

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TALAŞLI ŞEKİLLENDİRMEDE MALZEME SERTLİĞİNİN YÜZEY
DÜZGÜNSÜZLÜĞÜNE ETKİSİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI**

ÖMER ŞAHİN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ÜRETİM PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. AHMET EKERİM**

İSTANBUL, 2015

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TALAŞLI ŞEKİLLENDİRMEDE MALZEME SERTLİĞİNİN YÜZEY
DÜZGÜNSÜZLÜĞÜNE ETKİSİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI**

Ömer ŞAHİN tarafından hazırlanan tez çalışması 13.05.2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Ahmet EKERİM
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Ahmet EKERİM
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ahmet TOPUZ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Mustafa AY
Marmara Üniversitesi

ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yapıcı eleştirilerini benden hiçbir zaman esirgemeyen, değerli fikirleri ile bana yön veren, kendileri ile birlikte çalışmaktan mutluluk ve onur duyduğum, birlikte çalışırken göstermiş olduğu hoşgörü ve sabırdan dolayı danışmanım sevgili Prof. Dr. Ahmet EKERİM hocama,

Deneyler esnasında kullanılan iş parçalarının temininden dolayı ArtıCNC AR-GE Mühendisi Sayın İzzet ŞAHİN'e ve firma yetkililerine,

İş parçalarının sementasyonu için yardımcı olan Yıldız Isıl İşlem firmasından Sayın Burhan Yıldız'a ve firma çalışanlarına,

İş parçalarının imalatını yaptığımız Piksan CNC firmasından Sayın Hüseyin Hamamcioğlu ve firma çalışanlarına,

İş parçalarının yüzey pürüzlülüklerinin ölçülmesinde yardımcı olan Yıldız Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı'ndan Sayın Yrd. Doç. Dr. Kerem Altuğ Güler'e sonsuz teşekkür ederim.

Mayıs, 2015

Ömer ŞAHİN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT.....	xi
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Kübik Bor Nitrür (CBN) Kesici Takımlar	3
1.3 Sert Maden Uçlar (Karbürler)	7
1.3.1 Kaplanmış Kesiciler	8
1.4 Tezin Amacı	9
1.5 Hipotez	10
BÖLÜM 2	
TALAŞLI ŞEKİLLENDİRME İÇİN KULLANILAN TAKIM TEZGAHLARI	12
2.1 Talaşlı Şekillendirme	12
2.1.1 Sürekli Talaş Tipi	14
2.1.2 Kesintili Talaş Tipi	15
2.1.3 Yığma Kenarlı Sürekli Talaş Tipi	16
2.1.4 Testere Dişi Şekilli Talaş Tipi	17
2.2 Talaş Kaldırmaya Etki Eden Faktörler	18
2.3 Kesici Takımlar	21
2.3.1 Kesici Takım Malzemeleri	21
2.3.1.1 Adi Karbonlu ve Orta Alaşımlı Çelikler	23
2.3.1.2 Yüksek Hız Çelikleri (Seri Çelik, HSS)	24
2.3.1.3 Dökme - Kobalt Alaşımları	25
2.3.1.4 Seramikler	25
2.3.1.5 Silikon Nitrür Tabanlı Kesiciler	26

2.3.1.6	Elmas Kesiciler.....	27
2.4	Takım Aşınması	28
2.5	Takım Ömrü	30
2.6	Yüzey Pürüzlülüğü	30
2.6.1	Yüzey Pürüzlülüğünü Etkileyen Faktörler.....	33
2.7	Takım Tezgahları	34
2.7.1	Torna Tezgahı Çeşitleri.....	35
2.7.1.1	Üniversal Torna Tezgahları.....	35
2.7.1.2	Dik (Düşey) Torna Tezgahları.....	36
2.7.1.3	Revolver Torna Tezgahları.....	36
2.7.1.4	Otomat Torna Tezgahları.....	37
2.7.1.5	Hava Tornaları.....	38
2.7.1.6	Ağır İş Torna Tezgahları.....	39
2.7.1.7	Sıvama Torna Tezgahları.....	40
2.7.1.8	Masa Tipi Torna Tezgahları.....	40
2.7.1.9	Kam Torna Tezgahları.....	41
2.7.1.10	Kopya Torna Tezgahları.....	41
2.7.1.11	Elektronik (CNC) Torna Tezgahları.....	42
2.7.1.12	Elektronik (CNC) Torna Tezgahlarının Avantajları.....	43
2.7.1.13	Elektronik (CNC) Torna Tezgahlarının Dezavantajları.....	45
2.8	Sementasyon İşlemi	46
2.8.1	Tuz Banyosunda Sementasyon.....	46
2.8.2	Ön Tavlama.....	47
2.8.3	Sıvı Sementasyonda İşlem Süreleri.....	47
2.8.4	Sıvı Sementasyonun Olumlu Yönleri	48
2.8.5	Sıvı Sementasyonun Olumsuz Yönleri	48
2.8.6	Tuz Banyosunun Karbon Değerini Kontrol Etme Ve Tuz Takviyesi... 48	
2.8.7	Tuz Banyosunda Sementasyon Yapma	49
2.8.8	Tuz Banyosu Ocağının Yapısı	49

BÖLÜM 3

TAGUCHİ DENEY TASARIMI.....	50
3.1 GİRİŞ	50
3.2 L8 Dizayn Matrisi	51
3.3 Veri Değerleri.....	52
3.4 L8 Hesap Çizelgesi	55
3.5 L8 Hesap Çizelgesinin Doldurulması.....	55
3.6 Normal Olasılık Grafiğinin Çizimi	56

BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMALAR	57
4.1 Giriş.....	57
4.2 Deney Numunesi	57
4.2.1. Kimyasal analizi	58

4.3	Numunenin Ön Talaşlı Şekillendirilmesi	58
4.4	Numunelerin Semente Edilmesi	62
4.4.1	Ön Tavlama.....	63
4.4.2	Sıvı Sementasyon İşlem Basamakları	63
4.4.3	Numunelerin Soğutulması	64
4.4.4	Numune Sertliğinin Ölçülmesi	66
4.5	Nihai Talaşlı Şekillendirme.....	68
4.6	Deneyde Kullanılan Tezgah, Kesici Takım ve Karbür Uçlar.....	71
4.6.1	Torna Tezgahı	71
4.6.2	Kesici Takım	72
4.6.3	Karbür Uçlar.....	72
4.7	Numunelerin Yüzey Düzgünsüzlüğünün Ölçülmesi.....	73
4.8	Kesme Parametreleri	75
4.9	Optimizasyon.....	75
4.10	Etkileşimin Yorumu.....	77
4.11	AB Etkileşiminin Yorumu	79
4.12	Yüzey Düzgünsüzlüğünün Optimizasyonu.....	79

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER	81
5.1 Giriş.....	81
5.2 Talaş Derinliğinin Yüzey Düzgünsüzlüğüne Etkisi	81
5.3 İlerleme Hızının Yüzey Düzgünsüzlüğüne Etkisi.....	83
5.4 Kesme Hızının Yüzey Düzgünsüzlüğüne Etkisi	87
5.5 Kesme Kuvvetinin Yüzey Düzgünsüzlüğüne Etkisi	90
5.6 Sonuçlar	93
5.7 Öneriler.....	95
KAYNAKLAR	97
ÖZGEÇMİŞ	103

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1. 1	Malzemelerin yıllara göre artışı 1
Şekil 1. 2	Kesici takımların özelliklerinin karşılaştırılması..... 4
Şekil 1. 3	Kesici takımların tarihi gelişimi 4
Şekil 1.4	Kübik boron nitrür uçlar..... 5
Şekil 1. 5	TiC-TiN kaplamalı kesici uçlar..... 9
Şekil 1. 6	Kesici takım imalatında kullanılan metal tozları 9
Şekil 2. 1	Ortogonal Kesme 13
Şekil 2. 2	Sürekli talaş tipi..... 15
Şekil 2. 3	Kesintili talaş tipi 16
Şekil 2. 4	Yığma kenarlı sürekli talaş tipi 17
Şekil 2.5	Testere dişli talaş tipi 18
Şekil 2. 6	Çeşitli talaş tipleri..... 18
Şekil 2. 7	Adi karbonlu çelik kesici 23
Şekil 2. 8	Yüksek hız çeliğinden (HSS) yapılmış kesiciler 24
Şekil 2. 9	Dökme –kobalt kesiciler 25
Şekil 2. 10	Seramik kesici uçlar 26
Şekil 2. 11	Silikon nitrür (SiN) kesici uçlar 27
Şekil 2.12	Elmas uç takılı kesiciler 28
Şekil 2. 13	Kesici takım ucunda meydana gelen aşınma 29
Şekil 2. 14	Yüzey pürüzlülüğü mikroyapı görüntüleri..... 31
Şekil 2. 15	Ortalama yüzey pürüzlülüğü Ra 32
Şekil 2. 16	Ortalama pürüz yüksekliği Rz..... 32
Şekil 2. 17	En büyük pürüzlülük derinliği Rmax..... 33
Şekil 2. 18	Torna tezgahı 35
Şekil 2. 19	Universal torna tezgahı 36
Şekil 2. 20	Dik (düşey) torna tezgahı 36
Şekil 2. 21	Revolver torna tezgahları..... 37
Şekil 2. 22	Otomat torna tezgahı..... 38
Şekil 2. 23	Hava tornaları..... 39
Şekil 2. 24	Ağır iş torna tezgahları 39
Şekil 2. 25	Sıvama torna tezgahları 40
Şekil 2. 26	Masa tipi torna tezgahları 40
Şekil 2. 27	Kam torna tezgahı 41
Şekil 2. 28	Kopya torna tezgahı 41

Şekil 2. 29	CNC torna tezgahı	43
Şekil 4.1	Deney numunesi	57
Şekil 4. 2	Numunelerin Piksan CNC Firması'nda ön talaşlı şekillendirilmesi	59
Şekil 4. 3	Ön talaş kaldırılmış numune	59
Şekil 4. 4	İş parçası tornalama işlemi (Piksan CNC Fabrikası)	61
Şekil 4. 5	İş parçası tornalama işlemi (Piksan CNC Fabrikası).....	62
Şekil 4. 6	İş parçası tornalama işlemi (Piksan CNC Fabrikası).....	62
Şekil 4. 7	Numunelerin sıvı sementasyon işlemi	63
Şekil 4.8	Soğutma işleminin yapıldığı yağ ortamı (Yıldız Isıl İşlem Fabrikası Rami)	65
Şekil 4. 9	Numunelerin yağ ortamında soğutulması (Yıldız Isıl İşlem Fabrikası)	65
Şekil 4.10	Numunelerin yağ ortamında soğutulması (Yıldız Isıl İşlem Fabrikası)	66
Şekil 4.11	Sertlik ölçme deneyinin şematik gösterilişi.....	68
Şekil 4.12	Numune sertliğinin ölçülmesi	68
Şekil 4.13	Nihai tornalanmış AISI/SAE 8620 sementasyon çeliği iş parçası	70
Şekil 4.14	WNMG uç bağlanabilen torna kateri	72
Şekil 4.15	WNMG - VCMT karbür uçlar	72
Şekil 4.16	Mahr Perthometer S2 cihazı ile numunenin yüzey ölçümü.....	74
Şekil 4.17	Mahr Perthometer S2 cihazı ile numunenin yüzey ölçümü.....	74
Şekil 4.18	Mahr Perthometer S2 cihazı ile numunenin yüzey ölçümü.....	75
Şekil 5.1	Talaş derinliğinin yüzey düzgünsüzlüğüne etkisi	83
Şekil 5.2	İlerleme hızının yüzey düzgünsüzlüğüne etkisi	84
Şekil 5.3	Kesme hızının yüzey düzgünsüzlüğüne etkisi	89
Şekil 5.4	Kesme kuvvetleri.....	91

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1 930 °C sıcaklıkta sementasyon süresi ve sementasyon derinliği	48
Çizelge 3. 1 L8 Deneyi düzey kombinezonları	51
Çizelge 3. 2 L8 Dizayn matrisi	52
Çizelge 3. 3 Veri değerleri	52
Çizelge 3. 4 L8 Hesap çizelgesi.....	55
Çizelge 4. 1 Deney numunesi normu.....	58
Çizelge 4. 2 Deney numunesi kimyasal analizi	58
Çizelge 4. 3 Numunelerin yüzey düzgünlük değerleri	73
Çizelge 4. 4 Kesme parametreleri.....	75
Çizelge 4. 5 Normal olasılık grafiği.....	77
Çizelge 4. 6 Etki ve olasılık değerleri.....	78
Çizelge 4. 7 Olasılık formülü	78
Çizelge 4. 8 AB Etkileşim çizelgeleri.....	78
Çizelge 4. 9 AB Etkileşimi	79

**TALAŞLI ŞEKİLLENDİRMEDE MALZEME SERTLİĞİNİN YÜZEY
DÜZGÜNSÜZLÜĞÜNE ETKİSİNİN
DENEYSEL ARAŞTIRILMASI**

Ömer ŞAHİN

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ahmet EKERİM

Çeliğin kullanım amacı için gerekli sertlik, süneklik, makro ve mikro şekil geometrisi özellikleri tasarım için önemlidir. Bu özelliklerin sağlanabilmesi için önce şekillendirme yapılmakta ve daha sonra ise çeşitli ısıtma işlemleri uygulanmaktadır. Isıtma işlemleri sonucu dayanım, süneklik, sertlik özellikleri sağlanmakta, ancak çarpılmalar ve deformasyonlarla karşılaşmaktadır. Taşlama işlemi yapılarak şekil geometrisindeki farklılıklar giderilebilmekte ise de her zaman mümkün olamamaktadır.

Isıtma işlemi görmeden standart talaşlı şekillendirme işlemlerinin uygulandığı AISI/SAE 8620 çeliği, sıvı sementasyon işlemiyle yüzeyi 59 HRC sertliğine getirilmiş ve daha sonra talaşlı şekillendirilerek makro şekil geometrisi ve mikro geometrik yüzey elde edilmiştir. Elde edilen mikro geometrik yüzey düzgünlüğü ölçülmüş ve 0,322 µm bulunmuştur.

Sertliği yüksek olan çelik malzemenin talaşlı şekillendirilmesindeki talaş kaldırma değişkenlerinin araştırılması ve optimizasyonu L8 deney tasarım yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Optimum çalışma koşulu olarak talaş derinliği 0.2 mm, ilerleme hızı 0.15 mm/dev, dönme hızı 3000 dev/dak bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: Yüzey düzgünlüğü, sertlik, talaşlı şekillendirme, deney tasarımı.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ABSTRACT

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SURFACE ROUGHNESS OF THE MATERIAL HARDNESS FORMING MACHINING

Ömer ŞAHİN

Department of Metalurgy and Material Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr.Ahmet EKERİM

Required for the intended use of the steel hardness, ductility, macro and microgeometry shape features are important for design. Forming various heat treatment is performed and is then applied first to achieve these properties. As a result of heat treatment resistance, ductility, hardness is provided, but are faced with distortions and deformations. The difference can be corrected in the grinding geometry made so as not always possible.

The application of standard machining AISI forming process without heat treatment AISI/SAE 8620 steel, carburized surface of the liquid was adjusted to HRC 59 hardness and then macro machining shape by shaping the microgeometry and geometric surface was obtained. The resulting micro-geometric surface unevenness was measured and was found to 0.322 μm .

Hardness of investigation in shaping metal removal machining of steel and optimization variables were determined using high L8 experimental design method. Depth of 0.2 mm as the optimum operating condition, feed rate 0.15 mm/rev, rotation speed of 3000 rev /min, respectively.

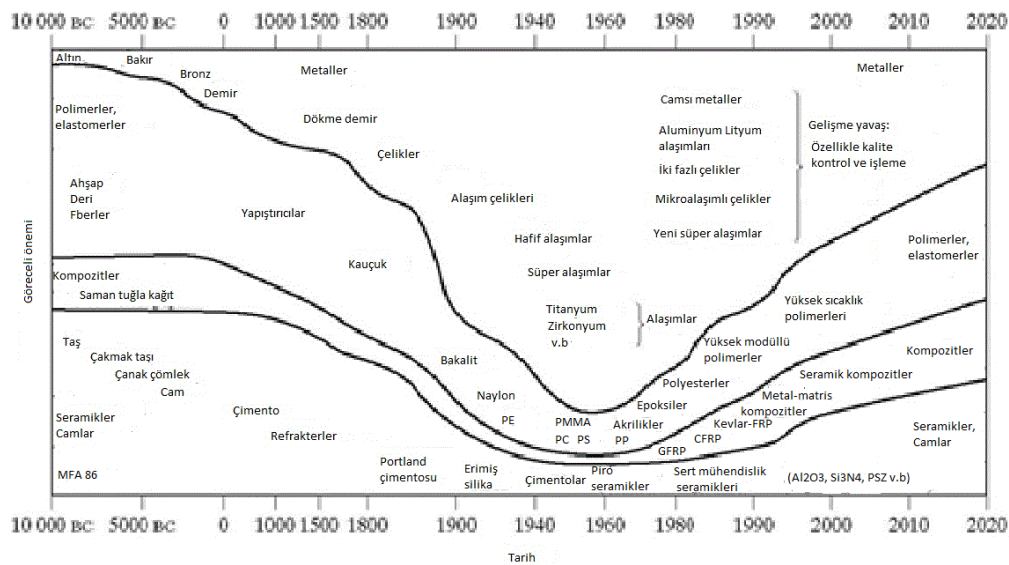
Keywords: Surface roughness, hardness, machining, forming, experimental design.

YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

1.1 Literatür Özeti

Talaşlı şekillendirme için kullanılacak malzemelerin özellikleri çok iyi bilinmeli, kullanım yerine göre istenen amacı sağlaması, beklenen performansı karşılaması ömür ve çevre şartlarına uyum sağlayacak yüzey, görünüş v.b. özelliklerin yanında mukavemet, iletkenlik, korozyon direnci, ekonomiklik kriterleri de dikkatle işlem yapılmalıdır. Talaşlı şekillendirme, tüm malzemeler için gerekli ve vazgeçilemeyen bir şekillendirme yöntemi olduğu için, malzemelerin değişimi ve gelişimi talaşlı şekillendirmeyi de etkilemektedir. Malzemelerin yıllara göre kullanım oranlarında önemli değişimler olmuş, bu değişimler Şekil 1.1’de görüldüğü gibi, 2020’ye doğru; seramik, kompozit, polimer ve metalik malzemelerde hızlı bir değişim eğilimi görülmektedir.



Şekil 1.1 Malzemelerin yıllara göre artışı [1]

Demir esaslı ve demir dışı metaller ile yüksek sıcaklıklarda ve basınçlarda kullanılan süper alaşımlar, en çok talaşlı şekillendirilen malzemeler arasında yer almaktadır. Bu malzemelerin temel özellikleri; kristal yapıları, dayanımları, sünekliği, elektrik ve ısı iletkenliği, tokluk, parlak görünüşe sahip olmalarıdır.

Genel olarak; yoğunluk, porozite, neme duyarlılık, makro ve mikro yapı, kimyasal etkilere dayanıklılık, fizikokimyasal özellikler, ısıl ve elektriksel özellikler ile mekanik özellikler şekillendirilecek malzeme ile şekillendirmeyi yapan takım ve takım tezgahı arasındaki ilişkilerin kurulması önemli bir konudur. Bu ilişkilerin kurulmasında tokluk, dayanım, gevreklik, dövülebilirlik, süneklik, elastiklik ve sertlik şekillendirilen malzemenin yüzey düzgünlüğü, kesici takımın ömrü üzerinde etkili olmaktadır.

Metalik malzemelerin talaşlı şekillendirilmesinde istenen hususlar; işlemin mümkün olduğu kadar en düşük maliyet, en uygun kesici takım ömrü ve en iyi yüzey kalitesi ile gerçekleştirilmesidir. Bunu gerçekleştirebilmek için de işlenecek metalik malzemenin cinsine, özelliklerine, kesme hızına, ilerleme hızına, talaş derinliğine uygun kesici takım malzemesi seçilmelidir.

Talaşlı olarak işlenecek metalik malzemeye uygun kesici takım seçilmediği takdirde; iş parçası malzemesinin yüzey kalitesinin kötü çıkmasına, takım ömrünün kılmasına sebep olur. Böylece iş parçası malzemesinin, kesici takımın ve tezgahın zarar görmesine ve dolayısıyla maliyetlerin artmasına neden olur.

Talaşlı imalatla, kesici takım malzemelerinin özellikleri son derece önemlidir. Kesici takım malzemelerinde istenen özellikler; sertlik, yüksek mukavemet, yüksek aşınma direnci, tokluk, yüksek ısı dayanımı ve ekonomiktir.

Talaşlı imalatla işlenecek malzemeye uygun kesici takım seçilmesi ile minimum takım aşınmasına, yüksek kesme hızlarına, iyi yüzey kalitesine, üretimin artmasına ve bunun sonucunda ekonomiklik sağlanır. Bu konularda yapılan çalışmaların literatür özeti:

40, 45, 50 HRC'ye kadar sertleştirilmiş AISI H11 çeliğinin, kübik bor nitrür (CBN) takımlarla tornalanmasında hem malzeme sertliğinin hem de ilerleme hızının yüzey düzgünsüzlüğü üzerinde önemli bir etkisinin olduğu belirlenmiştir [2].

Sertleştirilmiş malzemelerin tornalanması ancak yüksek sertliğe, yüksek ısıya dayanım ve yüksek aşınma direncine sahip kesici takımlarla mümkündür. Sertleştirilmiş malzemelerin tornalanmasında karşılaşılan en önemli problem kesici takım aşınmasıdır. Bundan dolayı, diğer kesici takımlara göre daha fazla aşınma direncine sahip olan CBN kesici takımlar kullanılmıştır [3].

Sertleştirilmiş AISI 52100 çeliğinin tornalanmasında kesme hızı, kesme kuvvetleri, kesme sıcaklığının ve yüzey düzgünsüzlüğünün değişimi incelenmiştir. İş parçası malzemesinin oldukça sert olmasına rağmen CBN kesici takımların oldukça iyi bir aşınma direnci gösterdiklerini tespit edilmiştir [4].

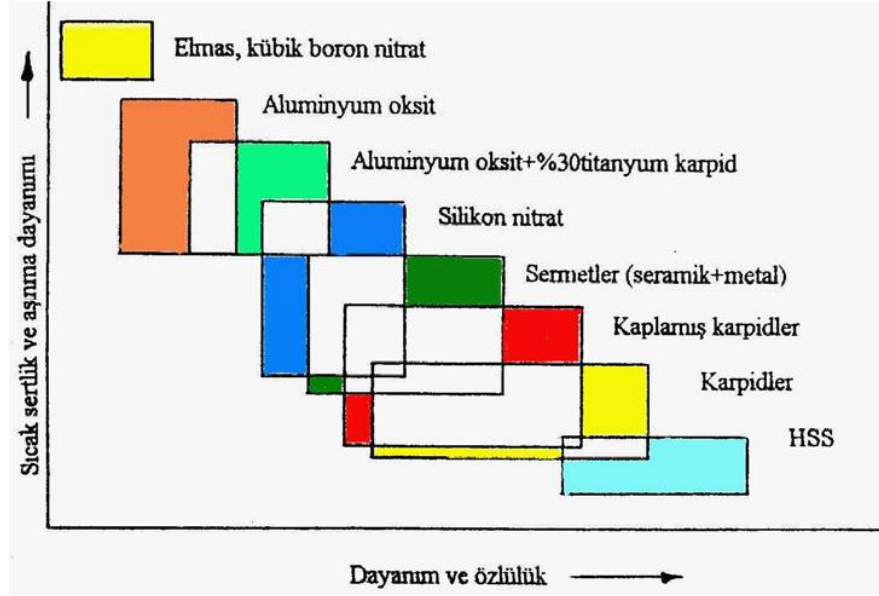
1.2 Kübik Bor Nitrür (CBN) Kesici Takımlar

Kübik bor nitrür (CBN) kesici takımlar, elmadan sonra en sert kesici takım malzemesidir. Çok yüksek sertlik, 2000 °C gibi yüksek sıcaklıklara dayanım ve mükemmel aşınma direnci ve talaş kaldırma esnasında iyi kimyasal kararlılık gibi özelliklere sahiptir.

Kübik bor nitrür (CBN) kesici takımlar, seramik bağlayıcı malzemelerin karışımının yüksek basınç ve sıcaklıklar altında sinterlenmesi ile imal edilirler. Dövme çelik, dökme demir, sertleştirilmiş çelik, yüzeyi sertleştirilmiş çelikler, nikel ve kobalt gibi süper alaşımların ve ısıtılma işlemlere tabi tutulmuş alaşımların yüksek hızlarda talaşlı şekillendirilmesinde kullanılmaktadır.

Kübik bor nitrür (CBN) kesici takımlar, sertlikleri 48 HRC'nin üzerinde olan sertleştirilmiş çelik malzemelerin talaşlı şekillendirilmesinde kullanılmaktadır. Talaşlı şekillendirilecek malzemelerin sertlikleri arttıkça, kübik bor nitrür (CBN) kesici takımların aşınması da o oranda azalmaktadır. Kübik bor nitrür (CBN) kesici takımlarla talaşlı şekillendirmede mükemmel yüzey kalitesi elde edilebilmektedir.

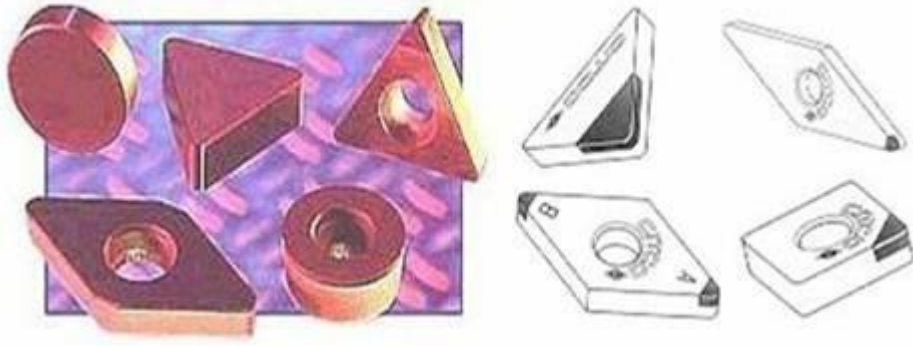
Küçük miktarlardaki seramik veya metal bağlayıcı ile bor nitrür karıştırılır. Yüksek sıcaklıklarda ve yüksek hızlarda sert malzemelerin işlenmesinde kullanılmaktadır. Çok kaliteli yüzey elde edildiğinden, taşlama yerine kübik bor nitrür (CBN) takımlarla tornalama tercih edilmektedir [5].



Şekil 1.2 Kesici takımların özelliklerinin karşılaştırılması [6]



Şekil 1.3 Kesici takımların tarihi gelişimi [6]



Şekil 1.4 Kübik boron nitrür kesici uçlar [6]

Otomotiv sanayinde kullanılan AISI 4340 çelik malzeme ısıtılarak sertleştirilmiş ve sertleştirilen bu malzeme universal tornalamayla talaş kaldırılarak işlenmiş ve işleme sonunda kesici takımın ömrü ile aşınması arasındaki ilişki araştırılarak 50 HRC'den daha düşük sertliklerde bile karbür kaplı kesici takımların kullanılamayacağı gösterilmiştir [7].

TiN kaplı karbür takımlarla iş parçası malzemesinin tornalanmasında, yüzey düzgünlüğünü etkileyen en önemli parametrenin ilerleme oranı olduğu tespit edilmiştir [8].

Karbür kaplı takımlarla sertleştirilmiş AISI 1045 çeliğinin tornalanmasında, ilerleme hızının yüzey düzgünlüğü üzerinde çok önemli etkisinin olduğu gösterilmiştir [9].

AISI 52100 çeliğinin, kaplamalı karbür kesici takımlarla tornalanmasında meydana gelen aşınma ve yüzey düzgünlüğü araştırılmıştır. Kaplamalı karbür kesici takımlarla 63 HRC sertlik değerine sahip AISI 52100 çeliği tornalanmıştır. Farklı kesme koşullarında kesici takımda meydana gelen aşınma ve iş parçası yüzeyinde meydana gelen yüzey düzgünlüğü araştırılmıştır. Kesme hızının artması ile birlikte kesici takımın daha hızlı aşındığı gözlenmiştir. 125 m/dak ve 25 m/dak kesme şartlarında kesici takım ömrü tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada, 25 m/dak kesme hızı ile çalışan kesici takımın, 125 m/dak kesme hızı ile çalışan kesici takıma göre daha uzun ömürlü olduğu ve aşınmanın oldukça düşük olduğu tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada, talaş derinliğinin, kesici takım aşınmasını önemli derecede etkilediğini gösterilmiştir. Talaş derinliği 0.5 mm'den 0.25 mm'ye düşürülmüş; bunun neticesinde kesici takım

ömrünün 2-3 kat daha fazla arttığı gözlemlenmiştir. Talaş derinliğinin artması ile birlikte kesici takımın kaldırdığı talaş miktarı da artmıştır. Bunun neticesinde takımdaki gerilmeler ve sıcaklık artmıştır. Artan bu gerilmeler ve sıcaklık, kesici takımın erken aşınmasına ve dolayısıyla kesici takım ömrünün azalmasına neden olduğu gözlemlenmiştir. İlerleme hızının artması neticesinde, kesici takımda meydana gelen aşınmanın daha da arttığı tespit edilmiştir. İlerleme hızının artması ile birlikte takım üzerindeki gerilmelerin de arttığı ve artan gerilmelerin kesme sıcaklığını yükselttiğini, yükselen kesme sıcaklığının da kesici takımı daha çok aşındırdığı gözlemlenmiştir.

