

**LAMA TESTERE İLE AISI 1020 MALZEMESİNİN
KESİLMESİ İŞLEMİNDE
TAKIM PERFORMANSININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tuncay YILMAZ

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. İsmail UCUN

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Nisan, 2014

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

LAMA TESTERE İLE AISI 1020 MALZEMESİNİN KESİLMESİ
İŞLEMİNDE TAKIM PERFORMANSININ İNCELENMESİ

Tuncay YILMAZ

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. İsmail UCUN

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Nisan, 2014

TEZ ONAY SAYFASI

Tuncay YILMAZ tarafından hazırlanan “Lama testere ile AISI 1020 malzemesinin kesilmesi işleminde takım performansının incelenmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca/...../..... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. İsmail UCUN

Başkan : Prof. Dr. Kubilay ASLANTAŞ
AKÜ, Teknoloji Fakültesi,

Üye : Doç. Dr. Bekir YALÇIN
SDÜ, Teknoloji Fakültesi,

Üye : Yrd. Doç. Dr. İsmail UCUN
AKÜ, Teknik Eğitim Fakültesi,

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. Yılmaz YALÇIN
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

**Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım
bu tez çalışmada;**

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

01/04/2014

Tuncay YILMAZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

LAMA TESTERE İLE AISI 1020 MALZEMESİNİN KESİLMESİ İŞLEMİNDE TAKIM PERFORMANSININ İNCELENMESİ

Tuncay YILMAZ

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. İsmail UCUN

Lamalı testerelelerin kesme performansı iyi bir imalat süreci açısından önemlidir. Kesme performansını belirleyen bazı kriterler bulunmaktadır. Bunlar kesme kuvvetleri, güç tüketimi, enerji tüketimi ve aşınmadır. Bu gibi değerler genellikle deneysel yöntemler ile bulunmaktadır. Kesme işleminin verimli olabilmesi için kesme performansının bilinmesi gerekir.

Bu çalışmada, imalat endüstrisinde genişçe kullanılan lama testere ile AISI 1020 çelik malzemesinin kesilmesi işleminde takım performansı incelenmiştir. Çalışma, deneysel ve teorik olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. Deneyler, soğutma sıvısı (bor yağı) ortamında yapılmış ve farklı kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme hızı) seçilmiştir. Kesme deneylerinde, güç tüketimi, tepkisel kuvvetler ve dış kırılmaları belirlenmiştir. Kesme kuvvetleri üç yönlü dinamometre, güç tüketimi ise enerji analizörüyle ölçülmüştür. Kesme işleminde oluşan dış hasarları ise taramalı elektron mikroskopun (SEM)' da incelenmiştir. Ayrıca, DEFORM 2D programı kullanılarak nümerik analiz gerçekleştirilmiştir. Son olarak, elde edilen deneysel ve teorik sonuçlar birbiriyle kıyaslanmıştır.

2014, x + 80 sayfa

Anahtar Kelimeler: Lama testere, Tepkisel kuvvetler, Dış kırılması, Kesme performansı, Güç tüketimi.

ABSTRACT

M. Sc Thesis

INVESTIGATION OF TOOL PERFORMANCE IN CUTTING PROCESS OF AISI 1020 MATERIAL BY USING BAND SAW

Tuncay YILMAZ

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. İsmail UCUN

Cutting performance of band saws is important to a good manufacturing process. The performance is determined from some factors such as cutting force, power consumption, energy consumption and wear. Generally, these values are obtained from experimental methods. It's necessary to know cutting performance to obtain efficient cutting process.

In this study, tool performance was investigated in the cutting process of AISI 1020 material by using band saw used widely manufacturing industry. The study consists of two parts including theoretical and experimental. Cooling liquids (Boron oil) were used in the experiments and different cutting parameters (cutting speed, feed rate) were preferred. Power consumption, reaction forces and tooth fractures were determined in the cutting experiments. The reaction forces and the power consumption were measured using a dynamometer and energy analyzer, respectively. Tooth fractures in the cutting process were investigated by means of scanning electron microscopy (SEM). In addition to, numerical analysis were performed using DEFORM 2D software program. Finally, theoretical and experimental results were compared.

2014, x + 80 pages

Key Words: Band saw, Reaction forces, Tooth fracture, Cutting performance, Power consumption.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. İsmail UCUN'a, deney süresince yardımlarını esirgemeyen Sayın Arş. Gör. Dr. İrfan UCUN'a, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bana araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Tuncay YILMAZ

AFYONKARAHİSAR, 2014

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	3
3. GENEL BİLGİLER	10
3.1 Lama Testereler	10
3.1.1 Avantajlar	10
3.1.2 Sınırlamalar	11
3.1.3 Lama Testereler ve Çeşitleri.....	11
3.1.3.1 Sınıflandırma.....	12
3.1.3.2. Lama Malzemeleri.....	14
3.1.3.3 Lama Boyutları.....	16
3.1.3.4 Diş Hatvesi.....	17
3.1.3.5 Diş Geometrisi	18
3.1.3.6 Çaprazlama	19
3.2. Şerit Testereleme	20
3.2.1 Avantajları.....	21
3.2.2 Sınırlamalar	23
3.2.3 Uygulamalar	24
3.2.4 Şerit Testereler ve Diğer Takımlar	25
3.2.4.1 Klasik Testereleme	25
3.2.4.2 Diş Geometrileri.....	26
3.2.4.3 Şerit Malzemeleri	27
3.2.4.4 Çaprazlama	29
3.3 Dairesel Testere ile Kesme.....	29
3.3.1 Testereler.....	32
3.3.1.1 Yekpare Testereler	33
3.3.1.2 Parçalı Testereler	33

3.3.1.3 Karbür Uçlu Testereleler	34
3.3.1.4 Diş Geometrisi	35
3.4 Sonlu Elemanlar Metodu.....	38
4. MATERYAL ve METOT	40
4.1 Deneylerde Kullanılan Malzemenin Özellikleri.....	40
4.2 Deneylerde Kullanılan Kesici Takımlar.....	41
4.3 Deneylerde Kullanılan Takım Tezgâhı	42
4.4 Kesme Parametrelerinin Belirlenmesi	46
4.5 Diş kırılmalarının Belirlenmesi	47
4.6 Kesme Performansı Analizi.....	47
4.7 Sonlu Elemanlar Modeli.....	48
5. BULGULAR ve TARTIŞMA	51
5.1 Güç Tüketiminin Belirlenmesi	51
5.2 Tepkisel Kuvvetlerin Belirlenmesi	52
5.3 Diş Hasarlarının Belirlenmesi	55
5.4 Diş Kırılmaları ve Kuvvetler Arasındaki İstatistiksel Analiz	60
5.5 Kesme Performansının Belirlenmesi	61
5.5.1 Tepkisel Kuvvetlerin Belirlenmesi	62
5.5.2 Diş Hasarlarının Belirlenmesi	63
5.6 Sonlu Elemanlar Analizi	66
5.6.1 Deneysel ve Nümerik Analizlerin Karşılaştırılması	66
5.6.2 Testerede Oluşan Eşdeğer Gerilmeler.....	68
5.6.3 Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Sıcaklık Analizi	71
6. TARTIŞMA ve SONUÇ	75
7. KAYNAKLAR	76
ÖZGEÇMİŞ	80

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

F_x	Yatay kuvvet (N)
F_y	Düşey kuvvet (N)
F_z	Yanal kuvvet (N)
P	Güç tüketimi (W)
V_c	Kesme hızı (m/dk)
f	İlerleme hızı (mm/dk)
R	Korelasyon katsayısı

Kısaltmalar

AISI	Amerikan çelik normu
HSS	Yüksek hız çeliği
SEM	Taramalı elektron mikroskobu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1	Deneysel kurulum.	3
Şekil 2.2	Lama testere dişinin kesici kenar geometrisi.....	4
Şekil 2.3	Hızın etkisi.....	7
Şekil 3.1	Bir ağızlı lama testerenin kısımları.	14
Şekil 3.2	Türk Standartlarına göre metal kesme için bir ağızlı, delikli lama testere (Makine Testereleeri) boyutları.....	17
Şekil 3.3	Düz diş geometrisi (a), Alttan kesim (b).	18
Şekil 3.4	(a) Ardışık çaprazlama, (b) Aralıklı ardışık çaprazlama, (c) Dalgalandırma.	19
Şekil 3.5	Çaprazlamaya ait kesit görünüş.	20
Şekil 3.6	Şerit testere makinesi.....	21
Şekil 3.7	Birçok değişik uygulama için kullanılan başlıca şerit testereleme.	24
Şekil 3.8	Şerit testereleer ile ilgili olarak kullanılan terimler.	25
Şekil 3.9	Bir şerit testerede genişlik, gövde, adım ve birim uzunluktaki diş sayısı. ..	26
Şekil 3.10	Bir şerit testerede talaş yüzeyi, kesici kenar, diş dibi kavisi, diş sırtı, talaş boşluğu, derinlik ve kama açıları.....	26
Şekil 3.11	Dairesel testere makinesi.	30
Şekil 3.12	Yüksek hız çeliği dairesel testereleerdeki çıkarılabilen, bilenebilen ve çok kereler değiştirilebilen tekil parçalar.	34
Şekil 3.13	Yüksek-alçak model olarak da adlandırılan, HSS dairesel testereleerde yaygın biçimde kullanılan üçlü-talaş diş geometrisi.	36
Şekil 3.14	Diş bölgelerindeki talaş boşlukları.....	37

Şekil 4.1	Deneylerde kullanılan lama testere ve maruz kaldığı tepkisel kuvvetler.	41
Şekil 4.2	Testerenin ve iş parçasının geometrik özellikleri	41
Şekil 4.3	Deneylerde kullanılan bilgisayar kontrollü kesme makinesi.....	42
Şekil 4.4	Bilgisayar kontrollü kesme makinesinin bölümleri	43
Şekil 4.5	Bilgisayar kontrollü kesme makinesinin şematik görünümü.....	44
Şekil 4.6	Bilgisayar kontrollü kesme makinesini kontrol eden program.....	45
Şekil 4.7	Kesme deneylerinde kullanılan enerji analizörü.....	45
Şekil 4.8	Digital kumpas ile diş kırılmalarının ölçülmesi.....	47
Şekil 4.9	Sonlu elemanlar modelinin ağ yapısı	48
Şekil 5.1	Kesme zamanına bağlı güç tüketimi değişimi	51
Şekil 5.2	Farklı kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı güç tüketiminin değişimi	52
Şekil 5.3	Kesme zamanına bağlı tepkisel kuvvetlerin değişimi	53
Şekil 5.4	Fx kuvvetinin kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı değişimi	54
Şekil 5.5	Fy kuvvetinin kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı değişimi	54
Şekil 5.6	Fz kuvvetinin kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı değişimi.....	55
Şekil 5.7	Diş sayılarına bağlı diş kırılma boyutları	56
Şekil 5.8	Kesme ve ilerleme hızlarına bağlı olarak diş kırılmalarının değişimi	57
Şekil 5.9	Farklı kesme ve ilerleme hızlarında elde edilen diş kırılmalarının SEM görüntüleri	59
Şekil 5.10	Kırılmış testere diş bölgesinin SEM görüntüsü	60
Şekil 5.11	Ortalama diş kırılma boyutu ile kuvvetler arasındaki istatistiksel ilişki.	61
Şekil 5.12	Deney sayısına göre tepkisel kuvvetlerin değişimi.....	63

Şekil 5.13	Diş sayılarına bağlı kırılma boyutları.....	64
Şekil 5.14	Kesme işleminden sonra testerenin görünümü	64
Şekil 5.15	Deney sayısına bağlı olarak diş kırılma boyutları.....	65
Şekil 5.16	Kesme işleminden sonra dişlerin SEM görüntüsü	66
Şekil 5.17	İlerleme hızlarına bağlı yatay kuvvetlerin karşılaştırması.....	67
Şekil 5.18	İlerleme hızlarına bağlı düşey kuvvetlerin karşılaştırması	68
Şekil 5.19	Testerenin kesme ve ilerleme hızlarına bağlı eşdeğer gerilme değerleri	70
Şekil 5.20	Testere dişinde oluşan kırılma bölgesi	71
Şekil 5.21	Kesme işleminde oluşan sıcaklık değerleri	73
Şekil 5.22	Kesme zamanına bağlı sıcaklık değişimi	74

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1	Testere İmalinde Kullanılan Çelik Malzeme	15
Çizelge 3.2	Türk Standartları TS 153/4'e göre lama testere boyutları.	18
Çizelge 3.3	Farklı kalınlıktaki malzemeleri testerelemek için genel tavsiyeler	29
Çizelge 4.1	AISI 1020 çeliğinin kimyasal bileşimi.	40
Çizelge 4.2	1020 malzemesinin mekanik özellikleri.	40
Çizelge 4.3	AISI M2 HSS malzemesinin kimyasal bileşimi.....	42
Çizelge 4.4	AISI M2 HSS malzemesinin mekanik özellikleri.	42
Çizelge 4.5	Bilgisayar kontrollü kesme makinesinin bölümleri.	43
Çizelge 4.6	Deneylerde kullanılan kesme parametreleri.....	46
Çizelge 4.7	AISI 1020 malzemenin Johnson-Cook parametreleri	50

1. GİRİŞ

İmalat endüstrisinde değişik amaçlar için çok farklı kesici takımlar ve yöntemler kullanılmaktadır. Metal işleme endüstrisinde kesme çok önemli bir yere sahiptir. Endüstride, malzeme türüne, işleme türüne ve hassasiyetine göre çok farklı takımlar kullanılmaktadır. Talaşlı imalatındaki gelişmeler, kesme ve ilerleme hızlarını da gün geçtikçe artması, üretimde değişik malzemelerin kullanılması, talaşlı üretim tezgâhlarının gelişimi, kesici takımların gelişimini de zorunlu kılmaktadır. Yapılacak operasyona göre uygun tezgâh seçimini de göz önüne alırsak, kesici takımlardan istenen özellikler uzun ömürlü olması, istenilen işleme kalitesini ve ölçüsünü sağlaması, parça başı takım maliyetinin azaltılması, kolay temin edilebilir olmasıdır.

Takım çelikleri, endüstride ilk olarak kullanılan kesici takım malzemeleridir. Takım çelikleri malzemelerin işlenmesi ve şekillendirilmesi için kullanılmaktadır. Takım çeliklerinin en önemli kullanım özellikleri sertlik, tokluk ve aşınma dayanımıdır. Bu nedenle imalat endüstrisinde takım çeliklerinden kesici takımlar üretilmektedir.

Testere ile kesme işlemi, 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, şerit ve dairesel testere en yaygın biçimde kullanılan yöntemlerdir (Dikenoğlu 2005).

Lama testere, 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 hasarı tarafından kontrol edilirler (Dikenoğlu 2005). Literatürlere baktığımızda böyle kapsamlı bir çalışmanın yapılmadığı görülmektedir. Bu çalışma ile literatürdeki bu konu üzerindeki önemli eksiği kapatması düşünülmektedir. Bu çalışma

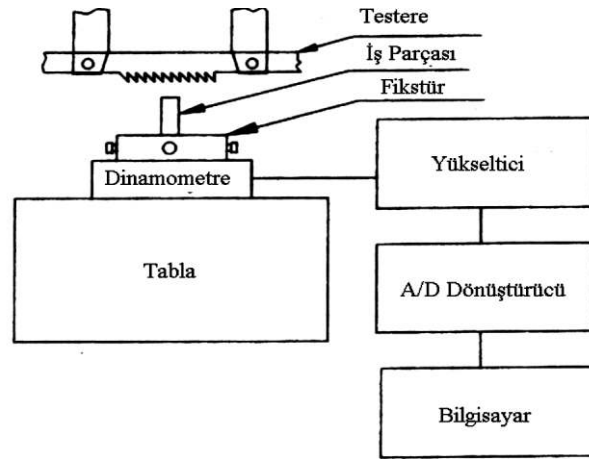
ile optimum kesme parametreleri belirlenerek, daha yüksek kesme performansı elde edilecektir. Bu şekilde kesme verimi artırılması planlanmıştır.

Bu tez çalışmasında aşağıdaki amaçlar hedeflenmiştir:

1. Lamalı testereler ile kesme işleminde takım üzerine gelen kuvvetler ve güç tüketimi belirlenmiştir.
2. Lamalı testereler ile kesme işleminde kesici takımın kesme yapan dişlerinde oluşan diş hasarları belirlenmiştir.
3. Lamalı testerenin kesme performansı incelenmiştir.
4. Sonlu elemanlar yöntemi ile tepkisel kuvvetler, kesme sıcaklıkları ve gerilmeler belirlenmiştir.
5. Son olarak, yapılan deneysel çalışmalar ile sonlu elemanlar yönteminden elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Ko ve Kim (1999) şerit testere ile yapılan kesme işleminde, kesme kuvvetlerinin tahmini için matematiksel bir model geliştirmiştir. Çalışmada, anlık deforme olmamış talaş kalınlığı ve spesifik kesme basıncı kullanılmıştır. Spesifik kesme basıncı, frezelemedeki tek kesen ağızlı takım ile kesmeye benzer şekilde elde edilmiştir. Tek ağızlı kesme, kalınlığı testeredeki diş adımıyla daha küçük iş parçaları kullanılarak yapılmıştır. Deneyde kullanılan düzenek Şekil 2.1’ de gösterilmektedir. Üç yöndeki kesme kuvvetlerini ölçmek için tezgâh tablası üzerine takım dinamometresi yerleştirilmiştir. Dinamometreden gelen kesme kuvveti sinyali bir yükseltici tarafından kuvvetlendirilmiş ve A/D dönüştürücüsü vasıtasıyla bir bilgisayar tarafından toplanmıştır. İş parçası 8x25 mm boyutlarında yumuşak çelikten (AISI 1010) bir çubuktur. İki diş arası 8,3 mm ve bu yüzden 8 mm’ lik kenara paralel kesme yaparak tek noktali kesme elde edilmiştir. Dolayısıyla, diş başına düşen kesme kuvveti elde edilmiş ve buradan spesifik kesme basıncı hesaplanmıştır. İş parçası döndürülerek 25 mm kalınlık boyunca da kesme yapılmıştır, böylelikle üç diş birden kesme işlemine katılmıştır.

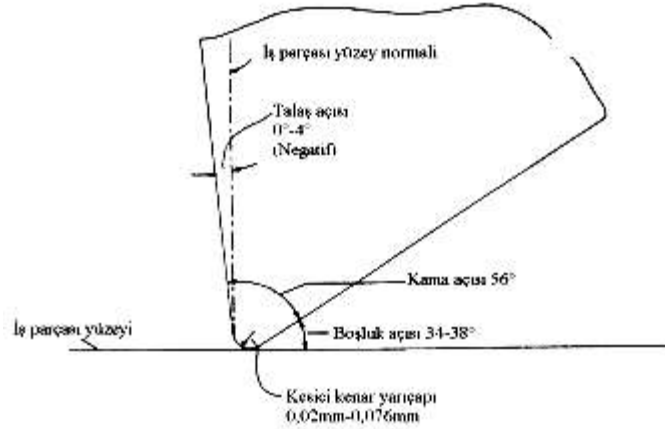


Şekil 2.1 Deneysel kurulum (Ko ve Kim 1999).

Şerit testerelemedeki kesme kuvvetlerini tahmin etmek için testere diş geometrisi dikkate alınarak mekaniksel bir model geliştirmiştir. Mekaniksel model kullanmak için spesifik kesme basıncı gereklidir. Spesifik kesme basıncını elde etmek için tek kesen ağızlı kesme metodu kullanılmıştır. Tek kesen ağızlı kesme işlemindeki kesme

kuvvetlerini kullanan bir spesifik kesme basıncı modeli oluşturuldu. Tek kesen ağızlı ve çok kesen ağızlı takım kesmenin her ikisi için yapılan doğrulama deneylerinden su sonuca varıldı ki geliştirilen mekaniksel model şerit testerelemede kesme kuvvetlerini çok iyi bir şekilde tahmin edebilmiştir (Ko ve Kim 1999).

Sarwar ve Hales (1984) testere performansını değerlendirmek için talaş kaldırma oranını esas alan ve tezgâh özelliklerinden bağımsız, bilimsel bir yöntem geliştirdiler. Yöntemde, testerelerin performansını sayısal olarak ifade etmek için spesifik kesme enerjisine dayalı bir performans parametresi kullanılmıştır. Karmaşık talaş oluşum mekanizmasını ve diş geometrisinin testere performansı üzerine etkisini daha iyi anlamak için tek kesen ağızlı takım simülasyon testleri yapıldı. Hem testere ile kesme hem de tek kesen ağızlı takım simülasyon testlerindeki talaş geometrilerinin incelenmesi sonucunda, testere performansındaki değişimin talaş boşluğu boyutu ve geometrisinden kaynaklanabileceği ortaya çıkarıldı. Testerelerin büyük çoğunluğu için geçerli olan kesme açıları Şekil 2.2’de gösterilmektedir.



Şekil 2.2 Lama testere dişinin kesici kenar geometrisi (Sarwar 1984).

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 artış spesifik kesme enerjisinde önemli bir artışa neden oldu ve bu lama testere dişlerinin kesme faaliyetlerindeki yetersizliğini

göstermektedir. Lama testere dişlerinin kesme performansının mevcut kesici kenar yarıçap koşulları altında nominal talaş açısındaki değişimden etkilenmediği gözükmemektedir. Lama testerelemede talaş, kontrollü şartlar altında oluşturulduğundan, farklı hatveli testerelemler ve değişen kesim genişlikleri için testere performansındaki değişim, talaş boşluğu şekli ve boyutunun neden olduğu bir geometrik faktörden kaynaklanmaktadır (Sarwar ve Hales 1984).

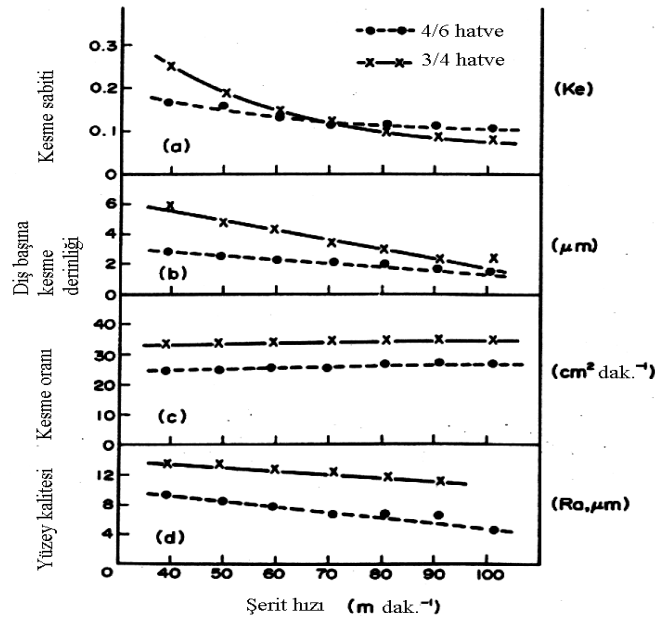
Testere dişi kesici kenarında oluşan mikro kopmalar, östenitik paslanmaz çeliklerin yüksek hız çeliğine sahip takımlar ile kesilmesinde esas aşınma kontrol mekanizması olarak tanımlanır. Chandrasekaran (1984) bu olayı araştırmak için lama testere tezgâhında, yüksek hız çeliği testerelemler ve östenitik paslanmaz çelik (AISI 316) iş parçası kullanarak kesme işlemleri yapılmıştır. Diş ucunda mikro kopma oluşumu, karakteri, boyutu ve testere üzerindeki dağılımı ışık optik ve tarama elektron mikroskobu kullanılarak araştırılmıştır. Testere ilerlemesinin, sürenin (strok sayısının) ve testereleme hızının (dakikadaki strok sayısının) diş ucundaki küçük kopmalar üzerine etkileri incelenmiştir. Gözlemlenen çok sayıda diş ucu mikro kopmaları arasında bir türün lama gözlemlenenlere benzemektedir. Bu iki türün özelliklerini ortaya çıkarabilmek amacıyla sonlu elemanlar tekniği kullanılarak testere dişinde gerilme durumu incelendi. Diş ucundaki küçük kopmaların sıklığı strok sayısından, testere ilerlemesinden ve testere hızından (strok/dak.) etkilendiği ancak aynı iş parçası şekli için testere boyunca dağılım pratik olarak değişmeden kaldığı görüldü.

Chandrasekaran vd. (1987) östenitik paslanmaz çeliğin yüksek hız çeliği lama testerelemler ile kesilmesinde diş ucunda oluşan küçük kopmaları ve bunlar üzerine testere malzemesinin ısıtılmasının ve bileşiminin etkilerini incelemiştir. Diş ucundaki küçük kopmalara ve deformasyona etki eden ısıtılma etkileri de geniş bir aralıkta değişen testereleme hızları kullanılmıştır. Ayrıca kullanılan testere malzemelerinin eğme dayanımı ve sertlik değerleri de doğrudan testere dişinden alınan özel test numuneleri ile değerlendirildi. Elde edilen sonuçlar diş ucundaki küçük kopmalara karşı dayanımı daha iyi yeni yüksek hız çeliği malzemeler geliştirmek, uygun testere malzemesi ve ısıtılmasını ve en elverişli testereleme koşullarını seçmek konularında faydalıdır.

