

**DELİK İŞLEMLERİNDE KESİCİLER ÜZERİNE ETKİ EDEN
GERİLMELERİN MATEMATİKSEL OLARAK MODELLENMESİ**

Salih KORUCU

**DOKTORA TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ARALIK 2007

ANKARA

Salih KORUCU tarafından hazırlanan DELİK İŞLEMLERİNDE KESİCİLER ÜZERİNE ETKİ EDEN GERİLMELERİN MATEMATİKSEL OLARAK MODELLENMESİ adlı bu tezin Doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Ulvi ŞEKER

Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Makina Eğitimi Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: : Prof. Dr. Muammer NALBANT

Üye : Prof. Dr. Ulvi ŞEKER

Üye : Prof. Dr. Mehmet TÜRKER

Üye : Prof. Dr. Faruk MENDİ

Üye : Prof. Dr. Mahmut İZCİLER

Tarih : / /

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Salih KORUCU

**DELİK İŞLEMLERİNDE KESİCİLER ÜZERİNE ETKİ EDEN
GERİLMELERİN MATEMATİKSEL OLARAK MODELLENMESİ**

(Doktora Tezi)

Salih KORUCU

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Aralık 2007

ÖZET

Talaş oluşumu, yüksek gerinme hızları ve sıcaklık etkilerine sahip olan plastik deformasyonun bir sonucudur. Son 30 yılda kesme mekaniği hakkında pek çok çalışma yapılmıştır. Kesme işlemini tanımlamak amacıyla çeşitli modeller geliştirilmiş olup bunların bazılarında kesme işlemi başarılı bir şekilde tanımlanabilirken bazılarında da doğru çözümler tam olarak kanıtlanamamıştır. Bu araştırma ile, talaşlı imalatla önemli bir yere sahip olan delme işlemlerinde oluşan kesme kuvvetlerinin deneysel olarak belirlenmesi, ölçülen bu kesme kuvvetleri etkisiyle kesici takımında meydana gelen gerilmelerin sonlu elemanlar metodu kullanarak analiz edilmesi ve analizi yapılan bu gerilmeleri tanımlamak için bir matematiksel model geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla, birinci aşamada deneysel çalışmalar için iş parçası malzemesi olarak AISI 1050 seçilmiştir. Bu malzemeden hazırlanan numunelere CNC dik işleme merkezinde, Mitsubishi firmasına ait takma uçlu UP20M kalitesinde GPMT070204-U1, GPMT070204—U2 ve GPMT070204-U3 formunda takma uçlu ve TAWN200TVP15TF formunda yekpare takma uçlu kesici takımlarla 20 mm çapında ve 20 mm derinliğinde delikler delinmiştir. Delme işlemleri sırasında her takım için, beş farklı kesme hızı ve iki farklı ilerleme uygulanmak suretiyle oluşan kesme kuvvetleri KISTLER 9272 tipi dinamometre yardımıyla ölçülmüştür. Kesici takımında oluşan gerilmelerin sonlu elemanlar metoduna dayalı olarak ANSYS 6.1 ticari yazılımı ile analizi

yapılmıştır. Üçüncü aşamada deneysel veriler ve analizlere bağlı olarak modellerin oluşturulması gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla da MATLAB paket programından istifade edilmiştir.

Bu çalışma sonunda, tüm kesme hızları ve ilerleme değerlerindeki artışa paralel olarak artan kesme kuvvetleri sebebiyle gerilme bileşenlerinde de yükselmeler olduğu belirlenmiştir. Gerilme dağılımları açısından, her iki takım grubu için gerilmelerin çok küçük bir bölgede yoğunlaşması sebebi ile noktasal temas biçimli bir gerilme davranışı sergilediği söylenebilir. ANSYS yardımıyla elde edilen gerilme sonuçları ile geliştirilen modelle hesaplanan gerilme bileşenleri arasında çok yakın ilişkiler belirlenmiş ve geliştirilen bu modellerin bu takımlar için farklı kesme parametrelerinin kullanıldığı pratik uygulamalarda kullanılabileceği görülmüştür.

Bilim Kodu	: 708.3.028
Anahtar Kelimeler	: Talaş kaldırma, Delme, Kesme kuvvetleri, Kesici takım gerilmeleri, Sonlu elemanlar metodu, Matematiksel modelleme
Sayfa Adedi	: 126
Tez Yöneticisi	: Prof. Dr. Ulvi ŞEKER

**MATHEMATICAL MODELLING OF STRESS ON THE CUTTING TOOL
IN DRILLING**

(Ph. D. Thesis)

Salih KORUCU

GAZİ UNIVERSITY

INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

December 2007

ABSTRACT

The formation of chip in metal cutting is the result of plastic deformation which processes high strains and temperature effects. In the last 30 years many studies have taken place on the subject of cutting mechanics with the purpose in some of the models is successfully defined correct solutions in some have yet been proved. This study aims to experimentally determined cutting forced occurred in drilling process which have an important role in metal cutting. It also aims to analyze stresses which occur on cutting tools in effect of these measured cutting forced using the finite element method, and to developed a mathematical model for defining these stresses that have been analyzed. With this purpose, AISI 1050 has been chosen as the material used in the tests carried out in the first stage. Samples prepared this material have been drilled 20 mm diameter and 20 mm at the CNC vertical machining centre using Mitsubishi UP20M quality GPMT070204-U1, GPMT070204-U2 and GPMT070204-U3 type inserts and TAWN200TVP15TF type solid insert. During drilling, cutting forces occurred after applying five different cutting speeds and two feedrates to each tool have been the measured using a KISTLER 9272 type dynamometer. With the impact of these forces the stresses on the cutting tools have been analyzed with the finite element method based ANSYS 6.1 software. In the third stage in line with the

experimental data and analyses the models have been generated. For this purpose the MATLAB software has been used.

The study concludes stress components have been increased due to cutting forces which rise in parallel to increases in cutting speed and feed rates. In terms of stress distributions, since stresses for both tool groups are concentrated around a small area, point contact shaped stress behaviors can be observed. Also observed is a close relationship between the stress results obtained with ANYSY and stress components calculated with the model developed. Finally, the study shows that these models can be applied in practical applications which use various cutting parameters for these tools.

Science Code : 708.3.028

Key Words : Metal cutting, Drilling, Cutting forces, Cutting tool stresses, Finite element method (FEM), Mathematical modelling

Page Number : 126

Adviser : Prof. Dr. Ulvi ŞEKER

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde her türlü maddi ve manevi desteğini esirgemeyen, çalışmayla ilgili sıkıntılı anlarımda sürekli benimle beraber olan, değerli görüşleriyle beni yönlendiren ve bilim adamı olma yolunda kendime bir model olarak esas aldığım kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. Ulvi ŞEKER'e, gerilme analizleri safhasında değerli görüşlerinden yararlandığım Sayın Yrd. Dç. Dr. Abdullah KURT'a ve çeşitli vesilelerle yardımcı olan Sayın Öğr. Gör. Dr. Abdulmecit GÜLDAŞ, Arş. Gör. Mustafa GÜNAY, Arş. Gör. Yakup TURGUT, Arş. Gör. Alaattin KAÇAL, Öğr. Gör. Hakan GÜRÜN ve Arş. Gör. Onuralp ULUER'e teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca, bu çalışmayı 07/2006-12 proje kodu ile destekleyen Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Müdürlüğü'ne teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZİLGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
2.1. Analitik Yaklaşımlar	4
2.1.1. Merchant yaklaşımı	5
2.1.2. Lee ve Shaffer yaklaşımı.....	6
2.1.3. Shaw, Cook ve Finnie yaklaşımı.....	7
2.1.4. Oxley yaklaşımı.....	8
2.1.5. Diğer yaklaşımlar	9
2.1.6. Analitik yaklaşımların değerlendirilmesi	12
2.2. Nümerik Yaklaşımlar	13
2.2.1. Denge durumu çözümü	14
2.2.2. Sürekli talaş oluşumu	19
2.3. Delme İşlemleri ve modellenmesi üzerine Yapılan Çalışmalar	26
2.4. Literatür Araştırmasının Değerlendirmesi.....	29

Sayfa

3. DELİK DELME	35
3.1. Delik Delme İşlemleri	35
3.2. Delme İşlemlerinde Kesme Değerleri.....	37
3.3. Deliklerin İşlenmesi.....	39
3.4. Kesme Kuvvetleri ve Güç.....	39
3.5. Delik Delme işlemlerin Talaş Kontrolü ve Kesme Sıvısı.....	41
3.6. Matkap Seçimi.....	44
3.7. Başarılı Delik delma İşlemleri İçin Tavsiyeler.....	47
3.8. Delik İşlemlerinde Kesme Sıvısı Temini.....	52
3.9. Kesme Parametrelerinin Etkileri.....	54
3.10. Değiştirilebilir Kesici Uçlu Matkaplarla Delme.....	56
3.10.1. Değiştirilebilir kesici uçlu matkaplarda uygulama tavsiyeleri.....	56
3.10.2. Değiştirilebilir kesici uçlu matkaplarda kesme sıvısı.....	61
3.10.3. Kesici uç aşınması.....	63
3.10.4. Değiştirilebilir kesici uçlu matkaplarda karşılaşılan sorunlar ve çözüm önerileri.....	65
4. SAYISAL MODELLEME ve SONLU ELEMANLAR ANALİZİ.....	68
4.1. Sayısal Modellemeye Giriş.....	68
4.2. İki Boyutlu Problemler.....	68
4.2.1. Üçgen elemanlar.....	70
4.2.2. İzoparametrik (dörtgen) elemanlar	72
5. MALZEME VE METOD.....	75

Sayfa

5.1. Kapsam.....	75
5.2. Deneysel Çalışmalar	76
5.2.1. İş parçası malzemesi	76
5.2.2. Kesici takım ve takım tutucu	78
5.2.3. Takım tezgâhı.....	78
5.2.4. Kesme parametreleri	79
5.3. Kesme kuvvetlerinin ölçülmesi	79
5.4. Analiz Çalışmaları	81
5.4.1. Kesici takımların modellenmesi.....	81
5.4.2. Kesici takımlara ait malzeme modelleri.....	82
5.4.3. Elemanlara ayırma ve temas çiftleri	82
5.4.4. Yükleme durumu ve sınır şartları.....	84
5.5. Gerilme Bileşenlerinin Modellenmesi	86
6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	91
6.1. Deneysel Sonuçlar.....	91
6.2. ANSYS Gerilme Sonuçları.....	92
6.2.1. ANSYS gerilme dağılımları.....	101
6.3. Model Sonuçları.....	107
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	113
KAYNAKLAR.....	116
EKLER.....	122
ÖZGEÇMİŞ.....	126

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Ortogonal kesme ile ilgili yapılan analitik çalışmalar.....	12
Çizelge 2.2. Literatürde incelenen çalışmalar.....	32
Çizelge 3.1. Değiştirilebilir kesici uçlu matkapla delik delmede genel sorunlar ve çözüm önerileri.....	67
Çizelge 5.1. AISI 1050 malzemenin kimyasal bileşimi.....	77
Çizelge 5.2. Deneylerde kullanılan kesici takımların mekanik özellikleri.....	78
Çizelge 5.3. JOHNFORD T35 CNC freze tezgahının özellikleri.....	78
Çizelge 5.4. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri.....	79
Çizelge 5.5. Kistler 9272 tipi dinamometrenin teknik özellikleri.....	80
Çizelge 6.1. TAFM2000F25 takım tutucu ile U1, U2 ve U3 talaş kırıcı GPMT070204 kesici uçlar için ölçülen kesme kuvvetleri.....	91
Çizelge 6.2. TAWMN2000S25 takım tutucu ile TAWN2000T VP15TF kesici uçlar için ölçülen kesme kuvvetleri.....	92
Çizelge 6.3. TAWMN2000S25 takım tutucu / TAWN2000T VP15TF kesici uç için kullanılan model sabitleri.....	108
Çizelge 6.4. TAFM2000F25 takım tutucu/GPMT070204-... UP20M kesici uç için kullanılan model sabitleri.....	109
Çizelge 6.5. TAWMN2000S25/TAWN2000T VP15TF kesici takımları için R^2 değerleri.....	109
Çizelge 6.6. TAFM2000F25/GPMT070204-... UP20M kesici takımları için R^2 değerleri.....	110

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Takım tezgahı–takım–iş parçası ilişkisi.....	1
Şekil 2.1. Talaş kaldırma analizlerinde kullanılan iki temel model: a) İnce bölge modeli b) Kalın bölge modeli.....	5
Şekil 2.2. Kesme bölgesinde kayma açısı ve gerilmeler a) Kayma açısı analizi için Lee ve Shaffer modeli, b) Gerilme bölgesi için Mohr dairesi.....	6
Şekil 2.3. Kayma düzlemi ve gerilmeler a) Kayma açısı için Shaw, Cook ve Finnie'nin modeli, b) Mohr gerilme dairesi.....	8
Şekil 2.4. Kesici takımın talaş yüzeyi üzerindeki kayma ve normal gerilme dağılımları.....	10
Şekil 2.5. Pozitif talaş açılı kesici takım modelinden alınan kesici takım deformasyonu.....	15
Şekil 2.6. Kesici takımda meydana gelen sıcaklık dağılımı a) Başlangıçtaki ağ yapısı b) Kabul edilen talaş ve akış hattı c) Elde edilen sıcaklık dağılımları.....	17
Şekil 2.7. Kesici takım-talaş-iş parçası sisteminde denge durumundaki sıcaklık bölgeleri a) Başlangıçtaki ağ yapısı b) Elde edilen sıcaklık dağılımları...	17
Şekil 2.8. Başlangıç ve deforme olmuş sonlu eleman ağları.....	20
Şekil 2.9. Sonlu eleman modelinin şematik gösterimi.....	24
Şekil 3.1. Delik delme işlemi.....	35
Şekil 3.2. Delik Delme İşlemleri.....	36
Şekil 3.3. Kesme hızı, giriş oranı, fener mili hızı, devir başına ilerleme ve delik işleminin temel faktörleri.....	38
Şekil 3.4. Matkabın ilerleme kuvveti ve tork.....	40
Şekil 3.5. Matkabın uç açısı ve kesme kenar açısı.....	41
Şekil 3.6. Delik delme işlemlerinde talaş oluşumu, talaş tahliyesi ve kesme sıvısı temini.....	42

Şekil	Sayfa
Şekil 3.7. Matkabın kesme açısı.....	43
Şekil 3.8. Matkap tipi seçimi.....	44
Şekil 3.9. Matkap tipi seçimi.....	44
Şekil 3.10. Matkap kalitesi ve geometrisi.....	45
Şekil 3.11. Delik delmede minimum salgı.....	48
Şekil 3.12. Gagalayarak delme çevrimi.....	49
Şekil 3.13. Eğik yüzeylerde delik delme a) Giriş 5° den daha düşük eğim b) Çıkış 5° den küçük eğim c) 5°~10° lik eğim d) 10° den büyük eğim	50
Şekil 3.14. Düzensiz yüzeyde delik delme.....	50
Şekil 3.15. İç bükey yüzeyde delik delme.....	51
Şekil 3.16. Dış bükey yüzeyde delik delme.....	51
Şekil 3.17. Çapraz delik delme.....	52
Şekil 3.18. Matkapla dahili kesme sıvısı temini.....	53
Şekil 3.19. Çap/kesme sıvısı hacmi ilişkisi.....	54
Şekil 3. 20. Çap/kesme sıvısı basıncı ilişkisi.....	54
Şekil 3.21. Değiştirilebilir kesici uçlu matkaplarla işleme imkânları.....	56
Şekil 3.22. Matkabın doğru hizalandırılması kritik öneme sahiptir.....	57
Şekil 3.23. Sabit bir matkapla olasılıklar a) Havşa açma b) Eksenin üstünde delik büyütme c) Eksenin üstünde delik büyütme	58
Şekil 3.24. Delik delme işlemlerinde ilk giriş tipleri a) Dış bükü yüzey b) Eğimli yüzey c) İç bükey yüzey d) asimetrik yuvarlak yüzey e) Düzensiz yüzey f) Ön delikli yüzey	60
Şekil 3.25. Çapraz deliklerin delinmesi.....	60
Şekil 3.26. Kesme sıvısı debisi (delik delme işlemlerinde).....	62

Şekil	Sayfa
Şekil 3.27. Kesme sıvısı debisi (delik büyütme matkabı uygulamalarında).....	63
Şekil 3.28. Tanecik kopması.....	64
Şekil 3.29. Serbest yüzey ve krater aşınmaları.....	64
Şekil 4.1. Sonlu eleman modeli için bir probleme ait sınır koşulları.....	69
Şekil 4.2. On iki serbestlik derecesine sahip altı düğümlü üçgen eleman.....	71
Şekil 4.3. 16 serbestlik derecesine sahip sekiz düğümlü dörtgen elemanın a) Geometrik koordinat sistemi, b) Doğal koordinat sistemi.....	72
Şekil 5.1. AISI 1050 deney numunesi.....	77
Şekil 5.2. Kistler 9272 dinamometre.....	80
Şekil 6.1. <i>ANSYS</i> paket programından elde edilen X, Y ve Z eksenlerindeki minimum normal gerilmeler.....	93
Şekil 6.2. <i>ANSYS</i> paket programından elde edilen X, Y ve Z eksenlerindeki maksimum normal gerilmeler.....	94
Şekil 6.3. <i>ANSYS</i> paket programından elde edilen Xy, Yz ve XZ düzlemleri için minimum kayma gerilmeleri.....	95
Şekil 6.4. <i>ANSYS</i> paket programından elde edilen XY, YZ ve XZ düzlemleri için maksimum kayma gerilmeleri.....	95
Şekil 6.5. <i>ANSYS</i> paket programından elde edilen von Mises gerilmeleri.....	96
Şekil 6.6. <i>ANSYS</i> paket programından elde edilen X, Y ve Z eksenlerindeki minimum normal gerilmeler.....	97
Şekil 6.7. <i>ANSYS</i> paket programından elde edilen X, Y ve Z eksenlerindeki maksimum normal gerilmeler.....	98
Şekil 6.8. <i>ANSYS</i> paket programından elde edilen XY, YZ ve XZ düzlemleri için minimum kayma gerilmeleri.....	99
Şekil 6.9. <i>ANSYS</i> paket programından elde edilen XY, YZ ve XZ düzlemleri için maksimum kayma gerilmeleri.....	100
Şekil 6.10. <i>ANSYS</i> paket programından elde edilen von Mises gerilmeleri.....	101

Şekil	Sayfa
Şekil 6.11. TAWMN2000S25/TAWN2000T kesici takım grubu için elde edilen SZ dağılımı ($V = 100$ m/min ve $f = 0,15$ mm/rev).....	102
Şekil 6.12. TAWMN2000S25/TAWN2000T kesici takım grubu için elde edilen SYZ dağılımı ($V = 100$ m/min ve $f = 0,15$ mm/rev).....	102
Şekil 6.13. TAWMN2000S25/TAWN2000T kesici takım grubu için elde edilen SEQV dağılımı ($V = 100$ m/min).....	103
Şekil 6.14. TAFM2000F25/GPMT070204-U1 kesici takım grubu için elde edilen SZ dağılımı ($V = 120$ m/min ve $f = 0,06$ mm/rev).....	104
Şekil 6.15. TAFM2000F25/GPMT070204-U1 kesici takım grubu için elde edilen SYZ dağılımı ($V = 120$ m/min ve $f = 0,06$ mm/rev).....	105
Şekil 6.16. TAFM2000F25/GPMT070204-U1 kesici takım grubu için elde edilen SEQV dağılımı ($V = 120$ m/min).....	106
Şekil 6.17. TAWMN2000S25/TAWN2000T VP15TF kesici takımları için model sonuçları ile <i>ANSYS</i> gerilme sonuçlarının karşılaştırılması.....	111
Şekil 6.18. TAFM2000F25/GPMT070204-... UP20M kesici takımları için model sonuçları ile <i>ANSYS</i> gerilme sonuçlarının karşılaştırılması.....	112

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
a	Kesme derinliği
a'	Çıkan talaş kalınlığı
A_0	Talaş kesit alanı
χ	Kesme kenarı açısı
$\cos \alpha, \beta, \gamma$	Açıların kosinüs ilişkileri (<i>direction cosines</i>)
E	Elastisite (elastiklik veya <i>Young</i>) modülü
ε_x	x eksenine doğrultusundaki normal gerinme
ε_y	y eksenine doğrultusundaki normal gerinme
ε_z	z eksenine doğrultusundaki normal gerinme
ϕ	Kayma düzlemi açısı
f	İlerleme değeri
F_C	Esas kesme kuvveti
F_f	İlerleme kuvveti
F_p	Pasif (radyal) kuvvet
F_s	Kayma düzlemi boyunca etki eden kuvvet
γ	Talaş açısı
γ_{xy}	xy düzlemindeki kayma gerinmesi
γ_{xz}	xz düzlemindeki kayma gerinmesi
γ_{yz}	yz düzlemindeki kayma gerinmesi
λ	Yığılma faktörü
l, m, n	Açıların kosinüs ilişkileri (<i>direction cosines</i>)
l_c	Talaş–takım temas boyu
ν	Poisson oranı
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	Asal gerilmeler (σ_p)

Simgeler	Açıklama
$SEQV$	<i>von Mises gerilmesi</i>
$\sigma M\zeta$	<i>von Mises teorisine göre gerilme</i>
$\sigma\xi$	<i>x eksenî doğrultusundaki normal gerilme</i>
SX	<i>x eksenî doğrultusundaki normal gerilme</i>
SXY	<i>xy düzlemindeki kayma gerilmesi</i>
SXZ	<i>xz düzlemindeki kayma gerilmesi</i>
$\sigma\psi$	<i>y eksenî doğrultusundaki normal gerilme</i>
SY	<i>y eksenî doğrultusundaki normal gerilme</i>
SYZ	<i>yz düzlemindeki kayma gerilmesi</i>
$\sigma\zeta$	<i>z eksenî doğrultusundaki normal gerilme</i>
S_Z	<i>z eksenî doğrultusundaki normal gerilme</i>
$\tau_{\psi\xi}$	<i>xy düzlemindeki kayma gerilmesi</i>
$\tau_{\zeta\xi}$	<i>xz düzlemindeki kayma gerilmesi</i>
$\tau_{\zeta\psi}$	<i>yz düzlemindeki kayma gerilmesi</i>
V	Kesme hızı
$\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3, \zeta_4$	Parametrik koordinatlar
θ	Bileşke kesme kuvveti ile kayma düzlemi arasındaki açı
$N_i^{(e)}$	Şekil fonksiyonları
$[B]$	Gerilme–yer değiştirme matrisi
$[J]$	Jacobian matrisi
$[k^{(e)}]$	Eleman rijitlik matrisi
$[N]$	Şekil fonksiyonları matrisi
$\{q\}$	Düğümlere ait yer değiştirme vektörü
$\{\sigma\}$	Gerilme vektörü
$\{u\}$	Genel yer değiştirme vektörü

Kısaltmalar	Açıklama
FEM	<i>Finite Element Method</i> –Sonlu elemanlar metodu
BUE	<i>Built-up edge</i> –kesici kenar üzerinde talaş yığılması
3B	Üç boyutlu
2B	İki boyutlu
AISI	<i>American Iron and Steel Institute</i> – Amerikan Demir Çelik Enstitüsü (Amerikan çelik standardı)
ISO	<i>International Organisation for Standardization</i> – Uluslararası Standardizasyon Teşkilatı
CNC	<i>Computer Numerical Control</i> – Bilgisayarlı Sayısal Denetim

1. GİRİŞ

Günlük hayatta kullanılan pek çok parça, farklı imal usullerinden biri kullanılarak imal edilir. Takım tezgâhlarında, talaş kaldırmak suretiyle parçaların şekillendirilmesindeki temel esas; iş parçasının nihai şeklinin ilgili malzemenin işlenmesi ile elde edilir. Geleneksel yöntemlerle talaş kaldırma işlemlerinde, değişik takım tezgâhlarında gerçekleştirilecek; tornalama, frezeleme, delme, taşlama vb. işlemler için bir kesici takım kullanılır. Ham parçadaki fazlalıklar, takım tezgâhına bağlanmış bu takım ile “talaş kaldırarak” alınır. Malzemedan talaş kaldırılması, takım kesici ucunun/kenarının iş parçası yüzeyine temas etmesi ve bu etki bölgesinde, talaş kaldırma enerjisi talaş kaldırıldığı tezgâhtan iş parçasına iletilmesi ile sağlanır [1]. Bu sebeple “takım tezgahı–kesici takım–iş parçası malzemesi” üçgeni arasındaki ilişki (Şekil 1.1) çok iyi kurulmalı ve “kesme parametreleri” dediğimiz bu ilişkiyi şekillendiren değişkenler iyi değerlendirilmelidir [1-3].



Şekil 1.1. Takım tezgahı–takım–iş parçası ilişkisi [1]

Üretimin hedefi, işlemlerin teknik ve ekonomik yönden en az yük/maliyet, operatör açısından ise en yüksek emniyetle yerine getirilmesidir. Genel olarak, üretilen iş parçası için istenen işlevsel toleransların optimal işleme şartlarıyla gerçekleştirilmesi gerekir. Bu işlevsel toleransların gerçekleşmesi takım/takım tezgâhı/iş parçası ilişkilerinin doğru kurulması ile mümkündür.

Kör veya fazla kullanılmış takımlar, doğru seçilmemiş işleme parametreleri ve titreşimler işlevsel toleransları engelleyen ölçü ve yüzey hatalarına sebep olur. Hatasız (veya en az hata ile) iş, minimum takım aşınması ve düşük güç sarfıyatı, talaş kaldırma işlemlerinde ekonomikliği simgeleyen en önemli unsurlardır.

Uygun kesme parametreleri için değerler, genellikle deneysel olarak belirlenmiş olup, kesmenin etkili olduğu bölgede oluşan kesme kuvvetleri bu deneysel sonuçlara bağlı olarak elde edilmiş ampirik eşitliklerle hesaplanır. Özellikle takım ömrü ve takım değiştirme sıklığı, takım tezgâhlarının verimli kullanılması için en önemli parametrelerdir.

Talaş kaldırma işlemlerinde kullanılan takımların kesici kenarları yeterince keskin olmasına rağmen, talaş kaldırma işlemleri sırasında oluşan gerilmeler karşısında oldukça fazla zorlanırlar. Bu sebeple takımın bu gerilmeleri karşılayabileceği optimum kesit ve kesmeyi kolaylaştıracak takım parametresini belirlemek için pek çok araştırma yapılmıştır [1, 2].

Bu yaklaşımdan hareketle hedeflenen bu çalışmanın amacı, talaş kaldırma işlemlerinde “delme” sırasında oluşan kesme kuvvetlerinin deneysel olarak belirlenmesi, deneysel olarak belirlenen kuvvetlerin takım üzerindeki etkilerinin sonlu elemanlar metodu (Finite Element Method–FEM) kullanılarak analizi ve elde edilen bulgular ışığında kesme kuvvetlerinin matematiksel olarak modellenmesidir. Bu çalışmanın amacına ulaşabilmesi ve delik delmede veya büyütmede kullanılan sert metal uçlarda oluşan gerilmelerin incelenebilmesi amacıyla, Kistler 9257B dinamometre yardımıyla bir dizi delme deneyi yapılarak, elde edilen kuvvet ölçüm sonuçları kullanılmak suretiyle kesme süreci içerisinde kesici takımda oluşan gerilmeler ANSYS paket programı yardımıyla analiz edilmiştir.

Bu çalışmanın üç temel aşaması bulunmaktadır:

- Kesme kuvvetlerinin kesici takımda oluşturduğu yer değiştirmelerin dinamometre yardımıyla sezilmesi ve bu yer değiştirmelere bağlı olarak kesme kuvvetlerinin ölçülmesi.

- Ölçülen kesme kuvvetleri etkisiyle kesici takımda meydana gelen normal, kayma ve von Mises gerilmelerinin sonlu elemanlar metodu kullanılarak analiz edilmesi,
- Bu gerilmeler için matematiksel bir modelin geliştirilmesi olarak gerçekleştirilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

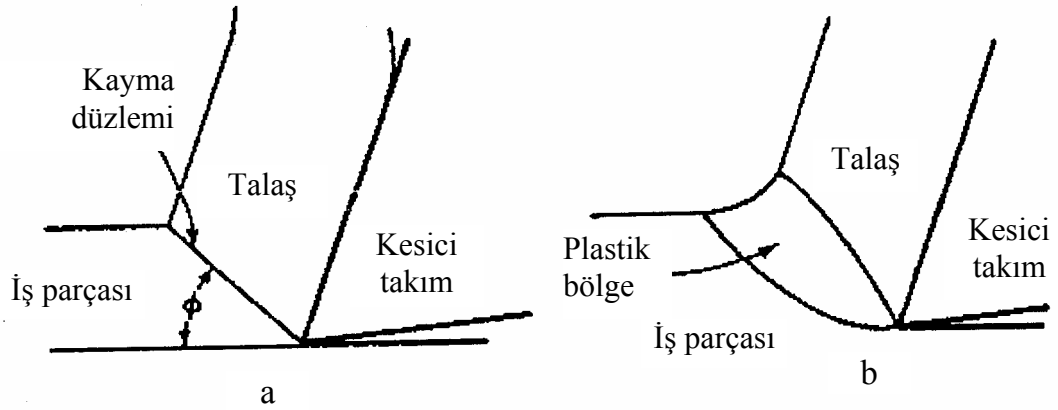
Bir kesme modeli geliştirmek amacıyla literatürde analitik ve nümerik olmak üzere çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Talaş oluşumu; yüksek gerinme hızları ve sıcaklık etkilerine sahip olan plastik deformasyonun bir sonucudur. Son 30 yılda kesme mekaniği hakkında pek çok çalışma yapılmıştır. Kesme işlemini tanımlamak amacıyla çeşitli modeller geliştirilmiş olup, bunların bazılarında kesme işlemi başarılı bir şekilde tanımlanabilirken bazılarında da doğru çözümler tam olarak kanıtlanamamıştır [1].

Talaş kaldırma ile ilgili olarak literatürde yapılan çalışmalara bakıldığında, bu çalışmaları temel olarak analitik ve nümerik çalışmalar olmak üzere 2 ana grupta ele almak mümkündür.

2.1. Analitik Yaklaşımlar

Talaş kaldırmadaki deformasyon bölgesinin yapısı hakkında farklı görüşler bulunmaktadır. Analizlerde 2 temel yaklaşım göze çarpmaktadır. Piispannen, Merchant, Koboyashi ve Thomsen gibi pek çok araştırmacı Şekil 2.1a'da gösterilen ince düzlemi (veya ince bölge) tercih ederken; Palmer ve Oxley, Okushima ve Hitomi gibi araştırmacılar da Şekil 2.1b'de gösterilen kalın deformasyon bölgesine dayalı analizler yapmışlardır [4-8].

Uygulanabilir deneysel kanıtlar; kalın bölge modelinin çok düşük kesme hızlarında kesme işlemini tanımlayabildiğine işaret ederken, yüksek kesme hızlarında da ise ince bir kayma düzlemine işaret etmektedir. Bu yüzden ince bölge modeli, gerçek kesme şartları için daha kullanışlı görünmektedir.



Şekil 2.1. Talaş kaldırma analizlerinde kullanılan iki temel model: a) İnce bölge modeli b) Kalın bölge modeli [9].

Buna ilave olarak, ince bölge modeli, kalın bölge modeline göre daha basit matematik işlemlerine neden olur. Bu iki sebepten dolayı, kalın bölgenin analizine göre ince bölgenin analizi daha bütündür ve daha elverişlidir. İki model arasında bazı farklılık ve benzerlikler yer almaktadır.

Talaş kaldırma işleminin analizinde kayma açısının önemli bir yeri vardır. Talaş kaldırmada kayma açısı, plastik deformasyonun bir ölçüsüdür ve kesme işlemindeki kuvvetlerin tahmin edilmesi için çok önemli bir özelliktir. Bu yüzden, literatürde kayma açısı ilişkilerini içeren birçok çalışma yer almaktadır. Kayma açısı, bu çalışmaların pek çoğundan aşağıdaki gibi elde edilebilmiştir [1].

$$\phi = C_1 - C_2 (\beta - \gamma) \quad (2.1)$$

Burada, C_1 ve C_2 sabitlerdir.

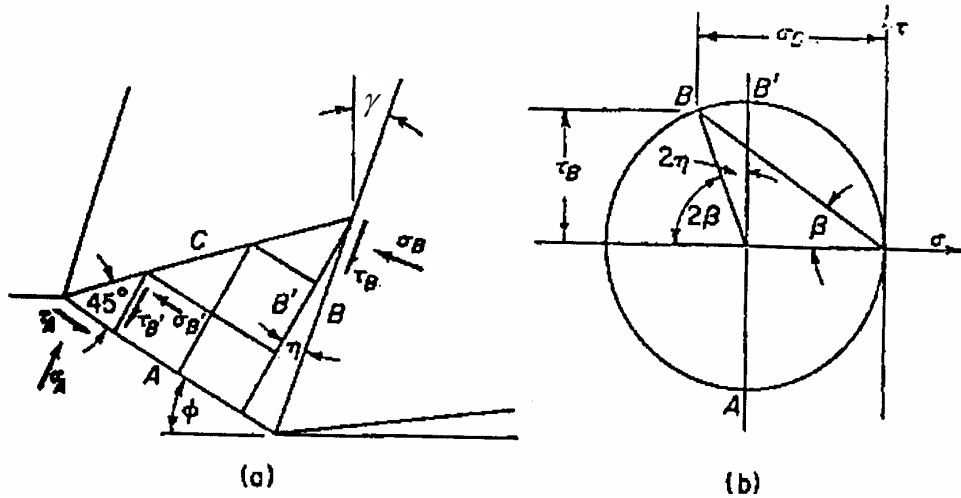
2.1.1. Merchant yaklaşımı

Bu ilişki en eski ve belki de en iyi bilinen kayma açısı ilişkisidir [5]. Eş. 2.2'de verilen ilişki ile açıklanır:

$$\phi = \frac{\pi}{4} - \frac{1}{2} (\beta - \gamma) \quad (2.2)$$

2.1.2. Lee ve Shaffer yaklaşımı

Lee ve Shaffer, ideal rijit plastik malzeme için plastisite teorisini uygulamışlar ve deformasyonun ince bir kayma düzlemi üzerinde oluştuğunu kabul etmişlerdir [10]. Talaş içinde kayma düzleminde kesici takımın yüzeyine kesme kuvvetlerini geçiren bir gerilme bölgesinin olması gerektiğini düşünmüşler ve bunu, akma noktasının üstüne kadar gerilmeye uğramasına rağmen hiçbir deformasyonun oluşmadığı kayma hattı bölgesi ile göstermişlerdir. Analizleri için kullandıkları model ve gerilmeye maruz kalmış bölgenin sınırlarındaki gerilmeler için Mohr dairesi Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Kesme bölgesinde kayma açısı ve gerilmeler a) Kayma açısı analizi için Lee ve Shaffer modeli, b) Gerilme bölgesi için Mohr dairesi [10].

Şekil 2.2a’deki gerilmeye maruz kalmış bölgenin geometrisinden;

$$\phi = \gamma + \eta \quad (2.3)$$

ve Mohr dairesinden,

$$\eta = \frac{\pi}{4} - \beta \quad (2.4)$$

olarak elde edilir. Eş. 2.3 ve Eş. 2.4' den

$$\phi = \frac{\pi}{4} - (\beta - \gamma) \quad (2.5)$$

Olarak elde edilecektir ve bu eşitlik Lee ve Shaffer'ın kayma açısı ilişkisini ifade etmektedir.

2.1.3. Shaw, Cook ve Finnie yaklaşımı

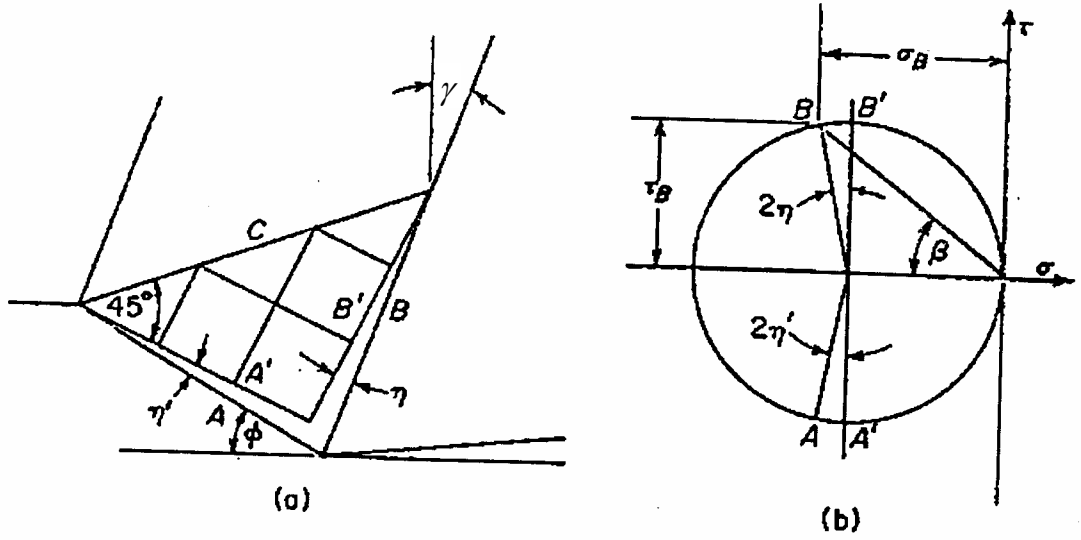
Shaw, Cook ve Finnie; kayma düzleminin, maksimum kayma gerilmesinin bir düzlemi olmadığını kabul ederek, Lee ve Shaffer'ın modelini biraz düzenlemişlerdir [11]. Bu yüzden, Lee ve Shaffer'da olduğu gibi başlangıçtaki akmada bir kayma hattı bölgesinin olduğunu, ancak, kayma düzleminin kendisinin bir kayma hattı olmadığını teklif etmişlerdir (Şekil 2.3). Şekil 2.3a'dan,

$$\phi = \gamma + \eta + \eta' \quad (2.6)$$

elde edilir. Bu yüzden Shaw, Cook ve Finnie; kayma açısı için ilişki,

$$\phi = \left(\frac{\pi}{4} + \eta' \right) - (\beta - \gamma) \quad (2.7)$$

şeklinde elde edilir.



Şekil 2.3. Kayma düzlemi ve gerilmeler a) Kayma açısı için Shaw, Cook ve Finnie'nin modeli, b) Mohr gerilme dairesi [11].

Kayma düzleminin maksimum kayma gerilmesinin bir düzlemi olmadığı kabulü, bu ilişki içerisindeki temel bir zayıflıktır. Buna ilave olarak η' açısı, analizlerle bulunmaz. Shaw, Cook ve Finnie, η' açısının sabit olmadığı ve kesme şartlarında değişebildiğini ileri sürmüşlerdir.

2.1.4. Oxley yaklaşımı

Oxley, önceki bölümde tartışıldığı gibi, aşağıdaki ilişki ile verilen bir kayma açısı ilişkisini içeren bir analiz gerçekleştirmiştir [12]:

$$\theta = \phi + \beta - \gamma \quad (2.8)$$

ve

$$\theta = \arctan \left[\frac{1}{2} + \frac{\pi}{4} - \phi + \left(1 + \frac{h}{h} \right) \frac{\cos 2(\phi - \gamma)}{2 \tan \beta} - \frac{\sin 2(\phi - \gamma)}{2} \right] \quad (2.9)$$

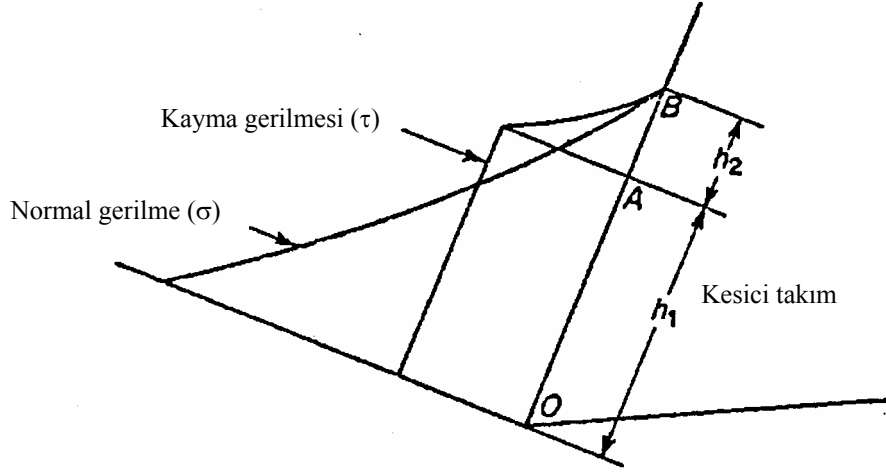
2.1.5. Diğer yaklaşımlar

Literatürde, yukarıda bahsedilen kayma açısı ilişkilerine ek olarak diğer birçok ilişki formüle edilmiştir. Bunlardan Colding ve Sata ve Yoshikawa, malzeme özelliklerini dikkate almışlar, ancak malzemenin, kayma açısı üzerinde hiçbir etkisi olmayacağını kabul etmişlerdir [13, 14]. Colding yaklaşımı, malzemenin tercih edilen atom sıralanışının önemi olduğuna işaret çekmesi nedeniyle ilgi çekicidir. Açıkçası, bu özellik varsa, önemli bir faktördür, ancak çoğu malzeme, kesmeden önce izotropiğe yakın olacak ve anizotropi söz konusu olduğunda ise genellikle yönü bilinmeyecektir.

