

**T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SONLU ELEMANLAR METODU KULLANILARAK
KESME KUVVETLERİ, GERİLMELERİ VE
SICAKLIK DEĞİŞİMLERİNİN TAHMİNİ İÇİN
METAL KESME İŞLEMİNİN MODELLENMESİ VE
SİMÜLASYONU**

**Eyup BAĞCI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
TASARIM VE İMALAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**GEBZE
2004**

**T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SONLU ELEMENLAR METODU KULLANILARAK
KESME KUVVETLERİ, GERİLMELERİ VE
SICAKLIK DEĞİŞİMLERİNİN TAHMİNİ İÇİN
METAL KESME İŞLEMİNİN MODELLENMESİ VE
SİMÜLASYONU**

**Eyup BAĞCI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
TASARIM VE İMALAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**TEZ DANIŞMANI
Yrd. Doç. Dr. Babür ÖZÇELİK**

**GEBZE
2004**

ÖZET

Talaş kaldırma işleminin dayandığı temel kavram optimum kesme şartlarının belirlenmesidir. Talaş kaldırma işlemlerinde (özellikle de bu işlemler farklı kesme şartlarını, malzemelerini ve kesici takımları içeriyorsa) karşılaşılan problemleri doğrudan deneysel yöntemle çözmeye çalışmak pahalı ve uzun zaman almaktadır. Bunun yerine işlemin sonlu elemanlar modelinin kurulması ve simüle edilmesi daha etkili bir yoldur.

Bu çalışma, 3 ana konu üzerine odaklanmıştır. İlk olarak, metal kesme işleminin mekaniği ve sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmesi ve analizinde kullanılan yazılımlar, yazılımların çalışma algoritmaları ve sonlu elemanlar yönteminin modellemedeki yetersizlikleri anlatılmıştır. Ayrıca bu bölümde yeni bir kavram olan SPH (Smooth particles Hydrodynamics) metodunun yani meshless (ağsız) sonlu elemanlar metodunun kesme işleminin analiz ve simülasyonunda kullanılmasına örnekler getirilmiş, dik ve eğik kesme işlemlerinin simülasyonu yapılmıştır. İkinci olarak, YSMT(Yüksek sertlikteki metallerin tormalanması) işlem parametrelerinin ve kesici takıma ait geometrik değişkenlerin iş parçasındaki kalıntı gerilmeler üzerindeki etkisi araştırılmıştır. YSMT işlemi hassas çelik ürünlerin üretilmesinde taşlama prosesinin yerini almaya başlamıştır. Tezin bu bölümünde talaş açısının ve kesme parametrelerinin kalıntı gerilmeler üzerindeki etkisi tanımlanmaya çalışılmıştır. AISI 52100 rulman çeliği boyuna tormalanırken kesme derinliği sabit tutularak, kesme hızı, ilerleme ve talaş açısının kalıntı gerilme karakteristiği sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak araştırılmıştır. Tez de son olarak matkapla kuru delme işleminin gerçekleştirilmesi esnasında ortaya çıkan sıcaklık değerleri deneysel ve nümerik olarak araştırılmıştır. Bu bölümde devir sayısının, ilerleme hızının, delme derinliğinin, sürekli ve kademeli delmenin ve delme işleminin ardışık olarak gerçekleştirilmesinin sıcaklık değişimi üzerindeki etkileri deneysel ve nümerik olarak araştırılmıştır. Delme işlemi esnasında oluşan sıcaklık ölçümü için deneysel yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir. Deney şartları Taguchi metod yardımıyla belirlenmiştir. Matkabın uç noktasındaki sıcaklık değeri, langrangian temelli açık (explicit) sonlu elemanlar analiz yazılımı olan ThirdWave AdvantEdge™ kullanılarak nümerik olarak hesaplanmıştır. Sonlu elemanlar analiz sonuçları ile deneysel sonuçlar karşılaştırılmış ve birbirlerine çok yakın sonuçlar elde edilmiştir.

SUMMARY

A fundamental concept of the metal cutting process is essential to find optimum cutting conditions. Metal cutting process constitutes a complex process involving a variety of physical phenomena, such as large plastic deformation, frictional contact, thermo-mechanical coupling and chip and burr mechanisms. The direct experimental approach to study machining processes is expensive and time consuming, especially when a wide range of parameters is involved: machining conditions, material models, tool types, etc. A more effective way is to model and simulate process. This thesis is focused on three main subjects. Firstly, metal cutting studies in the literature using finite element method are categorized from several aspects. Categorization is based on solution procedure, constitutive material and fracture models and contact algorithms in finite element methods in simulating plastic deformation, thermal softening due to friction between cutter and workpiece, chip separation during metal cutting processes. Additionally, the SPH, which is a new concept, finite element method as called meshless method was used and applied to model the 3-D orthogonal metal cutting of H13 steel. Secondly, effects of hard turning parameters. Hard turning is replacing grinding as a method in the production of precision steel products. There are several reports from research works describing the effects on the residual stress and the improvement of the fatigue life of hard turned products. This part of thesis describes how rake angle and cutting parameters affect the residual stresses in hard turning. Longitudinal turning with constant depth of cut in AISI 52100 was used. Cutting feed and cutting speed were investigated, but the main focus was on rake angle influence. Finally, a new experimental approach was developed to measure drill temperature in drilling process. The effects of sequential, continuous and step by step dry drilling operations and drilling parameters on the drill bit temperature experimentally and numerically have been investigated. The drill bit temperature was predicted using a numerical computation with Third Wave AdvantEdge™ FEM software based on Lagrangian explicit method. The results obtained from experimental study and finite element analyses (FEA) were compared. Good agreement between the measured and calculated drill bit temperature results was found in dry drilling.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince engin bilgi ve deneyimleri ile beni yönlendiren ve destekleyen Sayın Yrd. Doç.Dr. Babür ÖZÇELİK'e teşekkürlerimi bildiririm.

Mesleki bilgi ve becerilerimi geliştirme konusunda yapmış olduğu yardımlardan dolayı Sayın Yrd. Doç.Dr. Hasan KURTARAN'a teşekkürlerimi bildiririm.

Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Tasarım ve İmalat Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Doç. Dr. Fehmi ERZİNCANLI'ya beni yüksek lisans çalışmalarımda araştırma görevlisi olarak desteklediği için teşekkür ederim.

Tasarım ve İmalat Mühendisliği Bölümü'nde görevli tüm çalışma arkadaşlarıma, özellikle de İsmail BİCAN, Ufuk YAVUZ ve Mehmet ERMURAT'a ve bölüm teknisyeni Selahattin UYSAL'a gösterdikleri dostluk için minnettarım.

Bu çalışmalar esnasında maddi manevi desteklerini asla eksik etmeyen fedakar aileme, anneme ve babama ve özellikle de biricik eşime sevgilerimle...

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

SAYFA

ÖZET	IV
SUMMARY	V
TEŞEKKÜR	VI
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	VII
SİMGELER VE KISALTMALAR	XI
TABLolar DİZİNİ	XVI
1 GİRİŞ	1
2 METAL KESME İŞLEMİNİN MEKANİĞİ VE MODELLENMESİ	3
2.1 Metal Kesme İşleminin Mekanikği	3
2.1.1 Dik (Orthogonal) Kesme	3
2.1.1.1 Dik Kesmede Kesiciye Etkiyen Kuvvetler	5
2.1.2 Kesici- Talaş Arayüzeyinde Meydana Gelen Sürtünmenin Karakteristikği	9
2.1.3 Talaş Yüzeyine Etkiyen Gerilmeler	9
2.1.4 Talaş Oluşum Mekanizmaları	11
2.2 Eğik Kesme Modelleri	14
3 YÜKSEK SERTLİKTEKİ METALLERİN TORNALANMASI (YSMT-HARD TURNING)	17
3.1 YSMT	17
3.2 YSMT İşleminin Karakteristikği	19
3.2.1 Tezgahın Ve Bağlama Aparatının Rijitliğı	19
3.2.2 YSMT’de Talaş Oluşum Mekanizmaları	20
4 METAL KESME İŞLEMİNİN ANALİZİNDE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİNİN KULLANILMASI	22

4.1 Literatür İncelemesi	24
4.1.1 Proses Temelli Sınıflandırma	28
4.1.1.1 Metal Kesme Analizinde Rol Oynayan Geometrik Değişkenler Ve Kesme İşlemine Ait Girdiler	29
4.1.2 Nümerik Prosedür ve Modelleme Algoritması Temelli Sınıflandırma	30
4.1.2.1 Kullanılan Mühendislik Yazılımları	30
4.1.2.2 Malzeme Kopma Kriterleri(Chip Separation) [Bagci, 2003]	31
4.1.2.3 Sonlu Elemanlar Ağı Oluşturma Algoritmaları	31
4.1.2.3.1 Langrangian Ağ Yapısı	31
4.1.2.3.2 Eularian Ağ Yapısı	32
4.1.2.3.3 Arbitrary Langrangian-Eularian Ağ Yapısı	33
4.1.2.4 Kullanılan Malzeme Modelleri [Bagci, 2003]	33
4.2 Sonlu Elemanlar Yöntemi Kullanılarak Yapılan Metal Kesmenin Analizinin Basit Bir Akış Algoritması	34
4.3 Metal Kesme İşleminin Analizinde Karşılaşılan Temel Problemler (Flow Stress Models For Workpiece Materials)	36
4.3.1 Analizde Kullanılacak Olan Malzeme Modellerine Ait Sabitlerin Bulunması	40
4.4 Kesici İle Talaş Arasında Oluşan Sürtünmenin Modellenmesinde Karşılaşılan Güçlükler ve Kullanılan Sürtünme Modelleri	37
4.5 Yeni Bir Konsept Olan Ağsız Sonlu Elemanlar (Meshless) Metodunun (SPH) Metal Kesme İşlemlerinin Analizi İçin Kullanılması	38
4.5.1 SPH (Smoothed Particles Hydrodynamics) Metodunun Temel İlkeleri	39
4.5.2 LS-DYNA ile SPH Metodunun Uygulanması	42
4.5.3 Metal Kesme İşleminin SPH Yöntemi İle Simülasyonu	44
5 YSMT İŞLEMİNDE OLUŞAN KALINTI (RESIDUAL STRESS) GERİLMELER VE GERİLME KARAKTERİSTİĞİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER	47
5.1 Kalıntı (Residual Stress) Gerilmeler	47
5.2 Ölçüm Yöntemleri	48
5.2.1 Sehim (Deflection) Metodu	48
5.2.2 Delik Delme (Hole Drilling) Metodu	49

5.2.3 X-ray Metodu	49
5.3 Metal Kesmede Kalıntı Gerilmeler	50
5.3.1 Taşlama Prosesinde Kalıntı Gerilmeler	50
5.3.2 Tornalama İşleminde Kalıntı Gerilmeler	51
5.3.3 Frezeleme İşleminde Kalıntı Gerilmeler	52
5.4 Sonlu Elemanlar İle Kesme İşleminde Kalıntı Gerilmelerin Modellenmesi (Literatür İncelemesi)	56
5.5 Kesme Parametrelerinin Ve Kesici Takım Geometrisinin Kalıntı Gerilmeler Üzerindeki Etkisi	59
5.5.1 Analiz Sonuçları Ve Kalıntı Gerilme Grafikleri	62
5.5.1.1 Yuvarlatılmış Uç Geometrisine Ait Grafikler	62
5.5.1.2 Pah Kırılmış Uç Geometrisine Ait Grafikler	66
5.5.1.3 Pah Kırılmış ve Yuvarlatılmış Uç Geometrisine Ait Grafikler	70
5.6 Sonuçlar	74
6 KURU DELME İŞLEMİNDE MATKAP SICAKLIĞININ DENEYSEL VE NÜMERİK OLARAK ARAŞTIRILMASI	75
6.1 Deneysel Malzemeler Ve Kesme Şartları	77
6.1.1 Kesme Şartları	77
6.1.1.1 İlerleme Hızı Ve Devir Sayısının Etkisini Belirleyebilmek İçin Yapılan Deneyler	77
6.1.1.2 Ardışık Delme İşleminin Sıcaklık Üzerindeki Etkisini Belirlemek İçin Yapılan Deneyler	79
6.1.1.3 Sürekli , Adım Adım (Kademeli) Delme İşleminin Ve Delme Derinliğinin Sıcaklık Üzerindeki Etkilerini Belirlemek İçin Yapılan Deneyler	80
6.2 Kesici takımlar ve İş malzemelerinin Özellikleri	82
6.3 Sıcaklık Ve Kuvvet Ölçüm Deneyleri	84
6.4 Sonuçlar	86
6.4.1 İlerleme Ve Devir Sayısının Etkisini Belirlemek İçin Yapılan Deneylerden Elde Edilen Sonuçlar Ve Tartışmalar	86

6.4.2 Ardışık Delme İşleminin Sıcaklık Üzerindeki Etkisini Belirlemek İçin Yapılan Deneyler	91
6.4.3 Sürekli , Adım Adım (Kademeli) Delme İşleminin Ve Delme Derinliğinin Sıcaklık Üzerindeki Etkilerini Belirlemek için Yapılan Deneylerden Elde Sonuçlar	94
6.4.3.1 Sürekli Kuru Delme Deneyleri (Continuous dry drilling tests)	95
6.4.3.2 Kademeli kuru delme deneyleri	99
6.4.4 İlerleme Ve Devir Sayısının Etkisinin Belirlemek İçin Yapılan Sonlu Elemanlar Analizlerinden Elde Edilen Sonuçlar Ve Tartışmalar	102
7 SONUÇLAR/ÖNERİLER	108
7.1 Sonuçlar	108
7.2 Öneriler	109
ÖZGEÇMİŞ	123
EK 1	124

SİMGELER VE KISALTMALAR

$\Theta(T)$: Termal Yumuşama Faktörü

σ_0 : Başlangıçtaki Akma Gerilmesi

$\dot{\epsilon}^p$: Birikmiş Plastik Gerinim

$\dot{\epsilon}_0^p$: Referans Plastik Gerinim Hızı

m_1 : Düşük Gerinim Hızı Algılama Üstel Sayısı

m_2 : Yüksek Gerinim Hızı Algılama Üstel Sayısı

g : Akış Gerilmesi

ϵ_t : Başlangıçtaki Gerinim Hızı

$\bar{\sigma}$: Efektif Eşdeğer Gerilme

T : Aktif Sıcaklık

T_0 : Referans Sıcaklığı

T_{cut} : Kesme Sıcaklığı

n : Sertleşme Üstel Sayısı

SEY : Sonlu Elemanlar Yöntemi

YSMT: Yüksek sertlikteki Metallerin Tornalanması

N : Devir sayısı (dev/dak)

F : İlerleme hızı(mm/dev)

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2-1. Dik kesme işleminin mekaniği.	3
2-2. Deformasyon bölgeleri.	4
2-3. Metal kesmede sıcaklık dağılımı.	4
2-4. Dik kesmede kuvvetler.	6
2-5. Gerinim ve gerinim hız diyagramları.	8
2-6. Talaş yüzetinde oluşan gerilmeler için farklı teoriler.	10
2-7. Kesiciye etkiyen gerilmeler [Bağcı, 2003].	11
2-8. Talaş oluşum mekanizmaları.	11
2-9. Talaş oluşumu esnasında ortaya çatlak ilerlemesi.	12
2-10. Malzemeye göre talaş oluşum mekanizması.	12
2-11. Sürekli talaş oluşum mekanizması.	13
2-12. Yapışık kenarlı talaş oluşum mekanizması.	14
2-13. Testere dişi şeklinde talaş oluşumu.	14
2-14. Meyilli kesme mekaniği.	15
2-15. Talaş akma açısının etkisi.	15
3-1. Geleneksel tornalama ve YSMT işlemi kıyaslanması .	17
3-2. Testere tipi Talaş oluşum mekanizması.	20
3-3. Yüksek talaş kalınlıklarında talaş oluşum formu.	21
3-4. Küçük talaş kalınlıklarında talaş formunun şekli.	21
4-1. Langrangian ağ yapısı ve deformasyon şekli [Belytschko, 2001].	31
4-2. Başlangıçtaki ve analiz esnasındaki ağ yapıları ve yeniden ağ örme algoritması	32
4-3. Eularian ağ yapısı ve deformasyon şekli [Belytschko, 2001]	32
4-4. ALE ağ yapısı ve deformasyon şekli [Gadala, 1999]	33
4-5. Dik metal kesme işleminin şematik gösterimi.	34
4-6. Split Hopkinson Pressure Bar test şeması.	36
4-7. Düşük (Rastegaev tipi) ve yüksek gerinim hızlarında yapılan basınç testleri	37
4-9. Silindir geometrisi üzerine iki farklı şekilde dağıtılmış SPH elemanlar	42
4-11. Metal kesme işleminin ağsız (meshless) metod kullanılarak simülasyonu.	44

4-12. Kesmede oluşan maksimum kayma gerilmesi(b), efektif gerilme(c) ve plastik gerinim(a).	45
4-13. SPH metodu kullanılarak 3 boyutlu dik kesme işleminin modellenmesi.	46
5-1. Bilya ile dövme (Shootpening) sonrası kalıntı gerilmeler.	47
5-2. Sehim (Deflection) metodu ile kalıntı gerilmenin bulunması.	49
5-3. Delik delme yöntemi ile kalıntı gerilmelerin bulunması.	49
5-4. X-ray ile ölçüm metodu.	50
5-5. Tornalama sonrasında oluşam kalıntı gerilme karakteristiği.	51
5-6.Yüzey frezelemede kalıntı gerilmeler.	52
5-7 .Ters yönlü frezeleme işleminde kalıntı gerilme oluşumu.	53
5-8. Aynı yönlü frezeleme (down milling) oluşan Kalıntı gerilme karakteristiği.	53
5-9 Pah ve yuvarlatma(Chamfered-Honed) yapılmış uç geometrisi	60
5-10. Pah (Chamfered) kırılmış uç geometrisi	60
5-12. 100 m/dak ve 0.05 mm/dev için kalıntı gerilme grafiği (Yuvarlatılmış uç)	62
5-13. 100 m/dak ve 0.10 mm/dev için kalıntı gerilme grafiği (Yuvarlatılmış uç)	62
5-14. 100 m/dak ve 0.15 mm/dev için kalıntı gerilme grafiği (Yuvarlatılmış uç)	63
5-15. 50 m/dak ve 0.05 mm/dev için kalıntı gerilme grafiği (Yuvarlatılmış uç)	63
5-16.150 m/dak ve 0.10 mm/dev için kalıntı gerilme grafiği (Yuvarlatılmış uç)	64
5-17.150 m/dak ve 0.15 mm/dev için kalıntı gerilme grafiği (Yuvarlatılmış uç)	64
5-19. 200 m/dak ve 0.10 mm/dev için kalıntı gerilme grafiği (Yuvarlatılmış uç)	65
5-20. 200 m/dak ve 0.15 mm/dev için kalıntı gerilme grafiği (Yuvarlatılmış uç)	66
5-21. 100 m/dak ve 0.05 mm/dev için kalıntı gerilme grafiği (Pah kırılmış uç)	66
5-22. 100 m/dak ve 0.10 mm/dev için kalıntı gerilme grafiği (Pah kırılmış uç)	67
5-23. 100 m/dak ve 0.15 mm/dev için kalıntı gerilme grafiği (Pah kırılmış uç)	67
5-24. 150 m/dak ve 0.05 mm/dev için kalıntı gerilme grafiği (Pah kırılmış uç)	68
5-25.150 m/dak ve 0.15 mm/dev için kalıntı gerilme grafiği (Pah kırılmış uç)	68
5-26. 200 m/dak ve 0.15 mm/dev için kalıntı gerilme grafiği (Pah kırılmış uç)	69
5-27. 200 m/dak ve 0.15 mm/dev için kalıntı gerilme grafiği (Pah kırılmış uç)	69
5-28.100 m/dak ve 0.05 mm/dev için kalıntı gerilme grafiği (Pah ve yuvarlatmalı uç)	70
5-29.150 m/dak ve 0.15 mm/dev için kalıntı gerilme grafiği (Pah ve yuvarlatmalı uç)	70
5-30. 200 m/dak ve 0.10 mm/dev için kalıntı gerilme grafiği (Pah ve yuvarlatmalı uç)	71

5-31.100 m/dak ve 0.15 mm/dev için kalıntı gerilme grafiği (Pah ve yuvarlatmalı uç)	71
5-32. 150 m/dak ve 0.05 mm/dev için kalıntı gerilme grafiği (Pah ve yuvarlatmalı uç)	72
5-33. 200 m/dak ve 0.15 mm/dev için kalıntı gerilme grafiği (Pah ve yuvarlatmalı uç)	72
5-34. 100 m/dak ve 0.15 mm/dev için kalıntı gerilme grafiği (Pah ve yuvarlatmalı uç)	73
5-35. 150 m/dak ve 0.10 mm/dev için kalıntı gerilme grafiği (Pah ve yuvarlatmalı uç)	73
5-36. 200 m/dak ve 0.05 mm/dev için kalıntı gerilme grafiği (Pah ve yuvarlatmalı uç)	74
6-1. CNC işleme merkezi ve data ölçmek için deneylerde kullanılan teçhizat.	77
6-2. (a) Kademeli delik deleme ve (b) sürekli kuru delik delme işlemlerinin şematik gösterimi.	80
6-3. R840 1000 A1A kolu delik matkabı.	82
6-4. İçten soğutmalı karbür matkabın soğutma kanalına termokuplun yerleştirilmesi.	84
6-5. Deneysel kurulumun şematik ve fotoğrafik gösterimi.	85
6-6. AISI 1040 çelik malzemesi için ilerleme hızı ve devir sayısının 9 farklı kombinasyonunda yapılan deneylerden elde edilen sıcaklık ölçüm değerleri.	88
6-7. AL 7075-T651 malzemesi için ilerleme hızı ve devir sayısının 9 farklı kombinasyonunda yapılan deneylerden elde edilen sıcaklık ölçüm değerleri.	89
6-8. AISI 1040 çelik malzemesi için farklı ilerleme ve devir sayılarında ölçülen delme kuvvetleri.	90
6-9. AL 7075-T651 malzemesi için farklı ilerleme ve devir sayılarında ölçülen delme kuvvetleri.	90
6-10. AL 7075-T651 malzemesinin ardışık delinmesi esnasında ölçülen sıcaklık değerleri.	91
6-11. AL 7075-T651 malzemesinin ardışık delinmesi esnasında ölçülen sıcaklık değerleri.	92
6-12. AISI 1040 malzemesinin ardışık delinmesi esnasında ölçülen sıcaklık değerleri	92
6-13. 7075-T651 malzemesinin ardışık olarak delinmesi sırasında ölçülen delme kuvvet değerleri.	93
6-14. AISI 1040 malzemesinin ardışık olarak delinmesi sırasında ölçülen delme kuvvet değerleri.	94
6-15. AISI 1040 çelik malzemesinin delinmesi sırasında delme derinliği ve ilerleme hızının matkap sıcaklığını üzerindeki etkileri.	96

- 6-16. Al 7075- T651 alaşım malzemesinin delinmesi sırasında delme derinliği ve ilerleme hızının matkap sıcaklığını üzerindeki etkileri. 98
- 6-17. Al 7075-T651 alaşım malzemesinin kademeli delinmesi esnasında matkap ucunda oluşan sıcaklık değerleri. 100
- 6-18. AISI 1040 elik malzemesinin kademeli delinmesi esnasında matkap ucunda oluşan sıcaklık değerleri. 101
- 6-19. İki ağızlı matkabın kesici ağızlarındaki kesme olayına dik kesme modelinin uygulanması. 102
- 6-20. AISI 1040 elik malzeme için sıcaklık dağılımı (a) ve plastik gerinim (b) 104
- 6-21. Al 7075-T651 alaşım malzemesi için Sıcaklık dağılımı (a) ve plastik gerinim (b)105

TABLOLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
2. 1.Dik kesme için önerilen kesme geometrileri.	5
4. 1. Sonlu elemanlar yönteminin proses temelli sınıflandırılması	29
4.2. Metal kesme analizinde rol oynayan geometrik değişkenler ve kesme işlemine ait parametreler	30
4.3.Metal kesmenin analizinin basit bir akış algoritması	35
5. 1. Kesme şartları	61
6. 1. Al 7075 alaşımının delinmesinde kullanılan kesme şartları	77
6. 2. AISI 1040 delinmesinde kullanılan kesme şartları	77
6. 3. Delme deney şartları (delme derinliği=35 mm)	78
6. 4. Farklı delme derinliklerinde yapılan sürekli delme işlemi için deneysel şartlar	80
6. 5. Kademeli kuru delme işlemi için deneysel şartlar	80
6. 6. Matkabın boyutsal ve mekanik özellikleri	81
6. 7. Malzemelerin kimyasal kompozisyonları (wt %)	82
6. 8. Malzemelerin mekanik özellikleri	82

1 GİRİŞ

Metal kesme, ürünlerin arzu edilen boyutsal doğrulukta elde edilmesinde uygulanan bir imalat sürecidir. Metal kesme oldukça non-lineer bir yapıya sahip termo-mekaniksel etkileşimin gerçekleştiği ve talaş oluşumu esnasında ortaya çıkan işin çoğunun da deformasyon süresince ısıya dönüştüğü kompleks bir işlemdir. Özellikle de gerinimin (strain) 1-10 arasında değiştiği, gerinim hızının (strain rate) $10^3 - 10^6 [s^{-1}]$ gibi çok yüksek değerlere ulaştığı, talaş oluşumunun temellerini anlayabilmek için katı hal fiziği, mühendislik mekaniği, plastisite, malzeme davranışı, triboloji, ısı transferi, fizik ve kimyanın temellerinin de bilinmesinin zorunlu olduğu düşünüldüğünde, metal kesmenin ne kadar karmaşık bir işlem olduğu daha iyi anlaşılmaktadır.

