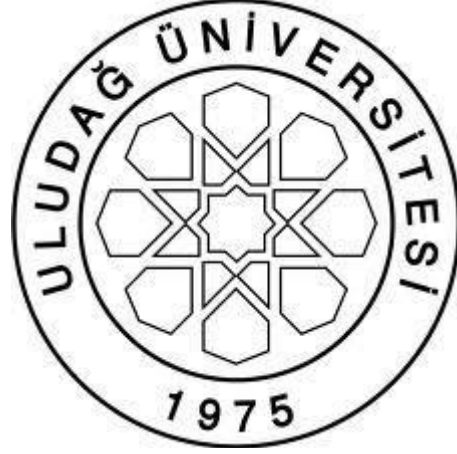


**55 HRC SERTLİĞİNDE ISIL İŞLEM GÖRMÜŞ DIN1.2344 ESR KALIP
ÇELİĞİNİN YÜKSEK İLERLEME FREZELEMESİNDE TAKIM AŞINMASI-
KALINTI GERİLMESİ İLİŞKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Selim KOCA



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**55 HRC SERTLİĞİNDE ISIL İŞLEM GÖRMÜŞ DIN1.2344 ESR KALIP
ÇELİĞİNİN YÜKSEK İLERLEME FREZELEMESİNDE TAKIM AŞINMASI-
KALINTI GERİLMESİ İLİŞKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Selim KOCA

Prof. Dr. M. Cemal ÇAKIR
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2013
Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Selim KOCA tarafından hazırlanan “55 HRC SERTLİĞİNDE ISIL İŞLEM GÖRMÜŞ DIN1.2344 ESR KALIP ÇELİĞİNİN YÜKSEK İLERLEME FREZELEMESİNDE TAKIM AŞINMASI-KALINTI GERİLMESİ İLİŞKİSİNİN ARAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS** tezi kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. M. Cemal ÇAKIR

Başkan:

İmza

Üye:

İmza

Üye:

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof Dr. Ali Osman DEMİR

Enstitü Müdürü

..../..../.....

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

-tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,

-görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,

-başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,

-atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,

-kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,

-ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

12/12/2013

İmza

Selim KOCA

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

55 HRC SERTLİĞİNDE ISIL İŞLEM GÖRMÜŞ DIN1.2344 ESR KALIP ÇELİĞİNİN YÜKSEK İLERLEME FREZELEMESİNDE TAKIM AŞINMASI-KALINTI GERİLMESİ İLİŞKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Selim KOCA

Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. M. Cemal ÇAKIR

Bu çalışmada, 55 HRC sertliğe sahip DIN1.2344 ESR kalıp çeliğinden hazırlanan deney numunelerine cep açma işlemi CNC dik işleme tezgahında gerçekleştirilmiştir. 3 farklı kesme hızı ve 5 farklı diş başı ilerleme değeri kullanılmıştır. İşleme sonunda takım aşınmaları mikroskop yardımıyla tespit edilmiştir. Ardından deney numuneleri üzerindeki kalıcı gerilmeler X-ray ve delik delme metodu kullanılarak saptanmıştır.

Deney sonuçlarının değerlendirilmesi sonucu;

- Takım aşınması ve kalıcı gerilmeler birlikte düşünüldüğünde optimum bir işleme parametresine tek bir deneyde ulaşılmamıştır.
- Kesme hızındaki artışın, ilerleme miktarındaki artışa göre kalıcı gerilmeleri daha fazla etkilediği sonucuna ulaşılmıştır.
- Takım aşınmasının sıcaklık ve mekanik etki yaptığı düşünülmektedir. Aşınmadaki artış bir taraftan sürtme etkisi ile sıcaklık artışı ve dolayısıyla yüzeyde çekme kalıcı gerilmeleri oluştururken bir yandan da mekanik bir bastırmaya çalışma ile parçayı plastik deformasyona uğratarak küre takımlarda olduğu gibi basma kalıcı gerilmeleri oluşturmaktadır.
- Takım aşınmasına bağlı olmaksızın kesme hızındaki artışın, kalıcı gerilmelerin yüzeyden olan derinliğini büyük ölçüde etkilediği tespit edilmiştir.
- Takım aşınmasının kalıcı gerilmeler üzerinde önemli ölçüde etkisi olmasına karşın kalıcı gerilme tahmininin doğrudan takım aşınmasına bakılarak yapılamayacağı saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sertleştirilmiş takım çeliklerinin işlenmesi, takım aşınması, kalıcı gerilme

2013, ix + 105 sayfa

ABSTRACT

MSc Thesis

INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN TOOL WEAR AND RESIDUAL STRESS THAT HAPPENS DURING THE HIGH FEED MACHINING OF THE 55 HRC HARDENED TOOL STEEL DIN1.2344 ESR

Selim KOCA

Uludağ University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. M. Cemal ÇAKIR

In this study, test samples prepared from the hardened tool steel with 55 HRc hardness were subjected to pocketing operation in a CNC vertical machine. 3 different cutting speeds and 5 different feed rates were used. At the end of the machining, tool wear was determined by a microscope. After that, residual stress on the machined test specimens was determined by using X-Ray deflection and hole drilling methods.

The experimental results indicated that;

- As tool wear and residual stresses considered together, an optimum processing parameters have not been obtained in a single experiment.
- It is concluded that; the increase in cutting speed affects residual stresses more than the increase in feed rate.
- It is thought that tool wear affects temperature as well as mechanical impact. The increase in tool wear effects the temperature increase and friction and hence creates surface tensile residual stresses. It also attempts to suppress with a mechanical load causing plastic deformation as the ball nose endmills that causes compressive residual stresses.
- Regardless of tool wear, increase in cutting speed has found to effect the depth from the surface of residual stresses significantly.
- Although tool wear has a significant effect on the residual stresses, it is decided that prediction of residual stresses can not be made just by looking into the tool wear.

Key Words: Machining of the hardened tool steel, tool wear, residual stress

2013, ix + 105 pages

TEŞEKKÜR

Beni yüksek lisans öğrencisi olarak kabul eden, ders aşamasını bitirdikten sonra 3,5 yıldır süren tez çalışmam boyunca sabırla bana destek olan ve yol gösteren, değerli hocam Prof. Dr. M. Cemal Çakır'a, lisans sonrasında öğrenimime devam etmemi sağlayan, her zaman teknik olarak yardımını esirgemeyen sevgili hocam Prof. Dr. Ulvi Şeker'e, deneyler ve tez yazımı sırasında görüş ve önerilerinden faydalandığım Arş. Gör. Cihat Ensarioğlu' na, bırakma aşamasına defalarca geldiğim halde devam etmemi öğütleyen sevgili dostum Kaan Semerci' ye teşekkür gönül borcumdur.

Numunelerin hazırlanmasında ve deneylerin yapılmasında bana yardım eden; başta Feka Otomotiv A.Ş. Cnc ekip lideri Orhan Yel' e ve Cnc ekibindeki tüm arkadaşlarıma, kesici uçların temininde yardımcı olan Gökhan Metal Ltd. Şti. Bursa bölge müdürü Ayhan Lastikçi' ye kalıntı gerilmelerin ölçümlerini yapan Atılım Üniversitesi Metal Mükemmeliyet Merkezi'nde görevli Yrd. Doç. Dr. Caner Şimşir' e, yüksek lisans eğitimim boyunca gerekli fırsatı sağlayan Feka Otomotiv A.Ş. kalıphane müdürü Mustafa Kayabaşı ve genel müdür yardımcısı Taner Karşlıoğlu' na ve tüm Feka Otomotiv A.Ş. çalışanlarına teşekkür ediyorum.

Selim KOCA
12/12/2013

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
3. TAKIM ÇELİKLERİ	14
3.1. Giriş.....	14
3.2. Takım Çeliklerinden Beklenen Özellikler.....	15
3.3. Takım Çeliklerinin Sınıflandırılması	18
3.3.1. Soğuk İş Takım Çelikleri.....	19
3.3.2. Sıcak İş Takım Çelikleri.....	22
3.3.3. Yüksek Hız Takım Çelikleri.....	28
3.3.4. Plastik Kalıp Çelikleri	30
4. KALICI GERİLMELER	31
4.1. Kalıcı Gerilmeler ve Önemi	31
4.2. Kalıcı Gerilmelerin Oluşumu	33
4.3. Kalıcı Gerilmeleri Oluşturan Nedenler	35
4.3.1. Termal Kaynaklı Kalıcı Gerilmeler	35
4.3.2. Metalurjik Kaynaklı Kalıcı Gerilmeler	37
4.3.3. Mekanik Kaynaklı Kalıcı Gerilmeler	38
4.3.4. Kimyasal Kaynaklı Kalıcı Gerilmeler.....	39
4.4. Değişik İmal Yöntemlerinin Kalıcı Gerilmeler Üzerine Etkisi	40
5. KALICI GERİLME ÖLÇÜM METOTLARI	44
5.1. Giriş.....	44
5.2. Delik Delme Metodu.....	45
5.3. Kesit Alma ve Katman Kaldırma Metodu.....	47
5.4. X-Ray İle Gerilme Ölçümü	47
5.5. Synchrotrons	49
5.6. Nötron Kırınımı Metodu	49
5.7. Diğer Işın ve Dalga Metotları.....	50
6. TAKIM AŞINMASI	52
6.1. Giriş.....	52
6.2. Takım Aşınmasını Etkileyen Faktörler	52
6.3. Taylor Takım Ömrü Denkleminin Elde Edilmesi.....	54
6.4. Kesici Takımlarda Oluşan Aşınma Mekanizmaları	55
6.4.1. Adhezyon Aşınması	57
6.4.2. Abrasyon Aşınması	58
6.4.3. Sürtünerek Oluşan Yapışma Aşınması.....	59
6.4.4. Difüzyon Aşınması.....	59

6.4.5. Plastik Deformasyon	60
6.4.6. Yorulma Aşınması	61
6.5. Kesici Takımlarda Aşınma Tipleri.....	61
6.5.1. Krater Aşınması	62
6.5.2. Serbest Yüzey Aşınması.....	62
6.5.3. Plastik Deformasyon	62
6.5.4. Çentik Aşınması.....	63
6.5.5. Termal Yorulma	64
6.5.6. Yığıma Kenar.....	65
6.5.7. Kesici Kenarın Kırılması.....	65
6.6. Serbest Yüzey ve Krater Aşınması	66
6.7. Takım Aşınmasının Belirlenmesi	69
7. MATERYAL VE YÖNTEM.....	70
7.1. Tezgah Özellikleri.....	70
7.2. İş Parçası Özellikleri ve Şekli.....	71
7.3. Kesici Uç	73
7.4. İşleme Parametreleri.....	74
7.5. Takım Aşınmasının Ölçülmesi	76
7.6. Kalıcı Gerilmelerin Ölçülmesi.....	77
8. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	84
8.1. Kesme Hızı ve İlerlemenin Takım Aşınması Üzerindeki Etkileri	84
8.2. Kesme Hızı, İlerleme ve Takım Aşınmasının Kalıcı Gerilmeler Üzerindeki Etkileri.....	86
KAYNAKLAR.....	94
EKLER.....	100
EK 1: Kesme Parametrelerine Göre Kalıcı Gerilme Dağılım Grafikleri	100
ÖZGEÇMİŞ.....	105

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

T	Takım ömrü
V	Kesme hızı
Fz	Diş başı ilerleme miktarı
C ^m	Bir dakikalık takım ömrü için kesme hızı
n	Kesici takıma ait sabit
E	Elastik modülü
Vb	Serbest yüzey aşınması
Kt	Krater aşınması
Kb	Krater genişliği
µm	Mikron
MPa	Megapaskal

Açıklama

Kısaltmalar

DIN	Alman norm enstitüsü
HSM	Yüksek hızlı işleme
HPM	Yüksek performans işleme
HRc	Sertlik değeri
H	Sıcak iş
CNC	Bilgisayarlı sayısal kontrol
AISI	Amerikan çelik normu
PCBN	Polikristal kübik bor nitrür
TiCN	Titanyum karbo nitrür
WC	Tungsten karbür
TiN	Titanyum nitrür
TiAlN	Titanyum alüminyum nitrür
AlTiN	Alüminyum titanyum nitrür
CBN	Kübik bor nitrür
ESR	Cüruf altı yeniden ergitme
VAR	Vakum ark yeniden ergitme
ASTM	Amerika malzeme ve test topluluğu
ISO	Uluslar arası standart normu
ASSAB	Birleşik İsveç çelikleri ortaklığı
EN	Avrupa normu
ESPI	Elektronik girişim deseni analizi
FEM	Sonlu elemanlar metodu
EDM	Elektro erezyon makinası

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. HSM diyagramı.....	3
Şekil 2.2. 57 HRC sertlikteki AISI H13 ün PCBN küre takım ile işlenmesinde kesme hızının takım aşınmasına olan etkisi.....	6
Şekil 2.3. Kesme hızına bağlı olarak gelişen kalıcı gerilme dağılımı.....	7
Şekil 2.4. Kesme hızına bağlı olarak numunelerin yorulma ömrü	7
Şekil 2.5. Kesme parametrelerinin kalıcı gerilmelere etkisi	9
Şekil 2.6. İşleme stratejileri.....	11
Şekil 2.7. 314 m/dak kesme hızı, 0,5 mm yana kayma, takım aşınması VB:0,3 mm olduğunda işleme stratejisinin kesme uzunluğuna etkisi.....	12
Şekil 2.8. Kesme hızı ve işleme stratejisinin yorulma ömrüne etkisi	12
Şekil 3.1. Konvansiyonel yöntemle ve ESR yöntemiyle üretilmiş 200 çapındaki sıcak iş çeliklerinin makro dağlama sonrası kesit görüntüsü.....	26
Şekil 3.2. ESR işleminde uygulanmış ve uygulanmamış H13 çeliklerinin sertleştirilmiş ve 44-46 HRC'ye temperlenmiş mikroyapı görünüşleri ve CVN kırılma enerjileri.....	26
Şekil 4.1. (a) Levhanın haddelenmesi sırasında homojen olmayan deformasyon (b) Levha kalınlığı boyunca oluşan kalıcı gerilme dağılımı	34
Şekil 4.2. Termal kalıcı gerilmeler	36
Şekil 4.3. Mekaniksel olarak dahil olmuş kalıcı gerilmelerin prensibinin gösterimi ...	39
Şekil 4.4. AISI 4340 malzemede yüzeyin taşlanması sonucu oluşan kalıcı yüzey gerilmeleri.....	41
Şekil 4.5. 52 HRC sertleştirilmiş ve temperlenmiş AISI 4340 çeliğin frezelenmesi sonucu yüzeyinde meydana gelen kalıcı gerilme dağılımı.....	42
Şekil 4.6. Elektro erezyonla işleme sonucu 44 HRC sertliğindeki İnkoneel 718 malzemede oluşan kalıcı yüzey gerilmeleri.....	43
Şekil 5.1. Temel gerilmelerin gösterildiği rozet gerinim ölçerler	45
Şekil 5.2. Delik delme yöntemi ile kalıcı gerilme ölçebilen cihaz	46
Şekil 5.3. X-ışını kırınım cihazı.....	48
Şekil 6.1. Talaş kaldırma parametrelerinin takım sıcaklığı ve aşınma üzerine etkisi.....	53
Şekil 6.2. Taylor bağıntısı	55
Şekil 6.3. Tipik aşınma bölgeleri.....	56
Şekil 6.4. Kesici takımında meydana gelen aşınma prosesleri.....	57
Şekil 6.5. Adhezyon aşınmasının meydana gelişi	58
Şekil 6.6. Abrasyon aşınması	59
Şekil 6.7. Yorulma aşınması.....	61
Şekil 6.8. Krater aşınması	62
Şekil 6.9. Serbest yüzey aşınması.....	63
Şekil 6.10. Plastik deformasyon	63
Şekil 6.11. Çentik aşınması	64
Şekil 6.12. Termal çatlaklar	64
Şekil 6.13. Yığılma kenar oluşumu.....	65
Şekil 6.14. Kesici ucun kırılması.....	66

Şekil 6.15. VB' nin takım ömrü süresince gelişimi.....	66
Şekil 6.16. Serbest yüzey aşınması.....	67
Şekil 6.17. Krater aşınması	68
Şekil 7.1. Deneilerin yapıldığı LER VH-100 dik işleme merkezi.....	70
Şekil 7.2. İş parçasının kimyasal kompozisyonu.....	71
Şekil 7.3. İş parçasına ait mekanik özellikler	71
Şekil 7.4. İş parçasına ait fiziksel özellikler	71
Şekil 7.5. Meneviş diyagramı	72
Şekil 7.6. Sertleştirme eğrisi.....	72
Şekil 7.7. Deneilerde kullanılan RT 130414 HF 2003 kodlu ucun özellikleri	73
Şekil 7.8. Deneilerde kullanılan RT-13/020-02-QCC20-110-R kodlu tutucunun özellikleri	73
Şekil 7.9. Valenite Safety RT 130414 HF 2003 uç için üretici firmanın tavsiye ettiği kesme verileri	74
Şekil 7.10. Deneilerde kullanılan sabit altlık ve mengene	75
Şekil 7.11. Parça ölçüleri ve oluşturulan takım yolu	75
Şekil 7.12. Down milling(Climb milling) işleme stratejisi	76
Şekil 7.13. Talaşa giriş-çıkış makroları	76
Şekil 7.14. Serbest yüzey aşınması.....	77
Şekil 7.15. Sin ² Ψ Yöntemi	78
Şekil 7.16. Stresstech XSTRESS 3000 G2R-XRD Stress Analyzer cihazı	79
Şekil 7.17. (Φ) ve Ψ rotasyonları.....	79
Şekil 7.18. X-ray yönteminde numunelerin yerleştirilmesi	80
Şekil 7.19. gxx, gyy, gzz yönlerinin tespiti	80
Şekil 7.20. Kartezyen düzlemde kalıcı gerilme bileşenlerinin gösterilmesi	81
Şekil 7.21. Delik delme metodunun şematik gösterimi	81
Şekil 7.22. (a) ölçülen yer değiştirmeler, (b) ölçülen yer değiştirmelerden katı-cisim halinin çıkartılmış hali, (c) teorik model ve b arasındaki fark, (d) teorik model.....	82
Şekil 7.23. Delik delme yöntemi ile kalıcı gerilme ölçülmesinin temel prensibi.....	82
Şekil 7.24. STRESSTECH PRISM/ESPI cihazı	83
Şekil 8.1. Takım aşınması(VB)- dış başı ilerleme(mm/diş) ilişkisi.....	84
Şekil 8.2. Takım aşınması- kesme hızı ilişkisi	84
Şekil 8.3. (a) fz= 0,625 V= 70 m/dak, (b) fz= 0,781 V= 70 m/dak, (c) fz= 0,625 V= 94,5 m/dak, (d) fz= 0,781 V= 94,5 m/dak	85
Şekil 8.4. fz: 0,5 mm/diş V: 70m/dak işleme şartında kalıcı gerilme dağılımı	87
Şekil 8.5. fz: 0,625 mm/diş V: 70m/dak işleme şartında kalıcı gerilme dağılımı	88
Şekil 8.6. fz: 0,781 mm/diş V: 70m/dak işleme şartında kalıcı gerilme dağılımı	88
Şekil 8.7. fz: 0,977 mm/diş V: 70m/dak işleme şartında kalıcı gerilme dağılımı	89
Şekil 8.8. fz: 1,22 mm/diş V: 70m/dak işleme şartında kalıcı gerilme dağılımı	89
Şekil 8.9. fz: 0,781 mm/diş V:94,5 m/dak işleme şartında kalıcı gerilme dağılımı	90
Şekil 8.10. (a) fz:0,5 mm/diş V:70 m/dak, (b) fz:0,5 mm/diş V: 94,5 m/dak, (c) fz: 0,5 mm/diş V:127,58 m/dak	91

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Takım çelikleri grupları ve işlenebilirlik oranları	18
Çizelge 3.2. AISI' ya göre takım çeliklerinin sınıfları ve sembolleri.....	19
Çizelge 3.3. Sıcak iş takım çeliklerinin kullanım alanları	23
Çizelge 3.4. ASTM A681 Standardına göre sıcak iş takım çeliklerinin sınıflandırılması.....	25
Çizelge 3.5. AISI standartlarına göre yüksek hız takım çeliklerinin kimyasal analizi.....	29
Çizelge 7.1. LER VH-100 teknik özellikler	70
Çizelge 7.2. Deneyleerde kullanılan kesme parametreleri.....	74

1. GİRİŞ

Talaşlı imalatın amacı uygun talaş oluşumunu sağlayarak iş parçası malzemesinin belirli şekil ve boyuta getirilmesidir. Bu esnada yüksek sıcaklık ve basınç, metallerin difüzyonu ve kimyasal reaksiyonlar takımın aşınmasına ve bunun sonucunda titreşim, kötü yüzey kalitesi, tolerans dışı imalat, takımın veya iş parçasının zarar görmesi gibi sorunlara neden olabilir.

Isıl işlem uygulanmış sıcak iş takım çeliklerinin günümüzde kullanım alanı giderek artmakta ve özellikle plastik enjeksiyon kalıpları ve ekstrüzyon kalıplarında oldukça geniş bir uygulama alanı bulmaktadır. Artan kalıp ömrü talepleri neticesinde kalıp çeliklerinde daha az aşınmayı sağlayabilmek için daha sert kalıp çeliklerinin kullanımı yaygın hale gelmiştir. Bu talepleri karşılayabilmek için araştırmalar yeni imalat teknolojilerine yönelmişlerdir. Son 20 yıl içerisinde ısıl işlem görmüş sıcak ve soğuk iş takım çeliklerinin frezelenmesi için yüksek hızlı işleme (HSM) ve yüksek performans işleme (HPM) adı verilen yeni talaşlı imalat teknolojileri üzerine oldukça yoğun çalışmalar yapılmaktadır.

Bütün üretim aşamaları (ısıl işlem, talaşlı ve talaşsız imalat, kimyasal işlemler vb.) makine parçaları üzerinde kalıcı gerilme oluşturur. Özellikle talaş kaldırma yöntemlerine bağlı olarak malzeme üzerinde gerilmeler oluşmaktadır. Kalıcı gerilmeler; dış yükler kaldırıldığında parçada hapsolmuş gerilmeler şeklinde düşünülebilir. Kalıcı gerilmeler makine elemanlarının çalışma performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Kalıcı gerilme, üretilen parçanın sertliğine, mukavemetine ve ölçü hassasiyetine belli bir etki yaptığı için genellikle istenen bir durum değildir. Kalıcı gerilmeler makine elemanlarının yorulma dayanımını etkiler ve boyutsal değişikliklere neden olabilir. Bu nedenle üretilen parçalar üzerindeki kalıcı gerilme değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Kalıcı gerilmeleri zihinde canlandırmak, ölçmek veya mümkün olan yakınlıkta hesap etmek zordur.

Yapılan literatür araştırmaları sonucunda kalıcı gerilmelerin makine elemanları için çok önemli olduğu ve bu kalıcı gerilmelerin mekaniksel, X-ray, nötron kırınımı, manyetik ve ultrasonik yöntemlerle ölçülebildiği görülmüştür. Bazı araştırmacılar da sonlu

elemanlar yöntemini kullanarak kalıcı gerilmeyi hesaplamaya çalışmışlardır. Ancak en sağlıklı sonucun deneysel yollarla elde edilebileceği görülmüştür.

Bu çalışmada, 55 HRc sertliğinde sertleştirilmiş DIN1.2344 ESR sıcak iş takım çeliği 3 farklı kesme hızı ve 5 farklı yüksek ilerleme değerinde işlenmiş ve kesme parametreleri sonucunda oluşan takım aşınmaları ile kalıcı gerilme değerleri arasında ilişki kurulmaya çalışılmıştır. Deneylerde 100x100x20 mm ebatlarında hazırlanmış 15 adet deney numunesine 80x80x5 mm ölçüsünde havuz boşaltma işlemi, CNC freze tezgahında, hava soğutma kullanılarak açılmıştır. Daha sonra hazırlanan bu deney numuneleri üzerindeki kalıcı gerilme X-Ray ve delik delme metodu kullanılarak ölçülmüştür. X-ray yöntemi ile işlenen yüzey üzerindeki kalıcı gerilmeler saptanmış, delik delme metodu ile 10 farklı derinlik ile yüzeyden 500 mikron derinliğe kadar inilerek kalıcı gerilmelerin derinlik profili çıkartılmıştır.

Literatür taramasında, sertleştirilmiş takım çeliklerinin işlenebilirliği, bu çeliklerin işlenmesi esnasında oluşan takım aşınmaları, işlenebilirliğe bağlı olarak oluşan kalıcı gerilmeler, kalıcı gerilme tespit yöntemlerine ait konulara yer verilmiştir.

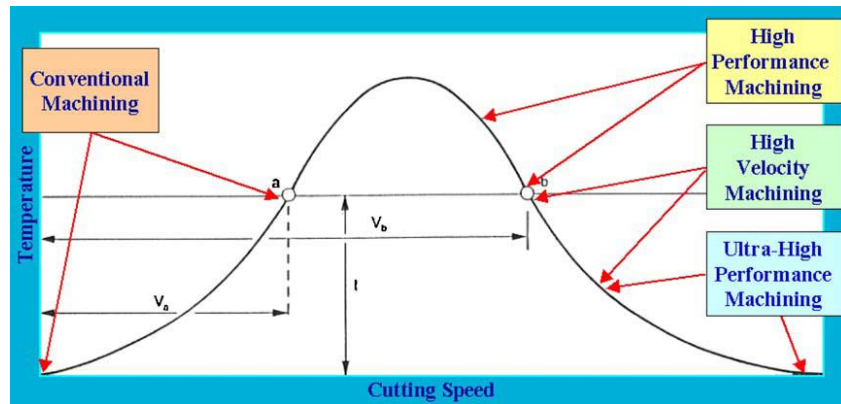
Literatür taramasına ek olarak değişik kesme ve ilerleme hızlarında oluşan takım aşınmaları ile kalıcı gerilmeler karşılaştırılmış ve takım aşınması ile kalıcı gerilmeler arasındaki bağlantının literatüre kazandırılması amaçlanmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

İşlenmiş yüzeyde meydana gelen kalıcı gerilmeler parçaların yorulma ömrünü belirleyen en önemli faktörlerden biridir. Talaş kaldırma işlemi, genel olarak aşırı yüksek deformasyon ve deformasyon hızı ile birlikte çok miktarda plastik deformasyon içerir. Buna ilaveten kesme esnasında ısı oluşur. Bu durum, işleme sırasında istenmeyen fakat kaçınılmaz olan kalıcı gerilmeleri açığa çıkarır.

Sert malzemelerin işlenebilirliği konusu, son yıllarda üzerinde sıkça durulan araştırma konularından biridir. Sertleştirilmiş çeliklerin işlenmesiyle ortaya çıkan ısı ve kesme kuvvetleri, kesici takımlar üzerinde istenmeyen takım aşınmaları oluşturur. Bu konular üzerine literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Sertleştirilmiş takım çeliklerinin işlenebilirliği, takım aşınması ve kalıcı gerilmelerle ilgili çalışmalardan bir kısmı bu bölümde kısaca ele alınacaktır.

Salomon (1931) Şekil 2.1 de gösterilen diyagramı oluşturarak, kesme hızındaki artış ile birlikte takım/talaş ara yüzeyindeki sıcaklığın belli bir seviyeye kadar artacağını ve daha sonra kesme hızındaki artış devam ettikçe sıcaklığın düşeceğini ve sonsuz kesme hızında minimum sıcaklık oluşacağını belirtmiştir, dolayısıyla yüksek hız işleme (HSM) teknolojisinin kurucusu ve fikir babası sayılır. Birçok araştırma ve referans, takım aşınması ve kesme kuvvetlerinin, artan kesme hızları ile azaldığı tezini savunmaktadır. Kesme hızı ile kesici takımın ısınması arasındaki ilişki günümüzde halen tartışmaya açık bir tez konusu olmaya devam etmektedir.



Şekil 2.1. HSM diyagramı (Salomon 1931)

Raghavan (1985) 48-50 HRc sertliğindeki AISI H13 çeliğini 100-200 m/daklık kesme hızlarında, 0,1 mm/devir ilerleme değerinde ve 1 mm talaş derinliğinde frezelemiştir. Takım aşınması ve kaldırılan talaş hacmi optimize edildiğinde en uygun kesme hızının 180 m/dak olduğunu tespit etmiştir.

König ve Bieker (1989) 47 HRc sertliğindeki AISI H11 malzemeyi K10 ve P25 kalite karbür uçlar kullanarak 100-700 m/dak kesme hızı aralığında işlemiştir. Bütün deneyler kesme sıvısı kullanılmadan gerçekleştirilmiştir. P25 ile K10 kaliteleri hemen hemen aynı performansı sunmuş ve aşınma VB 0.15 mm olduğunda kesme uzunluğu 10,5 m civarında kalmıştır.

Tönshoff ve ark. (1989) 2 ağızlı P25 kalite 16 mm çapında karbür küre takım ile 38 HRc sertliğinde AISI H11 numuneleri işlemişlerdir. 3 mm talaş derinliği ve 1,13 mm yanal kayma gibi yüksek değerler kullanmışlardır. Testlerde başlangıçta 6192 dev/dak ve 0,1 mm/diş ilerleme kullanmışlar, daha sonra devri iki katına çıkarırken ilerlemeyi yarıya düşürmüşlerdir. Bu şekilde dakikadaki talaş kaldırma hızını (MRR) 4,2 cm³/dak olarak sabitlemişlerdir. 6192 dev/dak' da maksimum takım aşınması küre takımının tam merkezindeki kesmeyen ölü alanda oluşmuştur. Bu şekilde ardışık denemelerde takım kırılmadan önce en fazla 8,5 dakika çalışabilmiştir. Devir iki katına ilerleme yarıya düştüğünde takım 0,5 dakikada ömrünü tamamlamıştır. Buradan çıkarılan en önemli sonuç; daha iyi takım ömrü için devir sayısından ziyade ilerleme miktarının maksimumuna getirilmesidir.

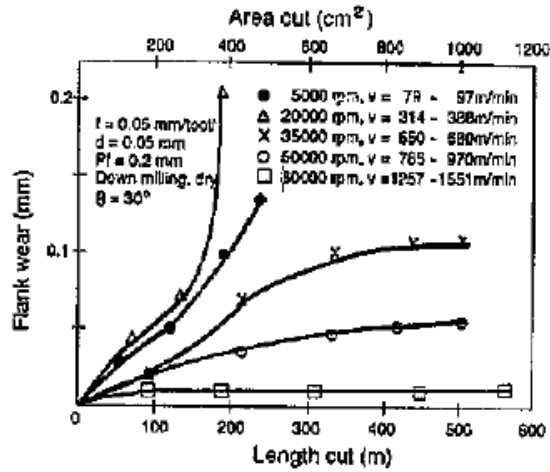
Nakagawa (1992) 57 HRc AISI D2 ve 36-57 HRc sertlik aralığındaki AISI H13 çeliklerde işlenebilirlik denemeleri yapmıştır. 10 mm çapında küre 2 ağızlı bir takım kullanmış, iş parçasını 15° – 45° aralığında bağlayarak küre takımının merkezde sıfır olan noktasal kesme alanını engellemeye çalışmıştır. Nakagawa 36 HRc sertliğinde AISI H13 malzemeyi 1040 m/dak ya varan kesme hızlarında işlemiştir. 407-700 m/dak kesme hızı aralığında kaldığında PCBN uçlarda, 785-1040 m/dak kesme hızı aralığına göre daha düşük takım aşınması olduğunu belirtmiştir. Diğer işleme parametreleri sabit olmakla beraber talaş derinliği 0,1 mm, diş başı ilerleme 0,05 mm/diş, ve yanal kayma 0,2 mm' dir. Fakat bu parametreler sonucunda oluşan talaş kaldırma hızı 0,05 cm³/dak olduğundan çok ekonomik bir işleme parametresi olarak kabul edilmemiştir. Aynı

sertliğe sahip iş parçası üzerindeki benzer denemelerde 5000 dev/dak devir sayısı kullanıldığında ortaya çıkan takım aşınma miktarı hemen hemen aynıdır. Denemelerde ayrıca kuru ve soğutma sıvısı opsiyonuna göre de takım aşınmaları incelenmiştir. Soğutma sıvısı kullanıldığında kuru işlemeğe göre daha düşük aşınma bulunmuştur.

Bagard ve ark. (1994) Fransa'da yaptıkları deneylerde 35 HRc sertlik değeriinde AFNOR 40CMD8 (AISI karşılığı yok) malzeme ile çalışmış ve kaplamalı kaplamasız sermetler ile kaplamalı karbür takımları karşılaştırmıştır. 400 m/dak kesme hızında kaplamalı sermet kaplamasız sermete göre daha iyi takım ömrü vermiştir. Bu iki tür sermete göre kaplamalı karbür takımlar bu takımların ancak beşte birinde kalabilmişlerdir. Yani sermetlerin takım ömrü kaplamalı karbür takımlara göre 5 kat daha iyi çıkmıştır. Farklı bir deneyde 49 HRc sertliğinde AISI H11 malzeme 6 mm çapında kaplamalı karbür takım ve PCBN takım ile işlenmiştir. Kaplamalı karbür takım 150 m/dak ve 250 m/dak hızlarda denenirken PCBN takım ile 500 m/dak kesme hızına çıkılmıştır. Daha yüksek kesme hızına rağmen PCBN takımdaki aşınma, kaplamalı karbür takımdan çok daha az tespit edilmiştir.

Hock (1995) yaptığı deneylerde 32 HRc sertlikteki AISI P20 iş parçasını 20 mm çapında K05 kalite karbür küre takım ile 300 m/dak kesme hızı 0,2 mm/diş ilerleme miktarı, 1 mm talaş derinliği, 0,7 mm yanal kayma ve aynı yönlü frezeleme (down milling) stratejisi ile işlemiştir. İş parçası 0-5-15-30-45 derecelik bağlama açılarında bağlanmış ve kürenin tam merkezinde kesmeyen ölü alanın da etkisi incelenmiştir. En uzun kesme uzunluğu 28 m ile 15 derece bağlanan iş parçasında elde edilmiştir. Takım ömrü aşağıdan yukarıya doğru gerçekleşen işlemede en uzun çıkmıştır. P40/P50 kalite takım kullanıldığında down milling işleme stratejisi ile kesme uzunluğu yaklaşık 150 m, karşıt yönlü frezeleme (up milling) ile işleme yapıldığında 120 m çıkmıştır. Kesme hızı 300 m/dak dan 800 m/dak ya çıktığında K05 (kaplamasız), P25 (kaplamasız), P30/P40 (kaplamalı) her kesme şartında kesme uzunluğu artan kesme hızları ile azalmıştır. Takım ömrü her durumda kaplamalı takımda kaplamasızına göre 5 kat fazla çıkmıştır. Optimum kesme şartlarına 0,3 - 0,4 mm/diş ilerleme aralığında ulaşılmıştır. 6 mm çapında sermet küre frezenin takım bağlama boyu 30 mm den 60 mm ye çıkarıldığında kesme uzunluğu 7 kat azalmıştır.

Nakagawa ve ark. (1995) AISI H13 57 HRC sertliğinde malzemeyi 5000 - 80000 dev/dak lık devir sayısı aralığında işlemiş, en düşük takım aşınmasını en yüksek devirde bulmuşlardır. Fakat 20000 dev/dak da en büyük takım aşınması değerine ulaşılmıştır. Bu işlemede parametreler; diş başı ilerleme; 0,05 mm/diş, yanal kayma 0,2 mm, talaş derinliği 0,05 mm dir. Kesme hızının takım aşınmasına olan etkisi Şekil 2.2' de gösterilmiştir. 57 HRC sertliğinde AISI D2 ile çalışıldığında diğer kesme şartları sabitken takım kesme boyu; 0,05 mm/diş ilerleme değerinde 0,03 mm/diş ilerleme değerine göre tam 2 kat çıkmıştır. Bu deneyleri esnasında en iyi takım ömrünü; soğutma sıvısının doğrudan parçaya temas etmediği uygulamada bulmuştur. En kötü takım ömrü ise soğutma sıvısının doğrudan kesme bölgesine gönderildiği deneylerde oluşmuştur. Ortasında ise kuru işleme yer almaktadır.



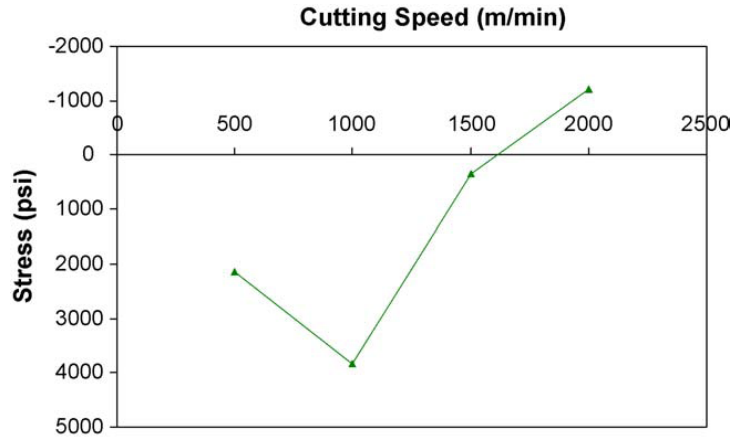
Şekil 2.2. 57 HRC sertlikteki AISI H13 ün PCBN küre takım ile işlenmesinde kesme hızının takım aşınmasına olan etkisi (Nakagawa ve ark. 1995)

Minamuno ve ark. (1996) sertleştirilmiş AISI D2 çeliği frezelediklerinde kesme bölgesindeki sıcaklığın diş başı ilerlemeden etkilenmediğini bulmuşlardır. Fakat kesme bölgesindeki sıcaklık kesme uzunluğu arttıkça artan takım aşınmasına bağlı olarak artmıştır.

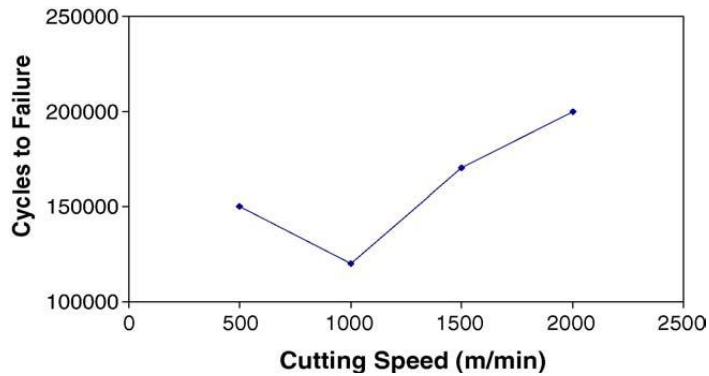
Dewes ve ark. (1997) küresel takım kullanımının düşük talaş derinliklerinde düşük termal etki oluşturduğunu ve küre takımların orta bölgesi kesmediğinden ötürü oluşan mekanik etki ile kalıcı gerilmeleri basma yönüne çevirdiğini belirtmiştir.