Hill, anizotropi, işleme sertleşmesi, sürtünme katsayısındaki değişim ve termal etkiler gibi talaş kaldırmada bilinmeyen çok sayıdaki faktörle yalnızca bir kayma açısının var olamayacağını ileri sürmüştür [15]. Bu yüzden Hill, bir tek ilişkinin oluşturulmasında herhangi bir analizin yol göstermeyeceğini, ancak bunun yerine kayma açısının bulunması gereken muhtemel sınırları tayin etmeyi önermiştir. Bu, makul bir yaklaşımdır, ancak Hill tarafından oluşturulan sınırlar, pratik olarak kullanılabilecek kayma açısı değerleri için uygun olmadığından bu model dezavantajlı bir modeldir. Eş. 2.1’de verilen kayma açısı ilişkisi çok kullanışlı bir yaklaşım gibi görülmekte beraber C_1 ve C_2 değerleri, Oxley’in kayma açısı eşitliğindeki yaklaşık çözüm için Eş. 2.10’da verilmiştir:

$$\theta = 50 - 0,8 \times (\beta - \gamma) \quad (2.10)$$

Sata ve Yoshikawa, Takeyama ve Usui, Zorev ve Wallace ve Boothroyd isimli araştırmacılar talaş yüzeyi üzerindeki gerilme dağılımını Şekil 2.4’te göstermiştir [14, 16-18]. OA uzunluğu üzerinde normal gerilme çok yüksektir ve metal talaş yüzeyine yapışır; iş parçası malzemesinde plastik akış başlar [9]. Bu bölgede kayma gerilmesi (veya sürtünme gerilmesi) normal yükten bağımsızdır. Bu, sürtünmenin yapışma bölgesi olarak bilinir. AB uzunluğunda ise normal gerilme değeri daha küçüktür.



Şekil 2.4. Kesici takımın talaş yüzeyi üzerindeki kayma ve normal gerilme dağılımları [9].

Yapışma bölgesindeki sürtünme katsayısı sabit olmamakla birlikte normal yükün büyüklüğüne bağlıdır. Bu bölgedeki sürtünme katsayısının değeri, kayma sürtünmesi şartları altındaki değerden daha düşüktür. Talaş kaldırmada ölçülen sürtünme katsayısı, yapışma ve kayma bölgelerine bağlı olan ortalama bir değerdir. Bu yüzden h_1 ve h_2 uzunluklarının sürtünme katsayısının ölçülen değerini değiştirmesi sebebiyle kesme şartlarında değişiklikler beklenir. Örneğin talaş açısındaki artışla; talaş yüzeyi üzerindeki normal yükün azalarak, sürtünme katsayısını arttıran h_1 ve h_2 oranında bir azalmaya sebep olur.

Kayma gerilmesi Eş. 2.11 ile hesaplanmaktadır [9]:

$$\tau = \frac{F_s}{A_0} = \frac{[F_C \cos \phi - F_f \sin \phi] \sin \phi}{af} \quad (2.11)$$

Kayma gerilmesinin iş parçası çekme deneylerinden belirlenen akma dayanımından daha yüksek olduğu görülmüştür. Kayma gerilmesinin daha yüksek oluşmasında ovalama etkisi ve akma bölgesi önü faktörlerinin önemi dikkate alınmalıdır. Yüksek gerilme değerlerini açıklamak için pek çok açıklama vardır:

- a) *Normal gerilme*: Merchant tarafından önerilmiş ve Bridgman tarafından da araştırılmıştır [5, 19, 20]. Kayma düzlemi üzerindeki akma kayma gerilmesi, bu düzlemdeki normal gerilme değerinin yüksek olması sebebiyle artmıştır. Bridgman ve daha sonra da Crossland tarafından yapılan çalışmalarda kayma akma gerilmesi üzerinde hidrostatik gerilmenin çok küçük bir etkisi olduğu görülmüştür [19-21].
- b) *Boyut etkisi*: Backer ve arkadaşları ile Shaw ve Finnie tarafından deformasyon bölgesi boyutunun kayma gerilmesi değerini etkileyebileceği söylemiştir [22, 23]. Bu öneri; dislokasyon kaynaklarının bir malzemenin akma gerilmesinde artışlara sebep olması nedeniyle küçük boyutlarda olan tek kristaller için boyut etkisi teorisinden türetilmiştir. Armarego tarafından çok küçük talaş derinliklerinde yapılan deneyler göstermiştir ki; kuvvetlerin belirlenmesinde kesici takım profilinin önemli bir rolü vardır [24].
- c) *İşleme sertleşmesi*: Talaş kaldırmada işleme sertleşmesinin önemli etkileri Oxley ve Shaw ve Finnie tarafından incelenmiştir [12, 23].
- d) *Gerinme hızı ve sıcaklık*: Bir malzeme için akma gerilmesinin değeri üzerinde gerinme hızı ve sıcaklığın normalde zıt etki oluşturduğu düşünülür. Talaş kaldırmada gerinme hızı ve kayma bölgesindeki sıcaklığın her ikisinin de yüksek olması sebebiyle bu etkilerin derecesi eşittir [25, 26].

Cotrell, belirli bir kritik gerinme hızı üzerindeki akma gerilmesinin gerinme hızı ve sıcaklıktan bağımsız olan yüksek gerinme hızlarındaki bir akma mekanizmasını tanımlamış, dislokasyonların kaymasını önleyen engellerin (diğer dislokasyonlar, alaşım tortuları ve tanecik sınırları) dalgali bir iç gerilme alanıyla gösterilebileceğini düşünmüştür [26]. Uygulanan gerilmenin iç gerilmelerden küçük olması halinde, kafesin termal titreşimlerinin yeterli ilave enerji sağlamadığı takdirde dislokasyonlar bu engelleri geçemeyecektir. Uygulanan gerilme iç gerilmelerden büyük ise, hızlı kayma oluşacak ve akma gerilmesi, gerinme hızından bağımsız olacaktır. Bu

teoriyle, yüksek gerinme hızlarındaki akma gerilmesi, statik akmaya göre daha yüksek olacaktır.

Kobayashi ve Thomsen, Cotrell'in teorisini talaş kaldırma simülasyonlarına uygulamışlar, düşük gerinme hızlarında kayma gerilmesinin akma gerilmesinden yüksek ve kayma gerilmesi büyüklüğünün deformasyon boyunca oluşan sıcaklık artışı ile işleme sertleşmesinden bağımsız olduğunu belirlemişlerdir [6].

2.1.6. Analitik yaklaşımların değerlendirilmesi

İlk analitik kesme modellerinin (ortogonal kesme modeli) temel araştırma konusunu kayma açısının (ϕ) tahmin edilmesi oluşturmaktadır (Çizelge 2.1). Ernst ve Merchant başlangıç kayma düzlemi açısıyla (ϕ) bir malzemenin dinamik davranışını tahmin eden eşitliğin türetilmesinde, minimum enerji yaklaşımını kullanmışlardır [27].

Çizelge 2.1. Ortogonal kesme ile ilgili yapılan analitik çalışmalar [29].

Yazar(lar)	Önerilen Geometri
Ernst & Merchant	$\phi = 45^\circ + \frac{\gamma}{2} + \frac{\beta}{2} + \frac{\beta'}{2}$
Merchant	$\phi = 45^\circ - \frac{\gamma}{2} + \frac{\beta}{2}$
Stabler	$\phi = 45^\circ - \beta + \frac{\gamma}{2}$
Lee & Shaffer	$\phi = 45^\circ - \beta + \gamma$
Hucks	$\phi = 45^\circ - \frac{\tan^{-1}(2\mu)}{2} + \gamma$
Hucks	$\phi = 45^\circ - \frac{\cot^{-1}(K) - \tan^{-1}(2\mu) + 2\gamma}{2}$
Shaw, Cook, Finnie	$\phi = 45^\circ - \beta + \gamma + \eta'$
Black & Huang	$\psi = 45^\circ - \phi + \frac{\gamma}{2}$

Ernst ve Merchant modeli kesici takımın talaş açısına ve takımla talaş ara yüzeyi arasındaki sürtünmeye dayanmaktadır. Lee ve Schaffer daha detaylı bir model geliştirmişlerdir [6]. Önemli modellerden biri de Merchant tarafından 1945 yılında geliştirilen modeldir. Bu model; kayma açısının, kayma düzleminde yapılan toplam işi minimum yapacak bir değere sahip olması gerektiğini ifade etmektedir. Kesme kuvvetleri kayma bölgesinde yapılan işle orantılı olduğundan kesme kuvveti minimize edilmiş ve çok iyi bilinen bir kayma açısı türetilmiştir. Merchant tarafından yapılan çalışma Black ve Huang tarafından türetilmiş ve kayma açısını bulmak amacıyla minimum enerji prensibi kullanılmıştır [28].

2.2. Nümerik Yaklaşımlar

Son yirmi yılda talaş kaldırma işlemini analiz etmek amacıyla Eulerian ve geliştirilmiş Lagrangian formülasyonlarına dayalı sonlu eleman metotları geliştirilmiştir. Nümerik metotlar ve özellikle de sonlu elemanlar metodu, bilgisayar teknolojisindeki ve karmaşık kodlardaki gelişmeler nedeniyle artan bir ilgiye sahip olmuştur. Ortogonal talaş kaldırmayı modellemek amacıyla kullanılan modellerin bir kısmında Eulerian formülasyonu kullanılmıştır. Ancak başlangıçtan denge durumuna kadar talaşın modellenmesine imkân veren Lagrangian formülasyonu daha yaygın olarak kullanılmıştır. Lee'ye göre talaş kaldırmayı FEM kullanarak incelemenin avantajları aşağıdaki gibi özetlenebilmektedir [30]:

- i. Gerinme, gerinme hızı ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak malzeme özelliklerinin ele alınabilmesi,
- ii. Talaş-takım etkileşiminin yapışma ve kayma olarak modellenebilmesi,
- iii. Doğrusal olmayan geometrik sınırların talaşın serbest yüzeyi gibi ifade edilebilmesi ve kullanılabilmesi,
- iv. Kesme ve ilerleme kuvvetleri ile talaş geometrisinin genel değişkenlerine ek olarak lokal gerilmeler, gerinmeler ve sıcaklıkların elde edilebilmesidir.

Literatürde birçok sonlu elemanlar teknikleri uygulanmıştır. Strenkowski ve Carroll, Strenkowski ve Mitchum, Komvopoulos ve Erpenbeck, Ueda ve Manebe, Shih ve

Yang, Shih sonlu eleman modelinin doğruluğu ve etkinliğini geliştirmek amacıyla eleman ayırma yöntemini uygulamıştır [31-36]. Strenkowski ve Carroll, Strenkowski ve Mitchum, Ueda ve Manebe, Shih ve Yang, Shih, kesici takım aşınmasının modellenmesi sonlu elemanlar yöntemi ile modellemişlerdir [31-32, 34-36]. Shih and Yang yeniden ağ oluşturma bölgesi modellemiştir [35]. Strenkowski ve Carroll, Strenkowski ve Mitchum, Komvopoulos ve Erpenbeck, Ueda ve Manebe, Shih ve Yang, Shih kesme sırasında oluşan sürtünmeyi modellenmişlerdir [31-35]. Malzeme deformasyonunu modellemek için sıcaklık, gerinme hızı ve gerinme sertleşmesi etkilerinden oluşan iş parçası malzemesi modeli uygulanmıştır.

Nümerik yaklaşımdaki literatür bölümü; çalışmanın ayrılma simülasyonu içerip içermediğine ve başlangıçtan denge durumuna kadar talaş oluşumunun simule edilip edilmediğine göre sınıflandırılmıştır.

2.2.1. Denge durumu çözümü

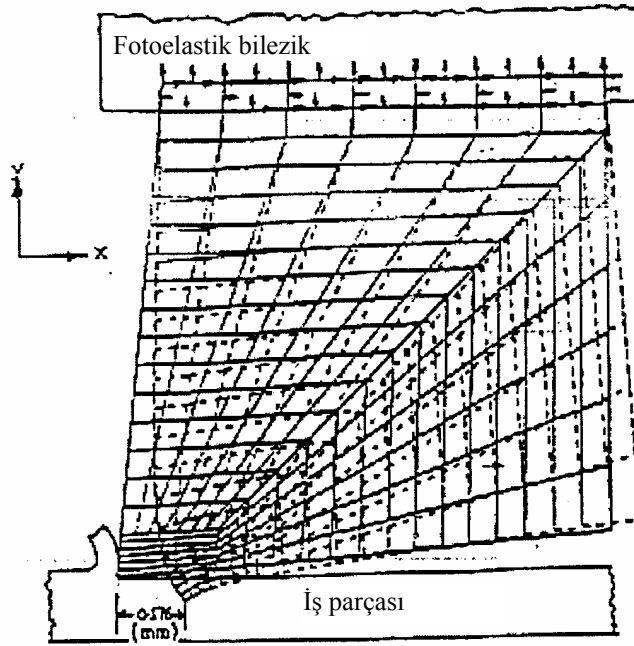
Bu çalışmalarda talaş kaldırma problemi denge durumu şartlarında modellenmiş olup ayırma için simülasyon içermemektedir. Talaş biçimi ile modelin tanımlanması ve sınır şartları için ihtiyaç duyulan veri, deneylerden ve teorik sonuçlardan elde edilmiştir.

Howerton, Strenkowski ve Bailey, BUE etkilerini tahmin eden bir model geliştirmişlerdir [9]. Eulerian sonlu eleman modeline dayalı ortogonal kesme modeli geliştirilmiş ve iş parçası rijit-viskoplastik malzeme olarak kabul edilmiştir. Akma gerilmesi üzerindeki sıcaklık ve gerinme hızı etkileri Zener-Hollman parametresiyle birleştirilmiş ve BUE'nin bu parametrenin kesme kenarından uzaktaki bir yönde negatif bir büyüklük sergilemesi halinde oluşacağını belirlemişlerdir.

Strenkowski ve Moon, ortogonal kesme işlemini simule eden ve talaş geometrisi ile iş parçası, talaş ve kesici takımdaki sıcaklık dağılımını deneysel kesme verisine gerek kalmadan tahmin eden bir Eulerian sonlu eleman modelini sunmuşlardır [37]. Yapılan bu çalışmada; malzeme hızı, gerilme ve gerinme hızı dağılımlarından

belirlenebilen kesici takım etrafındaki akış alanının özellikleri gösterilmiş ve kayma gerilmesinin tek bir kayma düzlemi yerine kesici takımın önündeki sonlu bir bölge üzerinde oluştuğu belirtilmiştir [37].

Ahmad ve arkadaşları, kesici takım performansının bir analizini, kesici takımın sınırlarındaki 2 boyutlu gerilme dağılımının belirlenmesiyle gerçekleştirmişlerdir [38]. Talaş kaldırma probleminin çözümünde etkin bir şekilde kullanılabilen bir sonlu eleman tekniği uygulanmış ve öncelikle sınır şartları oluşturulmuştur. Şekil 2.5'te pozitif talaş açılı kesici takım modelinden alınan kesici takım deformasyonu gösterilmiştir.



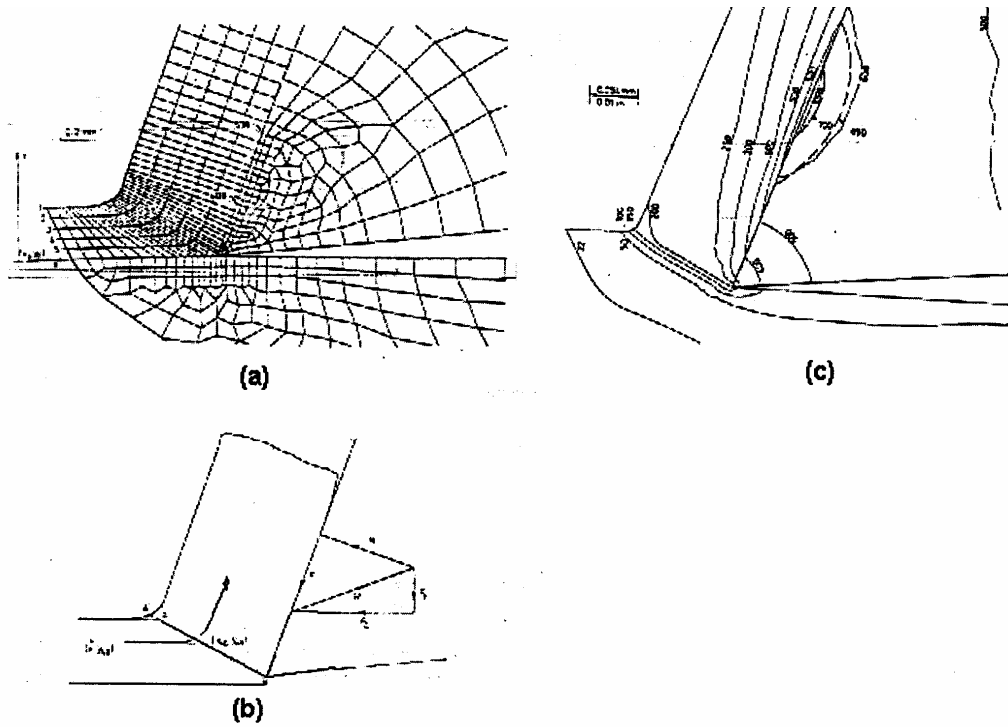
Şekil 2.5. Pozitif talaş açılı kesici takım modelinden alınan kesici takım deformasyonu [38].

Tyan ve Yang, bir sınır analiz teoremi kullanarak kontrol edilen kesici takım teması için ortogonal kesme işlemini simule etmişlerdir [39]. Kesici takıma göre iş parçasının denge durumu hareketini tanımlamak amacıyla bir Eulerian referans koordinatını kullanmışlar; talaş derinliği, talaş açısı ve sürtünmeyi içeren kontrol parametreleri için sonuçlar elde etmişlerdir. Talaş oluşumu için ayırma olayını simule etmemişler, sadece denge durumu şartlarındaki problemi çözmüşlerdir.

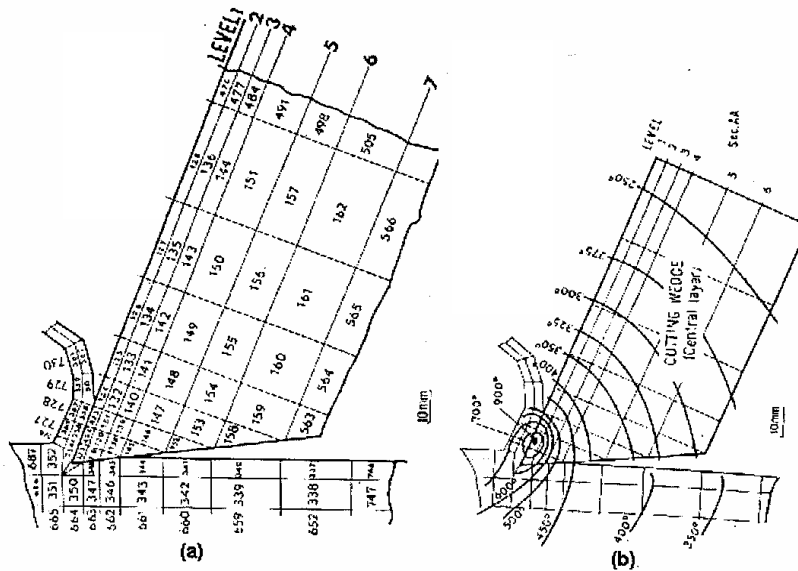
Muraka ve arkadaşları, çeşitli kesme şartları için sonlu eleman metodunun Galerkin yaklaşımını kullanarak ortogonal işleme sırasında iş parçası ve talaştaki sıcaklık dağılımlarını belirlemişler; sıcaklık üzerindeki kesme hızı, ilerleme, soğutma sıvısı, talaş açısı, takım aşınması ve kesici takım malzemesi gibi değişkenlerin etkilerini incelemişlerdir [40]. Problemin sonlu eleman çözümünde; talaş ve kesici takımın gerçek geometrilerini, deneysel olarak elde edilen hız ile esas ve ikinci deformasyon bölgelerindeki ısı dağılımını, yoğunluk değişimini ve sıcaklıktaki termal iletkenlik spesifik ısıyı göz önüne almışlardır. Ayrıca gerinme, gerinme hızı ve sıcaklık ile akma gerilmesinin değişimini ve kesici takımın talaş yüzeyi üzerinde ve boşluk yüzeyi boyunca sınır sürtünmesi sebebiyle meydana gelen ısı oluşumunu da dikkate almışlardır. Analizlerinde ilk önce kesme şartlarındaki denge durumu şartı için talaş ve kesici takım geometrisini belirlemişlerdir. Geliştirdikleri modelde talaş ayrılmasını simüle etmemişlerdir.

Stevenson ve arkadaşları, talaş kaldırmada talaş ve kesici takımda meydana gelen sıcaklık dağılımını hesaplayan sonlu eleman programı geliştirmişler, buldukları sonuçları daha önceden metalografik metotla elde ettikleri sıcaklık sonuçlarıyla karşılaştırmışlar ve talaş ile kesici takımın geometrisini başlangıçta kabul etmişlerdir [40]. Simülasyon için gerekli veriyi deneysel ve teorik sonuçlardan elde etmiş ve buldukları sonuçları literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırmışlardır (Şekil 2.6).

Mansour ve arkadaşları, kesici takım–talaş–iş parçası sisteminde denge durumundaki sıcaklık bölgelerinin belirlenmesi için bir sonlu eleman modeli geliştirmiş ve ısı transferini 3 farklı modelle modellemişlerdir [42]. Belirli noktalardaki gerekli girdi sıcaklıklarını deneysel sonuçlardan almışlar; modeli, ortogonal talaş kaldırma işlemindeki sıcaklık dağılımını belirlemek için uygulamışlar ve talaş ayrılmasını simüle etmemişlerdir. Şekil 2.7’de geliştirdikleri model ve elde ettikleri sonuçlar gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Kesici takımda meydana gelen sıcaklık dağılımı a) Başlangıçtaki ağ yapısı b) Kabul edilen talaş ve akış hattı c) Elde edilen sıcaklık dağılımları [41].



Şekil 2.7. Kesici takım-talaş-iş parçası sisteminde denge durumundaki sıcaklık bölgeleri a) Başlangıçtaki ağ yapısı b) Elde edilen sıcaklık dağılımları [42].

Toshimichi ve arkadaşları, bakırın ortogonal mikro işlenmesinin teorik ve deneysel analizini gerçekleştirmiş ve bakırın mikro işlenmesini simule etmek amacıyla kesici

takım burun yarıçapını da dikkate alan rijit plastik sonlu eleman metoduna dayalı bir model geliştirmişlerdir [43]. Başlangıçtaki gerilme ve gerinme sıfır kabul edilmiş ve başlangıç modeli için kesici takıma küçük ilerlemeler verilerek hız alanı sonlu eleman metodu ile hesaplanmıştır. Talaş biçimlenmesi, kesme kuvvetleri ve iş parçasındaki gerilme dağılımlarını kullanarak bakırın mikro işlenebilirliğini araştırmışlardır. İş parçasında hesaplanan gerilme ve sıcaklık akışına dayalı olarak iş parçası ve kesici takımındaki ısı akışını ve sıcaklık dağılımını analiz etmişlerdir.

Maekawa ve Shirakashi, talaş kaldırmadaki talaş akışını ve kesici takım hasarının ve yüksek gerinme hızları ve sıcaklıklardaki iş parçasının kırılması ve elastik–plastik deformasyonunu ihtiva eden malzeme özelliklerinin tahmin edilmesini incelemişlerdir [44]. Kesici takım ve iş parçasındaki sıcaklık dağılımları simülasyonlarda gösterilmiş ve çeşitli simülasyon sonuçlarını 2 boyutlu sürekli ve kesikli talaş biçimlenmesi, kesici takım aşınması ve kırılması gibi deneylerle karşılaştırmışlardır.

Iwata ve arkadaşları, denge durumu şartındaki ortogonal kesme için rijit–plastik sonlu eleman modeli geliştirmiş, talaş biçimi (kalınlığı ve bükülmesi gibi) ile gerilme ve gerinme dağılımlarını hesaplamışlardır [45]. Sunulan model sünek kırılma kriteri ile birleştirilerek talaşın kırılması tahmin edilmiştir. Öncelikle kesme şartları ve kesici takım geometrisi verilerek bir deneme modeli oluşturulmuş sonra da model, düzlem gerinme sonlu eleman analiz sonuçları kullanılarak değiştirilmiştir. Elde edilen talaş biçimi ve gerinme dağılımı (akma gerilmesi) kabul edilen değerlere ulaşıncaya kadar değiştirme işlemi tekrarlanmıştır. Kesici takımın hareket etmediği ve iş parçasının sabit bir hızda hareket ettiği şeklindeki kabullerle sınır şartları tanımlanmıştır. Deneme modelinde akma gerilmesinin düzgün bir şekilde dağıldığı ve verilen uygun bir düğüm noktasında talaşın kesici takım yüzeyinden ayrıldığı kabul edilmiştir.

Liu ve Lin, talaş kaldırma sırasında iş parçasındaki gerilme bölgesi üzerindeki kayma sınır şartlarının etkilerini incelemek amacıyla sonlu eleman metodunu kullanmışlardır [46]. Kayma düzlemi üzerindeki normal gerilme dağılımı gibi

bilinmeyen sınır şartlarını hesaplamak amacıyla kayma düzlemi ve kesici takımın talaş yüzeyi üzerindeki kuvvet ve moment dengesini kullanmış ve kayma düzlemindeki normal gerilme dağılımının kesici takım ucu altındaki iş parçasının gerilme değerini önemli ölçüde etkilemediğini göstermişlerdir.

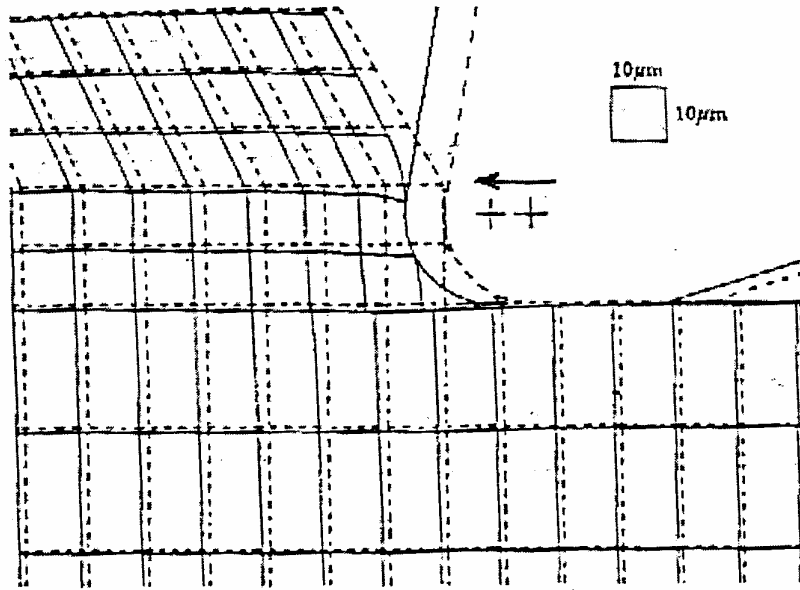
2.2.2. Sürekli talaş oluşumu

Komvopoulos ve Erpenbeck, ortogonal talaş oluşumunu sonlu eleman metodu kullanarak modellemişler ve kesme sürecinde etkili olan iş parçası malzemesinin plastik akışı, kesici takım–iş parçası ara yüzeyindeki sürtünme ile kesici takım aşınması gibi önemli faktörlerin etkisini incelemişlerdir [33]. Talaşın iş parçasından ayrılışını simule etmek için, başlangıçtaki ağın ayrılma çizgisinin her bir düğüm konumundaki iki düğümün süperpozisyonunu uygulamışlardır. Talaş ayrılma kriteri olarak kesici takım ucu ile uca en yakın düğüm arasındaki mesafenin önceden belirlenen kritik bir değere ulaşması halinde, bu düğümün iş parçasından ayrılacağını kabul etmişlerdir. Analizlerinde; izotropik gerilme sertleşmesiyle birlikte elastik–mükemmel plastik ve elastik–plastik ile gerilme hızı duyarlılık esas denklemlerini kullanmışlardır. Problemi basitleştirmek için kesici takım ve BUE mükemmel biçimde rijit olarak modellemiştir. Denge durumu şartlarına uygun olarak toplam plastik gerilme ve von Mises eş gerilme dağılımları ile talaş yüzeyindeki normal ve kayma gerilmeleri karşılaştırılarak, kritik parametreleri araştırmışlardır. Denge durumundaki kesme kuvvetlerinin büyüklüğü, kayma düzlemi açısı, talaş kalınlığı ve talaş–kesici takım temas boyu üzerinde ara yüzeyde oluşan sürtünme, metalin akış özellikleri ve kesici takımın talaş yüzeyindeki aşınma etkilerini açıklamışlardır [33].

Lin ve Lin, ortogonal kesme için büyük deformasyon altındaki birleştirilmiş bir termo–elastik–plastik malzeme modeli oluşturmuşlar; analitik modellerinde, gerilme enerjisi yoğunluğunun kritik değerine dayalı talaş ayırma kriterini kullanmışlardır [47]. Talaş kaldırmanın gerçekçi bir davranışını göstermek için akma gerilmesi; gerilme, gerilme hızı ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ele alınmıştır. Kesici takım, başlangıçtaki takım–iş parçası temasından talaş biçimlenmesinin

denge durumuna ulaşmasına kadar küçük ilerlemelerle hareket ettirilmiştir. Talaş geometrisi, işlenmiş yüzeydeki artık gerilmeler, talaş ve kesici takımdaki sıcaklık dağılımları ile kesici takıma etkiyen kesme kuvvetleri elde edilmiş; hesaplanan kuvvet değerleri ile deneysel çalışmayla bulunan değerler arasında çok yakın sonuçlar bulunmuş, gerinme enerjisi yoğunluğuna dayalı olan talaşın ayrılma kriteri değerinin bir malzeme sabiti olduğu ve işlenmemiş talaş kalınlığından bağımsız olduğu doğrulanmıştır.

Arola ve Ramulu, sonlu eleman metodunu kullanarak fiber takviyeli polimer kompozitlerin ortogonal kesme işlemini analiz etmişler, talaş oluşumunu simule etmek için en büyük gerilme ve Tsai-Hill kriterini kullanarak çift kırılma işlemini kullanmışlardır [48]. Talaş açısı, boşluk açıları, kesici takımın burun yarıçapı ve kesici takım aşınmasını ihtiva eden kesici takım geometrisini ve takımla iş parçası arasındaki sürtünmeyi de ele almışlardır. Kırılma gerilmesi üzerindeki fiber yönelimi ve kesici takım geometrisinin etkilerini incelemişlerdir. Talaş ayrılmasını, birincil ve ikincil kırılmalar için uygun dayanım bileşenleri ile gerilme kriteri yaklaşımını kullanarak simule etmişlerdir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Başlangıç ve deforme olmuş sonlu eleman ağları [48].

Caroll ve Strenkowski, talaş ve iş parçasındaki gerilme ve gerilme bölgeleri, talaş geometrisi ve kesici takıma etkiyen kesme kuvvetlerin belirlenebildiği geliştirilmiş Lagrangian ve Eulerian formülasyonlarına dayalı iki ayrı ortogonal sonlu eleman modelinin karşılaştırmasını yapmışlardır [49]. Büyük deformasyonun gerçekleştiği geliştirilmiş Lagrangian formülasyonuna dayalı modelde elastik–plastik bir malzeme modelini içeren sonlu eleman koduna sahip NIKE2D programını kullanmışlar, Eulerian modelinde ise kesici takımın çevresindeki bölgenin Eulerian bir akış bölgesi gibi davrandığı iş parçası malzemesinin viskoplastik bir malzeme modelini kullanmışlardır [49].

Shih ve Yang, geliştirilmiş Lagrangian formülasyonuna dayalı olan ve gerilme–gerinme ilişkisi üzerindeki elastisite, viskoplastisite, sıcaklık, gerinme hızı ve büyük gerinme etkileri ile kesici takım–talaş ara yüzeyi üzerindeki sürtünme kuvveti etkisini içeren; sürekli talaş oluşumunu ihtiva eden düzlem gerinme ortogonal talaş kaldırma işleminin simülasyonu için bir sonlu eleman metodu geliştirmiş ve uygulamışlardır [35]. Talaş biçimlenmesi için kullandıkları eleman ayırma kriteri, kesici takım önündeki 4 elemanın bağlı olduğu düğüm noktası ile kesici takım ucu arasındaki mesafeye bağlı olarak gerçekleştirilmiş olup, sürtünme, kayma bölgesinde doğrusal olarak sıfıra azalan ve yapışma bölgesinde de sabit olacak şekilde modellenmiştir. Çalışmalarında çeşitli ortogonal kesme deneyleri yapmışlar ve yüzeydeki artık gerilme dağılımlarını X–ışını kırınma metodu ile ölçmüşler ve alt yüzeydeki artık gerilme dağılımlarını ise kimyasal dağlama metodunu kullanarak elde etmişlerdir.

Shih’in sürekli talaş biçimlenmeli ortogonal kesme işleminin simülasyonu için bir sonlu eleman metodu geliştirdiği çalışmasında; sıcaklığın elasto–viskoplastik, büyük gerinme ve yüksek gerine hızına bağlı olduğu malzeme modeli kullanılmıştır [35]. Birinci ve ikinci deformasyon bölgeleri ile işlenmiş yüzey altındaki normal ve kayma gerilmeleri, sıcaklık ve gerinme hızı gibi çeşitli simülasyon sonuçlarını vermiş; zamana bağlı parametrelerin değişim hızını sonlu farklar metodunu kullanarak tahmin etmiş ve deformasyon bölgesinden geçecek olan seçtiği 7 elemanın değişimini göstermek üzere Eulerian deformasyon tanımını kullanmıştır.

Talaş oluşumu, kesici takımın önündeki elemanlar arasındaki ayrılmaya göre sonlu elemanlar metodu kullanılarak modellenmiş; eleman ayırma kriteri olarak kesici takım ucu ile kesme yönündeki uca en yakın düğüm arasındaki mesafe kullanılmıştır.

Sadat ve arkadaşları, nikel esaslı süper alaşımlardan Inconel 718 malzemesinin ortogonal kesme şartları altında çeşitli kesme hızlarında işlenmesi sırasındaki plastik deformasyonu, yüzey bölgesindeki artık gerilme ve plastik gerinme dağılımlarının belirlenmesiyle değerlendirmiş; ayrılma kriteri olarak efektif gerinme verisini kullanmışlardır [50]. Artık gerilmeler çekme halinde ve yüzeye yakın olan kısımlarda ise en büyük olarak gerçekleşirken, işlenen yüzey altındaki derinliğin artmasıyla azalmış olup benzer sonuç plastik gerinmeler için de gözlenmiştir.

Zang ve Bagchi, talaş ayrılmasını simule etmek üzere iki düğümlü bir bağlantı elemanının kullanıldığı ortogonal kesme işleminin bir sonlu eleman modelini geliştirmişlerdir [51]. Talaşın ayrılmasını, kesici takım ucu ile takıma en yakın düğüm arasındaki mesafenin önceden verilen bir değere eşit veya daha küçük olmasına bağlı olarak gerçekleştirmiş; talaş-kesici takım etkileşimini kayma/yapışma olarak modellemişlerdir. Kayma bölgesinde sabit bir sürtünme katsayısı kullanırken yapışma bölgesinde ise iş parçası malzemesinin kayma dayanımını kullanmışlardır [51].

Usta, yapmış olduğu doktora çalışmasında, geliştirilmiş Lagrangian formülasyonuna dayalı MARC kodunu kullanarak ortogonal kesmenin bir düzlem gerinme sonlu eleman modelini geliştirmiş; kesici takımın kesmeye ilk başlamasından kesmenin denge durumuna ulaşmasına kadar talaş oluşumunun simülasyonunu yapmıştır [9]. Gerinme ve gerinme hızı dağılımları, talaş oluşumu (kayma düzlemi açısı ve/veya kesme oranı), kesme kuvveti, yer değiştirme ve gerilme dağılımları üzerindeki talaş açısı, sürtünme katsayısı ve farklı akma dayanımlarına sahip malzeme parametresi gibi kesme parametrelerinin etkilerini incelemiştir. Sonlu eleman modelinden elde ettiği sonuçları yapmış olduğu deneysel çalışma sonuçlarıyla ve literatürde yapılan diğer deney sonuçlarıyla karşılaştırmıştır.

Lagrangian formülasyonunun kullanılması, deforme olmamış talaşın iş parçasından ayrılması için bir kritere ihtiyaç duymaktadır. Bu sebeple sonlu eleman modellemede gerçekçi bir talaş ayırma kriteri geliştirmek önemli bir faktördür. Black ve Huang, fiziksel ve büyüklükleri değişen geometrik ayırma kriteri kullanma etkilerini incelemişlerdir [52]. Çalışmalarında geometrik kriteri; kesici takımın sonlu eleman ağlarındaki eleman mesafelerinin onda biri kadar olan bir değer ulaşması halinde, kesici takımın elemanı kaydırmaya başlayacağı şeklinde ifade etmişlerdir. Geometrik kriter, talaşın ayrılmasını gerçekleştirmek amacıyla; normal ve kayma değerlerinin talaş ayırma değerlerine ulaşması halinde meydana gelen talaş ayrılmasının başlayacağını ifade eden normal ve kayma kuvveti/gerilmesi kriterini kullanmaktadır. Black ve Huang, kesme işlemi için daha gerçekçi bir simülasyon sağlamak amacıyla fiziksel ve geometrik kriterin birleştirilmesi sonucuna varmışlardır [28].

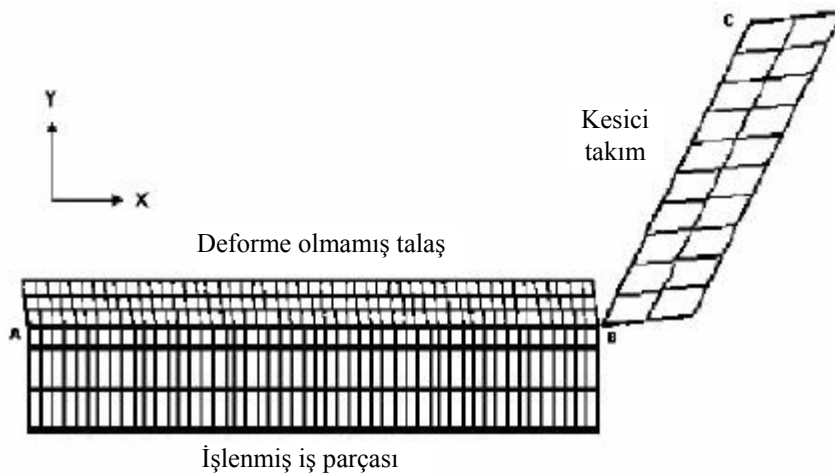
Wince tarafından yapılan çalışmada ise, oksijensiz yüksek iletken bakır (OFHC) ve Alüminyum 6061 T6 ve 2024 T351 alaşımlarına ait literatürden alınan talaş kaldırma verilerinin kullanıldığı talaş kaldırma sırasında talaş oluşumunun modellenmesi amacıyla Lagrangian formülasyonuna dayalı DYNA 3D sonlu eleman kodu kullanılmıştır [29]. Wince, çözülecek problemin sınır ve yükleme şartlarının tanımlanmasında aşağıdaki kabulleri yapmıştır:

- i. Kesme hızı sabittir.
- ii. Kesme genişliği ilerlemeden daha büyüktür ve her ikisi de sabittir.
- iii. Kesici takım mükemmel bir şekilde keskindir.
- iv. Kesme hızı vektörü (V_C) kesme kenarına diktir.
- v. İş parçası malzemesi homojen çok kristalli, izotropik ve sıkıştırılamaz bir katıdır.
- vi. İş parçası oda sıcaklığındadır.
- vii. Kesme, kesme sıvısı olmadan yapılmaktadır.
- viii. Hiçbir takım aşınması gerçekleşmez.
- ix. Kesici takım rijittir (deformasyon yoktur).
- x. Kesmenin denge durumuna işlem süresince ulaşılır.