Metal kesme ile ilgili yapılan çalışmaların temel amacı, optimum kesme şartlarının bulunmasıdır. Metal kesme proseslerinde karşılaşılan problemleri doğrudan deneysel yöntemle çözmeye çalışmak pahalı ve uzun zaman olan bir işlemdir. Analitik formülasyonlar ise kesme işleminde önemli bazı değişkenleri içermediğinden çoğu doğru sonuç vermemektedir. 1970'li yıllarda itibaren nümerik bir yöntem olan sonlu elemanlar metodu kullanılarak talaş kaldırma işlemlerinin analizleri yapılmaya başlanmıştır. Sonlu elemanlar yöntemini kullanan yazılımların algoritmaları her geçen gün daha da geliştirilmekte ve sonuçlar deneysel sonuçlara yaklaştırılmaktadır. Sonlu elemanlar yöntemi zaman ve maddi olarak maliyeti azaltmanın yanında talaş kaldırma işlemine sistematik bir yaklaşım da beraberinde getirmektedir. Şu an için tornalama, frezeleme, broşlama, testere ile kesme, lazerle kesme işlemlerinin simülasyonları gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma, 3 ana konu üzerine odaklanmıştır. İlk olarak, metal kesme işleminin mekaniği ve sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmesi ve analizinde kullanılan yazılımlar, yazılımların çalışma algoritmaları ve sonlu elemanlar yönteminin modellemedeki yetersizlikleri anlatılmıştır. Ayrıca bu bölümde yeni bir konsept olan SPH (Smooth particles Hydrodynamics) yani meshless metodun kesme işleminin analiz ve simülasyonunda kullanılmasına örnekler getirilmiştir ve dik ve eğik kesme işlemlerinin simülasyonu yapılmıştır. İkinci olarak, 'Hard Turning' olarak ortaya

ıkan dilimize yüksek sertlikteki metallerin tornalanması (YSMT) olarak çevrilen ve günümüzde üzerinde yeni yeni araştırmaların yapıldığı prosesin sonlu elemanlar yöntemi ile analizleri yapılmıştır. YSMT işlemine tabi tutulan metallerin taşlanması gerek duyulmamakta ve bu proses ürünlerin yorulma ömürlerini artırmaktadır. Günümüzde YSMT teknolojisi denilince transmisyon şaftlarının, rulmanların, otomotiv endüstrisinde kullanılan dişlilerin, uzay, ak, makina takım ve tıp endstrindeki mekanik parçaların imalinde sıklıkla kullanılan finiş işlemlerinin yapılması akla gelmektedir. Bu parçalar sertlikleri 50 ile 65 HRC arasında olan alaşım çeliklerinden imal edilmektedir. Çalışmada 52100 (100Cr6) rulman eliğinin CBN kesici la kesilmesinin sonlu elemanlar analizi Thirdwave AdvantEdge yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Analizlerin temel hedefi farklı üç geometrilerinin kesme işlemini nasıl etkileyeceğini tesbit etmektir. Analizler sonucunda kesme kuvvetleri, sıcaklık, kalıntı gerilmeler, eşdeğer gerilmeler, gerinim ve gerinim hız değerleri çıktı olarak alınmıştır. Özellikle kalıntı gerilmeler üzerinde odaklanılarak ürünün yorulma ömrünü nasıl etkileyebileceği araştırılmıştır.

Tez de son olarak matkapla kuru delme işleminin gerçekleştirilmesi esnasında ortaya çıkan sıcaklık değerleri deneysel ve nümerik olarak elde edilmiştir. Bu bölümde devir sayısının, ilerleme hızının, delme derinliğinin, sürekli ve kademeli delmenin ve delme işleminin ardışık olarak gerçekleştirilmesinin sıcaklık değişimi üzerindeki etkileri deneysel ve numeric olarak araştırılmıştır. Delme işlemi esnasında oluşan sıcaklık ölçümü için deneysel yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir. TiAlN kaplı içten soğutmalı karbür matkabın yağlama boşluğuna standart bir termokupl yerleştirilmek suretiyle sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Deney şartları Taguchi metodu yardımıyla belirlenmiş ve deneyler AISI 1040 elik ve Al 7075-T6 alüminyum olmak üzere 2 farklı malzeme kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Matkabın  noktasındaki sıcaklık değeri, langrangian temelli açık (explicit) sonlu elemanlar analiz yazılımı olan ThirdWave AdvantEdge™ kullanılarak numeric olarak hesaplanmıştır. Sonlu elemanlar analiz sonuçları ile deneysel sonuçlar karşılaştırılmış ve aralarında çok az farklılıklar olduğu grlmştir.

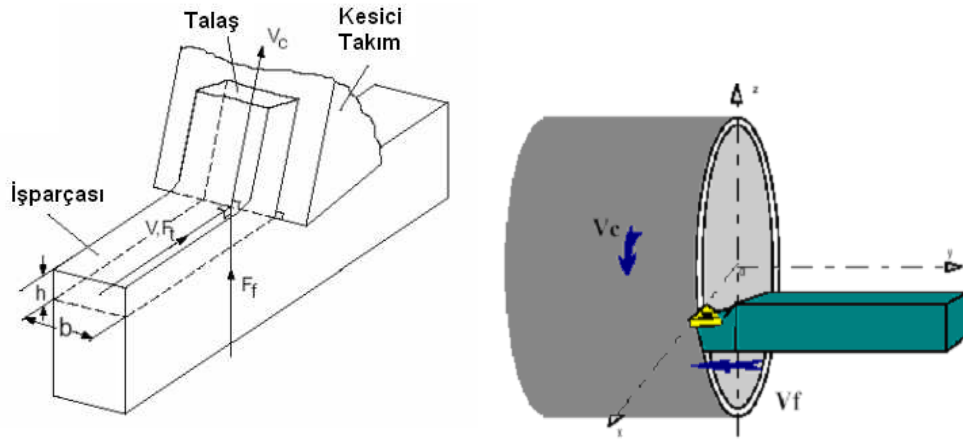
2 METAL KESME İŞLEMİNİN MEKANİĞİ VE MODELLENMESİ

2.1 Metal Kesme İşleminin Mekanikliği

Bu bölümde var olan klasik yaklaşımlar kısaca özetlenmeye çalışılacaktır.

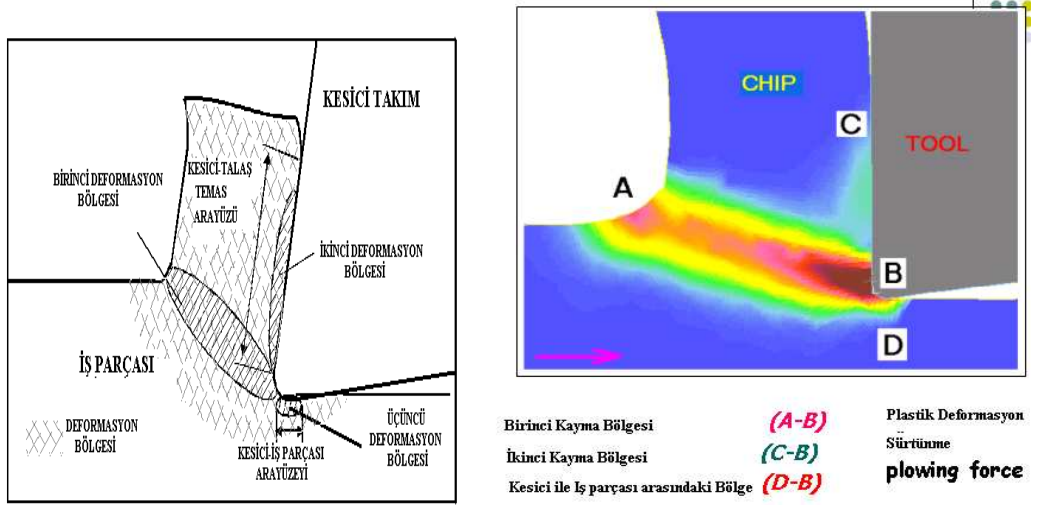
2.1.1 Dik (Orthogonal) Kesme

Metal kesme üç boyutlu ve geometrik açıdan kompleks bir işlem olduğundan, metal kesme mekanikğini açıklayabilmek için daha basit bir kurgu olan 2 boyutlu dik (orthogonal) metal kesme modeli kullanılmaktadır(Şekil 2-1) [Altintas, 2000]. Dik kesmede kesici uç tarafından uzaklaştırılan talaş ile kesici-iş parçası hareket yönü birbirlerine diktirler.



Şekil 2-1. Dik kesme işleminin mekanikliği.

Kesme işleminde iş parçası üzerinden talaş, kesici uç yardımıyla kaldırılırken kesici üzerine kuvvetler etmektedir. Kesici ile iş parçası arasında birden fazla temas yüzeyi mevcuttur. Dik talaş kaldırma işleminde, Şekil 2.2.'de de gösterildiği gibi birinci ve ikinci deformasyon bölgeleri olarak adlandırılan temel iki deformasyon bölgesi vardır. Birinci deformasyon bölgesi, kayma düzlemi üzerinde oluşurken, ikinci deformasyon bölgesi, kesici ile talaşın etkileşim halinde oldukları talaş yüzeyinde oluşmaktadır. Bunlara ilave olarak kesici takımın boşluk açısının yer aldığı kenar ile iş parçası arasında kalan bölge üçüncü deformasyon bölgesi olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 2-2. Deformasyon bölgeleri.

Orta sertlikteki çelikler kesilirken kesici ile iş parçası arasındaki sıcaklık değeri 900 C° ile 1300 C° arasında değişen çok yüksek değerlere çıkabilmektedir. Kesme esnasında oluşan ısının %18'i kesici takıma, %7'si iş parçasına ve %75'i talaşla birlikte uzaklaşmaktadır (Şekil 2-3). Talaş yüzeyi üzerine etkiyen normal basınç değeri 1200 Mpa (172 ksi) gibi yüksek bir değere çıkmaktadır[Özel, 1999].



Şekil 2-3. Metal kesmede sıcaklık dağılımı.

Günümüze kadar kesme prosesini tanımlayabilmek için araştırmacılar tarafından oldukça fazla sayıda model geliştirilmiştir. İlk modeller kayma düzlemi kabulüne göre Ernst ve Merchant tarafından geliştirilmiştir[Shaw,1984]. Bu modelde minimum enerji prensibi kullanılarak kayma düzlemi açısı Φ yardımıyla malzemenin dinamik davranışı tahmin edilmeye çalışılmıştır. Lee ve Schaffer tarafından Merchant'tın

modeli daha geliştirilmiştir[Lee, 1951]. Black ve Huang ön kayma açısını minimum enerji prensibinden hareketle tahmin edecek kendi analitik modellerini geliştirmişlerdir. Bugüne kadar geliştirilen başlıca analitik modellerin temelinde yer alan geometrik kabuller'de Tablo 2.1.'de gösterilmiştir[Wince, 2002].

Tablo 2. 1.Dik kesme için önerilen kesme geometrileri.

YAZARLAR	ÖNERİLEN GEOMETRY
Ernst & Merchant (USA 1941)	$\phi = 45^\circ + \frac{\alpha}{2} + \frac{\beta}{2} + \frac{\beta'}{2}$
Merchant (USA 1945)	$\phi = 45^\circ - \frac{\alpha}{2} + \frac{\beta}{2}$
Stabler (Scotland, 1951)	$\phi = 45^\circ - \beta + \frac{\alpha}{2}$
Lee & Shaffer (USA, 1951)	$\phi = 45^\circ - \beta + \alpha$
Hucks (Germany, 1951)	$\phi = 45^\circ - \frac{\tan^{-1}(2\mu)}{2} + \alpha$
Hucks (Germany, 1951)	$\phi = 45^\circ - \frac{\cot^{-1}(K) - \tan^{-1}(2\mu) + 2\alpha}{2}$
Shaw, Cook, Finnie (USA, 1953)	$\phi = 45^\circ - \beta + \alpha + \eta'$
Black & Huang (USA, 1995)	$\psi = 45^\circ - \phi + \frac{\alpha}{2}$

2.1.1.1 Dik Kesmede Kesiciye Etkiyen Kuvvetler

Şekil 1'den hareketle kabaca bileşke kuvvet ; $F = \sqrt{F_t^2 + F_f^2}$. (2.1)

şekinde ifade edilebilir.

Burada F_f ilerleme kuvvetini ve F_t tegetsel kuvveti ifade etmektedir.

Deformasyon bölgeleri ayrı ayrı incelendiğinde:

▪ Birinci deformasyon bölgesinde:

Şekil 2-4'deki geometriden hareketle kayma düzlemine etkiyen kayma kuvveti(F_s) ;

$$F_s = F \cos(\phi_c + \beta_a - \alpha_r), \quad (2.2)$$

Burada β_a kesicinin talaş yüzeyi ile hareket halindeki talaş arasındaki ortalama sürtünme katsayısını, α_r ise kesicinin talaş açısını ifade etmektedir. Kayma kuvvetini ilerleme ve tegetsel kuvvetinin fonksiyonu şeklinde yazarsak;

$$F_s = F_t \cos \phi_c - F_f \sin \phi_c. \quad (2.3)$$

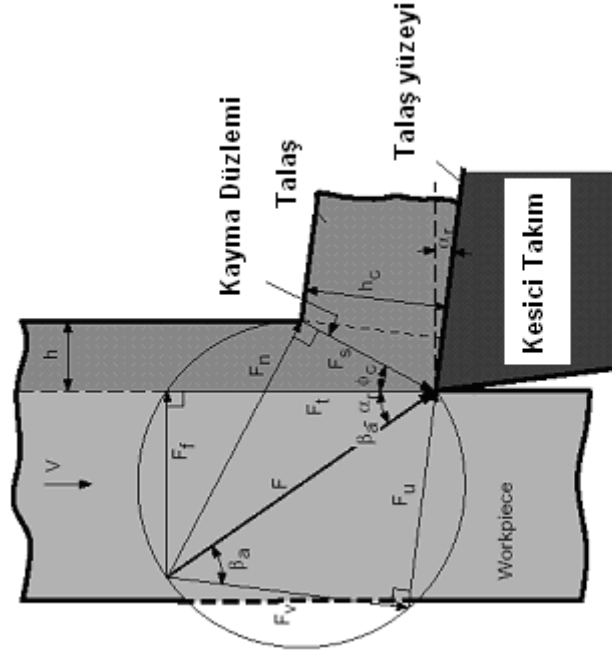
ile ifade edilir. Benzer şekilde kayma düzlemine etkiyen normal kuvveti ise

$$F_n = F \sin(\phi_c + \beta_a - \alpha_r) \quad (2.4)$$

şeklinde ya da

$$F_n = F_t \sin \phi_c + F_f \cos \phi_c. \quad (2.5)$$

şeklinde ifade edebiliriz.



Şekil 2-4. Dik kesmede kuvvetler.

▪ İkinci deformasyon bölgesinde:

Kesicinin talaş yüzeyine etkiyen kesme kuvvetleri iki bileşenden oluşmaktadır(Şekil 2-4).

Normal kuvvet F_v ;

$$F_v = F_t \cos \alpha_r - F_f \sin \alpha_r, \quad (2.6)$$

talaş yüzeyine etkiyen sürtünme kuvvetide

$$F_u = F_t \sin \alpha_r + F_f \cos \alpha_r. \quad (2.7)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Birinci deformasyon bölgesinde meydana gelen kayla düzlemindeki kayma

gerilmesi(τ_s);

$$\tau_s = \frac{F_s}{A_s}, \quad (2.8)$$

Kayma düzlemi alanı(A_s);

$$A_s = b \frac{h}{\sin \phi_c} \quad (2.9)$$

Kayma düzlemindeki Normal gerilme ise;

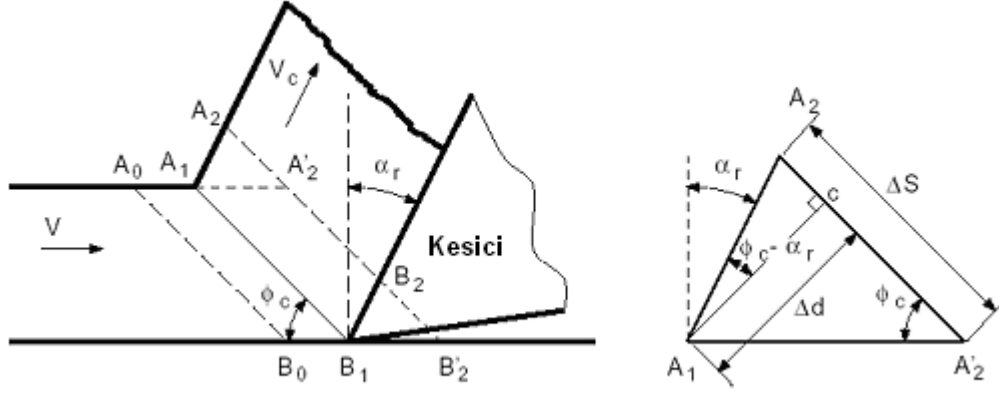
$$\sigma_s = \frac{F_n}{A_s}.$$

şeklinde formülize edilebilir.

▪ Kayma gerinimi ve Gerinim hızı:

Metal kesmede ortaya çıkan kayma gerinimleri ve gerinim hızları klasik çekme testleri ve diğer metal şekillendirme işlemlerinde oluşan değerlere göre oldukça yüksektir. Özellikle de gerinimin (strain) 1-10 arasında değiştiği, gerinim hızının (strain rate) $10^3 - 10^6 [s^{-1}]$ gibi çok yüksek değerlere ulaştığı, talaş oluşumunun temellerini anlayabilmek için katı hal fiziği, mühendislik mekaniği, plastisite, malzeme davranışı, triboloji, ısı transferi, fizik ve kimyanın temellerinin de bilinmesinin zorunlu olduğu düşünüldüğünde, metal kesmenin ne kadar karmaşık bir

işlem olduğu daha iyi anlaşılmaktadır. Şekil 2-5'de talaşın oluşma anındaki deformasyon geometrisi görülmektedir.



Şekil 2-5. Gerinim ve gerinim hız diyagramları.

Kayma gerinimi(γ_s);

$$\gamma_s = \frac{\Delta s}{\Delta d} = \frac{\overline{A_2 A'_2}}{\overline{A_1 C}} = \frac{\overline{A'_2 C}}{\overline{A_1 C}} + \frac{\overline{C A_2}}{\overline{A_1 C}} = \cot \phi_c + \tan(\phi_c - \alpha_r). \quad (2.10)$$

denklem düzenlenirse;

$$\gamma_s = \frac{\cos \alpha_r}{\sin \phi_c \cos(\phi_c - \alpha_r)}. \quad (2.11)$$

Kayma gerinim hızı(γ'_s)

$$\gamma'_s = \frac{\gamma_s}{\Delta t}. \quad (2.12)$$

denlem düzenlenirse;

$$\gamma'_s = \frac{V_s}{\Delta d} = \frac{V \cos \alpha_r}{\Delta d \cos(\phi_c - \alpha_r)}. \quad (2.13)$$

şeklinde yazılabilir.

2.1.2 Kesici- Talaş Arayüzeyinde Meydana Gelen Sürtünmenin Karakteristiği

Metal kesmede sürtünmenin belirlenebilmesi oldukça zordur. Talaş açısı, ilerleme hızı, kesme hızı gibi birçok faktör talaş ile kesici takım arasındaki sürtünme parametrelerini ve temas bölgelerini etkilemektedir [Özel ,1997] çünkü yüzeye çok yüksek değerlerde normal gerilme etkilemektedir. Yaygın olarak kesici-talaş arasındaki sürtünme katsayısı kayma testleri sonucunda empirik olarak bulunmaktadır.

Talaş yüzeyinde oluşan ortalama sürtünme katsayısı;

$$\mu_a = \tan \beta_a = \frac{F_u}{F_v}. \quad (2.14)$$

sürtünme açısı ise;

$$\tan(\beta_a - \alpha_r) = \frac{F_f}{F_t}. \quad \rightarrow \quad \beta_a = \alpha_r + \tan^{-1} \frac{F_f}{F_t}. \quad (2.15)$$

formülü ile bulunur.

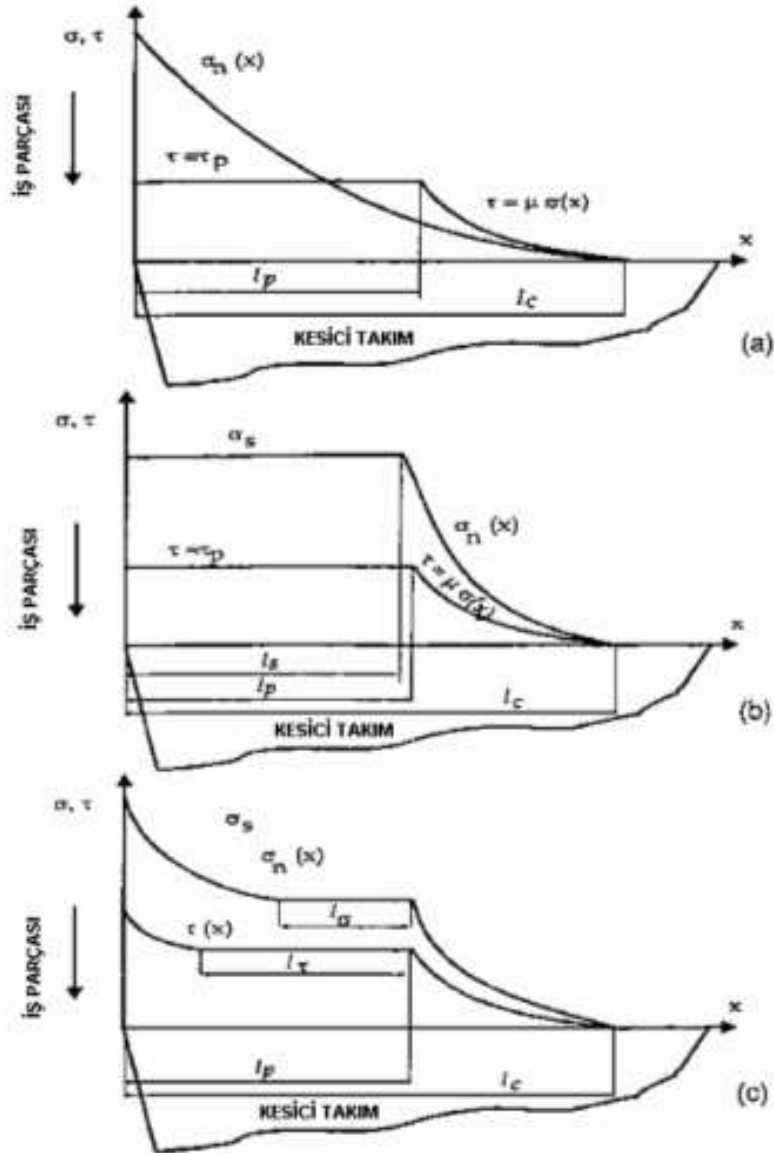
2.1.3 Talaş Yüzeyine Etkiyen Gerilmeler

İkinci kayma bölgesinin oluştuğu talaş yüzeyinde meydana gelen etkileşimler de oldukça kompleksdir. Çünkü, talaş ile kesici ilk temas ettiğinde mevcut sürtünmeden dolayı talaş kesiciye bir süre yapışmaya çalışır ki bu anda bu bölgedeki kayma gerilmeleri sabittir. İlk etkileşim halinde normal gerilmeler ise Zerov'un teorisine göre lineer olarak azalmaktadır [Jaspers, 1999]. Kesici üzerine yapışmaya zorlanan talaş, ikinci aşamada normal gerilmelerin azalmasının etkisiyle de talaş yüzeyinde kaymaya başlar ve bu sırada kayma gerilmesinde ani bir düşüş yaşanır. Talaş, bir süre talaş yüzeyinde kaydıktan sonra yüzeyden ayrılır. Talaşın, talaş yüzeyinden ayrıldığı noktada oluşan normal ve kayma gerilmeleri sıfırdır. Burada halen tam olarak anlaşılamamış olan, talaş-kesici temas uzunluğu (tool-chip contact length) çok önemli bir kavramdır. Kesici-talaş temas uzunluğu; aşınmanın uzunluğuna, sıcaklığa, kuvvetlere, gerilmeler ve yüzey pürüzlülüğüne etki eden önemli bir faktördür [Jaspers, 1999; Huang, 1999]. Talaş-kesici temas uzunluğu ;

$$l_t = \frac{h \sin(\phi_c + \beta_a - \alpha_r)}{\sin \phi_c \cos \beta_a}. \quad (2.16)$$

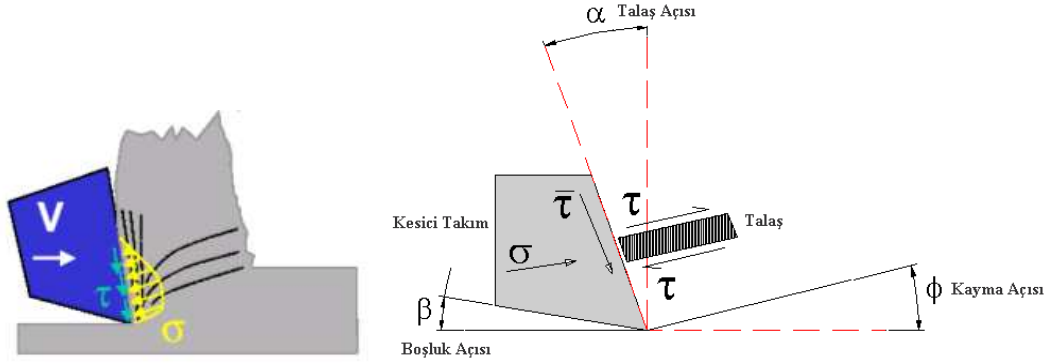
formülü yardımıyla kabaca hesaplanabilir.[Altıntaş, 2000]

Talaş yüzeyine etkiyen yapışma ve kayma gerilmelerini açıklayabilmek için analitik ve deneysel olarak yapılan çalışmalar sonucunda önerilen yaklaşımlar şekil 2-6'da görülmektedir. Zorev kendi yaklaşımını desteklemek için yarık (split) kesici (tool) ve kompozit kesici yaklaşımı ile talaş yüzeyi ve kesicinin ucuna yakın yerlerde gerilmeleri ölçmüştür.