Elbestawil ve ark. (1997) 55 HRc sertliğindeki AISI H13 çeliğini PCBN uçlar kullanarak 220 - 1320 m/dak kesme hızlarında, 0,02 - 0,1 mm/devir ilerleme değerinde, 0,625 - 2 mm talaş derinliklerinde, kuru ve sıvı soğutma kullanarak işlemişlerdir. Yüksek talaş derinliğinin daha iyi takım ömrü oluşturduğu tespit edilmiş, düşük kesme hızlarında daha büyük aşınmalar elde edilmiştir. Kuru işlemede elde edilen takım ömrü sıvı işlemeye nazaran bütün kesme hızlarında daha iyi sonuçlar vermiştir.

Ansell (1999) 6061-T6511 alüminyum alaşımlarından 75x75x31 mm ölçüsünde numuneler hazırlamış ve 500-1000-1500-2000 m/dak kesme hızlarında işlemiştir. Elde ettiği sonuçlara göre kesme hızının parçanın yorulma ömrü üzerindeki etkisini Şekil 2.3. ve Şekil 2.4' de verilen grafiklerle ifade etmiştir. Şekillerden de görüldüğü üzere 1000 m/dak lık kesme hızının üzerine çıkıldıkça kalıcı gerilmeler çekme gerilmelerinden basmaya dönmekte ve bu da parçaların yorulma ömrünü arttırmaktadır.



Şekil 2.3. Kesme hızına bağlı olarak gelişen kalıcı gerilme dağılımı (Ansell 1999)



Şekil 2.4. Kesme hızına bağlı olarak numunelerin yorulma ömrü (Ansell 1999)

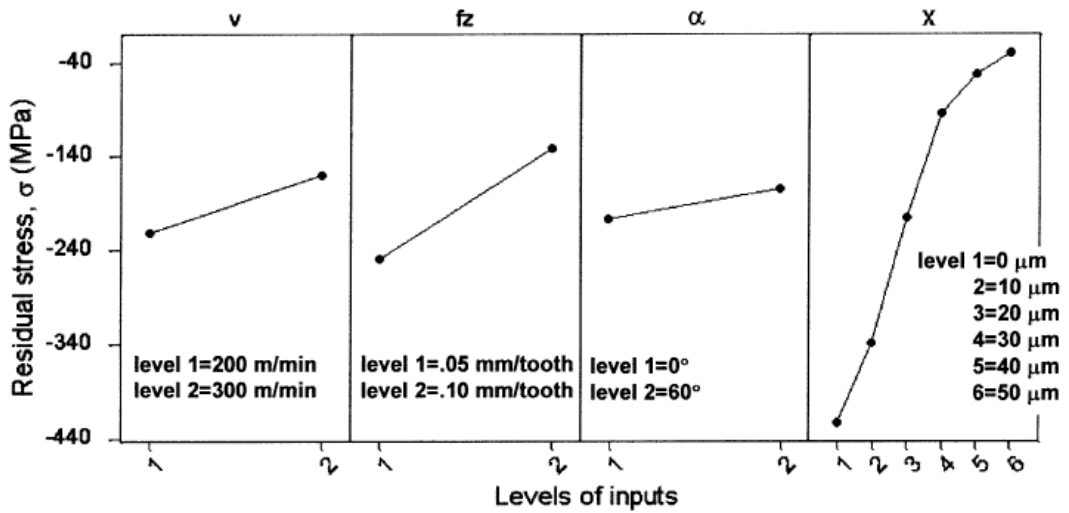
Dewes ve ark. (1999) 6 mm çapında TiCN kaplamalı WC solid küre freze kullanarak AISI H13 malzemeyi 52 HRc sertlikte işlemişlerdir. Deneyler esnasında takım/talaş ara yüzeyindeki ve talaş yüzeyindeki sıcaklıkları ölüp, kesme parametrelerine bağlı olarak sıcaklık değişimlerini incelemişlerdir. Sıcaklık artan kesme hızı ile artmış ve kesme hızı artmaya devam ettikçe hızla yükselmiştir. Diş başı ilerlemenin sıcaklık üzerinde çok büyük bir etkisi yoktur. Bu durum Salomon' un teorisi ve Salomon eğrisi ile ters düşmektedir. Aşınmış takımlar ile çalışmak yeni takımlara nazaran daha yüksek sıcaklıkların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Takım talaş ara yüzeyinde tespit edilen sıcaklıklar 198 ila 385 derece arasında değişmiştir. Kesme bölgesindeki sıcaklığın artan takım radyüsü ile azaldığını tespit etmişlerdir.

Urbanski ve ark. (2000) 52 HRc sertliğindeki AISI H13 eliğini 150 ila 350 m/dak' lık kesme hızlarında, TiN, TiCN ve TiAlN kaplamalı uçlar kullanarak, 1 mm talaş derinliğinde ve 0,1 mm/devir ilerleme değerlerinde işlemişlerdir. Takım mr olarak 350 m/dak kesme hızında TiAlN kaplamanın TiCN kaplamadan 4 kat daha uzun ömürlü olduğunu tespit etmişlerdir. TiCN kaplamanın ise TiN e göre bütün kesme hızlarında daha uzun takım ömrü verdiği tespit edilmiştir.

Ning ve ark. (2001) 55 HRc sertlikteki AISI H13 malzemeyi, 12 mm çapında TiAlN kaplamalı solid karbür freze ile 10000-30000 dev/dak aralığında 0,05-0,8 mm/diş ilerleme değerleri içerisinde 0,1-0,8 mm talaş derinliği aralığında işlemişlerdir. Tüm parametrelerde takımda serbest yüzey aşınması olduğunu ifade etmişlerdir. İşleme bölgesindeki sıcaklık kesme hızı ve talaş derinliği arttıkça artmıştır. Sıcaklık üzerinde yanal kaymanın etkisi daha az olmuştur. Sıcaklığın kesme hızı ve talaş derinliği ile arttığı sonucuna ulaşmışlardır.

Axinte ve Dewes (2002) 50x80x150 mm llerinde hazırlanan 47-49 HRc sertliğindeki H13 malzemeyi 200-300 m/dak kesme hızlarında 0,05-0,1 mm/diş ilerleme değerinde, 0,2 mm talaş derinliği ile TiAlN kaplamalı çap 10 mm küre WC karbür kesici kullanarak işlemişlerdir. Yanal kayma miktarı 0,2 mm olup hava soğutma ile down milling yöntemi kullanarak deneyler yapılmıştır. Bu deneyler esnasında küre takımın merkez noktasının işlemeye olan etkisini incelemek için iş parçasını ayrıca 60⁰ bağlayarak da bağlama açısı ile kre takımın yandan kesmesini sağlamışlar ve bağlama

açısının da etkisini incelemişlerdir. Çok yüksek basma kalıcı gerilmeleri oluşmuş olup -760Mpa' a kadar çıkmıştır. Kalıcı gerilmelerdeki en dikkat çekici faktörler; kesme hızı, diş başı ilerleme, iş parçası bağlama açısı (küre takımın kesme açısı), işleme yapılan derinliktir. Kesme hızı ve diş başı ilerlemenin artması, basma kalıcı gerilmelerinin büyük oranda azalmasına sebep olmaktadır. Bunun sebebi olarak termal ısınma gösterilebilir. İş parçası yüzey kalitesi ve kalıcı gerilme için en uygun sonuç tek bir işleme parametresinde alınamamıştır. Küre takımın yan yüzeyinin kesmesi ile basma kalıcı gerilmeleri azalmış ve çekme gerilmelerine yaklaşmıştır. Bunun sebebi olarak; küre takımlarda orta bölgenin efektif olarak kesmemesi neticesinde parça üzerinde mekaniksel bir etki yaptığı düşünülmektedir. Bütün grafikler; basma kalıcı gerilmelerinin işlenen yüzeyden derine doğru indikçe azaldığını göstermektedir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Kesme parametrelerinin kalıcı gerilmelere etkisi(Axinte ve Dewes 2002)

Koshy ve ark. (2002) 58 HRC sertlikteki AISI D2 ve 52 HRC sertlikteki AISI H13 malzemeler üzerinde değişik kesme parametreleri altında farklı türde kesici takımlar kullanarak çalışmışlardır. Bütün parametreleri göz önünde bulundurdıklarında hiçbir kesici ile 40 m kesme uzunluğunun üzerine çıkamamışlardır. H13 malzeme üzerinde elde ettikleri takım ömrü D2 malzemeye göre daha yüksek olmuştur. PCBN uçlarda kesme kenarının kırılmasına bağlı olarak daha düşük kesme uzunluğu elde edilmiştir.

Chevrier ve ark. (2003) AISI 4140 malzemeyi değişik kesme şartları ile işlemişlerdir. Genel olarak yüzeyde çekme derinlere indikçe basma kalıcı gerilmeleri tespit

etmişlerdir. Bunun sebebi olarak iş parçası yüzeyinde işleme esnasında artan sıcaklık gösterilmiştir.

Ghani ve ark. (2004) 50 HRc sertliğindeki AISI H13 malzemeyi P10 kalite TiN kaplamalı çapı 25 mm olan 2 ağızlı değiştirilebilir sert metal uçlarla işlemişlerdir. Talaş derinliği 3 mm olarak sabitlenmiştir. Diş başı ilerleme miktarı 0,1 mm/diş, 0,16 mm/diş, 0,25 mm/diş, kesme hızı 224 m/dak, 280 m/dak, 355 m/dak alınmıştır. Takım aşınmasına etken parametreler sırasıyla; ilerleme miktarı ve kesme hızı olarak bulunmuştur. En iyi yüzey kalitesini en yüksek kesme hızı (355 m/dak) ve en düşük ilerleme değeri (0,1 mm/diş) ile elde etmişlerdir. Yüksek kesme hızı, düşük talaş derinliği ve ilerleme miktarı ile en düşük kesme kuvvetlerini elde etmişlerdir.

Toh (2005) 52 HRc sertliğindeki AISI H13 malzemeyi kuru şartlarda AlTiN kaplamalı 6 ağızlı 10 mm çapında 45 derece helis açısına ve 14 derece boşluk açısına sahip karbür köşe radyuslu takım ile işlemiştir. Bütün deneylerde diş başı ilerleme 0,0667 mm/diş olarak sabit tutulmuştur. 314-400 m/dak kesme hızlarında 10-15-20 mm talaş derinliklerinde çalışılmıştır. Talaş yüzey sıcaklığı up milling yönteminde down milling yöntemine göre bütün kesme koşullarında daha küçük ölçülmüştür. Fakat bu ikisi arasındaki fark % 2,04 ü geçmemiştir. Bu yüzden kesme bölgesinde oluşan ısıya işleme yönünün etkisi olmadığı söylenebilir. Kesme kuvvetinin işleme yönüne bağlı olmaksızın artan talaş derinliği ile arttığı tespit edilmiştir. Genel olarak aynı yönlü işleme yönteminde daha düşük kesme kuvvetleri elde edilmiştir.

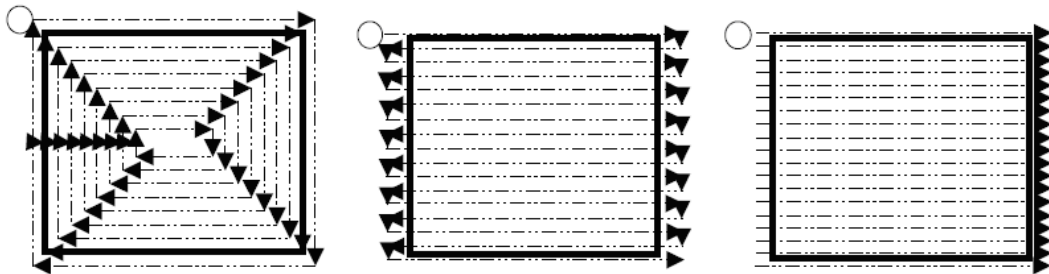
Vivancos ve ark. (2005) 61 - 62 HRc sertliğindeki AISI D2 kalıp çeliğini AlTiN kaplamalı, 6 mm çapındaki 6 ağızlı karbür takım ile, 6-12 mm talaş derinliklerinde, 0,05 - 0,3 mm yanal kayma, 0,02 - 0,06 mm/devir ilerleme değerlerinde 75 - 150 m/dak kesme hızlarında işlemişlerdir. Yüksek talaş derinliği ve kesme hızında daha düşük Ra yüzey pürüzlülüğüne ulaşılmıştır. Yanal kaymanın dik duvardaki yüzey pürüzlülüğüne etkisinin olmadığı belirtilmiştir.

Arsecularatne ve ark. (2006) 62 HRc sertliğindeki AISI D2 takım çeliğini PCBN uçlar kullanarak tornalamışlardır. Deneyler sonucunda en uygun ilerleme miktarı 0,08 ila 0,20 mm/dev, kesme hızı ise 70 m/dak ila 120 m/dak aralığında bulunmuştur. Testlerin bir çoğunda PCBN uçlar serbest yüzey aşınması nedeniyle ömrünü tamamlamıştır.

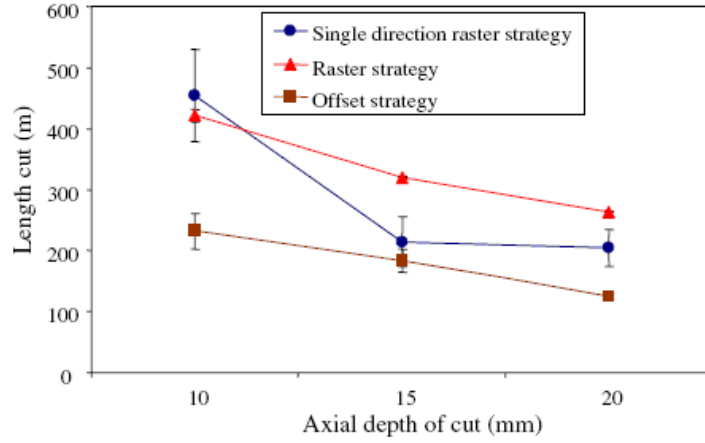
Optimum takım ömrü ve talaş kaldırma oranı düşünüldüğünde kesme hızı 70m/dak olmalıdır. Yüksek ilerleme yüksek talaş kaldırma oranı sağlarken, düşük ilerlemelerde en uzun takım ömürleri elde edilmiştir. Finiş operasyonlarda 0,14 mm/dev, kaba operasyonlarda 0,20 mm/dev en uygun ilerleme değeri olarak belirlenmiştir.

Toh (2006), sertleştirilmiş AISI H13 malzeme üzerinde işleme stratejilerinin takım aşınması ve kesme uzunluğuna olan etkisini incelemiştir. Deneylerinde 52 HRC sertlikteki numuneleri 6 ağızlı 10 mm çapında karbür kesici takım ile işlemiştir. İşleme stratejileri Şekil 2.6' da sonuçlar Şekil 2.7' de verilmiştir. Zigzag işleme en yüksek takım ömrünü tüm talaş derinliklerinde vermiştir. Ofset stratejisi en düşük takım ömrünü vermiştir. Bunun en büyük nedeni işleme yönünün ilerlemeye bağlı olarak değişmesiyle artan vibrasyon, talaş hacmi ve bunlara bağlı olarak artan kesme kuvvetleri olduğunu belirtmiştir. Artan kesme hızı, talaş kaldırma hızının artmasına rağmen zigzag stratejisinde takım ömrünün azalmasına neden olmuştur.

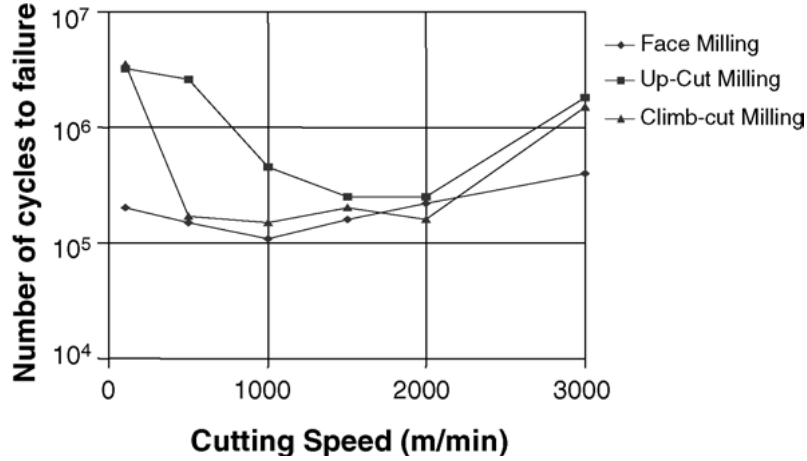
Wyatt ve Berry (2006) alüminyum alaşımı 7010-T7451 üzerinde çalışmıştır. Parçalardaki yorulma ömrünün aynı zamanda işleme stratejisi ile de ilişkili olduğu ortaya çıkmıştır. Up milling yorulma ömrüne en faydalı işleme türü olup, parçaların yorulma ömrünü arttırmıştır. Yorulma testleri göstermiştir ki konvansiyonel kesmeye göre kesme hızındaki ilk artış yorulma ömründe azalmaya sebep olmuştur (100 m/dak ve üzeri). Fakat kesme hızı 3000 m/dak' lara doğru çıktığında yorulma ömründe ciddi bir artış olmuştur. Minimum ömür 200-500 m/dak kesme hızı aralığında oluşmuştur (Şekil 2.8).



Şekil 2.6. İşleme stratejileri. Soldan sağa doğru ofset, zigzag ve tek yönlü işleme (Toh 2006)



Şekil 2.7. 314 m/dak kesme hızı, 0,5 mm yanal kayma, takım aşınması VB: 0,3 mm olduğunda işleme stratejisinin kesme uzunluğuna etkisi (Toh 2006)



Şekil 2.8. Kesme hızı ve işleme stratejisinin yorulma ömrüne etkisi (Wyatt ve Berry 2006)

Choi (2009) AISI 1053 malzemeyi 0,79 - 1,59-4,76 radyuslu CBN uçlar ile değişik ilerleme ve kesme hızı değerlerinde tornalamış ve kalıcı gerilmeleri X-ray yöntemi ile tespit etmiştir. Bu numuneler üzerindeki yorulma dayanımlarını işleme parametrelerine göre değerlendirmiştir. Ağırlıklı olarak işlenen numuneler üzerinde basma kalıcı gerilmeleri tespit etmiştir. En büyük gerilmelere yüzeyin 5 - 25 mikron derinliğinde rastlamış ve bu gerilmeler derinlik arttıkça azalmıştır. Parçanın yüzey çatlamasında en etkili derinliği 18,6 mikron olarak tespit etmiştir. En büyük basma kalıcı gerilmelerine uç radyusu 0,79 mm iken ulaşılmıştır.

Li ve ark. (2009) 60 HRc sertlikteki AISI D2 takım çeliğini 75 m/dak kesme hızı, 1450 mm/dak ilerleme, 5 mm talaş derinliği, 0,25 mm yanal kayma ile işlemişlerdir. Deneylede kaplamasız karbür takımı kuru şartlarda kullanmışlardır. İşleme şartlarına göre yüzeyde -500 MPa basma kalıcı gerilmeleri buldukları gibi +200 MPa çekme kalıcı gerilmeleri de tespit etmişlerdir. Bu değişkenliği belirleyen talaş açısıdır. Artan talaş açısı daha büyük basma kalıcı gerilmeleri oluşumunu sağlamıştır.

Tang ve ark. (2009) 7050-T7451 alüminyum alaşımını işlemişler ve işleme esnasında oluşan takım aşınmaları ile kalıcı gerilmeleri karşılaştırmışlardır. Sonuçlar göstermiştir ki takım aşınması parçanın yüzeyinde oluşan kalıcı gerilmeler üzerinde oldukça etkilidir. Takım aşınması arttıkça yüzey üzerinde çekme kalıcı gerilmeleri oluşmuş, yüzey altındaki basma kalıcı gerilmeleri artmış ve kalıcı gerilmelerin yüzeyden aşağıya olan derinliği de artmıştır. Kalıcı gerilmelerin parça üzerindeki dağılım şeklinin ve derinliğinin; doğrudan kesme kuvvetleri ve kesme esnasında oluşan takım/talaş ara yüzeyindeki sıcaklık ile ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Yüzey üzerinde oluşan kalıcı gerilmeler üzerindeki en önemli etkinin; termal yüklemeler olduğu anlaşılmıştır. Kalıcı gerilmelerin yüzeyden olan derinliğini etkileyen en önemli faktör ise; mekanik yüklemeler olarak bulunmuştur.

3. TAKIM ÇELİKLERİ

3.1. Giriş

Takım çelikleri, çok çeşitli bir malzeme yelpazesinde yer alan metallerin şekillendirilmesi, kesilmesi, form verilmesi amacıyla kullanılan çok özel çeliklerdir. Takım çeliklerinin ilk kullanımları tarih öncesi çağlara dayanmaktadır. Bu çeliklerin ilk kullanımlarında sertleştirilmesinin de tarihi 3000 yıl öncesine dayanmaktadır. Bu işlem o dönemde ısıtma ve su ile sertleştirme olarak yapılmaktayken, günümüzde vakum fırınlarında yapılan ısıtma işlemlerine kadar gelişmiştir.

Takım çeliklerinin 19. yüzyılların ortasında ve 20. yüzyıl başlarında yeni alaşım elementleri ile tanışmasından önce sadece bu çeliklerde karbon kullanılmıştır. Gelişen teknoloji ile malzemedeki beklenen özelliklerin artmasıyla, bu alanda kullanılacak çeliklerin ihtiyaçlarını karşılayabilmek için yeni alaşım elementleri eklenmeye başlanmış, bu alaşımlama işlemi mangan, tungsten, molibden, vanadyum ve krom gibi yeni alaşım elementlerinin bulunması ve çelikte kullanılmalarının faydalarını görülmesiyle paralel şekilde ilerlemiştir. Bu paralellik aynı zamanda çelik üretim teknolojilerinde de aynı şekilde olmuş ve safsızlık kontrolü ile üretimdeki hassasiyet bakımından büyük ilerlemeler elde edilmiştir. Bu ilerlemeler sadece sıcakta veya soğukta kullanım, plastik kalıpları ve çok çeşitli özel uygulamalar için çelik kullanım amacıyla geliştirilmiş çelik türlerinin ortaya çıkmasını sağlamaktadır (Toptop 2011).

Endüstride yaygın olarak kullanılan takım çelikleri talaşlı veya talaşsız imalatta kullanılan, sıcak veya soğuk haldeki iş parçalarını kesme, dövme ve sıkıştırma yöntemlerinden biri veya birkaçı ile şekillendirme işi yapabilen yüksek nitelikli çeliklerdir. Uygulama alanlarına, kullandıkları sıcaklık aralığına ve içerdikleri alaşım elementlerine bağlı olarak dört ana grupta incelenirler. Bu sınıflandırma soğuk iş takım çelikleri, sıcak iş takım çelikleri, yüksek hız takım çelikleri ve plastik kalıp çelikleri şeklindedir.

Soğuk iş takım çelikleri ağırlıklı olarak kesme, bükme, eğme, form verme kalıplarında ve 200 C' nin altında çalışırken, yüksek hız takım çelikleri yaygın olarak diğer takımın işleme ve talaşlı imalatında; 400-600 °C aralığında kullanılırlar. Diğer türlere göre daha

kısa bir geçmişi olan plastik kalıp çelikleri ise korozyon dirençleri ve parlatılabilirlik özellikleri ile öne çıkmaktadırlar. Sıcak iş takım çelikleri sıcak aşınma direnci, ısı iletkenliği, meneviş direnci ve tokluğu yüksek malzemelerdir. Metal enjeksiyon kalıpları, dövme kalıpları, ekstrüzyon profil kalıpları, sıcak dövme yoluyla şekillendirilen pres takımları sıcak iş takım çeliklerinden üretilmektedir (Albaraz 2010).

Alaşım elementlerinin yüksek fiyatlı oluşu, hassas üretim sürecinin gerekliliği ve kalite kontrol uygulanışı takım çeliklerinin pahalı olmasına yol açar. Buna karşılık, insan emeğiyle çok uzun zamanda yapılabilecek, çoğu zamanda yapılması mümkün olmayan karmaşık biçimli elemanların ve makine parçalarının bazen milyonlarcasının üretilmesine olanak veriyor olmaları düşünülürse, takım çeliklerinin bu yüksek fiyata değiyor oldukları söylenebilir (Çetinarslan 1997).

3.2. Takım Çeliklerinden Beklenen Özellikler

Takım çelikleri kullanıldıkları alanlara göre özel olarak ayarlanmış alaşım yapıları sayesinde üstün özellikler gösteren çeliklerdir. Genel olarak kalıp malzemesi ya da şekillendirici olarak kullanıldıkları durumlarda malzemelerden beklenen özellikler ortaktır.

- **Sertlik**

Takım çeliklerinde, çalışma koşullarında yeterli mukavemet gösterecek bir yapı için uygun sertlik gerekmektedir. Bunun için takım çeliğinde yeterli karbon bulunması ve karbon dahil toplam alaşım miktarının %5'in üzerinde olması gerekmektedir. Alaşım elementleri hem malzemenin sertliğini arttırmakta hem de menevişleme kabiliyetini yükseltmekte etkili olmaktadır. Sertleşme derinliği düşük olan çeliklere genellikle suda su verilir. Sertleşebilirlik; artan alaşım miktarı ile birlikte artar. Sertleşebilirliği düşüren tek alaşım elementi kobalttır. Büyük kesitlerin her yerinde yüksek sertlik elde edebilmek için; yüksek alaşımli çelik seçmek gerekir (Çetinarslan 1997, Toptop 2011).

- **Süneklik**

Malzemenin sünek kırılma direnci olarak tanımlanan süneklik, takım çeliklerinde oldukça önemlidir. Takım çeliğine çalışma koşullarında uygulanan plastik gerilmeler

sonucunda, bir çatlak oluşması ve bu çatlağın ilerleyerek kırılmaya yol açması ne kadar geç olursa, çalışma ömrü o kadar uzun olacağından, takım çeliğinden plastik gerilmelere karşı yüksek dayanım beklenir.

Sünekliği etkileyen öncelikli faktörler arasında malzeme yapısında bulunabilecek safsızlıklar, birincil karbürler ve ikincil karbürlerin oluşturduğu ağ veya sıralanmalar sayılabilmektedir. Malzemenin sertliğinin yüksek olması, mikro yapısı, ısıl işlem görmüşse beynit/martenzit içeriği ikinci planda sayılabilecek etkilere sahiptir.

Süneklik miktarını belirleyebilmek için çekme testleri yapılmakta ve kırılmadan önceki yüzeyin kesit alanı ölçülmektedir. Ayrıca alternatif olarak çentiksiz darbe testi yapılabilmektedir (Toptop 2011).

- **Tokluk**

Takım çeliğinin gevrek kırılmaya karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanmaktadır. Gevrek kırılmayı başlatan etmenler arasında malzemedeki düzensiz gerilim dağılımı, çentikler, çentik etkisi yaratacak mikro çatlaklar sayılabilmektedir. Mikroyapı olarak gevrek kırılmaya, büyük taneli yapı, tane sınırlarında ikincil karbürlerin bulunması, yapının beynitik ya da perlitik olması ve meneviş gevrekliğini oluşturabilecek elementlerin varlığı sebep olabilmektedir. Buna göre ısıl işlem koşulları ve sonuçları tokluğa doğrudan etki eden öncelikli nedenlerdir. Yapıda yer alabilecek olan safsızlıklar ve karbürler eğer bir segregasyon ya da şerit yapı oluşturmazlarsa, tokluğu etkileyen faktörler arasında ısıl işlemin arkasında kalırlar.

Takım çeliklerinin en çok kullanım alanlarından biri olan kalıp malzemesi olarak kullanılması durumunda yüksek tokluğa ihtiyaç duyulmaktadır. Tokluk ise ısıl işlemde malzemenin yeterince ince taneli bir mikroyapıda elde edilmesi ile sağlanmaktadır. İnce taneli yapı için hızlı soğutma yapılmalıdır. Bu sayede tane sınırına karbür çökmesi engellenmekte, beynitik ya da perlitik yapının oluşma riski kaldırılmaktadır. Yalnız soğutma hızı ise kalıpta oluşacak distorsiyona veya çarpımalara hatta çatlama riskine bağlı olarak sınırlandırılmaktadır.

- **Sıcak yorulma dayanımı**

Tekrarlanan işlemlerde malzemenin sürekli sıcaklık değişimlerine maruz kalması nedeniyle yüzeyinde oluşabilecek mikro çatlakların gelişmesi ve kalıbın çatlayarak çalışamaz hale gelmesine karşı takım çeliğinin gösterdiği dirençtir. Sıcak yorulma çatlaklarına dayanım için takım çeliğinden beklenen özellikler şu şekilde sıralanmaktadır:

Yüksek sıcak akma mukavemeti

Yüksek meneviş direnci

Yüksek süneklik

İyi ısı iletkenlik

Düşük ısıl genleşme

Yukarıda belirtilen özelliklerin elde edilmesi takım çeliğinin buna uygun bir yapıda alaşımlandırılmış ve üretilmiş olmasına bağlı olmaktadır. Bu nedenle bu koşullara ısıl işlemin etkisi oldukça azdır. Ayrıca takım çeliğinin üretim parametreleri kadar takım çeliğinin kullanıldığı koşullarda işlem ve dizayn faktörleri de önemlidir. Bunlar, malzeme cinsi, üretilecek parçanın kesit kalınlığı, çalışma sıcaklıkları, kalıp malzemesinin ön ısıtma sıcaklığı olarak sayılabilmektedir (Yücel ve ark. 1998).

- **Kızıl sertlik**

Sıcak sertlik olarak da bilinen bu özellik, çeliğin ısı etkisiyle yumuşamaya (sertlik azalmasına) gösterdiği dirençle ilgilidir. Yüksek hız ve sıcak iş takım çelikleri için seçici faktör olarak önemli olan bu özellik malzemenin temperlemedeki sertlik azalmasına gösterdiği dirençle de ilişkilidir. İyi bir kızıl sertliği olan takım çeliği, çalışma sıcaklığının 400-500 °C dolaylı olması durumunda rahatlıkla kullanılabilir. Sert, kararlı karbürlerin oluşmasına neden olan alaşım elementleri kızıl sertliği artırır. Bu özellik bakımında iyi olarak nitelendirilen takım çelikleri yüksek oranda tungsten, krom ve molibden içerir (Çetinarslan 1997).

- **Talaşlı imalata uygunluk**

Bu, malzemenin kolayca kesilebilme ve talaşlı imalattan sonra iyi bir yüzey kalitesi elde edilebilme özelliğidir. Çizelge 3.1' de verilen işlenebilme oranları, kalıp ve takımların

işlenmesi sırasında çeliklerin talaşlı şekillendirilebilme durumlarını belirtmektedir. Bu özelliğe etki eden faktörler, tavllanmış durumdaki sertlik, çeliğin mikroyapısı ve sert karbürlerin miktarlarıdır. Diğer alaşımlı çeliklerle karşılaştırıldığında, takım çeliklerinin işlenmesi önemli oranda daha da zordur.

Takım çeliklerinin işlenebilirliği artan karbür ve alaşım miktarıyla azalır. Çünkü karbon ve alaşım miktarları arttıkça düşük tavlama sertlikleri elde etmek zorlaşır. Karbonun, vanadyum, krom ve molibden gibi kararlı karbür oluşturu elementlerle birlikte varlığı, tavlamaadan sonra çözelti dışında kalan çok sayıda sert karbür parçacıklarını oluşturması dolayısıyla işlenebilirliği azaltır (Avner 1984).

Çizelge 3.1. Takım çelikleri grupları ve işlenebilirlik oranları (Avner 1984)

TAKIM ÇELİĞİ GRUPLARI	TALAŞLI İŞLENEBİLİRLİK ORANLARI
W- Suda sertleşebilen takım çelikleri	100
S- Şok dirençli takım çelikleri	85
O- Yağda sertleşebilen düşük alaşımlı takım çelikleri	90
A- Orta alaşımlı, havada sertleşebilen soğuk-iş takım çelikleri	85
D- Yüksek karbon, yüksek kromlu soğuk-iş takım çelikleri	40-50
H- Kromlu sıcak-iş takım çeliği	75
H- Tungstenli veya molibdenli sıcak-iş takım çeliği	50-60
T- Tungstenli yüksek hız takım çelikleri	40-55
M- Molibdenli yüksek hız takım çelikleri	45-60
L- Düşük alaşımlı özel amaçlı takım çelikleri	90
F- Karbon-Tungstenli özel amaçlı takım çelikleri	75
P- Kalıp çelikleri	75-100

3.3. Takım Çeliklerinin Sınıflandırılması

Takım çelikleri, dövme, kesme kalıbı, soğuk iş takımları, yüksek hızda işleme ve buna benzer çok çeşitli çalışma koşulları gibi özel uygulamalar için kullanılabilme için gruplandırılmaktadır. Her takım çeliği birbirinden tamamen farklı olmak zorunda değildir. Uygulama alanlarında, çalışma veya işlem koşullarında herhangi bir fark yaratan her çelik farklı takım çeliği olarak kabul edilmektedir.

Takım çeliklerini sınıflandırmak için çok çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. AISI standardına göre en genel olarak kabul görmüş sınıflandırma bu çeliklerin başlıca alaşımlandırılmış karakteristikleri, uygulama alanları veya ısıl işlemlerine göre yapılmaktadır.

Buna göre aşağıdaki çizelgede genel olarak dokuz sınıfa ayrılmış takım çelikleri ve bunları simgeleyen semboller yer almaktadır (Anonim 1990).

Çizelge 3.2. AISI' ya göre takım çeliklerinin sınıfları ve sembolleri (Anonim 1990)

Takım Çeliği Sınıfı	Sembol
Suda Sertleşen Takım Çelikleri	W
Şok Dayanımlı Çelikler	S
Yağda Sertleşen Soğuk İş Takım Çelikleri	O
Havada Sertleşen Orta Alaşımlı Takım Çelikleri	A
Yüksek Karbon ve Yüksek Krom İçerikli Takım Çelikleri	D
Kalıp Çelikleri	P
Sıcak İş Takım Çelikleri (Cr, W, Mo)	H
Tungsten İçeren Yüksek Hız Takım Çelikleri	T
Molibden İçeren Yüksek Hız Takım Çelikleri	M

3.3.1. Soğuk iş takım çelikleri

Soğuk iş takım çelikleri, yapılarında yüksek sıcaklıklarda sertliğini korumasını sağlayacak alaşım elementleri bulunmayan takım çelikleridir. Uzun süreli sıcakta ve tekrarlayan ısınma ve soğuma işlemlerinde (205°C ile 260°C üstü) kullanımları bu nedenle sınırlandırılmış türdeki çeliklerdir. Soğuk iş takım çelikleri yaklaşık yüzyıldan daha uzun sürelik bir gelişim ve kullanım süresine sahiptir. Bu çeliklerden hem genel olarak çok çeşitli özellikler hem de kullanım yerine özel gelişimler beklenmiştir. Bunlar arasından bazıları ise şu şekilde sıralanabilir:

- * Yüksek gerilimler altında çalışırken kalıcı şekil değiştirmeye karşı üstün dayanım özelliği
- * Abrasiv ve adesiv aşınma ile yüzey yorulmasına karşı direnç
- * Yorulma ve kırılma direnci için tokluk
- * Kullanım esnasında boyutsal kararlılık

- * Mikroyapısının her yerde ve her yönde aynı özellikler göstermesi
 - * Ön tavllanmış yapısında kolay işlenebilirlik
 - * Kullanım şartlarında kabul edilebilir korozyon direnci
 - * Sertleştirilmiş yapısında kabul edilebilir miktarlarda çatlak oluşturma direnci, özellikle EDM ve kaynak işlemlerinin ısı tesiri altındaki bölgelerinde
- Genel olarak bilinen sınıflandırmasıyla toplamda üç gruba ayrılmaktadır:

- **Orta alaşımli, havada sertleşen soğuk iş takım çelikleri**

AISI standardında A grubu olarak gösterilen takım çelikleridir. Bu grup takım çelikleri östenitleme sıcaklığından itibaren havada soğutulmaya bırakılması durumunda 102 mm kalınlığa kadarki genişliklerde tamamen sertlik alabilecek kadar alaşım elementi içermektedir. Bu şekilde bir özelliğe sahip olması uygulamada iki büyük kolaylık sağlamaktadır. Yavaş soğutulduğunda da sertlik alacağından distorsiyon riski ortadan kalkmakta ve hızlı soğutmalarda rastlanan çatlama olasılığını engellemektedir. Bu takım çeliğinde molibden, krom ve mangan en çok kullanılan alaşım elementleridir.

%5 krom içeren soğuk iş takım çelikleri diğerlerine nazaran daha yüksek sıcaklıklarda sertliklerini koruyabilmektedir. %1 civarında krom ile %2 civarında mangan içerenler yaklaşık 100-110°C derece daha düşük östenitleme sıcaklığına sahip olmaktadır.

Yüksek tokluk elde etmek için silikon ilave edilmiş, yüksek karbon ve yüksek silikonlu yapıda da soğuk iş takım çelikleri bulunmaktadır. Bu tür çeliklerde mikro yapıda grafit oluşması durumunda işlenebilirlik kabiliyetli göreceli olarak yükselmektedir.

Bu türde yer alan çelikler genel olarak, kesici uçlarda, bıçaklarda, paçlarda, ovalama kalıplarında ve tırmıklarda kullanılmaktadır. Ayrıca üstün aşınma dirençleri sayesinde bu çelikler, seramik ve tuğla kalıplarında da kullanılmaktadır.

Kromlu ve krom-vanadyumlu yapıdaki hava çelikleri ise bu kompleks yapıları ile martenzitik matriks oluşturmakta ve oldukça üstün aşınma direnci göstermektedir (Anonim 1990).