Wince'in çalışmasında ortogonal kesme modeli, farklı iki malzeme (kesici takım ve iş parçası) modeli ile modellenmiştir [29]. Kesici takım mükemmel şekilde keskin (hiçbir aşınmanın olmadığı) ve rijit kabul edilmiş olup elastik bir katı (mükemmel şekilde) olarak modellenmiş, kesici takımın rijitliğini sağlamak için de elastikiyet modülü çok yüksek seçilmiştir (yaklaşık takım çeliğinin 10 katı). Seçilen deney malzemelerinin malzeme davranışını modellemek için gerilme, gerilme hızı ve sıcaklığın sebep olduğu gerilme değişimlerini ihtiva etmesi amacıyla Johnson ve Cook eşitliğini (Eş. 2.12) kullanmıştır [29].

$$\sigma = (A + B\varepsilon^n) \left[1 + C \ln \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0} \right) \right] \left[1 - \left(\frac{T - T_r}{T_m - T_r} \right)^m \right] \quad (2.12)$$

Johnson ve Cook eşitliği'nin deneylerle belirlenen 5 parametresi vardır: A , akma gerilmesi sabiti; B , gerilme pekleşme sertleşmesi sabiti; n , gerilme pekleşme sertleşmesi üssü; C , gerilme hızı pekleşme sertleşme üssü ve m sıcaklığa bağlı sabit. Ayrıca eşitlikte $\dot{\varepsilon}$, hesaplanan gerilme için gerilme hızını; $\dot{\varepsilon}_0$, referans gerilme hızını; T , deney parçasının sıcaklığı; T_r , referans sıcaklık ve T_m numunenin ergime sıcaklığıdır. İş parçasının modellenmesi; deforme olmamış talaş ve işlenmiş yüzey şeklinde iki parça halinde modellenmiştir (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Sonlu eleman modelinin şematik gösterimi [29].

Simule edilen kesme süreci boyunca kesici takım, iş parçasına dalmakta ve kaldırılacak talaşı kesmektedir. *AB* hattı boyunca talaş ayrılmasını ve *BC* takım–talaş ara yüzeyi boyunca kaymayı simule etmek amacıyla bir temas yüzeyi tanımlanmıştır. Etkileşim halindeki iki cismin başlangıçta ayrı veya temasta olduğuna karar vermek amacıyla büyük bağıl hareketlere imkân veren Coulomb sürtünme modeli kullanılmıştır.

Wince, yaptığı simülasyon çalışmasında; talaş açısının artmasıyla birlikte talaş kalınlığının azaldığını buna karşın talaş hızı ile kayma düzleminin arttığını belirlemiştir [29]. Ayrıca alüminyum alaşımlarının işlenmesinde talaş açısındaki azalmayla alüminyum alaşımları için süreksiz talaşın oluştuğunu ve kayma düzlemi açısındaki artışın dislokasyon yoğunluğunda bir artışa ve kayma önü açısında ise bir azalmaya sebep olmaktadır. Bunun da talaş kaldırma sırasında plastik deformasyonu tanımlayan kayma ve kayma önü açısının, işleme sertleşmesinin oluşmamasına sebep olduğunu, bakırın işlenmesinde ise kayma düzlemi açısının azalmasıyla işleme sertleşmesinin gerçekleştiğini göstermiştir.

Kalhuri ve arkadaşları, çalışmalarında; AISI 1045 çeliğinin sementit karbit kesici takımla (Sandvik Coromat H10F) işlenmesini göstermek üzere ABAQUS/Standard sonlu eleman kodu ile yapılan talaş oluşumuyla ilgili kesme simülasyonlarını gerçekleştirmişlerdir [53]. Bu çalışmalarında, önceden tanımlanan çatlak yolunun gerilemenin belirli bir değere ulaşması halinde başlayacağı şekilde ifade edilmiş olup iş parçası termo–elastoplastik olarak modellenmiş ve çalışma termo–mekanik bir modele göre gerçekleştirilmiştir. Çalışmada 1954 düğüm ve 1711 elemandan oluşan düzlem gerinme modeline göre 4 düğümlü elemanlar ile geliştirilmiş Lagrangian formülasyonu ve doğrusal olmayan eşitlik sistemlerinin çözümünde de Newton–Raphson metodunu kullanmışlardır [53]. Gerçekleştirilen simülasyon sonuçları Kistler dinamometre yardımıyla ölçülen kesme kuvvetleri yardımıyla karşılaştırılmıştır.

Kalhuri başka bir çalışmasında da ABAQUS, Lagrangian formülasyonunun kullanıldığı sonlu fark açık (Explicit) sonlu eleman kodu olan AdvantEdge (1310

düğüm ve 2232 elemandan oluşan 6 düğümlü kuadratik üçgen elemanlar ve düzlem gerinme kullanılmıştır) ve geliştirilmiştir [54]. Lagrangian formülasyonunun kullanıldığı kapalı (implicit) bir sonlu eleman programı olan SiMPle kodlarıyla yaptığı simülasyon sonuçlarının karşılaştırmalarını incelemiştir.

Ayrıca, Kalhori iş parçası yüzeyindeki artık gerilmelerin bir önceki kesmeden kaynaklandığını bulmak ve bunun talaş oluşum sürecine etkilerini incelemek amacıyla simülasyonlar gerçekleştirmiştir [54]. Çalışmada AISI 316L paslanmaz çelik malzeme ve Sandvik Coromat TNMG 160408-QF Grade 235 kesici uçlar kullanılmış, kesme kuvvetleri Kistler dinamometre ile ölçülmüş, talaş morfolojisini araştırmak için hızlı durdurma deneyleri gerçekleştirilmiş ve işlenen yüzeydeki artık gerilmeler belirlenmiştir. Simülasyonlarda kapalı sonlu eleman programı olan SiMPle kullanılmıştır. İkinci kesmedeki talaş oluşumu üzerinde birinci kesmedeki artık gerilme etkilerinin ihmal edilecek kadar az olduğunu ancak artık gerilmelerin ciddi bir şekilde etkilendiğini gözlemişlerdir.

“Kesme hızının iş parçasındaki artık gerilmelere etkisi” başlıklı çalışmada ise; kesme hızı ve ilerlemenin artık gerilmeler üzerindeki etkisi açık sonlu eleman kodu olan AdvantEdge ile kapalı sonlu eleman kodu olan SiMPle programları karşılaştırılarak araştırılmıştır [54]. Çalışmada, AISI 316L paslanmaz çelik malzeme ve Sandvik Coromat TNMG 160408-QF Grade 235 kesici uçlar kullanılmış, kesme kuvvetleri Kistler dinamometre ile ölçülmüş, talaş morfolojisini araştırmak için hızlı durdurma deneyleri gerçekleştirilmiş ve işlenen yüzeydeki artık gerilmeler X-ışını kırınmasıyla belirlenmiştir. Ölçülen artık gerilmelerin kesme hızıyla birlikte arttığı ve bunun da SiMPle programı ile elde edilen sonuçlarla uygun olduğu görülmüştür.

2.3. Delme İşlemleri ve Modellenmesi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Wang ve Sterling, çalışmalarında yatay yönde delik delme işlemleri esnasında delme işleminin kararlılığını geliştirmek için sayısal analizler gerçekleştirerek simülasyon stratejilerini geliştirmişlerdir [55]. Araştırma kaplamalı ve kaplamasız iki farklı takım ile derin ve derin olmayan delikleri kapsamaktadır. Analizler ve kapalı form

çözümlerinde geleneksel plastisite teorileri kullanılmıştır. Sonlu elemanlar analizleri elde edilen kritik akış kuvvetleri ile kapalı form çözümleri birbirine çok yakın sonuçlar sergilerken verim oranlarında oldukça önemli çelişkiler söz konusudur [55].

Li ve Shih, çalışmalarında titanyumun yüksek hızda boydan boya, helisel matkapla delinmesinde sıcaklık ve gerilim dağılımlarını incelemişlerdir [56]. Yaygın kullanılan Ti-6Al-4V alaşımının 9,92 mm çapında, 384 mm³/ s talaş kaldırma oranıyla delinmesi sırasındaki sıcaklık ve gerilim dağılımları araştırmışlardır. Ters ısı transferi metodunu kullanan bir sonlu elemanlar ısı modelini uygulayarak takım-talaş temas alanındaki ısı dağılımını ve kesme sıvısının konveksiyon ısı iletim katsayısını bulmaya çalışmışlardır. Deneysel olarak ölçülenle sayısal olarak tahmin edilen matkap sıcaklığı karşılaştırılmak suretiyle, oldukça yüksek bir uyumla ısı modelinin gerçekliliğini ortaya koymuşlardır. Matkap gerilim dağılımını çözümlmek için Termo-mekanik sonlu elemanlar analizi uygulamışlardır. Model sonuçları, kesme sıvısı uygulamanın, matkabın kesici ve kanal kenarları çevresindeki sıcaklığı düşürmede önemli olduğunu göstermişlerdir. 183 m/min’lik bir çevresel hızla, 0,05 mm/rev ilerleme ile 10,2 mm derinliğindeki bir deliğin kuru şartlarda delinmesinde 1210 °C’ ye çıkan sıcaklık, kesme sıvısı uygulamasıyla 651 °C’ ye kadar düşmüştür. Kesme kuvvetlerinin sebep olduğu mekanik gerilmelerle kombine ısıl gerilmelerin düşmesine sebep olan bu sıcaklık, matkap kusurlarının yerini tahmin etmek için analiz edilmiştir. Sırasıyla kuru ve ıslak delme şartlarındaki kusurların matkabın kesici ve kama kenarlarında yoğunlaştığı, modifiye edilmiş “Mohr kusur kriterleri” uygulanmak suretiyle belirlenmiştir. Araştırmacılar, ısı ve gerilim modelinin etkinliğinin, delme işlemindeki parametre seçimini ve matkap tasarımını iyileştireceğini göstermeyi hedeflemiştir [56].

Zitaune ve Collambert, benzer statik yapıdaki uzun fiber kompozit yapıların delinmesi sırasında ve delikten çıkarken kusurlara sebep olan ilerleme kuvvetini hesaplamak için sayısal bir sonlu eleman analizi üzerinde çalışmışlardır [57]. Literatürdeki analitik modellerle karşılaştırma suretiyle, bu sayısal modelde laminat yapıdaki kesme kuvvetini olduğu kadar takım ucu geometrisini de dikkate almışlardır. Bu sayısal modelin doğrulanması Hexcel Kompozit firması tarafından

Üretilen iki tip karbon/epoksi uzun fiberli yarı mamller üzerinde düşük hızda gerçekleştirilen zımbayla delme deneyleriyle yapılmıştır. Sayısal sonuçlar, deneysel verilerle doğru bir korelasyon sağlamıştır [57].

Li ve arkadaşları, bir başka çalışmasında Ti-6Al-4V i parçasının yüksek hızda boydan boya delinmesinde metalürjik analizleri ve non tanımlama karakterizasyonunu incelemişlerdir. Ti-6Al-4V malzemenin delinmesi sırasında delik yüzeyinde ve alt yüzeyde SEM ve XRD alıması ile mikroyapı karakterizasyonunu hedeflemişlerdir [58].

Tsao ve Hocheng, kompozit malzemelerin delinmesinde takım aşınmasının katman kalkması üzerindeki etkisini aratırmılardır [59]. Kompozit malzemelerin delinmesindeki katman kalkmasını en belirgin kusur olarak ele alan araştırmacılar, karbon fiber takviyeli kompozitleri helisel matkaplarla delinmesi sırasında matkap aşınmasının sebep olduğu katman kalkması problemini kapsamlı olarak incelemişlerdir. Deneysel sonuçlar, artan aşınma miktarıyla kritik ilerleme kuvvetinin daha yüksek olduğunu ve gerçek ilerleme kuvvetindeki daha fazla bir artışla katman kalkmasının daha kayda değer bir hale geldiğini göstermiştir [59].

Ti-6Al-4V malzeme üzerinde yapılan bir başka çalışma ise Zeilmann ve Weingaertner tarafından gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu çalışmada, minimum düzeydeki bir yağlamayla, bu malzemenin delinmesi sırasında oluşan sıcaklıklar analiz edilmiştir [60]. Titanyum alaşımı olan malzemenin TiAlN, CrCN veya TiCN sert kaplamalarla kaplanmış ve kaplanmamış K10 kalitesinde karbür matkaplarla delinmesi sırasında ulaşılan sıcaklıkların analizini içeren bu çalışmanın temel amacı, minimum yağlayıcı kullanmak suretiyle farklı kaplanmış takımlardaki sıcaklığın değerlendirilmesi olmuştur. Harici bir nozuldan minimum yağlayıcı ile delinmesi için işlem, küçük derinlikte deliklerde ve delik yüzey kalitesi açısından sınırlı kalmıştır.

Endo ve arkadaşları, yumuşak elik sacların delinmesinde işleme hassasiyeti ve delme parametrelerinin etkisi ile küçük çaplı deliklerin hassasiyet tahmini üzerinde

çalışmışlardır. Delik hassasiyetinin tespiti için Fourier Serisi Analizi kullanan bir metot önerilmiş ve bu metot makine imalat sektöründe kullanılan yumuşak çeliklerde 1 mm çapında delinmiş deliklere uygulanmıştır. Sonuç olarak, delik hassasiyetinde matkabin eğilmeye karşı rijitliğinin ve matkabin uç noktasının inceliğinin önemli bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir [61].

2.4. Literatür Araştırmasının Değerlendirmesi

Literatürde incelenen çalışmalar tarih sırasına göre aşağıdaki esaslara bağlı olarak 5 temel sütun ve bu temel sütunlardaki özellikleri göstermek üzere yine kendi arasında alt sütunlara bölünerek Çizelge 2.2’de verilmiştir:

- Problemler (yazarlar tarafından analizi yapılan problemler),
 - i. *Talaş biçimi*: Temas uzunluğu ve kayma düzlemi açısını içeren talaşın geometrik biçimi.
 - ii. *Gerinme bölgesi*: Gerinme hızı dağılımlarını da içeren talaştaki ve iş parçasındaki efektif gerinme ve bileşenlerinin dağılımı.
 - iii. *Gerilme bölgesi*: Birkaç çalışmada incelenen BUE’yi de içeren talaş ve iş parçasındaki gerilmeler.
 - iv. *Sıcaklık dağılımı*: Kesicide oluşan krateri ihtiva eden talaş ve iş parçasındaki sıcaklık dağılımları.
 - v. *Kesme kuvveti*
 - vi. *Artık gerilme dağılımları*
- Simülasyon tipi (talaş kaldırmada sonlu eleman metodu ile gerçekleştirilen simülasyonlar),
 - i. Denge durumu: Ayrılma olayının gösterilmediği buna karşın ilk talaş biçimlenmesinin kabul edildiği ve problemin iterasyonlarla çözüldüğü, denge durumu şartında çözülen problemler.
 - ii. Sürekli talaş oluşumu:

- S: Kesici takım ucuna en yakın elemandaki kritik efektif plastik gerinmeye dayalı simülasyon.
- D: Kesici takım ucuna en yakın düğümler arasındaki mesafeye dayalı simülasyon.
- E: Kesici takım ucuna en yakın elemandaki toplam plastik gerinme enerjisi yoğunluğuna dayalı simülasyon.

iii. *Talaş biçimlenme başlangıcı*: Talaşın biçimlenmeye başlamasının simülasyonu

iv. *Talaş biçimlenme başlangıcı ve sürekli talaş oluşumu*: başlangıçtan denge durumu şartına kadar talaş biçimlenmesinin simülasyonu

- Kabuller (problemin çözümü ve simülasyonu için yapılan kabuller),
 - i. *Talaş biçimi*: Problemin çözümünde kabul edilen talaşın ilk biçimi. Talaş biçiminin özellikleri; talaşın şekli, temas uzunluğu ve kayma açısı.
 - ii. *Gerinme bölgesi*: Gerekli gerinme bölgesi veya gerinme hattı.
 - iii. *Sıcaklık dağılımı*: Bazı noktalarda gerekli olan ve deneyle elde edilen sıcaklık veya sıcaklık dağılımları.
 - iv. *Kesme hızı*: Problem simule edilebilmesi için kullanılan kesme hızı.
 - v. *İlerleme*: Problem simule edilebilmesi için kullanılan ilerleme.
 - vi. *Kesme kuvveti*: Teorik hesaplamalardan veya deneylerden elde edilen kesme kuvveti değerleri.
 - vii. *Sürtünme katsayısı*: Problemin çözümü için kesici takım, talaş ve iş parçası arasındaki sürtünme katsayısının değerini
 - viii. *İş parçası ve talaş malzemesinin özellikleri*

- Elastik–plastik,
- Gerinme sertleşmeli elastik–plastik,
- Termo elastik–plastik,
- Rijit visko–plastik,
- Mükemmel plastik,

- Gerinme sertleşmeli termo elastik–plastik,
- Rijit plastik,
- Kompozit

ix. Kesici takım geometrisi

x. Kesici takım malzemesi

- Parametreler (problemin çözümünde ve sonuçların incelenmesinde kullanılan parametreler),

- i. Talaş derinliği
- ii. Kesme hızı
- iii. İlerleme
- iv. Talaş açısı
- v. Sürtünme katsayısı
- vi. Kesici takım geometrisi
- vii. İş parçası malzeme
- viii. Kesici takım malzemesi

Özellikle son yıllarda delme işlemlerinde ve bu işlemlerde oluşan ısıl ve mekanik gerilmelerin modellenmesi üzerine çalışmalar yoğunlaşmıştır. Genellikle titanyum alaşımı ve kompozit malzemeler gibi işlenmesi zor malzemelerin delinmesi ağırlık kazanırken, küçük çaplı delikler ve delik hassasiyeti de araştırılan konular arasında yer almıştır. Literatürde kullanılan matkapların genelde yekpare (solid) helisel (HSS veya karbür) matkaplar olduğu göze çarpmaktadır.

Bu araştırmada literatürden farklı olarak; değişik takma uçlu matkaplarda, farklı uç kaliteleri ve delme parametreleri ele alınarak, kesme gerilmelerinin yoğunlaştığı bölgelerin tespiti, deneysel çalışmalardan elde edilen veriler ışığında sonlu elemanlar metoduyla analiz edilmiştir. Analizlerden elde edilen bulgular ışığında gerilmelerin modellenmesi hedeflenmiştir. Takma uçlu matkaplarda gerilme analizi temel hedefi oluşturduğundan, deneysel çalışmalar için iş parçası malzemesi olarak işlenebilirlik özellikleri iyi bilinen bir malzeme (AISI 1050) seçilmiştir.

Çizelge 2.2. Literatürde incelenen çalışmalar.

Tarih	Yazarlar	Problemler						Simülasyon tipi				Kabuller										Parametreler								Açıklamalar
		1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	
1973	Mansour, Osman, Sankar, Mazz.				X			X				X	X	X						X	X									Denge durumundaki sıcaklık alanlarının belirlenmesi için FEM sunulmuştur.
1979	Muraka, Barrow, Hindua				X			X				X	X										X		X		X		X	Modelleme, soğutma faktörü ve takım aşınmasını içermektedir.
1983	Stevenson, Wright, Chow				X			X				X	X		X							X	X		X				X	Gerinme hızı, temas uzunluğu ve akma gerilmesi talaş kaldırma teorisinden alınmıştır.
1984	Iwata, Osakada, Teresaka	X	X	X				X																						Bir deneme modeli oluşturulmuş sonra FEM sonuçları kullanılarak model değiştirilmiştir. Değiştirme, elde edilen talaş biçimi ve gerinmenin (akma gerinmesi) kabul edilen değere ulaşmasına kadar tekrarlanmaktadır.
1985	Liu & Lin	X		X				X				X	X		X						X									FEM, gerilme bölgeleri üzerindeki kayma sınır düzlemi şartlarının etkisi için kullanılmıştır. Bilinmeyen sınır şartlarını hesaplamak için kuvvet ve moment dengeleri kullanılmıştır.
1985	Strenkowski, Caroll	X	X	X			X				S									X	X	X				X			X	Model, herhangi bir deneysel kesme verisi olmaksızın bahsedilen problemleri tahmin etmektedir. Ayırma değerinin karşılaştırılması teorik ortalama kayma gerilmesi ile kontrol edilmektedir.
1988	Caroll, Strenkowski	X	X	X		X					S									X	X	X	X		X	X				Lagrangian ve Eulerian formülasyonlarına dayalı iki modelin sonuçları karşılaştırılmıştır.

Çizelge 2.2. (Devamı) Literatürde incelenen çalışmalar.

Tarih	Yazarlar	Problemler						Simülasyon tipi				Kabuller										Parametreler								Açıklamalar
		1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	
1989	Ahmad, Draper, Derricut			X		X		X												X	E	X								Kesici takımındaki ve kesici kenarın sınırlarındaki gerilme dağılımının belirlenmesi amacıyla kesme performansının bir analizi yapılmıştır.
1989	Howerton, Strenkowski, Bailey				X			X												X	X		X		X				Sıcaklık ve gerilme hızının akma gerilmesine etkileri Zener-Hollmon parametresiyle birleştirilmiştir.	
1990	Strenkowski, Moon	X	X		X	X		X				X			X			X			X	X			X				Model herhangi bir deneysel veriye ihtiyaç duymamaktadır.	
1991	Sadat, Reddy, Yang	X	X				X				S							X					X						Nikel esaslı süper alaşımlardan Inconel 718'in plastik deformasyonu değerlendirilmiştir.	
1991	Komvopoulos, Erpenbeck	X	X	X		X			S												X				X	X	X	X	BUE ve krater aşınması kesici takım geometrisine ilave edilmiştir.	
1992	Tyan, Yang	X	X	X		X		X													X	X			X	X			Limit analiz teoremi kullanılarak kontrollü bir takım için bir ortogonal talaş kaldırma simule edilmiştir.	
1992	Lin, Lin	X	X	X	X	X	X		E						X						X								Her bir elemanın gerilme enerji yoğunluğu değerleri ayırma değeridir.	
1993	Toshimichi, Nabuhiro, Sheng	X	X		X	X		X				X	X		X						X								Kesicinin burun yarıçapı etkileri incelenmiştir.	
1992	Ueda, Manabe	X	X	X	X						D										X									
1992	Ueda, Manabe	X	X	X							D										X	X			X			X	Talaş kökü simule edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.	

Çizelge 2.2. (Devamı) Literatürde incelenen çalışmalar.

Tarih	Yazarlar	Problemler						Simülasyon tipi				Kabuller										Parametreler								Açıklamalar
		1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	
1993	Shih, Yang	X	X	X	X		X				D	X									X									Ayrılma kriteri olarak kesici takım ile buna en yakın eleman arasındaki mesafe kullanılmıştır. Simülasyonlarda aşınmış kesici takım ucu dikkate alınmıştır.
1996	Maekawa, Shirakashi	X	X		X	X		D				X	X		X	X					X									Talaş oluşumu, önceden biçimlenmiş bir talaş geometrisiyle başlayan simülasyonlar boyunca iteratif yakınsaklık metodu hesaplamaları sonucu belirlenmiştir.
1994	Camacho, Marusich, Oritz	X	X	X				X							X			X			X									Talaş ayrılmasını simule etmek için iki düğümlü bağlantı elemanı kullanılmıştır. Mesafeler bağlantı şartlarına dayalıdır.
1995	Shih		X	X	X		X				D	X						X			X									Ayrılma kriterinde kesici takım ile buna en yakın eleman arasındaki mesafe kullanılmış ve aşınmış kesici takım ucu simule edilmiştir.
1996	Shih		X	X	X						D	X			X			X			X									Ayrılma kriterinde kesici takım ile buna en yakın eleman arasındaki mesafe kullanılmış ve aşınmış kesici takım ucu simule edilmiştir.
1996	Shih		X	X	X		X				D	X						X			X				X					Ayrılma kriterinde kesici takım ile buna en yakın eleman arasındaki mesafe kullanılmış ve aşınmış kesici takım ucu simule edilmiştir.
1997	Arola, Ramulu					X				X					X						X				X		X			Çift yönlü fiber takviyeli polimer analiz edilmiştir.

3. DELİK DELME

3.1. Delik Delme İşlemleri

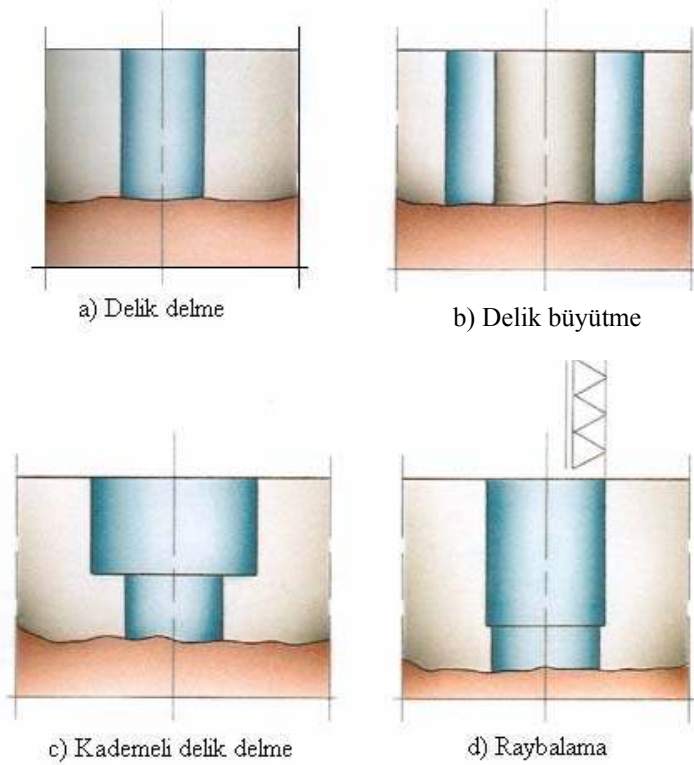
Delik delme, metal kesme takımlarıyla bir iş parçasında silindirik delik açma yöntemlerini içerir (Şekil 3.1). Delik delme, delik büyütme, fatura açma (kademeli delik işleme), raybalama ve delik büyültme gibi birbirini takip eden talaş kaldırma işlemlerini kapsar. Bütün bu işlemlerde ortak olan, doğrusal bir ilerleme hareketi ile birlikte ana bir dönme hareketinin olmasıdır. Kısa delik açma ve derin delik açma işlemleri birbirinden farklıdır. Derin delik açma, çapın birçok katı derinliğe sahip deliklerin açıldığı, uzmanlık gerektiren bir yöntemdir ve derinlik, çapın 150 katına kadar çıkabilir.



Şekil 3.1. Delik delme işlemi [62].

Kısa delik delme işlemlerinde, modern takımların gelişmesiyle beraber, hazırlayıcı ve ilave işleme ihtiyacı büyük oranda değişmiştir. Modern takımlar, normal olarak merkez ve kılavuz deliklerini önceden işlenmesine ihtiyaç duymadan, doluya delmenin tek işlemde yapılmasına imkân sağlamıştır. Delik kalitesi yüksektir, ölçü hassasiyetini ve yüzey pürüzlülüğünü geliştirmek için sonradan işlem yapmaya genellikle ihtiyaç duyulmaz.

Delik delme işlemi bazı yönleri ile tornalama ve frezeleme işlemleri ile karşılaştırılabilir de delik delmede talaş kırma ve talaşın boşaltılması kritik öneme sahiptir. İşleme delikle sınırlıdır, yani delik derinliği ne kadar büyükse işlemi kontrol etmek ve talaş kaldırmak o kadar zor olur. Birçok parçada kısa delikler bulunur ve yüksek malzeme kaldırma oranı, kalite ve güvenilirliğe ilaveten önemi artan bir önceliğe sahiptir. Delik delme işlemlerini; doluya delik delme, delik büyütme, fatura açma (kademeli delik delme) ve raybalama olmak üzere 4 başlık altında toplamak mümkündür (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Delik Delme İşlemleri [62].

Doluya delik delme

Doluya delik delme en yaygın delik delme yöntemidir. Bu yöntemle katı maddeye tek işlemde önceden belirlenmiş bir çapta delik açılır (Şekil 3.2.a).

Delik büyütme

Delik büyütme genellikle daha büyük delik çapları için kullanılır. Bu metot doluya delik delme kadar güç harcama gerektiren bir metot değildir. Delik büyütme takımı bütün çapı işlemez, sadece deliğin çevresindeki bir halkayı işler. Bütün malzemeyi talaş olarak kaldırmak yerine göbek malzemesi deliğin merkezinin etrafında boş olarak bırakılır, bu metot sonuçta delik içi uygulamaları içindir (Şekil 3.2.b).

Fatura açma

Fatura açma (kademeli delik işleme) deliğin çevresinde önemli bir miktarda talaş kaldıran özel olarak tasarlanmış bir takım ile mevcut deliğin genişletilmesidir (Şekil 3.2.c).

Raybalama

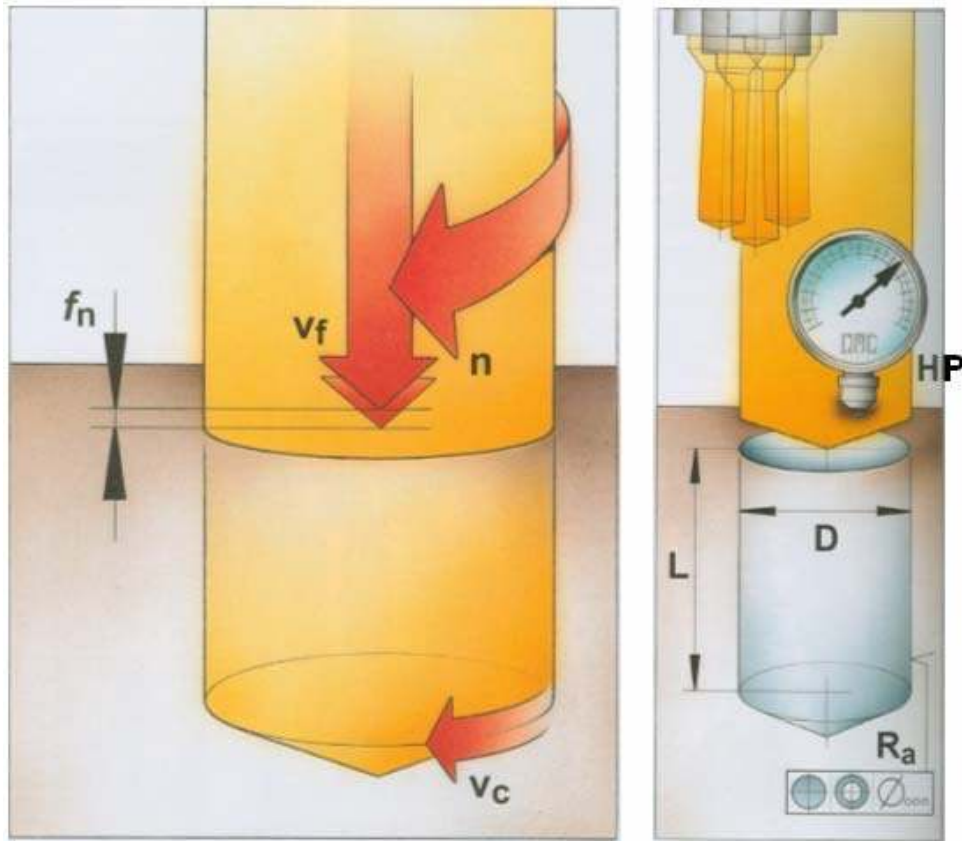
Raybalama mevcut deliğin son (ince) işlemidir. Bu işlem yüksek yüzey kalitesi ve dar toleranslar sağlamak için küçük çalışma toleranslarına ihtiyaç duyar (Şekil 3.2.d.).

3.2. Delme İşlemlerinde Kesme Değerleri

Delik delme için kesme hızı veya yüzey hızı, (V_c m/min) çevre hızıyla belirtilir ve fener mili hızından hesaplanır. Fener mili hızı (n), dakikadaki devir sayısı olarak ifade edilir. Bir devir boyunca matkabin çeperi, $\pi.D_c$ olan bir çemberi tanımlar. Buradaki D_c ifadesi takım çapını belirtir. Kesme hızı, kesme kenarının hangi matkap

yüzeyi boyunca çalışacağına bağlı olarak da değişir. Delik delme takımları için işlemedeki zorluk, matkabın çevresinden merkezine doğru kesme hızının düşmesi ve merkezde sıfır olmasıdır. Tavsiye edilen kesme hızları çevredeki en yüksek hız içindir.

Devir başına ilerleme bir devir süresince takımın yaptığı aksel hareketi belirtir. Bu ifade giriş oranını hesaplamada kullanılır ve matkabın ilerleme kapasitesini belirler. Giriş oranı veya ilerleme hızı (V_f mm/min) birim zamandaki uzunluk cinsinden takımın iş parçasına bağlı olarak ilerlemesidir. Bu ifade tezgâh ilerlemesi veya tabla ilerlemesi olarak da bilinir. Devir başına ilerleme ve fener mili hızının çarpımları matkabın iş parçasına giriş hızını verir. Delik delme işlemi hesaplamalarında radyal kesme derinliği (a_p) ve diş başına ilerleme (f_z) kadar delik derinliği (L) de önemli bir faktördür (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Kesme hızı, giriş oranı, fener mili hızı, devir başına ilerleme ve delik işleminin temel faktörleri [62].

3.3. Deliklerin İşlenmesi

Delikler ya boş olarak üretilir ya da işlenerek son hali verilir. Birçok iş parçasının en az bir deliği vardır ve bu delik, fonksiyonuna bağlı olarak çeşitli kısıtlamalarla işleme gerektirir. Bir deliği işleme açısından tanımlayan temel faktörler; çap, derinlik, kalite, malzeme, işleme şartlar, güvenilirlik ve verimliliğidir.

3.4. Kesme Kuvvetleri ve Güç

Delik açmak için belli bir miktarda enerjiye ihtiyaç duyulur. Matkap, iş parçasının içine girerek talaş kaldırırken kesme kuvvetleri matkaba etki eder ve bu da belli bir miktarda güç gerektirir.

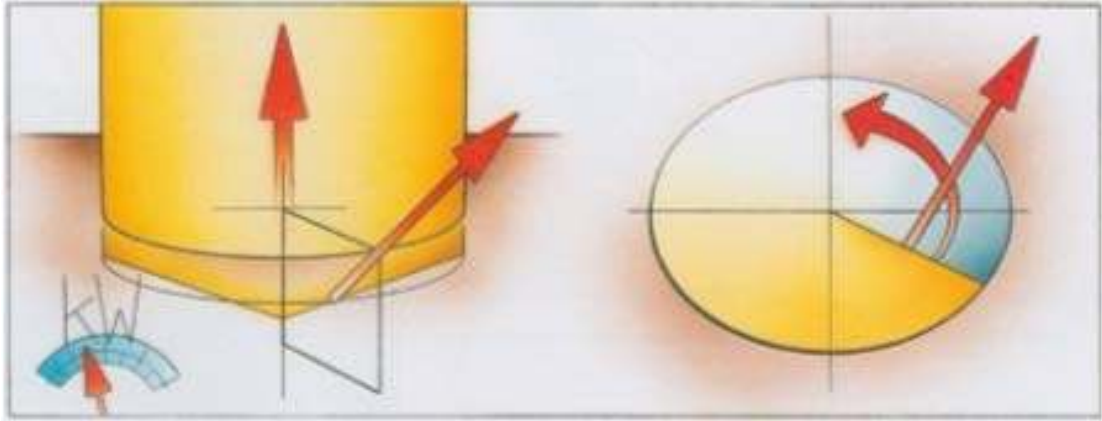
Öncelikle, delik açmak için gerekli olan güç, iş parçası malzemesinin cinsine göre farklılık gösterir ve bu güç hesaplanırken, malzeme için gerekli özgül bir kesme kuvveti göz önüne alınmalıdır.

Özgül kesme kuvveti değeri (k_c), mm^2 başına N cinsinden, birçok malzeme için hesaplanmış ve test edilmiştir. Bu değer, takımın etkin kesme açısı ve ortalama talaş kalınlığıyla ilgili tablolarda yer almaktadır ve belirli bir kesit alanı (1mm^2) olan bir talaş için gerekli olan teğetsel kesme gücü veya etkin kesme gücünün teorik talaş alanına bölümüyle tanımlanır. Değerler, diş başına ilerleme değeri olarak gösterilir. Normalde, çeliğin özgül kesme kuvveti demir esaslı olamayan alaşımların yaklaşık üç katı kadardır. Yüksek dayanımlı süper alaşımların özgül kesme kuvveti ise çeliğin yaklaşık iki katı kadardır.

Malzeme faktörüne ek olarak delik delme işlemi için gerekli olan güç (P_C) KW cinsinden çap ilerleme oranı ve kesme hızına bağlıdır. Belli bir işlemde yaklaşık güç ihtiyacını hesaplamak için bir eşitlik kullanılır ve bu eşitlik söz konusu takım tezgâhının yapılan uygulama için uygun olduğunu doğrulamak için kullanılır. Orta büyüklükteki birçok delik, modern tezgâhlar için problem oluşturmaz, fakat çaptan

kat be kat büyük derinliğe sahip olan büyük parçalar için gücün kontrol edilmesinde fayda vardır.

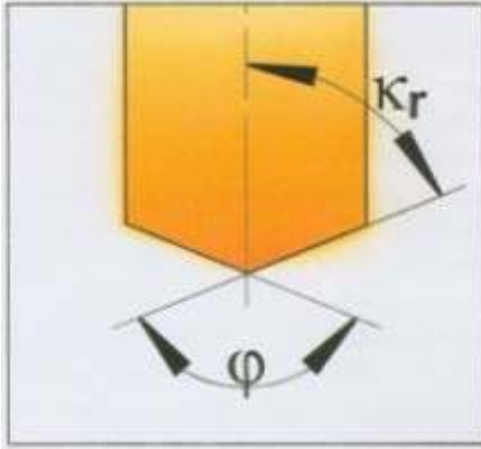
Nm cinsinden Tork (M_c), bazı büyük çaplı delik işlemlerinde, özellikle delik büyütme işlemlerinde, önemli olan diğer bir değerdir. Bu değer işleme sürecinde matkabın maruz kaldığı toplam delik delme momenti dikkate alınarak belirlenir. Tork değerini etkileyen başlıca faktörler; ilerleme, çap ve işlenen malzemedir. Tork her bir kesme kenarının momentleri toplamı ve teğetsel kuvvetin merkezden yarıçapla çarpımıdır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Matkabın ilerleme kuvveti ve tork [62].

N cinsinden ilerleme kuvveti (F_t), delme işleminde performans açısından genellikle en önemli parametredir. Bu, matkap malzemeye girerken matkaba uygulanan eksenel kuvvettir. Bu kuvvet delik işlemi için fener milinin gücü ve dayanıklılığın yeterli olduğunu doğrulamak için değerlendirilmelidir. Aşırı ilerleme kuvveti kullanımı, delik kalitesini ve takımın güvenilirliğini etkileyerek, tezgâhın durmasına yol açabilir. Diğer taraftan yeterli ilerleme kuvvetinin uygulanması ise kesme hareketi ve verim açısından önemlidir (Şekil 3.4).

İlerleme kuvveti matkap çapı, ilerleme ve delinen malzemeyle ilişkilidir. Matkabın kesme kenar açısı (K_r) da ilerleme kuvvetini etkiler. Matkabın uç açısı (ϕ) dir.

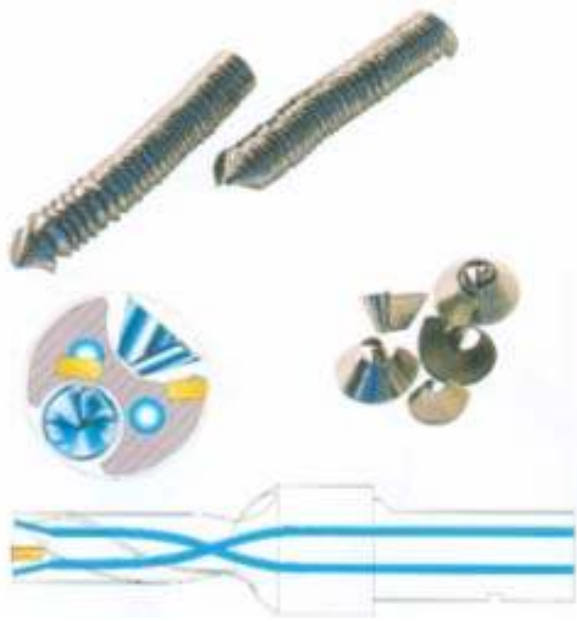


Şekil 3.5. Matkabın uç açısı ve kesme kenar açısı [62].

3.5. Delik Delme İşlemlerinde Talaş Kontrolü ve Kesme sıvısı

Talaş kontrolü ve kesme sıvısı delik delme işlemlerindeki önemli faktörlerdir. Uygun şekil ve büyüklükte talaş üretimi ve bunların tahliye edilmesi, herhangi bir delik işleminin başarısı için büyük önem taşır. Bu anlamda performans yeterli olmazsa matkap, delikte sıkışacağı için matkap kısa zamanda durur. Kesme hızları ve ilerlemeler modern matkaplarda yüksektir. Bu durum talaşın kesme sıvısı ile randımanlı bir şekilde tahliye edilmesiyle mümkün olmuştur.