Chandrasekaran (1992) yüksek hız çeliği uçlu bimetal testerelemler ile su verilmiş ve temperlenmiş çeliğin şerit testere ile kesme işleminde dış ucundaki küçük kopmaları inceledi. Dış ucundaki küçük kopmaların ölçülmesi için uygun bir referans testereleme testi geliştirilmeye çalışıldı. Testere malzemesi bileşiminin, imalat yönteminin (alışlagelmiş ve toz metalürjisi), ısıt işlemin ve testere dışı gerilmelerinin dış ucundaki küçük kopmalar üzerine etkisini araştırmak için testler yapıldı. Çalışma, ısıt işlemin şerit testerelemede dışın dayanımı üzerindeki önemini ortaya koymuştur. Burada alışlagelmiş ve toz metalürjisi yöntemleri ile üretilen yüksek hız çeliği tipleri benzer sertlik veya karbür içeriklerine bakılmaksızın ısıt işleme karşı farklı duyarlılık gösterdiler. Yapılan araştırma gösterdi ki; kesme işleminde gözlenen dış ucundaki küçük kopma türleri lama testerelemedekilere niteliksel olarak benzemektedir. Malzeme ister alışlagelmiş yöntemlerle ister toz metalürjisi ile üretilmiş olsun, dış ucundaki küçük kopmaların farklı türlerine karşı dayanım, toplam birincil karbür içeriğinden farklı şekillerde etkilenmektedir. Kesin olarak söylenebilir ki, küçük karbürlerin içerik olarak artışı dış ucu küçük kopmalarına karşı dayanımın arttırılmasına genel olarak fayda sağlamaktadır.

Ahmad vd. (1988) şerit testerelemenin mekanik bir analizini yaparak şerit testere hızının, ilerlemenin ve iş parçası şeklinin kesme işlemi üzerine etkilerini inceledi. Çalışmasında değişken hatve kombinasyonlu testerelemler kullandı. Değişken hatveli testerelemlerin kullanılması titreşimi ve gürültüyü azaltır, daha düzgün yüzeylerin elde edilmesini sağlar ve takım ömrünü uzatır. Önceki testereleme ile ilgili çalışmalar göstermiştir ki dış başına elde edilen ortalama kesme derinliği ve birim kalınlıkta dış başına oluşturulan ortalama baskı kuvveti arasında lineer bir ilişki mevcuttur. Bu çalışmada, işleme parametrelerinin kesme sabiti üzerine yaptıkları etkiler de incelenmiştir. Birim kalınlıkta dış başına baskı ve kesme kuvvetlerinin her ikisinin artan kesme hızı ile azaldığı görülmüştür. Baskı kuvvetindeki azalma kesme derinliğinde azalmaya neden olacaktır. Baskı kuvveti ve kesme derinliğindeki azalmaların oranı, kesme sabiti değerinin değişmesine neden olurlar (Şekil 2.3a). Şerit kesme hızındaki artışa bağlı kesme sabitindeki azalma, dış başına kesme derinliğindeki azalmanın, dış başına baskı kuvvet bileşenindeki azalmadan daha önemli olduğunu gösterir (Şekil 2.3b). 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 2.3c). 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 2.3d).



Şekil 2.3 Hızın etkisi (Ahmad vd. 1988).

Bu çalışmada, literatür yeniden incelenmesi ve konuyla ilgili deneysel çalışmaların yapılması sonucunda bazı sonuçlar elde edilmiştir; 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 tezgâhında basınçlı ilerleme sistemi bulunduğuundan lama testerelemenin tersine iş parçası şeklinin kesme performansı üzerine çok az ölçülebilir etkisi vardır (Ahmad vd. 1988).

Andersson (2001) 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, dişi 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. Çalışmada, testere dişi üzerinde yapılan sonlu elemanlar analizi gösterdi ki, en yüksek asal gerilme değeri, kesici kenar yarıçapının artışı ile azalmakta ve deforme olmamış talaş kalınlığının artışı ile orantılı olarak artmaktadır.

Gök ve arkadaşları (2010) tornalama işlemlerinde optimum talaş ve boşluk açısını belirlemek için kesme analizlerini nümerik olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında talaş ve boşluk açıları 0° , 5° ve 10° olarak değişmektedir. İş parçası malzemesi olarak AISI 1020 çelik, kesici takım olarak da karbür uç kullanmışlardır. Kesme analizleri sonucu en uygun talaş ve boşluk açısının 10° olduğunu tespit etmişlerdir.

Attanasio vd. (2008) metal kesme operasyonlarında takım aşınmasını 3 boyutlu olarak tahmin etmeye çalışmışlardır. Kaplanmamış WC takımla AISI 1045 çeliğin tornalanmasından elde edilen deneysel verilerle 3 boyutlu SEM sonuçlarını karşılaştırmışlar ve iyi bir uyum olduğu sonucuna varmışlardır.

Yung-Chang vd. (2004) dik kesme işlemiyle pahlı ($100\mu\text{m}$ - 15° , $200\mu\text{m}$ - 25°) ve radüslü (10 - 50 - $100\mu\text{m}$) olmak üzere iki farklı mikro geometriye sahip kesici takımı AISI 1020 çeliği üzerinde deneyerek kesme kuvvetlerine etkisini incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar pah genişliği, pah açısı ve radüs artıkça kesme ve ilerleme kuvvetlerinin arttığını göstermiştir.

Fang ve Wu (2005) radüslü ($58\mu\text{m}$) ve pahlı ($220\mu\text{m}$) kesici kenar mikro geometrilerine sahip takımların çeşitli alüminyum alaşımlarının (7075-T6, 6061-T6, 2024-T351) işlenmesi esnasında kesme ve ilerleme kuvvetine olan etkisini incelemişlerdir. Pahlı

kesici kenarın radüslü kesici kenara göre daha büyük kesme ve ilerleme kuvveti oluşturduğu ve ilerleme miktarı artıkça kesme ve ilerleme kuvvetlerinin de artığı sonucuna varmışlardır.

Choudhury vd. (2005) pahlı (100-140-200-280-400 μ m,45°) kesici kenarlı mikro geometriye sahip takımların, ASSAB 760 (HV 221) çelik malzemenin işlenmesinde, kesme kuvvetine etkisini incelemişlerdir. Pah genişliği artıkça kesme kuvvetinin artığını gözlemlemişlerdir.

Santosh vd. (2007) farklı ölçülerde radüslü (15-26-57-72 μ m) kesici kenar mikro geometrisine sahip takımların dökme demir malzemenin dik kesme yöntemiyle işlenmesi esnasında, kesme kuvvetlerine olan etkisini incelemişlerdir. Bulunan sonuçlara göre, kesici kenara verilen radüs miktarı artıkça kesme kuvvetlerinin de artığı belirtilmiştir.

3. GENEL BİLGİLER

3.1. Lama Testereler

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. Günümüzde modern ağır iş tezgâhları değişik tür ve boyuttaki malzemelerin ekonomik ve verimli bir şekilde testerelemesini sağlamaktadırlar. Bu tezgâhlar yaygın bir şekilde üretim kapasitelerinin az olduğu küçük atölyelerde kullanılırlar (Dikenöglü 2005).

3.1.1 Avantajlar

Lama testere ile kesme işleminin en önemli avantajı oldukça düşük bir sermaye yatırımı gerektirmesidir. Tek başına tezgâh maliyeti düşüktür. Bununla birlikte parça iticiler, otomatik kontroller ve diğer aksesuarlar ve ilaveler maliyeti arttırabilir.

Lama testere ile kesme yapan tezgâhlarının kurulumu ve kullanımı kolaydır. Tecrübesiz ya da az tecrübeli bir işçi tezgâhta görevlendirilebilir ve bir operatör çoğu kez iki ya da daha çok makineyi kontrol edebilir. Takım maliyetleri düşüktür ve genelde kullanılan ince lamalar aşındıklarında bilenmeleri yerine atılmalarını mümkün kılacak kadar ucuzdurlar. Bakım maliyetleri de düşüktür çünkü tezgâhların tasarımı ve çalışması basittir.

Çok yönlü olma, lama testerelemenin diğer önemli bir üstünlüğüdür. Tezgâhlar pratik olarak tüm malzemeleri, kapasiteleri içindeki geniş bir aralıkta parça büyüklüklerini ve herhangi bir kesme uzunluğunu içeren tüm kesme gereksinimlerini kullanabilirler. Lama ile kesmede, kalın kesitli büyük parçaları kesmede özellikle kesilecek malzemelerin işlenmesinin biraz zor olduğu durumlarda çoğu kez şerit testere ile kesmeden daha kullanışlı ve ekonomiktir (Dikenöglü 2005).

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

3.1.2 Sınırlamalar

Lama testereleme tezgâhlarının başlıca dezavantajı şerit ve dairesel testereleme tezgâhlarından daha yavaş çalışmalarıdır. Kesme hareketi sürekli değildir ve her bir gel-git hareketinin sadece yarısı üretkendir. Kesmenin olmadığı dönüş stroku esnasında geçen süre modern tezgâhlarda kısaltılmıştır.

Lama ile kesme işleminde gel-git hareketi, testere desteklerinin kesme bölgesine yakın kullanımını engeller. Bu, testerenin eğilmesine ve bazı hatalara neden olabilir. Bu sebeple lamalar, şerit testereleme tezgâhlarında kullanılan şeritlerden daha kalın yapılırlar, Bu yüzden daha fazla güç gerekir ve daha fazla talaş oluşur. Lama testerelemede kesim genişliği dairesel testerelemedekinden daha azdır. Yaygın olarak kullanılan lamalarda genişlik 2,34-4,65 mm arasında değişir. Lama testereleme aslında bir kaba işlemdir ve kesilen yüzeylerde en azından 0,05 mm son işlem için pay bırakılmalıdır.

Lama ile kesme işleminde 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 ve bu nedenle verimlilik azalır (Dikenoglu 2005).

3.1.3 Lama Testerelemler ve Çeşitleri

Aşağıda metal kesmek için kullanılan lama testerelemler 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 Alaşımli 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 dış açılmış, uzunluğu 146 mm olan esnek testeredir.

3.1.3.1 Sınıflandırma

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

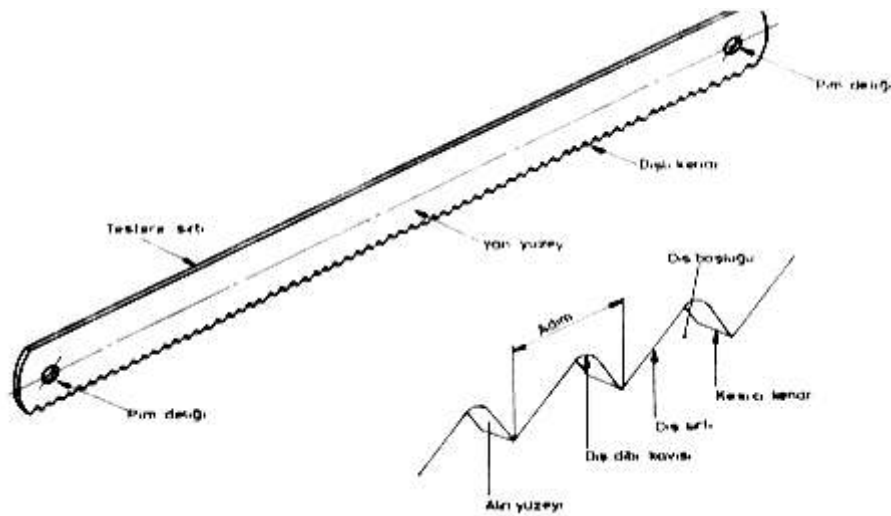
- Lama testereler, malzeme ve ısıl işlem durumuna göre;

- 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, hatve ve farklı dış geometrileri ile üretilirler. Belirli bir uygulama için en iyi testereyi seçmek testerelenecek kesit alan ve malzeme sertliği, kesme hızı, testere dayanımı, dış geometrisi ve gerginlik gibi birçok faktöre bağlıdır. Pratikte tüm testereler, testerenin hemen hemen tüm uzunluğu boyunca yayılmış dişlerden oluşan yalnızca bir kesme kenarına sahiptirler. Pim deliği veya delikleri, testereyi tezgâh kolu veya testere çerçevesine pimler vasıtasıyla sabitlemek amacı ile lamanın her bir ucuna yakın yerleştirilmişlerdir (Dikenoğlu 2005).

Genellikle, ayar somunları ile yapılan tezgâh üzerinde lamanın doğru bir şekilde gerdirilme işlemi, lamanın eğilmesini veya 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 (tezgâh ister itme, ister çekme strokunda kesme yapsın) ve elde edilen testereleme sonuçlarına bağlıdır. Bazı tezgâhların 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.



3.1.3.2 Lama Malzemeleri

Sadece dış bölgesi sertleştirilmiş yüksek hız çeliğinden imal edilmiş lamalar birçok farklı malzemenin testerelemesinde 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 veya 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 (Dikenoğlu 2005).

Çizelge 3.1 Testere İmalinde Kullanılan Çelik Malzeme (TS153/4).

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

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

- Yüksek hız çeliğinden yapılan lama testerelerin pim deliğinin bulunduğu bölgenin dışı sertleştirilmiş ve temperlenmiş olmalıdır.
- Yüksek hız çeliği esnek lama testereler, lama dişli kenar boyunca diş 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.
- Lama testerelerin yüzeyleri düzgün ve pürüzsüz olmalı, üzerinde çapak, yara, çatlak, katmer, karıncalanma, paslanma vb. kusurlar bulunmamalıdır.
- Lama testerelerin yüzeyleri düzgün ve pürüzsüz olmalı, üzerinde çapak, yara, çatlak, katmer, karıncalanma, paslanma vb. kusurlar bulunmamalıdır.
- 25 mm boyda diş sayısı 18-24 olan lama testerelerin dişleri çaprazlanmalı veya dalgalandırılmalı, 25 mm boyda diş sayısı 24'den çok olan lama testereler sadece dalgalandırılmalı, 18'den az olanlar ise sadece çaprazlanmalıdır (Dikenoğlu 2005).

3.1.3.3 Lama Boyutları

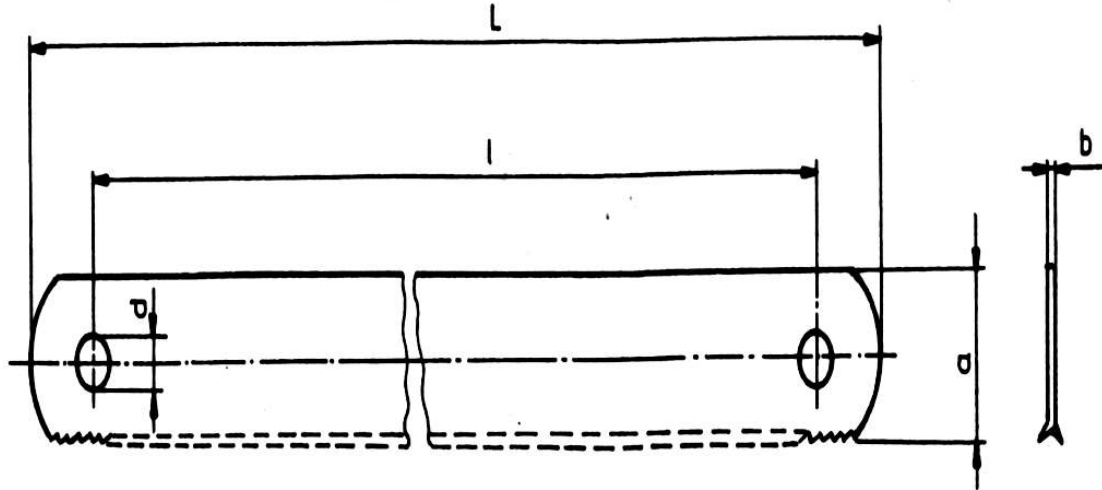
Lamanın boyutu öncelikle dayanım gereksinimlerine bağlıdır. Lamanın uzunluğu, testerelenen parçanın maksimum genişliğinden daha kısa olmamak koşulu ile mümkün olduğunca kısa olmalıdır. Lama testere tezgahları için lamalar genellikle 305-1346 mm nominal uzunluk aralığında, $\pm 1,6$ mm genel tolerans ile bulunurlar. Uzun, geniş lamaların parçalı tipleri vardır ve hasara uğrayan bölümler seçilerek bilenebilir veya değiştirilebilir (Dikenoğlu 2005).

Lama genişlikleri, genellikle hafif işler için 16 mm' den ağır işlerde 117,5 mm' ye $\pm 0,8$ mm tolerans ile değişir. Kalınlıklar, genellikle hafif işler için 0,8 mm' den ağır işlerde 3,81 mm' ye $\pm 0,08$ 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 (Dikenoğlu 2005).

3.1.3.4 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 veya üç diş iş parçasını kavramış halde bulunmalıdır. 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, 25-127 mm çaplı çubuklar için inçteki diş sayısı altı, 127-203 mm çaplı çubuklar için inçteki diş sayısı dört ve 203 mm' den daha büyük çaplı çubuklar için inçteki diş sayısı üç olan lamalar yaygın bir şekilde kullanılır. İnçteki diş sayısı 10-18 olan lamalar genellikle 25 mm' den daha küçük çaplı çubuklar için kullanılır. Türk standartlarına göre metal kesme için bir ağızlı, delikli lama testere Şekil 3.2' de gösterilmiştir (TS 153).

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 tezgâh üreticileri, geniş bir malzeme çeşidi ve parça boyutunun aynı hatveli lama ile kesilebileceğini çünkü tezgah kontrollerinin değişkenleri dengelediğini iddia etmektedirler. Türk standartlarına göre lama testere boyutları Çizelge 3.2' de gösterilmiştir (TS 153).



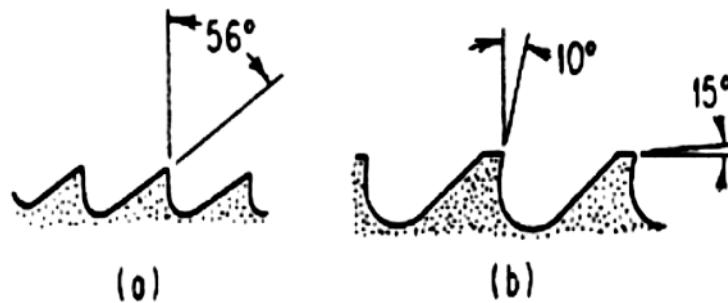
Şekil 3.2 Türk Standartlarına göre metal kesme için bir ağızlı, delikli lama testere (Makine Testere) boyutları (TS 153).

Çizelge 3.2 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		
400 ± 2	32	1.60	4.0	6	430	8.2 ^{+0.36} ₋₀
			2.5	10		
	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	2.5	4.0	6		
			6.3	4		
750 ± 2 ¹⁾	63	2.5	6.3	4	805	12.5 ^{+0.43} ₋₀

3.1.3.5 Diş Geometrisi

Testere lamaları için en yaygın biçimde kullanılan diş geometrisi Şekil 3.3 (a) görünüşündeki normal veya 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 3.3 (b) görünüşündeki gibi, pozitif talaş açısına (alttan kesim, genellikle 10°), boşluk açısına (çoğu kez 15°) ve daha yuvarlak bir diş sırtına sahiptir (Drozda ve Wick 1983).

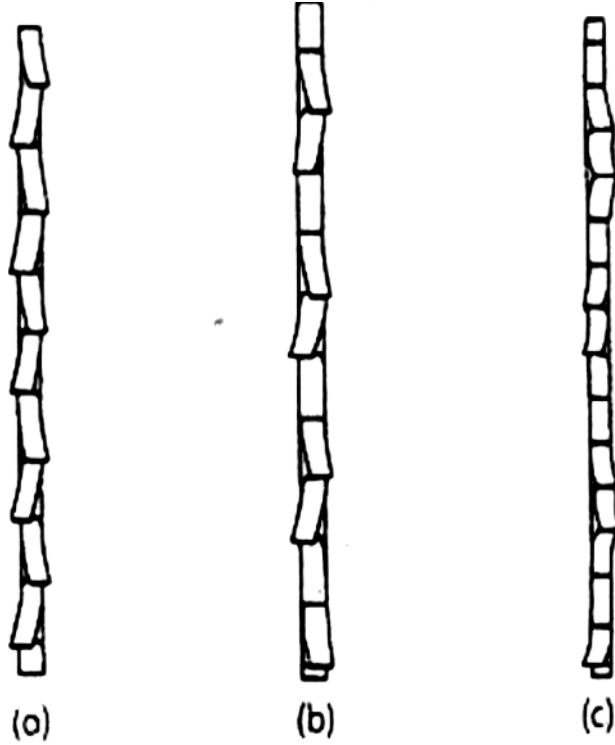


Şekil 3.3 Düz diş geometrisi (a), Alttan kesim (b), (Drozda ve Wick 1983).

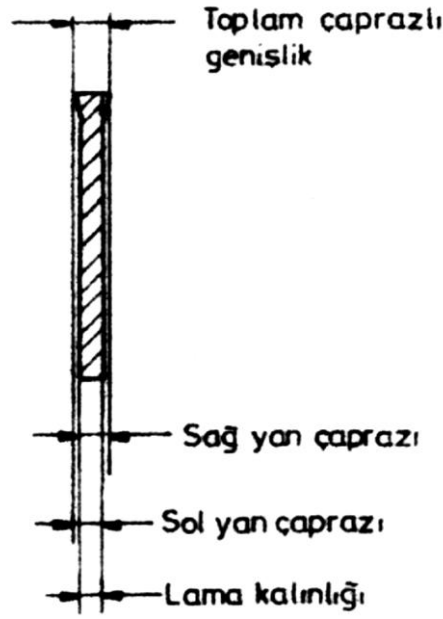
3.1.3.6 Çaprazlama

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 köseleri arasındaki toplam mesafedir. Toplam çaprazlama, kesme genişliğini tayin eder. Üç tip çaprazlama vardır:

- Ardışık çaprazlama; dişler sırayla sağa ve sola doğru eğilirler (Şekil 3.4, a).
- Aralıklı ardışık çaprazlama; her üçüncü diş düz kalmak koşulu ile sonra gelen iki diş sırayla sağa ve sola doğru eğilirler (Şekil 3.4, 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 3.4, c).



Şekil 3.4 (a) Ardışık çaprazlama, (b) Aralıklı ardışık çaprazlama, (c) Dalgalandırma (Drozda ve Wick 1983).



Şekil 3.5 Çaprazlamaya ait kesit görünüş (TS 153).

3.2 Şerit Testereleme

Şerit testerelemede üzerinde küçük dişler bulunan sonsuz uzunlukta bir şerit, iki veya 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 testere ile kesme işleminde tezgâhlarının birçok çok değişik tipleri vardır. Şekil 3.6’ da şerit testere makinesi gösterilmiştir.

Şerit testere ile kesme işlemi sürekli olması, tek yönlü kesmesi, seride 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 veya şerit, kılavuzluk edildiği herhangi bir iz boyunca hareket edebilir ve yarıçap veya çevre kesme yapabilir. Şerit dişleri makaslama etkisi ile keserler ve tam, düzgün talaş alma eğilimindedirler (Dikenoğlu 2005).



Şekil 3.6 Şerit testere makinesi

3.2.1 Avantajları

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

1. Geleneksel kesme, öncelikle kesme, ayırma ve çevresel kesme işlemleri için kullanılır.
2. Sürtünme ile kesme, sertleştirilmiş demir esaslı metallerin, demir dışı metallerin ve metal dışı malzemelerin yüksek hızla kesilmesinde kullanılır.
3. Elmas-şerit ile kesme, camın, karbürün, yarı iletken ve grafitli malzemelerin, seramiklerin ve kuvarsın kesilmesinde kullanılır.
4. Elektro-bant (elektriksel boşalma) ile kesme, genellikle alüminyum, bakır, paslanmaz

elik ve titanyum ile diğerk kırılğan ve gözenekli yapılar da kullanılır.

5. şerit eğeleme, değişik malzemelerin i yüzeylerinden çok ince talaş kaldırmak için kullanılır.

6. şerit parlatma, evvelce testere ile kesilmiş ve/veya eğelenmiş yüzeylerden apak almak ve parlatmak için uygulanır.

7. Dalgalı-ağızlı ve bıçak-ağızlı şerit testere ile kesme, öncelikle yırtılıp yıpranabilen yumuşak ve lifli malzemeleri kesmek için veya dişli şeritler ile kesildiğinde kötü yüzey kalitesinin oluştuğu durumlarda kullanılır.

8. Spiral-ağızlı şerit testere ile kesme, ince metal, plastik ve ahşap parçalar içindeki karışık desenlerin tüm yönlü (360°) kesilmesi için kullanılır.

9. Aşındırıcı tel şerit testere ile kesme, öncelikle CNC tezgâhlarda işlenmesi zor malzemelerin tüm yönlü kesilmesi ve bununla birlikte kalıpların, kamların ve diğerk karmaşık şekilli parçaların son işlemleri için kullanılır.

şerit testere ile evre isleme diğerk yöntemlerinin ötesinde birak önemli avantaja sahiptir. Bunlar, şeklin elde edilmesi için yapılan kesme işleminin hızlı olması, güvenli ve kolay çalışma, ham madde tasarrufu ve oldukça düşük maliyetlidir. Tüm bu avantajlar şerit testere makinesinin tezghının kesitlerdeki istenmeyen malzemeyi talaş olarak israf etmeden çıkarılmasından kaynaklanır ve böylece 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.

Daha az talaş oluşturma yeteneği yöntemi üç temel kesme yöntemi içinde malzeme ve enerji bakımından en verimli haline getirir. şerit ile kesme işlemi, lama ve dairesel kesme işlemi daha küçük kesim genişliği oluşturur ve böylece enerji gereksinimi ve talaş biçimdeki malzeme kaybı azalır. (Dikenoglu 2005).

3.2.2 Sınırlamalar

Şerit testerelemenin kullanımına ilişkin birkaç sınırlama vardır. İşlemin çok yönlülüğü farklı malzemeler ve parça boyutlarının kullanıldığı farklı uygulamalar için uygundur. Bimetalik şeritler ile donatılmış tezgâhlar sertliği 49HRC'ye kadar olan malzemeleri kesmek için kullanılır. Aşındırıcı ağızlı şeritler ile daha sert malzemeler kesilebilir.

