

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**METAL KESMEDE LAMA TESTERE DİŞLERİNİN
KESEN AĞIZLARINDA OLUŞAN KÜÇÜK
KOPMALARIN İNCELENMESİ**

Makine Mühendisi Eren DİKENOĞLU

FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programında

Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Erhan ALTAN (YTÜ)

İSTANBUL, 2005

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	v
KISALTMA LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖNSÖZ.....	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xiv
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Testereleme Yöntemi Seçimi.....	1
1.1.1 Testerelenecek Parça Boyutu.....	1
1.1.2 Testerelenecek Malzeme	2
1.1.3 Hassasiyet, Yüzey Kalitesi ve Üretim Gereksinimleri	3
1.1.4 Testereleme Ekonomisi	3
1.1.4.1 Tezgah Maliyeti	3
1.1.4.2 Takım Giderleri	3
1.1.4.3 Malzeme Kullanımı ve Diğer Maliyet Faktörleri	4
2. TESTERELEME YÖNTEMLERİ	5
2.1 Lama Testereleme.....	5
2.1.1 Avantajlar	5
2.1.2 Sınırlamalar.....	6
2.1.3 Lama Testereleler	6
2.1.3.1 Sınıflandırma	7
2.1.3.2 Lama Malzemeleri	8
2.1.3.3 Lama Boyutları	10
2.1.3.4 Diş Hatvesi.....	10
2.1.3.5 Diş Geometrisi	12
2.1.3.6 Çaprazlama	12
2.2 Şerit Testereleme	13
2.2.1 Avantajları	14
2.2.2 Sınırlamalar.....	15
2.2.3 Uygulamalar	16
2.2.4 Testere Şeritleri ve Diğer Takımlar	17
2.2.4.1 Klasik Testereleme	18
2.2.4.2 Diş Geometrileri	20
2.2.4.3 Şerit Malzemeleri.....	23
2.2.4.4 Şerit Genişlikleri.....	24

2.2.4.5	Şerit Kalınlığı.....	24
2.2.4.6	Hatve.....	24
2.2.4.7	Çaprazlama	25
2.3	Dairesel Testereleme	27
2.3.1	Avantajlar	28
2.3.2	Sınırlamalar.....	29
2.3.3	Testereler	30
2.3.3.1	Yekpare Testereler.....	30
2.3.3.2	Parçalı Testereler	30
2.3.3.3	Karbür Uçlu Testereler	31
2.3.3.4	Diş Geometrisi	32
2.3.3.5	Testere Hatvesi	35
3.	TESTERELEME İLE İLGİLİ YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR	37
3.1	Şerit Testerelemede Kesme Kuvvetleri	37
3.1.1	Kuvvet Sistem Modelinin Geliştirilmesi	38
3.1.1.1	Spesifik Kesme Basıncı	38
3.1.1.2	Testere Dişi Geometrisi Kesme Kuvveti Modeli.....	39
3.1.2	Kesme Deneyleri	42
3.1.3	Sonuçlar ve Tartışma	42
3.1.3.1	Spesifik Kesme Basıncının Modellenmesi	42
3.1.3.2	Modelin Tek Kesme Ağızlı Takımla Kesmede Doğrulanması.....	43
3.1.3.3	Modelin Çok Kesme Ağızlı Takımla Kesmede Doğrulanması	44
3.1.4	Sonuç	44
3.2	Testere Dişi Mikro Geometrisinin Gerilme Analizi	45
3.2.1	DeneySEL Çalışma	45
3.2.2	Gerilme Analizinde Kullanılan Geometrik Model	47
3.2.3	Yük Uygulanması ve Sınır Şartlar	47
3.2.4	Sonlu Eleman Yöntemi Gerilme Analizi Sonuçları.....	49
3.3	Lama Testerelemede Diş Geometrisinin Testere Performansı Üzerine Etkisi	50
3.3.1	Testere Performansı	50
3.3.1.1	Testere Özellikleri	51
3.3.1.2	Testerelemede Talaş Kaldırma	53
3.3.2	Kesici Kenar Yarıçapının Dişin Performansı Üzerine Etkisi.	53
3.3.2.1	Talaş Açısının Etkisi.....	54
3.3.2.2	Boşluk Açısının Etkisi.	54
3.3.3	Hatve Etkisinin İncelenmesi	55
3.3.3.1	Talaş Boşluğu Boyutu ve Geometrisi	57
3.3.4	Sonuçların Tartışılması.....	58
3.3.5	Sonuçlar	59
3.4	Lama Testerelemede Yüksek Hız Çeliği Testere Dişinde Oluşan Mikro Kopmalar.60	
3.4.1	Testere Dişinde Oluşan Küçük Kopmaların Sınıflandırılması.	61
3.4.2	Diş Ucunda Oluşan Küçük Kopmaların Testere Üzerindeki Dağılımı.	62
3.4.3	Kesme Kuvvetleri	64
3.4.4	Dişte Gerilme Analizi	66
3.4.5	Sonuçlar	67
3.5	Lama Testerelemede Diş Ucunda Oluşan Küçük Kopmalar ve Testere Malzemesi Özelliklerinin Etkisi.....	68
3.5.1	Testereleme Testleri.....	68
3.5.2	Eğme Kıрма Testi.....	69

3.5.3	Sertlik Testi.....	70
3.5.4	Mikroyapı ve Karbür Boyutu	71
3.5.5	Diş Ucundaki Küçük Kopmalar ile İlgili Çalışma Sonuçları.	71
3.5.6	SEM ve LOM Çalışmaları	72
3.5.7	Diş Ucunda Oluşan Küçük Kopmaların Mekanizması.....	73
3.5.8	Diş Ucundaki Küçük Kopmalar Üzerine Testere Malzemesinin Etkisi	75
3.6	Çeliğin Şerit Testerelemesinde Diş Ucunda Küçük Kopmalar.	76
3.6.1	Diş Ucundaki Küçük Kopmalar İle İlgili Çalışmalar.	76
3.6.1.1	Diş Ucundaki Küçük Kopmaların Değerlendirilmesi İçin Test Yöntemi	76
3.6.1.2	Şerit Testerelemede Diş Ucunda Oluşan Küçük Kopmalar	77
3.6.1.3	Testere Malzemesi Özelliğinin Etkisi.....	79
3.6.2	Testereleme Kuvvetleri ve Dişteki Gerilmeler	81
3.6.2.1	Testereleme Kuvvetleri.....	81
3.6.2.2	Testere Dişi Gerilmeleri	81
3.6.3	Sonuçlar	82
3.7	İşleme Parametrelerinin ve İş Parçası Şeklinin Şerit Testereleme İşlemi Üzerine Etkisi	83
3.7.1	Hızın Etkisi	84
3.7.2	İlerlemenin Etkisi.....	86
3.7.3	İş Parçası Şeklinin Etkisi	87
4.	LAMA TESTERELEME İŞLEMİNDE TESTERE DİŞLERİNİN KESEN AĞIZLARINDA OLUŞAN KÜÇÜK KOPMALARIN İNCELENMESİ.	90
4.1	Kesici Kenarda Oluşan Küçük Kopmaların Testere Üzerindeki Dağılımları	94
4.2	Kesici Kenarda Oluşan Küçük Kopmalar Üzerine Diş Giriş Çıkışının Etkisi	98
4.3	Kesici Kenardaki Küçük Kopmalar Üzerine Sürenin ve İlerleme Basıncının Etkisi	101
4.4	Sonuçlar	102
	KAYNAKLAR.....	105
	ÖZGEÇMİŞ.....	106

SİMGE LİSTESİ

a	Meyil açısı
A	Deforme olmamış talaş alanı
b	Testere kalınlığı
CDI	Diş ucu küçük kopmaları hasar göstergesi
DR	Hasar dayanımı
F	Serbest yüzey
F_f	Baskı kuvveti
F_v	Kesme kuvveti
\bar{F}_x	+X yönlü kesme kuvveti
f	İlerleme
f_c	Kesme kuvveti
f_m	Baskı kuvveti
f_{im}	Diş başına ortalama baskı kuvveti
k_s	Spesifik kesme basıncı
K_e	Kesme sabiti
K	Kesme sabiti
h_1	Kesme derinliği
h_{1n}	Nominal deforme olmamış talaş kalınlığı
n	Strok sayısı
n	Belirli bir tip için gözlemlenen diş ucu küçük kopmalarının toplam sayısı
n_c	Kümülatif diş ucu küçük kopma sıklık göstergesi
N	Strok sayısı
N	Kesme hızı
p	Hatve (adım)
r_p	Kesici kenar yarıçapı
R_x	Eğilme dayanımı
R	Talaş yüzeyi
S	İlerleme
t_i	Kesme derinliği
v	Kesme hızı
Z	Kesmeye katılan diş sayısı
γ_x	Dönme açısı
δ	Sehim
δ_a	Diş başına ortalama kesme derinliği
σ_1	Asal gerilme
θ	Sıcaklık
γ	Talaş açısı
α	Serbest açı
σ	Normal gerilme
τ	Kayma gerilmesi

KISALTMA LİSTESİ

AISI	American Industrial Standarts
FEM	Finite Elements Method
HRC	Hardness of Rockwell C
HSS	High Speed Steel
HV	Hardness of Vickers
LOM	Ligth Optic Microscopy
SEM	Stereo Electron Microscopy
TPI	Tooth Per Inch
TS	Türk Standartları

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Bir ağızlı lama testerenin kısımları (TS 153).....	8
Şekil 2.2 Türk Standartlarına göre metal kesme için bir ağızlı, delikli lama testere (Makine Testereleri) boyutları (TS 153).....	11
Şekil 2.3 Düz diş geometrisi (a), lama testerelede en çok kullanılan geometridir. Alttan kesim (b), bazen kaba hatveli lamalarda kullanılır (Drozda, 1983).....	12
Şekil 2.4 (a) Ardışık çaprazlama, (b) Aralıklı ardışık çaprazlama, (c) Dalgalandırma (Drozda, 1983).....	13
Şekil 2.5 Çaprazlamaya ait kesit görünüş (TS 153).....	13
Şekil 2.6 Birçok değişik uygulama için kullanılan başlıca şerit testereleme (Drozda, 1983).....	17
Şekil 2.7 Şerit testerele ile ilgili olarak kullanılan terimler (TS 6851).....	18
Şekil 2.8 Bir şerit testerelede genişlik, gövde, adım ve birim uzunluktaki diş sayısı (TS 6851).....	19
Şekil 2.9 Bir şerit testerelede talaş yüzeyi, kesici kenar, diş dibi kavisi, diş sırtı, talaş boşluğu, derinlik ve kama açıları (TS 6851).....	20
Şekil 2.10 Bir şerit testerelede talaş açısı (TS 6851).....	20
Şekil 2.11 Bir şerit testerelede normal veya standart diş (TS 6851).....	21
Şekil 2.12 Bir şerit testerelede seyrek diş (TS 6851).....	21
Şekil 2.13 Bir şerit testerelede kanca diş (TS 6851).....	22
Şekil 2.14 10^0 talaş açılı şerit testerele dişi ile talaş oluşumunu (Drozda, 1983).....	22
Şekil 2.15 Farklı genişlikteki şeritler ile testerelelenebilecek yaklaşık yarıçap ölçüleri (Drozda, 1983).....	25
Şekil 2.16 Çaprazlama ve toplam çaprazlama (TS 6851).....	26
Şekil 2.17 Aralıklı Ardışık Çaprazlama (TS 6851).....	26
Şekil 2.18 Dalgalandırma (TS 6851).....	27
Şekil 2.19 Ardışık Çaprazlama (TS 6851).....	27
Şekil 2.20 Yüksek hız çeliği dairesel testerelelerdeki çıkarılabilen, bilenebilen ve çok kereler değiştirilebilen tekil parçalar (Drozda, 1983).....	31
Şekil 2.21 Yüksek-alçak model olarak da adlandırılan, HSS dairesel testerelelerde yaygın biçimde kullanılan üçlü-talaş diş geometrisi (Drozda, 1983).....	33
Şekil 2.22 Oluşan talaşları kıvrıran ve sürekli dairesel testerelemeye olanak tanımak için onları geçici olarak depolayan talaş boşlukları (Drozda, 1983).....	34
Şekil 2.23 Hassas sac testerelelerinde kullanılan karbür uçlu dişler (Drozda, 1983).....	35
Şekil 2.24 Yüksek hız çeliği dairesel testereleler için geometrik parametreler. Tablodan kesilecek malzeme ya da şekil için talaş açısı R ve boşluk açısı C seçilir. Malzeme ya da şekil grup numarası kullanılarak, grafikten uygun hatve seçilir (Drozda, 1983).....	36
Şekil 3.1 Deneylerde kullanılan testere geometrisi (Ko, Kim, 1998).....	37
Şekil 3.2 Şerit testerelemenin kesme mekanizması (a) şerit testere kesme mekanizması; (b) testere dişinin gerçek kesme alanı (Ko, Kim, 1998).....	38
Şekil 3.3 Kesici kenardaki kuvvetler (Ko, Kim, 1998).....	39
Şekil 3.4 Sola eğik testere dişi (Ko, Kim, 1998).....	40
Şekil 3.5 Düz testere dişi (Ko, Kim, 1998).....	41
Şekil 3.6 Sağa eğik testere dişi (Ko, Kim, 1998).....	41
Şekil 3.7 Deneysel kurulum (Ko, Kim, 1998).....	42
Şekil 3.8 Spesifik kesme kuvvetinin hesaplanması (Ko, Kim, 1998).....	43
Şekil 3.9 Tek kesen ağızlı takımla kesmede ölçülen ve tahmin edilen kesme kuvvetleri (kesme hızı:30m/dak., ilerleme: 84mm/dak.) (Ko, Kim, 1998).....	44
Şekil 3.10 Çok kesen ağızlı takımla kesmede ölçülen ve tahmin edilen kesme kuvvetleri (kesme hızı: 48m/dak., ilerleme: 189mm/dak.) (Ko, Kim, 1998).....	45
Şekil 3.11 Deneyler için geliştirilmiş ölçme donanımı. (a) İki parçadan oluşan iş parçası. (b)	

Deneysel kurulum (Andersson, 2001).....	46
Şekil 3.12 İşleme esnasında iki farklı takım geometrisi için kaydedilen tekil kesme kuvvetleri (Andersson, 2001).	46
Şekil 3.13 Sonlu elemanlar yöntemi analizinde kullanılan geometrik modeller (Andersson, 2001).....	47
Şekil 3.14 Yük uygulanması: (a) keskin kesici kenar için, (b) yuvarlatılmış kesici kenar için (Andersson, 2001).	48
Şekil 3.15 Talaş yüzeyindeki temas bölgesi yakınında σ_1 asal gerilme değişimi, $r_\beta=15 \mu m$ ve $h_{1n}=17 \mu m$ (Andersson, 2001).	49
Şekil 3.16 (a) Kesici kenar yarıçapının, (b) deforme olmamış talaş kalınlığının bir fonksiyonu olarak en yüksek asal gerilmeler (Andersson, 2001).....	50
Şekil 3.17 Farklı hatveli testere için birim testere kalınlığında diş başına ortalama baskı kuvvetine karşılık, diş başına ortalama kesme derinliği grafiği (Sarwar, 1984). ...	51
Şekil 3.18 İş parçası ile temasta olan diş sayısı ile ters orantılı olan kesme sabiti grafiği (Sarwar, 1984).	52
Şekil 3.19 Lama testere dişinin kesici kenar geometrisi (Sarwar, 1984).	52
Şekil 3.20 Büyük negatif talaş açısının testere dişinin kesme davranışı üzerine etkisi (Sarwar, 1984).....	53
Şekil 3.21 Kesici kenar yarıçapının takım performansı üzerine etkisi (Sarwar, 1984).....	54
Şekil 3.22 Talaş açısının takım performansı üzerine etkisi (Sarwar, 1984).....	55
Şekil 3.23 Standart ve üzerinde değişiklik yapılmış inçteki diş sayısı dört olan iki testerenin performans mukayesesi (Sarwar, 1984).	56
Şekil 3.24 Standart ve üzerinde değişiklik yapılmış testere performans mukayesesi (Sarwar, 1984).	56
Şekil 3.25 Yeni ve üzerinde değişiklik yapılmış farklı hatveli testere performans mukayesesi (Sarwar, 1984).....	57
Şekil 3.26 Lama testerelemedeki değişik durumlar için talaş boşluğunda talaş oluşumunu gösteren şematik resimler (Sarwar, 1984).	58
Şekil 3.27 Testere hatvesinin sınır kesme uzunluğu üzerine etkisi (Sarwar, 1984).	59
Şekil 3.28 Lama testerelemede diş ucunda oluşan küçük kopma tipleri (Chandrasekaran, 1984).....	61
Şekil 3.29 M2 yüksek hız çeliğinden beş testerele bir parti için östenitik paslanmaz çeliğin testerelemede tip I kopmalarının testere boyunca dağılımı (ok testereleme yönünü gösterir); N=50 strok/dk.; ilerleme S=0,27mm/strok (Chandrasekaran, 1984).....	62
Şekil 3.30 Dört farklı strok sayısı (n) için diş ucu küçük kopmalarının (Tip I) testere boyunca dağılımı ; N=50strok/dak.; İlerleme S=0.27mm/strok (Chandrasekaran, 1984).....	63
Şekil 3.31 Dört farklı strok sayısı (n) için diş ucu küçük kopmalarının (Tip II) testere boyunca dağılımı ; N=50strok/dak.; İlerleme S=0.27mm/strok(Chandrasekaran, 1984).....	63
Şekil 3.32 Üç ilerleme değeri (S) için diş ucundaki küçük kopma miktarının strok sayısı (n) ile değişimi; N=50 strok/dak (Chandrasekaran, 1984).....	64
Şekil 3.33 Üç testereleme hızı (N) için diş ucundaki küçük kopma miktarının strok sayısı (n) ile değişimi; ilerleme=0.27mm/strok (Chandrasekaran, 1984).	64
Şekil 3.34 Östenitik paslanmaz çeliğin M2 HSS lama testere ile kesilmesinde, bir strok boyunca testereleme kuvvetlerinin (kesme F_v ve baskı F_f) değişimi; N=50 strok/dak (Chandrasekaran, 1984)	65
Şekil 3.35 Östenitik paslanmaz çeliğin M2 HSS testere ile lama testerelemede bir strok	

boyunca testereleme kuvvetlerinin (kesme F_v ve baskı F_f) değişimi; ilerleme $S=0.27\text{mm/strok}$ (Chandrasekaran, 1984).....	65
Şekil 3.36 Sürekli kesme esnasında testere dişinde oluşan asal gerilmeler (Chandrasekaran, 1984).....	66
Şekil 3.37 Sürekli kesme esnasında testere diş ucunda oluşan asal gerilmeler (Chandrasekaran, 1984).....	67
Şekil 3.38 Eğilme dayanımı (R_x), sehim (δ), Sıcaklık (θ °C). a) M2 HSS; 1-1190-2x560 °C; 2-1200-2x550 °C; 3- 1200-2x590 °C. b) B HSS; 1-1150-2x570 °C; 2-1210-2x570 °C (Chandrasekaran, 1987).....	70
Şekil 3.39 Vickers sertliği (HV), Sıcaklık (θ °C). a) M2 HSS; 1-1190-2x560 °C; 2-1200-2x550 °C; 3- 1200-2x590 °C. b) B HSS; 1-1150-2x570 °C; 2-1210-2x570 °C (Chandrasekaran, 1987).....	70
Şekil 3.40 Yüksek hız çeliğinin mikro yapısı (x1000), (Chandrasekaran, 1987).....	71
Şekil 3.41 Diş ucundaki küçük kopmalara testereleme hızının (N stroke/dak.) etkisi. $S=0.27\text{mm/stroke}$; M2-1190-2x560 °C; B-1150-2x570 °C; a) tip I; b) tip II (Chandrasekaran, 1987).....	71
Şekil 3.42 Isıl işlemin diş ucundaki küçük kopmalar üzerine etkisi; $N=50$; $S=0.27$; $1=M2-1200-2x550$ °C; $2=M2-1200-2x590$ °C; $3=B-1210-2x570$ °C; $4=B-1150-2x570$ °C; a) tip I; b) tip II (Chandrasekaran, 1987).	72
Şekil 3.43 a) B yüksek hız çeliği malzemesinde (1150-2x570 °C) tipik bir tip II diş ucu kopması (SEM); $N=50$; $S=0.27$; $n=100$ stroke. b) Kopma bölgesindeki birincil karbürleri gösteren büyütülmüş görünüş (SEM); R-talaş yüzeyi; F-serbest yüzey (Chandrasekaran, 1987).....	72
Şekil 3.44 Testere dişinin kesit görünüşü (LOM); B HSS 1210-2x570 °C; $N=36$; $S=0.27$; $n=100$; Tip III 'ün kalıntı çatlakları görülmektedir (Chandrasekaran, 1987).	73
Şekil 3.45 a) M2 yüksek hız çeliği malzemede diş ucunda oluşan küçük kopmalar (SEM); b) a)'nın detay görüntüsü; c) termal çatlakların oluşturduğu ağı gösteren b)'nin detay görüntüsü (Chandrasekaran, 1987).....	73
Şekil 3.46 Testere strokunun farklı kademelerine ait diş gerilmelerinin şematik görünüşü; A-giriş; B-sürekli kesme; C-diş çıkışı; D-dönüş stroku (Chandrasekaran, 1987)..	74
Şekil 3.47 Talaş yüzeyi (a) ve serbest yüzey (b) boyunca oluşan çatlaklar; ve diş ucunda oluşabilecek küçük kopma türleri (Chandrasekaran, 1987).	74
Şekil 3.48 M2 ve B yüksek hız çeliği malzemeleri için yüksek sıcaklık testlerinden elde edilen sertlik (HV) ve eğilme dayanımı (R_x) arasındaki ilişki (Chandrasekaran, 1987). 76	
Şekil 3.49 SS2541 çeliğin testerelemesinde tip II kırılmalara karşı dayanım (DR_{II}) üzerine testereleme koşullarının etkisi; a) $V_1=20$ ve $V_2=35\text{m/dak}$. b) $S_1=6$ ve $S_2=10\mu\text{m/diş/geçiş}$ c) testereleme oranının etkisi (Chandrasekaran, 1987).	78
Şekil 3.50 Aynı testere dişinin (sağa çaprazlanmış) kenar çiziklerini (a), 10 diş geçişinden (b) ve 40 diş geçişinden (c) sonraki küçük kopmaları gösteren tipik görüntüsü (SEM) (Chandrasekaran, 1987).....	79
Şekil 3.51 HSS M42 diş malzemesi ile SS2541 çeliğinin şerit testerelemesinde diş malzemesi sertliğinin (HV1), tip II (DR_{II}) ve diğer iki tip (DR_{I+III}) küçük kopmalara karşı dayanım üzerine etkisi (Chandrasekaran, 1987).....	80
Şekil 3.52 HSS M42 diş malzemesi ile SS2541 çeliğinin şerit testerelemesinde toplam birincil karbür içeriğinin DR_{II} , DR_{I+III} ve genel kopma dayanımı (DR) üzerine etkisi (Chandrasekaran, 1987).	80
Şekil 3.53 M42 HSS malzemesi içindeki büyük karbürlerin tip II kopmalarına karşı dayanım	

(DR _{II}) ve tip I ve tip III kopmalarının toplamına karşı dayanım (DR _{I+III}) üzerine etkisi (Chandrasekaran, 1987).	81
Şekil 3.54 Testere dışında talaş yüzeyi gerilmelerinin (normal σ ve kayma τ) ve serbest yüzeyi gerilmelerinin (normal σ_f ve kayma τ_f) dağılımı (Chandrasekaran, 1987).	82
Şekil 3.55 Düzlem gerilme FEM analizinden elde edilen testere dışının talaş ve serbest yüzeyi boyunca asal gerilme σ_1 dağılımı (Chandrasekaran, 1987).	82
Şekil 3.56 FEM analizinden elde edilen testere dışındaki şekil değişimi (Chandrasekaran, 1987).	82
Şekil 3.57 Değişen hatve boyutu (Ahmad, 1988).	83
Şekil 3.58 <i>Milford Products Corp.</i> tarafından geliştirilen testerede, hem değişken hatve kullanılmış hem de toplam çaprazlama aynı kalırken her bir dişe farklı açılarda çaprazlama uygulanmıştır (Schuch, 1986).	84
Şekil 3.59 Şerit hızının baskı kuvveti üzerine etkisi (Ahmad, 1988).	84
Şekil 3.60 Şerit hızının kesme kuvveti üzerine etkisi (Ahmad, 1988).	85
Şekil 3.61 Hızın etkisi (Ahmad, 1988).	85
Şekil 3.62 İlerlemenin etkisi (Ahmad, 1988).	86
Şekil 3.63 İş parçası genişliğinin etkisi (4/6 hatve kombinasyonu için), (Ahmad, 1988).	87
Şekil 3.64 İş parçası genişliğinin etkisi (3/4 hatve kombinasyonu için), (Ahmad, 1988).	88
Şekil 3.65 Teorik ve gerçek kuvvet değişimi (Ahmad, 1988).	89
Şekil 4.1 Deneyde kullanılan lama testere tezgahı.	90
Şekil 4.2 Lama testere tezgahının testere bağlama konstrüksiyonu.	91
Şekil 4.3 Hiç kullanılmamış bir lama testeredeki kötü şekillendirilmiş diş profilleri (10x).	92
Şekil 4.4 Testere dışında Tip I kopma oluşumuna örnek (10x).	93
Şekil 4.5 Aynı diş üzerinde birden fazla Tip I kopma oluşumuna örnek (10x).	93
Şekil 4.6 Testere dışında Tip II kopma oluşumuna örnek (10x).	94
Şekil 4.7 Kesici kenarda oluşan küçük kopmaların (Tip I) testere üzerindeki dağılımları (100 strok için).	95
Şekil 4.8 Kesici kenarda oluşan küçük kopmaların (Tip II) testere üzerindeki dağılımları (100 strok için).	96
Şekil 4.9 Lama testerede aşınmanın fazla olduğu yan yüzey.	97
Şekil 4.10 Lama testerede aşınmanın az olduğu yan yüzey.	97
Şekil 4.11 Lama testerede tezgah hatasından kaynaklanan, enine kesitte testerenin şeklinde meydana gelen değişme.	98
Şekil 4.12 Hangi dişin kaç kez giriş ve çıkış yaptığını tespit etmede kullanılan AutoCAD çizimi.	99
Şekil 4.13 Testere üzerinde kesmeye katılan dişlerin iş parçası içine giriş yapma sayılarını gösteren grafik.	99
Şekil 4.14 Testere üzerinde kesmeye katılan dişlerin iş parçası içinden çıkış yapma sayılarını gösteren grafik.	100
Şekil 4.15 Testere üzerinde kesmeye katılan dişlerin iş parçası içine giriş ve çıkış yapma sayıları toplamını gösteren grafik.	100
Şekil 4.16 Farklı ilerleme basınç değerleri için küçük kopmaların (tip I) sayısının süreyle olan değişimi.	101
Şekil 4.17 Farklı ilerleme basınç değerleri için küçük kopmaların (tip II) sayısının süreyle olan değişimi.	102
Şekil 4.18 Kesici kenardaki küçük kopmaların (Tip I) testere üzerindeki dağılımları ile diş giriş çıkış etkisinin aynı grafikte gösterilmesi.	103
Şekil 4.19 Kesici kenardaki küçük kopmaların (Tip II) testere üzerindeki dağılımları ile diş giriş çıkış etkisinin aynı grafikte gösterilmesi.	104

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2 .1 Testere İmalinde Kullanılan Çelik Malzeme (TS153/4).	9
Çizelge 2.2 Türk Standartları TS 153/4'e göre lama testere boyutları.	11
Çizelge 2.3 Farklı kalınlıktaki malzemeleri testerelemede kullanılabilcek şerit hatveleri için genel tavsiyeler (DoALL Co.).	25
Çizelge 3.1 Farklı takım geometrileri ve nominal talaş kalınlığı h_{1n} için şerit testere deneylerinde gözlemlenen en büyük ve en küçük ortalama kesme kuvvetleri(Andersson, 2001)	48
Çizelge 3.2 Mikro geometri $r_{\beta}=15 \mu m$ için modellenen deforme olmamış talaş kalınlığı ve uygulanan kuvvetler (Andersson, 2001).	48
Çizelge 3.3 Deneylerde kullanılan malzeme özellikleri (Chandrasekaran, 1984).	60
Çizelge 3.4 Deneylerde kullanılan parametreler (Chandrasekaran, 1984).	61
Çizelge 3.5 Malzeme bileşimi (Chandrasekaran, 1987).	68
Çizelge 3.6 Testereleme testleri için kesme koşulları (Chandrasekaran, 1987).	69
Çizelge 3.7 Testereleme testleri için kesme koşulları (Chandrasekaran, 1987).	69
Çizelge 3.8 Testere malzemesi ve ısıt işlemin lama testerelemede dış ucundaki küçük kopmalar üzerine etkisi. İş parçası: östenitik paslanmaz çelik SS 2343. Referans hız: 51 strok/dak.; ilerleme: 0.27mm/strok (Chandrasekaran, 1987).	75
Çizelge 3.9 Testereleme çalışmalarında kullanılan iş parçası malzemelerin nominal kimyasal bileşimleri (Chandrasekaran, 1987).	77

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın hazırlanmasında bana yardımcı olan başta değerli hocam Sayın Prof. Dr. Erhan Altan'a, Makine Takım Endüstrisi A.Ş.'den Sayın Hüseyin Dok ve Mak. Müh. Serap Sözer'e katkılarından dolayı teşekkür ederim.

ÖZET

Çeliğin yüksek hız çeliği testerelemler ile lama testerelemlerinde dişlerin kesen ağızlarında oluşan küçük kopmalar genellikle temel aşınma mekanizması olarak kabul edilirler. Bu olayı incelemek amacıyla lama testere tezgahında yüksek hız çeliği testerelemler ve çelik iş parçası kullanılarak kesme testleri yapıldı. Küçük kopmaların oluşumu, türleri ve testere üzerindeki dağılımları mikroskop kullanılarak incelendi. İlerlemenin, sürenin (strok sayısı) ve testere giriş ve çıkışının diş kesici kenarında oluşan küçük kopmalar üzerine etkileri araştırıldı.

Deneylemler ve mikroskopla yapılan incelemeler sonucunda dişlerin kesen ağızlarında küçük kopmaların iki tipi görüldü (tipI ve tipII). Yapılan çalışma dişlerin kesen ağızlarında oluşan küçük kopmaların miktarının testere ilerlemesi, süre ve testere giriş ve çıkışından etkilendiğini ortaya koydu.

Anahtar Kelimeler: Takım kesen ağızında küçük kopmalar, lama testereleme, yüksek hız çeliği.

ABSTRACT

The phenomenon of the tooth chipping during the power hack sawing of steel with high speed steel saw blades is often reported as the main wear controlling mechanism. To investigate this, sawing tests were carried out in a power hack sawing machine using high speed steel saws and steel work material. The occurrence of chipping, their types and their position on the saw blade were studied using light optic microscopy. The influence of saw feed, duration (number of strokes) and saw entry and exit upon chipping was investigated.

After sawing tests and microscopy investigation two types of chippings were seen (type I and type II). The study indicated that the extent of chipping was affected by the saw feed, duration and saw entry and exit.

Keywords: Chipping, power hack sawing, high speed steel.

1. GİRİŞ

Testereleme, çeşitli malzemeleri kesmek için üzerlerinde küçük dişler bulunan lama, şerit ya da dairesel kesici takımların kullanıldığı bir işleme yöntemidir. Pratikte her imalat firması tel, şekillendirilmiş çubuklar, kutu profiller, borular, ekstrüzyon ürünleri, levhalar, saclar, döküm ya da dövme parçalar kullanır. Bu malzemelerin genellikle bir sonraki işleme, presleme ya da montaj işlemleri için gerekli olan boylarda kesilmeleri gerekir. Her ne kadar farklı kesme yöntemleri olsa da lama testereleme, şerit testereleme ve dairesel testereleme en yaygın biçimde kullanılan yöntemlerdir.

Lama testereleme daha çok uzun ve yuvarlak mamullerin kesilmesinde kullanılan ekonomik ve kolay kullanılabilen bir yöntemdir. Bir ürünün imalat aşamaları göz önünde bulundurulduğunda lama testereleme işlemi genellikle başlangıç kademelerinde yer alır. Bu kesme yönteminin performansı değerlendirilirken kesme hızı, yapılan kesimin düzgünlüğü ve kalitesi gibi faktörler dikkate alınır. Sayılan bu faktörlerin hepsi testere dişi aşınması tarafından kontrol edilirler. Birçok araştırmacı özellikle çelik malzemeler kesildiğinde diş aşınması üzerine etki eden en önemli olayın dişlerin kesen ağızlarında oluşan küçük kopmalar olduğunu ortaya koymuştur. Bu küçük kopmalar yüksek hız çeliği takımların kullanıldığı frezeleme yönteminde de ortaya çıkan bir durumdur. Bu nedenle yüksek hız çeliği testere dişlerinin kesen ağızlarında küçük kopma oluşumu ve bu olay üzerine testereleme parametrelerinin etkisinin incelenmesi bu çalışmanın konusu olmuştur.

1.1 Testereleme Yöntemi Seçimi

Bir testereleme yöntemi tek başına tüm kesme işlemleri için uygun olmayabilir ve belirli uygulamalar için lama testereleme, şerit testereleme ya da dairesel testereleme arasından doğru bir seçim yapmak gerekebilir. Her bir testereleme yönteminin kendine özgü avantaj ve dezavantajları vardır. Testereleme yöntemi seçiminde göz önünde bulundurulması gereken faktörler; parçanın boyutu, testerelenecek malzeme özellikleri; hassasiyet, yüzey kalitesi, üretim gereksinimleri; ve yöntemin ekonomikliği şeklinde sıralanabilir.

1.1.1 Testerelenecek Parça Boyutu

Testerelenecek parçanın hem boyutu hem de geometrisi önemle göz önünde bulundurulmalıdır, çünkü bunlar tezgah kapasitesini belirler ve kullanılacak testere tezgahı tipini etkilerler. Büyük kesitli parçalar yatay şerit testerelemler ile daha ekonomik bir biçimde kesilebilmektedir. Mevcut yatay şerit testerelemlerin kapasitesi kesilecek yuvarlak çubuklar için

1575mm çap ve dört köşe parçalar için 1575x1829mm' dir. Dairesel testerelerin de büyük kapasitelere sahip olanları vardır. Bilinen en büyük dairesel testere tezgahı 2743mm testere çapına sahiptir ve 1041mm'ye kadar kalınlıkları kesebilmektedir (Drozda, 1983).

1.1.2 Testerelenecek Malzeme

Testerelenecek malzemenin fiziksel özellikleri kullanılan takımlar, ilerleme değerleri ve hızlar ile gerekli testere tezgah kapasitesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir; malzeme özelliklerinin tezgah türü üzerine etkisi genelde çok azdır. Genelde testerelenecek malzemenin işlenebilirliğindeki bir azalma buna karşılık kesme hızında bir azalma gerektirir ve gerekli gücün ve kesme maliyetlerinin artmasını zorunlu kılabilir.

Sertlik, süneklik, mikroyapı ve diğer malzeme özellikleri işlenebilirliği etkilerler. Testereleme için en uygun malzeme sertlik aralığı 180-220 Brinell'dir, fakat 400 Brinell'e kadar çelikler ve 450 Brinell'e kadar bazı kolay işlenir çelikler azaltılmış kesme oranları ile testerelenebilirler.

Dövülmüş ve sıcak haddelenmiş çelikleri testerelemek soğuk işlenmiş çeliklerden daha zordur. Özellikle düşük karbon ve düşük alaşımlı çeliklerde soğuk işleme yüzey sertliğini artırır, çünkü süneklik azaltılmıştır. Çeliğin karbon içeriği %0.35'i aştığında malzemenin aşındırıcılığı sebebiyle çoğu zaman hızlı takım aşınması ile karşılaşılır. Yüksek karbonlu ya da düşük sünekliğe sahip alaşımlı çeliklerin soğuk işlenmesi sertliği, kesme oranları ve takım ömrünü olumsuz yönde etkileyecek seviyeye kadar artırabilir.

Malzemenin kesme dayanımı da tezgah için güç gereksinimlerini etkiler. Düşük kesme dayanımları ile güç gereksinimleri azalır ve ince talaşlar üretilir. Sert pirinç ve dökme demir gibi düşük kesme dayanımı ve sünekliğe sahip olan metaller genellikle süreksiz pul biçiminde talaşlar üretirler ve talaş kaldırma için minimum miktarda enerji gerektirirler. Kesme dayanımı fazla olan malzemelerin kesilmesinde daha kalın talaşlar oluşur ve aynı kesme derinliği için daha çok enerji gerekir. Ayrıca kesme işlemi daha fazla ısı üretir ve sonuçta dişler daha çabuk aşınır. Bazı paslanmaz ve yüksek manganlı çelikler gibi pekleşmeye meyilli olan metallerin sürtünmesiz pozitif kesilmesini garanti etmek için yüksek ilerleme basıncı ve düşük hızlar gerekir.

Pratik olarak her malzeme değişik kesme hızları, takım ömrü, hassasiyet, yüzey kalitesi ve üretim gereksinimleri ile lama, şerit veya dairesel testerelemler ile kesilebilir. Genelde, lama testereleme demir dışı metallerin seri üretimi için diğer iki yöntem kadar uygun değildir.

1.1.3 Hassasiyet, Yüzey Kalitesi ve Üretim Gereksinimleri

Testereleme yöntemi ve tezgah seçimini hassasiyet, yüzey kalitesi ve üretim gereksinimleri de etkiler. Özellikle demir dışı metallerde boyutsal toleransların genellikle en iyi korunabildiği ve en düzgün yüzeylerin elde edildiği yöntem dairesel testerelemedir. Bununla birlikte parametrelerin doğru seçimi ve dikkatli çalışma ile lama ve şerit testereleme ile de iyi sonuçlar elde edilebilir.

Yüksek üretim kapasiteleri çoğu zaman otomasyon aygıtları ile donatılmış daha rijit ve maliyetli tezgahların kullanımını gerektirir. Lama ve şerit testerelemenin tezgah maliyetleri daha düşüktür, daha fazla serbestliğe sahiptirler, ayrıca kesilecek parça boyutları ile şekillerinin çok fazla değiştiği ve üretim miktarlarının küçük olduğu durumlarda önemli avantajlara sahiptirler. Bazı şerit testere tezgahlarında çevre kesme, sürtünme testereleme ve eğeleme işlemleri de yapılabilmektedir. Sürtünme testereleme yöntemi bazı dairesel testere tezgahlarında da yapılabilmektedir.

1.1.4 Testereleme Ekonomisi

En fazla ekonomiklik (belirlenen imalat gereksinimleri ile ölçüsel, yüzeysel ve metalujik kaliteyi sağlayabilen parça başına en düşük maliyet) testereleme yöntemi seçiminde göz önünde bulundurulacak en önemli konudur. Çoğu durumda, kesim başına maliyet testereleme hızlarının artırılması ile azaltılabilir: bununla birlikte kesme hızına ek olarak toplam maliyetleri etkileyen birkaç faktör daha vardır.

1.1.4.1 Tezgah Maliyeti

Kullanılacak testere tezgahının ilk yatırım, çalışma ve bakım maliyetleri önemli konulardır. Daha büyük, rijit ve yüksek maliyetli tezgahlar genellikle üretim ve kalite gereksinimlerini yerine getirmek için gereklidirler. Dar toleranslı ve yüksek kaliteli bir üretim, kesilen yüzeyler için ikinci bir işlem ihtiyacını ortadan kaldırır ya da en aza indirir. Testere tezgahının özellikleri işin gerektirdikleri ile uyumlu olmalıdır. Basit uygulamalar için pahalı ve daha karmaşık bir tezgahın satın alınması ekonomik olmaz.

1.1.4.2 Takım Giderleri

Testere ya da şeridin ilk maliyeti genelde en önemsiz etken iken, uygulanabilir kesme oranları, bilenme kabiliyetleri ve takım ömrü önemli hususlardır. Bu faktörler testereleme yöntemine ve kesilecek malzemeye bağlı olarak çok fazla değişebilirler. Daha pahalı bir testere çoğu zaman daha uzun ömürlüdür, böylelikle takım değiştirme sıklığı ve işçilik

giderleri (kesim giderlerini etkileyen tekil en önemli faktör) azalır.

Öte yandan uzun takım ömrü kendi içinde daha düşük kesim maliyeti anlamına gelmez. Testereler, genellikle kesme hızları ve ilerleme miktarları açısından kapasitelerinin son noktasına kadar takım ömrüne aldırış edilmeksizin kullanılmalıdırlar. Yüksek kesme hızları daha çok ekonomi sağlar, çünkü takım giderlerini çok az miktarda arttırırken kesme giderlerini etkili bir şekilde azaltırlar.

1.1.4.3 Malzeme Kullanımı ve Diğer Maliyet Faktörleri

Kesme genişliğinde talaş biçiminde ve/veya ıskarta şeklinde oluşan malzeme sarfiyatının miktarı, özellikle artan malzeme maliyetleri ile pahalı malzemeler testerelediğinde, maliyet açısından önemli bir husus olabilir. İnce kesici takım şeritler kullanan şerit testere tezgahları en küçük kesim genişliğini oluştururlar. Lama testere tezgahları için daha kalın kesici takımlar gerekir ve dairesel testere tezgahları genelde üç testereleme yöntemi içinde en kalın kesici takımlara ihtiyaç duyanlarıdır.

Öte yandan ham madde kayıpları, verimlilikteki olası artışlara ve üretilen parçalardaki kalite ve hassasiyet artışına karşı dengelenmelidir. Gerekli hassasiyet ve kaliteyi elde etmek için ikincil işlemlere olan ihtiyacın ortadan kaldırılması testerelemedeki malzeme kaybı artışını dengeleyebilir.

Herhangi bir incelemede göz önünde bulundurulması gereken diğer faktörler işçilik ve genel giderleri içerir. Genel giderler, işçilik maliyetindeki ve vergi oranlarındaki bir yükselme ile arttığında işçilik giderleri, daha yüksek testereleme oranları, azaltılmış çalışmama süresi ve otomasyon cihazlarının kullanımının arttırılması ile azaltılabilir. Tam otomatik tezgahlar operatörün diğer işlemleri yapmasına imkan tanırırlar, böylelikle doğrudan işçilik giderleri azalır.

2. TESTERELEME YÖNTEMLERİ

2.1 Lama Testereleme

Lama testereleme, oldukça kısa, düz ve üzerinde dişler bulunan bir kesici takımın, el demir testeresinde olduğu gibi iş parçası üzerinde geriye ve öne doğru çekilmesi ile oluşan gel-git hareketi ile tanımlanır. Diğer testereleme yöntemlerinden, kesici takımın ileri geri hareketinin sürekli olmayan bir kesme yapmasından dolayı farklılık gösterir. Lama testere ilk malzeme kesme tezgahıdır. Günümüzde modern ağır iş tezgahları değişik tür ve boyuttaki malzemelerin ekonomik ve verimli bir şekilde testerelemesini sağlamaktadırlar. Bu tezgahlar yaygın bir şekilde üretim kapasitelerinin az olduğu küçük atölyelerde kullanılırlar.

2.1.1 Avantajlar

Lama testerelemenin en önemli avantajı oldukça düşük bir sermaye yatırımı gerektirmesidir. Tek başına tezgah maliyeti düşüktür. Bununla birlikte parça iticiler, otomatik kontroller ve diğer aksesuarlar ve ilaveler maliyeti arttırabilir.

Lama testereleme tezgahlarının kurulumu ve kullanımı kolaydır. Tecrübesiz ya da az tecrübeli bir işçi tezgahta görevlendirilebilir ve bir operatör çoğu kez iki ya da daha çok makineye bakabilir. Takım maliyetleri düşüktür ve genelde kullanılan ince lamalar aşındıklarında bilenmeleri yerine atılmalarını mümkün kılacak kadar ucuzdurlar. Bakım maliyetleri de düşüktür çünkü tezgahların tasarımı ve çalışması basittir.

Çok yönlü olma, lama testerelemenin diğer önemli bir üstünlüğüdür. Tezgahlar pratik olarak tüm malzemeleri, kapasiteleri içindeki geniş bir aralıkta parça büyüklüklerini ve herhangi bir kesme uzunluğunu içeren tüm kesme gereksinimlerini kullanabilirler. Lama testereleme, kalın kesitli büyük parçaları kesmede özellikle kesilecek malzemelerin işlenmesinin biraz zor olduğu durumlarda çoğu kez şerit testerelemeden daha kullanışlı ve ekonomiktir.

Lama testerelemede işleme hassasiyeti ve kalitesi, testerelenen malzemeye bağlı olarak değişir. Lama testerelemin bükülmeye ya da eğilmeye olan eğilimleri minimumdur. Lama testere tezgahları sert malzemelerde oldukça iyi kesimler sağlayabildiklerinden, çoğu kez dayanıklı dövme parçalar, sertleştirilmiş takım çelikleri ve benzer malzemeleri kesme için tercih edilirler.