Çoğu kısa delik matkabının, talaşları tahliye edildiği iki talaş kanalı vardır. Bu işlem modern tezgâhlar ve delik açma takımlarıyla, takım kesme sıvısı deliklerine içeriden kesme sıvısı sağlanarak çok etkin bir şekilde yapılır. Kesme sıvısı işlem boyunca talaşları atmak için matkabın ucundan boşaltılır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Delik delme işlemlerinde talaş oluşumu, talaş tahliyesi ve kesme sıvısı temini [62]

Talaş oluşumu; iş parçası malzemesi, takım, geometrisi, kesme hızı, ilerleme ve kısmen de kesme sıvısının seçimi tarafından etkilenir. Genellikle, arttırılan ilerleme ve azaltılan kesme hızı daha kısa talaş üretir. Talaşlar güvenilir bir şekilde atılabiliyorsa, talaş uzunluğu ve şeklinin kabul edilir olduğu söylenebilir.

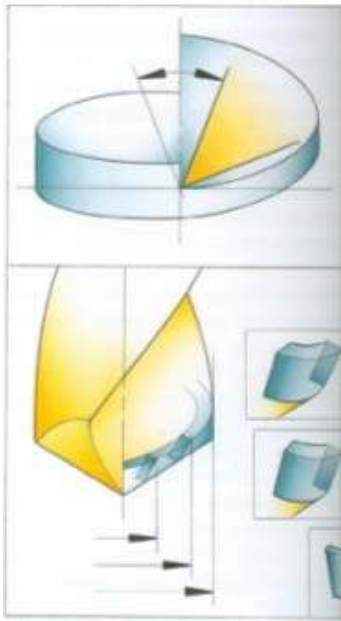
Matkabın talaş açısı (γ_E) kesme kenarı boyunca farklılık gösterir ve matkabın çevresinden merkezine doğru azalır. Kesme hızı da çevreden merkeze doğru düştüğü için kesme kenarı matkabın ucunda etkin bir şekilde çalışmayacaktır. Matkabın ucu malzemeyi kesmek yerine malzeme basınç uygular ve ona sürtünürse kesme açısının negatif ve kesme hızının düşük olduğu yerde plastik deformasyon eğilimi olur. Tezgâh, açılması gereken deliğin büyüklüğüne ve üretilen ilerleme kuvvetine göre zayıfsa, tezgâhın fener mili eksenden sapar veya sonuç olarak oval delik oluşabilir (Şekil 3.7).

Modern sinterlenmiş karbür matkaplarla yapılan delik delme işlemi, yüksek talaş debilerinin gerçekleştirilmesine ve büyük hacimdeki talaşların yüksek basınç altında

içerden sağlanan kesme sıvısı ile atılmasına imkân sağlar. Gerekli olan basınç (MPa) ve debi (l/min) temel olarak delik çapına bağlıdır, ancak işleme koşulları ve iş parçasının malzemesinden de etkilenir.

Kesme sıvısı içeriden verildiğinde, dönen matkap uygulamalarında merkezkaç kuvveti etkisinin sebep olduğu basınç düşüşünden dolayı, dönmeyen matkaptan daha yüksek kesme sıvısı basıncına ihtiyaç duyar. Bu durumu çok yüksek basınçlı kesme sıvısı teminiyle dengelemek zorunda kalmamak için, bir hacim dengeleyici kullanılabilir. Fakat sabit (dönmeyen) matkap ve harici kesme sıvısı teminiyle yapılan uygulamalar için iletim sistemindeki basınçta belirli bir düşüş de hesaba katılmalıdır.

Sistemdeki basınç, debi gibi kontrol edilmelidir. Böylece basınç en az matkap için önerilen seviyede olur ve kesme sıvısı tankında iyi bir pay kalır. Kesme sıvısının debisi matkabın kesme kenarında ölçülmelidir, çünkü burası önerilen değerlerin geçerli olduğu yerdir. Minimum debi ve basınç değerleri matkap tipine ve çapına göre tavsiye edilir.



Şekil 3.7. Matkabın kesme açısı [62].

3.6. Matkap Seçimi

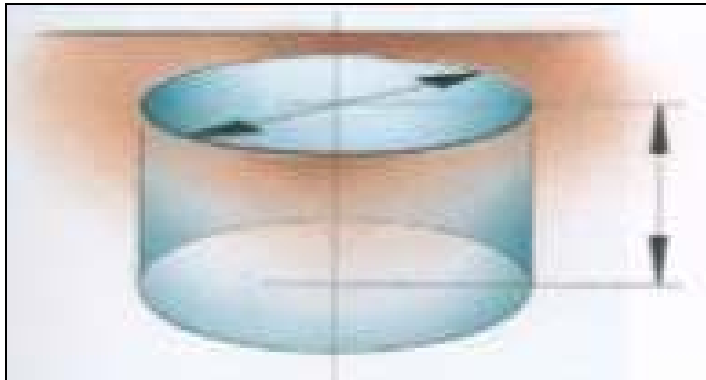
Matkap seçiminde dikkate alınacak hususlar aşağıda özetlenmiştir:

- a) Delik çapı, derinliği ve kalite gereksinimleri belirlenir. Ayrıca üretim ekonomisi ve işleme güvenilirliği konuları da dikkate alınır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Matkap tipi seçimi [62].

- b) Matkap tipi seçilir. Deliklerin kaba veya ince işlenmesi için bir matkap seçilmelidir. Matkabın iş parçası malzemesine, delik kalite ihtiyaçlarına uygun olduğu ve en ekonomik delik işlemeyi sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmelidir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Matkap tipi seçimi [62].

- c) Matkap kalitesi ve geometrisi seçilir. Eğer değiştirilebilir uçlu bir matkap seçilmişse, kesici uçların ayrı olarak seçilmesi gerekir. Matkap çapı için doğru kesici uçlar belirlenir ve iş parçası malzemesi için önerilen geometri ile kaliteler seçilir. Yekpare ve lehimli sinterlenmiş karbür matkaplar için uygun kalite seçilmelidir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Matkap kalitesi ve geometrisi [62].

- d) Takım sap tipi seçilir. Pek çok matkabın farklı montaj seçenekleri mevcuttur. Takım tezgâhıyla uyumlu montaj tipi belirlenmelidir.

Modern sinterlenmiş karbür delik delme takımları çok verimlidir ve hala birçok atölyede kullanılan yüksek hız çeliği (HSS) helis matkaplardan bu yana büyük gelişim göstermiştir. Bu gelişim sayesinde delik başına işleme maliyeti önemli derecede azalmıştır. Yekpare sinterlenmiş karbür matkaplar için takım ömrü, HSS matkaplara göre 20 kat civarında daha iyidir ve kesme hızı kapasitesi aynı ilerleme oranı için defalarca daha yüksektir. Günümüzde kullanılan matkap ucu geometrileri, geleneksel kesme kenarının kesme hareketini büyük miktarda geliştirirken, takım malzemeleri de performansı ve takım, ömrünü önemli ölçüde arttırmıştır.

Yekpare karbür helis matkaplar, işlem ve tezgâha bağlı olarak, daha düşük kesme hızlarında, daha yüksek ilerlemelerde çalışırlar. Değiştirilebilir kesici uçlu matkaplarla ise yüksek kesme hızları, düşük ilerlemeler için kullanılır.

Modern sinterlenmiş karbür helis matkaplar özellikle iki tip uygulama için üretilmiştir:

- i) Değiştirilebilir kesici uçlu matkaplara oranla daha iyi yüzey kaliteleri ve daha dar delik toleransların sağlandığı hassas delikler,
- ii) Değiştirilebilir kesici uçlu matkapların pratik bir çözüm sunmadığı daha küçük çaplı delikler.

Sinterlenmiş karbürün yüksek eğilme direnci sayesinde, rijit koşullarda çapın 8 katına kadar takım uzunluğu kullanmak mümkündür. Bu oran özel imalat halinde 12 ila 14 kata kadar çıkabilir.

Değiştirilebilir sinterlenmiş karbür uçlu matkap; yüksek işleme verimi, çok yönlülük, uzun ve güvenilir takım ömrü sağlar. Günümüz matkapları sadece hızlı kaba işleme matkapları değildir. Bunlar, bu matkapların ilk jenerasyonuna göre daha hızlı delik açma kapasitesine sahiptirler, ama aynı zamanda da deliklerin ince işlemlerini daha iyi seviyede ve önceliklere göre daha dar toleranslarda yapma kapasitesine de sahiptirler. Bu durum sadece doluya delik delme işlemi için değil, delik işleme ve silici kesici uç teknolojisi için de geçerlidir.

Delik delme takımı seçerken ilk önce karar verilmesi gereken noktalardan biri değiştirilebilir bir kesici ucun mu yoksa yeniden bilenebilir matkabın mı kullanılması gerekeceğidir. Deliğin çapı ilk faktördür. Değiştirilebilir kesici uçlu matkaplar küçük delik çaplarında (12mm'den küçük) kullanılamazlar. Bu nedenle bu uygulamalara yekpare veya lehimli sinterlenmiş karbür matkaplar gerekir. Yekpare sinterlenmiş karbür matkaplarının, 0,3' den 20 mm'ye çap aralığını kapsayan farklı çeşitleri mevcuttur.

Rijitlik çok kötü, karbür matkapların güvenilirliğini riskli hale getirecek kadar zayıf olduğunda, yüksek hız çeliği matkaplar alternatif seçim olabilir. Orta büyüklük olarak tanımlanan çap aralığı, değiştirilebilir kesici uçlu matkapların çap aralıklarına karşılık gelir. Başlangıçtaki giriş yüzeyi düz olmadığında veya delik önceden açılmış

veya çapraz delik delme işlemi yapılması durumu varsa, değiştirilebilir kesici uçlu matkaplar tek alternatiftir. Bu matkaplar parça başına en düşük maliyeti sağlayacaktır, çünkü değiştirilebilen kesici uçları söz konusudur ve yeniden bileme gerektirmezler. Büyük parti üretimlerinde bu maliyet avantajı göz önüne alınmalıdır.

Büyük çaplı delikler için sadece değiştirilebilir kesici uçlu matkaplar kullanışlıdır ve takım seçimi temel olarak kesici ucun geometrisi ve kalitesiyle ilgilidir. Tezgâh gücünün sınırlı olması durumunda yekpare matkaplar yerine delik büyütme matkapları kullanılmalıdır. Kesici uç geometrisi ve kalitesinin birleşimi, çevresel kesici uçla merkezi kesici uç arasında optimum performans sağlayacak şekilde oluşturulmuştur.

Çok geniş uçlu birkaç kartaşa sahip değiştirilebilir kesici uçlu matkapların çevresel kesici uçları, iç çevresel kesici uçları, merkezi kesici uçları ve iç merkezi uçları vardır.

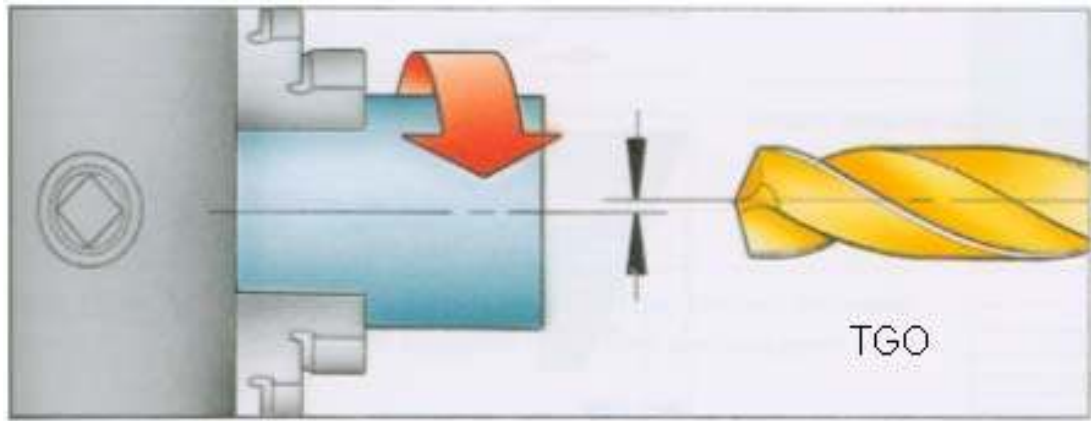
3.7. Başarılı Delik Delme İşlemleri İçin Tavsiyeler

Fener mili, takım tutucu ve matkap sisteminin tamamında maksimum rijitlik esastır. Rijitliğin olmaması tüm takım sisteminin rijitliğinin üzerinde ağır bir yük oluşturur. Yekpare karbür mevcut en sert takımdır ve bu sebeple, tüm diğer matkap tiplerine oranla, daha yüksek kalitedeki delikleri yüksek hızla üretme kapasitesine sahiptir. Bununla birlikte, işleme koşulları rijit olmadığında veya takımda tokluk ihtiyacı olması halinde önlem alınmalı veya alternatif düşünülmelidir.

Titreşim çok düşük frekansta olsa bile (kesme kenarlarında serbest yüzey aşınması yerine tanecik kopması oluşabileceğinden) takım ömrü ve üretim güvenliği üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir. Bu durum kötü yüzey kalitesi ve çabuk kırılmaya sebep olur. Yüksek kalitede tork iletimi ve kesme sıvısı temini de delme işleminin başarısı için önemli faktörlerdir. Dönen bir matkap uygulaması tercih edilmelidir. Ancak, tornalamada olduğu gibi sabit bir matkap kullanılacaksa, matkap merkezinin fener mili merkezi ile hizalandığından emin olmak için gerekli kontroller yapılmalıdır.

Özel amaçlı tezgâhlardaki uygulamalarda kovanların kullanılması tavsiye edilmez. Delik delmede minimum salgı esastır. Yekpare karbür matkapların kullanımında en önemli kriterlerden biri en düşük salgıyı sağlamaktır. IT8 aralığına kadar düşebilen toleranslar ve en iyi takım ömrü elde edebilmek matkabıyla matkap ve pens için 20 mikronluk TGO (Toplam Gösterge Okuması) değerlerinin aşılmaması tavsiye edilir (Şekil 3.11).

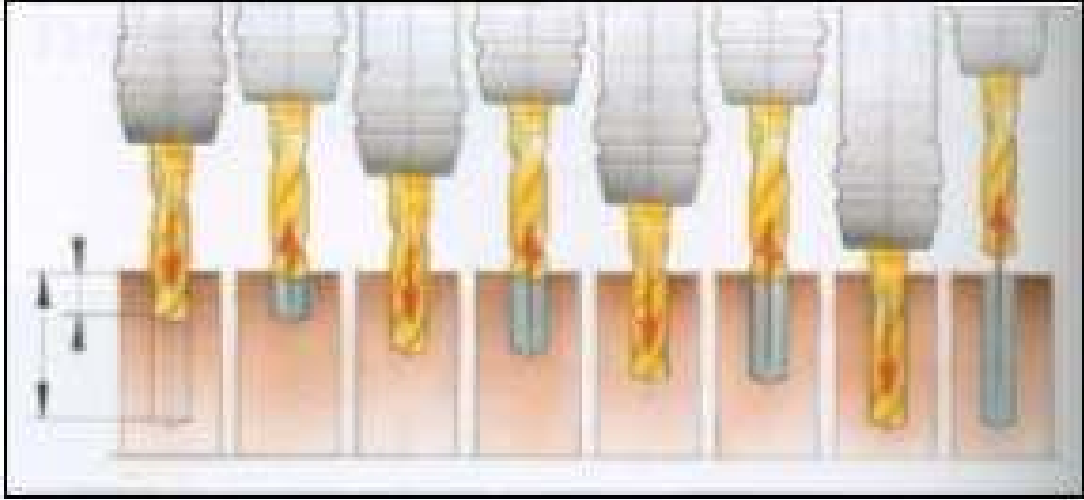
Matkabın sapa göre anma salgısı, matkabın toplam uzunluğu için 0.015 mm'yi geçmemelidir.



Şekil 3.11. Delik delmede minimum salgı [62].

Genellikle delik delme tek bir adımda yapılabilir, ancak harici kesme sıvısı teminiyle, derin ($3 \times D$ 'den daha uzun) delik delinecekse, bu işlem delk derinliğinin üçte biri sürekli delme, ardından gagalayarak delme çevrimiyle yapılabilir. Derin deliklerin gagalamayla delinmesi sadece sorun çözücü olarak uygulanmalıdır.

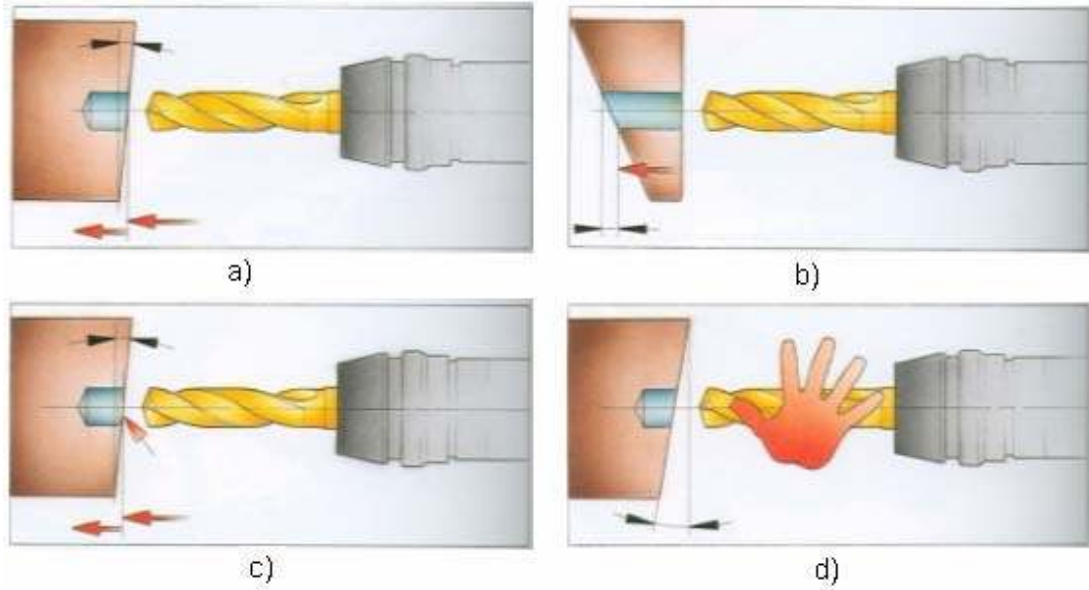
Gagalayarak delme çevriminde, derinliğin üçte biri delindikten sonra, talaş tahliyesi ve derinliğin temizlenmesi için matkap yeterli miktarda geri alınır ve ardından delik delme çevrimiyle işlem tekrarlanır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Gagalayarak delme çevrimi [62].

Maksimum 10° 'lık eğime kadar eğik yüzeylere sahip parça yüzeylerine doğrudan delik delinmesi kabul edilebilir bir uygulamadır. Ancak, girişte matkabın kaymasına engel olmak ve çıkışta silindirik yüzey üzerindeki aşınmaya ve matkabın kırılmasına engel olmak için, ilerlemenin düşürülmesi esastır.

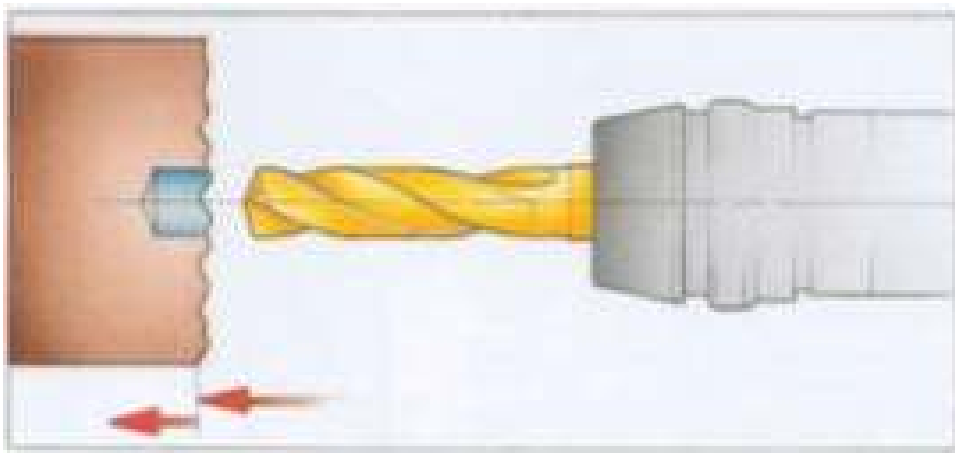
5° 'den daha düşük eğimlerde kesme işlemi fasılalı yapılmalı ve tam kesme çapına kadar ilerleme normal ilerleme hızının $1/3$ 'üne düşürülmelidir (Şekil 3.13.a). Matkap delikten çıkarken de ilerleme, normal ilerleme hızının $1/3$ 'üne düşürülmelidir (Şekil 3.13.b).



Şekil 3.13. Eğik yüzeylerde delik delme a) Giriş 5° den daha düşük eğim b) Çıkış 5° den küçük eğim c) 5°~10° lik eğim d) 10° den büyük eğim [62].

5~10°' lik eğimlerde, aynı uç açısına sahip kısa bir matkapla merkezleme işlemi yaparak işleme başlanmasında fayda vardır. Alternatif olarak küçük bir düzlük frezelenebilir (Şekil 3.13.c). 10° den daha büyük eğimlerde giriş yüzeyi hazırlamadıkça delik delme uygun değildir (Şekil 3.13.d).

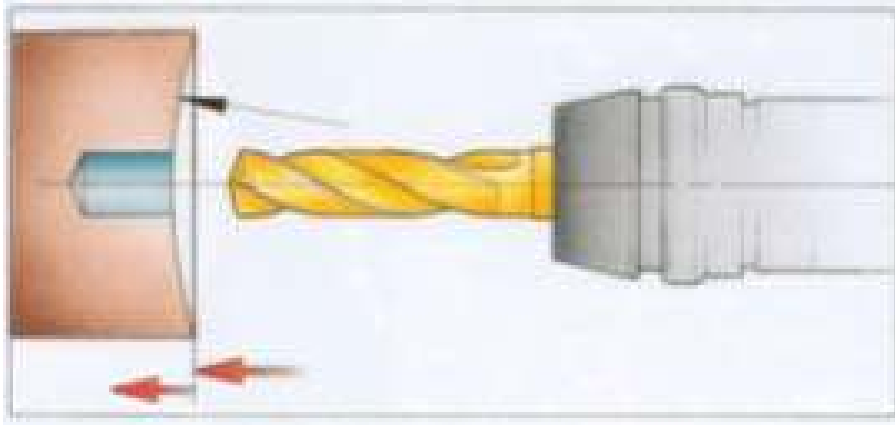
Düzgün olmayan yüzeylerde, tanecik kopmasına engel olmak için, girişte ilerleme normal ilerleme hızının dörtte birine kadar düşürülmelidir (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Düzensiz yüzeyde delik delme [62].

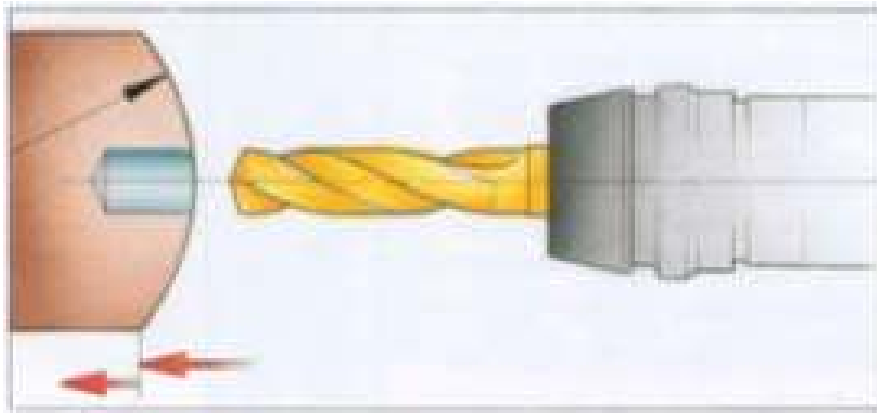
Düzensiz yüzeylerde delik delme:

İç bükey yüzeylerde, iç bükeylik yarıçapı, matkap çapının 15 katından daha büyükse delik delmek mümkündür. Girişte ilerleme hızının normal ilerleme hızının üçte birine düşürülmesi tavsiye edilir (Şekil 3.15).



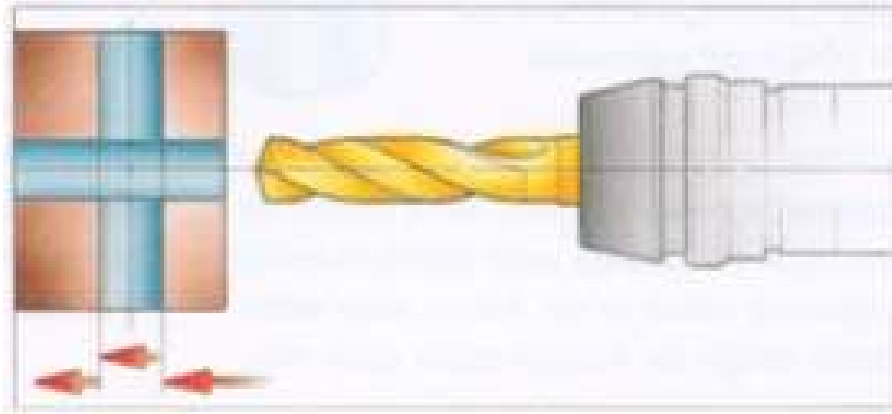
Şekil 3.15. İç bükey yüzeyde delik delme [62].

Dış bükey yüzeylerde, dış bükeyin yarıçapı matkap çapının 4 katından daha büyükse ve delik yarıçapa dik ise delik delmek mümkündür. Girişteki ilerlemenin normal ilerleme hızının yarısına düşürülmesi tavsiye edilir (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. Dış bükey yüzeyde delik delme [62].

İş parçasında çapraz delikler söz konusu olduğunda, ilerleme değeri çapraz geçilen deliğe girişte ve çıkışta normal ilerlemenin dörtte birine kadar düşürülmelidir (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. Çapraz delik delme [62].

Birden fazla iş parçası levhasının hep beraber delinmesinin söz konusu olduğu istif delik delme işlemleri tam ilerleme ile yapılabilir ancak levhaların iyi bağlanması gereklidir. Özellikle levhalar genellikle mükemmel düzlüğe sahip olmadığından, yaygın uygulama levhaların arasına endüstriyel kağıt (yaklaşık 0.5-1mm kalınlığında) konulmasıdır. Bu işlem düzensizlikleri dengeler ve titreşimi azaltır. Daha da önemlisi, bu kâğıdın talaşları yerinde tutması ve aynı zamanda her levhanın çıkışında oluşan son disklerin yaratacağı hasarlara karşı matkabı korumasıdır. Eğer mümkünse, levhalar delik delme işlemi başlamadan önce eş merkezli olarak bağlanmalıdır.

3.8. Delme İşlemlerinde Kesme Sıvısı Temini

Delik delerken başarılı performans için kesme sıvısı temini önemli bir faktördür. Matkap ve delik cidarı arasında talaş tahliyesi ve yağlama, desteklenmesi gereken önemli fonksiyonlardır. Kesme sıvısı basıncı ve hacmi için nominal ve minimum değerler grafiklerde gösterilmiştir. Bu değerler bir yol gösterici niteliğindedir ve tezgâh koşullarına göre ayara ihtiyaç duyulabilir.

Yüksek alaşımlarda, sert veya paslanmaz çeliklerde delik delerken, daha zengin bir solüsyon (%25 yağ) veya katkısız kesme yağlarıyla daha iyi bir sonuç elde edilebilir. Daha zengin bir karışım daha uzun bir matkap ömrü ile daha iyi delik toleransları ve yüzey kalitesi sağlayabilir.

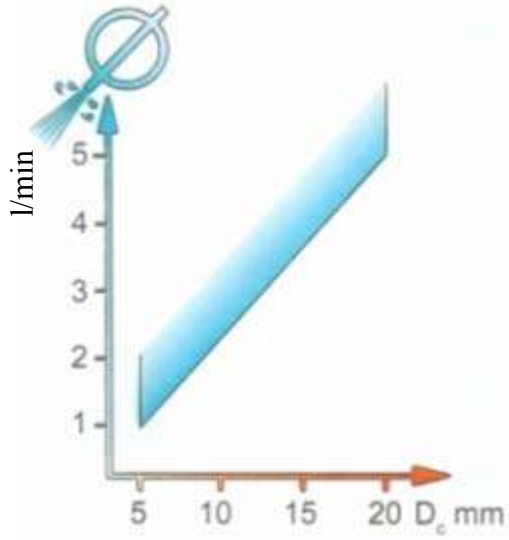
Harici kesme sıvısı temininde kesme sıvısı, matkabın helisi boyunca takım çevresine doğru bir biçimde yönlendirilmez ise uygun olmayan talaş tahliyesi oluşur. Bu durum mavi ve kahverengi talaşlara, olması gerekenden küçük deliklere, kılavuz havşalarında aşınmaya yol açabilir. Talaş tahliyesini optimize etmek için, en azından bir kesme sıvısı akışı (eğer matkap sabit ise iki) takım eksenine hafif bir açı ile yönlendirilmelidir.

Daha küçük çaplı matkaplar, büyük çaplı matkaplara oranla daha yüksek kesme sıvısı basıncına ihtiyaç duyar, çünkü içlerinden geçen sıvı hacmi daha küçüktür. Düzenli talaş tahliyesi için kesme sıvısı basıncı kritik öneme sahip olacaktır. Özellikle yüksek hızlarda dahili kesme sıvısı temini her zaman tercih edilmelidir (Şekil 3.18).

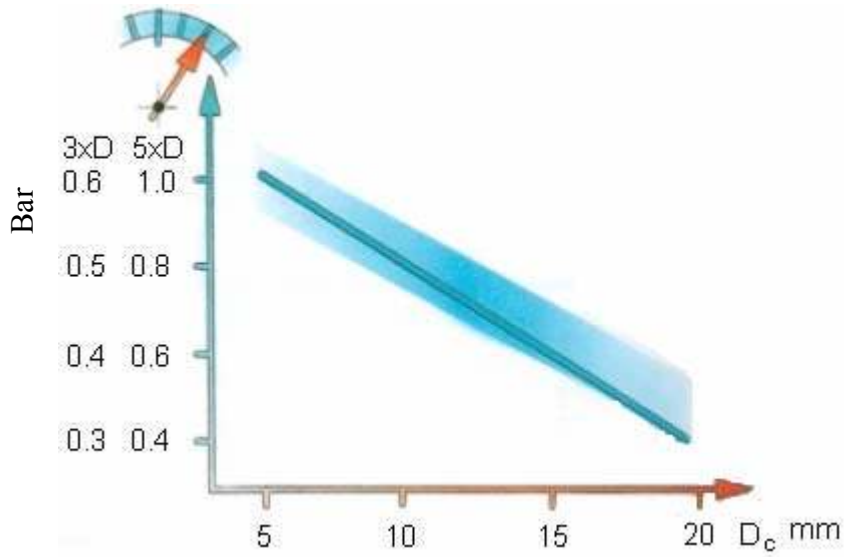


Şekil 3.18. Matkapla dahili kesme sıvısı temini [62].

Harici kesme sıvısı temini de kabul edilebilir ve matkapta talaş yığılması oluşumunun engellenmesine yardımcı olabilir. Bazı durumlarda buhar halindeki kesme sıvısıyla delik delmek yüksek yüzey hızlarında iyileştirmelere yol açar. Şekil 3. 19’da matkap çapı ile kesme sıvısı hacmi, Şekil 3. 20’de ise çap ve delik boyu ile kesme sıvısı basıncı arasındaki ilişki gösterilmiştir.



Şekil 3.19. Çap/kesme sıvısı hacmi ilişkisi [62].



Şekil 3.20. Çap/kesme sıvısı basıncı ilişkisi [62].

3.9. Kesme Parametrelerinin Etkileri

Kesme hızı takım ömrünün belirlenmesinde temel faktördür ve ayrıca güç tüketimini etkiler. Aşırı yüksek kesme hızları;

- Matkap üzerinde hızlı serbest yüzey aşınmasına,
- Kesme kenarlarında plastik deformasyona,

- Düşük delik kalitesine,
- Tolerans dışı sonuçlara yol açabilir.

Çok düşük kesme hızları ise;

- Matkap üzerinde talaş yığılması oluşumuna,
- Talaş tahliyesinin olumsuz etkilenmesine,
- Düşük verimlilik/delik başına yüksek maliyete sebep olur.

İlerleme hızı talaş oluşumu için belirleyici faktördür ve güç tüketimini de etkiler. Ayrıca mekanik ve ısı gerilmelere yol açar.

Yüksek ilerleme hızı;

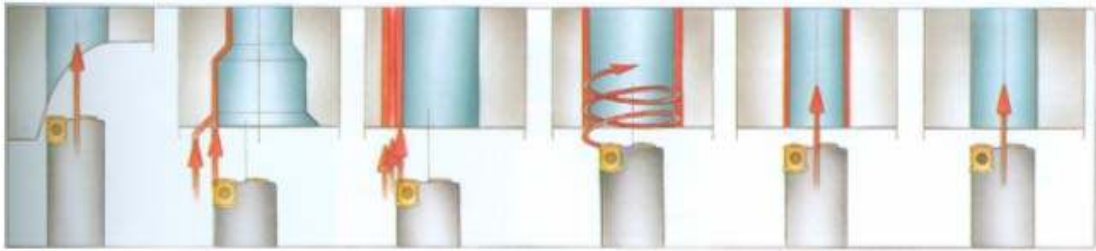
- İyi talaş kontrolü,
- Daha düşük kesme süresi,
- Daha yüksek matkap kırılma riski,
- Daha kötü delik kalitesi anlamı taşır.

Düşük ilerleme hızları ise;

- Daha uzun talaş,
- Kalitede iyileşme,
- Takım aşınmasında daha hızlı artış,
- Daha uzun kesme süresi/delik başına daha yüksek maliyet anlamına gelir.

3.10. Değiştirilebilir Kesici Uçlu Matkaplarla Delme

Doğru matkap seçimiyle tip, ölçü ve sap, takım tutucuyla birlikte delme işlemlerinin pek çoğu verimli bir biçimde yapılabilir. Günümüzün matkap yelpazesi geniş bir uygulama aralığını kapsar (Şekil 3.21) ve doğru matkap seçildiğinde, takım işleme uyacak şekilde optimize edilebilir.



Şekil 3.21. Değiştirilebilir kesici uçlu matkaplarla işleme imkânları [62].

Değiştirilebilir kesici uçlar genellikle pek çok yönden avantaj sağlar ve bu uçların kullanılabildiği delikler için sabit ve dönen matkap uygulamalarında ilk tercih olarak düşünülmelidir. Daha dar tolerans ve daha iyi yüzey kalite yaratmadaki artırılmış kapasite ile değiştirilebilir kesici uçlu matkaplar malzeme, tezgâh ve işlem açısından çok kullanışlı bir takımlardır.

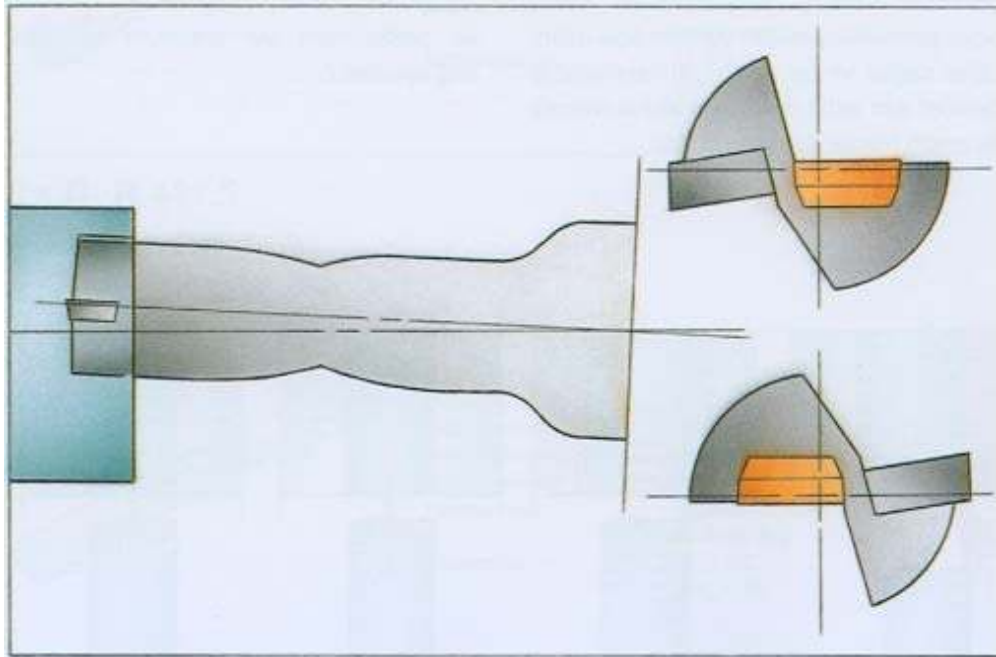
Değiştirilebilir kesici uçlar, yeniden bileme yerine değiştirilebilir kesici uçlarla, çelik matkap sapının tokluğuyla sinterlenmiş karbür kesici uçların aşınma direncini birleştirir. Matkabın ömrü uzundur ve farklı işleme talepleri için kullanılabilir. Güvenilirlik, hassasiyet ve aynı zamanda ekonomik işleme imkânı en üst seviyededir.

3.10.1. Değiştirilebilir kesici uçlu matkaplarda uygulama tavsiyeleri

Matkabın doğru hizalandırılması hayati önem taşır. Sabit matkap uygulamaları döner matkap uygulamaları kadar yaygın kullanılmaktadır. Sabit matkaplar, iş parçasının döndüğü, CNC tornalar üzerindeki taretlerde kullanılır. Bu durumda matkabın

merkez ekseninin iş parçası dönüş ekseniiyle hizalandığından emin olmak önemlidir. Hatalı merkezleme (salgı), zayıf takım performansı ve kötü sonuçların en sık rastlanan sebebidir. Ayrıca matkaptaki çevresel kesici ucun alını, tezgâhın enine hareket eksenine paralel olacak şekilde ayarlanmalıdır. Hatalı hizalama radyal sapma etkisi yaratır. Bu durum olması gerekenden büyük veya küçük delik üretilmesine yol açar.

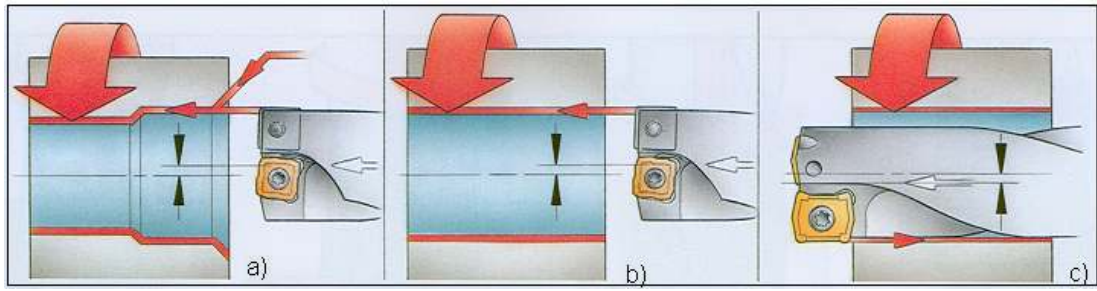
Dönen matkapların hizalanması biraz daha zor olmakla beraber tavsiyeler takip edilirse telafi edilebilir. Olması gerekenden büyük çaplı veya küçük çaplı delik üretimi sorunu ortaya çıkarsa veya merkezi kesici uçta tanecik kopması veya kırılma meydana gelirse, matkap daha iyi sonuç alıncaya kadar değişik şekillerde konumlandırılmalıdır. Örneğin, matkap bir konumda gerekenden daha büyük delik açıyorsa diğer bir konumda gerekenden küçük delik açılmalıdır. Matkabı 180 derece döndürmek bahsedilen ölçü hatasını çözebilir. Farklı yeniden konumlandırma şekilleri, delik ölçüsünde ve hizalandırmada ortaya çıkan sapmaları ortadan kaldırılmasını sağlayabilir.



Şekil 3.22. Matkabın doğru hizalandırılması kritik öneme sahiptir [62].

Tezgâh, fener mili, pens adaptörü, takım tutucu veya matkabın kendisindeki bir hata nedeniyle iş parçası ve tezgâh uyum içinde değilse, matkabın merkez eksenine dönme eksenine yeterince paralel olmayabilir ve hatalı delikler ortaya çıkabilir. Matkap kapasitesinin sağlayabileceği toleranslara erişmek için, iş parçasıyla matkap arasındaki merkezlemenin belli sınırlar içinde olması önemlidir.

Sabit değiştirilebilir kesici uçlu matkaplar ile, CNC programı yardımıyla konik delikler de oluşturulabilir. Ayrıca, havşa açma ve boşaltma işlemi de matkapla yapılabilir (Şekil 3.23). Matkabın hizasını ayarlarken çevresel kesici uç tezgâhın x eksenine paralel olmalıdır.



Şekil 3.23. Sabit bir matkapla olasılıklar a) Havşa açma b) Eksenin üstünde delik büyütme c) Eksenin üstünde delik büyütme [62].