- **Yüksek karbon ve yüksek kromlu soğuk iş takım çelikleri**

AISI standardına göre D grubu olarak tanımlanan takım çelikleridir. Genel olarak %1,50 ile %2,30 arasında karbon içeren ve %12'ye kadar krom içeren soğuk iş takım çeliğidir. İçerisinde %1 civarında molibden bulunan çeşitleri mevcuttur. Bu çelik türü de maksimum sertliğini havada soğutulması ile kazanabilen bir çeliktir. Ayrıca bu çelik türü de artan sıcaklıkta sertliğini kaybetmeye karşı direnç göstermektedir. D7 türü soğuk iş takım çeliği, en yüksek karbon ve vanadyum içeren çelik gibi bu türe benzeyen takım çeliklerinin aşınmaya karşı oldukça üstün özelliklerini göstermektedir. Tüm D serisine ait çeliklerde, özellikle de D3, D4 ve D7, yapılarında oldukça fazla karbür bulundurduğundan tane sınırlarında karbürlerin gevrekliği oluşma riski doğmaktadır. Bu sınıftaki soğuk iş takım çelikleri uzun soluklu boşluk çıkarma, şekillendirme, derin çizme ve kesme kalıplarında kullanılmaktadır (Anonim 1990).

- **Yağda sertleşen soğuk iş takım çelikleri**

AISI standardına göre O grubu olarak tanımlanan takım çelikleridir. Östenitleme sıcaklığından oda sıcaklığına, yağda soğutma ile maksimum sertliğe ulaşacak alaşımlandırılmış soğuk iş takım çeliğidir. Bu sınıf içindeki takım çelikleri alaşım elementlerinin miktarı dışında, genel olarak oldukça benzerdirler. O1 tipi takım çeliği önemli alaşım miktarlarında mangan, krom ve tungsten içermekte, O2 tipi mangan içermekte, O6 tipi ise silikon, mangan ve molibden içermektedir. Bu üç tip soğuk iş takım çeliği de yapısında serbest halde kalacak kadar karbon alaşım elementi içermektedir. Artan karbon miktarına bağlı olarak bu takım çeliğinde yüksek aşınma direnci elde edilmektedir. Yalnız bu sınıf takım çeliklerinde artan sıcaklıklara karşı direnç oldukça düşüktür.

Bu takım çelikleri havada sertleşen çeliklere göre daha kötü, suda sertleşenlere göre daha iyi distorsiyon sonuçları göstermektedir. Ayrıca çatlama riski bakımından suda sertleşen takım çeliğine nazaran daha az risk taşımaktadır.

Bu sınıf takım çelikleri kesme kalıplarında, punçlarda ve taraklarda kullanılmaktadır. Sertleştirme hızına ve menevişleme durumuna göre sertliği 56 HRC ile 62 HRC

arasında elde edilebilmektedir. 175°C derece ile 315°C arasındaki menceviş sıcaklıklarında yapılan işlem sonucunda mekanik özellikler ile kesici kabiliyet arasında iyi bir harman sağlanabilmektedir (Anonim 1990).

3.3.2. Sıcak İş Takım Çelikleri

Sıcak iş takım çelikleri yüksek sıcaklık (200 °C ve üzeri) uygulamalarda kullanılan çelikler olup AISI sınıflandırma sisteminde H (Hot Work) harfi ile simgelenen takım çeliği grubudur. Sıcak iş takım çeliklerinin kullanım alanları gereği sahip olması gereken en temel özelliği uygun kimyasal kompozisyonu sayesinde tekrarlanan sıcak şekillendirme uygulamalarında yumuşamaya karşı yeterli dayanımı göstermesidir. Kullanım yerleri gereği yüksek sıcaklıkta mekanik özelliklerini korumaları gerekir ve bu nedenle sıcak iş takım çeliklerinde sıcak sertliği sağlayan prensip alaşım elemanları bulunur. Sıcak iş takım çelikleri içerdikleri prensip alaşım elamanına göre üç grup altında toplanmaktadır. Bunlar:

- Krom (Cr) esaslı sıcak iş takım çelikleri,
- Molibden (Mo) esaslı sıcak iş takım çelikleri,
- Tungsten (W) esaslı takım çelikleri

Sıcak iş takım çelikleri diğer metalsel ve metal dışı malzemelerin 200 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda şekillendirilmesinde kullanılan çeliklerdir bu nedenle sıcak iş takım çelikleri günümüz üretim endüstrisinde son derece büyük öneme sahiptir. Sıcak iş takım çeliklerinin kullanım alanları içinde en büyük kısmı metalsel malzemelerin şekillendirilmesi oluşturmakta olup cam ve plastik esaslı malzemelerin üretiminde ve bazı makine donanımlarının imalinde çok düşük oranlarda sıcak iş takım çeliği kullanımı mevcuttur. Sıcak iş takım çeliklerinin kullanıldığı endüstriyel üretim kolları ve bu çeliklerden imal edilen kalıp parça ve aksamlar Çizelge 3.3' de belirtilmiştir. Sıcak iş takım çeliklerinin üretimi maalesef ülkemizde gerçekleştirilmemekte olup yerli ve yabancı çelik distribütörleri tarafından ithal edilmektedir. Sıcak iş takım çeliğinden takım ya da kalıp üretimi sırasıyla talaşlı imalat ısıl işlem ve son işlem basamaklarını kapsar.

Çizelge 3.3. Sıcak iş takım çeliklerinin kullanım alanları(Asan 2008)

Dövme	Ekstrüzyon	Yüksek Basınçlı Kalıp Döküm
Kalıp (çekiç)	Kalıp	Kalıp çekirdekleri
Kalıp (pres)	Dami blokl	Kovanlar
İtici Pimler	Kovan	Maçalar
	Piston	İtici pimler
	Mandrel	Topuklar
	Destek bloğu	Kovan karşılıkları



Isıl yorulma sıcak iş takım çeliklerinin ömrünü sınırlandıran en önemli hasar mekanizması olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle dövme prosesinde dövülen parça sıcaklığı 1050 ila 1150 °C arasında olmakta ve temas süresine bağlı olarak kalıp yüzey sıcaklığı 870 °C' ye kadar çıkmaktadır. Bu nedenle sıcak iş takım çeliklerinin ısıl yorulma direncini arttırmak için günümüzde mikroyapısı son derece homojen ve düşük oranda inklüzyon ve eser elementler içeren ESR işlemi görmüş çelikler geliştirilmiştir.

Belirli bir sıcak iş uygulaması için istenen beklentileri karşılayabilecek uygun sıcak iş takım çeliğinin seçiminde proses şartları, üretim parametreleri, çeliğin ısıl işleme uygunluğu gibi parametreler göz önünde bulundurulur. Sıcak iş takım çeliği seçimi yapılırken göz önünde bulundurulması gereken kriterlerde proses koşulları en önemli rolü oynar. Proses sırasında kullanılacak sıcak iş takım çeliğinin seçimi, çeliğin maruz kaldığı şartlar göz önünde bulundurularak yani kalıp ömrünü sınırlandıran birincil hasar mekanizmasına gereken direnci gösterecek doğrultuda yapılmalıdır. Eğer hafif metal ekstrüzyonu söz konusu ise kullanılacak sıcak iş takım çeliğinin yeterli yüksek sıcak direncinin yanında yüksek aşınma direncine sahip olması gerekir. Bu tür proses için en uygun sıcak iş takım çeliği AISI normuna göre 1.2344 çeliğidir. Eğer proseste darbe söz

konusu ise yani çelik dövme yada metal enjeksiyon uygulamasında kullanılacak ise 1.2344 den daha tok bir çeliğin kullanılması gerekir bu tür uygulamalarda kullanılacak olan çelikler 1.2714, 1.2343, 1.2365 gibi daha düşük karbon ve silisyum oranına sahip çelikler olmalıdır. Eğer sıcak iş takım çeliği proses sırasında yüksek frekanslı ısıtma çevrimlere maruz kalıyorsa yani basınçlı hafif metal kalıp dökümü yada demir esaslı metal dövme uygulamalarında kullanılacaksa yeterli darbe direncinin yanında yüksek sıcak direncine ve yüksek ısı iletkenliğe sahip bir çelik olması gerekmektedir. Bu tür uygulamalarda ise 1.2343, 1.2344, 1.2365, 1.2367 ve kimyasal kompozisyon olarak bu çeliklerin değerlerinin arasında yer alan özel patentli çeliklerin kullanılması gerekir. Isıl yorulma çatlaklarının yoğun olarak gözlemlendiği uygulamalarda ise aynı çeliklerinin ESR (cüruf altı yeniden ergitme), VAR (vakum ark yeniden ergitme), 3D Forging (3 eksenli dövme) gibi yeni nesil çelik üretim yöntemleri ile üretilmiş yüksek saflığa ve mikro homojenliğe sahip türleri tercih edilmelidir.

Yukarıda belirtilen mekanik ve termal özelliklerin yanı sıra kullanılacak olan sıcak iş takım çeliğinin ısıtma işleme uygunluk göstermesi son derece önemlidir. Özellikle büyük kesit kalınlığına sahip kalıplarda çeliğin yeterli sertleşebilirliğe sahip olması ısıtma işlemi sırasında daha düşük soğutma hızlarında soğutulmasını ve makro tokluğun elde edilmesini mümkün kılmalıdır. Büyük kesitli kalıplarda çeliğin yeterli oranda vanadyum içeriğine sahip olması ve dolayısıyla uzun östenitleme işlemi sırasında tane irileşmesini engelleyerek tokluk kaybını engelleyecektir.

Çelik seçiminde diğer bir önemli nokta ise işin mali boyutudur. Üretilen kalıptan beklenen performansa bağlı olarak uygun çelik seçilmelidir. Örnek olarak 20000 adet düşük vasıflı parça üretmesi beklenen bir yüksek basınçlı döküm kalıbının imalinde DIN 1.2367 ESR çelik kullanmak gereksiz yere maddi kayba neden olacaktır. Bu baskı sayısı için DIN 1.2343 kodlu çeliğin kullanılması bize 20000 adetlik baskı ömrünü verecek ve böylece çelik maliyetinden %40 tasarruf sağlanmış olacaktır.

ASTM(American Society for Testing and Materials) A681 standardına göre sıcak iş takım çelikleri ve kimyasal kompozisyonları Çizelge 3.4' de listelenmiştir.

Çizelge 3.4. ASTM A681 Standardına göre sıcak iş takım çeliklerinin sınıflandırılması(Asan 2008)

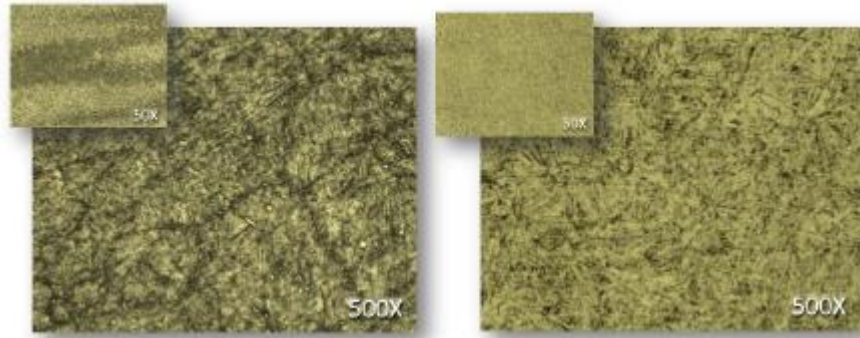
Gösterim		Kimyasal kompozisyon								
AISI	UNS	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	W	V	Co
Krom Esaslı Sıcak İş Takım Çelikleri										
H10	T20810	0.35- 0.45	0.25- 0.70	0.80- 1.20	3.00- 3.75	0.30 max	2.00- 3.00	...	0.25- 0.75	...
H11	T20811	0.33- 0.43	0.20- 0.50	0.80- 1.20	4.75- 5.50	0.30 max	1.10- 1.60	...	0.30- 0.60	...
H12	T20812	0.30- 0.40	0.20- 0.50	0.80- 1.20	4.75- 5.50	0.30 max	1.25- 1.75	1.00- 1.70	0.50 max	...
H13	T20813	0.32- 0.45	0.20- 0.50	0.80- 1.20	4.75- 5.50	0.30 max	1.10- 1.75	...	0.80- 1.20	...
H14	T20814	0.35- 0.45	0.20- 0.50	0.80- 1.20	4.75- 5.50	0.30 max	...	4.00- 5.25
H19	T20819	0.32- 0.45	0.20- 0.50	0.20- 0.50	4.00- 4.75	0.30 max	0.30- 0.55	3.75- 4.50	1.75- 2.20	4.00- 4.50
Tungsten Esaslı Sıcak İş Takım Çelikleri										
H21	T20821	0.26- 0.36	0.15- 0.40	0.15- 0.50	3.00- 3.75	0.30 max	...	8.50- 10.00	0.30- 0.60	...
H22	T20822	0.30- 0.40	0.15- 0.40	0.15- 0.40	1.75- 3.75	0.30 max	...	10.00- 11.75	0.25- 0.50	...
H23	T20823	0.25- 0.35	0.15- 0.40	0.15- 0.60	11.00- 12.75	0.30 max	...	11.00-	0.75- 1.25	...
H24	T20824	0.42- 0.53	0.15- 0.40	0.15- 0.40	2.50- 3.50	0.30 max	...	14.00- 16.00	0.40- 0.60	...
H25	T20825	0.22- 0.32	0.15- 0.40	0.15- 0.40	3.75- 4.50	0.30 max	...	14.00- 16.00	0.40- 0.60	...
H26	T20826	0.45- 0.55(b)	0.15- 0.40	0.15- 0.40	3.75- 4.50	0.30 max	...	17.25- 19.00	0.75- 1.25	...
Molibden Esaslı Sıcak İş Takım Çelikleri										
H42	T20842	0.55- 0.70(b)	0.15- 0.40	...	3.75- 4.50	0.30 max	4.50- 5.50	5.50- 6.75	1.75- 2.20	...

Cüruf altı yeniden ergitme (ESR) olarak adlandırılan işlem; günümüz yüksek performanslı sıcak iş takım çelikleri için vazgeçilmez bir proses haline gelmiştir. ESR

işleminde daha önceden elde edilen katılaştırılmış ingot elektrot olarak kullanılarak tekrar ergitilir. Ergitme, elektrottan uygulanan elektrik akımı ile cürufun iç direncinden kaynaklı ısı açığa çıkmasıyla kısmi olarak gerçekleşir. ESR işleminin çelik özelliklerine iki önemli etkisi söz konusudur. Birincil olarak ESR işlemi ile pota metalürjisi ile giderilemeyen metalik olmayan inklüzyonlar ve istenmeyen elementlerin (P, S) seviyesi daha da aşağılara çekilerek çeliğin tokluk ve ısıl yorulma direnci artırılır. ESR işleminin diğer önemli avantajı ise normal ingot katılaştırmasından farklı olarak ingotun kısmi olarak daha küçük bir bölümünün yeniden ergitilip katılaştırılması ile alaşım elemanı segregasyonu ve tane irileşmesi minimum seviyeye çekilir (Asan 2008).



Şekil 3.1. Konvansiyonel yöntemle ve ESR yöntemiyle üretilmiş 200 çapındaki sıcak iş çeliklerinin makro dağlama sonrası kesit görüntüsü.(Asan 2008)



Konvansiyonel üretim kırılma enerjisi 158J

Difüzyon tavlama+ESR kırılma enerjisi 328J

Şekil 3.2. ESR işlemi uygulanmış ve uygulanmamış H13 çeliklerinin sertleştirilmiş ve 44-46 HRC'ye temperlenmiş mikroyapı görüntüleri ve CVN kırılma enerjileri (Asan 2008)

- **Kromlu Sıcak İş Takım Çelikleri**

AISI standardında H10'dan H19'a kadar olan sıcak iş takım çelikleridir. Bu sınıfta yer alan çelikler, orta alaşımda bir krom içeriği ve karbür oluşturuçu molibden, tungsten ve vanadyum içeriği sayesinde yüksek sıcaklıklarda yumuşamaya karşı dirençlidir.

Toplamda alařım miktarı dūřuktur ve karbon miktarı nedeniyle tokluęu 40 HRC ile 55 HRC arasında yūksektir. Yapısında yer alan yūksək tungsten ve molibden alařımı sayesinde sıcak dayanımı yūkselmekte ve buna nazaran tokluęu çok dūřmemektedir.

Bu sınıf sıcak iř takım çelikleri aynı zamanda havada sertleşebilen takım çelikleri özellikleri göstermektedir. 150 mm. 'ye kadar kalınlıktaki parçalar için havada soğutma ile çekirdeğine kadar kullanım için maksimum sertlik elde edilebilmektedir. Bu Őekilde bir soğutma rejimi distorsiyon bakımından oldukça būyūk avantaj sağlanmasına yardımcı olacaktır.

Kromlu sıcak iř takım çeliklerinin, alūminyum ve magnezyum ekstrūzyon kalıpları olarak kullanılması yaygındır. Ayrıca dökme kalıplarında, sıcak dövme kalıplarında ve sıcak kesme kalıplarında kullanılmaktadır.

Kromlu sıcak iř takım çelięinin geleneksel çelikten en būyūk farkı, bu sıcak iř takım çelięinin artan sıcaklıklarda yumuřamaya karřı oldukça ūstūn direnç deęerlerine sahip olmasıdır. 540°C dereceye kadar varan sıcaklıklarda kullanılmaya uygun bir yapıdadır. İlaveten, yūksək sıcaklıklarda meneviřleme direnci tařımaktadır. Bu özellięi ikincil sertleřme ile elde ettięinden, çok yūksək sıcaklıklarda meneviř gören takım çelięinin tokluęu oldukça artmaktadır (Toptop 2011).

- **Molibdenli Sıcak İş Takım elikleri**

Bu sınıf içinde yer alan sadece iki çeşit sıcak iř takım çeliği bulunmaktadır. Bunlar AISI H42 ve H43 elikleridir. Yapılarında molibden dışında krom, karbon ve vanadyum içermektedirler. Yapısal olarak tungstenli sıcak iř takım çeliklerine benzemektedirler ve bu nedenle kullanım yeri olarak aynı alanlarda faaliyetler için tercih edilmektedirler. Molibdenli yūksək hız takım çeliklerine benzeyen bu sıcak iř takım çelikleri farklı olarak daha dūřūk karbon ve daha yūksək tokluk değerlerine sahiptir. Temel kullanım sebebi maliyet bakımından daha uygun olmasıdır. Ayrıca karşılaştırmalı olarak tungstenli sıcak iř takım çeliklerinden biraz daha yūksək sıcak dayanımı olan çeliklerdir fakat ısıl işlemede çok daha zen gösterilmeleri gerekmektedir. Dekarbūrizasyon ve östenit sıcaklığı kontrolū bakımından sertleştirilme işlemi özeldir (Anonim 1990).

- **Tungstenli Sıcak İş Takım Çelikleri**

AISI standardında H21 ile H26 arasındaki takım çelikleridir. Prensipde tungstenle alaşımlandırılmış sıcak iş takım çeliği yapısında karbon, krom ve vanadyum içermektedir. Bu çeliklerin daha yüksek alaşımlı olması, onların artan sıcaklıklarda yüksek sertlikleri olmasına ve bu sertliklerini daha uzun süre koruyabilmesine yardımcı olmaktadır. Ayrıca 40 HRC ile 55 HRC arasındaki sertlik değerlerinde daha tok bir kalıp üretilmesine olanak sağlamaktadır.

Bu sınıftaki takım çelikleri de aynı kromlu sıcak iş takım çeliklerine benzer havada sertleşebileceği gibi, sıcak tuz banyolarında da sertleştirilmektedir. Tabii ki havada soğutma ile oluşan distorsiyon miktarı oldukça düşüktür. Tungsten içeriğinden dolayı bu takım çeliklerinin daha yüksek östenitleme sıcaklığına çıkarılması gerekmektedir. Artan sıcaklıklar, malzemenin oksitlenme eğilimini arttırdığından oksitlenme riski daha yüksek olmaktadır.

Tungstenli sıcak iş takım çeliklerinin yüksek tokluk değerlerinin olmasına rağmen, bu çelikler yapıları bakımından yüksek hız takım çeliklerine benzemektedir. Bu nedenle kullanımdan önce kalıpların ön ısıtması iyi yapılmalıdır. Ekstrüzyon kalıpları olarak kullanılan bu çelikler genelde yüksek sıcaklıkta yapılan uygulamalarda tercih edilmektedir ki, bunlar arasında pirinç, nikel alaşımları ve çelik türleri sayılabilmektedir (Anonim 1990).

3.3.3. Yüksek Hız Takım Çelikleri

Bu çelikler, takım çelikleri içerisinde en yüksek alaşımlı olanlarıdır. Genellikle büyük miktarlarda tungsten ve molibdenle birlikte krom, vanadyum ve bazen de kobalt içerirler. Bazı tiplerinde %1,5 a kadar olmasına karşın, karbon oranı genellikle %0,7 ila %1 arasındadır.

Yüksek Hız Takım Çelikleri yaygın olarak diğer takımların işleme ve talaşlı imalatında; 400-600 °C aralığında kullanılan çelik grubu olup; sertlik, dayanım, aşınma ve darbe direnci gibi mekanik özelliklerin oldukça gelişmiş seviyede görüldüğü malzemelerdir.

Bu çeliklerde alaşım elementi miktarı diğer takım çeliklerine kıyasla çok daha fazladır ve içeriklerinde Wolfram, Vanadyum, Molibden, Kobalt, Krom gibi elementler mevcuttur. En sık kullanılan yüksek hız takım çelikleri ise 1.3343, 1.3243, 1.3207 ve 1.3247 kalite çeliklerdir. Yüksek takım ömrü beklenen kaba ve hassas işlemlerde, her türlü freze, profil kesme bıçaklarında, broşlarda, ovalama tarak-makaralarında ve her türlü kesici takımında kullanım alanları yaygındır (Albaraz 2010).

Çizelge 3.5. AISI standartlarına göre yüksek hız takım çeliklerinin kimyasal analizi (Anonim 1990)

AISI Standartlarına göre							
Molibdenli Yüksek Hız Takım Çelikleri	C	Si	Cr	V	W	Mo	Co
M1	0,83%	0,35%	3,75%	1,18%	1,75%	8,70%	-
M2	0,83%	0,33%	4,13%	1,98%	6,13%	5%	-
M3	1,05%	0,33%	4,13%	2,50%	5,88%	5,63%	-
M4	1,33%	0,33%	4,25%	4,13%	5,88%	4,88%	-
M6	0,80%	0,33%	4,13%	1,50%	4,25%	5%	12%
M7	1,01%	0,38%	3,75%	2%	1,75%	8,70%	-
M10	0,89%	0,33%	4,13%	2%	-	8,13%	-
M15	1,50%	0,33%	4%	5%	6,50%	3,50%	5%
M30	0,80%	0,33%	4%	1,25%	2%	8%	5%
M33	0,89%	0,33%	3,75%	1,18%	1,70%	9,50%	8,25%
M34	0,89%	0,33%	3,75%	2,10%	1,75%	8,48%	8,25%
M35	0,80%	0,33%	4%	2%	6%	5%	5%
M36	0,85%	0,33%	4,13%	2%	6%	5%	8,25%
M41	1,10%	0,33%	4,13%	2%	6,63%	3,75%	8,25%
M42	1,10%	0,40%	3,88%	1,15%	1,50%	9,50%	8,30%
M46	1,26%	0,53%	3,95%	3,15%	2,05%	8,25%	9%
M48	1,50%	0,33%	3,88%	3%	10%	5,13%	-
M50	0,80%	0,40%	4,13%	1%	-	4,25%	-
M52	0,90%	0,40%	4%	1,93%	1,25%	4,45%	-
M62	1,30%	0,28%	3,88%	2%	6,25%	10,50%	-
Tungstenli Yüksek Hız Takım Çelikleri	C	Si	Cr	V	W	Mo	Co
T1	0,73%	0,30%	4,13%	1,10%	18%	-	-
T4	0,75%	0,30%	4,13%	1%	18,25%	0,70%	5%
T5	0,80%	0,30%	4,38%	2,10%	18,25%	0,885	8,25%
T6	0,80%	0,30%	4,38%	1,80%	19,75%	0,70%	12%

3.3.4. Plastik Kalıp elikleri

Diğer türlere nazaran daha kısa bir geçmişi olan plastik kalıp çelikleri ise korozyon dirençleri ve parlatılabilme özellikleri ile öne çıkmaktadırlar. Endüstride sıklıkla plastik enjeksiyon, ekstrüzyon gibi Şekillendirme kalıplarında, kalıp hamillerinde, korozif plastiklerin Őiřirme kalıplarında kullanılırlar. En yaygın kaliteler; 1.2738, 1.2311, 1.2312, 1.2316 ve 1.2083 elikleridir. Asıl alaşım elementi olarak krom ve nikel, yardımcı elementler olarak da molibden ve alüminyum içerirler. Bu eliklerin çoğu, takım çeliği kalitesinde üretilen alaşımlı sementasyon elikleridir. Genel itibariyle bu çelikler kötü bir kızıl sertliğe sahiptir ve bu yüzden hemen hemen tümüyle düşük sıcaklıkta çalışan plastik enjeksiyon kalıplarında yüksek kalıp ömrü beklentisi olmadan kullanılırlar. Önceden sertleştirilmiş oldukları için, sonradan bir ısıl işleme gerek kalmaz ve bu yüzden boyut değişimleri de nlenmiş olur. Talaşlı imalat işlemi sonrasında nitrasyon yaparak kullanıma uygundurlar (Çetinarslan 1997).

4. KALICI GERİLMELER

4.1. Kalıcı Gerilmeler ve Önemi

Mühendislik alanındaki gelişme imalat teknolojisinin de gelişmesine yol açmakta, gelişim; yanında bir takım sorunlar da getirmektedir. Buna bağlı olarak imal edilen makine elemanlarında bazı özelliklerin ve değerlerin bilinmesi ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Bu sorunlardan birisi de, imalat teknolojisi sonunda parçaların yüzey tabakasında oluşan kalıcı gerilmelerin araştırılması olarak karşımıza çıkmaktadır. Kalıcı gerilmeler ve yorulma ömrü arasındaki ilişki bir çok çalışmanın konusu olmaktadır (Kang ve ark. 1989, Leggatt ve ark. 1996).

Kalıcı gerilmeler, dış yükler kaldırıldığında parçada kalan gerilmeler olarak tanımlanabilir. Başka bir ifadeyle kalıcı gerilmeler dış kuvvetlere bağlı olmayan ve bir parçada hapsolmuş gerilmeler şeklinde düşünülmektedir (Dieter 1985). Mekanik veya termal uygulamalarda yeni kalıcı gerilmeler oluşturulabilir. Homojen olmayan plastik deformasyonlar, ısıl işlemler ve çeşitli yüzey işlemleri kalıcı gerilme dengesinde ve dağılımında değişikliğe yol açabilirler (Anonim 2004). Kalıcı gerilmelerin, üretilen parçanın sertliğine, mukavemetine ve ölçü hassasiyetine belirli bir etki yaptığı bilinmektedir. Parçanın şekli karmaşık veya parçalarda çentik elemanları (dişliler, vidalar vs.) varsa, kalıcı gerilmeler bu parçalarda daha etkili olmaktadır. Karmaşık biçimli parçalar daha yoğun teknolojik ortamlarda olduğundan, bu parçalarda kalıcı gerilmeler en üst seviyededir. Bu değerlerin hangi derinliğe nüfus ettikleri, işaretlerinin ne oldukları teorik ve deneysel yöntemlerle hassas olarak belirlenmesi büyük zaman kaybına neden olmaktadır (Fetullayev 1998, Anonim 2004). Son yıllarda elektromekanik konularındaki bilgilerin gelişimi, deney değerlerinin elektrik sinyallerine ve bu sinyallerin bilgisayar anlama mantığına dönüştürülüp sonuçların bilgisayarda özel programlardan yararlanarak elde edilebilmesi bu tür problemlerin çözümünü kolaylaştırmıştır.

Kalıcı gerilmeler, mühendislik malzemelerinin yorulmalarında önemli rol oynamaktadır. Çünkü yorulma çatlakları genellikle yüzeyde başlar. Kalıcı gerilmelerin de yüzeyde oluşması genellikle bu durum için uygundur. Yüksek gerilme alanlarında basma gerilmeleri genellikle faydalıdır. Özellikle basma kalıcı gerilmelerinin parçaların

yorulma ömrü, kırılma dayanımı ve gerilme korozyonu üzerinde olumlu etki yaptığı bilinmektedir. Basma gerilmeleri, yorulma çatlaklarının oluşumuna ve gelişimine engel olur. Çekme gerilmeleri ise çatlak oluşumuna ve gelişimine yardımcı olduğundan zararlıdır. Ayrıca çekme kalıcı gerilmeleri, gerilmeli korozyon çatlaklarının oluşumuna zemin hazırlamaktadır. Bu nedenle, parçanın kalıcı gerilme durumunun bilinmesi arıza nedenlerinin anlaşılması açısından önemlidir (Winholtz ve ark. 1992, Anonim 2004).

Yorulma çatlakları maksimum çekme gerilme bölgelerinde ve genellikle parça yüzeyinde meydana geldiği için ince yüzey katmanlarında kasten oluşturulmuş kalıcı basma gerilmeleri makine parçalarının yorulma ömrünü önemli ölçüde arttırabilir ya da benzer yorulma ömrüne sahip daha hafif ve küçük parçaların kullanımına olanak tanıyabilir (Dieter 1985).

Kalıcı gerilmeleri tamamen zararlı görmek yanlıştır. Gerçekte kritik parçalarda istenen kalıcı gerilmeleri oluşturmak için birkaç yöntem kullanılır. Bu yöntemler; sertleştirme, bilyeli dövme ve yüzey ovalamadır (Heindlhofer 1948). Yorulma çatlaklarının başlamasına ve yayılmasına karşı direnci arttıran, gelişmiş yorulma özelliklerini sağlayan mekanik yüzey işlemleri (derin haddeleme, lazer şokları ile dövme, püskürtmeli dövme, fırçalama gibi) metalik yüzeyler için birçok faydalı etki sağlamaktadır (Nikitin ve ark. 2004).

Kalıcı gerilmelerin yararlı etkileri günümüzde genel olarak kabul edilmektedir. Otomotiv ve uçak endüstrisi de bu avantajı kendi yararları doğrultusunda kullanmaktadır. Bütün tasarımcılar ve mekanik donanım imalatçıları tarafından yararlanılan bu prensiplerin geniş bir uygulaması, malzeme kullanımında kapsamlı bir ekonomik gelişme ile sonuçlanmaktadır (Dieter 1985).

Malzemedeki tabakalar halinde katmanların kaldırılması sonucu oluşan deformasyondan faydalanmak suretiyle, kalıcı gerilmelerin belirlenmesi yöntemi en yaygın metotlardan biridir. Hooke kanunu uyarınca bir malzemeye uygulanan kuvvet sonucu malzemede boyut değişikliği olmaktadır. Çeşitli imalat yöntemi ile üretilen parçalarda değişik işlemler nedeniyle malzemede oluşan ve makine elemanlarının yorulma ömrü üzerinde etkisi olan kalıcı gerilmelerin belirlenmesi gerekmektedir (Dieter 1985).

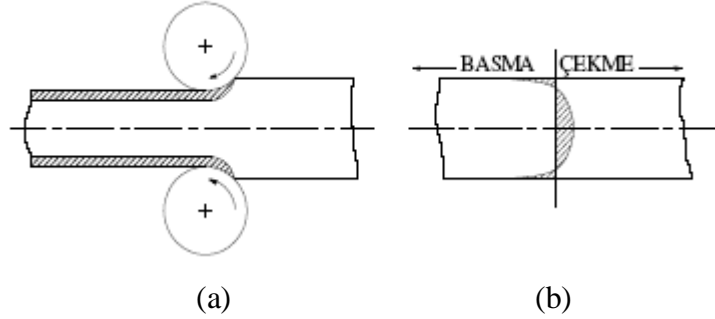
4.2. Kalıcı Gerilmelerin Oluşumu

Kalıcı gerilmeler olumlu, kontrol edilemediği durumda ise olumsuz etkilere sahiptir. Cıvata, pim, sıkı geçme gibi bağlantılarda kalıcı gerilmeler olumlu bir etki yapmaktadır. Ancak ısı işleminde, parçada şekil değişimine; soğuk çekmede, soğutmada ve taşlamada, çatlaklara; kalıplarda, kaynak işlemlerinde ve takımlarda çalışma süresinin azalmasına neden olurlar (Akkurt ve ark. 1984). Düzenli olmayan plastik deformasyon işlemlerinin hepsinde kalıcı gerilmeler oluşur. Düzensiz plastik deformasyon veren işlemlerin hepsinde kalıcı gerilmelerin dikkate alınması gerekmektedir. Metallerin işlenmesi esnasında kalıcı gerilmelerin genel oluşumu Şekil 4.1.a' da gösterilmektedir. Haddeleme işlemini gösteren bu örnekte levhanın sadece üst yüzeylerinde plastik akma meydana gelmektedir. Levhanın merkezindeki lifler sıkıştırmadan etkilenmezken, levhadaki yüzey taneleri deforme olur ve uzamaya çalışır. Levha sürekli denge durumunu korumak zorunda olduğundan, merkez ve yüzey bölgelerinde uzamalar oluşmaktadır. Yüzey lifleri levhanın merkez liflerini uzatmaya çalışırken, merkez lifleri yüzey liflerinin uzamasına engel olmaya çalışır. Bu durumda, levhanın merkezinde çekme ve yüzeyde basma kalıcı gerilmeleri oluşur (Şekil 4.1.b). Genelde, homojen olmayan deformasyonla meydana gelen kalıcı gerilmenin işareti, kalıcı gerilmeyi meydana getiren plastik uzamanın işareti ile terstir. Haddelemede dış yük kaldırıldığı zaman haddeleme ile yatay doğrultuda uzamış olan yüzey lifleri basma kalıcı gerilmelerini ortaya çıkarır.

Cisimlerde oluşan kalıcı gerilme sistemi statik olarak dengede olmalıdır. Şekil 4.1.b' deki yatay yöndeki kalıcı gerilme bölgeleri dengededir. Basma kalıcı gerilmelerine bağlı eğri altında kalan alan çekme kalıcı gerilmeleri altında kalan alanı dengelemelidir. Ancak, üç boyutlu kalıcı gerilme modellerinin bulunması, gerçek durumu daha da karmaşık hale getirmektedir.

Kalıcı gerilmeler elastik gerilmelerdir. Kalıcı gerilmenin ulaşabileceği maksimum değer malzemenin akma gerilmesi ile sınırlıdır (Bahadur ve ark. 2004). İmalat sonucu oluşan kalıcı gerilmeleri gidermek için malzeme belirli bir sıcaklıkta ısıtarak gerilme giderme işlemi uygulanmaktadır. Bu yöntemle malzeme deforme olabilir ve gerilmeler serbest

kalabilirler. Bu nedenle malzeme gerilme giderme sıcaklığına eriştikten sonra yavaş soğutma önemli bir etken olmaktadır (Dieter 1985, Koç 2003, Bahadur ve ark. 2004).



Şekil 4.1.(a) Levhanın haddelenmesi sırasında homojen olmayan deformasyon
(b) Levha kalınlığı boyunca oluşan kalıcı gerilme dağılımı (Dieter 1985)

Yüzeyde uygun basma kalıcı gerilmelerinin oluşturulması, yorulma performansını arttırmanın çok etkili bir yolu olarak bilinmektedir. Burada sadece geniş ölçüde tane boyutlarıyla karşılaştırılabilen bölgeler üzerinde etkili olan makro gerilmeler dikkate alınır. Bu gerilmeler X-Ray metodu ile veya malzeme yüzeyinden ince bir katman kaldırıldığı zaman boyutlarda oluşan değişikliklerin dikkate alınması suretiyle ölçülebilir. Plastik deformasyonun, deforme olan parçanın tam kesiti boyunca uniform olmadığı durumlarda, kalıcı gerilme değeri yükselmektedir. Dikkate alınan metal numune yüzeyi bükme nedeni ile çekme etkisi altında deforme olacaktır. Bu nedenle; bükülen parça plastik deformasyona uğrayacaktır. Dış kuvvetler kaldırıldığı zaman plastik deforme olan bölgeler, elastik bölgelerin, elastik geri esnemenin dolaylı gerilmesiz durumuna geçişini engellemektedir. Bunun içindir ki, elastik deforme olmuş bölgelerde çekme kalıcı gerilmeleri oluşacak ve plastik deforme olan bölgeler numunenin tam kesiti üzerindeki gerilmeleri dengelemek için basma kalıcı gerilmesi şeklinde olacaktır. Bölge, basmadan dolayı plastik deforme olurken, dış kuvvetler kaldırıldığı anda bir çekme kalıcı gerilmesine sahip olacaktır (Dieter 1985, Bahadur ve ark. 2004).

Birçok amaç için kalıcı gerilmelere, bir dış kuvvet yardımı ile ortaya çıkan kuvvet olarak bakılabilir. Bu nedenle, yüzey üzerine dıştan uygulanmış çekme gerilmesine, yüzeydeki bir noktada var olan bir kalıcı basma gerilmesinin ilavesi bu noktada yorulma bozulması olasılığını azaltmaktadır (Dieter 1985).

4.3. Kalıcı Gerilmeleri Oluşturan Nedenler

Gerilmeler amaçlarına uygun olarak farklı bir biçimde sınıflandırılabilir. Kalıcı gerilmeleri oluşturan kaynaklar;

1. Termal kaynaklı kalıcı gerilmeler,
2. Metalurjik kaynaklı kalıcı gerilmeler,
3. Mekanik kaynaklı kalıcı gerilmeler,
4. Kimyasal kaynaklı kalıcı gerilmeler,

şeklinde sınıflandırılmaktadır (Akkurt ve ark. 1984, Dieter 1985, Walpi 1993, Fetullayev 1998).

Problem, kalıcı gerilmelerin kaynaklarının bilinmemesinden ve kontrol edilememesinden ibarettir, bunlar bilindiği takdirde kalıcı gerilmelerden istenen yönde sonuçlar elde edilebilmektedir. Prensip olarak basma cinsinden olan kalıcı gerilmeler, malzemelerin sürekli mukavemet sınırlarını ve aşınma mukavemetlerini arttırmakta, çekme cinsinden olan kalıcı gerilmeler ise tam ters sonuç vermektedir (Polushkin 1956).