2.1.2 Sınırlamalar

Lama testereleme tezgahlarının başlıca dezavantajı şerit ve dairesel testereleme tezgahlarından daha yavaş çalışmalarıdır. Kesme hareketi sürekli değildir ve her bir gel-git hareketinin sadece yarısı üretkendir. Kesmenin olmadığı dönüş stroku esnasında geçen süre modern tezgahlarda kısaltılmıştır. Yarı mamullerin çoklu kesme için balyalanması da verimliliği artırır.

Lama testerelemedeki gel-git hareketi, testere desteklerinin kesme bölgesine yakın kullanımını engeller. Bu, testerenin eğilmesine ve bazı hatalara neden olabilir. Bu sebeple lamalar, şerit testereleme tezgahlarında kullanılan şeritlerden daha kalın yapırlar, bu yüzden daha fazla güç gerekir ve daha fazla talaş oluşur. Lama testerelemede kesim genişliği dairesel testerelemedekinden daha azdır. Yaygın olarak kullanılan lamalarda genişlik 2.34-4.65mm arasında değişir. Lama testereleme aslında bir kaba işlemdir ve kesilen yüzeylerde en azından 0.05mm son işlem için pay bırakılmalıdır.

Lama testerelemede aşınma eşit değildir çünkü lamayı tutan kollar lamanın uçlarının kullanımını engellediğinden yalnızca lamanın bir bölümü kesme işlemi için kullanılır. Ayrıca her bir strok sonunda lama hareketinin durdurulması ve yönünün değiştirilmesi zorunluluğu kesme hızının değişmesine neden olur, bu nedenle verimlilik azalır.

2.1.3 Lama Testereler

Aşağıda metal kesmek için kullanılan lama testereler ile ilgili çeşitli tanımlar yer almaktadır.

Lama Testere: Enine kesiti dikdörtgen olan, iki başında bağlama deliği veya bağlama pimi bulunan, uzunlamasına bir veya iki kenarı boyunca dış açılmış testeredir.

Bir Ağızlı Lama Testere: Yalnız bir kenarına dış açılmış testeredir.

İki Ağızlı Lama Testere: Karşılıklı iki kenarına da dış açılmış testeredir.

Sertleştirilmiş Lama Testere: Lama uçlarından delik merkezlerine kadar olan mesafelerin uçlardan itibaren iki katı kadar olan kısımları dışında her tarafı sertleştirilmiş testeredir.

Esnek Lama Testere: Dişli kenarı sertleştirilmiş diğer kısımları sertleştirilmemiş testeredir.

Düşük Alaşım Esnek Lama Testere: Testerenin özelliklerini geliştirmek üzere yeterli alaşım elemanları ilave edilmiş yüksek karbonlu çelikten yapılmış lama testeredir.

İki Metalli (Bimetal) Lama Testere: Ağız kısmı sertleştirilmiş yüksek hız çeliği, diğer

kısımları yay çeliği olan testeredir.

Dağılmaz Lama Testere: Çalışma esnasında kırılmayan, kırıldığında ikiden fazla parçaya ayrılmayan lama testeredir.

Minyatür Testere: Yalnız bir kenarına diş açılmış, uzunluğu 146 mm olan esnek testeredir.

2.1.3.1 Sınıflandırma

Lama testereler malzeme ve ısıl işlem durumuna, kullanılış tarzına, ağız ve bağlama durumuna göre çeşitli şekillerde sınıflandırılırlar. Bunlar aşağıda sıralanmıştır.

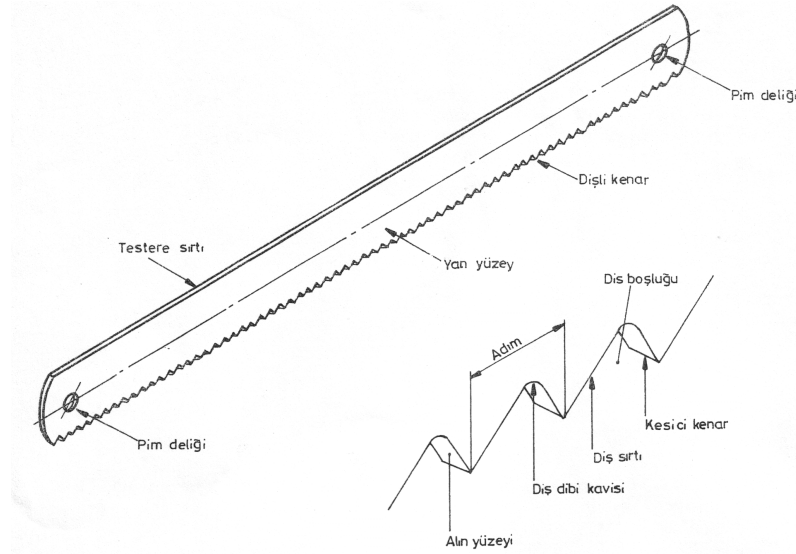
- Lama testereler, malzeme ve ısıl işlem durumuna göre;
 - Yüksek hız çeliği sertleştirilmiş
 - Yüksek hız çeliği esnek
 - Düşük alaşımlı esnek
 - İki metalli (bimetal)
 - Dağılmaz
 - Minyatür testere
- Kullanılış tarzına göre;
 - El testereleri,
 - Makine testereleri
- Ağız durumuna göre;
 - Bir ağızlı
 - İki ağızlı
- Bağlama durumuna göre;
 - Delikli
 - Pimli

Lama testereler çeşitli malzemelerden, değişik boyut ve hatvede ve farklı diş geometrileri ile üretilirler. Belirli bir uygulama için en iyi testereyi seçmek testere olacak kesit alan ve malzeme sertliği, kesme hızı, testere dayanımı, diş geometrisi ve gerginlik gibi bir çok faktöre bağlıdır. Pratikte tüm testereler, testerenin hemen hemen tüm uzunluğu boyunca yayılmış dişlerden oluşan yalnızca bir kesme kenarına sahiptirler. Pim deliği ya da delikleri, testereyi tezgah kolu ya da testere çerçevesine pimler vasıtasıyla sabitlemek amacı ile lamanın her bir ucuna yakın yerleştirilmişlerdir.

Genellikle ayar somunları ile yapılan tezgah üzerinde lamanın doğru bir şekilde gerdirilme

işlemi, lamanın eğilmesini ya da sapmasını ve büyük kesme kuvvetleri altında burkulmadan kaynaklanan muhtemel bir hasarı en aza indirmek için kritik öneme sahiptir. Uygulanan gerilmenin miktarı öncelikle lama malzemesine, uzunluğuna, kalınlığına ve genişliğine (tezgah ister itme, ister çekme strokunda kesme yapsın), ve elde edilen testereleme sonuçlarına bağlıdır. Bazı tezgahların gerilmeyi otomatik olarak algılayan ve gösteren sistemleri vardır. Ayrıca, testereye bağlandığında gerilmeyi kadranlı bir gösterge üzerinde gösteren gerilme ölçen cihazlar da mevcuttur. Aşırı gerdirmeye lamanın erken kırılmasına neden olabilir.

Lamalar büyük kesme kuvvetleri altında (iş parçasında belirli bir uzaklıkta) eğileceklerdir. Bir miktar eğilmeye müsaade edilebilir; bununla birlikte aşırı eğilme görülürse lama gerginliği artırılmalı ya da daha dayanıklı bir lama kullanılmalıdır. Bu problem pim delikleri kesme kenarına daha yakın olan lamaların kullanılması ile en aza indirilebilir. Bu tasarım ile gerdirilmiş lama, kesme işlemi yapılmadığında iş parçasından belirli bir uzaklıkta çok az bükülür ve testereleme esnasında doğrultulur, böylelikle sapma en aza indirilir. Bazı tezgahlar lamalara ilave destek sağlamak için destek çubuklarının kullanılmasına imkan tanırırlar.



Şekil 2.1 Bir ağızlı lama testerinin kısımları (TS 153).

2.1.3.2 Lama Malzemeleri

Lama testere için genellikle üç tür malzeme kullanılır. Her üç türde de diş uçları minimum 62HRC sertliğe sahiptir. Sertleştirilmiş takım çeliğinden üretilmiş lamalar imalat uygulamalarında nadiren kullanılır, fakat bazen yumuşak metallere kesilmesinde, tek tip ya

da genel işlerde kullanılırlar.

Sadece dış bölgesi sertleştirilmiş yüksek hız çeliğinden imal edilmiş lamalar birçok farklı malzemenin testerelemede yaygın olarak kullanılırlar. İyi kesme özelliklerine sahiptirler, fakat gerilme altında kırılırlarsa, paramparça hale gelerek kırılma eğilimleri olduğundan bir güvenlik riski oluşturabilirler.

Alaşımli çelikten (yay çeliği) bir gövdeye kaynatılmış yüksek hız çeliği kesme kenarından oluşan kompozit ya da bimetal lamalar giderek yaygın hale gelmektedir. Bu tasarım gövde malzemesinin en yüksek esneklik ve yorulma direncinde seçilmesine imkan tanır. Bu lamalar daha yüksek hızlarda ve daha fazla ilerleme değerlerinde güvenli bir şekilde çalışılmasına olanak tanırırlar. Diğer malzemelerden üretilen lamalar gibi bunlar da en az 62HRC'ye sertleştirilmiş kesme kenarlarına sahiptirler, fakat gövdenin sertliği çoğu kez en fazla 52HRC'dir.

Çizelge 2 .1 Testere İmalinde Kullanılan Çelik Malzeme (TS153/4).

Testere Tipi	Malzeme	TS NO
El testeresi	a)Düşük alaşımli çelik ¹⁾	2) 3703 3703, 2288
	b)Yüksek hız çeliği	
	c)Yüksek hız çeliği + Yay Çeliği ¹⁾	
Makine Testeresi	a)Yüksek hız çeliği	3703 3703, 2288 3921
	b)Yüksek hız çeliği + Yay Çeliği ¹⁾	
	c)Alaşımli Takım Çeliği	

1)İki metalli testereleler için

2)İçerisinde %0,3C. %1,25Cr ve %0,3 V bulunan ısıt işlemler görmüş çelik

Lama testere imalatında dikkat edilmesi gereken birkaç önemli husus aşağıda sıralanmıştır.

- Yüksek hız çeliğinden yapılan lama testerelelerin pim deliğinin bulunduğu bölgenin dışı sertleştirilmiş ve temperlenmiş olmalıdır.
- Yüksek hız çeliği esnek lama testereleler, lama dişli kenar boyunca dış yüksekliğinin iki katı kadar üniform olarak sertleştirilmiş ve temperlenmiş olmalıdır.

- İki metalli lama testereler, dişli kenar tamamen sertleştirilmeli ve temperlenmeli fakat lamanın yay özelliği korunmalıdır.
- Dağılmaz lama testereler, kırılmaya karşı dirençli olmalı ancak kırıldığında ikiden fazla parçaya ayrılmamalıdır.
- 25mm boyda diş sayısı 18-24 olan lama testerelerin dişleri çaprazlanmalı veya dalgalandırılmalı, 25mm boyda diş sayısı 24'den çok olan lama testereler sadece dalgalandırılmalı, 18'den az olanlar ise sadece çaprazlanmalıdır.
- Lama testerelerin yüzeyleri düzgün ve pürüzsüz olmalı, üzerinde çapak, yara, çatlak, katmer, karıncalanma, paslanma vb. kusurlar bulunmamalıdır.

2.1.3.3 Lama Boyutları

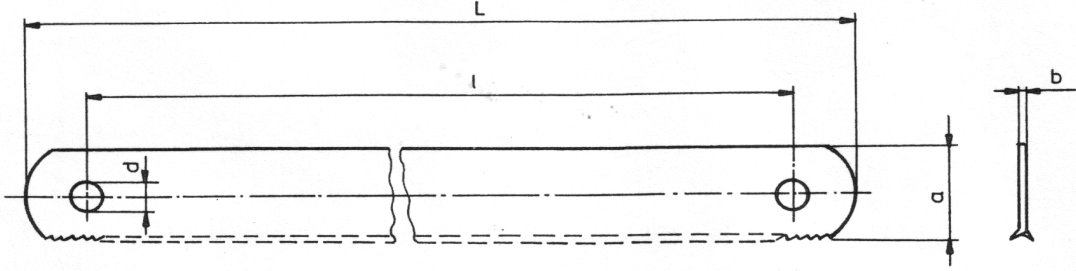
Lamanın boyutu öncelikle işe ve dayanım gereksinimlerine bağlıdır. Lamanın uzunluğu, testerelenen parçanın maksimum genişliğinden daha kısa olmamak koşulu ile mümkün olduğunca kısa olmalıdır. Lama testere tezgahları için lamalar genellikle 305-1346mm nominal uzunluk aralığında, ± 1.6 mm genel tolerans ile bulunurlar. Uzun, geniş lamaların parçalı tipleri vardır, ve aşınan ya da hasara uğrayan bölümler seçilerek bilenebilir veya değiştirilebilir.

Lama genişlikleri, genellikle hafif işler için 16mm'den ağır işlerde 117.5mm'ye ± 0.8 mm tolerans ile değişir. Kalınlıklar, genellikle hafif işler için 0.81mm'den ağır işlerde 3.81mm'ye ± 0.08 mm tolerans ile değişir. Lamalar, uygulanan ilerleme basınçlarına dayanacak ve esnemeyi minimuma indirmek için gerekli rijitliği sağlayacak, yeterli kalınlığa sahip olmalıdırlar. Daha kısa, kalın lamalar düzgün kesimler sağlarlar, saat başına ve lama başına daha fazla kesme yaparlar ve lama kırılma riskini azaltırlar.

2.1.3.4 Diş Hatvesi

Hatve, testeredeki ardışık iki diş arası mesafe, öncelikle kesilecek olan malzemenin sertliğine ve iş parçasının kesit alanına bağlıdır. Testereleme esnasındaki tüm zaman periyodu boyunca en az iki ya da üç diş iş parçasını kavramış halde bulunmalıdır, ve mümkün olduğunca kaba hatve kullanılmalıdır. Bir inç uzunlukta daha az sayıda diş bulunan ve daha büyük talaş boşluklu lamalar genellikle yumuşak malzemeler ve içi dolu çubuklar için daha uygundur. Ortalama testereleme koşulları için, 25-127mm çaplı çubuklar için inçteki diş sayısı altı, 127-203mm çaplı çubuklar için inçteki diş sayısı dört ve 203mm'den daha büyük çaplı çubuklar için inçteki diş sayısı üç olan lamalar yaygın bir şekilde kullanılır. İnçteki diş sayısı 10-18 olan lamalar genellikle 25mm'den daha küçük çaplı çubuklar için kullanılır.

Lama testere tezgahında kullanılan lamaların inçteki diş sayısı 2.5 ile 18 arasında değişir, fakat 4, 6, 10 ve 14 en yaygın biçimde kullanılanlardır. Bazı tezgah üreticileri, geniş bir malzeme çeşidi ve parça boyutunun aynı hatveli lama ile kesilebileceğini çünkü tezgah kontrollerinin değişkenleri dengelediğini iddia etmektedirler.



Şekil 2.2 Türk Standartlarına göre metal kesme için bir ağızlı, delikli lama testere (Makine Testereleri) boyutları (TS 153).

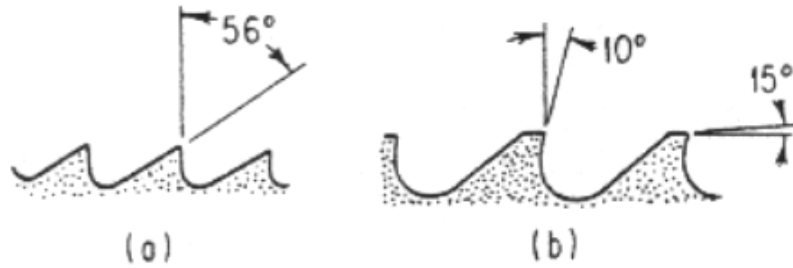
Çizelge 2.2 Türk Standartları TS 153/4'e göre lama testere boyutları.

Lama Boyu (l)	Anma Genişliği (a)	Anma Kalınlığı (b)	Diş Aralığı		Toplam Uzunluk (L)	Delik Çapı (d)
			Adım (P)	Diş Sayısı (N)		
300 ± 2	25	1.25	1.8	14	330	8.2 ^{+0.36} ₋₀
			2.5	10		
350 ± 2	25	1.25	1.8	14	380	8.2 ^{+0.36} ₋₀
			2.5	10		
	32	1.60	2.5	10		
			4.0	6		
400 ± 2	32	1.60	2.5	10	430	8.2 ^{+0.36} ₋₀
			4.0	6		
	38	2.00	4.0	6		
			6.3	4		
450 ± 2	32	1.60	2.5	10	485	10.2 ^{+0.43} ₋₀
			4.0	6		
	38	2.00	4.0	6		
			6.3	4		
525 ± 2	38	2.00	4.0	6	560	10.2 ^{+0.43} ₋₀
	45	2.25	4.0	6		
600 ± 2	45	2.25	4.0	6	635	12.5 ^{+0.43} ₋₀
				50		
	6.3	4				
750 ± 2 ¹⁾	63	2.5	6.3	4	805	12.5 ^{+0.43} ₋₀

1) Yalnız yüksek hız çeliği tipinde uygulanabilir.

2.1.3.5 Diş Geometrisi

Testere lamaları için en yaygın biçimde kullanılan diş geometrisi şekil 2.3 (a) görünüşündeki normal ya da standart düz diş tasarımıdır. Bu tasarım, 0° talaş açısı, düz 56° kama açısı ve talaş için tam yuvarlak bir talaş boşluğuna sahiptir. Kaba hatveli lamalarda bazen kullanılan diğer bir geometri şekil 2.3 (b) görünüşündeki gibi, pozitif talaş açısına (alttan kesim, genellikle 10°), boşluk açısına (çoğu kez 15°) ve daha yuvarlak bir diş sırtına sahiptir.

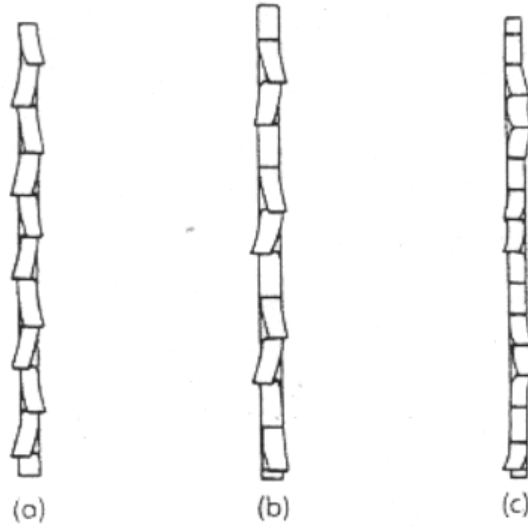


Şekil 2.3 Düz diş geometrisi (a), lama testerelerde en çok kullanılan geometridir. Alttan kesim (b), bazen kaba hatveli lamalarda kullanılır (Drozda, 1983).

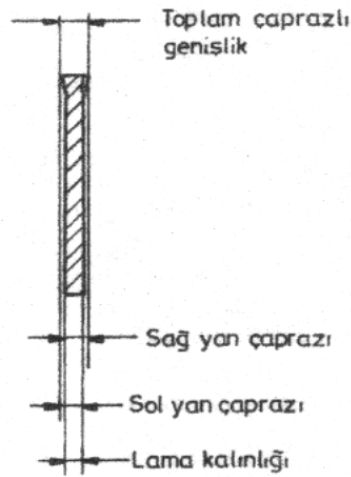
2.1.3.6 Çaprazlama

Çaprazlama, kesme boşluğu oluşturmak ve testerenin iş parçası içinde sıkışmasını önlemek için dişlerin lama ekseninden yanlara doğru çıkıntı oluşturmasıdır. Toplam çaprazlama, zıt olarak çaprazlanan iki dişin dış köşeleri arasındaki toplam mesafedir. Toplam çaprazlama, kesme genişliğini tayin eder. Üç tip çaprazlama vardır:

- Ardışık çaprazlama; dişler sırayla sağa ve sola doğru eğilirler (Şekil 2.4, a).
- Aralıklı ardışık çaprazlama; her üçüncü diş düz kalmak koşulu ile sonra gelen iki diş sırayla sağa ve sola doğru eğilirler (Şekil 2.4, b).
- Dalgalandırma; dişler grup halinde (iki veya daha çok) sırayla sağa ve sola doğru eğilirler. Bu tip çaprazlama lama testereleme için tavsiye edilmez ve nadiren yalnızca küçük hatveli (inçteki diş sayısı 24 ya da 32 olan) lamalar için kullanılır (Şekil 2.4, c).



Şekil 2.4 (a) Ardışık çaprazlama, (b) Aralıklı ardışık çaprazlama, (c) Dalgalandırma (Drozda, 1983).



Şekil 2.5 Çaprazlamaya ait kesit görünüşü (TS 153).

2.2 Şerit Testereleme

Şerit testerelemede üzerinde küçük dişler bulunan sonsuz uzunlukta bir şerit, iki yada daha çok makara üzerinde (biri tahriklidir diğerleri boşa çalışır) tek yönde hareket eder. Yalnızca bir bölümü açıkta ve görünür durumdaki şerit, düzgün bir şekilde dağılmış, küçük, tekil diş yükleri ile sürekli ve düzenli bir kesme işlemi oluşturur. Şerit testereleme tezgahlarının birçok çok değişik tipleri vardır.

Şerit testerelemenin kesme işlemi sürekli olması, tek yönlü kesmesi, şeride kılavuzluk edilmesi ve gerdirilmesi gibi özellikleri nedeniyle diğer testereleme yöntemlerinden farklılık gösterir ve bu ona lama ve dairesel testereleme ile yapılması mümkün olmayan bir yolu (izi) takip etme yeteneğini kazandırır. Şerit testere ya da şerit, kılavuzluk edildiği herhangi bir iz boyunca hareket edebilir ve yarıçap ya da çevre kesme yapabilir. Şerit dişleri makaslama etkisi ile keserler ve tam, düzgün talaş alma eğilimindedirler.

2.2.1 Avantajları

Çok yönlülük şerit testerelemenin en önemli avantajlarından biridir. İşlem, üzerinde dişler bulunan bildik testere şeritlerinin kullanımı ile sınırlandırılmamıştır; bilinen en az dokuz tane şerit işleme yöntemi mevcuttur. Bu yöntemler aşağıda sıralanmıştır:

1. Geleneksel testereleme, öncelikle kesme ayırma, çevre kesme ve zıvana açmak için kullanılır.
2. Sürtünme testereleme, sertleştirilmiş demir esaslı metallerin, demir dışı metallerin ve metal dışı malzemelerin yüksek hızla kesilmesinde kullanılır.
3. Elmas-şerit testereleme, camın, karbürün, yarı iletken ve grafitli malzemelerin, seramiklerin ve kuvarsın kesilmesinde kullanılır.
4. Elektro-bant (elektriksel boşalma) işleme, genellikle alüminyum, bakır, paslanmaz çelik ve titanyum ile diğer kırılğan, gözenekli yapılarda kullanılır.
5. Şerit eğeleme, çok değişik türden malzemelerden özellikle iç yüzeylerden çok ince talaş kaldırmak için kullanılır.
6. Şerit parlatma, evvelce testerelemiş ve/veya eğelenmiş yüzeylerden çapak almak ve parlatmak için uygulanır.
7. Fisto-ağızlı, dalgalı-ağızlı ve bıçak-ağızlı şerit testereleme, öncelikle yırtılıp yıpranabilen yumuşak ve lifli malzemeleri kesmek için ya da dişli şeritler ile kesildiğinde kötü yüzey kalitesinin olduğu durumlarda kullanılır.
8. Spiral-ağızlı şerit testereleme, ince metal, plastik ve ahşap parçalar içindeki karışık desenlerin tüm yönlü (360^0) kesilmesi için kullanılır.

9. Aşındırıcı tel şerit testereleme, öncelikle CNC tezgahlarında işlenmesi zor malzemelerin tüm yönlü kesilmesi ve kalıpların, kamların ve diğer karmaşık şekilli parçaların son işlemleri için kullanılır.

Şerit testere ile çevre işleme diğer işleme yöntemlerinin ötesinde birkaç önemli avantaja sahiptir: şeklin elde edilmesi için yapılan kesme işleminin hızlı olması, güvenli ve kolay çalışma, ham madde tasarrufu ve oldukça düşük maliyet. Tüm bu avantajlar şerit testereleme tezgahının kesitlerdeki istenmeyen malzemeyi talaş olarak israf etmeden çıkarmasından kaynaklanır, böylelikle üretimin verimliliği artar. Bir kesitin çevresini testerelemek için, bu çevrenin tamamını talaş kaldırarak yok etmekten daha az süre gereklidir ve bazen kesimden arta kalan malzeme başka ürünler imal etmek için kullanılabilir.

Bu, daha az talaş oluşturma yeteneği yöntemi üç temel testereleme yöntemi içinde malzeme ve enerji bakımından en verimli haline getirir. Şerit testereleme, lama ve dairesel testerelemeden daha küçük kesim genişliği oluşturur, böylelikle enerji gereksinimi ve talaş biçimindeki malzeme kaybı azalır. Bir başka ifade ile, mevcut bir ham madde miktarından daha çok sayıda ürün elde edilebilir. Bu faktör, pahalı malzemeler söz konusu olduğunda ve malzeme giderleri arttığında giderek önem kazanır.

2.2.2 Sınırlamalar

Şerit testerelemenin kullanımına ilişkin birkaç sınırlama vardır. İşlemin çok yönlülüğü farklı malzemeler ve parça boyutlarının kullanıldığı çok değişik uygulamalar için onu uygun kılar. Bimetalik şeritler ile donatılmış tezgahlar sertliği 49HRC'ye kadar olan malzemeleri kesmek için kullanılır. Sürtünme testerelemesi ya da aşındırıcı ağızlı şeritler ile daha sert malzemeler dahi kesilebilir.

Kullanılan şeridin rijitliği testere kılavuzlarının arasındaki mesafe arttıkça azalır, fakat kesme oranları orantılı olarak azalmaz (kesme oranı: birim zamanda kaldırılan talaş kesit alanı $\text{cm}^2/\text{dk.}$). Alaşımli çelikte 1320mm'ye kadar kesme genişlikleri 51mm ya da daha geniş bir desteklenmemiş şerit ile, ve 1575mm'ye kadar kesme genişlikleri desteklenmiş bir geniş şerit ile kesilebilmektedir.

Geniş parçalar testerelendiğinde kesme oranlarını etkileyen faktörler hatve, genişlik, kalınlık ve şerit gerginliği; talaş açısı ve dişlerin keskinliği; testerelenen malzeme sertliği; ve şerit hızıdır. Dar kesme genişlikleri testerelendiğinde diş yapısı en yüksek kesme oranları ile ilgili olarak sınırlayıcı etkindir. Eğer en yüksek kesme oranının diş uçlarının kopacağı değer

hemen altında olduğu varsayılır ise, bu oran artan kesme genişlikleri için şeridin kesici kenarı çekmeden ziyade basmaya maruz kalıncaya dek sürdürülebilir. Bu durumda sınırlayıcı faktör şeridin kiriş dayanımı haline gelir ve kesimi düzgün bir şekilde sürdürmek için ilerletme kuvveti azaltılmalıdır.

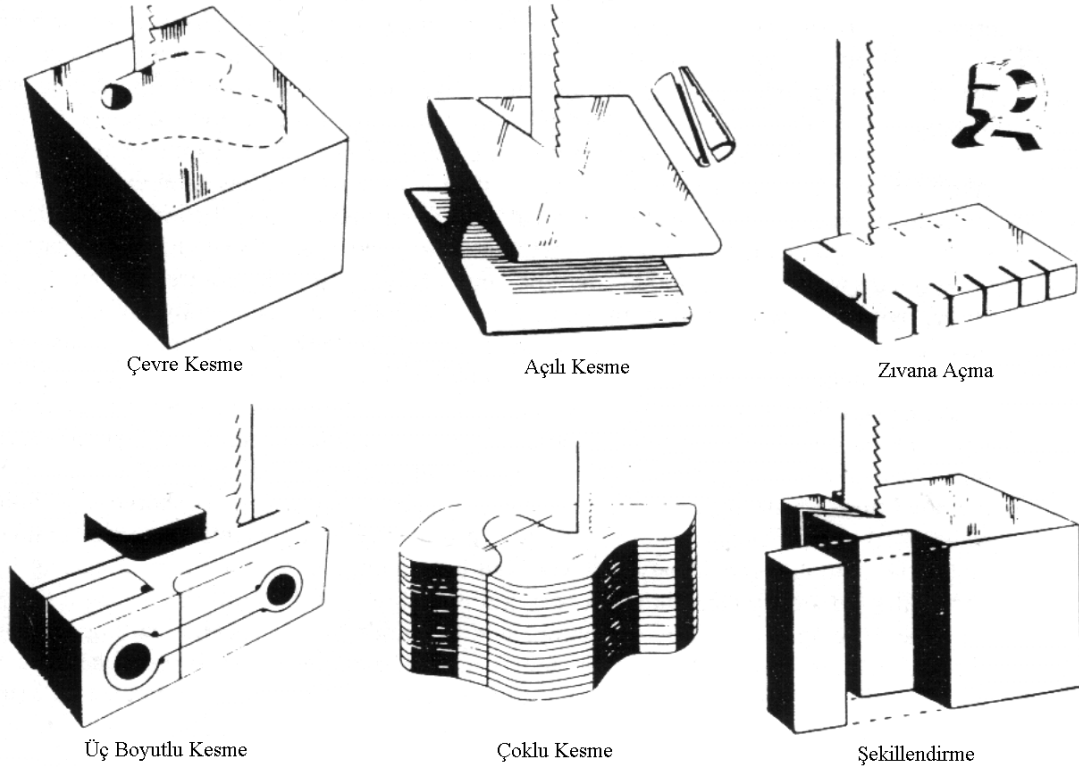
Uygun ilerleme kuvveti testere kılavuzları arasındaki mesafe ile ters orantılıdır (mesafe iki katına çıkarsa, kesme oranı yarıya düşer). Örneğin, dar bir şerit ile 152mm çaplı bir malzeme kesildiğinde en yüksek kesme oranı $129 \text{ cm}^2/\text{dk}$ ise 305mm çap için en yüksek kesme oranı $64.5 \text{ cm}^2/\text{dk}$ olacaktır. Yayınlanmış kesme oran tabloları bu tür hesaplamaları içermeyecektir çünkü bunlar nadiren her çap için en yüksek kesme oranlarını gösterirler.

Birçok şerit testere imalatçısı tarafından örnek olarak gösterilen tipik testereleme hassasiyeti her inçlik kesim başına $\pm 0.05 \text{ mm}$ 'dir. Bu tolerans oldukça standarttır ancak farklı uygulamalara ait birçok değişken bulunduğundan daha yakın toleranslar çoğu zaman elde edilebilmektedir. Yaygın olarak oluşturulan yüzey pürüzlülüğü $11.4\text{-}12.7 \mu\text{m}$ 'dir fakat daha düzgün yüzeyler daha yavaş ilerleme, daha küçük hatveli şeritler, daha yüksek şerit hızları ya da bu değişkenlerin bir bileşimi ile elde edilebilir.

2.2.3 Uygulamalar

Şerit testereleme çoğu zaman metal ya da ahşap kesimi ile ilişkilendirilse de, bu işlem asbestten zirkonyuma kadar çok farklı malzemeleri kesmek için kullanılmaktadır. Her ne kadar şerit testereleme eğeleme, parlatma ve daha önce bahsedilen çeşitli uygulamalar için kullanılsa da en çok kullanılan uygulaması testereyle kesmedir. Başlıca şerit testereleme uygulamaları kesme, çevre kesme ve zıvana açmadır. Pratik olarak tüm testereleme uygulamaları bunlardan bir ya da daha fazlasını içerir (Şekil 2.6).

İmalattaki kesme işlemleri özel olarak bu amaç için tasarlanmış yarı ya da tam otomatik tezgahlarda gerçekleştirilir. Çevre kesme neredeyse tamamen, çoğunda eğilebilen tablalar bulunan, dikey şerit testere tezgahlarında yapılır. Eğilebilen tabla hem düz kesme hem de açılı çevre kesme işleminin yapılmasına imkan tanır. Bu üç boyutlu şekil verme karmaşık parçaların hızlı bir şekilde üretilmesini sağlar (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 Birçok değişik uygulama için kullanılan başlıca şerit testereleme (Drozda, 1983).

2.2.4 Şerit Testereler ve Diğer Takımlar

Belirli bir uygulama için doğru şerit tipinin seçimi kritik bir öneme sahiptir. Şerit seçiminde göz önünde bulundurulması gereken faktörler aşağıda sıralanmıştır.

1. Diş formunu ve kullanılacak şeridin bileşimini belirleyen, kesilecek malzemenin türü ve sertliği.
2. Gerekli diş hatvesini belirleyen, kesilecek parça boyutu ve kesitindeki değişmeler.
3. Gerekli kesme tipi (düz, çevresel ya da her ikisi). Küçük yarıçapların kesilmesi ihtiyacı şerit genişliğini sınırlayacaktır.
4. Kullanılacak tezgah türü ve durumu.
5. İmalat gereksinimleri.
6. Kesme sıvısının kullanılıp kullanılmayacağı.
7. Genel giderler.

2.2.4.1 Klasik Testereleme

Şerit testere (metal kesmek için), iki ucu birleştirilmiş çelik şeritten yapılmış, bir kenarı dişli testeredir. Belirli uygulamalar için farklı diş geometrisi ve sertliğine sahip dişli şeritler, klasik şerit testereleme yöntemleri için kullanılırlar. Şerit testere için genel olarak kabul edilen terimler şekil 2.7, şekil 2.8 ve şekil 2.9'da gösterilmektedir.

Şerit Testere Kısımları İle İlgili Terimler

Gövde: şerit testerenin talaş boşluğu dip noktalarından geçen doğru ile sırtı arasında kalan kısımdır.

Dişler: kesici kenarları meydana getirmek üzere şeridin bir kenarına açılmış genellikle üçgen biçimli çıkıntılardır .

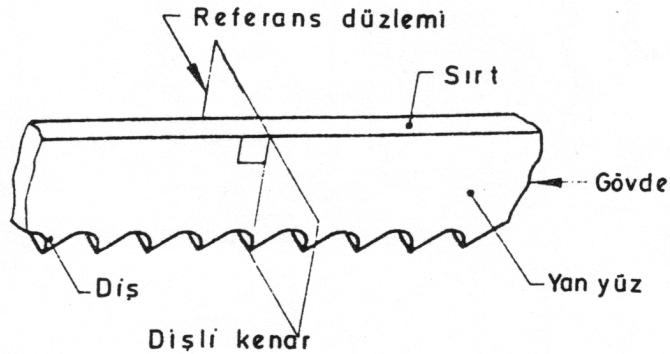
Dişli Kenar: üzerine dişlerin açılmış olduğu kenardır.

Sırt: talaş boşluklarının diplerinden geçen düzleme paralel olan dişsiz kenarın bulunduğu düzlemdir.

Yan Yüz: sırt ile dişli kenar arasında kalan düz yüzeydir.

Genişlik: Genişlik, diş ucundan sırtta kadar olan mesafedir.

Kalınlık: Kalınlık, gövdenin iki yan yüzü arasındaki mesafedir.



Şekil 2.7 Şerit testere ile ilgili olarak kullanılan terimler (TS 6851).

Dişlerin Özellikleri İle İlgili Terimler

Adım: bitişik dişlerin uç noktaları arasındaki mesafe olup mm olarak ifade edilir.

Birim Uzunluktaki Diş Sayısı: 25 mm (1 inç) uzunluk içindeki toplam diş sayısıdır.

Talaş Yüzeyi: diş üzerinde talaşın aktığı yüzeydir.

Kesici Kenar: talaş yüzeyi ile diş sırtının meydana getirdiği arakesittir.

Derinlik: dişin kesici kenarı ile dişin en dip noktası arasındaki dik mesafedir.

Diş Sırtı: dişin talaş yüzeyinin aksi tarafında kalan yüzeydir.

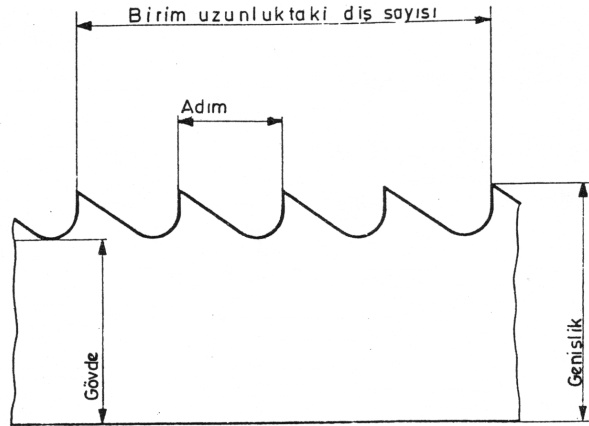
Diş Dibi Kavisi: bir dişin talaş yüzeyi ile bir önceki dişin sırtını birleştiren kavistir.

Talaş Boşluğu: iki diş arasında talaş kaldırmaya imkan veren, talaş yüzeyi, diş dibi kavisi ve diş sırtının meydana getirmiş olduğu boşluktur.

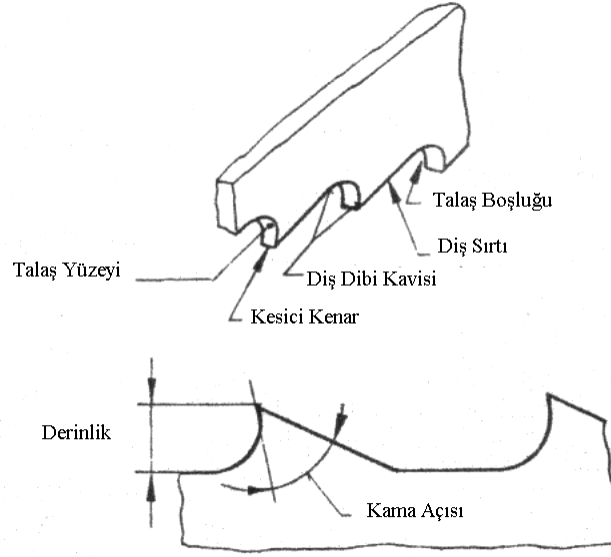
Kama Açısı: çaprazlanmamış bir dişin diş sırtı ile talaş yüzeyi arasındaki açıdır.

Referans Düzlemi: testere sırtına dik olan ve kesici kenar üzerinde seçilmiş bir noktadan geçen düzlemdir.

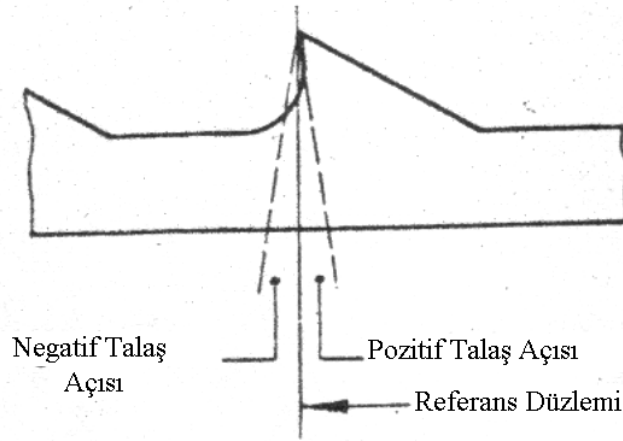
Talaş Açısı: çaprazlanmamış dişin referans düzlemi ile talaş yüzeyi arasındaki açıdır.



Şekil 2.8 Bir şerit testerede genişlik, gövde, adım ve birim uzunluktaki diş sayısı (TS 6851).



Şekil 2.9 Bir şerit testerede talaş yüzeyi, kesici kenar, diş dibi kavisi, diş sırtı, talaş boşluğu, derinlik ve kama açıları (TS 6851).



Şekil 2.10 Bir şerit testerede talaş açısı (TS 6851).

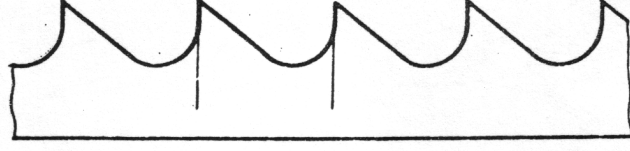
2.2.4.2 Diş Geometrileri

Diş geometrisi olarak üç ana tip bulunur, genel olarak standart (normal), seyrek ve kanca diş şeklinde sınıflandırılırlar.

Normal veya Standart Diş

Standart diş biçimi sıfır derece talaş açısına ve düzgün yarıçaplı tam yuvarlatılmış bir talaş boşluğuna sahiptir (Şekil 2.11). Standart dişli şeritler en fazla çok yönlülüğe sahip olanlardır ve karmaşık çevre işleme ve düz kesim işlemleri için tavsiye edilirler. Düzgün yüzeyler elde etmek, ince parçaları kesmek ve küçük yarıçapları işlemek için de yaygın olarak kullanılırlar.

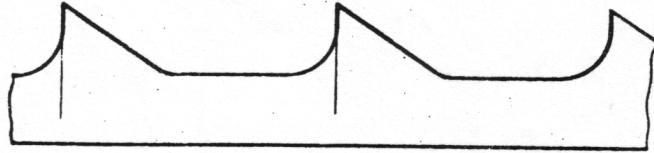
Bu diş biçimindeki testereleler, dalgalandırıldığı gibi ardışık veya aralıklı ardışık olarak çaprazlanırlar.



Şekil 2.11 Bir şerit testerede normal veya standart diş (TS 6851).

Seyrek Diş

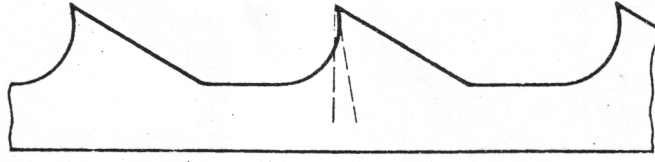
Seyrek diş, standart diş ile aynı biçime sahiptir ancak farklı olarak, daha fazla talaş taşıyabilmek için birer diş çıkartılarak talaş boşluğu arttırılmıştır (Şekil 2.12). Seyrek diş demir dışı metallerin, plastiklerin ve ahşabın yüksek hızlarla kesimi için önerilir. Seyrek dişli testerelelerde, mukavemeti azaltacak daha büyük bir diş derinliğine başvurmadan daha büyük diş boşluğu elde edilmiştir.



Şekil 2.12 Bir şerit testerede seyrek diş(TS 6851).

Kanca Diş

Kanca diş, talaş açısının pozitif olması dışında, seyrek dişle tamamen aynı olan diş biçimidir (Şekil 2.13). Seyrek diş biçimine benzer olarak arttırılmış bir talaş boşluğuna ve üreticiye, şerit tipine ve uygulamaya bağlı olarak 10^0 'ye kadar pozitif talaş açısına sahiptir. Pozitif talaş açılı dişler kendilerini iş parçasının içine doğru çekerler. Sonuç olarak, iş parçasının içine talaş açısız dişlerden daha küçük ilerleme basıncı ile girerler.



Şekil 2.13 Bir şerit testerede kanca diş (TS 6851).

Şekil 2.14'te 10^0 talaş açılı şerit testere dişi ile elde edilen iyi nüfuziyet ve tam talaş oluşumu gösterilmektedir (çizim yüksek hızlı fotoğraftan yapılmıştır). Kanca dişli şeritler tüm malzemelerin, plastiklerin ve ahşabın yüksek hızlar ile kesilmesine olanak tanırırlar ve genel olarak sert malzemelerin testerelemesi için tavsiye edilirler.

Bu üç ana diş formu dışında standart diş formuna sahip ancak 5^0 pozitif talaş açılı türler de vardır. Buna benzer modifikasyonlar profil demirler ve borular gibi aralıklı kesim gerektiren uygulamalarda gürültü düzeyini azaltmak amacıyla yapılırlar.



Şekil 2.14 10^0 talaş açılı şerit testere dişi ile talaş oluşumunu (Drozda, 1983).