Şekil 2-6. Talaş yüzeyinde oluşan gerilmeler için farklı teoriler.

Şekil 2-6b'de Barrow ve Şekil 2-6c'de Li nin yaklaşımları şematize edilmiştir[Özel, 1999]. Aynı zamanda talaş yüzeyine etkiyen gerilmeye ilave olarak talaşın kendi atomik yapısındada talaş oluşumu esnasında kayma gerilmeleri meydana gelmektedir (Şekil 2-7) [Bağcı, 2003].



Şekil 2-7. Kesiciye etkiyen gerilmeler [Bağcı, 2003].

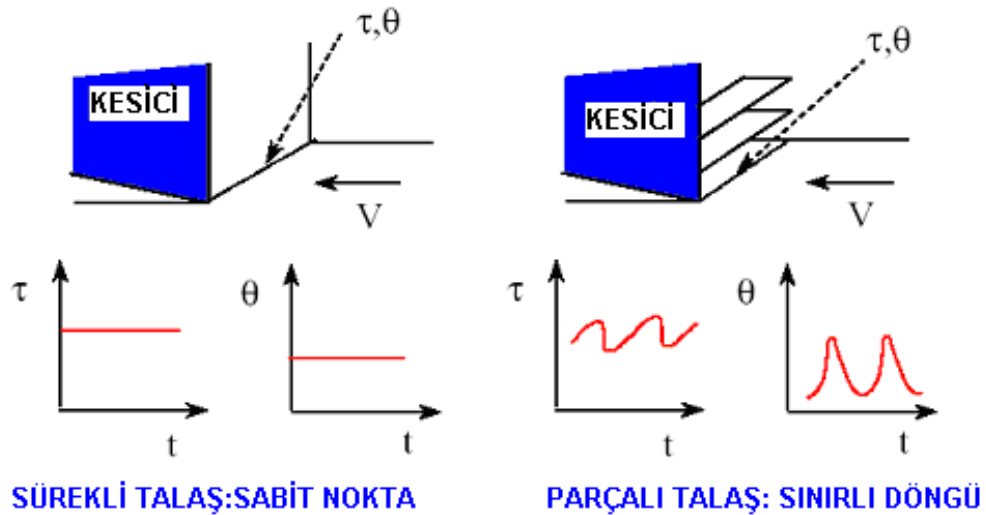
2.1.4 Talaş Oluşum Mekanizmaları

Talaş oluşumu kompleks bir prosesdir. Talaş ile kesici arasındaki temas bölgesinde meydana gelen etkileşimler ve talaş partiküllerinin kendi aralarındaki etkileşimler bu oluşumu kompleks yapmaktadır. Şekil 2-8'de talaş oluşumunun nonlinear dinamik oluşum modeli şematize edilmiştir.

TALAŞ OLUŞUMUN NONLINEAR DİNAMİK MODELİ

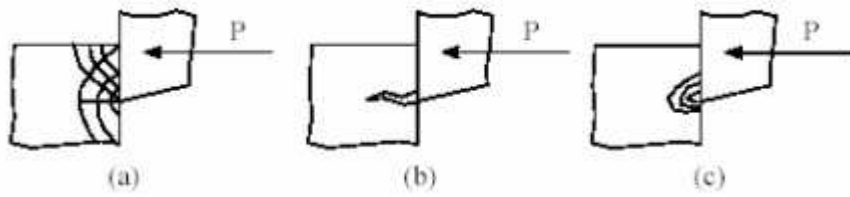
τ : Kayma Gerilmesi

θ : Kayma Açısı



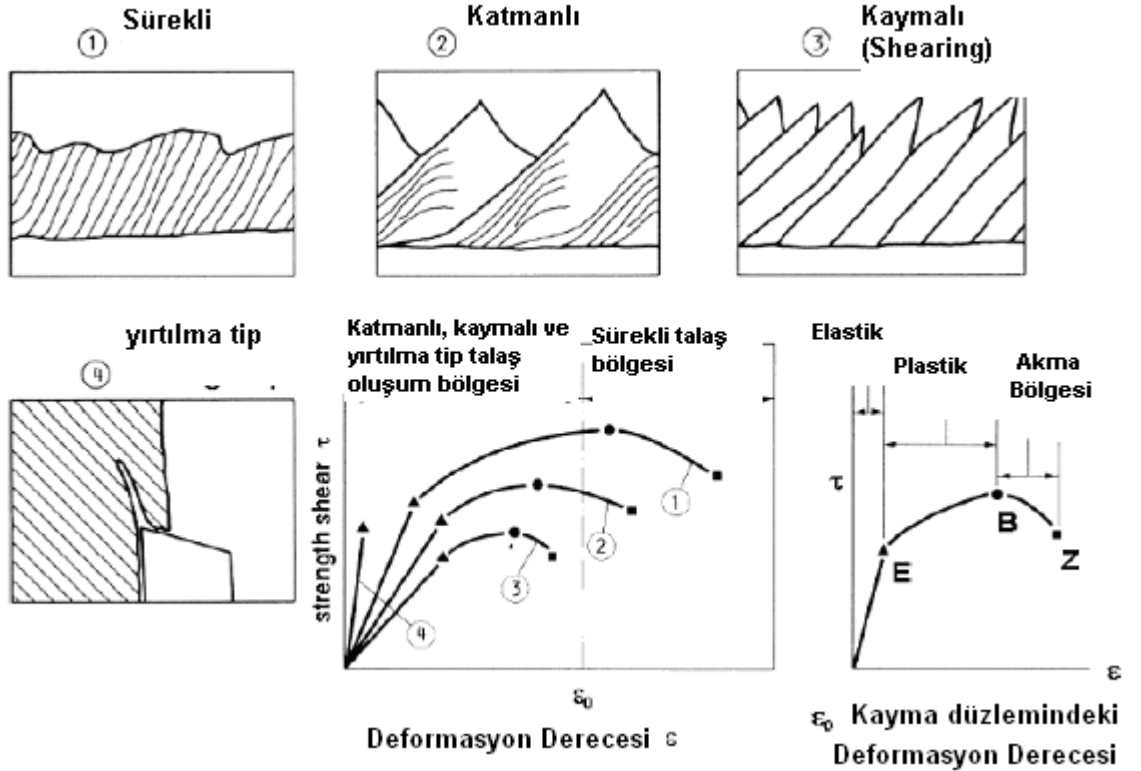
Şekil 2-8. Talaş oluşum mekanizmaları.

Talaş, iş parçasının iç yapısının gevrek(brittle) yada sünek(ductile) olmasına bağlı olarak farklı şekillerde oluşmaktadır. Kesici takımın iş parçasına daldığı yerden itibaren kesicinin uç tarafındaki gerilme yükselmeye başlar(Şekil 2-9a). Eğer malzeme gevrek ise kesicinin temas ettiği noktadan itibaren çatlak oluşumu başlar ve nihayetinde kırılmaya(fracture) sebep olur(Şekil 2-9b). Eğer malzeme sünek ise kesinlikle iş parçasında elastik bir bölge oluşur(Şekil 2-9c.) iş parçasının süneklik değerine bağlı olarak bu elastik ve plastik bölgenin boyutları değişmektedir. Şekil 2-10'da ayrıntılı olarak malzeme karakteristiğine göre talaş oluşum modelleri gösterilmiştir[Kalhori, 2000].



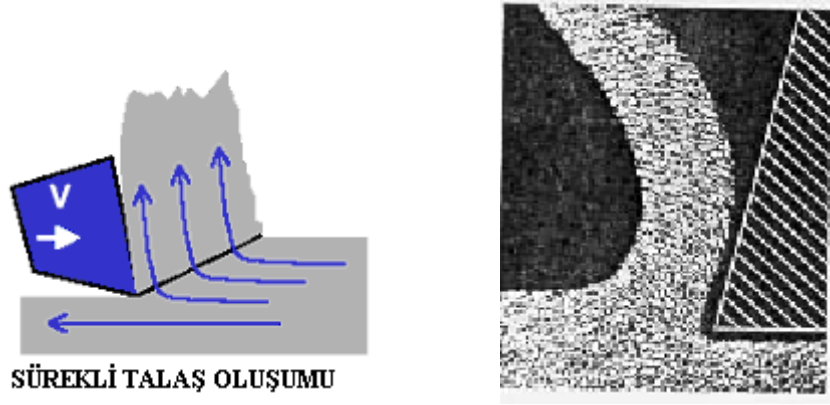
Şekil 2-9. Talaş oluşumu esnasında ortaya çıkan çatlak ilerlemesi.

MALZEME KARAKTERİSTİĞİNE BAĞLI OLARAK OLUŞAN TALAŞ FORMLARI



Şekil 2-10. Malzemeye göre talaş oluşum mekanizması.

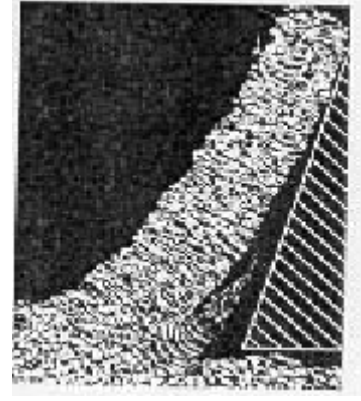
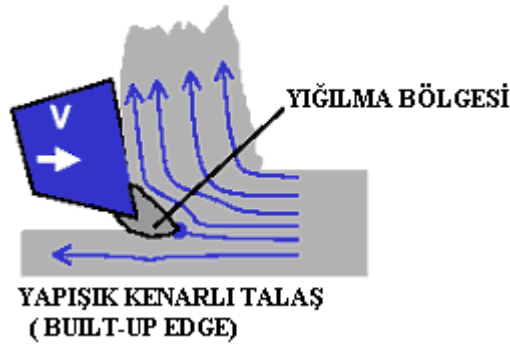
Sürekli talaş formu, yumuşak sertlikteki çeliklerin, bakır, alüminyum gibi sünek malzemelerin işlenmesi esnasında oluşur(Şekil 2-11). Sürekli talaş oluşumunun meydana geldiği talaş kaldırma işlemlerinde talaşın fazla uzayarak iş parçasının yüzeyine ve operatörün güvenliğine etki etmemesi için talaş kırıcı takımların kullanılması gereklidir.



Şekil 2-11. Sürekli talaş oluşum mekanizması.

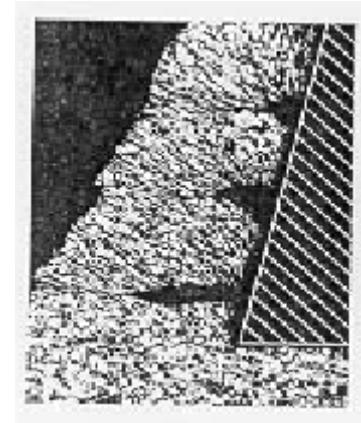
Bazı şartlarda talaş ve kesici ara yüzeyinde sürtünme o kadar fazladır ki, talaş malzemesi kesicinin talaş yüzeyine kaynar; bu kaynamış kısmın kesicinin talaş yüzeyi üzerinde mevcudiyeti sürtünmeyi daha da artırır ve neticede birbiri üzerinde tabakalar halinde talaş meydana gelmesine sebebiyet verir. Bu oluşan talaş formuna yığma kenar(Built-up edge) talaş oluşumu adı verilir(Şekil 2-12). Kesici ömrünü, yüzey pürüzlülüğüne olumsuz etkisi olan bu oluşumu engellemek için ;

- Kesme hızı yükseltilir,
- İlerleme hızı düşürülür,
- İş parçasının ortam sıcaklığı yükseltilir,
- Talaş açısı artırılır,
- Sürtünmeyi azaltmak için soğutma sıvısı kullanılabilir.



Şekil 2-12. Yapışık kenarlı talaş oluşum mekanizması.

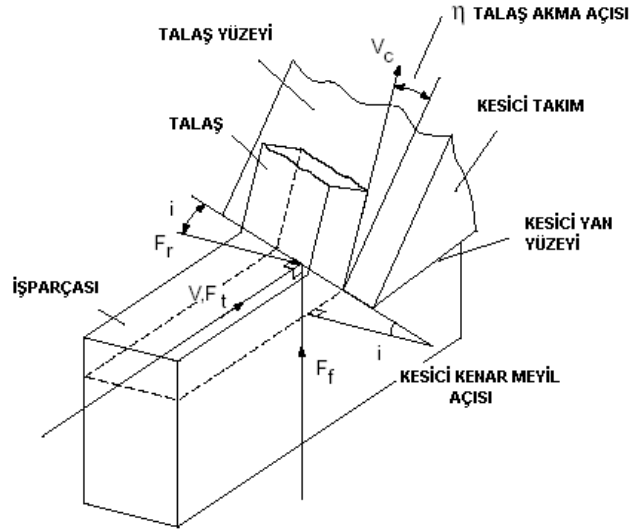
İşlenen malzeme kırılgan (brittle) yada çok sert bir iç yapıya sahipse, genellikle kesikli yada testere dişi şeklinde talaş oluşumu meydana gelir(Şekil 2-13). Kesintili talaş oluşumu genellikle dökme demir, titanyum, gibi sert malzemelerin işlenmesi yada sünek malzemelerin düşük kesme kesme hızı ve yüksek talaş kalınlığı ile işlenmesi esnasında oluşur.



Şekil 2-13. Testere dişi şeklinde talaş oluşumu.

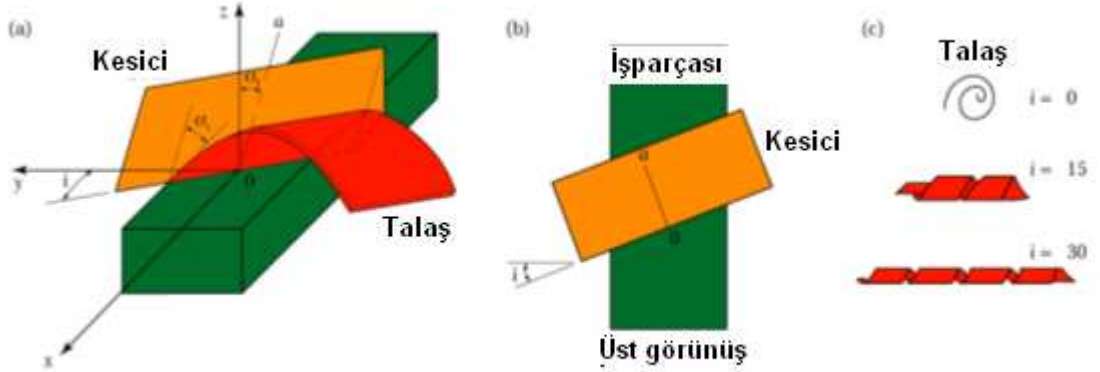
2.2 Eğik Kesme Modelleri

Meyilli (Eğik-Oblique) kesme işleminin şematik gösterimi Şekil 2-14'de görülmektedir[Altıntaş, 2000].Talaş kaldırma işlemlerinin çoğunda referans düzlemi ile kesme kenarı arasında bir açı mevcuttur ve bu açıya meyil açısı(i) denir. Bu açı genelde kesme şartlarına bağlı olarak seçilir. Kesici takımın talaş yüzeyindeki talaş akışı talaş akma açısı(η_c) ile tanımlanabilir.



Şekil 2-14. Meyilli kesme mekaniği.

Dik kesmede talaş akma açısı 0'dır. Stabler [Özel, 1999] geliştirmiş olduğu geometrik yaklaşım sayesinde talaş akma açısı ile meyil açısının birbirlerine eşit olduğunu ileri sürmüştür. Talaş akma açısının farklı değerlerinde oluşan talaş formları Şekil 2-15'de görülmektedir.



Şekil 2-15. Talaş akma açısının etkisi.

Meyil açısı talaş akış yönünü etkilediği gibi Φ kayma açısının da büyümesine neden olur. Normal talaş açısı (α_n) dik kesmedeki gibi ölçülmektedir. Hız ve gerinim üçgenini bize aşağıdaki ilişkiyi verir.

$$\frac{V_c \cos i}{\cos(\phi_n - \alpha_n)} = \frac{V_{c,kr} \cos \eta_k}{\sin \phi_n} = \frac{V_s \cos \eta_k}{\cos \alpha_n} \quad (2.17)$$

kayma akma yönünüde aşağıdaki formülasyonla buluruz.

$$\eta_k = \tan^{-1} \left(\frac{\tan i \cos(\phi_n - \alpha_n) - \tan \eta_k \cos \phi_n}{\cos \alpha_n} \right) \quad (2.18)$$

kayma gerinimi ve gerinim hızı aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\bar{\gamma} = \frac{\cos \alpha_n}{\sin \phi_n \cos(\phi_n - \alpha_n) \cos \eta_k} \quad (2.19)$$

$$\dot{\bar{\gamma}} = \frac{V_c \cos \alpha_n}{\Delta s \cos(\phi_n - \alpha_n) \cos \eta_k} \quad (2.20)$$

$i=0$ olduğunda $N_c=N_s$ olacağından denklemler dik kesme formülasyonlarına dönüşecektir.

Meyilli kesme için kesme kuvvet vektörü aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\bar{F}_R = [F_c \quad F_t \quad F_s]^T \quad (2.21)$$

$$\bar{F}'_R = \begin{bmatrix} F'_c \\ F'_t \\ F'_s \end{bmatrix} = T_{\alpha_n}(i) \bar{F}_R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos i & \sin i \\ 0 & -\sin i & \cos i \end{bmatrix} \bar{F}_R \quad (2.22)$$

$$\mu = \frac{\sqrt{F'^2_{f1} + F'^2_{f2}}}{F_n} = \frac{\tan \beta_n}{\cos \eta_k} = \tan \beta \quad (2.23)$$

$$\bar{F}_{R'} = T_{\phi_n}(\phi_n) \bar{F}_S = T_{\phi_n}(\alpha_n) \bar{F}_f \quad (2.24)$$

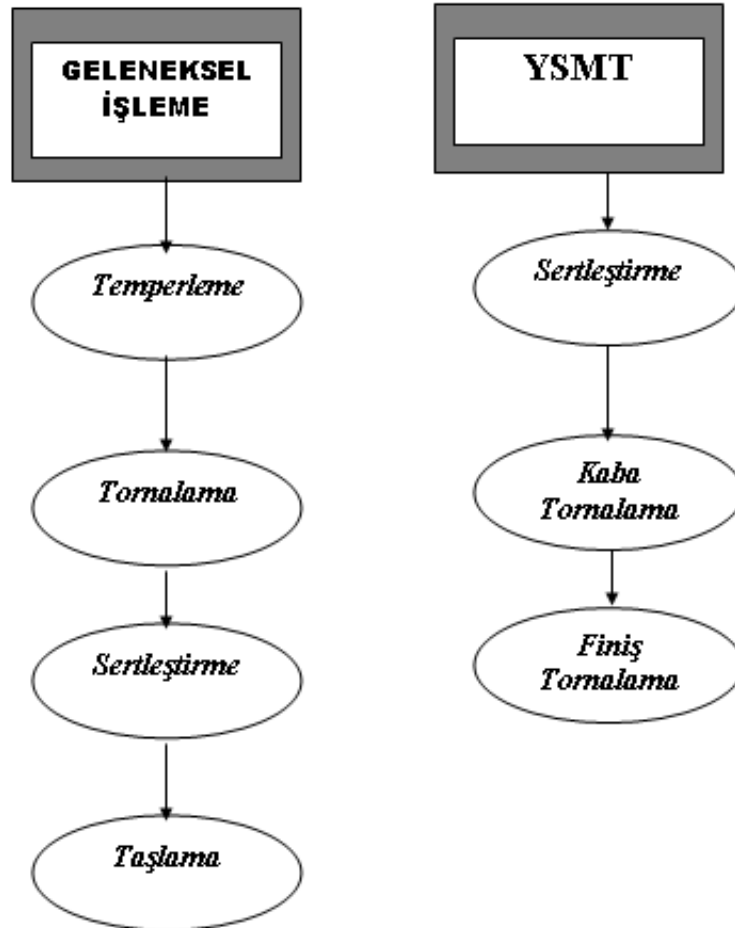
$$\bar{F}_S = T_{\phi_n}(\alpha_n - \phi_n) \bar{F}_f \quad (2.25)$$

$$\bar{F}_R = T_{\alpha_n}(-i) \bar{F}_{R'} = T_{\alpha_n}(-i) T_{\phi_n}(\phi_n) \bar{F}_S \quad (2.26)$$

3 YÜKSEK SERTLİKTEKİ METALLERİN TORNALANMASI (YSMT-HARD TURNING)

3.1 YSMT

YSMT, 45 HRC ‘in üzerinde sertlik değerine sahip malzemelerin tek noktadan temas eden kesici takımlarla işlenmesidir. Uygulamada, işlenen malzemeler genelde 58-63 HRC arasında değişmektedir. YSMT işlemi metal parçaları imal eden üreticilerin kaliteyi yükseltmek ve pazar paylarını artırmak için ihtiyaç duydukları yeni bir metottur. YSMT işlemi çok yüksek sertliğe sahip metal parçalarının sonradan sertleştirilme ve taşlama işlemine tabi tutulmasına gerek kalmayacak kadar iyi kalitede işlenmesi olarak tanımlanabilir(Şekil 3-1).



Şekil 3-1. Geleneksel tornalama ve YSMT işlem adımlarının kıyaslanması .

Günümüzde YSMT teknolojisi denilince transmisyon şaftlarının, rulmanların, otomotiv endüstrisinde kullanılan dişlilerin, uzay, uçak, makina takım ve tıp endüstrisindeki mekanik parçaların imalinde sıklıkla kullanılan finiş işlemlerinin yapılması akla gelmektedir. Bu parçalar sertlikleri 50 ile 65 HRc arasında olan alaşım çeliklerinden imal edilmektedir. Geleneksel işlemede sertliği düşük olan demir metal alaşımları yumuşak olarak işlenir, sertleştirme için ısıtılıp işlemden geçirilir ve son olarak da taşlanır. sertleştirme ve taşlama işlemini ortadan kaldırarak işleme zamanını dolayısı ile maliyeti azaltmaktadır(Şekil 3-1). Taşlama, YSMT işlemi göre üç kat daha yavaş işleme gerçekleştirir ancak YSMT’de ilk kurulum maliyeti çok pahalıdır.

YSMT işleminin uygulandığı malzemeler şunlardır;

1. Çelik alaşımları;

- Rulman çelikleri
- Sıcak ve soğuk iş çelikleri
- Yüksek hız çelikleri
- Kalıp çelikleri
- Sertleştirilmiş çelikler.
- Waspaloy , satellite ve diğer uzay sanayinde kullanılan alaşımlar.
- Nitrürlenmiş demirler ve yüksek krom içerikli kaplı malzemeler.
- Isıl işlem yapılabilir toz metalurjisi ile yapılan alaşımlar.

YSMT uygulaması taşlama işleminin yerine yada ön-taşlama işleminin yerine uygulanabilecek bir metottur. YSMT’nin çekiciliğinin sebeplerini anlamak için YSMT kullanılarak imal edilmiş bir ürünün özelliklerine bakmak yeterli olacaktır.

- Yüzey pürüzlülüğü(.003 mm)
- Dairesellik (.00025 mm)

- Boyutsal hata (.005mm)
- Üretim hızı taşlama işlemine göre 4 ila 6 kat daha hızlıdır.

Ayrıca YSMT genelde PCBN (Polycrystalline Cubic Boron Nitride) ve CBN (Cubic Boron Nitride) kesici takımlar kullanıldığı için kesme esnasında ortaya çıkan ısı oluşumu talşa tarafından taşınmakta ve böylece kesme bölgesinde soğutucu kullanılarak ısının yok edilmesine gerek kalmamaktadır. Kuru kesme soğutmaya ihtiyaç duyulmadığı ve çevresel dengeye katkıda bulunarak maliyeti azalttığı için günümüzde yaygın olarak kullanılmaya başlanılan bir tekniktir. Yukarıda bahsedilen nedenlerden dolayı YSMT finiş işleme operasyonlarında taşlamanın yerini almaya başlamıştır.

CBN, YSMT ile hassas işlenmesi gereken düşük üretim miktarlarındaki ürünlerin imalinde yüksek sertlik, çok yüksek aşınma direnci ve yüksek sıcaklıklarda kimyasal kompozisyonunu ve sertliğini koruyabilme gibi özelliklerinden dolayı tercih edilen kesici takım teknolojisi. YSMT kaba ve yarı-finiş işlemlerinde CBN kesicilerinin kullanılması teknolojik ve ekonomik olarak uygun bir tercihtir. Buna rağmen finiş YSMT’da, CBN kesici takımlar ekonomik olarak uygun değildir. Çünkü, bu işlem kesici takım ömürlerini aşırı kısaltmakta ve dolayısıyla maliyeti yükseltmektedir.