Başarılı delik delme için matkabın ilk girişi önemli bir faktördür. İyi delik kalitesini garanti etmenin bir yolu iş parçasının giriş yüzeyinin matkap merkez eksenine dik olduğundan emin olmaktır. Ancak değiştirilebilir kesici uçlu bir matkap, ilerleme hızlarının ayarıyla birlikte; dışbükey, içbükey, eğimli ve düzensiz yüzeylere de ilk giriş yapılabilir (Şekil 3.24).

Dışbükey bir yüzey için (Şekil 3.24.a) koşullar nispeten iyidir. Çünkü matkabın merkezi önce iş parçası ile ideal bir temas sağlar ve normal tork verir.

Eğimli bir yüzeyde kesme kenarlarına eşit olmayan yükler binecektir. Bu da matkabın erken aşınmasına yol açabilir. Eşit olmayan bir yük, titreşim ile başa çıkabilmek için ve toleransları koruyabilmek için ilave rijitliğe sahip bir takım (çapa

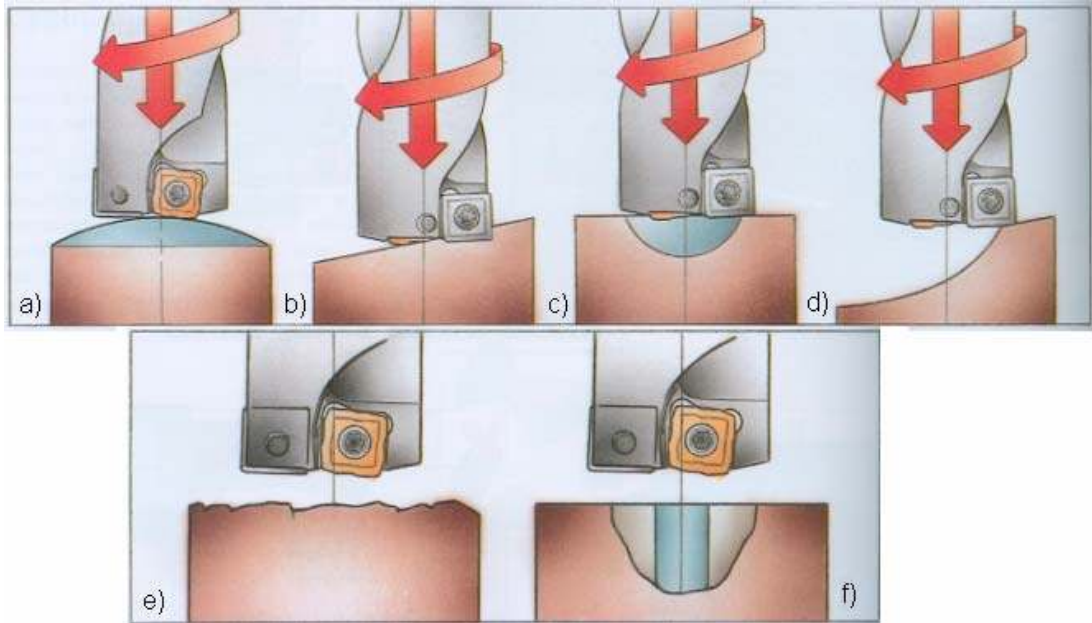
göre kısa boy) gerektirir. Eğer eğimli yüzeyin eğimi iki dereceden büyükse, ilerleme matkap için tavsiye edilen ilerlemenin üçte birine kadar düşürülmelidir (Şekil 3.24.b).

İçbükey bir yüzeyde matkabın çalışması içbükey yüzeyin yarıçapına ve delik çapının delme noktasının yüksekliğine olan ilişkisine bağlı olarak değişir. Eğer iç bükey yüzeyin yarıçapı delik çapına oranla küçük ise, önce matkabın çevresi çalışacaktır. Matkabın sapma olasılığını azaltmak için ilerleme oranı tavsiye edilen ilerleme oranının üçte birine kadar azaltılmalıdır (Şekil 3.24.c).

Asimetrik yuvarlak yüzeylere girildiğinde eğimli yüzeyde olduğu gibi matkap merkezden dışarı doğru eğilme eğilimindedir. İlerleme iç bükey yüzeylerde ilk giriş için tavsiye edilen ilerlemenin üçte birine kadar azaltılmalıdır (Şekil 3.24.d).

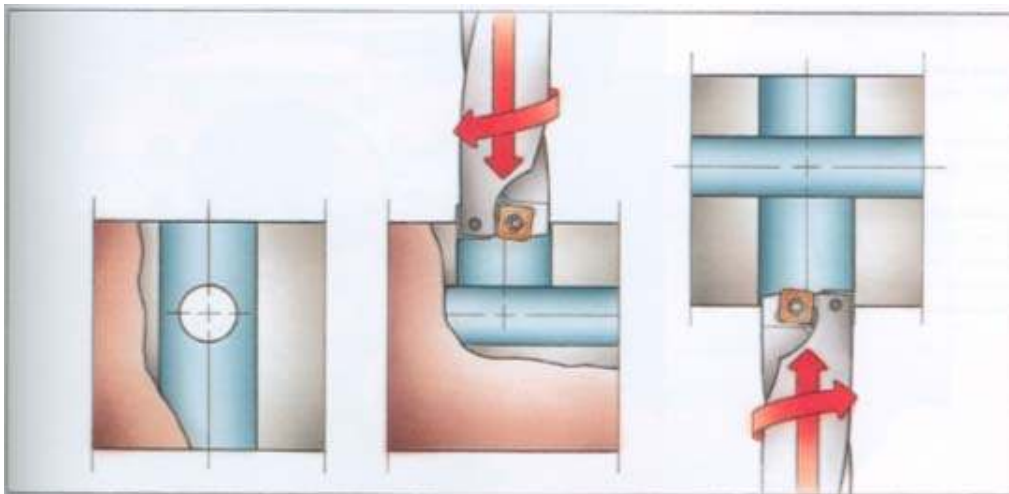
Düzensiz yüzeylerde delik delerken kesici uçlarda tanecik kopması riski vardır ve bu risk düzensiz bir yüzeyden çıkışta da mevcut olabilir. Bu sebeple ilerleme azaltılmalıdır (Şekil 3.24.e).

Önceden delinmiş delikler söz konusu olduğunda, matkabın sapmasına engel olmak için önceden delinmiş deliğin matkap çapının %25 inden daha büyük olmaması gerekir (Şekil 3.24.f).



Şekil 3.24. Delik delme işlemlerinde ilk giriş tipleri a) Dış bükü yüzey b) Eğimli yüzey c) İç bükü yüzey d) asimetrik yuvarlak yüzey e) Düzensiz yüzey f) Ön delikli yüzey [62].

Çapraz delikleri delerken (Şekil 3.25), bir başka deliğin eksenini kesen delik söz konusudur ve matkap içbükey bir yüzeyden çıkarak diğer bir içbükey yüzeye yeniden girecektir. Geçiş sırasında talaş tahliyesi ile ilgili sorunların oluşma riski vardır. En güvenli prosedür deliği iki karşı taraftan da delmektir.



Şekil 3.25. Çapraz deliklerin delinmesi [62].

Eğer bu sorunlara rağmen matkap deliği tek bir işlem de geçecek ise takımın rijitliğine çok önem verilmelidir. İçbükey yüzeyden çıkarken matkabın ön bölümü delik cidarlarının desteğini kaybeder. Daha sonra matkap başı çapraz geçilen deliğin diğer tarafından iş parçasına girene kadar matkap destek olacak rijitliğe sahip olmalıdır. İş parçasında çapı matkap çapının dörtte birinden fazla olan bir başka deliğe çapraz geçerken, ilerleme hızı tavsiye edilen ilerleme hızının dörtte birine düşürülmelidir.

Delik kalitesi seviyeleri yüksek olduğunda delinen deliklerin kalitesini etkileyen faktörlere bakılmalıdır [62]:

- Takım tezgâhı iyi durumda olmalıdır. Fener milinde aşınma ve hatalı hizalandırma hassasiyeti etkileyecektir. Rijitlik genellikle önemlidir.
- Güvenle öngörülebilir takım ömrü için matkabın durumu takım ömrü boyunca düzenli olarak gözlenmelidir. Uygun olmayan takım aşınması ve tüm kesme kenar kırılma riskleri ortadan kaldırılmalıdır.
- Talaş kırılması ve talaş tahliyesi her zaman tatmin edici olmalıdır.
- Matkap tipinin seçimi, kurulumu ve kesici uç geometrisi delik kalitesini etkiler.
- Yüksek düzlük hassasiyeti konusunda en iyi sonuç, özellikle de derin delikler için, hem matkap hem iş parçası döndüğünde elde edilebilir. Alternatif olarak, dönen iş parçası ile sabit takım tatmin edicidir.

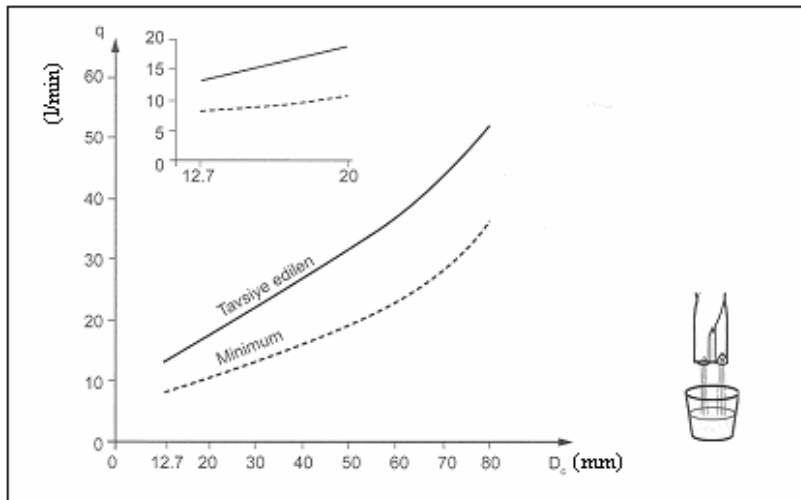
3.10.2. Değiştirilebilir kesici uçlu matkaplarda kesme sıvısı

Delik delme işleminde kesme sıvısı temini yüksek performans için önemli bir faktördür. Matkap ile delik cidarı arasındaki talaş tahliyesi ve yağlama, desteklenmesi gereken temel fonksiyonlardır. Kesme sıvısı basıncı ve hacmi, sıvı teminini tanımlar ve nominal değerlerle gösterilir. Bu değerlerin hiçbirisi katı değerler değildir ve işleme koşullarına bağlı olarak ayarlama gerektirebilirler.

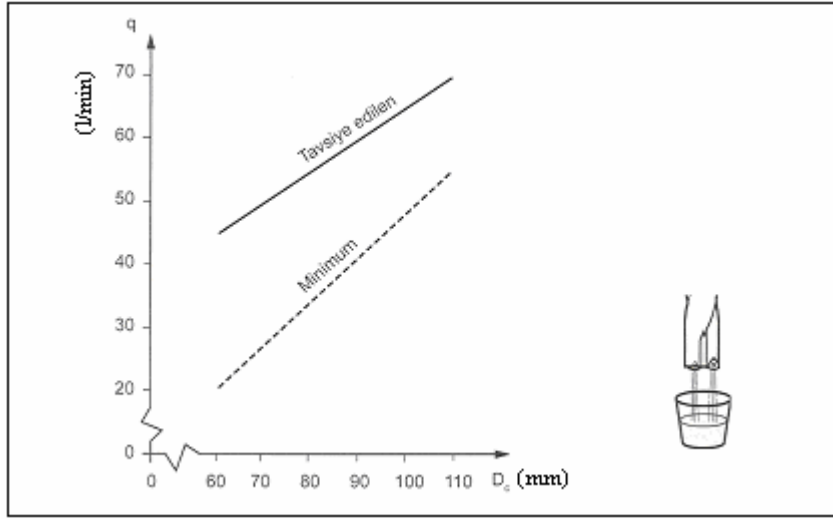
Önerilen minimum basınç değerleri, sabit ve döner matkaplar için, matkap çapına göre diyagramlarla gösterilir. Pompa ve matkap arasındaki borular boyunca basınçta daima bir düşüş olduğu ve matkap ucuna ulaşıldığında basıncın minimuma düştüğüne ayrıca dikkat edilmelidir.

Yatay konumlandırılmış bir matkap için uygulanacak basit bir minimum basınç göstergesi, matkap sıvı temin deliklerinden gelen kesme sıvısının akışının yatay bir düşüş olmadan en az 30 cm olmasıdır. Daha küçük matkap çapları daha yüksek basınç gerektirir. Hacim daha düşük olduğunda, kesme sıvısı basıncı, küçük ve yüksek performanslı matkapların yüksek hızlarında düzenli talaş tahliyesi için önemlidir. Modern CNC tezgâhlarının genellikle kesme sıvısı basıncı ve hacmi yeterli olurken, bazı tezgâhlarda sisteme bağlanan sıkıştırılmış hava nedeniyle daha yüksek basınç da söz konusu olabilir.

Büyük çaplı matkaplar daha büyük hacimde kesme sıvısı gerektirir. Çaptaki artışla basınç ihtiyacı düşer. Kesme sıvısı tankının hacim kapasitesi pompanın dakikada sağladığı sıvı hacminden 5-10 kat daha büyük olmalıdır. Hacim kapasitesi kronometre ve uygun büyüklükte bir kova kullanarak kontrol edilir. Matkabın üstüne bir hortum monte edilir ve pompa, belli bir hacmin pompalanması için geçen zamanın kontrol edilmesi için açılır (Şekil 3.26 ve Şekil 3.27).



Şekil 3.26. Delik delme işlemlerinde kesme sıvısı debisi [62].

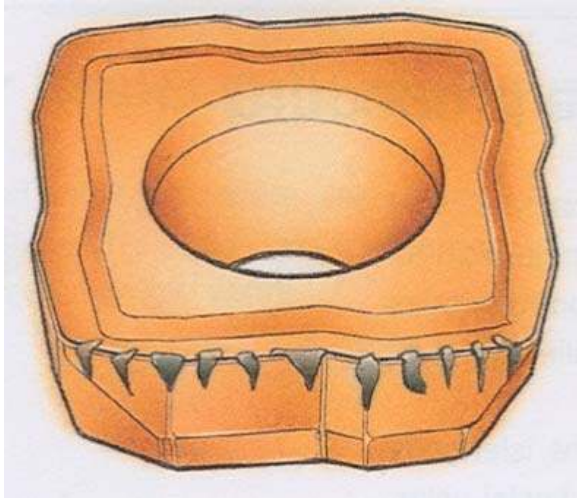


Şekil 3.27. Delik büyütme matkabı uygulamalarında kesme sıvısı debisi [62].

3.10.3. Kesici uç aşınması

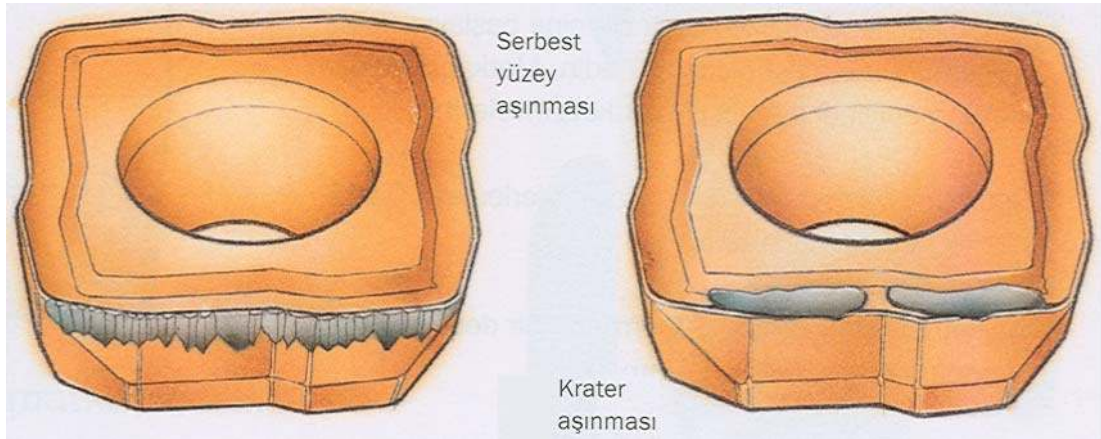
Matkabın kesme kenarlarında tanecik kopmasının (Şekil 3.29) pek çok sebebi vardır. Bunlar;

- Matkap delik merkezinden kaçık,
- Aşırı kullanma boyu, ilerleme hızı veya matkap uzunluğu nedeniyle matkabın eksenden sapmış,
- Kesici ucun matkap yuvasına hatalı oturması veya yuvanın ve vidaların hasar görmesinden dolayı kesici uç rijitliği yetersiz,
- Hatalı takım tutma nedeniyle matkap rijitliği, fener mili veya taret durumu ve hizalandırılması zayıf,
- Tezgâh ve iş parçasının rijitliği yetersiz,
- Kesme sıvısı temini yetersiz,
- Hatalı kesici uç seçimiyle kalite, geometri merkezi ve çevresel kesme kenarları uygun olmayabilir.



Şekil 3.28. Tanecik kopması [62].

En yaygın olan iki takım aşınma tipi serbest yüzey aşınması ve krater aşınmasıdır (Şekil 3.29).



Şekil 3.29. Serbest yüzey ve krater aşınmaları [62].

Serbest yüzey aşınması, kesici uç çevresinde, yüksek kesme hızının hakim olduğu bölgede normal olan doğal aşınma örneğidir. Bu aşınma, ince işlem gerektiğinde kesici ucun kesme kenarının işlem için gerekli olan toleransı ve/veya yüzey kalitesini sağlamamasına neden olur.

Yüzey kalitesi hassasiyetinin özellikle dar limitlerde olmadığı delik delme işlemlerinde, üretim güvenliği için serbest yüzey ve krater aşınmalarının belirli değerlerin dışına çıkmasına izin verilebilir. Aşırı aşınma, sürtünmenin artmasına ve yanlış kesme geometrisine ve bunun sonucu da yüksek kesme kuvvetleriyle yetersiz talaş oluşumuna sebep olur. Bu durum, kesme kenarının kırılması riskini daha da artırır.

3.10.4. Değiştirilebilir kesici uçlu matkaplarda karşılaşılan sorunlar ve çözüm önerileri

Kesme kenarları yetersiz takım ömrü verecek şekilde erken aşınırsa bunun sebebi genellikle yanlış kesme değerleri, yanlış kesici uç kalitesi, yetersiz kesme sıvısı temini veya matkap tipidir. Rijitlikteki eksiklik ve yetersiz kesme sıvısı da kötü takım ömrüne yol açabilir. Kesme kenarlarında dökülme olduğunda, matkap hızasının belirtilen sınırlar içinde olup olmadığı kontrol edilmelidir. Eş merkezlilik ± 0.05 mm içinde olmalıdır.

Bağlamada, takım veya tezgâhtaki yetersiz rijitlik, tanecik kopmasına sebep olur ve daha tok bir kesme kenarı gerektirir. Kesici uç güvenli bir şekilde yerleştirilip bağlanmazsa da tanecik kopması oluşabilir. Yüksek performanslı matkaplarda kesici uç yuvaları ve vidaları iyi korunmalıdır. Kesici uç vidalarının sık değiştirilmesi tavsiye edilir. Diğer bir önemli faktör de işleme boyunca rijitlik için matkabın tezgâhta ne kadar güvenli tutulduğudur. Kısaca takım tutuş kalitesi de büyük önem taşır.

Gerekli çaptan daha büyük çaplı veya daha küçük çaplı delikler üretiliyorsa, bunun nedeni genellikle matkabın merkezden sapmış olmasıdır. Diğer nedenler; tezgâh fener milinin uygun olmaması, ilerleme oranının çok yüksek olması veya bağlama rijitliğinin yetersiz olması şeklinde sıralanabilir. Delik simetrik değil ise problemin kaynağı çoğunlukla tezgâhtaki veya bağlamadaki yetersiz rijitliktir. Kesme değerlerinin işlenen malzeme için hatalı olması durumu da mümkündür

Yetersiz yüzey kalitesi genellikle, tezgâhı bağlamadaki zayıf rijitlikten dolayı ortaya çıkan titreşimlerin sonucudur. Matkap aşırı uzun, düşük kalitede bir takım tutucuya bağlanmış veya kötü takım pozisyonuna sahip olabilir. Kesme değerleri uygulama için doğru olmayabilir veya başlangıç girişi kalitesiz yüzeylere yapılmış olabilir. Kesme sıvısı temini yetersiz olabilir veya talaş tahliyesinin düzensiz olduğu durumlarda talaş kontrolü yeterince iyi olmayabilir.

Delik delme işleminde takım aşınmasının kısıtlayıcı parametrelerin genel olarak, güvenlik ve delik kalitesidir. Kesme geometrisini aşırı derecede bozan aşırı aşınma ve talaş yığılması, bir matkabin güvenilir bir şekilde gerekli sayı da delik açmasının etkileyen tehlikelerdir. Değiştirilebilir kesici uçlu matkaplarda karşılaşılan genel problemler ve çözüm önerileri Çizelge 3.1 de özetlenmiştir.

Çizelge 3.1. Değiştirilebilir kesici uçlu matkapla delik delmede genel sorunlar ve çözüm önerileri [62].

Problemler	Çözümler								
	Matkabı yeniden ayarlayınız	Kesme sıvısı akışını artırın, filtreyi ve matkap deliklerini temizleyin	Daha tok bir kalite seçin	İlerlemeyi azaltın	Rijitliği artırın, parçayı tekrar bağlayın, matkap kullanma mesafesini kısaltın	Delik dibinin merkezinde veya diskte işlenmemiş bir kısım varmı kontrol edin (sadece Coromant U matkaplarda)	Hız/ilerleme talimatlarını kontrol edin	Karbür kalitesini kontrol edin	Hızı artırın
Matkabın ön yüzü kırılmış	●		●		●		●		
Matkabın dış çapında aşınma	●		●	●	●	●	●	●	
Büyük/Küçük delinmiş		●		●	●		●		●
Talaşın matkap kanallarına sıkışması				●	●		●		
Titreşim	●		●			●		●	●
Küçük kesme kenarı çatlakları (tanecik kopması)		●		●	●		●	●	
Delik simetrik değil				●	●		●		
Zayıf takım ömrü		●			●		●	●	

4. SAYISAL MODELLEME ve SONLU ELEMANLAR ANALİZİ

4.1. Sayısal Modellemeye Giriş

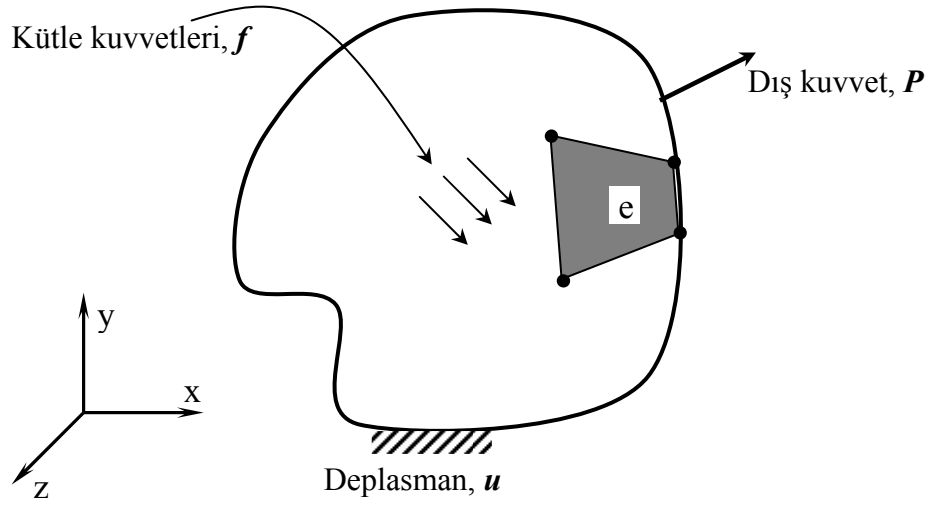
Sonlu elemanlar metodu; karmaşık olan problemlerin daha basit alt problemlere ayrılarak her birinin kendi içinde çözülmesiyle tam çözümün bulunduğu bir çözüm şeklidir. Bir anlamda bilgisayar çözümüne uyarlanmış ve matris formda ifade edilen denklemlerin kullanıldığı bir sayısal tekniktir.

Sonlu elemanlar yönteminin temeli uçakların yapısal analizindeki gelişmelere dayanmaktadır. Sonlu elemanlar terimi ilk defa 1960 yılında Clough tarafından kullanılmıştır. 1960'ların ilk yıllarında mühendisler bu yöntemi gerilme analizlerinde, akışkanlar mekaniğinde, ısı transferinde ve diğer alanlarda kullanmışlardır [1].

Sonlu elemanlar metodunun kullanılması ve bilgisayarların sanayiye girmesiyle, bugüne kadar ancak pahalı deneysel yöntemlerle incelenebilen bir çok makine elemanının (motor blokları, pistonlar vs.) kolayca incelenebilmesi, hatta çizim esnasında mukavemet analizlerinin kısa bir sürede yapılarak optimum dizaynın gerçekleştirilmesi mümkün olabilmektedir. Günümüzde bilgisayarların hızla gelişmesi daha hızlı ve kapasiteli bilgisayarların kullanılıyor olması, bu yöntemin mühendisler ve işletmeciler tarafından kullanımını arttırmıştır.

4.2. İki Boyutlu Problemler

Bir problemin sonlu eleman modeli, birbirlerine düğümler ile bağlı çok sayıdaki daha küçük elemanlardan oluşmaktadır. Bununla birlikte sınır koşulları olarak adlandırılan dış kuvvetler, deplasman değerleri ve kütle kuvvetleri gibi bilgileri de içine almaktadır. Şekil 4.1 de belli bir yüzey alanına ve hacme sahip bir problem için sınır koşulları verilmiştir.



Şekil 4.1. Sonlu eleman modeli için bir probleme ait sınır koşulları [1]

Yapı içerisindeki bir eleman göz önüne alındığında elemanda meydana gelen deplasmanlar, $\{u\}$ deplasman vektörü ile ifade edilir. Herhangi bir elemanın herhangi bir düğümünde meydana gelen deplasman değerleri,

$$\{u\} = [u \ v]^T \quad (4.1)$$

şeklinindedir. Düğümlerde meydana gelen deplasman değerleri elde edildiği zaman şekil değiştirmeler de

$$\{\varepsilon\} = [B] \{q\} \quad (4.2)$$

şeklinde elde edilmektedir. Burada, $[B]$ şekil değiştirme–deplasman (interpolasyon) matrisidir. $\{q\}$ ise eleman yer değiştirme vektörüdür.

Elemanda meydana gelen şekli değiştirme ile gerilme arasındaki ilişki ise;

$$\{\sigma\} = [D] \{\varepsilon\} \quad (4.3)$$

olarak verilir. Burada $[D]$ elastisite matrisidir ve problemin düzlem şekil değiştirme veya düzlem gerilme olmasına göre değişmektedir. İki boyutlu bir problemde düzlem gerilme ve düzlem şekli değiştirme durumlarına göre elastisite matrisleri,

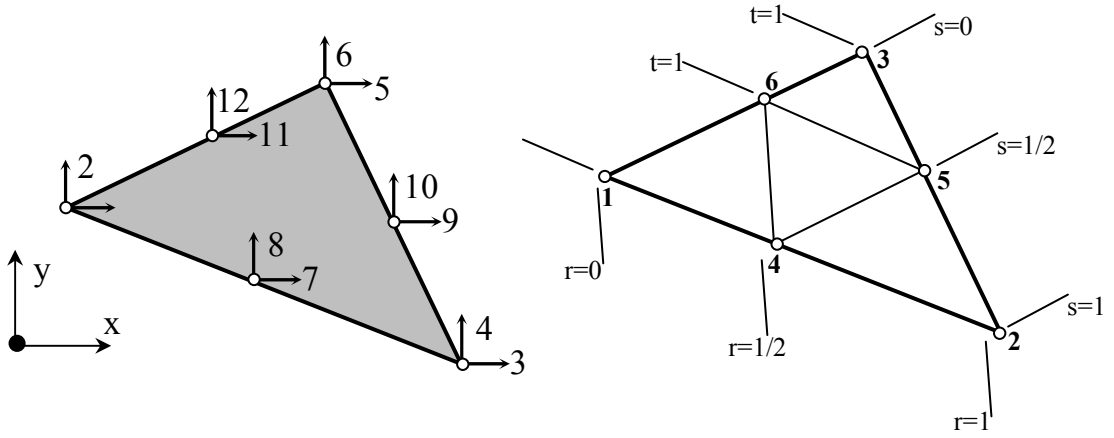
$$[D]_{D.Gerilme} = \frac{E}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

$$[D]_{D.Şek.Değ.} = \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1 & \frac{\nu}{(1-\nu)} & 0 \\ \frac{\nu}{(1-\nu)} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2(1-\nu)} \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

şeklindedir. Lineer elastik malzemeler için gerilme-şekil değiştirme ilişkisi genelleştirilmiş Hooke kanunundan gelmektedir. İzotropik malzemeler için E Young modülü (elastisite modülü) ve ν Poisson oranıdır.

4.2.1. Üçgen elemanlar

Sonlu eleman metodunda kompleks geometrilerin modellenmesinde sıkça kullanılan üçgen elemanlar kendi içerisinde de üç düğümlü ve altı düğümlü üçgen elemanlar olmak üzere iki gruba ayrılırlar. İki boyutlu problemler için her düğüm x ve y yönünde yer değiştirebilir. Yani her düğümün iki serbestlik derecesi vardır. Böylece üç düğümlü üçgen bir elemanın toplam altı serbestlik derecesi, altı düğümlü üçgen bir elemanın da on iki serbestlik derecesi vardır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. On iki serbestlik derecesine sahip altı düğümlü üçgen eleman

Şekil 4.2’de verilen altı düğümlü üçgen eleman için yer değiştirme vektörü,

$$\{q\} = [q_1 \ q_2 \ q_3 \ q_4 \ \dots \ q_{12}]^T \quad (4.6)$$

şeklindedir. Elemanda meydana gelen şekil değiştirmeyi bulabilmek için şekil fonksiyonlarına ihtiyaç vardır. Şekil fonksiyonları düğüm deplasmanları ile düğüm deplasmanları arasındaki ilişkiyi tanımlamaktadır.

$$\begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} N_1 & 0 & N_2 & 0 & N_3 & 0 & N_4 & 0 & N_5 & 0 & N_6 & 0 \\ 0 & N_1 & 0 & N_2 & 0 & N_3 & 0 & N_4 & 0 & N_5 & 0 & N_6 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} q_1 \\ q_1 \\ q_1 \\ \vdots \\ \vdots \\ q_{12} \end{Bmatrix} \quad (4.7)$$

Matris formunda ifade edilecek olursa;

$$\{u\} = [N]\{q\} \quad (4.8)$$

şeklinde olur. Burada [N] şekil fonksiyonları matrisi olup altı düğümlü üçgen eleman için şekil fonksiyonları aşağıdaki gibidir.

$$N_1 = r(2r - 1) \quad N_2 = s(2s - 1) \quad N_3 = t(2t - 1)$$

$$N_4 = 4rs$$

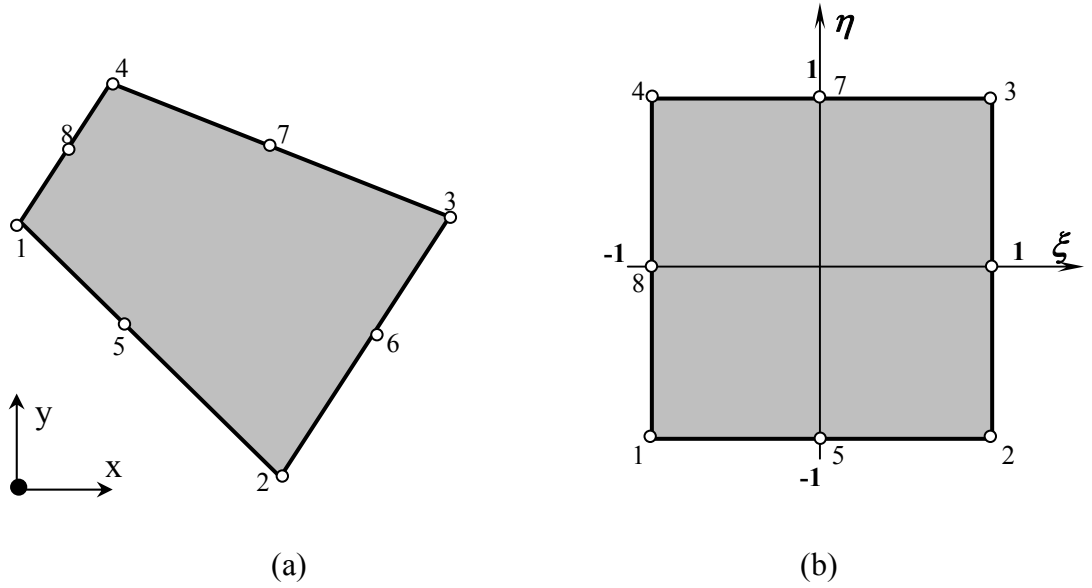
$$N_5 = 4ts$$

$$N_6 = 4rt$$

4.2.2. İzoparametrik (dörtgen) elemanlar

İzoparametrik elemanlar iki ve üç boyutlu problemlerin çözümünde geniş bir kullanım alanı bulmuş ve deneysel verilerle iyi bir uyum sağlayan sonuçlar elde edilmiş bir eleman türüdür. İzoparametrik elemanlar problemlere dört, sekiz ve dokuz düğümlü olmak üzere üç değişik şekilde uygulanmaktadır.

Şekil fonksiyonları öncelikle doğal koordinatlardaki bir temel eleman üzerinde geliştirilmiştir. Şekil 4.3b’de temel eleman (η, ξ) doğal koordinatlarında düzgün bir kare olarak tanımlanmaktadır. Langrange sekiz düğümlü izoparametrik elemana göre şekil fonksiyonları $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$ şeklinde düğüm numaraları alır ve N_i şeklinde gösterilir.



Şekil 4.3. 16 serbestlik derecesine sahip sekiz düğümlü dörtgen elemanın
a) Geometrik koordinat sistemi, b) Doğal koordinat sistemi

Her şekil fonksiyonun değeri tanımlı olduğu düğümde 1 diğer düğümlerde ise sıfırdır. Yani 1. düğümde N_1 değeri 1 ise diğer düğümlerde (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8) N_i değeri sıfırdır.

8 düğümlü izoparametrik elemanlar için şekil fonksiyonları.

$$\begin{aligned}
 N_1 &= -1/4(1-\xi)(1-\eta)(1+\xi+\eta) & N_5 &= 1/2(1-\xi^2)(1-\eta) \\
 N_2 &= -1/4(1+\xi)(1-\eta)(1-\xi+\eta) & N_6 &= 1/2(1+\xi)(1-\eta^2) \\
 N_3 &= -1/4(1+\xi)(1+\eta)(1-\xi-\eta) & N_7 &= 1/2(1-\xi^2)(1+\eta) \\
 N_4 &= -1/4(1-\xi)(1+\eta)(1+\xi-\eta) & N_8 &= 1/2(1-\xi)(1-\eta^2)
 \end{aligned}$$

Eleman rijitlik matrisini elde edebilmek için şekli değiştirme-deplasman matrisinin [B] bilinmesi gereklidir. [B] matrisi şekil değiştirmenin tanımlandığı elemandaki deplasmanların interpolasyonu ile elde edilir. Örneğin i düğümündeki deplasman nedeniyle meydana gelen şekil değiştirme,

$$[B]_i = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial N_i}{\partial y} \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} & \frac{\partial N_i}{\partial x} \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

Eleman rijitlik matrisinin hesaplanabilmesi için Doğal koordinatlar ile geometrik koordinatlar arasında dönüş yapılması gerekmektedir. Doğal koordinatları geometrik koordinatlara dönüştürmek için [J] Jacobian matrisi kullanılır.

$$[J] = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial \xi} & \frac{\partial y}{\partial \xi} \\ \frac{\partial x}{\partial \eta} & \frac{\partial y}{\partial \eta} \end{bmatrix} \quad (4.10)$$

$$[J] = \begin{bmatrix} J_{11} & J_{12} \\ J_{21} & J_{22} \end{bmatrix} \quad (4.11)$$

Doğal koordinatlarla geometrik koordinatlar arasındaki dönüşümü sağlamak için Jacobian matrisini şekil fonksiyonların türevleri birlikte yazarsak,

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial N}{\partial \xi} \\ \frac{\partial N}{\partial \eta} \end{Bmatrix} = [J] \begin{Bmatrix} \frac{\partial N}{\partial x} \\ \frac{\partial N}{\partial y} \end{Bmatrix} \quad (4.12)$$

şeklinde olur. Burada dönüşüm doğal koordinatlardan geometrik koordinatlara olacağından Eş. 4.12 ters çevrilirse,

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial N}{\partial x} \\ \frac{\partial N}{\partial y} \end{Bmatrix} = [J]^{-1} \begin{Bmatrix} \frac{\partial N}{\partial \xi} \\ \frac{\partial N}{\partial \eta} \end{Bmatrix} \quad (4.13)$$

olur. Böylece Eş. 4.13 ile doğal koordinatlar Jacobian matrisinin tersi ile geometrik koordinatlara dönüştürülmüş olur.

Eleman rijitlik matrisi elastik enerji ifadesinden elde edilmektedir. Buna göre bir eleman için eleman rijitlik matrisi ele edilirken doğal koordinat sistemi kullanılır. Bu nedenle geometrik koordinat sistemindeki diferansiyel bir alanı doğal koordinat sistemindeki diferansiyel bir alana dönüştürmek için,

$$\partial x \partial y = |J| \partial \xi \partial \eta \quad (4.14)$$

ifadesi kullanılır. Böylece eleman rijitlik matrisi doğal koordinat sistemindeki bir eleman üzerinde integrali alınarak Eş. 4.15'deki gibi elde edilir.

$$[k]_e = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 [B]^T [D][B] |J| \partial \xi \partial \eta \quad (4.15)$$

5. MALZEME VE METOD

5.1. Kapsam

Bu çalışma, freze tezgâhında delme süreci içerisinde kesici takım üzerinde meydana gelen kesme kuvvetlerinin bir dinamometre kullanılarak ölçülmesini, kesici takım üzerinde oluşan mekanik gerilmelerin sonlu elemanlar metodu kullanılarak ANSYS ticari paket programı yardımıyla analiz edilmesini ve ölçülen kesme kuvvetlerinin MATLAB ticari paket programı kullanılarak matematiksel modellerinin oluşturulmasını içermektedir.

Üç aşamada gerçekleştirilmesi planlanan çalışmada, birinci aşamayı “deneysel çalışmalar” oluşturulmaktadır. Deneysel çalışmalar, Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Talaşlı Üretim Anabilim Dalı’nda mevcut CNC freze tezgâhı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Kesme kuvvetlerinin talaş kaldırma sırasında ölçülmesi için, delmede kesme kuvvetleri ve momenti ölçmek için tasarlanmış Kistler 9272 tipi dinamometre kullanılmıştır. Söz konusu dinamometre, uluslararası kabul görmüş universal verilerin elde edilmesini kolaylaştırmıştır.

Elde edilen deneysel verilere dayalı olarak takım üzerinde oluşan mekanik gerilmelerin analizinde sonlu eleman modeli kullanılmıştır. Talaş kaldırmada sonlu eleman modelini kullanmanın avantajları;

- Malzeme özelliklerinin gerinme, gerinme hızı ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ifade edilebilmesi,
- Talaş ve kesici takım arasındaki etkileşimin “yapışma” ve/veya “kayma” şeklinde modellenebilmesi,
- Talaşın serbest yüzeyleri gibi doğrusal olmayan geometrik sınırların kullanılabilmesi,

- Kesme kuvvetleri, talaş geometrisi, bölgesel gerilmeler ve sıcaklık dağılımları gibi genel değişkenlerin elde edilebilmesi

olarak belirlenmiştir [9]. Bu amaçla ANSYS paket programı kullanılmıştır.

Üçüncü aşamada, deneysel veriler ve analizlere bağlı olarak matematiksel model(ler)in oluşturulması gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla da MATLAB paket programından istifade edilmiştir. Matematiksel modellemede;

- Malzeme çifti (kesici takım/iş parçası),
- Takım geometrisi
- Kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme, talaş hacmi)

gibi değişkenlerin, kesme kuvvetleri üzerindeki etkisinin modellenmesi hedeflenmiştir.

5.2. Deneysel Çalışmalar

Bu araştırma kapsamında, delme (talaş kaldırarak) işleme esnasında kesme kuvvetlerinin etkisiyle takımda meydana gelen gerilmelerin analiz edilmesi için kullanılacak gerçek verilerin elde edilmesi maksadıyla bir dizi delme deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerde kullanılan malzeme, donanım, işleme parametreleri, takım tezgâhı vb. özellikler aşağıda ele alınmıştır.