Kullanılan şeridin rijitliği testere kılavuzlarının arasındaki mesafe arttıkça azalır, fakat kesme oranları orantılı olarak azalmaz. Alaşımli çelikte 1320 mm' ye kadar, kesme genişlikleri 51 mm veya daha geniş bir desteklenmemiş şerit ile 1575 mm' ye kadar kesme genişlikleri ile kesilebilmektedir.

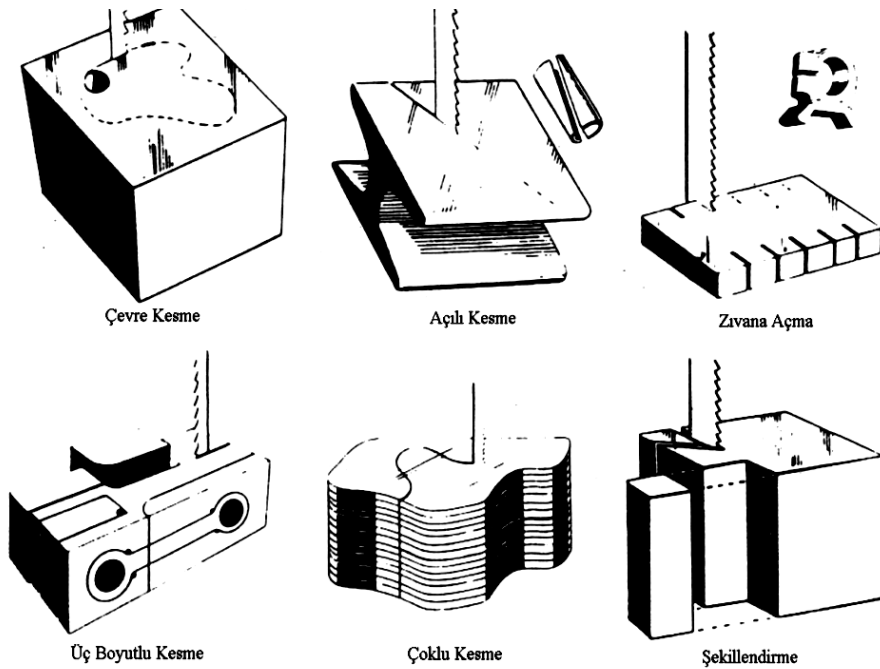
Geniş parçalar kesildiğinde kesme oranlarını etkileyen faktörler hatve, genişlik, kalınlık ve şerit gerginliği; talaş açısı ve dişlerin keskinliği; testerelenen malzeme sertliği ve şerit hızıdır. Dar kesme genişlikleri testerelendiğinde diş yapısı en yüksek kesme oranları ile ilgili olarak sınırlayıcı etkindir. Eğer en yüksek kesme oranının diş uçlarının kopacağı değerin hemen altında olduğu tahmin edilirse, bu oran artan kesme genişlikleri için şeridin kesici kenarı çekmeden basmaya maruz kalıncaya kadar sürdürülebilir. Bu durumda sınırlayıcı faktör şeridin giriş dayanımı haline gelir ve kesimi düzgün bir şekilde sürdürmek için ilerleme kuvveti azaltılmalıdır. Uygun ilerleme kuvveti testere kılavuzları arasındaki mesafe ile ters orantılıdır (mesafe iki katına çıkarsa, kesme oranı yarıya düşer). Yayınlanmış kesme oran tabloları bu tür hesaplamaları içermeyebilir çünkü bunlar nadiren her çap için en yüksek kesme oranlarını gösterir.

Birçok şerit testere imalatçısı tarafından örnek olarak gösterilen tipik testereleme hassasiyeti her inçlik kesim başına $\pm 0,05$ 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 11,4-12,7 μm ' dir fakat daha düzgün yüzeyler daha yavaş ilerleme, daha küçük hatveli şeritler, daha yüksek şerit hızları veya bu değişkenlerin bir bileşimi ile elde edilebilir (Dikenoğlu 2005).

3.2.3 Uygulamalar

Şerit testere ile kesme çoğu zaman metal veya 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 testere ile kesme uygulamaları kesme ve çevresel kesmedir. Pratik olarak tüm testereleme uygulamaları bunlardan bir ya da daha fazlasını içerir (Şekil 3.7).

İmalattaki kesme işlemleri özel olarak bu amaç için tasarlanmış yarı ya da tam otomatik tezgâhlarda gerçekleştirilir. Çevre kesme neredeyse tamamen, çoğunda eğilebilen tablalar bulunan, dikey şerit testere tezgâhlarında yapılır. Eğilebilen tabla hem düz kesme hem de açılı çevre kesme işleminin yapılmasına imkân tanır. Bu üç boyutlu şekil verme karmaşık parçaların hızlı bir şekilde üretilmesini sağlar (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 Birçok değişik uygulama için kullanılan başlıca şerit testereleme (Drozda ve Wick 1983).

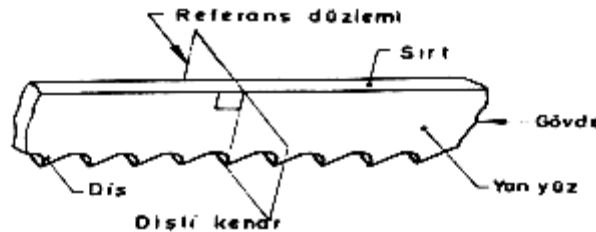
3.2.4 Şerit Testereler ve Diğer Takımlar

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

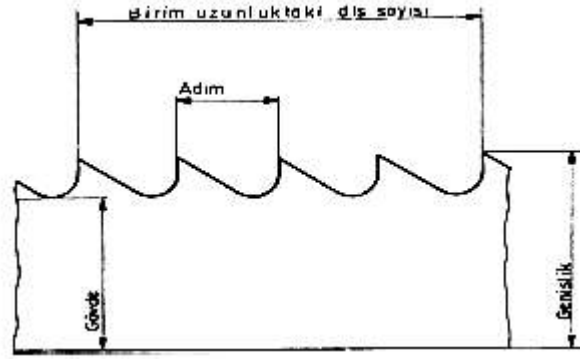
1. Diş formunu ve kullanılacak şeridin bileşimini belirleyen, kesilecek malzemenin türü ve sertliğidir.
2. Gerekli diş hatvesini belirleyen, kesilecek parça boyutu ve kesitindeki değişimlerdir.
3. Gerekli kesme tipi (düz, çevresel veya her ikisi). Küçük yarıçapların kesilmesi ihtiyacı şerit genişliğini sınırlayacaktır.
4. Kullanılacak tezgâh türü ve durumu ve imalat gereksinimleri.
5. Kesme sıvısının kullanılıp kullanılmayacağı göz önünde bulundurulmalıdır.

3.2.4.1 Klasik Testereleme

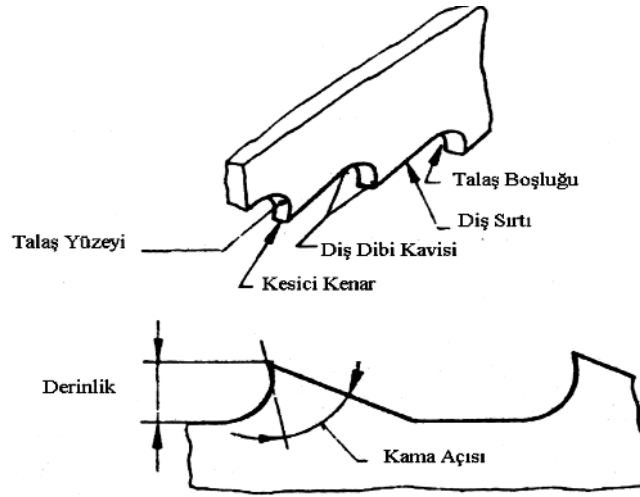
Şerit testere (metal kesmek için), iki ucu birleştirilmiş çelik şeritten yapılmış, bir kenarı dişli testeredir. Belirli uygulamalar için farklı diş geometrisi ve sertliğine sahip dişli şeritler, klasik şerit testereleme yöntemleri için kullanılırlar. Şerit testereleler için genel olarak kabul edilen terimler Şekil 3.8, Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'da gösterilmektedir (TS 6851).



Şekil 3.8 Şerit testerelele ilgili olarak kullanılan terimler (TS 6851).



Şekil 3.9 Bir şerit testerede genişlik, gövde, adım ve birim uzunluktaki diş sayısı (TS 6851).



Şekil 3.10 Bir şerit testerede talaş yüzeyi, kesici kenar, diş dibi kavisi, diş sırtı, talaş boşluğu, derinlik ve kama açıları (TS 6851).

3.2.4.2 Diş Geometrileri

Diş geometrisi olarak üç ana tip bulunur ve bunlar standart (normal), seyrek ve kanca diş şeklinde sınıflandırılırlar. Standart diş biçimi sıfır derece talaş açısına ve düzgün yarıçaplı tam yuvarlatılmış bir talaş boşluğuna sahiptir. 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 testereler, dalgalandırıldığı gibi ardışık veya aralıklı ardışık olarak çaprazlanırlar.

Seyrek diş, standart diş ile aynı biçime sahiptir ancak farklı olarak, daha fazla talaş kaldırabilmek için birer diş çıkartılarak talaş boşluğu arttırılmıştır. Seyrek diş demir dışı metallerin, plastiklerin ve ahşabın yüksek hızlarla kesimi için önerilir. Seyrek dişli testerelede, mukavemeti azaltacak daha büyük bir diş derinliğine başvurmada daha büyük diş boşluğu elde edilmiştir.

Kanca diş, talaş açısının pozitif olması dışında, seyrek dişle tamamen aynı olan diş biçimidir. Seyrek diş biçimine benzer olarak arttırılmış bir talaş boşluğuna ve üreticiye, şerit tipine ve uygulamaya bağlı olarak 10° 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 (Dikenoglu 2005).

3.2.4.3 Şerit Malzemeleri

Çeşitli malzemelerden şerit malzemeler 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 çevresel işleme tezgâhlarında hem demir esaslı hem demir dışı metallerin, ahşabın ve plastiklerin testerelemesinde kullanılırlar. 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 45-49 HRC 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. İyi darbe direncine

sahiptir. Bunlar bazen profil demirlerinin, boruların ve balyalanmış malzemelerin kesilmesi gibi kötü, elverişsiz çalışma şartlarında kullanılırlar. Bazı üreticiler testerelerin geliştirilmesi ile bu tür testerelerin üretimini durdurmuştur.

4. Sert kesici ağızlı, esnek gövdeli yüksek hız çeliği şeritler. Testerelerin geliştirilmesi ile artık birçok üretici sert kesici ağızlı testerelerin üretimini durdurmuştur.

5. Sertleştirilmiş yüksek hız çeliği kesici ağızlı ve esnek, alaşımlı çelik gövdeli bimetal şeritler. Daha yüksek üretim kapasiteleri ve testerelenen parça başına maliyetin düşük olması önemli avantajlarıdır. Üreticiler bazı özel uygulamalar için beş veya altı tür bimetal şerit önerirler. Bazı testere sert, dayanımı fazla malzemelere nüfuz edebilmek için pozitif talaş açılı dişlere sahiptirler. Profil demirler ve borularda rastlanan değişen kesit alanlar testereleırken oluşan yüksek rezonansı (çınlamayı) azaltmak için kullanılan, farklı çaprazlama ve hatve kombinasyonlarına sahip şerit testere de mevcuttur.

6. Karbür uçlu alaşımlı çelik 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 kullanılır. Yüksek maliyet ve kırılma olasılığı genel amaçlı testere ile kesme işleminde 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.

Şerit genişliği, diş ucu ile şeridin sırt yüzeyi arasındaki mesafe arttıkça şeridin kırılgan dayanımı artar ve daha düzgün kesimler elde edilir. Geniş şeritler düz kesimler için kullanılmalıdır. Çevre islemede, şerit genişliği kesilecek en küçük yarıçap tarafından sınırlanır. Şerit genişlikleri 1,6-76 mm arasında değişir. Şeridin kalınlığı arttıkça dayanımı da artar. Şerit genişliği tezgâh kapasitesi veya kesilecek yarıçap tarafından sınırlandırıldığında dayanım, daha kalın bir şerit kullanılmak sureti ile arttırılabilir. Çok değişik kalınlıkta şeritler bulmak mümkündür.

Kullanılacak hatve veya 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 testere ile kesme işleminde kullanılabilecek şerit hatveleri için genel tavsiyeler Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3 Farklı kalınlıktaki malzemeleri testerelemek için genel tavsiyeler (TS 6851).

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

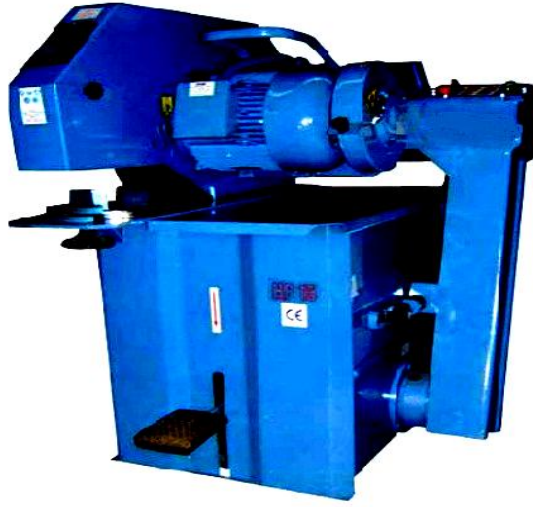
3.2.4.4 Çaprazlama

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 ve bu mesafe kesim genişliğini belirler.

3.3 Dairesel Testere ile Kesme

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 dairesele testereyle kesme olarak adlandırılır. Şekil 3.11' de dairesele testere makinesi gösterilmiştir.

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 dairesele testere tezgâhları çok uzun yıllar kütükleri, dövme parçaları, ekstrüzyon ürünlerini, çubukları, boruları ve benzer ürünleri kesmek için kullanılmışlardır. Günümüzde daha küçük tezgâhlar çok değişik parçalar için kullanılmaktadır. İşlem pratik olarak her malzemeyi kesmek için kullanılabilir.



Şekil 3.11 Dairesel testere makinesi.

Sürtünme, dairesele testereleme ile ilişkili bir işlemdir ve bu yöntemde üzerinde dişler bulunan dairesele kesici çok yüksek hızla döndürülür ve yüksek ilerleme basıncı uygulanır. Sürtünme nedeniyle oluşan sıcaklık, iş parçası malzemesinin yumuşayarak plastik hale geçmesine ve hareket eden dişler tarafından uzaklaştırılmasına neden olur. Düz kenarlı (dişsiz) bir kesici, yüksek karbonlu çelikleri (C %0,60-1,00) dairesele testere ile kesmek için kullanılabilir, çünkü böyle çeliklerde kenar pürüzlenmiş hale gelir.

Dairesel testere ile kesme hızlıdır fakat birçok sınırlamaya sahiptir. Örneğin, işlem dolu parçalarda yaklaşık 102 mm çapa kadar uygulanabilmektedir ve en iyi performans kesici temas uzunluğunun çok kısa olduğu şekiller ile elde edilir. Ek olarak yüksek güce sahip tezgâhlar gereklidir. Yüksek testere hızları güvenlik için önlem alınmasını sağlar ve yüksek gürültü seviyesi ses yalıtımı gerekli kılar. Oluşan büyük çapaklar tehlikeli

olabilir ve ikinci bir operasyon ile ortadan kaldırılmalıdır. Kesilen, sıcaklığa duyarlı metallerde hızlı soğumadan dolayı yüzey sertleşmesi oluşur.

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

Tezgâhların rijit oluşu ve frezeleme tipi kesicilerden dolayı dairesel testereleme hassas bir yöntemdir. Birçok kütük besleme sistemi için uzunluk toleransı $\pm 0,10$ mm'dir. Diklik ve paralellik ile ilgili olarak kesim hassasiyeti, testere hareketi doğrultusunda malzeme yüksekliği veya genişliğindeki her 25,4 mm için $\pm 0,03$ mm'dir. Düzlemde, testere hareket doğrultusuna dik tolerans $\pm 0,013$ mm'dir.

Gerçekte çapaksız olarak üretilen yüzeyler çoğu zaman ikincil yüzey bitirme işlemlerine olan ihtiyacı azaltmakta veya ortadan kaldırmaktadır. 406 mm çapa kadar testere boyutları için yüzey pürüzlülüğü tipik olarak 1,5 ile 3,2 μ m arasında değişir. Çoğunlukla alüminyumun dairesel testere ile kesme işleminde 0,2 μ m ve çeliğin kesilmesinde 0,8 μ m yüzey pürüzlülüğü değerlerine sahip düzgün yüzeyler elde edilmiştir. Genellikle kesilen malzeme sertliği arttıkça daha düzgün yüzeyler elde edilir.

Takım giderleri oldukça düşüktür. Rijitliğinden dolayı testerede sapmaya yönelik hiçbir eğilim yoktur ve bu durum 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. Modern bir tezgâhta farklı tip ve boyutlardaki malzemeleri kesmek için gerekli olan değişiklik süresi sadece birkaç saniyedir. Tek bir

testere, tezgâh kapasitesi içindeki birçok malzeme ve parça boyutunu kesebilir. Testere değişimi çabuk ve kolay bir şekilde yapılabilir. Dairesel testereleler oldukça güvenlidir çünkü kesicilerinin dönme hızları düşüktür. Operatörün ellerini kesme bölgesine yaklaştırmasına gerek yoktur ve birçok otomatik tezgâhta besleme ve testereleme alanlarının etrafı tamamen kapatılmıştır. Dairesel testerelelerin kullanımı ile ilgili gerçek sınırlamalar yoktur. İlk yatırım maliyetinin lama ve şerit testerelelerden daha fazla olduğu bir gerçektir çünkü karşılaştırılabilir kapasite için daha ağır ve daha güçlü bir tezgâh gereklidir. Eğer tezgâhı etkin bir şekilde çalışır durumda tutmak için yeterli iş mevcut ise, artırılmış üretkenlik ve hassasiyet tezgâhın hızla yıpranmasına neden olabilir. Dairesel testereleler başlangıçta şerit ve lama testerelelerden daha pahalıdır fakat farklı malzemeleri kesmek için gerektiğinde birçok kez tekrar bilenebilirler ve taşlanabilirler. Takım ömrünün uzun olması genellikle takım giderlerini azaltır.

Kesme genişliğinin fazla olmasından dolayı daha çok malzemenin kesilerek kaybedilmesi çoğu zaman dairesele ile kesmenin bir dezavantajı olarak gösterilir, fakat bu çoğu zaman bir sorun oluşturmaz. 1,52 mm inceliğe kadar dairesele testereleler bulmak mümkündür, fakat bu kadar ince bir takım büyük kesme kuvvetlerine dayanamaz ve dairesele testere ile kesmede bahsedilen dar toleransları koruyamaz. Kısa boylarda kesilen çoğu çubuk mamul 127 mm veya daha küçük çaptadır. Bu bölgede, dairesele testereleler genelde 2,44-3,00mm arasında değişen kalınlıklara sahiptirler. Dairesel testerelemedeki hassasiyet ve kesim sonunda atık malzeme boyları (çoğunlukla 51mm ya da daha kısa) sayesinde kesim genişliğinden dolayı oluşan malzeme kaybı diğer yöntemlerden daha az olabilmektedir. Çok kısa uzunluklar kesildiğinde bile dairesele ile kesme işleminde biraz daha geniş kesim genişlikleri oluşturmak gerekli hassasiyeti elde etmek için ikinci bir işlem uygulamaktan daha ucuzdur (Dikenoğlu 2005).

3.3.1 Testereleler

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

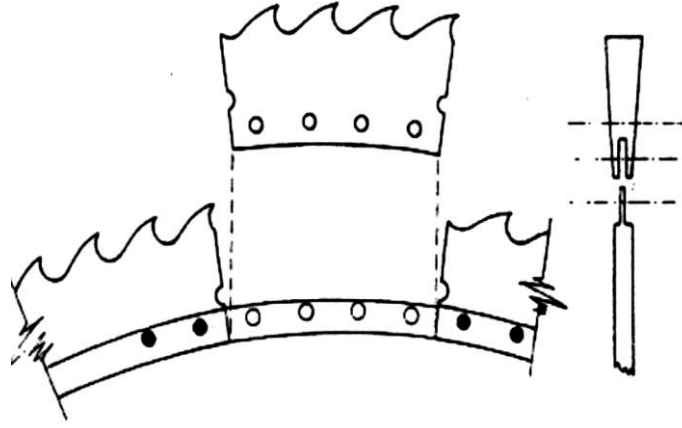
3.3.1.1 Yekpare Testereler

Çapları 200 ile 400 mm arasında değişen testerelerde gövde ve dişler, ısıtılma işlemi ile sertliği 65HRC'ye getirilmiştir. Bu testereler AISI M2 veya M7 gibi yüksek hız çeliği bir diskten imal edilirler. Testere gövdeleri her iki taraftan taşlanmak sureti ile biraz konkav (iç bükey) hale getirilir. Böylece kesimlerde boşluk elde edilir. Demir esaslı ve demir dışı malzemeleri kesmek için kullanılır ve tezgâh üzerinde daha fazla kullanılmalarının mümkün olmadığı çapa erişilinceye kadar bilenebilir. Daha ince testereler demir dışı malzemelerin kesilmesi için kullanılabilir (Drozda ve Wick 1983).

3.3.1.2 Parçalı Testereler

Çapları 300 ile 3050 mm arasında değişen parçalı testereler bir disk tipi gövde çevresinde, üzerlerinde dişler bulunan parçalardan oluşur. Testere gövdesi hem rijit hem de darbe sönümleme yeteneği olan yüksek dayanımlı, düşük alaşımlı çelikten üretilir. Yan boşluk oluşturmak için konik yapılmış, üzerinde dişler bulunan parçalar bulunur. Parça uzunlukları, 305 mm çaplı bir testere için 63,5mm uzunluktan, 1829 mm çaplı bir testere için 127 mm uzunluğa kadar testere çapları ile değişir (Drozda ve Wick 1983).

Çoğu parçalı tip dairesel testerede 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 testereler üretmektedir. Her iki tasarımda da parçalar testere gövdesine perçinler ile bağlanır. Perçinler yanal dengeyi sağlamak için, testere gövdesi dışında parçaların birbirlerine bakan yüzleri arasına yerleştirilirler (Şekil 3.12).



Şekil 3.12 Yüksek hız çeliği dairesel testerelerdeki çıkarılabilen, bilenebilen ve çok kereler değiştirilebilen tekil parçalar (Drozda ve Wick 1983).

Parçalı testereler, tek parça testerelerden daha iyi darbe sönümleme özelliklerinden dolayı daha yaygın olarak kullanılır. Parçalar üzerindeki dişler özel şartlara uygun olmaları için tasarlanabilir. Ayrıca, tek bir parça aşındığında veya kırıldığında çıkarılabilir (Şekil 3.12), bilenebilir ve birçok kere değiştirilebilir. Bu şekilde testere maliyeti azaltılabilir. Buna karşın, parçalı testereler genellikle yekpare testerelerden daha kalın olmak zorundadırlar ve oluşturulan yüzeyler çoğu zaman yekpare testerelerdeki kadar düzgün değildir (Drozda ve Wick 1983).

3.3.1.3 Karbür Uçlu Testereler

Karbür uçlu dairesel testereler, diş uçlarında sert lehimlenmiş karbür bulunan yüksek dayanımlı, düşük alaşımlı çelik bir gövdeye sahiptir ve 305 ile 1829 mm arası çaplarda, 4 ile 10,92 mm arasında değişen kesim genişliklerine sahiptirler. Bu testereler uzun yıllar alüminyum, pirinç ve bazı plastikleri kesmek için kullanılmıştır. Daha sonraları, karbür uçlu testereler artan bir şekilde çeliğin kesilmesinde, özellikle yüksek üretim ihtiyaçlarını karşılamak ve büyük dövme kütükleri kesmek için kullanılırlar. İmalat endüstrisindeki gelişmeler, karbür uçlu takımların bu tarz uygulamalar için kullanımı sonucunda olmuştur. Dairesel testere ile kesmede karbürün kritik yüklenmesi sebebiyle, günümüz çağdaş bilimi bu tip kesicilerin ekonomik kullanımına yalnızca dolu malzemeler için izin verir (Drozda ve Wick 1983).

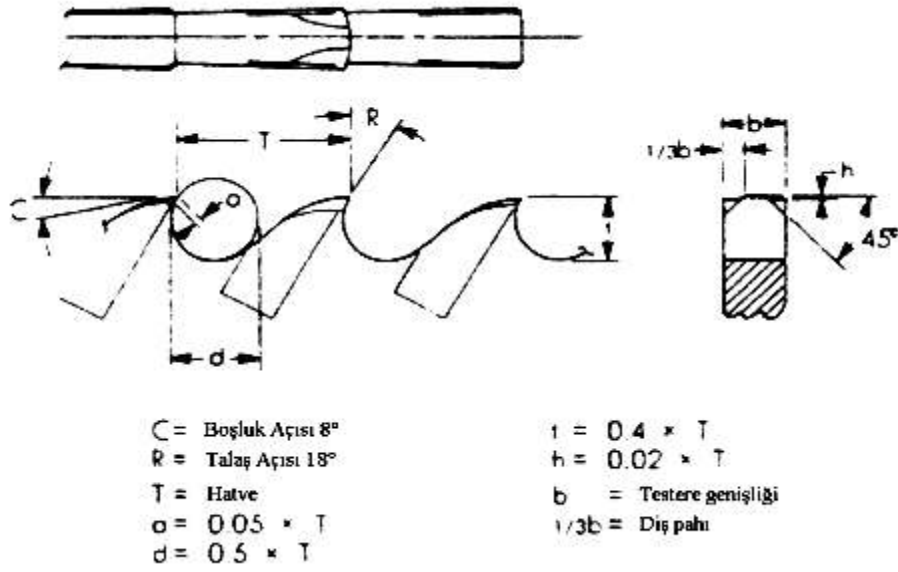
Büyük kütüklerin karbür uçlu testereler ile kesilmesinin avantajları; çeşitli yöntemlerin kütük başlarında oluşturdukları bozuklukları, soğuk makaslamanın neden olduğu kesme çatlaklarını ve sıcak makaslama için gerekli pahalı, yüksek kapasiteli makaslara olan ihtiyacı ortadan kaldırması şeklinde sıralanabilir.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

Kesme süreleri testereleyen malzemeye, kullanılan tezgaha, kesme hızına ve kesme derinliğine göre değişir. AISI 1040 çeliğinden kenarları yuvarlatılmış kare kütüklerin 167,6 m/dk kesme hızı ve 0,20 mm kesme derinliği ile kesilmesi için gerekli ortalama süreler, 89x89mm kareler için 9 saniye ile 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 malzemenin ilerletilmesi için 4 ile 8 saniye arası süre ilave edilmelidir (Drozda ve Wick 1983).