3.2 YSMT İşleminin Karakteristiği

3.2.1 Tezgahın Ve Bağlama Aparatının Rijitliği

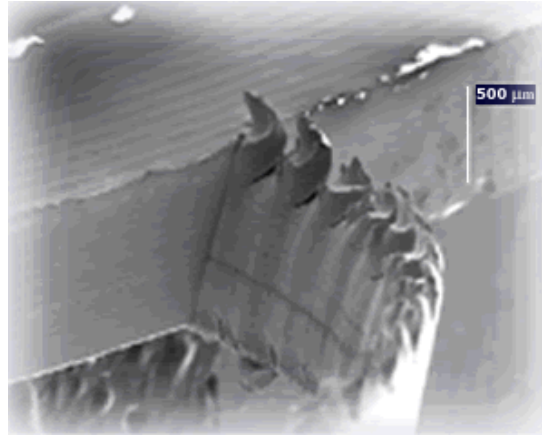
YSMT işleminde pah kırılmış büyük negatif talaş açılı takımların kullanılabilmesi için çok iyi tezgah stabilitesi, dönme gücü, sönümleme yeteneği, oldukça rijit takım tutucu ve tezgahların çok yüksek hassasiyette eksenel hareket doğruluğuna sahip olması gerekmektedir [Tonshoff et al., 1986]. Yapılan araştırmalar pah kırılmış uçların pahsız uçlara nazaran iki kat daha fazla kuvvet ürettikleri bulmuştur. Ve ilave olarak işleme esnasında yetersiz katılık (stiffness) kurulumunun kesici ağzın çok hızlı bir şekilde kırılmasına sebep olduğunu tesbit etmiştir. Yeni nesil tezgahlarda tezgah ana gövdesi olarak polimer kompozit yapıların kullanılması

ve tezgahdaki bağlantı sayılarının azaltılmış olması rijitliği artırmaktadır. YSMT işleminde rijit dönme gövdesi ve rijit takım tutucuya gereksinim vardır. Bu iki olgunun yetersizliğinde dolayı çatırtı(chatter) dolayısıyla kötü yüzey kalitesi elde edilmiş olur. Tezgah dinamik rijitliği (Machine Dynamic Stiffness) YSMT'nin en önemli özelliklerinden biridir. Çok iyi dinamik rijitliğin elde edilmesinin yararları şöyle sıralanabilir.

- Düşük çalışma titreşimi
- Takım ömrünü büyük ölçüde artırır.
- Ürün kalitesini iyileştirir.
- İşleme parametrelerin daha az ayarlanması sağlar.

3.2.2 YSMT'de Talaş Oluşum Mekanizmaları

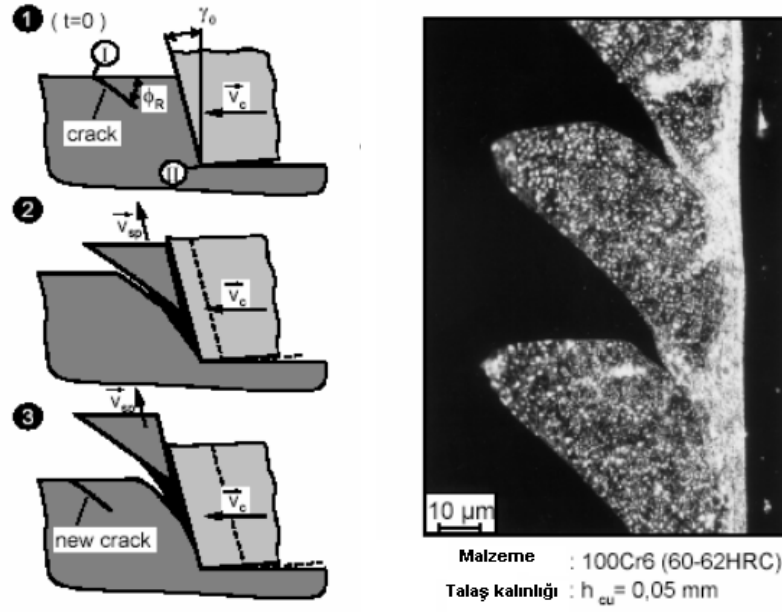
YSMT işleminde talaş oluşumunun anlaşılabilmesi için oldukça fazla çalışma yapılmıştır. YSMT işlemindeki talaş oluşum mekanizması yumuşak çeliklerin işlenmesi esnasında ortaya çıkan sürekli talaş oluşumundan çok farklıdır. Talaş kaldırma ile ilgili ilk modellerde sürekli talaş oluşum mekanizmasından bahsedilmiştir [Merchant 1944,1945, Lee and Shaffer 1951].



Şekil 3-2. Testere tipi talaş oluşum mekanizması.

Aynı zamanda talaş kaldırma işlerinin çoğunda dalgalı talaş oluşumu, katastrofik tip kayma talaş, testere ağızlı talaş ve kesikli talaş oluşumları gözlenmiştir. YSMT'da, araştırmacıların çoğu tarafından periyodik olarak oluşan testere dişi

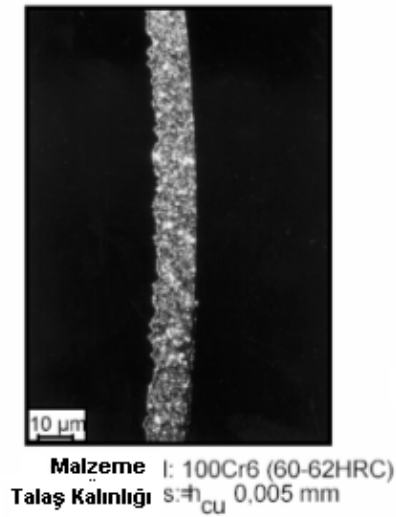
(sawtoothed) talaş oluşumunu gözlemlenmiştir.(Şekil 3-2). Şekil 3-3’de YSMT için talaş oluşum mekanizmasının adımları ve 100Cr6 malzemesinin işlenmesi sonucu oluşan talaş formu görülmektedir.



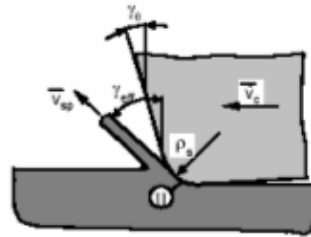
Şekil 3-3. Yüksek talaş kalınlıklarında talaş oluşum formu.

YSMT’de talaş derinliği çok küçük verilmiş ise sürekli talaş oluşumu meydana gelir(Şekil 3-4).

SÜREKLİ TALAŞ



İNCE FORMDA TALAŞ OLUŞUMU (source: Kaiser)



Şekil 3-4. Küçük talaş kalınlıklarında talaş formunun şekli.

4 METAL KESME İŞLEMİNİN ANALİZİNDE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİNİN KULLANILMASI

Bu bölümde, 1970 yılından itibaren sonlu elemanlar metodunun metal kesmedeki uygulamaları incelenmektedir. Bunun için ilk önce metal kesme işlemi ve bu işlemin sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmesi tanıtılmaktadır. Daha sonra literatürdeki sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılan metal kesme çalışmaları çeşitli açılardan sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma, metal kesme işlemindeki plastik deformasyonun, sürtünme nedeniyle oluşan ısı yumuşamanın ve talaşın kopmasının modellenmesinde kullanılan sonlu elemanlar yöntemindeki çözüm algoritmalarına, bünye ve kırılma denklemlerine ve temas algoritmalarına göre yapılmıştır. Günümüzde metal kesmede kullanılan paket programlardan Yaygın olarak kullanılan sonlu elemanlar temelli paket programlar, metal kesmedeki bazı yetersizlikleri yönünden değerlendirilmiştir.

Kesme esnasında ortaya çıkan aşağıdaki kavramlar incelendiğinde işlemin kompleksliği daha iyi anlaşılmaktadır.

- Sıcaklık ve yapışma etkilerinden dolayı kompleks malzeme davranışı
- Oldukça büyük lokal deformasyon ve gerinimlerin söz konusu olması
- Talaşın Kırılması (Fracture)
- Yumuşak Kırılma (Ductile Fracture)
- Gevrek Kırılma (Brittle Fracture)
- Talaş oluşumunu sağlayan çatlak başlangıcı ve yayılması
- Kırılgan Talaş Oluşumu (Brittle)
- Yumuşak Talaş Oluşumu (Ductile)
- Sürtünmenin Modellenmesi
- Kesici-İş parçası arasındaki sürtünme
- İş parçasının kendi iç yapısı içerisinde meydana gelen sürtünme
- Kontak Mekaniği

Bu bölümde, kompleks bir işlem olan metal kesmenin, nümerik bir yaklaşım olan sonlu elemanlar yöntemi yardımıyla simüle edilmesine genel bir bakış açısı getirilmiştir. Bu yaklaşım kullanılan yazılımları, yazılımların hangi algoritmaları kullandıklarını, özellikle de hangi talaş kopma kriteri temelinde analiz yaptıklarının anlaşılabilmesine yardımcı olacaktır. Ayrıca, günümüze kadar SEY kullanılarak yapılan analiz çalışmalarında girdi olarak hangi değişkenlerin verildiği ve ne tür çıktıların alındığında geniş olarak anlatılmıştır.

Kesme işleminin mekaniğinin açıklanması için bugüne kadar oldukça fazla analitik ve geometrik model ileri sürülmüştür. Araştırmacıların kesme proseslerinin daha iyi açıklanabilmesi için geliştirmiş oldukları deneysel formüller çok sınırlı kalmıştır. Bu modellerde bazı basitleştirmelere gidilmesine rağmen modellerde gereksinim duyulan bazı deneysel katsayıları her iş parçası-kesici çifti için elde etmek oldukça pahalı ve zor bir işlemdir.

Metal kesme işleminde talaş oluşumu esnasında deformasyon bölgelerinde;

- Yüksek hızda işleme esnasında sıcaklık değeri 1600°C kadar çıkmaktadır [Schulz,1992].
- Talaş yüzeyine etkiyen basınç 800Mpa 'a kadar yükselmektedir [Oxley,1989].
- Gerinim hızı ise $10^5 [s^{-1}]$ gibi çok yüksek bir değere ulaşmaktadır. [Özel,1999].

Malzeme özelliklerinin belirlenebilmesi için yukarıda bahsedilen farklı şartlarda malzemeye ait çekme ve basma testlerinin yapılmasına ihtiyaç vardır. Diğer bir konuda, kesici ile iş parçası arasındaki sürtünme şartlarıdır. Dik ve eğik kesme modellerinde kesme kuvvetlerinin, gerilmelerinin ve sıcaklığın tahmin edilebilmesi için sürtünme özelliklerinin bilinmesi zorunludur.

4.1 Literatür İncelemesi

Teknik literatür incelendiğinde sonlu elemanlar analizi ile talaş kaldırma işleminin tam anlamıyla simülasyonunun yapılamadığı görülmüştür. Başka bir deyişle kesme işleminin çeşitliliği ve kompleksliğinden dolayı tek bir proses modeli yada simülasyon tüm malzemeler ve kesme şartları için uygulanamaz. Aynı zamanda literatürde simülasyonlarla aynı şartlarda kesme işlemi deneyleri gerçekleştirilerek simülasyonun gerçeğe yakınlığı anlaşılmaya çalışılmıştır.

- Childs And Maekawa

Childs ve Maekawa dik kesme işleminin simülasyonunu elasto-plastik deformasyonu dikkate alan lagrangian formülasyonu kullanarak analiz etmişlerdir. Modellerinde başlangıç talaş şekli deformasyonun ilerlemesinin görülebilmesi için bazı kabuller esas alınmış ve gerinim hızı, gerinim ve sıcaklığı dikkate alan bir akma gerilmesi modeli kullanmışlardır[Childs, 1990]. Onların hedefi kesici yüzeyindeki normal gerilmeler ve aşınma modeli temelli sıcaklık değerini kullanarak takım aşınmasının tahmin edilmesi idi. Tahmin ettikleri kesme kuvvetlerini ve takım aşınmasını deneysel olarak elde ettikleri kuvvet ve aşınma değerleri ile karşılaştırmışlar ve kabul edilebilir bir değeri elde etmişlerdir. Daha sonra Maekawa [Maekawa ,1996] var olan modellerini 3 boyutlu olarak simüle etmiştir. Sonraki çalışmada Childs [Childs,1997] tarafından düşük karbonlu çeliklerin sonlu elemanlar ile analizi yapılmıştır. Sıfır talaş açısında yapmış oldukları deneyden elde etmiş oldukları sürtünme katsayısını kullanarak kesici talaş yüzeyi üzerindeki normal ve sürtünme kuvvetlerini tahmin etmeye çalışmışlardır.

- Eldridge

Eldridge [Eldridge, 1991] termo-viskoplastik sonlu elemanlar yöntemini kullanarak dik kesme işlemini simüle etmiştir. Bu model ile iş parçası ve kesicideki gerilmeler, gerinim, gerinim hızı ve sıcaklık dağılımı tahmin edilebilmiştir.

- Iwata

Bu modelde iş parçası rijit-plastik kabul edilmiş ve talaş geometrisi içinde iteratif çözüm geliştirilmiştir[Iwata, 1984] . Daha sonra araştırmacıların çoğu kararlı durumdaki talaş geometrisini simüle edebilmek için bu yaklaşımı kullanmışlardır.

- Klamecki

Sonlu elemanlar yöntemini kullanarak kesme işleminin analizini ilk yapan araştırmacıdır. [Klamecki, 1973]. Klameckinin modeli gerinim hızı ve sürtünme etkisini içermemekteydi. Daha sonra bu model Klamecki tarafından geliştirilerek termo-elastik-plastik deformasyonu dikkate alarak kesme işleminin analizi yapılmıştır[Klamecki ,1988].

- Komvopoulos ve Erpenbeck

Genel amaçlı Abaqus-2D yazılımını ve yenilenmiş langrange sonlu elemanlar modelini kullanarak dik metal kesme işleminin analizini yapmışlardır[Komvopoulos, 1991]. Çalışmalarında kesici-talaş arayüzündeki sürtünme ve iş parçası malzemesinin plastik akışı gibi değişkenlerin etkilerini incelemişlerdir. Elasto-plastik malzeme modelleri kullanılarak izotropik gerinim sertleşmesi ve gerinim hızıda hesaba katılarak analizler yapmışlardır. Talaş ayrılma kriteri olarak da ayrılma hattında ki düğüm noktalarındaki efektif gerinim dikkate alınmıştır. Talaş yüzeyindeki sürtünmeyi Coulomb yasasına göre modellemişler ve farklı sürtünme katsayıları kullanarak analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Orta sertlikteki çelikler için 3 boyutlu dik ve eğik kesme analizleri yapmışlardır. Kesme sıcaklığı, kayma açısı ve temas uzunluğu gibi talaş geometrisine ait değerleri deneysel sonuçlarla kıyaslamışlardır.

- Sekhon and Chenot

Sekhon ve Chenot [Sekhon ve Chenot, 1992] metal şekillendirme işlemlerinde kullanılan FORGE-2D adlı yazılım ile dik kesme işleminin analizini yapmışlardır. Talaş kopmasını simüle edebilmek için otomatik yeniden ağ örme algoritması ile yenilenmiş implicit (kapalı) Langrange formülasyon kullanılmıştır. Talaş formunun şekillerini deneysel doğrulama yapmadan sunmuşlardır. Daha sonra Fourment [Fourment,1997] FORGE 2D yazılımını orta sertlikteki çeliklerin işlenmesi esnasında oluşan takım aşınması ve talaş akışının simüle edilmesinde kullanmıştır.

- Shih

Shih [Shih ,1990] sürtünmeyi, gerinim hızını, malzeme akma gerilmesini ve elasto-viskoplastisite etkilerini dikkate alan langrange formülasyonu kullanılan 2 boyutlu bir model kurmuştur. Columb'un sürtünme yasasını modele uygulamış, modele göre yapışma bölgesinde sürtünme kuvveti sabit bir değer iken kayma bölgesinde değiştiği kabul edilmiştir. Ayrılma kriteri olarak kesicinin ucundaki nodlar dikkate alınmıştır. Düşük karbon içerikli çelikler için 35 m/dak hızda kesme işleminin analizi simüle edilmiş ve deneysel sonuçlarla da analiz sonuçları doğrulanmıştır [Shih, 1996; Shih 1995].

- Strenkowski

Kesme işlemi için ilk olarak langrange formülasyonu kullanarak talaş oluşumunu simüle etmiştir[Strenkowski,1985]. NIKE 2D yazılımında bazı değişiklikler yaparak sonlu elemanlar analizini gerçekleştirmiştir. Bu modelde malzeme elasto-plastik düşünülmüş ama gerinim hızı etkisi ihmal edilmiştir. Kesici, iş parçası arasındaki sürtünme katsayısı sabit alınmıştır. Ayrılma kriteri olarak kesicinin en uç noktasındaki elemanların efektif gerinimleri temel kabul edilmiştir. Bu kriter, talaş geometrisi ve kesme kuvvetlerini etkilemezken kalıntı gerilmeler üzerinde oldukça hesap doğruluğu açısından negatif yönde etki bırakmıştır.

Daha sonra viskoplastik malzeme modeli kullanılarak Eularian method temelli, malzeme akışının, kontrol edilen bir hacim içerisinde kabul edildiği sonlu elemanlar

ağ yapısını kullanarak kesme işlemini simüle etmiştir. Eularian metodun avantajları açık yok olma (explicit failure) kriterine ihtiyaç duymaması, elemanların aşırı çarpılmaması ve böylelikle yeniden ağ örmeye gerek kalmaması olarak sıralanabilir. Bununla beraber önceden talaş oluşum hattının belirtilmesi gerekebilir. İş parçasının malzeme özelliklerinin üzerinde gerinim hızı ve sıcaklığın etkisinin olmaması için 0.072 m/dak gibi çok düşük hızlar için analizler gerçekleştirilmiştir [Strenkowski, 1986].

Daha sonra talaş geometrisinin otomatik olarak yenilenmesi ve doğru olarak tahmin edilebilmesi için Eularian sonlu elemanlar modelini bu yönde iyileştirmiştir. Bu model de her adımda hız ve sıcaklık dağılımı hesaplanmış ve buna göre talaş geometrisi revize edilmiştir. Gerinim hızını dikkate almayan bir malzeme modeli kullanarak alüminyum alaşımı için için simülasyonları yapmış ve deneysel sonuçlarla karşılaştırmıştır. Daha sonra yumuşak (ductile) rejimdeki kesme işleminin analizini yapabilmek için kırılma kriterini de ekleyerek modeli daha da geliştirmiştir. Difüzyon aşınma modelini kullanarak dik kesme işlemi için takım aşınmasını tahmin etmiştir [Strenkowski, 1990]. Bu analiz aynı zamanda kesici-talaş ve iş parçası arasındaki ısı alışverişinde dikkate aldığından talaş formunu tahmin etmede oldukça doğru sonuçlar vermiştir. Bilgisayarda elde edilen sıcaklık ve kuvvet değerlerini deneysel sonuçlarla kıyaslamış ve birbirlerine çok yakın oldukları görülmüştür. Bu model, aynı zamanda dik kesme işleminde yığma kenar aşınmasını tahmin edebilmektedir.

- Ueda

Ueda [Ueda, 1992] kesme işleminde oluşan talaş şeklini simüle edebilmek için nümerik bir yaklaşım kullanmıştır. Bu yaklaşım Merchant'ın kayma düzlemi çözümü yöntemi ile oldukça geniş talaş derinliği ve değişik kesme hız değerleri için uygulanmıştır. Çalışmada özellikle transit talaş formu detaylı olarak çalışılmıştır. Kesme hızı ve talaş derinliğinin kesme sıcaklığı üzerindeki etkileri araştırmış ve deneysel bulgularla analiz sonuçları birbirine çok yakın değerler çıkmıştır. Ueda modeli dahada geliştirerek tek köşeli kesici takım için eğik kesme işleminin simülasyonunu yapmış ve deneysel datalarla paralellik gösteren sonuçlar elde etmiştir[Ueda ,1993].

- Ceretti ve Altan

Ceretti [Ceretti ,1996]) büyük plastik deformasyonlar için çözüm yapabilen Langrangian kapalı (implicit) formülasyon temelli DEFORM 2D yazılımını kullanarak kararlı durumdaki dik kesme işleminin analizini yapmıştır. Bu yazılım otomatik olarak yeniden ağ örme algoritmasına sahip ve iş parçasına ait yüksek gerinim ve sıcaklık değerlerindeki akma gerilme datalarını girdi olarak kabul etmektedir. Sürekli talaş oluşumu, talaş açısı ve kesme hızının etkilerini analizler ile elde etmeye çalışmıştır. Aynı zamanda testere diş tipi talaş oluşumunu simüle edebilmek için yazılıma kritik hasar (damage) değerine ulaşıldığında elemanları silen bir algoritma ekleyerek kırılma mekaniği açısından da işlemin analizini yapmışlardır.

Sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan çalışmaları proses temelli ve nümerik prosedür ve modelleme algoritmaları temelli olmak üzere iki alt başlıkta incelemek daha iyi bir yaklaşım olacaktır.

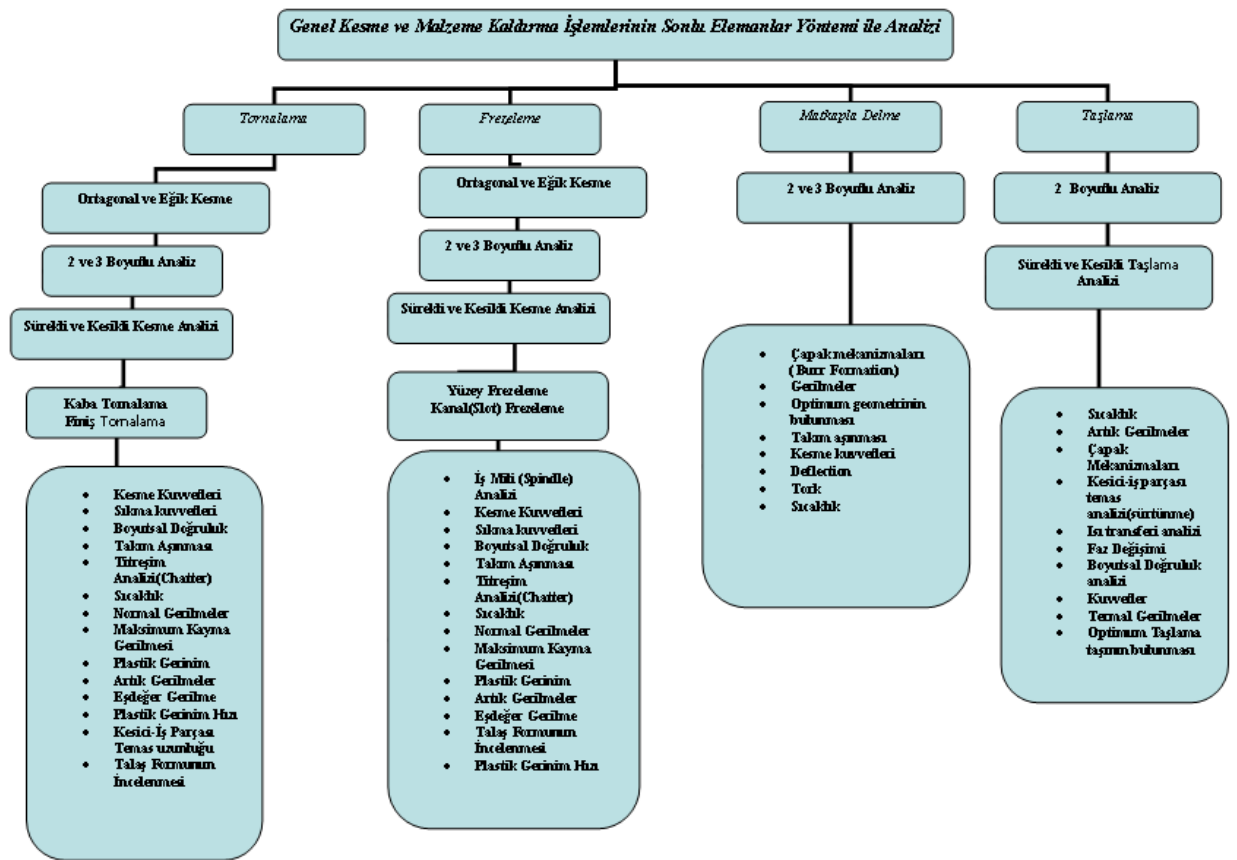
4.1.1 Proses Temelli Sınıflandırma

Sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan analizlerin deneysel sonuçlara göre doğruluk dereceleri değişkenlik göstermektedir. Sonlu Elemanlar yöntemi kullanılarak metal kesme alanında yapılan akademik çalışmaların iyi bir özeti Mackerle [Mackerle, 1999] tarafından 1999 yılında yayınlanmıştır. Mackerle bu çalışmasında 1976-1996 yılları arasında bu alanda yapılan çalışmaları incelemiştir. Ancak, Mackerle ayrıntıya girmeden çalışmaların sadece isimlerini vermiş, modelleme sürecinde kullanılan kompleks kavramlara ve algoritmalara hiç değinmemiştir.

Yapılan analiz çalışmaları proses temelli olarak tornalama, frezeleme, taşlama ve matkapla delme olmak üzere dört başlık altında sınıflandırıldı. Bu sınıflamaya testere ile kesme ve broşlamada eklenebilirdi fakat temel konseptlerin açıklanması amaç edinildiğinden dahil edilmemişlerdir. Kesme işlemi modellenirken, ortagonal ve eğik, sürekli ve kesikli, 2 boyutlu (plane strain modeling) ve 3 boyutlu (Solid Modeling) modelleme olarak alt başlıklara da ayrılabilirler(Tablo 4.1).

Analizler sonucu hangi dataların çıktı olarak alındıkları Tablo 4.1’de ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Tablodan anlaşılabileceği gibi analizler sonucunda kesme kuvvetleri, sıkma kuvvetleri, boyutsal doğruluk, takım aşınması, titreşim sıcaklık, normal gerilmeler, maksimum kayma gerilmesi, plastik gerinim,artık gerilmeler, eşdeğer gerilme, plastik gerinim hızı, kesici-iş parçası temas uzunluğu ve talaş formu hakkında çıkarımlar elde edilebilmektedir.