2.2.4.3 Şerit Malzemeleri

Çeşitli malzemelerden şeritler üretmek mümkündür. Şerit ömrü ve üretim kapasitesi açısından en düşükten en yüksek kaliteye doğru şerit malzemeleri aşağıda sıralanmaktadır:

1. Sert kesici kenarlı, esnek sırtlı alaşımsız çelik şeritler. Bu şeritler bazen el ile ilerletilen dikey çevre işleme tezgahlarında hem demir esaslı hem demir dışı metallerin, ahşabın ve plastiklerin testerelemesinde kullanılırlar. Oldukça düşük şerit hızlarında çalıştırılırlar ve genellikle hafif işler ve bakım işlemleri ile sınırlandırılmışlardır.
2. Sert kesici kenarlı ve gövdeli alaşımsız çelik şeritler. Bu şeritler esnek gövdeli alaşımsız çelik şeritlerden yaklaşık olarak iki kat daha büyük çekme dayanımına sahiptirler ve on kat daha uzun ömürlü olabilirler. Gövdeleri %50 daha fazla gerilmeye dayanabilir ve 45-49HRC civarındaki sertlikleri gövdelerinin bükülüp eğilmesini önler. Daha yüksek kesme kapasitesi ve uzun ömür bunları normal işler, bakım ve basit imalat işlemleri için uygun bir takım malzemesi haline getirir.
3. Sert kesici kenarlı ve esnek gövdeli normal alaşımlı çelik şeritler. Bu şeritler iyi darbe direncine sahiptir. Bunlar bazen profil demirlerinin, boruların ve balyalanmış parçaların testerelemesi gibi kötü,elverişsiz çalışma şartlarında yatay kesme tezgahlarında kullanılırlar. Bazı üreticiler bimetal şeritlerin geliştirilmesi ile bu tür şeritlerin üretimini durdurmuştur.
4. Sert kesici ağızlı, esnek gövdeli yüksek hız çeliği şeritler. Bimetalik şeritlerin geliştirilmesi ile artık birçok üretici bu şeritlerin üretimini durdurmuştur.
5. Sertleştirilmiş yüksek hız çeliği kesici ağızlı ve esnek, alaşımlı çelik gövdeli bimetal şeritler. Bu şeritler evvelce kullanılan yekpare yüksek hız çeliği şeritlerden daha üstün özelliklere sahiptirler. Daha yüksek üretim kapasiteleri ve testerelenen parça başına maliyetin düşük olması bu şeritlerin biraz yüksek olan maliyetlerini genellikle dengeler. Üreticiler bazı özel uygulamalar için beş ya da altı tür bimetal şerit önerirler. Özel şok dirençli kesici ağızlı olanlar alıştırma periyoduna olan ihtiyacı ortadan kaldırırlar. Diğerleri egzotik metalleri testerelemek için çok sert kesici ağızlara sahiptirler ve bazıları sert, dayanımı fazla malzemelere nüfuz edebilmek için pozitif talaş açılı dişlere sahiptirler. Profil demirler ve borularda rastlanan değişen kesit alanlar testereleirken oluşan yüksek rezonansı (çınlamayı) azaltmak için kullanılan, farklı çaprazlama ve hatve kombinasyonlarına sahip şerit testerelemleri de mevcuttur.

6. Karbür uçlu alaşımlı çelik şeritler. Bu şeritler hem yüksek ısı, aşınma ve yorulma dayanımına hem de hızlı kesme kabiliyetine sahiptirler. Evvelce bahsedilen alışlagelmiş şerit türlerinden biri ile kesilmesi mümkün olmayan malzemeleri kesmek için kullanılırlar. Yüksek maliyet ve kırılma olasılığı bunların genel amaçlı testerelemede kullanımlarını engeller, fakat dakikada 645 cm^2 veya daha büyük kesme oranlarına ulaşabilirler. Bu şerit türünün geliştirilmesi, karbür türünün seçimi ve uçların gövde malzemesine yapıştırılması yöntemleri konularında devam etmektedir.

2.2.4.4 Şerit Genişlikleri

Şerit genişliği, diş ucu ile şeridin sırt yüzeyi arasındaki mesafedir. Şerit genişliği arttıkça şeridin kiriş dayanımı artar ve daha düzgün kesimler elde edilir. Geniş şeritler düz kesimler için kullanılmalıdır. Çevre işlemede, şerit genişliği kesilecek en küçük yarıçap tarafından sınırlanır. Farklı genişlikteki şeritler ile testerelenebilecek yaklaşık yarıçap ölçüleri şekil 2.15'te verilmiştir. Şerit genişlikleri 1.6-76 mm arasında değişir.

2.2.4.5 Şerit Kalınlığı

Şeridin kalınlığı arttıkça dayanımı da artar. Şerit genişliği tezgah kapasitesi ya da kesilecek yarıçap tarafından sınırlandırıldığında dayanım, daha kalın bir şerit kullanılmak sureti ile artırılabilir. Çok değişik kalınlıkta şeritler bulmak mümkündür.

2.2.4.6 Hatve

Kullanılacak hatve ya da birim uzunluktaki diş sayısı, öncelikle kesilecek olan malzemenin kalınlığına göre tespit edilir. İnce parçalarda küçük hatveli (birim uzunlukta daha fazla sayıda diş bulunan), kalın parçalarda kaba hatveli şeritler kullanmak gerekir. Farklı kalınlıktaki malzemeleri testerelemede kullanılacak şerit hatveleri için genel tavsiyeler çizelge 2.3'te verilmiştir.

İş parçası malzemesi ve gerekli yüzey kalitesi gibi diğer faktörler de şerit için en uygun hatvenin seçilmesinde göz önünde bulundurulmalıdır. Seçilen hatve, en az iki dişin tüm testereleme işlemi boyunca iş parçası ile temas halinde olmasını garanti etmelidir. Genellikle kullanılan en ince hatveli testerede bir inç uzunlukta 14 diş bulunur; 25mm ya da daha büyük hatveli şeritler de mevcuttur.

Çizelge 2.3 Farklı kalınlıktaki malzemeleri testerelemede kullanılabilir şerit hatveleri için genel tavsiyeler (DoALL Co.).

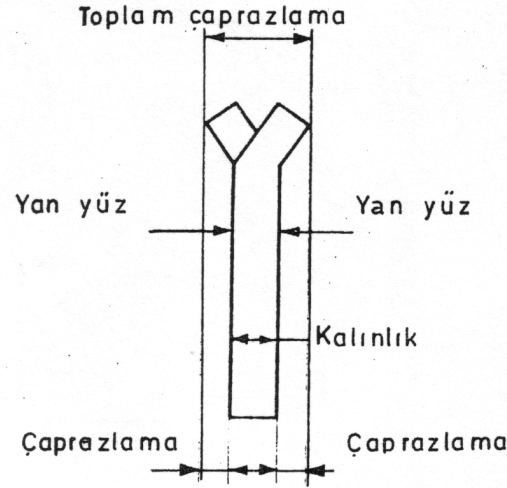
Malzeme kalınlığı	Birim uzunluktaki diş sayısı
25.4 mm'den daha az	10 ya da 14
25.4-76.2 mm	6-8
76.2-152.4 mm	4-6
152.4-304.8 mm	2 ya da 3
304.8 mm üzeri	1.5-3

Genişlik		Kesilebilecek yarıçap	
in.	mm	in.	mm
2	50	28	710
1 1/2	40	21	535
1 1/4	30	12	305
1	25	7 1/4	185
3/4	20	5 7/16	140
5/8	15	3 3/4	95
1/2	13	2 1/2	65
3/8	10	1 7/16	35
1/4	6	5/8	15
3/16	5	5/16	10
1/8	3	1/8	3
3/32	2	1/16	2
1/16	2	SQ.	

Şekil 2.15 Farklı genişlikteki şeritler ile testerelebilecek yaklaşık yarıçap ölçüleri (Drozda, 1983).

2.2.4.7 Çaprazlama

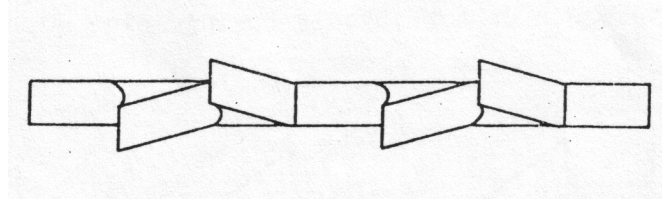
Çaprazlama, kesme boşluğu oluşturmak ve sıkışmayı önlemek için dişlerin şerit yan yüzlerinden sapma mesafesidir. Toplam çaprazlama, ters yönde, zıt çaprazlanmış dişlerin en dış noktaları arasındaki mesafedir, bu mesafe kesim genişliğini belirler.



Şekil 2.16 Çaprazlama ve toplam çaprazlama (TS 6851).

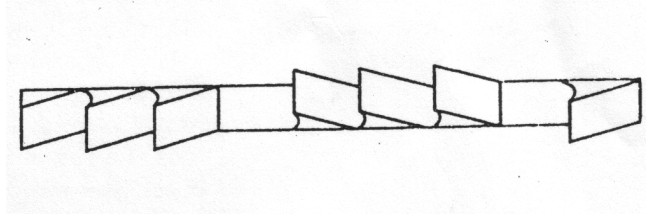
En yaygın üç tür çaprazlama aşağıda sıralanmıştır:

1. Aralıklı Ardışık Çaprazlama: Dişlerin biri sağa biri sola çaprazlanmasından sonra her üçüncü dişin çaprazlanmadan bırakıldığı ardışık çaprazlamadır (Şekil 2.17). Sabit kesit alana sahip, çubuk şeklindeki parçalar, kalıp blokları ve bazı dövme parçalar gibi değişik boyutlarda mamuller için tavsiye edilirler.



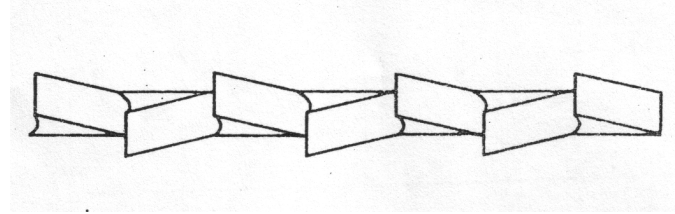
Şekil 2.17 Aralıklı Ardışık Çaprazlama (TS 6851).

2. Dalgalandırma: Bir diş grubunun sağa çaprazlanmasından sonra arada bir çaprazlanmamış diş bırakılarak aynı sayıda dişin sola çaprazlandığı çaprazlamadır (Şekil 2.18). Genellikle değişken kesit alana sahip boru ve profil demir gibi mamuller için tavsiye edilmezler. Bunların yerine, modifiye edilmiş karışık ya da değişken hatveli profil şeritleri artan bir şekilde kullanılmaktadır.



Şekil 2.18 Dalgalandırma (TS 6851).

3. Düz (Ardışık) Çaprazlama: Dişlerin biri sağa biri sola olmak üzere ardı ardına çaprazlanmasıdır. Bu tip çaprazlama metal, (demir esaslı malzeme) testere için uygun değildir. Kolay kesilen malzemeler için tavsiye edilirler.



Şekil 2.19 Ardışık Çaprazlama (TS 6851).

2.3 Dairesel Testereleme

Dairesel testere ile kesme, demir esaslı ve demir dışı metalleri, plastikleri ve diğer malzemeleri gerekli boylarda kesmek için çevresinde dişler bulunan dönen bir kesicinin kullanıldığı işlemdir. Güvenli bir şekilde sabitlenmiş iş parçası ile testere, hem yatay hem de dikey olarak ya da iş parçasında bir açı ile ilerletilebilir. İşlem, onu çelik fabrikaları ve dövme atölyelerindeki sıcak metalin testere ile kesilmesinden ayırmak için çoğu zaman soğuk dairesel testereyle kesme olarak adlandırılır.

Dairesel testereyle kesmedeki kesme hareketi aslında frezelemedeki ile aynıdır. Her bir diş talaş kaldırır, talaş kıvrılır ve talaş boşluğunda taşınarak kesme bölgesinden uzaklaştırılır, böylelikle sürekli kesme sağlanır. Büyük dairesel testere tezgahları çok uzun yıllar kütükleri, dövme parçaları, ekstrüzyon ürünlerini, çubukları, boruları ve benzer ürünleri kesmek için kullanılmışlardır. Günümüzde daha küçük tezgahlar çok değişik parçalar için artarak kullanılmaktadırlar. İşlem pratik olarak her malzemeyi kesmek için kullanılabilir.

Sürtünme testereleme, dairesel testereleme ile ilişkili bir işlemdir ve bu yöntemde üzerinde dişler bulunan dairesel kesici çok yüksek hızla döndürülür ve yüksek ilerleme basıncı uygulanır. Sürtünme nedeniyle oluşan ısı, iş parçası malzemesinin yumuşayarak plastik hale geçmesine ve hareket eden dişler tarafından uzaklaştırılmasına neden olur. Düz kenarlı (dişsiz) bir kesici, yüksek karbonlu çelikleri (karbon içeriği %0.60-1.00) dairesel testere ile kesmek için kullanılabilir, çünkü böyle çeliklerde kenar pürüzlenmiş hale gelir. Buna karşın düşük karbonlu çeliklerde kenar pürüzlenmez, ve kesici çevresinde dişler bulunmalıdır.

Dairesel sürtünme testereleme hızlıdır fakat birçok sınırlamaya sahiptir. Örneğin, işlem dolu parçalarda yaklaşık 102mm çapa kadar uygulanabilmektedir ve en iyi performans kesici temas uzunluğunun çok kısa olduğu şekiller ile elde edilir. Ek olarak yüksek güce sahip tezgahlar gereklidir, yüksek testere hızları güvenlik için önlem alınmasını gerektirir ve yüksek gürültü seviyesi ses yalıtımı gerekli kılar. Oluşan büyük çapaklar tehlikeli olabilir ve ikinci bir operasyon ile ortadan kaldırılmalıdır. Kesilen, ısıya duyarlı metallerde hızlı soğumadan dolayı yüzey sertleşmesi de oluşur. Bu nedenlerde dolayı, bu yöntemin kullanımı azdır.

2.3.1 Avantajlar

Dairesel testereyle kesmenin başlıca avantajları üretim kapasitesinin ve hassasiyetin yüksek olmasıdır. Mevcut rijit tezgahlar ve kesiciler yüksek ilerleme basınçlarının uygulanmasına olanak tanırırlar. Birçok tezgah eklentileri ve malzeme taşıma sistemleri mevcuttur, bunlar işlemi otomatikleştirir ve böylelikle kesmenin olmadığı çevrim süresini ve işçilik giderlerini azaltırlar. Ayrıca bu yöntemde farklı boyutlu iş parçaları için tezgah üzerinde değişiklik yapılma süresi kısadır, bu da işlemi hem küçük parça boyutları hem de yüksek üretim gereksinimleri için ekonomik yapmaktadır.

Tezgahların rijit oluşu ve frezeleme tipi kesicilerden dolayı dairesel testereleme hassas bir yöntemdir. Birçok kütük besleme sistemi için uzunluk toleransı ± 0.10 mm'dir. Diklik ve paralellik ile ilgili olarak kesim hassasiyeti, testere hareketi doğrultusunda malzeme yüksekliği ya da genişliğindeki her 25.4 mm için ± 0.03 mm'dir. Düzlemde, testere hareket doğrultusuna dik tolerans ± 0.013 mm'dir.

Gerçekte çapaksız olarak üretilen yüzeyler çoğu zaman ikincil yüzey bitirme işlemlerine olan ihtiyacı azaltmakta ya da ortadan kaldırmaktadır. 406mm çapa kadar testere boyutları için yüzey pürüzlülüğü tipik olarak 1.5 ila 3.2 μm arasında değişir. Çoğunlukla alüminyumun dairesel testerelemesinde 0.2 μm ve çeliğin kesilmesinde 0.8 μm yüzey pürüzlülüğü değerlerine sahip düzgün yüzeyler üretilmiştir. Genellikle kesilen malzeme sertliği arttıkça

daha düzgün yüzeyler elde edilir.

Takım giderleri oldukça düşüktür. Yumuşak çeliklerin dairesel testerelemede takım gideri, talaş kaldırılarak uzaklaştırılan malzemenin 6.42 cm^2 'si başına 1.5 cent 'ten daha az olarak hesaplanmıştır, bu da onu metalleri testerelemede en ucuz yöntemlerden biri yapar. Rijitliğinden dolayı testerede sapmaya yönelik hiçbir eğilim yoktur, bu testerenin bir tarafının diğerine nazaran daha fazla aşınmasını engeller. Sonuçta oluşan düzgün aşınma ile testere köreldikçe hiçbir hassasiyet kaybı oluşmaz.

İşletme giderleri düşüktür çünkü dairesel testerenin çalışması basit olduğundan onu vasıfsız bir işçi de kullanabilmektedir. Testere hızı seçimi genellikle tek bir düğmeye basılarak yapılır. Modern bir tezgahta farklı tip ve boyutlardaki malzemeleri kesmek için gerekli olan değişiklik süresi sadece birkaç saniyedir. Tek bir testere, tezgah kapasitesi içindeki birçok malzeme ve parça boyutunu kesebilir ve testere değişimi çabuk ve kolay bir şekilde yapılabilir.

Dairesel testerelemler oldukça güvenlidir çünkü kesicilerinin dönme hızları düşüktür. Operatörün ellerini kesme bölgesine yaklaştırmasına gerek yoktur, ve birçok otomatik tezgahta besleme ve testereleme alanlarının etrafı tamamen kapatılmıştır.

2.3.2 Sınırlamalar

Dairesel testerelemlerin kullanımı ile ilgili gerçek sınırlamalar yoktur. İlk yatırım maliyetinin lama ve şerit testerelemlerden daha fazla olduğu bir gerçektir çünkü karşılaştırılabilir kapasite için daha ağır ve daha güçlü bir tezgah gereklidir. Eğer tezgahı etkin bir şekilde çalışır durumda tutmak için yeterli iş mevcut ise artırılmış üretkenlik ve hassasiyet tezgahın hızla yıpranmasına neden olabilir. Dairesel testerelemler başlangıçta şerit ve lama testerelemlerden daha pahalıdır, fakat farklı malzemeleri kesmek için gerektiğinde birçok kez tekrar bilenebilirler ve taşlanabilirler. Takım ömrünün uzun olması genellikle takım giderlerini azaltır.

Kesim genişliğinin fazla olmasından dolayı daha çok malzemenin kesilerek kaybedilmesi çoğu zaman dairesel testerelemlenin bir dezavantajı olarak gösterilir, fakat bu çoğu zaman bir sorun oluşturmaz. 1.52 mm inceliğe kadar dairesel testerelemler bulmak mümkündür, fakat bu kadar ince bir takım büyük kesme kuvvetlerine dayanamaz ve dairesel testerelemede bahsedilen dar toleransları koruyamaz. Kısa boylarda kesilen çoğu çubuk 127 mm ya da daha küçük çaptadır. Bu bölgede, dairesel testerelemler genelde $2.44\text{-}3.00 \text{ mm}$ arasında değişen kalınlıklara sahiptirler. Dairesel testerelemedeki hassasiyet ve kesim sonunda ıskartaya atılan kısa mamul boyları (çoğunlukla 51 mm ya da daha kısa) sayesinde kesim genişliğinden dolayı

oluşan malzeme kaybı diğer yöntemlerden daha az olabilmektedir. Çok kısa uzunluklar kesildiğinde bile dairesel testereleme ile biraz daha geniş kesim genişlikleri oluşturmak gerekli hassasiyeti elde etmek için ikinci bir işlem uygulamaktan çoğu zaman daha ucuzdur.

2.3.3 Testereleler

Dairesel testerelelerin yekpare, parçalı ve karbür uçlu olmak üzere üç ana çeşidi vardır. Kullanılan testere çapları kesilecek iş parçasının boyutlarına bağlıdır. Testereleler iş parçasının en kalın kesitini bir geçişte kesmeye yetecek çapa sahip olmalıdırlar.

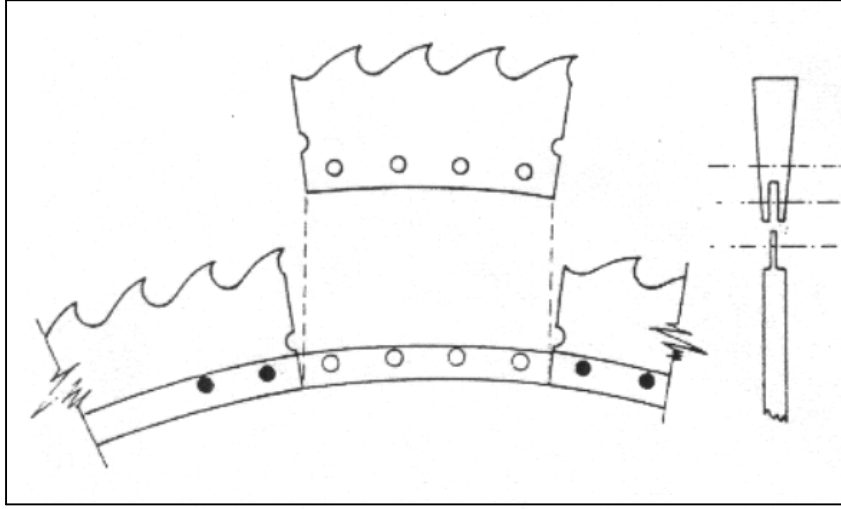
2.3.3.1 Yekpare Testereleler

Çapları 200 ila 400mm arasında değişen bu testerelelerde gövde ve dişler, ısıl işlem ile sertliği 65HRC'ye getirilmiş AISI M2 ya da M7 gibi yüksek hız çeliği bir diskten imal edilirler. Testere gövdeleri her iki taraftan taşlanmak sureti ile biraz konkav (iç bükey) hale getirilirler, böylece kesimlerde boşluk elde edilir. Demir esaslı ve demir dışı malzemeleri kesmek için kullanılırlar ve tezgah üzerinde daha fazla kullanılmalarının mümkün olmadığı çapa erişilinceye kadar bilenebilirler. Daha ince testereleler demir dışı malzemelerin testerelemesi için kullanılabilirler.

2.3.3.2 Parçalı Testereleler

Çapları 300 ila 3050mm arasında değişen parçalı testereleler bir disk tipi gövde çevresinde, üzerlerinde dişler bulunan parçalardan oluşurlar. Testere gövdesi hem rijit hem de darbe sönümlenme yeteneği olan yüksek dayanımlı, düşük alaşımlı çelikten üretilir. Yan boşluk oluşturmak için konik yapılmış, üzerinde dişler bulunan parçalar 65HRC sertliğindeki yüksek hız çeliğinden imal edilirler. Parça uzunlukları, 305mm çaplı bir testere için 63.5mm uzunluktan, 1829 mm çaplı bir testere için 127mm uzunluğa kadar testere çapları ile değişir.

Çoğu parçalı tip dairesel testerelede gövde dış çevresi boyunca işlenir. Gövdenin işlenen kısımlarına uyması için parçaların iç yüzeylerine kanallar açılır. Bir imalatçı, testere gövdesinde kanallar ve parçalarda diller (çıkıntılar) bulunan parçalı testereleler üretmektedir. Her iki tasarımda da parçalar testere gövdesine perçinler ile bağlanırlar. Perçinler yanal dengeyi sağlamak için, testere gövdesi dışında parçaların birbirlerine bakan yüzleri arasına da yerleştirilirler (Şekil 2.20).



Şekil 2.20 Yüksek hız çeliği dairesel testerelerdeki çıkarılabilen, bilenebilen ve çok kereler değiştirilebilen tekil parçalar (Drozda, 1983).

Parçalı testereler, tek parça testerelerden daha iyi darbe sönümleme özelliklerinden dolayı daha yaygın olarak kullanılırlar. Parçalar üzerindeki dişler özel şartlara uygun olmaları için tasarlanabilirler. Ayrıca, tek bir parça aşındığında ya da kırıldığında çıkarılabilir (Şekil 2.20), bilenebilir ve birçok kere değiştirilebilir, böylelikle testere giderleri azalır. Buna karşın, parçalı testereler genellikle yekpare testerelerden daha kalın olmak zorundadırlar, ve oluşturulan yüzeyler çoğu zaman yekpare testerelerdeki kadar düzgün değildir.

2.3.3.3 Karbür Uçlu Testereler

Karbür uçlu dairesel testereler, diş uçlarında sert lehimlenmiş karbür bulunan yüksek dayanımlı, düşük alaşımlı çelik bir gövdeye sahiptirler ve 305 ila 1829mm arası çaplarda, 4 ile 10.92mm arasında değişen kesim genişlikleriyle bulunurlar. Bu testereler uzun yıllar alüminyum, pirinç ve bazı plastikleri kesmek için kullanılmışlardır. Daha sonraları, karbür uçlu testereler artan bir şekilde çeliğin kesilmesinde, özellikle yüksek üretim ihtiyaçlarını karşılamak ve büyük dövme kütükleri testerelemek için kullanıldılar. Üretkenlikteki gelişmeler, karbür uçlu takımların bu tarz uygulamalar için kullanımı sonucunda olmuştur. Dairesel testerelemede karbürün kritik yüklenmesi sebebiyle, günümüz çağdaş bilimi bu tip kesicilerin ekonomik kullanımına yalnızca dolu malzemeler için izin verir. Amerikan sınıflandırmasına göre C-5 karbürü (ISO P40) demir esaslı metalleri, ve C-2 ya da C-3 (ISO K20 ya da K30) karbürü demir dışı metalleri testerelemek için karbür uçlu kesicilerde yaygın olarak kullanılır.

Büyük kütüklerin karbür uçlu testerelemler ile kesilmesinin avantajları; çeşitli yöntemlerin kütük başlarında oluşturdukları bozuklukları, soğuk makaslamanın neden olduğu kesme çatlaklarını, ve sıcak makaslama için gerekli pahalı, yüksek kapasiteli makaslara olan ihtiyacı ortadan kaldırması şeklinde sıralanabilir. Ayrıca, dairesel testereleme ile üretilen daha düzgün, daha hassas kesim yüzeyleri iskarta miktarını azaltır, malzeme tasarrufu sağlar, daha kolay ve ekonomik kütük kullanımına olanak tanır.

Bir karbür uçlu daire testere üreticisi, testere ömrünün çoğunlukla 7.74-19.35 m² kesme aralığında olduğunu ifade etmektedir. Demir dışı malzemeler testerelemlendiğinde genelde daha uzun ömür elde edilebilir. Testerelemler uçları, değiştirilmek zorunda kalıncaya dek dokuz kere kadar tekrar bilemebilirler. Tekrar bileme testere gövdesi iyi durumda olduğu sürece yapılabilir (bazı durumlarda 45 sefer).

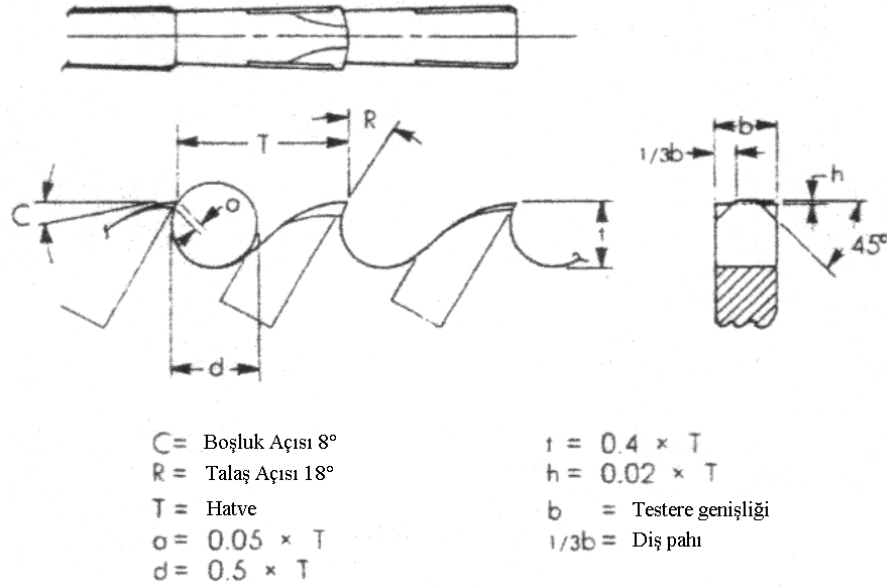
Kesme süreleri testerelemlenen malzemeye, kullanılan tezgaha, kesme hızına ve kesme derinliğine bağlıdır. AISI 1040 çeliğinden kenarları yuvarlatılmış kare kütüklerin 167.6m/dak. kesme hızı ve 0.20mm kesme derinliği ile testerelemlenmesi için gerekli ortalama süreler, 89x89mm kareler için 9 saniye ile 254x254mm kareler için 47 saniye arasında değişir. Bahsedilen boyutların yuvarlak olanlarını kesmek 2-3 saniye daha kısa süre alır. Tam çevrim süresinin hesaplanması için testerenin dönüş hareketi için 4 saniye ve malın ilerletilmesi için 4 ila 8 saniye arası süre ilave edilmelidir.

2.3.3.4 Dış Geometrisi

Dairesel testerelemenin başlıca avantajı çok değişik malzemeleri ve parça büyüklüklerini aynı takım ile kesmeye imkan vermesidir. Bununla birlikte bazı malzemeleri kesmek ve uzun üretim periyotlarında en uygun performansı elde etmek için mevcut birkaç değişkeni değiştirmek genellikle daha ekonomiktir.

Üçlü-talaş dış tasarımı

En yaygın dış geometrisi tipi üçlü-talaş ya da yüksek-alçak dış modelidir (Şekil 2.21). Bu tasarım aslında her bir dış çiftinin üç talaş oluşturmasıyla frezeleme tipi kesme sağlar. Kaba dış olarak adlandırılan her çiftin ilk dişi, daha yüksektir ve her bir kenarında 45⁰ pah kırılmıştır bu sayede genişliğinin üçte biri düz kalır ve her bir geçişi ile kesimin merkezinden tek bir talaş kaldırır. Bitirme dişi olarak adlandırılan her çiftin ikinci dişi daha alçaktır (hatvenin %2'si kadar, genellikle 0.25-0.64mm arasında bir değerdedir) ve düzdür ve her bir geçişte önceki kaba dış tarafından oluşturulan kanalın her bir yüzünden iki talaş kaldırır.



Şekil 2.21 Yüksek-alçak model olarak da adlandırılan, HSS dairesel testerelede yaygın biçimde kullanılan üçlü-talaş diş geometrisi (Drozda, 1983).

Dairesel testere takımlarında diş genişlikleri kesimde sıkışmayı engellemek için gövdeden daha geniş olmalıdır. Kaba diş testereye malzeme içine doğru kılavuzluk eder, ve yükseklik farklılığı sabit ilerlemeden dolayı bitirme dişlerinin kaba dişlerden daha derine girmesini engeller. Bu tip geometri talaşları parçalar ve talaş yükünü her diş çifti arasında böler, böylece daha hızlı talaş kaldırılmasına imkan verir. Bitirme dişleri tarafından kaldırılan malzeme kaba dişlerin oluşturduğu yarık boyunca akar; bu işlem elde edilen frezeleme tipi düzgün yüzeyin nasıl oluştuğunu açıklar.

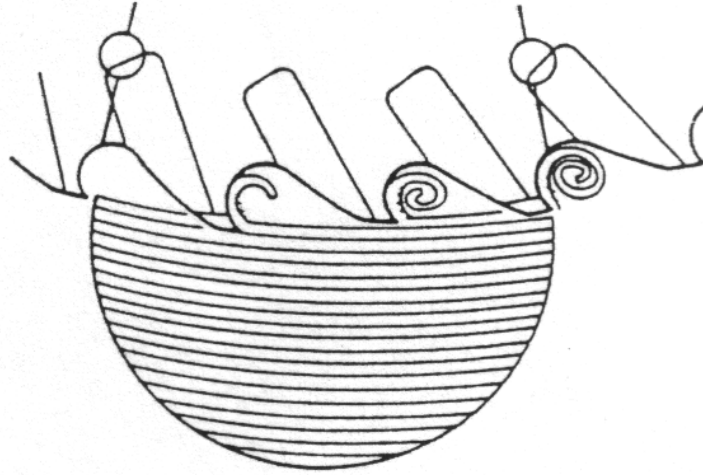
Üçlü-talaş diş geometrisi çoğu demir esaslı kesme uygulamaları için , özellikle dolu parçaların ve kalın kesitlerin testerelemesinde tavsiye edilir, çünkü bu geometri büyük yüklerle dayanabilir ve hızlı talaş kaldırma yeteneğine sahiptir. Ancak bu tasarım ince kesitlerin, ince cidarlı boruların, demir dışı malzemelerin ya da bazı plastiklerin kesilmesi için genellikle tavsiye edilmez. Bunun yerine çoğunlukla alternatif eğik diş modeli tavsiye edilir. Bu tasarımda her bir diş, diş genişliğinin yarısı kadar miktarda zıt yönlere eğilir, tüm dişler aynı yüksekliktedir; dişler üçlü-talaş tasarımındaki daha küçük hatveye sahiptirler. Alternatif-eğik, eşit-yükseklik tasarımının bir avantajı testerelelerin bilenmesinin daha kolay olmasıdır ve bu nedenle daha basit testere taşlama tezgahları kullanılabilir.

Düz-diş tasarımı:

Pirinç ve alüminyumun kesilmesinde yaygın biçimde kullanılan diğer bir geometri düz-diş tasarımıdır. Bu tasarımda dişler eğik değildirler ve hepsinin yüksekliği aynıdır. Özel

uygulamalar için diğ er geometriler de kullanılır. Örneğ in, bazı karbür uçlu takımlar üçlü diş gruplarındaki her diş için farklı geometriye sahiptirler.

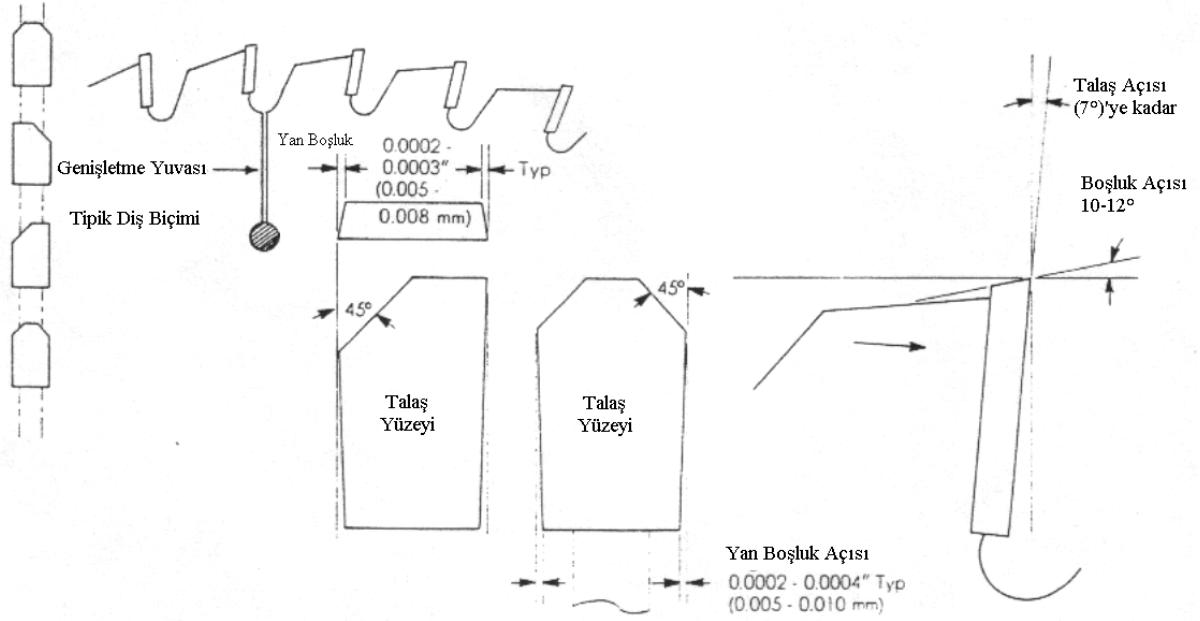
Talaş boşlukları talaşların kıvrılmasına olanak tanır lar. Dişler arasındaki talaş boşlukları geçici bir süre için talaşları depolarlar böylece dişler iş parçasından sürekli olarak talaş kaldıracakları, bu durum şek il 2.22’de görülmektedir. Talaş boşluklarının tasarımı diş hatvesinin bir fonksiyonudur (hatve büyüdükçe talaş boşluğu da büyür).



Şek il 2.22 Oluş an talaşları kıvrıran ve sürekli dairesel testerelemeye olanak tanımak için onları geçici olarak depolayan talaş boşlukları (Drozda, 1983).

Dişlerdeki talaş açıları kamanın oluşmasını ve testerelenen malzemenin kesilmesini sağlarlar. Boşluk açıları dişlerin iş parçasına doğru bastırılmadan sabit bir ilerleme değ erinin kullanımına olanak tanır lar. Malzemenin testere edilmesi kolaylaştıkça daha büyük talaş ve boşluk açıları ve böylece daha hızlı ilerleme değ erleri kullanılabilir. Talaş açıları büyüdükçe kesme kuvvetleri azalır, fakat dişin dayanımı azalır. Boşluk açılarının artırılması talaş depolanması için daha çok yer sağlar, ancak boşluk açıları çok büyük olduğ unda diş dayanımı azalır. Testerelenecek malzeme sertliğı arttıkça, daha küçük talaş ve boşluk açıları kullanılmalıdır.

Çoğ u malzemenin kesilmesi için 18° 'ye kadar talaş açıları ve 8° 'ye kadar boşluk açıları kullanılır. Bununla birlikte uzun imalat periyotları ve özel uygulamalar için, verimin artırılması ve testere ömrünün uzatılması diğ er açıların kullanılması ile elde edilebilir. Metl-Saw Systems firması tarafından üretilen hassas sac testerelelerinde kullanılan karbür uçlu testere geometrisi şek il 2.23’de görülmektedir.



Şekil 2.23 Hassas sac testerelerinde kullanılan karbür uçlu dişler (Drozda, 1983).

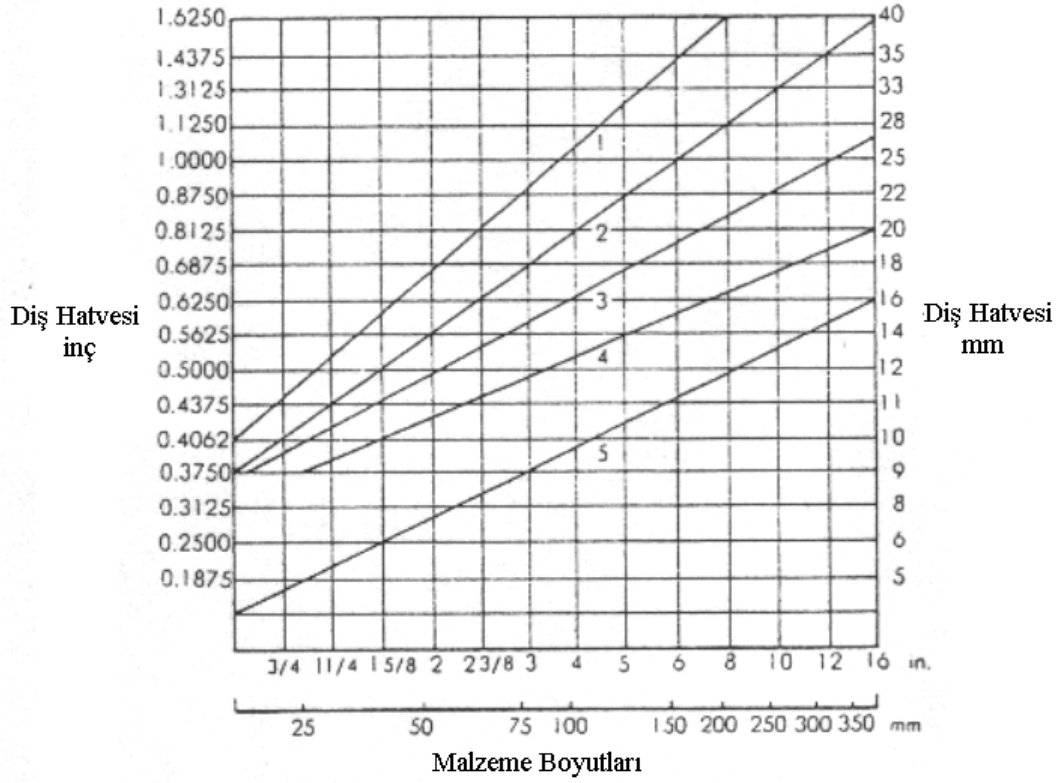
2.3.3.5 Testere Hatvesi

Dairesel testere için seçilen diş hatvesi kesilecek malzemenin genişliğine ve sertliğine bağlıdır. Demir dışı malzemelerin ve yumuşak çeliklerin kesilmesinde kısa süre içerisinde mümkün olduğunca çok talaş kaldırmaya çalışılmalıdır (diş çifti başına 0.64 mm kadar çok). Bu amaçla, büyük talaşların geçici bir süre depolanması için yer sağlayan büyük hatveler gereklidir. Testerelemenin her anında en az üç ya da beş diş kesilen malzemeyle birbirine geçmiş durumda bulunmalıdır. Örneğin, 25.4 mm hatveli bir testere 127mm çapında yumuşak çelikten bir yuvarlak çubuğu kesmek için uygundur. Her biri 0.38-0.64mm arası kalınlıkta talaş kaldıran ve 18.3-30.5 m/dak. hız ile dönen beş diş iyi verimlilik sağlar.

Paslanmaz çelikleri ve demir esaslı profilleri kesmek için daha küçük hatveli testere kullanılır. Çünkü, çoğu paslanmaz çeliklerde, özellikle östenitik türlerde ve bazı alaşımlarda işleme esnasında sertleşme eğilimi vardır, daha ince talaşlar (0.10-0.20mm kalınlığında) oluşturmak için daha yavaş bir ilerleme hızı istenir. İnce talaşlar daha kolay kırılırlar. Sonuç olarak, kesme esnasında malzeme ile mümkün olduğunca çok sayıda diş temas halinde olmalıdır. Yedi ya da sekiz dişin malzeme ile temasta olduğu testere hatvesi tavsiye edilir.

Boruların ve demir esaslı profillerin dairesel testere ile kesilmesinde, testere hatvesi optimize edilemez. İyi bir uygulama, bu tür iş parçaları için malzemenin en kısa genişliğinde en az iki dişin iş parçası malzemesi ile temasta olmasıdır. Bununla birlikte, dairesel testerelemedeki

takım rijitliği, bu tavsiyedeki bazı değişikliklere izin verir. İdeal testere hatvesi (şekil 2.24'deki grafikten belirlenebilen), yalnızca büyük parça boyutları kesildiğinde arzu edilir.



Malzeme Boyutları
İdeal Testere Hatvesi

Grup	Malzeme Türü	R,°	C,°
1	Alüminyum & Bakır	25	12
2	Yumuşak Çelik	18	8
3	Yüksek karbon alaşımlı takım çelikleri	14	6
	Östenitik paslanmaz çelik türleri	12	6
	Yumuşak dökme demir&sünek demirler;bronz&pirinç	14	8
4	Kiriş, profil türleri	20	8
5	Levha kesitleri	18	8

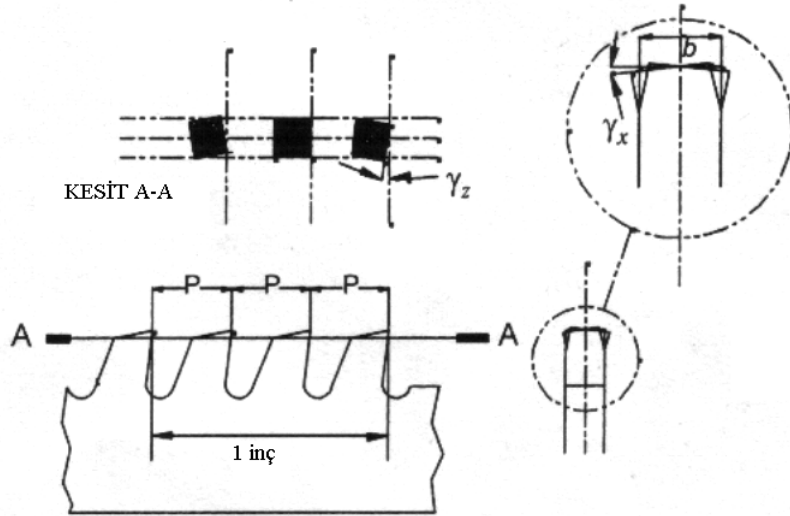
Şekil 2.24 Yüksek hız çeliği dairesel testere için geometrik parametreler. Tablodan kesilecek malzeme ya da şekil için talaş açısı R ve boşluk açısı C seçilir. Malzeme ya da şekil grup numarası kullanılarak, grafikten uygun hatve seçilir (Drozda, 1983).

3. TESTERELEME İLE İLGİLİ YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

3.1 Şerit Testerelemede Kesme Kuvvetleri

Bu çalışmada Ko ve Kim (1998), şerit testere ile yapılan çok kesen ağızlı kesmede, kesme kuvvetlerinin öngörüsü için mekaniksel bir model geliştirmişlerdir. Çalışmada şerit testerelemede kesme kuvvetlerini tahmin etmek için geliştirilen matematiksel modelde, anlık deforme olmamış talaş kalınlığı ve spesifik kesme basıncı kullanılmıştır. Spesifik kesme basıncı, frezelemedeki tek kesen ağızlı takım ile kesmeye benzer olarak, tek kesen ağızlı takım ile kesme tekniğiyle elde edilmiştir. Tek kesen ağızlı kesme, kalınlığı testeredeki diş adımından daha küçük iş parçaları kullanılarak yapılmıştır. Daha sonra kesme kuvvetleri, spesifik kesme basıncı sola eğik, düz, sağa eğik diş gibi şerit testere dişinin geometrik profilini dikkate alan bir geometrik modele uygulanarak hesaplanmıştır.

Deneyde standart tip, aralıklı ardışık çaprazlamalı ve bir inçteki diş sayısı üç olan testere kullanılmıştır (Şekil 3.1).



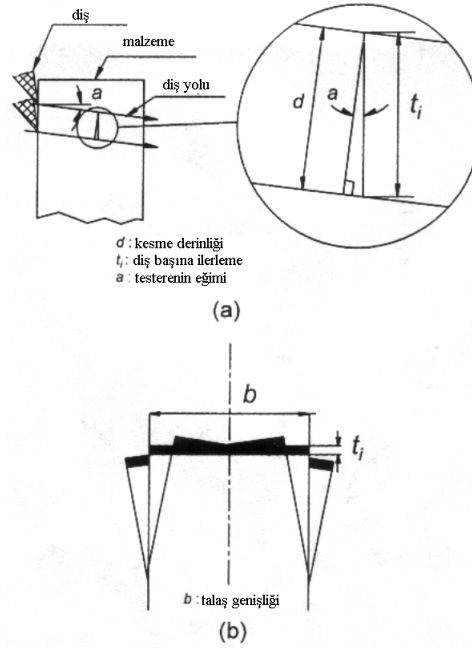
Şekil 3.1 Deneylerde kullanılan testere geometrisi (Ko, Kim, 1998).