3.3.1.4 Dış Geometrisi

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

En yaygın dış geometrisi tipi üçlü-talaş veya yüksek-alçak dış modelidir (Şekil 3.13). Bu tasarım aslında her bir diş çiftinin üç talaş oluşturmasıyla frezeleme tipi kesme sağlar. Kaba diş olarak adlandırılan her çiftin ilk dişi, daha yüksektir ve her bir kenarında 45° 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 0,25-0,64 mm arasında bir değerdedir) ve düzdür. Her bir geçişte önceki kaba diş tarafından oluşturulan kanalın her bir yüzünden iki talaş kaldırır (Drozda ve Wick 1983).



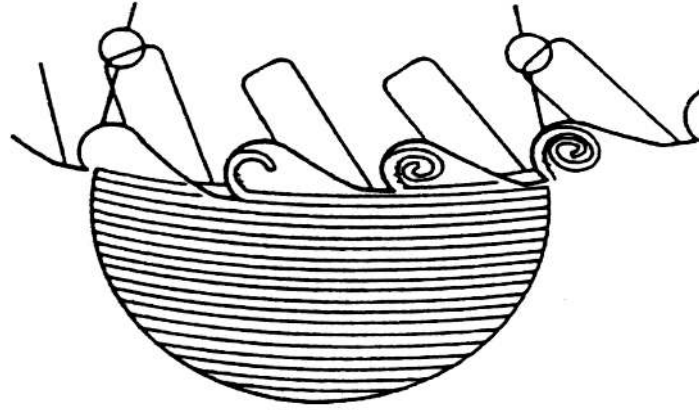
Şekil 3.13 Yüksek-alçak model olarak da adlandırılan, HSS dairesel testerelede yaygın biçimde kullanılan üçlü-talaş diş geometrisi (Drozda ve Wick 1983).

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 imkân 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 yüklere dayanabilir ve hızlı talaş kaldırma yeteneğine sahiptir. Ancak bu tasarım ince kesitlerin, ince cidarlı boruların, demir dışı malzemelerin veya 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 zıt yönlerde eğilir, tüm dişler aynı yüksekliktedir; dişler üçlü-talaş tasarımındaki kadar küçük hatveye sahiptir. Alternatif eğik, eşit-yükseklik tasarımının bir avantajı testerelelerin bilinmesinin daha kolay olmasıdır ve bu nedenle daha basit testere taşıma tezgâhları kullanılabilir (Drozda ve Wick 1983).

Pirinç ve alüminyumun kesilmesinde yaygın biçimde kullanılan diğer bir geometri düz-diş tasarımıdır. Bu tasarımda dişler eğik değildir ve hepsinin yüksekliği aynıdır. Özel uygulamalar için diğer geometriler de kullanılır. Örneğin, bazı karbür uçlu takımlar üçlü diş gruplarındaki her diş için farklı geometriye sahiptir.

Talaş boşlukları talaşların kıvrılmasına olanak tanır. Dişler arasındaki talaş boşlukları geçici bir süre için talaşları depolarlar böylece dişler iş parçasından sürekli olarak talaş kaldırabilir. Bu durum Şekil 3.14’de görülmektedir. Talaş boşluklarının tasarımı diş hatvesinin bir fonksiyonudur (hatve büyüdükçe talaş boşluğu da büyür).



Şekil 3.14 Diş bölgelerindeki talaş boşlukları (Drozda ve Wick 1983).

Dişlerdeki talaş açıları kamanın oluşmasını ve testereleyen malzemenin kesilmesini sağlar. Boşluk açıları dişlerin iş parçasına doğru bastırılmadan sabit bir ilerleme değerinin kullanımına olanak tanır. Malzemenin testerelenmesi kolaylaştıkça daha büyük talaş ve boşluk açıları ve böylece daha hızlı ilerleme değerleri kullanılır. Talaş açıları büyüdükçe kesme kuvvetleri düşer, fakat dişin dayanımı azalır. Boşluk açılarının artırılması talaş depolanması için daha çok yer sağlar, ancak boşluk açıları çok büyük olduğunda diş mukavemeti düşer. Kesilecek malzeme sertliği arttıkça, daha küçük talaş ve boşluk açıları kullanılmalıdır (Drozda ve Wick 1983).

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 çalışmaktadır (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 127 mm çapında yumuşak çelikten bir yuvarlak çubuğu kesmek için uygundur. Her biri 0,38-0,64 mm arası kalınlıkta talaş kaldıran ve 18,3-30,5 m/dak hız ile dönen beş diş iyi verimlilik sağlar (Drozda ve Wick 1983).

Paslanmaz çelikleri ve demir esaslı profilleri kesmek için daha küçük hatveli testereleler kullanılır. Çünkü çoğu paslanmaz çeliklerde, özellikle östenitik türlerde ve bazı alaşımlarda kesilme esnasında sertleşme eğilimi vardır, daha ince talaşlar (0,10-0,20 mm 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 kalmalıdır. Yedi veya 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 olması istenir (Drozda ve Wick 1983).

3.4 Sonlu Elemanlar Metodu

Mühendislik uygulamalarında problemlerin karmaşıklığı nedeniyle genellikle kesin çözüm yerine yaklaşık çözümler tercih edilmektedir. Sonlu elemanlar, karmaşık olan problemleri kendi içersinde alt problemlere ayırarak çözümün gerçekleştirildiği bir metottur. Karmaşık olan problemlerin kolay ve kısa bir sürede çözülmesi bu metodu popüler kılmıştır. Çeşitli metotlar kullanılarak yapılan sayısal çözümlerin hiçbirinde kesin bir çözüm elde etmek mümkün değildir. Kullanacağımız metoda bağlı olarak yaklaşık bir çözüm elde ederiz. Sonlu elemanlar metodu bize çözdüğümüz problem hakkında yaklaşık bir çözüm önerir (Topçu ve Taşgetiren 1998).

Sonlu elemanlar metodunun temel prensibi, bir elemana ait sistem özelliklerini içeren denklemlerin çıkartılıp tüm sistemi temsil edecek şekilde eleman denklemlerini birleştirerek sisteme ait lineer denklem takımının elde edilmesidir. Sonlu elemanlar

metodunun üç temel kabulü bulunmaktadır. Birincisi, karmaşık olan problemin çözüm bölgesi daha basit alt bölgelere ayrılır. İkincisi, elemanlardaki sürekli fonksiyonlar cebirsel polinomların lineer kombinasyonu olarak kabul edilir. Üçüncüsü ise, elde edilecek olan değerlerin her eleman içindeki tanım denklemlerinin düğüm noktalarındaki değerler problemin çözülmesinde yeterli olmaktadır (Topçu ve Taşgetiren 1998).

4. MATERYAL ve METOT

Bu tez çalışmasında, lama testere ile AISI 1020 çeliğinin kesilmesi işleminde takım performansı deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler hem soğutma sıvısı (bor yağı) hem de kuru kesme şartlarında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde bilgisayar kontrollü kesme makinesi kullanılmıştır. Bu amaçla ilk olarak iş parçası bağlama aparatı ile sabitlenmiş ve kesici takım bilgisayar kontrollü bir makineye bağlanmıştır. Böylelikle iş parçasının kesilmesi hazır hale gelmiştir ve titreşimler azaltılmıştır. Yapılan ön deneylerden sonra uygun kesme parametreleri belirlenmiştir. Böylelikle, lama testere ile kesme işlemleri sonucunda kesme ve ilerleme hızına (f) bağlı olarak kesme kuvvetleri (F_x , F_y , F_z), güç tüketimi (P), dış hasarları ve kesici takımda meydana gelen mikro kırıklar deneysel olarak incelenmiştir. Ayrıca DEFORM 2D programıyla nümerik analiz yapılarak kesme kuvvetleri, gerilmeler ve kesme işleminde oluşan sıcaklık değerleri elde edilmiştir.

4.1 Deneylerde Kullanılan Malzemenin Özellikleri

Bu çalışmada, deney malzemesi olarak AISI 1020 çeliği kullanılmıştır. Bu malzeme imalat endüstrisinde en çok kullanılan malzemelerden birisidir. Deneylerde kullanılan malzemenin boyutları 20x20 mm olup, kütük kare profilli bir geometriye sahiptir. Bu çeliğin kimyasal bileşimi Çizelge 4.1’ de, mekanik özellikleri ise Çizelge 4.2’ de verilmiştir.

Çizelge 4.1 AISI 1020 çeliğinin kimyasal bileşimi (Dülek vd. 2005).

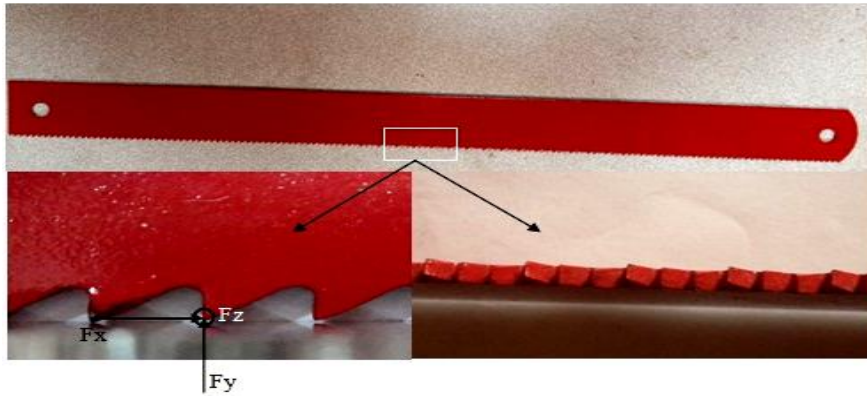
Kimyasal Kompozisyon (% W)							
AISI	C	Mn	Si	Cr	S	P	Ni
1020	0,172	0,453	0,050	0,040	0,037	0,020	0,018

Çizelge 4.2 AISI 1020 malzemesinin mekanik özellikleri (Altan vd. 2004).

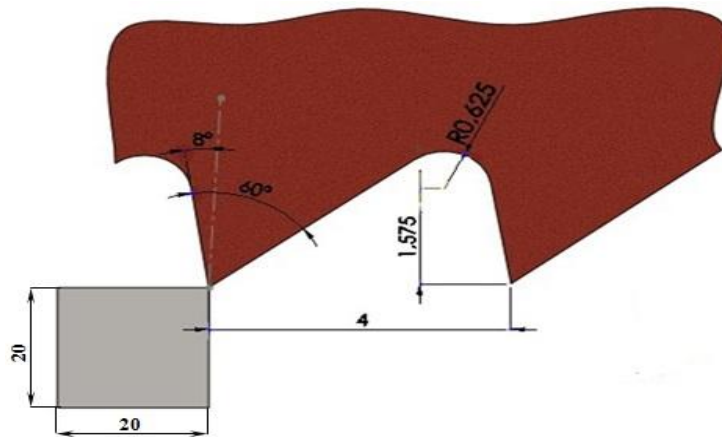
AISI	Elastisite Modülü (GPa)	Poisson Oranı	Yoğunluk (kg/m^3)	Isı İletkenliği ($\text{W/m } ^\circ\text{C}$)	Öz Isı ($\text{J/kg } ^\circ\text{C}$)
1020	200	0,3	7850	54,17-0,0298T	420+0,504T

4.2 Deneylerde Kullanılan Kesici Takımlar

Kesme işleminde uzunluğu 600 mm, yüksekliği 50 mm ve kalınlığı 2,5 mm olan AISI M2 HSS lama testere kullanılmıştır. Şekil 4.1’ de deneylerde kullanılan lama testere ve maruz kaldığı tepkisel kuvvetler gösterilmiştir. Testere üzerindeki diş sayısı 135’ tir. Deneylerde toplam 14 adet lama testere kullanılmıştır. Lama testere, gel git hareketi yapan yay biçimindeki tezgâh koluna pim deliklerinden cıvatalar ile bağlanmıştır. Aparat parça yardımıyla, testereye aksel doğrultuda bir ön gerilme uygulanmıştır. Bu sayede lama testerenin büyük kesme yükleri altında deformasyonu önlenmiş ve rijitliği sağlanmıştır. Deneylerde kullanılan testere ve iş parçasının geometrik özellikleri Şekil 4.2’ de verilmiştir. Testere dişi burun uç yarıçapı 0,003 mm’ dir. Testere malzemesinin kimyasal bileşimi Çizelge 4.3’ de, mekanik özellikleri Çizelge 4.4’ de verilmiştir.



Şekil 4.1 Deneylerde kullanılan lama testere ve maruz kaldığı tepkisel kuvvetler.



Şekil 4.2 Testerenin ve iş parçasının geometrik özellikleri (birim mm).

Çizelge 4.3 AISI M2 HSS malzemesinin kimyasal bileşimi (Akbari vd. 2010).

Kimyasal Kompozisyon (% W)					
AISI	C	W	Mo	Cr	V
M2 HSS	0,819	5,71	5,27	3,88	1,13

Çizelge 4.4 AISI M2 HSS malzemesinin mekanik özellikleri.

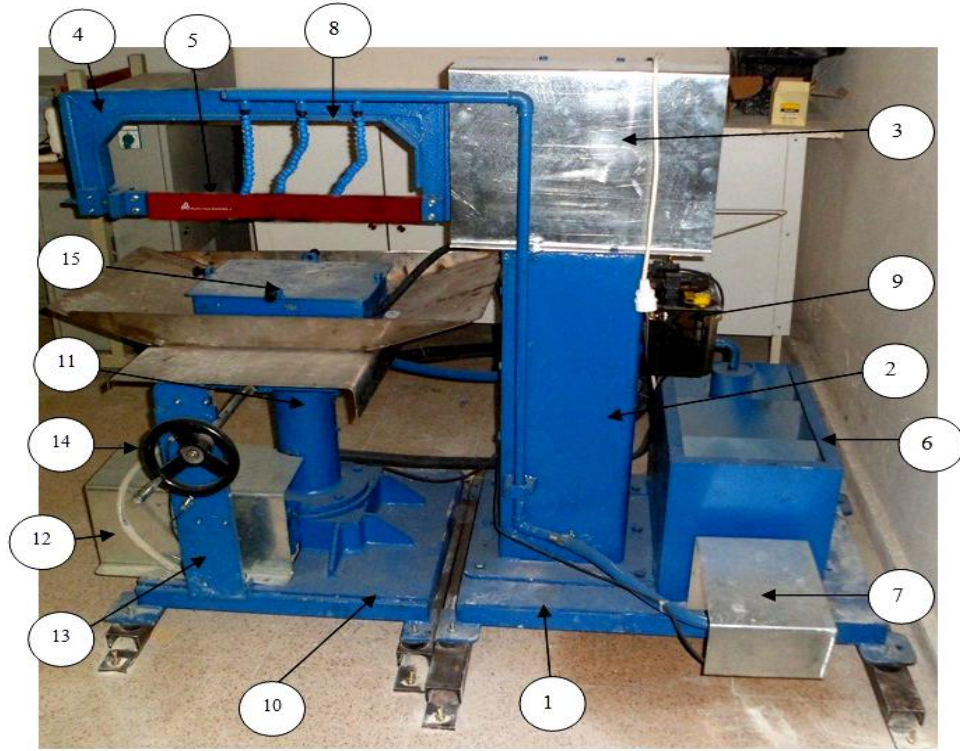
AISI	Elastisite	Poisson	Yoğunluk	Isı	Akma	Çekme
M2	Modülü	Oranı	(kg/m ³)	İletkenliği	Mukavemeti	Mukavemeti
HSS	(GPa)			(W/m °C)	(MPa)	(MPa)
	205	0,28	7950	25	1030	1150

4.3 Deneylerde Kullanılan Takım Tezgâhı

Deneylerde bilgisayar kontrollü kesme makinesi kullanılmıştır (Şekil 4.3). Makine iki bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, makinenin çalışma ve hareket mekanizması bulunmaktadır. İkinci bölümde ise, dinamometre ve bağlama aparatının yerleştirildiği makine tablası yer almaktadır. Bu iki bölümün ayrı olması, çalışma esnasında oluşacak titreşimlerden dinamometrenin etkilenmemesini ve iyi bir kesme ortamının oluşturmasını sağlamıştır. Deneylerde kullanılan kesme makinesinin bölümleri Şekil 4.4’ de gösterilmiştir (Eken 2013).



Şekil 4.3 Deneylerde kullanılan bilgisayar kontrollü kesme makinesi.



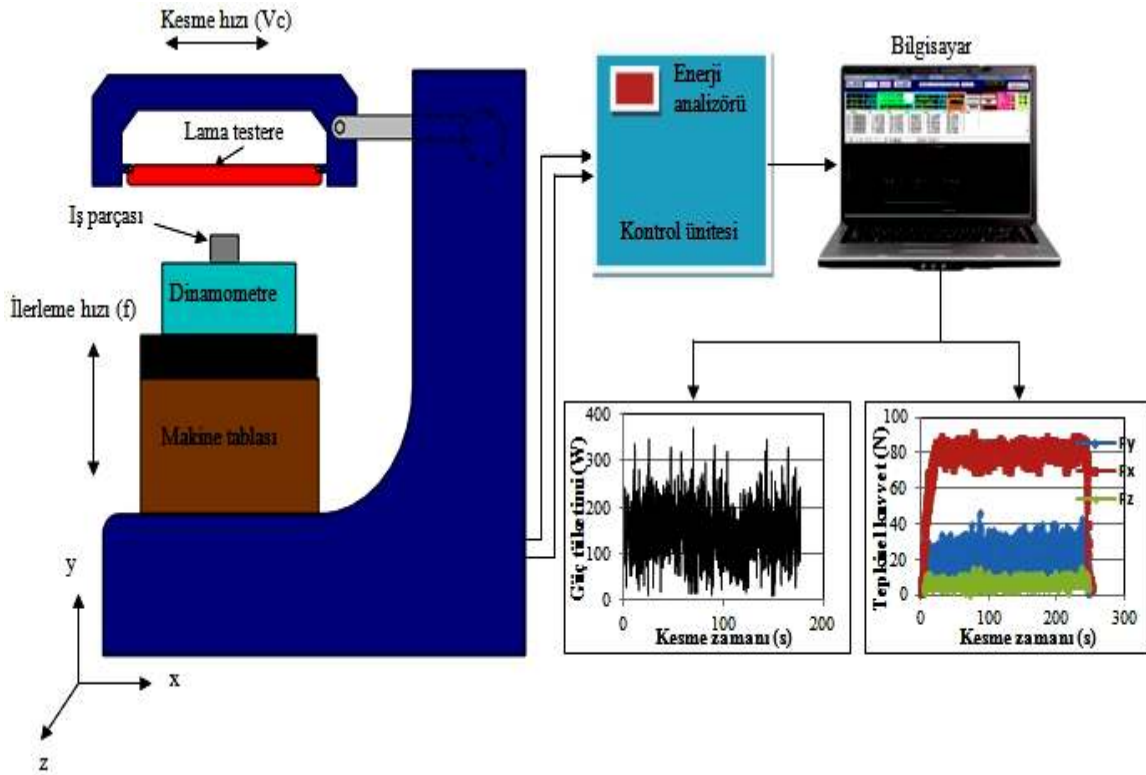
Şekil 4.4 Bilgisayar kontrollü kesme makinesinin bölümleri (Eken 2013).

Çizelge 4.5 Bilgisayar kontrollü kesme makinesinin bölümleri.

Parça No	Parçanın Adı	Parça No	Parçanın Adı
1	Kollu Testerenin Ayağı	9	Eksantrik Kolu Yağlama Ünitesi
2	Kolon	10	İş parçasını kaldıran alt tabla
3	Eksantrik Kol, Kızak ve Elektrik Motoru	11	Kovan ve Vidalı Mil
4	Hareketli Kol	12	Düşey Hareket Motor ve Redüktörü
5	Lama Testere	13	Dijital Cetvel ve Sensör
6	Soğutma sıvısı Deposu	14	Yatay Kızak Hareket Kolu
7	Soğutma sıvısı Pompası	15	Tabla, Dinamometre ve Kafes
8	Soğutma sıvısı fıskiyesi		

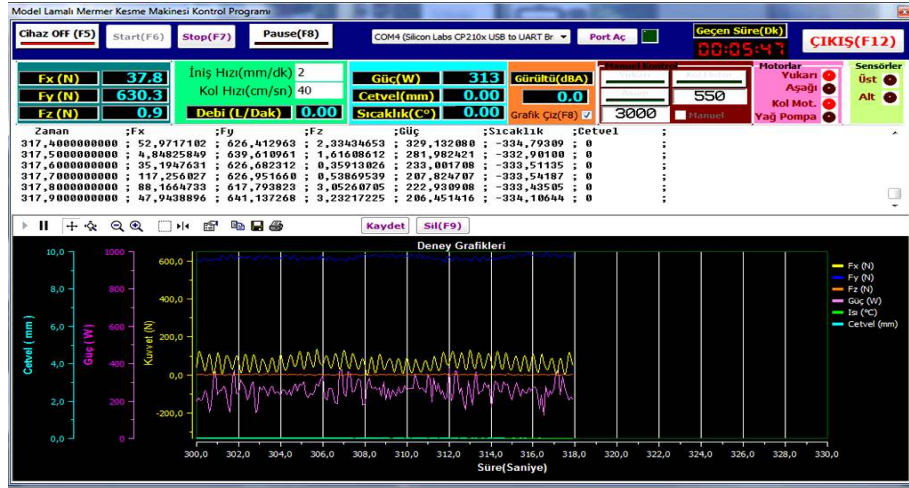
Makinenin birinci bölümünde kolun ileri geri hareketi için 0,75 kW gücünde bir AC motor kullanılmıştır. Bu kolun hareketinde redüktör ve eksantrik kızaktan yararlanılmıştır. Bu kızak sisteminin sürekli yağlanması için bir yağlama sistemi ile

yağlanmaktadır. Talaşı ortamdan uzaklaştırmak ve kesici takımın dişlerinde meydana gelen sıcaklığı önlemek için bor yağı kullanılmıştır. Bor yağı, bir tanktan pompa vasıtasıyla kesme ortamına gönderilmiştir. Soğutma sıvısı tankı, atık soğutma sıvısını dinlendirmek için üç kademelidir. Arıtılmış soğutma sıvısı kesme ortamına yeniden pompa vasıtasıyla gönderilmektedir. Makinenin ikinci bölümünde, bağlama aparatı ile sabitleştirilmiş iş parçası (AISI 1020) ve dinamometrenin yerleştirildiği tabla yer almaktadır. Tablanın üzerine sağa-sola hareket edebilen bir kızak vardır. Bu kızakın üzerine ise kesme esnasında oluşacak kuvvetleri (F_x , F_y , F_z) ölçmek için 200x100x80 mm boyutlarında bir dinamometre yerleştirilmiştir. Bu dinamometrenin üzerine bağlama aparatı bağlanmış ve daha sonra kesilecek numune bu aparat ile sabitlenmiştir. Kolonun alt kısmına ise 0,37 kW gücünde bir AC motor ve redüktör vardır ve bu sayede kolonun yukarı aşağı (y eksenı) hareketi sağlanmıştır. Tablanın z eksenindeki hareketi ise manuel olarak yapılmaktadır. Şekil 4.5’ de deneylerde kullanılan bilgisayar kontrollü kesme makinesinin şematik görünümü gösterilmiştir.



Şekil 4.5 Bilgisayar kontrollü kesme makinesinin şematik görünümü.

Donanımın bilgisayar tarafından kontrol edilebilmesi için endüstriyel bir IO kartı kullanılmış ve bu kart sayesinde elde edilen değerlerin bilgisayara aktarılması ve istenilen deney parametreleriyle de makineyi kumanda etmesi sağlanmıştır. Elde edilen değerler bilgisayara veri olarak kaydedilmektedir. Makineyi kumanda eden ve bazı verilerin toplanmasını sağlayan bilgisayar programının ara yüzü Şekil 4.6’ de verilmiştir.



Şekil 4.6 Bilgisayar kontrollü kesme makinesini kontrol eden program (Eken 2013).

Deneylerde kullanılan enerji analizörü lama testeresi motorunun elektrik enerjisi tüketimini tespit etmesi için bağlanılmış bir elektronik cihazdır. Testere motoru invertör ile kontrol edilmektedir. Testere motorunun invertör ile kontrol edilmesi, harmonik analizi yapabilen bir analizörün kullanılmasını zorunlu kılmıştır. Şekil 4.7’ de deneylerde kullanılan enerji analizörünün görünüşü verilmiştir.



Şekil 4.7 Kesme deneylerinde kullanılan enerji analizörü (Eken 2013).