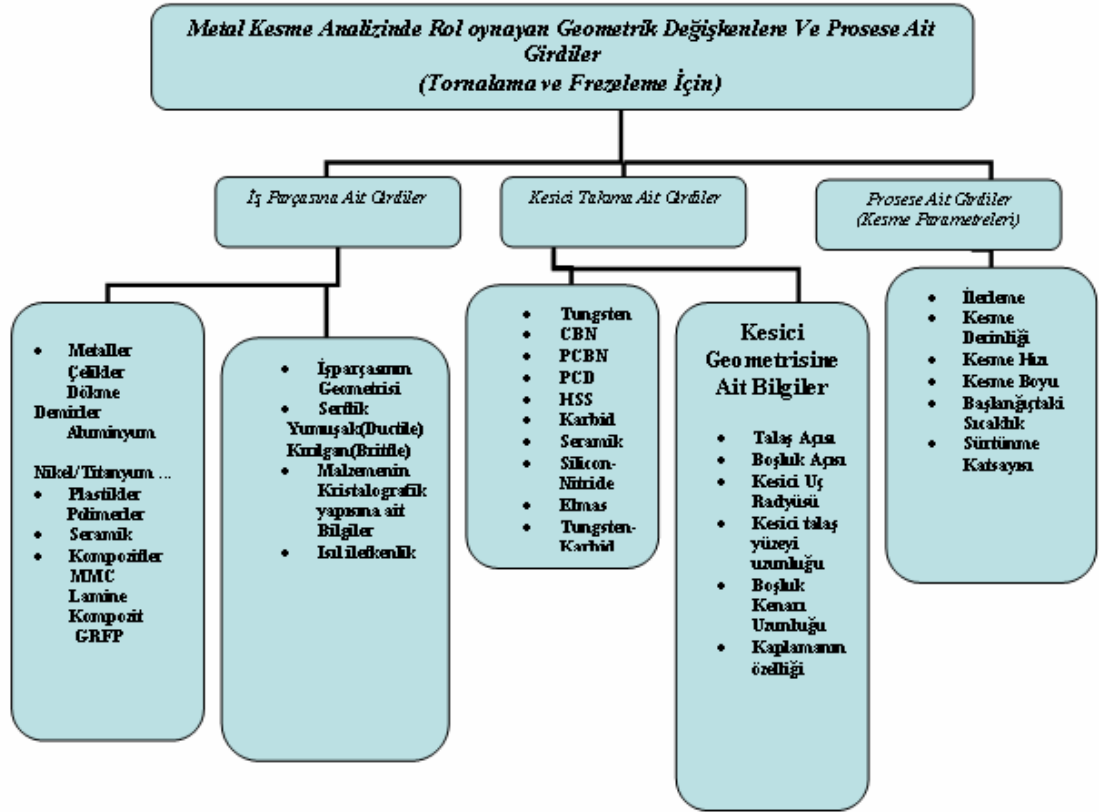
Tablo 4. 1 Sonlu elemanlar yönteminin Proses Temelli Sınıflandırılması



4.1.1.1 Metal Kesme Analizinde Rol Oynayan Geometrik Değişkenler Ve Kesme İşlemine Ait Girdiler

Geometrik değişkenler, kesici ve iş parçasının geometrisine ait bilgilerdir. Prosese ait girdiler ise ilerleme hızı, kesme hızı, devir, kesme derinliği vb. kesme parametreleridir. Ayrıca kesici ve iş parçasına ait malzeme özellikleride çok önemli girdilerdir. Bunlar Tablo 4.2’de ayrıntılı olarak gösterilmektedir.

Tablo 4. 2. Metal Kesme Analizinde Rol Oynayan Geometrik Değişkenler ve Kesme işlemine Ait Girdiler



4.1.2 Nümerik Prosedür ve Modelleme Algoritması Temelli Sınıflandırma

4.1.2.1 Kullanılan Mühendislik Yazılımları

AdvantEdge 2D / 3D (Langrangian- Explicit)

Deform 2D / 3D (Langrangian – Implicit/Explicit)

Nike2D (Langrangian -Explicit)

LS DYNA (Langrangian- Explicit/Implicit)

FORGE2D (Langrangian-Implicit)

DYNA 3D Explicit

ABAQUS/Explicit (Langrangian)

ABAQUS/Standart (Langrangian-Implicit)

MARC (Langrangian -Implicit)

ANSYS/LS DYNA (Langrangian-Explicit)

SIMPLE(Langrangian-Implicit-In house code)

MSC.AutoForge

4.1.2.2 Malzeme Kopma Kriterleri(Chip Seperation) [Bagci, 2003]

Enerji [Usui and Shirakashi, 1982]

Kritik Gerilme [Iwata,Osakada and Terasaka, 1984], (40,16,29)

Toplam Efektif Plastik Gerinim [Strenkowski and Carroll, 1985]

Efektif Plastik gerinim [Mitchum, 1987; Carroll and Strenkowski, 1988;Guo, 1997]

Mesafe [Shin, Chandrasehar, et al., 1990; Komvopoulos and Erpenbeck, 1991;Zhang and Bagchi, 1994; McClain, B., etal., 2002]

Mesafe/Efektif Plastik Gerinim [Park, 1996]

Gerinim Enerji Yoğunluğu [Lin and Lin, 1992]

Kırılma Kriteri [Ceretti, E., et al., 1999]

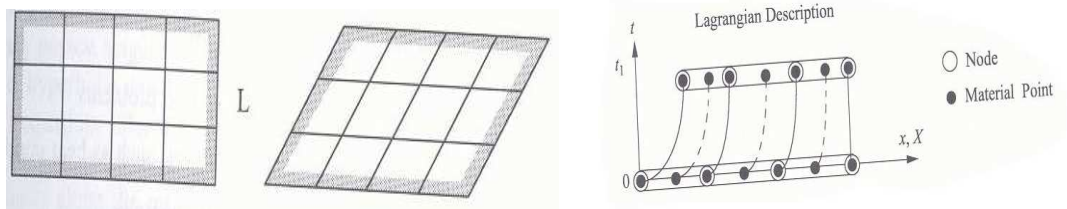
Kontak Algoritmaları (Tied-Break kontak), (Ansys/LS DYNA user manual)

4.1.2.3 Sonlu Elemanlar Ağı Oluşturma Algoritmaları

Kesme esnasında iş parçasından kopan talaşlar kesicinin talaş yüzeyi boyunca kayar. Bu işlem esnasında mevcut sonlu elemanlar ağı yapısı büyük bir deformasyona uğrar ve mevcut haliyle hesap doğruluğunu kaybeder.

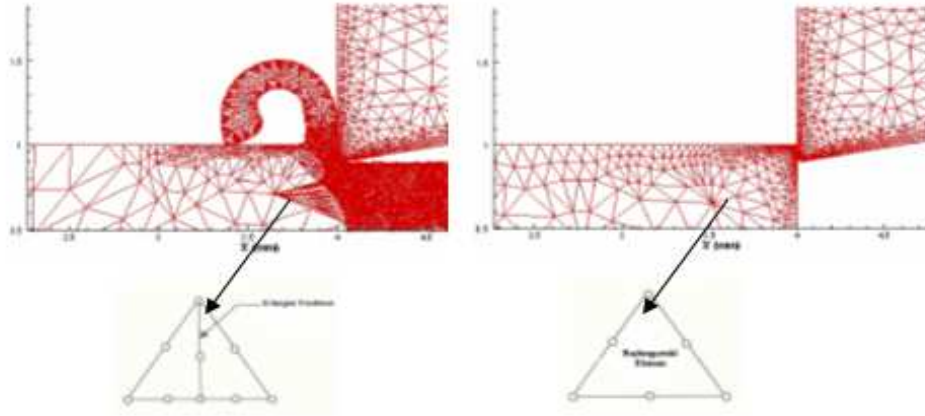
4.1.2.3.1 Langrangian Ağ Yapısı

Langrangian teknikte node'lar ile malzemeye ait noktalar deformasyon sırasında beraber hareket ederler. Yani ağ yapısı, deformasyona bağlı olarak değişir.



Şekil 4-1.Langrangian ağ yapısı ve deformasyon şekli [Belytschko, 2001].

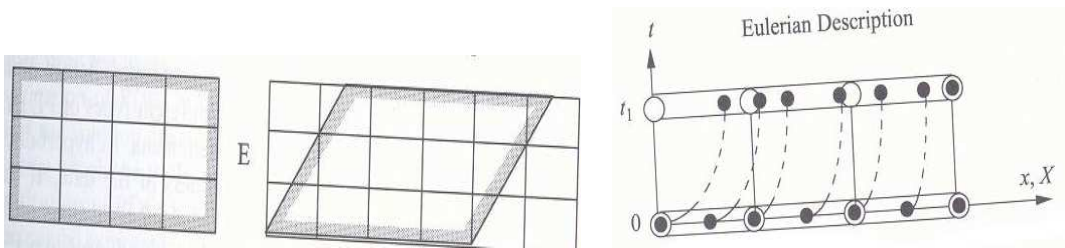
Thirdwave AdvantEdge periyodik olarak sonlu elemanlar ağ yapısını belirlenen minimum ve maksimum eleman boyu değerlerine göre yeniden örür(remeshing), küçülmüş elemanları büyültmekte ve aşırı büyümüş elemanları ise sınırlar dahilinde küçültmektedir(refining). Şekil 4-2(a) ve (b) başlangıçtaki ve analiz esnasında oluşan ağ yapıları ve yenileme algoritması görülmektedir.



Şekil 4-2.Başlangıçtaki ve analiz esnasındaki ağ yapıları ve yeniden ağ örme algoritması[Bağcı, 2003].

4.1.2.3.2 Eulerian Ağ Yapısı

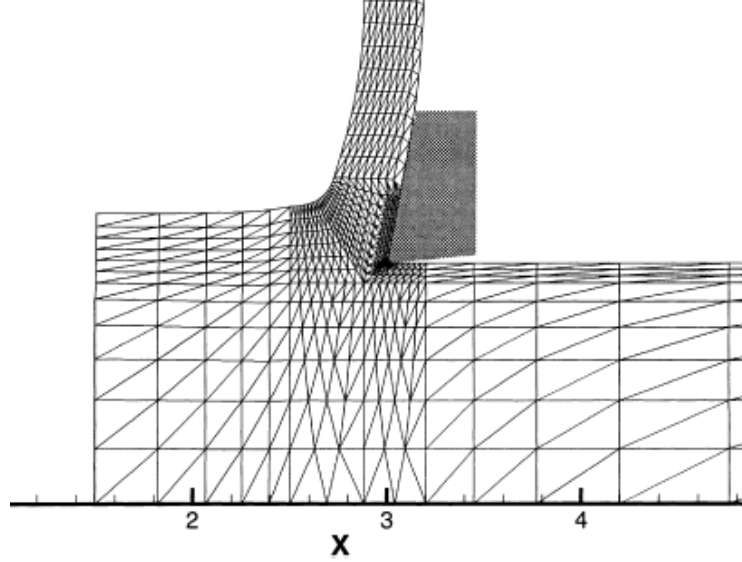
Deformasyon gerçekleştiğinde ağ yapısı sabit kalır, malzemeye ait noktalar yer değiştirir(Şekil 4-3)



Şekil 4-3.Eularian ağ yapısı ve deformasyon şekli [Belytschko, 2001]

4.1.2.3.3 Arbitrary Lagrangian-Eulerian Ağ Yapısı

ALE olarak kısaltılan bu yaklaşım gerçeğe daha yakın sonuç vermektedir. Çünkü, aşırı çarpılmaya uğramış ağ elemanlarını düzelterek yenilemekte, yani hesap doğruluğunu artırmaktadır.



Şekil 4-4.ALE ağ yapısı ve deformasyon şekli [Gadala, 1999]

4.1.2.4 Kullanılan Malzeme Modelleri [Bagci, 2003]

Rigid-plastic [Iwata et al., 1984; Moriwaki et al., 1993; Ueda and Manabe, 1993]

Elastic-plastic [Klamecki, 1973; Lajczok, 1980; Usui and Shirakashi, 1982; Strenkowski and Carrol, 1985; Komvopoulos and Erpenbeck, 1991; Zhang and Bagchi, 1994]

Elasto-viscoplastic [Bagci, 2003]

Elastic- perfectly plastic and Elastic-plastic with work hardening [Zhang L., 1998]

Viscoplastic [Strenkowski and Carrol, 1986; Strenkowski and Moon, 1990; Joshi et al., 1994]

Thermo-elastic-plastic [Lin and Lin, 1992; Lin and Pan, 1993; Lin and Liu,1996]

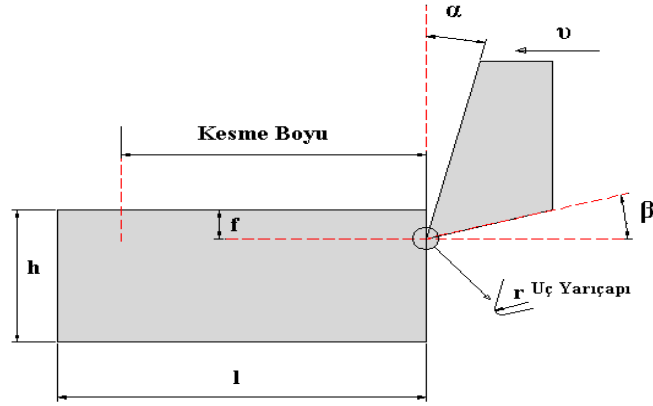
Thermo-elastic-viscoplastic [Shih and Yang, 1993; Shih, 1995; 1996]

Thermo-viscoplastic [Wu et al., 1996; Kim and Sin, 1996]

Johnson-Cook Material model with Damage Model [Bacaria.,et al., 2000; Mc Clain, et al.,2002]

4.2 Sonlu Elemanlar Yöntemi Kullanılarak Yapılan Metal Kesmenin Analizinin Basit Bir Akış Algoritması

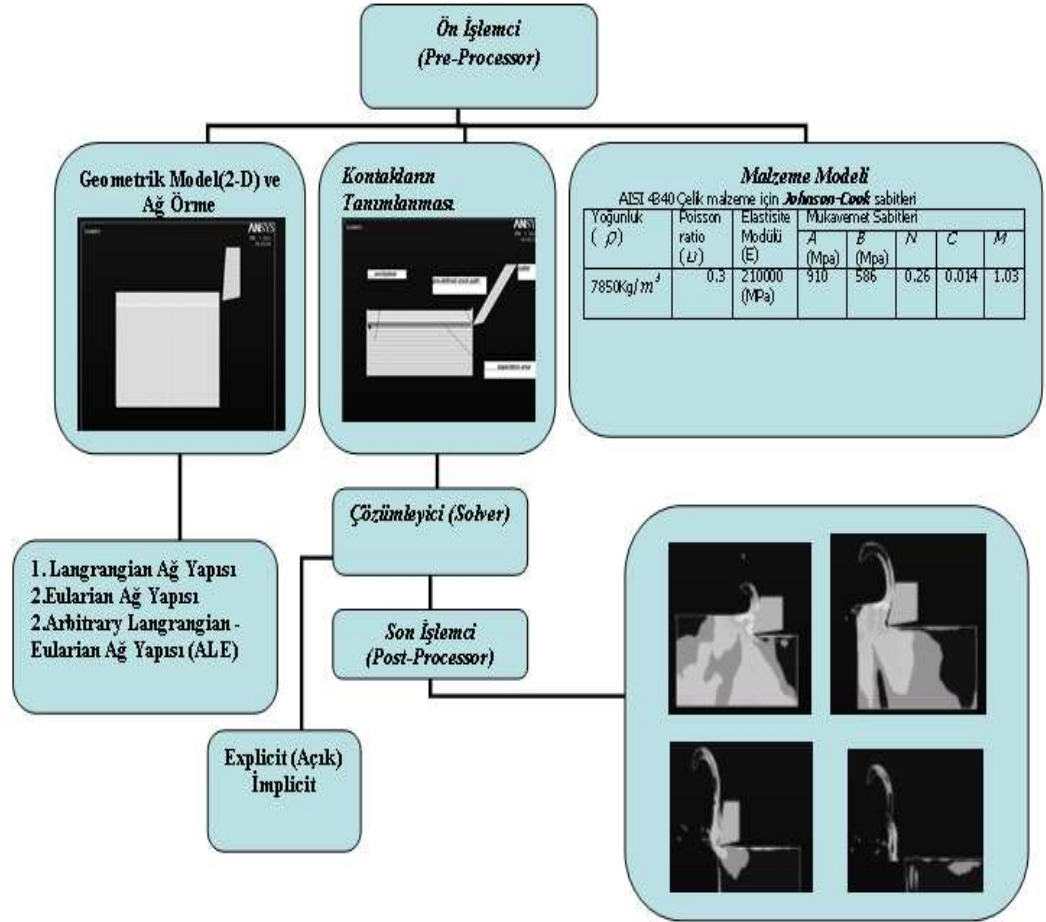
Tablo 4-3’de görülen akış diyagramında yukarıda bahsedilen ve analizde kullanılan kavramların, daha iyi anlaşılabilmesi için Ansys / Ls Dyna yazılımı kullanılarak yapılan metal kesme analizinin işlem basamakları ayrıntılı olarak açıklanmıştır[Bağcı, 2003Konya]



Şekil 4-5. Dik metal kesme işleminin şematik gösterimi.

Burada; (r) kesici takımın uç yarıçapını, (α) talaş açısını, (β) boşluk açısını, (v) kesme hızını, (l) kesilecek iş parçasının boyunu, (f) ilerlemeyi ve (h) iş parçasının yüksekliğini ifade etmektedir(Şekil 4-5). İş parçası olarak, AISI 1020 ve Al 2024 malzemeleri yukarıdaki formülasyonlara göre modellenmiş ve kesici takım malzemesi olarak da sementit karbür kesici takım (carbide) kullanılmıştır.

Tablo 4. 3.Metal Kesmenin Analizinin Basit Bir Akış Algoritması.



Simülasyon sonucunda sıcaklık, gerilmeler (eşdeğer gerilme, XX ve Y-Y yönündeki gerilmeler, Kalıntı gerilmeler), Kesme kuvvetleri, plastik şekil değişim oranı, gerinim ve gerinim hız değerleri gibi çıktılar elde edilebilir. Ek 1’de Thirdwave AdvantEdge metal kesme simülasyonu programında kesme işlemine ait elde edilebilecek çıktılar ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

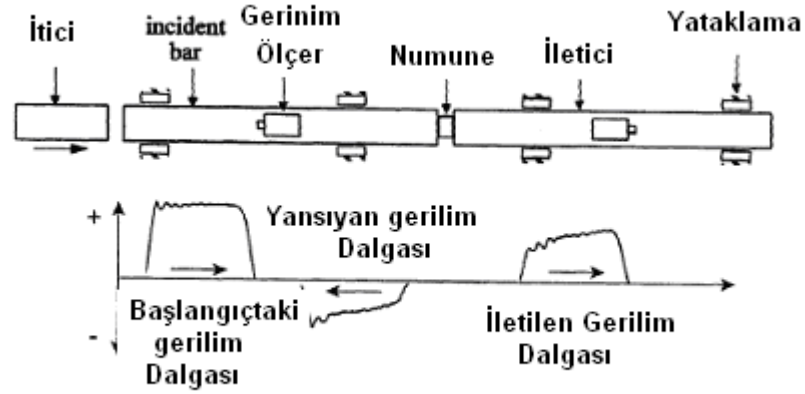
4.3 Metal Kesme İşleminin Analizinde Karşılaşılan Temel Problemler (Flow Stress Models For Workpiece Materials)

4.3.1 Analizde Kullanılacak Olan Malzeme Modellerine Ait Sabitlerin Bulunması

Analizle uğraşan kişilerin en çok sıkıntı çektikleri konuların başında malzemeye ait datanın bulunamaması, yahut bulunsa dahi güvenilirliğinin ne olduğu konusu gelmektedir. Örneğin, AISI 4340 malzemesi Johnson-Cook malzeme modelini kullanılarak analiz programına girdi olarak verilmek istenirse malzemeye ait; yoğunluk, Poisson oranı, Elastisite Modülü, Mukavemet Sabitleri olan A, B, C, N, M ve D ile ifade edilen kırılma sabitlerine ait beş datanın daha girilmesi zorunludur [Jaspers, 1999].

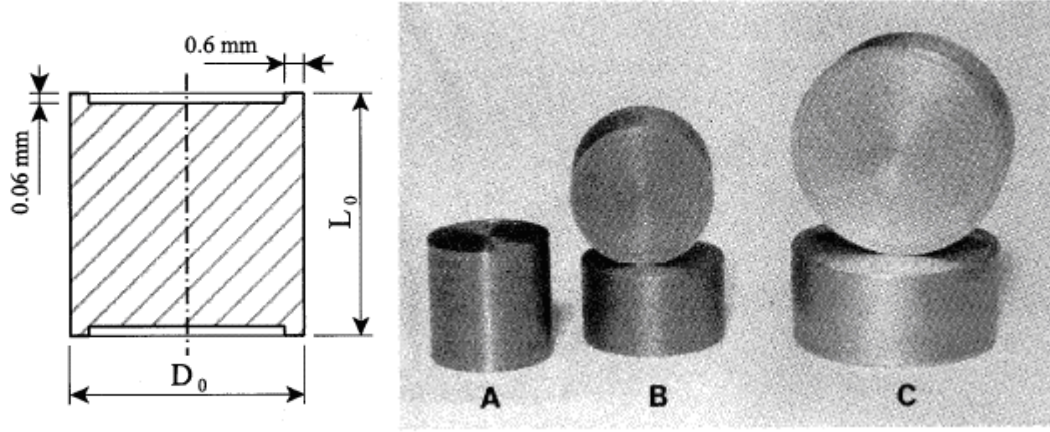
Bu dataları elde etmek için yapılan testler aşağıda verilmiştir.

- Split Hopkinson Pressure Bar testleri [Jaspers, 1999].



Şekil 4-6.Split Hopkinson Pressure Bar test şeması.

- Düşük (Rastegaev tipi) ve yüksek gerinim hızlarında yapılan basınç testleri [Jaspers, 1999].



Şekil 4-7.Düşük (Rastegaev tipi) ve yüksek gerinim hızlarında yapılan basınç testleri

Kesicinin talaş yüzeyinde oluşan değişkenleri deneysel olarak ölçmek için fotoelastik test yöntemi kullanılmaktadır[Kistler, 1997; Yang, 2002]. Bu testlerin yapılabilmesi için gerekli teçhizatın tedarik edilmesi ve testlerin yapılması çok pahalı ve zaman alan bir işlemdir. Aslında analiz programları amprik çalışmalardan elde edilen dataları girdi olarak aldıkları için gerçeğe yakınsama oranları daha da artmaktadır.

4.4 Kesici İle Talaş Arasında Oluşan Sürtünmenin Modellenmesinde Karşılaşılan Güçlükler ve Kullanılan Sürtünme Modelleri

Kesme esnasında oluşan kesici–talaş temas bölgesindeki sürtünme çok kompleks bir kavramdır[Kalhorı, 2001]. Sürtünme; oluşan talaşın formunu, kesme sıcaklığını, takım aşınmasını doğrudan etkilemektedir. Analiz yapan programlara μ sürtünme katsayısı, ya sabit bir sayı olarak girilir ya da komponentler arasında sürtünmeli

kontak (frictional contact) tanımlamak suretiyle verilir. Gerçekte μ sürtünme katsayısı sabit bir değer olamaz, çünkü sürtünme değişken yani dinamiktir.

- Sonlu elemanlar temelli çalışan programların kullanmış oldukları sürtünme modelleme yaklaşımları;

Coulomb'un sürtünme yasası [Kalhori, 2001]

Zorev yaklaşımı [Kim, 1995; Bağcı, 2003]

Kayma tabanlı sürtünme modeli [Kalhori, 2001]

- Yazılımların çoğunun adaptif ağ yenileme algoritmasına sahip olmaması hesaplama yanlışlarına sebep olmaktadır.
- İş parçasının sıcaklık etkisiyle sertliğinin artmış olması belki de iç yapısında değişim yaşanması malzemenin özelliklerini etkileyecek dolayısıyla başlangıçta girilmiş olan malzeme sabitlerinden farklılık arz edeceği için yanlış hesaplamalara yol açacaktır.

4.5 Yeni Bir Konsept Olan Ağsız Sonlu Elemanlar (Meshless) Metodunun (SPH) Metal Kesme İşlemlerinin Analizi İçin Kullanılması

Günümüzde kullanılan klasik sonlu elemanlar uygulamaları ve bu temel üzerine dayanan hazır paket programlar birçok yapısal soruna çözüm üretmek için yeterli düzeye ulaşmışlardır. Ancak yüksek şekil değişimlerinin olduğu, geometrinin çok kompleks ve değişken hal aldığı metal şekillendirme problemlerinde eleman yapının bozulması çok büyük bir problemdir. Aşırı çarpılan sonlu elemanlar ağ (mesh) yapısı yanlış değerler üretilmesine ve çözüm zamanının artmasına sebep olmaktadır. Çarpılmanın çok yüksek olduğu bazı durumlarda ise çözüm yapmak mümkün olamamaktadır. Bu problemin ortadan kaldırılması için tekrar ağ oluşturma (remeshing) ve ağ yapısının düzeltilmesi (Arbitrary Lagrangian Eulerian -ALE) gibi çözümler gündeme gelmektedir.

Ağırsız(meshless) yöntemlerin kullanılması yapıdaki ağ yapısının çarpılmasına farklı bir çözüm yolu ortaya koymaktadır. SPH (smoothed particles hydrodynamics) metodu ağırsız bir metoddur ve yapının serbest hareket edebilen parçacıklar ile temsiline dayanır. Bu parçacıklar belirli bazı kriterler ile birbirleriyle etkileşim halindedirler.

Bu bölümde ilk olarak ağırsız metodun temel ilkelerinden bahsedilecek ve ardından LS-DYNA programı ile bu metodun kullanılması anlatılacaktır. Aşağıda SPH metodu hakkında temel ilkeler verilmiştir.