Şekil 3.2 şerit testereleme esnasındaki kesme mekanizmasını temsil etmektedir. Şerit testerelemede, diş başına ilerleme her dişin kesme derinliğine, aynı yönde ölçüldükleri takdirde eşittir. Bu, ilerleme miktarı ve kesme hızının her ikisine birden bağlıdır ve aşağıdaki eşitlik ile belirlenebilir.

$$t_i = \frac{P \cdot f}{v} \quad (3.1)$$

Burada t_i kesme derinliği, p ardışık dişler arası mesafe (adım), f ilerleme, ve v kesme hızıdır. Şekil 3.2 (a)'da görüldüğü gibi, testere etkin bir kesme için a meyil açısı ile eğilmiştir. Ancak, meyil açısı çok küçüktür; gerçek kesme derinliği d , t_i ile yaklaşık olarak aynı kabul edilir. Bu nedenle deforme olmamış talaş alanı, şekil 3.2 (b)'de görüldüğü üzere, aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır. Burada b testerenin kalınlığıdır.

$$A = b \cdot t_i \quad (3.2)$$



Şekil 3.2 Şerit testerelemenin kesme mekanizması (a) şerit testere kesme mekanizması; (b) testere dişinin gerçek kesme alanı (Ko, Kim, 1998).

3.1.1 Kuvvet Sistem Modelinin Geliştirilmesi

3.1.1.1 Spesifik Kesme Basıncı

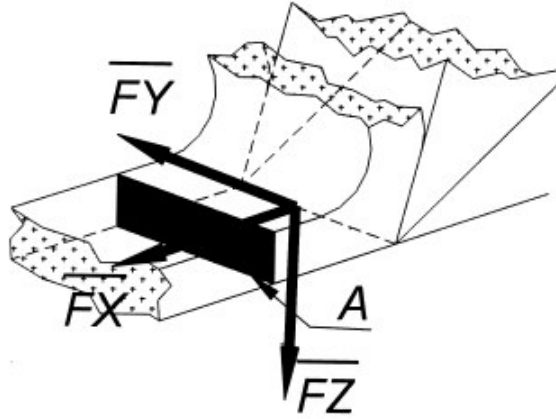
Dikdörtgen kartezyen koordinat, kesici kenar merkezinde orijin ve kesme yönünde X-ekseni ile oluşturulur. Z-ekseni işlenen yüzeye diktir ve yönü aşağıya doğrudur. Y-yönü sağ el kuralına göre belirlenir (şekil 3.3). Normal kesme kuvveti X- yönlü kuvvet olarak tanımlanır ve doğrultusu kesici kenara diktir.

Martellotti, talaş kesit alanına etki eden normal kesme kuvvetinin deforme olmamış talaş alanı ile spesifik kesme basıncının (k_s) bir ürünü olduğunu ileri sürmüştür. Kesme kenarı boyunca etki eden yanal ve radyal kuvvetler, normal kuvvetin k_y , k_z ampirik sabitleri ile sırasıyla

çarpımları ile elde edilirler. Diş geometrisinin etkileri göz ardı edilerek, spesifik kesme basıncı k_s , diş başına X yönlü ana kesme kuvvetinin eşitlik (3.2)'deki deforme olmamış talaş alanı A 'ya bölünmesi ile elde edilebilir. Y ve Z yönlerinin spesifik kesme sabitleri k_y ve k_z , Y ve Z yönlü kesme kuvvetlerinin X normal kuvvetine sırayla bölünmesi ile elde edilirler. Buna bağlı olarak, spesifik kesme basıncı ve spesifik kesme sabitleri aşağıdaki gibi yazılır:

$$\begin{aligned} k_s &= \frac{\overline{F_x}}{A} \\ k_y &= \frac{\overline{F_y}}{\overline{F_x}} \\ k_z &= \frac{\overline{F_z}}{\overline{F_x}} \end{aligned} \quad (3.3)$$

burada, $\overline{F_x}$, $\overline{F_y}$ ve $\overline{F_z}$ her bir diş için sırasıyla X,Y ve Z yönlü ana kesme kuvvetleridir.

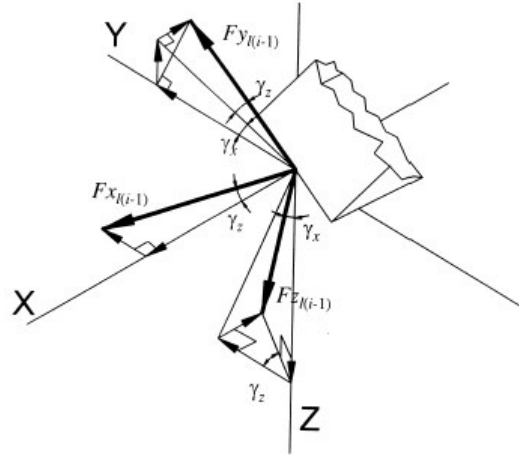


Şekil 3.3 Kesici kenardaki kuvvetler (Ko, Kim, 1998).

3.1.1.2 Testere Dişi Geometrisi Kesme Kuvveti Modeli

Aralıklı ardışık çaprazlamada testere ağzı tekrarlı olarak sola eğik, düz ve sağa eğik dişlere sahiptir. Bu nedenle, kesme kuvveti modeli bu üç tür geometrik şekli dikkate alır. İlk durumda, şekil 3.4'de görüldüğü üzere, sola eğik diş durumunda diş başına anlık kesme kuvveti normal, yanal ve radyal kuvvetler aşağıdaki biçimde ayrıştırılarak modellenebilir.

$$\begin{Bmatrix} FX_i(i-1,d) \\ FY_i(i-1,d) \\ FZ_i(i-1,d) \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\gamma_z & -\sin\gamma_z & -\sin\gamma_x\sin\gamma_z \\ \sin\gamma_z & \cos\gamma_x\cos\gamma_z & \sin\gamma_x\cos\gamma_z \\ 0 & -\sin\gamma_x\cos\gamma_z & \cos\gamma_x \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} FX_i(i-1,d) \\ FY_i(i-1,d) \\ FZ_i(i-1,d) \end{Bmatrix} \quad (3.4)$$



Şekil 3.4 Sola eğik testere dişi (Ko, Kim, 1998).

Burada γ_x ve γ_z , X, Z eksenlerine göre dişin dönme açıları, sırasıyla, i diş sırası, d kesme mesafesidir. l sembolü sol anlamına gelir. $F_x(i,d)$, $F_y(i,d)$, ve $F_z(i,d)$ şekil 3.4'de görüldüğü gibi kesici kenarın sırasıyla normal, yanal ve radyal bileşenleridir. $F_x(i,d)$, $F_y(i,d)$, ve $F_z(i,d)$ sırasıyla X,Y ve Z yönlü anlık kesme kuvvetleridir. Spesifik kesme basıncı, spesifik kesme katsayısı ve deforme olmamış talaş kalınlığı eşitlik 3.4'de yerine koyularak anlık kesme kuvvetleri elde edilebilir.

Sola eğik diş takip eden düz dişin anlık kesme kuvvetleri eşitlik 3.4'e, deforme olmamış talaş alanının normalinin yönünün X eksenine ile çakışık olması dışında benzerdir (şekil 3.5). Bu nedenle, kesme kuvvetleri aşağıdaki şekilde modellenilebilir:

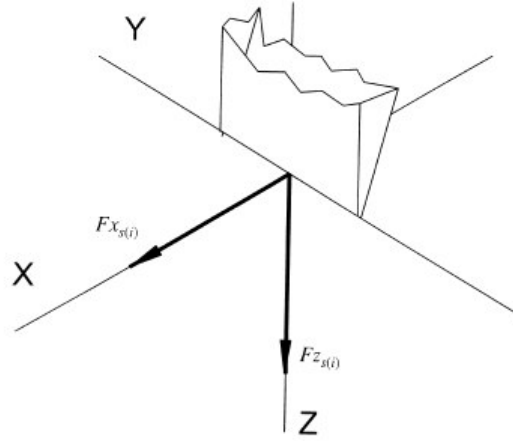
$$\begin{Bmatrix} FX_s(i,d) \\ FY_s(i,d) \\ FZ_s(i,d) \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} FX_s(i,d) \\ 0 \\ FZ_s(i,d) \end{Bmatrix} \quad (3.5)$$

Burada s düz anlamına gelmektedir.

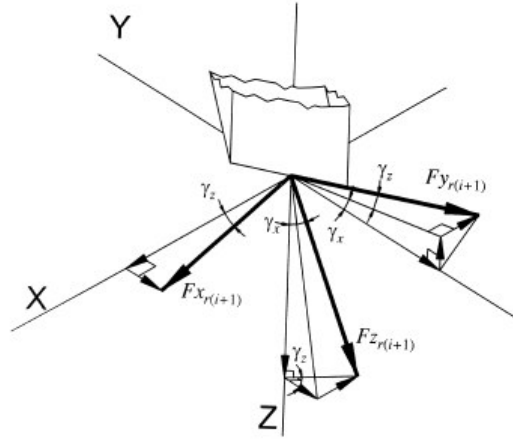
Diğer taraftan, sola eğik dişe benzer olarak sağa eğik dişin anlık kesme kuvvetleri, şekil 3.6'da görüldüğü üzere aşağıdaki şekilde modellenir:

$$\begin{Bmatrix} FX_r(i+1,d) \\ FY_r(i+1,d) \\ FZ_r(i+1,d) \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\gamma_z & -\sin\gamma_z & -\sin\gamma_x\sin\gamma_z \\ \sin\gamma_z & -\cos\gamma_x\cos\gamma_z & -\sin\gamma_x\cos\gamma_z \\ 0 & -\sin\gamma_x\cos\gamma_z & \cos\gamma_x \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} FX_r(i+1,d) \\ FY_r(i+1,d) \\ FZ_r(i+1,d) \end{Bmatrix} \quad (3.6)$$

Burada r sağ simgeler.



Şekil 3.5 Düz testere dişi (Ko, Kim, 1998).



Şekil 3.6 Sağa eğik testere dişi (Ko, Kim, 1998).

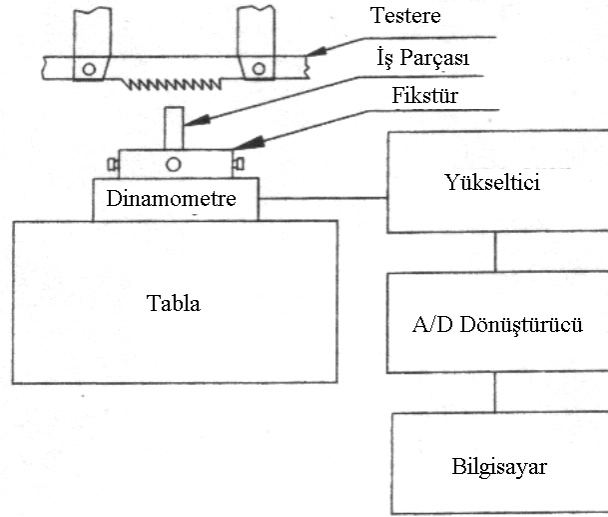
(3.3) ve (3.6) eşitlikleri tek bir dişteki kuvvetleri tanımlamak için kullanılırlar. Bu nedenle, çok kesen ağızlı kesme durumunda ki burada kesme esnasında birden fazla diş eş zamanlı olarak çalıştırılır, kesme kuvvetleri eşitlik (3.4) ve (3.6)'nın toplanmasıyla aşağıdaki şekilde elde edilirler.

$$\begin{Bmatrix} FX \\ FY \\ FZ \end{Bmatrix} = \sum_{i=1}^n \left\{ \delta_i \begin{Bmatrix} FX_i(i-1,d) \\ FY_i(i-1,d) \\ FZ_i(i-1,d) \end{Bmatrix} + \delta_s \begin{Bmatrix} FX_s(i,d) \\ FY_s(i,d) \\ FZ_s(i,d) \end{Bmatrix} + \delta_r \begin{Bmatrix} FX_r(i+1,d) \\ FY_r(i+1,d) \\ FZ_r(i+1,d) \end{Bmatrix} \right\} \quad (3.7)$$

Burada n toplam diş sayısı, ve δ Kronecker deltasıdır. δ , diş kesme yapıyorken 1, ve iş parçası dışında iken 0'dır. FX , FY , ve FZ sırası ile X,Y, ve Z yönlü kesme kuvvetleridir.

3.1.2 Kesme Deneyleri

Deneyde kullanılan düzenek şekil 3.7’de gösterilmektedir. Üç yöndeki kesme kuvvetlerini ölçmek için tezgah tablası üzerine bir takım dinamometresi yerleştirilmiştir. Dinamometreden gelen kesme kuvveti sinyali bir yükseltici tarafından kuvvetlendirilir ve A/D dönüştürücüsü vasıtasıyla bir bilgisayar tarafından toplanır. İş parçası 8x25mm boyutlarında yumuşak çelikten (AISI 1010) bir çubuktur. İki diş arası 8.3mm’dir, bu yüzden 8mm’lik kenara paralel kesme yaparak tek noktalı kesme elde edilmiştir. Dolayısıyla, diş başına ana kesme kuvveti elde edilebilmiş ve buradan spesifik kesme basıncı hesaplanabilmiştir. İş parçası döndürülerek 25mm kalınlık boyunca da kesme yapılmıştır, böylelikle üç diş birden kesme işlemine katılmıştır. Kuvvet ölçümü aynı şekilde yapılarak kesme kuvvet modelinin kontrolü yapılmıştır.



Şekil 3.7 Deneyel kurulum (Ko, Kim, 1998).

3.1.3 Sonuçlar ve Tartışma

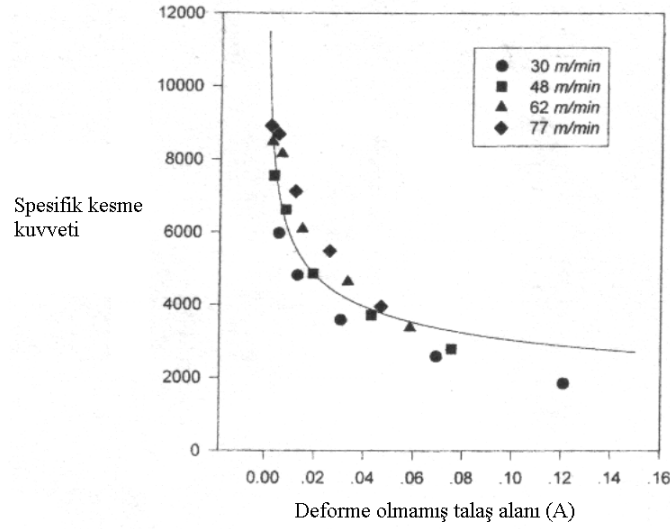
3.1.3.1 Spesifik Kesme Basıncının Modellenmesi

Testerelemede kesme kuvvetlerini öngörmek için öncelikle, bir spesifik kesme basıncı modeli kuruldu. Toplam 20 çeşit kesme kuvveti sinyali ölçüldü: dört kesme hızı (30-77m/dak.), ve beş ilerleme değeri (15-332mm/dak.). Ortalama k_s değerlerini tahmin etmek için gözlemlenen ortalama kuvvetleri kullanmak mümkündür. Böylelikle, ortalama kesme kuvvetleri (3.4) numaralı eşitliğe uygulanarak farklı kesme koşullarına bağlı olarak farklı k_s değerleri elde edilir.

Spesifik kesme basıncını modellemek için, genelde, $k_s = \alpha \cdot A^\beta$ eşitliği kullanılır. Bu spesifik kesme basıncı ve deforme olmamış talaş alanı arasındaki bir bağıntıdır, burada α ve β sabitlerdir ve A deforme olmamış talaş alanıdır. Bu eşitlikten, aşağıdaki model oluşturulur; şekil 3.8 değerinin grafiğini gösterir.

$$k_s = 1427.6A^{-0.295} \quad (3.8)$$

Diğer spesifik kesme katsayıları k_y , k_z eşitlik (3.3) kullanılarak hesaplanır.



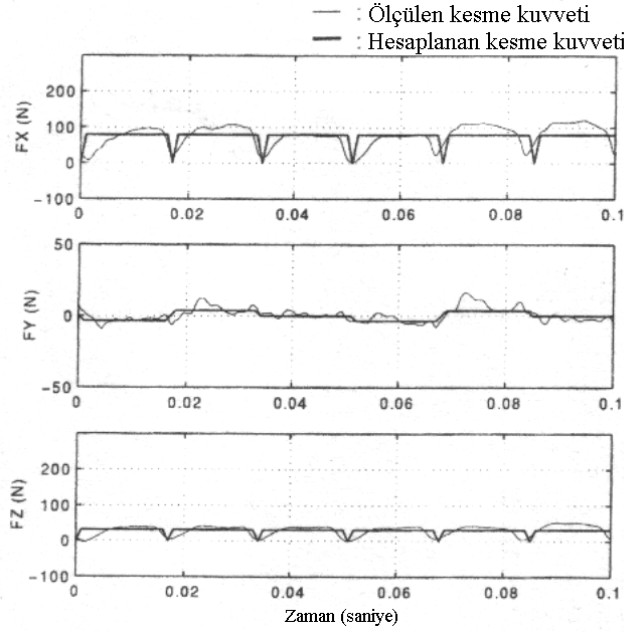
Şekil 3.8 Spesifik kesme kuvvetinin hesaplanması (Ko, Kim, 1998).

3.1.3.2 Modelin Tek Kesen Ağzılı Takımla Kesmede Doğrulanması

Şekil 3.9 İlerleme değeri 84mm/dak. ve kesme hızı 30m/dak. olan kesme şartları ile ilgili olarak tahmin edilen ve ölçülen kesme kuvvetlerini gösterir. Tahmin edilen kesme kuvveti sinyali ikizkenar yamuk şeklindeyken ölçülen kesme kuvveti değildir. Bu, şerit titreşimi gibi dış faktörlerden kaynaklanır. Bununla birlikte kesme kuvvetinin büyüklüğü yaklaşık olarak aynıdır. X yönündeki kesme kuvveti ki bu, kesme yönüdür, Z yönündeki kesme kuvvetinden iki kat daha büyüktür. Genelde, baskı kuvvetinin ana kesme kuvvetine oranı 0.4'tür, testerelemede bu oran 0.5'tir. Farkın nedeni ilerleme yönü ile baskı yönün çakışmasıdır. Y yönündeki kuvvet çok küçüktür ve kesme kuvvetini ölçmek zordur. Bu, Y yönündeki kesme kuvvetinin kesme işlemini etkilemediğini doğrular. Yukarıda görüldüğü üzere, tek kesen ağzılı kesme durumunda, kesme kuvvetleri spesifik kesme basıncı kullanılarak gayet güzel tahmin edilebilmektedir.

3.1.3.3 Modelin Çok Kesen Ağızlı Takımla Kesmede Doğrulanması

Çok kesen ağızlı takımla kesmede, 25mm kalınlığında iş parçası kullanılarak, testerelemede üç diş eş zamanlı olarak çalıştırılır. Şekil 3.10 kesme hızı 48m/dak.ve ilerleme değeri 189mm/dak. olan kesme şartlarında ölçülen ve öngörülen kesme kuvvetlerini gösterir. Kesme kuvveti sinyalinin biçimi tek kesen ağızlı takımla kesmedekine benzer olarak ikizkenar yamuktur. Öngörülen kesme kuvveti gerçek kesme kuvvetine çok yakın bir değerdedir.



Şekil 3.9 Tek kesen ağızlı takımla kesmede ölçülen ve tahmin edilen kesme kuvvetleri (kesme hızı:30m/dak., ilerleme: 84mm/dak.) (Ko, Kim, 1998).

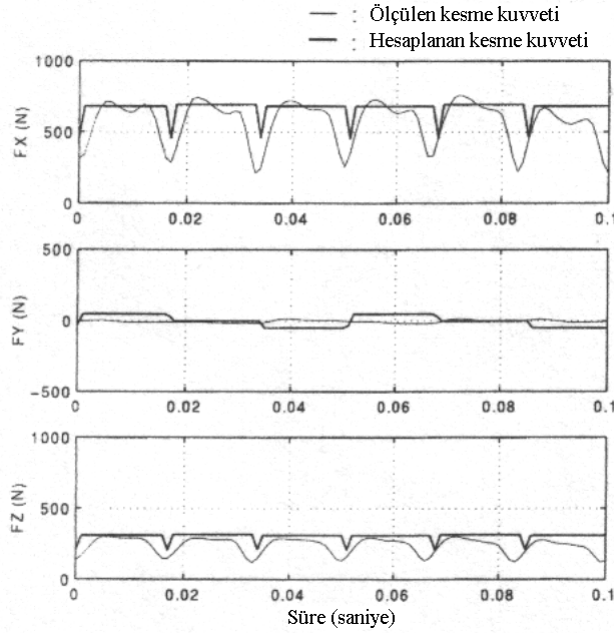
Ayrıca, Y yönündeki kesme kuvveti ihmal edilebilir ve X ve Y yönlü kesme kuvvetlerinin oranı tek kesen ağızlı kesmedeki ile aynıdır. Buraya kadar elde edilen verilere bakıldığında çok kesen ağızlı kesmede de kesme kuvveti modelin yeterli olduğu görülür.

Deneylerde, her bir yöndeki kesme kuvvetlerinin tek kesen ağızlı kesmedekilerden üç kat büyük olduğu görülmüştür. Bu nedenle, çok kesen ağızlı kesmedeki kesme kuvvetleri, tek kesen ağızlı kesmedeki kuvvetlerin çalıştırılan toplam diş sayısı ile çarpılmasıyla basit olarak tahmin edilebilir.

3.1.4 Sonuç

Şerit testerelemedeki kesme kuvvetlerini tahmin etmek için testere diş geometrisi dikkate alınarak mekaniksel bir model geliştirildi. Mekaniksel model kullanmak için spesifik kesme basıncı gereklidir. Bu noktada, frezelemedeki tek kesen ağızlı takımla kesmeye benzeyen tek kesen ağızlı kesme metodu, spesifik kesme basıncını elde etmek için kullanıldı. Tek kesen

ağızlı kesmedeki kesme kuvvetlerini kullanan bir spesifik kesme basıncı modeli oluşturuldu. Tek kesen ağızlı ve çok kesen ağızlı takımla kesmenin her ikisi için yapılan doğrulama deneylerinden şu sonuca varıldı ki geliştirilen mekaniksel model şerit testerelemede kesme kuvvetlerini çok iyi bir şekilde tahmin edebilmiştir.



Şekil 3.10 Çok kesen ağızlı takımla kesmede ölçülen ve tahmin edilen kesme kuvvetleri (kesme hızı: 48m/dak., ilerleme: 189mm/dak.) (Ko, Kim, 1998).

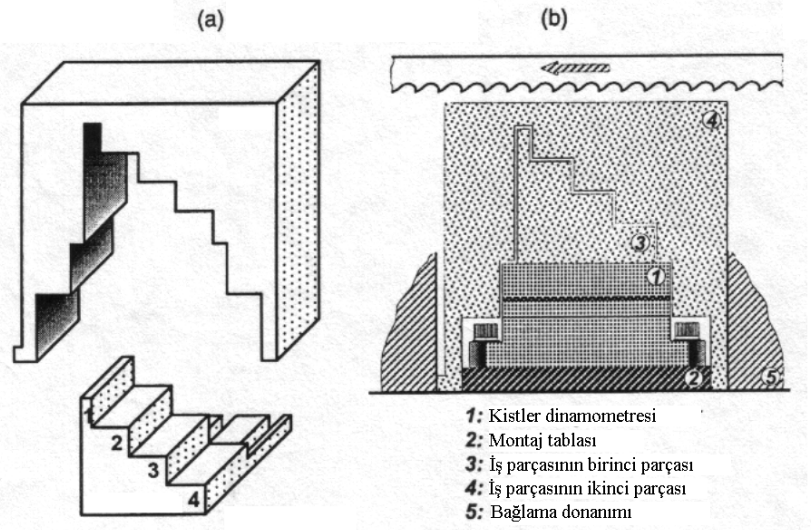
3.2 Testere Dişi Mikro Geometrisinin Gerilme Analizi

Andersson (2000) farklı testere dişi mikro geometrilerinin sonlu elemanlar yöntemi ile gerilme analizini yapmıştır. Çalışmasında farklı kesici kenar yükü ve mikro geometrisi için gerilme dağılımının belirlenmesini amaçlamıştır. Analizi testere dişi ucunu temsil eden üç boyutlu bir sonlu eleman modeli üzerinde gerçekleştirmiştir. Üç boyutlu model, diş genişliği boyunca yeterli bir hassasiyet ile yük dağılımının modellenmesini ve gerilme dağılımının incelenmesini mümkün kılar. Sonlu eleman yöntemi hesaplamalarında, şerit testerelemede tekil kesme kuvvetlerine ait deneysel ölçümlerde elde edilen değerleri kullanmıştır.

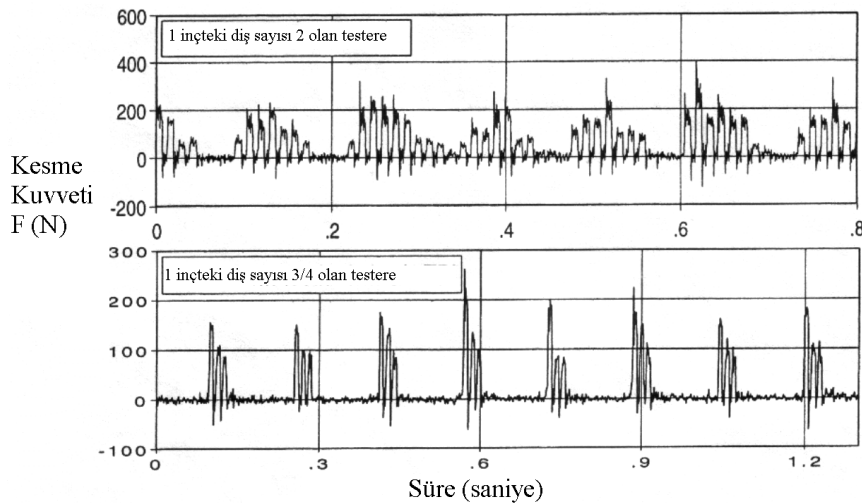
3.2.1 Deneysel Çalışma

Deneysel şerit testereleme esnasında oluşan kesme kuvvetlerini ölçmek için kullanılan ekipman Şekil 3.11’de gösterilmektedir. Kuvvetler iki parçadan oluşan basamak şekilli iş parçası ile ölçüldü. Takım geometrisine göre ayarlanmış şekle sahip birinci parça Kistler dinamometresi üzerine monte edildi. İkinci parça da hem birinci parçanın hem de

dinamometrenin dışına yerleştirildi. İki farklı takım geometrisinin (inçteki diş sayısı birinde 2, diğerinde $\frac{3}{4}$ olan) kullanıldığı şerit testereleme deneylerinde tek bir dişe gelen kesme kuvveti değerlerinde önemli bir değişme olduğu gözlemlendi. Şekil 3.12 iki farklı takım geometrisi için deneylerde kaydedilen kesme kuvvetlerini göstermektedir. Diyagramlar farklı takımlar için farklı biçimlere sahip kuvvet değişimleri olduğunu gösterdiler. Ayrıca, mikroskopta bir gurup diş için mikro geometri incelendiğinde kesici kenar yarıçapında bir değişme olduğu gözlemlendi. Aşınmanın neden olduğu bu yarıçap değişimi, gerilme analizinde farklı mikro geometriye (farklı uç yarıçap değerlerine) sahip modeller kullanılarak incelendi.



Şekil 3.11 Deneyler için geliştirilmiş ölçme donanımı. (a) İki parçadan oluşan iş parçası. (b) Deneysel kurulum (Andersson, 2001).

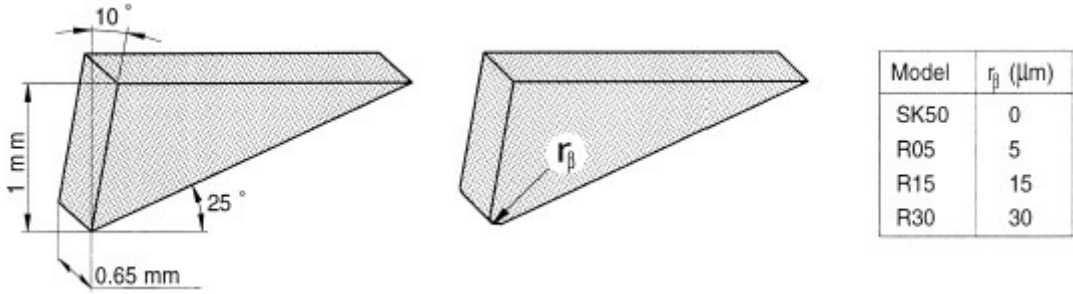


Şekil 3.12 İşleme esnasında iki farklı takım geometrisi için kaydedilen tekil kesme kuvvetleri (Andersson, 2001).

3.2.2 Gerilme Analizinde Kullanılan Geometrik Model

Gerilme analizi, farklı mikro geometri tipleri ve değişik yükler için gerilme durumunu belirlemek amacıyla yapıldı. Mikro geometri ve yük dağılımının her ikisini birden yeterli bir hassasiyetle modelleyebilmek için yalnızca diş ucunu temsil eden bir geometrik model kullanıldı (Şekil 3.13). Geometrik model simetrik yüke maruz kalmıő çaprazlanmamış bir diş temsil etmektedir, bu nedenle sadece dişin yarısının modellenmesi yeterlidir.

Şekil 3.13'te gösterildiği üzere dört farklı geometrik model analiz edilmiştir. Kesici kenar yarıçapı r_β , deforme olmamış kenarlar için ölçüldü ve 10 ila $48 \mu\text{m}$ arasında deęiőt. Modellenen değerler r_β ve h_{1n} (nominal deforme olmamış talaş kalınlığı) arasından seçildi.



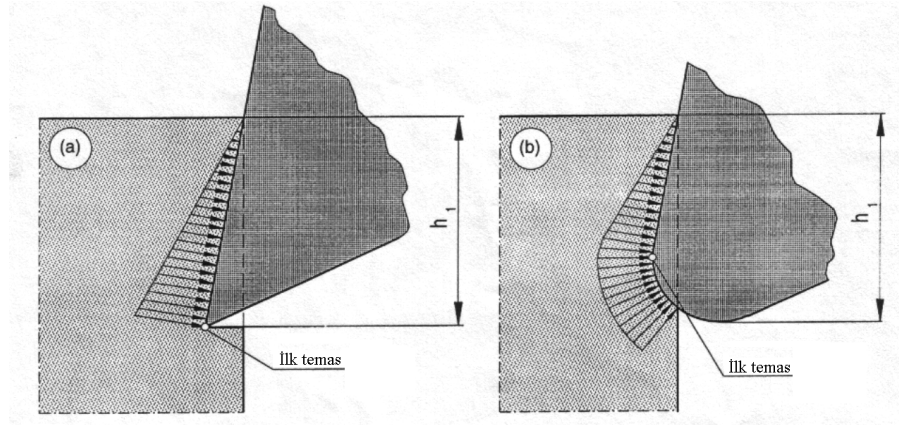
Şekil 3.13 Sonlu elemanlar yöntemi analizinde kullanılan geometrik modeller (Andersson, 2001).

3.2.3 Yük Uygulanması ve Sınır Şartlar

Kesici kenar iş parçasına daldığı anda en büyük kuvvete maruz kalır, bu kısa zaman zarfında yük yalnızca talaş yüzeyinde oluşur. Bu andaki kuvvetin büyüklüğü sadece h_1 , mikro geometri ve kesme derinliğine bağlıdır.

Bu çalışmada yapılan yük uygulaması, şekil 3.14'te gösterildiği üzere, diş giriőini incelemek amacıyla yapıldı. Aşağıdaki sınır şartları kabul edildi ve yaklaőımlar uygulanan yük ile ilgili olarak yapıldı. Burada h_1 genel deforme olmamış talaş kalınlığıdır.

- Talaş yüzeyindeki temas uzunluğu l_{cr} , h_1 'e göre belirlenir.
- Serbest yüzeydeki temas uzunluğu l_{cf} , h_1 ve r_β 'ye göre belirlenir.
- Talaş yüzeyindeki kayma kuvveti ihmal edilebilir.



Şekil 3.14 Yük uygulanması: (a) keskin kesici kenar için, (b) yuvarlatılmış kesici kenar için (Andersson, 2001).

Kuvvet, sadece modellenen diş genişliğinin yaklaşık 2/3'üne uygulandı. Kuvvet uygulaması pratik işleme şartlarını temsil etmesi gerektiğinden, kesme kuvveti ölçümleri, kesme kuvveti değişim aralıklarını belirlemek için yapıldı. Bunlar çizelge 3.1'de farklı tezgah ayarları ve takım geometrileri için verilmiştir. Farklı deforme olmamış talaş kalınlıkları için uygulanan kuvvetin büyüklüğü çizelge 3.2'de gösterilmektedir.

Geometrik model iki kesit yüzeyini içerir, biri takımın kalan kısmına sınırdır ve diğeri simetrikliği oluşturan bölme yüzeyidir. Bu iki yüzeye farklı sınır şartları uygulanmıştır. Geometrik modeller üçgen ya da dört köşeli 15 ya da 20 düğüm noktasına sahip katı elemanlardan oluşular ve her bir model yaklaşık olarak toplam 6000 düğüm noktası içerdi.

Çizelge 3.1 Farklı takım geometrileri ve nominal talaş kalınlığı h_{1n} için şerit testere deneylerinde gözlemlenen en büyük ve en küçük ortalama kesme kuvvetleri (Andersson, 2001).

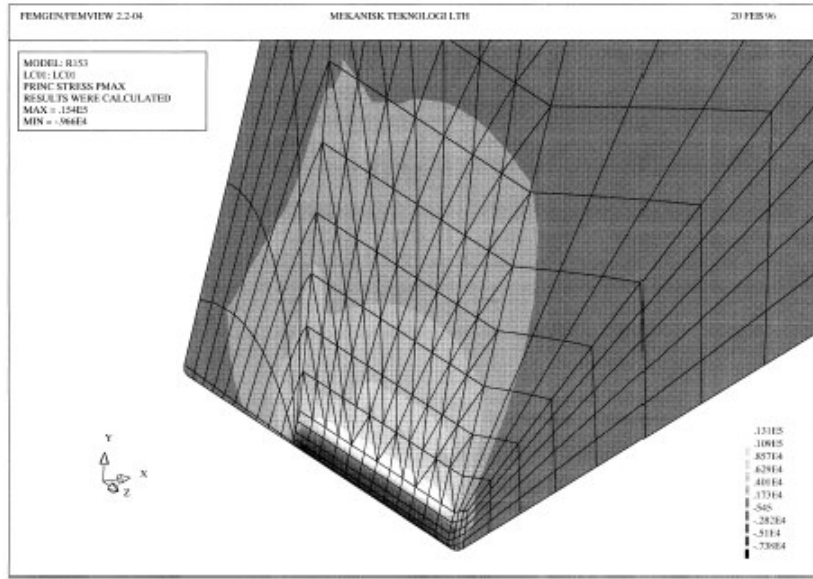
h_{1n} (μm)	F_{Hmin} (N)	F_{Hmax} (N)	F_H (N)	Takım geometrisi
3.7	0	205	27.9	İnçteki diş sayısı 2
2.8	0	173	22.4	İnçteki diş sayısı 3/4
3.7	0	202	26.8	İnçteki diş sayısı 3/4
4.7	0	298	40.5	İnçteki diş sayısı 3/4
5.5	0	421	48.7	İnçteki diş sayısı 3/4

Çizelge 3.2 Mikro geometri $r_\beta = 15 \mu\text{m}$ için modellenen deforme olmamış talaş kalınlığı ve uygulanan kuvvetler (Andersson, 2001).

Geometrik model	h_1 (μm)	Uygulanan yük F (N)
H30	30	109
R15	50	182
H80	80	291

3.2.4 Sonlu Eleman Yöntemi Gerilme Analizi Sonuçları

Şekil 3.15 R15 geometrik modelinde $h_{1n}=17\mu m$ için gerilme dağılımını göstermektedir. Keskin kenarlı diş için olan gerilme değerleri, yarıçaplı olanlardan daha yüksektir. En büyük gerilme değeri $15.000N/mm^2$, yüksek hız çeliğinin $4000-5000N/mm^2$ olan kopma dayanımından çok daha yüksektir. Sadece modellenen en büyük kesici kenar yarıçapı $30\mu m$ için en yüksek asal gerilme değeri, hala çok yüksek olsa da ($7000N/mm^2$ 'nin üzerinde), kopma dayanımıyla yaklaşık olarak aynıydı.

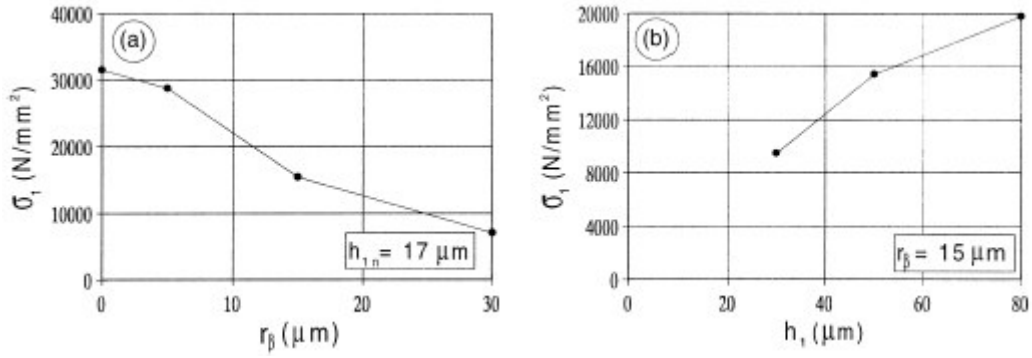


Şekil 3.15 Talaş yüzeyindeki temas bölgesi yakınında σ_1 asal gerilme değişimi, $r_\beta=15\mu m$ ve $h_{1n}=17\mu m$ (Andersson, 2001).

Modellenen tüm geometriler için en yüksek asal gerilmeler şekil 3.16'da gösterilmektedir. Şekil 3.16 b, ayrıca en yüksek asal gerilmeyi h_1 'in bir fonksiyonu olarak da göstermektedir. Talaş kalınlığının iki katına çıkarılması gerilme değerlerini de iki katına çıkardı (şekil 3.16b). Buradan şu sonuç çıkarıldı, talaş kalınlığındaki değişimlerden dolayı kesici kenarlar büyük gerilme değişimlerine maruz kalmaktadırlar. Hesaplanan gerilme değerleri şunu da gösterdi ki çok keskin kesici kenarlarda küçük kopmaların meydana gelmesi olağan bir durumdur. Sonlu eleman yöntemi sonuçları, daha büyük kesici kenar yarıçapının, kenar mukavemetinde artış ve kesme kenarı etrafında daha uygun yük dağılımı sağladığından σ_{1max} 'ı azalttığını ortaya çıkardı.

Özetle testere dişi üzerinde yapılan sonlu eleman analizi gösterdi ki en yüksek asal gerilme değeri, kesici kenar yarıçapının artışı ile azalmakta ve deforme olmamış talaş kalınlığının

artışı ile orantılı olarak artmaktadır.



Şekil 3.16 (a) Kesici kenar yarıçapının, (b) deforme olmamış talaş kalınlığının bir fonksiyonu olarak en yüksek asal gerilmeler $\sigma_{1\max}$ (Andersson, 2001).

3.3 Lama Testerelemede Diş Geometrisinin Testere Performansı Üzerine Etkisi

M. Sarwar ve W. Hales (1984), testere performansını değerlendirmek için talaş kaldırma oranını esas alan ve tezgah özelliklerinden bağımsız, bilimsel bir yöntem geliştirdiler. Yöntemde, testere performansını sayısal olarak ifade etmek için spesifik kesme enerjisine dayalı bir performans parametresi kullanıldı. Karmaşık talaş oluşum mekanizmasını ve diş geometrisinin testere performansı üzerine etkisini daha iyi anlamak için tek kesen ağızlı takım simülasyon testleri yapıldı. Hem testereleme hem de tek kesen ağızlı takım simülasyon testlerindeki talaş geometrilerinin incelenmesi sonucunda, testere performansındaki değişimin talaş boşluğu boyutu ve geometrisinden kaynaklanabileceği ortaya çıkarıldı.

3.3.1 Testere Performansı

Şekil 3.17 bir iş parçası ve farklı hatveli testere için birim testere kalınlığında diş başına ortalama baskı kuvvetine karşılık, diş başına ortalama kesme derinliğindeki değişimi gösterir. Mevcut bir testere hatvesi için bu parametrelerin birbiriyle doğrudan orantılı olduğu görülebilmektedir. Bu sonuç mevcut bir iş parçası malzemesi, boyutu ve testere hatvesi için yazılabilir;

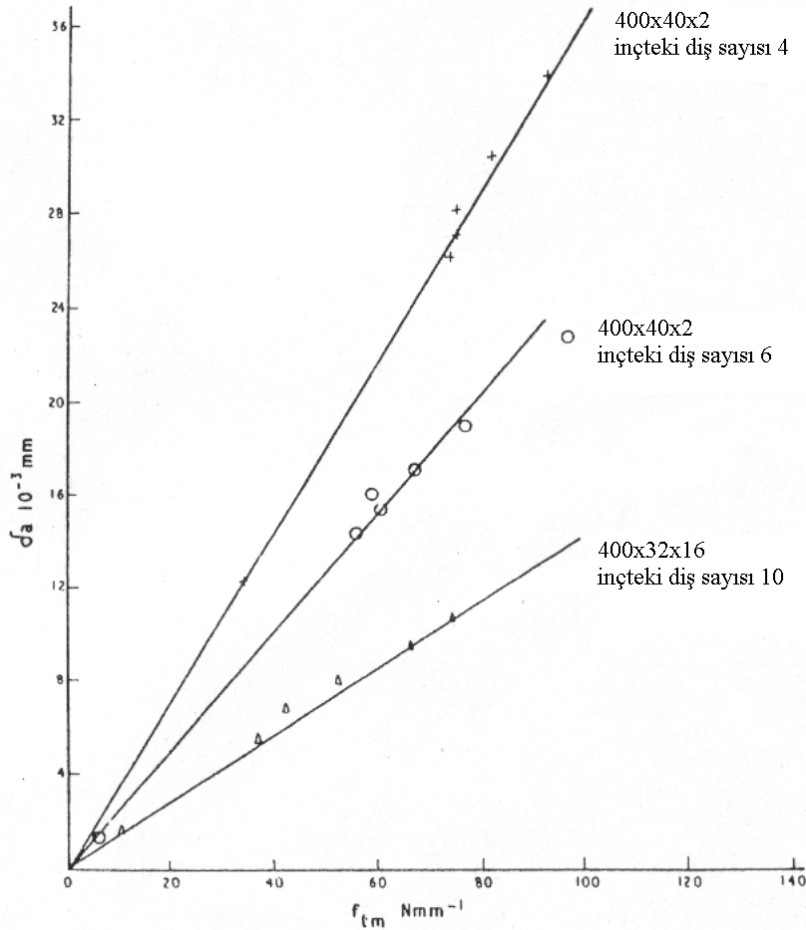
$$\delta_a = K \cdot f_m \quad (3.9)$$

Kesme sabiti K, testere performansının bir göstergesi olarak kabul edilebilir. K değerlerinin artması testere veriminin de artması anlamına gelir. Bu sonuçlar inçteki diş sayısı dört olan testerenin, inçteki diş sayısı altı olandan onun da inçteki diş sayısı on olandan daha verimli çalıştığını gösterir. Şekil 3.18 kesim genişliğindeki değişmeye karşılık testere

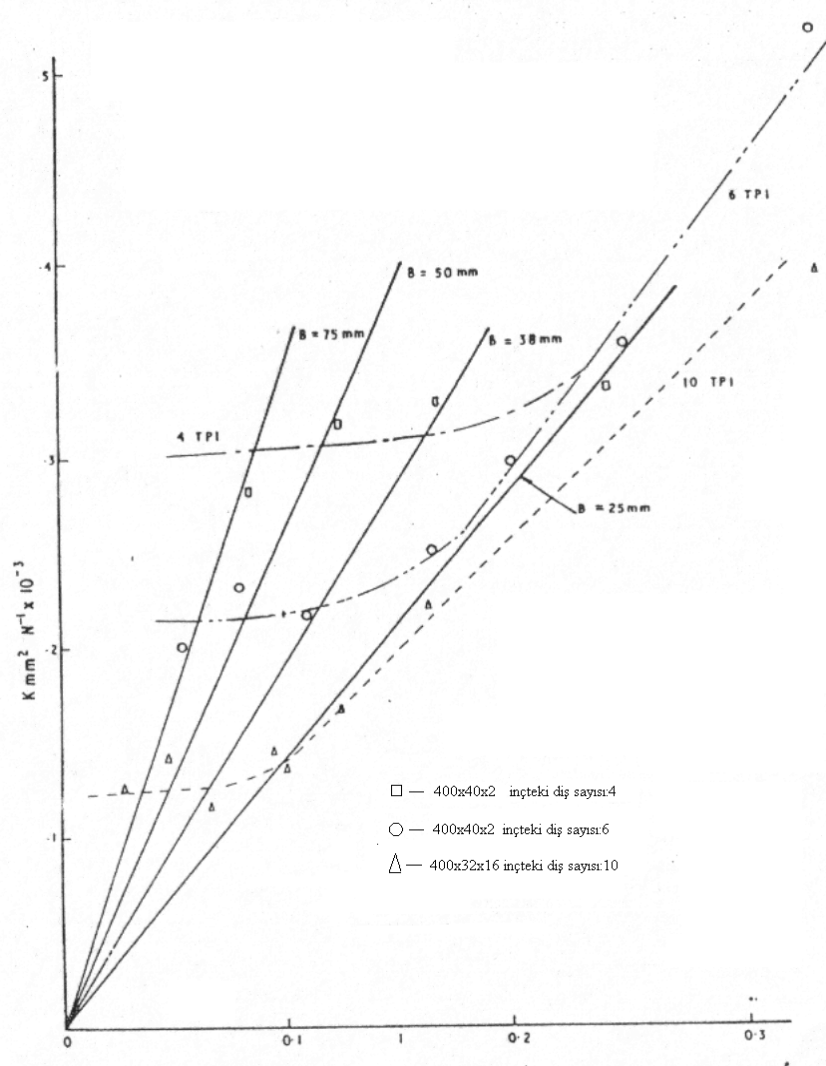
performansındaki değişimi gösterir. Bu son sonuçlar, testere performansının iş parçasının genişliği azaldıkça arttığını gösterir.