Yapılan çalışmada, daha iyi bir yüzey kalitesi ve daha düşük bir aşınma elde etmek için sertleştirilmiş malzemeleri daha düşük talaş derinliği ve ilerleme miktarlarında tornalamak gerektiğini tespit edilmiştir. Yapılan deneylerde, malzeme sertliği arttıkça takımdaki aşınmanın da arttığı, aşınmanın artmasıyla yüzey düzgünlüğünün de arttığı gözlemlenmiştir. Talaş derinliğinin ve ilerleme hızının artması ile birlikte kesici takımdaki aşınmanın ve yüzeydeki düzgünlüğün arttığı bunun neticesinde takım ömrünün kısaldığını gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmada, AISI 52100 sertleştirilmiş çeliğin karbür kaplamalı kesici takımlarla yüksek kesme hızları ile tornalanmasında, kesici takım aşınması ve yüzey düzgünlüğü incelenmiştir. Sert malzemelerin karbür kaplamalı kesici takımlarla tornalanmasında, kesici takım ömrünün kısaltmasının ve yüzey düzgünlüğünün artmasının temel nedeni kesme hızı ve ilerleme hızındaki artış olduğu sonucuna varılmıştır. Yapılan çalışmada, düşük ilerleme hızının, yüzey düzgünlüğü ve yüzey kalitesi üzerinde önemli bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca yapılan çalışmada, sert malzemelerin tornalanmasında talaş derinliği arttıkça kesici takım ömrünün kısaldığı ve yüzey kalitesinin kötüleştiği sonucuna varılmıştır. Yine yaptıkları çalışmada, sert malzemelerin tornalanmasında ideal kesici takım ömrü ve ideal yüzey düzgünlüğü için kesme derinliğinin 0.25 mm'den düşük olması gerektiği tavsiye edilmiştir. Yapılan çalışmada, sert malzemelerin tornalanmasında büyük talaş derinliklerinin uygun olmadığı sonucuna varılmıştır [10].

48 HRC sertliğine sahip AISI 4340 iş parçası malzemesinin tornalanmasında, çok tabakalı TiN/TiCN/Al₂O₃ kesici uçlar kullanılmış; düşük ilerleme hızının ve yüksek kesme hızı şartlarının, yüzey düzgünlüğünü en aza indirmek için çok yararlı olduğu tespit

edilmiştir. Başka bir çalışmada, düşük kesme hızı ve düşük ilerleme hızı şartlarında takımın daha az aşındığı görülmüştür [11].

Sertleştirilmiş AISI 4140 (51HRC) çeliğinin tornalanmasında, yüzey düzgünlüğünü en aza indirmek için kesme şartları iyileştirilmiştir. Talaş kaldırma esnasında ilerleme hızının yüzey düzgünlüğü üzerinde çok önemli bir etkisi olduğu görülmüştür [12].

Yüksek kromlu ve 22 HRC soğuk iş takım çeliğinin tornalanmasında, yüzey düzgünlüğünü etkileyen en önemli faktör olan kesme hızı ve talaş derinliğinden sonra ilerleme hızı olduğu tespit edilmiştir [13].

AISI H13 çeliğinin tornalanmasında, yüzey düzgünlüğü üzerinde malzeme sertliğinin, ilerleme hızının ve kesme hızının önemli derecede etkisi olduğu görülmüştür [14].

Zirkonya Güçlendirilmiş Alümina (ZTA) uçlarla AISI 4340 çeliğinin işlenmesinde kesme hızından sonra talaş derinliğinin yüzey aşınmasında çok büyük bir etkisinin olduğu belirlenmiştir [15].

AISI 1040 çeliğinin tornalanmasında, takım ucu yarıçapının, yüzey düzgünlüğü üzerinde çok büyük bir etkisinin olduğu belirlenmiştir [16].

1.3 Sert Maden Uçlar (Karbürler)

Karbür kesici takımlar, yüksek aşınma ve yüksek ısı dayanımı özelliklerine sahip, sert malzemelerin talaşlı işlenmesinde kullanılan kesici takımlardır. Tungsten (wolfram) karbür ve kobalt tozların karışımından meydana gelir. Wolfram karbür (WC), titanyum karbür (TiC), tantal karbür (TaC) tozları ve bağlayıcı olarak kobalt (Co) karıştırılır. Sert metal tozlarının karışımı kalıplarda preslenir. Preslemeden sonra fırınlarda yaklaşık olarak 1300 °C’de sinterlenir. Fırınlardan çıkarılan uçlar taşlama işlemine tabi tutulur. Taşlandıktan sonra kaplama işlemleri yapılır.

Kesici uçların özelliklerini, karışımdaki metal tozların ve kobaltın oranı belirler. Kobalt miktarı arttıkça aşınma direnci, sertlik ve ısıl şoklara dayanım direnci azalır. Kobalt oranının artması sünekliği artırır.

Tungsten, karbür kesici takıma sertlik ve aşınmaya karşı dayanım özelliği kazandırır. Titanyum ve tantal karbürlerin de karışıma katılması ile yüksek sıcaklıklarda aşınmaya karşı dayanım özelliği kazandırır [5].

1.3.1 Kaplanmış Kesiciler

Kaplamalı sert metal karbür uçlar, yüksek sıcaklıklarda ve yüksek kesme hızlarında kullanılan kesici takımlardır. Kaplama ile kesici takımlara yüksek sıcaklıklara dayanım, kimyasal kararlılık, düşük ısı iletkenliği gibi özellikler kazandırılır. Isıl ve aşınma dayanımları yüksektir. Sert malzemelerin talaşlı şekillendirilmesinde kullanılırlar. Kaplama malzemesi olarak titanyum nitrür, titanyum karbür ve seramikler kullanılmaktadır. Kaplama kalınlığı 5-10 µm arasındadır.

Titanyum Karbür (TiC), daha yüksek kesme hızlarında, çelik ve dökme demirlerin işlenmesinde kullanılır. Bağlayıcı olarak Nikel-Molibden kullanılır. Titanyum karbür (TiC), sertleştirilmiş çeliklerin talaşlı işlenmesinde aşınma direncini ve termal şoklara karşı direnci artırır. Titanyum karbür (TiC), yüksek aşınma dayanımı, yüksek sıcaklıklara dayanım, düşük ısı iletkenliği gibi özelliklere sahiptir.

TiN kesici takımlar, yüksek sıcaklıklara dayanım, düşük sürtünme katsayısı, yüksek sertlik gibi özelliklere sahiptir. TiN kesici takımlar, yüksek kesme hızı ve ilerlemelerde kullanılabilirler. Kaplanmamış kesici takımlara göre daha az aşınmaya sahiptirler. Düşük kesme hızlarında kullanılmamalıdır. Düşük kesme hızlarında, kesici uçta biriken talaş, kaplama tabakasının yanmasına neden olur. Kaplama tabakasının yanmasını önlemek için soğutma suyu kullanılmalıdır.

Talaşlı şekillendirmede en çok kullanılan kesici takımlar, titanyum karbür (TiC), titanyum nitrür (TiN), alüminyum oksit (Al_2O_3) ve titanyum karbo nitrür (TiCN)'dür. Titanyum karbür ve alüminyum oksit, yüksek aşınma direncine sahip, kimyasal olarak başka malzemelerle reaksiyona girmeyen çok sert malzemelerdir. Titanyum nitrür (TiN) daha düşük sürtünme ve daha iyi krater aşınması özelliklerine sahiptir.

Sertliği 40 HRC olan malzemelerin talaşlı şekillendirilmesinde titanyum nitrür (TiN) ve titanyum karbo nitrür (TiCN), sertliği 40 HRC'nin üzerinde olan malzemelerin talaşlı şekillendirilmesinde ise titanyum alüminyum nitrür (TiAlN) kullanılmaktadır [5].



Şekil 1.5 TiC–TiN kaplamalı kesici uçlar [6]



Şekil 1.6 Kesici takım imalatında kullanılan metal tozları [17]

1.4 Tezin Amacı

Talaşlı şekillendirmede, şekillendirilen parçanın makro ve mikro geometrik şekli kullanım yerine, kullanım amacına ve kullanım ömrüne göre değişmekte olup, özellikle aşınmaların en aza indirilmesi, gürültünün azaltılması, yağlama sırasında ince yağ filminin oluşması ve bu filmin sürekliliğinin sağlanması konularında önemli araştırmalar yapılmaktadır. Ürün olarak kullanılacak ve talaşlı şekillendirilmiş parça, malzemesinin üretiminden başlanarak, üretim sürecindeki özellikleri değişmektedir. Bu özelliklerin talaşlı şekillendirme sırasındaki davranışları, talaşlı şekillendirme öncesi ve sonrası yapılması gereken ön işlemler, ısı işlemler, nihai ve son işlemler göz önüne alındığında, aralarındaki ilişkiler doğrusal değişimler göstermemektedir. Sertlikte artış istenirken, talaş kaldırmada talaş derinliği azalmakta, hatta belli bir sınır değerini üzerine çıkılamamakta, çoğu zamanda kesici takımların sertlikleri ve aşınmaları ile sınırlı kalınmaktadır.

Talaşlı şekillendirilmesi zorunlu, aşınmaya dayanıklı, sert karbür kesici takım ile şekillendirilmesi gereken parçaların seri olarak üretilmesini hedef alan çalışmalara günümüzde ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle talaşlı şekillendirme yapıldıktan sonra ısıtma işlemi görmüş, sertliği 60 HRC değerinden daha yüksek olan parçaların taşlama yapılması mümkün olmadığı ve kesici takım kullanılarak yapılması gereken şekillerde, makro ve mikro yüzey geometrilerinin toleranslarına ulaşmada, uygulamada başarılı örnekler elde edilememekte, soğutma sıvısı, ilerleme hızı, devir sayısı, malzeme ve kullanılan takım tezgahı arasında değişkenlerin bir optimizasyonla belirlenmesi teknik bir zorunluluk olup, son yapılan araştırmalarda bu optimizasyon çalışmalarında artışlar gözlemlenmiştir.

AISI/SAE 8620 malzemeden yapılan, Şekil 4.1’de teknik resmi verilen parçanın ArtıCNC firmasından temin edilen malzeme ile Piksan CNC Firması’nda tornalama işlemlerine tabi tutulup, Yıldız Isıl İşlem Firması’nda sementasyon ile sertleştirilip 59 HRC ölçülerine getirildikten sonra ölçü, şekil, yüzey ve diğer tasarım özelliklerini sağlamaya yöneliktir. Kesici takım olarak Kennametal kater, malzeme olarak ıslah çeliği AISI 8620, takım tezgahı olarak TAKISAWA Taiwan CNC tezgahı kullanılıp, yüzey düzgünlüğünü en az yapacak çalışma şartlarının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu amaç için talaş kaldırma değişkenleri deneysel olarak belirlenecek ve deneysel tasarım modeli kullanılarak optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilerek, az sayıda deney ile uygun çalışma koşullarının belirlenmesi amaçlanmaktadır.

1.5 Hipotez

Şekillendirilecek malzeme, şekillendirme yapan kesici takım ve takım tezgahı arasındaki bilinen ilişkilerden faydalanılarak ticari olarak üretilen bir ürün ele alındığında; sertliğin artması talaş kaldırma hızını, talaş derinliğini, ilerleme hızını düşürürken takımın aşınmasını artırmakta, kullanılan soğutma ihtiyacını, güç sarfiyatını da artırmaktadır. Bunların arasındaki ters ilişki kolayca dengelenememekte ve üzerinde araştırma yapılmasını zorunlu hale getirmektedir. Takım sarfiyatı ve işleme zamanının da göz önüne alınarak uygun ve rekabet edilebilir maliyetleri göz önünde bulundurarak, parçadan beklenen sertlik, yüzey kalitesi, maliyeti ve işletme giderlerinin de değerlendirildiği uygun bir çalışma parçada en yüksek sertlik, kesici takımın en küçük

aşınma, yüzeyde en ideal makro ve mikro şekil elde etmede deneysel tasarım uygun bir çözüm olacaktır.

Taguchi deney tasarım yöntemi ile ve L8 deney tasarımı kullanılarak 59 HRC sertlikteki parçayı 5 μm ortalama yüzey pürüzlüğünde, 0,002 μm makro geometrik toleransta, 0.15 mm/dev ilerleme hızıyla, 0.20 mm talaş derinliği, 260 m/dak kesme hızı ile iş parçası yüzey düzgünlüğünün optimizasyonunu başarmak mümkün olacaktır.

Bu çalışmamızda, yüzey düzgünlüğünün optimizasyonu için L8 Taguchi Deney Tasarımının yeterli olduğu, 0.20 mm talaş derinliği ve 260 m/dak kesme hızı değerleri ile optimum yüzey düzgünlüğü elde edilebilecektir.

TALAŞLI ŞEKİLLENDİRME İÇİN KULLANILAN TAKIM TEZGÂHLARI

2.1 Talaşlı Şekillendirme

Pek çok imalat yöntemleri vardır. Bu yöntemlerden biri de talaşlı şekillendirme veya talaşlı imalat yöntemidir. Talaşlı imalat, endüstride çok yaygın olarak uygulanan bir imalat yöntemidir.

Çeşitli geometrilere sahip, bir veya daha fazla kesme ağzı bulunan, kesici takım adı verilen elemanlarla iş parçası üzerinden küçük parçacıklar şeklinde malzeme (talaş) koparılarak yapılan imalata, talaşlı imalat denir. İş parçası üzerinden kaldırılan malzeme tabakasına talaş denir [5,18,19].

İş parçası üzerinden talaş kaldırmak için, kesici takım malzemesinin, iş parçasının malzemesinden daha sert olmalıdır [20]. Kesici takım ile iş parçası üzerinden talaş kaldırmak için, kesici takımın iş parçasına nüfuz etmesi gerekir. Kesici takımın iş parçasına nüfuz edebilmesi için kesici takıma uygulanan kuvvetin yeterli ve kesici takım malzemesinin iş parçası malzemesinden daha sert olması gerekir.

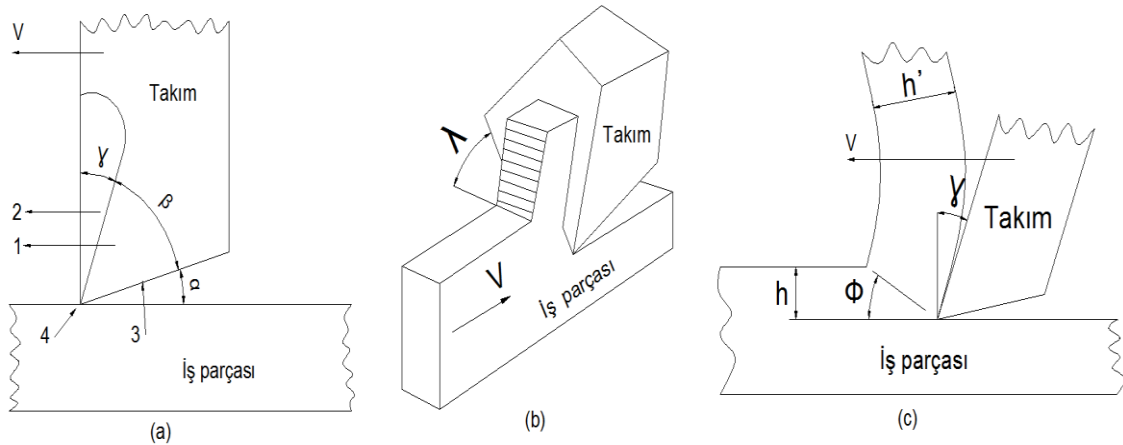
Kama şeklindeki kesici takım ile iş parçasından talaş kaldırma işlemine ortogonal talaş kaldırma denir. Ortogonal talaş kaldırma işleminde kesici takımın kesme kenarı, takım ile iş parçası arasındaki kesme hızına dik (Şekil 2.1a) veya eğik (Şekil 2.1b) olabilir. Kesici takımın belirli bir kuvvetle iş parçası üzerine bastırılması neticesinde, kesici takım ucunun iş parçasına temas ettiği noktada akmalar başlar ve gerilmeler malzemenin

kopma sınırını aştığı zaman, talaş tabaka şeklinde iş parçası yüzeyinden ayrılır (Şekil2.1c). Talaşın iş parçasından ayrılma biçimi, iş parçası malzemesinin özelliklerine ve talaşlı şekillendirme koşullarına bağlı olarak farklı bir şekilde gerçekleşir. Bunun neticesinde farklı talaş biçimleri meydana gelir.

Talaşın iş parçasından kopması sünek ve gevrek olmak üzere iki şekilde olur. Sünek kopmada, malzeme kopmadan önce plastik şekil değiştirmeler meydana gelmektedir. Talaşın sünek bir şekilde iş parçasından koptuğu bu tür malzemelere sünek malzemeler denir. Gevrek kopmada ise talaş iş parçasından kopmadan önce çok az veya hiçbir plastik şekil değiştirme meydana gelmez. Bu tür malzemelere gevrek malzemeler denir.

Malzeme cinsine ve talaş kaldırma şartlarına göre talaş kaldırma işlemi gerçekleşir. Sünek malzemelerde (Şekil 2.2) kesici takımın ağzının önünde plastik şekil değiştirme bölgesi meydana gelmektedir. Bu bölgede talaş sürekli olarak iş parçasından ayrılmakta. Bazen de talaş akışında kopmalar meydana gelmektedir. Talaşın iş parçasından ayrılması bir bölgede değil, bir düzlemde meydana gelir.

Talaş şekilleri genel olarak sürekli, yapışık, kesintili ve testere dişi şekilli talaş tipi olmak üzere dört şekilde meydana gelmektedir [21].



Şekil 2.1 Ortogonal kesme

2.1.1 Sürekli Talaş Tipi

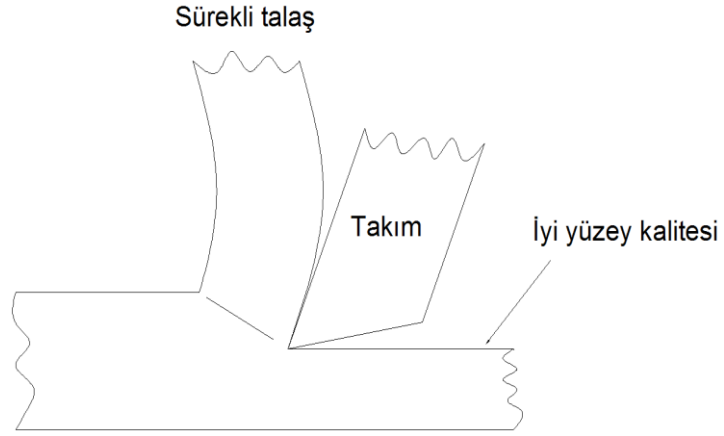
Uzun ve sürekli talaş tipi, genellikle düşük talaş derinliği, düşük ilerleme hızlarında ve yüksek kesme hızlarında sünek malzemeler işlenirken oluşur. Yumuşak çelik, bakır, alüminyum dövme demir gibi yumuşak malzemelerin yüksek hızla talaşlı şekillendirilmesinde oluşur.

Sürekli talaş tipinin oluştuğu talaşlı şekillendirme işlemlerinde iyi bir yüzey kalitesi elde edilir. Talaş ile talaş yüzeyi arasındaki sürtünmenin az ve kesme kenarının keskin olması durumunda bu tip talaş meydana gelir. Talaşlı şekillendirmede uzun talaşın iş parçasından ve kesici takımdan uzaklaştırılması ve kesici takıma sarılması gibi problemlere neden olmaktadır. Bu gibi problemleri önlemek için kesici takımlar, talaş kırıcılı olarak tasarlanırlar.

Sürekli talaş tipi ile imal edilen iş parçalarının yüzey kalitesi iyidir. Takım ömrü uzun, ihtiyaç duyulan güç sarfiyatı azdır.

Sürekli talaş tipi, aşağıdaki durumlarda oluşur;

- Sünek malzemelerde
- Yüksek kesme hızlarında
- Düşük ilerleme hızlarında
- Düşük talaş derinliklerinde
- Sivri kesici kenar
- Düşük takım-talaş sürtünmesi
- Kesici uç ve iş parçasının soğutma sıvısı ile soğutulması durumunda
- Talaş akma direncinin en az olması durumunda



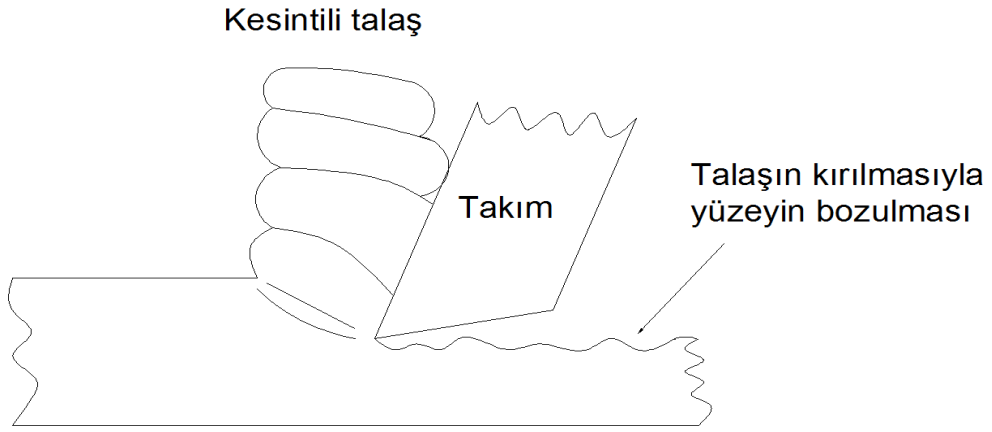
Şekil 2.2 Sürekli talaş tipi

2.1.2 Kesintili Talaş Tipi

Dökme demir gibi gevrek olan malzemeler, düşük kesme hızlarında talaş kaldırma işlemlerine tabi tutulduklarında, talaşın kesik kesik koptuğu talaş tipidir. Talaş derinliğinin ve ilerleme hızının yüksek olması, kesici takım ile iş parçası arasındaki sürtünme kesik talaş tipinin oluşmasına neden olur. Kesintili talaş tipinde iş parçasının yüzey pürüzlülüğü kötüdür.

Kesintili talaş tipi, aşağıdaki durumlarda meydana gelir;

- İş parçası malzemesinin gevrek olması
- Düşük kesme hızları
- Büyük ilerleme hızlarında
- Büyük talaş derinliklerinde
- Yüksek kesici takım ve talaş sürtünmesi



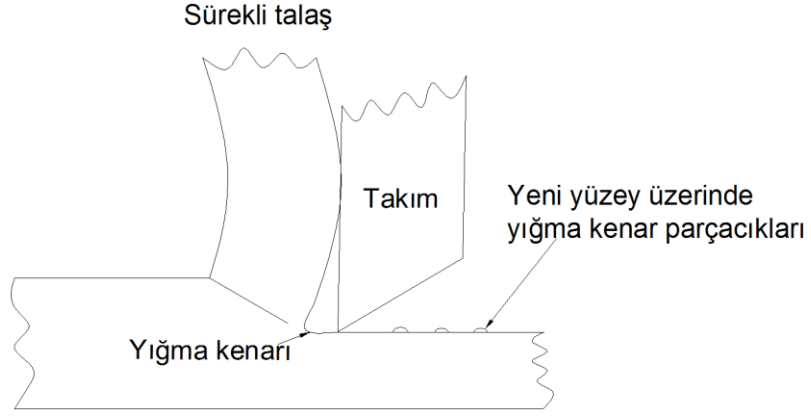
Şekil 2.3 Kesintili talaş tipi

2.1.3 Yığma Kenarlı Sürekli Talaş Tipi

Düşük kesme hızlarında talaşlı şekillendirilen iş parçaları, kesici takım ile talaş arasındaki sürtünmeden dolayı, kesme kenarı yakınındaki talaş yüzeyi üzerinde malzeme birikmesi olur. Bu malzeme birikmesine yığma kenar denir. Oluşan bu yığma kenar sürekli olarak büyür ve sonra kopar. Oluşan bu yığma kenar talaş ile uzaklaştırılır. Yığma kenarlı sürekli talaş, kesici takımın talaş yüzeyinin aşınmasına sebep olur. Kesici takımda meydana gelen bu aşınma, kesici takım ömrünün kılmasına sebep olur. İş parçası yüzeyinden uzaklaştırılamayan yığma kenar talaş parçaları, iş parçasının yüzey kalitesinin kötü olmasına neden olur.

Yığma kenarlı sürekli talaş tipi, aşağıdaki şartlarda oluşur;

- Sünek malzemelerde
- Düşük ve orta kesme hızlarında
- Kesici takım ile talaşın sürtünmesi, yeni yüzeye yapışan talaş parçacıklarına neden olur.
- Yığma kenarı oluşur ve belirli aralıklarda kopar



Şekil 2.4 Yığılma kenarlı sürekli talaş tipi

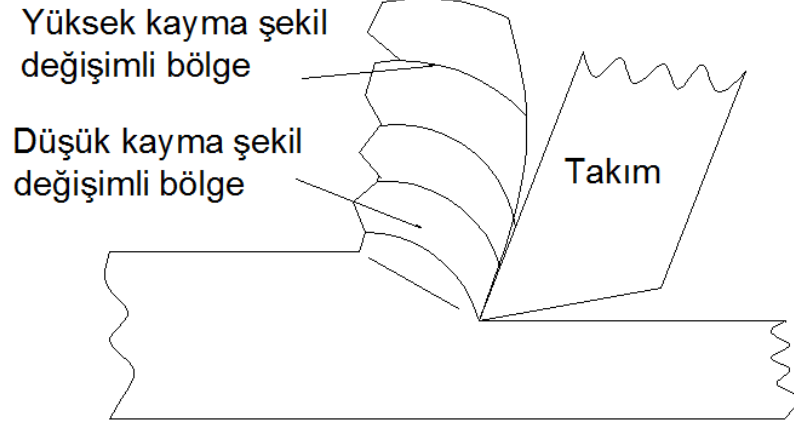
2.1.4 Testere Dişi Şekilli Talaş Tipi

Bu talaş tipleri testere dişi görünümlü ve yarı sürekli talaşlardır. Testere dişi talaş tipleri, titanyum ve nikel gibi süper alaşımlar, paslanmaz çelikler ve sertleştirilmiş çeliklerin yüksek kesme hızlarında talaşlı şekillendirilmesi neticesinde meydana gelir. Yüksek kayma birim şekil değişiminden sonra düşük kayma birim şekil değişiminin sürekli olarak etki etmesi ile meydana gelir.

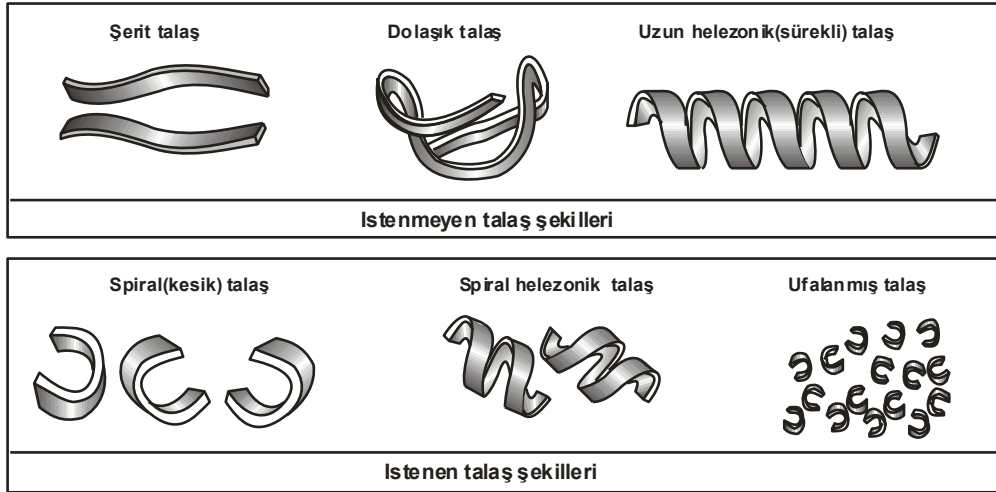
Testere dişi şekilli talaş tipi, aşağıdaki durumlarda oluşur;

- Yüksek kayma şekil değişimi ve düşük kayma şekil değişiminin ardışık olduğu çevrimsel talaş şekli
- Talaş kaldırılması zor, sert malzemelerin yüksek hızlarda kesilmesi sırasında oluşur.

Sürekli talaş



Şekil 2.5 Testere dişli talaş tipi



Şekil 2.6 Çeşitli talaş tipleri [21].

2.2 Talaş Kaldırmaya Etki Eden Faktörler

Talaş kaldırma işlemi, imalatın en önemli aşamalarından biridir. Bundan dolayı talaş kaldırma işlemi en ekonomik, en verimli ve en az maliyetle gerçekleştirilmelidir. Bunun için talaş kaldırmayı etkileyen faktörlerin iyi bilinmesi ve imalat planlamasının buna göre yapılması gerekir. Talaş kaldırmayı etkileyen bir çok faktör bulunmaktadır. Bu faktörlerin bazıları aşağıdaki gibi sıralanabilir [22].

- **Kesici takım ömrü:** Talaş kaldırmayı etkileyen en önemli faktör kesici takım ömrüdür. Malzemenin sertliği, kesme hızı, talaş derinliği, ilerleme hızı gibi talaş kaldırma parametreleri kesici takımda aşınmaya neden olur. Kesici takımdaki aşınma, kesici takım ömrünün kısalmasına ve dolayısı ile kesici takım maliyetinin yükselmesine neden olur.
- **Kesme hızı:** İşlenen malzemenin sertliğine, talaş derinliğine ve talaş kaldırma yöntemine göre kesme hızı belirlenir. Uygun kesme hızının belirlenmemesi kesici takımın erken aşınmasına ve erken körelmesine neden olur. Erken körelmiş bir kesici takım iş parçası yüzeyinde talaş birikmesine, iş parçası ile kesici takım arasında sürtünmeden dolayı yüksek ısı meydana gelmesine sebep olur. Meydana gelen talaş birikmesi ve yüksek ısı iş parçasının ve dolayısı ile kesici takımın deforme olmasına sebep olur.
- **Talaş derinliği:** Malzemenin sertliğine bağlı olarak gereğinden fazla talaş derinliği ile talaş kaldırılması durumunda kesici takımın zorlanmasına, kesici takımın aşınmasına ve kesici takımın erken körelmesine neden olur. Erken körelmiş bir kesici takımla talaş kaldırılması, iş parçasının ve kesici takımın zarar görmesine neden olur. En iyi performans ve en ideal talaş kaldırma işlemi için düşük talaş derinlikleri ile çalışılmalıdır.
- **İlerleme miktarı:** Deneysel çalışmalar ve literatür araştırmaları, yüksek ilerleme hızları ile talaş kaldırıldığında, kesici takımın erken aşındığı ve kesici takım ömrünün kıaldığını göstermiştir. Düşük ilerleme hızlarında en iyi talaş kaldırma performansının elde edildiği tespit edilmiştir.
- **Kesme açıları:** Kesme açıları, talaşlı şekillendirme esnasında, talaşın iş parçasından uzaklaşmasını sağlar. Talaş açılarının, boşluk açılarının gereğinden büyük veya küçük olması durumunda talaşın iş parçasından uzaklaşmasını zorlaştırır. Uygun olmayan kesme açıları, iş parçası üzerinde talaş yığılmasına dolayısı ile iş parçası ile kesici takımın deforme olmasına ve zarar görmesine sebep olur.