4.4 Kesme Parametrelerinin Belirlenmesi

Kesme parametrelerinin belirlenmesi için çeşitli kesme ve ilerleme hızlarında ön deneyler yapılmıştır. Kesme işleminin doğruluğu için her bir parametre üçer kez tekrarlanmıştır. Elde edilen sonuçlarda, bu deney tekrarlarının ortalaması alınmıştır. En zor kesim ($V_c=18$ m/dk, $f= 8$ mm/dk) ve en kolay kesim ($V_c= 30$ m/dk, $f= 5$ mm/dk) dikkate alınarak kesme parametreleri belirlenmiştir (Çizelge 4.6). Bu parametrelerin belirlenmesinde gerçek endüstri şartları ve makinenin çalışma şartları göz önüne alınmıştır.

Çizelge 4.6 Deneylerde kullanılan kesme parametreleri.

Deney No	Kesme hızı V_c , (m/dk)	İlerleme hızı f , (mm/dk)
1	18	5
2	18	6
3	18	7
4	18	8
5	24	5
6	24	6
7	24	7
8	24	8
9	30	5
10	30	6
11	30	7
12	30	8

4.5 Diş Kırılmalarının Belirlenmesi

Kesme işleminden sonra testere dişlerinin kırılmaları belirlenmiştir. Kırılmalar hassas digital kumpas (0.01 hassasiyetinde) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) vasıtasıyla hassas şekilde belirlenmiştir. İlk olarak, kesme işleminde çalışan diş sayısı belirlenmiştir. Çalışan (kesme yapan) diş sayısı 28'dir. Diş yükseklikleri ölçülmüştür. Daha sonra kesme işlemi yapılmış ve tekrar diş yükseklikleri ölçülerek kırılma miktarları belirlenmiştir (Şekil 4.8). Ayrıca, yapılan çalışmanın doğruluğunu göstermek için çalışan dişler testere gövdesinden hassas bir şekilde alınarak taramalı elektron mikroskobunda (SEM) ayrıntılı olarak incelenmiştir.



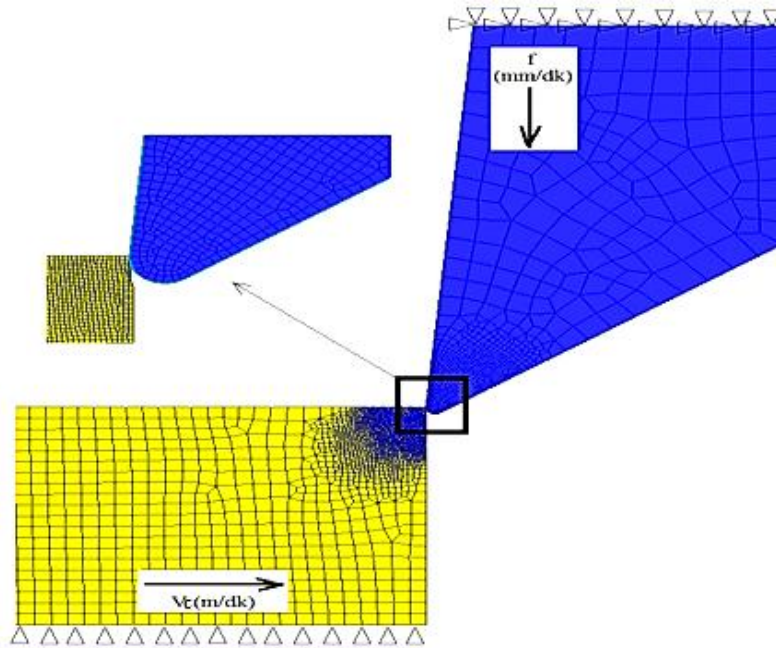
Şekil 4.8 Digital kumpas ile diş kırılmalarının ölçülmesi.

4.6 Kesme Performansı Analizi

Testerenin, tek bir parametre ile çalışma durumunu görmek için kesme performansı testleri yapılmıştır. Gerçek endüstri şartlarında tek bir parametre ile çalışıldığı için böyle bir deney amaçlanmıştır. Kesme performansı deneyleri için en zor parametre olan, $V_c=18$ m/dk ve $f=8$ mm/dk seçilmiştir. Kesme performansı testleri için toplam 80 adet deney yapılmıştır. Her beş deneyde diş kırılmaları hassas bir şekilde ölçülmüştür.

4.7 Sonlu Elemanlar Modeli

Günümüzde bilgisayarların ve yazılımların gelişmesiyle karmaşık problemlerin çözümü daha kolay hale gelmiştir. Kesme simülasyonları sayesinde kesme sıcaklığı, gerilmeler, güç tüketimi ve tepkisel kuvvet değerleri sayısal olarak hesaplanmaktadır. Simülasyonlar özellikle deneysel verilerin önceden tespit edilmesinde büyük kolaylık sağlamaktadır. Kesme simülasyonları genellikle uygun kesme koşullarını belirlemek için alternatif olarak kullanılmaktadır. Kesme analizleri ile ilgili literatürde çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Yapılan çalışmanın nümerik çözümlerinde plastik şekillendirme ve talaş kaldırma simülasyonlarında çoğunlukla tercih edilen Deform 2D sonlu eleman paket programı kullanılmıştır. Sonlu elemanlar modelinde, iş parçası 3146 düğüm, 3015 eleman ve testere dişi 862 düğüm, 802 izoparametrik dörtgen eleman kullanılmıştır. Analizlerde kullanılan sonlu eleman modelinin ağ yapısı Şekil 4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.9 Sonlu elemanlar modelinin ağ yapısı.

Sonlu elemanlar modelinde yüksek şekil değiştirme hızlarında yapılan plastik şekil değiştirme yaklaşımı olan Johnson-Cook modeli (Denklem 4.3) kullanılmıştır. Malzeme uzama oranı ve sıcaklığının bir fonksiyonu olarak plastik davranışlarını tanımlayan denklemlerin hedefi, gerilme-uzama davranışını, uzama oranı etkisini matematiksel

olarak ifade etmektir. Düşük (ve sabit) uzama oranlarında, metallerin bilinen deformasyon sertleşme ilişkisi Denklem 4.1' de verilmiştir (Yaşar vd. 2002).

$$\sigma = \sigma_0 + k\varepsilon^n \quad (4.1)$$

Bu denklemde σ_0 akma gerilmesini, n deformasyon sertleşmesi üssünü, k ise mukavemet katsayısını ifade etmektedir. Akma gerilmesine sıcaklığın etkisi, Denklem 4.2'de verilmiştir (Yaşar vd. 2002).

$$\sigma = \sigma_f \left[1 - \left(\frac{T - T_r}{T_m - T_r} \right)^m \right] \quad (4.2)$$

Burada T_m , ergime sıcaklığını; T_r , işlemin yapıldığı sıcaklığı yani referans sıcaklığını; σ_r , ise referans sıcaklıkta ölçülen referans gerilmeyi ve T ise σ 'nın hesaplandığı sıcaklığı göstermektedir. Johnson ve Cook, bu temel denklemleri kullanarak, Denklem 4.3'te verilen,

$$\sigma = (\sigma_0 + B\varepsilon^n) \left(C \ln \frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) [1 - (T^*)^m] \quad (4.3)$$

formülü oluşturmuşlardır. Bu denklem beş deneysel çalışmayla elde edilmiş parametreleri içermektedir (σ_0 , akma gerilmesini, B , Mukavemet katsayısını, C , Uzama oranı katsayısını, m , Deformasyon hızı duyarlılığı üssünü ifade etmektedir. T^* terimi Denklem 4.4' deki formülle hesaplanabilir (Yaşar vd. 2002).

$$T^* = \frac{T - T_r}{T_m - T_r} \quad (4.4)$$

Johnson ve Cook denklemedeki T_r değerini σ_0 'ın ölçüldüğü referans sıcaklığını, uzama oranı, referans uzama oranını (uygunluk için 1'e eşit kabul edilir), birçok malzemeyi test ederek buldular. AISI 1020 malzemesine ait Johnson-Cook parametreleri Çizelge 4.7'de verilmiştir.

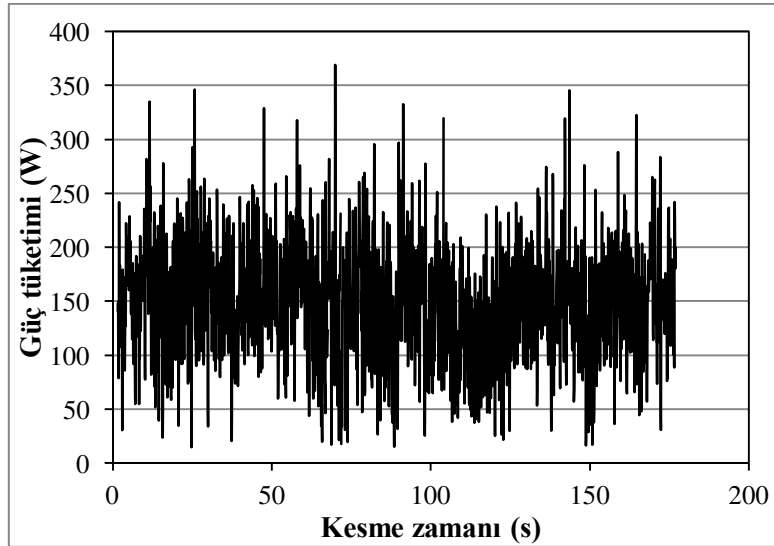
Çizelge 4.7 AISI 1020 malzemenin Johnson-Cook parametreleri (List vd. 2013).

A (MPa)	B (MPa)	n	C	m	d_1	d_2	d_3
520	269	0,282	0,0476	0,53	0,24	1,1	1,5

5. BULGULAR ve TARTIŞMA

5.1 Güç Tüketiminin Belirlenmesi

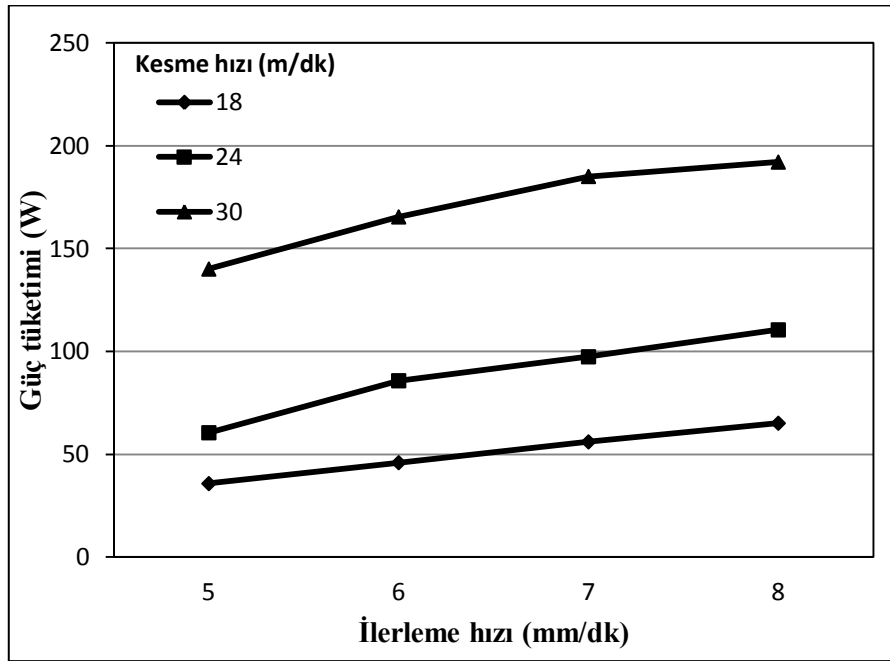
Kesme zamanına bağlı olarak makinenin harcadığı güç tüketimi Şekil 5.1’ de verilmiştir. Kesme işleminin başlamasıyla birlikte önemli bir güç tüketim değeri görülmektedir. Kesme zamanının ilerlemesiyle birlikte güç tüketiminin aynı seviyede yer almaktadır. Bununla birlikte, güç tüketimdeki bazı değerlerin minimum ve bazı değerlerin ise maksimum seviyelerde olduğu görülmektedir. Testere dişlerinin kesme işlemi yaparken güç tüketim değerleri daha yüksektir. Testere dişlerinin boşa çıktığı (geri gelirken) durumda güç tüketimi değerleri oldukça düşmüştür.



Şekil 5.1 Kesme zamanına bağlı güç tüketimi değişimi ($V_c= 30$ m/dk, $f=5$ mm/dk).

Farklı kesme hızı ve ilerleme hızlarına bağlı olarak güç tüketim değerleri Şekil 5.2’de verilmiştir. İlerleme hızının artmasıyla birlikte güç tüketimi önemli ölçüde artmıştır. Bununla birlikte, kesme hızının artmasıyla güç tüketimi artmıştır. Maksimum güç tüketimi ilerleme hızının en büyük olduğu (8 mm/dk) ve kesme hızının en büyük olduğu (30 m/dk) durumda elde edilmiştir. Maksimum güç tüketim artışı 5 mm/dk ilerleme ve 24 m/dk’ dan 30 m/dk’ ya çıktığında yaklaşık % 134 artmıştır. Bu artışlar ilerleme hızında daha düşüktür. Bu açıdan değerlendirdiğimizde güç tüketim değerlerinin belirlenmesinde kesme hızı önemli bir yere sahiptir. Kesme hızının artması, kol birim

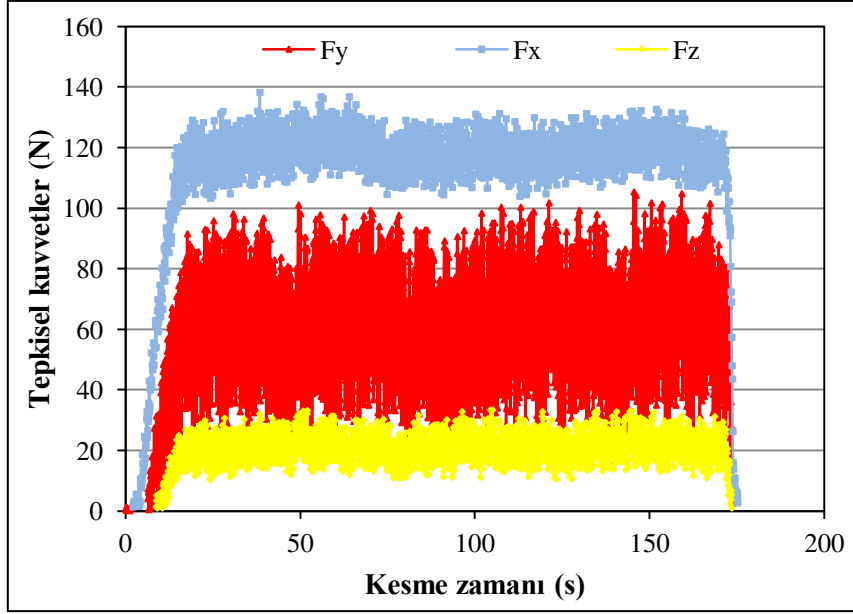
zamanda daha fazla ileri-geri hareket etmektedir. Böylece kolu hareket ettiren motor daha fazla dönmektedir. Motorun dönüş hızının artmasıyla daha fazla güç tüketmektedir. İlerleme hızının artışı güç tüketim değerlerinin artmasına katkı sağlamaktadır. İlerleme hareketinin artmasıyla, testere dişlerinin birim zamanda kesmesi gereken talaş miktarı artmaktadır. Talaş miktarının artmasıyla lama testere daha fazla güç tüketmektedir.



Şekil 5.2 Farklı kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı güç tüketiminin değişimi.

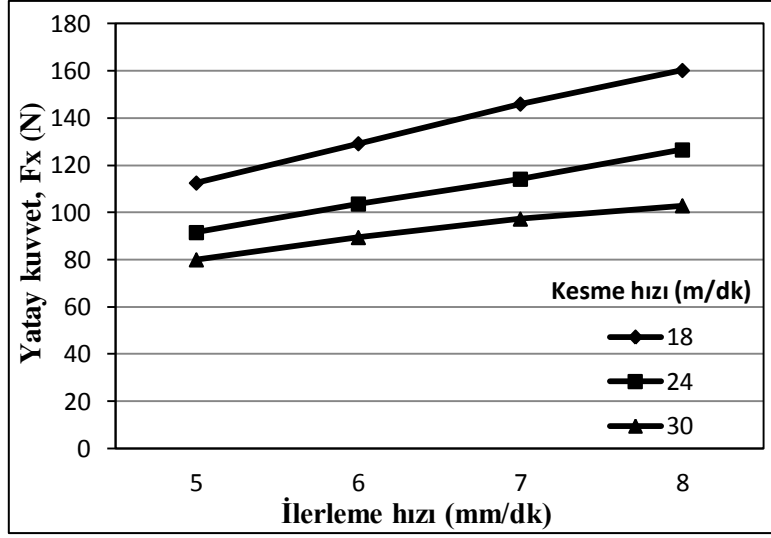
5.2 Tepkisel Kuvvetlerin Belirlenmesi

Kesme zamanına bağlı tepkisel kuvvetler Şekil 5.3’ de verilmiştir. Burada, en büyük kuvvetler kesme yönündeki F_x kuvvetidir. En düşük kuvvetler ise F_z yanal kuvvetlerdir. Kesme esnasında testere kesmeye başladıktan sonra kuvvetler hızlı bir şekilde artmakta ve belirli bir süre sonra kuvvetlerin kararlı hale geldiği görülmektedir. Aynı şekilde, kesme işleminin bitmesine yakın zamanda kuvvetlerin hızlı bir şekilde azaldığı görülmektedir. Uçun ve arkadaşlarının (2011) yaptıkları benzer bir çalışmada, kesme işleminin başlamasıyla birlikte kuvvetler önemli ölçüde artarken, kesme işleminin bitmesiyle kuvvetler azalmıştır.



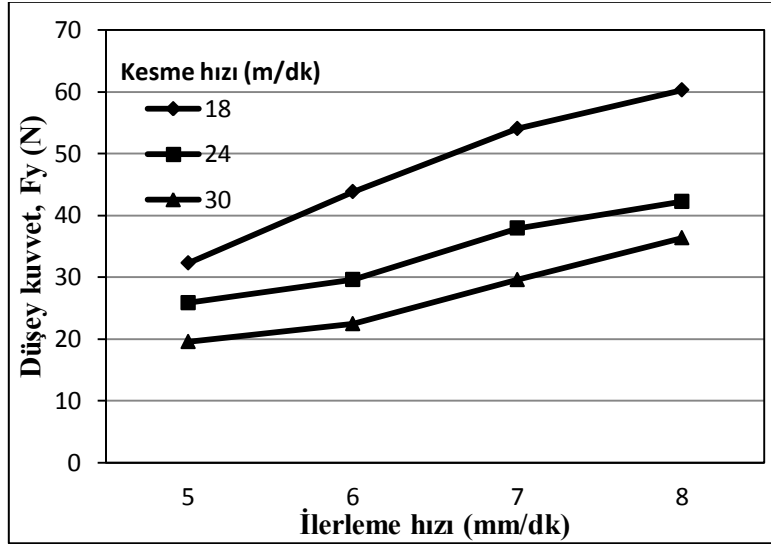
Şekil 5.3 Kesme zamanına bağlı tepkisel kuvvetlerin değişimi ($V_c = 30$ m/dk, $f = 7$ mm/dk).

Kesme hızı ve ilerleme oranına bağlı olarak elde edilen F_x kuvveti Şekil 5.4’de verilmiştir. F_x kuvveti, ilerleme oranının artmasıyla lineer olarak artarken, kesme hızının artmasıyla önemli ölçüde azalmıştır. F_x kuvveti imalat için önemlidir ve asıl kesme işlemini gerçekleştiren kuvvettir. Bu yüzden F_x kuvvetinin artması veya azalması kesme performansını doğrudan etkiler. İlerleme oranının artışı ile testere dişleri birim zamanda daha fazla talaş kaldırdığından bu kuvvetler önemli ölçüde artmıştır (Ahmad 1988). Bununla birlikte, kesme işleminde kesme hızının artmasıyla yine birim zamanda oluşan kesme miktarı azaldığından bu kuvvetler azalmıştır (Ahmad 1988). Maksimum F_x kuvvetleri ilerleme hızının en yüksek ve kesme hızını en düşük olduğu durumda elde edilmiştir. Kesme hızları arasında en büyük kuvvet artışı kesme hızının azalmasıyla meydana gelmiştir. Bu artış maksimum % 27’ dir. İlerleme hızının artması ile meydana gelen en büyük kuvvet artışı ise ilerleme hızının 5 mm/dk’ dan 6 mm/dk’ ya çıkması ile meydana gelmiştir. Bu artış yaklaşık % 15’ dir. Bu açıdan değerlendirdiğimizde kesme hızının F_x kuvvetinin üzerindeki etkisi daha fazladır. Elde edilen kuvvetler içerisinde kesme yönündeki F_x kuvvetleri diğer kuvvetlere göre daha büyüktür.



Şekil 5.4 F_x kuvvetinin kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı değişimi.

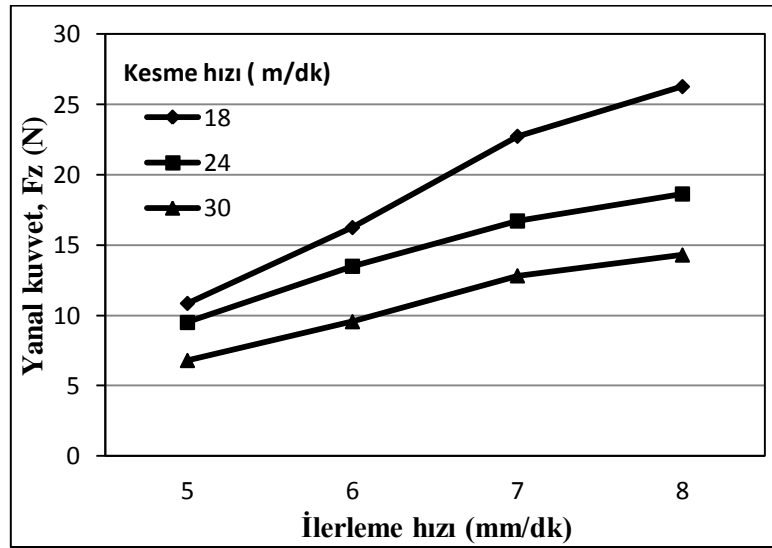
F_y kuvvetinin kesme ve ilerleme hızına bağlı değişimi Şekil 5.5 'de verilmiştir. Dik yönde etki eden F_y kuvveti, iş parçasının testere yüzeyine ilerleme yönündeki kuvvetidir. F_x kuvvetinde olduğu gibi, ilerleme hızının artmasıyla F_y kuvveti artarken, kesme hızı artışına bağlı azalmaktadır.



Şekil 5.5 F_y kuvvetinin kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı değişimi.

Kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı F_z kuvvetleri Şekil 5.6' da verilmiştir. Kesme esnasında testerenin yan yüzeyine etki eden kuvvettir. Kuvvetler içerisinde en düşük

kuvvetler yanal kuvvetler olarak elde edilmiştir. Maksimum Fz kuvveti en büyük ilerleme hızı ve en düşük kesme hızında 26.27 N olarak elde edilmiştir. İlerleme oranı ve kesme hızının Fz kuvvetleri üzerindeki etkisi, Fx ve Fy kuvvetleri ile aynıdır. Fz kuvvetlerinin artması kesme derinliği ve testerenin iş parçası içerisinde sıkışmasına bağlıdır. Çalışmamızda kullandığımız testere dişleri çapraz olduğu için, derin kesme işleminde testere iş parçasında sıkışmamıştır. Bu yüzden daha düşük Fz kuvvetleri elde edilmiştir. Fz kuvvetlerinin daha çok artması diş hasarları ve testere gövdesindeki hasarların meydana gelmesini önemli ölçüde etkiler.

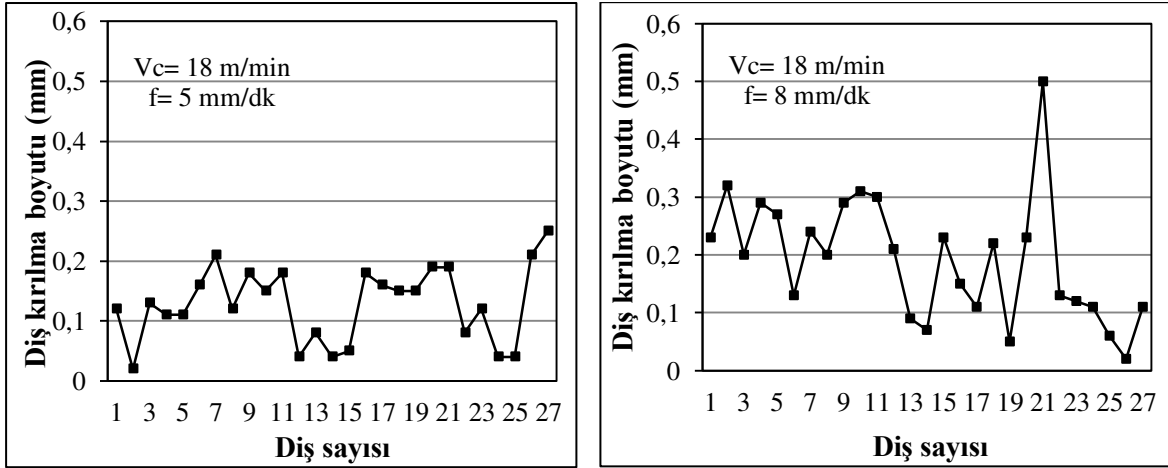


Şekil 5.6 Fz kuvvetinin kesme hızı ve ilerleme hızına bağlı değişimi.