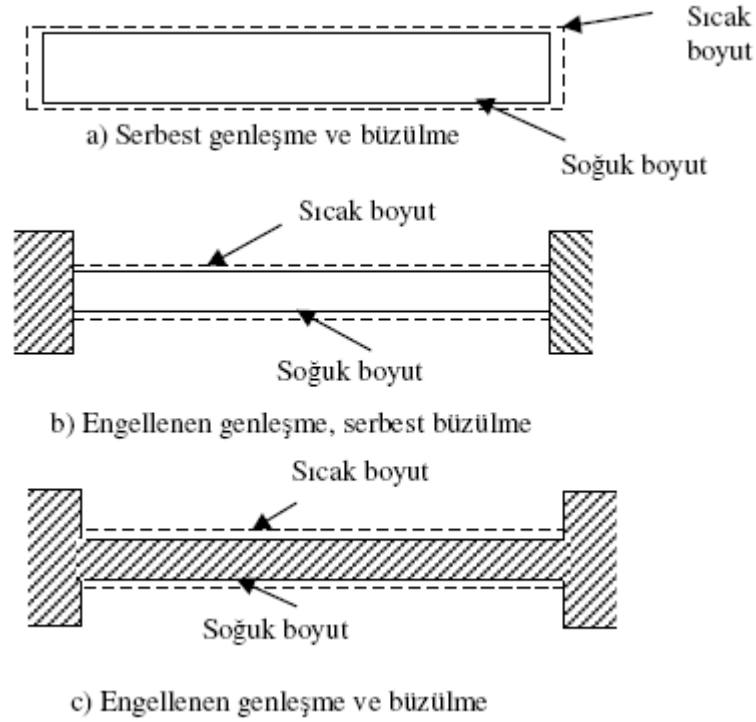
4.3.1. Termal kaynaklı kalıcı gerilmeler

Bir metalin ısıtılmasından ve tekrar soğutulmasından meydana gelen farklı genleşmeler, termal kaynaklı kalıcı gerilmelerin oluşmasına neden olur. Kalıcı gerilmelerin termal yollarla meydana gelmesi sebebiyle malzeme bünyesinde zararlı bazı değişiklikler meydana gelmektedir (Walpi 1993).

Termal kaynaklı kalıcı gerilmelerin oluşumu sıcaklık (ışınım olması ya da soğuma dahil) ve zorlama olmak üzere iki faktörün sonucu olarak ortaya çıkar. Hem termal hem de zorlayıcı faktörler kalıcı gerilmelerin oluşumuna veya kalıcı gerilme modelinin etkilenmesine yol açmaktadır (Walpi 1993).

Şekil 4.2.a' da gösterildiği gibi bir metal çubuk alt kritik bir sıcaklıkta düzenli olarak ısıtıldığı zaman bütün doğrultularda genleşmektedir. Şekilde noktalı çizgilerle gösterilen boyutta termal genişlemenin bir sonucu olarak hacim artmaktadır. Çubuk gerçek ortam sıcaklığına düzenli olarak soğutulduğunda eski orijinal boyut ve biçimine geri

dönecektir. Çubuk sadece ısıtıldığı ve herhangi bir zorlamaya maruz kalmadığı için malzeme bünyesinde kalıcı gerilmeler oluşmayacaktır (Walpi 1993).



Şekil 4.2. Termal kalıcı gerilmeler (Walpi 1993)

Eğer aynı metal çubuk fazla baskı yapılmadan iki dayanak arasına alınırsa ve dayanaklar yalıtıldıktan sonra Şekil 4.2.b' deki benzer bir şekilde ısıtılırsa, metal çubuk ilk örnekteki gibi aynı hacme genişleyecektir. Buna rağmen boyuna zorlandığından uzunluk artmayacaktır. Bu nedenle ısı yükselmelerinde elastikiyet modülü ve akma direnci azaldığından, dayanakların baskısı nedeni ile malzeme eğilmekte veya formu bozulmaktadır. Çubuk eski orijinal sıcaklığına soğutulduğunda, orijinal boyundan daha kısa kalacak ve dayanaklar arasından düşecektir. İlk örnekteki gibi yine kalıcı gerilmeler oluşmayacaktır. Çünkü parça soğutma esnasında değil ısıtma esnasında zorlanmıştır. Şekil 4.2.c' de yukarıdaki örneğin bütünleştirdiği bir örnek incelenmiştir. Parça Şekil 4.2.b' nin aynısıdır. Tek fark; çubuk desteklerle bütünleştirilip tek parça haline sokulmuştur. Eğer çubuk aynı sıcaklığa yükseltilecek ısıtılırsa bir önceki örnekte olduğu gibi sıkışarak genişleyecek ve eğilecektir, fakat soğutma esnasında farklı tepki verecektir. Çubuk eski orijinal sıcaklığına kadar

soğutulursa büzülerek desteklerin dışına düşmeye çalışacaktır. Parçanın sadece çubuk kısmı ısıtıldığından dolayı bu kısım en son soğuyacaktır. Bu durumda parça aksenal olarak zorlanır. Çubuk her iki yöndeki boyutsal değişiklikler nedeni ile zorlandığından, çubukta çekme kalıcı gerilmeleri oluşacaktır. Eğer çekme kalıcı gerilmeleri parçanın elastikiyet sınırını aşarsa ve bu bölge gevrek malzemeden yapılmışsa kırılma olabilir (Walpi 1993).

4.3.2. Metalurjik kaynaklı kalıcı gerilmeler

Malzemenin metalurjik yapısından kaynaklanan kalıcı gerilmelerdir. Çeliklerde martenzit dokunun sertleştirme esnasında düzenli olmayan genişmesi hacim değişikliğine neden olmaktadır. İndüksiyon ve alevle sertleştirme gibi ısıtma işlemlerinde parçaların yüzeylerinde ısıtma genişleme ve faz değişimi meydana gelmektedir. Bu nedenle ısıtma genişleme çekme, faz değişimi ise basma gerilmelerini oluşturur. Bu gerilmeler, kalıcı gerilmeleri elde etmek üzere cebirsel olarak toplanır. Genellikle bu gerilmelerin bileşkesi basma kalıcı gerilmeleri şeklindedir (Heindlhofer 1948, Hetanyi 1950, Akkurt ve ark. 1984).

Soğutma esnasında sertleşme dönüşümü meydana geldiğinden, termal ve metalurjik kalıcı gerilmeler için dikkate alınan temel prensipler bir birinin tersi gibi görünür. Her ikisi de en son soğuyan bölgelerin etkileşimini içerir. Aradaki fark; biri termal çekme gerilmelerine neden olurken diğeri basma kalıcı gerilmelerine neden olur. Termal etkileşimden dolayı çeliklerdeki büzülme ve metalurjik genişmeden dolayı da eş zamanlı genişmeyi hayal etmek zordur. Gerçekte bu değişiklikler martenzit dönüşümü esnasında her iki yönde aynı zamanda gerçekleşir ve çeliğe uygulanan ısıtma işlem esnasında meydana gelen çarpılmanın çoğunun temel nedenidir (Walpi 1993).

Genel prensiplere bakıldığında, yüksek alaşımlı ve takım çelikleri gibi çeliklerin derinlemesine sertleştirilme nedenini anlamak şimdi daha kolaydır. Isıtma işlem esnasında hızlı soğutulurken veya su verilirken nispeten ince kesitli küçük parçalar kullanılırsa çatlaklar oluşabilir. En son sertleşen kısım kesitin merkezi olacaktır. Bu durumda, merkez en son sertleşen kısım olduğu için basma kalıcı gerilmelerine sahip olacaktır. Yine de kalıcı gerilme sisteminin dengelenmesi gereksinimi çekme kalıcı gerilmelerine sahip yüzey alanlarını oluşturur. Eğer çekme kalıcı gerilmelerinin değeri çeliğin çekme

gerilmesi değerini aşarsa yüzeyin çatlamasına sebep olarak tehlikeli bir durum ortaya çıkarır. Çeliğin bu şekilde sertleşebilmesi nedeniyle, ısıtım işlemi esnasında parçanın boyutu ve su verme tipi dikkate alınmalıdır. Hem geniş hem de küçük kesitlerden (ya da ince bölgeler içeren) meydana gelen parçalar çok dikkatli ısıtım işleme tabi tutulmalıdır. Su verme çatlakları önemlidir, çünkü bu çatlaklar ciddi kırılmalara neden olurlar (Hetany 1950, Walpi 1993).

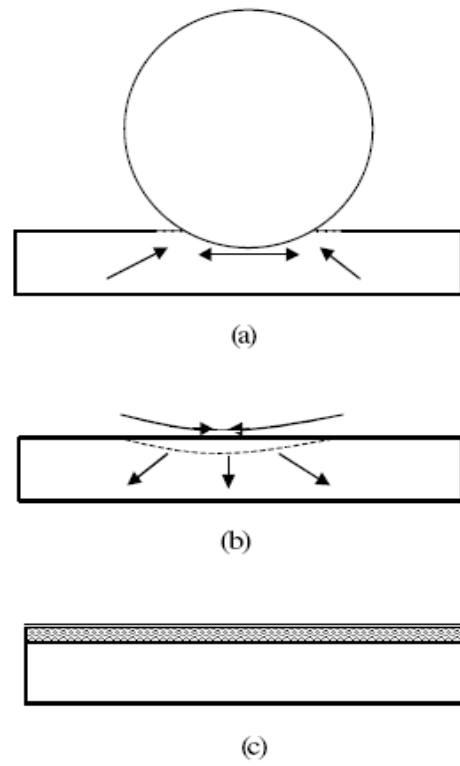
4.3.3. Mekanik kaynaklı kalıcı gerilmeler

Mekanik kalıcı gerilmeler hakkında unutulmaması gereken genel prensip; uygulanmış yük altında çekme, yük kaldırıldığı zaman basma kalıcı gerilmeleri ile sonuçlandırılmıştır. Bunun tersi durumunda da yük altında basma, yük kaldırıldığında çekme kalıcı gerilmelerine neden olur. Bu prensip gerilmeli korozyondan ve aşınmadan meydana gelen çatlamlara karşı direnci, yorulma dayanımı ve direncini geliştirmeyi amaçlayan bütün mekaniksel ön gerilme oluşturma uygulamaları için bir temel teşkil eder (Heindlhofer 1948, Walpi 1993).

Bu prensibi açıklamak için; Şekil 4.3.a' da bir metal yüzeyine bastırılmış çok sert bir bilye gösterilmiştir. Bilyenin çok derine etki ettiği anda, oluşan eğri yüzey kısmen küresel bir biçim şeklinde yayılır. Kuvvet uygulanırken yüzeye paralel bütün doğrultularda çekme meydana getirilmiştir. Aynı zamanda bilye altındaki metal radyal doğrultularda basma kalıcı gerilmeleri meydana getirir. Yani bilye çevresine dik doğrultuda bilyenin derine etki ettiği anda bu durum mevcuttur. Şekil 4.3.b' deki gibi bilye üzerindeki yük kaldırıldığı zaman, alanda elastik geri gelme olur ve çentik yavaşça dışa doğru zorlanarak derin etkiye sahip olduğu çöküntüden daha sığ bir çöküntü meydana getirir. Bu elastik geri gelmenin en büyük değeri, çentikli yüzey için çentiğin yüzeyine bütün doğrultularda paralel bir basma kalıcı gerilmesi biçiminde zorlar. Önemli niteliklerin birçoğu birbirini sıkıştırmaya çalışan çentikteki metal tanelerini zorlayan basma kalıcı gerilmeleridir (Heindlhofer 1948, Walpi 1993).

Deformasyon ya tam olarak sınırlandırılabilir ya da geniş bir alan veya hacmi kaplayabilir, eğer bütün yüzey Şekil 4.3.c' de gösterildiği gibi birçok küçük çentikle mekaniksel olarak çukurlaştırılırsa o zaman basma kalıcı gerilmeleri meydana gelir. Bu yorulmadan, aşınmadan ve gerilmeli korozyondan kaynaklanan belli çatlak tiplerine

karşı oldukça faydalıdır. Bilye ile dövme işlemi, birçok küçük çukurla yüzeyde basma özellikli ön gerilmelerin meydana getirilmesi olarak tanımlanır. Aynı prensipler, radyüslerin deliklerin yüzeylerinin ezilmesi ya da delikten ileri gelen yorulma çatlaklarını önlemek için delik çevresine dairesel yivler basmak gibi diğer mekaniksel ön gerilme metotları ile de uygulanabilir. Bütün durumlar altında prensip aynıdır; uygulanmış yük altında yumuşayan çekme, yük kaldırıldığı zaman basma kalıcı gerilmeleri ile sonuçlanır, bunun tersi bir durumda söz konusu olabilir (Heindlhofer 1948, Walpi 1993).



Şekil 4.3. Mekaniksel olarak dahil olmuş kalıcı gerilmelerin prensibinin gösterimi (Walpi 1993)

4.3.4. Kimyasal kaynaklı kalıcı gerilmeler

Kontrollü korozyon metotları yardımıyla, özellikle dağlama ve kimyasal işleme, yüzeyden metallerin kaldırılması veya yüzey niteliklerinin değiştirilmesi kalıcı gerilme modelini değiştirme eğilimi ortaya çıkarmaktadır. Kalıcı gerilme dengesinin değişmesi, alttaki metal katmanlarının çarpılmasına yol açmakta veya yüksek kalıcı gerilmeleri

mevcutsa, parçanın bazen çatlamasına neden olmaktadır (Akkurt ve ark. 1984, Walpi 1993).

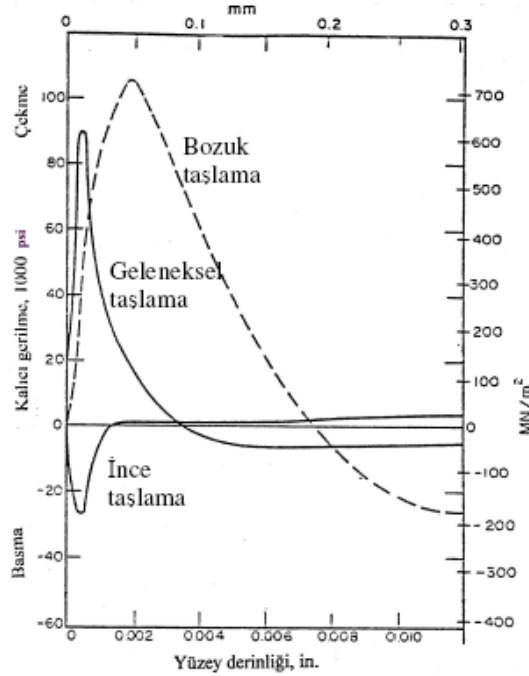
Yüzey kaplamaları kalıcı gerilme modelini etkileyebilir. Genellikle kaplama malzemesinin yüzeyinde çekme kalıcı gerilmeleri meydana gelirken ana malzemede bunu dengeleyecek basma kalıcı gerilmeleri meydana gelir. Buna bağlı olarak kaplama tabakasında kolayca oluşan yorulma çatlakları ana malzemeye iletilir (Dieter 1985, Walpi 1993). Sementasyon ve nitrasyon gibi yüzey sertleştirme işlemleri esnasında, yüzeyler karbon veya azot verici ortamlarda ısıtılır. Bunun sonucunda yüzeylerin hacmi büyür ve basma kalıcı gerilmeleri meydana gelir. Buna bağlı olarak parçaların dayanım ve aşınma mukavemetleri de artmaktadır (Akkurt ve ark. 1984).

Sementasyona uğramış tabakanın kalınlığı arttıkça yüzeyde basma gerilmeleri değeri yükselmekte ve basma gerilmesinin çekme gerilmesine dönüşme derinliği artmaktadır. Yüzeydeki belirli bir kalınlıktaki tabakanın sementasyona uğratılması parçanın yorulma ömrünü arttırmaktadır. Bunun nedeni sementasyona uğramış tabakadaki basma gerilmeleri değerinin 400 ila 500 MPa seviyesine erişebilmesidir (Fetullayev 1998).

4.4. Değişik İmal Yöntemlerinin Kalıcı Gerilmeler Üzerine Etkisi

Parçalardaki kalıcı gerilmeler basılan (-) ve çekilen (+) olabilir. Bunların değeri, parçanın bütünündeki dağılım modelleri, imal usulleri ve imalat parametreleri ile doğrudan ilgilidir. Parçaların üretiminde kullanılan imalat yöntemlerinde kalıcı gerilmeler parça hacminin bir kısmını veya tamamını kaplamış olabilir ve parça içerisinde değişik alanlarda çeşitli değerler, işaretler kazanmış olabilirler (Fetullayev ve Akyıldız, 2000). Bazı imal usullerinde, talaş kaldırmada, yüzey sertleştirmede, kaplamada vs. dahili kalıcı gerilmeler oluşmaktadır. Bu gerilmelerin parçaya nüfuz etme derinliği 5-200 mikron bazı imal usullerinde ise 50-2000 mikron veya biraz daha fazla olabilmektedir. Yüzeyde oluşan gerilmeler ise parça içinde oluşan gerilmeler gibi pozitif ya da negatif işaretli ve azami değerlerini yüzeyden 2-30 mikron derinliklerde almış olabilirler. Yüzeyde oluşan kalıcı gerilmelerin oluşma nedenleri; yüksek basınç, sıcaklık, faz dönüşümleri, ana malzeme ile yüzey tabakasının farklı mekanik özellikleri, kesit alanında eşit olmayan plastik deformasyon ve bu faktörlerin oluşturduğu özelliklerdir. Şekil 4.4' de AISI 4340 çeliğin değişik durumlar altında taşlanması

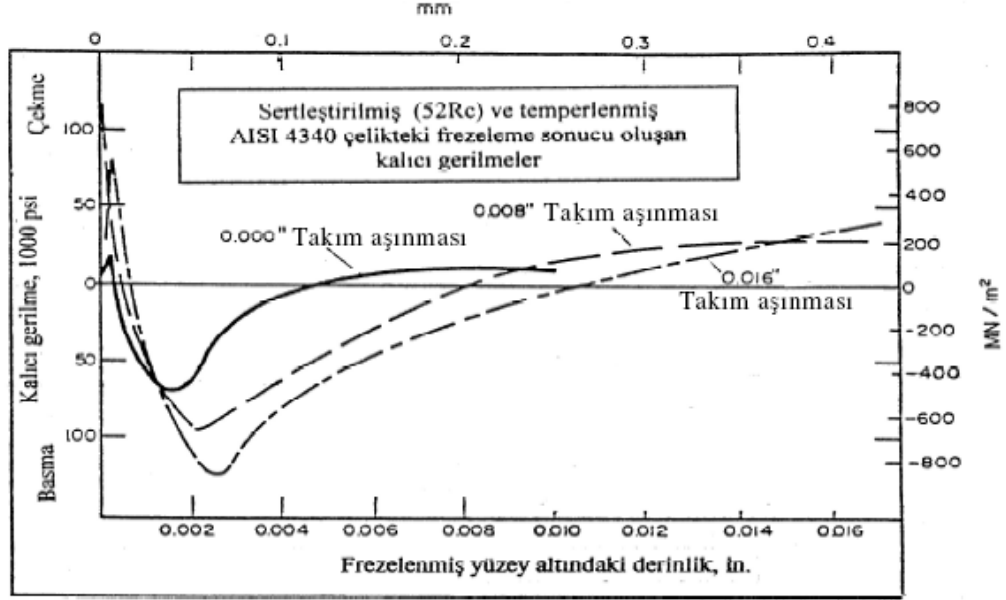
sonucu meydana gelen gerilme dağılımı gösterilmektedir. Burada hem en büyük kalıcı gerilme üzerinde, hem de yüksek gerilmelerin bulunduğu derinliklerde taşlama durumunun etkisini dikkate almak gerekir. Taşlanmış yüzeyin alt kısmının metalografik muayenesinde, yaklaşık olarak 0,025 mm (0,001”) kalınlığında bozuk taşlama sonucu oluşan yeni bir martenzit tabakası bulunmuştur. Bu katman taşlama esnasında yüzey sıcaklığının yaklaşık 700 °C ulaşması neticesinde oluşmuştur. Geleneksel taşlamada ara benekli yeni bir martenzit tabakası tespit edilmiştir. İnce taşlama neticesinde ise herhangi bir düzensiz metalografik yapı ile karşılaşılmamıştır (Marshall ve Maringer, 1977).



Şekil 4.4. AISI 4340 malzemedeki yüzeyin taşlanması sonucu oluşan kalıcı yüzey gerilmeleri (Marshall ve Maringer, 1977)

Şekil 4.5’ de AISI 4340 malzemenin alın freze ile işlenmesinden kaynaklanan kalıcı gerilme dağılımı gösterilmektedir. Burada ayrıca takımın değişik keskinlik derecelerinde oluşan gerilmelerle karşılaştırılmıştır. Hakim olan gerilmeler basma gerilmeleri olsa bile, takım körlendiği zaman nispeten yüzeye yakın ince bir katmanda yüksek çekme gerilmelerinin geliştiği dikkat çekicidir. Takım körlenmesi sonucu yüzeyde çekme gerilmelerinin artmasının nedeni, takımın uygun bir kesme yapamaması

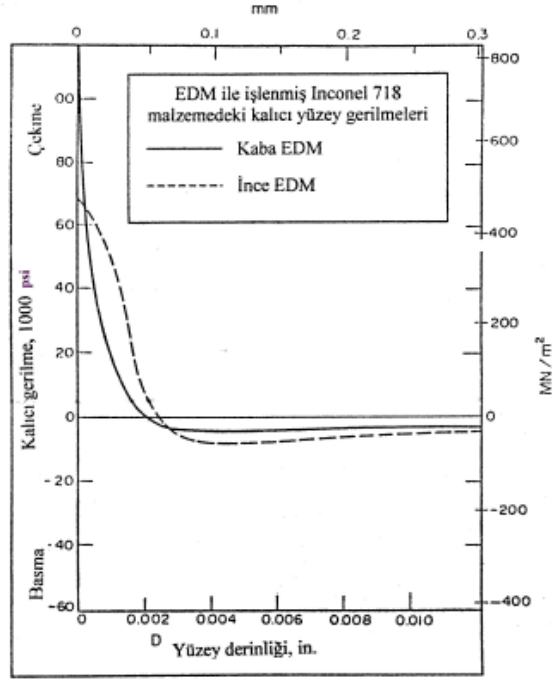
ve dolayısıyla takım iş parçası sürtünmesiyle oluşan sıcaklık artışıdır (Marshall ve Maringer, 1977).



Şekil 4.5. 52 HRC sertleştirilmiş ve temperlenmiş AISI 4340 çeliğin frezelenmesi sonucu yüzeyinde meydana gelen kalıcı gerilme dağılımı (Marshall ve Maringer, 1977)

Termal işlemler ısıl etkilenmiş yüzeyler oluşturur. Sonuç olarak, bu yüzeylerde sık sık çekme kalıcı gerilmeleri oluşur. Şekil 3.6. elektro erezyonla işlenmiş İnkonel 718 malzemedeki gerilme durumunu göstermektedir. Elektro erezyon ile kaba bir işleme yapıldığında yüksek akım yoğunluğundan dolayı oluşan ısı etkisinden yüzeyde yüksek çekme kalıcı gerilmeleri meydana gelmektedir. Buna karşın en uygun parametrelerde gerçekleştirilen ince işlemede yüzeyde oluşan bu yüksek çekme kalıcı gerilmeleri bir dereceye kadar düşse de dikkat çekici bir değerde varlığını korumaktadır.

Parça yüzeyinde oluşan kalıcı gerilmelerin; parçanın kesit alanının küçük bir kısmını kapsamalarına karşın bu gerilmelerin parçanın dayanma dirençleri göstergelerine etkisi yüksektir. Bu etkinin düzeyi parçanın biçiminden, malzemenin bünyesi, mekaniksel özellikleri, kimyasal bileşimi, yükleme tarzı (statik, dinamik, değişken), parçanın hangi sıcaklıkta kaç saat çalışacağı, aşınma koşulları (korozyif ortam ve sıcaklık vs.) ile ilgilidir (Marshall ve Maringer 1977, Akkurt ve ark. 1984, Fetullayev 1998).



Şekil 4.6. Elektro erezyonla işleme sonucu 44 HRc sertliğindeki İnkone1 718 malzemedede oluşan kalıcı yüzey gerilmeleri (Marshall ve Maringer 1977)

Çelikler için su verme, sementasyon, nitrasyon, indüksiyonla sertleştirme işlemleri yüzeyde kalıcı basma gerilmeleri meydana getirir. Sementasyon yapılmış çeliklerde sertleşmiş tabakanın kalınlığı arttıkça yüzeyde basma gerilmeleri değeri yükselmekte ve basma gerilmesinin çekme gerilmesine dönüşme derinliği artmaktadır (Hetanyı 1950, Karataş ve ark. 2001).

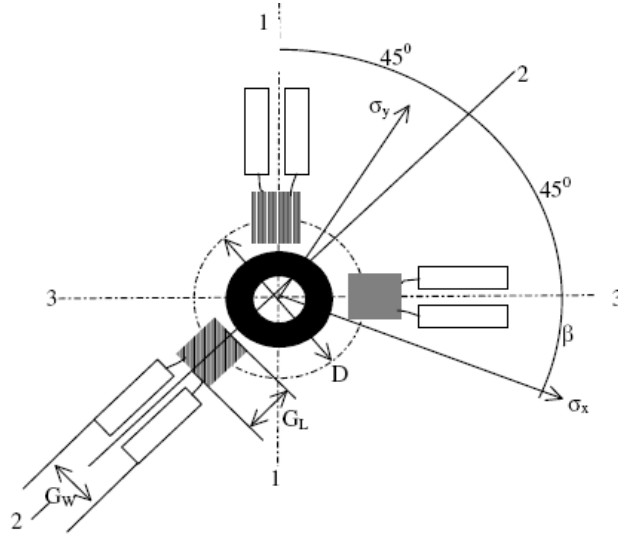
5. KALICI GERİLME ÖLÇÜM METOTLARI

5.1. Giriş

Kalıcı gerilmeler parçaların dinamik deformasyonu sırasında davranışını değiştirebilir, çatlak oluşumunun gelişimini hızlandırabilir ya da yavaşlatabilir. Bu nedenle yorulma ömrü üzerinde etkilidir. Bu yüzden kalıcı gerilmelerin ölçülmesi son derece önemlidir (Clausen ve ark. 2003, Anonim 2004). Kalıcı gerilme ölçüm metotları incelendiğinde üç grupta ölçüm yapıldığı görülmüştür. Birinci grup; ya bileşenlerden kesit almayı ya da bileşenlerden malzeme kaldırmayı gerektiren mekaniksel, tahribatlı ya da yarı tahribatlı metotları içermektedir. Bu yöntemlerde parçanın gerilme dengesi mekanik yöntemlerle bozularak, kalıcı gerilmelerin yarattığı deformasyonlar ölçülerek, bunlara neden olan gerilmeler tespit edilmektedir. Bu metotlar önceden var olan gerilmelerin etkilediği gerilimin ortaya çıkarılması esasına dayanan ölçümlerden yararlanmaktadır. Bu metotlardan en sık kullanılanı delik delme metodudur. Bu yöntemle kalıcı gerilmeler birkaç milimetrelik derinliklerde ölçülebilir. İkinci grup; tahribatsız olan X-ışını kırınım metodudur. X-ışını metodu sadece birkaç mikron derinlikteki kalıcı gerilmeleri ölçmektedir. X-ışınları yönteminde polikristal yapıdaki malzemelerin bir yük altında kafes genişmesi ile oluşan atomik düzlemler arasındaki mesafenin değişimi ölçülür ve bunun eş değer gerilimi tespit eden tahribatsız yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemler yüzeyde tahribatsız bir şekilde kalıcı gerilme ölçümüne olanak vermektedir, ayrıca kimyasal bir malzeme kaldırma tekniği ile de gerilimin derinlik profilinin elde edilmesi mümkündür. Bu yöntemlerde uygun yansımaların tespit edilmesi büyük bir önem kazanmaktadır. Üçüncü grup ise, gerilmeli ve gerilmesiz durumlarda farklı değerlere sahip fiziksel özellikleri gösteren bir malzemede ölçümlerin gerçekleştirildiği tahribatsız metotları içerir. Bu üçüncü grupta; ultrasonik ve manyetik özellikler esasına dayalı alt bölümler yer almaktadır. Uygun metot seçimi, araştırma için mi yoksa kalite kontrol için mi gerekli olduğuna ya da sadece yüzey katmanlarında kalıcı gerilme bilgilerine (alt yüzey bilgileri dahil) ihtiyaç duyulup duyulmadığına bağlı olmaktadır (Honner ve ark. 2004).

5.2. Delik Delme Metodu

Kalıcı gerilmeyi ölçmek için kullanılan en yaygın tekniklerden bir tanesi delik delme metodudur. Kalıcı gerilme ölçmede kullanılan delik delme metodu bir bileşenin yüzeyine yapıştırılmış üç gerinim ölçer rozetin merkezinden bir deliğin delinmesi esasına dayanır (Fetullayev 1998, Kafkas 2001, Honner ve ark. 2004). Serbest yüzeylere dik gerilmeler bu serbest yüzeylerde daima sıfır olacaktır. Sonuç olarak, eğer gerilmeli bileşenin yüzeyinde bir delik meydana getirilirse, bu deliğin kenarındaki radyal gerilmeler sıfıra indirgenir. Gerilmelerin yeni bir dağılımı genel olarak deliğin etrafında meydana gelir. Deliğin yüzeyindeki radyal gerinim tamamen gevşeyecektir, fakat gerinimdeki bu değişimleri doğrudan ölçmek için deliğe yeterince yakın gerinim ölçer elemanlarını yerleştirmek uygulanabilir değildir. Gerinim ölçerler rozetteki delikten sınıra belirli bir mesafede yerleştirilmiş ve gerçek kalıcı gerilme hesaplanacağı zaman bu ofset mesafesi uygun toleranslar içinde olmalıdır. Gerinim ölçerlerin tasarımları sınırlı sayıda. Bu nedenle parçaların uygun yerlerine monte edilmelidir. Şekil 5.1’deki gibi gerinim ölçerler delinecek deliğin merkezi etrafında çevresel olarak 0° , 90° ve 225° ’lik açılarla değişmeyecek şekilde yerleştirilir ve rozetin merkezinden eşit aralıklarla çıkarılan bu açı uzantıları deliğin merkezi ile çalışacak şekildedir.



Şekil 5.1. Temel gerilmelerin gösterildiği rozet gerinim ölçerler (Kafkas 2001)

Delik delindikten sonra gerinimleri ölçmek normal uygulamadır. Buna rağmen delik delinirken belirli aralıklarla gerinimdeki değişmeyi kaydetmek mümkündür. Delik delerek gerinim ölçme, derindeki kalıcı gerilmelerin ölçülmesine imkan verir ancak bu yöntemin en büyük problemlerinden bir tanesi de verilerin yorumlanmasıdır. Şekil 5.2’de delik delme metodunda kullanılan kalıcı gerilme ölçme cihazı görülmektedir.



Şekil 5.2. Delik delme yöntemi ile kalıcı gerilme ölçebilen cihaz (Tekaslan 2006)

Honner ve ark. (2004) yaptıkları çalışmada delik delme yöntemiyle kalıcı gerilme ölçüm tekniği ile termogrofi analizi metotlarının aynı sonuçları verdiğini görmüşlerdir. Yüzey özelliklerini belirleyebilmek için yayıcı ve yansıtıcı ölçüm yöntemlerinin delinerek ve milimetrik boyutlardaki gerinim ölçerler kullanılarak tespit edilebileceğini, dinamik yüzeylerdeki ısı alanlarının delmeye eşlik eden gerinim ölçerler kullanılarak belirlenebileceğini bildirmişlerdir. Artırımlı delik delme metodu kompozit levhalarda kalıcı gerilmeyi belirlemek için kullanılan yarı tahribatlı etkili bir metottur. Bu metot; kalıcı gerilme profiline erişmemize imkan sağlamaktadır. Artırarak delinmiş her bir delik ile gerinim ölçerlerin doğru pozisyonu delinmiş deliklerin radyusleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar açıkça gösteriyor ki bu parametrelerin kalıcı gerilmeler üzerindeki etkileri önemli ölçüdedir (Sicot ve ark. 2004).

5.3. Kesit Alma ve Katman Kaldırma Metodu

Kesit alma ve katman kaldırma yöntemi numune üzerinden malzemenin art arda katmanlarının kaldırılmasını ve kaldırılan her bir katman ardından numunede arta kalan deformasyonun ölçülmesini içerir. Bu ölçümlerden numunedeki orijinal kalıcı gerilmeler hesaplanabilir.

Temel amaç; yorulma kırılmasının ve uygulanmış yükün doğrultusuyla tanımlanmış olan temel gerilmelerin meydana geldiği düzlemdeki kalıcı gerilmelerin mümkün olduğu kadar hassas ölçülmesidir. Kalıcı gerilme çoğu kez çok aşırı olduğu için, mümkün olduğu kadar küçük olarak kaldırılan art arda gelen katmanların kalınlığı önem arz etmektedir (Almen ve Black 1964).

Kesit alma metotları tek, çift ve üç eksenli kalıcı gerilme durumlarını belirlemek için uygulanabilir. Bununla birlikte bu metotlar genel olarak tahribatlıdır. Gerçekleştirilmesi çok pahalıdır (Dike ve Johnson 1990).

Yüzey gerilmelerini belirlemek için kullanılan diğer metotlar bileşenden malzeme parçalarının kesilerek çıkartılmasını içerir. Kesip çıkarılan parçadaki gerinim değişiklikleri, kesme işleminden önce parçanın kesip çıkarılacak kısmına yapıştırılmış gerinim ölçerler ya da ekstansometre yardımıyla ölçülebilir.

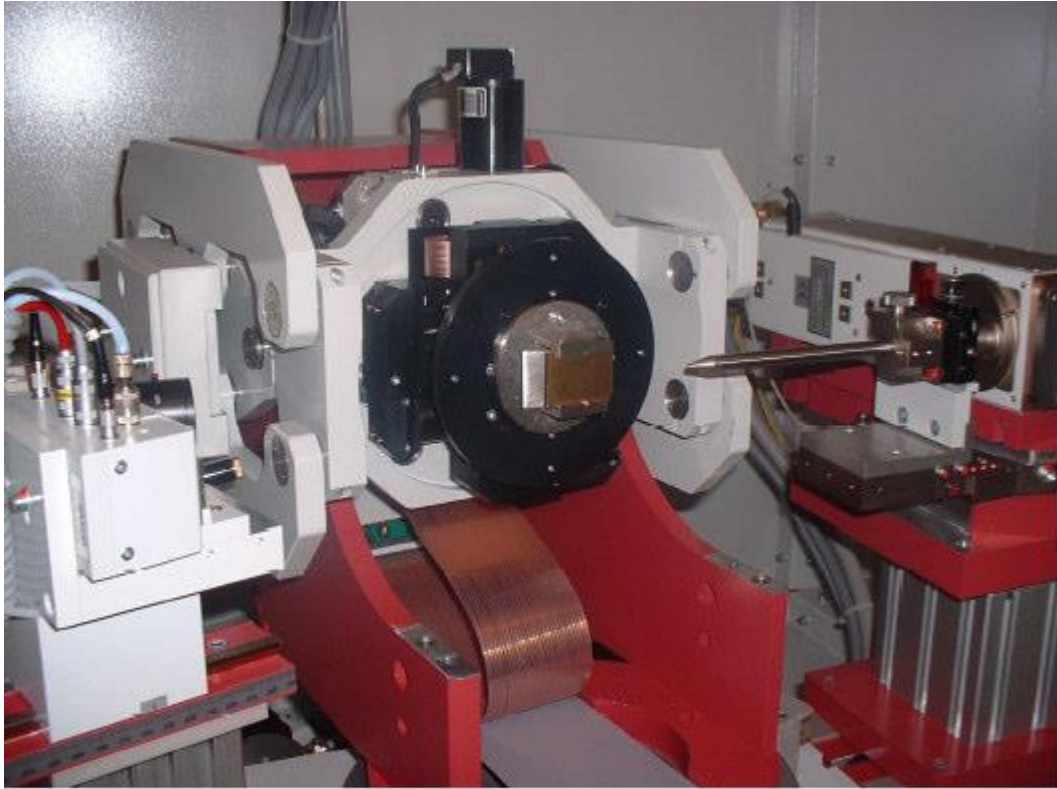
Metal kaldırma prosesinde, ölçülmüş olan orijinal gerilmelere rağmen benzer önemde olan yeni kalıcı gerilmelerin kolayca ortaya çıkması mümkündür. Katman kaldırmak için kullanılacak yöntem parçada ilave gerilmeler oluşturmayacak yöntemlerden dikkatle seçilmelidir.

5.4. X-Ray ile Gerilme Ölçümü

X-ışını kırınımı en uygun tahribatsız yöntemlerden bir tanesi olup, malzemenin yüzeyindeki kalıcı gerilmenin mikron seviyesinde belirlenmesinde kullanılabilir. Dalga boyunun doğru bilinmesi ve Bragg açısının değişmesiyle kalıcı gerilmeler doğru olarak hesaplanabilir. Röntgen usulü kristalik malzemelerde kristalografik düzlemler arasındaki mesafenin ölçülmesi esasına dayanmaktadır.

X-Ray metodu bir malzemenin yüzeyindeki gerginlikleri (uzamaları) ölçer. Bu gerginlikler değişik tahminler kullanılarak gerilmeler biçimine dönüştürülür. Düzlemlerin spesifik formunun ara yüz boşlukları yüzey normaline farklı biçimde dizilmiş olan tanelerden belirlenir. Bu, gelen ışına uyacak şekilde deney parçasının döndürülmesi veya eğilmesi ile meydana getirilir (Fetullayev 1998, Bahadur ve ark. 2004).

Şekil 5.3' de X-ışını kırınım cihazı görülmektedir.



Şekil 5.3. X-ışını kırınım cihazı (Tekaslan 2006)

X-ışını kırınım cihazı ile ölçüm yapıldığında;

1. Ölçümlerin tekrarlanması ve kopyalanması mümkündür.
2. Ölçümler iki adımda hassas olarak ölçülebilir.
3. Zaman sayacı vardır.
4. Verileri biriktirebilir.
5. Düzenli olarak hareket etme ve ölçüm doğruluğuna sahiptir.
6. Ölçüm yapılan parçalara işaret veya numara verebilir (Tekaslan 2006).

5.5. Synchrotrons

Yüksek enerjili X-ışınlarının çok şiddetli ışın demetini veya çok fazla X-ışınlarını sağlar. Bu X-ışınları geleneksel X-ışınlarından çok daha fazla derine, çoğu parçalarda 1-2 mm derinliğe kadar etki edebilme özelliğine sahiptir. Ölçümler geleneksel X-ışını yönteminden daha hızlı yapılabilmektedir. Synchrotronslar sayesinde üç boyutlu uzaysal çözümlere imkan sağlanmaktadır (Tekaslan 2006).