5.2.1. İş parçası malzemesi

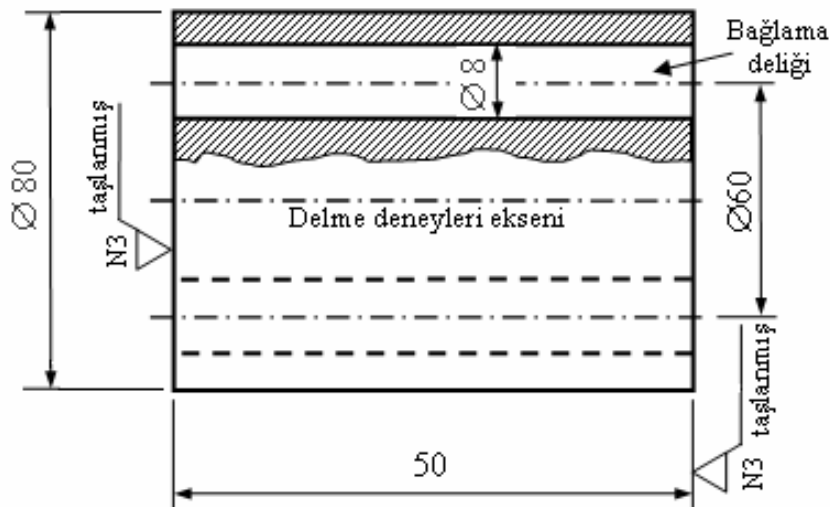
Deneysel çalışmalarda, iş parçası malzemesi olarak tüm özellikleri (kimyasal bileşim, mekanik/fiziksel, ısıl, işlenebilirlik özellikleri vb.) iyi bilinen bir malzeme kullanılması planlanmıştır. Bunun amacı, deneysel sonuçların doğru yorumlanması ve literatürdeki verilerle karşılaştırılabilmesidir. Bunun için özellikleri iyi bilinen ve literatürde yaygın kullanılmış [53,63,64] ve işlenebilirlik özellikleri oldukça iyi olan AISI 1050 çeliği kullanılmıştır.

Deneysel çalışmalarda kullanılan AISI 1050 (Gereç No: ST 1.0503) malzemenin Ankara KOSGEB laboratuvarlarında, Spectrolab-M5 model analiz cihazında yapılan kimyasal analiz sonuçları Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. AISI 1050 malzemenin kimyasal bileşimi

Element	C	P	Mo	Co	Ti	Pb	Si	S	Ni	Cu
%	0,485	0,0256	0,0147	0,00126	-	0,00211	0,218	0,056	0,111	0,231
Element	V	Sn	Mn	Cr	Al	Nb	W	Sb	Fe	
%	0,0134	0,0166	0,752	0,109	0,00213	0,00254	0,00528	-	Kalan	

Aynı pota çeliğinden silindirik olarak haddelenmiş malzemeden $\varnothing 80 \times 50$ mm boyutlarında hazırlanan deney numunelerinin, alınları önce tornalanma ve daha sonra taşlanma suretiyle her biri istenilen ölçü ve yüzey tamlığına getirilmiş, numune yüzeyine temas eden matkabı olumsuz etkiyebilecek unsurlar bertaraf edilmiştir. Hazırlanan basit bir delme kalıbıyla, deney numunelerinin dinamometreye tespit edilmesinde kullanılan bağlama delikleri eş olarak elde edilmiş ve her numunenin boyuna ekseninin dinamometre ve takım eksenini ile eşmerkezli olması temin edilmiştir. Hazırlanan numunelerin teknik bir çizimi Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1. AISI 1050 deney numunesi

5.2.2. Kesici takım ve takım tutucu

Kesme deneylerinde *Mitsubishi* ürünü UP20M kalitesinde farklı talaş kırıcılara sahip GPMT070204-U1, GPMT070204-U2 ve GPMT070204-U3 (U1, U2 ve U3 farklı talaş kırıcı formlarını ifade etmektedir) kesici takımlar (Ek-1) ile TAFM2000F25 takım tutucu ve TAWN2000TVP15TF kesici takımlar ile TAWMN2000S25 takım tutucular kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan kesici takımların mekanik özellikleri Çizelge 5.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.2. Deneylerde kullanılan kesici takımların mekanik özellikleri [65, 66].

Kesici takımlar	E (GPa)	ν
<i>Takım tutucular (çelik)</i> TAFM2000F25 TAWMN2000S25	210,7	0,28
<i>Kesici uçlar (P 25 grade)</i> GPMT070204-U1 UP20M GPMT070204-U2 UP20M GPMT070204-U3 UP20M TAWN2000T VP15TF	558	0,22

5.2.3. Takım tezgâhı

Deneyisel çalışmalarda; Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makina Eğitimi Bölümü, Talaşlı Üretim Anabilim Dalı, CNC Atelyesinde mevcut JOHNFORD T35 CNC freze tezgâhı kullanılmıştır. Bu tezgahın özellikleri Çizelge 5.3’te verilmiştir.

Çizelge 5.3. JOHNFORD T35 CNC freze tezgahının özellikleri

X eksen	250	mm
Y eksen	600	mm
Tezgah Gücü	10	kW
Devir sayısı	4000	dev/dak.
Hidrolik ayna çapı	250	mm
Hassasiyet	0,001	mm
Taret takım adedi	12	

5.2.4. Kesme parametreleri

Gerçekleştirilen kesme deneylerinde her bir kesici takım grubu için üretici firma kataloglarında ilgili takım için önerilen beş farklı kesme hızı (V , m/min) ile iki farklı ilerleme değeri (f , mm/rev) kullanılmıştır (Çizelge 5.4).

Çizelge 5.4. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri

Kesici takım	Takım tutucu	Kesme parametreleri	
		V (m/min)	f (mm/rev)
GPMT070204-U1 UP20M GPMT070204-U2 UP20M GPMT070204-U3 UP20M	TAFM2000F25	80 90 100 110 120	0,06 0,1
TAWN2000T VP15TF	TAWMN2000S25	60 70 80 90 100	0,15 0,25

5.3. Kesme kuvvetlerinin ölçülmesi

Deneyisel çalışmalarda kesme kuvvetlerinin ölçülmesi için DPT Projesi kapsamında fakültemize kazandırılan, 3 ortogonal kesme kuvveti bileşenini (F_x , F_y , F_z) ve momenti (M_z) ölçme kapasitesine sahip kuartz KISTLER 9272 tipi dinamometre (Şekil 5.1) kullanılmıştır. Bu dinamometrenin teknik özellikleri Çizelge 5.5'te verilmiştir.



Şekil 5.2. Kistler 9272 dinamometre [67]

Çizelge 5.5. Kistler 9272 tipi dinamometrenin teknik özellikleri [67]

Ölçme aralığı	F _x , F _y	-5...5 kN
	F _z	-5...20 kN
	M _z	-200...200 Nm
Hassasiyet	F _x , F _y	-7,8 pC/N
	F _z	-3,5 pC/N
	M _z	-160 pC/Nm
Doğrusallık		%≤±1 FSO
Histerezis		% ≤1 FSO
Kapasitans	F _x , F _y , F _z	185 pF
	M _z	420 pF
20°C'daki yalıtım direnci		> 10 ¹³ Ω
Topraklama yalıtımı		> 10 ⁸ Ω
Koruma sınıfı		IP 67
Ağırlık		4,2 kg

5.4. Analiz Çalışmaları

Kesici takımında oluşan gerilmelerin sonlu elemanlar metoduna dayalı olarak *ANSYS 6.1* paket programı kullanılarak analiz edilmesi amacıyla çözüm öncesinde bazı hazırlıklar yapılmıştır. Bu hazırlıklar; kesici takımlara ait katı modellerin oluşturulması, kesici takımlar için gerekli malzeme modellerinin çıkartılması, kullanılacak eleman tipi ve eleman boyutunun belirlenmesi, katı modellerin elemanlara ayrılması (ağ oluşturma, *meshing*), sınır şartlarının belirlenmesi, yükleme durumunun belirlenmesi ve kullanılacak çözüm metodunun seçilmesi olarak özetlenebilir.

5.4.1. Kesici takımların modellenmesi

Kesme deneylerinde, kesme parametrelerindeki değişime bağlı olarak kesici takıma etkiyen esas kesme kuvveti (F_C), ilerleme kuvveti (F_f) ve pasif kuvvet (F_p) eş zamanlı olarak ayrı ayrı ölçülmüştür. Deneyler yardımıyla kesme kuvveti değerlerinin belirlenmesinden sonra *ANSYS* programında gerekli gerilme analizlerinin yapılabilmesi için ilgili takım tutucu ve kesici uç, *Mitsubishi* kesici takım kataloğundan alınan bilgiler ve doğrudan takım üzerinden alınan ölçüler kullanılarak boyutlandırılmıştır.

Kesici takımlar için katı model oluşturulma süreci; katı modellerinin öncelikle *Solid Works 2006* programı kullanılarak oluşturulması ve elde edilen bu katı modellerin daha sonra da “.iges” uzantısı yardımıyla *ANSYS* programından okutulması olmak üzere, iki ayrı aşamadan oluşmaktadır.

Katı modelleme işlemi sırasında kesici takımlara ait tüm özellikler; talaş açısı, yanaşma açısı, boşluk açıları, talaş kırıcı formları, kesici uç burun yarıçapı, kesici ucu tespitleme (sıkma) elemanları dikkate alınmıştır. Bu şekilde kesici takımlara ait katı model çizimleri tamamlandıktan sonra “.iges” uzantısı yardımıyla kaydedilmiştir. *ANSYS* programında gerekli modellerin oluşturulabilmesi amacıyla,

Çizilen katı modeller “*import/iges*” komutu kullanılarak *ANSYS* programından çağrılmıştır. Kesici takımlar için *Solid Works 2006* programında kullanılan koordinat sistemi esas alınmıştır.

Katı modelleme süresini uzatacak olması ve sıkma elemanlarının (sıkma için kullanılan vidalar ve sıkma pabucu) her biri için ayrıca bir çözüm yapılması gerektiğinden; kesici ucu sabitleyen sıkma elemanlarının *ANSYS*’te modellenmesinden vazgeçilmiş; buna karşılık sıkma elemanları tarafından kesici uca uygulanan sıkma kuvveti, Bölüm 6.4.4’te belirtilen prosedür yardımıyla uygulanmıştır.

Solid Works 2006 ile katı model oluşturulması sırasında, kesme kuvvetlerinin literatüre uygun olarak kesici uca uygulanması amacıyla talaş–takım temas boyu da dikkate alınmıştır.

5.4.2. Kesici takımlara ait malzeme modelleri

özüm öncesinde yapılan hazırlıkların ikinci safhasında, katı modelleri oluşturulan kesici takımlara ait gerekli malzeme modelleri oluşturulmuştur. Analizlerde tüm kesici takım için lineer elastik malzeme modeli kullanılmış ve literatürde yapılan çeşitli araştırmalardan yararlanılarak kesici takımların malzeme modelleri için gerekli olan elastisite modülleri (E) ve Poisson oranları (ν) belirlenmiştir. Bölüm 5.2.2, Çizelge 5.2’de analizlerde kullanılan kesici takımlar için kullanılan E ve ν değerleri verilmiştir.

5.4.3. Elemanlara ayırma ve temas çiftleri

Gerekli malzeme modelleri tanımlanan kesici takımlar için bir sonraki safhada katı modellerde kullanılacak eleman tipi ve elemanlara ayırma işlemi (*meshing*, katı model için ağ oluşturma) yapılmıştır. Literatüre paralel olarak [68], deneylerde

kullanılan kesici takımlar için 3 boyutlu 10 düğümlü kuadratik dört yüzlü SOLID 92 elemanı kullanılmıştır.

Elemanlara ayırma işlemi, katı model geometrisi için en uygun eleman düzenini otomatik olarak ayarlayan “*smartsiz*” yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Buna göre ağ elemanı boyutları, tüm kesici uçlar için daha yoğun (*smartsiz*=3) ve takım tutucular için daha seyrek (*smartsiz*=5) olacak şekilde uygulanmıştır.

Kesici uç ile kesici ucun takım tutucuya oturma yüzeyleri arasındaki etkileşimi sağlamak amacıyla, literatüre uygun olarak [68] temas çiftleri (*contact pairs*) uygulanmıştır. Temas çiftlerinin oluşturulması, elemanlara ayırma sonrasında yapılması gereken bir işlem olup, bu işlem temas halindeki iki katının yüzey(ler)inde bulunan elemanların etkileşimini tanımlamak olarak özetlenebilir. Katı modellerin birbiriyle temas eden yüzeyleri için *ANSYS* tarafından kullanılması tavsiye edilen 3 boyutlu 8 düğümlü *CONTA174* yüzeyden yüzeye temas elemanı ve 3 boyutlu *TARGE170* hedef elemanı (*target segment*) kullanılmıştır. Temas çiftlerinin uygulanması programda “modelleme” bölümünde yer alan “temas çifti (*contact pair*)” ara yüzü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. *ANSYS*’e göre *daha yoğun ağ yapısı* olan kısım “*temas*” ve *daha büyük yüzeye* sahip olan kısım da “*hedef*” olarak tanımlanması gerektiğinden takım tutucunun yüzeyleri “hedef”, kesici ucun bu yüzeylerle etkileşimde olan yüzeyleri de “temas” olarak tanımlanmıştır.

Kesici ucun tabanı ile takım tutucunun yüzeyleri arasındaki temas çifti oluşturulurken temas yüzeyinin davranışı tüm yönlerde “daima bağlı/yapışık (*bonded always*)” uygulanmıştır. Temas yüzeyleri arasındaki sürtünme katsayısı 0,1 olarak seçilmiştir. Katı modelleme gerçekleştirilirken, temas yüzeyleri arasında herhangi bir nüfuziyet (birbirinin sınırları içerisine geçme) oluşturulmadığından tüm temas elemanları için başlangıç nüfuziyeti “0” seçilmiştir.

5.4.4. Yükleme durumu ve sınır şartları

Katı model geometrinin oluşturulması, malzeme modellerinin çıkartılması, uygulanacak eleman tipi ve ağ elemanlarının boyutlarının seçilmesinden sonra gerilme analizi öncesinde yapılması gereken son işlemlerden birisi de; analizler için gerekli yükleme durumu, başlangıç şartları ve sınır şartlarının belirlenmesidir.

Sıkma kuvvetinin uygulanması

Analizlerde kesici ucu takım tutucuya tutturmak için ISO 1832'ye göre “S” kesici uç tespitleme biçimi kullanılmıştır. Kesici uç, “S” yönteminde bir sıkma vidası yardımıyla delikten sıkılarak sabitlenmiştir. Kesici ucu takım tutucuya tutturmak için gerekli sıkma kuvvetleri (3370 N) literatürden elde edilmiştir [68,69]. S” yönteminde sıkma kuvveti (3370 N), sıkmanın uygulanacağı alan/alanlar üzerindeki düğümlere birim düğüm için gelen kuvvet biçiminde (*force/on nodes*) uygulanmıştır.

Kesme kuvvetleri için yükleme durumunun belirlenmesi

Analizler için oluşturulan eleman yapısı içerisinde kesme kuvvetlerinin nasıl uygulanacağına dair literatürde çeşitli yaklaşımlar izlemiştir [1, 68]. Literatüre paralel olarak kesme kuvvetleri tüm talaş-takım temas alanı üzerindeki düğümlere düğüm başına gelen kuvvet biçiminde uygulanmıştır

Başlangıç ve sınır şartları

Analiz öncesinde yapılan hazırlıkların son aşamasını analizlerde kullanılacak başlangıç ve sınır şartları oluşturmaktadır. Çözüm süresini azaltmak amacıyla sonlu eleman modelini basitleştirmek için literatüre paralellik arz eden aşağıda verilen bazı kabuller yapılmıştır:

1. Kesici uçtaki tüm ayrıntılar oluşturulurken, takım tutucudaki tüm küçük kenar yuvarlatma (*ER-Edge Rounding*) yarıçapları ve pahlar ihmal edilmiştir.

2. Kesici ucu sıkma biçimine bakılmaksızın tüm sonlu eleman modellerinde sıkma elemanlarının kullanılması ihmal edilmiş (örneğin sıkma vidası katı modelleme sürecinde oluşturulmamıştır), ancak sıkma elemanları ile sağlanan sıkma kuvvetleri sadece kesici uca uygulanmıştır.
3. Takım tutucu, altlık ve kesici ucun ağırlık değerlerinin ölçülen kesme kuvvetlerine göre çok küçük olması sebebiyle, kesme kuvvetlerinin uygulanmasında bu ağırlıklar ihmal edilmiştir.
4. Çözüm süresini azaltmak için takım tutucu ile kesici uç alt plakasının alt yüzeyi arasındaki temas etkisi ihmal edilmiş ve takım tutucu ile kesici uç alt plakası için bir tek katı model olacak şekilde birleştirilmiştir.
5. Analizlerde kullanılan kesici uçların başlangıçta yeni ve keskin (kullanılmamış, hiçbir şekilde aşınmamış) olduğu kabul edilmiştir (her deney için yeni bir takım kullanıldığından).
6. Yer değiştirmelerin uygulanan yüklerle orantılı ve katı model geometrisine göre çok küçük boyutlarda olduğu, uygulanan yüklemenin kaldırılması halinde kesici takımların orijinal durumlarına geri döndüğü kabul edilmiştir.
7. Statik durum için analiz yapılmış ve hiçbir titreşimin olmadığı kabul edilmiştir. Kesme sırasındaki sıcaklık etkileri ihmal edilmiştir.
8. Sınır şartı olarak takım tutucunun tezgâha tüm yönlerdeki yer değiştirme sıfır seçilmiş ve buna karşılık gelen kesit alanı üzerinde bulunan bütün düğümlere bu sınır şartı uygulanmıştır.

Çözüm yöntemi

Analiz öncesinde yapılan bu hazırlıklar sonrasında analiz tipi olarak statik (denge durumu) analiz kullanılmıştır. Kesici uç alt plakası ile kesici uç arasında temas çifti

uygulandığından; *ANSYS*, doğrusal olmayan (*non-linear*) analiz ve bu analizler için de *Full Newton–Raphson* metodu olarak adlandırılan iterasyon işlemini kullanmıştır.

Yukarıda detaylı bir şekilde anlatılan analiz prosedürü takip edilerek toplam 40 analiz gerçekleştirilmiştir. Analizler, her bir iş parçası–kesici takım çifti için Ek 1’de gösterilen ve analiz öncesinde hazırlanan bir kütük (*log*) dosyasından okutulmak suretiyle parametrik olarak yapılmıştır. Bunun için ilgili kesici takım grubuna (takım tutucu ve kesici uç) ait analizleri yapmak amacıyla talaş–takım temas alanı oluşturularak ve sıkma kuvvetleri ve sınır şartları uygulanarak hazırlanan şablonlar kullanılmıştır. Kütük dosyasında ise dosyalama sisteminin tanımlamasının yapılması ve kesme kuvveti değerlerinin belirtilmesi gerekmektedir. Böylece, *ANSYS* programı açıldıktan sonra gerekli girdiler kütük dosyasından okutulmak suretiyle çözüm yaptırılmıştır.

Kesme parametrelerindeki değişime göre kesici takımında oluşan ve özellikle talaş yüzeyi, yardımcı yüzeyler, esas kesme kenarı, yardımcı kesme kenarı ve kesici takımındaki aşınma üzerinde etkileri bulunan gerilmelerin incelenmesi yapılmıştır. Bunun için, analizler sonucunda belirlenen σ_x , σ_y ve σ_z normal gerilme bileşenleri (*ANSYS*’teki ifadesi S_X , S_Y ve S_Z), τ_{xy} , τ_{yz} ve τ_{xz} kayma gerilmesi bileşenleri (*ANSYS*’teki ifadesi S_{XY} , S_{YZ} ve S_{XZ}) ve S_{EQV} von Mises gerilmesi kullanılmıştır.

5.5. Gerilme Bileşenlerinin Modellenmesi

Literatürde kesme sırasında kesici takımında oluşan gerilmelerin modellenmesiyle ilgili çok az sayıda çalışma yer almaktadır. Gerilmelerin modellenmesini ihtiva eden bu çalışmaların büyük çoğunluğunda ise kesme işlemi, genelde 2 boyutlu ele alınmış olup; kesici takımın talaş yüzeyinde gerçekleşen normal ve kayma gerilmesi, esas kesme kuvvetinde olduğu gibi çeşitli parametreler yardımıyla modellenmiştir.

Ancak esas kesme kuvveti veya gerilme bileşenlerinin modellenmesinde kullanılan parametrelerin oldukça karmaşık analitik yaklaşımlar gerektirmesi ve deneysel

çalışma maliyetlerinin ise çok yüksek olması sebebiyle; güvenilirliği yüksek, ekonomik ve gerçek kesme şartlarına kolay uygulanabilir modellerin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Talaş kaldırma mekaniğinde, talaş oluşumunda iş parçası–kesici takım çiftine bağlı olarak kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği gibi kesme parametreleri ile bunlara bağlı olarak da kesme kuvvetleri aktif rol oynamaktadır. Bu sebeple çalışma kapsamında kesici takımda oluşan gerilme bileşenlerinin modellenmesinde; gerilmelerin, kesici takımı etkileyen kesme kuvvetleri ile ilerleme değerine bağlı olarak değiştiği kabul edilmiş ve böylece ekonomik olması ve gerçek kesme şartlarına kolay uygulanabilir olması amaçlanmıştır. Bu kabule dayalı olarak, her bir gerilme bileşeni (S_x , S_y ve S_z normal gerilme bileşenleri; S_{xy} , S_{yz} ve S_{xz} kayma gerilmesi bileşenleri ve S_{EQV} von Mises gerilmeleri) için Eş.5.1’de verilen bir model geliştirilmiştir:

$$S_i = c \times (F_z)^r \times (F_y)^s \times (F_x)^t \times f^u \quad (5.1)$$

Burada S_i , hesaplanan gerilme bileşenini (MPa, örneğin S_x); c , kesici takım tipine bağlı ilgili gerilme bileşeni sabitini; F_z , F_y ve F_x sırasıyla z , y ve x –eksenleri doğrultusunda ölçülen kesme kuvvetlerini (N); f , ilerleme değerini (mm/rev); r , s , t ve u , kesici takım tipine bağlı olarak sırasıyla z , y ve x –eksenleri doğrultusunda ölçülen kesme kuvvetleri ile ilerleme değeri için üs değerlerini göstermektedir.

Gerilme bileşeni değerleri (S_i), *ANSYS* gerilme analizleri yardımıyla belirlendiğinden; Eş. 5.1’in çözülebilmesi için, kesici takım tipine bağlı c sabiti ile r , s , t ve u üs değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Bu amaçla Eş. 5.1 ifadesi,

$$\log S_i = \log c + r \log F_z + s \log F_y + t \log F_x + u \log f \quad (5.2)$$

biçiminde logaritmik forma ve daha sonra da,

$$Y = \beta_0 X_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \varepsilon \quad (5.3)$$

eşitliği kullanılmak suretiyle doğrusal forma dönüştürülmüştür. Eş. 5.3'te; Y , tahmin edilecek gerilme bileşeninin logaritmik değerini (örneğin $\log S_X$); $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ ve β_4 eşitlik katsayılarını (sırasıyla r, s, t ve u üs değerleridir); X_1, X_2, X_3 ve X_4 sırasıyla $\log F_z, \log F_y, \log F_x$ ve $\log f$ değerlerini ve ε ise gerçekleşebilecek muhtemel hatayı göstermektedir. Eşitlikte yer alan β_0 ve X_0 ise kesici takım tipine bağlı c sabitinin belirlenmesinde kullanılacak olup; X_0 hayali bir değişken olarak ele alınmış ve değerinin 1 olduğu kabul edilmiştir.

Eş. 5.3, bir adet bağımlı değişken (Y) ve dört adet bağımsız değişken (X_1, X_2, X_3 ve X_4) ihtiva ettiğinden, Eş. 5.3'ün ve dolayısıyla da Eş. 5.1'in çözümü; aralarında sebep–sonuç ilişkisi bulunan iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi, o konu ile ilgili tahminler veya kestirimler yapabilmek amacıyla regresyon modeli olarak adlandırılan matematiksel bir model ile karakterize eden istatistiksel bir analiz tekniği olan *regresyon analizi* kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Eş. 5.3, regresyon analizi tiplerinden *çok değişkenli doğrusal regresyon analizi* kapsamında yer aldığından; Eş. 5.3'ün çözümü ($\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ ve β_4 katsayılarının tahmini) en küçük kareler metodu uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Buna göre her bir iş parçası–kesici takım çifti için Eş. 5.3 ifadesi,

$$y_i = \beta_1 + \beta_2 x_{2i} + \beta_3 x_{3i} + \dots + \beta_K x_{Ki} + e_i \quad (i = 1, \dots, n ; k = 2, \dots, 5) \quad (5.4)$$

şeklinde yazılırsa,

$$\begin{aligned} y_1 &= \beta_1 + \beta_2 x_{21} + \beta_3 x_{31} + \beta_4 x_{41} + \dots + \beta_K x_{K1} + e_1 \\ y_2 &= \beta_1 + \beta_2 x_{22} + \beta_3 x_{32} + \beta_4 x_{42} + \dots + \beta_K x_{K2} + e_2 \\ &\dots \\ y_n &= \beta_1 + \beta_2 x_{2n} + \beta_3 x_{3n} + \beta_4 x_{4n} + \dots + \beta_K x_{Kn} + e_n \end{aligned} \quad (5.5)$$

elde edilebilir. Eş. 5.5'nin matris formundaki gösterimi ise

$$Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_n \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \dots \\ \beta_n \end{bmatrix}, e = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \dots \\ e_n \end{bmatrix} \text{ ve } X = \begin{bmatrix} 1 & x_{21} & \dots & x_{K1} \\ 1 & x_{22} & \dots & x_{K2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_{2n} & \dots & x_{Kn} \end{bmatrix}$$

olmak üzere,

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_{21} & \dots & x_{K1} \\ 1 & x_{22} & \dots & x_{K2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_{2n} & \dots & x_{Kn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \dots \\ \beta_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \dots \\ e_n \end{bmatrix} \quad (5.6a)$$

veya

$$Y = XB + e \quad (5.6b)$$

biçimindedir. Burada n ve K sırasıyla kesici takım tipi için deney ve parametre sayısını (örneğin TAFM2000F25 takım tutucu ve GPMT070204-UP20M kesici uç için $n = 30$ ve $K = 5$) ifade etmekte olup; Y , $n \times 1$ boyutundaki *bağımlı değişkenler vektörünü*; X , $n \times K$ boyutunda *bağımsız değişkenler matrisini*; B , $K \times 1$ boyutunda *model sabitleri vektörünü* ve e , $n \times 1$ boyutunda *hata terimleri vektörünü* göstermektedir.

Çoklu doğrusal regresyon analizinde parametrelerin (*model sabitleri vektörü*) tahmini; en küçük kareler metodu yardımıyla, gerçek (*ANSYS* yardımıyla belirlenen) değerler ile teorik (hesaplanan) değerler arasındaki farkların kareleri toplamının minimize edilmesiyle yapılmaktadır. Buna göre gerekli düzenlemeler yapılırsa; *model sabitleri vektörü* ve dolayısıyla da Eş. 5.1'de sırasıyla z , y ve x -eksenleri doğrultusunda ölçülen kesme kuvvetleri ile ilerleme değeri için üs değerleri için belirtilen r , s , t ve u üs değerlerinin hesaplanması için gereken çözüm,

$$B = [X'X]^{-1} X'Y \quad (5.7)$$

halini alır [70-75]. Eş. 5.7’de; X' , X bağımsız değişkenler matrisinin transpozunu; $[X'X]^{-1}$, $[X'X]$ matris çarpımının tersini ve Y , ANSYS yardımıyla belirlenen değerler ($\log S_i$ ’lerden oluşmaktadır) vektörünü göstermektedir. Eş. 5.1’de belirtilen r , s , t ve u üs değerleri ile c sabitleri, Eş. 5.7’nin her kesici takım tipi için çözülmesi suretiyle bulunmuştur.

Buna göre AISI 1050 iş parçası için TAFM2000F25 takım tutucu ile GPMT070204 UP20M kesici uç ve TAWMN2000S25 takım tutucu ile TAWN2000T VP15TF kesici uç için ayrı ayrı c , r , s , t ve u değerleri hesaplanmıştır. Geliştirilen regresyon modelindeki gözlem değerlerinin hazırlanan modele uygunluğunun kontrolü için belirtme(determinasyon) katsayısı (R^2) kullanılmıştır:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 - \sum_{i=1}^n e_i^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \Rightarrow R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (5.8)$$

Bulunan belirtme katsayısı, bağımsız değişken değerlerindeki değişimlerin ne kadarının (%) kurulan regresyon modeli ile açıklandığını göstermektedir. Değeri 0 ile 1 arasında değişmekte olup değer 1’e yaklaştıkça modelin uygunluğu artmaktadır.

6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

6.1. Deneysel Sonuçlar

TAFM2000F25 takım tutucu ile UP20M kalitesindeki U1, U2 ve U3 talaş kırıcılı GPMT070204 kesici uçlar ve TAWMN2000S25 takım tutucu ile TAWN2000T VP15TF kesici uçlar kullanılarak yapılan deneylerle ölçülen kesme kuvvetleri Çizelge 6.1 ve Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. TAFM2000F25 takım tutucu ile U1, U2 ve U3 talaş kırıcılı GPMT070204 kesici uçlar için ölçülen kesme kuvvetleri

Takım tutucu	Kesici uç	V (m/min)	f (mm/rev)	Kesme kuvvetleri (N)		
				F _Z	F _Y	F _X
TAFM2000F25	GPMT070204-U1 (Grade UP20M)	80	0,06	761,07	9,15	5,92
		90		819,14	1,94	2,48
		100		843,02	8,28	11,86
		110		1237,7	5,29	6,59
		120		1964	21,8	11,32
		80	0,1	1973,1	12,26	0,42
		90		1485,2	3,71	7,64
		100		1378,7	5,94	3,97
		110		1526,6	19,52	4,99
		120		1462,3	9	7,48
	GPMT070204-U2 (Grade UP20M)	80	0,06	695,3	8,54	7,76
		90		740,8	12,5	3,65
		100		775,98	2	0,26
		110		729,65	2,7	0,92
		120		821,18	12,03	7,03
		80	0,1	912,96	2,97	5,72
		90		988,57	23,24	0,14
		100		989,86	0,45	8,99
		110		922,23	10,95	9,18
		120		1014,6	8,01	4,25
	GPMT070204-U3 (Grade UP20M)	80	0,06	572,75	11,54	3,1
		90		632,3	4,83	5,92
		100		757,03	0,68	3,51
		110		830,93	12,4	5,16
		120		725,23	3,34	1,3
		80	0,1	863,1	5,32	8,12
		90		862,46	1,5	10,2
		100		1797	37,16	9,47
		110		928,35	2,47	2,75
		120		935	13,32	10,05

Çizelge 6.2. TAWMN2000S25 takım tutucu ile TAWN2000T VP15TF kesici uçlar için ölçülen kesme kuvvetleri

Takım tutucu	Kesici uç	V (m/min)	f (mm/rev)	Kesme kuvvetleri (N)		
				F _Z	F _Y	F _X
TAWMN2000S25	TAWN2000T (Grade VP15TF)	60	0,15	2155,8	7,09	15,6
		70		2529,17	1,81	22,1
		80		2782,24	9,63	34,45
		90		2816,6	16,2	6,3
		100		2976,49	15,91	1,05
		60	0,25	3519,4	39,9	7
		70		3682,7	14,4	1,42
		80		3869,6	5,15	39,8
		90		3764,6	48,43	6,45
		100		3812,9	8,12	30,96

Çizelge 6.1 ve Çizelge 6.2’de verilen kesme kuvvetleri incelendiğinde; her iki kesici takım grubu (TAFM2000F25/GPMT070204 ve TAWMN2000S25/ TAWN2000T) için delme kuvvetlerinin (eksenel kuvvet veya ilerleme kuvveti, F_Z) diğer kuvvetlere oranla çok yüksek gerçekleştiği görülmektedir. TAFM2000F25/GPMT070204-U3 kesici takımı ile 100 m/min kesme hızı ve 0,1 mm/rev ilerleme şartlarında yapılan deneyde (Çizelge 6.1), diğer deneylerde elde edilen kesme kuvvetlerine oranla büyük bir sapmanın gerçekleştiği göze çarpmaktadır. Bu kesme parametreleri için kesme kuvvetlerinin çok yüksek çıkmasının muhtemelen bu deney sırasında meydana gelen talaş sıkışmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

6.2. ANSYS Gerilme Sonuçları

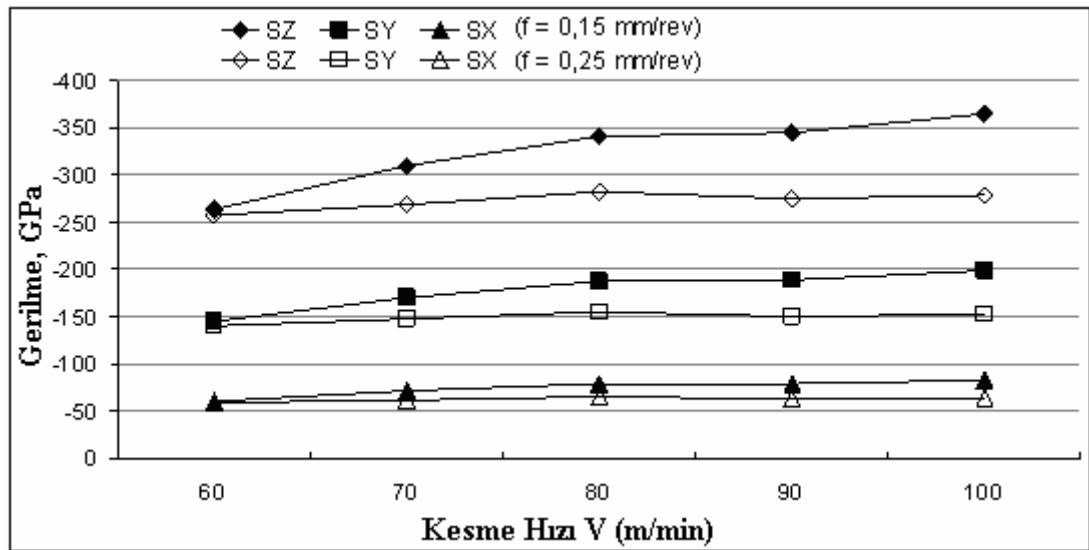
Kesme parametrelerinin kesici uçtaki gerilmeler üzerindeki etkilerinin incelenmesinde aşağıdaki gerilme sonuçlarına göre incelemeler yapılmıştır:

- Normal gerilme bileşenleri (σ_x , σ_y ve σ_z ; ANSYS’teki ifadesi S_X , S_Y ve S_Z),
- Kayma gerilme bileşenleri (τ_{xy} , τ_{yz} ve τ_{xz} ; ANSYS’teki ifadesi S_{XY} , S_{YZ} ve S_{XZ}),
- von Mises gerilmesi (S_{EQV}).

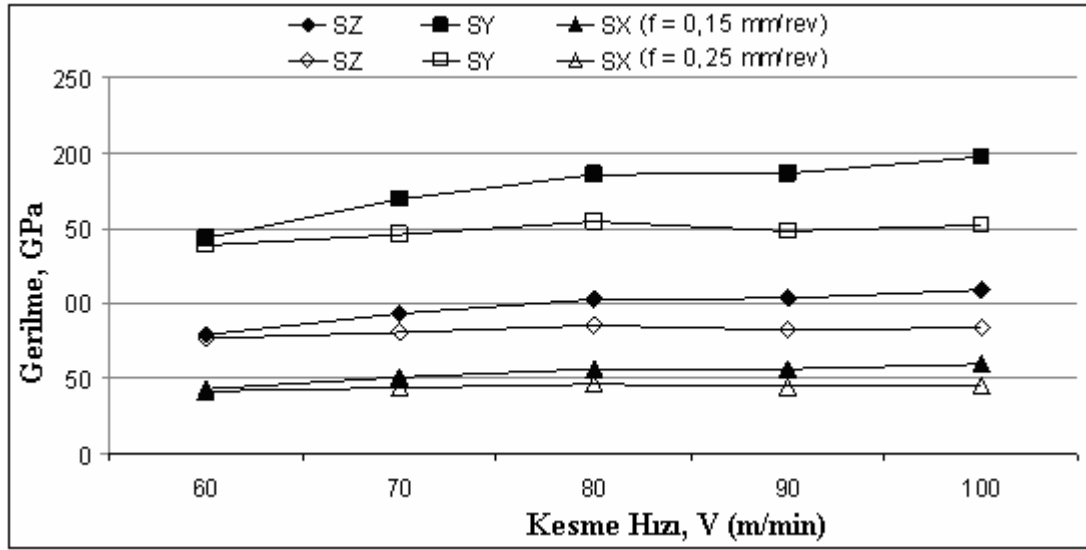
Analiz sonuçlarında “+” ve “-” işaretli gerilmeler maksimum (*max*) ve minimum (*min*) gerilme (normal gerilmeler için sırasıyla *çekme* ve *basma* gerilmesi) biçiminde ele alınmıştır. *ANSYS* paket programı ile yapılan gerilme analizlerinden elde edilen sonuçlar, yorumlama işlemlerini kolaylaştırmak amacıyla birimler GPa olarak verilmiştir. Kesme parametrelerinin gerilmeler üzerindeki etkisi; kesici takım tipine bağlı olarak ayrı ayrı incelenmiştir.

TAWMN2000S25/ TAWN2000T kesici takımlar

TAWMN2000S25/TAWN2000T kesici takım grubu için *ANSYS* paket programından elde edilen X, Y ve Z eksenlerindeki minimum ve maksimum normal gerilmeler (sırasıyla basma ve çekme gerilmeleri) Şekil 6.1 ve Şekil 6.2’de verilmiştir. Kesici takım üzerinde özellikle delme eksenine doğrultusunda çekme gerilmelerinden ziyade basma gerilmelerinin daha etkin olduğu görülmektedir. İlerleme değerindeki değişime göre normal gerilme değerlerinde özellikle de kesme hızındaki artışla birlikte SZ gerilmelerinde artışların olduğu dikkat çekmektedir. Kesme hızındaki değişim etkisiyle gerilmelerin yükselme eğiliminde olduğu söylenebilir (Şekil 6.1 ve Şekil 6.2).

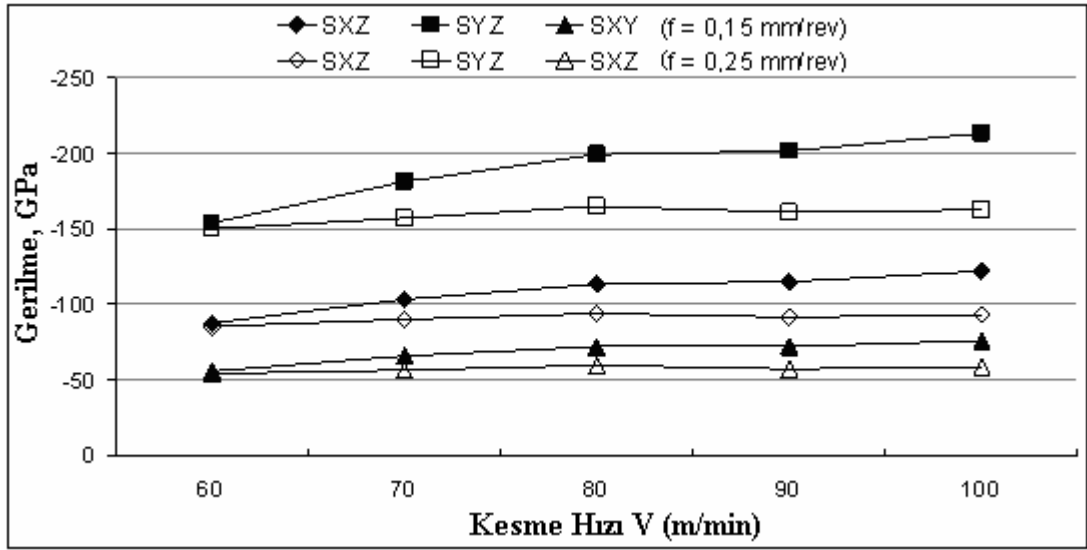


Şekil 6.1. *ANSYS* paket programından elde edilen X, Y ve Z eksenlerindeki minimum normal gerilmeler

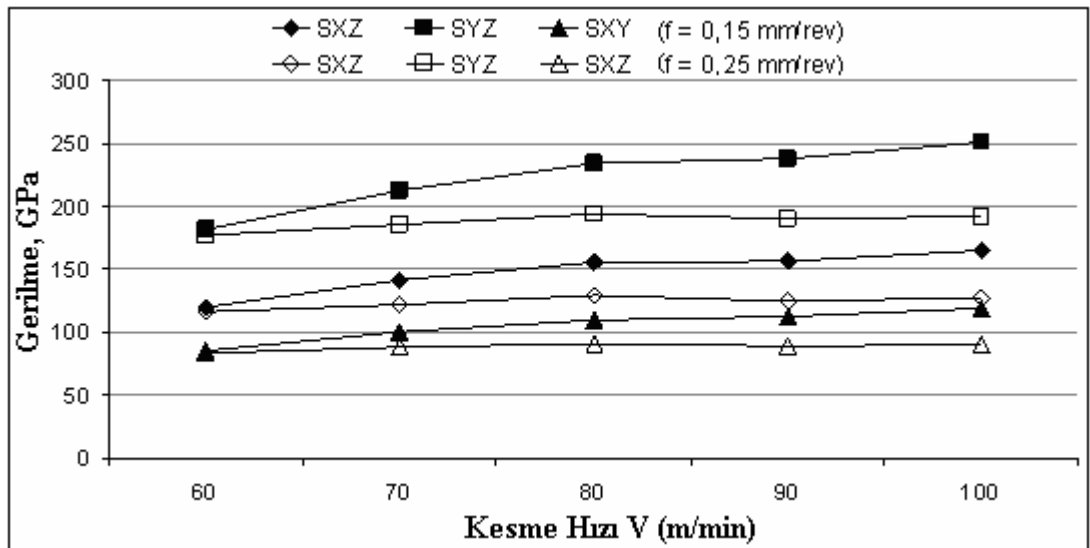


Şekil 6.2. ANSYS paket programından elde edilen X, Y ve Z eksenlerindeki maksimum normal gerilmeler

XY, YZ ve XZ düzlemlerindeki minimum ve maksimum kayma gerilmeleri ise Şekil 6.3 ve Şekil 6.4'te verilmiştir. Normal gerilmelere benzer durum kayma gerilmeleri açısından da söz konusudur (Şekil 6.3 ve Şekil 6.4). Ancak özellikle 0,25 mm/rev ilerlemede gerilmelerin kısmen daha yavaş bir biçimde yükseldiği görülmektedir. Kesme hızlarındaki artışa paralel olarak gerilme değerleri de yükselmekle birlikte özellikle 80-90 m/min kesme hızlarında gerilmeler birbirine çok yakın değerlerde gerçekleşmektedir.



