalınlığındaki malzemelere 8mm'den daha küçük çaplardaki deliklerin SDY ile delinmesi daha uygun olduğu, 36⁰ koniklik açısının en uygun koniklik açısı, 2mm ve 4mm malzeme kalınlıkları için $h_1=8\text{mm}$, 6mm malzeme kalınlığı için ise $h_1=16\text{mm}$ uzunluğunun yeterli olduğu, artan malzeme kalınlığı ile $\frac{t}{d}$ oranından dolayı kovan biçimi iyileşmiştir.

6.2. Öneriler

Yapılan bu tez çalışmasının devamı olabilecek nitelikteki çalışmalar şu şekilde sıralanabilir;

1. Değişik ısıl iletkenlik katsayılarına sahip malzemelerin SDY'de, ısıl iletkenlik katsayısına bağlı olarak, en uygun devir sayısı ve ilerleme hızları araştırılabilir.
2. SDY ile ilgili yapılmış çalışmalarda en uygun koniklik açısı 30⁰–40⁰ arasında olmuştur. Bu aralıkta en uygun koniklik açısı, değişik malzemeler ve işlem parametreleri için araştırılabilir.
3. Kovan yüksekliğinin, malzeme kalınlığı, delik çapı ve malzemenin ısıl iletkenlik katsayılarına bağlı olarak nasıl değiştiği araştırılabilir.
4. Değişik ısıl iletkenlik katsayısına sahip malzemelerde, ısıl iletkenlik katsayısına bağlı olarak, en uygun $\frac{t}{d}$ oranı araştırılabilir.
5. SDY'nin daha büyük kalınlıklardaki malzemelere uygulanabilirliği araştırılabilir.
6. A7075-T651 alaşımı ön ısıtılarak SDY'de yüzey pürüzlülüğü, kovan yüksekliği, pul biçimi, kovan dış çapı araştırılabilir.
7. A7075-T651 ve St37 alaşımları 1-2mm çaplarında ön delik delinmesinin SDY'de etkisi araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Brinksmeier, E.**, 1990, Prediction of Tool Fracture in Drilling, *Ann CIRP* 39, 97-100.
- [2] **Cantero, J. L., Tard'io, M. M., Canteli, J. A., Marcos, M., and Migu' elez, M. H.**, , 2005, Dry Drilling of Ti – 6Al – 4V Alloy, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, **45**, 1246–1255.
- [3] **Chow, H. M., Lee, S. M., and Yang, L. D.**, 2008, Machining Characteristics Study of Friction Drilling on AISI 304 Stainless Steel, *Journal of Materials Processing Technology*, **207**, 180–186.
- [4] **Lee, S. M., Chow, H. M., Huang, F. Y., Yan, B. H.**, 2009, Friction Drilling of Austenitic Stainless Steel by Uncoated and PVD AlCrN – TiAlN Coated Tungsten Carbide Tools, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, **49**, 81 – 88.
- [5] **Van Geffen, J. A.**, 1976, Piercing Tools, US Patent **3.939.683**.
- [6] **Van Geffen, J. A.**, 1979, Methods and Apparatuses for Forming by Frictional Heat And Pressure Holes Surrounded Each by a Boss in a Metal Plate Or the Wall of a Metal Tube, US Patent **4. 175. 413**.
- [7] **Van Geffen, J. A.**, 1980, Rotatable Piercing Tools for Forming Bossed Holes, US Patent **4.185.486**.
- [8] **Miller, S. F., Tao, j., Shih, A. J.**, 2006, Friction Drilling of Cast Metals, *International Journal of machine Tool and Manufacture*, **46** 1526 – 1535.
- [9] **Gopal Krichna, P. V., Kishore, K., and Satyanarayana, V. V.**, 2010, Some Investigations in Friction Drilling AA6351 Using High Speed Steel Tools, *ARPJ Journal Engineering and Applied Sciences*, **5**, 1819–6608.
- [10] **Miller, S. F., Blau, P. J., Shih, A. J.**, 2007, Tool Wear in Friction Drilling,, *International of Machine Tool and manufacture*, **47**, 1636–1645.
- [11] **Dekkers, G.**, 1993, Flow Drill Prosesi Firma Katalogları, *Copyright by Flow Drill B. V. Holland*, 1 – 30.
- [12] **Doğru, N.**, 2010, AISI 1010 Çelik Malzemenin Sürtünmeli Delme Yöntemiyle Delinmesinde İşleme Karakteristiklerinin Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [13] **Miller, S. F., Blau, P., Shih, A. J.**, 2005, Microstructural Alterations Associated with Friction Drilling of Steel, Aluminum and Titanium, *Journal of Materials Engineering and Performance*, **14**, 647–653.
- [14] **Lee, S. M. Chow, H. M., and Yan, B. H.**, 2007, Friction drilling of IN – 713LC cast superalloy, *Materials and manufacturing Process* , **22**, 893-897.

- [15] **Miller, S. F. Wang, H., and Shih, A. J.,** 2006, Experimental and Numerical Analysis of the Friction Drilling Process, *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, **128**, 802–810.
- [16] **Miller, S. F., and Shih, A. J.,** 2007, Thermo – Mechanical Finite Element Modelling of the Friction Drilling process, *Department of Mechanical Engineering, University of Michigan, Ann Arbor MI 48109*, 129, 531–538.
- [17] **Dekkers, G.,** 1993, Flowdrill Prosesi Firma Katalogları, *Copyright by Flowdrill B. V. Holland*, 1–30.
- [18] **Yurdakul, M., Özbay, O., Tansel İç, Y.,** 2002, Havacılık Alanında Kullanılanüminyum Alüminyum Alaşımlarının Seçimi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt:17, No:2, 1 – 23
- [19] **ASTM HANDBOOK,** Properties and Selection Nonferrous and Special – Purpose Materials, **Vol:2**, 17 – 38.
- [20] **ASTM HANDBOOK,** Properties and Selection Irons Steels and High Performance, **Vol:1**, 233 – 354.

ÖZGEÇMİŞ

03.02.1975 tarihinde Kahramanmaraş'ın Afşin ilçesinde doğan Zülküf DEMİR ilk, orta ve lise eğitimini Diyarbakır'da tamamladı. 1994 yılında Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Öğretmenliğini kazandı ve 1998 yılında bu bölümden başarıyla mezun oldu. 1999 yılında Milli Eğitim Bakanlığına bağlı Diyarbakır Silvan Mesleki ve Teknik Eğitim Merkezine Makine Teknolojisi öğretmeni olarak göreve başladı. 2003 yılında Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Bölümü Talaşlı Üretim Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı ve 2006 yılında başarıyla tamamladı. 2007 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Bölümü Talaşlı Üretim Ana Bilim Dalı'nda doktora öğrenimine başladı. 2008 yılında Diyarbakır Ergani Şehit Jandarma Pilot Yüzbaşı Lütfü Gün Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi Müdürlüğüne atandı ve halen bu kurumda Makine Teknolojisi öğretmeni olarak görev yapmakta olan Zülküf DEMİR, evli ve iki çocuk babasıdır.

Zülküf DEMİR

ELAZIĞ – 2012