4.5.1 SPH (Smoothed Particles Hydrodynamics) Metodunun Temel İlkeleri

Parçacık metodu olarak adlandırılan bu yöntem hareket eden parçacığı ifade eden; $(x_i(t), w_i(t))_{i \in P}$ kuadratik formülüne dayanmaktadır. Burada $(x_i(t))$ i'nci parçacığın konumu, $w_i(t)$ i'nci parçacığın ağırlığı ve P parçacık setini göstermektedir. Parçacık v bölgesinde belirli bir karakteristik eğri üzerinde hareket etmekte ve ağırlığı hacim korumunu sağlamak için düzeltilmektedir[Lacome,2001]:

$$(i) \frac{d}{dt} x_i = v(x_i, t) \quad (ii) \frac{d}{dt} w_i = \text{div}(v(x_i, t)) w_i \quad (4.1)$$

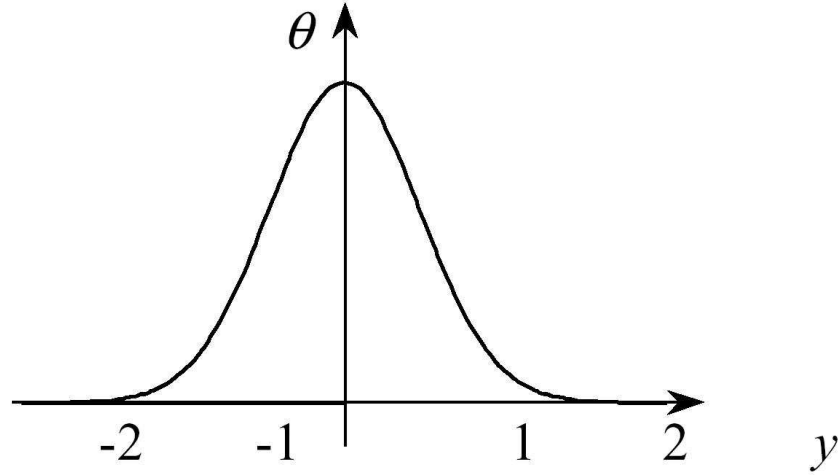
Buna göre aşağıdaki formül yazılabilir:

$$\int_{\Omega} f(x) d_x = \sum_{j \in P} w_j(t) f(x_j(t)) \quad (4.2)$$

Yukarıdaki kuadratik fonksiyon, parçacık çekirdeğinin düzgünleştirilmesiyle (smoothing particle kernel) birlikte kullanılmaktadır. Parçacık çekirdeğinin düzgünleştirilmesi θ yardımcı fonksiyonu ile yapılmaktadır. SPH eleman topluluğu basitleştirme için düzen içeren, bir kübik B-eğrisi üzerine dağılmıştır. Ve aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$\theta(y) = C \times \begin{cases} 1 - \frac{3}{2}y^2 + \frac{3}{4}y^3; y \leq 1 \\ \frac{1}{4}(2-y)^3; 1 < y \leq 2 \\ 0; y > 2 \end{cases} \quad (4.3)$$

burada C boyuta bağılı olarak belirlenen bir katsayıyı ifade etmektedir.



Şekil 4-8 Parçacık dağılımı

Yeterli elemana sahip olunduğunda, düzgünleştirilmiş parçacık çekirdeği W :

$$W(x_i - x_j, \bar{h}) = \frac{1}{\bar{h}} \theta\left(\frac{x_i - x_j}{\bar{h}}\right) \quad (4.4)$$

$\bar{h} \longrightarrow 0$ olduğunda, $W(x_i - x_j, \bar{h}) \longrightarrow \delta$ Burada, δ Dirac fonksiyonudur. $\bar{h}$ ise x_i ve x_j nin fonksiyonudur ve “parçacık çekirdeği düzgünleştirme çapı” (smoothing length of kernel) olarak adlandırılmaktadır.

Denklem (4.2) kullanılarak u nun fonksiyonu olan aşağıdaki $\prod^h u$ yaklaşım ifadesi yazılabilir:

$$\prod^h u(x_i) = \sum_{j \in \Omega} w_j(t) u(x_j) W(x_i - x_j, \bar{h}) \quad (4.5)$$

Düğümleştirilmiş uzunluğa türev ifadesi eklendiğinde ise aşağıdaki ifade elde edilir :

$$\nabla \prod^h u(x_i) = \sum_{j \in \Omega} w_j(t) u(x_j) \nabla W(x_i - x_j, \bar{h}) \quad (4.6)$$

Sonlu elemanlar veya sonlu farklar yönteminde elimizde sadece bir tane uzaysal diskritizasyon parametresi bulunmaktadır. SPH metodunun klasik metodlar karşısında ortaya koyduğu en önemli fark uzaysal tanımlama için iki parameter sunmasıdır. Bunlardan biri $\bar{h}$, düzgünleştirme uzunluğu ve diğeri Δx , ağ karakteristik uzunluğudur.

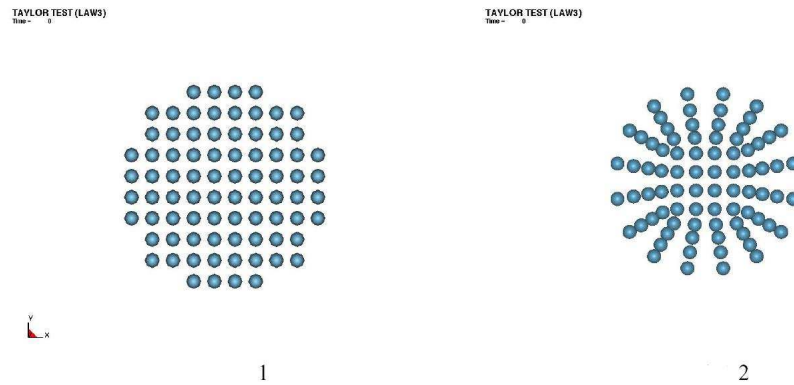
70’li yılların sonunda yeni başlayan çalışmalarda düzgünleştirme uzunluğu bütün simülasyon boyunca her eleman için sabit tutulmaktaydı. Son yıllardaki çalışmalar, bu değerin her eleman için, bulunduğu bölgeye bağlı olarak, elemana has bir değer almasının daha avantajlı olduğunu göstermiştir. Düzgünleştirme uzunluğu $\bar{h}$, aslında x_i ile x_j arasındaki ortalama değeri ifade etmektedir. Erken dönemde yapılan çalışmalarda bu değer $\bar{h} = (h(x_i) + h(x_j)) / 2$ olarak hesaplanmaktaydı. $h(x_i)$ ve $h(x_j)$ ifadeleri sırasıyla x_i ve x_j parçacıklarının düzgünleştirme uzunluklarını ifade etmektedir. Bu şekilde ifade edilmesi korunum yasasının kolaylıkla sağlanmasına olanak vermektedir[Bican, 2004].

Son dönemdeki çalışmalar bu yaklaşımın tutarlı olamadığını ve karalı olamayan sonuçlar üretildiğini göstermiştir. 1996 yılından bu yana tekrar normalleştirme (renormalization), hareketli en küçük kareler (moving least square) gibi yeni nesil metodlar tercih edilmektedir. Bu yaklaşımlar daha kararlı ve yakınsayan değerler vermektedir. Düzgünleştirme uzunluğu $\bar{h} = h(x_i)$ şeklinde ifade edilmektedir. Merkezinde x_i parçacığının bulunduğu ve yarıçapı $h(x_i)$ olan küresel hacmin içindeki parçacıkların ortalama değerlerini tanımlamaktadır. Bu formülasyon LS-DYNA’da kullanılmaktadır ve “toplanmış formülasyon” (gather formulation) olarak adlandırılmaktadır. Yapılan çalışmalarda bu yaklaşımın en yüksek hassasiyeti sağladığı görülmüştür.

4.5.2 LS-DYNA ile SPH Metodunun Uygulanması

960 versiyonu ile birlikte LS-DYNA programına yeni bir parçacık eleman ilave edilmiştir. Bu yeni eleman Düzgün Akışkan Parçacık (Smooth Particles Hydrodynamics) teorisine dayanmaktadır. SPH genellikle, çok yüksek hızlarda gerçekleşen çarpışma hadiselerini modellemekte kullanılan ağırsız, lagrange tipi numerik bir tekniktir. SPH metodu, çok büyük ağ çarpılmasının görüldüğü çok yüksek (3 km. ve üzeri) hızlardaki çarpma, çarpışma veya sıkıştırılabilir akışların modellenmesine olanak vermektedir.

SPH elemanları şu anda kullanılan ızgaralama (grid generation) yönteminden kaynaklanan bir gereksinim olarak koordinat ve kütle bilgilerine ihtiyaç duymaktadır. Parçacık dağılımı mümkün olduğunca homojen olmalıdır. Eğer homojen bir dağılım sağlanabilirse birbirine komşu SPH elemanların kütleleri eşit olacaktır. Netice olarak aynı malzeme özelliklerine, aynı başlangıç yoğunluğuna ve aynı başlangıç hacmine sahip parçacıklar ortaya çıkacaktır. Bunu sağlamanın yegane yolu düzenli bir ağ oluşturmaktır. Aşağıdaki örnekte (Şekil 4-9) görüldüğü üzere silindirik bir geometri için 2. ağ düzenini kullanmak yerine 1.sini kullanmak daha iyi yakınsayan ve kararlı bir sonuç almayı garantilemektedir.



Şekil 4-9. Silindirik geometrisi üzerine iki farklı şekilde dağıtılmış SPH elemanlar

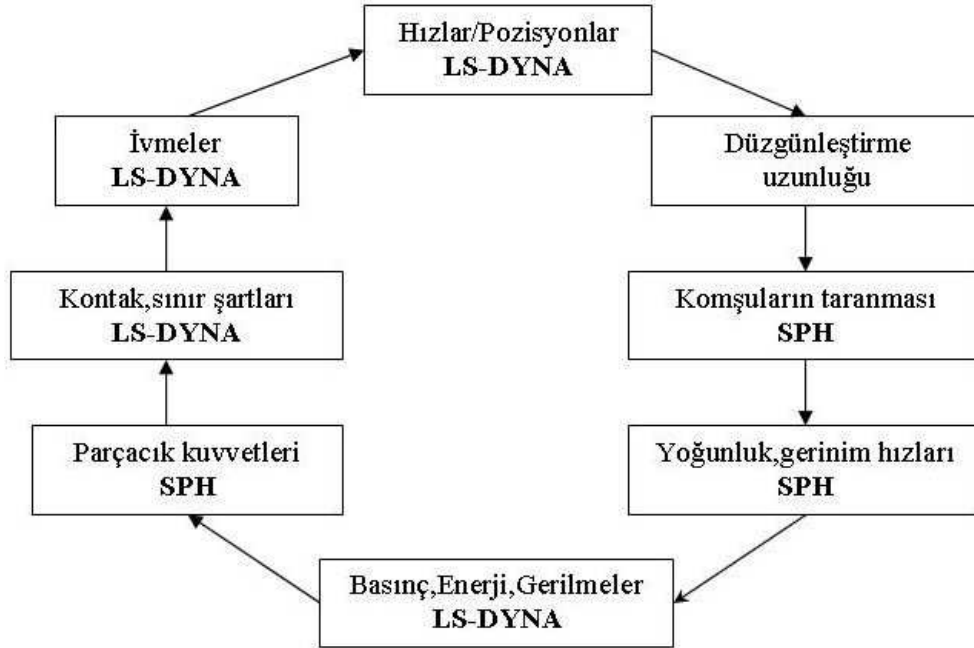
SPH elemanların kullanıldığı uygulamalarda kullanıcının bazı başlangıç şartlarını (başlangıç düzgünleştirme uzunluğu, parça numarası, parçacık kütlesi gibi) belirlemesi gerekmektedir. Bu sebeble LS-DYNA programına yeni kartlar eklenmiştir.

***CONTROL_SPH**: hesaplama için gerekli genel control parametrelerini içerir.

***SECTION_SPH**: bütün SPH elemanlarına ait parametreleri içerir.

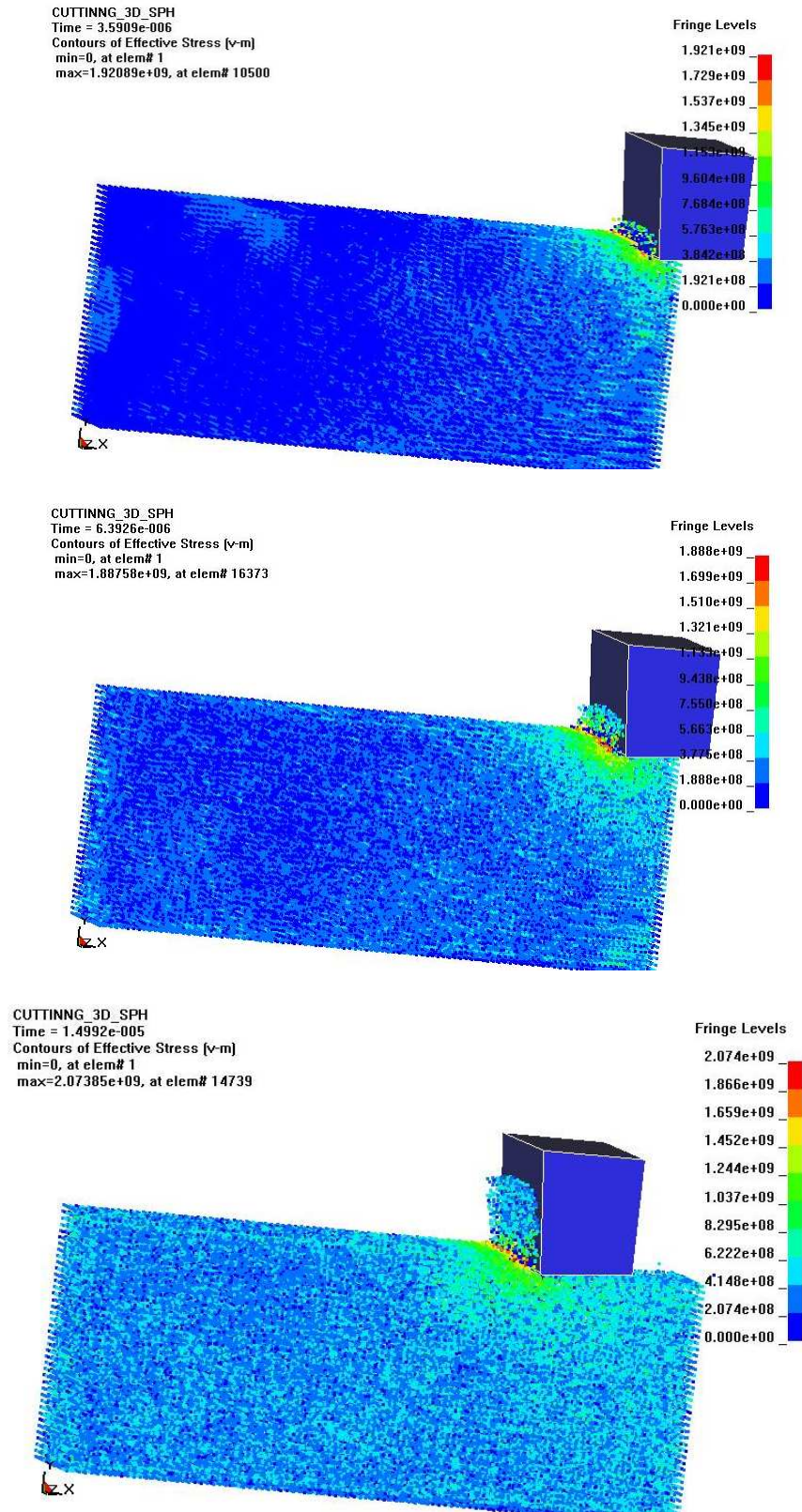
***ELEMENT_SPH**: herbir parçacığın parça numarasını ve kütle bilgisini içerir

SPH önışlemcisi LS-DYNA programının içerisinde yeni bir katman olarak geliştirildiği için mevcut olan unsurların hemen hepsiyle birlikte kullanılabilir. Başlangıç hızı, kontaklar v.s. gibi girdiler klasik anahtar kelimeler kullanılarak tanımlanmaktadır. Girdi dosyası oluşturulduktan sonra çözüme başlandığında program bu yeni elemanları otomatik olarak algılamaktadır. Parçacıklar arası düğüm noktalarında, kuvvetler, enerji, basınç ve deviatorik gerilmeler hesaplanmaktadır. Bu hesaplamalar korunum yasalarını (kütle,momentum,enerji) içeren parçacık yaklaşımı ile yapılmaktadır. Parçacık elemanların bütün mekanik değerleri elde edildikten sonra bunlar LS-DYNA ana programına aktarılmaktadır. Parçacık elemanlar ile yapıda bulunan , katı veya kabuk elemanlar arasındaki ilişki LS-DYNA içerisinde bulunan ”düğümnoktası-yüzey kontaklar” (node to surface contact) ile sağlanmaktadır.Aşağıdaki şekilde program içerisindeki döngü şematik olarak gösterilmektedir:



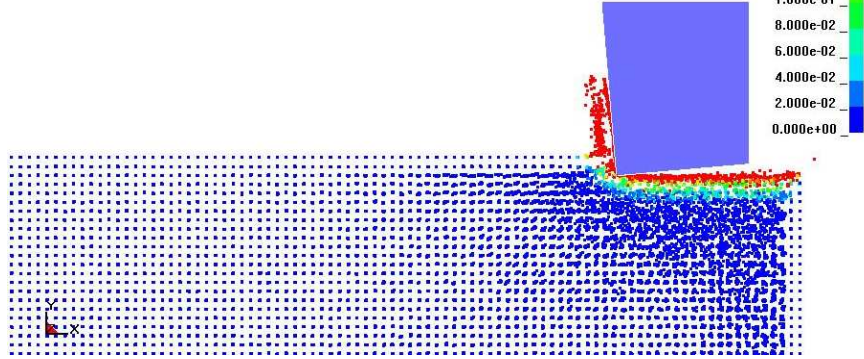
Şekil 4-10 .LS-DYNA’da SPH için program döngüsü [Bican, 2004].

4.5.3 Metal Kesme İşleminin SPH Yöntemi İle Simülasyonu



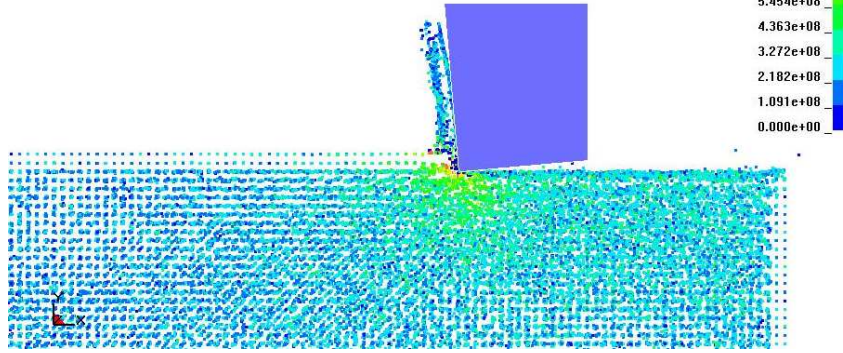
Şekil 4-11 Metal kesme işleminin ağsız (meshless) metod kullanılarak simülasyonu.

CUTTING_3D_SPH
Time = 1.1392e-005
Contours of Effective Plastic Strain
min=0, at elem# 1
max=0.2, at elem# 1662



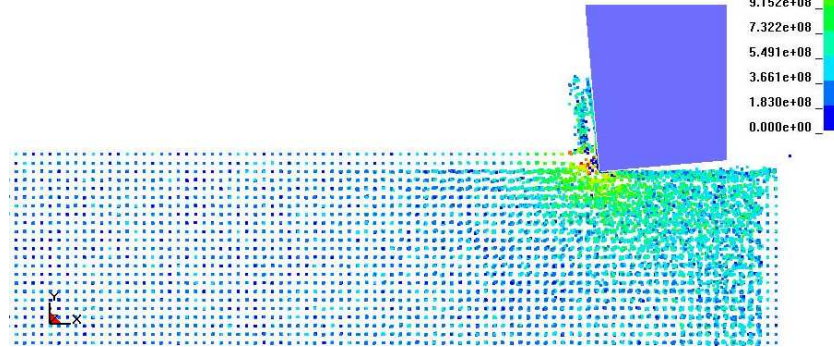
(a)

CUTTING_3D_SPH
Time = 1.9995e-005
Contours of Maximum Shear Stress
min=0, at elem# 1
max=1.09078e+09, at elem# 14599



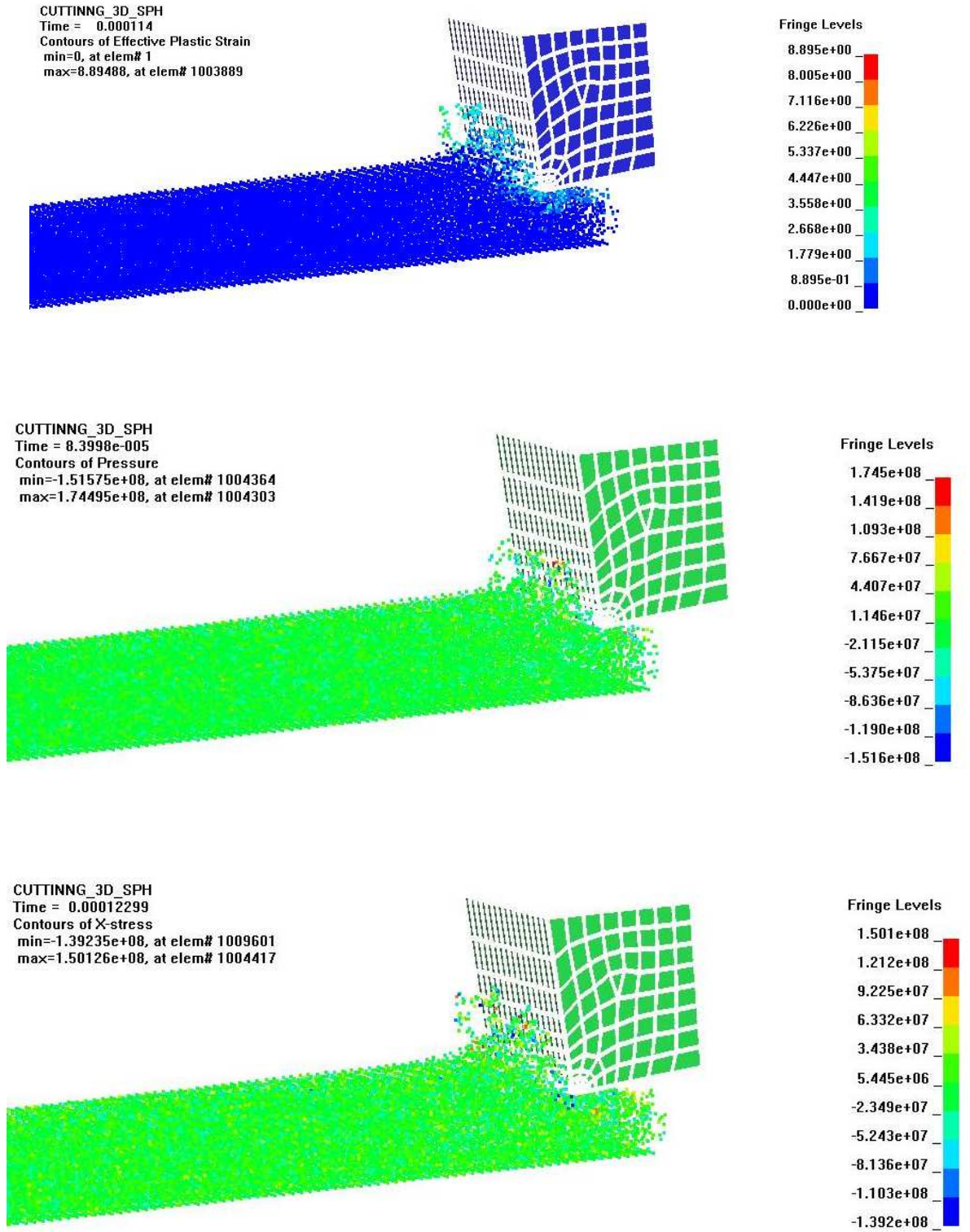
(b)

CUTTING_3D_SPH
Time = 1.1392e-005
Contours of Effective Stress (v-m)
min=0, at elem# 1
max=1.83043e+09, at elem# 14790



(c)

Şekil 4-12- Kesmede oluşan maksimum kayma gerilmesi(b), efektif gerilme(c) ve plastik gerinim(a).

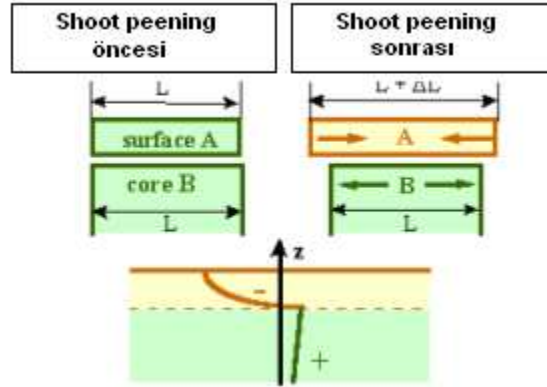


Şekil 4-13- SPH metodu kullanılarak 3 boyutlu dik kesme işleminin modellenmesi.

5 YSMT İŞLEMİNDE OLUŞAN KALINTI (RESİDUAL STRESS) GERİLMELER VE GERİLME KARAKTERİSTİĞİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

5.1 Kalıntı (Residual Stress) Gerilmeler

Kalıntı gerilmeler herhangi bir malzeme uzaklaştırma işleminden sonra iş parçası içerisinde oluşan gerilmeler olarak adlandırılmaktadır. Kalıntı gerilmeler parçaların yorulma ömürleri üzerinde oldukça büyük etkiye sahip değişkenlerden birisidir. Çekme kalıntı (Tensile residual stress) gerilmeleri ve basma kalıntı (compressive residual stress) gerilmeleri diye ikiye ayrılırlar. Çekme kalıntı gerilmeleri daha çok sıcaklık (termal) etkisiyle oluşurken, basma kalıntı gerilmeleri mekanik yük etkisiyle oluşmaktadır. Basma kalıntı gerilmeleri malzemelerin yorulma ömürlerini artırırken çekme kalıntı gerilmeleri kısaltmaktadır. Çekme kalıntı gerilmelerini azaltmak için mesala kaynak sonrası çarpılmayı engellemek için ısıtma işlemi uygulanmakta, basmaya dayanması istenen malzemelerde bilya ile dövme işlemi (shotpeening) işlemine tabi tutulmaktadır. Şekil 5-1'de bilya ile dövme işlemi (shotpeening) öncesi ve sonrası iş parçasındaki gerilme değişimi ayrıntılı olarak gösterilmiştir.