- **Titreşim:** Tezgahın salgılı çalışması, diğer bir ifade ile tezgahın titreşimli çalışması talaş kaldırmayı olumsuz etkiler. Tezgahtaki titreşim, kesici takımın salgılı çalışmasına sebep olur. Kesici takım salgılı çalıştığından, iş parçasına vuruntulu bir şekilde yaklaşıp uzaklaşacaktır. Kesici takımın vuruntulu çalışması kesici takımın kırılmasına ve iş parçasının zarar görmesine neden olur. Bu nedenle takım tezgahlarında titreşim istenmez.
- **Soğutma sıvısı:** Soğutma suyu kesici takım ile iş parçası arasında sürtünmeden dolayı meydana gelen ısıyı minimuma düşürür. Soğutma suyu olmadan talaş kaldırılması durumunda, kesici takım ile iş parçası arasında sürtünmeden dolayı yüksek bir ısı meydana gelir. Meydana gelen bu yüksek ısı, iş parçasının çarpılmasına ve deforme olmasına sebep olur. Aynı zamanda, kesici takımın erken aşınmasına ve erken körelmesine dolayısı ile kesici takım ömrünün kılmasına neden olur. Kesici takımın erken körelmesini ve iş parçasının çarpılmasını önlemek için soğutma suyunu kullanmak gerekir. Soğutma suyunun kullanılması aynı zamanda iş parçasının yüzey kalitesinin yüksek olmasına katkıda bulunur.
- **Takım-iş parçası malzemesi çifti:** İş parçası malzemesine göre kesici takım seçilmelidir. Kesici takım malzemesi, iş parçası malzemesinden daha sert olmalıdır. Kesici takım malzemesi yüksek kesme hızları, yüksek ilerleme değerleri ve büyük talaş derinliği şartlarında talaş kaldırma özelliklerine sahip olmalıdır. İş parçası malzemesine uygun kesici takım seçilmezse, kesici takımın zorlanmasına, aşınmasına, körelmesine, kırılmasına ve iş parçasının deforme olmasına sebep olur.
- **Kesici uç radyüsü:** Kesici takım uç radyüsünün uygun seçilmesi gerekir. Uç radyüsü malzemenin sertliğine, cinsine, talaş kaldırma yöntemine, kesme hızına, ilerleme hızına ve talaş derinliğine göre seçilmelidir. Yüksek kesme hızı, yüksek ilerleme hızı ve büyük talaş derinliği durumunda, küçük yarıçaplı uç radyüsü ile talaş kaldırılması durumunda, kesici ucun kırılmasına sebep olur. Bu nedenle yüksek kesme şartlarında, büyük yarıçaplı uçlarla çalışılmalıdır.

2.3 Kesici Takımlar

Talaşlı imalatla, iş parçası üzerinden parçacıklar (talaş) kaldırmaya yarayan ve iş parçası malzemesinden daha sert malzemeye sahip olan gereçlere kesici takım denir [20].

Kesici takımlar, talaş kaldırmak suretiyle iş parçalarına şekil verirler. İş parçalarının talaşlı şekillendirilmesinde kullanılan kesici takımların, talaşlı imalat esnasında meydana gelen yüksek zorlamaları karşılamalıdır. İmalat sanayinde pek çok talaşlı şekillendirme yöntemlerinin uygulanması neticesinde yeni kesici takım malzemelerinin gelişmesine yol açmıştır [5].

İş parçalarının çap ve boy gibi geometrik yapıları ve malzemesinin sertlik, tokluk, süneklik, ısıl dayanım gibi fiziksel ve kimyasal özellikleri çok çeşitli ve farklı kesici takımların gelişmesine yol açmıştır. Talaşlı şekillendirmede, talaş kaldırma operasyonlarına göre kesici takım seçildiğinden dolayı farklı çap ve boylardaki kesici takımların kullanılması gerekmektedir. Talaşlı imalatla kullanılan kesici takımların maliyetlerinin düşük ve çalışma ömürlerinin uzun olması, kesici takımlardan beklenen özelliklerdir. Bundan dolayı, işlenen iş parçası malzemesinin cinsine göre en uygun kesici takım malzemesi, en uygun kesici takım geometrisi ve uygun kesme parametreleri seçilmelidir. Kesici takım maliyetinin düşürülmesi, talaşlı şekillendirme sürelerinin kısaltılması son derece önem arz etmektedir. Yüksek kesme hızı, yüksek ilerleme hızı ve büyük talaş derinlikleri gibi yüksek kesme parametreleri kesici takımın çabuk aşınmasına ve erken körelmesine neden olur. Aynanın devri, malzemenin sertliği, soğutma suyunun kullanılması da kesici takım ömrüne önemli etkisi vardır. Soğutma suyunun kullanılması, kesici takım ile iş parçası arasındaki sürtünmeden dolayı kesici takımdaki aşınmayı azaltarak, takım ömrünün artmasına neden olur.

2.3.1 Kesici Takım Malzemeleri

Kesici takım malzemelerinden beklenen bazı özellikler vardır. Bu özellikler, yüksek sıcaklıklarda talaş kaldırabilmesi, sertlik, tokluk, aşınma direnci, büyük kuvvetlerle çalışabilmesi vb. özellikler sıralanabilir.

Yüksek hız çelikleri (HSS), sinterlenmiş karbürler göre daha tok olmasına rağmen, sinterlenmiş karbürler kadar sert değildir. Bundan dolayı, sertleştirilmiş malzemelerin yüksek kesme parametreleri ile talaşlı şekillendirilmesi için yeni karbür kesici takımların geliştirilmesi için araştırmalar büyük bir hızla devam etmektedir [6].

Kesici takım malzemelerinden beklenen özellikler şu şekilde sıralanabilir. Bu özellikler,

- Kesici takım, ani darbelere karşı dayanıklı olmalıdır.
- Yüksek tokluk özelliklerine sahip olmalıdır.
- Kesici takım, yüksek kesme sıcaklıklarında da iş parçası malzemesinden daha sert olmalıdır.
- Yüksek aşınma direncine sahip olmalıdır.
- Talaşlı şekillendirme esnasında hızlı ısınma ve hızlı soğuma gibi ani yüksek sıcaklık şoklarına dayanıklı olmalıdır.
- Talaşlı şekillendirme esnasında, kesici uç ile iş parçası malzemesi reaksiyona girmemeli.

Kesici takım malzemesinin sertliğinin düşük olması, kesici takımın bozulmasına neden olur. Kesici takım ucunun deformasyonuna yol açar. Kesici takımın tokluğunun ve termal şok direncinin düşük olması, kesici takım ağzında talaş birikmesine, kesici takım çatlamalara ve kırılmalara sebep olur.

Kesici takım malzemeleri, aşağıdaki gibi sınıflara ayrılabilir.

- Adi karbonlu ve orta karbonlu çelikler
- Seri çelikler (HSS)
- Dökme-kobalt alaşımları
- Sert maden uçlar
- Kaplanmış kesiciler

- Seramikler
- Kübik Boron Nitrit (CBN) kesiciler
- Silisyum nitrür alaşımlı  elikler
- Elmas kesiciler

2.3.1.1 Adi Karbonlu ve Orta Alaşımlı  elikler

Adi karbonlu çelikler, ilk önce talaşlı imalatta özellikle matkapla delme, kılavuz çekme, broşlama ve rayba işlemlerinde kullanılmıştır. Adi karbonlu çelikler, ucuz ve kolay bir şekilde bilenebilmelerine rağmen, yüksek kesme parametrelerinde aşınma ve sıcaklığa dayanabilme özellikleri çok düşüktür. Karbon  elikleri ahşap ve benzeri yumuşak malzemelerin şekillendirilmesine uygundur. Adi karbonlu çelikler, düşük kesme hızlarında (10 m/dak) kullanılırlar. Adi karbon çeliklerinin en önemli avantajları ucuz olmaları ve kolay işlenebilmeleridir. 200 – 250  C gibi çalışma sıcaklıklarında sertliklerini ve keskinliklerini muhafaza ederler. Bu dezavantajlardan dolayı, adi karbonlu kesici takımlar, metalik malzemelerin talaşlı şekillendirilmesinde kullanımı yaygın değildir. Adi karbonlu çelikler, ucuz olduklarından dolayı ağaç işleme takımlarında kullanılırlar [6].

.



şekil 2.7 Adi karbonlu  elik kesici [6]

2.3.1.2 Yüksek Hız Çelikleri (Seri Çelik, HSS)

Yüksek hız çelikleri (HSS), adi karbonlu çeliklere göre yüksek kesme şartlarında kullanılabilirler. Yüksek hız çeliklerinin (HSS) en önemli özellikleri ucuz imal edilebilmeleri, farklı sertlik derinliklerinde çalışabilmeleri ve aşınma dayanımlarının yüksek olmasıdır. Yüksek hız çelikleri (HSS), yüksek sıcaklıklarda yüksek sertlikleri ve toklukları sayesinde iş parçalarının şekillendirilmesinde kullanılmaktadırlar.

Yüksek hız çeliklerinin (HSS), molibden (M serisi) ve tungsten (T serisi) olmak üzere iki çeşidi vardır. M serisi yüksek hız çelikleri %10'a kadar krom, vanadyum, tungsten, kobalt ve alaşım elemanları ile molibden içerir. T serisi yüksek hız çelikleri (HSS), krom, vanadyum, kobalt ve alaşım elemanları ile birlikte %12-18 tungsten içerir. M serisi yüksek hız çelikleri, T serisine göre daha ucuz, ısıl işlem sırasında şekil değişikliği az olup yüksek aşınma dayanımına sahiptir.

Yüksek hız çelikleri (HSS), metal olmayan malzemelerin, döküm ve orta sertlikteki çeliklerin şekillendirilmesinde kullanılmaktadır. Yüksek hız çelikleri (HSS), 650 °C'ye kadar olan sıcaklıklarda talaşlı şekillendirmede kullanılabilmekte ve takımların körelmesi durumunda tekrar bilenebilmektedir. Talaşlı imalatla yüksek hızlarda talaş kaldırmanın yaygınlaşması sinterlenmiş karbür takımların önemini artırmakta buna karşın yüksek hız çeliklerinin önemi giderek azalmaktadır. Yüksek hız çelikleri (HSS), talaşlı imalatla daha çok matkapla delme, kılavuz çekme, azdırma ve broşlama gibi talaşlı şekillendirmede kullanılmaktadır [6].



Şekil 2.8 Yüksek hız çeliğinden (HSS) yapılmış kesiciler [6]

2.3.1.3 Dökme – Kobalt Alaşımları

Dökme–kobalt kesici takımları % 38–53 kobalt, % 30–33 krom ve % 10–20 tungsten içerir. Dökme–kobalt kesici takımların diğer bir ismi stellittir. 58-64 HRC sertlik değerine ve yüksek aşınma dayanımına sahiptir. Yüksek sıcaklıklarda özelliklerini koruyabilmektedir. Yüksek hız çelikleri gibi tok olmayıp, darbeli imalatla kullanılmazlar. Yüksek hız çeliklerine göre iki kat daha yüksek kesme hızlarında, kaba talaş işlemlerinde kullanılabilirler. Bu kesici takımlar daha çok çelik, dökme demir, dökme çelik, paslanmaz çelik gibi malzemelerin talaşlı şekillendirilmesinde kullanılmaktadır [6].



Şekil 2.9 Dökme–kobalt kesiciler [6]

2.3.1.4 Seramikler

Seramik kesici uçlar, ince taneli olup yüksek saflıkta alüminyum oksitten (Al_2O_3) imal edilirler. Alüminyum oksit (Al_2O_3), yüksek basınç altında preslenip, yüksek sıcaklıklarda sinterlenerek imal edilirler.

Seramik kesicilere titanyum karpit ve zirkonyum oksit katılarak tokluk ve ısıl şok dayanımları arttırılır. Keramik kesici uçlar, yüksek aşınma dayanımına ve yüksek sıcaklıklarda çalışabilme özelliklerine sahiptir. Keramik kesici uçlar, yüksek kesme hızlarında, kesintisiz talaş kaldırma işlemlerinde kullanılırlar. Keramik kesici uçlar, %70 alüminyum oksit (Al_2O_3) ve %30 titanyum karbür içerir. Keramik kesici uçlar, sermet (seramik + metal) olarak ta isimlendirilirler. Bu kesici uçların karışımında molibden karbür, niobyum karbür ve tantalyum karbür bulunur.

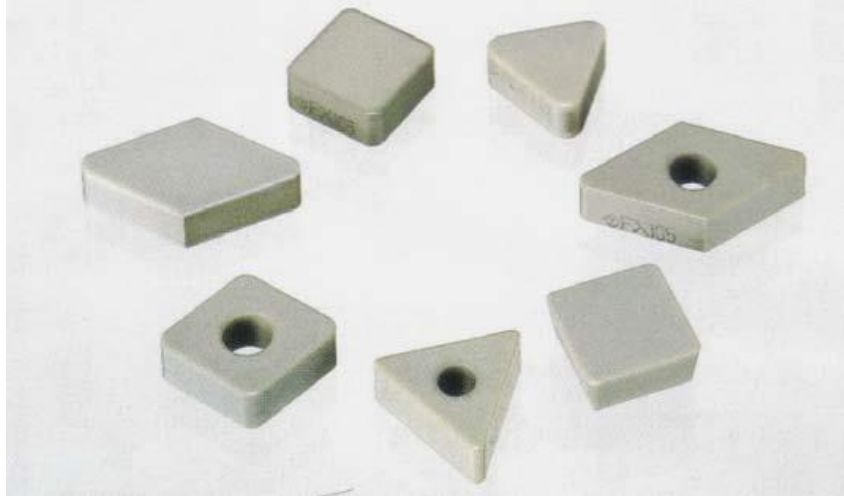
Yüksek basınç altında sıcak presleme ile üretilen seramik kesici takımlar, yüksek aşınma direnci, yüksek ısıl şoklara dayanım, yüksek sertlik özelliklerine sahiptir. Bu üstün özelliklerinden dolayı nikel esaslı alaşımların, sertleştirilmiş çeliklerin ve dökme demirin talaşlı şekillendirilmesinde kullanılırlar [6].



Şekil 2.10 Keramik kesici uçlar [6]

2.3.1.5 Silikon Nitrür Tabanlı Kesiciler

Silikon nitrür tabanlı kesiciler, silikon nitrürün, alüminyum oksit (Al_2O_3) ve titanyum karbürle birleştirilmesi ile elde edilir. Silikon nitrür tabanlı kesiciler, yüksek tokluk, yüksek ısıl şok dayanımı ve yüksek sıcaklıklarda sertliğini koruyabilme özelliklerine sahiptir. Silikon, nitrürden daha yüksek ısıl şok dayanımına sahip olduğundan, dökme demirlerin ve nikel tabanlı alaşımların orta kesme hızlarda talaşlı şekillendirilmesinde kullanılırlar.



Şekil 2.11 Silikon nitrür (SiN) kesici uçlar [6]

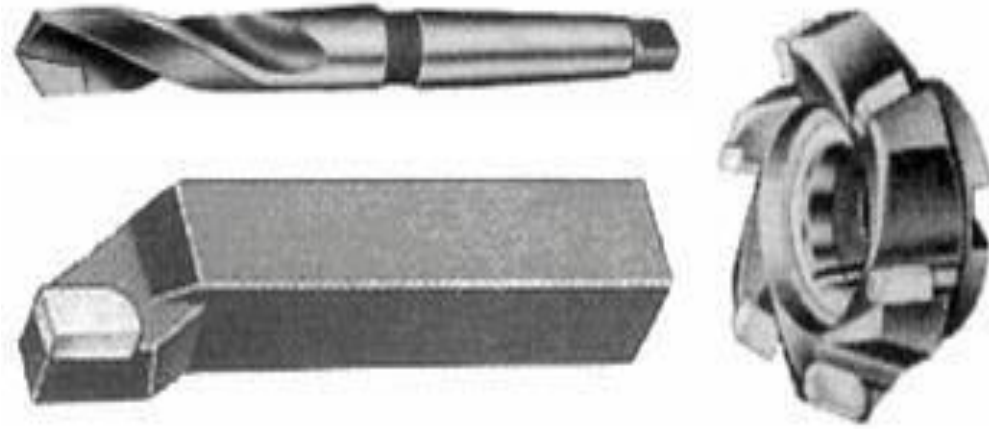
2.3.1.6 Elmas Kesiciler

Elmas, tabiatta doğal olarak bulunan, en yüksek aşınma dayanımına sahip, dünyada bilinen en sert malzemedir. Talaşlı imalat esnasında baskı kuvvetlerine karşı büyük bir dayanıma sahip, yüksek sıcaklıklarda bile çok az genleşme özelliklerine sahiptir. Yüksek sertlik, yüksek aşınma direnci, yüksek ısıl dayanım gibi özelliklerinden dolayı iyi yüzey kalitesi istenen malzemelerin talaşlı şekillendirilmesinde kullanılmaktadır. Elmas kesiciler, yüksek sıcaklıklarda demir esaslı metallerle kimyasal reaksiyona girdiğinden, elmasın orijinal yapısı olan grafitte dönüşmesine neden olur. Bundan dolayı elmas kesiciler, demir dışı metal olmayan iş parçalarının talaşlı işlenmesinde kullanılmaktadır [6].

Elmas kesiciler, yüksek silisyumlu dökme alüminyum alaşımları, bakır ve alaşımları, sinterlenmiş sementit tungsten karbürler, silika cam ile doyurulmuş kauçuk, cam fiber ve yüksek alüminalı seramiklerin talaşlı şekillendirilmesinde kullanılmaktadır.

Demir esaslı malzemelerin talaşlı şekillendirilmesinde kullanılan kesici takımlarından beklenen özellikler, en düşük maliyetle en iyi yüzey kalitesini elde etmektir. Bu beklentileri karşılamak için işlenecek malzemenin cinsine, sertliğine, talaşlı imalat yöntemine ve kesme parametrelerine göre uygun kesici takım malzemesi seçilmelidir. Metal esaslı kesici takımlar, maliyetleri düşük olmasına rağmen daha düşük kesme şartlarında kullanılmaktadır. Karbür esaslı kesici takımlar ise yüksek ısıl dayanım ve

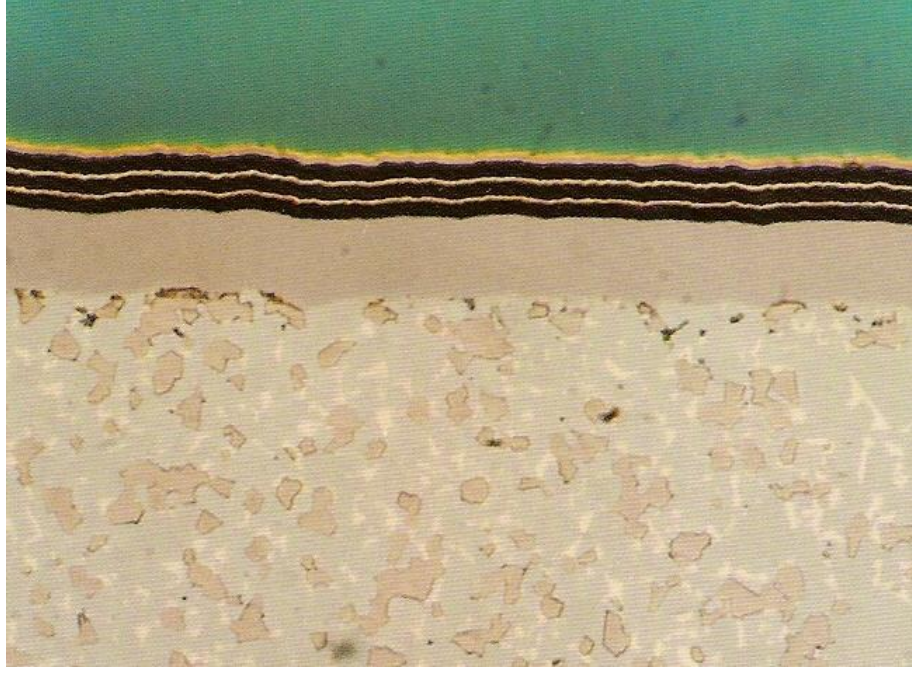
yüksek kesme şartları gerektiren malzemelerin şekillendirilmesinde kullanılmaktadır. Seramik kesici takımlar ise pahalı ve tok olmalarına karşın yüksek sıcaklıklarda mekanik ve kimyasal kararlılıklarından dolayı yüksek kesme şartlarının gerekli olduğu talaşlı şekillendirme işlemlerinde kullanılmaktadır.



Şekil 2.12 Elmas uç takılı kesiciler [6]

2.4 Takım Aşınması

İş parçalarının talaşlı şekillendirilmesi esnasında, kesici takım ile talaş arasında sürtünmeler meydana gelir. Kesici takım ile talaş arasında meydana gelen bu sürtünmelerden dolayı ısı meydana gelir. Meydana gelen bu ısı, takım aşınmasına ve kesici takımda plastik deformasyona neden olur. Kesici takım ucunda meydana gelen bu ısı, kesici takımda zamanla malzeme kaybı meydana gelir [23].



Şekil 2.13 Kesici takım ucunda meydana gelen aşınma [23]

Kesici takım aşınması, kesici takımdan kopan küçük parçaların kaybı olarak tanımlanabilir. Kesici takım aşınması, iş parçası yüzeyinin pürüzlü olmasına neden olur. Kesici takım ucundan malzeme kaybı, takımın körelmesine neden olur. Takımın körelmesi ile kesici takım serbest açısı 0° 'ye yaklaşacak ve takım ile talaş arasındaki sürtünme büyüyecektir.

Kesici takım aşınmasını etkileyen faktörler aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

- Takım malzemesi
- İş parçası malzemesi
- Kesme hızı
- İlerleme miktarı
- Talaş derinliği
- Talaş geometrisi
- Takım geometrisi
- Soğutma sıvısı

2.5 Takım Ömrü

Takım ömrü, iki bileme arasındaki geçen zamana takım ömrü denir. Takım aşınmasının takım ömrü üzerinde büyük bir etkisi vardır. Bu nedenle, takım aşınmasını etkileyen kesme hızı, ilerleme hızı, talaş derinliği, takım geometrisi, soğutma suyu, iş parçası malzemesinin sertliği, talaş geometrisi gibi kesme parametreleri takım ömrünü de etkiler. Takım aşınmasını dolayısı ile takım ömrünü etkileyen en önemli parametre kesme hızıdır.

Taylor, ekonomik talaş kaldırma işleminin, kesici takımın kesme kapasitesine bağlı olduğunu göstermiştir. Taylor, yüksek kesme hızları ile düşük kesme hızlarının dezavantajlarını tespit etmiştir. Taylor'a göre yüksek kesme hızları ile talaş kaldırıldığında sık sık takım değiştirmek gerektiğini, düşük kesme hızlarında çalışıldığında ise üretimin düştüğünü ortaya koymuştur. Taylor'a göre kesme hızı ile takım ömrü arasında bir ilişki vardır. Bu düşünce, Taylor'u kesme hızı ile takım ömrü arasındaki ilişkiyi incelemeye sevk etmiştir.

Taylor, kesme hızı değişimine bağlı olarak takım ömrü ile kesme hızı arasındaki ilişkiyi şu bağıntı ile ifade etmiştir [24].

$$V T^n = C \quad (2.1)$$

Burada;

T: Takım ömrü (dak)

V: Kesme hızı (m/dak)

n: Takım malzemesi, işleme şartları ve ortama bağlı sabit

C: Hesaba katılmayan değişkenlere bağlı sabit katsayı

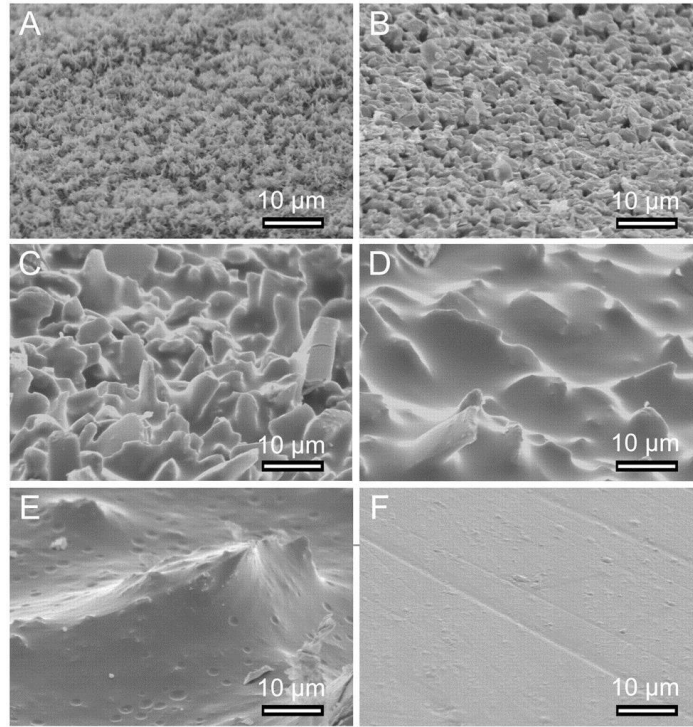
2.6 Yüzey Pürüzlülüğü

Kesici takımın, iş parçası üzerinden talaş kaldırması esnasında, malzemenin yüzeyinde oluşan izlerin girinti ve çıkıntılarının değerine pürüzlülük denir.

İş parçalarının talaşlı şekillendirilmesi esnasında malzemenin yüzeyinde çeşitli pürüzler meydana gelebilir. Bu pürüzlerden bazıları gözle görülebilir ve elle hissedilebilir. Bazıları

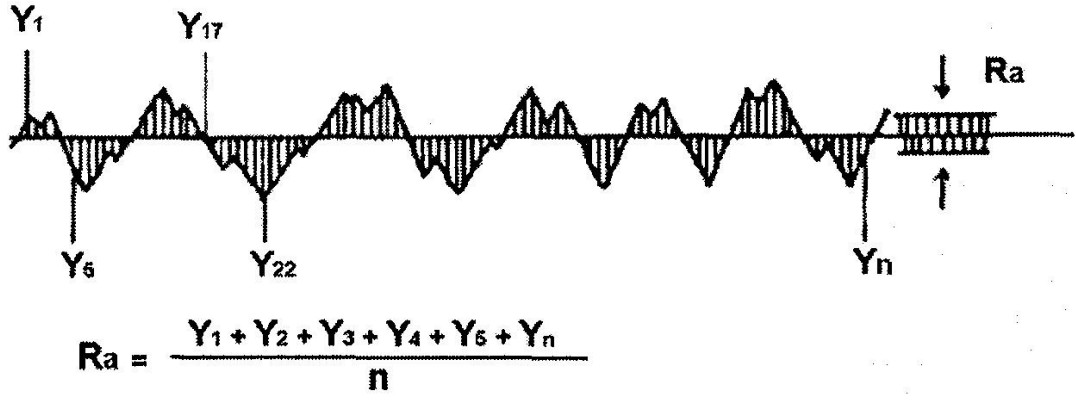
da gözle görülmez veya elle hissedilmez. Bu pürüzler, ancak hassas cihazlarla ölçülebilir.

Talaşlı şekillendirilen iş parçalarının, iş görebilmeleri için, bu pürüzlerin belli değerlerin altında olması istenir [25].



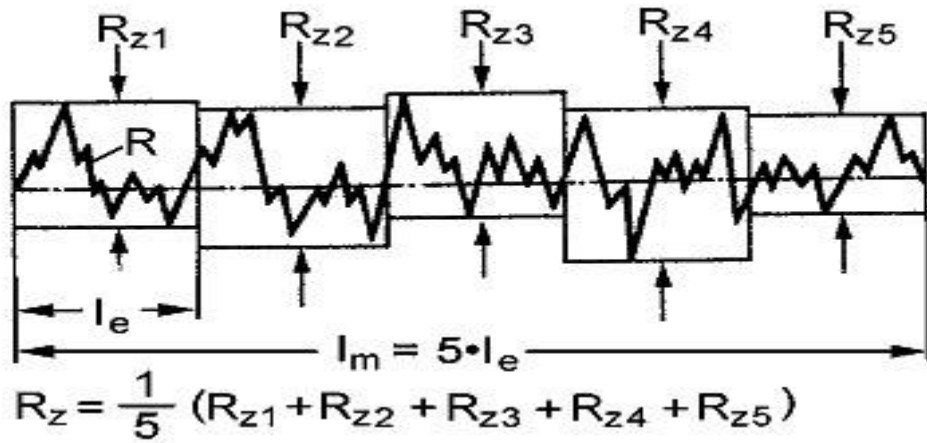
Şekil 2.14 Yüzey pürüzlülüğü mikroyapı görüntüleri [25]

Yüzey pürüzlülüğü, genellikle ortalama yüzey pürüzlülüğü R_a ile gösterilir. Ortalama yüzey pürüzlülüğü R_a , ortalama çizginin artı ve eksi yönlerdeki yükselti ve çukur ölçülerinin mutlak değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanır. Ortalama yüzey pürüzlülük değeri R_a arttıkça, malzemenin yüzey pürüzlülüğü de artar. Ortalama yüzey pürüzlülük değeri R_a azaldıkça, malzemenin yüzey kalitesi de o oranda artar. Aynı zamanda, ortalama yüzey pürüzlülük değeri R_a arttıkça, talaşlı şekillendirilen iş parçasının maliyeti de artar [25].