5.3 Diş Hasarlarının Belirlenmesi

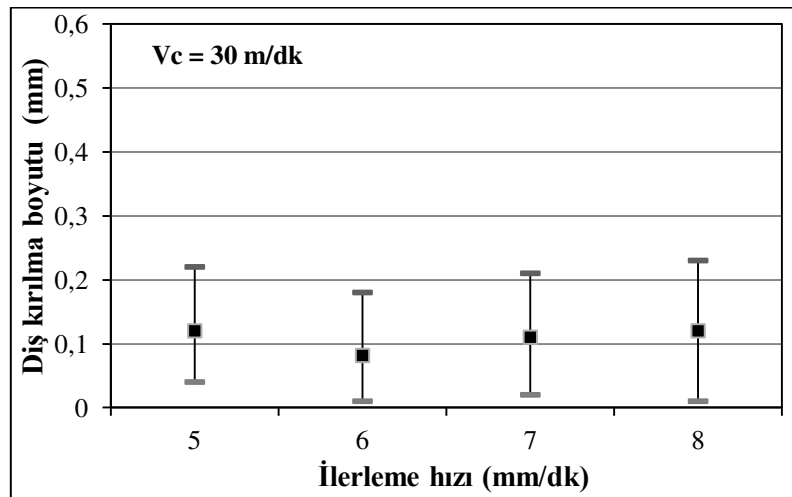
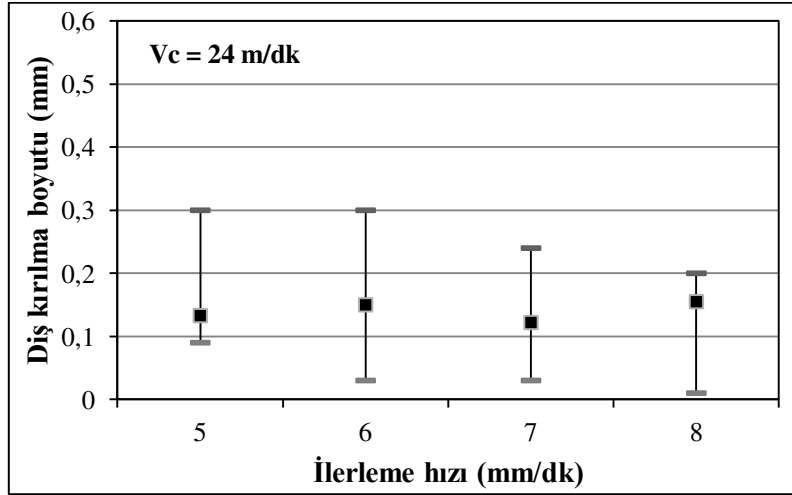
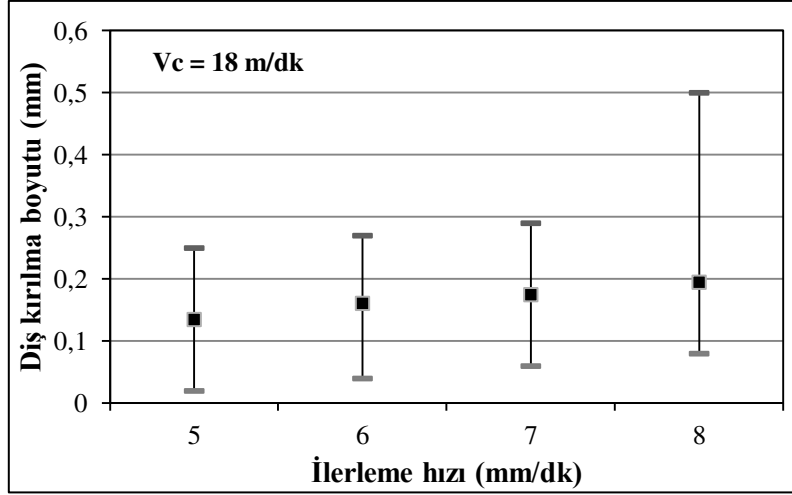
Her bir kesme parametresinden sonra diş hasarları hassas bir şekilde belirlenmiştir. Şekil 5.7’ de diş sayılarına bağlı olarak elde edilen diş kırılma boyutları verilmiştir. Aynı kesme hızlarında ilerleme oranının değişimi ile kesme yapan dişlerdeki kırılma boyutlarında bir miktar artma gözlenmiştir. Kesme yapan diş sayılarındaki kırılma boyutlarında bazı dişlerde düşük ve bazı dişlerde ise yüksek kırılma boyutları elde edilmiştir. Bunun sebebi olarak, kesme işlemi yapan bir dişin küçük bir kırılma boyutundan sonra, arkadan gelen dişteki kırılma boyutu artabilmektedir. Bu artış kuvvetlerin o diş üzerine gelme orantısı ile ilgilidir. Bununla birlikte ilerleme hızının 5

mm/dk'da 26 ve 27. diş kırılma boyutlarında artış görülmüştür. Bunun sebebi, iş parçasında kesme işlemi bitimine yakın çapak oluşmuştur. Bu çapak oluşumu, kesme işleminin bitmesine yakın kesme yapan son dişlerde kırılma boyutunun artmasına neden olduğu düşünülmüştür. Kesme esnasında 28. dişte iş parçasına temas etmektedir. Fakat, herhangi bir hasar görülmediği için göz önüne alınmamıştır.



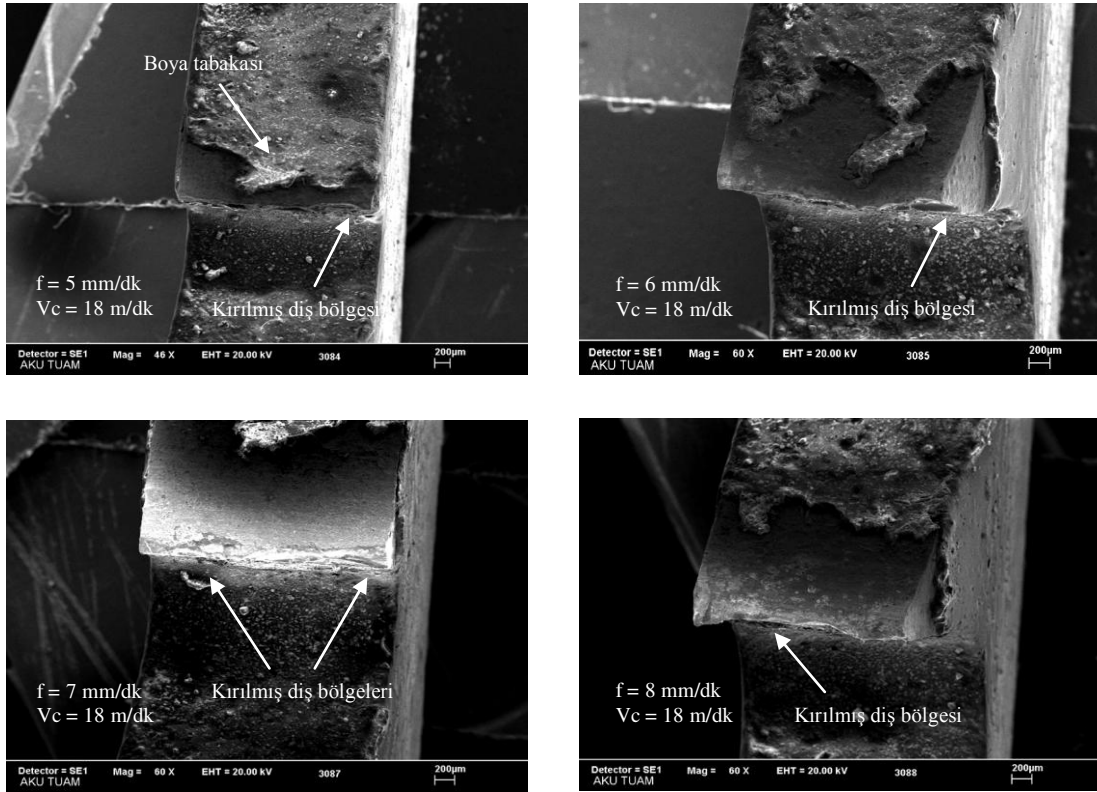
Şekil 5.7 Diş sayılarına bağlı diş kırılma boyutları.

Kesme yapan diş üzerindeki kırılmalar (Şekil 5.7) belirlendikten sonra bu verilerin ortalamaları alınmıştır. Şekil 5.8' de ortalamaları alınan diş kırılma boyutlarının kesme hızı ve ilerleme oranına bağlı değişimleri verilmiştir. Bütün kesme hızları için, ilerleme hızının artmasıyla birlikte diş kırılma boyutları bir miktar artmıştır. Kesme hızının artışı ise, diş kırılma boyutları azalmıştır. İlerleme hızının artmasıyla bir testere dişi daha fazla yüzeyi kesmektedir. Bununla birlikte, kesme hızının artmasıyla birim zamanda kesilen talaş hacmi azalmaktadır. Elde edilen bu sonuçlar F_x , F_y ve F_z kuvvetleri ile uyumlu olduğu görülmektedir. Diş kırılmalarında bu üç kuvvetin önemli etkisi bulunmaktadır. Bununla birlikte, kesme yönündeki F_x kuvvetleri daha büyüktür ve kırılma üzerinde önemli etkisi bulunmaktadır. Kuvvetler ve diş kırılmaları göz önüne alındığında, kesme açısından en zor şartlar, ilerleme hızının en büyük (8 mm/dk) ve kesme hızının en düşük (18 m/dk) olduğu görülmüştür. Benzer bir çalışmada, Dikenoğlu (2005) lama testere ile yapılan kesme işleminde dişlerdeki küçük kopmaların farklılık gösterdiğini belirlemiştir.

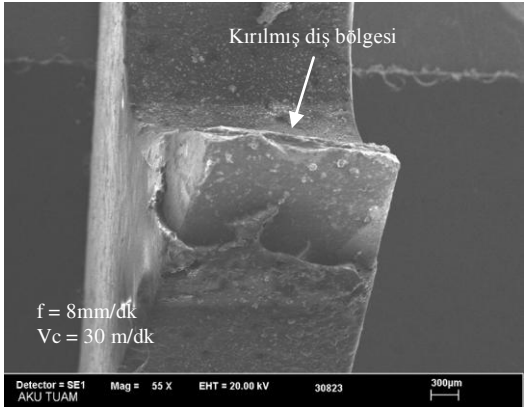
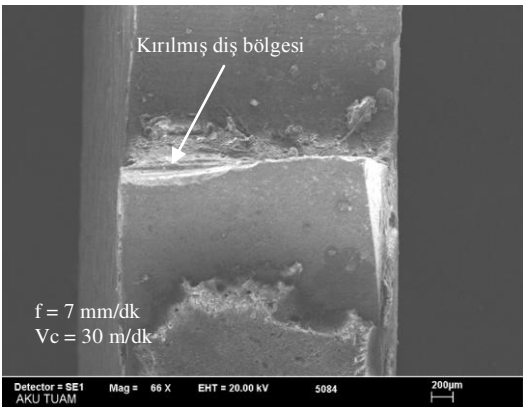
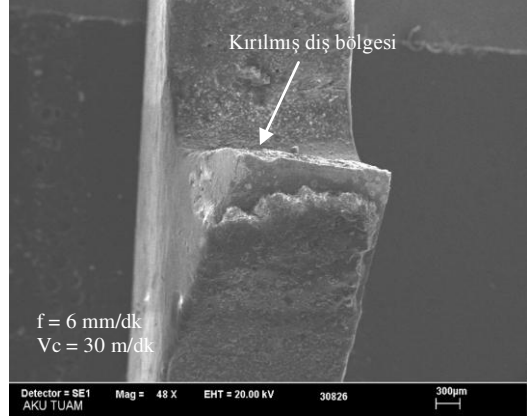
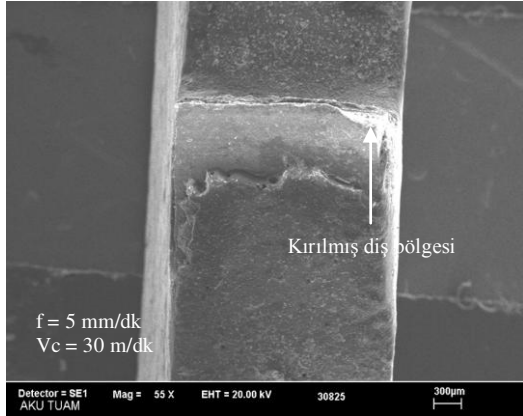
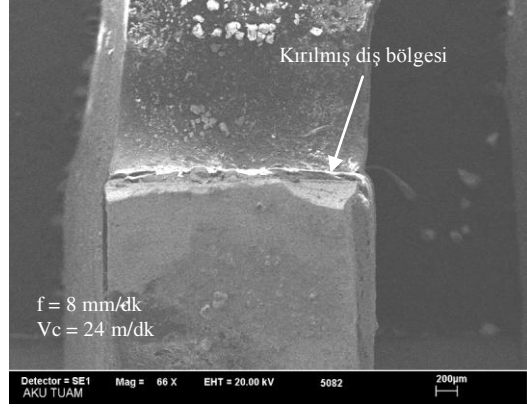
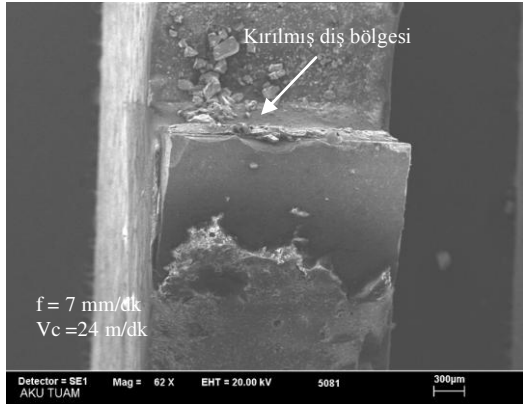
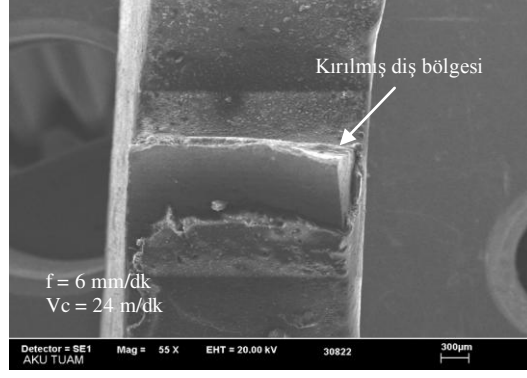
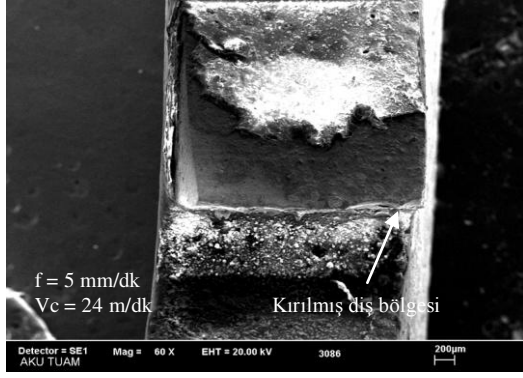


Şekil 5.8 Kesme ve ilerleme hızlarına bağlı olarak diş kırılmalarının değişimi.

Farklı kesme parametreleri için elde edilen diş kırılmalarının Taramalı Elektron Mikroskopundaki (SEM) analizlerde Şekil 5.9’ da verilmiştir. Yapılan SEM analizlerinde, ilerleme hızlarının artmasıyla ve kesme hızlarının azalmasıyla diş kırılma boyutlarında artışlar gözlenmiştir. Testere dişleri çaprazlama olduğundan (Şekil 4.1) kırılmalar diş kenarlarında daha fazla görülmektedir. Kırılma yüzeylerinde plastik deformasyonun olmadığı ve kırılmanın azda olsa gevrek kırılma şeklinde olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, kesme esnasında sürtünmeden dolayı bazı yüzeylerde aşınmaya benzer izler gözlense de, gerçekte abrazyon veya başka tür aşınma görülmemiştir. Testere dişleri üzerinde aşınmaya benzer görünüm olsada, bunlar testere üzerindeki boya tabakasını göstermektedir.

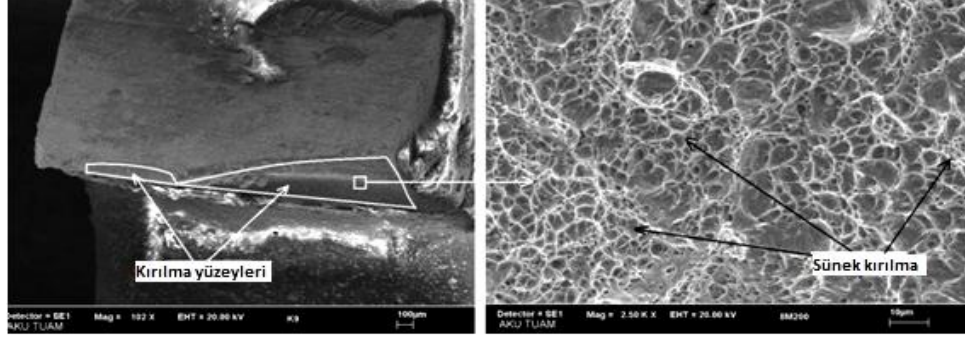


Şekil 5.9 Farklı kesme ve ilerleme hızlarında elde edilen diş kırılmalarının SEM görüntüleri.



Şekil 5.9 (Devam) Farklı kesme ve ilerleme hızlarında elde edilen diş kırılmalarının SEM görüntüleri.

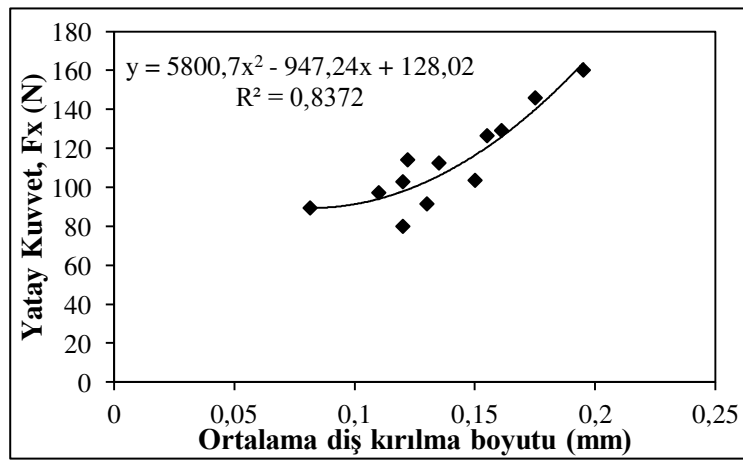
Şekil 5.10 'da kırılmış testere diş bölgesinin SEM görüntüsü verilmiştir. Yapılan incelemede, diş yüzeylerinde bazı bölgelerde gevrek kırılma olmasına rağmen, yüzeyde genellikle yarı sünek kırılma meydana gelmiştir. Bu gibi malzemelerin kırılma tokluğu oldukça yüksek olduğu için, mikro kırılmalar meydana gelmiştir.



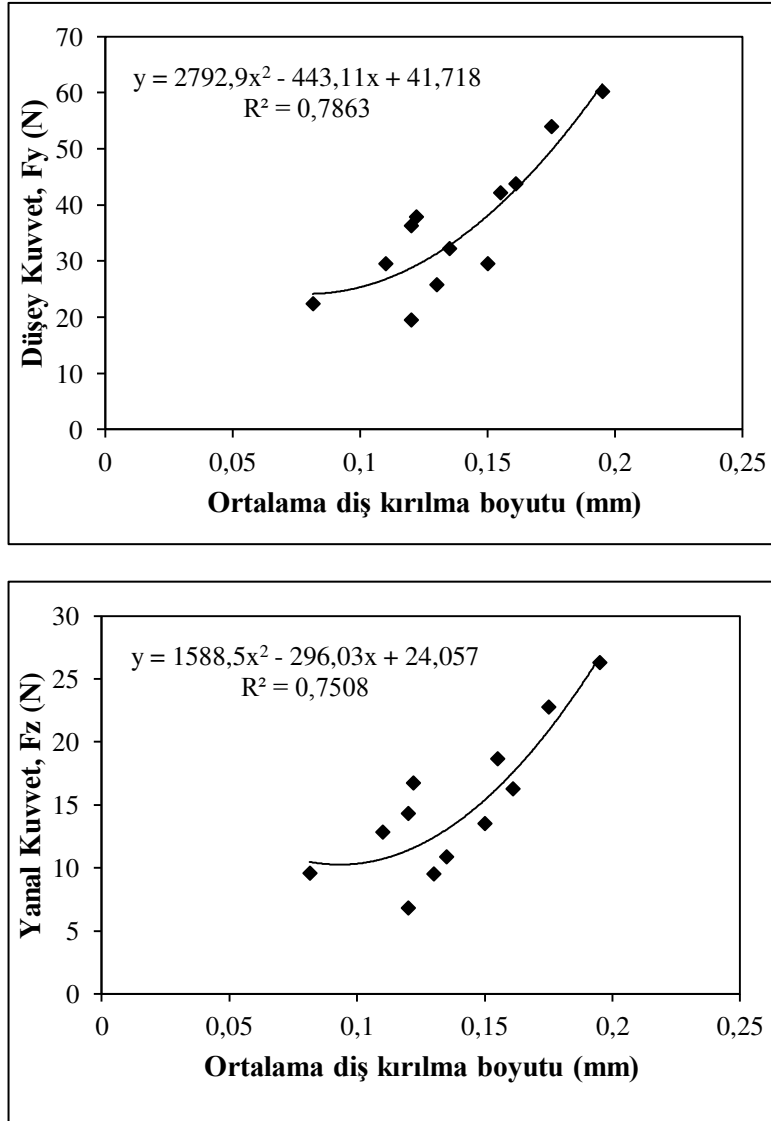
Şekil 5.10 Kırılmış testere diş bölgesinin SEM görüntüsü.

5.4. Diş Kırılmaları ve Kuvvetler Arasındaki İstatistiksel Analiz

Ortalama diş kırılma boyutları ile kuvvetler arasındaki ilişkileri belirlemek için istatistiksel bir analiz yapılmıştır. Şekil 5.11' de ortalama diş kırılma boyutu ile kuvvetler arasındaki istatistiksel ilişki verilmiştir. Yapılan analize göre, kesme işlemini sağlayan Fx kuvveti ile diş kırılma arasında diğerlerine göre güçlü bir ilişkinin olduğu görülmektedir. Fx kuvveti ile $R=0.87$, Fy kuvveti $R=0.85$ ve Fz kuvveti ise $R=0.8$ korelasyon katsayılarına sahiptir. Buradan, Fx kuvvetinin diş kırılması üzerinde en etkili olduğu görülmektedir.



Şekil 5.11 Ortalama diş kırılma boyutu ile kuvvetler arasındaki istatistiksel ilişki.



Şekil 5.11 (Devam) Ortalama diş kırılma boyutu ile kuvvetler arasındaki istatistiksel ilişki.

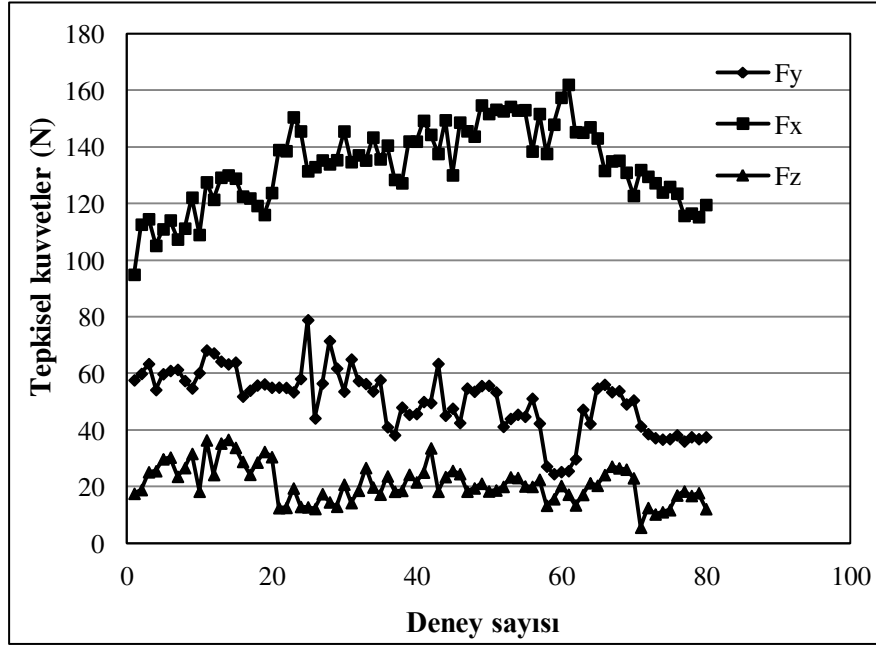
5.5 Kesme Performansının Belirlenmesi

Lamalı testerelerin kesme performansı iyi bir imalat süreci için önemlidir. Kesme performansını kuvvetler, güç tüketimi, enerji ve hasarlar gibi bazı faktörler belirlemektedir. Bununla birlikte verimli bir kesme işlemi için kesme performansını belirleyen bu faktörlerin bilinmesi gerekmektedir. Lama testerenin kesme performansının belirlenmesi için ilerleme ($f=8$ mm/dk) ve kesme hızı ($V_c=18$ m/dk) sabit parametreler olarak seçilmiştir. Bu parametrelerde toplam 80 deney yapılmıştır.

Çünkü 80. deneyden sonra lama testere dişlerinde gözle görülür kırıklar meydana gelmiştir. 80. deneyden sonra kırıklarla birlikte keskin köşeler artmıştır. Bununla birlikte tepkisel kuvvetlerde azalma görünse de, belirli deney sayısı sonrası dişlerdeki körelmeler artmış ve testere zorlanmıştır. Deneylerde soğutma sıvısı olarak bor yağı kullanılmıştır. Kesme işleminde oluşan mikro kırıklar taramalı elektron mikroskopunda (SEM) incelenmiştir.