5.6. Nötron Kırınımı Metodu

Nötronların en büyük avantajı X-ışınları üzerinde çok geniş penetrasyon derinliğine sahip olmasıdır. Nötronlar yüzeye çok yakın 0,2 mm derinliğe kadar ölçüm yapabilme imkanına sahiptirler. Nötron kırınımı parçaların üç boyutlu kalıcı gerilme değerlerinin tanımlanmasına olanak verirler. Bu metot verileri geniş miktarda toplama kapasitesi ile teorik modellerin doğrulanması için kullanışlı bir metot olan nötron kırınımı, örnek malzemenin kalınlığına bağlı olarak tüm yüzeyde ve derinlikte hassas detektörlerin pozisyonu ile gerilim değerlerinin bulunmasını sağlar. Prensipleri X-Ray' de kullanılan tekniklerle temelde aynıdır. Fakat diğer kırınım metotları ile karşılaştırıldığında maliyeti çok daha yüksektir. Nötronun dalga boyları klasik X-Ray tüpleriyle oluşturulmuş dalga boylarındaki gibi aynı büyüklük düzenindedir. İki tip nötron kaynağı vardır; titreşimsiz durum kaynağı ve pulse kaynağı (Tekaslan 2006).

Titreşimsiz durum kaynağından elde edilen nötron ışını monokromatör kristallerde Bragg yansımalarıyla ilk önce monokromatik (tek renkli) yapılır ve ondan sonra X-Ray kırınımındaki gibi kırınmış nötronların farklı açılarda analiz edileceği yerden numune üzerine çarpması sağlanır (Tekaslan 2006).

Puls(titreşim) nötronları kullanılacağı zaman, monokromatik bir ışın numuneye yayılır ve kırınmış nötronlar nötronların uçuş zamanına göre sabit kırınım açılarında analiz edilir. Dalga boyları; güzergah uzunluğu ve uçuş zamanlarından çıkarılabilir. Bir puls kaynağınca oluşturulmuş nötron ışınlarının yoğunluğu kalıcı gerilmelerin ölçümü için oldukça düşüktür. Uçuş zamanı teknikleriyle sadece ikinci tip kalıcı gerilmelerin (mikro kalıcı gerilmeler) ölçülebileceği düşünülmektedir (Smith ve ark. 1989).

Metodun hassasiyeti; nötron difraktometresinin açısal çözünürlüğüne ve örneklenmiş malzemenin hacmine bağlıdır. Örneklenmiş hacim gelen ve yansıyan nötron ışınlarının tam kesiti ile tanımlanmıştır (Dieter 1985).

5.7. Diğer Işın ve Dalga Metotları

Bu teknikler, kalıcı gerilmelerin bileşen malzemesinde sebep olduğu fiziksel parametre değerindeki değişimlerin ölçülmesi esasına dayanan tahribatsız metotları içerir. Birçok tahribatsız kalıcı gerilme ölçüm yönteminin dezavantajı; ölçülmüş olan fiziksel parametre değerlerinin sadece kalıcı gerilme değerlerinin bir fonksiyonu olmamasından kaynaklanır. Değerler sık sık çeliğin bileşimindeki değişikliklerden, metalik fazların durumundan ve çeliğin tane boyutundan etkilenir. Engellenmeye çalışılan bu etkileri hesaba katmamak için deney araçlarının tekrarlanan kalibrasyonları sıkıntıya sebep olduğundan sadece birkaç teknik başarıya ulaşmıştır (Tekaslan 2006).

Hassas ve hızlı ultrasonik dalgalar gerilme seviyesinin belirlenmesinde kullanılır. Malzemenin içindeki ultrasonik dalgaların hızındaki değişiklikler gerilmeyi direkt gösterir. Ultrasonik tekniğin kullanılma amacı; öncelikle malzemenin içerisindeki gerilmeler hakkında bilgiler elde etme çabasıdır. Hız değişimi dalgaların yayıldığı bölgeler boyunca var olan gerilmelerin ortalaması ile orantılıdır (Kafkas 2001). Ultrasonik tekniğin avantajları; araç gereç kullanımı için elverişliliği, çabuk ayarlama, taşınabilir, ucuz ve radyasyon tehlikesinin olmamasıdır. Karşılaşılan problemler ise; düşük uzaysal çözünürlük, sıcaklık değişimi ve mikro yapısal etkilerden dolayı hız değişimlerinin rakip kaynaklara hassasiyeti, çok keskin zaman ölçümleri için duyulan zorunlulukları içerir (Dike ve Johnson 1990).

Raman spektroskopisi; ışığın cisim ile etkileşimini içerir. Gelen lazer ışınları atomlar arası bağların titreşimine neden olur. Raman spektrumu bir numunenin fiziksel durumu ve kimyasal yapısı hakkında çok önemli bilgileri ortaya çıkarmadaki dağınmış ışığın analizi olarak bilinir. Bu teknik tahribatsız muayene yöntemi yüksek yüzeysel çözüme sahiptir. Bu metot ile optik mikroskop kullanmak şartıyla uzaysal çözümler yapılabilir. Genellikle yüzeydeki ve yüzeye çok yakın gerilmeleri ölçebilme yeteneğine sahiptir. Fakat bazı ilavelerle yüzey altı bilgileri de tespit edebilmektedir (Tekaslan 2006).

Ferromanyetik malzemelerde elastik gerinim ve mıknatıslanma arasında bir etkileşim olduğu bilinen bir gerçektir. Yıllar önce yapılan deneylerde, bir tel parçasının mıknatıslandığı zaman mıknatıslanma doğrultusunda uzayacağı, gerildiği zaman da gerilme doğrultusunda mıknatıslanacağı doğrulanmıştır.

Bu değişmez manyetikleşme belirli durağan kristalografik doğrultularda manyetik momentlerin atomik hizalanmasından meydana gelen doğal kafes gerinimi sonucudur. Doğal magnetrostriksiyon negatif ya da pozitif olabilir. Domain olarak adlandırılan manyetik olarak sıralanmış bölgeler mıknatıslanmaya paraleldir. Mıknatıslanma bir domain içerisinde uniformdur. Gerilme uygulandığı zaman, sırasıyla hizaya girme etkisi malzemenin net mıknatıslanmasında değişikliklere neden olur. Ferromanyetik bir yapıdaki gerinim ve manyetikleşme arasındaki ilişki bu etkileşime bağlıdır. Barkhausen sesi ve magnetrostriksiyon en dikkat çekici ölçüm yöntemleridir. İlki manyetik domain duvarları hareketinin analizi esasına dayanır. İkincisi ise manyetik indüksiyon ve geçirgenlik ölçümleri esasına dayanmaktadır (Bolshakov ve Gorbash 1989, Lu 1996).

6. TAKIM AŞINMASI

6.1. Giriş

Talaş kaldırma işleminde; iş parçası, takım/talaş ara yüzeyinde sürtünmeler ve meydana gelen ısı, takımın aşınması ve plastik deformasyonuna sebep olur. Plastik deformasyon işlemi ve sürtünme sonucu açığa çıkan enerjinin çoğu ısıya dönüşürken bir kısmı talaşla taşınmasına rağmen, takım ucunda kalan kısmı da kesme şartlarına, iş parçası ve takım çiftine bağlı olarak yüksek sıcaklıklar oluşturur. Takım ucunda oluşan bu yüksek sıcaklıklar ve mekanik gerilmelerden ötürü kesici takım zamanla veya ani olarak malzeme kaybına maruz kalır. Takım ömrü, pratik çalışmalarda istenilen boyutta ve yüzey kalitesinde iş parçalarını üretmek için takımın kesme yeteneğini sürdürmemesi, başka bir ifadeyle iki bileme arasında geçen zaman olarak adlandırılabilir (Şahin 2001).

İsleme esnasında tüm takımlar aşınır ve bu aşınma takımlar ömürlerini tamamlayana dek devam eder. İlk yıllarda takım ömrü parametresi takımın artık kesemeyecek duruma gelmesine göre belirlenmiştir. Bugün yüzey kalitesi, hassasiyet, aşınma tipi, talaş oluşumu takım ömrünü belirleyen parametrelerdir. Bu parametrelerden hangilerinin takım ömrünü etkileyeceği işlemin tipine (kaba veya ince işlem) ve işlemdeki elle kontrol oranına bağlıdır.

Takım aşınması kaçınılmazdır, ancak aşınmanın ne zaman, ne miktarda oluştuğunun ve ne tip bir aşınma olduğunun bilinmesi halinde fazla olumsuz etkisi de yoktur. Bir kesici kenarın çok küçük bir zaman aralığında, büyük miktarlarda talaş kaldırması son derece olumludur, ancak takımın ömrünü gereğinden önce tamamlaması veya kırılması bir olumsuzluktur. Modern kesici takım malzemelerinin doğru kullanımları halinde talaş kaldırma işlemi sadece çok daha verimli ve ekonomik olmakla kalmayacak, çok daha güvenilir ve sürekli bir işlem halini alacaktır (Demirayak 2006).

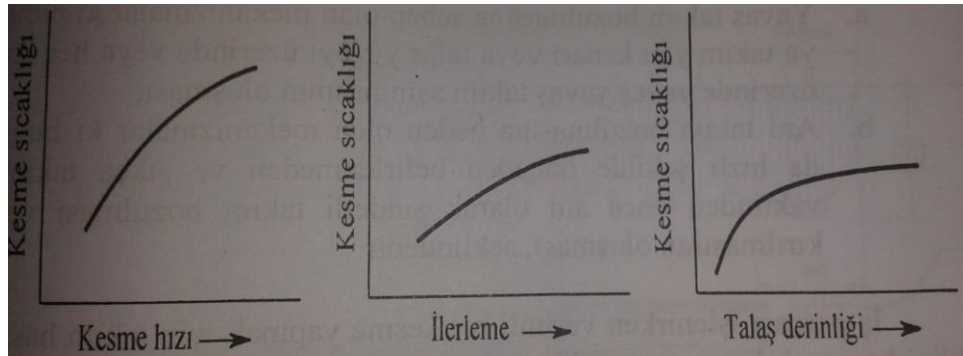
6.2. Takım Aşınmasını Etkileyen Faktörler

Takım aşınması, kesiciden koparılan küçük parçacıkların kaybı olduğundan, işlenen yüzey üzerinde de doğrudan olumsuz bir etkiye sahiptir. Çünkü parçacıkların kopmasıyla takım körleşmiş ve kesici takımın serbest açısı 0° ye yaklaştığından, daha çok alan sürtünme işlemi yapacak ve kesme devam ettiği müddetçe bu artarak

büyüyecektir. Bu durumda kesici takım kesme işleminden yana iş parçasını zorlamakta, sıvama veya iş parçası yüzeyinin sertleşmesine yol açmakta, dolayısıyla takım körlenmektedir. Bunun belirli kriterlere bağlı olarak etkili kesme zamanını tayin etmek için belirlenmesi gerekir. Bu sebeple kritik değerlerin ne olduğunun bilinmesi ve nelere bağlı olduğunun anlaşılması gerekmektedir. Takım aşınmasını belirleyen belli başlı etmenler şunlardır;

- Kesici takım malzemesi
- İş parçası malzemesi
- Kesme hızı
- İlerleme miktarı
- Talaş derinliği
- İş parçası geometrisi
- Takım geometrisi
- Soğutma sıvısı
- İş parçasının bağlanma koşulları
- İşleme yapılan tezgah vb. olarak özetlenebilir.

Şekil 6.1’ de talaş kaldırma parametrelerinin takım sıcaklığı üzerine dolayısıyla takım aşınması üzerine etkisi gösterilmiş olup, buradan da görülebileceği üzere takım aşınması üzerine en büyük etkiye sırasıyla kesme hızı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği sahiptir (Şahin 2001).



Şekil 6.1. Talaş kaldırma parametrelerinin takım sıcaklığı ve aşınma üzerine etkisi (Şahin 2001)

- * Talaş derinliğinin % 50 oranında artırılması takım ömrünün % 15 oranında azalmasına neden olmaktadır.
- * İlerleme miktarının % 50 oranında artırılması takım ömrünün % 60 oranında azalmasına neden olmaktadır.
- * Kesme hızının % 50 oranında artması takım ömrünün % 90 oranında azalmasına neden olmaktadır (Çakır ve Işık 2001).

6.3. Taylor Takım Ömrü Denklemine Elde Edilmesi

Talaşlı imalatta karşılaşılan en önemli sorun, kesici takım aşınmasının zamanında tespit edilememesidir. Aşınmış bir kesici ile yapılan talaş kaldırma işleminde, kesici takımın tezgaha verebileceği zararların yanında istenen parça boyutlarını ve yüzey kalitesini elde etmek de imkansız hale gelir. Ayrıca, keskinliğini kaybetmiş olan kesici takıma etkileyen direnç kuvvetlerinin artması, kesme işlemi için gereken enerjiyi arttıracığından maliyet de artmış olur.

Bu tip sorunların önlenmesi ancak kesici takım aşınmasını zamanında tespit ederek kesici takımın değiştirilebilmesini sağlayacak bir adaptif kontrol sistemi ile gerçekleştirilebilir. Bu nedenden dolayı kesici takım aşınmasının işlem esnasında kontrolü ve analizi üzerine yapılan çalışmalar kesme işleminin optimizasyonu açısından büyük önem kazanmaktadır. Kesici bir kenar için takım ömrü, kenarın kesme süresince belirli bir işleme kriterini sağlayıp sağlamamasına bakılarak belirlenir.

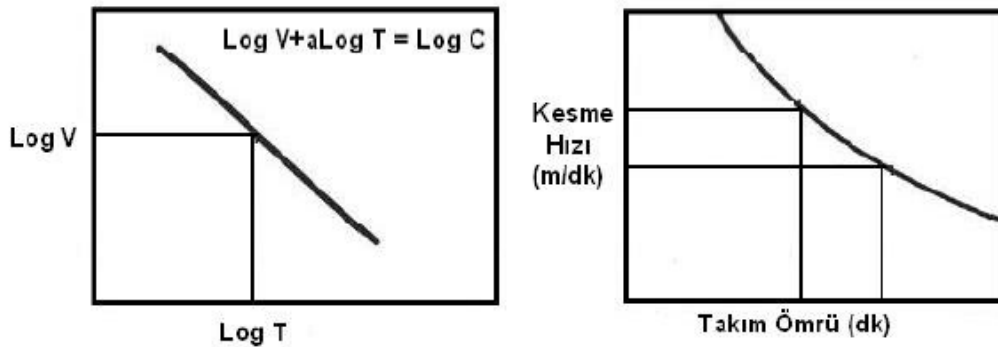
Aşınmalar belirli bir değere ulaştığında işlenen parça yüzeyi bozulmaya baslar. Enerji sarfiyatı büyür ve sistemde titreşimler meydana gelebilir. Parça yüzeyini bozan aşınma değeri takımın körlendiğini gösterir ve takım körleninceye kadar olan toplam işleme zamanı takım ömrü olarak adlandırılır. Genel bir ifade ile takım ömrü, takımda kabul edilebilen bir aşınma meydana gelinceye kadar talaş kaldırma zamanıdır. Takım ömrü genelde (T) ile gösterilir ve dakika ile ölçülür. Talaş kaldırma ile ilgili ilk çalışmalar Taylor tarafından yapılmıştır. Taylor kesme hızlarının takım ömrü denilen ve takımın iki bilemesi arasındaki süreyi ifade eden kavrama bağlı olduğunu deney verilerine bağlı olarak ifade etmiştir. Sekil 6.2. de kesme hızı ve takım ömrü ilişkisine ait Taylor bağıntısı görülmektedir. Takım ömrü *Taylor bağıntısı* ile aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir.

$$V \times T^n = C_m \quad (6.1)$$

V kesme hızı (m/dak), T takım ömrü (dak), n test edilen durum için kesici takıma ait sabit (yüksek hız çelikleri için 0,14 - 0,16, kaplanmış karbür için 0,21 - 0,25, seramikler için 0,45 - 0,55), C_m bir dakikalık takım ömrü için kesme hızıdır. Takım üssü değeri arttıkça takımın talaş kaldırma işlemine karşı daha dirençli olduğu anlaşılır. Aynı şekilde C_m değeri büyüdükçe kesme direncinin daha yüksek olduğu anlaşılır. *Taylor bağıntısı* daha sonra kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği dikkate alınarak yapılan çalışmalar ile;

$$T = (C_m / V^k \times f^m \times a^p) \quad (6.2)$$

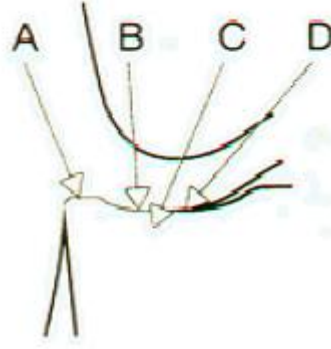
olarak ifade edilmiştir. Burada $k > m > p$ takım malzemesine bağlı sabitlerdir. Takım ömrünü en fazla sırasıyla kesme hızı, ilerleme ve paso kalınlığı etkilemektedir. Bu nedenle belirli bir takım ömrü için kaldırılan talaş hacminin artırılması için önce paso kalınlığının, sonra ilerlemenin ve en son kesme hızının artırılması uygun olacaktır (Akkurt 1985).



Şekil 6.2. Taylor bağıntısı (Akkurt 1985)

6.4. Kesici Takımlarda Oluşan Aşınma Mekanizmaları

Takım aşınması kesici kenar üzerine etkiyen yük faktörlerinin bir sonucudur. Kesici kenarın ömrü birçok yüke bağlı olarak belirlenir. Aşınma olayı ise takım ve iş parçası malzemesi ile işleme koşullarının etkileşiminden kaynaklanan bir olaydır. Şekil 6.3. (A) mekanik, (B) ısıl, (C) kimyasal, (D) abrazyon yükleri temsil etmektedir (Çakır 2006).



Şekil 6.3. Tipik aşınma bölgeleri (Çakır 2006)

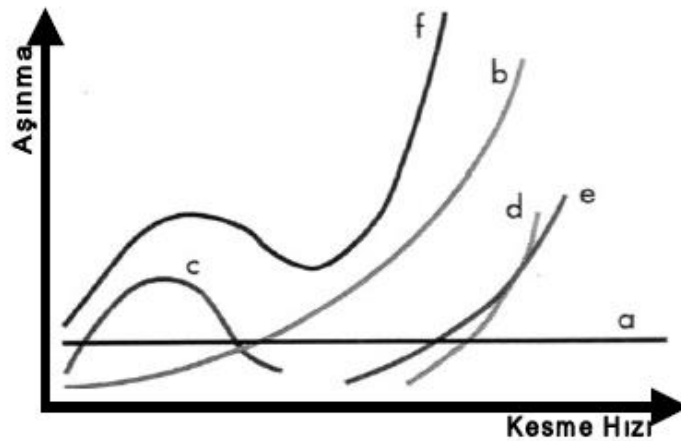
Talaş kaldırmada aşınma; etkili kesme zamanının sona ermesi, bunun da takımın orijinal profilini kaybetmesi veya birbiri ile etkileşim yaparak malzeme kaybına yol açmasıdır. Takım/talaş ara yüzeyinde nelerin olduğu, hangi mekanizmaların oluştuğu ve hangi şartlarda ortaya çıktığının anlaşılması ve ona göre gerekli tedbir ve şartların yerine getirilmesi gerekmektedir. Talaş kaldırmada oluşan ısının % 80 i talaşla birlikte ortamdaki uzaklaşırken, %10 u iş parçasına, diğer %10 u ise takım üzerine aktarılmaktadır. Takım ucunda kalan %10 luk oran ise oldukça yüksek sıcaklıklar meydana getirir.

Kesici takımlar çok değişik şartlara maruz kaldığı için takım ucunda yüksek gerilmeler oluşur, bunun gerçek değeri ise işleme şartlarına ve iş parçası malzemesinin mekanik özelliklerine bağlıdır. Buna ilaveten, fasıllı kesme sırasında takım tekrarlanan şok etkisine maruz kalır ve çıkan talaşlar takım malzemesi ile kimyasal reaksiyona girer. Yüksek gerilme ve sıcaklıklar takım ucunun plastik deformasyonla körlenmesine sebep olarak takımın şiddetli şekilde kırılmasına yol açmaktadır (Şahin 2001).

Mekanik yükün statik bileşeninin yanı sıra talaş oluşumundan, değişken talaş derinliklerinden, darbeli ve frezeleme işlemindeki gibi fasıllı kesme işlemlerinden kaynaklanan çeşitli dinamik bileşenleri de söz konusudur. Talaş kaldırma işlemi esnasında kesici ucun talaş ve serbest yüzeylerinde büyük miktarda ısı oluşumu söz konusudur. Takım malzemesi için ısı yükü ve frezeleme işlemi gibi bazı işlemlerde, kesici kenarın iş parçasından çıkması ve iş parçasına tekrar girmesi esnasında dinamik bileşenin de göz önüne alınması gerekir.

Talaş kaldırma işlemi sırasında birçok iş parçası malzemesi içerisinde sertlikleri bazen takım malzemesinin sertliğine yaklaşan, son derece sert parçacıklar bulunur. Bu parçacıklar takım üzerinde aşındırıcı bir etkide bulunurlar. Bu kalıntıların ve cürufu bir yüzeyin söz konusu olmadığı durumlarda bile talaş kaldırma işlemi esnasında, kesici kenar üzerinden geçen malzeme nedeniyle, değişen miktarlarda abraziv bir aşınma söz konusudur (Demirayak 2006).

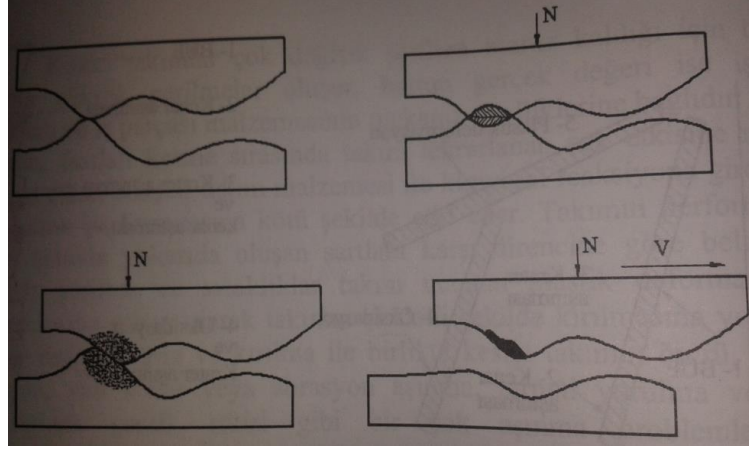
İşleme esnasında kesici kenar üzerine etkiyen çeşitli yük faktörleri nedeniyle temel aşınma mekanizmaları talaş kaldırma işlemine dolayısıyla kesici takımın aşınmasına etkide bulunurlar. Bu aşınma mekanizmalarının kesme hızı arttıkça takım aşınmasını nasıl etkilediği Şekil 6.4’ deki grafikte sembolize edilmiştir. Bu grafikte a; kesme kenarı deformasyonu, b; Abraziv aşınma, c; yığılma kenar oluşumunu, d; difüzyon aşınmasını, e; oksidasyon aşınmasını, f; toplam aşınmayı göstermektedir (Demirayak 2006).



Şekil 6.4. Kesici takımda meydana gelen aşınma prosesleri (Demirayak 2006)

6.4.1. Adhezyon aşınması

Birbiri ile temas halinde çalışan iki metal parçanın birbirlerine bastırılması halinde yüzeyler yüksek noktalarda temas ederler. Bu durumda temas noktalarında çok yüksek basınçlar meydana gelir. Bu yüksek basınç nedeniyle metaller akma sınırına ulaşırlar ve temas bölgelerinde mikro kaynaklar oluşur. Temas yüzeyleri birbirlerine göre relatif olarak hareket ederlerse mikro kaynaklar kırılır. Bu şekilde ortaya çıkan aşınma adhezyon aşınması olarak adlandırılır. Şekil 6.5’ de adhezyon aşınması şematik olarak gösterilmiştir (Şahin 2001).



Şekil 6.5. Adhezyon aşınmasının meydana gelişi (Şahin 2001)

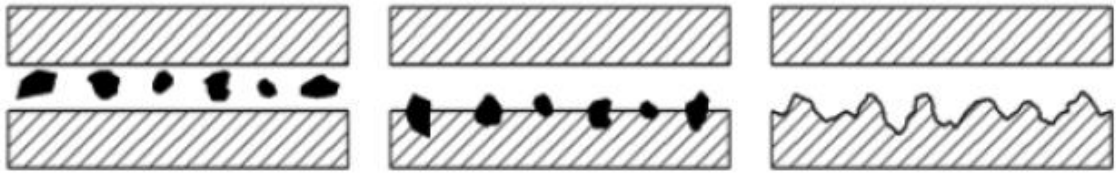
Bu tip aşınmaya en fazla etki eden faktörler; temas eden yüzeylerin sertliği, yüzey kaliteleri ve yüzeyler arasındaki basınçtır. Sıcaklıkta malzemenin sertliğine etki ettiğinden aşınmaya neden olur. Talaş kaldırmada bu tür aşınma, takım iş parçası ile temas halinde iken çıkan talaşın takım yüzeyine sürtünmesi durumunda gözlemlenmektedir. Genellikle takımın talaş yüzeyindeki düşük ilerleme sıcaklıklarından dolayı ortaya çıkar. Bu aşınma mekanizması genellikle, kenar ile talaş arasında yığıma kenar oluşumuna neden olur. Yığıma kenar oluşumu, talaş tabakalarının sürekli olarak kesici kenar üzerinde kaynak olup kenarın bir parçası haline gelme işlemidir. Bu kenarın çok fazla büyümesi ve bir noktada kopması, kesici kenar üzerinden bir kısım malzemenin de yığıma kenar ile uzaklaşmasına neden olur. Bazı kesici takım malzemeleri ve sünek çeliklerde yığıma kenar oluşumu diğerlerine göre çok daha fazladır. Belirli bir sıcaklık aralığında takım ve iş parçası malzemeleri arasındaki kesme kuvvetlerinden dolayı ortaya çıkan yük, adhezyon aşınmasını oluşturan nedenlerdendir. Belirli bir malzemenin işlenmesi esnasında bu aşınma türü talaş derinliğinin maksimum değerinde hızlı bir bölgesel aşınmaya neden olur (Şahin 2001, Demirayak 2006).

6.4.2. Abrasyon aşınması

En yaygın aşınma tiplerinden biridir. Kaldırılan talaş altındaki sert parçacıkların takım yüzeyinden geçerken oluşturduğu aşınma tipidir. Bu aşınma türü; sert karbürler içeren iş parçalarının işlenmesinde ve talaş kaynamasından oluşan sertleştirilmiş parçaların

işlenmesinde ortaya çıkar. Sert parçacıklar zımpara tozu gibi yüzeyler arasında kazıyıcı görevi yaparak taşlama işlemine benzer şekilde takımı aşındırırlar (Şekil 6.6).

Bu aşınma tipi kesici ucun serbest yüzeyinin aşınmasına yol açar. Kesici kenarın abraziv aşınmaya dayanma kabiliyeti önemli ölçüde ucun sertliğine bağlıdır. Sert parçacıkların sıkıştırılması ile elde edilen takım malzemesi önemli ölçüde abraziv aşınmaya dayanacaktır ancak bu malzemenin diğer tip yüklere de dayanabilmesi için gereken önlem alınmalıdır (Şahin 2001).



Şekil 6.6. Abrasyon aşınması (Demirayak 2006)

6.4.3. Sürtünerek oluşan yapışma aşınması

Temelde takım yüzeyinde oluşan mikroskobik ölçüdeki parçacıklar veya büyük parçaların takım yüzeyinden aralıklarla koparılması olarak adlandırılır. Takım-talaş temas alanında sürtünme mekanizmasının sonucu oluşan kaynamaların kırılmasıyla meydana gelir. Sıcaklığın düşük olduğu düşük kesme hızlarında görülür. Yapışma aşınması;

- Takım yüzeyinde talaşın düzgün akmadığı veya takım-talaş arasında aralıklı temasın olduğu yerde
- Takım-talaş yüzeyinin kaba ve düzgün olmadığı şartlarda oluşur.

Titreşimli ve düşük rijitliğe sahip takım tezgahları, düşük kesme hızı ve ilerleme miktarları gibi faktörler yapışma aşınması miktarını arttırmırlar. Bu aşınma mekanizması;

- Yeterli boşluk açısı
- Küçük tane boyutlu takım malzemelerinin kullanılması
- Kesme hızının arttırılmasıyla önlenebilmektedir (Şahin 2001).

6.4.4. Difüzyon Aşınması

Bir metal kristal kafesinde atomlar yüksek konsantrasyon bölgesinden düşük bölgeye hareket ettiğinde katı difüzyon meydana gelir. Bu işlem sıcaklığa bağlı olup, difüzyon

miktarı sıcaklıkla üstel olarak artar. Talaş kaldırmada, takım malzemesi ve iş parçası arasında sürtünmeden dolayı yüksek sıcaklıklar olduğundan atomlar takım malzemesinden iş parçasına hareket ettiğinde difüzyon ortaya çıkar. Bu aşınma tipi kesme işlemi esnasında daha çok kimyasal yükten etkilenir. Takım malzemesinin kimyasal özellikleri ile takım-iş parçası malzemesi arasındaki afinite difüzyon aşınması mekanizmasının ortaya çıkmasına neden olur. Takım malzemesi sertliğinin bu tip aşınma üzerine etkisi yoktur. Malzemeler arasındaki metalürjik ilişkiler aşınma miktarını belirler. Bazı takım malzemeleri birçok iş parçası malzemesiyle etkileşime girmez, bazılarının ise bazı iş parçaları ile afinitesi yüksektir.

Örneğin tungsten karbür ile çelik arasında bir etkileşim söz konusudur. Bu ise difüzyon aşınması mekanizmasının ortaya çıkmasına neden olur ve aşınma sonucu kesici ucun talaş yüzeyi üzerinde bir krater oluşur. Bu aşınma mekanizması önemli ölçüde sıcaklığa bağlıdır. Aşınma yüksek kesme hızlarında en büyük değerine ulaşır. Difüzyon aşınmasının yüksek kesme hızlarında artması söz konusudur. Bu tip aşınma tüm takım malzemeleri için söz konusu değildir ve bu tip aşınmayı önlemek için çeşitli önlemler alınabilir. Örneğin çeliklerin işlenmesinde sinterlenmiş karbür kalitesini iyileştirmek amacıyla ilave bir gama fazı koruyucu kalkan görevi görecektir. Mesela Al_2O_3 hiçbir şekilde iş parçası ile reaksiyona girmeyen malzemedir. Bu nedenle de yüksek difüzyon aşınması direncine sahiptir (Çakır 2000, Şahin 2001).

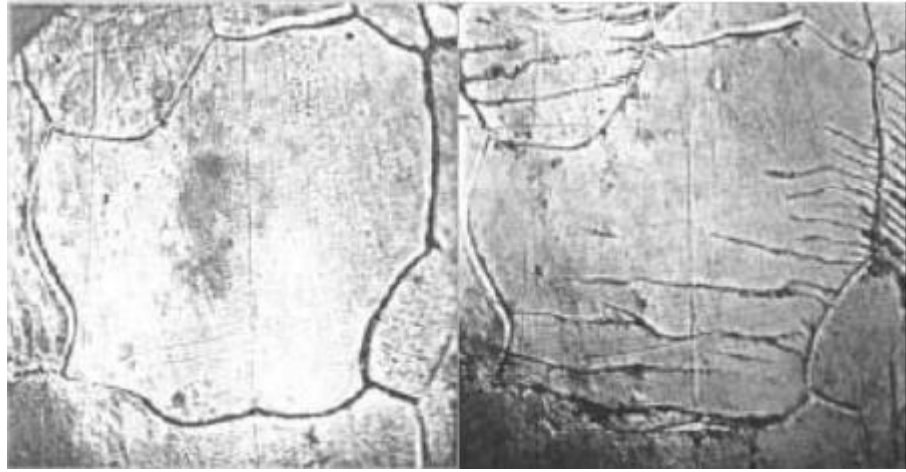
6.4.5. Plastik deformasyon

Süper alaşımlar ve işlenebilirliği düşük diğer malzemeler işlendiği zaman takım; basma gerilmesi altında plastik deformasyona uğrar veya kırılır. Bu alaşımlar işlenirken, kesici ucun hızla körlenmesi, takım temas yüzeyinin yumuşaması ve plastik deformasyonu yüzünden kesici geometrisinin bozulmasına neden olur. Bu işlem; takım malzemesinden herhangi bir parçacık kaldırmadığı için daha çok bir deformasyon işlemidir. Takım ucundaki deformasyon kesme kuvvetini ve lokal sıcaklığı artırır. Ancak bu deformasyon işlemi, her zaman takım kenarı boyunca aynı şekilde olmaz ve sık sık keskin burunlu veya küçük burun radyüslü takım ucundan başlar, arttırılmış gerilim ve lokal sıcaklığın zincirleme reaksiyonu ile yüksek hız takım çeliklerinin çok ani bozulmasıyla neticelenir. Özellikle nikel alaşımları işlenirken oluşan yüksek sıcaklıklarla takımların deformasyonuna daha sık rastlanmaktadır.

Takımdaki deformasyonu kontrol eden diğer önemli faktör ise iş parçası malzemesinin sertliğidir. Takım ucunda oluşan deformasyon; kesme hızı ve ilerlemeyle kontrol altında tutulabilir (Şahin 2001).

6.4.6. Yorulma Aşınması

Termo-mekanik bir kombinasyonun sonucudur. Sıcaklıktaki dalgalanmalar ve takıma etkiyen kesme kuvvetlerinin sıfır ile maksimum değerler arasında değişmesi kesici kenarın çatlamasına ve kırılmasına yol açar (Şekil 6.7). Aralıklı kesme işlemi ucun sürekli olarak ısınıp soğumasına ve talaş ile temasta olan kesici kenarda şok etkisine neden olur. Bazı takım malzemelerinin diğer takım malzemelerine göre yorulma aşınmasına daha duyarlı olduğu bilinmektedir. Mekanik yorulma kesme kuvvetlerinin kesici kenarın mukavemetinden çok daha büyük olduğu durumlarda görülür. Bu durum sert ve dayanıklı iş parçası malzemelerinin çok yüksek ilerleme hızlarında işlendiği veya takım malzemesinin yeterince sert olmadığı durumlarda söz konusudur. Bu gibi durumlarda plastik deformasyon oluşur.



Şekil 6.7. Yorulma aşınması (Demirayak 2006)

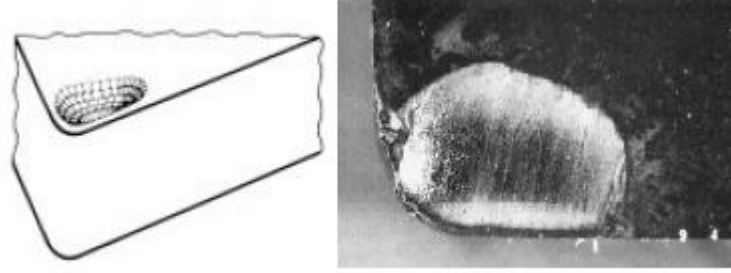
6.5. Kesici Takımlarda Aşınma Tipleri

Takım aşınma tiplerinin sınıflandırılması gerçekleştirilecek talaş kaldırma işleminin belirlenmesi ve optimize edilmesi açısından bir temel teşkil eder. Belli başlı aşınma tipleri; krater aşınması, serbest yüzey aşınması, plastik deformasyon, çentik oluşumu,

termal yorulma, yağma kenar, kesici kenardan parçacık kopmaları ve kesici ucun kırılması sayılabilir.

6.5.1. Krater aşınması

Takım sıcaklığının yüksek olduğu talaş yüzeyinde krater aşınması oluşmaktadır. Bu aşınma; takım ucu talaş yüzeyi ile takım üzerinden akan sıcak metal talaşın arasında kimyasal bir etkileşim sonucu meydana gelir ve bu etkileşim takım malzemesinin talaş içine difüzyonunu gerektirebilir. Krater, talaş kaldırma esnasında sert parçacıkların takımın talaş yüzeyinde taşlama işlemine benzer bir işlem gerçekleştirmeleri sonucunda veya takım ile talaş malzemesi arasında, talaş yüzeyinin en sıcak kısmında oluşan difüzyon nedeniyle ortaya çıkar (Şekil 6.8). Krater aşınmasının belli bir değerin üzerine çıkması halinde kesici kenarın geometrisi değişir ve uç zayıflar. Kraterleşme direncini iyileştirmek için kaplamalı takım kullanılabilir (Şahin 2001, Demirayak 2006).



Şekil 6.8. Krater aşınması (Demirayak 2006)

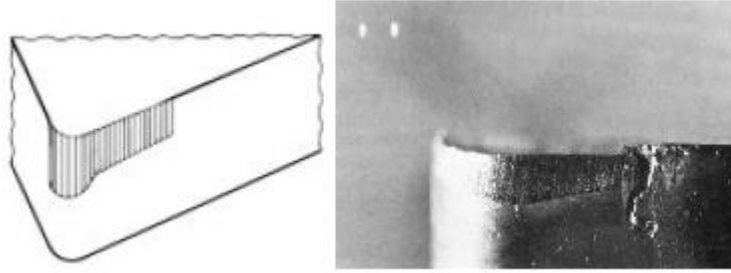
6.5.2. Serbest yüzey aşınması

Kesici kenarın serbest yüzeyinde meydana gelir (Şekil 6.9). Talaşın oluşumu sırasında ve sonrasında ana kesici kenar, yardımcı kesici kenar ve köşe radyüsü veya paralel kenar iş parçası ile temastadır. En yaygın aşınma tiplerinden biridir. Serbest yüzey aşınmasının belirli bir değerin üzerine çıkmasıyla yüzey kalitesi kötüleşir, hassasiyet azalır, sürtünme artar.

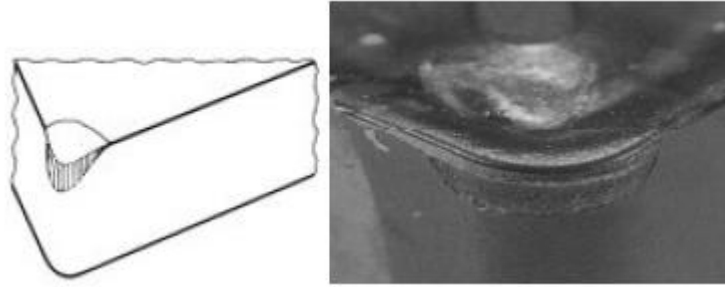
6.5.3. Plastik Deformasyon

Kesme hızı veya ilerleme miktarı arttırıldığında, talaş yüzeyinde basma gerilmesi altında takımın deformasyonu nedeniyle talaş kaldırma miktarı sınırlanır. Yüksek sıcaklıklarda bile karbürlü takımlar sadece sınırlı bir deformasyona dayanabilir. Kesici

kenar üzerinde yüksek sıcaklıklar ve basıncın bir kombinasyonu sonucunda oluşur. Bu deformasyon direncini arttırmak için düşük kobalt içerikli karbür dereceli takımlarla göreceli yüksek kesme hızı ve ilerleme miktarında çalışılmalıdır. Kesici kenarın Şekil 6.10’ da görüldüğü şekilde deformasyona uğraması daha yüksek sıcaklıkların oluşumuna, geometri deformasyonuna ve talaş akışının değişimine neden olacaktır (Şahin 2001, Demirayak 2006).