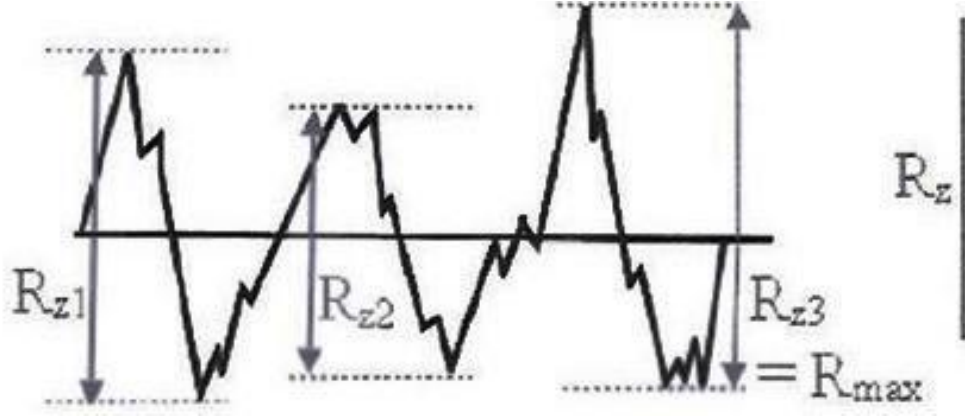
Şekil 2.15 Ortalama yüzey pürüzlülüğü R_a [25]

Yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde kullanılan diğer bir pürüzlülük parametresi ise R_z pürüz yüksekliğidir. R_z pürüz yüksekliği, l_e uzunluğundaki 5 bölgedeki pürüzlerin ortalama yüksekliğini ifade etmektedir [25].



Şekil 2.16 Ortalama pürüz yüksekliği R_z [25]

Yüzey pürüzlülüğü ölçümünde kullanılan diğer bir pürüzlülük ifadesi, en büyük pürüzlülük derinliği R_{max} 'tır. R_{max} , en büyük pürüzlülük derinliğidir.



Şekil 2.17 En büyük pürüzlülük derinliği R_{max} [25]

2.6.1 Yüzey Pürüzlülüğünü Etkileyen Faktörler

Talaşlı şekillendirilen iş parçalarının yüzey pürüzlülüğünü etkileyen faktörler şunlardır [25].

- Kesici takım geometrisi
- İş parçasının etkileri
- Titreşim
- Kesici takım etkileri

Kesici takım geometrisi: İş parçasının geometrisi, talaş kaldırma parametrelerini belirler. Talaş kaldırmayı belirleyen parametreler, talaş kaldırma yöntemi, takım geometrisi ve ilerleme hızıdır. Kesici takımın, talaş kaldırmayı etkileyen en önemli kısmı, takımın yüzeye temas eden kısmıdır.

İlerleme hızları aynı fakat uç yarıçapları farklı olan kesici takımlardan, kesici uç yarıçapı daha büyük olan takım ile daha iyi yüzey kalitesi elde edilir.

İş parçasının etkileri: İş parçası ile kesici takım arasındaki sürtünmeden dolayı iyi bir yüzey kalitesi elde edilememektedir. İş parçasının etkilerini aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz.

- Ağz birikintisi
- Meydana gelen talaşın kıvrılıp yüzeyi çizmesi

- Sünek malzemelerde talaş oluşumu sırasında yüzeyin hasar görmesi
- Gevrek malzemelerde kesikli talaş oluşumundan dolayı yüzey kusurlarının oluşması
- Kesici takımın kesme kenarı ile malzeme yüzeyi arasındaki sürtünme

Titreşim ve Kesici Takım Etkileri: Titreşimlerin yüzey pürüzlülüğü üzerinde kötü etkisi vardır. Bu titreşimler tezgahtan veya kesici takımdan kaynaklanabilir. Kesici takımın uygun bir şekilde bağlanmamasından kaynaklanabilir. Tezgahtan veya kesici takımdan kaynaklanan bu titreşimler, imal edilen iş parçasının yüzeyinin dalgalı olmasına neden olur. Titreşimler yüzey kalitesinin kötü olmasına neden olur. Bunu önlemek için meydana gelen bu titreşimleri asgariye indirmek gerekir [25].

2.7 Takım Tezgahları

Kesici takım adı verilen gereçlerle iş parçası üzerinden talaş kaldırabilmek için kesici takıma gerekli olan güç ve hareketi sağlayan iş makinasına takım tezgahı denir.

Takım tezgahları, imal edilecek iş parçalarına ve imalat yöntemine göre tasarlanırlar. Takım tezgahlarının amaçları birbirinden farklıdır. Delik delme, kanal açma, diş açma, kaba tornalama, yüzey frezeleme, çevresel frezeleme vb. talaşlı imalat yöntemlerinde kullanılan takım tezgahlarının kapasiteleri, özellikleri, yetenekleri birbirlerinden farklıdır [22,24,26].

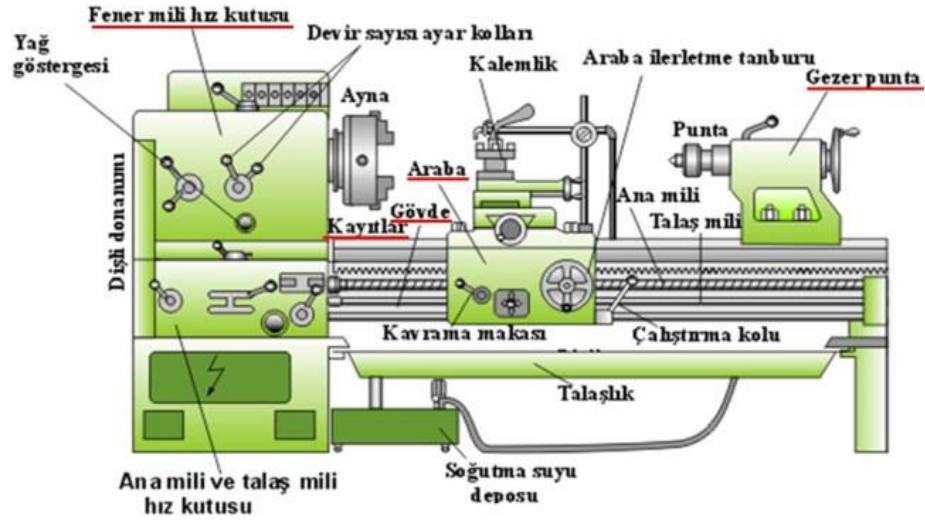
Talaşlı şekillendirme için kullanılan takım tezgahları şöyle sınıflandırılabilir.

- 1) Torna tezgahları
- 2) Freze tezgahları
- 3) Planya tezgahları
- 4) Vargel tezgahları
- 5) Taşlama tezgahları
- 6) Broşlama tezgahları
- 7) Matkap tezgahları

2.7.1 Torna Tezgahı Çeşitleri

Kesici adı verilen takımla silindirik iş parçaları üzerinden kaba veya ince talaş kaldırma işlemine tornalama denir. Tornalama işleminin yapıldığı tezgaha torna tezgahı denir. Torna tezgahlarında silindirik iş parçaları işlenir. İş parçası dönme hareketini yaparken, kesici takım da iş parçasına yaklaşma ve iş parçasından uzaklaşma hareketini yapar.

Torna tezgahlarında, alın tornalama, kaba tornalama, ince tornalama, diş açma, delik delme, kanal açma gibi tornalama işlemleri yapılabilir [27,28].



Şekil 2.18 Torna tezgahı [29]

2.7.1.1 Üniversal Torna Tezgahları

Üniversal torna tezgahlarında alın tornalama, dış çap tornalama, iç ve dış vida açma, kanal açma, delik delme, kesme, taşlama, kılavuz çekme vb. pek çok talaşlı işlemleri yapmak mümkündür. Pek çok tornalama işlemlerini yaptıklarından dolayı endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tezgahları otomatik olarak çalıştırabilmek için deneyim, tecrübe, bilgi ve ustalık gerektirir [30].



Şekil 2.19 Universal torna tezgahı [18]

2.7.1.2 Dik (düşey) Torna Tezgahları

Dik torna tezgahları, normal tezgahlara bağlanamayan büyük çaplı, büyük ebatlara sahip ağır iş parçalarının tornalanmasında kullanılan tezgahlardır. Bu tezgahların iş mili düşey konumdadır.

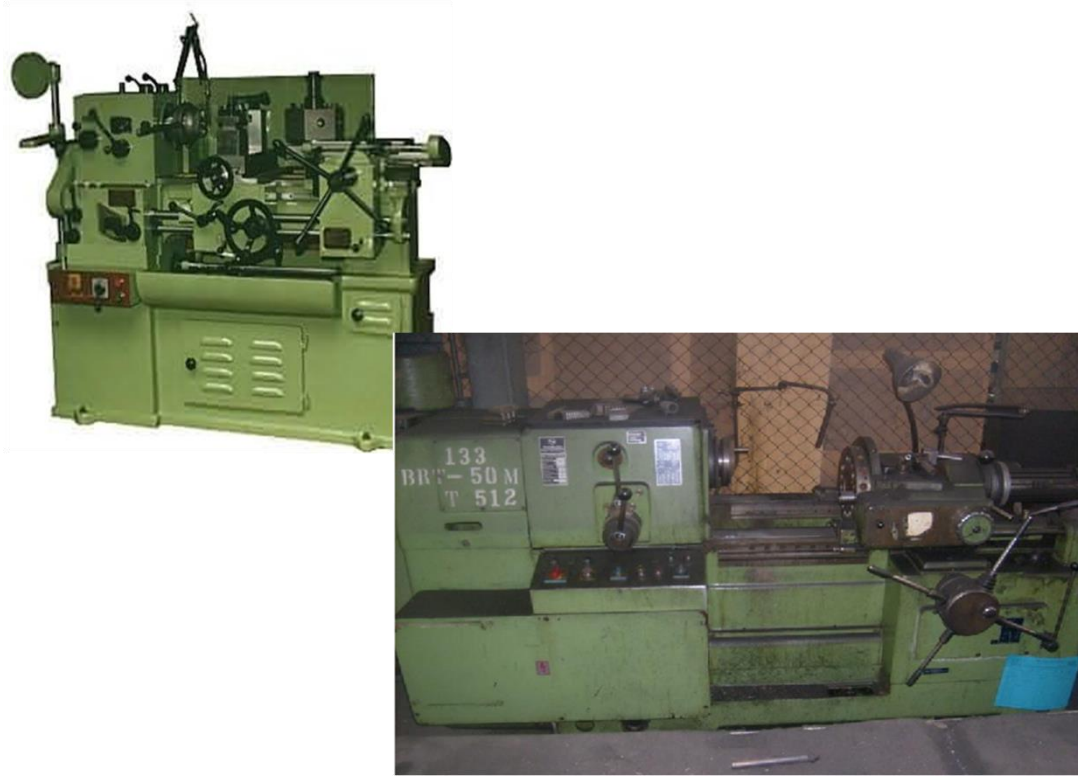


Şekil 2.20 Dik (düşey) torna tezgahı [18]

2.7.1.3 Revolver Torna Tezgahları

Revolver torna tezgahları, seri imalat yapan torna tezgahlarıdır. Çok sayıda, aynı (özdeş) iş parçalarının imalatında kullanılır. Tezgah mili durdurulmadan iş parçaları bağlanabildiğinden verimleri yüksek olan tezgahlardır. Revolver adı verilen başlığa aynı

anda birden fazla kesici takım bağlamak mümkündür. Bu tezgahların revolver başlığı yatay veya düşey konumda olabilir. Yarı otomatik tezgahlardır [31] .



Şekil 2.21 Revolver torna tezgahları [18]

2.7.1.4 Otomat Torna Tezgahları

Otomat torna tezgahları vida, somun gibi standart iş parçalarının imalatında kullanılan tezgahlardır. Bu tezgahlar çubuk sürme özelliğine sahiptirler. Tezgah, sırasıyla çubuğu dayamaya kadar ileri sürerek iş parçasını işler. Başlığa birden fazla kesici takım bağlanabilir. Başlıktaki bu kesici takımlar, sırasıyla talaş kaldırma işlemini yaparlar. Verimleri yüksek olan tezgahlardır [32].

Otomat torna tezgahlarının yararları şu şekilde sıralanabilir;

- a) Zamandan tasarruf sağlar
- b) İşçilikten tasarruf sağlar
- c) Fire kaybı azdır
- d) İş parçaları ekonomik olarak imal edilir

e) Kaliteli iş parçaları imal edilir



Şekil 2.22 Otomat torna tezgahı [18]

2.7.1.5 Hava Tornaları

Bu torna tezgahlarına alın torna tezgahı veya çap torna tezgahı da denilir. Kasnaklar, volanlar, dişli çarklar gibi büyük çaplı iş parçalarının tornalanmasında kullanılır. Bu tezgahların fener mili ve gövdesi ayrı ayrıdır. Bu tezgahlarda iş parçasının çapı ayna ile aynı hizaya gelebilmesi için atölye zemini kazılır ve iş parçası, yarı zemine açılan çukurda döner [33].



Şekil 2.23 Hava tornaları [18]

2.7.1.6 Ağır İş Torna Tezgahları

Ağır iş torna tezgahları, normal torna tezgahlarına bağlanamayan iş parçalarının tornalanmasında kullanılır. Boyları uzun ve çapları büyük olan iş parçalarının tornalanmasında kullanılırlar [34].



Şekil 2.24 Ağır iş torna tezgahları [18]

2.7.1.7 Sıvama Torna Tezgahları

Bu tezgahlar, alüminyum malzemesinden, mutfak eşyalarının sıvama yöntemi ile imal edilmesinde kullanılır.



Şekil 2.25 Sıvama torna tezgahları [18]

2.7.1.8 Masa Tipi Torna Tezgahları

Bu tip torna tezgahları daha çok küçük çaplı, küçük boyutlu iş parçalarının imalatında kullanılır. Tezgah boyutları ve dolayısıyla tornalanacak iş parçalarının boyutları küçük olduğu için bu tezgahlar, masa üzerine monte edilerek çalıştırılır. Masa üzerine monte edilerek çalıştırıldıkları için bu tezgahlara masa tipi torna tezgahı denilmektedir.



Şekil 2.26 Masa tipi torna tezgahları [18]

2.7.1.9 Kam Torna Tezgahları

Bu tezgahlar, sadece kam millerinin tornalanmasında kullanılırlar. Kam milleri, motorların giriş ve çıkış sübaplarına kumanda ederler. Bu tezgahlarda başlığa çok sayıda kesici takım bağlanabilir. Bu tezgahtaki kesiciler (torna kalemleri), kopya masterını takip ederek iş parçalarını şekillendirirler. Bu tezgahlarda, sadece kam milleri imal edildiği için fener mili basit olarak yapılmıştır.



Şekil 2.27 Kam torna tezgahı [18]

2.7.1.10 Kopya Torna Tezgahları

Bu tezgahlar, tek tip (özdeş) iş parçalarının seri imalatında kullanılır. Takım ucu, kopya masterını takip ederek parçaya şekil verir. Kesici uçlar, hidrolik güç ile çalışırlar. Bu tezgahlarda, karmaşık iş parçalarının imalatı yapılabilir.



Şekil 2.28 Kopya torna tezgahı [35]

2.7.1.11 Elektronik (CNC) Torna Tezgahları

Bu tezgahların diğeri ismi Computer Numerical Control yani Bilgisayar Destekli Kontrol'dur. Takım tezgahlarına bir bilgisayar ünitesi eklenerek, tezgah bu bilgisayar ünitesi tarafından kontrol edilir. CNC torna tezgahları harf, sayı ve sembollerden meydana gelen ve belirli bir mantığa göre çalışan komutlar yardımı ile çalışır. Tezgahın Merkezi İşlem Birimi (CPU) tarafından çözünerek anlamlı hale gelen bu veri blokları, tezgahın ilgili birimine birer talimat olarak gönderilir. Tezgahın ilgili birimi, bu talimatlar doğrultusunda çalışır [36,37].

CNC torna tezgahlarında temel olarak iki eksen vardır. Bunlar X ve Z eksenleridir. Z eksenini, iş parçası ve fener mili ile aynı eksenlidir. Kesici takımın torna aynasından uzaklaştığı yönde Z (+), kesici takımın torna aynasından yaklaştığı yönde Z (-) işaretlidir. X eksenini ise iş parçası çapına karşılık gelen eksenidir. Kesici takımın iş parçası ekseninden uzaklaştığı yönde X (+), iş parçası eksenine yaklaştığı yönde X (-) işaretlidir. CNC torna tezgahlarında diğeri bir eksen vardır. Bu da C eksenidir. C eksenini bazı frezeleme işlemleri yapmak içindir [38,39].

CNC torna tezgahları ile kısa zamanda çok iş parçası imal edilebilir, zamandan, işçilikten, maliyetten, fire kaybindan, enerjiden büyük tasarruf sağlar. Bu tezgahlarla yüksek ölçü tamlığında ve yüzey kalitesinde iş parçaları imal edilebilir. Tezgahın bilgisayar ünitesi, yüzlerce iş parçası programını saklayabilecek kapasitededir. İmal edilen iş parçalarının programını bilgisayar ünitesinde saklayabilir, daha sonra aynı iş parçası imal edilmek istendiği zaman tekrar program yazıp zaman kaybetmeye gerek kalmadan aynı program kullanılabilir. Seri imalata başlamadan önce simülasyonu gerçekleştirilebilir. Herhangi bir hata durumunda ilgili satıra gidip, hata düzeltilebilir [40,41].



Şekil 2.29 CNC torna tezgahı [42]

2.7.1.12 Elektronik (CNC) Torna Tezgahlarının Avantajları

CNC torna tezgahları, son derece üstün özelliklere sahip tezgahlardır. Konvansiyonel takım tezgahlarına göre şu avantajları sahiptir.

- Tezgahın kontrol ünitesine yüklenmiş olan iş parçası programları burada saklanır. Tezgahın kontrol ünitesinde hafızaya alınan bu programlar, buradan çağrılarak tekrar kullanılabilir.
- Tezgahın kontrol ünitesinin hafızasına yüzlerce iş parçası programı depolanabilir. Elektrik kesildiğinde veya tezgahın enerjisi kapatıldığında iş parçası programları hafızada kalır.
- İmalat esnasında, iş parçası ölçülerinde herhangi bir hata olması durumunda iş parçası programının ilgili satırına gidip hata düzeltilebilir.
- Hafızadaki iş parçası programı üzerinde değişiklik yapılması son derece kolaydır. İş parçası programı üzerinde hatalar düzeltilebilir, yeni eklemeler ve düzenlemeler yapılabilir.
- Çevrim (döngü) fonksiyonları, iş parçası programlarını önemli derecede kısaltır. Alın, silindirik, konik tornalama, vida açma gibi sık kullanılan çeşitli işlemler

tezgahın hafızasında saklıdır. Tezgahın kontrol ünitesi, çevrim için girilen parametrik değerleri hesaplayarak, çevrimin gerçekleştirilmesini sağlar.

- Alt programlar, iş parçası programlarını önemli ölçüde kısaltır. Bir iş parçasının talaşlı şekillendirilmesinde tekrar eden kısımlar olabilir. Bu kısımlar için programın tekrar yazılması yerine alt program yazılırsa program kısalır.
- Seri imalata başlamadan önce tezgahın kontrol ünitesi ekranında iş parçasının simülasyonu görülebilir. Herhangi bir hata varsa simülasyonda görülebilir. Simülasyon ile iş parçası programındaki hatalar düzeltilebilir. İmalat hatalarının önüne geçilmiş olur.
- Tezgahtan bilgisayara, bilgisayardan tezgaha program transferi yapılabilir. Bilgisayarda hazırlanan iş parçası programları, tezgahın kontrol ünitesi hafızasına gönderilebilir.
- CNC torna tezgahlarında seri imalat yapılabilir. İş parçaları daha kısa sürede imal edilebilir. İş parçası imalat süreleri daha kısadır. Bu nedenle CNC tezgahlarla az zamanda çok imalat yapılabilir. Verimleri yüksek tezgahlardır.
- CNC tezgahlarında imal edilen iş parçalarının yüzey kaliteleri ve ölçü hassasiyetleri yüksektir.
- Zamandan tasarruf sağlar. İmalatta çok önemli olan zaman kayıpları asgariye indirilir.
- Kesici takımları manuel olarak değiştirmeye gerek yoktur. Kesici takım değiştirmeler programlandıktan sonra tezgah kesici takım değiştirmelerini otomatik olarak kendisi yapar.
- CNC tezgahlarında, tezgah arızaları kontrol ünitesi ekranında görülebilir. Herhangi bir arıza durumunda tezgahın kontrol ünitesi “error” mesajını verir. Buradan hatanın neden kaynaklandığı görülebilir.

- CNC tezgahlarına bağlanmış olan kesici takımların, çap, uzunluk, boy ve uç radyüs ölçüleri birbirinden farklıdır. Kesici takım bilgileri kontrol ünitesine girilir. Kesici takım bilgileri takım kütüphanesine kayıt edilir. Tezgahın kontrol ünitesi, kesici takım bilgilerine göre gerekli hesaplamaları yaparak kesici telafilerini gerçekleştirir. İş parçalarının tam ölçülerinde çıkması kesicilerin boyut farklarını tezgahın kontrol ünitesi kendisi hesaplar. Kesici uç aşınması durumunda, tezgahın kontrol ünitesi telafileri kendisi yapar. Bu şekilde iş paçası tam ölçüsünde imal edilmiş olur.
- İmalat esnasında kesici takım kırıldığı zaman aynı kesici takımdan bulunmazsa farklı çaptaki kesici takım ile imalata devam edilir. Bunun için kesici takım bilgilerinin saklandığı kesici takım kütüphanesinin ilgili satırında yeni kesici takım bilgilerinin girilmesi yeterlidir.
- Zamandan, işçilikten, fire kaybindan, maliyetten, enerjiden tasarruf sağlar.

2.7.1.13 Elektronik (CNC) Torna Tezgahlarının Dezavantajları

CNC takım tezgahlarının pek çok üstünlükleri, avantajları olmasına karşın bu tezgahların dezavantajları da vardır. Bu dezavantajları şu şekilde sıralayabiliriz.

- İlk yatırım maliyeti pahalı olan tezgahlardır. Tezgah fiyatları yüksektir.
- Tezgahların çalışma saat ücretleri yüksektir.
- Hassas tezgahlar olduklarından dolayı daha titiz bakım ve kullanım gerekir.
- Kesme hızları yüksek olduğundan dolayı kaliteli kesici takımların kullanılması gerekir.
- Günlük, aylık, yıllık gibi bakımları yetkili ve uzman kişiler tarafından yapılmalıdır.
- Herhangi bir arıza durumunda, teknik servisi çağırarak gerekir. Teknik servis ücreti, firma için bir ek maliyettir.
- Yedek parçaları pahalı olan tezgahlardır. Tezgahları itinalı ve titiz bir şekilde kullanmak gerekir. Tezgah, hor kullanılmamalıdır.
- Bu tezgahlarda imalat yapacak nitelikli elemanlara ihtiyaç vardır.

2.8 Sementasyon İşlemi

Sementasyon işlemi, sanayide en yaygın olarak uygulanan yüzey sertleştirme işlemidir. Sementasyon işlemi ile çelik yüzeyine belli bir derinliğe kadar karbon verilir. İşlem % 0.20'den daha az karbon içeren, düşük karbonlu çeliklere uygulanır. Buradaki amaç; çelik yüzeyine karbon (C) yayındırarak, yüzeyin çelik miktarını istenilen düzeye çıkarmaktır. İşlem 930 °C – 950 °C sıcaklıkta gerçekleşir [43].

Sementasyon işlemi sonucunda parçanın yüzey sertliği, aşınma direnci ve yorulma dayanımı artar. Malzemenin iç yapısında yumuşak, kolay şekil alabilen, tok bir yapı elde edilir. Malzemenin yüzeyi sert, iç yapısı yumuşak ve tok bir yapı kazanır [44].

Bu işlem, değişik karbon yayındırma yöntemleri ile yapılabilir. Bu yöntemler;

- a) Kutu sementasyon (katı ortamda sementasyon)
- b) Tuz banyosunda sementasyon
- c) Gaz ortamda sementasyondur.

2.8.1 Tuz Banyosunda Sementasyon

Tuz banyosu yönteminde, karbon verici olarak sodyum siyanür (NaCN) veya potasyum siyanür (KCN) tuzları kullanılır. Sementasyon derinliğine ve sementasyon sıcaklığına göre tuz seçimi yapılır.

İki çeşit tuz vardır:

1- İnce sementasyon derinliği veren tuzlar. Bu tuzlar 840 °C – 900 °C sıcaklığında çalışır. Tuz banyosundaki siyanür miktarı % 20'dir. Bu tuz banyosunda 0.9 mm'ye kadar sementasyon derinliği elde edilebilir.

2- Sementasyon derinliğini arttıran tuzlar. Bu tuzlar, 900 °C – 950 °C yüksek

sıcaklıklarda çalışır. Tuz banyosundaki siyanür miktarı % 10'dur. Bu tuz banyosu

yönteminde 3 mm hatta 6 mm derinliğe kadar karbon verilebilir.

Sıvı sementasyon içerisine katılan malzemeler, sementasyon ocağında ergitilir. İş parçalarının bünyesine bu ergiyik tuz banyoları aracılığı ile karbon yayındırılır.

Tuz banyosuna sodyum siyanür (NaCN) ve potasyum siyanür (KCN) konulur. Ayrıca, karbonun parça yüzeyine geçişini hızlandırmak için aktifleştirici madde olarak baryum klorür veya stronsiyum klorür ya da her ikisi birden kullanılır [45].

Tuz banyosu yönteminde kullanılan siyanür tuzları kurutulmalı ve havalandırılmalıdır. Sodyum siyanür ve potasyum siyanür zehirli kimyasal maddelerdir. Sağlığa zararlıdır. Bu nedenle taşınması, giriş ve çıkışları çok sıkı kontrol edilmelidir. Siyanür tuzları kesinlikle su ile temas etmemeli ve atölyelerin tabanı su ile temizlenmemeli.

2.8.2 Ön Tavlama

İş parçalarını sıvı sementasyon işlemine tabi tutmadan önce bazı hazırlık çalışmaları yapılmalıdır. Tuz banyosu içinde, ısıtma sırasında, hızlı sıcaklık değişiminden dolayı parçada gerilmeler meydana gelebilir. Bu gerilmeleri önlemek veya azaltmak için numuneler ön tavlama işlemine tabi tutulmalıdır. Ön tavlama sıcaklıkları genellikle 300-600 °C arasındadır. Ayrıca, ön tavlama ile numunelerin üzerindeki nemin alınması gerekir [46].

2.8.3 Sıvı Sementasyonda İşlem Süreleri

Sıvı sementasyon yönteminde işlem süreleri, parçanın boyutlarına ve kalınlığına göre değişmektedir. Parçanın kalınlığına göre sıvı sementasyon süreleri seçilmektedir. Parçanın kalınlığı veya başka bir ifade ile sementasyon derinliği arttıkça, sementasyon süresi de artmaktadır. Aşağıdaki tabloda da görüldüğü gibi sementasyon derinliği arttıkça, sementasyon süresi de artmaktadır. 0.4-0.8 mm arasında bir derinliğe sahip iş parçasına karbon vermek istenildiği zaman işlem süresi 1 saat seçilmelidir. 2.2-2.4 mm arasında derinliğe sahip iş parçasına karbon vermek istenildiği zaman işlem süresi 8 saat seçilmelidir.

Çizelge 2.1: 930 °C sıcaklıkta, sementasyon süresi ve sementasyon derinliği [45]

Sertleşme derinliği (mm)	0.4-0.8	0.8-1.2	1.2-1.4	1.4-1.6	1.6-1.8	1.8-2.0	2.0-2.2	2.2-2.4
Sementasyon süresi (saat)	1	2	3	4	5	6	7	8

2.8.4 Sıvı Sementasyonun Olumlu Yönleri

- a) Tuz eriyikleri, ısıyı doğrudan parçaya verdiklerinden dolayı ısıtma süresi kısadır.
- b) Karbürizasyon işleminden sonra tuz banyoları içerisinde doğrudan sertleştirme yapmak mümkündür.
- c) İhtiyaç duyulması halinde uzun parçalar banyolara asılabilir.
- d) Parça yüzeyi, katı sementasyona göre daha pürüzsüzdür.

2.8.5 Sıvı Sementasyonun Olumsuz Yönleri

- a) Tuz eriyikleri zehirlidir. Bundan dolayı, tuz banyosunun üzeri grafitle örtülmelidir.
- b) Tuz banyosunun karbon değeri daima kontrol edilmeli ve yeni tuz takviyesi ile sabit tutulmalıdır.
- c) Tuz eriyiği, banyo kabının imal edildiği malzeme ile reaksiyona girer. Uzun süren çalışmalarda, banyo kabında korozyon meydana gelir. Bu da banyo kabının ömrünün kılmasına sebep olur.
- d) Yatırım masrafları yüksektir.

2.8.6 Tuz Banyosunun Karbon Değerini Kontrol Etme Ve Tuz Takviyesi

Tuz banyosu yönteminde, banyonun karbon değeri daima kontrol edilmelidir. Bu kontrol sonucuna göre banyonun karbon değeri, tuz takviyesi ile sabit tutulmalıdır. Parçanın tam karbürizasyonu için bu işlemin yapılması gerekir. Tuz banyosundaki karbon değeri doğrudan ve otomatik olarak yapılabilir.

Tuz banyosundaki karbon değerinin kontrolünü folye yöntemi ile de yapmak mümkündür. Bu yöntemde, % 0.1 alaşımsız çelikten 0.05 mm kalınlığındaki folyeler tuz banyosunun içine daldırılır ve sementasyon işlemine tabi tutulur. Folyeler, 930 °C’de 15 dakika banyo içinde kaldığında, tüm yüzey eşit karbon miktarına ulaşır. Folyelerdeki tuzlar temizlenir. Daha sonra karbon analizi yapılır. Bu analiz sonucuna göre banyoya tuz takviyesi yapılarak karbon değeri sabit tutulur.