5.5.1 Tepkisel Kuvvetlerin Belirlenmesi

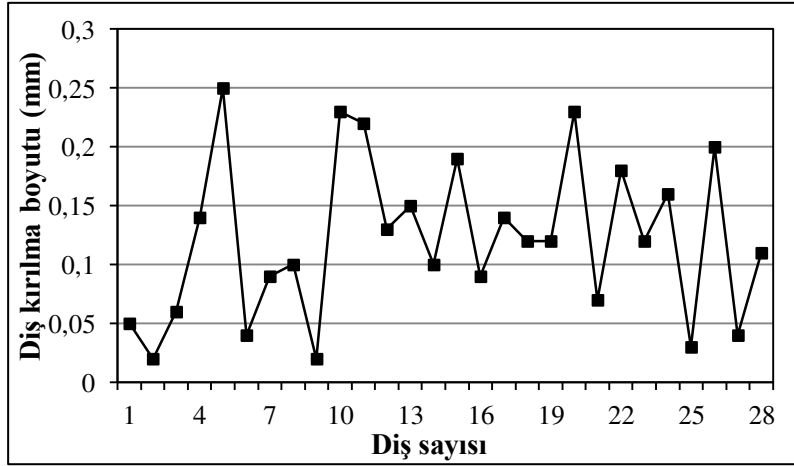
İmalat endüstrisinde yüksek verimlilik için, kesici takımların kesme performanslarına ve buna bağlı olarak iyi bir takım ömrüne gereksinim duyulmaktadır (Rao vd. 2012). Deney sayısına göre tepkisel kuvvetlerin değişimi Şekil 5.12’ de verilmiştir. En büyük kuvvetler kesme yönündeki F_x kuvvetleri olarak elde edilmiştir. Minimum kuvvetler ise F_z (yanal) kuvvetlerdir. F_x kuvvetleri belirli bir deney sayısına (60) kadar arttığı ve bu sayıdan sonra bu kuvvetler bir miktar azalmıştır. Kesme yapan dişler 60 deney sayısına kadar sürtünmeden dolayı önemli ölçüde zorlanmış ve bu durum kuvvetlerin artışına sebep olmuştur. 60 deneyden sonra bu dişlerde meydana gelen kırılmalar artmış ve yeni keskin yüzeyler meydana gelmiştir. Yeni keskin yüzeyler F_x kuvvetlerinin bir miktar azalmasına neden olmuştur. Bununla birlikte, F_y kuvvetlerinde ise, kararlı bir seviyede olmasına rağmen deney sayısı arttıkça bu kuvvetler bir miktar azalmıştır. Bu azalmanın diş kırılmaları ile olduğu söylenebilir. F_z kuvvetlerinde ise, deney sayısına bağlı olarak dalgalı bir grafik elde edilse de, genellikle aynı seviyede kalmıştır (Thaler vd. 2014). Sonuçta, kesme işleminde dişlerde meydana gelen kırılma (özellikle mikro kırılmalar) tepkisel kuvvetler üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Bu keskin köşeler her ne kadar kesme kuvvetlerini belirli bir oranda azaltsa da, testere dişlerinin uç bölgesini önemli ölçüde zayıflatmaktadır. Diş uçlarının zayıflamasıyla kırılmalar artmakta ve belirli bir süre sonra testerenin kesme kabiliyeti azalmaktadır.



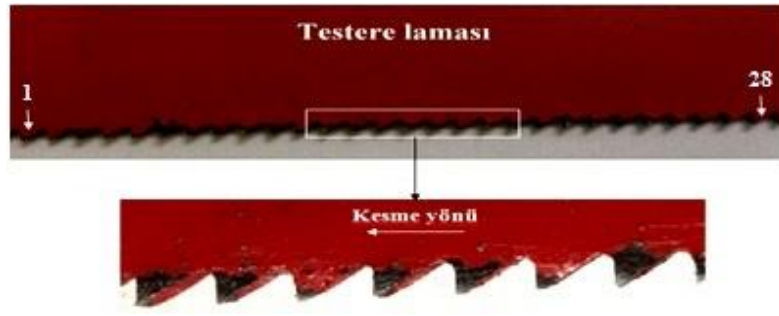
Şekil 5.12 Deney sayısına göre tepkisel kuvvetlerin değişimi.

5.5.2 Diş Hasarlarının Belirlenmesi

Lama testere ile yapılan kesme performansı deneylerinde diş kırılmaları görülmüştür. Dişlerde meydana gelen kırılmalar mikro şeklinde gerçekleşmiştir. Şekil 5.13' de lama testere üzerinde kesme yapan diş sayılarının 5. deneyden sonraki kırılma boyutları verilmiştir. Bazı dişlerdeki kırılmaların yüksek bazılarının ise daha düşük kaldığı görülmektedir. Ayrıca, genellikle yüksek kırılma boyutu görülen bir dişin hemen arkasındaki dişte daha küçük boyutlarda kırılma meydana gelmiştir. Daha fazla kırılma görülen diş daha fazla kuvvete maruz kalırken, hemen arkasındaki diş ise daha az zorlanmaya maruz kaldığı için kırılma küçük boyutta kalmıştır. Kesme işleminden sonra (5. deney sonrası) testeredeki diş hasarlarının görünümü Şekil 5.14' de verilmiştir. Burada ilk kesme işlemi yapan dişler 1. diştten başlamaktadır.

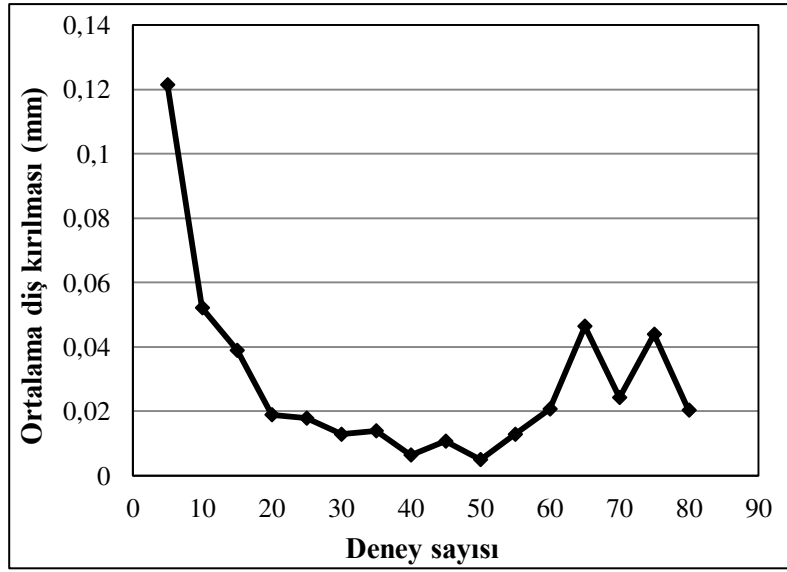


Şekil 5.13 Diş sayılarına bağlı kırılma boyutları (5. Deney).



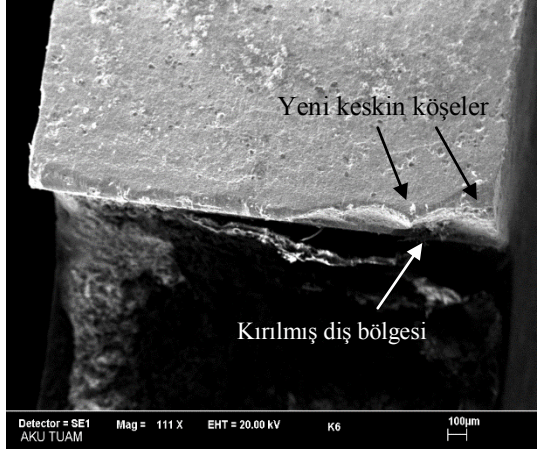
Şekil 5.14 Kesme işleminden sonra testerenin görünümü (5. deney sonrası).

Çalışmada toplam 80 deney yapılmış ve her 5 deney sonrasında diş kırılmaları ölçülmüştür. Kesme işlemi yapan toplam 28 diş olduğu için bu dişlerin kırılmaları ayrı olarak tespit edilmiştir (Şekil 5.13). Bu işlemten sonra bu dişlerdeki kırılmaların ortalamaları alınmış ve deney sayısına bağlı olarak ortalama diş kırılma boyutları belirlenmiştir. Şekil 5.15’ de deney sayısına bağlı olarak ortalama diş kırılma boyutları verilmiştir. Yeni testere ile ilk kesme işlemine başladıktan sonra diş kırılma boyutlarının çok yüksek olduğu görülmektedir. Deney sayısının artmasıyla birlikte kırılma boyutları önemli ölçüde azalmıştır. Bunun en önemli sebebi, büyük kırılma boyutundan sonra yeni keskin köşeler elde edilmiş ve kesme işlemini zorlamamıştır. 60. deneyden sonra kırılma boyutları belirli bir miktar yine artmıştır. Bu artış ile birlikte yeni keskin köşelerin oluşmasına neden olmuş ve bunun sonucu olarak da F_x ve F_y kuvvetlerinin bir miktar azalmasına neden olmuştur.

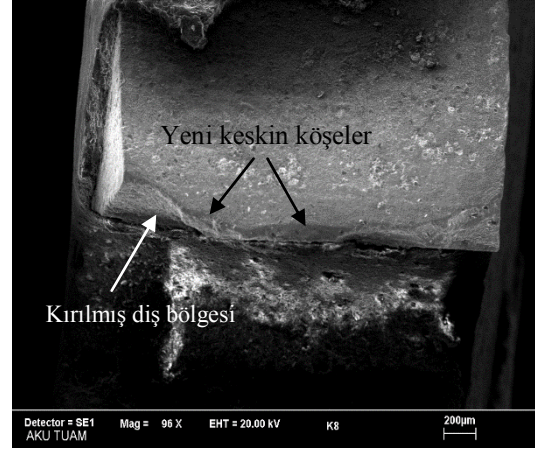


Şekil 5.15 Deney sayısına bağlı olarak diş kırılma boyutları.

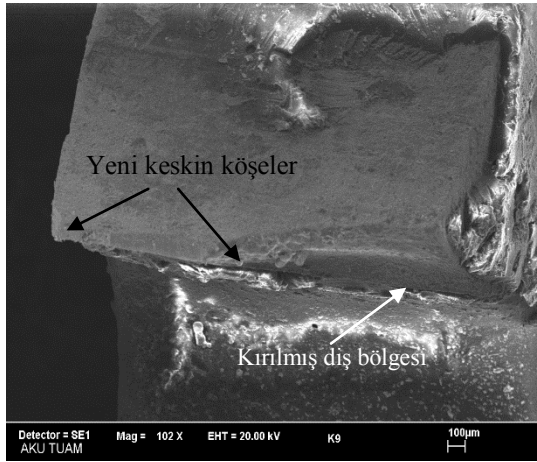
Kesme işlemlerinden sonra lama testerenin diş hasarlarının SEM görüntüsü Şekil 5.16'da verilmiştir. Belirli deneylerden sonra alınan görüntülerde, en önemli sonuç diş kırılmalarının genellikle dişlerdeki köşe bölgelerinde meydana gelmiştir. Dişlerin orta bölgelerinde de kırılmalar olmasına rağmen, köşe bölgelerinde ise daha fazladır. Bunun iki önemli sebebi bulunmaktadır. Birincisi, deneylerde kullanılan testerenin diş geometrileri çaprazlama şeklindedir. Bu şekilde olmasından dolayı ilk kesme yapan dişlerin uç bölgeleridir. İkinci olarak, kesme işleminde küçük boyutlarda olsada yanıl kuvvetler (F_z) meydana gelmektedir. Bu kuvvetler ilk olarak dişin uç bölgelerine etki etmektedir. Bundan dolayı daha fazla kırılma meydana geldiği görülmektedir.



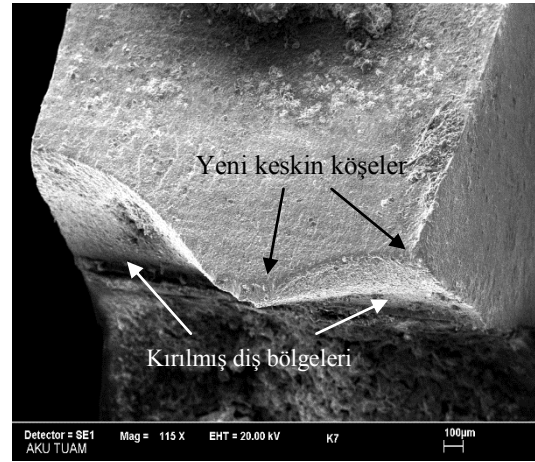
a)



b)



c)



d)

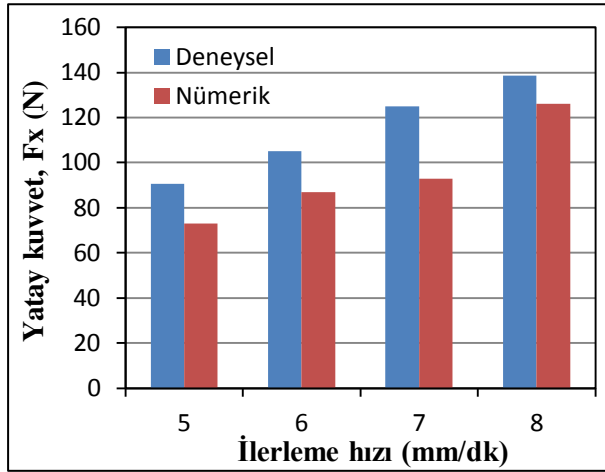
Şekil 5.16 Kesme işleminden sonra dişlerin SEM görüntüsü. a) 5. deney b) 30. deney c) 60. deney d) 80. deney.

5.6. Sonlu Elemanlar Analizi

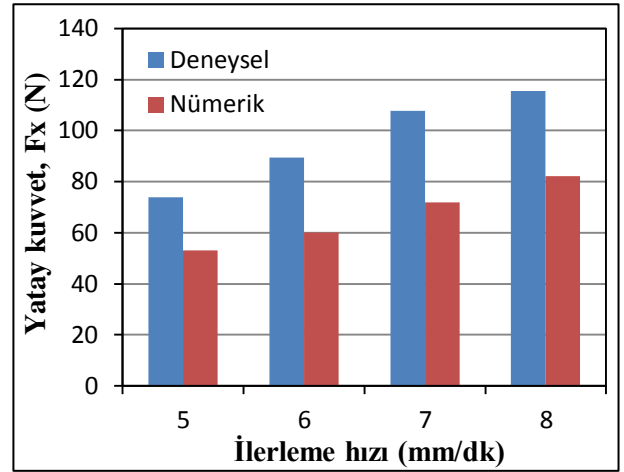
5.6.1 Deneysel ve Nümerik Analizlerin Karşılaştırılması

Yapılan çalışmalar sonunda her bir ilerleme ve kesme hızı için deneysel ve nümerik sonuçlar arasındaki karşılaştırmalar incelenmiştir. Yatay kuvvetlerin (F_x) karşılaştırılması Şekil 5.17' de, düşey kuvvetlerin (F_y) karşılaştırılması ise Şekil 5.18' de verilmiştir. Yapılan değerlendirmede ilk dikkat çeken nokta; nümerik ve deneysel sonuçlar arasındaki genel olarak iyi bir uyum olduğudur. Nümerik ve deneysel veriler

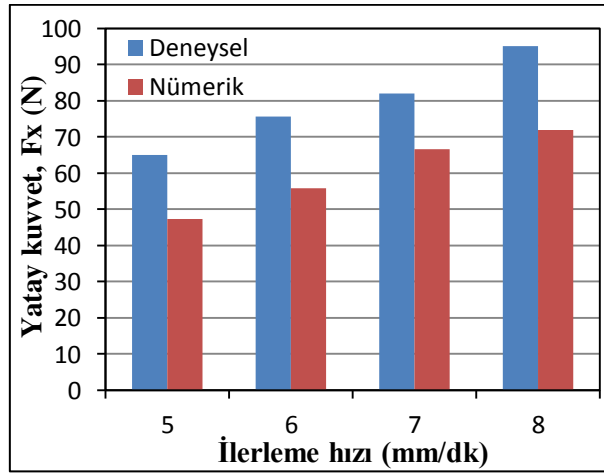
arasındaki uyumun birbirine en yakın olduğu parametre %98 ile $V_c=18$ m/dk, $f=7$ mm/dk olan düşey kuvvette (F_y) görülmüştür. Deneysel ve nümerik sonuçlar arasında farklar görülmektedir. Bunun nedeninin sürtünmeden kaynaklandığı düşünülmektedir. Deneysel ve nümerik çalışma için, ilerleme miktarının artmasıyla F_x kuvveti önemli ölçüde artmıştır. Deneysel ve nümerik sonuçların birbirine yakın değerler elde edildiği görülmüştür.



a)

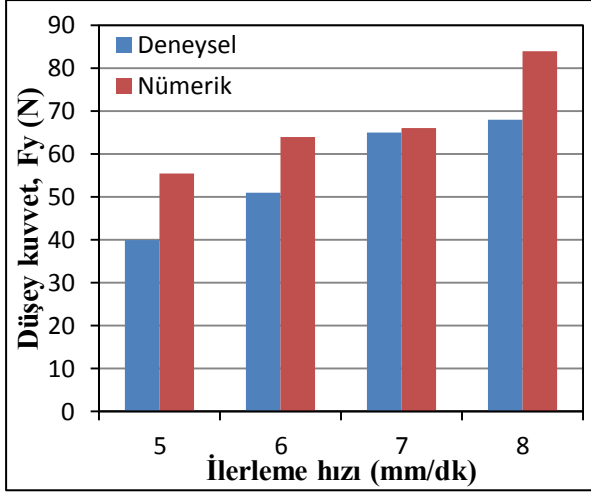


b)

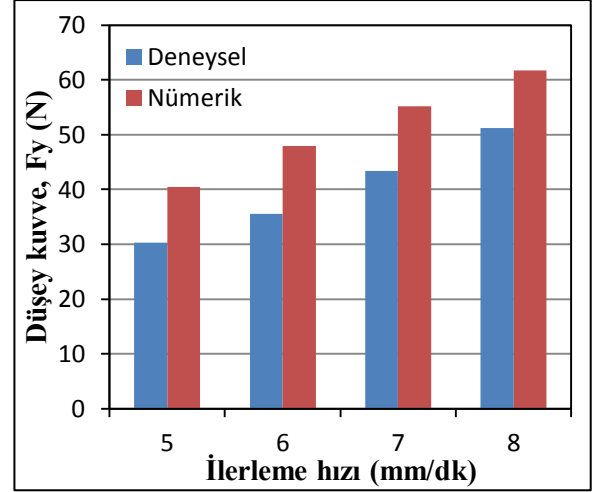


c)

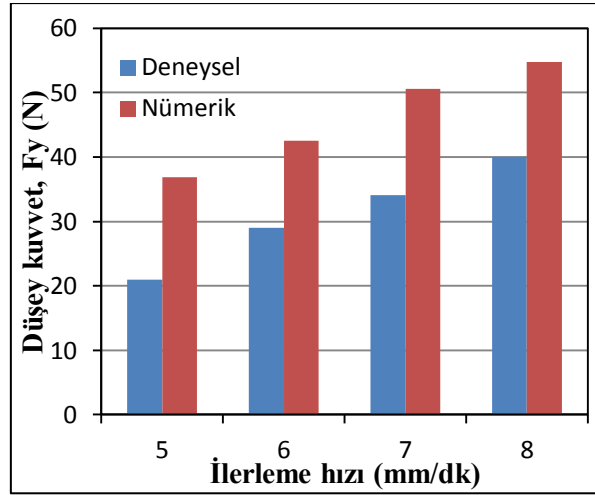
Şekil 5.17 İlerleme hızlarına bağlı yatay kuvvetlerin karşılaştırması. a) $V_c=18$ m/dk b) $V_c=24$ m/dk c) $V_c=30$ m/dk



a)



b)



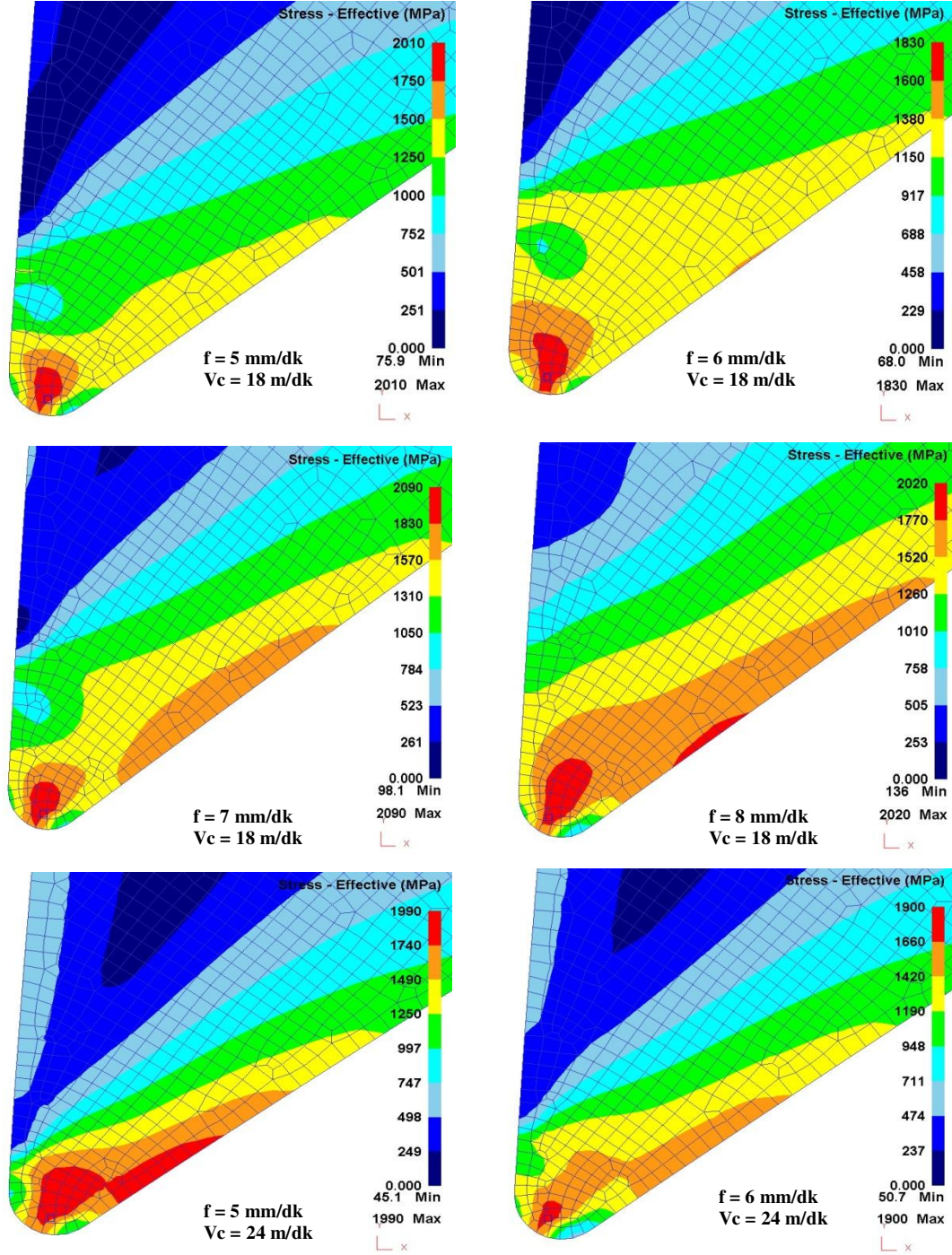
c)

Şekil 5.18 İlerleme hızlarına bağlı düşey kuvvetlerin karşılaştırması. a) $V_c=18$ m/dk b) $V_c=24$ m/dk c) $V_c=30$ m/dk

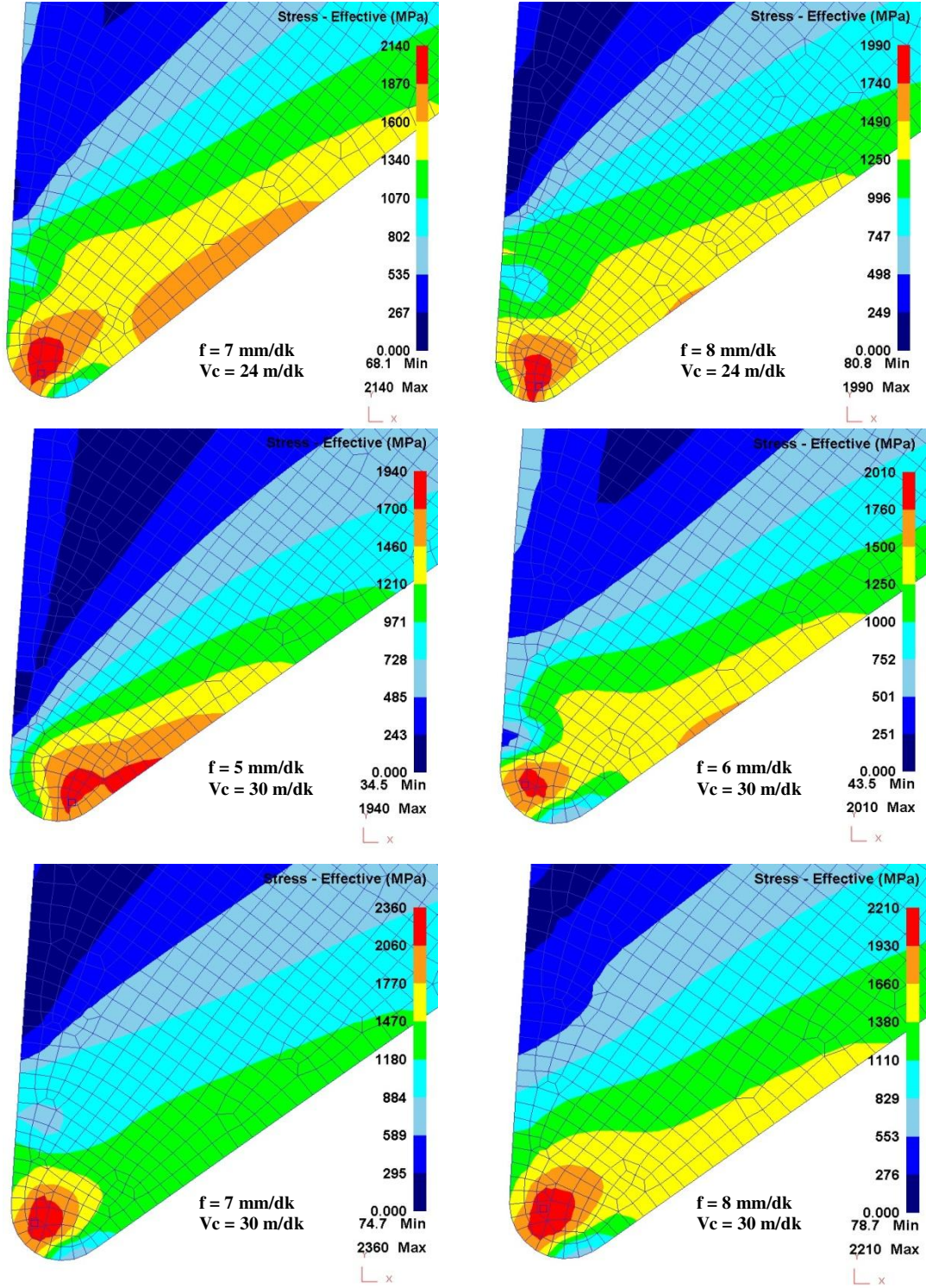
5.6.2 Testerede Oluşan Eşdeğer Gerilmeler

Kesme işleminde sonlu elemanlar yöntemi ile nümerik analiz yapılmış ve takım üzerindeki eşdeğer gerilmeler elde edilmiştir (Şekil 5.19). Analizlerde, farklı kesme hızı ve ilerleme hızları kullanılmıştır. Kesme işleminde testere dişinin ön kısmında kritik eşdeğer gerilmeler meydana gelmiştir. Kesme hızının artmasıyla birlikte daha kolay kesme işlemi yaptığı için eşdeğer gerilmeler azalmaktadır. İlerleme miktarının

artmasıyla kritik bölgedeki gerilmelerin önemli ölçüde arttığı görülmüştür. Dış kırılmaları bu kritik bölgelerde meydana gelmektedir. Testere lamasının akma mukavemeti (1030 MPa) göz önüne aldığımızda bu kritik bölgedeki gerilmelerin önemli ölçüde yüksek olduğu belirlenmiştir.