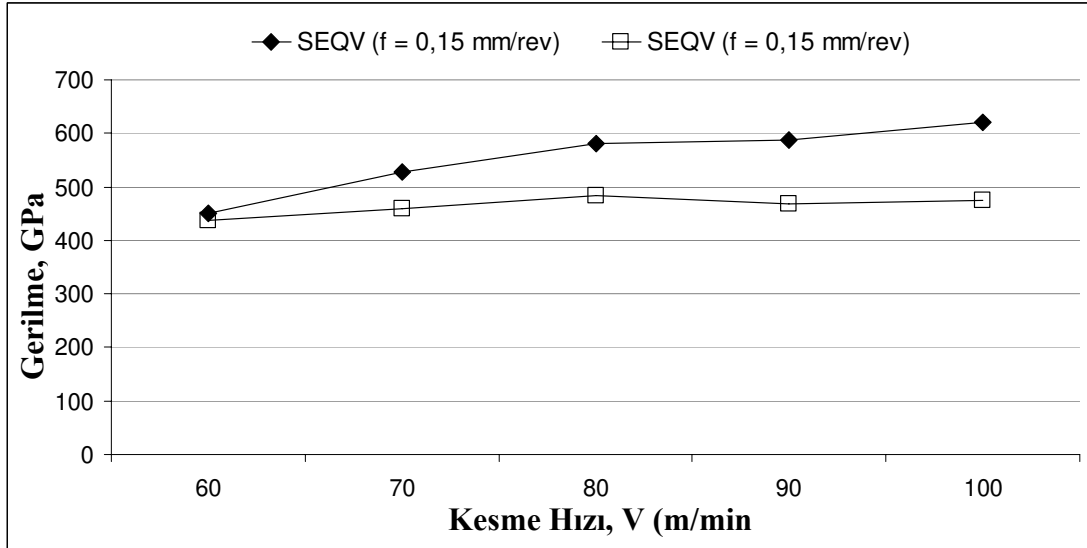
Şekil 6.3. ANSYS paket programından elde edilen XY, YZ ve XZ düzlemleri için minimum kayma gerilmeleri



Şekil 6.4. ANSYS paket programından elde edilen XY, YZ ve XZ düzlemleri için maksimum kayma gerilmeleri

ANSYS paket programından elde edilen von Mises gerilmeleri (S_{EQV}) Şekil 6.5'te verilmiştir. 0,25 mm/rev ilerlemeye göre 0,15 mm/rev ilerlemedeki gerilmeler daha yüksektir. 0,15 mm/rev ilerleme için 80 m/min kesme hızına kadar gerilmelerde yükselmelerin olduğu, buna karşılık 80-90 m/min aralığında bu yükselmenin kısmen yavaşladığı, 90 m/min'den sonra ise tekrar yükselmeye başladığı görülmüştür. 0,25

mm/rev ilerlemede ise 80 m/min'den sonra gerilmelerin birbirine çok yakın gerçekleştiği gözlenmiştir (Şekil 6.5).



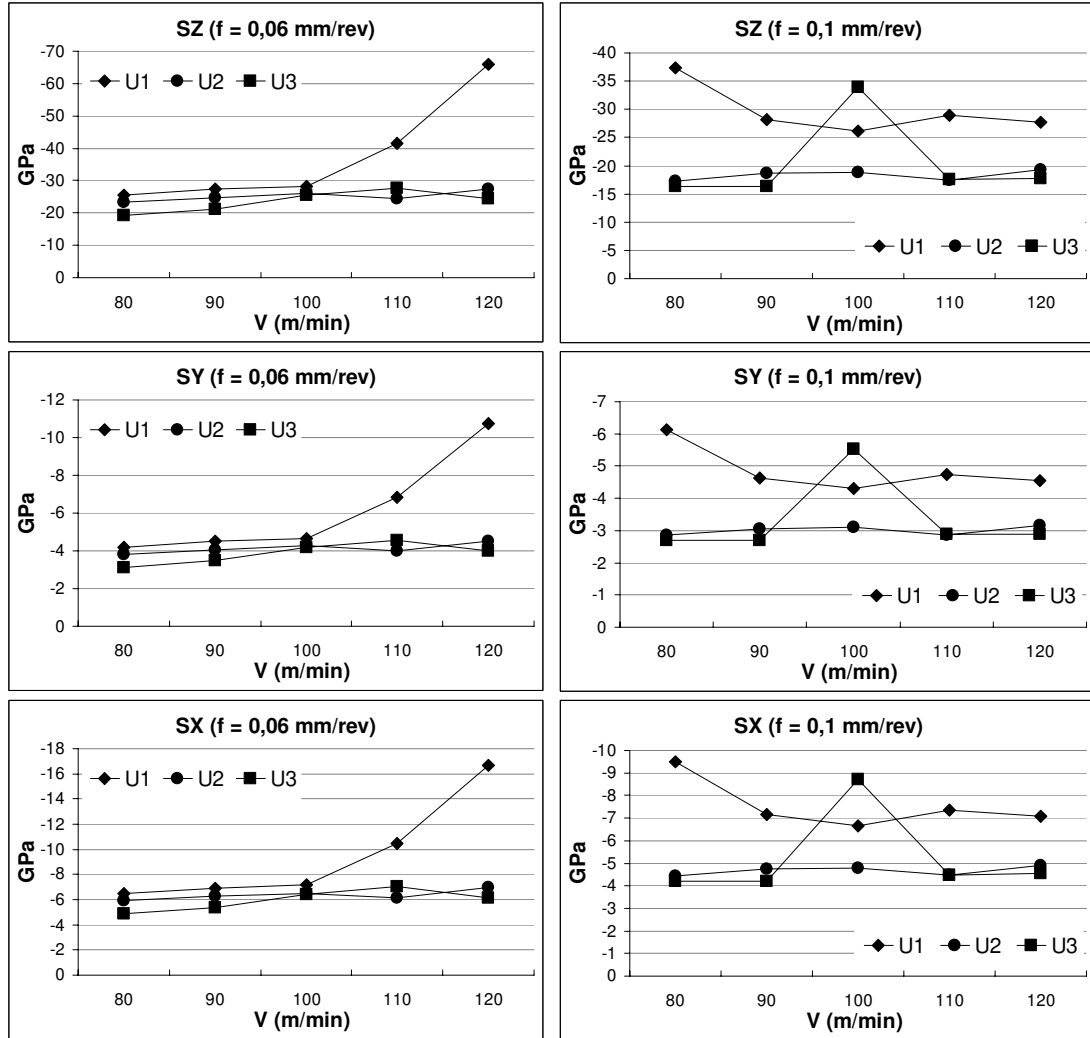
Şekil 6.5. ANSYS paket programından elde edilen von Mises gerilmeleri

TAFM2000F25/GPMT070204 kesici takımlar

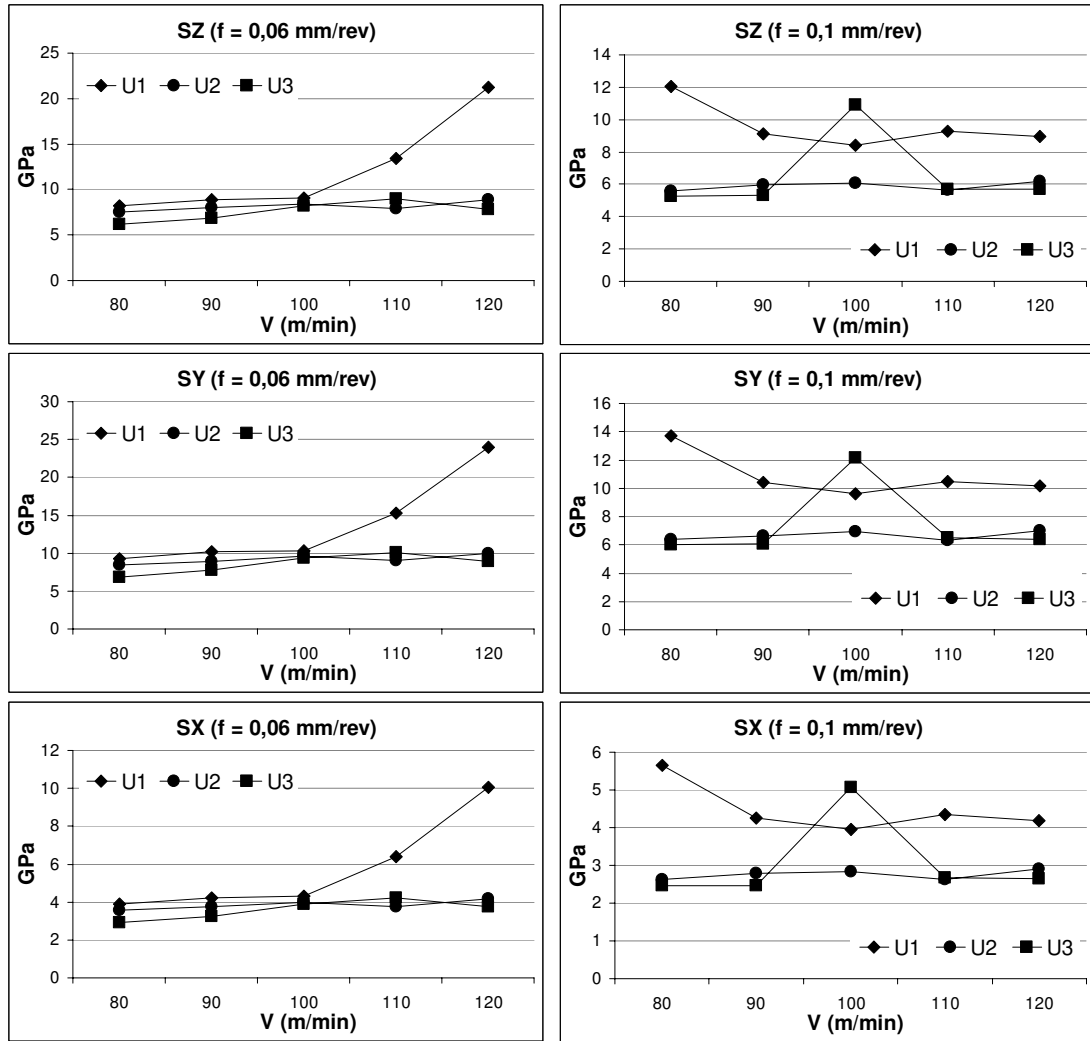
TAFM2000F25/GPMT070204 kesici takım grubu için ANSYS paket programından elde edilen X, Y ve Z eksenlerindeki minimum ve maksimum normal gerilmeler (sırasıyla basma ve çekme gerilmeleri) Şekil 6.6 ve Şekil 6.7'de verilmiştir. TAWMN.../TAWN... kesici takım grubunda olduğu gibi kesici takım üzerinde özellikle delme eksenini doğrultusunda çekme gerilmelerinden ziyade basma gerilmeleri daha etkindir (Şekil 6.6). 100 m/min kesme hızına kadar gerilmeler yükselme eğiliminde bir davranış sergilerken; 100 m/min'den sonra bu yükselmenin kısmen azaldığı görülmüştür. Özellikle düşük ilerleme değerinde gerilme çok daha yüksek gerçekleşmektedir.

Talaş kırıcı formu açısından, U1 talaş kırıcı formundaki gerilmeler diğer talaş kırıcı formlarına oranla daha büyüktür. Özellikle 100 m/min'den sonra talaş kırıcı formunun etkisi çok daha belirgindir (Şekil 6.6-Şekil 6.7).

Çekme gerilmeleri açısından takım üzerinde S_Y gerilmelerinin kısmen daha etkili olduğu görülmektedir (Şekil 6.7).

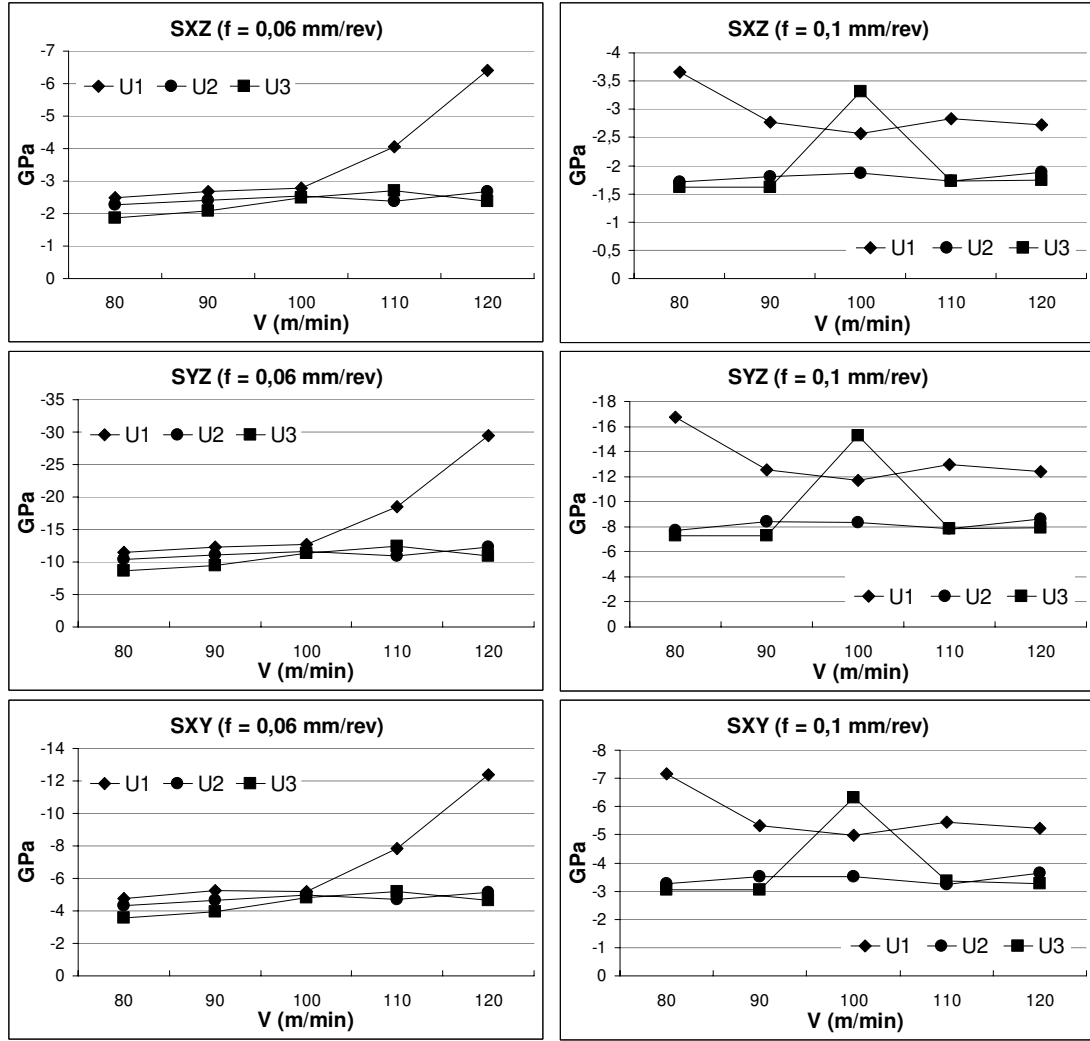


Şekil 6.6. *ANSYS* paket programından elde edilen X, Y ve Z eksenlerindeki minimum normal gerilmeler

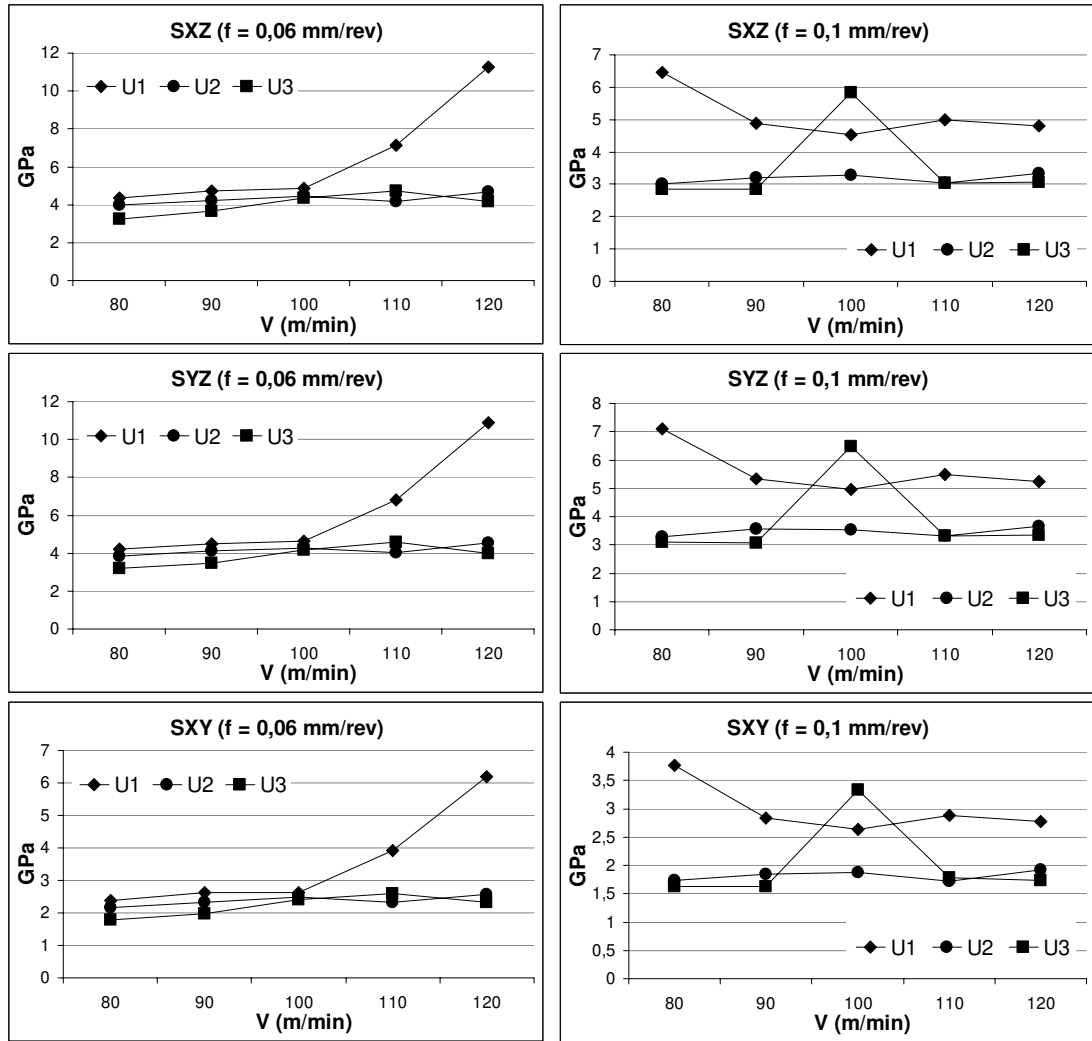


Şekil 6.7. *ANSYS* paket programından elde edilen X, Y ve Z eksenlerindeki maksimum normal gerilmeler

Minimum ve maksimum kayma gerilmeleri ise sırasıyla Şekil 6.8 ve Şekil 6.9’da verilmiştir. Kesici takım üzerinde minimum kayma gerilmelerinin (“-” işaretli gerilmeler) ve özellikle de S_{YZ} gerilmelerinin daha etkili olduğu söylenebilir. Normal gerilmelerde olduğu gibi; düşük ilerleme değerinde gerilmeler daha büyüktür. 100 m/min kesme hızından sonra gerilmelerde daha hızlı yükselmelerin olduğu gözlenmekte olup talaş kırıcı formunun etkisi çok daha belirgin bir şekilde görülmeye başlamıştır.

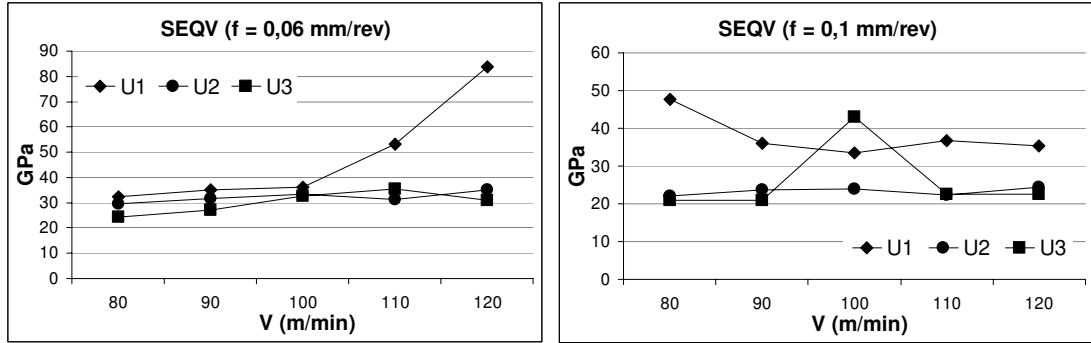


Şekil 6.8. ANSYS paket programından elde edilen XY, YZ ve XZ düzlemleri için minimum kayma gerilmeleri



Şekil 6.9. *ANSYS* paket programından elde edilen XY, YZ ve XZ düzlemleri için maksimum kayma gerilmeleri

TAFM2000F25/GPMT070204 kesici takım grubu için *ANSYS* paket programından elde edilen von Mises gerilmeleri (SEQV) Şekil 6.10'da verilmiştir. 0,1 mm/rev ilerlemeye oranla 0,06 mm/rev ilerlemedeki gerilmeler daha yüksektir. 0,06 mm/rev ilerleme için kesme hızındaki artışa paralel olarak gerilmelerde yükselmelerin olduğu, buna karşılık özellikle 100 m/min kesme hızından sonra gerilmelerin daha belirgin bir biçimde yükselmeye başladığı görülmüştür. 0,1 mm/rev ilerlemede ise gerilmelerde kısmen azalmalar gerçekleşmektedir. U1 talaş kırıcı formu, en yüksek gerilmelerin gerçekleştiği talaş kırıcı formudur. U2 ve U3 talaş kırıcı formlarında ise kısmen birbirine yakın gerilme değerleri elde edilmiştir (Şekil 6.10).



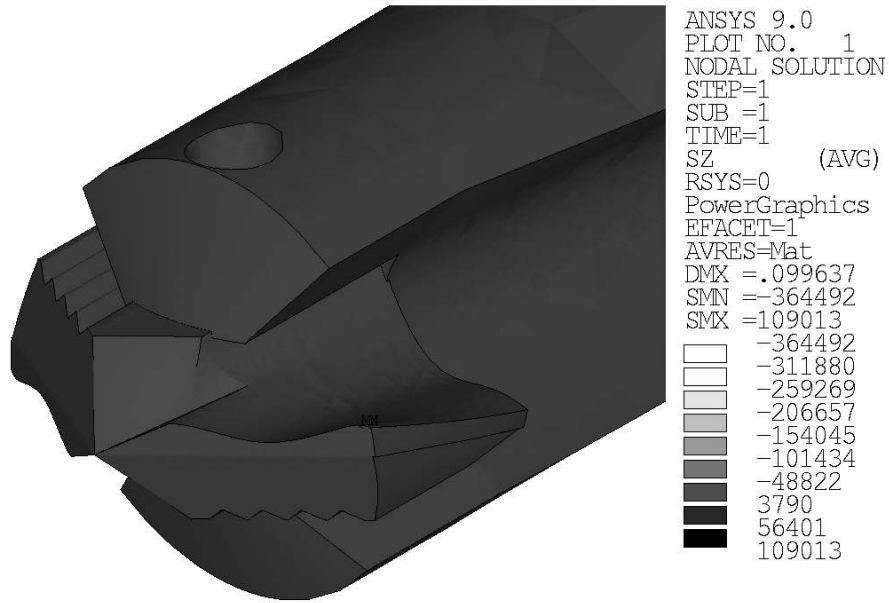
Şekil 6.10. *ANSYS* paket programından elde edilen von Mises gerilmeleri

Şekil 6.6 ila Şekil 6.10'da, özellikle U3 kesici takımı ile 100 m/min kesme hızı ve 0,1 mm/rev ilerleme şartlarında yapılan deneyde, diğer deneylerde elde edilen gerilme dağılımlarından çok yüksek sapmaların gerçekleştiği göze çarpmaktadır. Bu sapmanın sebebi, bu kesme parametreleri için *ANSYS*'te girdi olarak kullanılan kesme kuvvetlerinin çok yüksek çıkmasına atfedilmiş olmakla birlikte; kesme kuvvetlerindeki bu ani yükselmenin ise muhtemelen bu deney sırasında meydana gelen talaş sıkışmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

6.2.1. *ANSYS* gerilme dağılımları

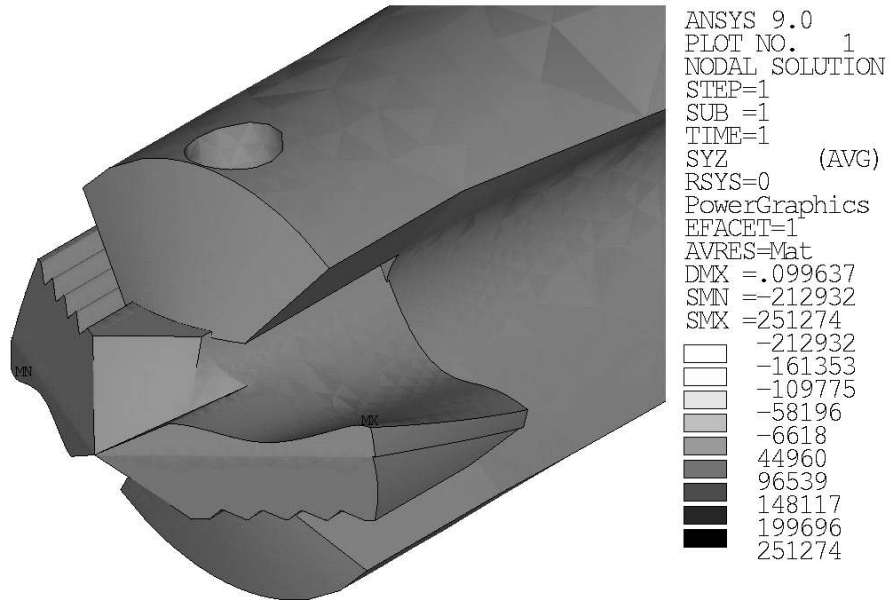
TAWMN2000S25/ TAWN2000T kesici takımlar

TAWMN2000S25/TAWN2000T kesici takım grubu için *ANSYS* paket programından elde edilen gerilme dağılımları Şekil 6.11-Şekil 6.13'te verilmiştir. Gerilme dağılımlarının gösteriminde elde edilen en yüksek S_z , S_{yz} ve S_{eqv} gerilme değerleri referans alınmıştır.



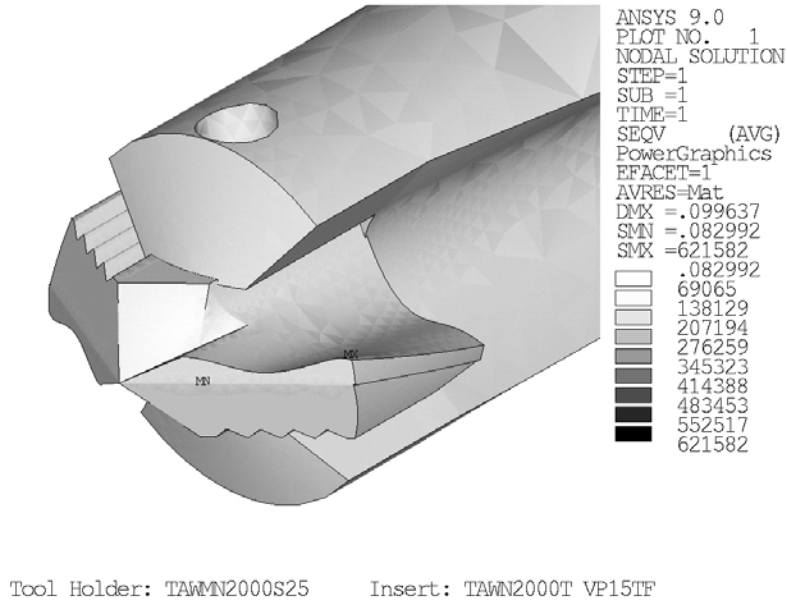
Tool Holder: TAWMN2000S25 Insert: TAWN2000T VP15TF

Şekil 6.11. TAWMN2000S25/TAWN2000T kesici takım grubu için elde edilen S_z dağılımı ($V = 100$ m/min ve $f = 0,15$ mm/rev)

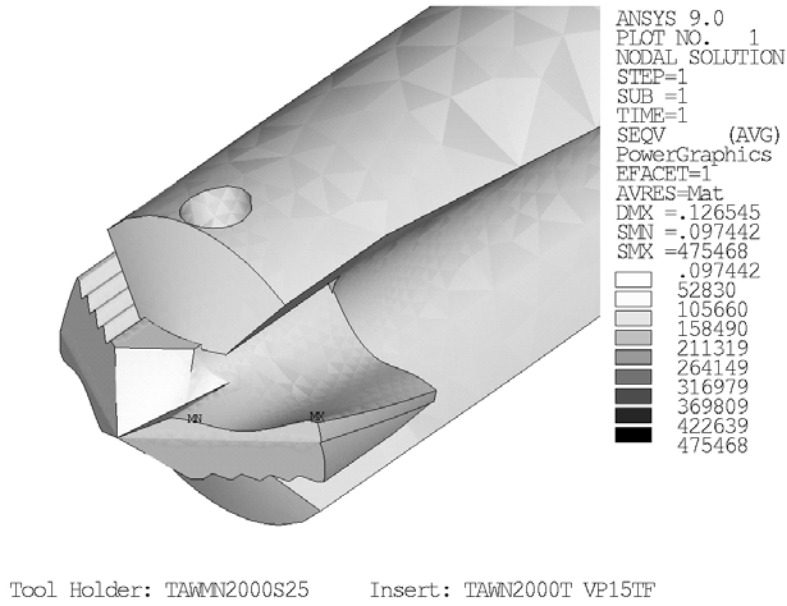


Tool Holder: TAWMN2000S25 Insert: TAWN2000T VP15TF

Şekil 6.12. TAWMN2000S25/TAWN2000T kesici takım grubu için elde edilen S_{yz} dağılımı ($V = 100$ m/min ve $f = 0,15$ mm/rev)



a) $f = 0,15 \text{ mm/rev}$



b) $f = 0,25 \text{ mm/rev}$

Şekil 6.13. TAWMN2000S25/TAWN2000T kesici takım grubu için elde edilen S_{EQV} dağılımı ($V = 100 \text{ m/min}$)

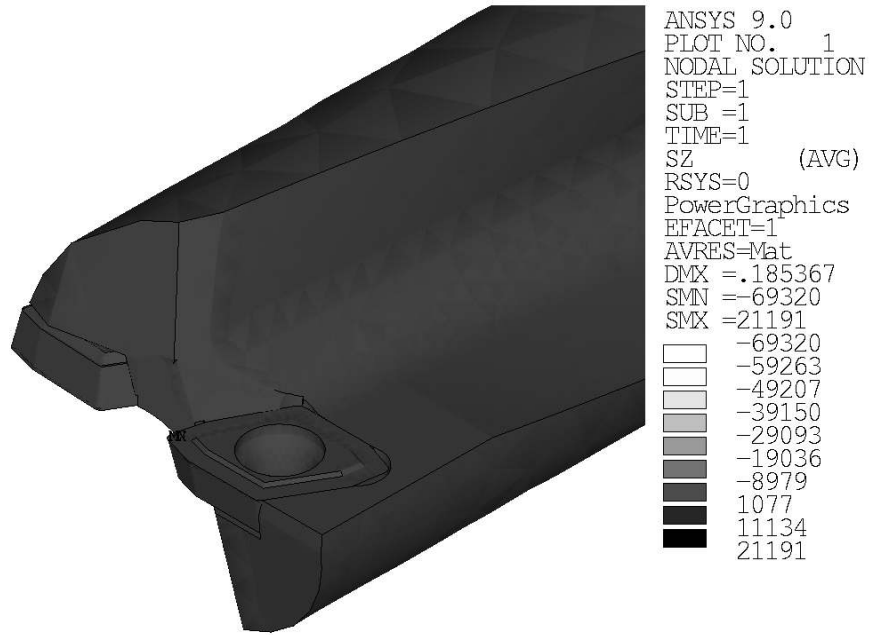
TAWMN2000S25/TAWN2000T kesici takım grubu için elde edilen S_Z , S_{YZ} ve S_{EQV} gerilme dağılımlarının (Şekil 6.11-Şekil 6.13) delme çapına karşılık gelen merkezden yarıçap kadar uzaklıktaki çok küçük bir bölgede (yaklaşık $0,1 \times 0,1 \text{ mm}^2$ boyutunda)

yoğunlaştığı görülmüştür. Gerilme dağılımlarının özellikle kesici ile iş parçasının temasta olduğu kesici kenarın hemen gerisindeki boşluk yüzeyi üzerinde yoğunlaştığı dikkati çekmektedir. Gerilmelerin delme çapına karşılık gelen merkezden yarıçap kadar uzaklığın yaklaşık 0,35 mm gerisinde, kesici kenar kesitindeki azalmayla birlikte noktasal temas biçimli bir gerilme (Hertz temas gerilmesi) davranışı sergilediği söylenebilir.

von Mises (S_{EQV}) gerilme dağılımlarından her iki ilerleme değeri için gerilme dağılımlarında çok büyük değişikliklerin olmadığı gözlenmiştir. S_{EQV} gerilme dağılımlarından TAWMN2000S25/TAWN2000T kesici takım grubu için kesici uçlarda yanak aşınması tipinde aşınmaların gerçekleşeceği söylenebilir.

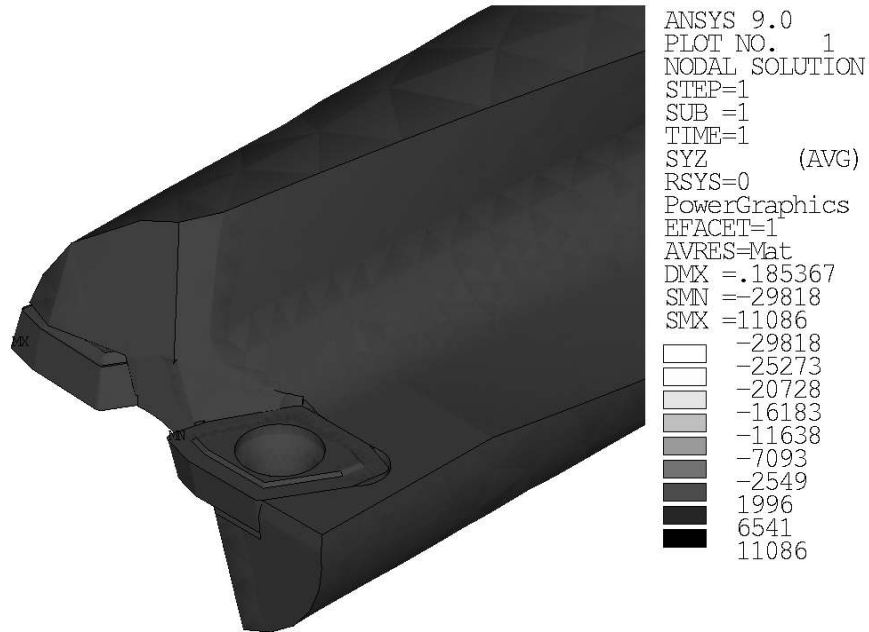
TAFM2000F25/GPMT070204 kesici takımlar

TAFM2000F25/GPMT070204 kesici takım grubu için *ANSYS* paket programından elde edilen gerilme dağılımları Şekil 6.14-Şekil 6.16'da verilmiştir. Gerilme dağılımlarının gösteriminde elde edilen en yüksek S_Z , S_{YZ} ve S_{EQV} gerilme değerleri referans alınmıştır. En yüksek gerilme değerleri U1 talaş kırıcı formunda gerçekleştiğinden, gerilme dağılımlarının gösteriminde U1 talaş kırıcı formu için elde edilen dağılımlar kullanılmıştır.



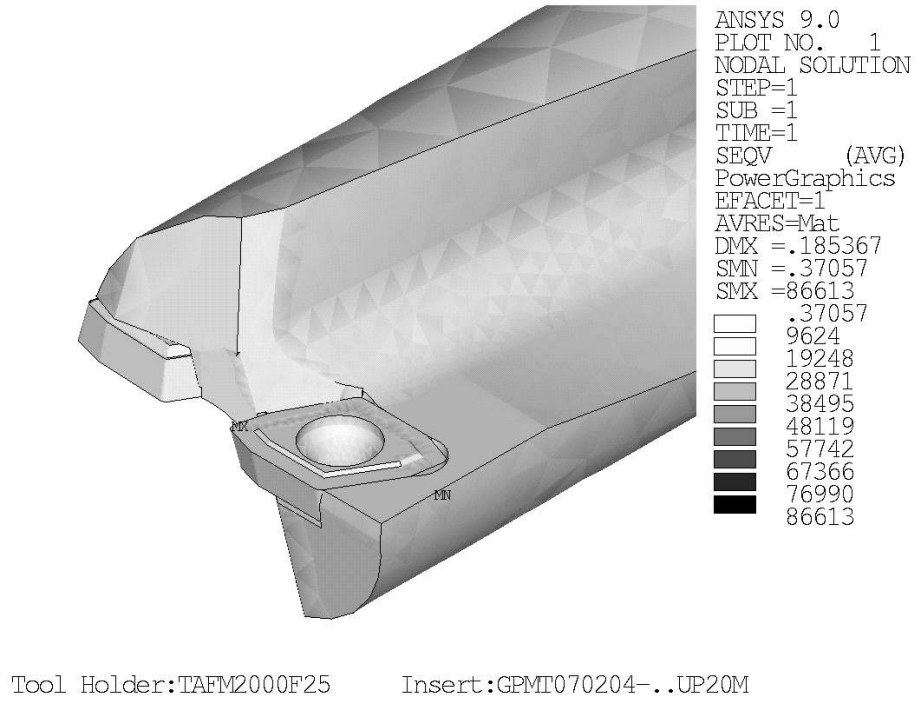
Tool Holder:TAFM2000F25 Insert:GPMT070204-..UP20M

Şekil 6.14. TAFM2000F25/GPMT070204-U1 kesici takım grubu için elde edilen S_z dağılımı ($V = 120$ m/min ve $f = 0,06$ mm/rev)

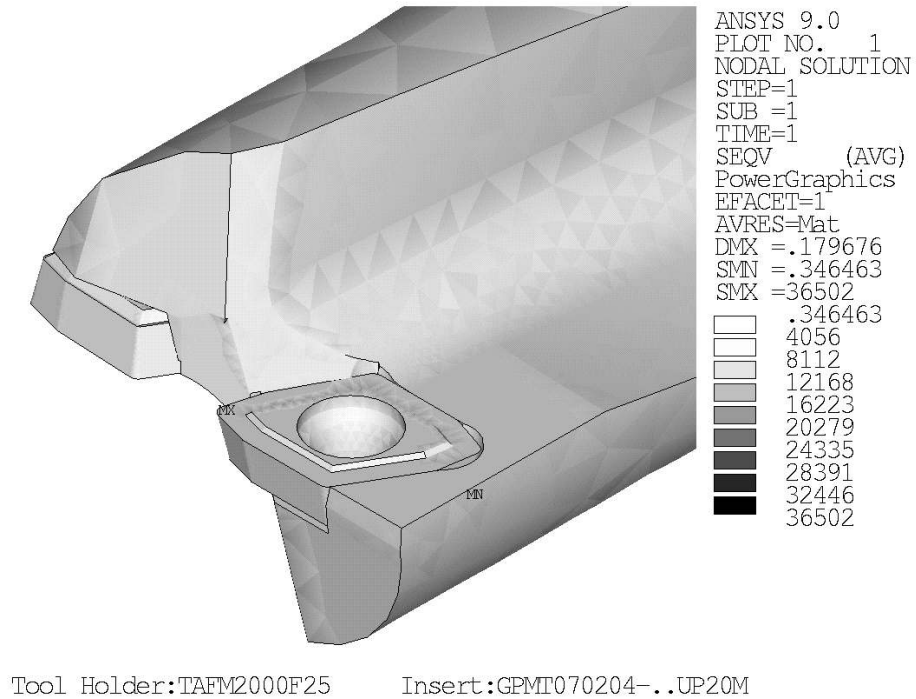


Tool Holder:TAFM2000F25 Insert:GPMT070204-..UP20M

Şekil 6.15. TAFM2000F25/GPMT070204-U1 kesici takım grubu için elde edilen S_{yz} dağılımı ($V = 120$ m/min ve $f = 0,06$ mm/rev)



a) $f = 0,06 \text{ mm/rev}$



b) $f = 0,1 \text{ mm/rev}$

Şekil 6.16. TAFM2000F25/GPMT070204-U1 kesici takım grubu için elde edilen S_{EQV} dağılımı ($V = 120 \text{ m/min}$)

TAFM2000F25/GPMT070204-U1 kesici takım grubu için elde edilen S_z , S_{yz} ve S_{EQV} gerilme dağılımlarından (Şekil 6.14-Şekil 6.16), gerilmelerin kesici uçla iş parçasının ilk temas ettiği noktada gerilmelerin yoğunlaştığı gözlenmektedir. Gerilmelerin çok küçük bir bölgede (yaklaşık $0,5 \times 0,2 \text{ mm}^2$ boyutunda) yoğunlaştığı görülmüştür. Özellikle kesici ile iş parçasının temasta olduğu kesici kenarın hemen gerisindeki boşluk yüzeyi üzerinde gerilmelerin yoğunlaştığı dikkati çekmektedir. İlk temas noktasının çok küçük olması sebebiyle noktasal temas biçimli bir gerilme (Hertz temas gerilmesi) davranışı sergilediği söylenebilir.