3.3.1.1 Testere zellikleri

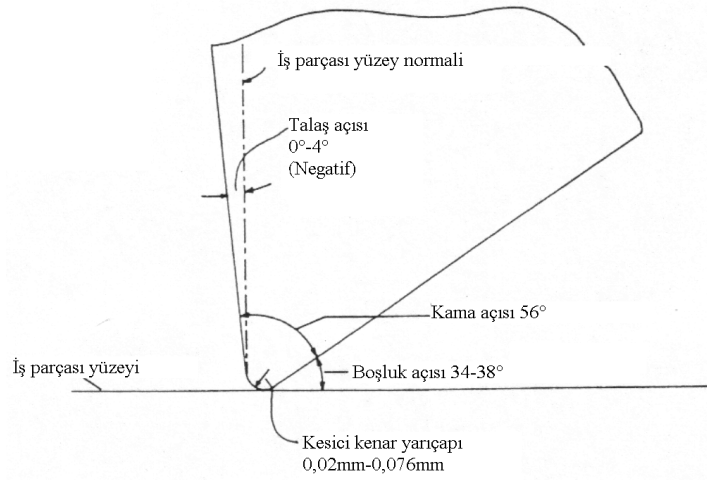
Testerelerin büyük çoğunluğu için geçerli olan kesme açıları şekil 3.19'da gösterilmektedir. Lama testere dişlerinin kesici kenarlarının incelenmesi bunların düzgün olmadıklarını gösterdi. Bu, diş profilinin frezelemeyle oluşturulup sonrasında ısıl işlemin uygulandığı alışılagelmiş imalat yönteminden kaynaklanır. Bu prosesler kötü şekillendirilmiş kesici kenarlar oluştururlar. Kesici kenarın gerçek profili bir dişten diğerine önemli ölçüde farklılık gösterir. Çalışmada kesici kenar profili bir yarıçap olarak tanımlanarak diş profilinin değişimi ve büyüklüğü ölçüldü. Bu lmler kesici kenar yarıçapının büyük olduğunu ve 0.02mm ile 0.076mm arasında değiştiğini gösterdi.



şekil 3.17 Farklı hatveli testereler için birim testere kalınlığında diş başına rtalama başkı kuvvetine karşılık, diş başına rtalama kesme derinliği grafiği (Sarwar, 1984).



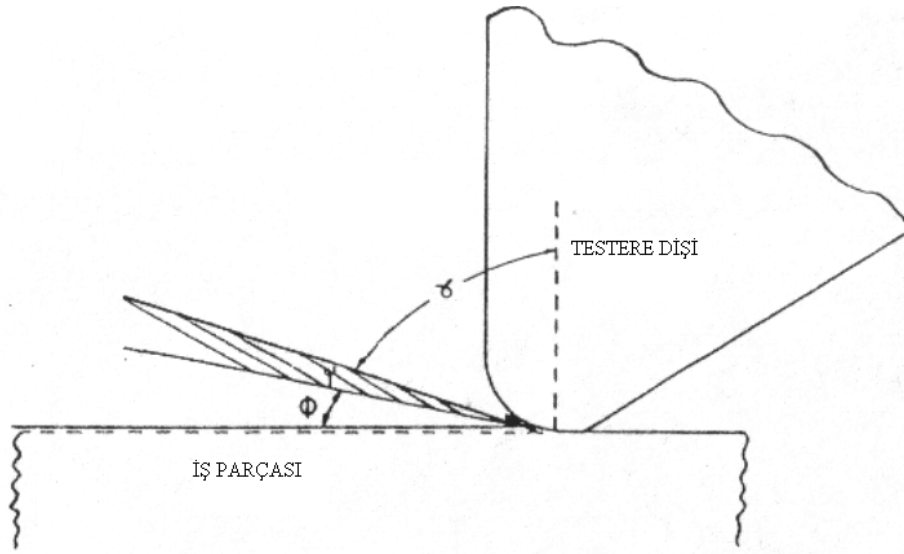
Şekil 3.18 İş parçası ile temasta olan diş sayısı ile ters orantılı olan kesme sabiti grafiği (Sarwar, 1984).



Şekil 3.19 Lama testere dişinin kesici kenar geometrisi (Sarwar, 1984).

3.3.1.2 Testerelemede Talaş Kaldırma

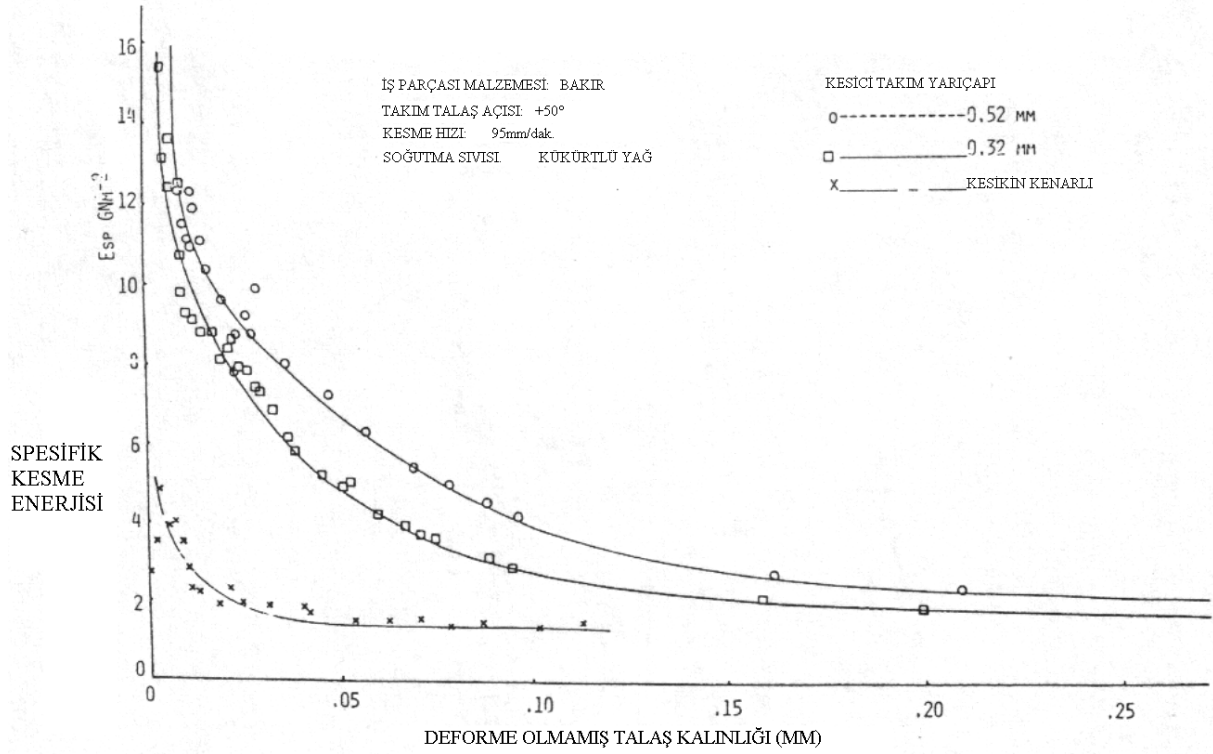
Hiçbir takım tam olarak keskin olmadığından tornalama gibi işlemlerde deforme olmamış talaş kalınlığı takımın kesici kenar yarıçapından çoğu kez büyüktür. Bu nedenle kesici kenar yarıçapına önemsiz gözüyle bakılır. Oysa, lama testereleme işlemindeki testler göstermiştir ki, yumuşak çelik iş parçası ile elde edilen diş başına ortalama kesme derinliği testere dişinin kenar yarıçapında daha küçüktür. Bu durumda etkin talaş açısı nominal talaş açısından çok farklıdır ve oldukça büyük negatif açı değerleri almaktadır (şekil 3.20).



Şekil 3.20 Büyük negatif talaş açısının testere dişinin kesme davranışı üzerine etkisi (Sarwar, 1984).

3.3.2 Kesici Kenar Yarıçapının Dişin Performansı Üzerine Etkisi.

Lama testerelemede deforme olmamış talaş kalınlığının testere dişi kesici kenar yarıçapının yaklaşık 1/3'ü olduğu saptanmıştır. Kesici kenar yarıçapının etkisini araştırmak için orthogonal kesme koşullarında, kenar yarıçapları 0'dan 0.52mm'ye kadar değişen özel olarak hazırlanmış takımlar ile testler yapıldı. Şekil 3.21 artan kesici kenar yarıçapının etkisini gösterir. Şekilden kenar yarıçapındaki oldukça küçük bir artışın spesifik kesme enerjisinde önemli bir değişime neden olduğu görülmektedir. Spesifik kesme enerjisindeki bu artış, testerelemedeki talaş kaldırma prosesi ile ilgili, deforme olmamış talaş kalınlığının daha küçük değerlerinde daha önemlidir.



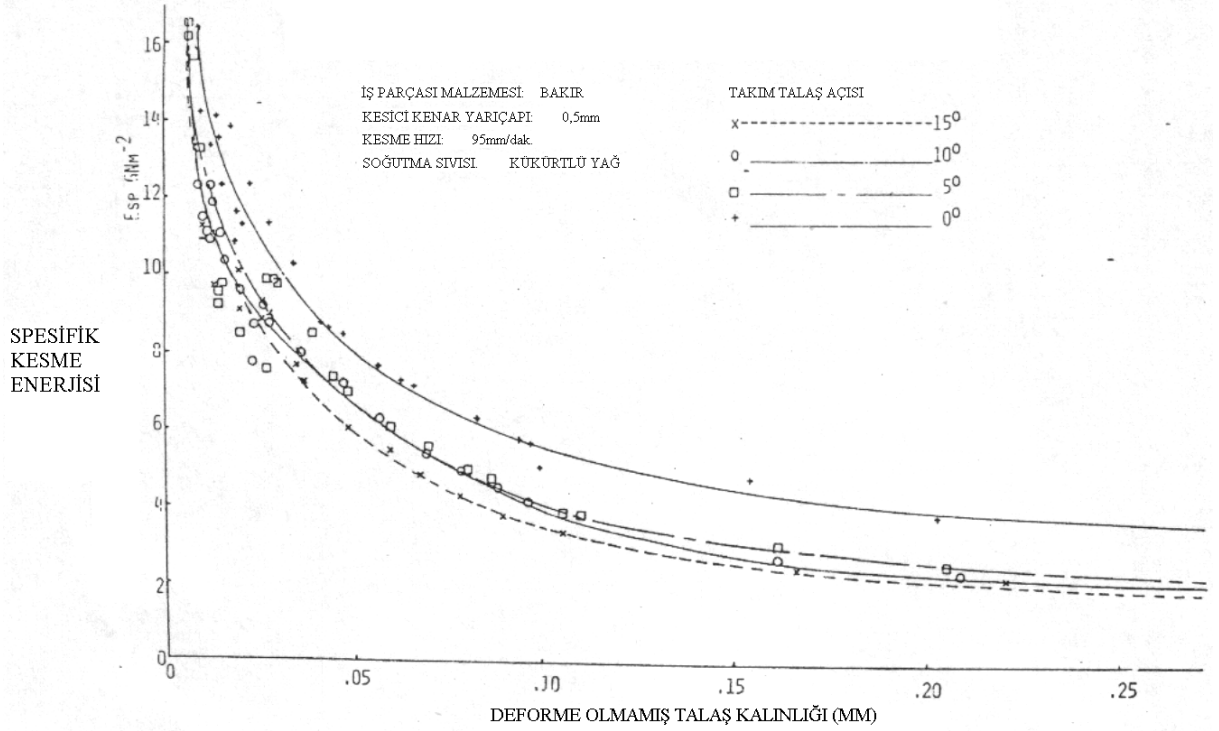
Şekil 3.21 Kesici kenar yarıçapının takım performansı üzerine etkisi (Sarwar, 1984).

3.3.2.1 Talaş Açısının Etkisi

Çoğu lama testere dışında nominal talaş açısı 0° ile -4° arasındadır. Pratikte, küçük deforme olmamış talaş kalınlığından dolayı, etkin talaş açısı -90° ile 0° arasında olacaktır. Sabit bir kesici kenar yarıçapı için değişen talaş açısının etkisi şekil 3.22'de görülmektedir. Şekilden görüldüğü üzere, talaş açısı çok küçük kesme derinliklerinde spesifik kesme enerjisi üzerine önemli bir etki yapmamaktadır, çünkü deforme olmamış talaş kalınlığı kesici kenar yarıçapından küçük olduğunda, etkin talaş açısı nominal talaş açısından çok daha farklı olmaktadır. Bununla birlikte daha büyük kesme derinliklerinde (0.04mm'den çok) nominal talaş açısındaki 0° 'den 5° 'ye olan değişim önemli bir etki yapar, fakat talaş açısı 5° 'den 15° 'ye çıktığında açık bir değişim gözlenmez.

3.3.2.2 Boşluk Açısının Etkisi

Boşluk açısının en önemli etkisi diş yüksekliğindeki kayıp şeklinde oluşan aşınma miktarını değiştirmesidir. Bu açı büyüdükçe aşınma miktarı azalır. Diğer taraftan boşluk açısının artması kama açısını azaltır ve bu takım ucu sıcaklığı üzerine olumsuz bir etki yapar. Uygun boşluk açısının seçimi, bu iki karşıt eğilime bağlı olarak yapılmalıdır.



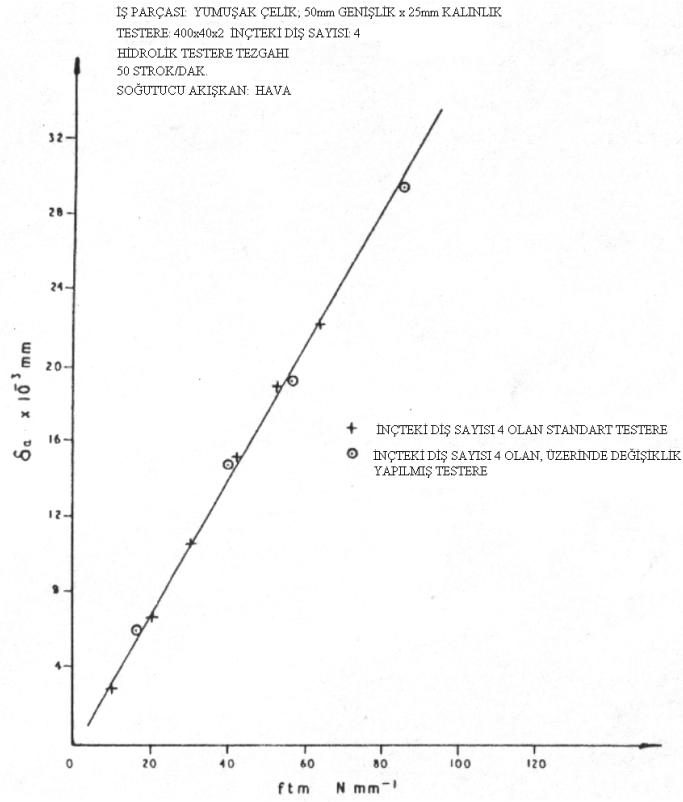
Şekil 3.22 Talaş açısının takım performansı üzerine etkisi (Sarwar, 1984).

3.3.3 Hatve Etkisinin İncelenmesi

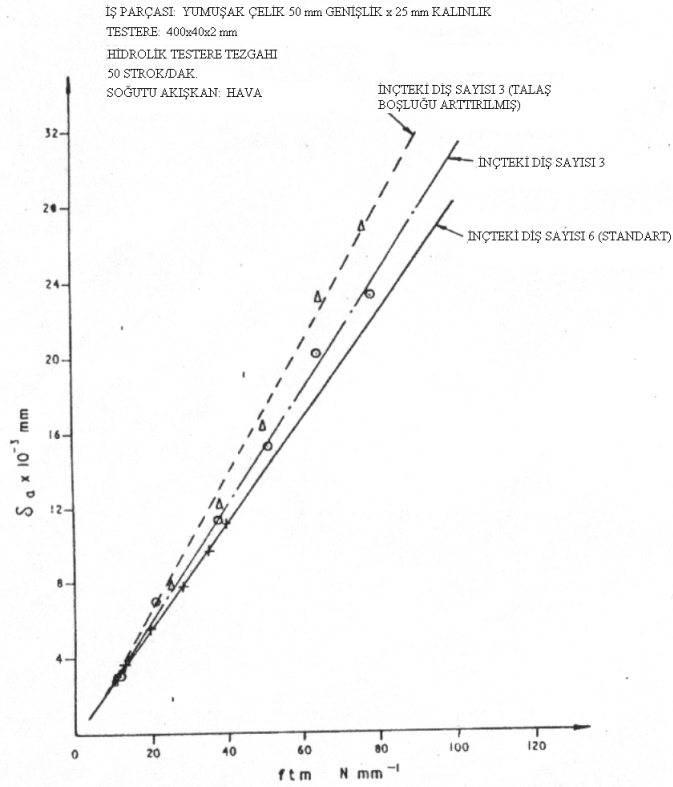
Performans testleri inçteki diş sayısı dört olan standart bir testere ile yapıldı. Aynı testere daha sonra her iki dişten birinin ucu taşlanarak görünüşte inçteki diş sayısı iki olan bir testere haline getirildi. Dişlerin çaprazlanması değiştirilmedi. Üzerinde değişiklik yapılan testere kesme performansı üzerine hiçbir etki yapmadı (şekil 3.23). Bu testlerin sonuçları açıkça gösterdi ki diş hatvesi performans değişimine neden olan bir geometrik faktör değildir.

Daha sonraki testler inçteki diş sayısı altı olan testereler ile yapıldı. Testere dişlerinde her iki dişten biri tamamen kaldırıldı, böylece talaş boşluğu arttırıldı. Ayrıca diş derinliği arttırılarak sonradan bir değişiklik daha yapıldı. Şekil 3.24, standart ve üzerinde değişiklik yapılmış testereler ile yapılan test sonuçlarını gösterir. Bu sonuçlar açık bir şekilde göstermektedir ki talaş boşluğunun artışı testere performansını geliştirmiştir.

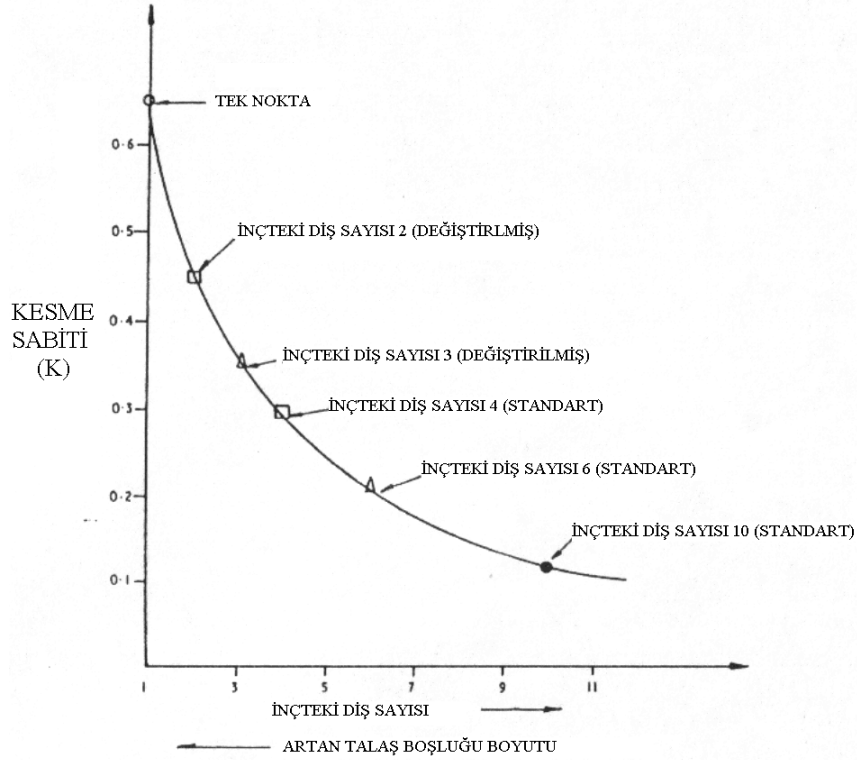
Standart ve üzerinde değişiklik yapılmış testerelere ait test sonuçlarından hesaplanan kesme sabiti K değerlerinin değişimi şekil 3.25'te gösterilmektedir. Buradan da görüldüğü gibi, şekil ve boyut bakımından talaş boşluğu, testere performansını etkileyen geometrik bir faktördür.



Şekil 3.23 Standart ve üzerinde değişiklik yapılmış inçteki diş sayısı dört olan iki testerenin performans mukayesesi (Sarwar, 1984).



Şekil 3.24 Standart ve üzerinde değişiklik yapılmış testerelelerin performans mukayesesi (Sarwar, 1984).



Şekil 3.25 Yeni ve üzerinde değişiklik yapılmış farklı hatveli testerelerin performans mukayesesi (Sarwar, 1984).

3.3.3.1 Talaş Boşluğu Boyutu ve Geometrisi

Kesme uzunluğunun fazla olduğu iş parçaları için talaş boşluğu boyutunun oluşan talaşa birikecek yer sağlamada yetersiz kalması ihtimali vardır. Bu, talaşla dolması sebebiyle talaş boşluğunun etkinliğini kaybetmesine neden olur.

Lama testerelemede talaş oluşumuna ait incelemeler değişik talaş oluşum biçimlerini ortaya çıkardı (şekil 3.26).

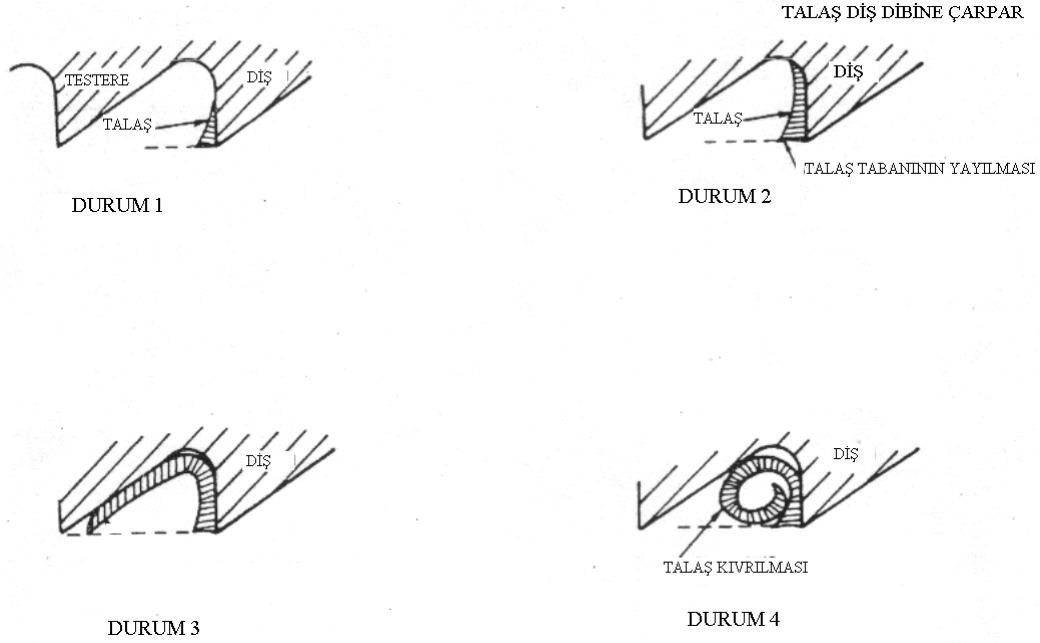
Durum 1- Kesme genişliği küçük olduğunda talaş, dişin talaş yüzeyinde yukarı doğru ilerler ve diş dibi kavisine ulaşmaz. Bu şartlar altında testere en yüksek verimle çalışır.

Durum 2- Daha büyük bir kesme genişliği için oluşturulan talaş, dişin talaş yüzeyinde yukarı doğru ilerler ve diş dibi kavisinde engellenir, bu talaş tabanının yayılmasına neden olur. Daha fazla talaş kaldırmak, engellenmenin oluşturduğu karşı basınç yüzünden giderek zorlaşır.

Durum 3- Bu durumda diş dibi kavisince talaşın ilerlemesi için fazladan enerji harcanır. Talaş, talaş boşluğu boyunca iş parçasına çarpana kadar ilerlemeye devam eder. Sonunda talaş ya kırılır ya da bu konumda kalır.

Yukarıdaki üç durum için diş dibi kavisi ve talaş boşluğu çevre uzunluğu büyük öneme sahiptir.

Durum 4- Son olarak, bazı durumlarda, talaş kıvrılması oluşur. Bununla birlikte, bu durumda da talaş kıvrılması karşı basınç oluşturur.



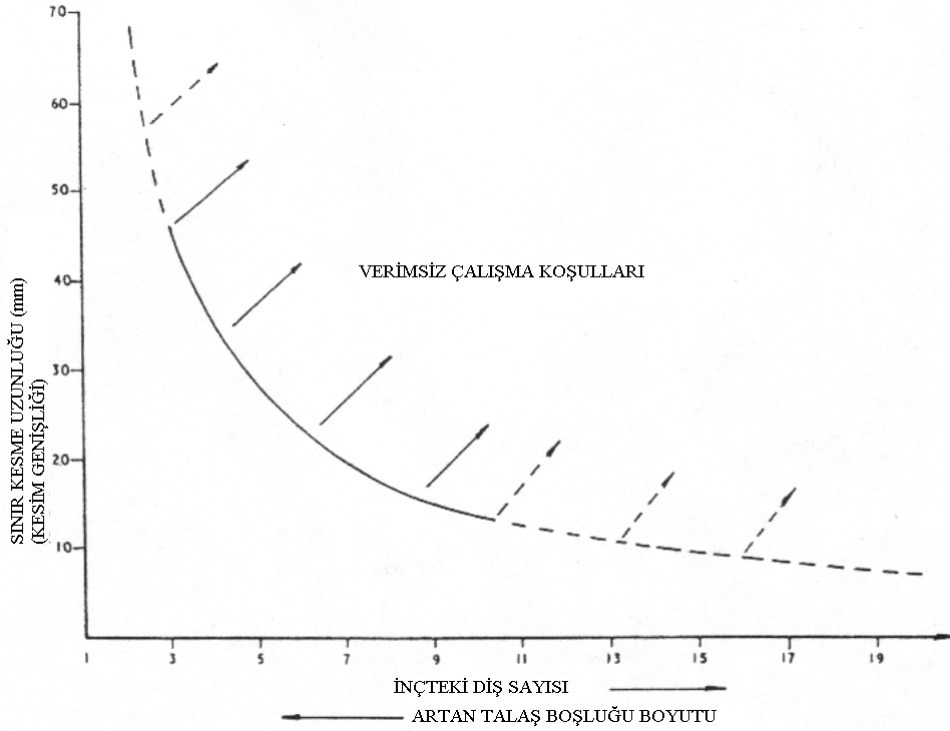
Şekil 3.26 Lama testerelemedeki değişik durumlar için talaş boşluğunda talaş oluşumunu gösteren şematik resimler (Sarwar, 1984).

Şekil 3.27 değişik hatveli testerelemler için etkin bir şekilde kesilebilecek sınır kesim uzunluklarını gösterir. Hesaplamalar yukarıdaki durum 1 ve 2 kriterini ve geometrik olarak benzer testerelemler için talaş boşluğu boyutunu esas almışlardır.

Yukarıdaki gözlemler, büyük kesim genişliklerinin testerelemlerinde talaşların, talaş boşluğunda engellendiğini doğrularlar. Engellenme talaş oluşum mekanizmasını değiştirir. Engellemeden dolayı oluşan karşı basınç, uygulanan baskı yükünün etkinliğinin azalmasına neden olur.

3.3.4 Sonuçların Tartışılması

Diş hatvesinin etkisi gibi gözükken şey aslında talaş boşluğunun etkisidir. Bu, şekil 3.25'te elde edilen testere performansındaki değişimi açıklar. Şekil 3.24'te elde edilen sonuçlar da bunu doğrulamaktadır, şöyle ki, diş hatvesi değiştirilmeden talaş boşluğunun boyutu artırıldığında testere performansında artış gözlenmektedir.



Şekil 3.27 Testere hatvesinin sınır kesme uzunluğu üzerine etkisi (Sarwar, 1984).

Test edilen inçteki diş sayısı 4, 6 ve 10 olan testereler (şekil 3.17) geometrik olarak benzerdirler ve performans eğrileri tek bir diş ile ilgilidir. Testereler arasındaki farklar, talaş boşluğu boyutu ile ilgili olan diş dibi kavisi yarıçapı, derinlik ve talaş boşluğu çevre uzunluğudur, bunların tümü testere hatvesindeki değişim ile testere performansının değişmesine katkıda bulunurlar.

3.3.5 Sonuçlar

- Lama testere dişinin kesici kenar yarıçapının son derece büyük olmasından ve ortalama kesme derinliğinin kesici kenar yarıçapından küçük olmasından dolayı testerelemede talaş kaldırılması pulluk ile çalışmaya benzer ve sürekli ya da parçalı talaşların bir kombinasyonu ile elde edilir.
- Görüldü ki testerelemenin kesme koşulları altında, takımın kesici kenar yarıçapındaki küçük bir artış spesifik kesme enerjisinde önemli bir artışa neden oldu, şekil 3.21, bu lama testere dişlerinin kesme faaliyetlerindeki yetersizliği göstermektedir.
- Lama testere dişlerinin kesme performansının mevcut kesici kenar yarıçap koşulları altında nominal talaş açısındaki değişimden etkilenmediği gözükmektedir.
- Lama testerelemede talaş, kontrollü şartlar altında oluşturulduğundan, farklı hatveli testereler ve değişen kesim genişlikleri için testere performansındaki değişim, talaş boşluğu şekli ve boyutunun neden olduğu bir geometrik faktörden kaynaklanmaktadır.

- Şekil 3.26'daki talaş oluşum türlerine ait gözlemlerden faydalanılarak, şekil 3.27'de belirli bir tip testere kullanılarak maksimum verim ile testerelebilecek en büyük kesim genişliğine dair bilgi verilmektedir.

3.4 Lama Testerelemede Yüksek Hız Çeliği Testere Dışında Oluşan Mikro Kopmalar.

Testere dişi kesici kenarında oluşan mikro kopmalar, östenitik paslanmaz çeliklerin yüksek hız çeliğinden takımlar ile kesilmesinde esas aşınma kontrol mekanizması olarak tanımlanır. Chandrasekaran (1984), bu olayı araştırmak için lama testere tezgahında (KASTO 320) M2 yüksek hız çeliği testere ve östenitik paslanmaz çelik (AISI 316) iş parçası kullanarak kontrollü testereleme testleri yaptı. Deneylerde kuvvetler ölçüldü. Diş ucunda mikro kopma oluşumu, karakteri, boyutu ve testere üzerindeki dağılımı ışık optik ve tarama elektron mikroskobu kullanılarak araştırıldı. Testere ilerlemesinin, sürenin (strok sayısının) ve testereleme hızının (dakikadaki strok sayısının) diş ucundaki küçük kopmalar üzerine etkileri incelendi. Gözlemlenen çok sayıdaki diş ucu mikro kopmaları arasından bir türün lama testerelemeye özgü olduğu ortaya çıktı, diğer tür ise bir çok aralıklı kesme işleminde gözlemlenenlere benzemekteydi. Bu iki türün (tip I ve tip II) özelliklerini ortaya çıkarabilmek amacıyla sonlu elemanlar tekniği kullanılarak testere dışında gerilme durumu incelendi. Aşağıdaki çizelge 3.3 ve 3.4'te deneylerde kullanılan malzeme özellikleri ve parametreler gösterilmektedir.

Çizelge 3.3 Deneylerde kullanılan malzeme özellikleri (Chandrasekaran, 1984).

Testere malzemesi	M2 HSS HV=885
İş parçası malzemesi	SS2343 (AISI 316)
Testere boyutları	575x50x2.5, inçteki diş sayısı=3
Çaprazlama	Ardışık
Talaş açısı=0°	Boşluk açısı=27°

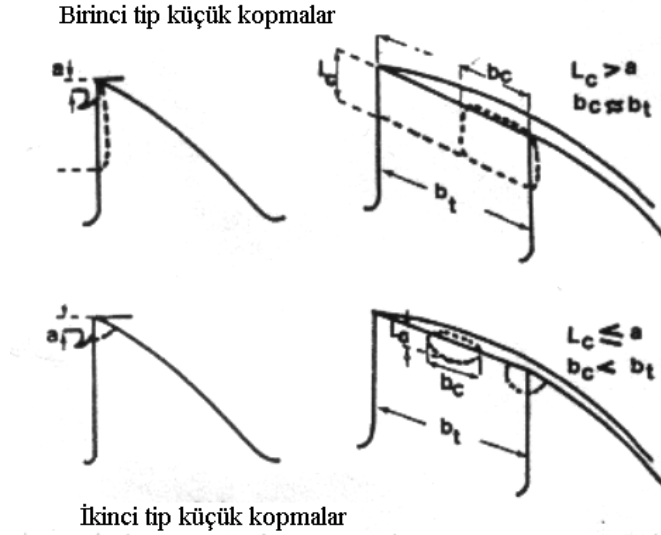
Deneylerde 33mm toplam derinliğe kadar 96mm genişlikteki dikdörtgen kesitler testerelemedi, 200mm strok uzunluğu kullanıldı, testerelemeye ortalama 35 diş katıldı, iş parçasına monte edilmiş bir Kistler tipi dinamometre vasıtası ile testereleme kuvvetleri (kesme kuvveti: F_v ve baskı kuvveti: F_f) ölçüldü, toplam 120 testere incelendi.

Çizelge 3.4 Deneilerde kullanılan parametreler (Chandrasekaran, 1984).

No	İlerleme S mm/strok	Kesme hızı N	Notlar
1	0,13	50	İlerleme az
2	0,27	50	Referans ilerleme
3	0,41	50	İlerleme fazla
4	0,27	35	İlerleme az
5	0,27	72	Hız yüksek
6	0,27	50	Soğutma sıvısı yok

3.4.1 Testere Dişinde Oluşan Küçük Kopmaların Sınıflandırılması.

İşlemeden sonra testere dişleri tek tek stereo mikroskopta incelendi, farklı boyutlardaki diş ucunda oluşan küçük kopmalar ortaya çıkarıldı. Bununla beraber bazılarının çoğunlukla talaş yüzeyinde olduğu, diğerlerinin ise talaş ve serbest yüzeylerine simetrik bir konumda buldukları görüldü. Bundan dolayı diş ucundaki küçük kopmalar iki gurup altında, tip I ve tip II olarak sınıflandırıldı (Şekil 3.28).



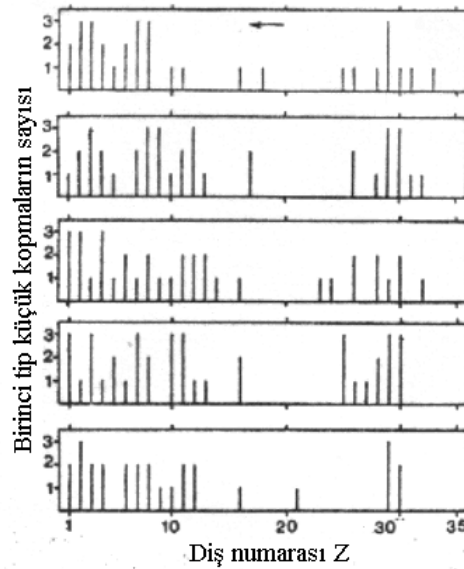
Şekil 3.28 Lama testerelemede diş ucunda oluşan küçük kopma tipleri (Chandrasekaran, 1984).

Tip I, genellikle kesici kenara çok yakın bir bölgede başlar ve yalnızca talaş yüzeyi boyunca genişler. Kopma yüzeyseldir ($\sim 200 \mu m$) ve genellikle diş geometrisi bozulmaz. Kopma her zaman diş ağzından başlar, burası iş parçasına ilk temas eden yerdir. Aynı diş üzerinde birden fazla Tip I kopma oluşumuna çok sık rastlanır.

Tip II, son derece bölgeseldir, dışın talaş ve serbest yüzeylerine göre neredeyse simetrik şekilde oluşan daha küçük bir kopmadır. Tip III olarak adlandırılan ve çok seyrek olarak rastlanan bir tür daha vardır. Bu tür tip II'ye benzemektedir, ancak oluşan kopmalar daha büyüktür.

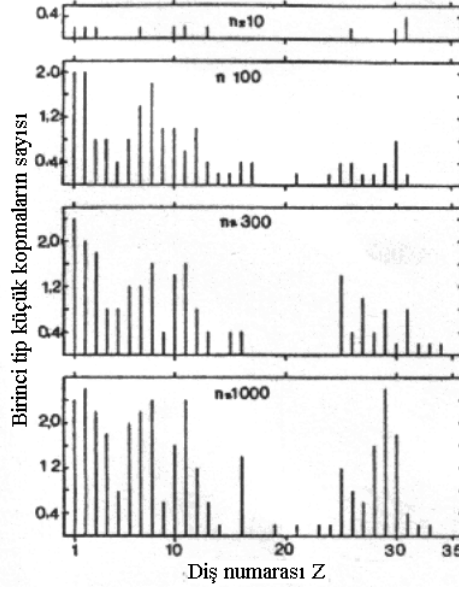
3.4.2 Dış Ucunda Oluşan Küçük Kopmaların Testere Üzerindeki Dağılımı.

Çalışmada dış ucunda oluşan küçük kopmalar, (mevcut bir diş için) oluşum sayısı bakımından ve kullanılan üç ilerleme ve hız kademesi için testereleme yönündeki dişlerin sırası ile ilgili olarak ne oranda oluştukları bakımından sınıflandırıldılar. Şekil 3.29 beş testerelek bir parti için testerenin çalışan, aktif bölgesi üzerinde tip I kopmalarının dağılımını gösterir. Tip II de buna benzer bir dağılım göstermektedir.

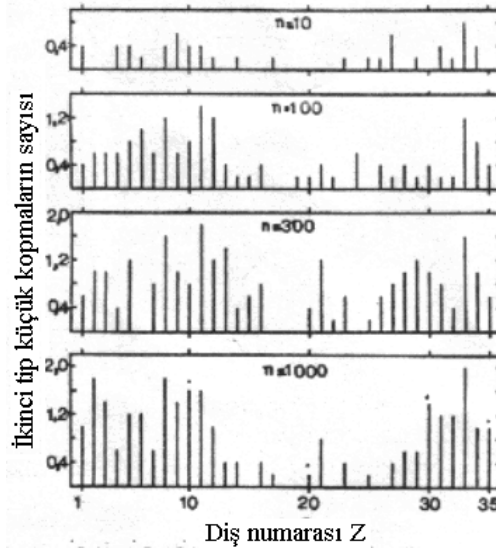


Şekil 3.29 M2 yüksek hız çeliğinden beş testerelek bir parti için östenitik paslanmaz çeliğin testerelemede tip I kopmalarının testere boyunca dağılımı (ok testereleme yönünü gösterir); $N=50$ strok/dk.; ilerleme $S=0,27$ mm/strok (Chandrasekaran, 1984).

Şekilde de görüldüğü gibi giriş kademesindeki (1-8 arası dişler) ve çıkış kademesindeki (28-35 arası diler) dişlerde diğerlerinden daha sık diş ucu küçük kopmalarına rastlandı ve ek olarak giriş kademesinde diş ucu küçük kopmalarının çıkış kademesinden daha yoğun olduğu görüldü. Testereleme parametrelerinin etkisini bir bütün olarak incelemek için kümülatif diş ucu küçük kopma sıklık göstergesi n_c (tip I ve tip II kopmalarının toplam adedi) kullanıldı. Böylelikle n_{cI} , n_{cII} ve $n_{c(I+II)}$ indisleri elde edildi. Şekil 3.30 ve şekil 3.31 strok başına 0.27mm ilerleme referans değeri için testereleme strok sayısının (n), diş ucu küçük kopma indisleri n_{cI} ve n_{cII} üzerine etkisini göstermektedir.

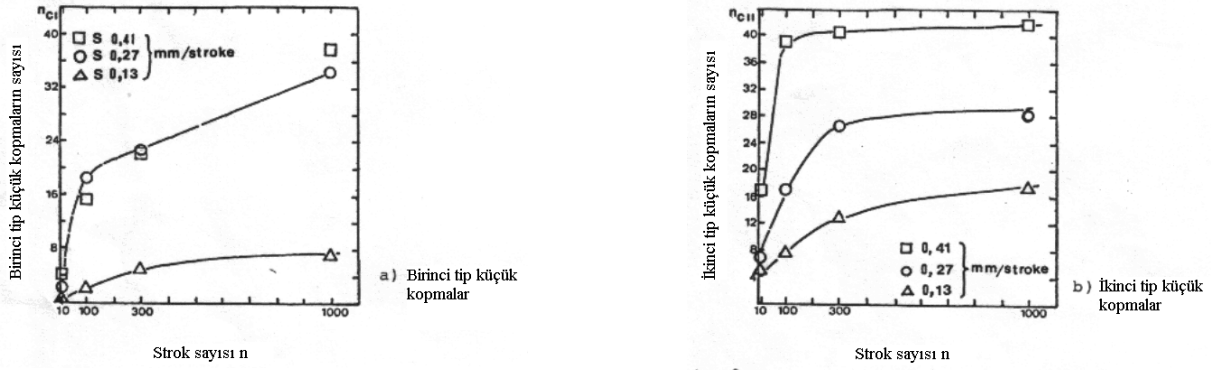


Şekil 3.30 Dört farklı strok sayısı (n) için diş ucu küçük kopmalarının (Tip I) testere boyunca dağılımı ; $N=50$ strok/dak.; İlerleme $S=0.27$ mm/strok (Chandrasekaran, 1984).

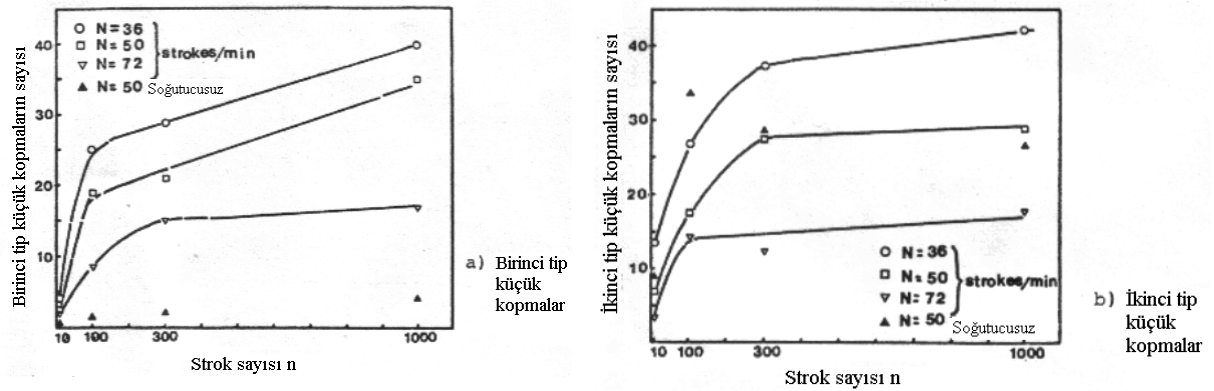


Şekil 3.31 Dört farklı strok sayısı (n) için diş ucu küçük kopmalarının (Tip II) testere boyunca dağılımı ; $N=50$ strok/dak.; İlerleme $S=0.27$ mm/strok (Chandrasekaran, 1984).