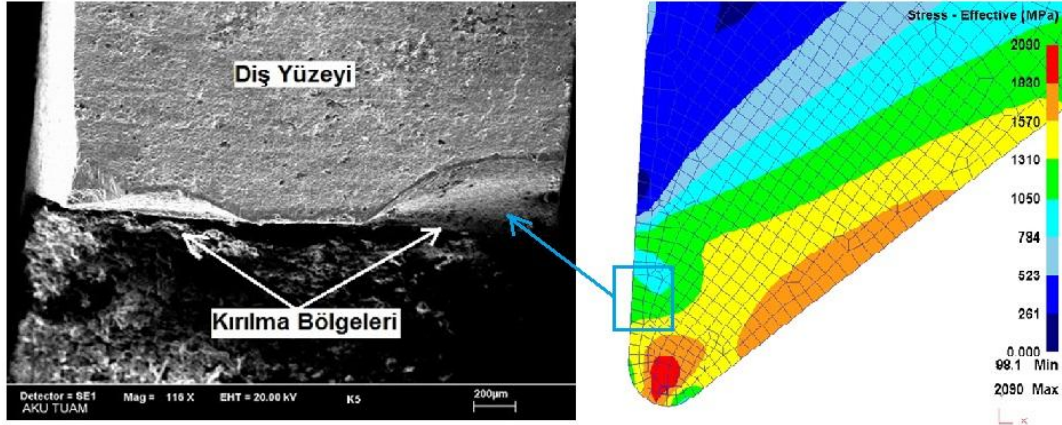
Şekil 5.19 Testerenin kesme ve ilerleme hızlarına bağlı eşdeğer gerilme değerleri.



Şekil 5.19 (Devam) Testerenin kesme ve ilerleme hızlarına bağlı eşdeğer gerilme değerleri.

Kesme yapan dişlerde oluşan maksimum eşdeğer gerilmeler testerenin uç kısmında oluşmaktadır. Bununla birlikte, testere dişinin uç kısmında kırılmalar meydana

gelmiştir. Testere dışında en fazla kırılmanın meydana geldiği bölge Şekil 5.20’ de gösterilmiştir. Bu bölgede kırılmanın fazla olmasının nedeni, akma mukavemetini (1030 MPa) göz önüne aldığımızda bu bölgedeki gerilme değerleri akma mukavemetinin üstünde olduğu için bu bölgede kırılmalar meydana gelmiştir. Elde edilen SEM görüntüleri ile nümerik sonuçların birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

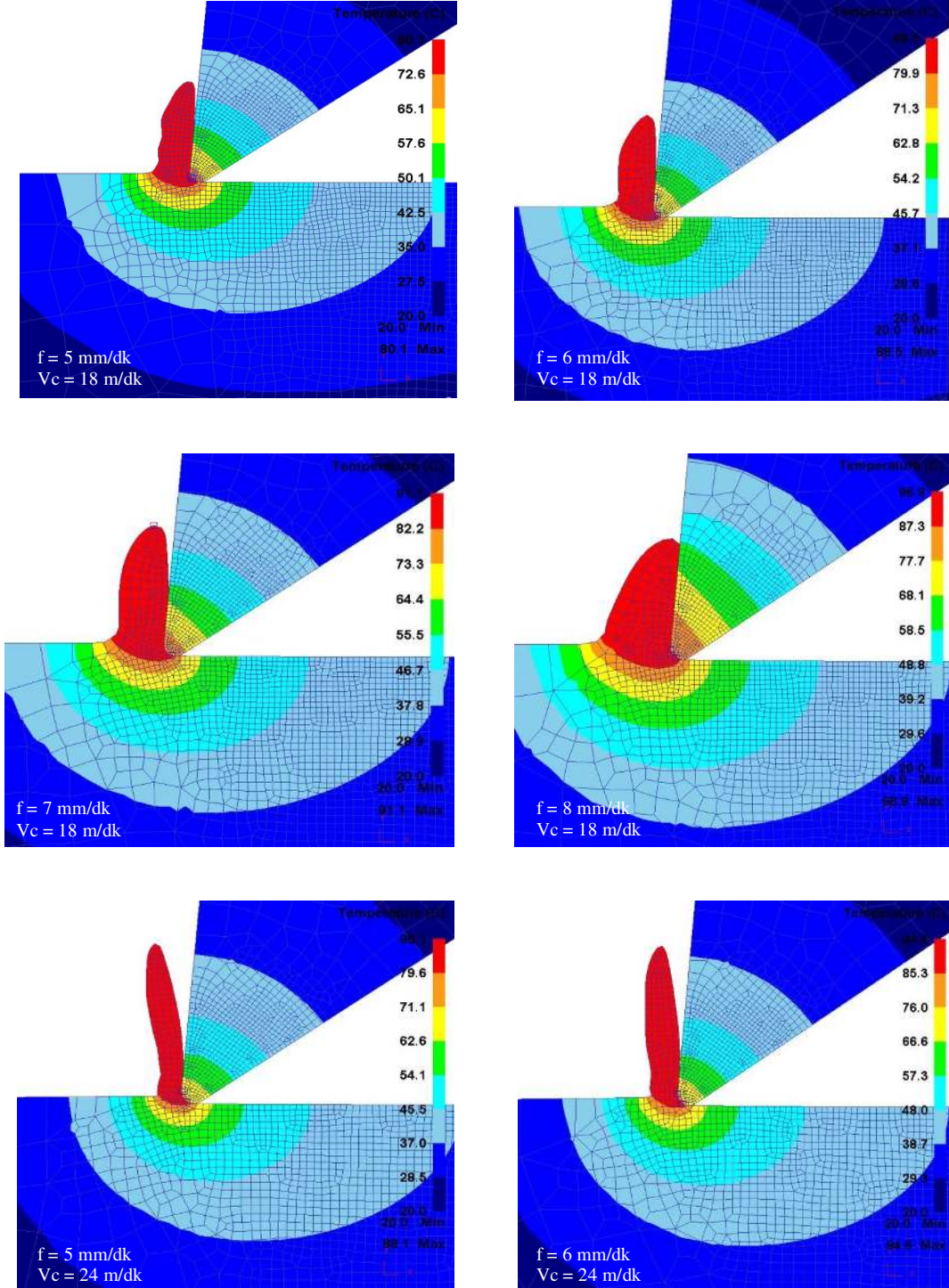


Şekil 5.20 Testere dışında oluşan kırılma bölgesi.

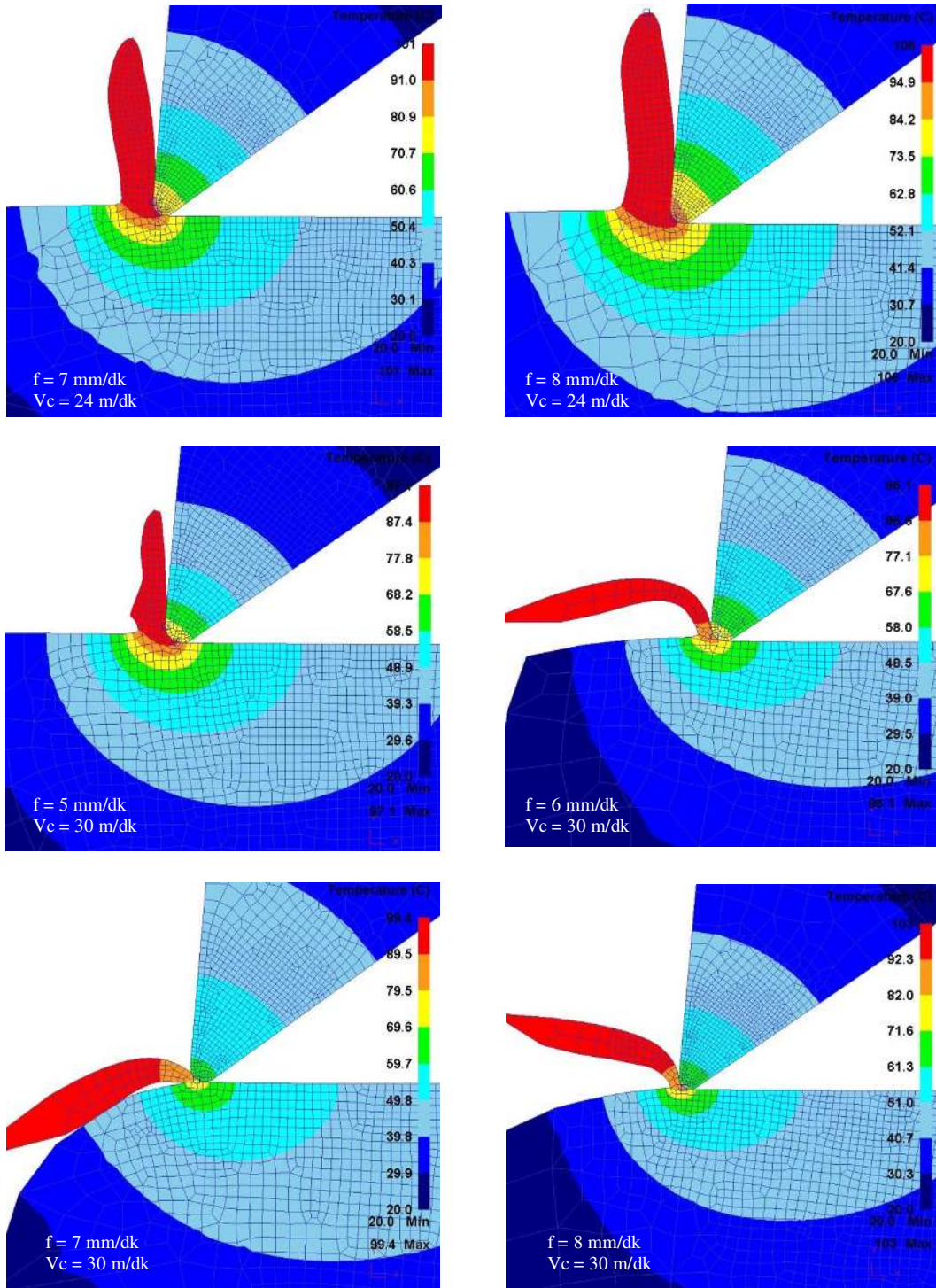
5.6.3 Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Sıcaklık Analizi

Sonlu elemanlar modeli ile her bir ilerleme (f) ve kesme hızlarında (Vc) sıcaklık analizleri yapılmıştır (Şekil 5.21). Analizlerde kuru kesme şartları göz önüne alınmıştır. Kesme esnasında meydana gelen maksimum ve minimum sıcaklık değerleri belirlenmiştir. Şekil 5.21 incelendiğinde, ilerleme ve kesme hızı arttıkça sıcaklığın arttığı görülmektedir. İlerleme miktarı arttıkça birim zamanda kesilen talaş miktarı artmaktadır. Bu durum kesme sıcaklığını artırmıştır. Bununla birlikte kesme hızının artmasıyla testereye gelen kuvvetlerin azaldığı ancak sıcaklığın arttığı görülmüştür (Chandrasekaran 1984). İş parçasının ısı iletim katsayısı testerenin ısı iletim katsayısından büyük olduğu için, kesme ortamında oluşan sıcaklık iş parçasına daha fazla etki etmektedir. Bununla birlikte, kesme esnasında oluşan talaşın kesiti küçük olduğundan maksimum sıcaklıklar kesilen talaş da oluşmuştur. Lama testerenin dış profili çok küçük olduğundan kesme esnasında meydana gelen sıcaklıkları deneysel olarak belirlemek güçtür. Bu nedenle sıcaklık analizleri nümerik olarak belirlenmiştir.

Kesme kuvvetlerinin belirlenmesinde deneysel ve nümerik analizler incelendiğinde elde edilen veriler birbirine çok yakındır. Bu açıdan değerlendirildiğinde nümerik olarak elde edilen sıcaklık değerleri de deneysel çalışmalara yakın olduğu söylenebilir (Taylan vd. 2004).

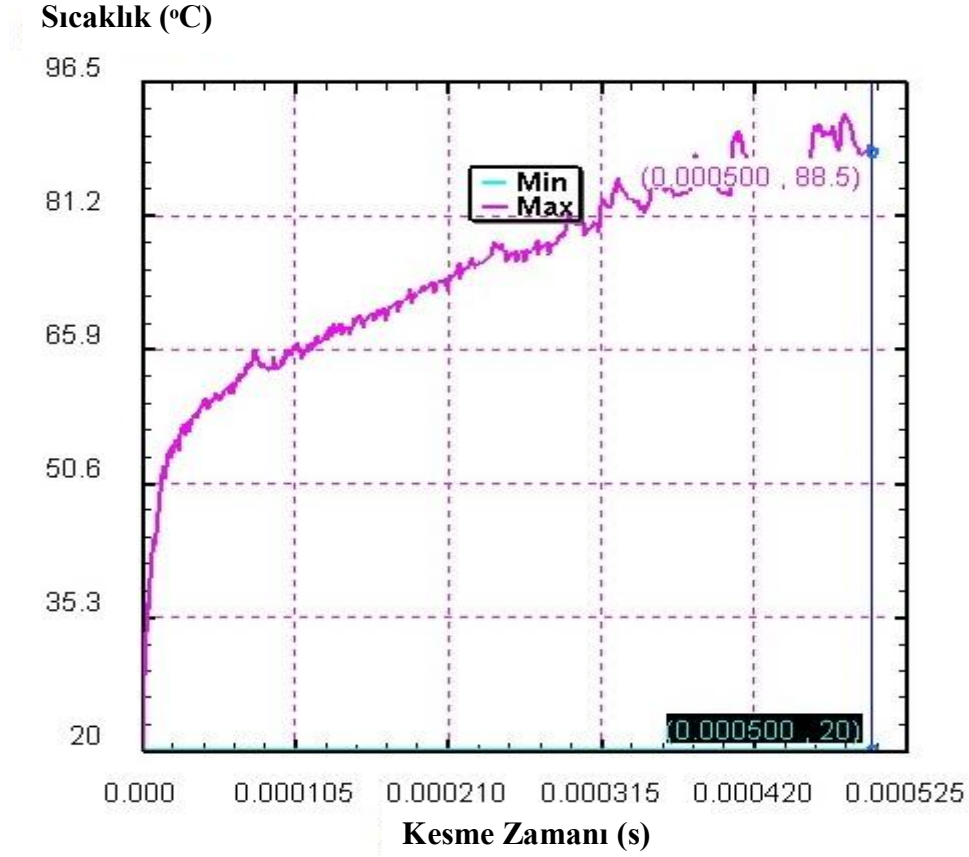


Şekil 5.21 Kesme işleminde oluşan sıcaklık değerleri.



Şekil 5.21 (Devam) Kesme işleminde oluşan sıcaklık değerleri.

Kesme zamanına bağı sıcaklık değişimi Şekil 5.22’ de verilmiştir. Kesme işleminin başlamasıyla birlikte sıcaklık hızlı bir şekilde artmakta ve belirli bir kesme sürecinden sonra kararlı hale gelmektedir. Kesme sıcaklığının kararlı hale geldikten sonra önemli bir fark görülmemektedir.



Şekil 5.22 Kesme zamanına bağı sıcaklık değişimi ($V_c=18$ m/dk, $f=6$ mm/dk).

6. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada, endüstride genel amaçlı olarak kullanılan düşük karbonlu AISI 1020 malzemesinin HSS lamalı testerele ile kesme işleminde takım performansı deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir. Kesme işleminde, ilerleme oranının artmasıyla güç tüketimi artmaktadır. Bununla birlikte, kesme hızının artmasıyla güç tüketim değerleri artmaktadır. Kesme hızının artmasıyla, kesme işlemi yapan kol daha fazla ileri-geri hareket etmekte ve böylece kolu hareket ettiren motor daha fazla güç harcamaktadır. Kesme esnasında yatay (F_x), düşey (F_y) ve yanal (F_z) kuvvetler bir dinamometre yardımıyla ölçülmüştür. Tepkisel kuvvetler kesme hızının artmasıyla azalırken, ilerleme oranının artmasıyla önemli ölçüde artmıştır. Maksimum kuvvetler kesme yönündeki F_x kuvvetleri olarak elde edilmiştir. Minimum kuvvetler ise yanal kuvvetlerdir.

Kesme işleminde testere dişi üzerinde önemli diş kırılmaları meydana gelmiştir. Diş kırılmaları mikro şeklinde gerçekleşmiştir. Bununla birlikte, kesme esnasında aşınma türleri görülmemiştir. Kırılmalar yarı sünek kırılma şeklinde gerçekleşmiştir. Kesme parametrelerinin diş kırılmaları üzerinde önemli bir etkisinin olduğu görülmektedir. Kesme parametreleri ile diş kırılmaları arasındaki ilişkisine benzer şekilde tepkisel kuvvetler arasında da gözlenmiştir. Bundan dolayı, kesme kuvvetleri ile diş kırılmaları arasında istatistiksel bir analiz yapılmıştır. Bu analizde özellikle kesme yönündeki F_x kuvvetleri ile diş kırılmaları arasında güçlü bir ilişkinin olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, diş kırılmaları taramalı elektron mikroskopunda ayrıntılı olarak incelenmiştir. Ayrıca, diş kırılmalarını daha iyi ifade edebilmek için sonlu elemanlar yöntemi ile nümerik analiz yapılmıştır. Nümerik analizde testere dişi üzerindeki eşdeğer gerilmeler belirlenmiştir. Elde edilen eşdeğer gerilme değerleri ile diş kırılmaları arasında bir uyum görülmüştür. Bununla birlikte, tepkisel kuvvetler ile diş kırılmaları arasındaki ilişkiyi belirlemek için istatistiksel bir analiz yapılmıştır. Bu analiz ile yatay kuvvetlerin (F_x) diş kırılmalarının üzerinde daha etkin olduğu görülmüştür.

7. KAYNAKLAR

- Ahmad, M., Hogan, B., Goode, E. (1988). Effect of machining parameters and workpiece shape on bandsawing process. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, **29**: 173-183.
- Akbari, A., Mohammadzadeh, R., Templier, C., Riviere, J.P., (2010). Effect of the initial microstructure on the plasma nitriding behavior of AISI M2 high speed steel. *Surface and Coatings Technology*, **204**: 4114–4120.
- Andersson, C. (2001). Bandsawing part III: stress analysis of saw tooth microgeometry. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, **41**: 255-263.
- Attanasio, A., Ceretti, E., Rizzuti, S., Umbrello, D., Micari, F. (2008). 3D finite element analysis of tool wear in machining. *CIRP Annals Manufacturing Technology*, **57**: 61-64.
- Chandrasekaran, H., Svensson S., Sandström R. (1984). On the nature of micro-chipping of HSS saw teeth during power hacksawing. *Annals of CIRP* **33**: 75-80.
- Chandrasekaran, H., Svensson, S., Nissle, M. (1987). Tooth chipping during power hack sawing and the role of saw material characteristics. *Annals of CIRP* **36**: 27-31.
- Chandrasekaran, H., Thoors, H., Hellbergh, H., Johansson, L. (1992). Tooth chipping during band sawing of steel. *Annals of CIRP* **41**: 107-111.
- Choudhury, I.A., See, N.L., Zukhairi, M. (2005). Machining with chamfered tools. *Journal of Materials Processing Technology*, **170**: 115–120.

- Dikenoğlu, E., (2005). Metal kesmede lama testere dişlerinin kesen ağızlarında oluşan küçük kopmaların incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Drozda, T.J., Wick, C. (1983). Tool and manufacturing. Engineers Handbook, 4th Edition, Volume 1, Machining, Chapter 6, Dearborn/Michigan.
- Dülek, E., Orman, Ş., Karataş, Ç., Sarıtaş, S. (2005). Bilyalı dövme parametrelerinin Ç1020 çeliğinin yorulma dayanımına etkisi ve oluşan kalıcı gerilmenin katman kaldırma yöntemi ile araştırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **20**: 289-295.
- Eken, M.S. (2013). Doğal taşlar için elmas lamalı model makine tasarımı, imalatı ve performans analizi. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Fang, N., Wu, Q. (2005). The effects of chamfered and honed tool edge geometry in machining of three aluminum alloys. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, **45**: 1178–1187.
- Gök, A., Gök, K. (2010). Tornalama işleminde optimum talaş ve boşluk açısının belirlenmesi. *Metal Makina Dergisi*, **182**: 276-280.
- Ko, T.J., Kim, H.S. (1999). Mechanistic cutting force model in band sawing. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, **39**: 1185-1197.
- List, G., Sutter, G., Bi, X.F., Molinari, A., Bouthiche, A. (2013). Strain, strain rate and velocity fields determination at very high cutting speed. *Journal of Materials Processing Technology*, **213**: 693– 699.

- Rao, B., R. Dandekar, C., C.Shin, Y., (2011). An experimental and numerical study on the face milling of Ti-6Al-4V alloy: Tool performance and surface integrity. *Journal of Materials Processing Technology*, **211**: 294-304.
- Santosh, R., Albert, B. C., Daniel, W. G. (2007). A model to calibrate and predict forces in machining with honed cutting tools or inserts. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, **47**: 820–840.
- Sarwar, M., Hales, W. (1984). The effect of tooth geometry on blade performance in power hacksawing. Sheffield City Polytechnic, Sheffield/England.
- Thaler, T., Potocnik, P., Kopac, J., Govekar, E., (2014). Experimental chatter characterization in metal band sawing. *Strojniski vestnik Journal of Mechanical Engineering*, **60**: 265-273.
- Topçu, M., Taşgetiren, S. (1998). Mühendisler için sonlu elemanlar metodu. PAÜ Mühendislik Fakültesi, Denizli, 230-231.
- Türk Standartları, (1993). Testerele-lama-metal kesmek için. TS153, Ankara.
- Türk Standartları, (1989). Testerele-şerit-metal kesmek için-terimler ve tarifler. TS6851, Ankara.
- Ucun, İ., Aslantaş, K., Büyüksağış, S., Taşgetiren, S., (2011). An investigation on the effect of diamond concentration and matrix material composition in the circular sawing process of granites. *Pro. Mec. Eng. Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, **225**: 17-27.
- Yaşar, M., Demirci, H.İ., Kadı, İ. (2002). Gaz detonasyonu ile şekillendirilen (GDŞ) alüminyum levhalarda meydana gelen deformasyon ve teorik modellenmesi. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, *Teknoloji*, 15-25.

Yen, Y.C., Jain, A., Altan, T., (2004). A finite element analysis of orthogonal machining using different tool edge geometries. *Journal of Materials Processing Technology*, **146**: 72–81.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Tuncay YILMAZ
Doğum Yeri ve Tarihi : Of / 28.03.1987
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : 0536 392 59 90 / tuncay__yilmaz_61@hotmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Of Şehit Ahmet Türkkın Çok Programlı Lisesi
(2000- 2003)
Önlisans : Karadeniz Teknik Üniversitesi, Rize MYO,
Makine Resim Konstrüksiyon (2005-2007)
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Makine Eğitimi
Bölümü, Makine Resim ve Konstrüksiyon
Öğretmenliği (2009-2012)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri
Enstitüsü, Makine Mühendisliği (2012-2014)

Yayımları (SCI ve diğer) : “Lama Testere ile AISI 1020 Malzemesinin
Kesilmesi İşleminde Takım Performansının
İncelenmesi”, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen
ve Mühendislik Bilimleri Dergisi (Basımda).