Talaş kırıcı formunun gerilmelerin dağılımları üzerinde önemli bir etkisini olmadığı gözlenmiştir.

von Mises (S_{EQV}) gerilme dağılımlarından her iki ilerleme değeri için gerilme dağılımlarında çok büyük değişikliklerin olmadığı görülmektedir. S_{EQV} gerilme dağılımlarından TAFM2000F25/GPMT070204 kesici takım grubu için kesici uçlarda yanak aşınması tipinde aşınmaların gerçekleşeceği söylenebilir.

6.3. Model Sonuçları

Bölüm 6.5, Eş. 6.1’de belirtilen r , s , t ve u üs değerleri ile ilgili gerilme bileşeni sabitleri (c); Eş. 6.1’in her bir kesici takım grubu için çözülmesiyle bulunmuştur. Buna göre; TAWMN.../TAWN... ve TAFM.../GPMT... kesici takım grupları için *ANSYS* gerilme bileşeni sonuçlarını kullanmak suretiyle, her bir kesici takım grubu için; *çekme/basma* S_x , S_y ve S_z normal gerilme bileşenleri; “+” ve “-” işaretli S_{xy} , S_{yz} ve S_{xz} kayma gerilmesi bileşenleri ve S_{EQV} von Mises gerilmelerinin her biri için ayrı ayrı hesaplamalar yapılmıştır.

Hesaplamalarda tüm gerilme bileşenleri için gerilmeler, “+” işaretli olarak kabul edilmiş ve dolayısıyla tüm c sabitleri de “+” işaretli gerçekleşmiştir. Ancak, *ANSYS*’te maksimum ve minimum gerilmelerin sırasıyla “+” ve “-” işareti ile gösterilmesi sebebiyle; maksimum gerilmelerin (yani normal gerilmeler için *çekme*

gerilmesi) c sabitleri yine “+” işaretli, minimum gerilmelerin (yani normal gerilmeler için *basma* gerilmesi) c sabitleri ise “-” işaretli olacak şekilde düzenleme yapılmıştır. Dolayısıyla ilgili gerilme bileşeninin maksimum veya minimum gerilme olması durumunda, c sabitinin işareti sağlamaktadır.

Çizelge 6.3 ve Çizelge 6.4’te sırasıyla TAWMN.../TAWN... ve TAFM.../GPMT... kesici takım grupları için *ANSYS* gerilme bileşeni sonuçlarını kullanmak suretiyle, her bir kesici takım grubu için hesaplamalar sonucunda geliştirilen gerilme bileşeni modelinde kullanılan r , s , t ve u üs değerleri ile c sabitleri gösterilmiştir.

Çizelge 6.3. TAWMN2000S25 takım tutucu / TAWN2000T VP15TF kesici uç için kullanılan model sabitleri

		c	r	s	t	u
Minimum Değerler	S_X	-0,003833	1,0071	-0,0023	0,0031	-1,0194
	S_Y	-0,009445	1,0049	-0,0022	0,0014	-1,0146
	S_Z	-0,017884	1,0008	-0,0004	0,0001	-1,0114
	S_{XY}	-0,003501	1,0081	-0,0031	0,0029	-1,0175
	S_{YZ}	-0,010515	0,9999	0,0001	0,0001	-1,0108
	S_{XZ}	-0,005983	1,0014	-0,0020	-0,0014	-1,0095
Maksimum Değerler	S_X	0,002738	1,0085	-0,0037	0,0026	-1,0151
	S_Y	0,009153	1,0079	-0,0043	0,0014	-1,0163
	S_Z	0,005153	1,0054	-0,0026	0,0014	-1,0145
	S_{XY}	0,006224	0,9954	-0,0013	-0,0055	-1,0037
	S_{YZ}	0,012588	0,9982	0,0009	-0,0004	-1,0094
	S_{XZ}	0,007756	1,0065	-0,0034	0,0013	-1,0148
	S_{EQV}	0,030291	1,0020	-0,0016	-0,0003	-1,0116

Çizelge 6.4. TAFM2000F25 takım tutucu/GPMT070204-... UP20M kesici uç için kullanılan model sabitleri

		c	r	s	t	u
Minimum Değerler	S_X	-0,0004092	0,9927	0,0015	0,0032	-1,0922
	S_Y	-0,0002340	1,0036	-0,0039	0,0010	-1,1149
	S_Z	-0,0014207	1,0029	-0,0022	0,0000	-1,1181
	S_{XY}	-0,0002353	1,0209	-0,0074	-0,0066	-1,1262
	S_{YZ}	-0,0006452	0,9992	0,0010	-0,0003	-1,1198
	S_{XZ}	-0,0001456	1,0018	-0,0044	0,0024	-1,1037
Maksimum Değerler	S_X	0,0001943	1,0072	-0,0056	0,0003	-1,1491
	S_Y	0,0004792	1,0132	-0,0114	0,0013	-1,1277
	S_Z	0,0004571	1,0035	-0,0035	0,0007	-1,1175
	S_{XY}	0,0001682	1,0166	-0,0083	-0,0034	-1,0090
	S_{YZ}	0,0005213	0,9981	0,0026	-0,0009	-0,8427
	S_{XZ}	0,0002627	1,0017	-0,0040	0,0024	-1,0934
	S_{EQV}	0,0017835	1,0046	-0,0033	-0,0001	-1,1204

Kurulan regresyon modelindeki gözlem değerlerinin hazırlanan modele uygunluğu için ise belirlilik katsayısı (R^2) kullanılmıştır. Çizelge 6.5 ve Çizelge 6.6’da sırasıyla TAWMN.../TAWN... ve TAFM.../GPMT... kesici takım grupları için analiz sonuçları ve deney sonuçlarının yakınsamasını gösteren R^2 değerleri verilmiştir. R^2 değerlerinin genelde yaklaşık ~0,999 civarında gerçekleştiği görülmüştür (Çizelge 6.5-Çizelge 6.6).

Çizelge 6.5. TAWMN2000S25/TAWN2000T VP15TF kesici takımları için R^2 değerleri

Maksimum Değerler		Minimum Değerler	
S_X	0,99975	S_X	0,99979
S_Y	0,9998	S_Y	0,99992
S_Z	0,99991	S_Z	1
S_{XY}	0,99963	S_{XY}	0,99976
S_{YZ}	0,99999	S_{YZ}	0,99999
S_{XZ}	0,99986	S_{XZ}	0,99996
S_{EQV}	0,99998		

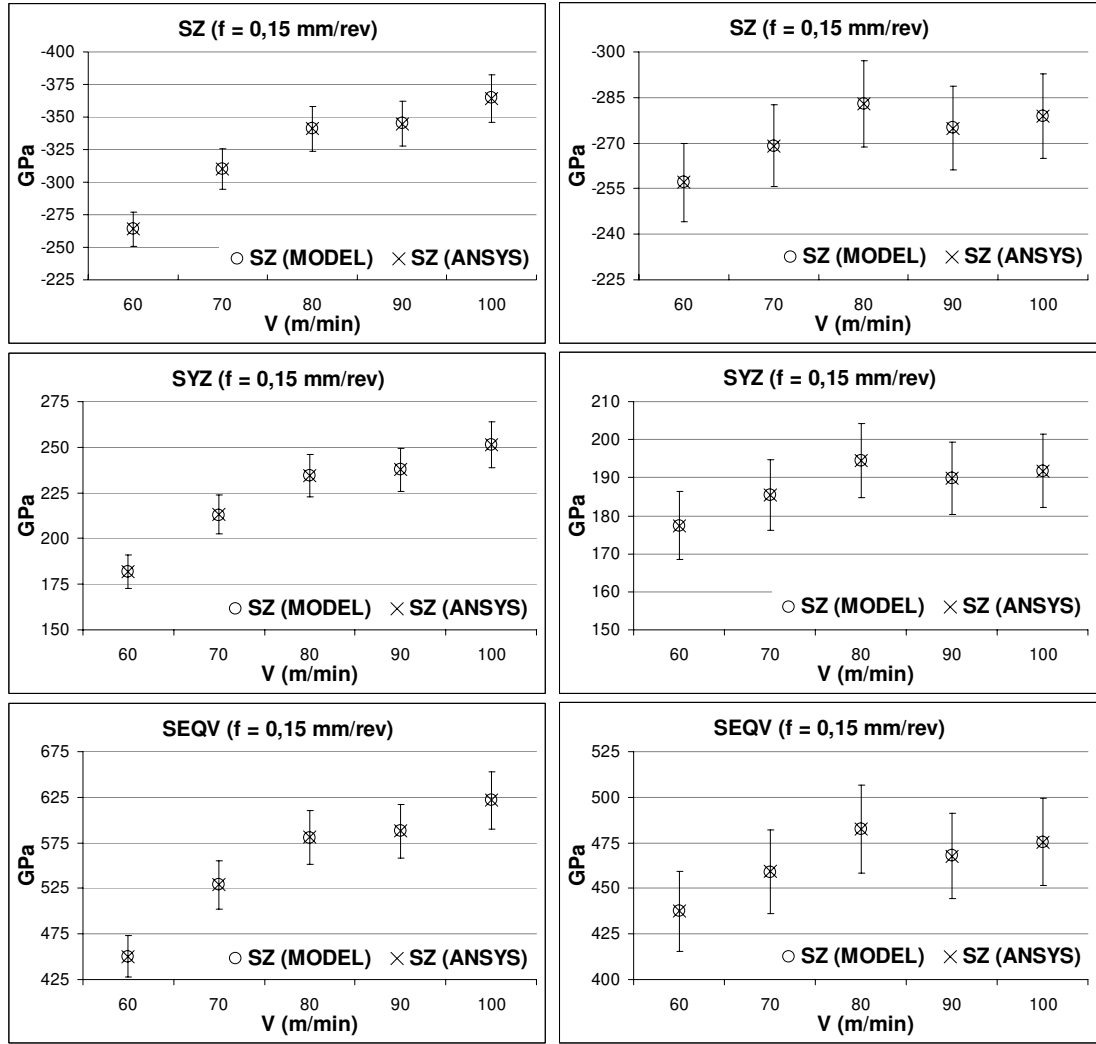
Çizelge 6.6. TAFM2000F25/GPMT070204-... UP20M kesici takımları için R^2 değerleri

Maksimum Değerler		Minimum Değerler	
S_X	0,99996	S_X	0,99996
S_Y	0,99983	S_Y	0,99998
S_Z	0,99998	S_Z	0,99999
S_{XY}	0,99824	S_{XY}	0,9998
S_{YZ}	0,99999	S_{YZ}	1
S_{XZ}	0,99995	S_{XZ}	0,99995
S_{EQV}	0,99999		

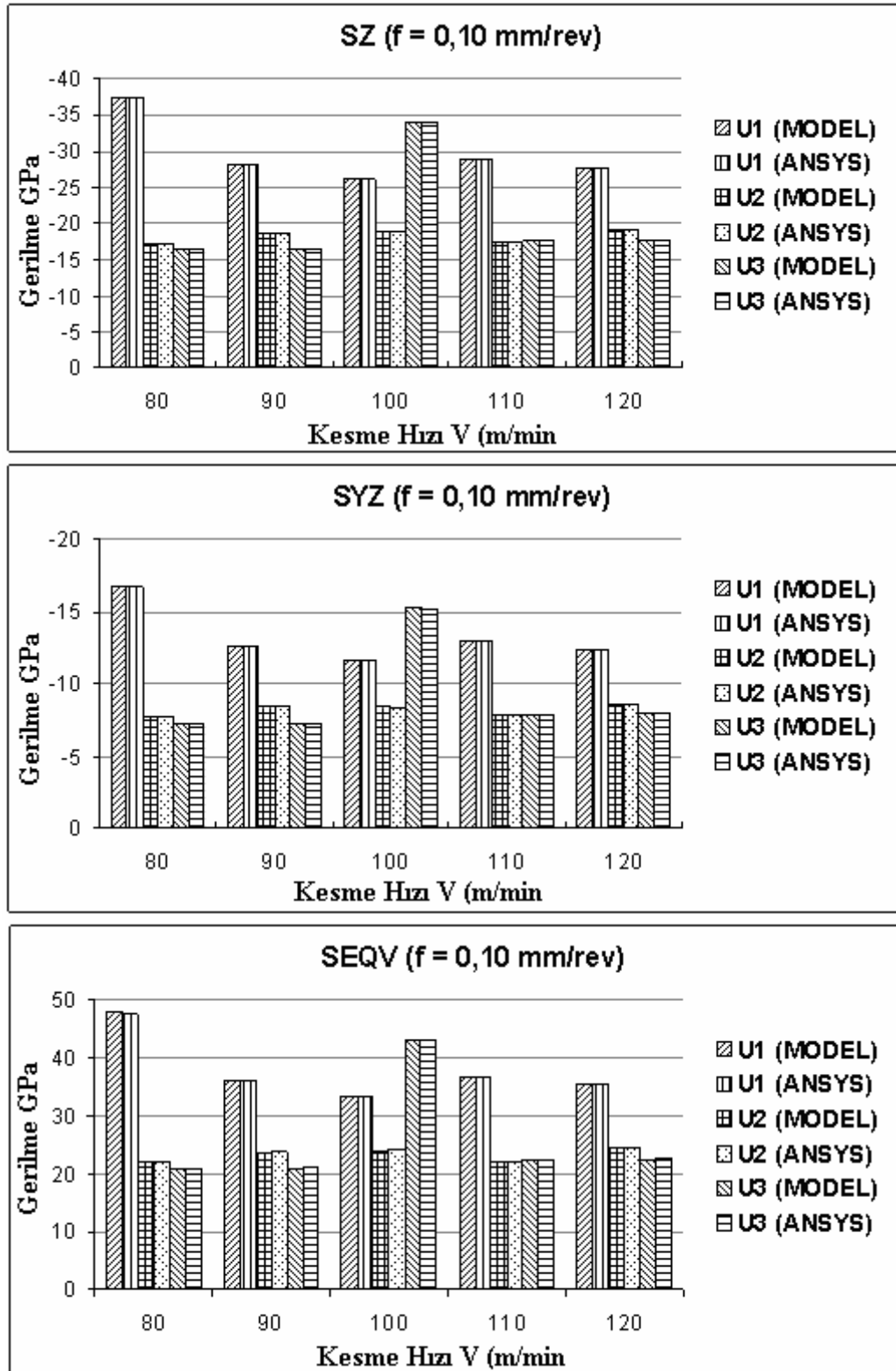
Şekil 6.17 ve Şekil 6.18’de sırasıyla TAWMN.../TAWN... ve TAFM.../GPMT... kesici takım grupları için geliştirilen model yardımıyla elde edilen gerilme bileşeni dağılımları ile *ANSYS* gerilme sonuçlarının karşılaştırılması verilmiştir. Kesici takımlar üzerinde gerçekleşen en yüksek gerilme bileşenleri için karşılaştırmalar yapılmıştır. Özellikle Şekil 6.17’de $\pm$ % 5’lik hata sınırları (*ANSYS* yardımıyla bulunan gerilme sonuçlarının $\pm$ % 5’i) gösterilmiştir. Şekil 6.18’de ise talaş kırıcı formunun referans alındığı karşılaştırmalar verilmiştir.

Geliştirilen gerilme bileşeni model parametrelerine (r , s , t ve u üs değerleri ile c sabiti) dayalı olarak, iş parçası–kesici takım çiftleri için yapılan hesaplamalar sonucunda; her bir kesici takım grubu için gerçekleşen hataların, $\pm$ % 5’lik hata sınırları içerisinde kaldığı, hatta bazı gerilme bileşenlerinde ise hataların $\pm$ % 3’ten daha az gerçekleştiği dikkati çekmektedir (Şekil 6.17-Şekil 6.18).

Geliştirilen modelin, bu takımlar için farklı kesme parametrelerinde son derece güvenli bir biçimde uygulanabileceği görülmektedir.



Şekil 6.17. TAWMN2000S25/TAWN2000T VP15TF kesici takımları için model sonuçları ile *ANSYS* gerilme sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 6.18. TAFM2000F25/GPMT070204-... UP20M kesici takımları için model sonuçları ile *ANSYS* gerilme sonuçlarının karşılaştırılması

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; TAFM2000F25 takım tutucu ile UP20M kalitesindeki U1, U2 ve U3 talaş kırıcılı GPMT070204 kesici uçlar ve TAWMN2000S25 takım tutucu ile TAWN2000T VP15TF kesici uçlar kullanılarak talaş kaldırma (delme) sırasında oluşan kesme kuvvetleri kesme deneyleri yardımıyla ölçülmüş ve belirlenen kesme kuvvetlerinin kesici takım üzerindeki etkileri, sonlu elemanlar metoduna dayalı olarak ANSYS yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. Kesme kuvvetleri etkisiyle kesici takımda oluşan gerilme bileşenleri ise ANSYS yazılımıyla elde edilen gerilme değerleri referans alınarak her bir gerilme bileşeni için uygulanabilir birer matematiksel model oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda elde edilen önemli sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

Tüm kesme hızları için kesme derinliği ve ilerleme değerindeki artışa paralel olarak artan kesme kuvvetleri sebebiyle tüm gerilme bileşenlerinde de yükselmelerin olduğu dikkati çekmektedir.

- Eksenel kuvvet (F_z) her iki kesici takım grubu (TAFM2000F25/GPMT070204 ve TAWMN2000S25/ TAWN2000T) için de diğer kuvvetlere oranla çok yüksek gerçekleşmiştir.
- Kesici takım üzerinde özellikle delme eksenine doğrultusunda çekme gerilmelerinden ziyade basma gerilmelerinin daha etkin olduğu görülmüştür.
- Kesme hızındaki artışla birlikte gerilme değerlerinde de artışların olduğu dikkat çekmiştir.
- Düşük ilerleme değerlerinde gerilmelerin yüksek ilerlemeye oranla daha büyük gerçekleşme eğiliminde olduğu söylenebilir.
- TAWMN2000S25/TAWN2000T kesici takım grubu için 80 m/min kesme hızına kadar gerilmelerde yükselmelerin olduğu, buna karşılık 80-90 m/min aralığında bu yükselmenin kısmen yavaşladığı (hatta birbirine çok yakın değerlerde gerçekleştiği), 90 m/min'den sonra ise tekrar yükselmeye başladığı görülmüştür.

- TAFM2000F25/GPMT070204 kesici takım grubu için 100 m/min kesme hızına kadar gerilmeler yükselme eğiliminde bir davranış sergilerken; 100 m/min'den sonra bu yükselmenin kısmen azaldığı görülmüştür. Özellikle düşük ilerleme değerinde gerilme çok daha yüksek gerçekleşmektedir.
- Talaş kırıcı formu açısından, GPMT070204-U1 talaş kırıcı formundaki gerilmeler diğer talaş kırıcı formlarına oranla daha büyüktür. Özellikle 100 m/min'den sonra talaş kırıcı formunun etkisi çok daha belirgindir.
- GPMT070204-U2 ve GPMT070204-U3 talaş kırıcı formlarında ise kısmen birbirine yakın gerilme değerleri elde edilmiştir.
- Gerilme dağılımları açısından; her iki kesici takım grubu için gerilmelerin çok küçük bir bölgede yoğunlaşması sebebiyle noktasal temas biçimli bir gerilme (Hertz temas gerilmesi) davranışı sergilediği söylenebilir.
- Gerilme dağılımları açısından; TAWMN2000S25/TAWN2000T kesici takım grubu için gerilme dağılımlarının delme çapına karşılık gelen merkezden yarıçap kadar uzaklıktaki çok küçük bir bölgede yoğunlaştığı görülmüştür.
- TAFM2000F25/GPMT070204-U1 kesici takım grubu için gerilmelerin kesici uçla iş parçasının ilk temas ettiği noktada gerilmelerin yoğunlaştığı gözlenmiştir.
- Talaş kırıcı formunun gerilmelerin dağılımları üzerinde önemli bir etkisini olmadığı gözlenmiştir.
- İlerleme değerindeki değişim açısından gerilme dağılımlarında çok büyük değişikliklerin olmadığı görülmüştür.
- Geliştirilen gerilme modeli sonuçlarının *ANSYS* gerilme sonuçlarının $\pm \% 5$ 'lik hata sınırları (*ANSYS* yardımıyla bulunan gerilme sonuçlarının $\pm \% 5$ 'i) içerisinde kaldığı (hatta bazı gerilme bileşenlerinde ise hataların $\pm \% 3$ 'ten daha az gerçekleştiği) dikkati çekmiştir.
- *ANSYS* yardımıyla elde edilen gerilme sonuçları ile geliştirilen modelle hesaplanan gerilme bileşenleri arasında çok yakın ilişkiler belirlenmiş ve geliştirilen modellerin bu takımlar için farklı kesme parametrelerinin kullanıldığı pratik uygulamalarda uygulanabileceği görülmüştür.

- Kesici uçtaki mekanik gerilmelerin incelendiği bu çalışma konusuyla ilgili olarak bundan sonra yapılacak çalışmalara ışık tutması bakımından aşağıdaki öneriler dikkate alınabilir:
- Delme işlemi dışında, benzer mantık kullanılmak suretiyle; parmak frezeleme ve yüzey (contour) frezeleme vb. işlemlerde kesici takımlarda oluşan gerilmeler ve aşınma davranışları incelenerek çalışma alanı daha geniş ve kapsamlı bir hale getirilebilir.
- Kesme kuvvetleri ve kesici takımlarda oluşan gerilmeler için geliştirilen modeller genişletilerek, değişik iş parçası–kesici takım çiftleri için farklı kesme şartlarında rahatlıkla kullanılabilecek şekilde bir bilgi bankası oluşturulabilir.
- Farklı delme çapları için deneysel veriler baz alınarak modelin uygulanabilirliği araştırılabilir.
- Farklı kesici takım tip ve sınıfları için model parametreleri belirlenebilir.
- Değişik talaş kırıcı formları için model kapsamı geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

1. Kurt, A., Talaş Kaldırma Sırasında Oluşan Kesme Kuvvetleri ve Mekanik Gerilmelerin Deneysel Olarak İncelenmesi ve Matematiksel Modellerinin Oluşturulması, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü** (2006)
2. Tekiner, Z., Grup teknolojisi tabanlı bilgisayar destekli işlem planlaması, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü** (1999)
3. Şeker, U., Takım tasarımı ders notları, Gazi Üniversitesi (1997)
4. Piispanen, V., Lastunmoudostumisen Theoria, **Teknillinen Aika Kauskelti**, 27 (1937)
5. Merchant M.E., Mechanics of the cutting process, **Journal of Applied Physics**, 267–318 (1945)
6. Kobayashi, S., Thomsen, E.G., Some observation of the shearing process in metal cutting, Transactions ASME Series B, **Journal of Engineering for Industry**, 81–251 (1959)
7. Palmer, W.B., Oxley, P.L.B., Mechanics of orthogonal machining, **Proc. Inst. Mech. Engrs.**, 173: 623 (1959)
8. Okushima, K., Hitomi, K., An Analysis of the mechanism of orthogonal cutting and its application to discontinuous chip formation, Transactions ASME Series B, **Journal of Engineering for Industry**, 5: 545 (1961)
9. Usta, M., Finite element analysis of orthogonal metal cutting operations, PhD Thesis, **METU** (1999)
10. Lee, E.H., Schaffer, B.W., The theory of plasticity applied to a problem of machining, **ASME Journal of Applied Mechanics**, 18, 405–413 (1951)
11. Shaw, M.C., Cook, N.C., Finnie, I., Shear angle relationship in metal cutting, **Trans. Amer. Soc. Mech. Engr.**, 75: 273 (1953)
12. Oxley, P.L.B., A strain hardening solution for the shear angle in orthogonal metal cutting, **International Journal of Mechanical Science**, 3: 68 (1951)
13. Colding, B.N., A yield criterion applied to the shear angle relationship, **Microtecnic**, 14: 47 (1960)
14. Sata, T., Yoshikawa, H., A new expression for the shear angle in metal cutting-see recent developments concerning cutting mechanics, by T. Sata in **International Research in Production Engineering**, New York, ASME (1963)

15. Hill, R., The mechanics of machining: a new approach, *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 3: 47 (1954)
16. Takeyama, H., Usui, E., A photoelastic analysis of machining stresses, Transactions ASME Series B, *Journal of Engineering for Industry*, 82: 303 (1960)
17. Zorev, N.N., Interrelationship between shear process occurring along tool face and shear plane in metal cutting, *International Research in Production Engineering*, New York, ASME (1963)
18. Wallace, P.W., Boothroyd, O., Tool forces and tool-chip friction orthogonal machining, *Journal of Mechanical Engineering Science*, 6, 74 (1964)
19. Bridgman, P.W., Flow phenomena in heavily stressed metals, *Journal of Applied Physics*, 8, 329 (1937)
20. Bridgman, P.W., On torsion combined with compression, *Journal of Applied Physics*, 14, 273 (1943)
21. Crossland, B., The effect of fluid pressure on the shear properties of metals, *Proc. Industrial Mechanical Engineers*, 168, 935 (1954)
22. Backer, W.R., Marhsall, E.R., Shaw, M.C., The size effect in metal cutting, *Transactions ASME*, 74, 61 (1952)
23. Shaw, M.C., Finnie, I., The shear stresses in metal cutting, *Transactions ASME*, 77, 115 (1955)
24. Armarego E.A.J., Brown, R.H., On size effect in metal cutting, *International Journal of Production Research*, 1, 75 (1962)
25. McKenzie, W.M., Failure mechanics in wood cutting, *Proceedings of 1st Tewksbury Symposium*, Faculty of Engineering, University of Melbourne, 430 (1956)
26. Cotrell A.H., Conference on the properties of metal at high rates of strain, London, *Inst. Mech. Engrs* (1957)
27. Ernst, H., Merchant, M.E., Chip formation, friction and finish, *Cincinnati Milling Machine Company*, Ohio (1941)
28. Black, J.T., Huang, J.M., Shear strain model in metal cutting, *ASME Manufacturing Science and Engineering*, 2–3, 283–302 (1995)
29. Wince, J.N., Modeing chip formation in orthogonal metal cutting using finite element analysis, Mlsc. Thesis, *Mississippi State University, Mississippi, USA* (2002)

30. Lee, D., The effect of cutting speed on chip formation under orthogonal machining, *Journal of Engineering for Industry*, Transactions ASME, 107, 55-63 (1985)
31. Strenkowski, J.S., Carroll, J.T., A finite element model of orthogonal cutting, *Journal Engineering for Industry*, 107, 349-354 (1985)
32. Strenkowski, J.S., Mitchum, G.L., An improved finite element model of orthogonal cutting, *Prod. North American Manufacturing Res. Conf., Bethlehem*, 506-508 (1987)
33. Komvopoulos, K., Erpenbeck, S.A., Finite element of ortogonal metal cutting, *Journal of Engineering for Industry*, 113, 253-267 (1991)
34. Ueda, K., Manabe, K., Chip formation in microcutting of an amorphous metal, *Annals of the CIRP*, 41, 129-132 (1992)
35. Shih, A., Yang, H.T.Y., Experimental and finite element predictions of residual stresses due to orthogonal metal cutting, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 36, 1487-1507 (1993)
36. Shih, A., Finite element simulation of orthogonal metal cutting, *Journal of Engineering for Industry*, 117, 84-93 (1995)
37. Strenkowski, J.S., Moon, K.J., Finite element prediction of chip geometry and tool/workpiece temperature, *Journal of Engineering for Industry*, 112, 313-318 (1990)
38. Ahmad, M.M., Draper, W.A., Derricut, R.T., An application of the finite element to the prediction cutting tool performance, *International Journal of Machine Tools and Manufacturing*, 29, 197-206 (1989)
39. Tyan, T., Yang, W.H., Analysis of orthogonal metal cutting process, *International Journal of Numerical Methods in Engineering*, 34, 365-389 (1992)
40. Muraka, P.D., Barrow, G., Hindua, S., Influence of the process variable on the temperature distribution in orthogonal machining using finite element method, *International Journal of Mechanical Science*, 27, 446-456 (1979)
41. Stevenson, M.G., Wrigt, P.K., Chow, J.G., Further development in applying the finite element method to the calculation of temperature distribution in machining and comparison with experiment, *Journal of Engineering for Industry*, 105, 149-154 (1983)
42. Mansour, W.M., Osman, M.O.M., Sankar, T.S., Mazzawi, A., Tempreature field and crater wear in metal cutting using a quasi finite element approach, *International Journal of Production and Researches*, 2 (1), 59-68 (1973)

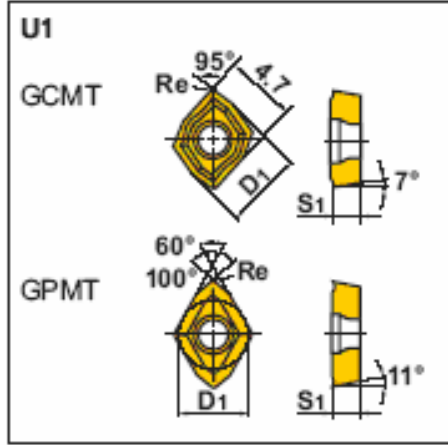
43. Toshimichi, M., Nabuhiro, S., Sheng, L., A rigid plastic finite element analysis of micro cutting, *Journal of the Japan Society of Precision Engineering*, 57, 2163-2168 (1991)
44. Maekawa, K., Shirakashi, T., Recent progress of computer aided simulation flow and tool damage in metal cutting, *Journal Engineering Manufacture*, 210, 233-242 (1996)
45. Iwata, K., Osakada, K., Terasaka, Y., Process modeling of orthogonal cutting by the rigid-plastic finite element method, *Journal Engineering Materials and Technology*, 106, 133-138 (1984)
46. Liu, C.R., Lin, Z.C., Effect of shear plane boundary condition on stress loading in orthogonal machining, *International Journal of Mechanical Science*, 27, 281-290 (1985)
47. Lin, Z.C., Lin, S.Y., A coupled finite element model of thermo-elastic plastic large deformation for orthogonal cutting, *International Journal Engineering Materials and Technology*, 114, 219-226 (1992)
48. Arola, D., Ramulu, M., Orthogonal cutting of fiber-reinforced composites: a finite element analysis, *International Journal of Mechanical Science*, 39, 597-613 (1997)
49. Carroll, J.T., Strenkowski, J.S., 1988, Finite element model of orthogonal cutting with application to single point diamond turning, *International Journal of Mechanical Science*, 30, 899-920.
50. Sadat, A.B., Reedy, M.Y., Yang, P.B., Plastic deformation analysis in machining of Inconel-718 nickel base superalloy using both experimental and numerical methods, *International Journal of Mechanical Science*, 33, 829-842 (1991)
51. Zang, B., Bagchi, A., Finite element simulation of chip formation and comparison with machining experiment, *Journal of Engineering for Industry*, 116, 289-297 (1994)
52. Lajczok, M.P., A study of some aspects of metal machining using finite element method, PhD. Thesis, *North Carolina State University* (1980)
53. Kalhori, V., Lundblad, M., Lindgren, L.E., Numerical and experimental analysis of orthogonal metal cutting, ASME, *International Mechanical Engineering Congress & Exposition*, 6 (2), 29-35 (1997)
54. Kalhori, V., Modelling and simulation of mechanical cutting, PhD Thesis, *Luleå University of Technology* (2001)

55. Wang, X., Sterling, R.L., Stability analysis of a borehole wall during horizontal directional drilling, *Tunnelling and Underground Space Technology*, Corrected Prof (2007)
56. Li, R., Shih, Spiral point temperature and stress in high-throughput drilling of titanium, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Article in press (2007)
57. Zitaune, R., Collombert, F., Numerical prediction of thrust force responsible of delamination during the drilling of the long-fibre composite structures, *Composites, Part A: Applied Science and Manufacturing*, A 38, 858-866 (2007)
58. Li, R., Riester, L., Watkins, T.R., Blau, P.J., Shih, A.J., Metallurgical analysis and nanoindentation characterization of Ti-6Al-4V work piece and chips in high-throughput drilling, *Materials Science and Engineering A*, Article in press (2007)
59. Tsao C.C., Hocheng, H., Effect of tool wear on delamination in drilling composite materials, *International Journal of Mechanical Sciences*, Article in press (2007)
60. Zeilmann, R.P., Weingaertner, W.L., Analysis of temperature during drilling of Ti6Al4V with minimal quantity of lubricant, *Journal of Material Processing Technology*, 179, 124-127 (2007)
61. Endo, H., Murahashi, T., Marui, E., Accuracy estimation of drilled holes with small diameter and influence of drill parameter on the machining accuracy when drilling in mild steel sheet, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 47, 175-181 (2007)
62. Sandvik Coromant kesici takım el klavuzu
63. Ceretti, E., Fallböhmer, P., Wu, W.T., Altan, T., Application of 2D FEM to chip formation in orthogonal cutting, *Journal of Materials Processing Technology*, 59, 169 - 180 (1996)
64. Ceretti, E., Lucchi, M., Altan, T., FEM simulation of orthogonal cutting: serrated chip formation, *Journal of Materials Processing Technology*, 95, 17 - 26. (1999)
65. Lin Z.C. And Lo, S.P., "A study of deformation of the machined workpiece and tool under different low cutting velocities with an elastic tool", *Inter. Journal of Mech. Science*, 40 (7), 663-681 (1998)

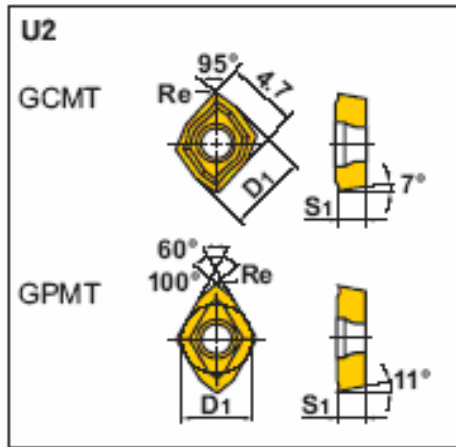
66. Shatla, M., Kerk, C. And Altan, T., “Process modeling in machining. Part II: validation and applications of the determined flow stress data”, *Inter. Journal of Machine Tools and Manuf.*, 41, 1659–1680 (2001)
67. Kistler, 3-Component Dynamometer Type 9257B, *Operating Instructions*, (1997)
68. Wikgren, T., Analysis of contact between insert and tip seat, Msc. Thesis, *Luleå University of Technolgy Institutionen för Maskinteknik Avdelningen för Datorstödd maskinkonstruktion*, 13–15 (2001)
69. Tjernström, E., Clamping forces with RC-clamping mechanism, *AB Sandvik Coromant*, Sandviken, 105 (1996)
70. Gallo, A., 2003, Econometrics, Lecture Notes, *University of North Florida*, 1–15
71. Wolfram, S., Mathematica Book 5th ed., *Wolfram Media*, 109 (2003)
72. Weisberg, S., Applied Linear Regression 3rd ed., *John Wiley & Sons*, New Jersey, 47–68 (2005)
73. Hill, T. And Lewicki, P., Statistics: Methods and Applications, *StatSoft*, Tulsa, OK, 341–349 (2006)
74. Turanlı, M., Güriş, S., Temel İstatistik, *DER Yayınları*, İstanbul, 273 (2000)
75. Şahinler, S., En küçük kareler yöntemi ile doğrusal regresyon modeli oluşturmanın temel prensipleri, *Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 5 (1–2): 57–73 (2000)

EKLER

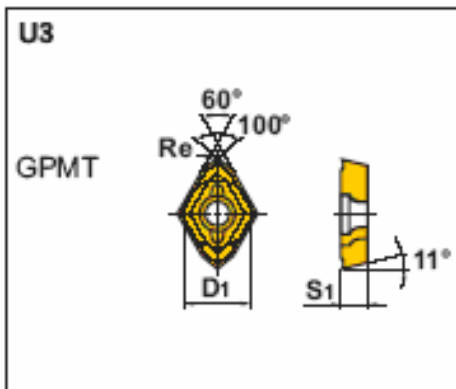
EK -1 Kullanılan Uç ve talaş kırıcı profili



Şekil 1.1.U1 tipi talaş kırıcı formu



Şekil 1.2.U2 tipi talaş kırıcı formu



Şekil 1.3.U3 tipi talaş kırıcı formu

EK – 2 Analizlerde kullanılan kütük dosyalarına ait bir örnek

```

/COM
*****
****
/COM TAWMN2000S25 / TAWN2000T VP15TF kesici takımları
/COM (iş parçası: AISI 1050) için log dosyası
/COM
*****
****
RESUME, 'TAWN', 'db' ! şablon dosyası çağrılır
/TITLE, Dosya Adı ! deney bilgileri girilir (örneğin deney numarası)
/FILNAME, Dosya Adı, 0 ! kaydedilecek dosya adı girilir (örneğin deney
numarası)
/COM --- yükleme girdileri için parametreler
*SET, FFX, ... ! her bir düğüme gelen x-
*SET, FFY, ... ! her bir düğüme gelen y-yönündeki kuvveti değeri
*SET, FFZ, ... ! her bir düğüme gelen z-yönündeki kuvveti değeri
/COM --- talaş-takım temas alanının seçilmesi ---
ASEL, S, , , 1
NSLA, S, 1
NPLOT
FLST, 2, 2264, 1, ORDE, 14
FITEM, 2, 56599
..... ! talaş-takım temas alan U3 tipi talaş kırıcı formu
belirlenmesi
FITEM, 2, -61844
/COM --- ilerleme kuvvetinin uygulanması ---
F, P51X, FX, FFX ! x-ekseni doğrultusundaki yük değeri
FLST, 2, 1153, 1, ORDE, 13
FITEM, 2, 56599

```

EK – 2 (devam) Analizlerde kullanılan kütük dosyalarına ait bir örnek

```

..... ! yük uygulanacak düğümlerin belirlenmesi
FITEM,2,-69163
.....
/COM --- Çözüm prosedürünün uygulanması ---
ANTYPE,0
SOLVE
FINISH
/COM --- Çözüm sonrası işleme (post-processing) ---
AVPRIN,0, ,
PLNSOL,S,EQV,0,1 ! von Mises gerilme dağılımının gösterilmesi
SAVE

```


ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KORUCU, Salih
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 1959, Niksar
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 202 86 81
 Web : <http://www.websitem.gazi.edu.tr/skorucu/>
 e-mail : skorucu@gazi.edu.tr
 Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Eğitimi Anabilim Dalı	1993
Lisans	Yüksek Teknik Öğretmen Okulu Tesviye Bölümü	1980

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
1991 – (.....)	Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi Bölümü Talaşlı Üretim ABD	Öğretim Görevlisi
1988 – 1991	MEB Çıraklık ve Yaygın Eğitim Genel Müdürlüğü, Yaygın Eğitim Projesi	Teknik Öğretmen
1980 – 1987	MEB Merzifon E.M:L. Merzifon / AMASYA	Teknik Öğretmen

Yayımları

Hobiler Futbol