2.8.7 Tuz Banyosunda Sementasyon Yapma

Tuz banyosu sementasyon yönteminde, iş parçaları, daha önceden hazırlanmış tuz banyolarının içerisine konulur. Sementasyon işlemi, yaklaşık 930 °C ila 950 °C arasında yapılır. İş parçalarının boyutlarına, kalınlığına ve karbon derinliğine bağlı olarak sementasyon süresi yukarıdaki tablodan seçilir. Bu tabloya göre sementasyon işlemi yapılır. Sementasyon işlemi sonunda iş parçalarının yüzeyi karbonca zenginleştirilir. Karbonca zenginleşen bu iş parçaları daha sonra soğutma ortamında soğutulur. Soğutma ortamı ya yağ veya su ile olabilir.

2.8.8 Tuz Banyosu Ocağının Yapısı

Tuz banyosu ocağının konstrüksiyonu çelik sac’tan yapılmıştır. Ocağın en dış kısmı 8 -10 mm çelik sac’tan yapılmıştır. Çelik sacın içinde, refrakter malzeme olarak tuğla ve izolasyon malzemesi ile örülmüştür. İzolasyon tuğlası ve battaniye denilen ısıya dayanıklı malzeme olabilir. Toplam duvar kalınlığı 25 cm’dir. Tuz banyosu ocağı, akaryakıt ile çalışmaktadır. Yakıt olarak fuel-oil kullanılmaktadır. Ocağın sıcaklığı, ısı kontrol sistemi ile izlenir. Termostat, termokupl ve özel kablodan oluşan bir sistem. Sıcaklık, termostattan otomatik olarak ayarlanabilir. Böylece ısı, hassas bir şekilde takip edilebilir.

TAGUCHI DENEY TASARIMI

3.1 Giriş

Son 30 yıl içinde makine, malzeme ve şekillendirmelerde uygun çalışma şartlarının araştırılmasında Taguchi deney tasarım yöntemi kullanılmaktadır. 1929'lerde ziraat ve tarımda denenerek başarılı sonuçlar alınması, kullanıldığı alanların genişlemesine sebep olmuştur. 1980'lerden sonra da şekillendirmelerde yoğun olarak kullanılmaktadır.

Taguchi deney tasarımında, faktör sayısı 3 ve düzey sayısı 2 olarak, A, B ve C faktörleri değişken olarak seçilerek, L8 dizisi elde edilip, 8 deneyle çalışma şartları optimize edilmektedir. Faktör sayısı k ile temsil edilmektedir. $k=3$ olduğu zaman kombinasyon sayıları 2^k formülü ile hesaplanabilir. $2^3=8$ kombinasyon bulunur.

A, B ve C olan üç faktörlü deneylerde kombinasyon sayıları, tam eşlendirme neticesinde $A \times B \times C = 2 \times 2 \times 2 = 8$ kombinasyon bulunur. Bundan dolayı, bu deneyler L8 Deneyi olarak adlandırılmaktadır.

Aşağıdaki tabloda 3 faktör (A, B, C faktörleri) ve bu faktörlere ait alt ve üst düzeyleri gösterilmiştir. Alt düzeyler eksi (-) ve üst düzeyler de artı (+) işaretleri ile temsil edilmektedir.

Çizelge 3.1 L8 Deneyi düzey kombinasyonları

A	B	C
-	-	-
-	-	+
-	+	-
-	+	+
+	-	-
+	-	+
+	+	-
+	+	+

3.2 L8 Dizayn Matrisi

Aşağıdaki L8 Dizayn Matrisi çizelgesinde A, B ve C ana faktörleri temsil etmektedir. AB, AC, BC ve ABC faktörleri ise ara etkileşimleri temsil etmektedir.

AB, AC, BC ve ABC kolonlarındaki etkileşim faktörlerinin işaretleri, ana faktörlerinin işaretlerinin çarpımı sonucu elde edilmiştir.

Örneğin; standart sıra 1'deki AB etkileşiminin işareti artı (+) çıkmıştır. Şöyle ki; A faktörünün işareti eksi (-) ve B faktörünün de işareti eksi (-) olduğundan, AB etkileşiminin işareti $(-).(-)=(+)$ bulunur.

Benzer şekilde; AC'nin işareti, A ve C faktörlerinin işaretlerinin çarpımı sonucu bulunmuştur: AC'nin işareti $(-).(-)=(+)$ bulunur.

ABC etkileşiminin işareti A, B ve C faktörlerinin işaretlerinin çarpımı sonucu bulunur. ABC etkileşiminin işareti $(-).(-).(-)=(-)$ olarak bulunur.

Çizelge 3.2 L8 dizayn matrisi

Standart Sıra	ETKİLER						
	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
1	-	-	-	+	+	+	-
2	-	-	+	+	-	-	+
3	-	+	-	-	+	-	+
4	-	+	+	-	-	+	-
5	+	-	-	-	-	+	+
6	+	-	+	-	+	-	-
7	+	+	-	+	-	-	-
8	+	+	+	+	+	+	+
Kolon No	1	2	3	4	5	6	7

İki düzeyli deneylerde, alt düzey ve üst düzey olmak üzere iki tane düzey vardır. Alt düzeyler eksi (-) ve üst düzeyler artı (+) ile gösterilir. Eksi (-) ve artı (+) işaretlerin yerine bazen 1 ve 2 sayıları da kullanılabilir.

3.3 Veri Değerleri

Çizelge 3.3 Veri değerleri

Standart Sıra	A	B	C	Gözlem Değeri, Y
1	-	-	-	285
2	-	-	+	360
3	-	+	-	346
4	-	+	+	350

5	+	-	-	366
6	+	-	+	317
7	+	+	-	359
8	+	+	+	361

Yukarıdaki çizelgeden, respons değişkeni Y'nin değerleri bulunabilir. Şu şekilde:

A faktörünün, respons değişkeni Y'i nasıl etkilediğini bulmak için Gözlem Değeri sütunundaki değerleri, A faktörünün alt ve üst düzeylerine göre dörder dörder gruplandırılır. Birinci grupta 285, 360, 346 ve 350 değerleri toplanıp, 4'e bölünür. Bulunan bu değer, A'nın alt düzey değerini yani A_1 değerini verir. İkinci grupta 366, 317, 359 ve 361 değerleri toplanıp, 4'e bölünür. Bulunan bu değer, A'nın üst düzey değerini yani A_2 değerini verir.

A faktörünün, respons değişkeni Y'i nasıl etkilediğini bulmak için, birinci gruptaki A_1 değerleri, ikinci gruptaki A_2 değerleri ile karşılaştırmak gerekir.

Alt düzeydeki $A_1 = (285+360+346+350)/4=1341/4=335.25$ bulunur.

Üst düzeydeki $A_2 = (366+317+359+361)/4=350.75$ bulunur.

Burada, A faktörünün alt düzeyinden, üst düzeyine geçirilmesi, respons değişkeni Y'nin ortalama değerinin 335.25'ten 350.75'e yükseltilmesini gerektirmektedir. Bu durumda, A faktörünün net ortalama etkisi, A_2 üst düzey ortalaması ile A_1 alt düzey ortalamasının farkıdır.

A faktörünün etkisi $A = A_2 - A_1 = 350.75 - 335.25 = 15.5$ olarak bulunur.

Aynı düşünceyle B faktörünün, respons değişkeni Y'ye olan etkisi hesaplanır. B faktörünün etkisinin hesaplanması için B'nin üst düzeyinin ortalaması ile alt düzeyinin ortalamasının karşılaştırılması gerekir.

Yukarıdaki çizelgeden B'nin alt düzeyine yani eksi (-) düzeyine karşılık gelen değerlerin ortalaması ile üst düzeyine yani artı (+) düzeyine karşılık gelen değerlerin ortalaması karşılaştırılıyor.

B faktörünün alt düzey değerlerinin ortalaması $B_1 = (285+360+366+317)/4 = 1328/4 = 332$ bulunur.

B faktörünün üst düzey değerlerinin ortalaması $B_2 = (346+350+359+361)/4 = 1416/4 = 354$ bulunur.

Burada, B faktörünün alt düzeyinden, üst düzeyine geçirilmesi, respons değişkeni Y'nin ortalama değerinin 332'den 354'e yükseltilmesini gerektirmektedir. Bu durumda, B faktörünün net ortalama etkisi, B_2 üst düzey ortalaması ile B_1 alt düzey ortalamasının farkıdır.

B faktörünün etkisi $B = B_2 - B_1 = 354 - 332 = 22$ olarak bulunur.

C faktörünün etkisi de benzer şekilde hesaplanır. Etki $C = C_2 - C_1 = (360+350+317+361)/4 - (285+346+366+359)/4 = 1388/4 - 1356/4 = 347 - 339 = 8$ bulunur.

Faktörler arası etkileşimlerin etkisi de benzer şekilde hesaplanabilir. AC etkileşiminin etkisini bulmak için;

Etki $AC = AC_2 - AC_1 = (285+346+317+361) - (360+350+366+359) = 1309/4 - 1435/4 = 327.25 - 358.75 = -31.5$ bulunur.

ABC etkileşiminin etkisi de benzer şekilde hesaplanabilir. ABC etkileşiminin etkisini hesaplamak için A, B ve C faktörlerinin işaretleri çarpılır. ABC etkileşiminin üst düzey ortalamasından, alt düzey ortalamasını çıkararak hesaplanır. Buna göre;

Etki $ABC = ABC_2 - ABC_1 = (360+346+366+361)/4 - (285+350+317+359)/4 = 1433/4 - 1311/4 = 358.25 - 327.75 = 30.5$ bulunur.

3.4 L8 Hesap çizelgesi

Çizelge 3.4 L8 Hesap çizelgesi

L8 HESAP ÇİZELGESİ															
		A		B		C		AB		AC		BC		ABC	
		KESME HIZI		TALAŞ DERİNLİĞİ		AYNA DÖNÜŞ HIZI									
Standart Sıra	Gözlem Değeri	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	285	285		285		285			285		285		285	285	
2	360	360		360			360		360	360		360			360
3	346	346			346	346		346			346	346			346
4	350	350			350		350	350		350			350	350	
5	366		366	366		366		366		366			366		366
6	317		317	317			317	317			317	317		317	
7	359		359		359	359			359	359		359		359	
8	361		361		361		361		361		361		361		361
TOPLAM	2721	1341	1403	1328	1416	1356	1388	1379	1365	1435	1309	1382	1362	1311	1433
SAYI	8	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
ORTALAMA	340,125	335,3	350,75	332,00	354	339	347	344,8	341,3	359	327,3	345,5	340,5	328	358,3
ETKİ		15,5		22,00		8,0		-3,5		-3,8		-5,0		30,5	
SIRA		5		6		4		3		2		1		7	

ETKİ	X	15,5	22,00	8,0	-3,5	-31,5	-5,0	30,5
SIRA	Y	5	6	4	3	1	2	7

3.5 L8 Hesap Çizelgesinin Doldurulması

L8 Hesap Çizelgesi, deney sonuçlarının analizi için kullanılır. Yaptığımız deney sonucunda elde ettiğimiz değerler, gözlem değerleri kolonuna yazılır. Gözlem kolonunun her satırındaki değer otomatik olarak program tarafından, o satırdaki boş hanelere kopya edilir. Her kolonun toplamı alınarak “toplam” satırı doldurulur. Her kolonun toplamı, sayı satırındaki rakamla bölünerek sonuç “ortalama” satırına işlenir. Son basamakta, faktörlerin ve etkileşimlerin etki değerlerini bulmak için, her ana kolondaki 2. kolonun ortalamasından, 1. kolonun ortalaması çıkarılır ve sonuç “ortalama” satırına yazılır.

3.6 Normal Olasılık Grafiğinin Çizimi

Normal Olasılık Grafiği'nin amacı; Çizelge 3.4 L8 Hesap Çizelgesi'ndeki etki satırındaki değerlerden hangilerinin istatistiksel olarak önemli olduğuna karar vermemiz, bize bir fikir vermesi için çizilir.

Normal Olasılık Grafiği'ni çizmek için, Çizelge 3.4 L8 Hesap Çizelgesi etki satırındaki değerlerini cebirsel olarak sırasına göre yazmamız lazım. En küçük değer yani en "eksi " değere 1 sıra numarası verilmelidir. Eksi değerlerden artı değerlere doğru sayılar sıralanır. Daha sonra sıralanan etki değerlerine 1'den 7'e kadar sıra numaraları verilir. Böylece en "eksi" değere 1, en "artı" değere ise 7 sıra numarası verilir.

Etki değerleri, Normal Olasılık Grafiği'nin yatay eksenine yazılır. Normal Olasılık Grafiği'nin dikey eksenine ise sıra numaraları yazılır. Normal Olasılık Grafiği'ne 7 etki değeri ve bunlara karşılık 7 sıra numarası grafiğe yazılır. Bu şekilde grafikte 7 nokta elde edilmiş olur. Daha sonra yatay eksenindeki etki değeri 0'a en yakın 3-4 nokta seçilir ve seçilen bu noktalardan geçmek üzere bir doğru çizilir.

Çizilen bu doğru, etki değerlerinin istatistiksel olarak önemini belirtir. İstatistiksel olarak önemli noktalar ya doğrunun solunda ya da doğrunun sağında yer alır. Doğru üzerinde yer alan etki değerlerinin istatistiksel olarak önemi yoktur. Doğru üzerinde yer almayan, doğrudan uzakta olan etki değerleri bizim için önemlidir ve bu değerler üzerinde duruyoruz. Yaptığımız deneylerin sonuçlarını bu değerlere göre analiz ediyoruz.

BÖLÜM 4

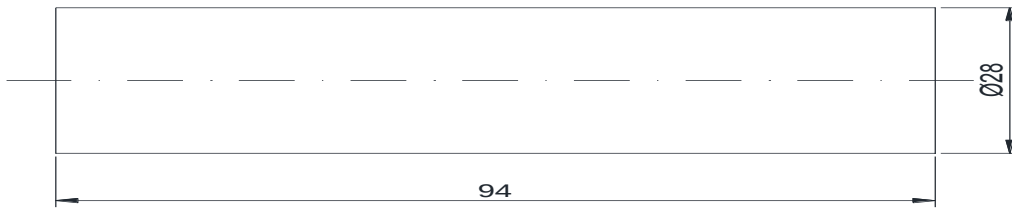
DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1 Giriş

Deneysel çalışma olarak lazer kesme makinasında kullanılan örs isimli parçanın talaşlı şekillendirilmesi yapılmıştır. Sementasyon çeliği malzemeden 28 mm çapındaki çubuklar, 94 mm boyda kesildikten sonra ön bir talaşlı işleme tabi tutulduktan sonra sementasyonla sertleştirilmekte ve serleştirmeden sonra tekrar talaşlı şekillendirilerek son bitirme işlemi uygulanmaktadır. Bitmiş üründe aranan en önemli özellik sertlik ve yüzeyin düzgünlüğü olmaktadır.

4.2 Deney Numunesi

Deneysel çalışmamızda, Şekil 4.1’de görülen 28 mm çapında ve 94 mm uzunluğunda, silindirik çubuktan yapılmış AISI/SAE 8620 sementasyon çeliği kullanılmıştır.



Şekil 4.1 Deney numunesi

4.2.1 Kimyasal Analizi

Deneysel çalışmamızda, çapı 28 mm ve boyu 94 mm olan, sementasyon ile 59 HRC'ye kadar sertleştirilen AISI/SAE 8620 çeliğinden iş parçaları kullanılmıştır. İş parçalarının kimyasal analizi Çizelge 2'de görülmektedir.

Çizelge 4.1'de deney numunesine ait ulusal ve uluslararası normları görülmektedir.

Çizelge 4.1 Deney numunesi normu [47]

MKE NORMU	DIN NORMU	GEREÇ Nr. SI	SAE/AISI NORMU
Ç 8620	-	-	8620

Çizelge 4.2 Deney numunesi kimyasal analizi [47]

% C	% Mn	% Si	% P	% S	% Cr	% Ni	% Mo
0.16	0.60	0.15	0.040	0.040	0.40	0.40	0.15
0.24	0.90	0.35	en çok	en çok	0.60	0.70	0.25

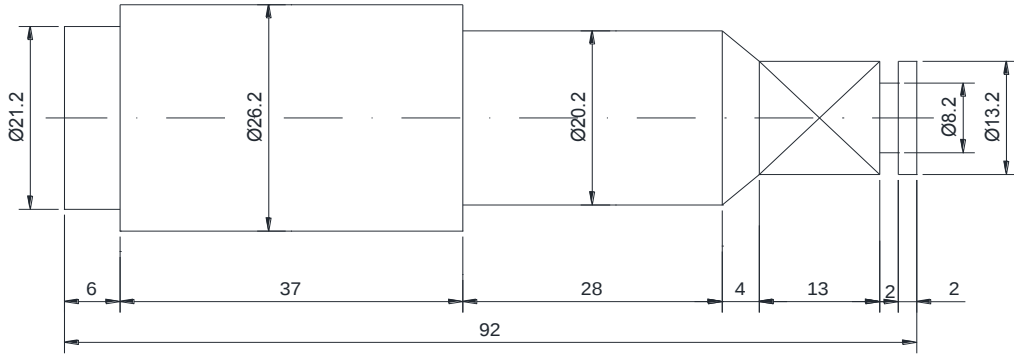
4.3 Numunenin Ön Talaşlı Şekillendirilmesi

Numuneler, PİKSAN CNC Firmasında Şekil 4.2'de görülen TAKISAWA TAIWAN marka tezgahta, Kennametal kesici takım, İscar karbür uç kullanılarak, 3000 dev/dak ve 0.20 mm/dev ilerleme hızı ve 260 m/dak kesme hızı ile Cimcool marka soğutma suyu kullanılarak ön talaş kaldırma işlemleri yapılmıştır.

Şekil 4.3'te ön talaşlı şekillendirme işlemine tabi tutulmuş numune görülmektedir. Sementasyon işleminden sonra nihai talaşlı şekillendirme için 0.2 mm tornalama payı bırakılmıştır.



Şekil 4.2 Numunelerin Piksan CNC Firması'nda ön talaşlı şekillendirilmesi [48]



Şekil 4.3 Ön talaş kaldırılmış numune

İş parçaları, İMES Sanayi Sitesi, Ümraniye'de bulunan Piksan CNC fabrikasında tornalandı. Tornalama işlemleri, taretli 12 istasyon, ayna çapı 8" (inç) ve 0.01 mm hassasiyetle talaşlı imalat yapan, c eksenli TAKISAWA TAIWAN CNC torna tezgahında yapıldı.

Deneysel çalışmamızda, AISI/ SAE 8620 sementasyon çeliği kullanılmıştır. Boyu 94 mm ve çapı 28 mm olan iş parçası torna tezgahında tornalandı. İş parçası, CNC torna

tezgahında tornalamadan önce bazı hazırlık çalışmaları yapıldı. Önce imal edilecek iş parçası malzemesinin cinsi, boyu, çapı belirlendi. Ayrıca, bu iş parçasından kaç adet imal edileceği, hangi kesici takımlarla hangi talaşlı işlemlere tabi tutulacağı önceden belirlendi. Önce talaşlı imalatla kullanılacak kesici takımlar seçildi. Uygun tornalama işlemine, uygun kesici takım seçildi.

İş parçalarının tornalanmasına başlamadan önce, CNC torna tezgahında, iş parçalarının imalatı için Fanuc programı ile imalat programı yazıldı. Deneysel çalışmada kullanılan iş parçaları, alın tornalama, kaba tornalama, finish (ince) tornalama ve anahtar ağzı açma işlemlerine tabi tutuldu.

Aşağıdaki adımlar takip edilerek, iş parçaları torna tezgahında tornalandı. Bu adımlar şunlardır:

1- Alın tornalama:

Aynanın devri 3000 dev/dak, ilerleme hızı 0.2 mm/dev ve kesme hızı da 260 m/dak seçilerek iş parçaları, alından 1 mm kaba olarak tornalandı.

Kaba tornalamada, WNMG 080408 İscar karbür uç kullanıldı.

2- Dış çap tornalama:

Aynanın devri 3000 dev/dak, ilerleme hızı 0.2 mm/dev ve kesme hızı da 260 m/dak seçilerek, iş parçaları alından 1 mm kaba olarak tornalandı.

Dış çap kaba tornalamada, WNMG 080408 İscar karbür uç kullanıldı.

3- Anahtar ağzı açma:

Çapı 12 mm, uç radyusu R2 olan parmak freze ile anahtar ağzı açıldı. Anahtar ağzı tornada işlenirken, tezgah freze modunda çalışır. Ayna devri 2000 dev/dak, ilerleme hızı 200 mm/dev ve kesme hızı da 75 m/dak seçilerek, parmak freze ile anahtar ağzı işlendi.

Bu şekilde, iş parçalarının anahtar ağzı tarafı yani birinci tarafı işlendi. Daha sonra iş parçaları, anahtar ağzı tarafından aynaya bağlanarak, işlenmeyen diğer taraf işlendi.

İş paçalarının diğer tarafı tornalanırken şu adımlar takip edildi. Bu adımlar şunlardır:

1- Alın tornalama:

Aynanın devri 3000 dev/dak, ilerleme hızı 0.2 mm/dev ve kesme hızı da 260 m/dak seçilerek, iş parçaları, alından 1 mm kaba olarak tornalandı.

Kaba tornalamada, WNMG 080408 İscar karbür uç kullanıldı.

2- Dış çap tornalama:

Aynanın devri 3000 dev/dak, ilerleme hızı 0.2 mm/dev ve kesme hızı 260 m/dak seçilerek, iş parçaları, alından 1 mm kaba olarak tornalandı.

Dış çap kaba tornalamada, WNMG 080408 İscar karbür uç kullanıldı.



Şekil 4.4 İş parçası tornalama işlemi (Piksan CNC Fabrikası)



Şekil 4.5 İş parçası tornalama işlemi (Piksan CNC Fabrikası)



Şekil 4.6 İş parçası tornalama işlemi (Piksan CNC Fabrikası)

4.4 Numunelerin Semente Edilmesi

Deneyisel çalışmamızda kullanılan AISI/SAE 8620 malzemesinden iş parçalarının sementasyon işlemine tabi tutulmadan önceki sertliği 22 HRC olarak tespit edilmiştir [43].

Ön talaş kaldırılan numuneler, Yıldız Isıl İşlem fabrikasında sıvı sementasyon işlemi ile semente edilmiş, sementasyon sonucu sertlik ortalama 59 HRC ve derinlik 1.2 mm elde edilmiştir.

Şekil 4.7’de numunelerin sıvı sementasyon işlemi görülmektedir.



Şekil 4.7 Numunelerin sıvı sementasyon işlemi

4.4.1 Ön Tavlama

İş parçaları, sıvı sementasyon işlemine tabi tutulmadan önce bazı hazırlık çalışmaları yapıldı. Tuz banyosu içinde, ısıtma sırasında, hızlı sıcaklık değişiminden dolayı parçada gerilmeler meydana gelebilir. Bu gerilmeleri önlemek veya azaltmak için numuneler ön tavlama işlemine tabi tutuldu. Ön tavlama sıcaklıkları genellikle 300-600 °C arasındadır. Ayrıca, ön tavlama ile numunelerin üzerindeki nem alındı.

4.4.2 Sıvı Sementasyon İşlem Basamakları

Ön tavlama işlemine tabi tutulan numuneler, aşağıdaki işlem basamakları takip edilerek sıvı sementasyon işlemine tabi tutuldu.

1- Numuneler, tel ile asma çubuklarına bağlandı.

2- Ön ısıtma ocağına konuldu. Numunelerin suyunun ve neminin kurutulması için ocakta, 400 °C'de en az 2 saat süreyle bekletildi. Su ve nem patlama yapar. Güvenlik açısından tehlikelidir.

3- Daha sonra, numuneler hemen asma çubukları ile uygun şekilde sementasyon ocağına konuldu.

4- Sementasyon adımları ve sertleştirme adımları başlatıldı.

a) Ocak 950 °C'ye geldiğinde 3 saat bekletildi.

b) Sonra sıcaklık 860 °C'ye düşürüldü. Burada amaç yüzey sertliğini arttırmak ve buhar fazını kısaltmaktır. Ocaktaki buhar fazı kısa olmalı. Buhar yüzeyde sertliği düşürür.

c) Numuneler, sıcaklık 860°C'ye düştüğü zaman ocaktan alınarak yağda soğutuldu. İş parçaların, uniform halde soğuması için belli bir süre bekletildi. Her 1 mm için 1 saat süre ile bekletildi.

d) İş parçaları yıkanmak üzere süzdürmeye (yağın süzdürülmesi) alındı. İş parçaları, delikli bir ızgarada yağdan süzüldü. Daha sonra, sıcak su ile yıkama ortamına alındı.

5- Yıkamadan sonra sertlik kontrolleri yapıldı. Sertlik 61±2 HRC olarak bulundu.

6- Malzemedeki kırılganlığı gidermek amacıyla 180 °C'de 2 saat olmak üzere meneviş işlemine tabi tutuldu. Havada soğumaya bırakıldı.

7- Tekrar sertlik ölçümü yapıldı. Sertlik 59 HRC olarak ölçüldü. Bu şekilde karbon emdirme ve sertleştirme işlemi tamamlandı.

4.4.3 Numunelerin Soğutulması

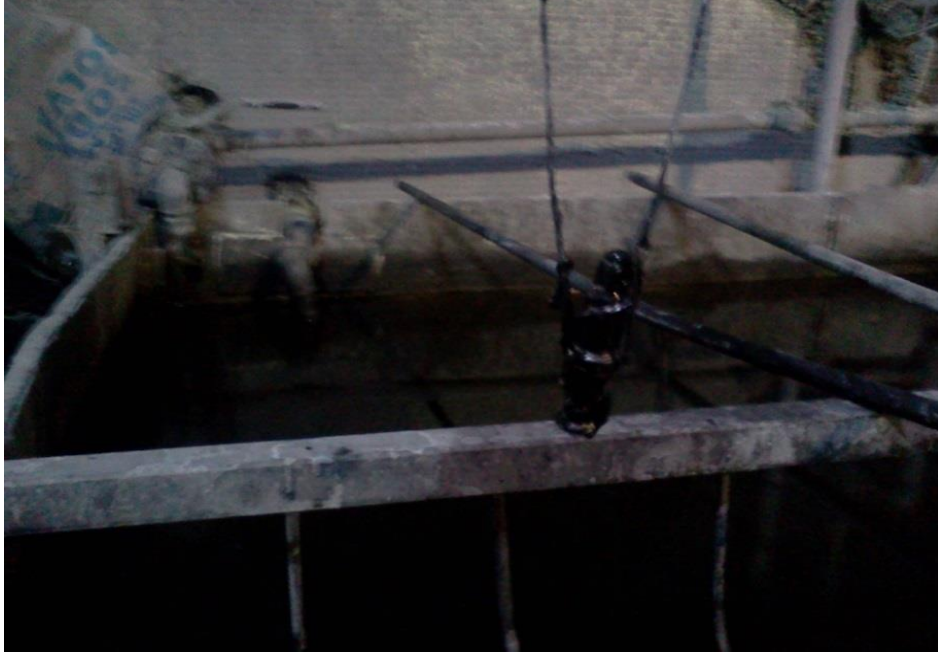
Numuneler, sıvı sementasyon işlemine tabi tutulduktan sonra yağ ortamında soğutuldu. Şekil 4.8'de soğutma ortamı görülmektedir. Şekil 4.9 ve şekil 4.10'da numunelerin yağ ortamında soğutulma işlemi görülmektedir.



Şekil 4.8 Soğutma işleminin yapıldığı yağ ortamı (Yıldız Isıl İşlem Fabrikası Rami)



Şekil 4.9 Numunelerin yağ ortamında soğutulması (Yıldız Isıl İşlem Fabrikası Rami)



Şekil 4.10 Numunelerin yağ ortamında soğutulması (Yıldız Isıl İşlem Fabrikası Rami)

4.4.4 Numune Sertliğinin Ölçülmesi

Numunelerin sertlikleri, Karl Frank Mannheim Ltd. marka sertlik ölçme cihazında ölçüldü.

İş parçalarının soğuma işlemi bittikten sonra sertlik ölçme cihazında, sertlikleri ölçüldü. Ölçüme başlamadan önce iş parçalarının yüzeyi temizlendi. Ölçüm sonucunda, iş parçalarının sertlik değerleri 59 HRC olarak ölçüldü.

Tam ve doğru bir ölçüm yapabilmek için sertliği ölçülecek numunelerin yüzeyinde kir, pas, yağ gibi yabancı maddeler olmamalıdır. Numunelerin yüzeyindeki pas, kir ve yağlar sülfürik asit ile temizlendi.

Numunelerin sertlikleri Rockwell C Yöntemi ile ölçüldü. Ölçme işlemine başlamadan önce kullanılacak uç seçildi. Ölçme işleminde, sertleştirilmiş çelikler için 120° elmas koni biçiminde uç kullanıldı. Ön yükleme kuvveti (P_0) 10 kg ve toplam yük (P) 150 kg kuvvet altında numunelerin sertlikleri ölçüldü.

Aşağıdaki işlem sırasına göre numunelerin sertlikleri ölçüldü. Bu basamaklar:

- 1- Numunelerin yüzeyi sülfürik asitle temizlendi ve zımpara ile parlatıldı.

2- Ölçüm sonuçlarının güvenilir olması için ölçüm oda sıcaklığında ve normal atmosfer basınçlı ortamda yapıldı.

3- Sertliği ölçülecek numunelerin cinsine ve kalınlığına göre basınç değeri ve batıcı ucun cinsi tablodan seçildi.

4- Numune ve batıcı uç, sağlam bir şekilde ölçüm cihazındaki yerine takıldı ve yükleme işlemine geçildi.

5- Sertliği ölçülecek numune, tabla üzerine konulduktan sonra malzemeye ön yükleme

Kolu vasıtası ile ön yük uygulandı. Bu şekilde baskı ucu malzeme üzerine oturur ve onu yerinde tutar. Ön yükleme kolunun çevrilmesi ile küçük kadradaki ibrenin kırmızı nokta hizasına gelmesi ile 10 kg'lık ön yüklemenin verildiği anlaşılır.