Şekil 5-1. Bilya ile dövme işlemi (Shotpeening) sonrası kalıntı gerilmeler.

Talaş kaldırma işlemleri parçaların istenilen şekle ve kaliteye getirilmesi için uygulanmaktadır. Bir yüzeyin tam olarak tanımlanabilmesi için yüzeye ait geometrik ve fiziksel özelliklerin ayrıntılı olarak verilmesi gerekmektedir. Geometrik özellikler pek çok talaş kaldırma işlemi yardımıyla elde edilmekte ve bu tanım yüzey tabakasının sertliği, kalıntı gerilmeler ve pürüzlülük gibi fiziksel özellikleri içermemektedir. Field ve Kahles yüzey durumu(surface integrity) kavramını fiziksel özellikler ile yüzeyin davranışı arasındaki ilişki ile açıklamaktadır. Talaş kaldırma işlemlerinde yüzey bütünlüğü kesici takım ile iş parçası arasındaki mekanik, termal ve kimyasal etkileşimden yola çıkılarak açıklanmaktadır. Mekanik etki için en iyi örnek shotpeening işlemidir. Mekanik etkiye başka bir örnek olarakda haddeleme işlemi gösterilebilir.

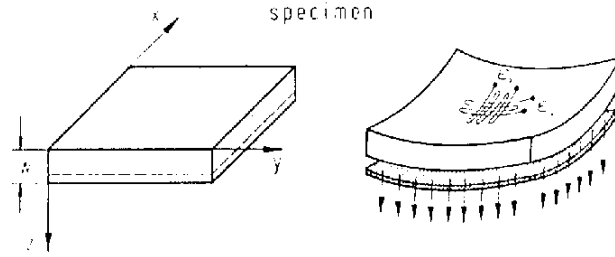
5.2 Ölçüm Yöntemleri

Kalıntı gerilme ölçüm metodları tahribatlı ve tahribatsız ölçüm yöntemleri olmak üzere ikiye ayrılırlar. Tüm metodlarda kalıntı gerilmenin ve derinliğinin belirlenebilmesi için kısmen yada tamamen tahribat gereklidir. Bu tahribat bölgesine göre metodlar doğrudan ve dolaylı metodlar olmak üzere kendi içinde de ikiye ayrılırlar.

5.2.1 Sehim (Deflection) Metodu

Dolaylı ölçüm metodunda parçanın deformasyonundan hareketle kalıntı gerilimi bulunmaya çalışılır. En pratik metod plate ve silindirler için uygulanan sehim (deflection) metodudur. Talaş kaldırma işlemine tabi tutulmuş iş parçasının kalınlılığından yola çıkılarak kalıntı gerilme hesaplanmaya çalışılır ancak hesaplama hassasiyeti tartışılır. Ölçüm metodu ve gerinimden yola çıkarak hesap yapan formülasyon Şekil 5-2’de görülmektedir.

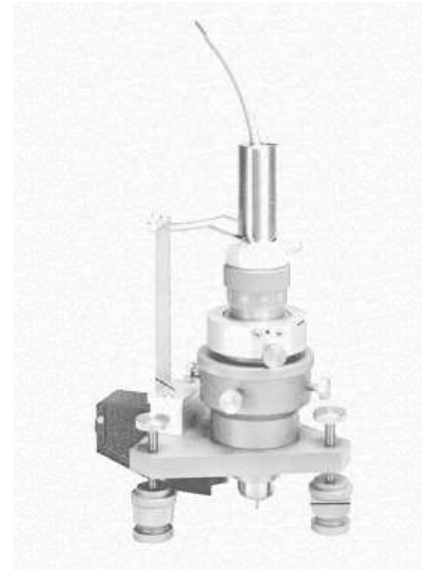
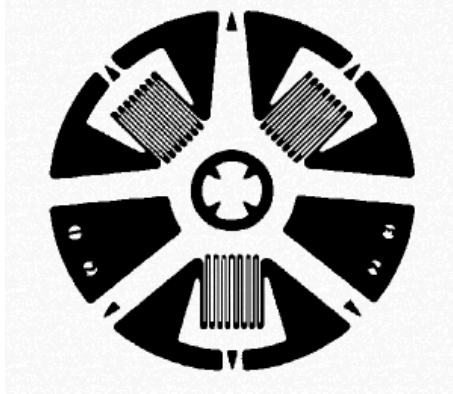
$$\sigma_{xy}(z) = \frac{-E}{1-\nu^2} \left(\frac{1}{3} z \left(\frac{d\epsilon_{xy}}{dz} + \nu \frac{d\epsilon_{yx}}{dz} \right) + \frac{4}{3} (\epsilon_{xy} + \nu \epsilon_{yx}) - \frac{2}{3} \int_z^w \frac{\epsilon_{xy} + \nu \epsilon_{yx}}{w} dz \right)$$



Şekil 5-2. Sehim (Deflection) metodu ile kalıntı gerilmenin bulunması.

5.2.2 Delik Delme (Hole Drilling) Metodu

Gerinim ölçerler üzerine etkiyen uzamaların simüle edilmesi sayesinde ölçüm yapmakta ama bu yöntem tam olarak doğru sonuç veren bir yöntem değildir.

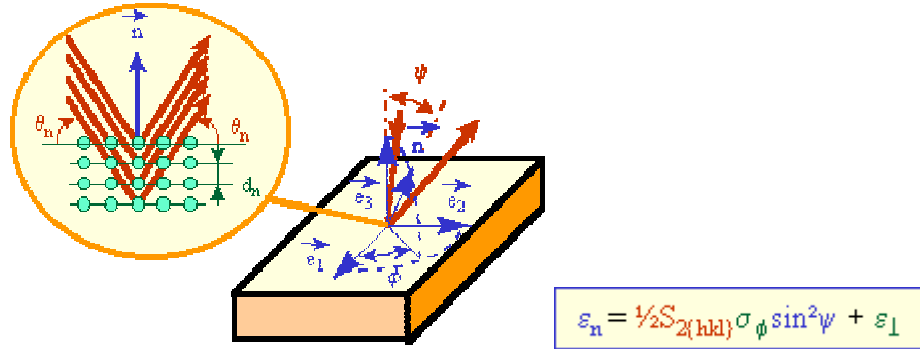


Şekil 5-3 Delik delme yöntemi ile kalıntı gerilmelerin bulunması.

5.2.3 X-ray Metodu

X-ray ve neutron gerilme ölçme metodları kafes boşluğundan (lattice space) hareketle gerilme ölçer mantığı ile ölçüm yapmaktadırlar. En hassas ölçme işlemini bu yöntemle

yapabilmekteyiz. Şekil 5-4’de X-ray ile ölçü metodunun teorisi ve formülasyonu görülmektedir.



Şekil 5-4- X-ray ile ölçüm metodu.

5.3 Metal Kesmede Kalıntı Gerilmeler

5.3.1 Taşlama Prosesinde Kalıntı Gerilmeler

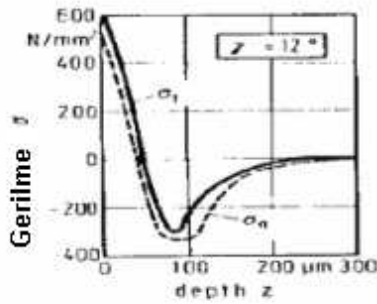
Taşlama prosesinde düzenli olarak dağıtılmış çeşitli şekildeki aşındırıcı parçacıklar farklı şekilde malzeme uzaklaştırırken iş parçasının yüzeyinde plastik deformasyona sebebiyet verirler. Taşlama işlemi diğer talaş kaldırma işlemleri ile kıyaslandığında oldukça fazla normal basınç ile iş parçasına etki yapar. Oldukça yüksek ısı, basınç oluşan işparçası ve tanecikler arasındaki etkileşim bölgesinde büyük plastik deformasyonlar meydana getirirler ve iş parçasının fiziksel özelliklerinde değişime neden olurlar. Aşağıda taşlama işleminde kalıntı gerilme oluşumunu etkileyen faktörler sırasıyla yazılmıştır.

- Talaş Kaldırma Şartları(kesme derinliği, iş parçasının hızı, kesme hızı)
- Taşlama Taşının Topoğrafisi (aşınma davranışı, dressing şartları)
- Taşlama Taşının Özellikleri(taneciklerin boyutu ve şekli, sertlik ve kullanılan bağlayıcı)
- Soğutma Şartları

5.3.2 Tornalama İşleminde Kalıntı Gerilmeler

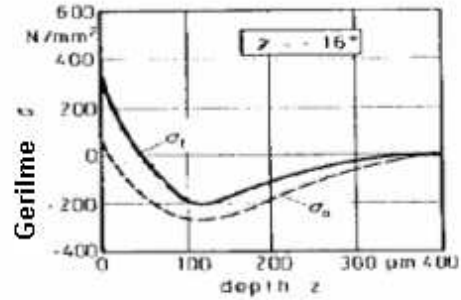
Tornalama işleminde kesme enerjisi en çok kayma bölgesinde dönüşmektedir. Kesme esnasında oluşan ısının tamamı iş parçasına geçmemekte bir miktarı talaşla beraber uzaklaşmaktadır. Tornalamada ana kesme kenarı tarafından kalıntı gerilme genelde üretilmez, kalıntı gerilmeyi üreten yardımcı kesici kenardır. Kesme hızı ve uç radyüsünün büyümesiyle tornalamada asıl kesici kenar üzerinde oluşan sıcaklık artmakta dolayısıyla sürtünme artmaktadır.

Küçük talaş kalınlıklarında ve negatif kesme açılarında da yüksek sürtünme değerleri elde edilmektedir. Diğer bir deyişle negatif talaş açılarında büyük plastik deformasyonlar üretilmekte ve çekme kalıntı gerilmesi azaltılmaktadır. İlerleme hızının yükselmesi yalnızca termal etkiyi değiştirmekte, mekanik etkide bir değişikliğe neden olmamaktadır.



Malzeme: C45

Kesici: K20



$v_c = 90 \text{ m/min}$

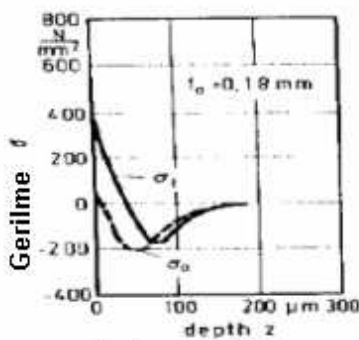
$\alpha = 53^\circ$

$f_a = 0,35 \text{ mm}$

$r = 3,8 \text{ mm}$

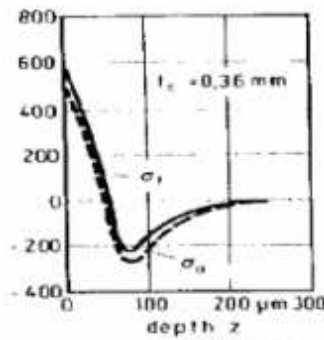
$a = 1,0 \text{ mm}$

Farklı kesme açılarında kalıntı gerilmeler



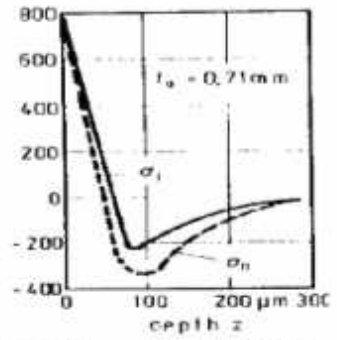
Malzeme: C45

Kesici: K20



$v_c = 90 \text{ m/min}$

$a = 1,0 \text{ mm}$



$\gamma = 12^\circ$

$\lambda = 4^\circ$

$r = 0,8 \text{ mm}$

$\alpha = 53^\circ$

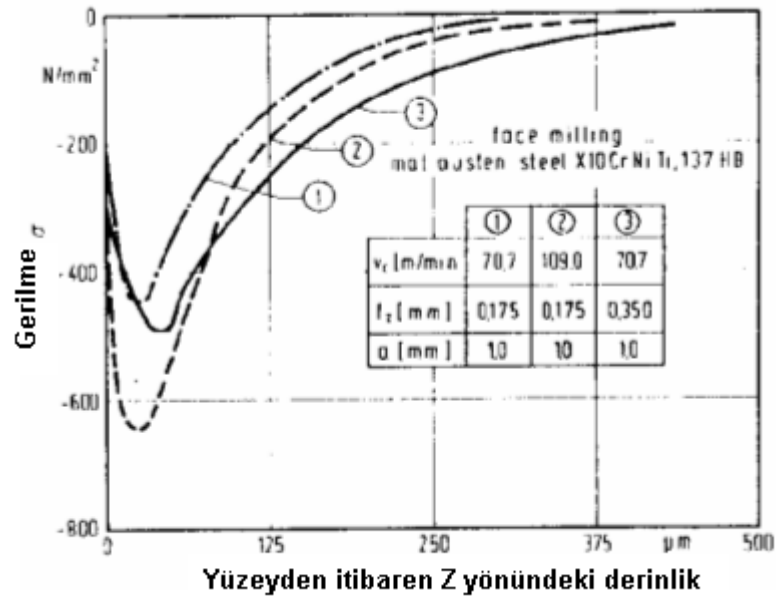
Farklı ilerleme hızlarında kalıntı gerilmeler

Şekil 5-5. Tornalama sonrasında oluşam kalıntı gerilme karakteristiği.

İlerlemenin artmasıyla yüzeyde oldukça fazla çekme kalıntı gerilmesi oluşmakta aynı zamanda işparçasının içerisine doğru gerilme girişimi olmaktadır.

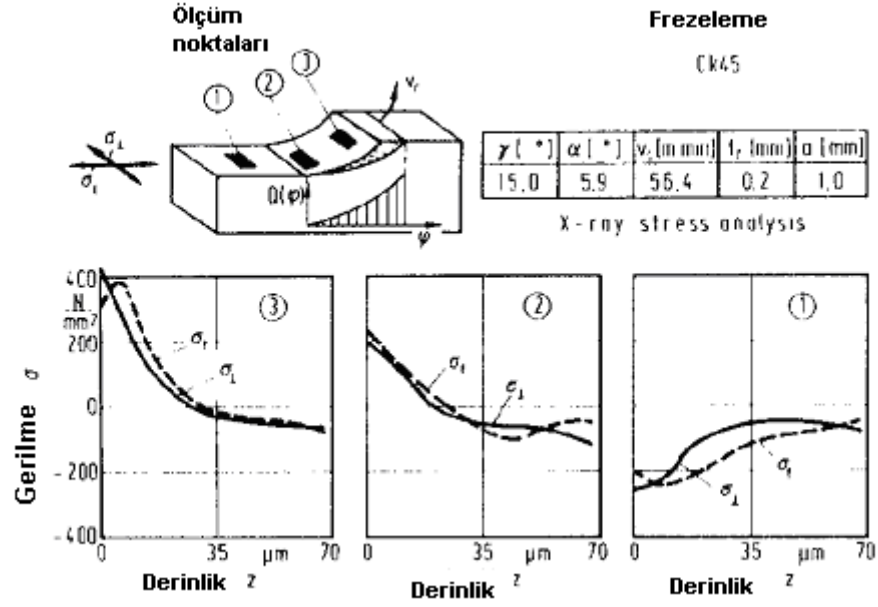
5.3.3 Frezeleme İşleminde Kalıntı Gerilmeler

Frezele işleminde kalıntı gerilmeler genelde basma kalıntı gerilmesi şeklindedir. Yüksek kesme hızları ve ilerleme değerleri için tipik kalıntı gerilme oluşumu basma kalıntı gerilmesidir ve 2 parametrenin artmasıyla beraber artan bir değişim göstermektedir. Kesici takım aşınması kalıntı gerilmeyi etkileyen bir faktördür ve aşınma arttıkça basma kalıntı gerilme oluşumunda artmaktadır. Şekil 5-6'da kesme hızı ve ilerleme değerinin frezelemede oluşan kalıntı gerilme haritasını nasıl değiştirdiği ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

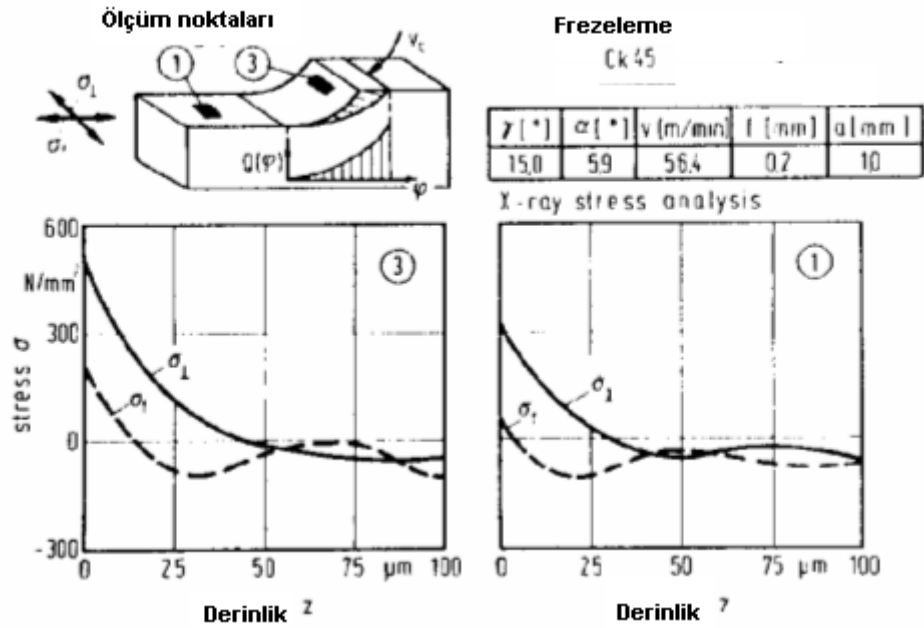


Şekil 5-6.Yüzey frezelemede kalıntı gerilmeler.

Ters yönlü frezeleme işleminde kalıntı gerilme oluşumu basma kalıntı gerilmesi iken, aynı yönlü frezelemede oluşan yüksek sıcaklıktan dolayı çekme kalıntı gerilmeleri oluşmaktadır. Şekil 5-7'de ve 5-8'de ayrıntılı olarak gösterilmiştir.



Şekil 5-7 .Ters yönlü frezeleme işleminde kalıntı gerilme oluşumu.



Şekil 5-8 Aynı yönlü frezeleme (down milling) oluşan Kalıntı gerilme karakteristiği.

Jang ve etc. AISI 304 paslanmaz çeliğinin tornalaması esnasında işleme hızı, ilerleme hızı, talaş derinliği , kesici geometrisi ve kaplamanın iş parçasının yüzeyinde oluşan kalıntı gerilmelerin karakteristiği üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. X-ray

difarakşın tekniği ile kalıntı gerilme tensörlerini belirlemişler ve kalıntı gerilme dağılımının homojen olmadığını tespit etmişlerdir[Jang et al., 1996]

Chou ve Song 52100 rulman çeliğinin finiş tornalanmasında kesici uç radyüsünün etkileri araştırdılar. Farklı kesme şartlarında kesme kuvvetleri, kesici aşınması, yüzey pürüzlülüğü ve özellikle faz transformasyon yapısı olarak adlandırılan beyaz tabaka oluşumlarını incelediler. Sonuç olarak büyük uç radyüsünün çok iyi yüzey kalitesinin elde edilmesini sağladığını ve kesici uç radyüsünün büyümesiyle kesme enerjisinin arttığını belirlediler. Uç radyüsü küçük olan yeni kesicilerde 0.3mm/dev. İlerleme değerinde beyaz tabakalar oluşurken, aşınmış takımlarda ise beyaz tabaka oluşumunu 0.5 mm/dev. olduğunu tesbit ettiler. Büyük uç radyüslü uçlarda beyaz tabakaların küçük uç radyüsüne nazaran daha derinlerde oluştuğunu belirlediler[Chou ve Song, 2004].

Coelho ve etc. yüksek kesme hızlarında 44 HRC sertliğindeki inconel 718'in tornalaması esnasında kesici geometrisinin etkilerini araştırmışlardır. Al₂O₃, Al₂O₃+SiC ve PCBN gibi farklı kesici malzemeleri kullanarak 500m/dak, 0.1mm/dev ve 0.35mm kesme derinliğinde finiş tornalama işlemini gerçekleştirmişler ve sıcaklık, pürüzlülükve takım aşınmasını ölçmüşlerdir. Kesici takımlar içinde yapmış oldukları en iyi uç geometrisi sonucunda düşük sıcaklık, pürüzlülükve aşınmaya karşın oldukça yüksek basma kalıntı gerilmelerini elde etmişlerdir[Coelho et al., 2004] .

Sridhar ve etc. IMI-834 titanyum alaşımını farklı kesme derinliği, ilerleme ve kesme hızlarında frezelemişler ve gerilim ölçerler ile kalıntı gerilmeleri ölçmüşlerdir. Frezeleme parametrelerine bağlı olarak elde ettikleri kalıntı gerilme karakteristiğinin basma tipi gerilme olduğunu bulmuşlardır. Daha sonra ısı işleme tabi tutulan iş parçasının içerisindeki gerilmeyi uygun bir noktaya çekmişlerdir[Sridhar et al., 2003].

Sai ve etc. farklı frezeleme şartlarında yüzey pürüzlülüğü, mikrosertlik, mikroyapı ve kalıntı geriliminin değişim karakteristiğini incelemişlerdir. Kesme hızı ve ilerleme değerlerinin değişiminin finiş frezeleme için etkilerini araştırdılar. Kalıntı gerilmeleri kör delik (blind hole) gerilim ölçer tekniğiyle belirlediler. İş malzeme olarak dupleks paslanmaz çeliği ile karbon çeliğini kullnadılar. Sonuç olarak yüksek

kesme hızı ve düşük ilerleme değeri için en iyi yüzey kalitesini elde ettiler[Sai et al., 2000].

M'Saoubi ve etc. Standart ve Resulfurized AISI 316L çeliğinin dik kesme işlemine tabi tutulmasından sonra oluşan kalıntı gerilmeleri analiz etmişlerdir. Kesici geometrisi, kaplama, ilerleme değeri ve kesme hızı gibi parametrelerin kalıntı gerilmelerin değişimi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Kalıntı gerilmelerin derinlik yönünde değişimini X-Ray tekniği ile tespit etmişlerdir. Kesme testleri esnasında CCD infrared kamera ile termal ve dinamometre ilede mekanik etkilerin analizi yapılmıştır[M'Saoubi et al., 1999].

Capello ve etc. tornalama işleminden sonra malzemelerin yorulma ömrünü büyük ölçüde etkileyen iş parçası üzerinde oluşan kalıntı gerilmeleri ve yüzey pürüzlülüğü değerlerini deneysel olarak araştırmışlardır. Uç radyüsünün, talaş açısının, kesme hızının ve ilerleme hızının kalıntı gerilme ve pürüzlülük üzerindeki etkilerini araştırmışlar ve 2 farklı deneysel formülasyon elde etmişlerdir[Capello et al., 1995].

Jacobson ve etc. kesme hızının ,yüksek hızlarda tornalanmış beynit çeliklerinin yüzey kalitesi üzerindeki etkilerini deneysel olarak araştırmışlardır. Deneyler farklı kesme hızlarında uygulanmış ve kalıntı gerilme, yüzey pürüzlülüğü ve mikro yapı analizleri yapılmıştır. Kalıntı gerilmeyi kontrol edebilmek için hangi ksmе hızının seçilmesinin gerektiği ve maksimum basma kalıntı gerilmesinin beynit çelikler için hangi kesme hızı değerinde elde edildiğini bulmuşlardır[Jacobson et al., 2002].

El-Axir tornalamda farklı malzemeler için kalıntı gerilme dağılımının haritasını çıkarmaya çalışmıştır. Kesme parametrelerinin maksimum kalıntı gerilmelerin yeri ve derinliği üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Paslanmaz çelik, AISI 304, St-37, Al 7001 ve Al 2024 malzemeleri için yanıt yüzeyi (response surface) metodu temelli deney setleri oluşturmuştur. Çekme dayanımı, kesme ve ilerleme hızı değişkenleri kalıntı gerilme dağılımını etkileyen parametreler olarak kabul edilmiştir. İşlenmiş yüzeydeki kalıntı gerilme dağılımı deflection,etching tekniği yardımıyla belirlenmiştir. Ve yukarda bahsedilen üç girdi parametresi kullanılarak kalıntı gerilme profilinin

deterministik fonksiyonu belirlenmiştir. Geliştirilen bu model deneysel olarak tekrardan doğrulanmıştır[El-Axir, 2002].

El-Khabeery ve Fattouh frezeleme işleminin kalıntı gerilme dağılımı üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Farklı 5 malzeme için kesme hızı, kesme derinliği ve ilerleme hızının kalıntı gerilme karakteristiğini nasıl etkilediğini bulmak için deneyler yapmışlar ve electroytic etching-deflection tekniği ile de kalıntı gerilmeleri ölçmüşlerdir. Deneysel çalışmalar yanıt yüzeyi yaklaşımı temelli kurulmuş ve iş parçasının çekme kalıntı gerilmesi değerinin frezeleme şartlarına bağlı olduğunu bulmuşlardır. Girdilerden oluşturmuş oldukları matematik modeli deneysel verilerle doğrulamışlardır[El-Khabeery ve Fattouh, 1988].