Şekil 3.32'de testere ilerleme miktarının n_{cl} ve n_{cII} üzerine etkisini gösterilmektedir. Burada (Şekil 3.32b), n_{cII} 'nin testereleme strok sayısı artışı ile hızla arttığı ve daha sonra farklı ilerleme değerleri için farklı seviyelerde dengelendiği görülmektedir. Diğer taraftan n_{cl} giderek artmaktadır (Şekil 3.32a). Elde edilen sonuçlardan n_{cII} 'nin n_{cl} 'den farklı olarak kullanılan ilerleme değerlerine karşı daha hassas olduğu görülmüştür.



Şekil 3.32 Üç ilerleme değeri (S) için diş ucundaki küçük kopma miktarının strok sayısı (n) ile değişimi; N=50 strok/dak (Chandrasekaran, 1984).

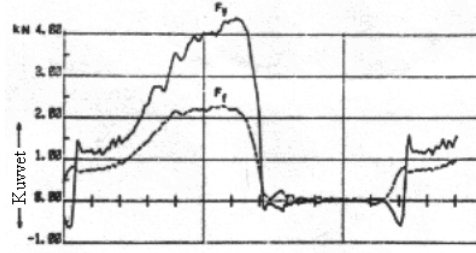
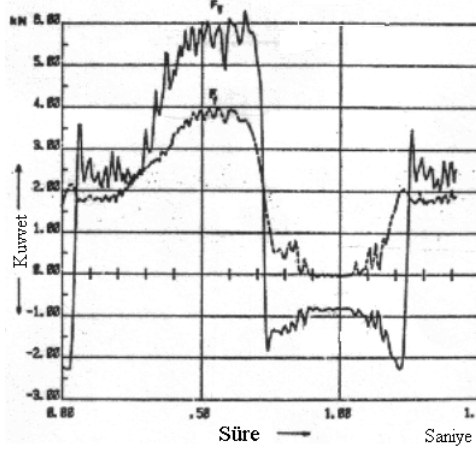


Şekil 3.33 Üç testereleme hızı (N) için diş ucundaki küçük kopma miktarının strok sayısı (n) ile değişimi; ilerleme=0.27mm/strok (Chandrasekaran, 1984).

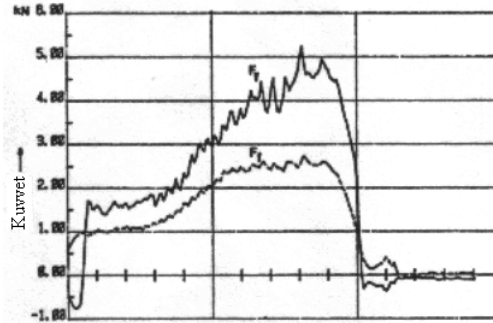
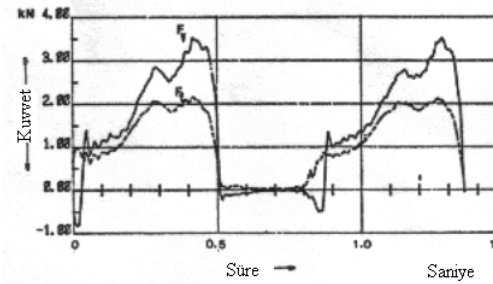
Şekil 3.33 farklı strok sayıları için gözlemlenen iki diş ucu küçük kopma tipi üzerine testereleme hızının (strok/dak.), etkisini göstermektedir. Burada, testereleme hızı artışı ile testereye gelen kuvvetlerin azaldığı ancak sıcaklığın arttığı tespit edilmiştir. Buna bağlı olarak gevrek kopma eğilimi ve n_{cI} ve n_{cII} 'nin her ikisi azalmıştır.

3.4.3 Kesme Kuvvetleri

Şekil 3.34 ve 3.35 testlerde Kistler dinamometresi tarafından kaydedilen kullanılmış iki ilerleme ve hız değeri için kesme (F_v) ve baskı (F_f) kuvvetlerinin değişimini göstermektedir. Testerenin iş parçasına çarpması ile kuvvetler çok hızlı bir artış gösterirler ve sonra müteakip daha çok dişin katılımı ile son yarım strokun sonuna kadar oldukça yavaş bir şekilde artarlar. Stroğun sonunda kuvvetler çok çabuk bir şekilde azalır; dönüş strokunun başlaması ile dişlere gelen kuvvetler tamamıyla yok olmazlar, bu iş parçası ile testere dişinin serbest yüzeyi arasında bir sürtünme meydana geldiğini göstermektedir. Bu durum aşırı baskı olması halinde oldukça şiddetlidir (Şekil 3.34b).

a) İlerleme $S=0,27$ mm/strokb) İlerleme $S=0,41$ mm/strok

Şekil 3.34 Östenitik paslanmaz çeliğin M2 HSS lama testere ile kesilmesinde, bir strok boyunca testereleme kuvvetlerinin (kesme F_v ve baskı F_f) değişimi; $N=50$ strok/dak (Chandrasekaran, 1984) .

a) $N=36$ strok/dak.b) $N=72$ strok/dak.

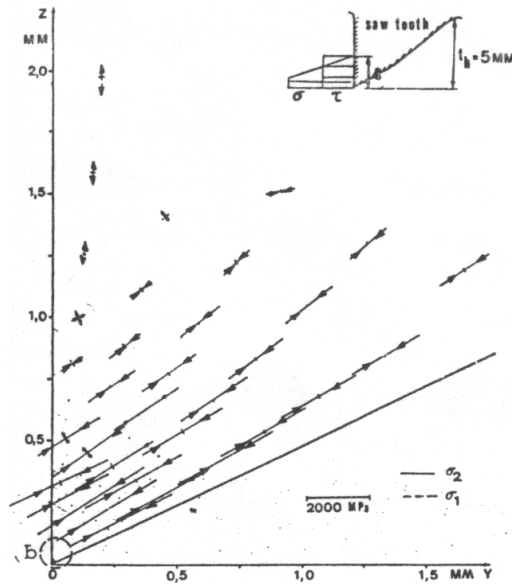
Şekil 3.35 Östenitik paslanmaz çeliğin M2 HSS testere ile lama testerelemesinde bir strok boyunca testereleme kuvvetlerinin (kesme F_v ve baskı F_f) değişimi; ilerleme $S=0.27$ mm/strok (Chandrasekaran, 1984).

Farklı ilerleme ve hız değerleri için testereleme stroku esnasındaki kuvvet değişiminin karşılaştırılması, dakikadaki strok sayısının artışı ile kuvvet büyüklüğünün azaldığını ancak frekansının arttığını gösterdi.

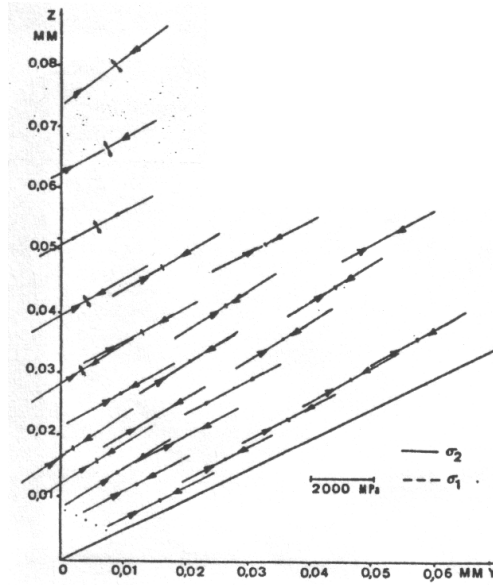
3.4.4 Dişte Gerilme Analizi

Analiz için ölçülen kesme kuvvetleri ve iş parçası ile temasta olan diş geometrisi kullanıldı. Testere giriş ve çıkış kademelerinde üç, sürekli kesme kademesinde ise beş dişin kesmeye katıldığı kabul edildi. Testerelemenin farklı kademeleri için tekil diş yükü saptandı.

Testereleme strokunun farklı kademeleri, en büyük ilerleme değeri için detaylı olarak incelendi, diğer ilerleme değerleri için sadece giriş ve sürekli testereleme kademeleri dikkate alındı. Sonraki adımda ileri (giriş orta ve çıkış kademeleri) ve geri stroklar esnasında dişin talaş ve serbest yüzeyindeki temas gerilmeleri değerlendirildi. Normal ve kayma gerilmesi dağılımı için testere dişindeki elastik gerilmeler standart bir sonlu eleman yöntemi programı kullanılarak tahmin edildi. Şekil 3.36 ve 3.37’de sürekli kesme kademesinde testere dişinde oluşan asal gerilmeler görülmektedir. Elde edilen gerilme değerlerinden çok açık bir şekilde görüldü ki diş ucunda geçerli olan gerilme durumu testerelemenin farklı kademelerinde dikkate değer bir biçimde değişmektedir.



Şekil 3.36 Sürekli kesme esnasında testere dişinde oluşan asal gerilmeler (Chandrasekaran, 1984).



Şekil 3.37 Sürekli kesme esnasında testere diş ucunda oluşan asal gerilmeler (Chandrasekaran, 1984).

3.4.5 Sonuçlar

- Östenitik paslanmaz çeliklerin lama testerelemesi, testere dişi ucundaki küçük kopmaların iki ana tipi ile sonuçlanır. Birinci tipin (Tip I) proses takım-iş parçası kombinasyonuna çok bağlı olduğu, ve testerenin kesme kabiliyetini doğrudan etkilemediği görülür. İkinci tip (Tip II) frezeleme gibi diğer bir çok aralıklı kesme işleminde rastlanan diş ucu mikro kopma olayına benzer. Bu diş ucundaki küçük kopmaların genişlemesi diş yuvarlaklaşması ve kesme kabiliyetinin kaybolması ile sonuçlanır. Bu olayın takım malzemesinin deformasyon ve çatlamaya karşı gösterdiği direnç ile ilgili olduğu gözükmemektedir.
- Her iki tipin (Tip I ve Tip II), diş ucundaki küçük kopmaların sıklığı bakımından ifade edilen testere boyunca olan dağılımı çok benzerdir ve kesilen iş parçası şekline bağlıdır. Testere giriş ve çıkışı ile ilişkili dişlerde daima yüksek oranda diş ucu küçük kopmaları oluşur.
- Diş ucundaki küçük kopmaların sıklığı strok sayısından, testere ilerlemesinden ve testere hızından (strok/dak.) etkilenir. Ancak aynı iş parçası şekli için testere boyunca dağılım pratik olarak değişmeden kalır.
- Testere dişi talaş ve serbest yüzeyi azalıp çoğalan çok büyük basma ve çekme gerilmelerinin etkisi altındadır. Dişin iş parçasına dalması kesici kenar yakınında talaş yüzeyinde çatlak başlangıcına ve sonucunda tip II kopmaya, dönüş strokunda oluşan sürtünme ve talaş yapışması ise serbest yüzeyde tip I ve muhtemelen tip II ile sonuçlanan bir hasara neden olabilir.

- Tip I kopmalarının büyük oranda prosese, tip II kopmaların ise deformasyon davranışı ve plastik dayanım ile ilgili olarak takım malzemesine bağımlı olduğu gözükmektedir.

3.5 Lama Testerelemede Dış Ucunda Oluşan Küçük Kopmalar ve Testere Malzemesi Özelliklerinin Etkisi.

Chandrasekaran (1987), östenitik paslanmaz çeliğin yüksek hız çeliği lama testerelemler ile kesilmesinde dış ucunda oluşan küçük kopmaları ve bunlar üzerine testere malzemesinin ısı işleminin ve bileşiminin etkilerini inceledi. Dış ucunda oluşan bu küçük kopmalar, yüksek hız çeliği testerelemler ile östenitik paslanmaz çeliğin lama testerelemlerinde işleme etkinliğini kontrol eden baskın aşınma mekanizmasıdır. Bu olayın sistematik bir şekilde incelenmesi için iki yüksek hız çeliği malzeme (M2 ve B) ve farklı sertlik ve dayanım değerleri veren ısı işlemleri içeren testereleme testleri yapıldı. Dış uçundaki küçük kopmalara ve deformasyona etki eden ısı etkileri de geniş bir aralıkta değişen testereleme hızları kullanılarak dikkate alındı. Ayrıca kullanılan testere malzemelerinin eğme dayanımı ve sertlik değerleri de doğrudan testere dışından alınan özel test numuneleri ile değerlendirildi. Bu testler oda sıcaklığında ve daha yüksek sıcaklıklarda yapıldı. Elde edilen sonuçlar dış uçundaki küçük kopmalara karşı dayanımı daha iyi yeni yüksek hız çeliği malzemeler geliştirmek, uygun testere malzemesi ve ısı işlemini ve en elverişli testereleme koşullarını seçmek konularında faydalıdır.

3.5.1 Testereleme Testleri

Testler KASTO 320 lama testere tezgahı ile yapıldı. Üzerinde durulan ana test parametreleri geniş bir aralıkta değişen kesme hızı, yüksek hız çeliği malzemesi ve onun ısı işlemi idi. M2 yüksek hız çeliği ($1190^{\circ}\text{C} + 2 \times 560^{\circ}\text{C}$) referans malzeme seçildi. Diğer düşük alaşımlı yüksek hız çeliği malzeme B, alternatif malzeme olarak seçildi. Testere ve iş parçası malzemelerinin standart bileşimleri çizelge 3.5'de, ilave test koşulları çizelge 3.6 ve 3.7'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.5 Malzeme bileşimi (Chandrasekaran, 1987).

Malzeme	% Alaşım elementi içeriği									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	W	V	Ni
1 HSS M2	0.86	0.26	0.3	<0.03	<0.03	4	5	6.5	1.9	-
2 HSS B	0.95	-	-	-	-	4	2.6	2.8	2.3	-
3 İş Parçası	<0.05	<1.0	<2.0	<0.04	<0.03	17.25	2.75	-	-	12.25

Çizelge 3.6 Testereleme testleri için kesme koşulları (Chandrasekaran, 1987).

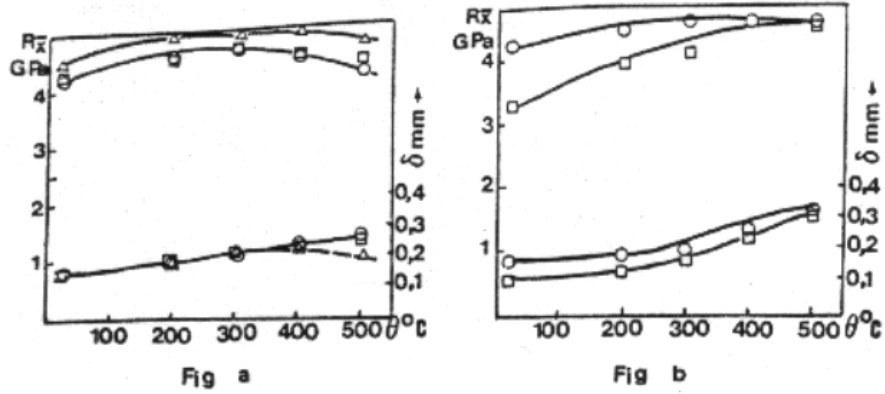
İş parçası malzemesi	Östenitik paslanmaz çelik SS2343
Testere malzemesi	Yüksek hız çeliği M2 ve B
Testere boyutları	575x50x2.5; İncekteki diş sayısı = 3
Diş açıları	Talaş(γ)=0 ⁰ , boşluk(α)=27 ⁰
İlerleme	S=0.27mm/stroke
Çaprazlama	Ardışık
Kullanılan soğutucu	almasol

Çizelge 3.7 Testereleme testleri için kesme koşulları (Chandrasekaran, 1987).

Numara	Testereleme Hızı <i>N</i> Strok/dak.	Testere malzemesi	Kullanılan ısııl işlem şartları	Strok adedi <i>n</i>
1	36	M2	1190 ⁰ C-2x560 ⁰ C	300
2	51	M2	1190 ⁰ C-2x560 ⁰ C	300
3	72	M2	1190 ⁰ C-2x560 ⁰ C	300
4	103	M2	1190 ⁰ C-2x560 ⁰ C	300
5	51	B	1150 ⁰ C-2x570 ⁰ C	10
6	51	B	1150 ⁰ C-2x570 ⁰ C	100
7	51	B	1150 ⁰ C-2x570 ⁰ C	300
8	51	B	1210 ⁰ C-2x570 ⁰ C	10
9	51	B	1210 ⁰ C-2x570 ⁰ C	100
10	51	B	1210 ⁰ C-2x570 ⁰ C	300
11	36	B	1150 ⁰ C-2x570 ⁰ C	300
12	72	B	1150 ⁰ C-2x570 ⁰ C	300
13	51	M2	1200 ⁰ C-2x550 ⁰ C	300
14	51	M2	1200 ⁰ C-2x590 ⁰ C	300

3.5.2 Eğme Kırma Testi

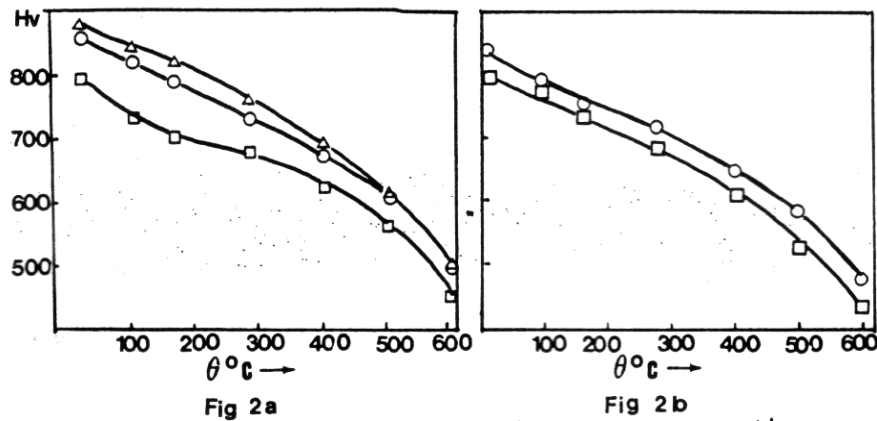
Özel üç nokta eğme kırma testinde incelenmekte olan testereden doğrudan alınan (testerenin hem enine hem boyuna doğrultuda) çok küçük test numuneleri, 2x3x12mm kullanıldı. Testler oda sıcaklığında, 200⁰C'de, 300⁰C'de, 400⁰C'de ve 500⁰C'de yapıldı. Her bir durum için 10 numune oda sıcaklığında ve 5 numune yüksek sıcaklıkta test edildi. Farklı ısııl işlem koşullarında iki yüksek hız çeliği malzeme için eğme testleri sonuçları Şekil 3.38'de gösterilmektedir.



Şekil 3.38 Eğilme dayanımı (R_x), sehim (δ), Sıcaklık (θ $^{\circ}C$). **a)** M2 HSS; 1-1190-2x560 $^{\circ}C$; 2-1200-2x550 $^{\circ}C$; 3- 1200-2x590 $^{\circ}C$. **b)** B HSS; 1-1150-2x570 $^{\circ}C$; 2-1210-2x570 $^{\circ}C$ (Chandrasekaran, 1987).

3.5.3 Sertlik Testi

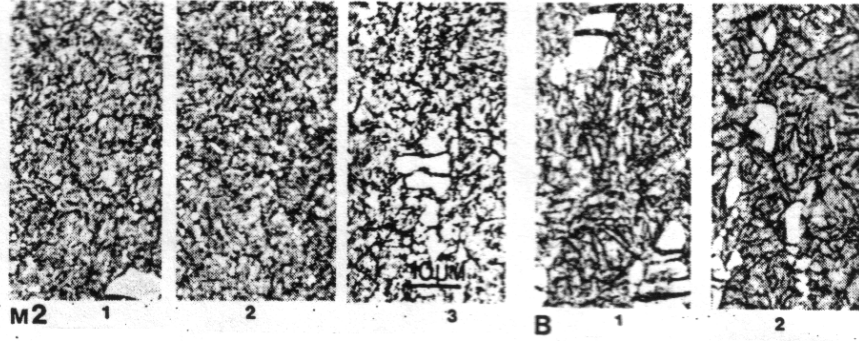
Sertlik, Vickers elmas piramit uç tekniği kullanılarak standart 20 kg yük ile ölçüldü. Bununla birlikte, yüksek sıcaklık sertlik testlerinde daha küçük 5 kg'lık yük kullanıldı. Testler, vakum altında fırında numuneler ısıtılarak ve gerekli sıcaklıkta 10 dak. tutularak gerçekleştirildi. Her bir sıcaklık değeri için numune başına iki ölçüm yapıldı. Farklı ısıl işlem koşullarında iki yüksek hız çeliği malzeme için sertlik testleri sonuçları Şekil 3.39'de gösterilmektedir.



Şekil 3.39 Vickers sertliği (HV), Sıcaklık (θ $^{\circ}C$). **a)** M2 HSS; 1-1190-2x560 $^{\circ}C$; 2-1200-2x550 $^{\circ}C$; 3- 1200-2x590 $^{\circ}C$. **b)** B HSS; 1-1150-2x570 $^{\circ}C$; 2-1210-2x570 $^{\circ}C$ (Chandrasekaran, 1987).

3.5.4 Mikroyapı ve Karbür Boyutu

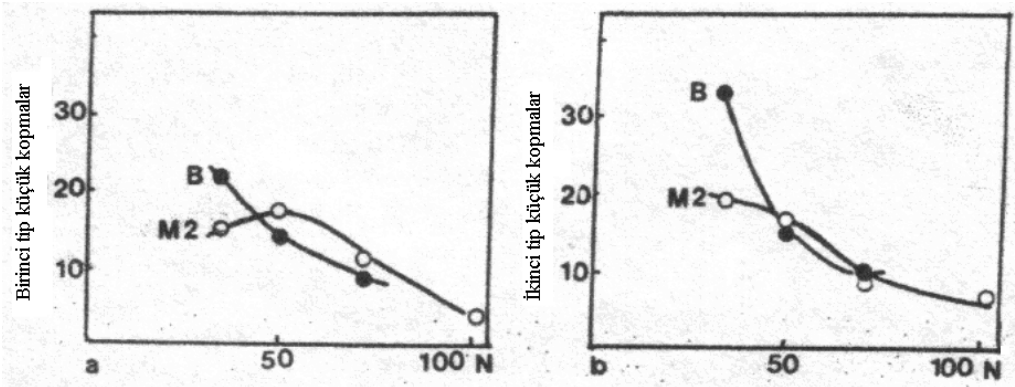
Şekil 3.40 M2 türü yüksek hız çeliğinin çalışmada kullanılan üç ısıl işlem durumu için mikro yapısını ve düşük alaşımlı B türü yüksek hız çeliğinin iki farklı ısıl işlem durumu için mikro yapısını göstermektedir. B malzemesinin kaba bir yapıya ve görünüşte daha büyük birincil karbürlere sahip olduğu kolayca görülmektedir.



Şekil 3.40 Yüksek hız çeliğinin mikro yapısı (x1000), (Chandrasekaran, 1987).

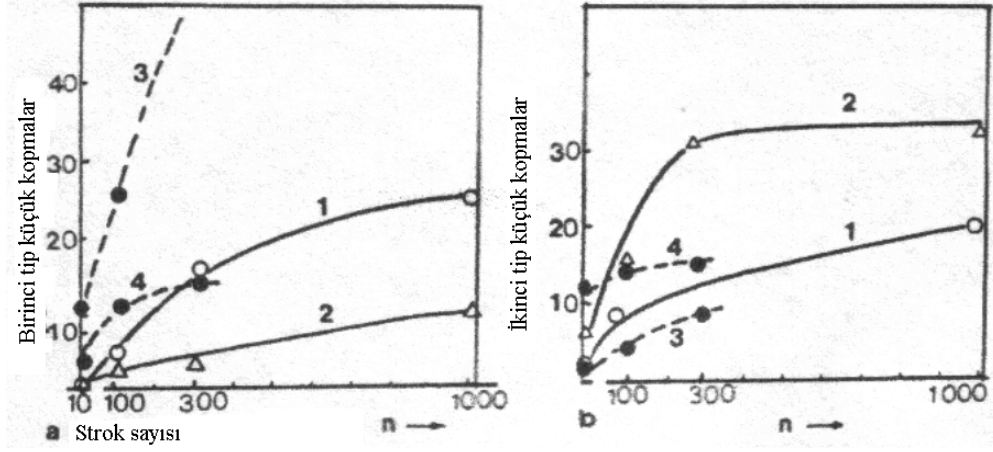
3.5.5 Diş Ucundaki Küçük Kopmalar ile İlgili Çalışma Sonuçları.

Diş ucundaki küçük kopmaların türleri vardır, bunlar tip I ve tip II olarak adlandırılırlar. Tip I, talaş yüzeyine paralel büyük ve yüzeysel kopmalardır ve tip II, talaş ve serbest yüzeylere neredeyse simetrik daha küçük kopmalardır. Bunlar, stereo mikroskopi ve ışık optik mikroskopi teknikleri kullanılarak tespit edildiler. Şekil 3.41 M2 ve B türü yüksek hız çelikleri ile ilgili olarak testereleme hızının, tip I ve tip II üzerine etkisini göstermektedir. Her iki tip de hızın artışı ile azalır ve ikisi arasındaki fark yüksek hızlarda kaybolur.



Şekil 3.41 Diş ucundaki küçük kopmalara testereleme hızının (N stroke/dak.) etkisi. $S=0.27\text{mm/stroke}$; M2-1190-2x560⁰C; B-1150-2x570⁰C; a) tip I; b) tip II (Chandrasekaran, 1987).

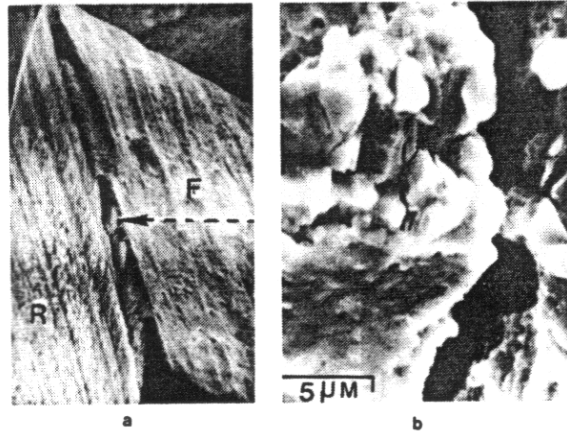
Şekil 3.42 hem sertliği hem de dayanımı etkileyen farklı östenizasyon sıcaklıklarının M2 ve B malzemelerinde tip I ve tip II oluşumu üzerine etkisini göstermektedir. Her iki malzemede de sertliğin artışı ile tip I artarken tip II oluşumu azalır.



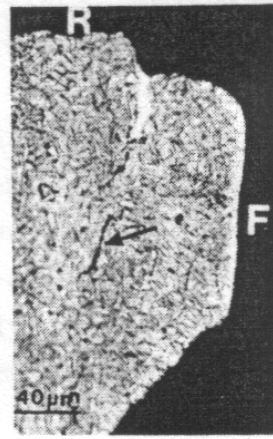
Şekil 3.42 Isıl işlemin diş ucundaki küçük kopmalar üzerine etkisi; $N=50$; $S=0.27$; 1=M2-1200-2x550⁰C; 2=M2-1200-2x590⁰C; 3=B-1210-2x570⁰C; 4=B-1150-2x570⁰C; a) tip I; b) tip II (Chandrasekaran, 1987).

3.5.6 SEM ve LOM Çalışmaları

Testere dişinde diş ucu plastik deformasyonu, kopma ve çatlakların konum ve miktarı ve büyük karbürler gibi muhtemel diğer yapısal özellikler stereo mikroskopi ve ışık optik mikroskopi teknikleri kullanılarak incelendi. Birincil karbürler, özellikle B malzemesinde, tip II ve tip III'ün kopma bölgesinde daha sık gözlemlendi (Şekil 3.43). Burada büyük deformasyon ve kalıntı çatlaklarına da sıkça rastlandı (Şekil 3.44).

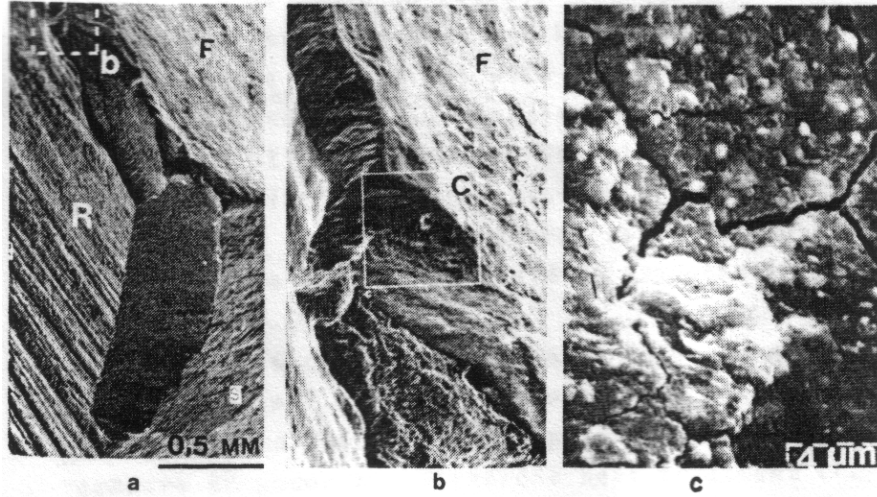


Şekil 3.43 a) B yüksek hız çeliği malzemesinde (1150-2x570⁰C) tipik bir tip II diş ucu kopması (SEM); $N=50$; $S=0.27$; $n=100$ stroke. b) Kopma bölgesindeki birincil karbürleri gösteren büyütülmüş görünüş (SEM); R-talaş yüzeyi; F-serbest yüzey (Chandrasekaran, 1987).



Şekil 3.44 Testere dişinin kesit görünüşü (LOM); B HSS 1210-2x570⁰ C; N=36; S=0.27; n=100; Tip III 'ün kalıntı çatlakları görülmektedir (Chandrasekaran, 1987).

Lama testereleme işleminde dişlerde ısınma ve soğuma çevrimleri de olduğundan termal yorulma tipi çatlama için uygun bir durum oluşur (Şekil 3.45).



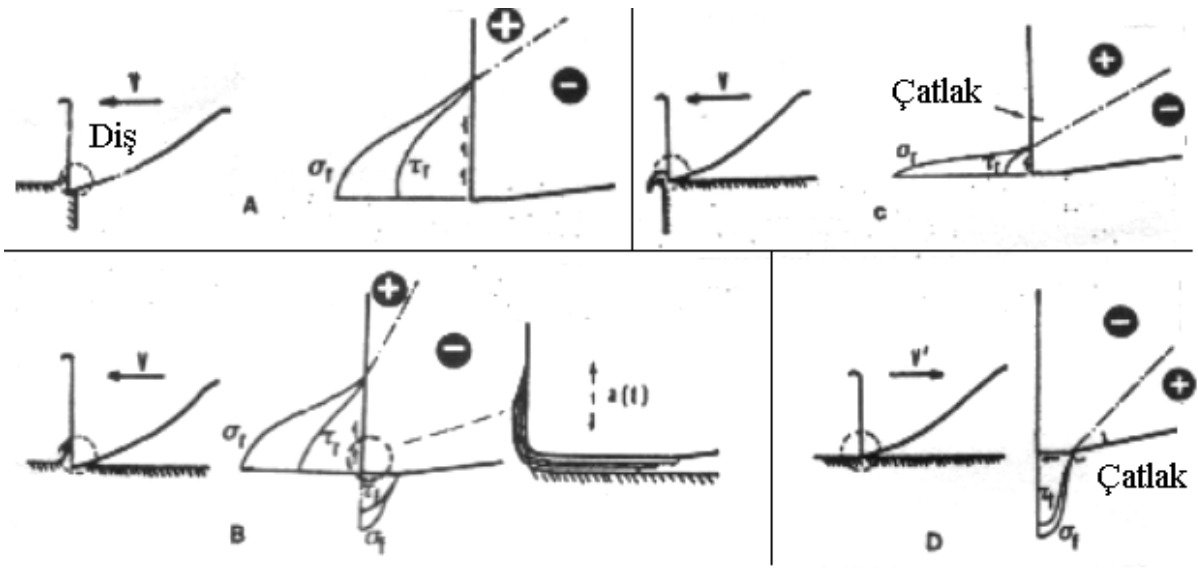
Şekil 3.45 a) M2 yüksek hız çeliği malzemede diş ucunda oluşan küçük kopmalar (SEM); b) a)'nın detay görüntüsü; c) termal çatlakların oluşturduğu ağı gösteren b)'nin detay görüntüsü (Chandrasekaran, 1987).

3.5.7 Diş Ucunda Oluşan Küçük Kopmaların Mekanizması.

Şekil 3.46 farklı testereleme kademeleri ile ilgili olarak (sıcaklıklar dikkate alınmadan) dişteki gerilmeleri şematik olarak gösterir. Bunların arasında talaş ve serbest yüzeye gerilmelerin eş zamanlı olarak etki ettiği durum (şekil 3.46 B) en tehlikelisi olarak gözükmektedir. Bununla

birlikte, lama testereleme diş giriş, çıkış ve dönüş stroku (çoğu kez tamamen gerilmemiş olmayan) içerdiğinden, testere malzemesinin kopma davranışı ile bunların etkileşimi farklı tiplerde diş ucu kopmaları ile sonuçlanan talaş ve serbest yüzey boyunca başlatılmış çatlaklar (şekil 3.46 C-D) oluşturur (Şekil 3.47).

Tip II'ye neden olan çatlak ilerlemesi, testereleme kademelerine A,B,C ve D (Şekil 3.47) bakılmaksızın en çok karşılaşılan durumdur. Bu, tip II kopmaların toplamının tip I'in neredeyse iki katı olmasıyla da doğrulanmış olur. Dişteki sıcaklık dağılımı ve iş parçasının ileri ve geri strok esnasında yapışması da testerelemede diş ucundaki küçük kopma tipleri (I ve III) ile sonuçlanan, çatlak ilerleme olayını etkileyen ilave özelliklerdir.



Şekil 3.46 Testere strokunun farklı kademelerine ait diş gerilmelerinin şematik görünüşü; A-giriş; B-sürekli kesme; C-diş çıkışı; D-dönüş stroku (Chandrasekaran, 1987).

Talaş yüzeyinde çatlak oluşumu	Testereleme kademesi	Küçük kopma tipi	Serbest yüzeyde çatlak oluşumu	Testereleme kademesi	Küçük kopma tipi
a	A B	I III	b	A B	I II
				C	II
	C B	II		D	I II

Şekil 3.47 Talaş yüzeyi (a) ve serbest yüzey (b) boyunca oluşan çatlaklar; ve diş ucunda oluşabilecek küçük kopma türleri (Chandrasekaran, 1987).

3.5.8 Diş Ucundaki Küçük Kopmalar Üzerine Testere Malzemesinin Etkisi

Çizelge 3.8 diş ucundaki küçük kopmalar ve testere malzemesi alaşım içeriği, sertlik ve ısıl işlem açısından malzeme test sonuçlarını birleştirilmiş olarak göstermektedir.

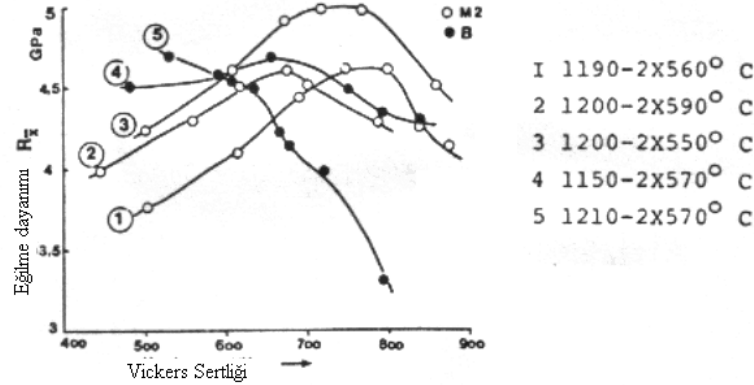
Çizelge 3.8 Testere malzemesi ve ısıl işlemin lama testerelemede diş ucundaki küçük kopmalar üzerine etkisi. İş parçası: östenitik paslanmaz çelik SS 2343. Referans hız: 51 strok/dak.; ilerleme: 0.27mm/strok (Chandrasekaran, 1987).

No	Testere malzemesi ve ısıl işlemi	Sertlik (HV20) ve eğme kopma dayanımı Gpa.	Testere başına kopma adedi.				Testere başına Tip I ve Tip II 'nin toplam adedi.	
			Tip I		Tip II			
			N=100	N=300	N=100	N=300	N=100	N=300
1	M2(1200 ⁰ C+2x590 ⁰ C) HV=788, R _x =4.22”		2.5	3	15	32	17.5	35
2	M2(1200 ⁰ C+2x550 ⁰ C) HV=876, R _x =4.55		5	15.5	4.5	9	9.5	24.5
3	M2(1190 ⁰ C+2x560 ⁰ C) HV=890, R _x =4.24		19	21	17.5	27.5	36.5	48.5
4	M2(1150 ⁰ C+2x570 ⁰ C) HV=780, R _x =4.22		10	13.5	13.8	15	23.8	28.5
5	M2(1210 ⁰ C+2x570 ⁰ C) HV=860, R _x =3.45		25	53.5	3.5	9	28.5	62.5

Şekil 3.48’de daha önce elde edilen eğme kopma ve sertlik sonuçları (şekil 3.38 ve 3.39) farklı ısıl işlem durumları için birleştirilmiştir. Bu şekilde sertlik ve dayanım değerlerinin yüksek olduğu bölge 1200-2x550⁰C ısıl işlem durumu için M2 malzemesine aittir. Diş ucundaki küçük kopmalara ait sonuçlar incelendiğinde (çizelge 3.8 No.2), her iki tip kopma adedinin düşük olduğu da görülmüştür.

Sertliğin etkisinin dayanım artışından daha güçlü olduğu tespit edildi. M2 iki farklı ısıl işlem durumu için 1200⁰C+2x590⁰C ve 1190⁰C+2x560⁰C karşılaştırıldığında (çizelge 3.8 No. 1 ve 3), toplam kopma adedinde tip II ’deki artıştan kaynaklanan göze çarpan bir artış (17.5’den 36.5’e) olduğu görüldü. Bu sertliğin gevrek kopmaya olan eğilimi arttırdığını gösterdi. İdeal

olan iyi bir kopma direnci için yüksek hız çeliği türüne uygulanan ısıl işlemin mümkün olan en büyük dayanım ve sertlik değerlerini kazandırmasıdır.



Şekil 3.48 M2 ve B yüksek hız çeliği malzemeleri için yüksek sıcaklık testlerinden elde edilen sertlik (HV) ve eğilme dayanımı (R_x) arasındaki ilişki (Chandrasekaran, 1987).

3.6 Çeliğin Şerit Testerelemede Diş Ucunda Küçük Kopmalar.

Chandrasekaran (1992), yüksek hız çeliği uçlu bimetel testerelemler ile suverilmiş ve temperlenmiş çeliğin şerit testerelemede diş ucundaki küçük kopmaları inceledi. Diş ucundaki küçük kopmaların ölçülmesi için uygun bir referans testereleme testi geliştirilmeye çalışıldı. Testere malzemesi bileşiminin, imalat yönteminin (alışılmalı ve toz metalürjisi), ısıl işlemin ve testere diş gerilmelerinin diş ucundaki küçük kopmalar üzerine etkisini araştırmak için testler yapıldı. Çalışma, ısıl işlemin şerit testerelemede dişin dayanımı üzerindeki önemini ortaya koydu. Burada alışılmalı ve toz metalürjisi yöntemleri ile üretilen yüksek hız çeliği tipleri benzer sertlik ya da karbür içeriklerine bakılmaksızın ısıl işleme karşı farklı duyarlılık gösterdiler.

3.6.1 Diş Ucundaki Küçük Kopmalar İle İlgili Çalışmalar.

3.6.1.1 Diş Ucundaki Küçük Kopmaların Değerlendirilmesi İçin Test Yöntemi

Suverilmiş ve temperlenmiş çelikten SS2541 (~AISI4340) yuvarlak çubukların (102mm çap) yüksek hız çeliğinden diş ve yay çeliğinden gövde malzemeli bimetel şerit testerelemler kullanılarak ($l \times b \times t = 5800 \times 3.2 \times 1.1$ mm) kontrollü şerit testerelemede test işleminin esas kısmını oluşturdu. Tüm testler Behringer 400 yatay şerit testere tezgahında yapıldı. Testlerde kanca diş geometrilisi ($\gamma = 10^\circ$ ve $\alpha = 25^\circ$), inçteki diş sayısı iki olan aralıklı ardışık çaprazlamalı şerit testerelemler kullanıldı. Testlerde değişik testere hızları ve ilerleme değerleri kullanıldı. Çalışmada kullanılan malzemelerin bileşimleri çizelge 3.9 ve 3.10'da

görülmektedir.

Çizelge 3.9 Testereleme çalışmalarında kullanılan iş parçası malzemelerin nominal kimyasal bileşimleri (Chandrasekaran, 1987).

Malzeme	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
SS2541	max0,32	0.10	0.50	-	-	1.3	1.3	0.15
	min0,39	0.40	0.80	0.035	0.035	1.7	1.7	0.30
SS2343	<0.05	0.5	1.5	0.04	<0.02	17	11	2.7

Çizelge 3.10 Testereleme çalışmalarında kullanılan takım malzemelerin nominal kimyasal bileşimleri (Chandrasekaran, 1987).

Malzeme	C	Si	Cr	Mo	W	V	Co	Fe
AISI M2	0.9	0.3	4.0	5.0	6.5	1.9	-	Kalan
AISI M42	1.1	0.3	3.8	9.5	1.5	1.2	8.0	Kalan

3.6.1.2 Şerit Testerelemede Diş Ucunda Oluşan Küçük Kopmalar Diş Ucundaki Küçük Kopmaların Miktarının Belirlenmesi

Lama testerelemeye benzer olarak şerit testerelemede de üç tip küçük diş ucu kopması olduğu görüldü. Tip II diş ucu küçük kopması diğer bir çok aralıklı kesme işleminde de gözlemlendiği gibi en yaygın olanıydı.

Değişen testereleme hızı ve ilerlemesi koşulları altında, dişler ve geçiş sayıları ile ilgili olarak, diş ucundaki küçük kopmaların derecesi *CDI* (diş ucu küçük kopmaları hasar göstergesi) kullanılarak ifade edildi

$$CDI = \frac{n}{Z \cdot N} \quad (3.10)$$

Burada *n* belirli bir tip için gözlemlenen diş ucu küçük kopmalarının toplam sayısı, *Z* bu diş ucu küçük kopmaları ile ilişkili dişlerin sayısı, ve *N* diş geçiş sayısıdır.

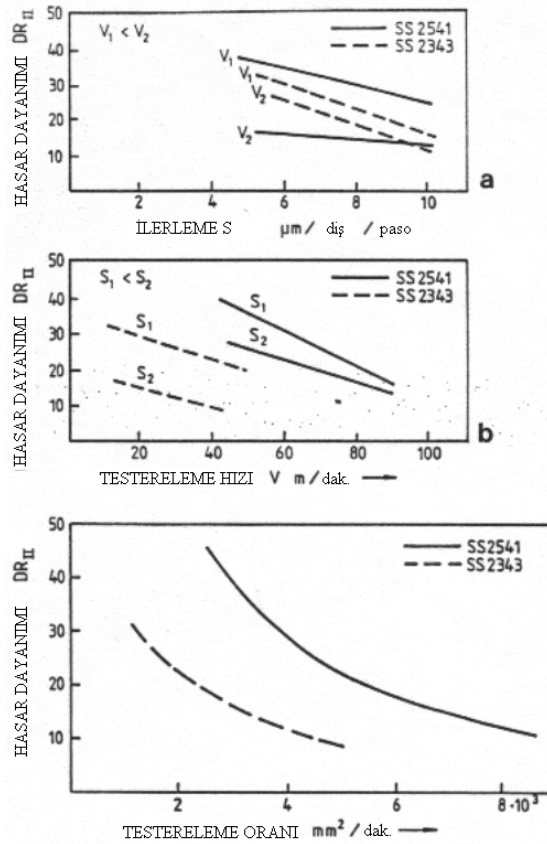
Benzer olarak, diş ucu küçük kopmalarına karşı dayanım, *CDI*'nin tersi kullanılarak ifade edildi ve *DR* hasar dayanımı olarak adlandırıldı.

$$DR = \frac{1}{CDI} \quad (3.11)$$

Testereleme Koşullarının Etkisi

Mevcut bir iş parçası ve testere malzemesi kombinasyonu için diş ucundaki küçük kopmalarının derecesi ya da buna karşı dayanım (DR), testereleme hızı ve ilerlemesinden etkilenecektir. Şekil 3.49, iki iş parçası malzemesi (suverilmiş ve temperlenmiş çelik SS2541 ve östenitik paslanmaz çelik SS2343) için artan testereleme oranları ile tip II kopmalarına karşı hasar dayanımındaki tipik azalmayı göstermektedir. İki iş parçası için de hız ve ilerlemenin hasar dayanımı üzerine olumsuz etkisi benzerdir (şekil 3.49a, 3.49b). Bununla birlikte SS2541 iş parçası için artan testereleme hızının olumsuz etkisi, artan diş ilerlemesinin olumsuz etkisinden daha büyük iken östenitik çelik artan hız ve ilerlemeye karşı yaklaşık olarak aynı olumsuz duyarlılığı sergilemektedir.