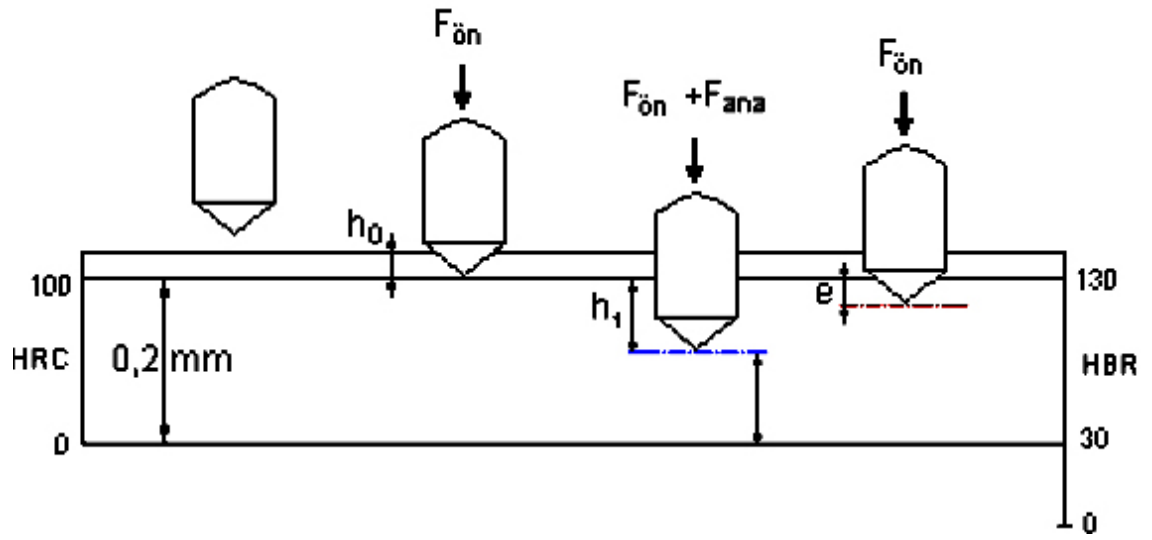
6- Siyah rakamlı bölüm üzerinde kadrans sıfıra getirildi ve daha sonra 150 kg'lık ana yük uygulandı.

7- Ölçü saatindeki ibrenin hareketsiz hale gelmesi için yaklaşık 15-30 saniye beklendi.

8- İbrenin durması ile ana yük kolu ters yönde çevrilerek ana yük kaldırıldı. Ana yükün

Kaldırılması ile harekete geçen kadradaki ibre durduktan sonra malzemenin sertlik değeri ölçüldü.

Güvenilir ve doğru bir ölçüm yapmak için ölçüm, numunenin en az üç farklı noktasına uygulandı.



Şekil 4.11 Sertlik ölçme deneyinin şematik gösterilişi [49]



Şekil 4.12 Numune sertliğinin ölçülmesi

4.5 Nihai Talaşlı Şekillendirme

Numuneler PİKSAN CNC Firmasında Şekil 4.2’de görülen TAKISAWA TAIWAN marka tezgahta Kennametal kesici takım, İscar karbür uç kullanılarak, 3000 dev/dak, 0.20

mm/dev ilerleme hızı ve 260 m/dak kesme hızı ile Cimcool marka soğutma suyu kullanılarak nihai talaş kaldırma işlemleri yapılmıştır.

Şekil 4.13'te nihai talaşlı şekillendirme işlemine tabi tutulmuş iş parçası görülmektedir.

İş parçaları, İMES Sanayi Sitesi, Ümraniye'de bulunan Piksan CNC fabrikasında tornalandı.

Tornalama işlemleri, tareti 12 istasyon, ayna çapı 8" (inç) ve 0.01 mm hassasiyetle talaşlı imalat yapan, c eksenli TAKISAWA TAIWAN CNC torna tezgahında yapıldı.

Ön talaşlı şekillendirmede, dış çapta bırakılan 0.2 mm pay tornalanarak, iş parçası nihai ölçülerine getirildi.

Deneyisel çalışmamızda, AISI/ SAE 8620 sementasyon çeliği kullanıldı. Boyu 94 mm ve çapı 28 mm olan iş parçası torna tezgahında tornalandı. İş parçası, torna tezgahında tornalamadan önce bazı hazırlık çalışmaları yapıldı. Öncelikle imal edilecek iş parçasının malzemesinin cinsi, boyu, çapı belirlendi. Bunun yanında, bu iş parçasından kaç adet imal edileceği, hangi kesici takımlarla hangi talaşlı işlemlere tabi tutulacağı önceden belirlendi. Talaşlı imalatla kullanılacak kesici takımlar seçildi. Uygun tornalama işlemine, uygun kesici takım seçildi.

İş parçasının tornalanmasına başlamadan önce, CNC torna tezgahında, iş parçasının imalatı için Fanuc programı ile imalat programı yazıldı. Deneyisel çalışmamızda kullanılan iş parçaları, alın tornalama, kaba tornalama ve finish (ince) tornalama işlemlerine tabi tutularak tornalandı.

Aşağıdaki adımlar takip edilerek, iş parçaları CNC torna tezgahında tornalandı. Bu adımlar şunlardır:

1- Alın tornalama:

Aynanın devri 3000 dev/dak, ilerleme hızı 0.15 mm/dev ve kesme hızı 260 m/dak seçilerek iş parçaları nihai ölçülerine getirildi.

İnce tornalamada, VCTM 040404 İscar karbür uç ile ince tornalama işlemi yapıldı.

2- Dış çap tornalama:

Aynanın devri 3000 dev/dak, ilerleme hızı 0.15 mm/dev ve kesme hızı 260 m/dak seçilerek iş parçaları nihai ölçülerine getirildi.

İnce tornalamada, VCTM 040404 İscar karbür uç ile ince tornalama işlemi yapıldı.

Bu şekilde, iş parçalarının anahtar ağzı tarafı yani birinci tarafı işlendi. Daha sonra iş parçaları, anahtar ağzı tarafından aynaya bağlanarak, işlenmeyen diğer taraf işlendi.

İş parçalarının diğer tarafı tornalanırken şu adımlar takip edildi. Bu adımlar şunlardır:

1- Alın tornalama:

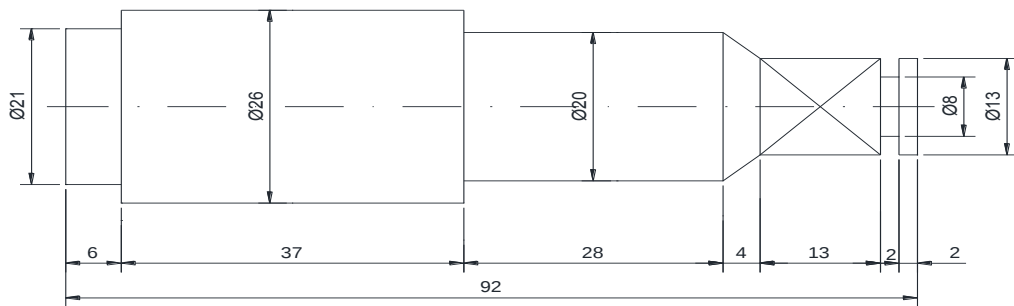
Aynanın devri 3000 dev/dak, ilerleme hızı 0.15 mm/dev ve kesme hızı 260 m/dak seçilerek iş parçaları nihai ölçülerine getirildi.

İnce tornalamada, VCTM 040404 İscar karbür uç ile ince tornalama işlemi yapıldı.

2- Dış çap tornalama:

Aynanın devri 3000 dev/dak, ilerleme hızı 0.15 mm/dev ve kesme hızı 260 m/dak seçilerek iş parçaları nihai ölçülerine getirildi.

İnce tornalamada, VCTM 040404 İscar karbür uç ile ince tornalama işlemi yapıldı.



Şekil 4.13 Nihai tornalanmış AISI/SAE 8620 sementasyon çeliği iş parçası

4.6 Deneyde Kullanılan Tezgah, Kesici Takım ve Karbür Uçlar

4.6.1 Torna Tezgahı

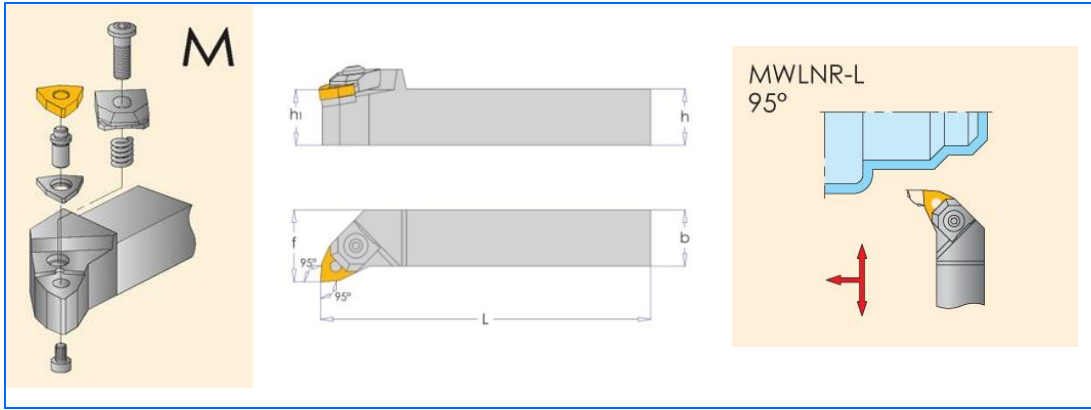
Deneyisel çalışmamızda kullandığımız numuneler, Piksan CNC Firması'nda, TAKISAWA TAIWAN marka torna tezgahında ön talaşlı ve nihai talaşlı şekillendirme işlemlerine tabi tutuldu.

Teknik özellikleri:

- Taret istasyon sayısı: 12 adet
- 8 inch ayna
- Fanuc kontrol ünitesi
- Maksimum tornalama çapı: 250 mm'den 450 mm'ye kadar
- Çubuk kapasitesi: Çap 52 mm'den çap 75 mm'ye
- Maksimum tornalama boyu: 300 mm'den 765 mm'ye kadar
- Eksenler: X, Z ve C eksenleri
- Hassasiyet: 0.01 mm
- Kullanılan soğutma suyu markası: Cimcool

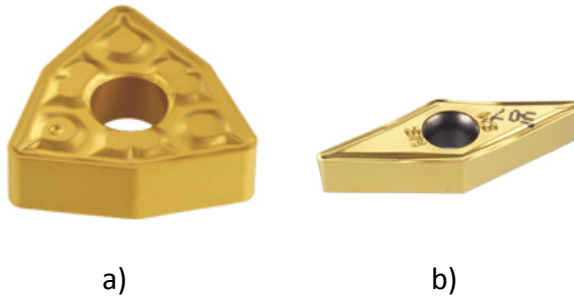
Tezgaha ait resim şekil 4.2'de gösterilmiştir [48].

4.6.2 Kesici Takım



Şekil 4.14 WNMG uç bağlanabilen torna kateri [50]

4.6.3 Karbür Uçlar



Şekil 4.15 a) WNMG b) VCMT karbür uçlar [51]

WNMG uçlar, kaba tornalamada kullanılan elmas uçlardır. Karbon ve alaşım çeliklerin, paslanmaz çeliklerin ve yüksek sıcaklığa dayanıklı alaşımların tornalanmasında kullanılmaktadır. Kalınlığı 4.76 mm ve uç radyüsü 0.8 mm.

VCMT uçlar, finish (ince) tornalamada kullanılan elmas uçlardır. Kalınlığı 4.76 mm ve uç radyüsü 0.4 mm'dir. Geniş aralıkta malzemelerin tornalanmasında kullanılmıştır.

4.7 Numunelerin Yüzey Düzgünsüzlüğünün Ölçülmesi

Çizelge 4.3 Numunelerin yüzey düzgünsüzlük değerleri

Numune	1. Ölçüm (μm)	2. Ölçüm (μm)	3. Ölçüm (μm)	Yüzey Düzgünsüzlüğü Ortalama Değer (Ra) (μm)
1	0.297	0.265	0.293	0.285
2	0.343	0.372	0.365	0.360
3	0.350	0.336	0.352	0.346
4	0.361	0.347	0.342	0.350
5	0.372	0.381	0.345	0.366
6	0.311	0.302	0.338	0.317
7	0.360	0.365	0.357	0.359
8	0.384	0.358	0.341	0.361

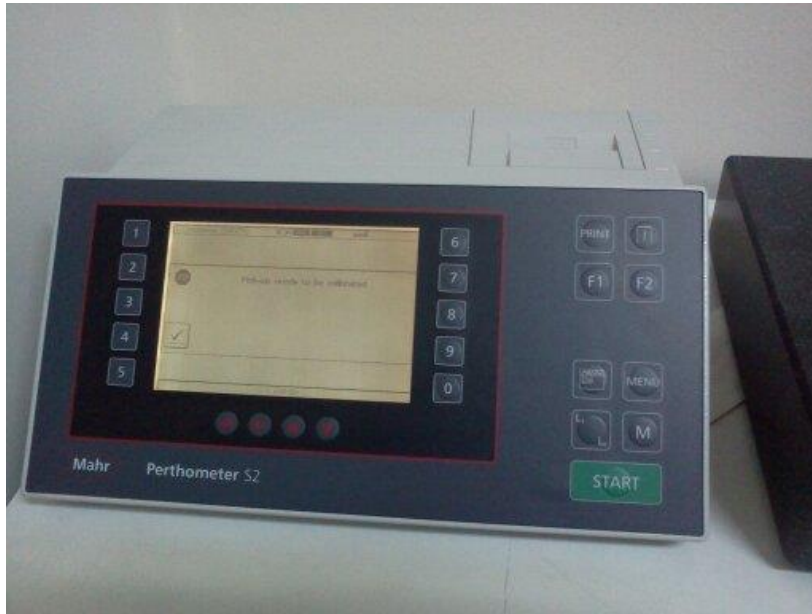
İş parçalarının yüzey pürüzlülükleri, YTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, döküm laboratuvarında bulunan elektronik yüzey ölçüm cihazı ile ölçüldü.

Her bir numune, iki farklı noktadan ölçüldü. Bu iki ölçüm değerlerin ortalaması alınarak, Ra ortalama yüzey pürüzlülük değerleri bulundu. Ortalama yüzey pürüzlülük değeri olan Ra μm olarak ölçüldü.

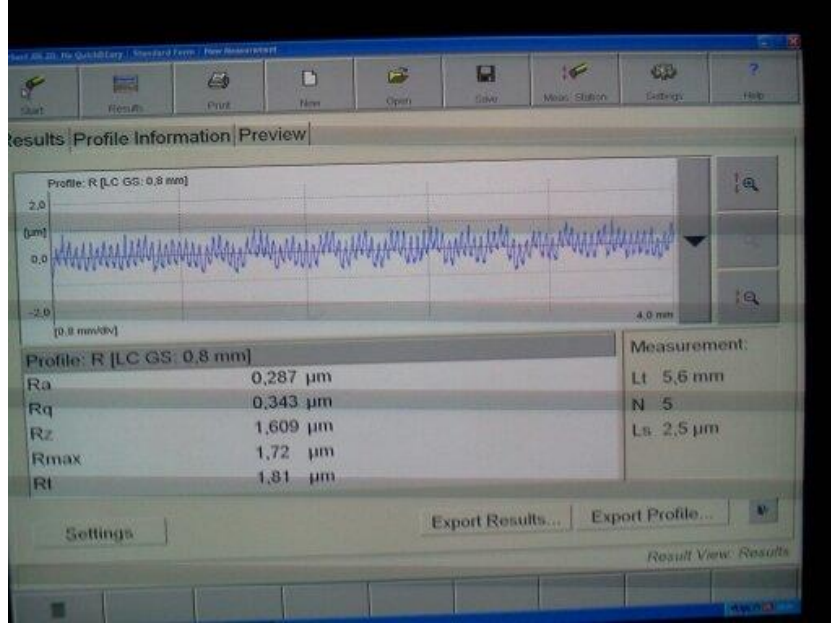
Yüzey pürüzlülük ölçümleri, Mahr Perthometer S2 markalı elektronik ölçüm cihazında yapıldı.



Şekil 4.16 Mahr Perthometer S2 cihazı ile numunenin yüzey ölçümü



Şekil 4.17 Mahr Perthometer S2 cihazı ile numunenin yüzey ölçümü



Şekil 4.18 Mahr Perthometer S2 cihazı ile numunenin yüzey ölçümü

4.8 Kesme Parametreleri

Deneysel çalışmamızda A, B ve C faktörleri ana faktör olarak belirlendi. A kesme hızı (m/dak) , B talaş derinliği (mm) ve C ayna dönüş hızı (dev/dak)'dır. AB, AC, BC ve ABC de etkileşim faktörleridir. Deneysel çalışmamızda, L8 Hesap Çizelgesi yardımı ile bu ana faktörlerin veya etkileşim faktörlerin hangisinin veya hangilerinin optimum yüzey düzgünlüğü için önemli olduğu ve hangilerinin önemsiz olduğu belirlenebilir.

Çizelge 4.4 Kesme parametreleri

Düzy	A Kesme Hızı (m/dak)	B Talaş Derinliği (mm)
Alt	260	0.20
Üst	300	0.30

4.9 Optimizasyon

Deneysel çalışmamızda, Excel yazılımı kullanılarak tablolar ve grafikler oluşturuldu. Excel programı, her türlü veriyi tablolar, grafikler ve listeler halinde tutmaya yarayan ve

bu verilerle istenilen hesaplamaları ve analizleri yapan bir uygulama programıdır. Excel, Windows altında çalışan bir elektronik tablola programıdır.

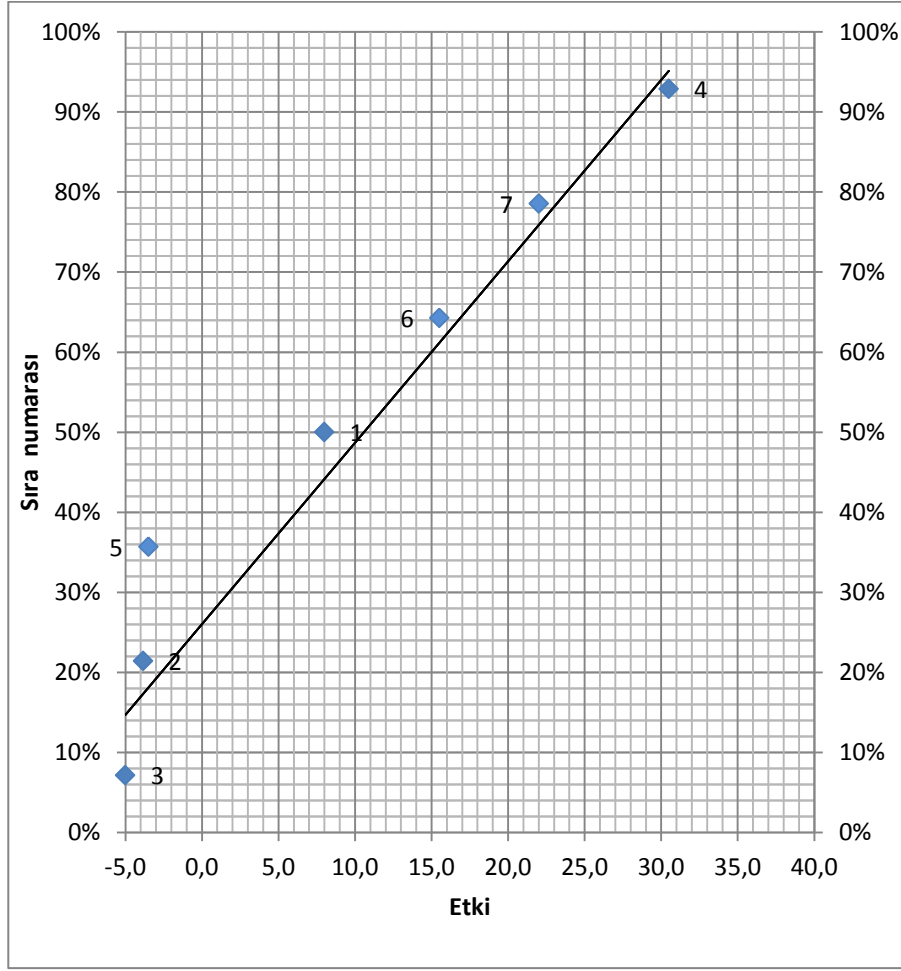
Excel ile grafikler çizebilir, raporlar, özetler hazırlanabilir. Veriler sıralanabilir, sorgulanabilir ve saklanabilir. Excel dosyalarının uzantısı “xls”dir.

Excel ile metinler yazılabilir, matematiksel işlemler yapılabilir, resim ve nesne ekleme işlemleri yapılabilir.

Excel ile matematiksel formüller ve tablolar oluşturulabilir. Verilerle hazırlanan tablolar, grafik sihirbazı ile kolayca grafiklere dönüştürülebilir. Grafikler arasında geçiş yapılabilir [52].

Numune sertliğinin artması bir taraftan talaş kaldırmayı zorlaştırırken, diğer taraftan da makrogeometrik olarak ısıt işlemin sonucu meydana gelen şekil değişikliklerinin giderilmesi için tercih edilen bir uygulamadır. Sertliğe rağmen talaş kaldırma ve talaş kaldırılan yüzeylerin düzgünlüğü istenen bir özelliktir. Bu bağlamda, sertlik sabit tutularak en küçük yüzey pürüzlülüğü en iyi olacağı için Taguchi deney tasarımı uygulanmıştır. Uygulamada talaşlı şekillendirme değişkenleri aynanın dönme hızı, talaş derinliği, ilerleme hızı ve kesme hızları değişken olarak seçilmiş ve L8 uygulanmıştır. Respons değeri olarak seçilen yüzey düzgünlüğü ile talaşlı şekillendirme değişkenleri EXCEL yazılımı ile aşağıda Çizelge 4.5’de görüldüğü gibi elde edilmiş talaş derinliği ile kesme hızının etkili olduğu Normal Olasılık Grafiği’nden elde edilmiştir.

Çizelge 4.5 Normal olasılık grafiği



4.10 Etkileşimin Yorumu

Yukarıdaki grafiğe baktığımız zaman ana etki olarak A ve etkileşim olarak da AB etkileşimi önemlidir. AB etkileşiminin öneminin tespit edilmiş olması bu etkileşimi oluşturan A ve B faktörlerinin birlikte dikkate alınmasını gerektirmektedir. A ve AB faktörlerinin dışında, diğer faktörler doğru üzerinde yer almaktadırlar. Sadece A ve AB faktörleri doğrunun dışında yer almışlardır. O zaman etkilerin istatistiksel önemini çizilen doğruya göre yorumlayacağız. Doğru üzerinde yer alan faktörlerin istatistiksel önemi yoktur. Dolayısı ile bunlar üzerinde durmayacağız. Doğrunun dışında kalan faktörler bizim için önemlidir. Dolayısı ile A, B ve AB faktörlerinin önemi üzerinde duracağız.

Yukarıdaki grafikte açıkça görüldüğü üzere, etki değeri "0"a en yakın 3-4 nokta dikkate alınarak, bu noktalardan uzaklığı en az olan bir doğru çizilir. Bu grafikte toplam 7

veriden 5,6 ve 3 sıra numaralı etki değerlerine sahip olan A, B ve AB etkilerinin istatistiksel olarak önemi ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 4.6 Etki ve olasılık değerleri

Sıra Numarası	Etki Değerleri	Olasılık Değeri
4	8,0	0,500
2	-3,8	0,214
1	-5,0	0,071
7	30,5	0,929
3	-3,5	0,357
5	15,5	0,643
6	22,0	0,786

Çizelge 4.7 Olasılık formülü

$$n = (i - 0,5) / m$$

Çizelge 4.8 AB Etkileşim çizelgeleri (a, b, c, d)

A	B			
	1		2	
1	285	360	346	350
	<u>322,5</u>		<u>348</u>	
2	366	317	359	361
	<u>341,5</u>		<u>360</u>	

a)

A	B	
	1	2
1	<u>322,5</u>	<u>348</u>
2	<u>341,5</u>	<u>360</u>

b)

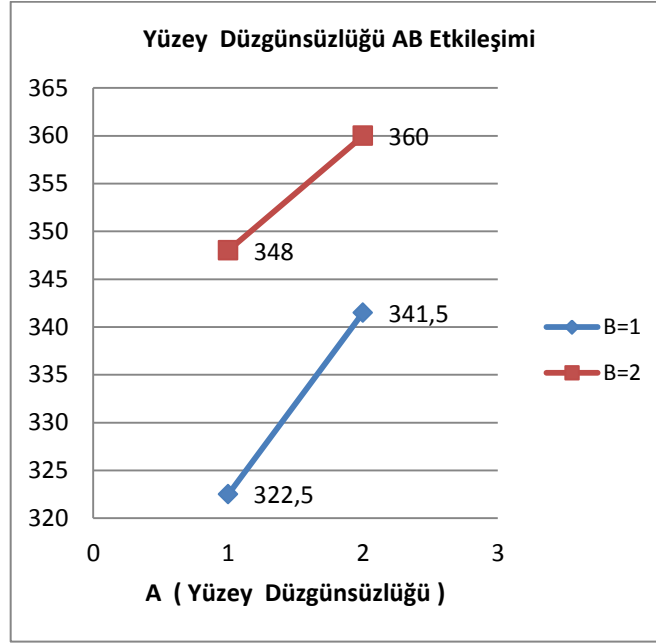
A	B=1 için
1	322,5
2	341,5

c)

A	B=2 için
1	348
2	360

d)

Çizelge 4.9 AB etkileşimi



4.11 AB Etkileşimin Yorumu

Çizelge 4.8'deki ortalama değerler, AB etkileşim grafiğini çizmek için kullanılır. AB etkileşim grafiği Çizelge 4.9'da verilmiştir. Y'nin ortalama değerleri, A'nın düzeylerine göre grafiğe işlenmiş ve B'nin düzeylerine göre etkileşim doğruları çizilmiştir. AB etkileşiminin yorumu şöyle yapılabilir. Önce, doğrular paralel olmadığı için bu grafik daha önce belirlenen sonucu, yani AB etkileşiminin önemli olduğu sonucunu teyit etmektedir. Ayrıca, doğrular zıt eğilimli oldukları için, AB etkileşimi negatiftir. Nitekim, Çizelge 3.4 L8 Hesap Çizelgesi'nden de AB etkileşiminin değeri eksi (-3,5) olarak hesaplanmıştır.

AB etkileşiminin yorumunu daha ayrıntılı yapabilmek için Y'nin ne tür bir kalite değişkeni olduğunun bilinmesi gerekir. Kalite değişkeninin türüne göre, en iyi A ve B düzey kombinasyonları belirlenir.

4.12 Yüzey Düzgünsüzlüğünün Optimizasyonu

Çizelge 4.8 a) şıkında A_1 ve B_1 , A_2 ve B_2 değerlerine ait ortalamalar verilmiştir. Aynı çizelgenin b şıkında A_1 ve B_1 için ortalama 322.5 nm, A_1 ve B_2 için ortalama 348 nm, A_2

ve B_1 için ortalama 341.5 nm ve A_2 ve B_2 için ortalama 360 nm bulunmuştur. Aynı çizelgenin c şikkında A_1 ve B_1 için ortalama değır 322.5 nm olarak hesaplanmıştır.

Benzer şekilde Çizelge 4.9 AB Etkileşimi Grafiği'nde de A_1 ve B_1 için ortalama değır 322.5 nm olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.8 ve Çizelge 4.9'dan çıkan sonuşlara göre yüzey düzgünsüzlüğü optimizasyonu için şu yorum yapılabilir. $A=1$ ve $B=1$ durumunda en iyi yüzey düzgünsüzlüğü elde edilebilir.

Çizelge 3.4 L8 Hesap Çizelgesi'nden de görüldüğü gibi yüzey düzgünsüzlüğünün en optimum olduğu değır $A=1$ ve $B=1$ olduğu durumdur.

Çizelge 3.4 L8 Hesap Çizelgesi'nden ana etki olarak A faktörü ve etkileşim olarak ta AB etkileşimi yüzey düzgünsüzlüğünün optimizasyonu için önemlidir.

Çizelge 4.4 Kesme Parametreleri Çizelgesi'nden de anlaşıldığı gibi, yüzey düzgünsüzlüğü için en optimum değırler $A=1$ ve $B=1$ olduğu değırlerdir.

Sonuç olarak; Çizelge 4.8'e göre $A=1$ ve $B=1$ durumunda bulduğumuz en küçük değır 322.5 nm'dir.

Taguchi üç tür kalite değışkeni tanımlamıştır. Bu tanımlardan birisi “ en küçük en iyi “ tanımıdır. Bulduğumuz 322.5 nm değır en küçük değırdır. Bulduğumuz en küçük değır, bizim için en iyi değırdır.

Optimum yüzey pürüzlürlüğü için büyük değırler, istenmeyen değırlerdir. Büyük değırler, yüzey düzgünsüzlüğünün kaba olduğunu gösterir. Bizim istediğimiz; kaba yüzey düzgünsüzlüğü değil. Bizim istediğimiz; optimum yüzey düzgünsüzlüğü için en küçük değırler, en iyi olduğu değırlerdir.

Yukarıdaki çizelge ve grafiklerden de anlaşılacağı gibi yüzey düzgünsüzlüğünün optimizasyonu için küçük kesme hızları ve küçük talaş derinliği ile çalışılması gerekmektedir. Kesme hızının 260 m/dak ve talaş derinliğinin de 0.20 mm olduğu değırler ile çalışıldığında, yüzey optimizasyonu sağlanmış olur.

SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1 Giriş

Talaşlı şekillendirildikten sonra sementasyonla yüzeyi sertleştirilmiş ve sertleştirme sonucu tekrar talaşlı şekillendirme yapılarak nihai ölçü ve boyuta getirilen AISI 8620 çeliğinden yapılmış ürünün kullanım amacına uygun hale getirilmesi amacıyla yapılacak şekillendirmelerde aranan önemli özelliklerden birisi de yüzeylerin pürüz değerleridir. Ortalama yüzey düzgünsüzlüğünün elektronik yüzey düzgünsüzlüğü ölçme cihazıyla belirlenen değerleri ile sementasyon derinliğine bağlı olarak değişen sertlik, sertleştirme öncesi yapılan kaba talaşlı işleme ile nihai talaşlı işlemenin kesme hızına, ilerleme hızına, talaş derinliğine, sertliğe ve kesici takımın sahip olduğu özelliklere göre değişim meydana gelmektedir. Bu değişimlerin bir optimumu araştırılarak deneysel tasarımıyla belirlenip, en düzgün yüzeyin elde edilebileceği optimum çalışma şartları belirlenmiştir.