Şekil 6.9. Serbest yüzey aşınması (Demirayak 2006)

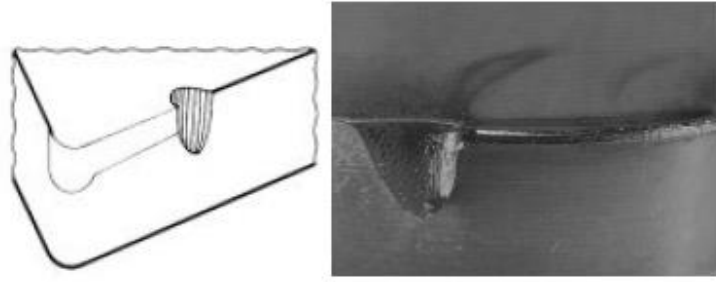


Şekil 6.10. Plastik deformasyon (Demirayak 2006)

6.5.4. Çentik aşınması

Bu tip aşınma talaş derinliği seviyesinde hem yan kenar yüzeyi hem de talaş yüzeyinde meydana gelir. Özellikle paslanmaz çelikler veya yüksek sıcaklık alaşımları gibi işlerken genleşen malzemelerde karşılaşılr. Tipik bir adhezyon aşınmasıdır. Kesici kenar ile malzemenin ayrıldığı noktada oluşur. Bu tür aşınma mekanizması şu şekilde en aza indirilebilir;

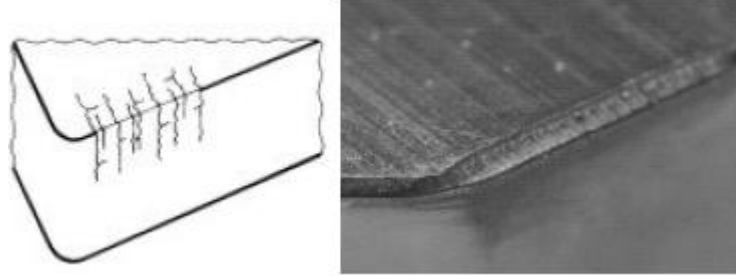
- Yuvarlak profiller için uç açısı veya diğer kesiciler için kenar kesme açısının arttırılması
- Kesici kenarların pahlanması
- Talaş derinliğinin azaltılması (Şahin 2001).



Şekil 6.11. Çentik aşınması (Demirayak 2006)

6.5.5. Termal yorulma

Termal yorulma; iş parçası işlenirken oluşan ısıyla ve kesme işlemi bittiğinde takım soğuduğunda takım yüzeyinde oluşan büzülme ve genleşmelerin bir kombinasyonu sonucunda gerçekleşir. Termal çatlaklar ilk önce talaş yüzeyinde başlar sonra takımın yan kenar yüzeyinden aşağı doğru yayılır. Kesici kenara dik çatlaklar oluşur. Özellikle frezelemede söz konusu olan sıcaklık değişimleri bu tip aşınmaya neden olur (Şahin 2001).



Şekil 6.12. Termal çatlaklar (Çakır 2006)

Termal şoka karşı muhtemel direnci belirleyen ampirik parametreler sunulmuştur.

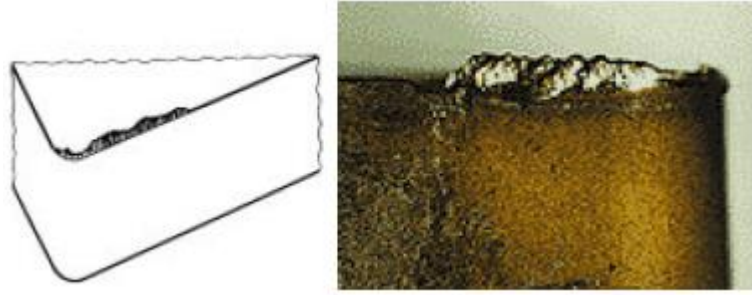
$$T_i = \frac{\sigma \times k}{E \times \alpha} \quad (6.3)$$

Bu formülde; σ : enine kırılma dayanımı, k : termal iletkenlik, E : elastik modülü ve α : termal uzama katsayısını göstermektedir. Kesici takımların; genellikle bu hesaplanan T_i değerinin daha yüksek olması daha iyi termal şok direncine sahip olduğunu gösterir (Şahin 2001).

6.5.6. Yığma kenar

Önemli ölçüde sıcaklığa dolayısıyla kesme hızına bağlı bir aşınma türüdür. Takım yüzeyine kaynak olan malzemeden dolayı ortaya çıkan, takım yüzeyinden parçacık kopmasına neden olan yığma kenar istenmeyen bir durumdur (Şekil 6.13). Yığma kenar oluşumuna iş parçası ve takım arasındaki afinite de etkide bulunur. Düşük sıcaklıklar ve yüksek basınçlar iş parçası malzemesinin takım yüzeyine kaynak olmasına neden olur.

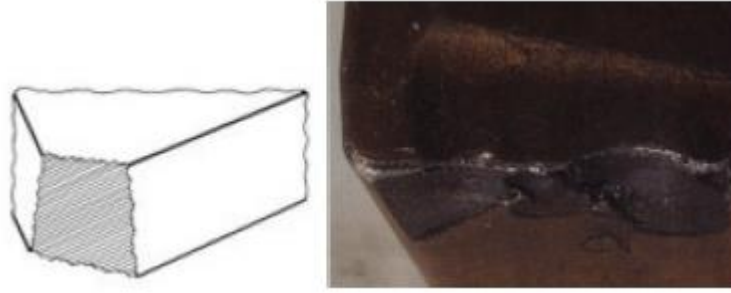
Birçok modern talaş kaldırma işleminde kesme hızları yığma kenar oluşum alanının çok üzerindedir ve birçok kalite yığma kenar oluşumuna engel olacak şekilde seçilir. Yığma kenar oluşumuna izin verildiği takdirde yüzey kalitesi bozulur ve bu oluşumun devam etmesi halinde kenarın kırılması ve hatta ömrünü tamamlaması söz konusu olabilir (Çakır 2006).



Şekil 6.13. Yığma kenar oluşumu (Çakır 2006)

6.5.7. Kesici kenarın kırılması

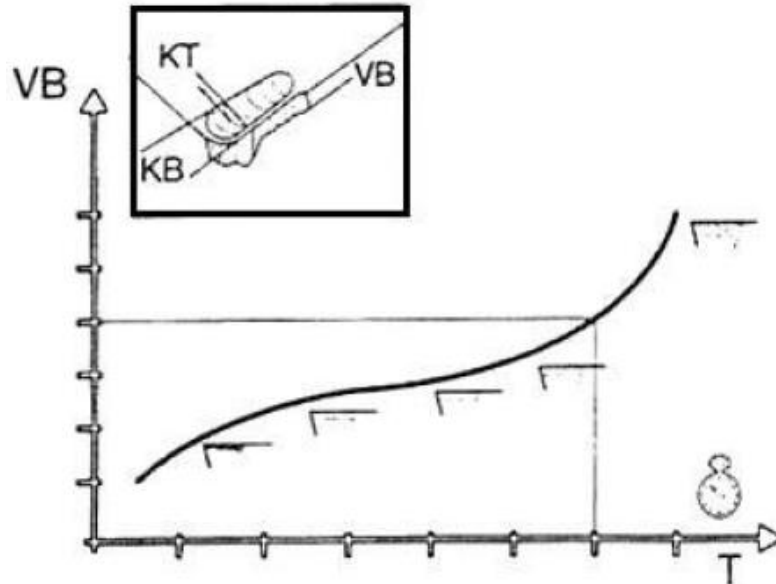
Kesici kenarın ömrünü tamamlamasına neden olan bir aşınma tipidir. Kenardaki büyük miktarlardaki kırılma mümkün olduğunca kaçınılması gereken en tehlikeli aşınma türüdür. Kenarın kırılması bir çok diğer aşınma tipi içinde yolun sonu demektir. Geometrinin değişimi, kenarın zayıflaması, sıcaklıktaki ve kuvvetlerdeki artışlar kesici kenarın bu tip bir aşınmaya maruz kalmasına neden olur. Yüksek kesme hızlarında ve diğer talaş kaldırma koşullarında kesici kenar üzerinde oluşan çeşitli gerilmeler kesici ucun mukavemet sınırını aştığı anda kırılmanın oluşumu kaçınılmazdır (Şekil 6.14).



Şekil 6.14. Kesici ucun kırılması (Çakır 2006)

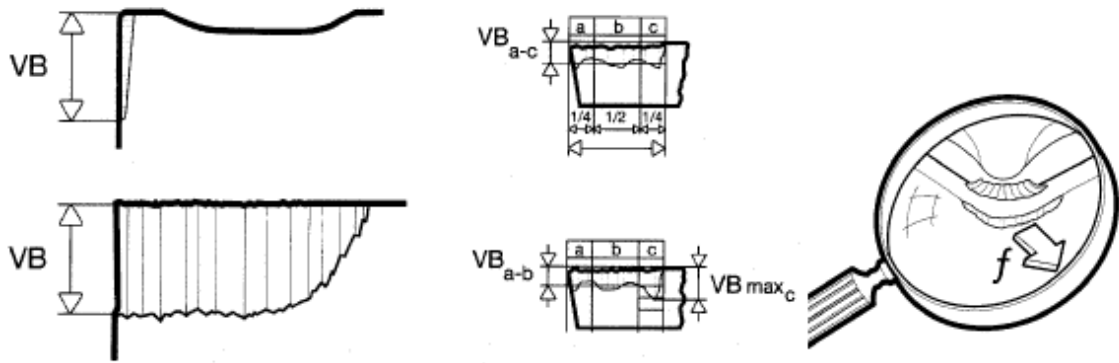
6.6. Serbest Yüzey ve Krater Aşınması

Talaş kaldırma işleminin başladığı andan itibaren kesme hızının maksimum olduğu noktada aşınma başlamaktadır. Gerçekleştirilen deneylerde tüm takımlarda aşınma; serbest yüzeyde meydana gelmiştir. Aşınmalarda ilk andaki görülen hızlı artıştan sonra aşınma hızı yavaşlamakta ve doğrusal olarak artışına devam etmektedir. Takımın ömrünü tamamlamasına yakın aşınma tekrar hız kazanmakta ve kesme işlemine devam edildiği takdirde takım ömrü sona ermektedir. Aşınmanın doğrusal eğimi ne kadar az olursa, takım ömrü o kadar büyük olmaktadır. Bu nedenle kesici takımların sertliği arttıkça aşınma doğrusunun eğimi azalmaktadır. Şekil 6.15’ de serbest yüzey aşınmasının takım ömrü süresince gelişimi gösterilmiştir (Çakır 2006).



Şekil 6.15. VB' nin takım ömrü süresince gelişimi

Serbest yüzey aşınması kesici kenarın serbest yüzeyinde meydana gelir ve abraziv aşınma mekanizmasından kaynaklanır. Talaşın oluşumu sırasında ana kesici kenar, yardımcı kesici kenar ve köşe radyüsü iş parçası ile temastadır. Bu temas nedeniyle oluşan serbest yüzey aşınması en yaygın ve beklenen aşınma tiplerinden biridir. Serbest yüzey aşınmasının belirli bir değerin üzerine çıkmasıyla yüzey kalitesi kötüleşir, hassasiyet azalır, sürtünme artar. Şekil 6.16’ da serbest yüzey aşınması görülmektedir (Çakır 2006).



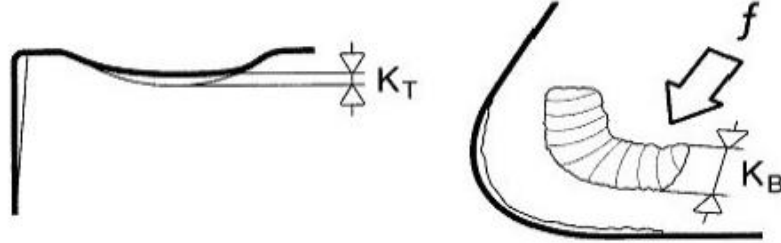
Şekil 6.16. Serbest yüzey aşınması

Aşınma şeridi veya aşınma bölgesi olarak bilinen ($V_{B_{maxC}}$) bölgeler üniform bir görüntüye sahip değildir. Araştırmacılar genellikle dayanma takım ömrünün tayini için serbest yüzey aşınmasında belirli bir genişliği kabul ederler. Ancak üniform bir yapıya sahip olmayan bu bölgede genişliklerden hangisinin kabul edilmesi gerektiği konusunda görüş farklılıklarına sahiptirler.

Takım ömrünün sonunun tespiti için serbest yüzey üzerindeki aşınma şerit genişliği değeri araştırmacıya bağlı olarak, V_B : 0,3 mm, $V_{B_{maxC}}$: 0,6 mm olarak kabul edilir. (ISO 3685)

Krater, talaş kaldırma esnasında sert parçacıkların takımın talaş yüzeyinde taşlama işlemine benzer bir işlem gerçekleştirmeleri sonucunda veya takım ile talaş malzemesi arasında, talaş yüzeyinin en sıcak kısmında oluşan difüzyon nedeniyle ortaya çıkar. Şekil 6.17’ de krater aşınması görülmektedir. Krater aşınmasının belirli bir değerin üzerine çıkması halinde kesici kenarın geometrisi değişir ve uç zayıflar.

Bazı durumlarda takımda herhangi bir aşınma olmayıp kesici uç aniden kırılabilir. Bu gibi durumların önüne geçilmesi şarttır. Kesici kenarın ömrü birçok yüke bağlı olarak belirlenir. Aşınma; takım, iş parçası malzemesi ve işleme koşullarının etkileşiminden kaynaklanan bir olaydır.



Şekil 6.17. Krater aşınması (Çakır 2006)

Kesici takımlar, farklı şekillerde ve bölgelerde aşınarak veya kesici ucun kırılıp bozulması nedeniyle atıl duruma gelerek kullanım ömürlerini doldururlar. Bu aşınma çeşitlerinden serbest yüzey ve krater aşınması takım ömrüne etki eden en önemli parametreler olup kesici takım aşınmasının en fazla incelenen alanını oluştururlar. Aşınma kriteri olarak genellikle serbest yüzey aşınma yüksekliği (V_B) veya krater aşınma (K_T) yüksekliği esas alınır.

Aşınmanın ölçülmesi ile ilgili TS 10329' a göre serbest yüzeydeki aşınma, aşınan bölgenin yüksekliği V_B ve eni S_V ; talaş yüzeyindeki krater ise genişliği K_B ; derinliği K_T ; merkezden uca kadar olan uzaklık K_M ve krater kenarından uca kadar olan uzaklık K_L değeri ile ölçülür. Uygulamalarda bu değerlerden serbest yüzey aşınması için V_B , krater aşınması için K_T ve bazı durumlarda K_B değeri kullanılmaktadır. Serbest ve talaş yüzeylerindeki aşınma yaklaşık olarak aynı zamanda başlar. Ancak başlangıçta daha hızlı olan serbest yüzey aşınmasında (V_B) belirli bir zamandan sonra yavaşlama görülürken, krater sabit bir hızda devam eder. Ancak belli bir zaman sonra serbest yüzey aşınması yeniden hızlanır (Şekil 6.15).

Kırılan veya aşınan bir takımın değiştirilme süresi toplam üretim zamanının % 6,8' ini oluşturmaktadır. Takım aşınmasının on-line olarak izlenmemesi durumunda üretilen iş parçalarındaki yüzey kalitesi ve ölçü toleransında karşılaşılan olumsuzluklar nedeniyle üretim miktarında ve zamanında kayıplar artmaktadır. Üretim kalitesi üzerinde en etkili parametre takım ömrüdür (Sağlam ve Ünüvar 1999).

Talaş kaldırma işleminde kesici takım, ısı ve mekanik yüklenmeler altında aşınır ve kesme özelliğini kaybeder bunun belirtileri;

- Kesici ucun aşırı yük ile kopması
- Kesici ucun yüksek sıcaklıklarda şeklini kaybetmesi veya erimesidir.

Kesici ucun görev yapamamasının nedenleri ise;

- Kullanılan kesiciye göre çok yüksek kesme hızları
- Uygun olmayan kesici uç geometrisi
- Tezgahın yeteri kadar rijit olmamasıdır.

6.7. Takım Aşınmasının Belirlenmesi

Takım aşınması, aşınma gelişimini sürdürürken, aşınma bölgesinin bir büyüteç (mikroskop) altında incelenmesiyle belirlenir ve bu inceleme aşınma kriterinin belirli bir değeri aşmasına dek sürdürülür. Serbest yüzey aşınması kesici kenar üzerinden ölçülür (Şekil 6.16). Aşınma üç bölge üzerine üniform olarak yayılmışsa, serbest yüzey aşınması olarak ortalama bir değer alınır. (V_{Bac}) Ancak herhangi bir bölgede aşırı bir aşınma söz konusu ise aşınma değeri olarak V_{BmaxC} kullanılır (Çakır 2006).

7. MATERYAL VE YÖNTEM

7.1. Tezgah Özellikleri

Talaş kaldırma çalışmaları LER VH-100 marka CNC dik işleme merkezinde gerçekleştirilmiştir. Tezgaha ait veriler Çizelge 7.1’ de özetlenmiştir.

Çizelge 7.1. LER VH-100 teknik özellikler

X eksen hareketi(mm)	1020
Y eksen hareketi(mm)	700
Z eksen hareketi(mm)	500
İş mili ucundan tablaya olan mesafe(mm)	180-680
Tabla ölçüleri(mm)	1050x700
Yükleme kapasitesi(kg)	800
Spindle devri(dev/dak)	16000
Motor gücü(Kw)	18,5
Konik tipi(ISO)	BT 40
Hızlı ilerleme(X/Y/Z) (m/dak)	32/32/32
Kesme ilerlemesi(X/Y/Z) (m/dak)	20/20/20
Eksen motor güçleri(X/Y/Z) (Kw)	4,5/4,5/4,5
Vidalı mil çapı(X/Y/Z) (mm)	45/40/40
Pozisyonlama(mm)	0,004
Tekrarlama(mm)	0,002
Ağırlık (kg)	9100

Şekil 7.1’ de tezgahın resmi gösterilmiştir.



Şekil 7.1. Deneylerin yapıldığı LER VH-100 dik işleme merkezi

7.2. İş Parçası Özellikleri ve Şekli

Deneylede kalıpcılık sektöründe oldukça yoğun bir kullanıma sahip DIN1.2344 ESR sıcak iş takım çeliği kullanılmıştır. ASSAB çelik firmasındaki karşılığı ORVAR SUPREME dir. 110x110x25 mm ölçüsünde kesilen 15 adet ORVAR SUPREME deney numunesi üniversal freze tezgahında 100x100x20,5 mm ölçülerine frezelenmiş, ardından bütün deney numuneleri aynı anda ısıtılarak 55 HRc sertliğe sertleştirilmiştir. Isıl işlem sonrasında 20,5 mm olan yükseklik ölçüsü taşlama tezgahında her iki yüzeyinden taşlanarak 20 mm ölçüye 0,01 mm toleransla getirilmiştir. Şekil 7.2’ de kullanılan sıcak iş takım çeliğine ait kimyasal kompozisyon gösterilmiştir.

ISO/DIN	AISI	Teslim Sertliği	C	Si	Mn	Cr	Mo	V
» 1.2344 ESR	» H13 Premium	185 HB	0,39	1,0	0,40	5,30	1,40	0,90

Şekil 7.2. İş parçasının kimyasal kompozisyonu (Anonim 2013)

İş parçasına ait mekanik özellikler Şekil 7.3’ de, fiziksel özellikler Şekil 7.4’ de özetlenmiştir.

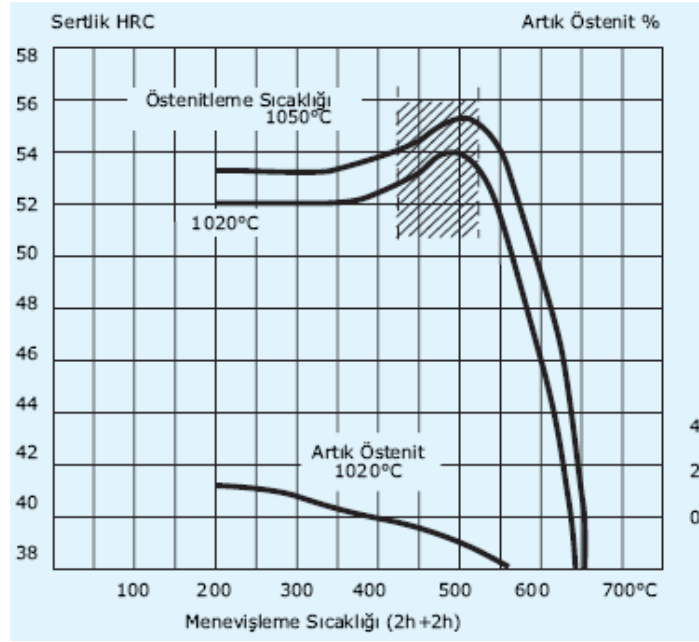
Sertlik (HRc)	Akma Dayanımı (MPa, N/mm ²)	Çekme Dayanımı (MPa, N/mm ²)
52	1520	1820
45	1280	1420

Şekil 7.3. İş parçasına ait mekanik özellikler (Anonim 2013)

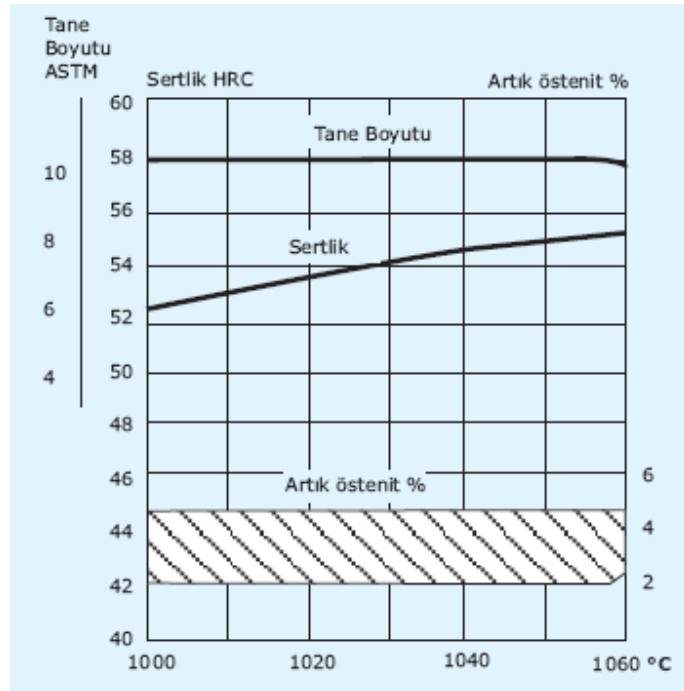
Sıcaklık °C	20	400	800
Yoğunluk (g/cm ³)	7,8	7,7	7,5
Isıl Genleşme Katsayısı	-	12,6*10 ⁻⁶	13,9*10 ⁻⁶
Isıl İletkenlik (W/m°C)	24,6	26,2	27,6
Elestiklik Modülü (MPa)	210000	180000	140000
Özgül Isı (J/kg°C)	25	29	30

Şekil 7.4. İş parçasına ait fiziksel özellikler (Anonim 2013)

Deney numunesi ait ısıl işlem meneviş diyagramı ve sertleştirme eğrisi Şekil 7.5. ve Şekil 7.6' da verilmiştir.



Şekil 7.5. Meneviş diyagramı (Anonim 2013)



Şekil 7.6. Sertleştirme eğrisi (Anonim 2013)

7.3. Kesici Uç

Yapılan çalışmada Valenite Safety RT 130414 HF 2003 kodlu TiAlN kaplamalı uç kullanılmıştır (Şekil 7.7). Takım tutucu olarak; 90 derece yavaşma açısına sahip RT-13/020-02-QCC20-110-R kodlu 20 mm çapında 2 ağızlı takım tutucu kullanılmıştır (Şekil 7.8).

■ Inserts:

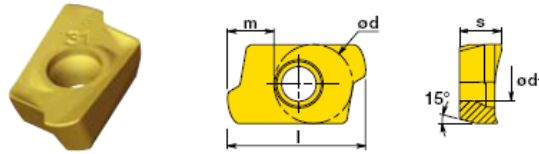


Fig.	Reference	ap	l	d	s	d1	m	Grades		
								2003	5020	5040
10	RT 10 03 10 HF	0.4 (max 0.6)	9	6.35	3.4	2.8	3.94	✓	✓	✓
13	RT 13 04 14 HF-31	0.6 (max 0.8)	14	7.94	4.5	3.4	4.68	✓	✓	✓

Şekil 7.7. Deneylerde kullanılan RT 130414 HF 2003 kodlu ucun özellikleri (Anonim 2008)

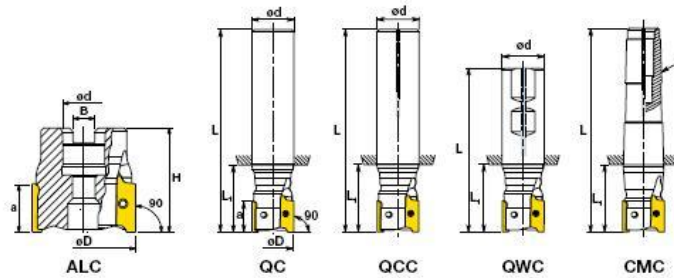


Fig.	Reference	Fig.	Ø D	Z	a	d	L	L1	B	H	Kg	n max.
13	RT-13/020-02-QCC20-110-R	QCC	20	2	12	20	110	30/70	-	-	0.22	20 000

Şekil 7.8. Deneylerde kullanılan RT-13/020-02-QCC20-110-R kodlu tutucunun özellikleri (Anonim 2008)

Kullanılan tutucuya 2 adet kesici uç yerleştirilmiş ve her deney sonrasında 2 adet uç yenisiyle değiştirilerek toplam 15 deneyde 30 adet kesici uç kullanılmıştır. Üretici firmanın kesici uçla ilgili tavsiye etmiş olduğu kesme verileri Şekil 7.9' da sunulmuştur.

Material	Hardness (or tensile strength)	Cutting speed v_c (m/min)			Tooth feed f_z (mm) for $a_p = 0.5$ mm	
		Grades				
		2003	5020	5040		
P	Unalloyed steel	< 150HB	160 - 270	130 - 220	100 - 160	0.8 - 1.5
	Low alloy steel	150 - 280 HB	130 - 210	110 - 170	90 - 130	0.8 - 1.5
	High-alloy steel	180 - 280 HB	110 - 160	90 - 130	80 - 120	0.8 - 1.5
K	Grey cast iron	< 350 N/mm ²	250 - 370	200 - 300	-	0.8 - 1.2
	Nodular cast iron	< 800 N/mm ²	200 - 310	160 - 250	-	0.8 - 1.2
H	Pre-treated steel	30 - 45 HRc	100 - 200	80 - 160	80 - 120	0.4 - 0.8
	Hardened steel	45 - 55 HRc	60 - 110	50 - 90	50 - 80	0.4 - 0.8

Şekil 7.9. Valenite Safety RT 130414 HF 2003 uç için üretici firmanın tavsiye ettiği kesme verileri (Anonim 2008)

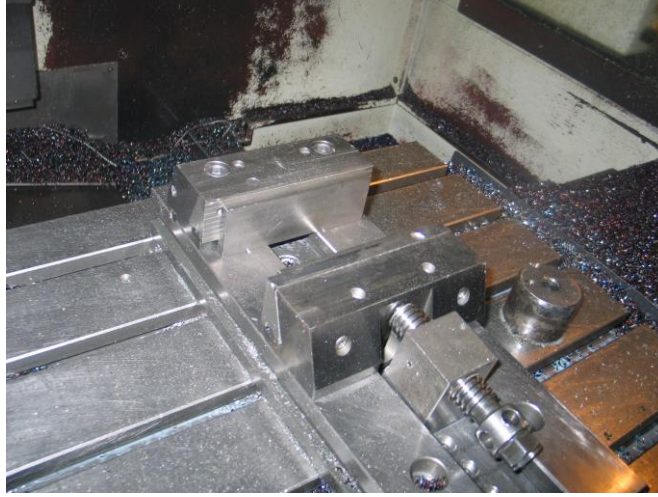
7.4. İşleme Parametreleri

Çalışmada talaş derinliği sabit olarak tutulmuş ve 0,3 mm olarak alınmıştır. Yanal kayma da sabit olup 12 mm dir. Kesme hızları 70 - 94,5 - 127,58 m/dak olarak 3 adet seçilmiştir. Diş başı ilerleme değeri ise; 0,5 - 0,63 - 0,78 - 0,98 - 1,22 mm/diş olarak 5 farklı şekilde tanımlanmıştır. Toplamda 15 adet deneyde 100x100x20 mm ölçüsüne sahip kütüğün ortasına 80x80x5 mm ebatlarında bir havuz açma işlemi gerçekleştirilmiştir. Çizelge 7.2' de deneyde kullanılan parametreler özetlenmiştir.

Çizelge 7.2. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri

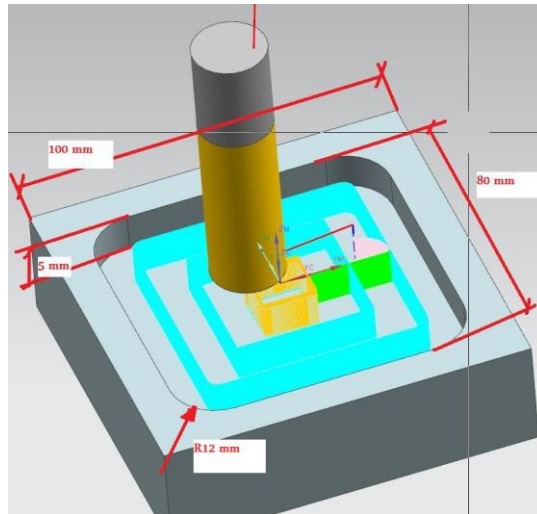
Kesme Parametreleri	
Kesme hızı (V) (m/dak)	70-94,5-127,58
İlerleme miktarı (mm/diş)	0,5-0,63-0,78-0,98-1,22
Talaş derinliği (mm)	0,3
Yanaşma açısı (°)	90

Talaşlı imalat deneylerinde takım BT40 bilyalı tutucuya bağlanmış ve takım boyu 40 mm alınarak takım hiç sökülmeden bütün deneyler sırasıyla yapılmıştır. Takım sökülmediği için takım boyu sabit olarak kalmış ve takım boyunun değişmesine bağlı olarak oluşabilecek vibrasyonun takım aşınmasında değişken değerler oluşturması engellenmiştir. Aynı şekilde iş parçası kalınlıkları da 20 mm +/- 0.01 mm toleransı içerisine getirilmiş ve iş parçası mengeneye sabit altlıklar üzerine konularak sabitlenmiştir (Şekil 7.10).

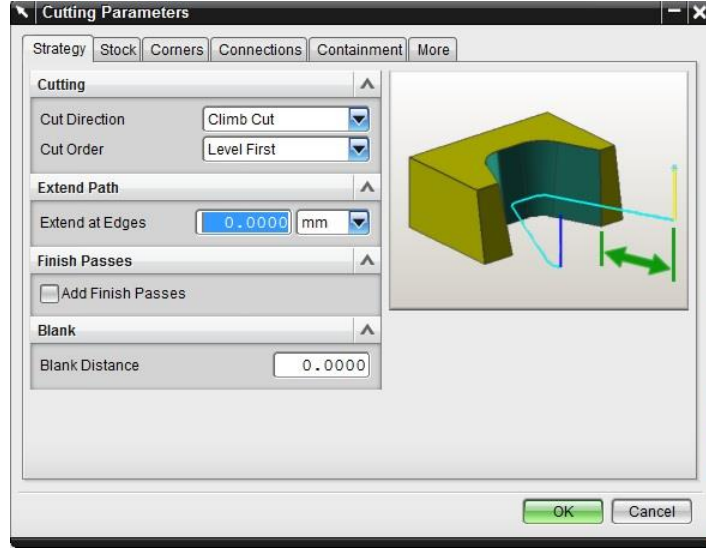


Şekil 7.10. Deneylerde kullanılan sabit altlık ve mengene

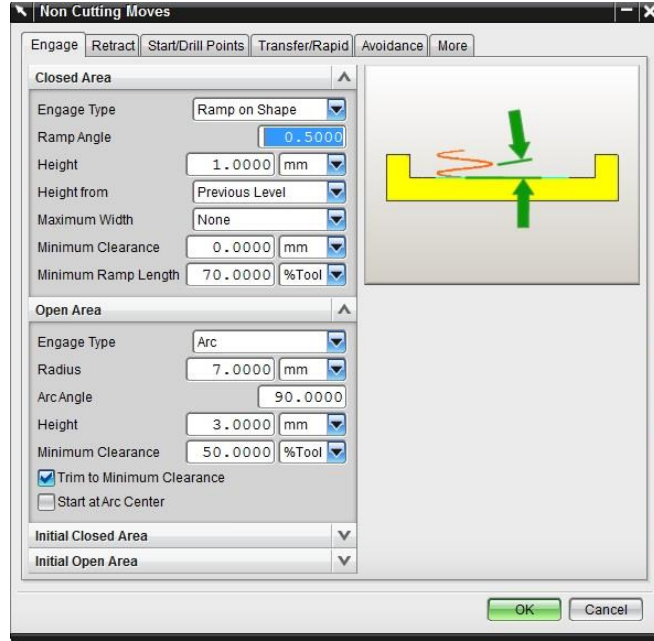
Bu şekilde bağlama yükseklikleri de sabit olarak tutulmuş ve değişkenlik önlenmiştir. Kullanılan takım 20 mm çapında olduğundan açılan cebin kenarlarında 10 mm lik radyüs bırakacağı göz önüne alınarak 80x80x5 mm ölçüsünde açılan cebin kenarlarına 12 mm lik radyüs atılmıştır. Bu şekilde takım yolunun 2 mm lik dönüşü ile köşelerde keskin takım yolunda oluşabilecek vibrasyon sorunu engellenmiştir (Şekil 7.11). İşleme stratejisi olarak down milling (aynı yönlü frezeleme) seçilmiştir (Şekil 7.12). Seçilme nedeni bu işleme yönteminin daha düşük kesme kuvvetleri oluşturduğunun bilinmesidir. Takımın tamamen dolu olan bir bölgeye girişi düşünüldüğünde doğrudan aksel yönde girişte takım ucu kırılma riski taşıdığından ilk talaşlara girişte ramping yapılmıştır (Şekil 7.13).



Şekil 7.11. Parça ölçüleri ve oluşturulan takım yolu



Şekil 7.12. Down milling(Climb milling) işleme stratejisi

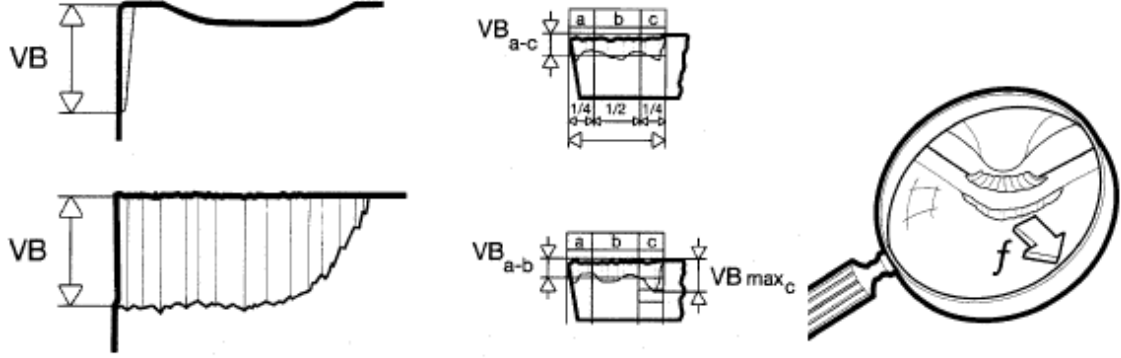


Şekil 7.13. Talaşa giriş-çıkış makroları

7.5. Takım Aşınmasının Ölçülmesi

Takım aşınması olarak serbest yüzey aşınma değerleri (V_B) mikroskop altında ölçülmüştür (Şekil 7.14). Takım tutucuya iki farklı uç bağlandığından 2 ucun da serbest yüzey aşınmaları ölçülmüş, bu aşınmalardan büyük olanı deney sonuçları ve tartışma kısmında kullanılan grafiklerde veri olarak değerlendirilmiştir. İki uça göreceli olarak çok büyük olmayan farklı aşınma değerlerinin bulunma sebebi olarak; talaşa ilk girişte

temas eden uçların farklı olabileceği ve işleme esnasında tam olarak simule edilemeyen vibrasyon, titreşim, malzemede homojen olmayan iç yapı vb. kriterler düşünülmektedir.



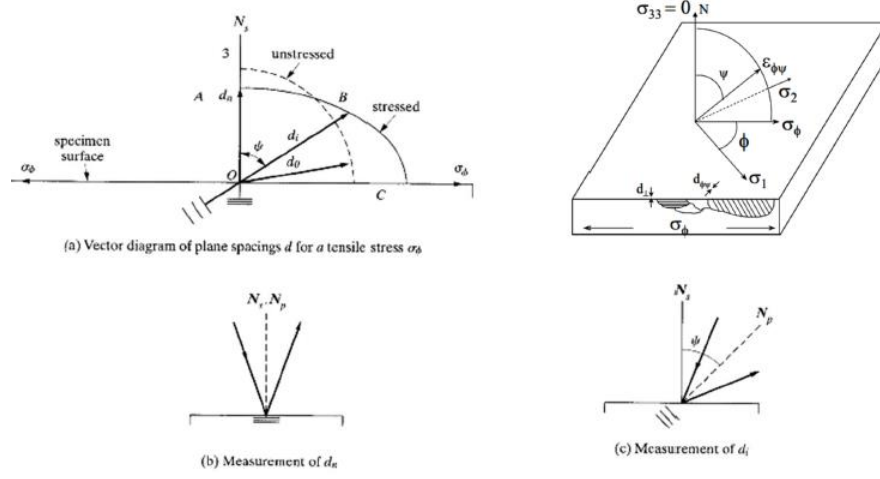
Şekil 7.14. Serbest yüzey aşınması (Çakır 2006)

7.6. Kalıcı Gerilmelerin Ölçülmesi

Talaşlı imalat sonucunda oluşan kalıcı gerilmeler; X-Ray ve delik delme yöntemi ile tespit edilmiştir. X-Ray yöntemi ile imalat sonucunda yüzeyde oluşan kalıcı gerilmeler saptanmış, delik delme metodu ile 10 farklı derinlik ile talaşlı imalat yüzeyinden 500 mikron derinliğe kadar kalıcı gerilmeler belirlenerek kalıcı gerilmelerin derinlik profili çıkartılmıştır.