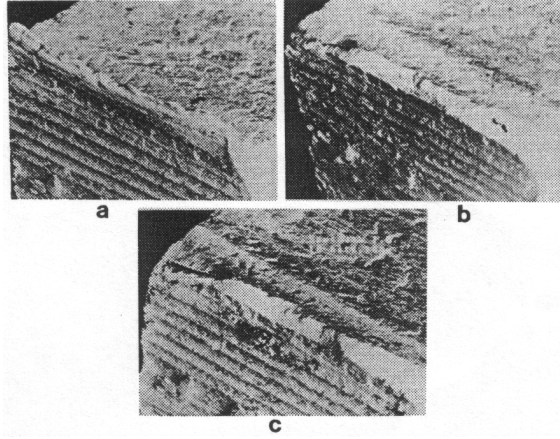
Testereleme oranı (dakikada testerelenen alan $\text{mm}^2/\text{dak.}$) olarak ifade edilen testereleme koşullarının toplam etkisi açıkça göstermektedir ki (şekil 3.49c), östenitik paslanmaz çeliklerin testerelemesinde diş hasar dayanımı, SS2541 çeliğin testerelemesinde gözlemlenen dayanım değerinin neredeyse yarısına düşer.



Şekil 3.49 SS2541 çeliğin testerelemesinde tip II kırılmalara karşı dayanım (DR_{II}) üzerine testereleme koşullarının etkisi; a) $V_1=20$ ve $V_2=35\text{m}/\text{dak.}$ b) $S_1=6$ ve $S_2=10\mu\text{m}/\text{diş}/\text{geçiş}$ c) testereleme oranının etkisi (Chandrasekaran, 1987).

Testereleme Süresinin Etkisi

Testereleme süresinin etkisi diş biçimindeki değişmelerin görüntülenmesi sureti ile kısaca incelendi. İş parçası (çelik SS2541, 310 HV) içinden $N=0,3,10,20,60$ ve 920 geçişten sonra aynı çaprazlamalı testere dişleri stereo mikroskop kullanılarak incelendi. Şekil 3.50 tipik sağa çaprazlamalı bir dişin farklı testereleme kademelerinden önceki ve sonraki görüntüsünü (SEM) gösterir. Burada çatlaklar gibi iç kusurlar görülmemektedir.



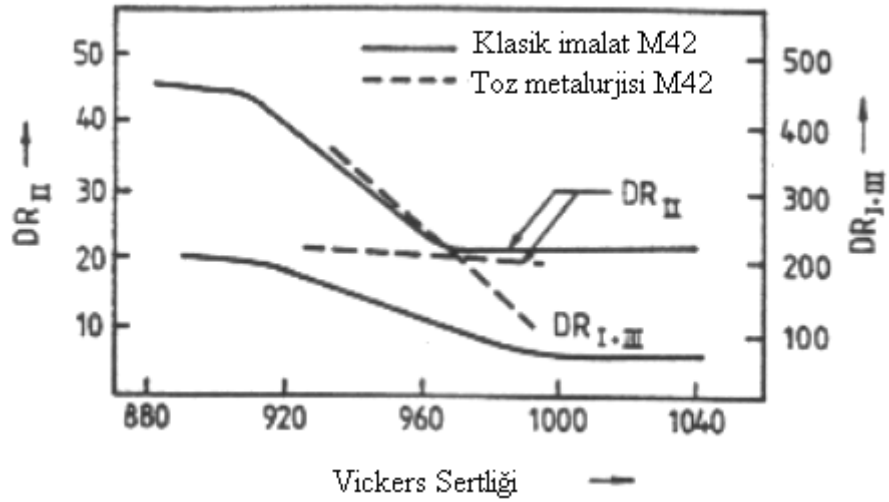
Şekil 3.50 Aynı testere dişinin (sağa çaprazlanmış) kenar çiziklerini (a), 10 diş geçişinden (b) ve 40 diş geçişinden (c) sonraki küçük kopmaları gösteren tipik görüntüsü (SEM) (Chandrasekaran, 1987).

3.6.1.3 Testere Malzemesi Özelliğinin Etkisi

Sertliğin Rolü

Şekil 3.51, sertliğin tip II (DR_{II}) ve diğer tip (DR_{I+III}) küçük kopmalara karşı dayanım üzerine etkisini göstermektedir. Küçük (DR_{II}) ve büyük (DR_{I+III}) diş ucu kopmalarına karşı dayanım sertliğin artması ile azalmaktadır. Bununla birlikte, 910-990 HV aralığında bu etki kendini daha fazla gösterir. Sertliğin daha da artmasının olumsuz etkisi çok azdır. 880 HV'nin altındaki değerler için hasar dayanımı, büyük diş deformasyonundan dolayı yine azalır (şekilde gösterilmemiştir).

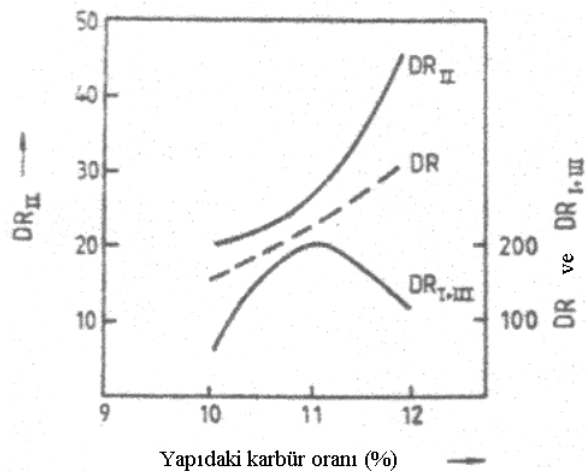
Aynı sertlik artışı için (930'dan 990HV'e), M42'nin toz metalürjisi ile üretilen türleri neredeyse sabit bir DR_{II} seviyesi sergilerler, fakat alışılagelmiş imalat yöntemiyle üretilenin tersine DR_{I+III} değerlerinde de büyük bir azalma görülür.



Şekil 3.51 HSS M42 diş malzemesi ile SS2541 çeliğinin şerit testerelenmesinde diş malzemesi sertliğinin (HV1), tip II (DR_{II}) ve diğer iki tip (DR_{I+III}) küçük kopmalara karşı dayanım üzerine etkisi (Chandrasekaran, 1987).

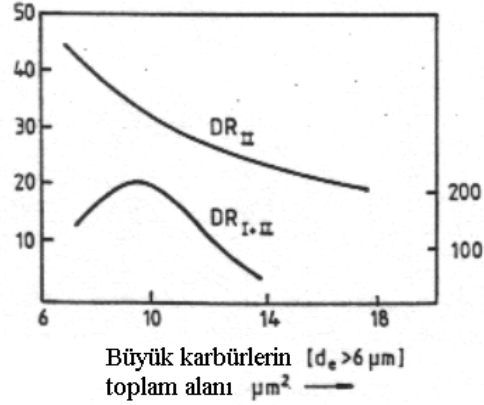
Mikroyapının Rolü

Mikroyapının yani yapıda bulunan karbürlerin de diş ucunda oluşan küçük kopmalar üzerine etkisi olduğu görülmüştür. M42 HSS malzemesi için karbür miktarının hasar dayanımı üzerine etkisi şekil 3.52 'de gösterilmektedir. Burada açıkça görülmektedir ki artan karbür miktarı ile tip II kopmalarına karşı dayanım (DR_{II}) artarken büyük diş ucu kopmalarına karşı dayanım (DR_{I+III}) %11 civarında en yüksek değerine ulaşmaktadır. Toplam hasar dayanımı (DR = DR_{I+II+III}), DR_{II} 'ye benzer bir şekilde artar.



Şekil 3.52 HSS M42 diş malzemesi ile SS2541 çeliğinin şerit testerelenmesinde toplam birincil karbür içeriğinin DR_{II}, DR_{I+III} ve genel kopma dayanımı (DR) üzerine etkisi (Chandrasekaran, 1987).

Şekil 3.53, büyük karbürlerin ($>8 \mu m$), DR_{II} hasar dayanımı üzerine güçlü olumsuz etkilerini göstermektedir. Burada DR_{I+III} hasar dayanımı başlangıçta bir artış gösterdikten sonra yapıda hala daha büyük karbürler ($>10 \mu m$) varolduğundan giderek azalmaktadır.



Şekil 3.53 M42 HSS malzemesi içindeki büyük karbürlerin tip II kopmalarına karşı dayanım (DR_{II}) ve tip I ve tip III kopmalarının toplamına karşı dayanım (DR_{I+III}) üzerine etkisi (Chandrasekaran, 1987).

3.6.2 Testereleme Kuvvetleri ve Dişteki Gerilmeler

3.6.2.1 Testereleme Kuvvetleri

Araştırma esnasında testere dişine gelen kuvvetler ile ilgili olarak testere giriş ve çıkış etkisi, kesme işlemine katılan diş sayısı gibi çeşitli faktörlerin etkilerini incelemek için özel denemeler yapıldı. Asal kuvvetler (kesme kuvveti F_v ve ilerleme kuvveti F_f) Kistler dinamometresi ile kaydedildi.

Çalışma gösterdi ki diş başına ortalama kesme kuvveti diş giriş ve çıkışından etkilenmektedir. Giriş, kuvvetlerde ani ve büyük yükselmelere (%50-200) neden olmaktadır. Ayrıca, diş çaprazlaması, diş ile iş parçası arasındaki sürtünmeler ve testerenin kendi dinamik davranışı da kuvvetler üzerine etki etmektedir. Sonuç olarak çaprazlanmamış dişe etki eden ortalama ve sınır kuvvet değerleri dişteki gerilmelerin basit olarak modellenmesinde kullanılmıştır.

3.6.2.2 Testere Dişi Gerilmeleri

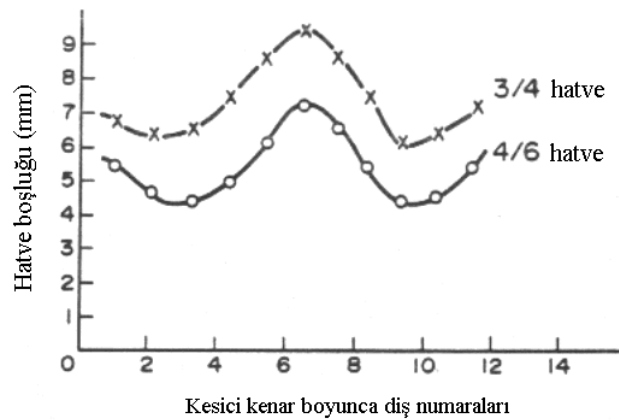
Çalışmada basit bir testere dişi temas gerilme (talaş yüzeyi ve kayan serbest yüzey boyunca oluşan normal ve kayma gerilmeleri) modeli geliştirildi (şekil 3.54). Sonra tek bir diş için iki boyutlu elastik düzlem gerilme analizi yapıldı. Talaş yüzeyi boyunca yaklaşık 400Mpa değerinde çekme gerilmesi olduğu saptandı (şekil 3.55). Dişe kuvvet uygulanmasından sonra dişte şekil değişimi gözlemlendi (şekil 3.56).

Malzeme ister alışlagelmiş yöntemlerle ister toz metalürjisi ile üretilmiş olsun, diş ucundaki küçük kopmaların farklı türlerine karşı dayanım, toplam birincil karbür içeriğinden farklı şekillerde etkilenmektedir (şekil 3.52). Karbür içeriğinin (DR_{I+III}) üzerine olumsuz etkisi (şekil 3.52), şekil 3.53’de görülen çok büyük karbür varlığından da kaynaklanabilmektedir. Bundan dolayı kesin olarak söylenebilir ki küçük karbürlerin içerik olarak artışı diş ucu küçük kopmalarına karşı dayanımın arttırılmasına genel olarak fayda sağlamaktadır. Bununla birlikte, büyük karbürlerin DR_{II} üzerine başlangıçtan itibaren ve DR_{I+III} üzerine ise sonradan güçlü bir olumsuz etkisi söz konusudur (şekil 3.53).

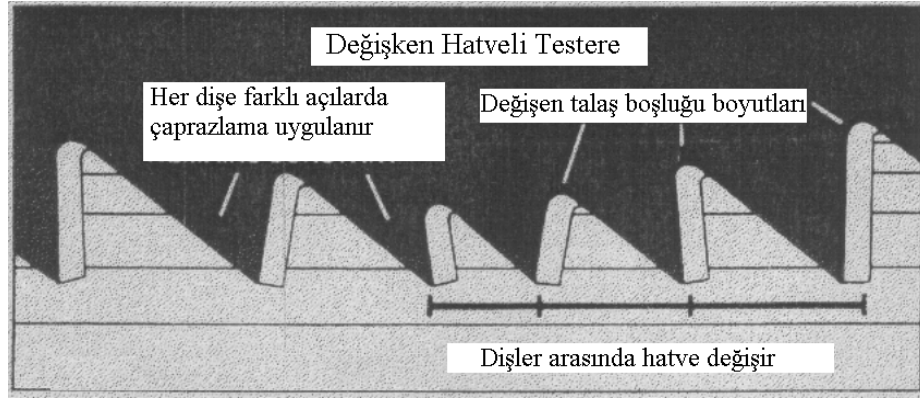
3.7 İşleme Parametrelerinin ve İş Parçası Şeklinin Şerit Testereleme İşlemi Üzerine Etkisi

M. M. Ahmad (1988), şerit testerelemenin mekanik bir analizini yaparak şerit testere hızının, ilerlemenin ve iş parçası şeklinin kesme işlemi üzerine etkilerini inceledi. Çalışmasında değişken hatve kombinasyonlu testere kullandı.

Değişken hatveli testere boruların, profillerin ve diğer aralıklı kesme içeren parçaların testerelemesinde oluşan gürültüyü azaltmak için geliştirilmişlerdir. Bu testere kullanımı farklı boyut ve türdeki malzemeleri kesmek için testerenin değiştirilmesi zorunluluğunu ortadan kaldırır. Değişken hatveli testere her diş bir alt ve üst sınır arasında değişen farklı hatve boyutlarına sahiptir. Örneğin “(4/6) hatve” olarak ifade edilen değişken hatveli testerede, bir inç uzunluktaki diş sayısı en az 4 en fazla 6’dır (şekil 3.57). Değişken hatveli testere kullanılması titreşimi ve gürültüyü azaltır, daha düzgün yüzeylerin elde edilmesini sağlar ve takım ömrünü uzatır.



Şekil 3.57 Değişken hatve boyutu (Ahmad, 1988).



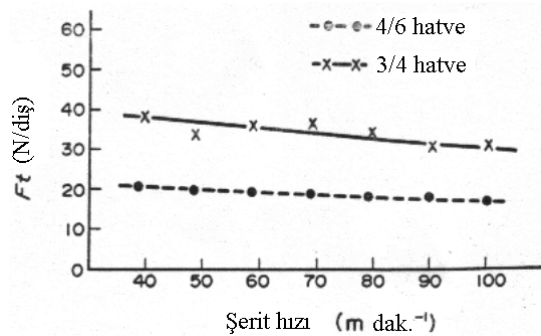
Şekil 3.58 *Milford Products Corp.* tarafından geliştirilen testerede, hem değişken hatve kullanılmış hem de toplam çaprazlama aynı kalırken her bir dişe farklı açılarda çaprazlama uygulanmıştır (Schuch, 1986).

Evvelce yapılmış testereleme ile ilgili çalışmalar göstermiştir ki diş başına elde edilen ortalama kesme derinliği ve birim kalınlıkta diş başına oluşturulan ortalama baskı kuvveti arasında lineer bir ilişki mevcuttur. Bu ilişkinin orantısallık sabiti, kesme sabiti olarak tanımlanmıştır. Bu çalışmada işleme parametrelerinin kesme sabiti üzerine yaptıkları etkiler de incelenmiştir.

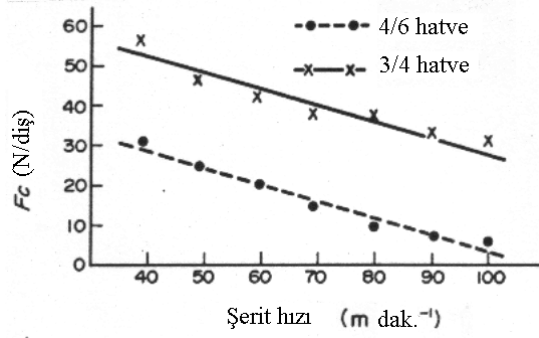
Bu çalışmada, kesme testleri yatay şerit testere tezgahında yapıldı. Kesme kuvvetleri üç parçalı piezo-elektrik transdüser kullanılarak ölçüldü ve osilograf ile kaydedildi. Standart imalat tipi bimetal testereler (32x1.1x4100mm), 3/4 ve 4/6 değişken hatve kombinasyonları ile kullanıldılar (şekil 3.57). 4/6 hatve kombinasyonu için talaş açısı 8° ve boşluk açısı 36° , 3/4 hatve kombinasyonu için talaş açısı 10° ve boşluk açısı 34° idi.

3.7.1 Hızın Etkisi

Birim kalınlıkta diş başına baskı ve kesme kuvvetlerinin her ikisinin artan kesme hızı ile azaldığı görülmüştür (şekil 3.59 ve 3.60).

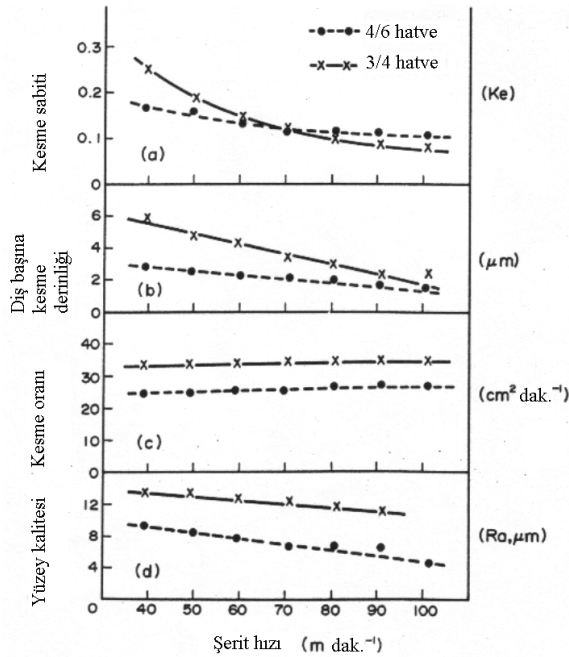


Şekil 3.59 Şerit hızının baskı kuvveti üzerine etkisi (Ahmad, 1988).



Şekil 3.60 Şerit hızının kesme kuvveti üzerine etkisi (Ahmad, 1988).

Baskı kuvvetindeki azalma kesme derinliğinde azalmaya neden olacaktır. Baskı kuvveti ve kesme derinliğindeki azalmaların oranı, kesme sabiti değerinin değişmesine neden olurlar (şekil 3.61a). Şerit kesme hızındaki artışa bağlı kesme sabitindeki azalma, diş başına kesme derinliğindeki azalmanın, diş başına baskı kuvvet bileşenindeki azalmadan daha önemli olduğunu gösterir (şekil 3.61b). Bu, test esnasında testeredeki aşınma artışından kaynaklanabilmektedir. Artan kesme hızı, daha önce de ifade edildiği gibi kuvvetleri azaltır fakat kesme oranında (birim zamanda testerelenen kesit alan) önemli bir gelişmeye katkıda bulunmaz (şekil 3.61c). Bunun nedeni, diş başına elde edilen kesme derinliğinin, birim kalınlıkta diş başına uygulanan baskı kuvvetiyle orantılı olmasıdır. Şerit hızının ve testerenin birim uzunluktaki diş sayısının artışı yüzey pürüzlülüğünü azaltır (şekil 3.61d).



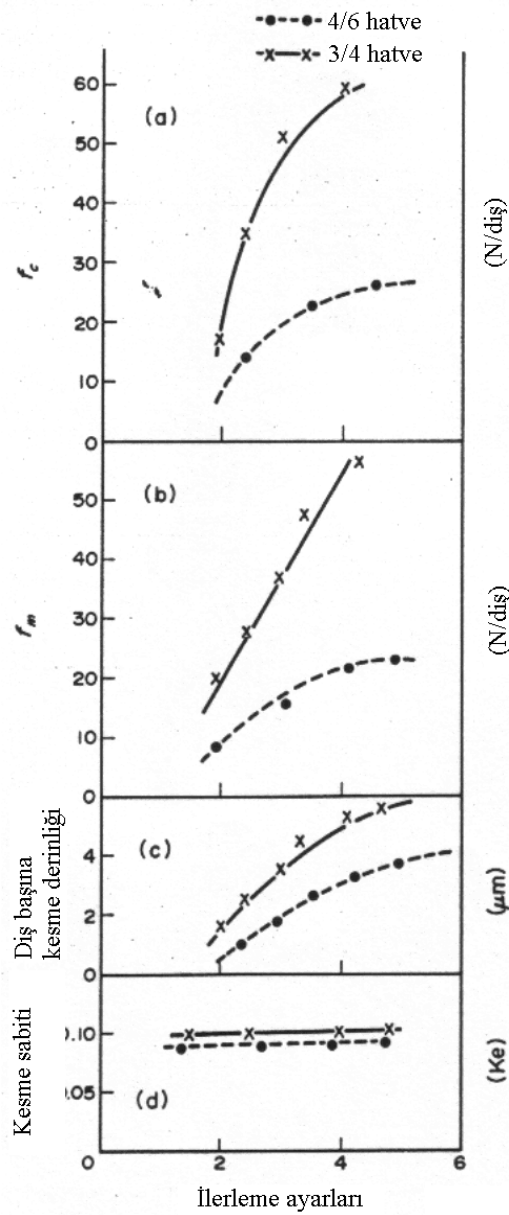
Şekil 3.61 Hızın etkisi (Ahmad, 1988).

Böylelikle daha küçük hatveli bir testerenin, uzun süre tatmin edici bir yüzey kalitesini

sürdürmesi beklenebilir ancak bu daha büyük hatveli bir testereden daha düşük kesme oranlarında gerçekleşir.

3.7.2 İlerlemenin Etkisi

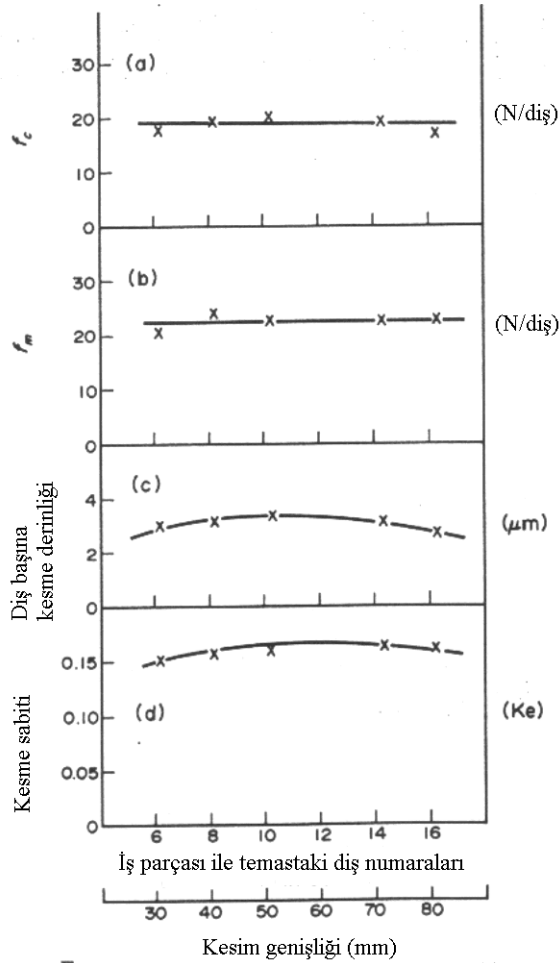
Tezgahın ilerleme kontrol valf ayarlarındaki bir artış hem diş başına kesme kuvvetlerinde hem de diş başına baskı kuvvetlerinde önemli bir artışa neden olur (şekil 3.62a ve 3.62b). Testlerde diş başına elde edilen kesme derinliğinde belirgin bir artış gözlemlendi (şekil 3.62c). Her iki testere hatve kombinasyonu için de kesme sabiti değerinde hiçbir kayda değer değişim gözlemlenmedi (şekil 3.62d).



Şekil 3.62 İlerlemenin etkisi (Ahmad, 1988).

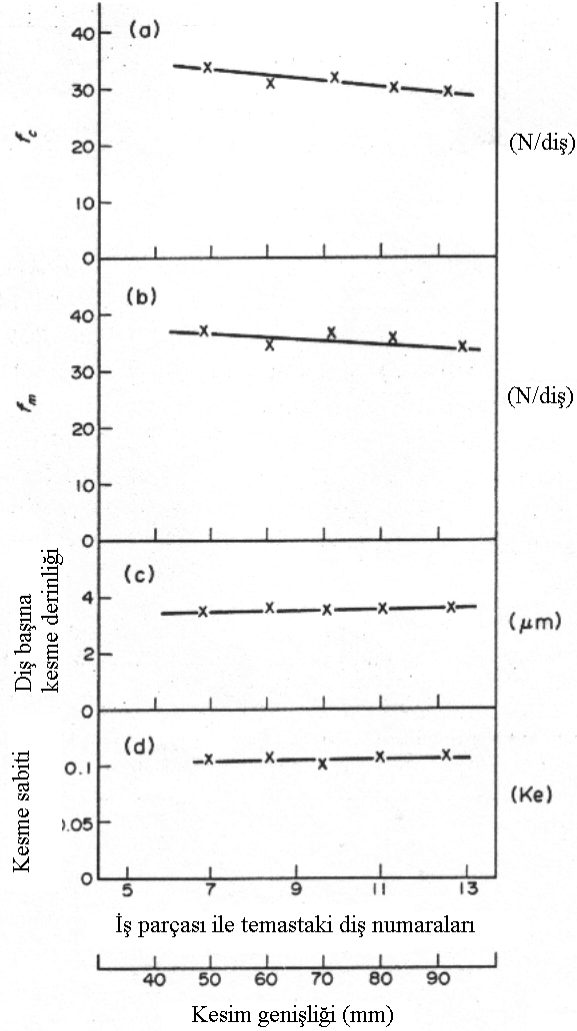
3.7.3 İş Parçası Şeklinin Etkisi

İş parçası genişlikleri büyük olduğunda, her bir diş talaş oluştururken daha fazla mesafe kat eder ve kesim sonuna kadar talaşları depolamak için talaş boşluğunda daha fazla hacme yani birim uzunlukta daha az sayıda diş bulunan bir testereye ihtiyaç duyulur. Buna karşın, dar iş parçaları testereleirirken birim uzunlukta daha fazla sayıda diş bulunması gerekir. Testlerde 4/6 hatve kombinasyonu için hem kesme hem de baskı kuvvetlerinde az bir değişme olduğu görüldü (şekil 3.63a ve 3.63b). Bununla birlikte daha çok dişin kesmeye iştirak etmesiyle diş başına baskı kuvvetinde ve de diş başına elde edilen kesme derinliğinde azalmaya yönelik bir eğilim oluşur (şekil 3.63c). Bu, çok fazla sayıda dişin iş parçası ile birbirine geçmiş durumda bulunmasına ve her bir talaş boşluğunda yeni kesilen talaşları depolamak için yeterli boşluğun olmamasına bağlanabilir. Bu durum oluştuğunda testerenin içe işleme (penetrasyon) becerisi azalır. Bu, dişlerin tıkanmasıyla attan kaldıran bir itme kuvvetinin oluşmasına neden olur, böylece birim kalınlıktaki baskı kuvveti azalır. Testlerde kesme sabitinde hiçbir kayda değer değişme gözlemlenmedi (şekil 3.63d).



Şekil 3.63 İş parçası genişliğinin etkisi (4/6 hatve kombinasyonu için), (Ahmad, 1988).

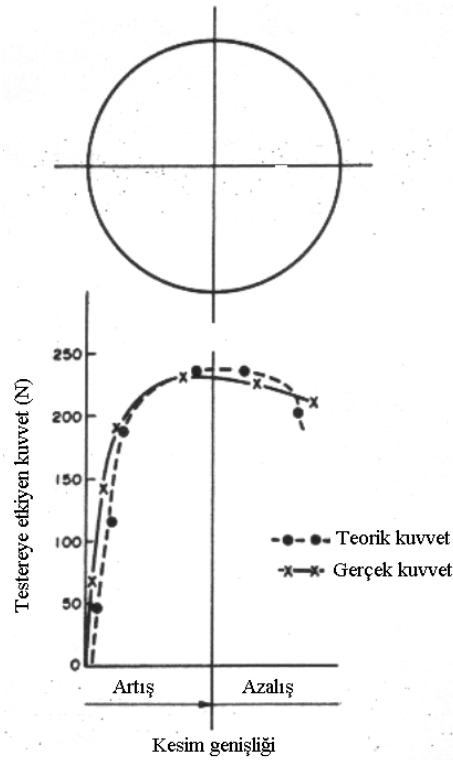
Daha büyük hatveli bir testere kullanıldığında daha büyük kesme ve baskı kuvvetleri oluştu (şekil 3.64a ve 3.64b). Birim kalınlıktaki diş başına gelen kuvvetlerdeki bu artışın nedeni, hidrolik silindir tarafından testere üzerinde sabit bir baskı yükü oluşturulması ve daha büyük hatveli testerenin uygulanan bu yükü dağıtma için daha az sayıda dişe sahip olmasıdır. Sabit bir testere/iş parçası yükü için daha az sayıda diş temasta olduğunda dişlerde daha büyük yükler oluşur, böylelikle birim kalınlıktaki diş başına daha büyük kesme derinliği elde edilir (şekil 3.64c). Birim uzunluğunda daha az sayıda diş bulunan testerelelerin daha büyük talaş boşluğu hacimleri vardır. Bu testereleler daha küçük kesme sabitleri oluştururlar (şekil 3.64d). İş parçası genişliğindeki değişme ile kesme sabiti değerinde önemli bir değişiminin oluşmadığına dikkat edilmelidir.



Şekil 3.64 İş parçası genişliğinin etkisi (3/4 hatve kombinasyonu için), (Ahmad, 1988).

Yuvarlak kesitler testereleğinde iş parçası genişliği kesim boyunca değişir. Kesim genişliği, testere merkeze doğru ilerlerken artar ve kesim biterken azalır. Şerit testere

tezgahları, testere değişen kesitleri keserken diş başına sabit bir talaş yükü oluştururlar. Şekil 3.65 yuvarlak kesitlerin testerelemesinde yaygın biçimde karşılaşılan, değişik iş parçası genişlikleri için testeredeki (4/6 hatve) yük değişimini göstermektedir. Teorik kuvvet değişik iş parçası genişlikleri için benzer malzeme kesitleri kesilerek ölçüldü ve grafiği çizildi (şekil 3.65). Bu, diş başına sabit bir kuvvet oluşturan servo-kontrol sisteminin, yuvarlak kesitler testereleirken iş parçası genişliğindeki değişimlere yavaşça karşılık verdiğini gösterir. Böylelikle testere, kesim başlangıcında daha büyük ve maksimum kesme genişliğinde daha küçük bir talaş yükü almaya zorlanır.



Şekil 3.65 Teorik ve gerçek kuvvet değişimi (Ahmad, 1988).

Bu çalışmada literatür yeniden incelenmesi ve konuyla ilgili deneysel çalışmaların yapılması sonucunda şu sonuçlar elde edildi; şerit testere tezgahları tarafından oluşturulan baskı kuvvetleri, lama testerelemeden farklı olarak iş parçası genişliği boyunca sabit kalmaktadır. Artan hız kesme kuvvetlerini, baskı kuvvetlerini, kesme sabitlerini, diş başına kesme derinliğini azaltır ve yüzey kalitesini iyileştirir, fakat kesme oranlarına hiçbir önemli katkıda bulunmaz. İlerleme ayarlarındaki artışlar, her iki mekanik kuvveti arttırarak, kesme oranlarına önemli bir katkıda bulunurlar. Buna karşın ilerleme, kesme sabiti üzerine az miktarda ölçülebilir bir etki yapmaktadır. Şerit testereleme tezgahında basınçlı ilerleme sistemi bulunduğundan lama testerelemenin tersine iş parçası şeklinin kesme performansı üzerine çok az ölçülebilir etkisi vardır.

4. LAMA TESTERELEME İŞLEMİNDE TESTERE DİŞLERİNİN KESEN AĞIZLARINDA OLUŞAN KÜÇÜK KOPMALARIN İNCELENMESİ.

Bu çalışmada yüksek hız çeliği lama testereler kullanılarak lama testere tezgahında kesme testleri yapıldı. Kesici kenarda oluşan küçük kopmaların türleri ve bunların testere üzerindeki dağılımları belirlenmeye çalışıldı. Tezgahın testereye uyguladığı basıncın değişiminin ve kesme süresinin bu küçük kopmalar üzerine etkileri araştırıldı.

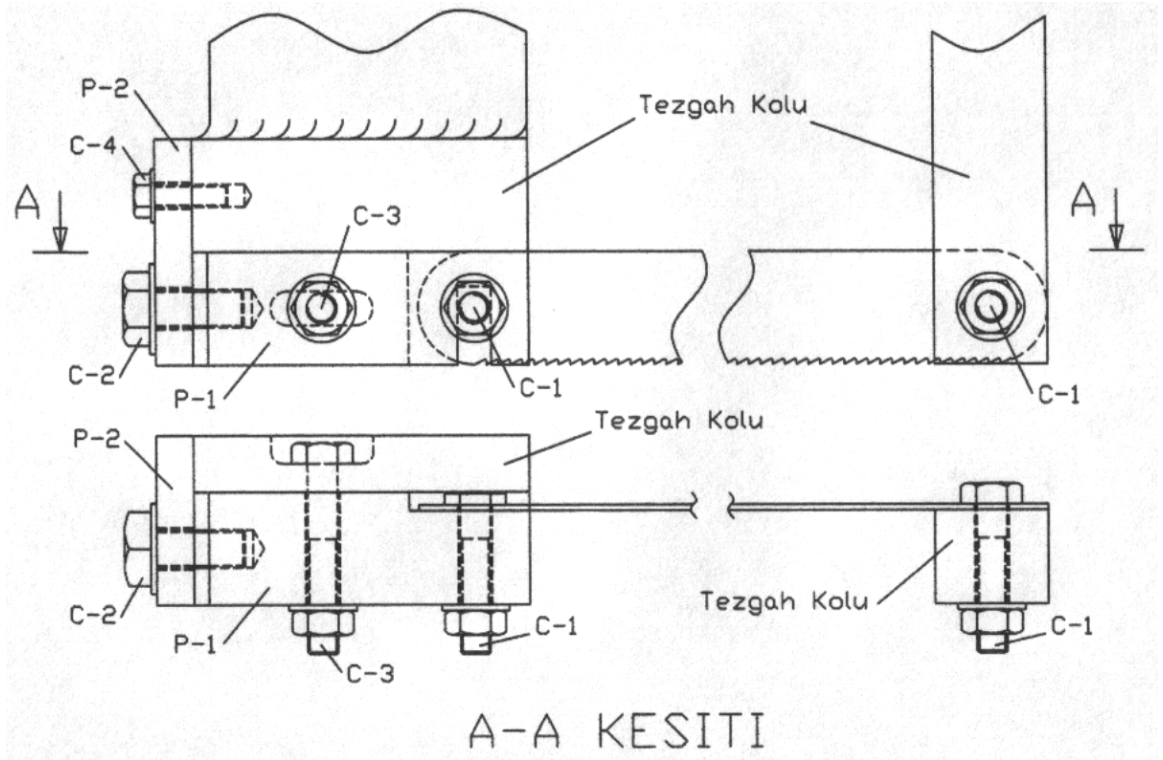
Aşağıda yapılan deneyle ilgili olarak çeşitli bilgiler verilmektedir.

- Testere malzemesi: Yüksek hız çeliği
- İş parçası malzemesi: St 37 (Ø110)
- Testere boyutları: 350x30x1.5mm
- Testerede 1 inçteki diş sayısı: 6
- Çaprazlama: Aralıklı ardışık; sağ, sol, düz, sağ, sol, düz ...
- Diş geometrisi: Standart
- Kullanılan ilerleme basınçları: 1, 2 ve 3 N/mm²
- Tezgahın kurs boyu: 94mm
- Kullanılan soğutucu sıvı: Bor yağı



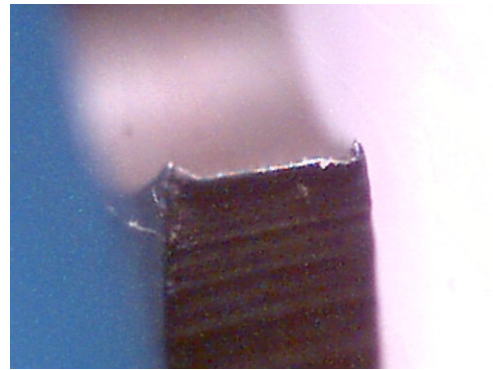
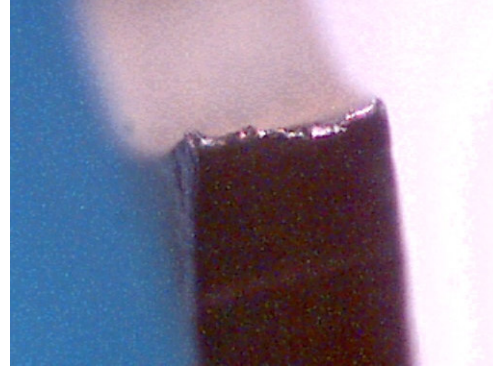
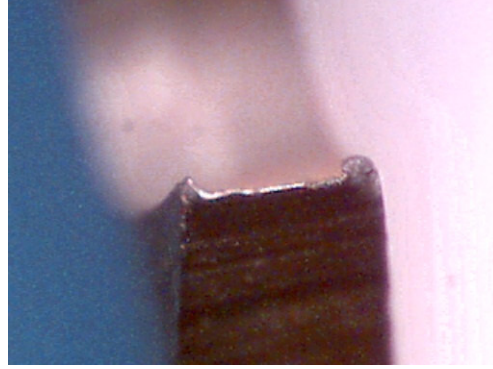
Şekil 4.1 Deneyde kullanılan lama testere tezgahı.

Lama testere, gel git hareketi yapan yay biçimindeki tezgah koluna pim deliklerinden iki adet M8x40 cıvata (C-1) ile bağlandı. Aparat parça yardımıyla (P-1), testereye M10x30 cıvata (C-2) sıkılarak aksenal doğrultuda bir ön gerilme uygulandı. Bu sayede lama testerenin büyük kesme yükleri altında deformasyonu önlenerek rijitliği artırılmış oldu. Ön gerilme uygulandıktan sonra testerede boyuna eksene dik doğrultuda oluşan istenmeyen şekil değişimini önlemek ve P-1 parçasını tezgah koluna sabitlemek amacıyla bir adet M8x70 cıvata (C-3) kullanıldı. M10x30 gerdirme cıvatasını taşıyan P-2 numaralı parçayı tezgah koluna bağlamak için de iki adet M6 cıvata (C-4) kullanıldı (şekil 4.2).



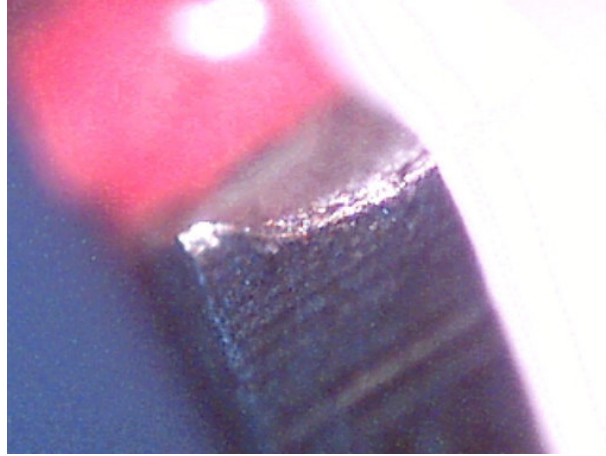
Şekil 4.2 Lama testere tezgahının testere bağlama konstrüksiyonu.

Deney yapılmadan önce hiç kullanılmamış bir lama testerenin dişleri mikroskopta incelendiğinde diş profillerinin aynı formda olmadıkları ve bazı dişlerin olması gereken gerçek profilden farklı biçimlere sahip oldukları görüldü (şekil 4.3). Bu, Sarwar'ın da (1984) bahsettiği gibi diş profilinin frezelemeyle oluşturulup sonrasında ısıl işlemin uygulandığı alışlagelmiş imalat yönteminden kaynaklanmaktadır. Bu prosesler kötü şekillendirilmiş kesici kenarlar oluştururlar.

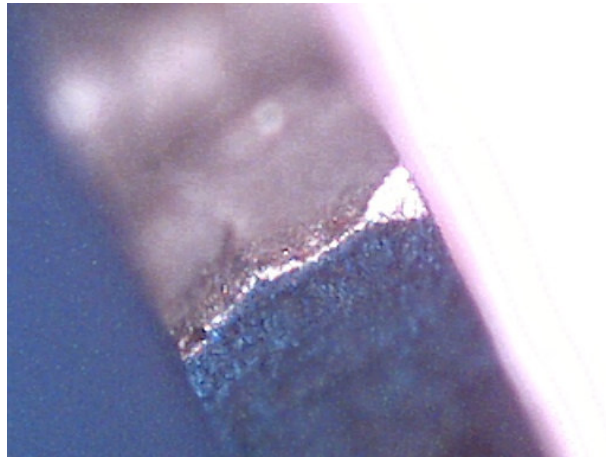


Şekil 4.3 Hiç kullanılmamış bir lama testeredeki kötü şekillendirilmiş diş profilleri (10x).

Deneyde üç farklı ilerleme basınç değeri için üç ayrı lama testere kullanıldı ve bu testerelerin her birinin dişlerinin kesmeden önce ve sırayla her 10, 20, 30 ve 40 stroktan sonra tek tek mikroskofta fotoğrafları çekildi. Çekilen bu fotoğrafların incelenmesi sonucunda testere dişi kesici kenarında farklı boyutlarda kopmaların meydana geldiği saptandı. Bunların Chandrasekaran'ın (1984) çalışmasında elde ettiği sonuçlarla örtüştüğü görüldü. Bu nedenle Chandrasekaran'ın çalışmasında testere dişinde kesici kenarda oluşan küçük kopmalar ile ilgili olarak ortaya koyduğu sınıflandırma aynen kullanıldı. Buna göre testere dişinde kesici kenarda oluşan küçük kopmalar Tip I ve Tip II olmak üzere iki grup altında toplandılar. Tip I kopmalar (şekil 4.4) genellikle kesici kenara çok yakın bir bölgede başlar ve yalnızca talaş yüzeyi boyunca yüzeysel bir kırılma şeklinde oluşurlar. Kopma genellikle diş köşesinden başlar. Aynı diş üzerinde birden fazla Tip I kopmaya rastlanabilmektedir (şekil 4.5).

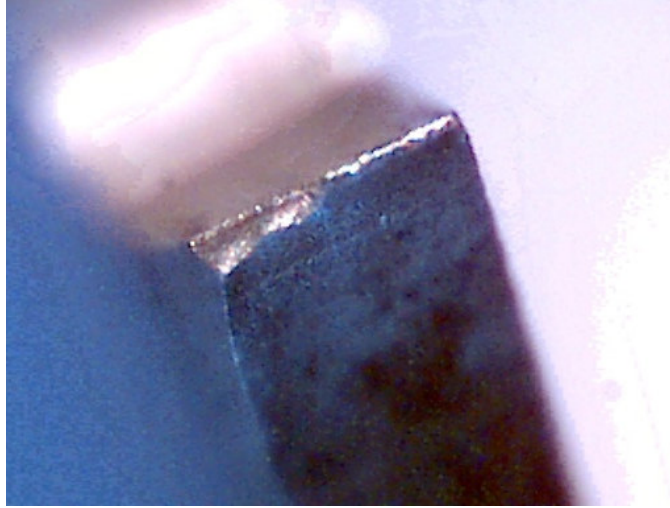


Şekil 4.4 Testere dişinde Tip I kopma oluşumuna örnek (10x).



Şekil 4.5 Aynı diş üzerinde birden fazla Tip I kopma oluşumuna örnek (10x).

Tip II kopmalar son derece bölgeseldirler ve dişin talaş ve serbest yüzeylerine göre hemen hemen simetrik bir şekilde oluşurlar (şekil 4.6). Bu tip kopmalarda temiz kırılma yüzeyinin gözlemlenmesi çok güçtür çünkü dişin aynı bölgesinde sıklıkla deformasyon ve aşınma yaşanır. İlerleyen testereleme ile bu tip kopmalar aşınma ve diş yuvarlaklaşması tarafından etkin bir şekilde maskelenirler.