5.2 Talaş Derinliğinin Yüzey Düzgünsüzlüğüne Etkisi

Talaş derinliği, yüzey düzgünsüzlüğünü etkileyen önemli bir parametredir. Talaş derinliği arttıkça, yüzey düzgünsüzlüğünde artış meydana geldiği, talaş derinliğinin azalması ile yüzey düzgünsüzlüğünde de azalma meydana geldiği görülmüştür. Serleştirilmiş AISI/SAE 8620 sementasyon çeliğinin talaşlı şekillendirilmesinde, en iyi yüzey düzgünsüzlüğünü elde etmek için düşük talaş derinliklerinde çalışılması gerektiği tespit edilmiştir.

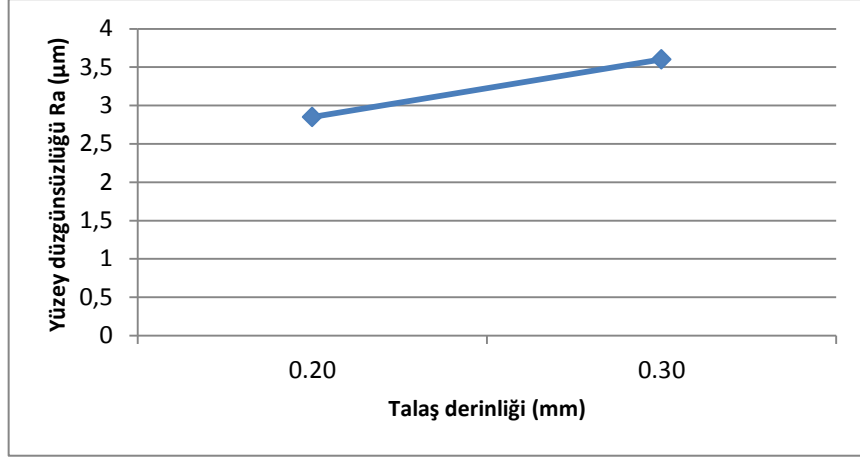
Deneyisel çalışmamızda, 28 mm çapında ve 94 mm uzunluğundaki AISI 8620 sementasyon çeliğinden iş parçası 0.2 mm ve 0.3 mm olmak üzere iki farklı talaş derinliğinde, tornalama işlemine tabi tutuldu. Şekil 5.1'den de görüldüğü gibi talaş derinliği 0.20 mm durumunda, yüzey düzgünsüzlüğü 0.285 μm olarak elde edilmiştir. Talaş derinliğinin 0.30 mm'ye artması ile birlikte yüzey düzgünsüzlüğü 0.366 μm elde edilmiştir. Böylece talaş derinliğinin 0.20 mm'den 0.30 mm'ye artması ile yüzey düzgünsüzlüğünde 0.081 μm artış meydana gelmiştir.

Şekil 5.1'den de görüldüğü gibi talaş derinliği ile yüzey düzgünsüzlüğü arasında doğru orantılı bir ilişki vardır. Talaş derinliği arttıkça yüzey düzgünsüzlüğünde de artış meydana geldiği görülmektedir.

Yüksek ilerleme ve yüksek talaş derinliğinin, yüzey düzgünsüzlüğü üzerinde son derece önemli etkisi bulunmaktadır. Düşük ilerleme ve düşük talaş derinliklerinde yüzey düzgünsüzlüğünün azaldığı fakat ilerleme ve talaş derinliğinin artması ile yüzey düzgünsüzlüğünün arttığı belirlenmiştir. Düşük talaş derinliğinde kesme hızının artmasıyla yüzey düzgünsüzlüğü azalmakta, ilerlemenin artışı ile yüzey düzgünsüzlüğü artmaktadır. Bununla birlikte, yüksek talaş derinliğinde, kesme hızının artışı ile yüzey düzgünsüzlüğü hemen hemen değişmeden kalmakta ve ilerlemenin artışı ile yüzey düzgünsüzlüğü keskin biçimde artmaktadır. Yüksek ilerleme ve yüksek talaş derinliğinde, yüzey düzgünsüzlüğünün önemli derecede etkilendiği görülmüştür [53].

Sertleştirilmiş AISI 52100 (60 HRC) iş parçasının tornalanmasında kesme hızının takım aşınması, yüzey düzgünsüzlüğü, kesme kuvvetleri ve kesme sıcaklıkları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deneyisel çalışma sonucunda, kesme hızının artması ile yüzey düzgünsüzlüğünün azaldığı ve ilerleme miktarı, talaş derinliğinin artması ile de yüzey düzgünsüzlük değerlerinin arttığı belirlenmiştir [4].

Ulvi ŞEKER ve arkadaşlarının yaptıkları deneyisel çalışmada talaş derinliğinin artması ile yüzey düzgünsüzlüğünün arttığı tespit edilmiştir [54].



Şekil 5.1 Talaş derinliğinin yüzey düzgünlüğüne etkisi

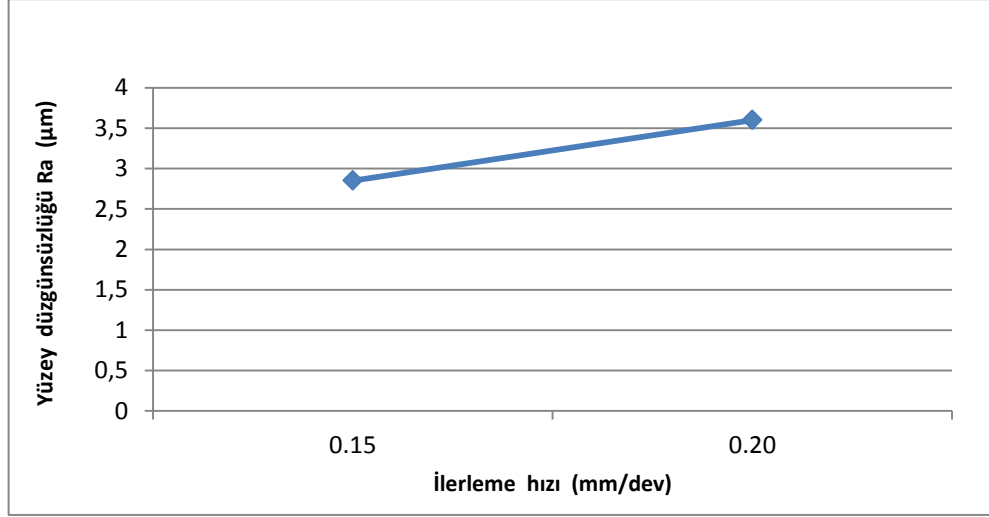
Talaşlı şekillendirme ile imal edilen iş parçalarının yüzey kalitesini, bir çok kesme parametresi etkilemektedir. Yüzey düzgünlüğünü azaltmak için; düşük talaş derinliği, düşük ilerleme hızı, yüksek kesme hızı parametreleri ile çalışılması gerektiği tespit edilmiştir [55].

5.3 İlerleme Hızının Yüzey Düzgünlüğüne Etkisi

Deneyisel çalışmamızda, sertleştirilmiş AISI 8620 sementasyon çelik malzemenin talaşlı şekillendirilmesinde yüzey düzgünlüğünün üzerinde ilerleme hızının önemli bir etkisi olduğu görülmüştür. Özellikle sertleştirilmiş çelik malzemelerin talaşlı şekillendirilmesinde yüksek ilerleme hızlarında yüzey düzgünlüğünün arttığı, ilerleme hızının azalması ile yüzey düzgünlüğünün azaldığı tespit edilmiştir.

Çalışmamızda, AISI 8620 sementasyon çeliğinden iş parçası, 0.15 mm/dev ve 0.20 mm/dev olmak üzere iki farklı ilerleme hızlarında, CNC torna tezgahında talaşlı olarak şekillendirilmiştir. Şekil 5.2’de görüldüğü gibi ilerleme hızı arttıkça, yüzey düzgünlüğünün de arttığı tespit edilmiştir. İlerleme hızının, yüzey düzgünlüğü üzerinde önemli bir etkisi olduğu görülmüştür.

Yapılan literatür araştırmasında da ilerleme hızının, yüzey düzgünlüğü üzerindeki etkisi incelenmiştir. Araştırma sonuçları, ilerleme hızının, yüzey düzgünlüğü üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermiştir.



Şekil 5.2 İlerleme hızının yüzey düzgünlüğüne etkisi

Yapılan deneysel çalışmalarda, ilerleme miktarının 0.16 mm/dev değerden 0.22 mm/dev değere yükseltilmesi ile yüzey düzgünlüğünün % 6-52, ilerleme miktarının 0.28 mm/dev değere yükseltilmesi ile de yüzey düzgünlüğünün % 22-85 oranında arttığı belirlenmiştir [56].

Yapılan deneysel çalışmada, kesme hızı, ilerleme miktarı, talaş derinliği parametrelerinin yüzey düzgünlüğü üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deneysel çalışma neticesinde, yüzey düzgünlüğünün talaş derinliğinden sonra en çok ilerleme hızından etkilendiği görülmüştür [53].

AISI H13 sıcak iş takım çeliği, sementit karbür kaplı kesici takımla farklı kesme parametreleri ile talaşlı şekillendirilmiş ve talaşlı şekillendirilme sonucu oluşan yüzeyin düzgünlüğü incelenmiştir. 0.10 mm/dev ve 0.15 mm/dev ilerleme değerlerinde elde edilen yüzey düzgünlük değerlerinin, 0.05 mm/dev ilerleme değerinde elde edilen yüzey düzgünlük değerlerinden yüksek olduğu görülmüştür [57].

AISI 304 paslanmaz çeliğin, 0.15 mm/dev, 0.20 mm/dev ve 0.25 mm/dev ilerleme hızı ile tornalanmasında yüzey düzgünlüğü incelenmiştir. İlerlemenin artması ile yüzey düzgünlüğünün de arttığı dolayısı ile ilerleme ile yüzey düzgünlüğü arasında doğru orantılı bir ilişki olduğu gözlenmiştir. Yüzey düzgünlüğünü iyileştirmek için, ilerleme değerlerinin düşürülmesi gerektiği sonucuna varılmıştır [54].

AISI H-13 çeliğinin tornalanmasında, kesme parametrelerinin yüzey düzgünsüzlüğü ve yanak aşınması üzerindeki etkileri, regresyon analizi ile incelenmiştir. Deneysel çalışma sonucunda, ilerleme miktarının azalmasıyla en iyi yüzey düzgünsüzlüğünün elde edildiği ve kesme hızının artmasıyla takım ömrünün azaldığı tespit edilmiştir [58].

Yapılan literatür araştırmalarında, yüzey düzgünsüzlüğünü iyileştirmek için ilerleme hızının düşürülmesi gerektiği belirtilmektedir [59,60,61].

AISI H10, AISI O2, AISI 420 çelik malzemeler, yüksek hız çeliği kesici takımlarla tornalanmış ve kesme parametrelerinin yüzey düzgünsüzlüğü üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deneysel çalışma sonucunda, yüzey düzgünsüzlüğü üzerinde en büyük etkiyi ilerleme hızının, sonra talaş derinliğinin ve en son olarak kesme hızının etki ettiği görülmüştür [62].

Normalleştirme ve su verme-menevişleme ısı işlemleri görmüş AISI 4340 çeliği, farklı kesme şartlarında tornalama ve taşlama işlemlerine tabi tutulmuş ve numunelerin yüzey düzgünsüzlüğü incelenmiştir. Deneysel sonuçlar, menevişlenmiş numunelerin yüzey düzgünsüzlüğünün, normalleştirilmiş numunelere göre daha düşük olduğu, yüksek devir ile düşük ilerlemelerde yapılan tornalama işlemiyle taşlama işleminden daha iyi yüzey kalitesi elde edildiğini göstermiştir [63].

Yüzey düzgünsüzlüğü, talaş derinliği, kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı olarak değişmektedir. Yüzey düzgünsüzlüğünü azaltmak için kesme hızının arttırılması ve ilerleme hızının düşürülmesi önerilmektedir [64,65].

Çelik malzemelerde sertliğin artması, talaş kaldırma işlemini zorlaştırmakta ve üretim hızını yavaşlatmaktadır. Şekillendirilecek malzeme sertliğine bağlı olarak kesme hızı, talaş derinliği, ilerleme hızı, dönme hızı vb. değişkenler etkili olduğu görülmüştür. AISI 4140 çeliğinin yüzey düzgünsüzlüğü, karbür kaplı kesici takım kullanılarak araştırılmış, kesici takımın ilerleme hızının etkili olduğu ve ikinci dereceden bir matematik modelle belirlenmiştir [12,66].

TiN kaplı kesici takımlarla talaşlı şekillendirme için kesme parametrelerinde yüzey düzgünsüzlüğünün oluşumunu gösteren bir model geliştirilerek yüzey düzgünsüzlüğünü etkileyen en önemli faktörün ilerleme hızı olduğu görülmüştür [8].

Kesici takımın talaşlı şekillendirme sürecinde maruz kaldığı kesme kuvveti ve uç yuvarlatması şekillendirilen malzemenin sertliğine bağlı olarak değişmektedir. Kesme hızı, ilerleme hızı, iş parçasının sertliği ve talaş derinliği, yüzey düzgünsüzlüğü üzerinde etkili olmaktadır. Farklı sertliklerde; 40, 45, 50 HRC'ye kadar sertleştirilmiş AISI H11 takım çeliği kullanılarak yapılan talaşlı şekillendirmede, yüzey düzgünsüzlüğünün değiştiği belirlenmiştir. Kesme kuvveti bileşenlerinin kesme derinliği ve iş parçası sertliği arasında da bir ilişki vardır. Kesici takımın ilerleme hızı ve iş parçası sertliğinin her ikisi de yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkili olduğu istatistik olarak belirlenmiştir [2,67].

AISI 304 paslanmaz çeliğin talaşlı şekillendirilmesinde, en iyi yüzey kalitesi, kesme hızının 75 m/dak, ilerleme değerinin 0.15 mm/dev ve talaş derinliğinin 1.5 mm olduğu kesme şartlarında elde edilebileceği belirlenmiştir. En kötü yüzey kalitesi ise kesme hızının 50 m/dak, ilerleme hızının 0.25 mm/dev ve talaş derinliğinin 2 mm olduğu kesme şartlarında elde edilmiş, yüzey düzgünsüzlüğü incelenmiştir. İlerlemenin artması ile yüzey düzgünsüzlüğü arasında doğru orantılı bir ilişki olduğu gözlenmiştir. Yüzey düzgünsüzlüğünü azaltmak için, ilerleme değerlerinin düşürülmesi gerektiği sonucuna varılmıştır [54,68].

AISI 1030 çelik malzemesi, 2 mm. sabit talaş derinliğinde, cnc torna tezgahında, talaşlı şekillendirme işlemine tabi tutulmuştur. Deneysel çalışmada, iş parçası 0.25 mm/dev, 0.30 mm/dev, 0.35 mm/dev, 0.40 mm/dev ve 0.45 mm/dev ilerleme hızı ve 100 m/dak, 200 m/dak ve 300 m/dak kesme hızları ile talaşlı şekillendirilmiştir. Deneysel çalışma sonucunda, 0.25 mm/dev'de 2.416 μ m, 0.30 mm/dev'de 3.81 μ m, 0.35 mm/dev'de 5.416 μ m, 0.40 mm/dev'de 6.38 μ m ve 0.45 mm/dev'de 7.603 μ m yüzey düzgünsüzlük değerleri elde edilmiştir. 0.25, 0.30, 0.35, 0.40 ve 0.45 mm/dev ilerleme hızı değerlerinde, yüzey düzgünsüzlüğü değerleri incelendiğinde, ilerleme değeri arttıkça, yüzey düzgünsüzlüğünün de arttığı görülmüştür. En yüksek ilerleme değeri olan 0.45 mm/dev'de elde edilen yüzey düzgünsüzlüğü 7.603 μ m. En düşük ilerleme olan 0.25

mm/dev'de yüzey düzgünsüzlüğü 2.416 μm olarak elde edilmiştir. İlerleme hızının %80 düşürülmesi ile yüzey pürüzlülüğünde % 215 iyileşme görülmüştür. İlerleme miktarı ile yüzey düzgünsüzlüğü arasında artan bir ilişki vardır. İlerleme miktarı arttıkça, yüzey düzgünsüzlüğü de artmaktadır [69].

Isıl işlem ile 62 HRC'ye kadar sertleştirilmiş olan AISI D 6 soğuk iş takım çeliğinden 70 mm çapında ve 700 mm boyunda iş parçaları, kübik bor nitrür (CBN) kesici takımlarla 50, 100, 150 m/dak kesme hızlarında, 0.1, 0.15, 0.20 mm/dev ilerleme hızlarında ve 0.2, 0.4 ve 0.6 mm talaş derinliği değerlerinde torna tezgahında talaşlı şekillendirilerek, yüzey düzgünsüzlüğü deneysel olarak incelenmiştir. Deney sonucunda, kesme hızının artması ile yüzey düzgünsüzlüğünde azalma meydana geldiği, talaş derinliği ile ilerleme hızının artışı ile yüzey düzgünsüzlüğünün arttığı, en kötü etkiyi ilerleme hızının yaptığı görülmüştür [70].

AISI O2 (90MnCrV8) soğuk iş takım çeliği, AISI H10 (X32CrMo33) kalıp çeliği ve AISI 420 (X42Cr13) sıcak iş takım çeliğinden iş parçaları HSS, kaplamasız WC, TiAlN kaplamalı WC, TiC+TiCN+TiN kaplamalı WC (ISO P25) kesici takımlarla torna tezgahında talaşlı şekillendirilerek, kesme parametrelerinin yüzey düzgünsüzlüğüne etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışmada, yüzey düzgünsüzlüğünü etkileyen en önemli parametrenin ilerleme hızı olduğu, daha sonra talaş derinliği ve en az etkiyi kesme hızının yaptığı sonucuna varılmıştır [71].

5.4 Kesme Hızının Yüzey Düzgünsüzlüğüne Etkisi

Deneysel çalışmamızda, kesme hızının, yüzey düzgünsüzlüğü üzerinde önemli bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. Çalışmamızda, sementasyon işlemi ile sertliği 59 HRC'ye yükseltilmiş AISI 8620 iş parçası, 260 m/dak ve 300 m/dak olmak üzere iki farklı kesme hızında CNC torna tezgahında talaşlı şekillendirme işlemine tabi tutulmuştur. Şekil 5.3'ten 260 m/dak kesme hızı durumunda, yüzey düzgünsüzlüğünün 0.285 μm olduğu, kesme hızının 300 m/dak olduğu durumda ise yüzey düzgünsüzlüğünün 0.366 μm olduğu görülmektedir. Kesme hızının artışı ile birlikte yüzey düzgünsüzlüğünün de arttığı görülmektedir.

Kesme hızının, kesme ilerlemesinin ve kesme derinliğinin yüzey düzgünlüğü üzerinde etkileşimli bir etkisi bulunmaktadır. Özellikle daha sert malzemelerin talaşlı şekillendirilmesinde, talaş derinliğinden sonra takım ömrünü ve iş parçası yüzey düzgünlüğünü en çok etkileyen faktörlerden biri kesme hızı olmaktadır.

Ç 1040 ve 38MnVS6 çelikleri, ısıtılmalara tabi tutulmuş ve farklı fazlara sahip yapılar elde edilerek, bu farklı yapıların sertlik ve işlenebilirliği araştırılmıştır. Farklı ısıtılmalarda neticesinde, malzeme sertliğinin yüzey düzgünlüğünü ve kesme kuvvetlerini önemli derecede etkilediği belirlenmiştir [72].

AISI 304 çeliğinin, kaplanmış sementit karbür kesici uçla işlenmesi sonucunda yüzey düzgünlüğü incelenmiştir. Deneysel çalışmada, artan kesme hızı ile belirli bir değere kadar yüzey düzgünlüğü ve kesme kuvveti azaldığı ancak bunda belirli değerden sonra artış olduğu görülmüştür [68].

64 HRC'ye kadar sertleştirilmiş AISI 52100 çeliğinin tornalanmasında, kesme hızı ve iş parçası malzemesinin sertliğinin kesici takım ömrüne ve kesme kuvvetlerine etkileri incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışma sonucunda, yüzey düzgünlüğüne etki eden önemli parametrelerin kesme hızı ve ilerleme miktarı olduğu belirlenmiştir [67].

Yapılan deneysel çalışmada, düşük kesme hızlarında yüzey düzgünlüğünün yüksek olmasının nedeni, kesici takım ucunda oluşan talaş yığılması olduğu gözlemlenmiştir [73].

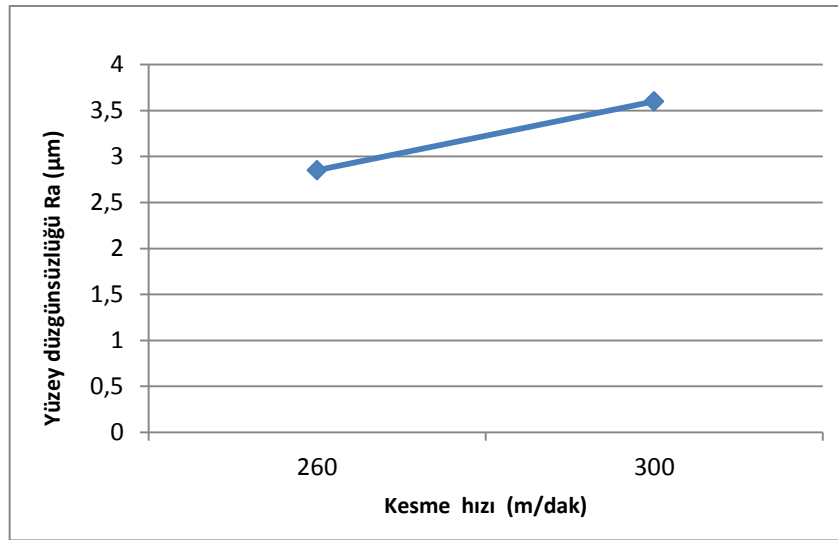
AISI 304 ve AISI 316 östenitik paslanmaz çeliklerin, torna tezgahında talaşlı şekillendirilmesinde, kesici takım kaplamasının, kesme hızının ve iş parçası malzemesinin kesme kuvvetleri ve yüzey düzgünlüğü üzerindeki etkileri araştırılmıştır. İş parçaları, 120, 150, 180 ve 210 m/dak kesme hızlarında, 0.16 mm/dev sabit ilerleme hızı ve 1.6 mm sabit talaş derinliğinde talaşlı şekillendirilmiştir. Deneysel çalışma sonucunda, kesme hızının kesme kuvvetleri üzerinde önemli bir etkisi olmadığı ancak yüzey düzgünlüğü üzerinde önemli bir etkisi olduğu görülmüştür [73].

Düşük alaşımlı AISI 4340 ve AISI D2 soğuk takım iş takım çelikleri farklı kesme şartlarında tornalanarak, yüzey düzgünlüğü ve takım aşınması arasındaki ilişkiler

incelenmiştir. Deneyler sonucunda, kesme hızının artması ile yüzey kalitesinin iyileştiği, ilerleme hızının artması ile yüzey kalitesinin kötüleştiği gözlenmiştir [74].

Yapılan deneysel çalışmada, SCM 440 (60-65 HRC) çeliği, kübik bor nitrür (CBN) kesici takım kullanılarak tornalanmış ve yüzey düzgünsüzlüğü incelenmiştir. Deney sonucunda, yüksek kesme hızları, düşük ilerleme miktarları ve düşük talaş derinliklerinde en iyi yüzey kalitesinin elde edildiği görülmüştür [75].

48 HRC sertliğine sahip AISI 4340 çeliğinin işlenmesinde çok katmanlı CVD kaplamalı TiN/TiCN/Al₂O₃ kaplamalı kesici takımların performansı, takım ömrü belirlenerek yüzey özelliği sağlanmış, ilerleme ve talaş derinliği ile yüksek kesme hızının işleme kuvvetini ve yüzey düzgünsüzlüğünü minimize etmede yararlı olduğu, daha düşük kesme hızı ve daha düşük ilerleme ile takım aşınmasının azaldığı görülmüştür [11,76].



Şekil 5.3 Kesme hızının yüzey düzgünsüzlüğüne etkisi

Inconel 718 süper alaşım malzemesi, 2 mm sabit talaş derinliği, 0.20 mm/dev sabit ilerleme hızı ve beş farklı kesme hızları (15, 30, 45, 60, 75 m/dak) ile talaşlı olarak şekillendirilmiştir. Kesme hızının talaş kaldırma sırasında, Inconel 718 süper alaşım malzemesinin yüzey düzgünsüzlüğü üzerindeki etkileri incelenmiştir. Deneysel çalışma sonucunda, en düşük yüzey düzgünsüzlüğü 45 m/dak'da 0.45 µm, en yüksek yüzey düzgünsüzlüğü ise 75 m/dak'da 0.88 µm olarak elde edilmiştir. Kesme hızının artması ile birlikte yüzey düzgünsüzlüğünde artış meydana geldiği görülmüştür [77].

Yapılan deneysel çalışmalarda, yüzey düzgünsüzlüğüne etki eden kesme parametreleri araştırılmıştır. Deney sonucunda, yüzey düzgünsüzlüğüne etki eden en önemli parametrelerin sırasıyla ilerleme ve kesme hızı olduğu sonucuna varılmıştır [78].

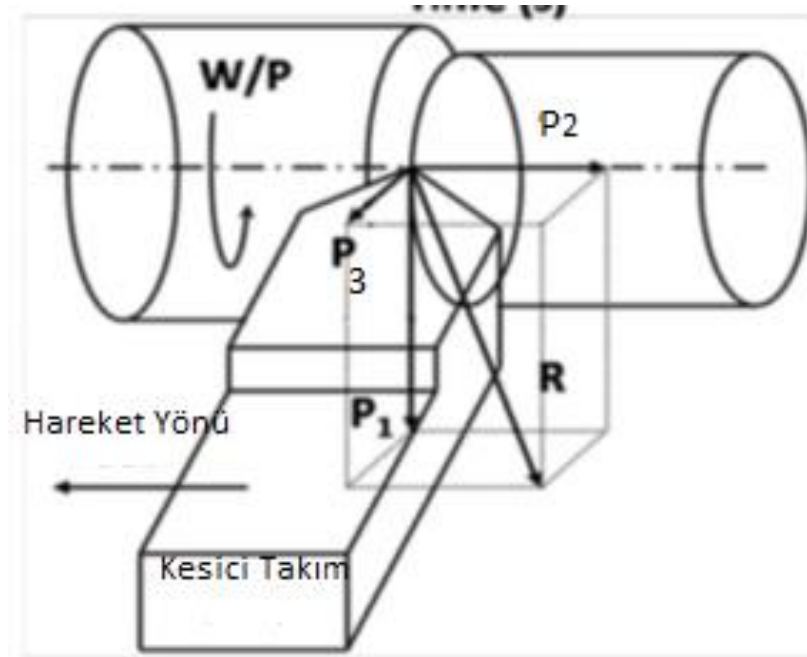
DIN 1.2767 soğuk iş takım çeliği malzemesinden Ø30x250 mm boyutlarındaki numuneler 70, 105, 140, 175, 210, 245 ve 320 m/dak kesme hızı ve 0.05, 0.15 ve 0.1 mm/dev kesme parametreleri ile talaşlı şekillendirilerek, ilerleme ve kesme hızının yüzey düzgünsüzlüğü üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Deneysel çalışma sonucunda, kesme hızının artması ile yüzey düzgünsüzlüğünde azalma olduğu görülmüştür. En düşük yüzey düzgünsüzlüğü 320 m/dak kesme hızında elde edilmiştir. İlerleme hızının artması ile yüzey düzgünsüzlüğünde artış meydana geldiği görülmüştür [79].

Sementit karbür kesici uçlarla 120, 150, 180 m/dak kesme hızları ile östenitik paslanmaz çelik malzemeden iş parçaları torna tezgahında talaşlı şekillendirilerek, optimum işleme koşulları araştırılmıştır. Deneysel çalışma sonucunda, kesme hızının artması ile yüzey düzgünsüzlüğünün azaldığı belirlenmiştir [80].

5.5 Kesme Kuvvetinin Yüzey Düzgünsüzlüğüne Etkisi

Kaba talaş kaldırma işlemlerinde düşük karbonlu yumuşak çeliklerde gerek şekillendirilen parça, gerekse de kesici takım büyük bir kuvvetle zorlanmazken sertliğin artması ile bu kuvvet artmaktadır. Kesme kuvvetleri eksenel, eksene dik ve teğet olmak üzere sistemde değerlendirildiğinde, talaş derinliğinin artması bu kuvvetlerin artmasına sebep olurken, takım ömrü sınırlanmakta ve işlenen yüzeyin düzgünlüğü de değişmektedir. Ortalama 0,2 mm'lik talaş derinliği ve 0.2 mm/dev kesme ilerlemesi hızında, kesme hızı ile birlikte çeşitli (P_1) teğet, (P_2) eksenel ve (P_3) eksene dik kuvvet bileşenleri deneysel olarak bulunmuş olup, üç bileşenli kesme kuvvetlerinin tümünün daha sert iş parçası malzemesi için daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, daha yumuşak bir çelik malzemenin talaşlı şekillendirilmesinde, 240-260 m/dk kesme hız aralığı pratik olarak değişmeden sabit kalabilmektedir. Eksenel ve eksene dik kuvvetlerin bileşenleri de benzer davranışı göstermekte olup; başlangıçta kesme hızı boyutun küçülmesiyle azalmaktadır. Ancak daha yüksek kesme hızı aralığında kesme kuvveti fazla değişmemektedir. İş parçasının daha sert olması durumunda, bu

bileşenler, kesme hızı 160 m/dak'ı aştığında artma eğilimi göstermektedir. Yüksek kesme hızı aralığındaki takım aşınması sürtünme sebebiyle artacaktır. Kesme kuvvetinin azaltılması için kesici takıma verilen kesici takım ucunun yuvarlatma açısı 75° olarak seçilirse eksene dik kuvvet büyüklüğünün, aksenal kuvvetten daha yüksek elde edilmesi mümkün olabilmektedir. Diğer bir sebep ise, talaş derinliğinin artmasıyla, takım ucu radyüsü ile de eksene dik kuvvetten daha yüksek aksenal kuvvet meydana gelebilmektedir, Şekil 5.4'te kesme kuvvetleri gösterilmiştir.