X-Ray ölçümleri EN15305, ASTM E916-10, ASTM E1426-98 standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Ölçümler sırasında çelik malzemenin hacim merkezli kafes yapısında, gerilmesiz Bragg açısı Cr ışınları altında $156,4^{\circ}$ olan atomik düzlemleri arasındaki mesafe ölçülmüştür. Bu mesafeden yararlanarak elastik genişleme belirlenmiş ve numunelerin yönelimsiz lineer elastik davrandığı varsayılarak kalıcı gerilme değeri hesaplanmıştır. Ölçümler sonucunda full stress tensörü hesaplanmıştır. Ölçümler taşınabilir Şekil 7.16' da gösterilen Stresstech XSTRESS 3000 G2R-XRD Stress Analyzer cihazı ile 5 mm çapında kolimatör kullanılarak yapılmıştır. Büyük çaplı kolimatör kullanılarak, mm mertebesindeki yüzey düzgünlüğünün etkileri minimuma indirilmeye çalışılmıştır.

- $\text{Sin}^2 \Psi$ Yöntemi



Şekil 7.15. $\text{Sin}^2 \Psi$ Yöntemi

Belirli bir ölçüm yönünde (Φ açısı) gerilme bileşenini bulmak için; numune ya da X-ışını kaynağı numune normaline dik bir ekseninde (Ψ eksen) döndürülüp, seçilen kırınım pikinin yer değiştirmesi ölçülerek, önce elastik genlemeler sonrasında da gerilmeler hesaplanır. İzotropik bir malzeme için temel bağıntılar aşağıdaki gibidir;

$$\varepsilon_{\phi\psi} = \frac{1+\nu}{E} (\sigma_1 \cos^2 \phi + \sigma_2 \sin^2 \phi) \sin^2 \psi - \frac{\nu}{E} (\sigma_1 + \sigma_2) \quad (7.1.)$$

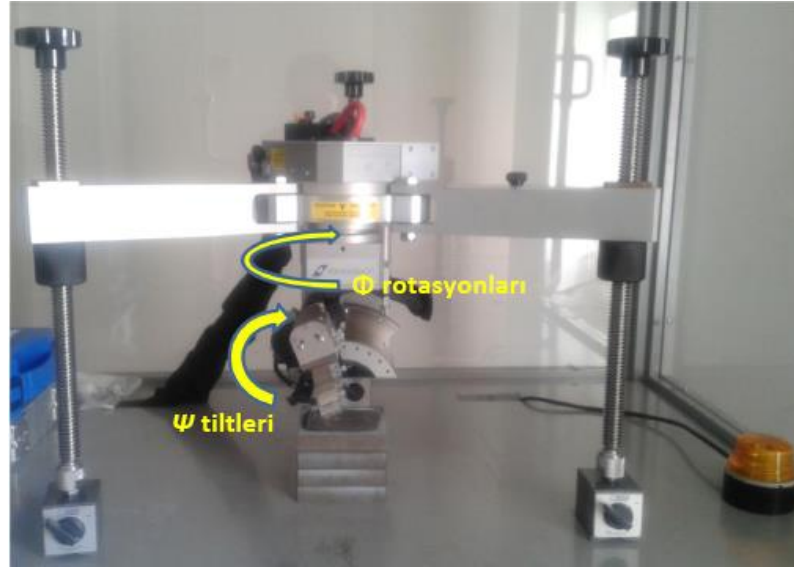
$$\sigma_\phi = \frac{E}{(1+\nu) \sin^2 \psi} \left(\frac{d_\psi - d_n}{d_n} \right) \quad (7.2.)$$

$\text{Sin}^2 \Psi = 0$ durumunda $d = d_n(d_0)$ iken gerilme sıfır kabul edilip, deneysel d verilerine karşı $\text{sin}^2 \Psi$ grafiği çizildiğinde bir doğru elde edilir. Bu doğrunun y eksenini kestiği nokta d_0 , yani stressiz durumdaki düzlemler arası uzaklıktır.



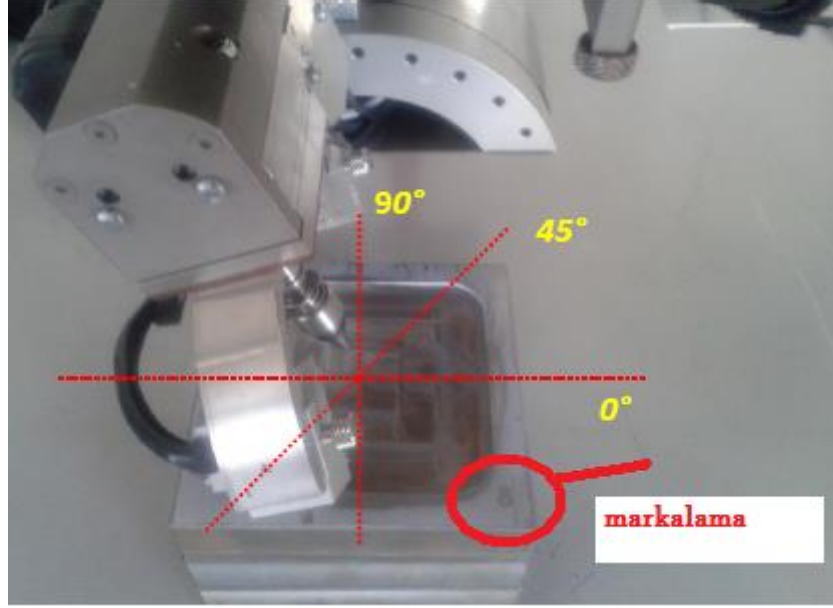
Şekil 7.16. Stresstech XSTRESS 3000 G2R-XRD Stress Analyzer cihazı

0° , 45° , 90° olmak üzere, 3 ayrı yönde (Φ), -45° ve 45° arasında 30 adet Ψ açısında ölçüm alınarak genleme bileşenleri tespit edilmiştir. Bu bileşenler yardımı ile Dölle-Hauk yöntemi kullanılarak tüm gerilme tensörü bileşenleri hesaplanmıştır (Şekil 7.17).



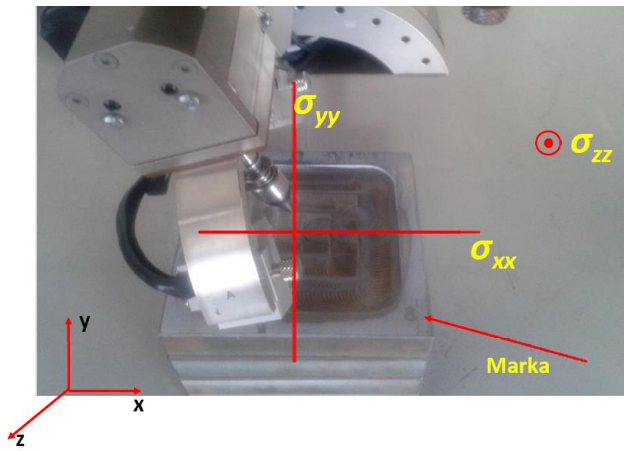
Şekil 7.17. (Φ) ve Ψ rotasyonları

Ölçümlerde, her bir numune Şekil 7.18. de gösterildiği gibi markalama sağ alt köşede olacak şekilde yerleştirilmiştir. Tüm ölçümler numunelerin orta noktalarından alınmıştır.

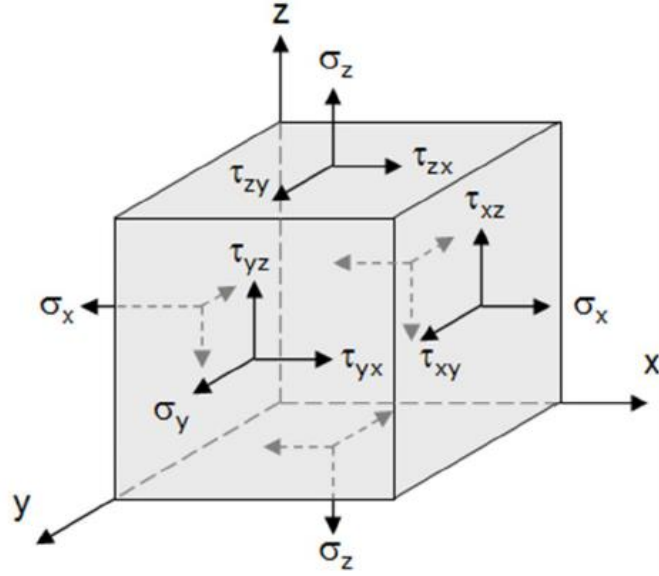


Şekil 7.18. X-ray yönteminde numunelerin yerleştirilmesi

Ölçümlerde yüzey düzgünlüğünün etkisini azaltmak için 5 mm çapında kolimatör kullanılıp, çok sayıda Ψ açısında ölçüm alınıp her bir Ψ açısında ± 5 derecelik osilasyon kullanılmıştır. Fakat yüzey gözle görülür derecede pürüzlü olduğu için, yüzeydeki kalıcı gerilme sonuçlarının olumsuz yönde etkilenmesine engel olunamamıştır. Öyle ki bazı numunelerde, cihazın iki dedektörü, gördükleri yüzeyler birbirinden farklı olduğu için, birbirinden farklı kalıcı gerilme sonuçları vermiştir. Bu yüzden sadece delik delme ölçüm sonuçları ile uyumlu olan sonuçlar, son bölümde verilen sonuç grafiklerinde kullanılmıştır. Son bölümde kalıcı gerilme grafiklerinde kullanılan G_{xx} , G_{yy} , τ_{xy} yönleri Şekil 7.19. ve Şekil 7.20' de verilmiştir.

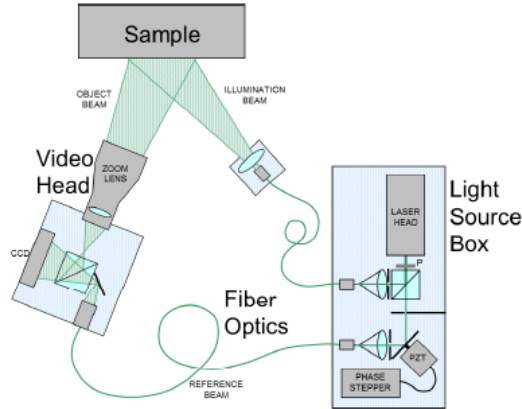


Şekil 7.19. G_{xx} , G_{yy} , τ_{xy} yönlerinin tespiti

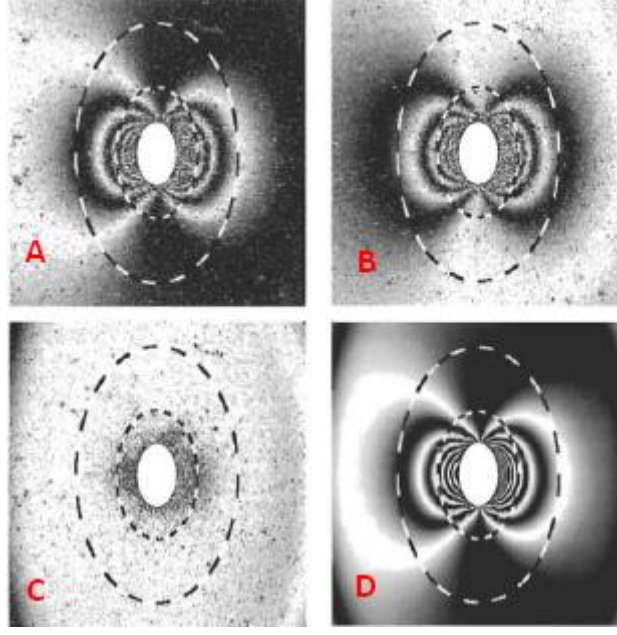


Şekil 7.20. Kartezyen düzlemde kalıcı gerilme bileşenlerinin gösterilmesi

Delik delme yöntemi ile kalıcı gerilmelerin bulunmasını sağlayan sistem genel olarak; bilgisayar, lazer ışık kaynağı, yüksek hızlı delik delici, aydınlatma ve video kayıt birimlerinden oluşur (Şekil 7.21). Ölçümler ASTM E837- 13a standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Derinlik profili için delik delme cihazı STRESSTECH PRISM/ESPI kullanılmıştır. Ölçümler sırasında yüzey 2 fazlı bir lazer ışını ile aydınlatılırken Şekil 7.22’ de görüldüğü şekilde delik delme öncesi ve her delik delme adımından sonra yüzeyin bir kamerayla görüntüsü alınmıştır. Ardından bu fotoğraflardan yüzey yer değiştirmeleri ESPI (Electronic Speckle Pattern Interferometry- Elektronik Girişim Deseni Analizi) yöntemiyle ölçülmüştür. Son olarak FEM simülasyonları yardımıyla gerçekleştirilen tersine elastisite hesaplamalarıyla bu yer değiştirmelere neden olan kalıcı gerilmeler hesaplanmıştır.

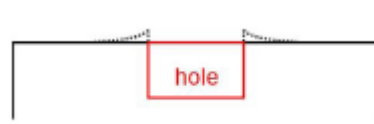


Şekil 7.21. Delik delme metodunun şematik gösterimi



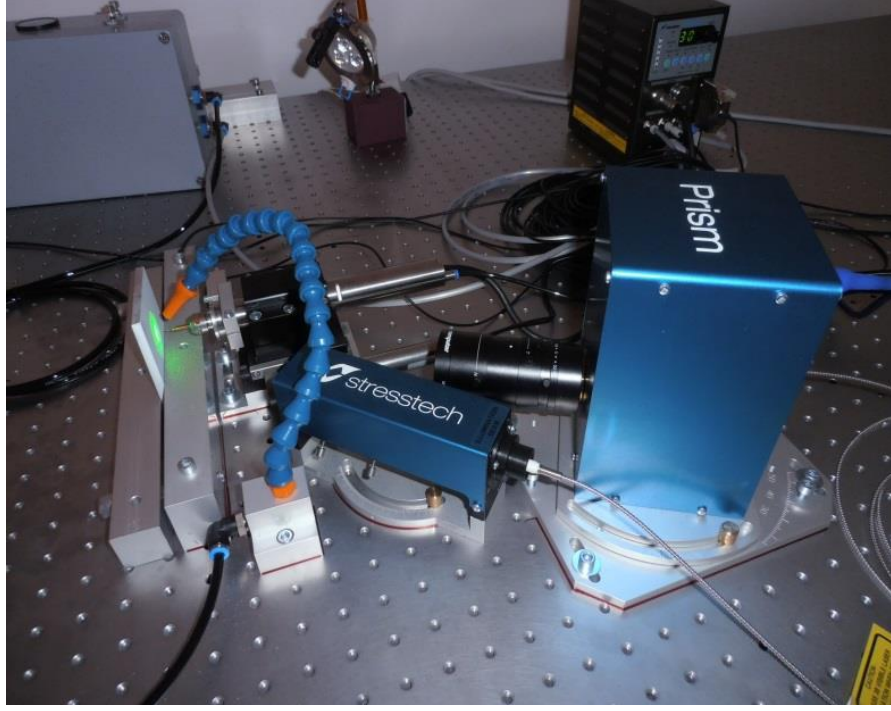
Şekil 7.22. (a) ölçülen yer değiştirmeler, (b) ölçülen yer değiştirmelerden katı-cisim halinin çıkartılmış hali, (c) teorik model ve b arasındaki fark, (d) teorik model

Bu yöntemin çalışma prensibi gerilme rahatlatma yöntemine dayanmaktadır. Parça üzerine açılan bir delikle sağlanan kalıcı gerilme gevşemesi, Şekil 7.23’ de görüldüğü gibi yüzeyde şekil değişikliğine neden olur.



Şekil 7.23. Delik delme yöntemi ile kalıcı gerilme ölçülmesinin temel prensibi

Şekil 7.24’ de hazırlanan deney numunelerinin delik delme yöntemi ile kalıcı gerilmelerinin tespitinde kullanılmış olan cihaz gösterilmiştir. Ölçüm için öncelikle lazer ışığının yüzeyden parlayarak ölçüm hatalarına sebep vermemesi için yüzeye bir miktar boyama işlemi uygulanmıştır. TiN kaplamalı, 0,8 mm çapında Co-WC matkap ucu 30,000 dev/dak dönüş hızında kullanılmıştır. Ölçüm derinlikleri; 25, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 400 ve 500 mikrondur.

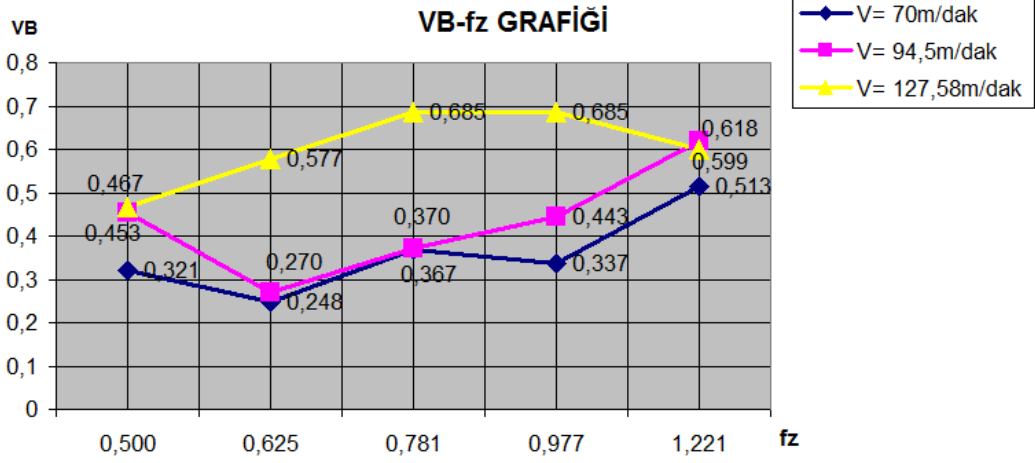


Şekil 7.24. STRESSTECH PRISM/ESPI cihazı

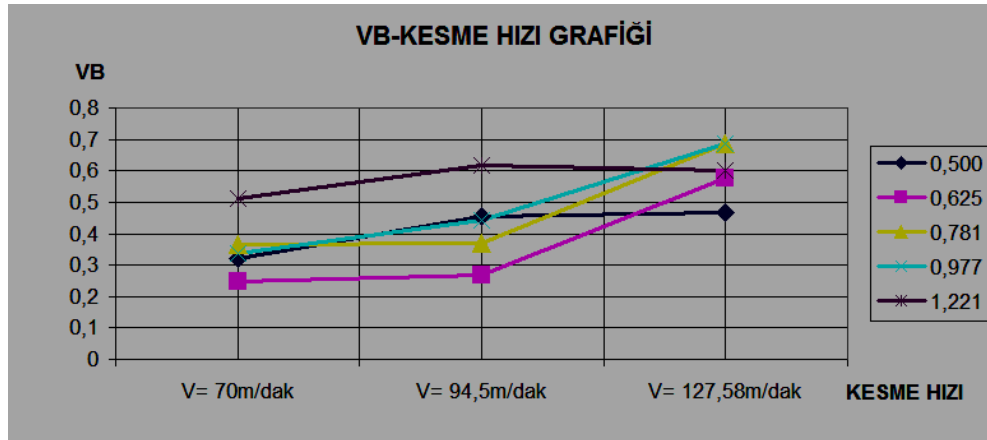
8. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

8.1. Kesme Hızı ve İlerlemenin Takım Aşınması Üzerindeki Etkileri

Yapılan deneyler neticesinde bulunan takım aşınmaları ile kesme parametrelerinin ilişkisi Şekil 8.1. ve Şekil 8.2' de gösterilmiştir.



Şekil 8.1. Takım aşınması (V_B) - diş başı ilerleme (mm/diş) ilişkisi



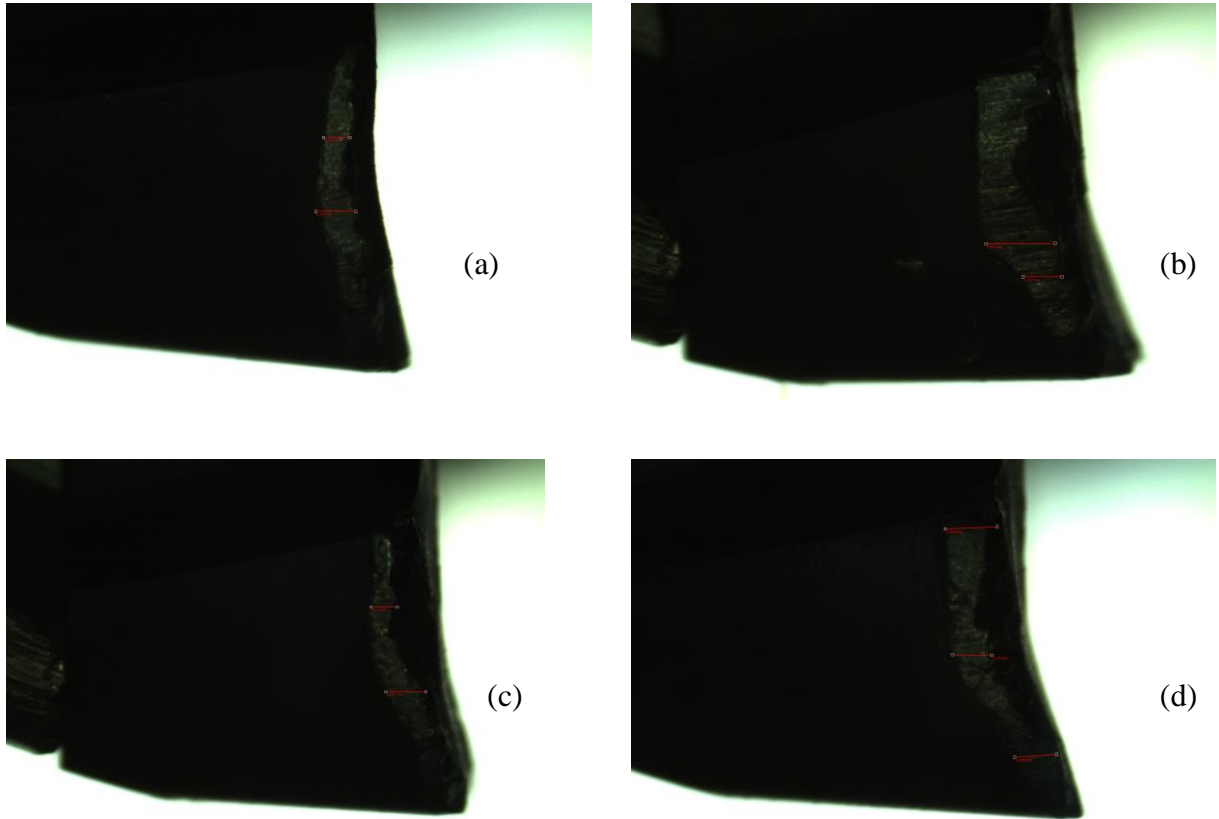
Şekil 8.2. Takım aşınması- kesme hızı ilişkisi

Şekil 8.1. ve Şekil 8.2' den çıkarılan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir;

- $fz=0,5$ mm/diş iken kesme hızının aşınmaya çok fazla etkisi yoktur. Bu ilerleme değerinde çalışılacak ise iki kesme hızından (94,5 m/dak ve 127,58 m/dak) büyük olanı tercih edilmelidir. Artan kesme hızının işleme süresine olumlu yönde etkide bulunacağı açıktır (Şekil 8.1).
- İki ilerleme değerinde ($fz=0,781$ mm/diş ve $0,625$ mm/diş) 70 m/dak ve 94,5 m/dak lik kesme hızlarında oluşan aşınmalar hemen hemen eşittir. Bu ilerleme

değerinde çalışılacak ise yüksek kesme hızı olan 94,5 m/dak tercih edilmelidir. Ancak 0,781 mm/devir ilerleme değerinde 127,58 m/dak lık kesme hızında aşınma çok büyümekte ve neredeyse 2 katına çıkmaktadır (Şekil 8.3,a, b, c, d).

- Şekil 8.1 ve Şekil 8.2' de $V=127,58$ m/dak lık kesme hızında, son 2 ilerleme değeri için aşınmaların bir önceki ilerlemede elde edilen değerlere göre aynı ve düşük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni son iki deneyde anormal seviyelere ulaşan kesme sesi ve vibrasyondan ötürü ucu kırmamak için deneyin, $fz=0,977$ mm/diş için $Z=-3,9$ mm de, $fz=1,22$ mm/diş için ise $Z=-3$ mm de sonlandırılmasıdır. İşlemeye devam edilmiş olsaydı aşınmanın çok daha yüksek değerlere ulaşacağı kesindir.
- İki kesme hızında ($V=70$ m/dak ve $94,5$ m/dak) $fz=0,625$ mm/diş ilerleme değerindeki aşınma, $fz=0,5$ mm/diş ilerleme değerine göre düşük çıkmıştır. Düşük ilerleme değerinde takımın iş parçası ile daha uzun süre temas etmesi sonucu oluşan ısının aşınmayı tetiklediği ve arttırdığı düşünülmektedir.



Şekil 8.3. (a) $fz = 0,625$ $V = 70$ m/dak, (b) $fz = 0,781$ $V = 70$ m/dak,
(c) $fz = 0,625$ $V = 94,5$ m/dak, (d) $fz = 0,781$ $V = 94,5$ m/dak

Takım aşınması üzerindeki en büyük etkiye; kesme hızı sahiptir. 70 m/dak ve 94,5 m/dak kesme hızlarında bu etki tam olarak belirginleşmese de kesme hızı 127,58 m/dak ya çıktığında takım aşınmaları da ciddi oranda artmaktadır. Kesme hızı arttıkça takım aşınmasında da bir artış olacağı kesindir. Bu nedenle oluşan grafikler, Salomon (1931) tezi ile uyuşmamaktadır. Ya da Salomon (1931) eğrisine göre eğrinin ilk bölümünde kalınarak konvansiyonel bir işleme yapıldığı söylenebilir.

En küçük V_B değeri; 2. deneyde kullanılan 0,625 mm/diş ilerleme ve 70 m/dak kesme hızında oluşmuştur. Takım ömrü düşünülerek bu kesme parametresinde çalışılabilir. Deneylerin ilk üç ilerleme değerinde oluşan aşınma belli aralıklarla yavaşça artarken, 0,977 mm/diş ilerleme değerine gelindiğinde takım aşınmasındaki artış büyük bir zıplama ile yukarıya doğru çıkmakta, takımın kısa sürede ömrünü tamamlamasına neden olmaktadır. Bunun en temel sebebi olarak; artan ilerlemenin kesme hızına benzer bir etki oluşturması ve sıcaklık etkisi ile bu artışın oluşması şeklinde açıklanabilir. Ayrıca yanıl kaymalarda takımın temas yüzeyinin artması ile oluşan vibrasyon ve mekanik yüklemelerin de burada etkili olacağı açıktır. Farklı çalışmalarda daha düşük yanıl kayma miktarları ile bu etkinin oluşumu gözlemlenebilir.

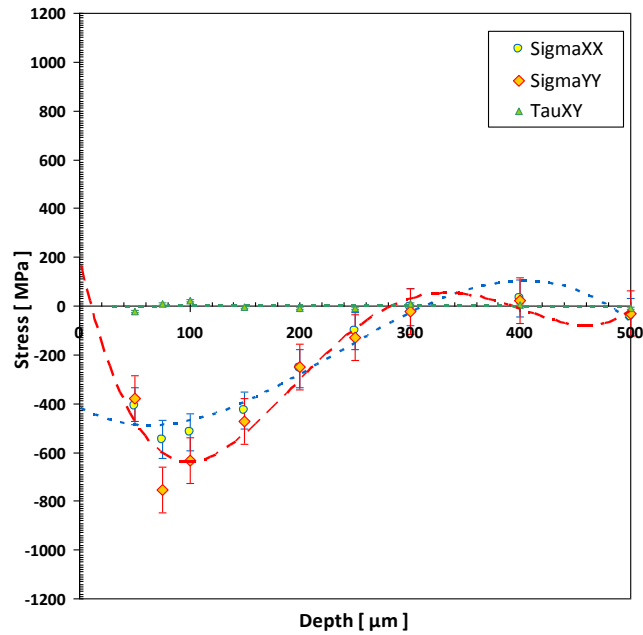
8.2. Kesme Hızı, İlerleme ve Takım Aşınmasının Kalıcı Gerilmeler Üzerindeki Etkileri

Bu kısımda 15 deney malzemesi üzerinde ölçülen kalıcı gerilmeler ve bunların derinlik profilleri aktarılacak ve kesme parametreleri neticesinde kalıcı gerilmelerin dağılımının ne şekilde değiştiği detaylı olarak ele alınacaktır. Şekil 8.4,8.5,8.6,8.7,8.8' de 70 m/dak kesme hızında oluşan beş farklı kalıcı gerilme dağılımı verilmiştir.

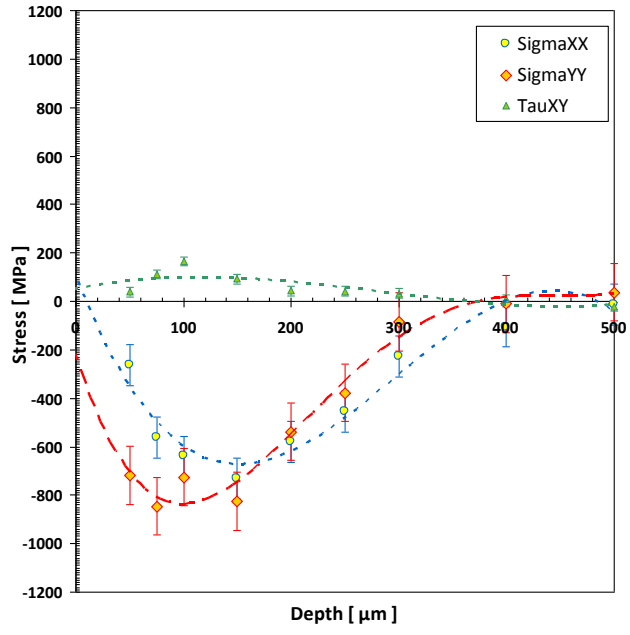
Bu grafiklerin detaylı incelenmesi neticesinde şu sonuçlara varılabilir;

- Başlangıçta en düşük ilerleme miktarında yüzeyde çekme kalıcı gerilmeleri oluşmuş olup, +200 Mpa değerine yaklaşmıştır. Ardından yüzeyin hemen altında yorulma ömrünü olumlu yönde etkilediği bilinen basma kalıcı gerilmeleri oluşmuş ve bunların yüzeyden derinliği 100 mikron seviyesine gelindiğinde -600 Mpa değerine yaklaşmıştır. Yüzeyden derinliğine aşağı inildiğinde kalıcı gerilmelerin değerinde bir düşüş olmaktadır.

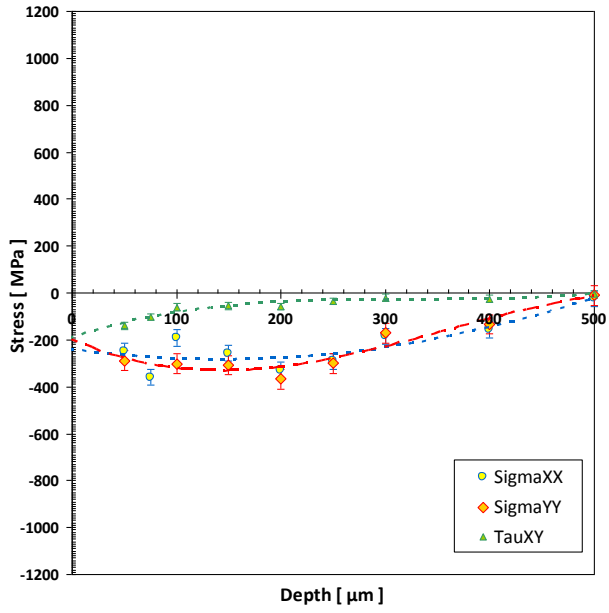
- Şekil 8.5’ de gösterildiği üzere diş başı ilerleme miktarının artmasıyla yüzeyde ve yüzeyin altında basma kalıcı gerilmeleri oluşmuştur. Bunların büyüklüğü ve yüzeyden derinliği ilerleme miktarının artmasıyla artmıştır.
- f_z : 0,5 ve 0,625 mm/diş değerlerinde oluşan kalıcı gerilmeler kıyaslandığında, birinci deneyde çekme, ikinci deneyde basma kalıcı gerilmesi ölçülmesinin nedeni olarak; ilk deneyde takımın iş parçası ile olan uzun süreli teması neticesinde yüzeyde oluşan sıcaklığın termal etki ile kalıcı gerilmeleri çekme gerilmesi haline getirmesidir. Takım aşınma miktarları ile birlikte değerlendirildiğinde f_z 0,5 mm/diş ilerleme miktarında oluşan takım aşınması 0,321 iken 0,625 mm/diş ilerleme değerinde bu değer 0,248 dir. Buradan çıkarılacak en önemli sonuç takım aşınmasındaki artışın ısı etkisi ile yüzeyde çekme kalıcı gerilmeleri oluşturmasıdır.



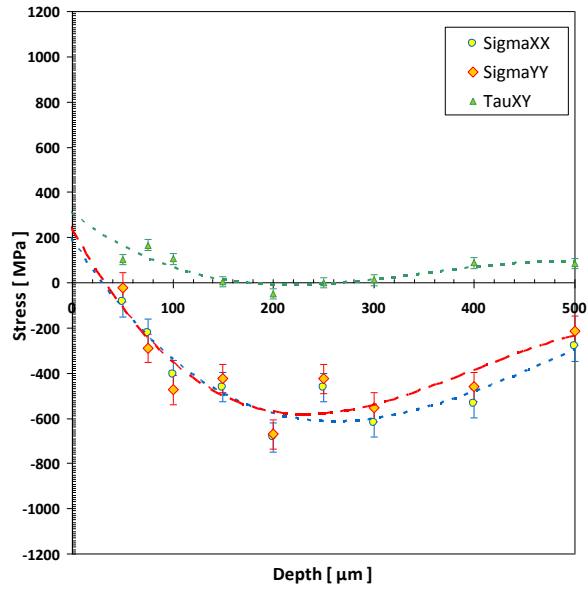
Şekil 8.4. f_z : 0,5 mm/diş V: 70 m/dak işleme şartında kalıcı gerilme dağılımı



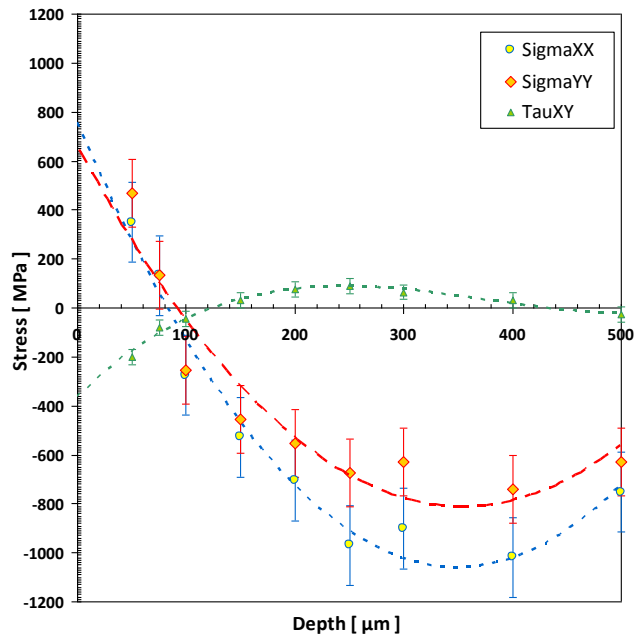
Şekil 8.5. f_z : 0,625 mm/diş V: 70 m/dak işleme şartında kalıcı gerilme dağılımı



Şekil 8.6. f_z : 0,781 mm/diş V: 70 m/dak işleme şartında kalıcı gerilme dağılımı



Şekil 8.7. f_z : 0,977 mm/diş V: 70 m/dak işleme şartında kalıcı gerilme dağılımı

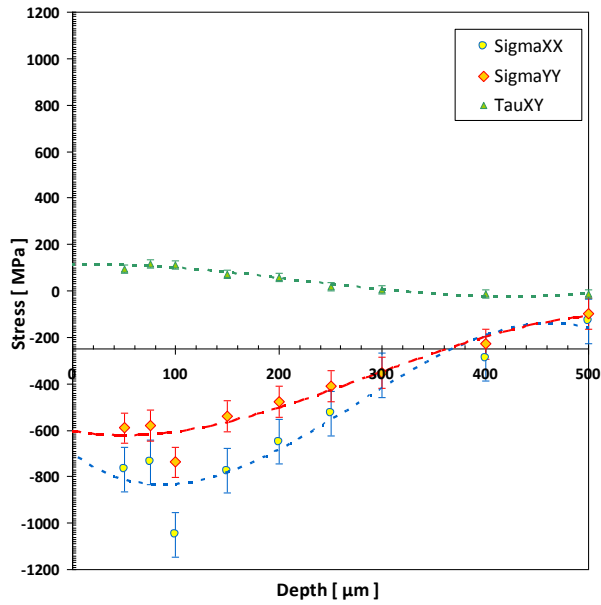


Şekil 8.8. f_z : 1,22 mm/diş V: 70 m/dak işleme şartında kalıcı gerilme dağılımı

Takım aşınmasındaki artışın devam etmesi neticesinde, takımın kesme işleminde ziyade sürtme yapması daha doğrusu parçayı kazıması ile ortaya çıkan sürtme kuvvetleri ısı enerjisi oluşturmasına ve takım/talaş ara yüzeyinde olduğu düşünülen yüksek sıcaklıklar yüzey üzerinde çok büyük çekme kalıcı gerilmeleri oluşmasına neden olmuştur. Şekil 8.7. ve Şekil 8.8 karşılıklı kıyaslandığında bu durum açıkça görülebilmektedir. f_z : 0,977 mm/diş ilerleme miktarında oluşan takım aşınması 0,337

mm/diş iken 1,22 mm/diş ilerleme değerinde oluşan aşınma miktarı 0,513 tür. Oluşan sıcaklık aynı zamanda kalıcı gerilmelerin yüzeyden olan derinliğini ve miktarını önemli ölçüde arttırmaktadır.