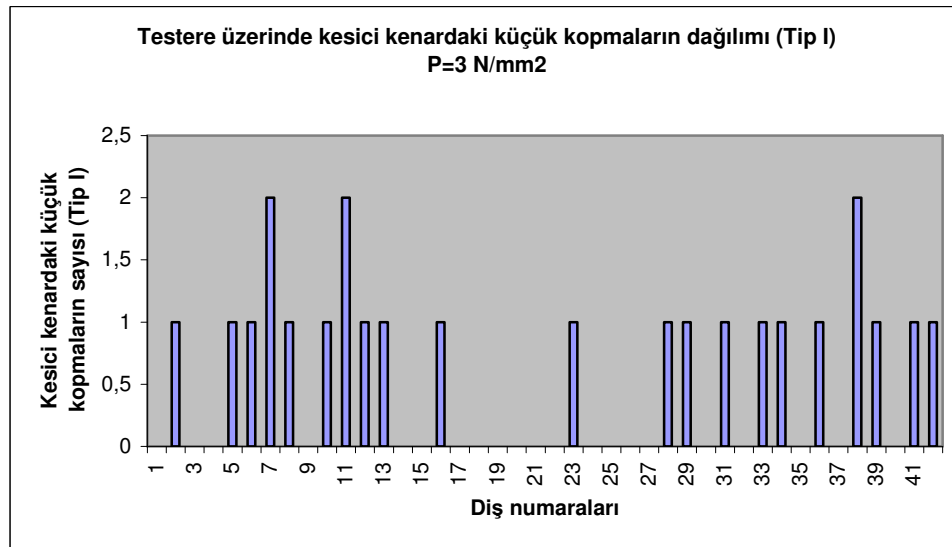
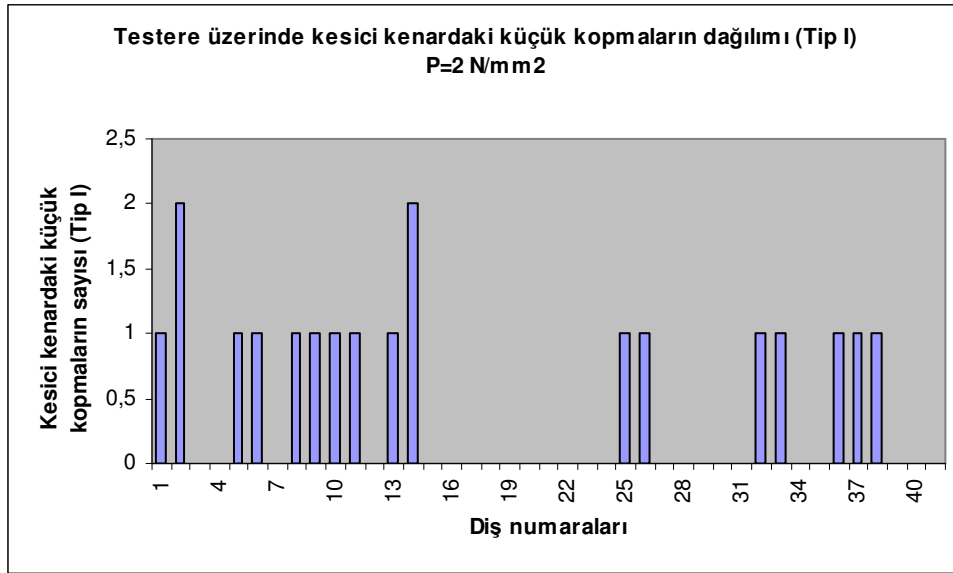
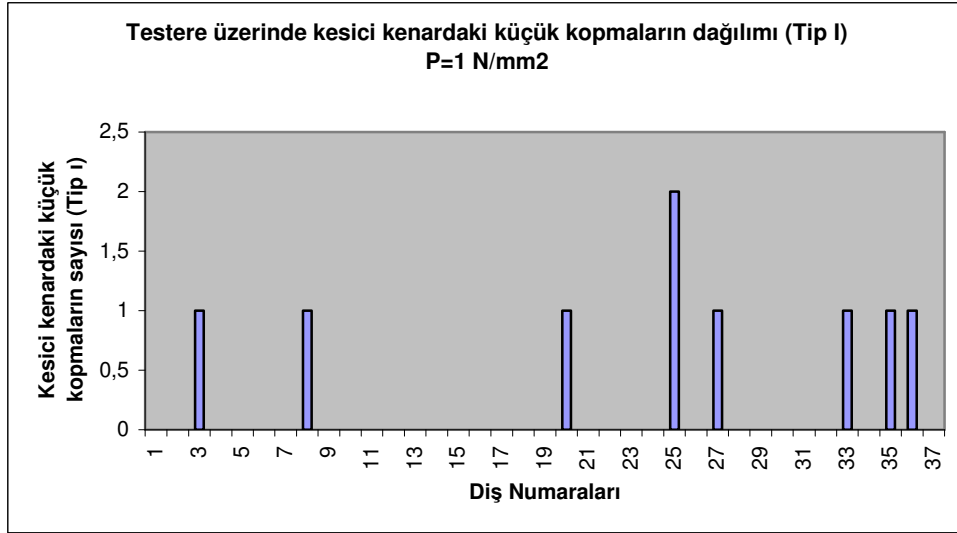


Şekil 4.6 Testere dişinde Tip II kopma oluşumuna örnek (10x).

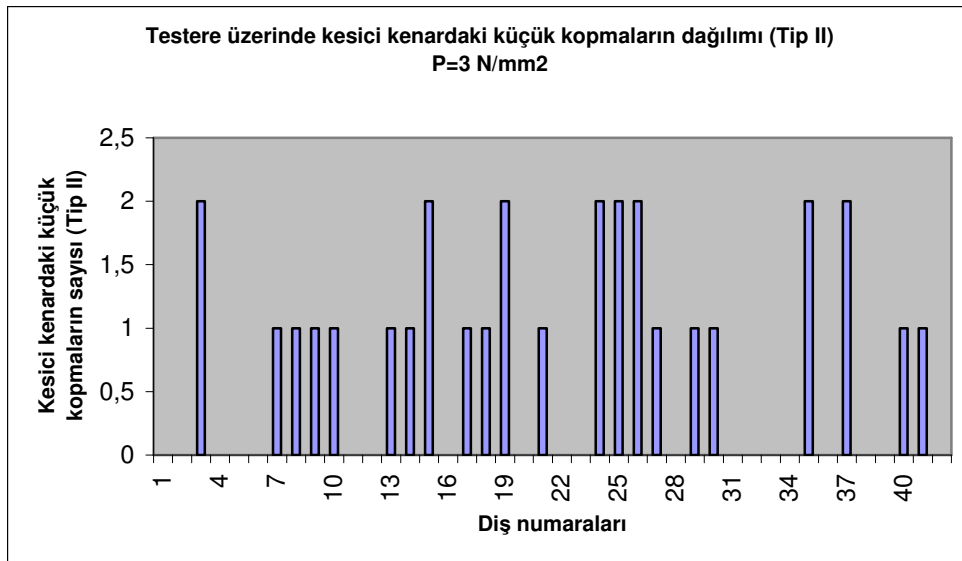
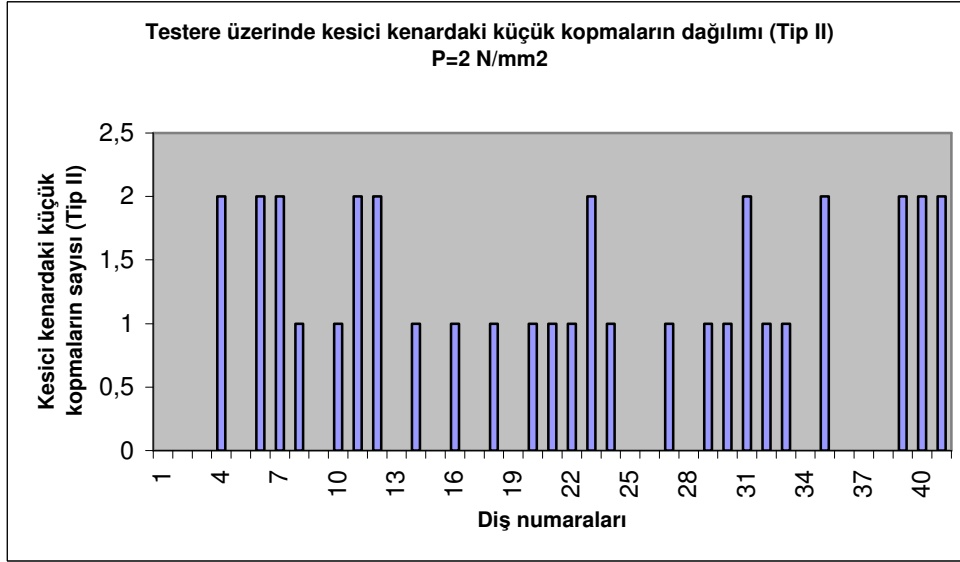
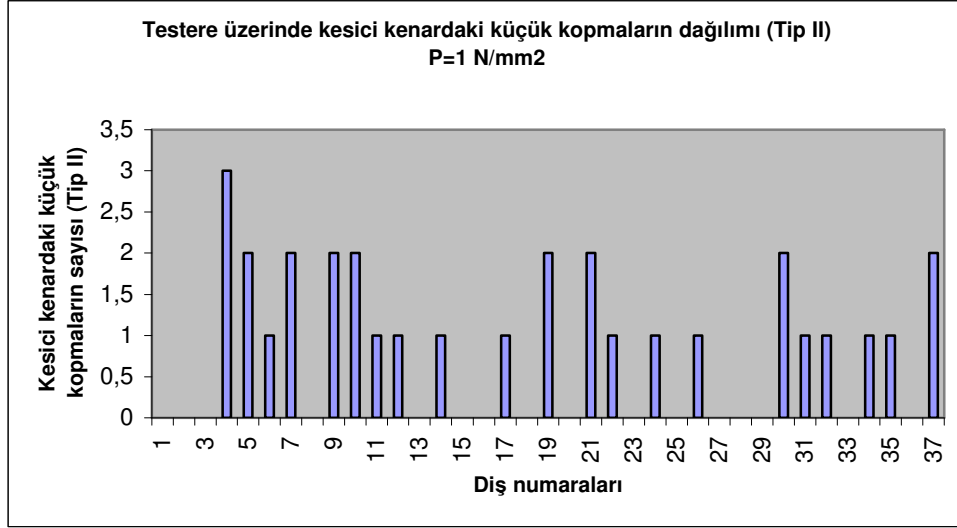
4.1 Kesici Kenarda Oluşan Küçük Kopmaların Testere Üzerindeki Dağılımları

Yapılan incelemelerde her iki tür için (Tip I ve Tip II) küçük kopmaların testereleme yönüne bağlı olarak testere üzerindeki dağılımları üç ilerleme basınç değeri için belirlendi. Şekil 4.7 ve şekil 4.8 sırayla Tip I ve Tip II küçük kopmaların testere boyunca dağılımlarını üç farklı basınç değeri için göstermektedir.

Kesici kenarda oluşan küçük kopmaların testere üzerindeki dağılımlarını belirleyebilmek için öncelikle kesme işlemine başlamadan testere üzerindeki dişler numaralandırıldı. Numaralandırılan bu dişlerin tek tek belirlenen strok sayılarından sonra mikroskopta fotoğrafları çekildi. Bu şekilde her dişin kesmeden önceki ve belirlenen strok kademelerinden sonraki görüntüleri tespit edilmiş oldu. Elde edilen bu görüntülerden faydalanılarak dişlerin üzerinde oluşan farklı küçük kopma türleri tek tek sayıldı ve şekil 4.7 ve 4.8'deki dağılım grafikleri elde edildi.

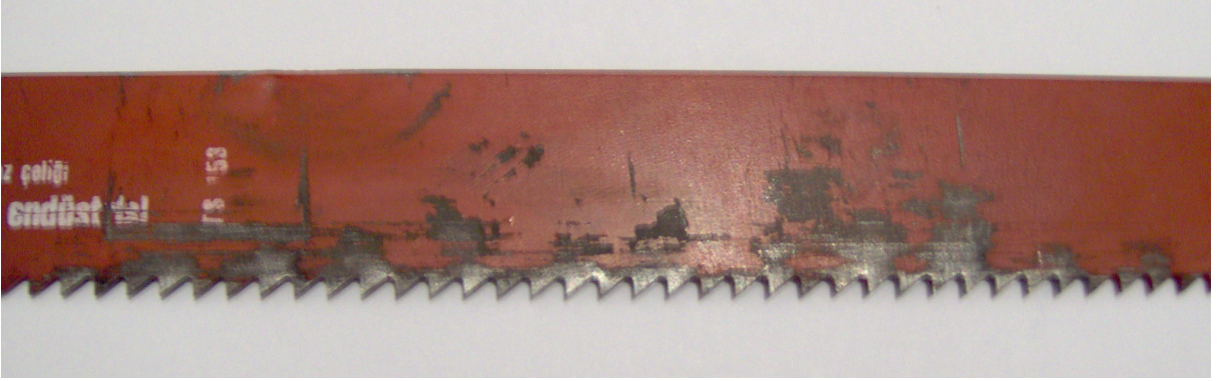


Şekil 4.7 Kesici kenarda oluşan küçük kopmaların (Tip I) testere üzerindeki dağılımları (100 strok için).



Şekil 4.8 Kesici kenarda oluşan küçük kopmaların (Tip II) testere üzerindeki dağılımları (100 strok için).

Yapılan çalışmalarda testereler ile ilgili olarak iki durumun ortaya çıktığı görüldü. Bunlardan ilki kesici kenarda oluşan küçük kopmaların dişler için sağ tarafta da mı yoksa sol tarafta mı daha çok oluştuğu ile ilgiliydi ve yapılan incelemede lama testerenin bir tarafında diğer tarafa nazaran daha çok sayıda küçük kopma oluştuğu belirlendi. İkinci olarak lama testerelerin yan yüzeylerinin bir tarafı diğer tarafa oranla daha çok aşınmaktaydı (şekil 4.9 ve 4.10). Bu iki durum arasında bir bağlantı olup olmadığı araştırıldığında görüldü ki lama testerelerde aşınmanın daha az olduğu tarafta daha çok sayıda küçük kopma oluşmaktaydı. Bu olayın nedeni araştırıldığında bunun tezgah konstrüksiyonundaki bir hatadan kaynaklandığı ortaya çıktı. Çünkü lama testerenin bağlandığı ve gel git hareketi yapan yay biçimindeki kol, kesme esnasında ilerleme basıncına karşı iş parçasının uyguladığı tepki kuvveti etkisi ile testerede aşınmanın fazla olduğu yüzey tarafına doğru bir sapma yapmaktaydı. Bu sapma nedeni ile ileri strok kademesinde testerenin yan yüzeyi iş parçasına sürtüyor ve dolayısı ile lama testerenin bir yüzeyi diğerine oranla daha çok aşınıyordu.

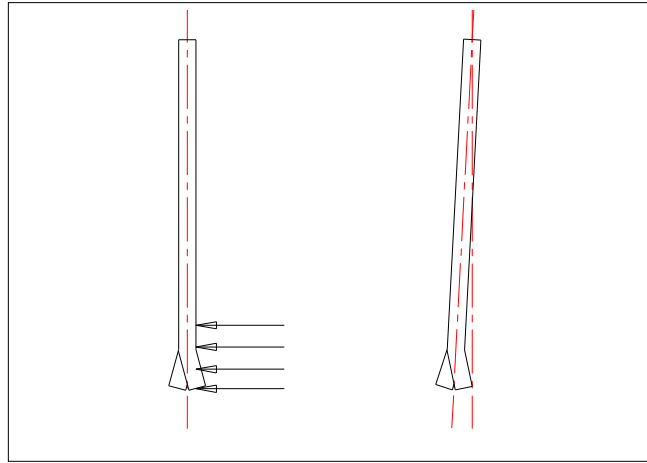


Şekil 4.9 Lama testerede aşınmanın fazla olduğu yan yüzey.



Şekil 4.10 Lama testerede aşınmanın az olduğu yan yüzey.

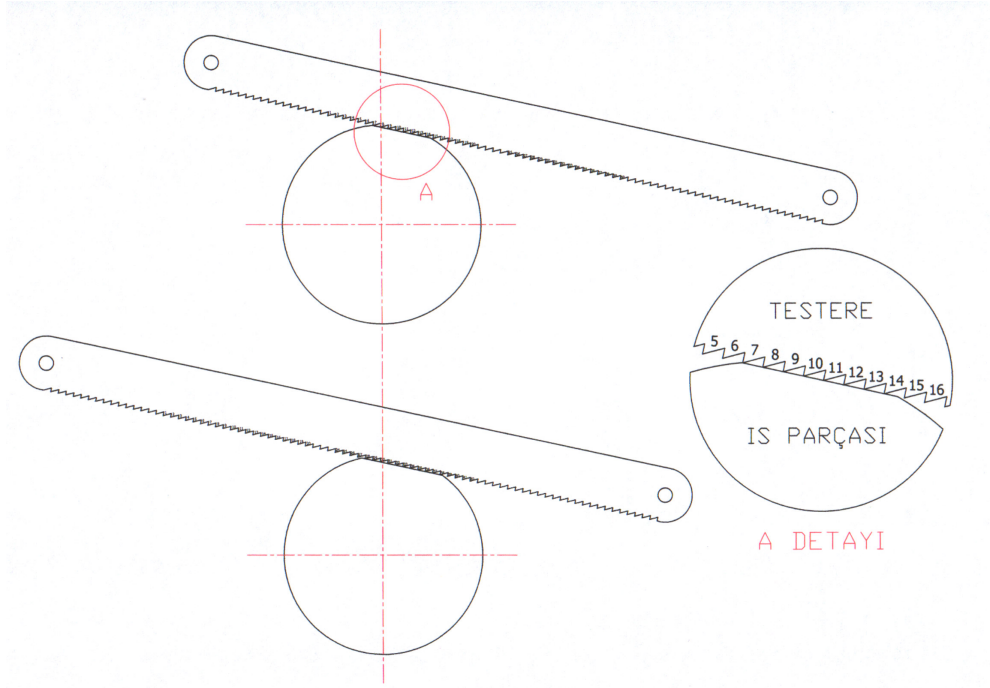
Ayrıca ileri strok esnasında lama testerenin iş parçasına sürtünen yan yüzeyinden dışa doğru itilmesi şeklinin değişmesine neden oluyordu (şekil 4.11). Testere yandan aldığı bu kuvvet etkisi ile dışa doğru hafif esnediğinden çıkıntı oluşturan dış köşeleri daha çok aşınmakta ve dolayısıyla aşınmanın az olduğu yan yüzey tarafındaki dış köşelerinde daha çok sayıda küçük kopma meydana gelmekteydi.



Şekil 4.11 Lama testerede tezgah hatasından kaynaklanan, enine kesitte testerenin şeklinde meydana gelen değişim.

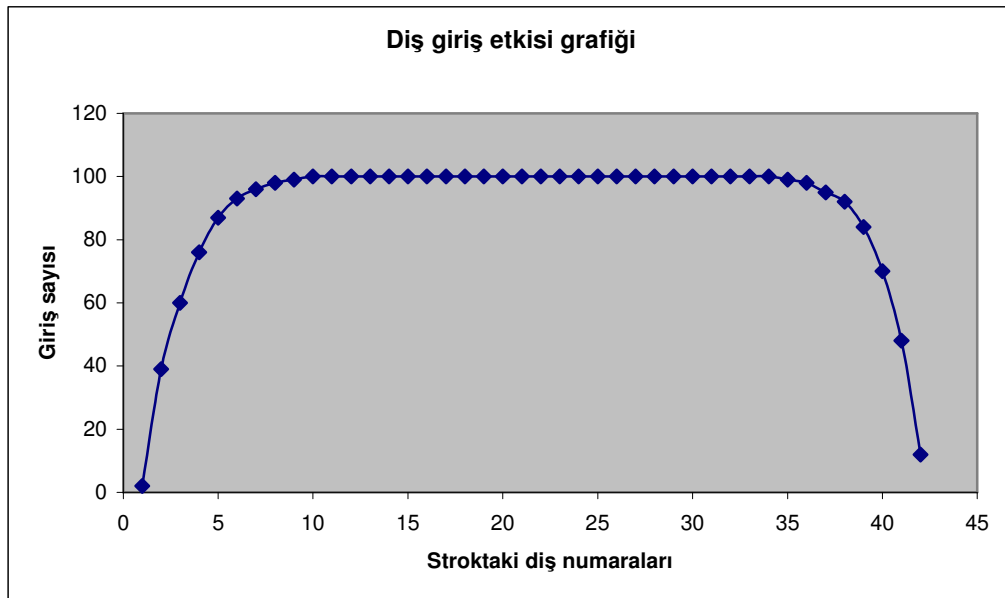
4.2 Kesici Kenarda Oluşan Küçük Kopmalar Üzerine Diş Giriş Çıkışının Etkisi

Lama testereleme işleminde testere üzerindeki tüm dişler talaş kaldırmazlar. Genelde pim delikleri yakınındaki dişler kesmeye katılmazlar. Kare veya dikdörtgen kesitli bir iş parçası kesildiğinde kesme işlemine katılan diş sayısı, kesme derinliği artsa da hep aynı kalır. Ancak dairesel kesitli bir iş parçası kesildiğinde kesim genişliği kesme derinliği arttıkça değiştiğinden kesmeye katılan diş sayısı da değişir. Kesmeye katılan diş sayısı iş parçasının yarısı kesilene kadar artar, ancak yarıdan sonra kesim tamamlanana kadar azalır. Tüm bu süreç içerisinde dişler sürekli olarak iş parçası içine girer ve çıkarlar. Bu diş giriş ve çıkışlarının kesici kenarda küçük kopma oluşumu üzerine etkisini araştırmak amacıyla testere üzerinde kesmeye katılan dişlerin kaç kez giriş ve çıkış yaptıkları belirlendi. Bunun için AutoCAD çizim programı yardımı ile lama testerenin her strok sonunda iş parçası ile konumu tek tek incelenerek hangi dişin kaç kez giriş ve çıkış yaptığı tespit edildi (şekil 4.12).

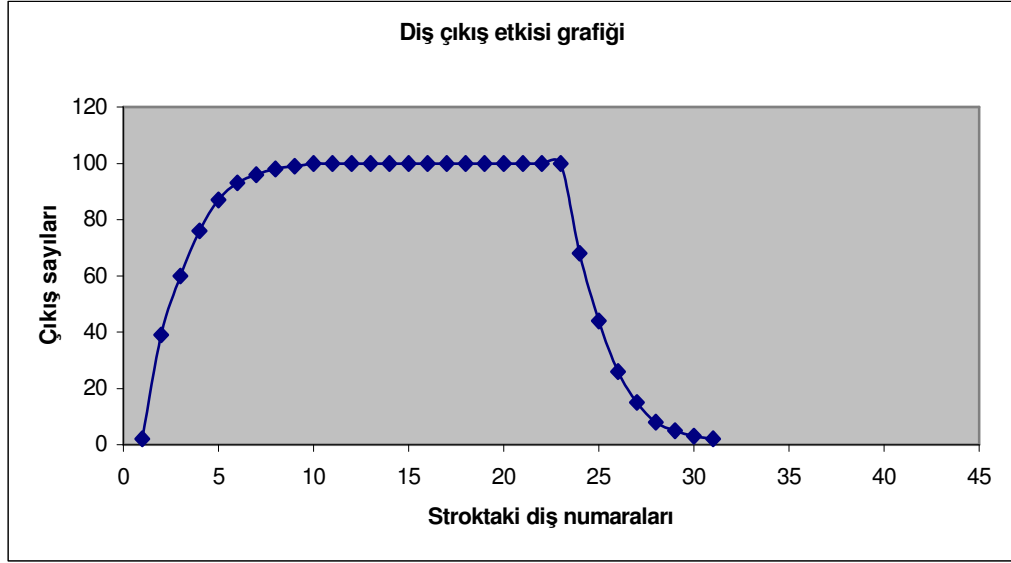


Şekil 4.12 Hangi dişin kaç kez giriş ve çıkış yaptığını tespit etmede kullanılan AutoCAD çizimi.

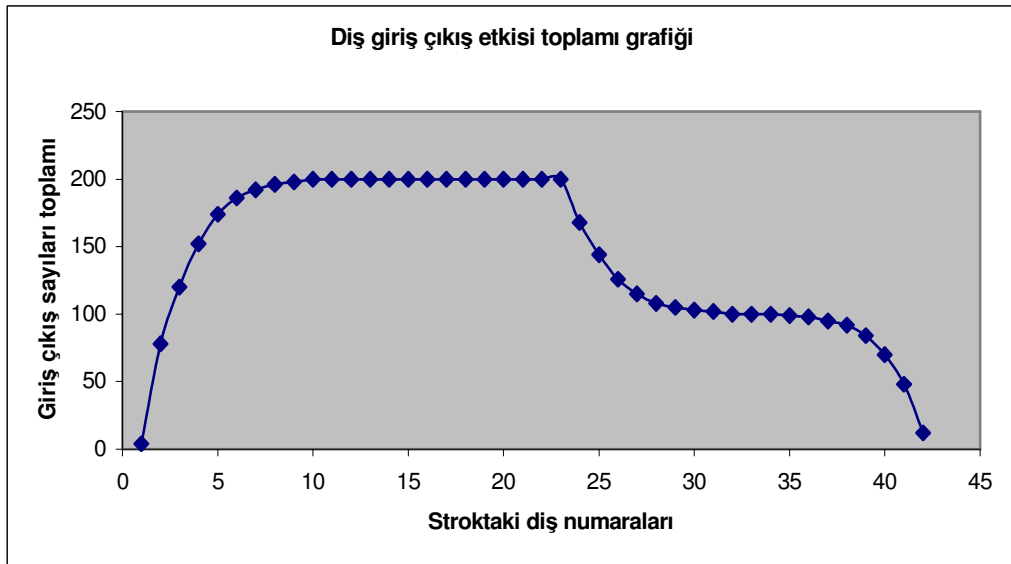
Şekil 4.13 testere üzerinde kesmeye katılan numaralandırılmış dişlerin 100 strok sonunda iş parçası içine kaç kez giriş yaptıklarını, şekil 4.14 iş parçası içinden kaç kez çıkış yaptıklarını ve şekil 4.15 de toplam giriş ve çıkış sayıları grafiklerini göstermektedir. Grafiklerde iş parçası stroktaki diş numaralarının tam ortasındadır.



Şekil 4.13 Testere üzerinde kesmeye katılan dişlerin iş parçası içine giriş yapma sayılarını gösteren grafik .



Şekil 4.14 Testere üzerinde kesmeye katılan dişlerin iş parçası içinden çıkış yapma sayılarını gösteren grafik.

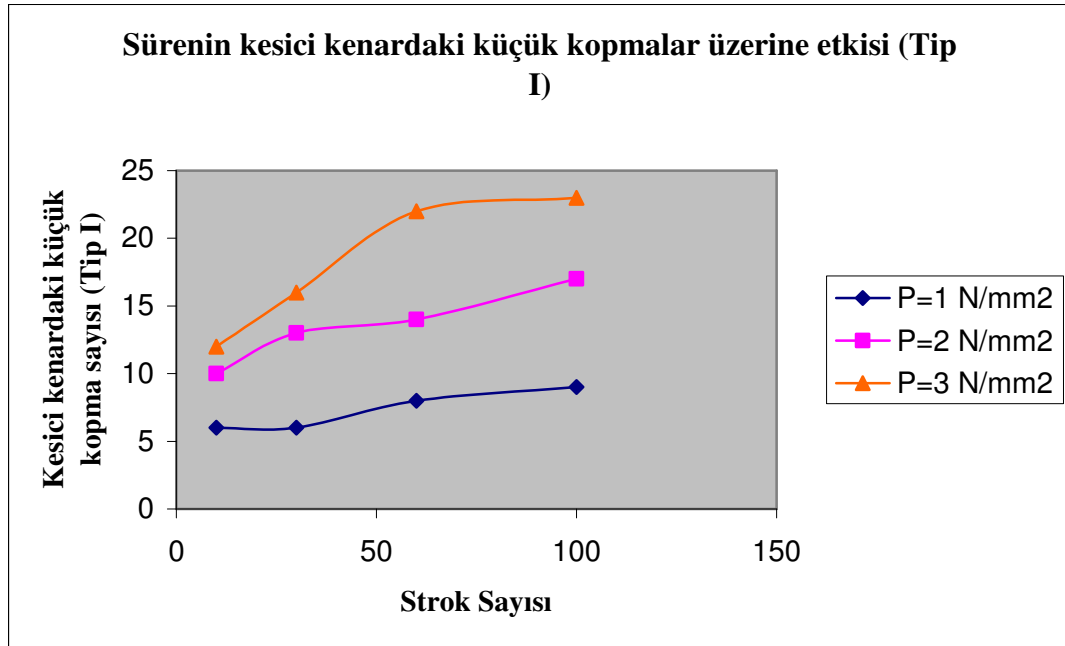


Şekil 4.15 Testere üzerinde kesmeye katılan dişlerin iş parçası içine giriş ve çıkış yapma sayıları toplamını gösteren grafik .

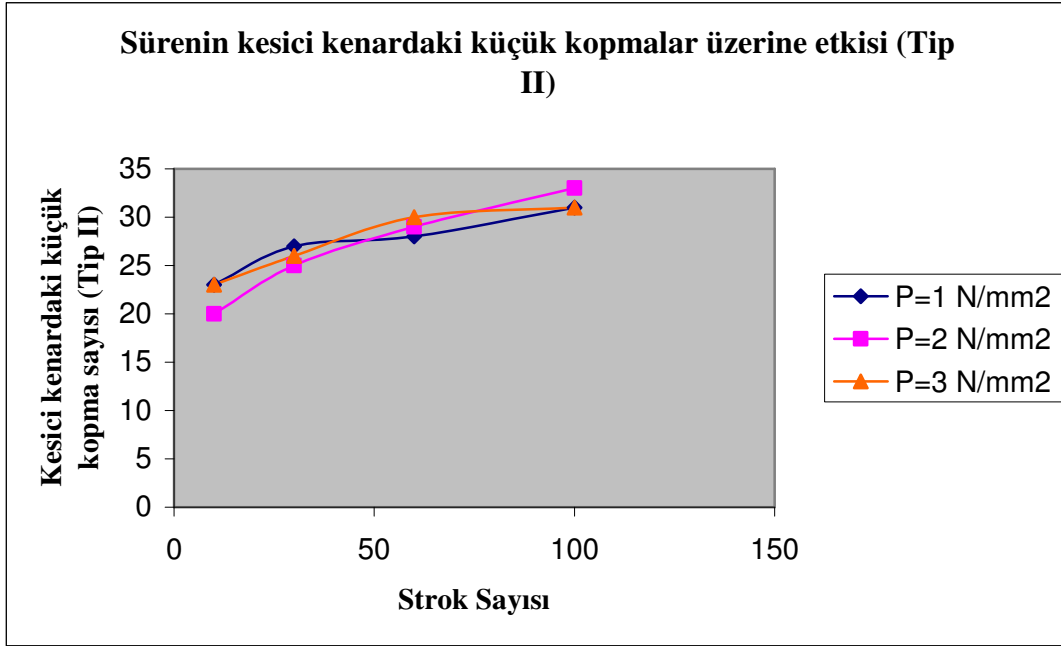
Şekil 4.15'deki grafiğe bakıldığında giriş çıkış sayıları toplamının testere üzerinde kesmeye katılan dişlerde 23. dişe kadar belirli bir seviyede kaldıktan sonra ilerleyen diş numaraları ile birlikte giderek azaldığı görülmektedir. Diğer bir ifade ile testere üzerinde kesmeye katılan dişlerin ilk yarısı ikinci yarısına nazaran daha çok giriş çıkış etkisine maruz kalmaktadır. Şekil 4.7 ve 4.8'deki küçük kopmaların testere üzerindeki dağılımlarını gösteren grafikler incelendiğinde, genel olarak elde edilen bu sonucun doğru olduğu görülmektedir.

4.3 Kesici Kenardaki Küçük Kopmalar Üzerine Sürenin ve İlerleme Basıncının Etkisi

Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlardan faydalanılarak kesici kenarda oluşan küçük kopmalar üzerine sürenin ve testere tezgahının uyguladığı ilerleme basıncının etkisi ile ilgili olarak aşağıdaki grafikler elde edilmiştir (şekil 4.16 ve şekil 4.17). Her iki grafik için de kopma miktarı süre ile artmaktadır. İlerleme basıncının artışı tip I küçük kopmaların sayısını artırırken tip II küçük kopmaların sayısı üzerine belirgin bir etki yapmamaktadır. Yani ilerleme basıncındaki artışa karşın ikinci tip küçük kopma sayısında bir artış görülmemektedir. Bunun iki nedeni vardır. İlk olarak ilerleme basıncının artması daha çok sayıda ve büyük birinci tip küçük kopmaların oluşmasına neden olmaktadır. Oluşan bu büyük tip I küçük kopmaların görüldüğü dişlerde, kesici kenar büyük oranda yok olduğundan tip II küçük kopmalar oluşmamakta ve daha önceden oluşmuş tip II küçük kopmalar da yok olmaktadır. Bu da ikinci tip küçük kopma sayısı üzerine olumsuz bir etki yapmaktadır. İkinci olarak Chandrasekaran'ın (1984) da belirttiği üzere artan basınç ile dişlerde aşınma artmaktadır ve bu nedenle zaten tespit edilmesi zor olan ikinci tip küçük kopmaların belirlenmesi daha da zor bir hal almaktadır.



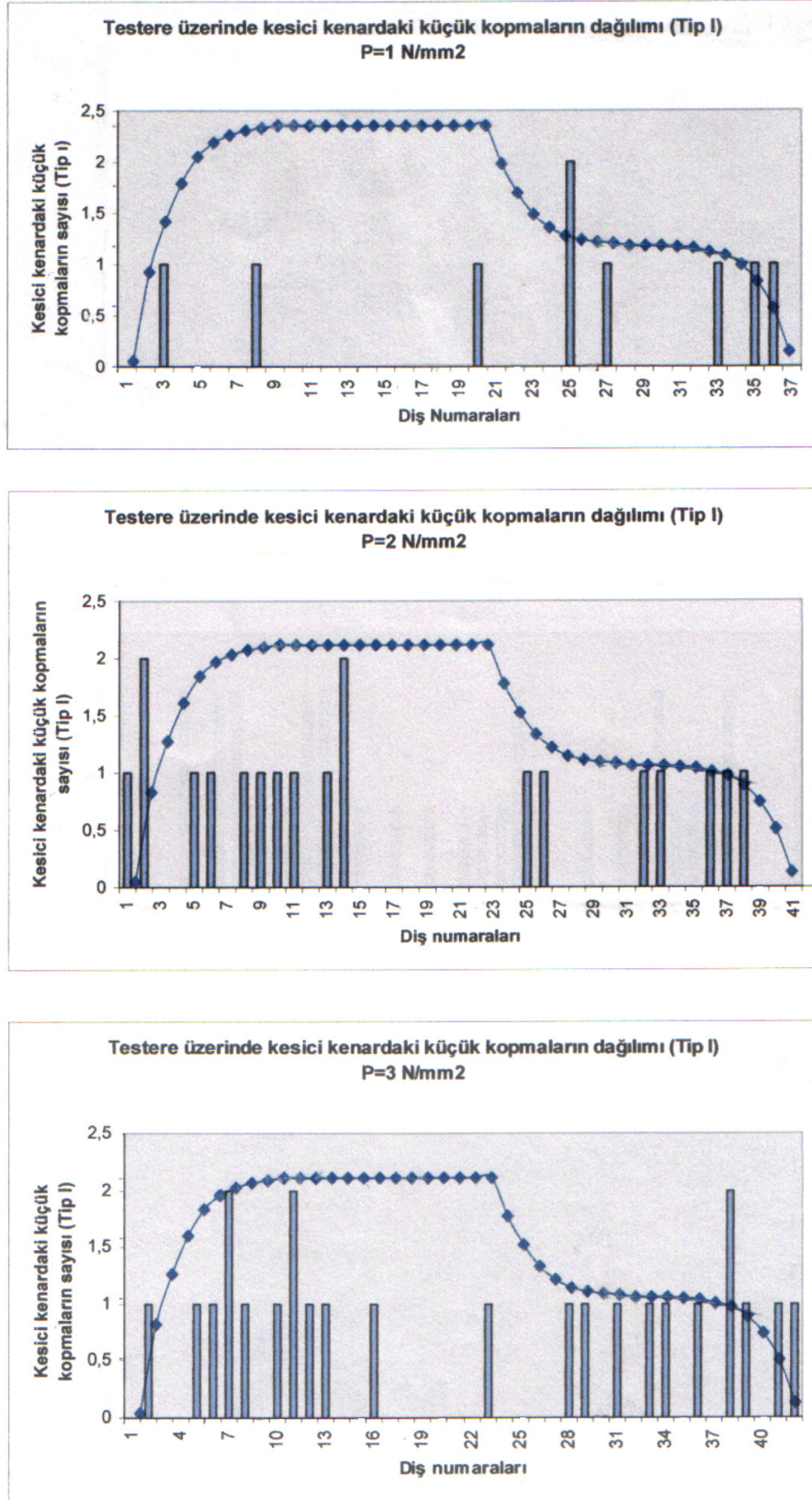
Şekil 4.16 Farklı ilerleme basınç değerleri için küçük kopmaların (tip I) sayısının süreyle olan değişimi.



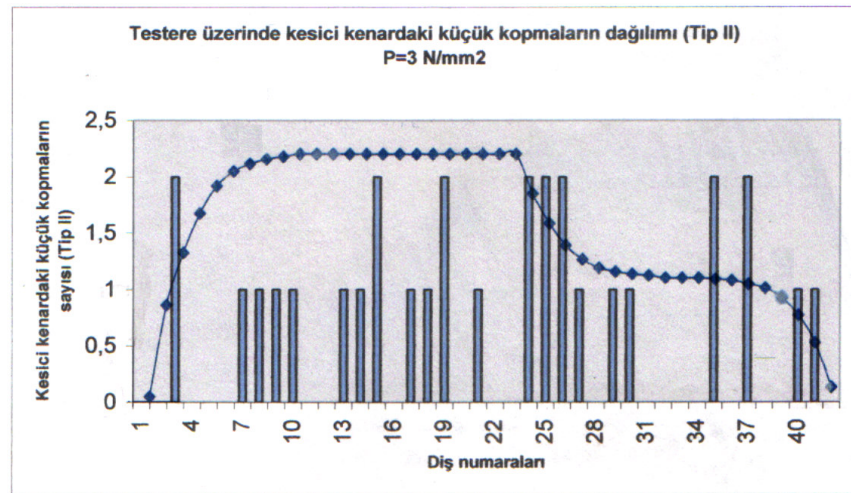
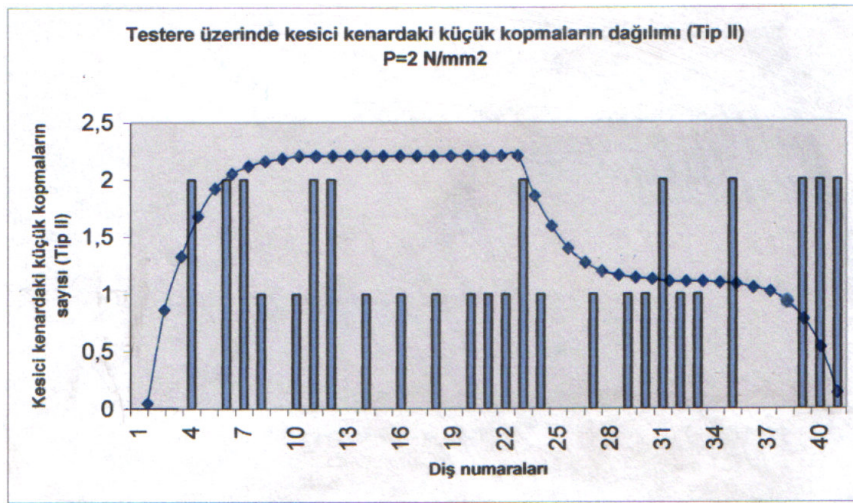
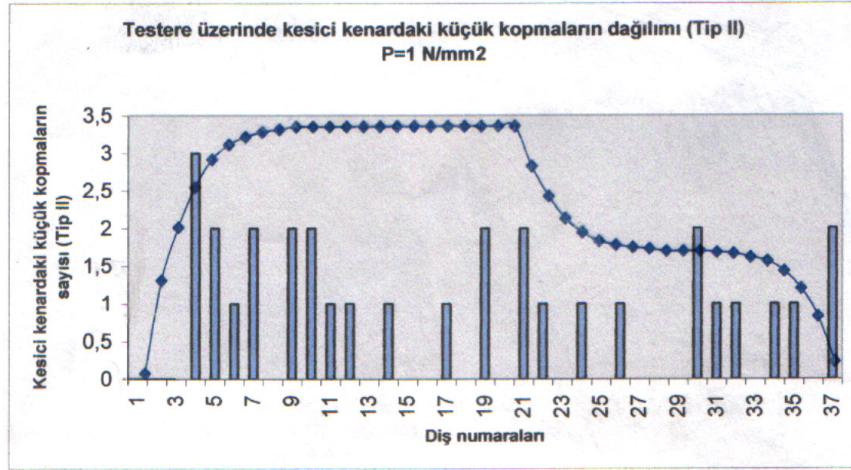
Şekil 4.17 Farklı ilerleme basınç değerleri için küçük kopmaların (tip II) sayısının süreyle olan değişimi.

4.4 Sonuçlar

- Lama testereleme işleminde testere dişlerinin kesici kenarlarında iki farklı türdeki küçük kopma oluşumları ile karşılaşıldı. Bunlar birinci tip (tip I) ve ikinci tip (tip II) olarak adlandırıldılar. Birinci tip küçük kopmalar genellikle kesici kenara çok yakın bir bölgeden başlayıp dişin talaş yüzeyine paralel şekilde genişleyen yüzeysel kopmalardır (şekil 4.4). İkinci tip küçük kopmalar ise son derece bölgesel, dişin talaş ve serbest yüzeylerine göre neredeyse simetrik şekilde oluşan daha küçük kopmalardır (şekil 4.6).
- Kesici kenarda oluşan küçük kopma tipleri ile ilgili olarak bunların testere üzerindeki dağılımları belirlendi. Bu dağılım grafikleri ile testere dişleri için hazırlanan giriş çıkış etkisi grafikleri karşılaştırıldığında, kesici kenarda oluşan küçük kopmaların diş giriş çıkışından etkilendikleri ortaya çıkarıldı. Buna göre toplam giriş çıkış etkisinin fazla olduğu testerenin ilk yarısında ikinci yarısına nazaran daha çok sayıda küçük kopmanın oluştuğu tespit edildi. (şekil 4.18 ve şekil 4.19).
- Kesici kenarda oluşan küçük kopmaların, testereleme süresi ve testere tezgahının uyguladığı ilerleme basıncından etkilendiği ortaya çıkarıldı. Genel olarak testereleme süresi ve testere tezgahının uyguladığı ilerleme basıncının artışı ile testere dişlerinde oluşan küçük kopmaların toplam sayısı artmaktadır.



Şekil 4.18 Kesici kenardaki küçük kopmaların (Tip I) testere üzerindeki dağılımları ile diş giriş çıkış etkisinin aynı grafikte gösterilmesi.



Şekil 4.19 Kesici kenardaki küçük kopmaların (Tip II) testere üzerindeki dağılımları ile diş giriş çıkış etkisinin aynı grafikte gösterilmesi.

KAYNAKLAR

Ahmad M. M., Hogan B., Goode E., (1988), "Effect of Machining Parameters and Workpiece Shape on Bandsawing Process", *International Journal of Machine Tools&Manufacture*, V. 29, N. 2, 173-183.

Andersson C., (2001), "Bandsawing. Part III: stress analysis of saw tooth microgeometry", *International Journal of Machine Tools&Manufacture*, 41, 255-263.

Chandrasekaran H., Svensson S., Nissle M., (1987), "Tooth chipping during power hack sawing and the role of saw material characteristics", *Annals of CIRP* 36 (1), 27-31.

Chandrasekaran H., Thoors H., Hellbergh, H., Johansson L., (1992), "Tooth chipping during band sawing of steel", *Annals of CIRP* 41 (1), 107-111.

Chandrasekaran H., Svensson S., Sandström R., (1984), "On the Nature of Micro-Chipping of HSS Saw Teeth During Power Hacksawing", *Annals of CIRP* 33 (1), 75-80.

Drozda T.J., Wick C., (1983), "Tool and Manufacturing", *Engineers Handbook*. 4th Edition, Volume 1, Machining, Chapter 6, Dearborn/Michigan.

Ko T.J., Kim H.S., (1999), "Mechanistic cutting force model in band sawing", *International Journal of Machine Tools&Manufacture*, 39, 1185-1197.

Sarwar M., Hales W., (1984), "The Effect of Tooth Geometry on Blade Performance in Power Hacksawing", *Sheffield City Polytechnic*, Sheffield/England.

Schuch L., (1986), "Know Your Saw Blades", *Machine and Tool Blue Book*, 60-69.

Türk Standartları, (1989), "Testereler-Şerit-Metal Kesmek için-Terimler ve Tarifler", TS6851, Ankara.

Türk Standartları, (1993), "Testereler-Lama-Metal Kesmek için", TS153, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 16.02.1980

Doğum yeri Ankara

Lise 1994-1998 Kadir Has Süper Lisesi

Lisans 1994-2002 Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fak.
Makine Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2003-2005 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Müh. Anabilim Dalı, İmal Usulleri Programı

Çalıştığı kurumlar

2003-2004 Hızlanlar Otomotiv San. Tic. A.Ş.
2004-2005 Metkon Vinç ve Çelik Konstrüksiyon San. Tic.