Şekil 5.4 Kesme kuvvetleri [54]

Yapılan deneysel çalışmada, daha yüksek kesme hızı ve daha yüksek talaş derinliği ile birlikte daha sert olan iş parçası malzemesi işlenirken kesme kuvvetlerinin düştüğü gözlemlenmiştir. Daha sert malzemenin, daha yüksek kesme şartlarında işlenmesi daha yüksek sıcaklıkların meydana gelmesi, iş parçası malzemesinin kayma mukavemetinin ve dolayısıyla kesme kuvvetlerinin azalması ile sonuçlanmıştır. Özellikle yüksek kesme hızında, aksenal ve eksene dik kuvvet bileşenleri üzerindeki yüksek ilerleme ve yüksek kesme derinliğinin etkisi görülmüştür. Düşük ilerleme ve düşük kesme derinliği ile işlenen sert olan iş parçasına ait başlangıçtaki yüksek kesme kuvvetleri azalmış, yüksek

ilerleme ve yüksek kesme hızı ile işlenen yumuşak malzeme ile neredeyse eşit hale gelmiştir.

Talaş derinliği ve ilerleme hızına göre kesme kuvveti bileşenlerinin değişimi incelenmiştir. Kesme kuvvetlerinin özellikle teğet kuvvetin, talaş derinliği ve ilerleme hızı ile doğru orantılı olduğu gözlemlenmiştir. Teğet kuvvet büyüklüğü, talaş derinliği ve ilerleme ile artan, talaş kesiti ile ağırlıklı olarak belirlenmiştir. Kesme kuvvet bileşenleri üzerinde talaş derinliğinin en büyük katkısı olduğu görülmüştür. Kesme kuvvetlerinin etkisi, iş parçasının daha sert olması durumunda daha az belirgin gözlemlenmiştir. Yüksek ilerleme ve yüksek talaş derinliği parametreleri ile yumuşak iş parçası talaşlı şekillendirilmesi durumunda, kesme kuvvetlerinin azaldığı görülmüştür.

Deneysel çalışmada, 35 HRC ve 45 HRC farklı sertlikteki AISI 4340 alaşım çeliği torna tezgahında talaşlı şekillendirilmiştir. Çalışmada, malzeme sertliği arttıkça kesme kuvvetlerinin de arttığı görülmüştür. İlerleme hızının, kesme kuvvetlerine % 25-30 etkisinin olduğu, talaş derinliğinin ise kesme kuvvetlerine % 60-70 etkisinin olduğu belirlenmiştir [53].

Yapılan deneysel çalışmada, 90, 130, 180 m/dak kesme hızlarında ve TiC kaplı sementit kesici uç kullanılarak, AISI 303 östenitik ve AISI 410 martenzitik paslanmaz çelik iş parçaları torna tezgahında talaşlı şekillendirme işlemine tabi tutulmuştur. AISI 410 martenzitik paslanmaz çeliği işlemek için gereken kesme kuvvetleri, AISI 303 östenitik çelik malzemeyi işlemek için gereken kesme kuvvetinden daha fazla olduğu belirlenmiştir. Malzemenin sertliği arttıkça kesme kuvvetlerinin de arttığı görülmüştür. AISI 303 östenitik paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimindeki sülfür, talaşlı şekillendirmeyi dolayısı ile işlenebilirliği kolaylaştırmaktadır. Bu nedenle, yumuşak malzemeleri talaşlı şekillendirmek için düşük kesme kuvvetlerinin yeterli olduğu ve yüzey pürüzlülüğünün iyileştiği belirlenmiştir. Daha sert malzemeleri işlemek için daha yüksek kesme kuvvetlerinin gerekli olduğu ve yüzey düzgünsüzlüğünün kötü olduğu sonucuna varılmıştır [81].

İş parçasından talaş kaldırma esnasında meydana gelen dirençleri yenmek için gerekli olan kesme kuvvetleri; (P_1) teğet, (P_2) eksenel ve (P_3) radyal kuvvet olarak üç

bileşenden meydana gelmektedir. Kesme kuvvetleri, talaş kaldırma sırasında kesici takım ve iş parçasına etki ederek, kesici takım ve iş parçasında titreşim meydana gelmesine neden olmuştur. Kesme kuvvetlerinin meydana getirdiği bu titreşim, iş parçalarının yüzey pürüzlülüğünün kötü olmasına neden olduğu görülmüştür [62].

İş parçalarının talaşlı şekillendirilmesinde kullanılan kesici takımların aşınması, iş parçası yüzey kalitesini, iş parçasının boyutlarını ve talaşlı imalatın verimliliğini doğrudan etkilemektedir. Kesici takımlardaki aşınmanın artması ile birlikte kesme kuvvetleri, kesme bölgesindeki sıcaklık, titreşim ve ses artmaktadır. Kesici takımdaki aşınma sonucunda, kesici takımın kesici ucunda keskin kenar körelir. Aşınmış kesici uç ile iş parçası sürtünmesi neticesinde enerji açığa çıkarak, kesme bölgesinde iş parçası ile kesici takım sıcaklığı artar. Kesici takımda meydana gelen sıcaklık, kesici takımın aşınma direncini ve dayanımını azaltır. İş parçasındaki artan sıcaklık, iş parçasının boyutlarının değişmesine ve ölçü toleranslarının dışına çıkılarak, hatalı imalata sebep olmaktadır. Yüksek sıcaklık sonucunda iş parçasının yüzeyinde ve iş parçasının yüzeyinin hemen altındaki tabakada metalürjik dönüşümler meydana gelmektedir. Metalürjik dönüşümler, iş parçasının yüzeyinde çekme gerilmelerine sebep olmaktadır. Kesici takımdaki aşınma, titreşimin meydana gelmesine neden olmaktadır. Titreşim, iş parçasının yüzey düzgünsüzlüğünü artırmaktadır [82].

5.6 Sonuçlar

Sertliği 59 HRC olacak şekilde ısıtılma tabi tutulmuş AISI 8620 sementasyon çeliğinin talaşlı şekillendirilmesi 0.322 μm yüzey düzgünsüzlüğü elde etmek için CNC torna tezgahında kesici takım kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir. Sertliğin artması aşınmayı artırmakta, talaş derinliğinin düşmesine ve ilerleme hızının yavaşlamasına sebep olmaktadır. Ekonomik takım ömrü için sert metal, alümina ve/veya yüzeyleri nitrür kaplı yüksek hız çelikleri de kullanılabilir ise de bu çalışmada karbür kaplı kesici takımın diğer kesici takımlara göre daha uzun ömürlü oldukları deneysel çalışma şartlarından belirlenmiştir. Seçilen kesici takımla en küçük yüzey düzgünsüzlüğünü elde etmek için yapılan optimizasyon çalışmada:

1. Deneysel çalışmamızda, sıvı sementasyon yöntemi ile 59 HRC'ye kadar sertleştirilmiş AISI/SAE 8620 sementasyon çeliği malzemesinden iş parçaları CNC torna tezgahında talaşlı şekillendirme işlemlerine tabi tutularak, iş parçalarının yüzey düzgünsüzlüğü incelenmiştir. Deneysel çalışma sonucunda, Taguchi deney tasarımı ile sertleştirilmiş AISI/SAE 8620 çelik malzemesinin yüzey pürüzlülük optimizasyonun yapılabileceği görülmüştür.
2. Deneysel çalışmamızda, CNC torna tezgahında talaşlı şekillendirilen sertleştirilmiş 59 HRC AISI/SAE sementasyon çelik malzemesinin yüzey düzgünsüzlüğü L8 Deney Tasarımı ile incelenmiştir. Deneysel çalışma sonucunda, yüzey düzgünsüzlüğünün respons değeri seçilerek, L8 Deney tasarımının yeterli olduğu belirlenmiştir.
3. Sıvı sementasyon yöntemi ile 59 HRC'ye kadar sertleştirilmiş AISI/SAE 8620 sementasyon çelik iş parçaları CNC torna tezgahında talaşlı şekillendirme işlemine tabi tutulmuş; 260 m/dak kesme hızı ve 0.2 mm talaş derinliği değerlerinin optimumda etkili olduğu görülmüştür.
4. 59 HRC değere kadar sertleştirilmiş AISI 8620 sementasyon çeliğinin talaşlı şekillendirilmesinde kesme hızının 260 m/dak, talaş derinliğinin 0.2 mm çalışma şartlarında optimum yüzey düzgünsüzlüğü elde edilebilecektir.
5. Şekil 5.1'den de görüldüğü gibi talaş derinliği arttıkça, yüzey düzgünsüzlüğü de artmaktadır. Talaş derinliği 0.2 mm iken yüzey düzgünsüzlüğü 0.285 μm , talaş derinliğinin 0.30 mm durumunda ise yüzey düzgünsüzlüğü 0.366 μm bulunmuştur. Talaş derinliğinin 0.20 mm'den 0.30 mm'ye artması ile yüzey düzgünsüzlüğü de 0.081 μm artmıştır. Bu sonuçlar, literatür araştırmalarındaki bilgilerle paralellik göstermektedir.
6. Yukarıdaki bilgilere dayanarak; en iyi yüzey düzgünsüzlüğünü elde etmek için talaş derinliğinin düşürülmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.
7. İlerleme hızının artması, yüzey düzgünsüzlüğünün artmasına sebep olmuştur. Şekil 5.2'de ilerleme hızının 0.15 mm/dev değerinden, 0.20 mm/dev değerine artması ile

birlikte yüzey düzgünlüğünün de arttığı görülmüştür. Bu sonuçlar, literatür araştırmalarındaki bilgilerle paralellik arz etmektedir.

8. Deneysel çalışmada, yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmek için ilerleme hızının düşürülmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Şekil 5.2'den de görüldüğü gibi en düşük yüzey pürüzlülüğü, ilerleme hızının en düşük olduğu 0.15 mm/dev durumunda 0.285 μm bulunmuştur.

9. Yapılan deneysel çalışmalarda, en iyi yüzey pürüzlülüğünü elde etmek için düşük talaş derinliği, düşük ilerleme hızı, yüksek kesme hızı, büyük radyüslü kesici takım parametreleri ile çalışılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

10. Talaş derinliği, kesme hızı, ilerleme miktarının dışında, tezgahın titreşimi, kullanılan soğutma suyu, ayna devri, kesici takım malzemesi, malzeme sertliği gibi kesme parametrelerinin de yüzey düzgünlüğü üzerinde etkileri olduğu literatür araştırmaları ve deneysel bilgiler göstermiştir.

5.7 Öneriler

1. Çalışmamızda, AISI 8620 sertleştirilmiş çelik malzeme, 260 m/dak kesme hızı, 0.15 mm/dev ilerleme hızı, 3000 dev/dak ayna dönüş hızı ve 0.20 mm talaş derinliği kesme parametreleri ile CNC torna tezgahında talaşlı şekillendirilmiş ve 0.322 μm yüzey düzgünlük değeri elde edilmiştir. AISI 8620 sertleştirilmiş çelik malzeme, farklı kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği parametreleri ile CNC torna tezgahında talaşlı şekillendirme yapılarak, yüzey düzgünlüğü incelenebilir.

2. Çalışmamızda, 59 HRC'ye kadar sertleştirilmiş AISI 8620 sementasyon çeliği kullanılarak yüzey düzgünlüğü optimizasyonu yapılmıştır. AISI 5140, 4140, 1040, 4143 gibi farklı ıslah çelikleri kullanılarak yüzey düzgünlüğü incelenebilir.

3. Çalışmamızda, 95 °C Kennametal kater, kalınlığı 4.76 mm, uç radyüsü 0.8 mm olan WNMG, kalınlığı 4.76 mm ve uç radyüsü 0.4 mm olan karbür kaplı uçlar kullanılmıştır. Farklı kesici takımlar ve farklı uçlar kullanılarak AISI 8620 sertleştirilmiş çelik malzemenin yüzey düzgünlüğü incelenebilir.

4. Çalışmamızda tezgah titreşimleri göz ardı edilerek yüzey düzgünlüğü optimizasyonu yapılmıştır. Tezgah titreşimleri ölçüm cihazları ile ölçülerek, tezgah titreşimlerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri incelenebilir.
5. Çalışmamızda karbür kaplı kesici takımlar kullanılarak, yüzey düzgünlüğü optimizasyonu yapılmıştır. Al_2O_3 , ZrN, TiSiN gibi farklı malzemelerle kaplı kesici takımlar kullanılarak yüzey düzgünlüğü üzerindeki etkileri araştırılabilir.
6. Çalışmamızda, çapı 28 mm ve boyu 94 mm olan iş parçaları kullanılmıştır. Farklı çap ve boylarda iş parçaları torna tezgahında talaşlı şekillendirilerek, iş parçası çapının yüzey düzgünlüğü üzerindeki etkisi incelenebilir.
7. Kesme hızı, ilerleme hızı ve talaş derinliği arttıkça kesici takımdaki aşınma da artar. Aşınma, kesici takım ömrünün azalmasına neden olur. Kesici takım ömrünün arttırılmasına yönelik optimizasyon çalışmaları yapılabilir.
8. Deneysel çalışmalarda, L8 Taguchi Deney Tasarımından başka Yapay Sinir Ağları, ANOVA vb. diğer yöntemler kullanılarak yüzey düzgünlüğünün önceden tahmini için çalışmalar yapılabilir.
9. L8 Taguchi Deney Tasarımı kullanılarak, asgari maliyetlerin önceden tahmini yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Demir, A., (2015). Malzeme Bilimi Temel Konular, Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- [2] H. Aouici, M.A. Yalesse, K. Chaoui, T. Mabrouki ve J. Rigal, (2012). "Analysis of surface roughness and cutting force components in hard turning with CBN tool: Prediction model and cutting conditions optimization", Measurement 45, 344-353.
- [3] Chou, Y., K., Evans, C., J., Barash, ve M., M., (2003). "Experimental investigations on cubic boron nitride turning of hardened AISI 52100 steel", J. Mater. Process. Tech.,134:1-9.
- [4] Yalesse M.A., Chaoui, K., Zeghib, N., Boulanouar, L., ve Rigal, Jean-F., (2009). "Hard Machining of Hardened Bearing Steel using Cubic Boron Nitride Tool,Journal of Materials Processing Technology", 209 (2):1092-1104.
- [5] Şahin, Y., (2003). Talaş Kaldırma Prensipleri-1, Gazi Kitabevi.
- [6] MEGEP, Makine Teknolojisi, CNC Tezgahlar ve Kesici Takımlar, Ankara, 2006.http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/makine_tek/oduller/takim_secimi.pdf, 15 Şubat 2015.
- [7] J.G de Lima, R.F de Avila, ve A.M. Abrao., (2007). " Turning of hardened AISI 4340 steel using coated carbide inserts", Proceedings of the Mech E, Part B: Journal of Engineering Manufacture 221, 1359-1366.
- [8] Şahin, Y., ve Motorcu, A.R., (2005). "Surface roughness model for machining mild steel with coated carbide tool", Materials and Design 26, 321-326.
- [9] M.Y. Noordin, V.C. Venkatesh, S. Sharif, S. Elting ve A. Abdullah, (2004). "Application of responses surface methodology in describing the performance of coated carbide tools when turning AISI 1045 steel", Journal of Materials Processing Technology, 145:46-58.
- [10] Uzun, İ., ve Aslantaş, K., (2009). "Sertleştirilmiş 52100 takım çeliğinin tornalanmasında karbürlü kesici takımın performansının araştırılması", 5.Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük, Türkiye.

- [11] Suresh, R., Basavarajappa, S., ve Samuel, G.L., (2012). "Some studies on hard turning of AISI 4340 steel using multilayer coated carbide tool", Measurement 45:1872-1884.
- [12] Asiltürk, İ., ve Akkuş, H., (2011). "Determining the effect of cutting parameters on surface roughness in hard turning using the Taguchi method", Measurement 44:1697-1704.
- [13] Sahoo, A.K., ve Sahoo, B., (2012). "Experimental investigations on machinability aspects in finish hard turning of AISI 4340 steel using uncoated and multilayer coated carbide inserts", Measurement, 45:2153-2165.
- [14] Özel, T., Hsu, T.K, ve Zeren, E., (2005). "Effects of cutting edge geometry, workpiece hardness, feed rate and cutting speed on surface roughness and forces in finish turning of hardened AISI H13 steel", International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 25:262-269.
- [15] Mandal, N., Doloi, B., Mondal, B., ve Das, R., (2011). "Optimization of flank wear using Zirconia Toughened Alumina (ZTA) cutting tool: Taguchi method and regression analysis", Measurement, 44:2149-2155.
- [16] Neseli, S., Yaldiz, S., ve Turkes, E., (2011). "Optimization of tool geometry Parameters for turning operations based on the response surface methodology", Measurement, 44:580-587.
- [17] Arslan, H., Kesici Takım Malzemeleri, 2011. <http://www.hamitarslan.com/kesici-takim-malzemeleri.html>, 20 Aralık 2014.
- [18] Akkurt, M., (1993). Talaş Kaldırma ve Takım Tezgahları Problemleri, Birsen Yayınevi, İSTANBUL.
- [19] Akkurt, M., (2012). Talaş Kaldırma Bilimi ve Teknolojisi, Birsen Yayınevi, İSTANBUL.
- [20] Ünal, R., (2014). Talaşlı İmalat Yöntemleri, Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Ankara.
- [21] Aktaş, S., İmalat İşlemleri II Ders Notları, Kocaeli Üniversitesi, Uzunçiftlik Nuh Çimento Meslek Yüksekokulu, Kocaeli, http://www.serkanaktashoca.com/FileUpload/ks406968/File/imalat_islemleri_i_ders_notlari.pdf, 12 Ocak 2015.
- [22] Mendi, F., (2006). Takım Tezgahları Teori ve Hesapları, Gazi Kitabevi.
- [23] Alsaran, A., Talaşlı İmalat Ders Notları, Atatürk Üniv., Makine Müh. Bölümü. <http://muhserv.atauni.edu.tr/makine/akgun/alisilmamis.html>, 14 Kasım 2014.
- [24] Akkurt, M., (2004). Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [25] Çevik, M., (2014). Yüzey İşleme İşaretleri Ders Notları, Celal Bayar Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, Manisa, http://mehmetcevik.cbu.edu.tr/dosyalar/konu_ekleri/ders-12-38.pdf, 6 Ocak 2015.

- [26] Bodur, H.O., (1973). Takım Tezgahları, Birsen Yayınevi, İSTANBUL.
- [27] Malkoç, A., (1999). Takım Tezgahları, OGÜ Yayınevi, Eskişehir.
- [28] Orga, İ., ve Orga, O., (1979). Tornacılık Tekniği, Torna Tezgahı ve Torna Ameliyeleri, Toker Yayınları, İstanbul.
- [29] <https://www.google.com.tr/search?q=kam+torna&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=J1F7VNBjGMXuaJ6gogE&ved=0CEMQsAQ&biw=1032&bih=833>, 23 Kasım 2014.
- [30] Kıyak, M., (2013). Takım Tezgahları, YTÜ Makine Malzemesi ve İmalat Teknolojisi Ana Bilim Dalı, İstanbul.
- [31] Akün, F., (1978). Takım Tezgahları, 1, İTÜ Matbaası, İstanbul.
- [32] Kalaycı, H. T., (1994). Temel İşlemler Tekniği I-II (Tornacılık Eğitimi) Ders Notları, İstanbul.
- [33] Ferhat, G., (1995). Talaşlı İmalat I (Tornalama Tekniği) Ders Notları, İstanbul.
- [34] Şahin, N., (2001). Tesviyecilik Meslek Teknolojisi I-II, Kozan Ofset, Ankara.
- [35] <https://www.google.com.tr/search?q=kopya+torna+tezgahlar%C4%B1&biw=1032&bih=833&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=G1h7VJ62DtTvaqCTgcAN&ved=0CDsQsAQ>, 12 Kasım 2014.
- [36] Gülesin, M., Güllü, A., Avcı, Ö., Aydoğan, G., (2009). CNC Torna ve Freze Tezgahlarının Programlanması, Asil Yayınevi, Ankara.
- [37] Gavas, M., (2012). CNC Tekniği ve Teknolojisi, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- [38] Çoklar, A.N., ve Ünsaçar, F., (2003). CNC Tezgahların Programlanması, Nobel Yayın Dağıtım, İstanbul.
- [39] Bağcı, Ö., (2004). CNC Teknik, Değişim Yayınevi, İstanbul.
- [40] Akkurt, M., (1996). Bilgisayar Destekli Takım Tezgahları (CNC), Birsen Yayınevi, İSTANBUL.
- [41] Akkurt, M., (2012). CNC Takım Tezgahlarının Programlanması ve CAD-CAM Sistemleri, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [42] <http://www.taksan.com.tr/ttc-630-cnc-torna-tezgahi.html>, 15 Kasım 2014.
- [43] Topbaş, M.A., (1998). Çelik ve Isıl İşlem El Kitabı, Ekim Ofset, İstanbul.
- [44] Keleşoğlu, E., (2014). Isıl İşlemler Ders Notları YTÜ, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği ABD, <http://www.yildiz.edu.tr/~ergunk/isil-yansilar.html>, 25 Aralık 2014.
- [45] Topbaş, M.A., (1993). Isıl İşlemler, Yıldız Teknik Yayınları, İstanbul.
- [46] Yüksel, M., (1985). Çeliklerde Sementasyon, Metalürji, 41, 11-17.
- [47] <http://arsiv.mmo.org.tr/pdf/00000598.pdf>, 13 Ocak 2015.
- [48] <http://www.appliedmachinery.com.au/machinery/96602/takisawa-taiwanla-thela-series>, 18 Kasım 2014.

- [49] MEGEP, Metal Teknolojisi, Sertlik Ölçme Yöntemleri, 2006, Ankara. http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/metal/moduller/sertlik_olcme_yontemleri.pdf, 16 Ocak 2015.
- [50] <http://www.aydosa.com/index.php/urunlerimiz/tornalama-katerleri-ve-uclari/iso-dis-tornalama/19-iso-dis-cap-torna-katerleri/60>, 28 Kasım 2014.
- [51] <http://www.iscar.com/eCatalog/Family.aspx?fnum=494&mapp=IS&app=44&GFSTYP=M>, 20 Kasım 2014.
- [52] Turhan, B.Y., (2013). Baştan Sona Excel, Pusula Yayıncılık, 2. Baskı, İstanbul.
- [53] Chinchankar, S., ve Choudhury, S.K., (2013). "Effect of work material hardness and cutting parameters on performance of coated carbide tool when turning hardened steel:An optimization approach", Measurement 46, 1572-1584.
- [54] Tekaslan, Ö., Gerger, N., ve Şeker, U., (2008). "CNC Torna Tezgahında AISI 304 Çeliklerin İşlenmesinde Optimum Yüzey Pürüzlülüğünü Sağlayacak Kesme Parametrelerinin Tespiti", Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, ISSN-1302-3055, 16.
- [55] Bayrak, M., (2002). Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi ve Uzman Sistemle Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, G.Ü Makine Mühendisliği Bölümü, Ankara.
- [56] Kavak, N., ve Üstel, N., (2012). "AISI 1040 Çeliğinin Kuru Tornalanmasında Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi", Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi 2 (2):24-29.
- [57] Zeyveli, M., ve Demir, H., (2009). "AISI H13 sıcak iş takım çeliğinin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğünün deneysel incelenmesi". E.Ü.F.B.E. Dergisi, 25 (1-2) :251-261.
- [58] Özel, T., ve Karpaz, Y., (2005). "Predictive Modeling Of Surface Roughness and Tool Wear in Hard Turning Using Regression And Neural Networks", International Journal of Machine Tools &Manufacture, 45:467-479.
- [59] Boothroyd, G., (1981). Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools. New York: International Student ed. 5th printing, McGraw-Hill, ISBN 0- 07-085057-7.
- [60] Shaw, M. C., (1984). Metal Cutting Principles. London: Oxford University Press. ISBN 0-19-859002-4.
- [61] Sandvik Coromant Co. Inc. (1997). Modern Metal Cutting-A Practical Handbook, Sweden.
- [62] IŞIK, Y., ve ÇAKIR, M.C., (2001). "Hız Çeliği Takımlar İçin Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi", Teknoloji, 1-2, 111-118.
- [63] Çaydaş, U., ve Haşçalık, A., (2005). "CNC Tornalamada işlem parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi", Teknoloji, 8(2):167-172.

- [64] Habalı, K., Gökkaya, H., ve Sert H., (2006). “Kesici Takım Kaplama Malzemesi ve Kesme Parametrelerinin AISI 1040 Çeliğinin İşlenmesinde Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, Politek. Derg.9, 35-38.
- [65] Gökkaya, H., ve Nalbant, M., (2009). “Kaplama çeşidi ve işleme parametrelerine bağlı olarak takım-talaş arayüzey sıcaklığı ve yüzey pürüzlülüğündeki değişim”, 5.Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS’09), Karabük, 13-15 Mayıs, 2009.
- [66] Çakir, M.C., Ensarioğlu, C., ve Demirayak, İ., (2009). “Mathematical modeling of surface roughness for evaluating the effects of cutting parameters and coating material”, Journal of Materials Processing Technology, 209:102-109.
- [67] Bouacha, K., Yalesse, A.M., Mabrouki, T., ve Rigal, J., (2010). “Statistical Analysis of Surface Roughness and Cutting Forces Using Response Surface Methodology in Hard Turning of AISI 52100 Bearing Steel With CBN Tool”, Int.Journal of Refractory Metals & Hard Materials, 28:349-361.
- [68] Çiftçi, İ., (2004). “AISI 304 Östenitik Paslanmaz Çeliğin Kaplanmış Sementit Karbür Kesici Takımla İşlenmesi Esnasında Oluşan Takım Aşınması”, Teknoloji, 7(3):489-495.
- [69] Gökkaya, H., SUR, G., ve Dilipak, H., (2006). “Kaplamasız Sementit Karbür Kesici Takım ve Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12(1):59-64.
- [70] Parlak, N., ve Özler, L., (2012). “Mehmet Erbil Özcan, AISI D6 İş Parçasının Tornalanmasında Yüzey Pürüzlülüğünün İncelenmesi”, 3. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi -Balıkesir, 1-10, 29-30 Kasım 2012.
- [71] Işık Y., (2007). “Investigation the Machinability of Tool Steels in Turning Operations”, Materials and Design, 28(5):1417-1424.
- [72] Demir, H., Çiftçi, İ., Türkmen, M., ve Gündüz, S., (2011). “Orta Karbonlu Alaşımlı ve Alaşımsız Çeliklerde Isıl İşlem Şartlarının ve Sertliğin İşlenebilirliğe Etkisi”, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS’11), 94-97, Elazığ, 16-18 Mayıs 2011.
- [73] Çiftçi, İ., (2005). “Östenitik Paslanmaz Çeliklerin İşlenmesinde Kesici Takım Kaplamasının ve Kesme Hızının Kesme Kuvvetleri ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi”, Gazi Üniv. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 20(2):205-209.
- [74] Lima, J.G. Avila, R.F. Abrao, A.M. Faustino, M., ve Davim J.P., (2005). “ Hard Turning: AISI 4340 High Strength Low Alloy Steel and AISI D2 Cold Work Tool Steel”, Journal of Materials Processing Technology, 169:388-395.
- [75] Thamizhmanii,S., Kamarudini, K., Badrul, Sapparudini, A., ve Hassan, S., (2008). “Study of Surface Roughness on Induction Hardened Steel using CBN Cutting Tool”, Proceedings of International Conference on Mechanical & Manufacturing Engineering (ICME2008), Johor Bahru, Malaysia.21-23 May 2008.

- [76] Suresh, R., Basavarajappa, S., Gaitonde, V.N, ve Samuel, G.L, (2012). "Macnability investigations on hardened AISI 4340 steel using coated carbide insert", International Journal of Refractory Metals and Hard Materials 33,75-86.
- [77] Altın, A., Gökkaya H., ve Nalbant, M., (2006). "İşleme Parametrelerinden Kesme Hızının Inconel 718 Süper Alaşımının İşlenebilirliğine Etkisi", Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 21(3):581-586.
- [78] Feng, C.X.J., ve Wang, X., (2002). "Development of Empirical Models for Surface Roughness Prediction in Finish Turning", International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 20:348-356.
- [79] Zeyveli, M., ve Altuğ, M., (2011). "DIN 1.2767 Soğuk İş Takım Çeliğinin İşlenmesinde Kesme Parametrelerinin İstatistiksel Analizi", 6th International Advanced Technologies Symposium (IAT'11), Elazığ, Turkey, 16-18 May 2011.
- [80] Korkut, İ., Kasap, M., Çiftçi, İ. ve Şeker, U., (2004). "Determination of optimum cutting parameters during machining of AISI 304 austenitic steel", Materials and Design, 25:303-305.
- [81] Bahçeci, E., ve Özer, A., (2013). " TiC Kaplamalı Takımla İşlenen AISI 303 ve AISI 410 Paslanmaz Çeliklerin İşlenebilirlik Özelliklerinin Değerlendirilmesi", DEÜ Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi, 15(3):45-52.
- [82] Demir, H., ve Özlü, B., (2009). "Sertleştirilmiş 30MnVS6 Mikroalaşımli Çeliğin Kesme Kuvvetleri ve Yüzey Pürüzlülüğü Açısından İşlenebilirliğinin Araştırılması", Erciyes Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 25 (1-2):262-271.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ömer ŞAHİN
Doğum Tarihi ve Yeri : 01.01.1968 / Şanlıurfa
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : osahin@yildiz.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Met. ve Malz. Müh.	YTÜ	
Lisans	Makina Müh.	YTÜ	1992
Lise	Edebiyat	Nizip İHL / Gaziantep	1986

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2004-	Yıldız Teknik Üniversitesi	Öğretim Görevlisi

YAYINLARI

Makale

- [1] Ekerim, A., Şahin, Ö., (2015). "Talaşlı Şekillendirmenin Deneysel Tasarımı", Metal Dünyası Dergisi, 261, 66-72.