Takım aşınmasını sadece kendi başına yüzey üzerindeki kalıcı gerilmeleri etkileyen faktör olarak da değerlendirmek doğru değildir. f_z : 0,781 mm/diş değerinde kesme hızı 70 m/dak ve 94,5 m/dak olduğunda oluşan takım aşınmaları hemen hemen aynıdır (Şekil 8.1). Ancak düşük kesme hızlarında basma kalıcı gerilmesi oluşurken yüksek kesme hızlarında çekme kalıcı gerilmesi oluşmaktadır. Bunun sebebi olarak; düşük kesme hızlarında mekanik bir etki ile iş parçasını zorlayarak bastırmaya çalışan kesici takımın, yüksek kesme hızlarında oluşan ısı etkisi ile termal yönden çekme kalıcı gerilmeleri oluşturmasıdır. Bu sonuç; Dewes ve ark. (1997) ve Axinte ve Dewes (2002) çalışmalarındaki sonuçlarla uyumludur. (Şekil 8.9).

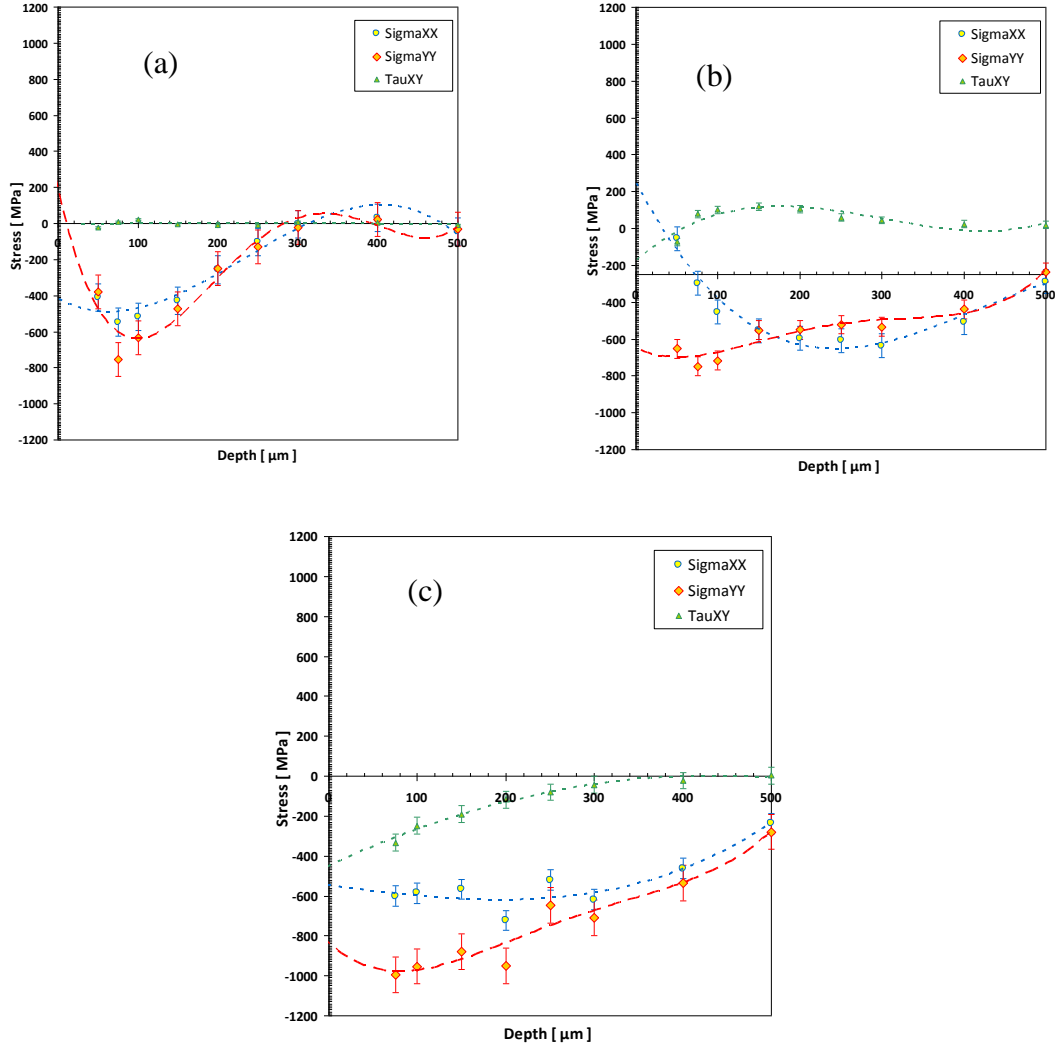


Şekil 8.9. f_z : 0,781 mm/diş V: 94,5 m/dak işleme şartında kalıcı gerilme dağılımı

Şekil 8.9 ve Şekil 8.6 kıyaslandığında her iki kesme parametresinde oluşan takım aşınmaları aynı iken kesme hızının artması neticesinde kalıcı gerilme değerinde bir artış olmuştur. Her iki kesme şartında da oluşan kalıcı gerilmeler basma kalıcı gerilmesi şeklindedir. Burada dikkat çekici unsurlardan bir tanesi de G_{xx} , G_{yy} kalıcı gerilmelerinin birbirinden farklı olmasıdır. Yani parçanın ilerleme yönünde oluşan gerilmeler ile yanal kayma yönünde oluşan gerilmeler birbirinden farklıdır. Bunun

sebebi olarak; takımın yanal kayma esnasında artan talaş hacminin ve temas alanındaki değişimin gerilmeleri etkilediği düşünülmektedir.

Kesme hızının kalıcı gerilmeler üzerindeki etkisini incelemek için f_z : 0,5 mm/diş değerinde 3 farklı kesme hızında oluşan kalıcı gerilme dağılımı Şekil 8.10 a, b, c' de verilmiştir.



Şekil 8.10. (a) f_z : 0,5 mm/diş V:70 m/dak, (b) f_z : 0,5 mm/diş V: 94,5 m/dak, (c) f_z : 0,5 mm/diş V:127,58 m/dak

Kesme hızının artmasıyla oluşan kalıcı gerilmelerin büyüklüğü ve yüzeyden olan derinliği artmıştır. Kalıcı gerilme dağılımında kesme hızının ilerlemeye göre daha yüksek bir etkisi olduğu düşünülmektedir.

15 deney sonucunda oluşan kalıcı gerilmelerin dağılım grafikleri “ekler” kısmında ayrıca verilmiştir. İşlenen numunelerdeki kalıcı gerilmeler göz önüne alındığında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

- En yüksek çekme kalıcı gerilmesine f_z : 0.781 mm/diş, V: 127,58 m/dak kesme şartlarında ulaşılmıştır. Parça ömrü düşünüldüğünde bu parametre kullanılmamalıdır.
- En yüksek basma kalıcı gerilmesine f_z : 0,5 mm/diş, V:127,58 m/dak kesme hızında ulaşılmıştır.
- Takım aşınması ve kalıcı gerilmeler birlikte düşünüldüğünde optimum bir işleme parametresine tek bir deneyde ulaşılmamıştır.
- Kalıcı gerilmeler üzerinde takım aşınmasının önemli ölçüde etkisi olmasına rağmen kalıcı gerilmelerin tahmini doğrudan takım aşınmasına bakılarak yapılamaz.
- Kesme hızındaki artışın, ilerleme miktarındaki artışa göre kalıcı gerilmeleri daha fazla etkilediği sonucuna ulaşılmıştır.
- Kesme bölgesinde takım/talaş ara yüzeyindeki sıcaklık dağılımının takım aşınması ve kalıcı gerilmeleri etkilediği düşünülmektedir.
- Takım aşınması ve kalıcı gerilmeler birlikte düşünüldüğünde en uygun kesme parametresi f_z : 0,625 mm/diş, V: 70 m/dak kesme hızı olan ikinci deney parametresidir.
- Takım aşınmasının sıcaklık ve mekanik etki yaptığı düşünülmektedir. Aşınmadaki artış bir taraftan sürtme etkisi ile sıcaklık artışı ve dolayısıyla yüzeyde çekme kalıcı gerilmeleri oluştururken bir yandan da mekanik bir bastırmaya çalışma ile parçayı plastik deformasyona uğratarak küre takımlarda olduğu gibi basma kalıcı gerilmeleri oluşturmaktadır. Yüksek kesme hızlarında sıcaklık etkisi ile çekme kalıcı gerilmeleri oluşturması beklenirken, düşük kesme hızlarında mekanik etki ile basma kalıcı gerilmeleri oluşturacağı düşünülmektedir. (Dewes ve ark. 1997, Axinte ve Dewes, 2002)
- İlerleme yönü ve yanal kayma yönü; kalıcı gerilmeler üzerinde belli bir etkiye sahiptir. Yanal kayma yönündeki kalıcı gerilme derinlik profili ilerleme yönüne göre daha yüksektir. Bunun sebebi olarak; takımın yana kayması esnasında talaş oranı ve temas alanının artması neticesinde oluşan mekanik ve

termal zorlamaların normal ilerleme yönüne göre daha yüksek olması düşünülmektedir.

- Takım aşınmasına bağlı olmaksızın kesme hızındaki artış, kalıcı gerilmelerin yüzeyden olan derinliğini büyük ölçüde etkilemektedir. Bunun sebebi olarak; ısıdan etkilenen bölgenin ısı transferi ile parça derinliklerine inme oranının artması gösterilebilir. Kısaca ısıdan etkilenen bölgedeki artış fazla olmaktadır.

KAYNAKLAR

- Akkurt, M. 1985.** Takım tezgahları, talaş kaldırma yöntemleri ve teknolojisi. Birsen Yayınevi, İstanbul, s: 34.
- Akkurt, M., Kent, M. 1984.** Makine elemanları. Birsen Kitapevi Yayınları, İstanbul, 527 s.
- Albaraz, Z. 2010.** Isıl işlem parametrelerinin ve kimyasal kompozisyonun sıcak iş takım çeliklerinin mekanik özelliklerine etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Almen, J.O., Black, P.H. 1964.** Residual stresses and fatigue in metals. Mc-Graw Hill Book Co, USA, pp 244.
- Anonim, 1990.** ASM Handbook Volume 1 Properties and Selection: Iron Steel and High Performance Alloys, ASM International, Ohio.
- Anonim, 2004.** Ors rulmanları ve makaralarının yorulma ömrünün arttırılması için kalıcı gerilmelerin iyileştirilmesi. Ors Bülteni, Sayı 5.
- Anonim, 2008.** Valenite Safety High Feed Program. http://www.madebyyou.be/vanmaelenv/img/high%20feed_broch_%20eng_ld.pdf (Erişim Tarihi: 2013)
- Anonim, 2013.** Orvar Supreme. http://www.assab-turkey.com/Orvar_Supreme_TR.pdf (Erişim Tarihi: 2013)
- Ansell, H. 1999.** Fatigue and damage tolerance aspects of high speed machined airframe parts. Meeting of the International Committee on Aeronautical Fatigue, Bellevue, WA.
- Arsecularatne, J.A., Zhang, L.C., Montross, C., Mathew, P. 2006.** On machining of hardened AISI D2 steel with PCBN tools. *J. Mater. Process. Technol*, 171: 244-252.
- Asan, N.Ö. 2008.** Sıcak iş takım çeliklerinde hasar oluşumu ve önlemleri. *Yüksek Lisans Tezi*, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Avner, S.H. 1984.** Introduction to physically metallurgy. Mc-Graw Hill Book Co, New York, 385 pp.
- Axinte, D.A., Dewes, R.C. 2002.** Surface integrity of hot work tool steel after high speed milling-experimental data and empirical models. *J. Mater. Process. Technol*, 127:325-335.

Bagard, P., Crapart, J.C., Palleau, M., Lefebure, M., Padilla, P. 1994. Usinage a grande vitesse: application aux outillages, Proc. Conf. Journees d'information. Usinage a grande vitesse des outillages, CETIM, Senlis, France.

Bahadur, A., Kumar, B.R., Chowdhury, G.S. 2004. Evaluation of changes in X-Ray elastic constants and residual stress as a function of cold Rolling of austenitic steels. *Materials Science and Technology*, 20(3): 387-392.

Bolshakov, V.N., Gorbash, V.G. 1989. An instrument for measurement of mechanical stress. *Soviet Journal Of Nondestructive Deneying*, 24(6).

Chevrier, P., Tidu, A., Bolle, B., Cezard, P., Tinnes, J.P. 2003. Investigation of surface integrity in high speed end milling of a low alloyed steel. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 43: 1135-1142.

Choi, Y. 2009. A study on the effects of machining-induced residual stress on rolling contact fatigue. *International Journal of Fatigue*, 31: 1517-1523.

Clausen, B., Leffers, T., Lorentzen, T. 2003. On the proper selection of reflections for the measurement of bulk residual stress by diffraction. *Acta Metallurgica At Metaterialia*, 51(20): 6181-6188.

Çakır, M.C. 2000. Modern talaşlı imalat yöntemleri. Vipaş, Bursa, 535 s.

Çakır, M.C. 2006. Modern talaşlı imalatın esasları. Nobel Yayın Dağıtım, Bursa, 267 s.

Çakır, M.C., Işık, Y. 2001. Tornalama işlemlerinde taylor takım ömrü denkleminin deneysel olarak incelenmesi. *Z.K.Ü. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Teknoloji Dergisi*, (3-4): 130-140.

Çetinaraslan, C.S. 1997. Sertleştirilmiş soğuk iş takım çeliklerinin yorulma dayanımlarının deneysel olarak araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Edirne.

Demirayak, İ. 2006. Kesme parametreleri ve kaplama tabakasının talaş kaldırma işlemine etkileri. *Yüksek Lisans Tezi*, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.

Dewes, R.C., Aspinwall, D.K., Diple, S.J., Schoen, S., Thielemann, G. 1997. Tool wear and surface integrity observations during the high speed milling of hardened die steel. Proceedings of the international conference and exhibition on design and production of dies and moulds, İstanbul, Türkiye.

Dewes, R.C., Ng, E., Chua, K.S., Newton, P.G., Aspinwall, D.K. 1999. Temperature measurement when high speed machining hardened mould/die steel. *Journal of Material Processing Technology*, 92-93:293-301.

Dieter, G.E. 1985. Mechanical metallurgy. Mc-Graw Hill Book Co, UK, 440 pp.

- Dike, J.J., Johnson, G.G. 1990.** Residual stress determination using acoustoelasticity. *Journal Of Applied Mechanics*, 57: 113-125.
- Elbestawil, M.A., Chenz, L., Beczel, C.E., El- Wardanyl, T.I. 1997.** High-speed milling of dies and molds in their hardened state. *Manufacturing Technology*, 46: 57-62.
- Fethullayev, E.K., Akyıldız, H.K. 2000.** Teknolojik gerilmelerin makine parçalarının üretiminde önemi. *Erciyes Üniversitesi Yayını*, Kayseri.
- Fetullayev, E.K. 1998.** Talaş kaldırma yöntemi ile üretilen vidalı elemanlara yüzey katında oluşan artık gerilmelerin vida elemanlarına etkisi. Uluslar arası makine tasarımı ve imalat kongresi, ODTÜ, Ankara.
- Ghani, J.A., Choudhury, I.A., Hassan, H.H. 2004.** Application of Taguchi method in the optimization of end milling parameters. *J. Mater. Process. Technol*, 145: 84-92.
- Heindlhofer, K. 1948.** Evaluation of residual stress. Mc-Graw Hill Book Co, USA, 218 pp.
- Hetanyi, M. 1950.** Handbook of experimental stress analysis. John Willy&Sons Inc., USA, 113 pp.
- Hock, S. 1995.** Hochgeschwindigkeitsschleifen im Werkzeug- und Formenbau, Tagungspand :aim Darmstadter BiPdhrangforum Werkzeug- und Formellhau, Kortengunstigern Formen in Kurzerer Zeti.
- Honner, M., Litog, P., Svanter, M. 2004.** Thermography analyses of the hole drilling residual stress measuring technique. *Infrared Physics&Technology*, 25: 131-142.
- Kafkas, F. 2001.** Katman kaldırma tekniğine dayalı olarak kalıcı gerilmelerin ölçülmesini sağlayan bilgisayarlı ölçme cihazının tasarımı ve imalatı. *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara.
- Kang, K.J., Sony, J.H., Earmme, Y.Y. 1989.** A method for the measurement of residual stres using a fracture mechanics approach. *Journal of Strain Analysis*, 24: 1-15.
- Karataş, Ç., Fethullayev, E., Kafkas, F. 2001.** AISI 5115 çelikten imal edilen dişli çarkın diş dibindeki kalıcı gerilmelerin incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Ankara.
- Koç, E. 2003.** Makine elemanları. Nobel Kitapevi, Adana, 336 s.
- Koshy, P., Dewes, R.C., Aspinwall, D.K. 2002.** High speed end milling of hardened AISI D2 tool steel(58 HRC). *J. Mater. Process. Technol*, 127: 266-273.
- König, W., Bieker, R. 1989.** NC milling of dies in hardened condition. *Industrie-Anzeiger*, 28:23-26.

- Leggatt, R.H., Smith, D.J., Smith, D.S., Fauve, F. 1996.** Development and experimental validation for residual stress measurement. *Journal of Strain Analysis*, 31: 38-50.
- Li, J.L., Jing, L.L., Chen, M. 2009.** An FEM study on residual stresses induced by high-speed end-milling of hardened steel SKD11. *J. Mater. Process. Technol*, 209: 4515-4520.
- Lu, J. 1996.** Handbook of measurement of residual stress. Society for experimental mechanics, Prentice- Hall Inc., France, pp: 342-411.
- Marshall, C.W., Maringer, R.E. 1977.** Dimensional instability on introduction. Pergamon Pres Ltd, UK, pp: 139-163, pp: 342-395.
- Minamino, S., Kitajima, K., Sakamoto, Y., Ohta, H., Kishimoto, K. 1996.** High speed cutting by using high performance end mill. Proceedings of the Third International Conference on Progress of Cutting and Grinding, Osaka, Japan.
- Nakagawa, T. 1992.** Emerging new technologies in the die and mould manufacturing industry in high speed milling, grinding and polishing. 7th international conf. tool, die and mould industry, international special tooling association, Bergamo, Italy.
- Nakagawa, T., Ikeda, T., Matsuoka, T. 1995.** High speed milling of steel and tool life. Proc, 8th Int, Conf. Tool, Die and Mold industry, International Special Tooling Association, Barcelona, Spain.
- Nikitin, I., Scholtes, B., Maier, H.J., Altenberger, I. 2004.** High temperature fatigue behavior and residual stress stability of laser shock peened and deep rolled austenitic steel AISI 304. *Scripta Materialia*, 50(10): 1345-1350.
- Ning, Y., Rahman, M., Wong, Y.S. 2001.** Investigation of chip formation in high speed end milling. *J. Mater. Process. Technol*, 113 (1-3): 360-367.
- Polushkin, E.P. 1956.** Defect and failure of metals. Elsevier Publishing Co, USA, pp: 137-151.
- Raghavan, K. 1985.** Face milling of hardened die steel using CBN tooling. *MSc Thesis*, Graduate School of Machine Tool and Manufacturing Technology, Department of Mechanical Engineering, University of Birmingham, UK.
- Sağlam, H., Ünüvar, A. 1999.** Takım aşınmasına dayalı online takım durumu izleme sistemleri ve verilerin değerlendirilmesi. Makine imalat teknolojileri sempozyumu, Konya, 27-39.
- Salomon, C.J. 1931.** Process for machining metals of similar acting materials when being worked by cutting tools, German patent, Number 523594.

Sicot, O., Gong, X.L., Cherouat, A., Lu, J. 2004. Influence of experimental parameters on determination of residual stress using the incremental hole drilling method. *Composites Science and Technology*, 64: 171-180.

Smith, D.J., Leggatt, R.H., Webster, P.J., Mills, G. 1989. Neutron diffraction measurements of residual stress and plastic deformation in an aluminium alloy weld. *Journal Of Strain Analysis*, 31: 647-658.

Şahin, Y. 2001. Talaş kaldırma prensipleri 2. Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 490 s.

Tang, Z.T., Liu, Z.Q., Pan, Y.Z., Wan, Y., Ai, X. 2009. The influence of tool flank wear on residual stresses induced by milling aluminum alloy. *J. Mater. Process. Technol*, 209: 4502-4508.

Tekaslan, Ö. 2006. AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerde işlenebilirliğe bağlı olarak kalıcı gerilme problemlerinin araştırılması. *Doktora Tezi*, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir.

Toh, C.K. 2005. Comparison of chip surface temperature between up and down milling orientations in high speed rough milling of hardened steel. *J. Mater. Process. Technol*, 167: 110-118.

Toh, C.K. 2006. Cutter path strategies in high speed rough milling of hardened steel. *Materials and Design*, 27: 107-114.

Toptop, G.O. 2011. Yüksek hız takım çeliklerinde uygulanan ısıl işlemler ve elde edilen özellikler arasındaki ilişkilerin fiziksel metalurjik yönden incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Anabilim Dalı, İstanbul.

Tönshoff, H.K., Camacho, J.H. 1989. Die manufacturing by 5 and 3 axes milling (influence of surface shape on cutting conditions), *J. Mech. Working Tech*, 20:115-119.

Urbanski, J.P., Koshy, P., Dewes, R.C., Aspinwall, D.K. 2000. High speed machining of moulds and dies for net shape manufacture. *Materials and Design*, 21: 395-402.

Vivancos, J., Luis, C.J., Ortiz, J.A., Gonzalez, H.A. 2005. Analysis of factors affecting the high-speed side milling of hardened die steels. *J. Mater. Process. Technol*, 162-163:696-701.

Walpi, D.J. 1993. Understanding how components fail. American Society For Metals, USA, 175 pp.

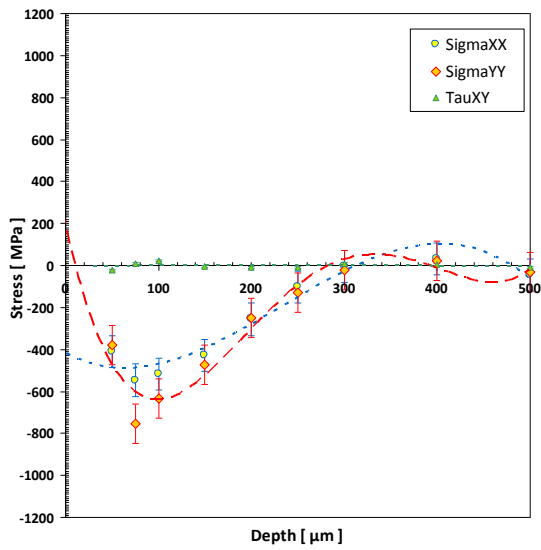
Winholtz, R.A., Cohen, J.B. 1992. Changes in the macrostresses and microstresses in the steel with fatigue. *Materials Science and Engineering*, 154: 132-145.

Wyatt, J.E., Berry, J.T. 2006. A new technique for the determination of superficial residual stresses associated with machining and other manufacturing processes. *J. Mater. Process. Technol*, 171: 132-140.

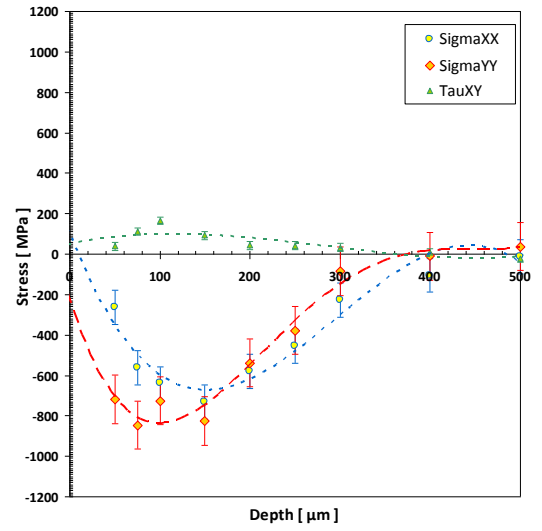
Yücel, Ö., Kurttepelı, H., Demirkaya, M.H. 1998. Yeni nesil vakum fırınlarında takım çeliği ısıı işleminde soğutma parametrelerinin karakterizasyonu. 1. Isıl İşlem Sempozyumu, 7-9 Ekim 1998, İstanbul.

EK 1

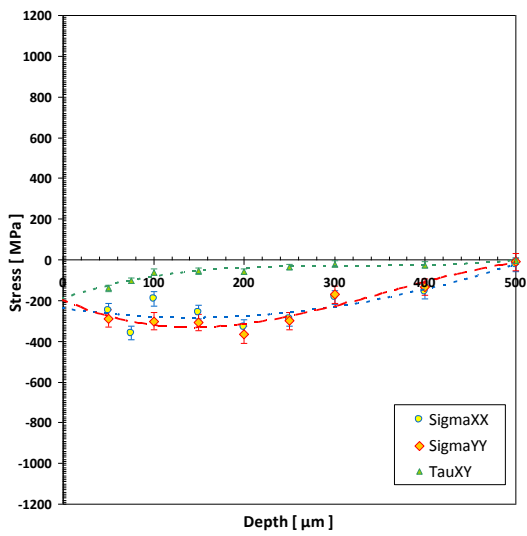
Kesme Parametrelerine Göre Kalıcı Gerilme Dağılım Grafikleri



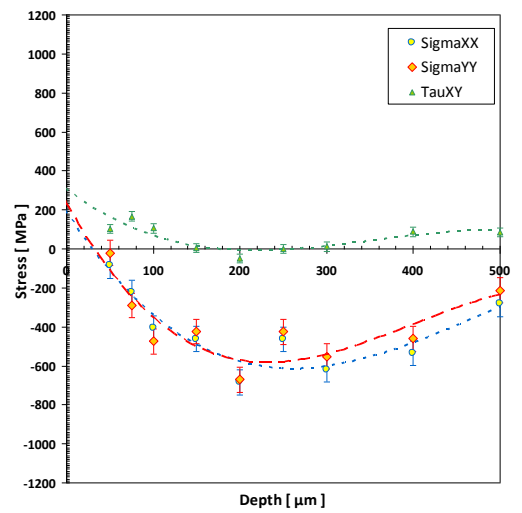
(1) f_z : 0,5 mm/diş, V:70 m/dak



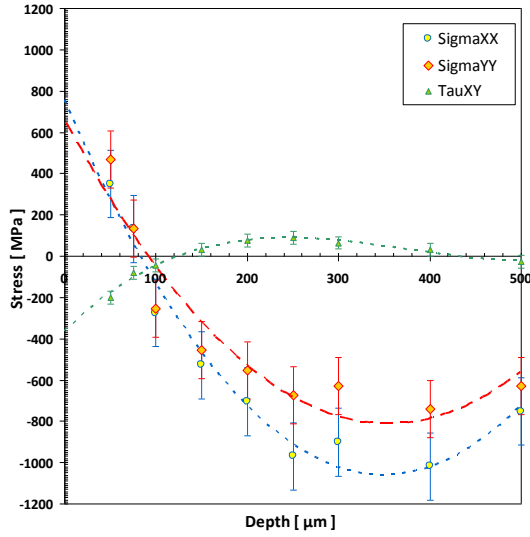
(2) f_z : 0,625 mm/diş, V: 70 m/dak



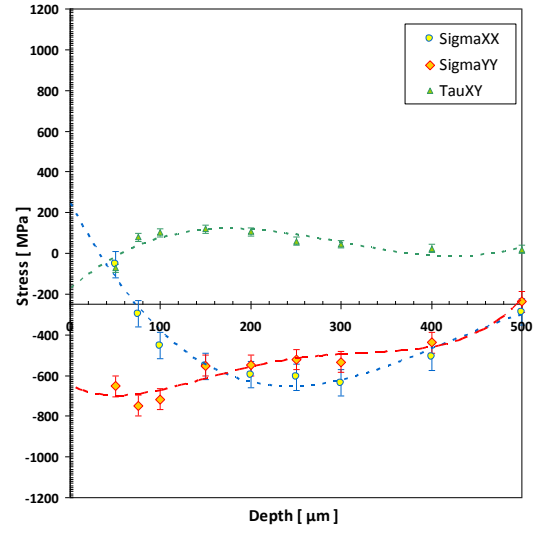
(3) f_z : 0,781 mm/diş, V: 70 m/dak



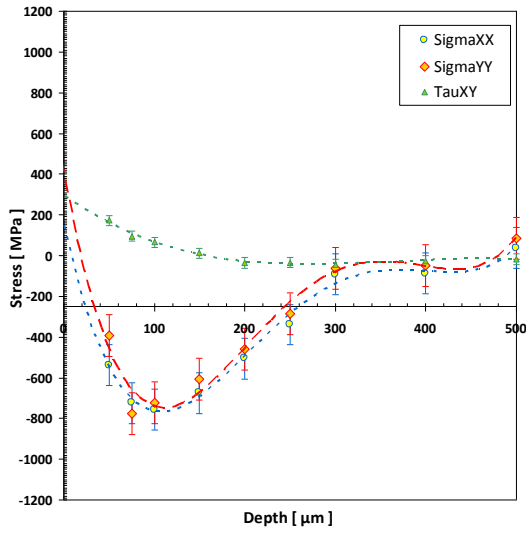
(4) f_z : 0,977 mm/diş, V: 70 m/dak



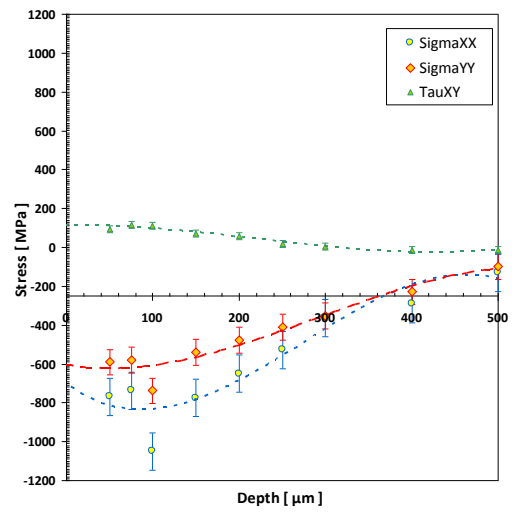
(5) f_z : 1,22 mm/dış, V:70 m/dak



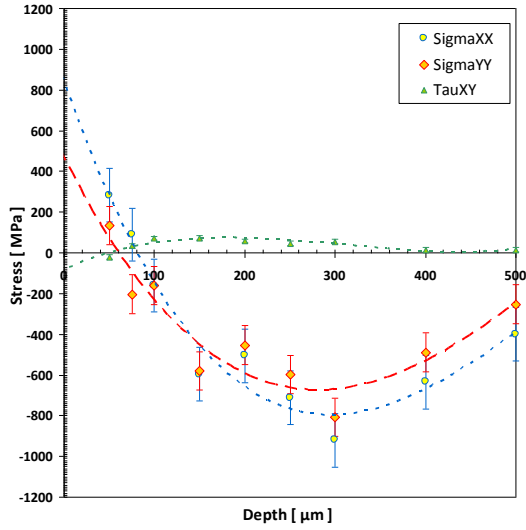
(6) f_z : 0,5 mm/dış, V: 94,5 m/dak



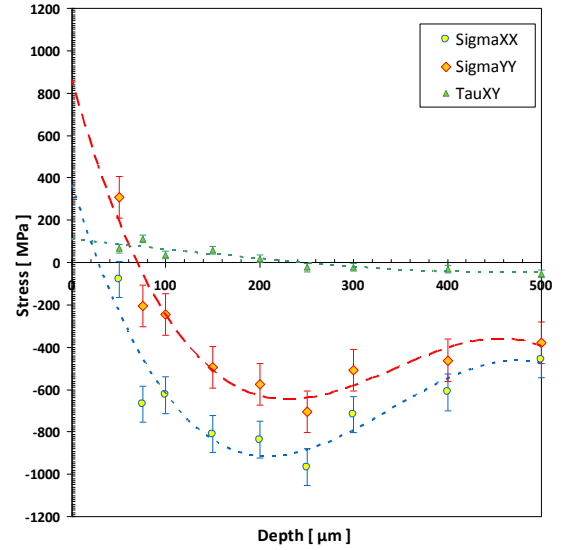
(7) f_z : 0,625 mm/dış, V:94,5 m/dak



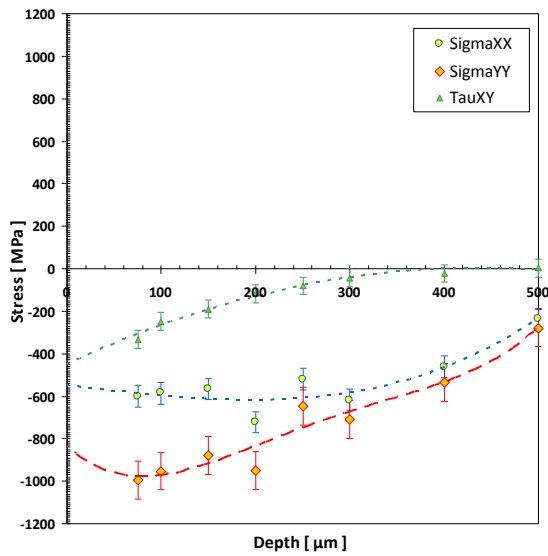
(8) f_z : 0,781 mm/dış, V: 94,5 m/dak



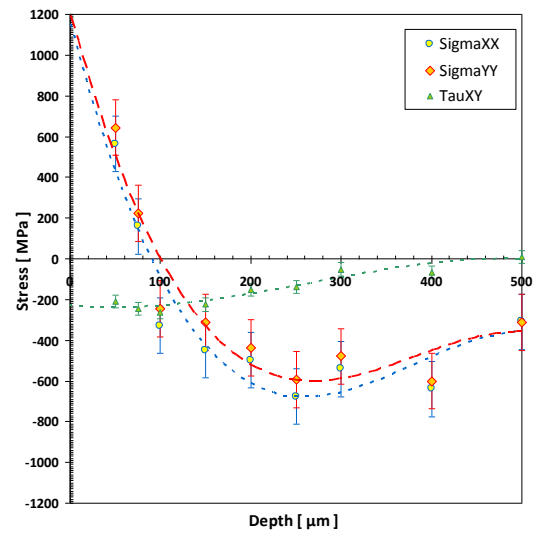
(9) f_z : 0,977 mm/dış, V: 94,5 m/dak



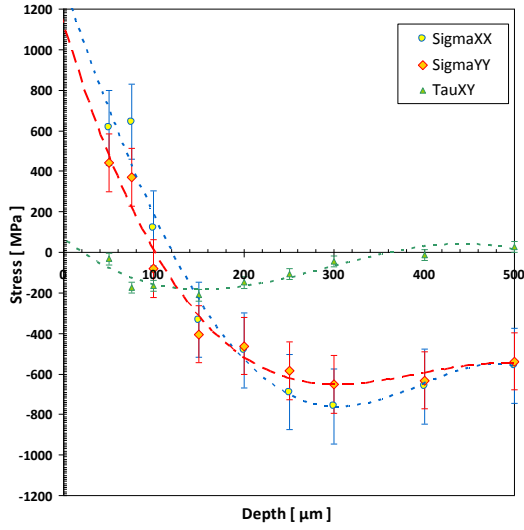
(10) f_z : 1,22 mm/dış, V: 94,5 m/dak



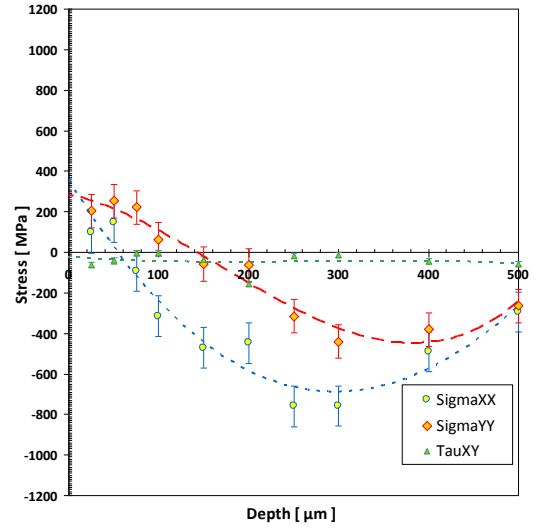
(11) f_z : 0,5 mm/dış, V: 127,58 m/dak



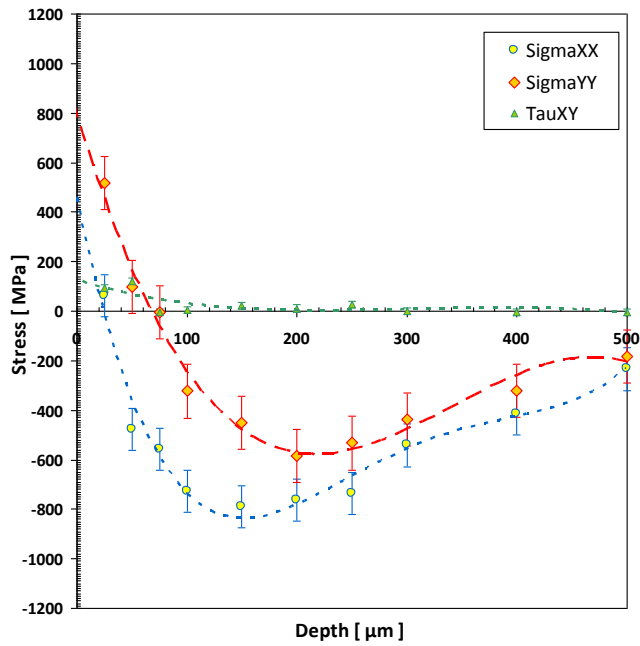
(12) f_z : 0,625 mm/dış, V: 127,58 m/dak



(13) f_z : 0,781 mm/dış, V: 127,58 m/dak



(14) f_z : 0,977 mm/dış, V: 127,58 m/dak



(15) f_z : 1,22 mm/dış, V: 127,58 m/dak

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Selim KOCA
Doğum Yeri ve Tarihi : Eskişehir/ 22.07.1986
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Demirtaşpaşa Anadolu Teknik Lisesi 2000-2004
Lisans : Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi
Kalıpcılık Öğretmenliği 2004-2008
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği A.B.D. 2008-2013

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

Feka Otomotiv A.Ş. 2011-
Ons Makine Ltd. Şti. 2010-2011
Ermetal Şirketler Grubu 2008-2009

İletişim (e-posta) : selimkoca99@yahoo.com

Yayınları : **Koca, S., Çakır, M., Oral, A. 2012.** 55 HRC
sertliğinde ısıtılma işlemi görmüş DIN1.2344 ESR kalıp çeliğinin yüksek ilerleme ile
frezelenmesinde takım aşınması-kesme parametreleri ilişkisinin incelenmesi. 3. ulusal
talaşlı imalat sempozyumu, 4-5 Ekim 2012, Gazi Üniversitesi, Ankara.