5.4 Sonlu Elemanlar İle Kesme İşleminde Kalıntı Gerilmelerin Modellenmesi (Literatür İncelemesi)

Lin et al., özel olarak geliştirilmiş NiP alaşımının çok hassas kesilmesi esnasında oluşan sıcaklık ve iş parçası üzerinde kesme sonrası ortaya çıkan kalıntı gerilmeleri termo-elastik-plastik sonlu elemanlar modelini kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Birbirinden farklı dik kesme modelleri için kuvvet, gerinim ve gerilim değerleride hesaplamışlardır[Lin et al., 2000].

Shet et al., dik metal kesme işleminde yüksek basınç ile püskürtülen su ile soğutma işleminin mekanik etkisini hesaba katan ve talaş ayırma kriteri olarakda kritik gerilme prensibi temelli 2 boyutlu sonlu elemanlar modelini hazırlamışlar ve kuvvet, sıcaklık ve kalıntı gerilmeleri simüle etmişlerdir. Soğutma kanalının yerini değiştirerek çıktılar üzerindeki etkilerini araştırmışlar ve soğutma işleminin mekanik etkisinin hesaba katılmasının sıcaklığı dolayısıyla kalıntı gerilme değerlerini azalttığını bulmuşlardır. [Shet et al., 2003].

Guo ve Liu ardışık kesme işleminin iş parçası üzerinde oluşan kalıntı gerilmeler üzerindeki etkisini açık(explicit) sonlu elemanlar yöntemi ile araştırmışlardır. Termo-elastik-viskoplastik sonlu elemanlar yöntemini kullanarak işlenmiş katmanın mekanik

durumunu incelemişler ve ilk kesmenin ikinci kesmeye belirli miktarda ön-gerilim bıraktığını tespit etmişlerdir[Guo ve Liu, 2000].

Lin ve etc. termal ve mekanik yüklerin işlenmiş parçlar üzerinde oluşan kalıntı gerilmeleri nasıl etkilediklerini araştırmışlardır. Bunun için termo elastik-plastik sonlu elemanlar programını ve partikül akışı konseptini kullanmışlardır. İşlenmiş yüzeyin altındaki katmanların kalıcı yer değiştirmelerini ve işlenmiş yüzeyde meydana gelen plastik defomasyonun derinliğini hesaplamışlardır. Oxley ve Stevenson'un deneysel sonuçlarıyla analiz sonuçları karşılaştırılmıştır[Lin et al., 1997].

Shih ve Yang düzlem gerinim yaklaşımının kullanarak sürekli talaş oluşumunun dik metal kesme işlemine bağlı olarak ortaya çıkan kalıntı gerilmeleri sonlu elemanlar yöntemi ile tahmin etmişler ve elde etmiş oldukları sonuçları deneylerle karşılaştırmışlardır. Elastisite, viskoplastisite, sıcaklık, sürtünme, gerinim hızı ve büyük gerinimleri dikkate alan 4 nodlu, sekiz serbestlik derecesine sahip quadrilateral düzlem gerinim sonlu elemanlar formülasyonunu kullanmışlardır. AISI 1020 çeliği için yapılan analizlerle ile X-Ray ölçüm sonuçlarının birbirlerine çok yakın değerler çıktığı görülmüştür. [Shih ve Yang, 1993]

Sasahara ve etc. ardışık talaş kaldırma esnasında işlenmiş yüzeyde oluşan kalıntı gerilme ve gerinimlerin değişimini tahmin edebilmek için sonlu elemanlar yöntemini kullanmışlardır. Birbirini izleyen özellikle kaba ve finiş işlem gibi talaş kaldırma işlemlerinde, önceki operasyon sonraki operasyonda meydana gelebilecek gerilme, sıcaklık, gerinim ve kuvvetleri önemli ölçüde etkilemektedirler. Talaş derinliği, talaş açısı, sürtünme katsayısı gibi değişkenlerin tekrarlı kesme işlemlerini nasıl etkilediğini bulabilmek için deneyler ve elasto-plastik model temelli simülasyonlar yapılmıştır. Sonuç olarak talaş derinliği ve talaş açısı gibi değişkenlerin değiştirilmesi ile kalıntı gerilmelerin kontrollü bir şekilde elde edilebileceği bulunmuştur.[Sasahara, 2004].

Arunachalam ve etc. Sertleştirilmiş Inconel 718 malzemesinin CBN ve seramik kesici takımlarla alın tornalama işlemine tabi tutulması sonucu yüzey pürüzlülüğü ve

kalıntı gerilme değerlerin nasıl değiştiğini araştırmışlardır. Farklı kesme hızları ve talaş derinlikleri deneyerek CBN ve seramik kesicilerin performansları karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak düşük kesme hızlarında ve talaş derinliklerinde uç kısmı yuvarlatılmış CBN kesici uçların kullanılmasının yüksek basma gerilmeleri ortaya çıkardığı ve aynı zamanda çekme gerilmelerinde azalttığı saptanmıştır.[Arunachalam et al. 2004].

Wiesner, AISI 304 malzemesinin dik talaş kaldırma işlemine tabi tutulmasından sonra iş parçasında oluşan kalıntı gerilmeleri sonlu elemanlar ve sonlu farklar yöntemi ile hesaplamış ve bu dataları X-Ray'den alınan deneysel sonuçlarla kıyaslamışlardır. Bu yöntemle termal ve mekaniksel/sürtünme ile ortaya çıkan kalıntı gerilmeler belirlenmiştir. Kesme hızı ve talaş derinliğinin kalıntı gerilmeleri nasıl etkilediği araştırılmıştır. Sonuç olarak termal yüklemeninde mekanik yüklemeye olduğu gibi iş parçası üzerinde çekme kalıntı gerilme gerilmelerini oluşturduğu gözlenmiştir.[Wiesner, 1992].

Wu ve Matsumoto AISI 4340 çeliğinin sertliğinin talaş kaldırma sonrasında oluşan kalıntı gerilmelerin değişimi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır.[Wu ve Matsumoto, 1987].

Lo elasto-plastik sonlu elemanlar yöntemini kullanarak, farklı talaş açılarında dik kesme işleminin analizini yaparak, talaş açısı değişiminin kalıntı gerilmeleri nasıl etkilediğini araştırmıştır. 5, 10 , 15 ve 20 dereceleri için analizler gerçekleştirmiştir.[Lo, 2000].

Dahlman ve etc. Yüksek sertliğe sahip metallerin yüksek hızlarda tornalanması esnasında talaş açısının, ilerleme hızının ve talaş derinliğinin kalıntı gerilmeler üzerindeki etkilerini deneysel olarak bulmaya çalışmışlardır. Sabit kesme hızında AISI 52100 rulman çeliğini alın tornalam işlemine maruz bırakmışlar vektör ve ilerleme yönünde oluşan kalıntı gerilmeleri X-Ray difraksiyon metodu ile ölçmüşlerdir. Sonuç olarak kesici geometrisi ve kesme parametrelerini kontrol altına alarak istenilen değerlere yakın kalıntı gerilme haritası oluşturulabilecektir.[Dahlman, 2004]

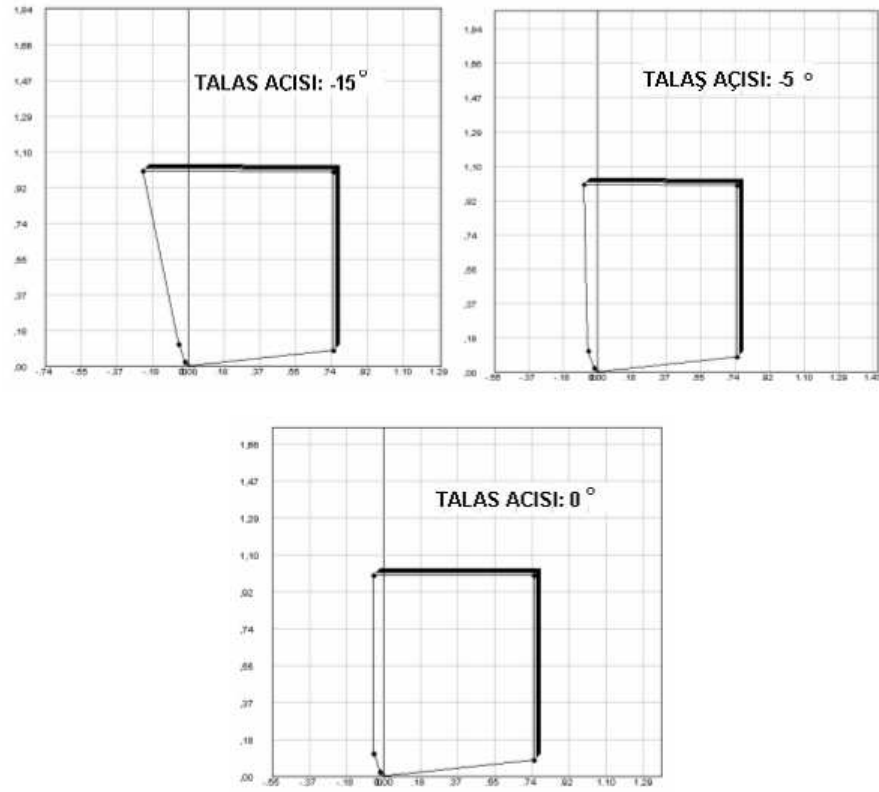
Yang ve Liu gerilme modeli temelli sürtünme davranışını göze alarak talaş kaldırma işleminde sonra oluşan kalıntı gerilmeleri hesaplayan sonlu elemanlar yöntemi ile analizler gerçekleştirmişlerdir. Bir kaç farklı sürtünme modelinden yola çıkarak analizler yapmışlar ve sonuçları kıyaslamışlardır. [Yang ve Liu, 2002].

Marusich ve Askari, ince kesitli Al 7075 uzay sanayi malzemesinin işlenmesi esnasında oluşabilecek kalıntı gerilmeleri Thirdwave AdvantEdge yazılımını kullanarak açık(explicit) yaklaşımla hesaplamışlardır. Kesme değişkenlerinin kalıntı gerilmeler üzerindeki etkilerini araştırmışlardır.[Marusich ve Askari, 1999].

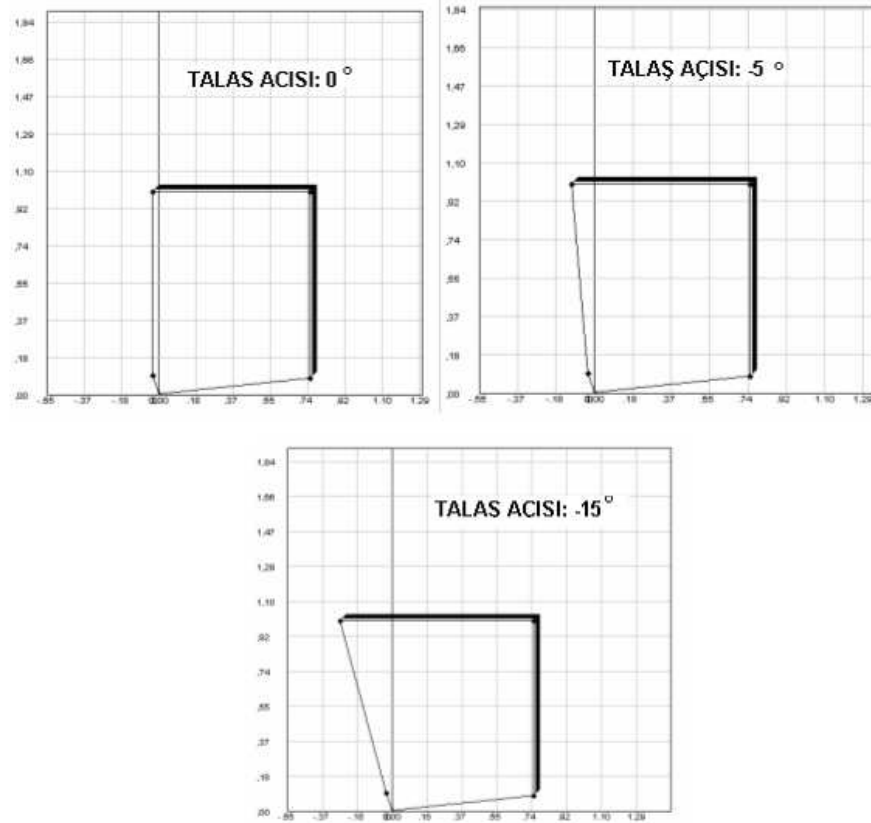
5.5 Kesme Parametrelerinin Ve Kesici Takım Geometrisinin Kalıntı Gerilmeler Üzerindeki Etkisi

Günümüzde YSMT teknolojisi denilince transmisyon şaftlarının, rulmanların, otomotiv endüstrisinde kullanılan dişlilerin, uzay, uçak, makina takım ve tıp endüstrisindeki mekanik parçaların imalinde sıklıkla kullanılan finiş işlemlerinin yapılması akla gelmektedir. Bu parçalar sertlikleri 50 ile 65 HRc arasında olan alaşım çeliklerinden imal edilmektedir.

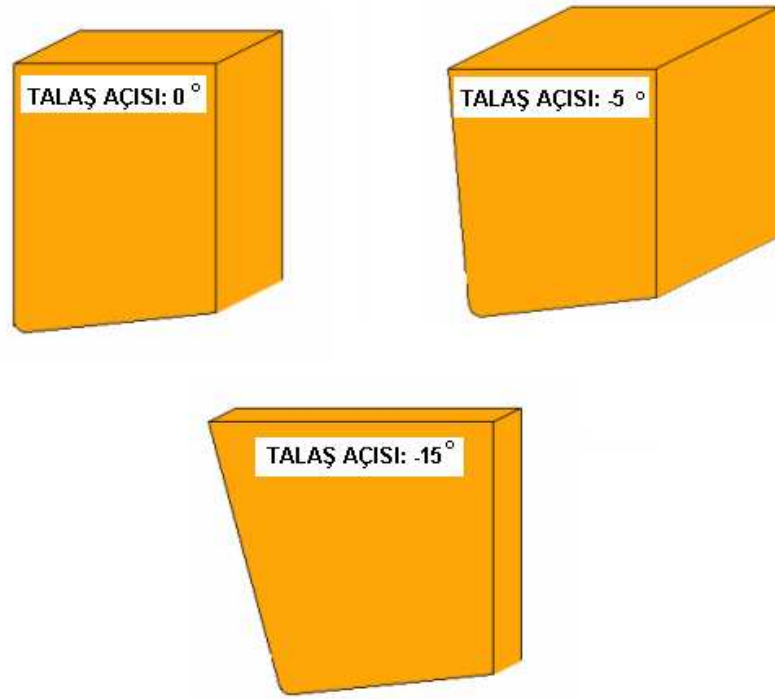
Çalışmada 52100(100Cr6) rulma çeliğinin CBN kesici uçla kesilmesinin sonlu elemanlar analizi Thirdwave AdvantEdge yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Analizlerin temel hedefi farklı uç geometrilerinin kesme işlemini nasıl etkileyeceğini tesbit etmektir. Uç geometrisi olarak yuvarlatılmış, pah kırılmış ve hem yuvarlatılmış hemde pah kırılmış kesici geometrisi 2 boyutlu olarak modellenmiştir. Analizler sonucunda kesme kuvvetleri, sıcaklık, kalıntı gerilmeler, eşdeğer gerilmeler, gerinim ve gerinim hız değerleri çıktı olarak alınmıştır. Özellikle uç geometrisinin kalıntı gerilmeler üzerindeki etkisine odaklanarak dolayısı ile ürünün yorulma ömrünü nasıl etkileyebileceği araştırılmıştır. Şekil 5-9, 5-10 ve 5-11’de uç geometrileri ve Tablo 5.1’de analiz şartları ayrıntılı olarak gösterilmiştir.



Şekil 5-9 Pah ve yuvarlatma(Chamfered-Honed) yapılmış uç geometrisi



Şekil 5-10 Pah (Chamfered) kırılmış uç geometrisi



Şekil 5-11 Yuvarlatma (Honed) yapılmış uç geometrisi.

Analizde kullanılacak kesme Şartları Taguchi Design kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her bir uç geometrisi için 9 farklı kesme şartında analizler koşturulmuştur.

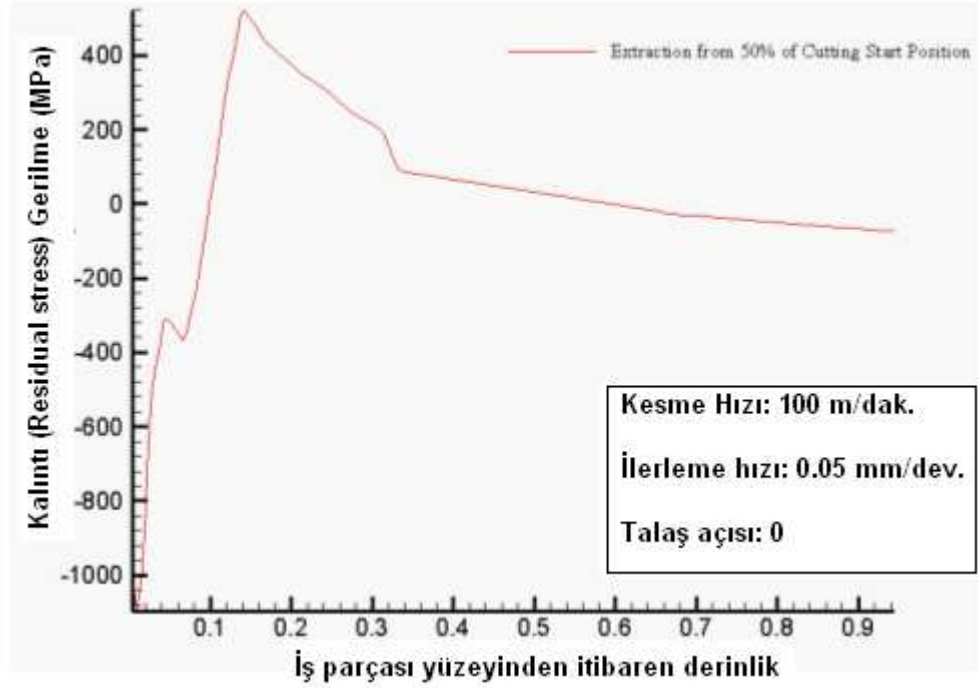
Tablo 5. 1Kesme Şartları

	A	B	C		Speed(m/dak.)		Feed(mm/dev)		Rake Angle
1	1	1	1		100		0,05		0
2	1	2	2		100		0,10		-5
3	1	3	3		100		0,15		-15
4	2	1	2		150		0,05		-5
5	2	2	3		150		0,10		-15
6	2	3	1		150		0,15		0
7	3	1	3		200		0,05		-15
8	3	2	1		200		0,10		0
9	3	3	2		200		0,15		-5

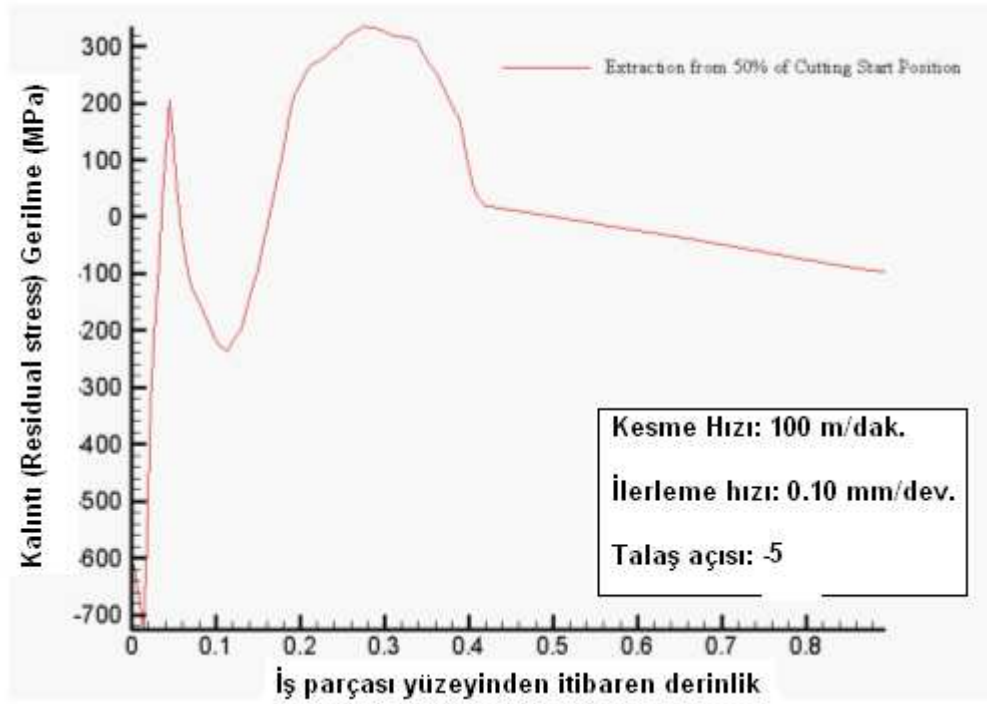
Aşağıda analizler sonucu elde edilen olarak kalıntı gerilme grafikleri aşağıda ayrıntılı verilmiştir.

5.5.1 Analiz Sonuçları Ve Kalıntı Gerilme Grafikleri

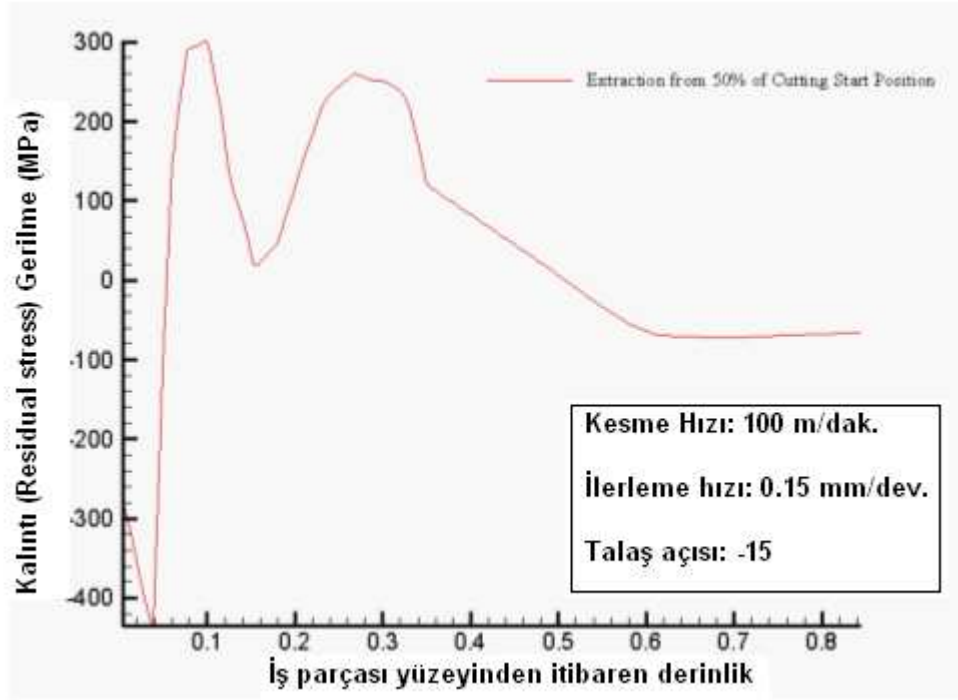
5.5.1.1 Yuvarlatılmış Uç Geometrisine Ait Grafikler



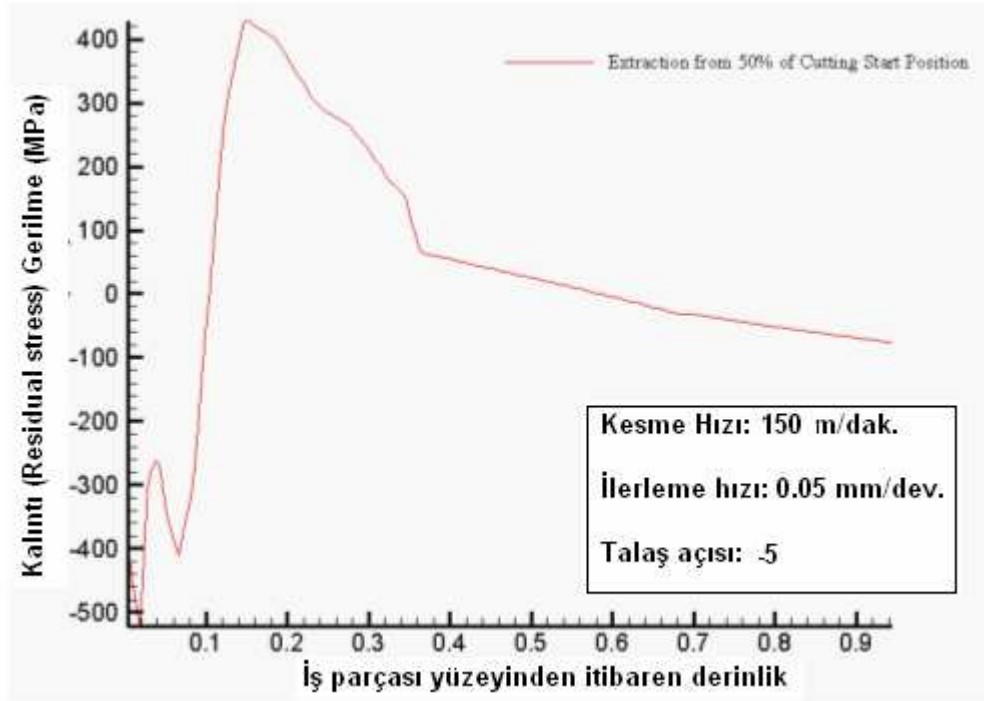
Şekil 5-12 . 100 m/dak ve 0.05 mm/dev için kalıntı gerilme grafiği



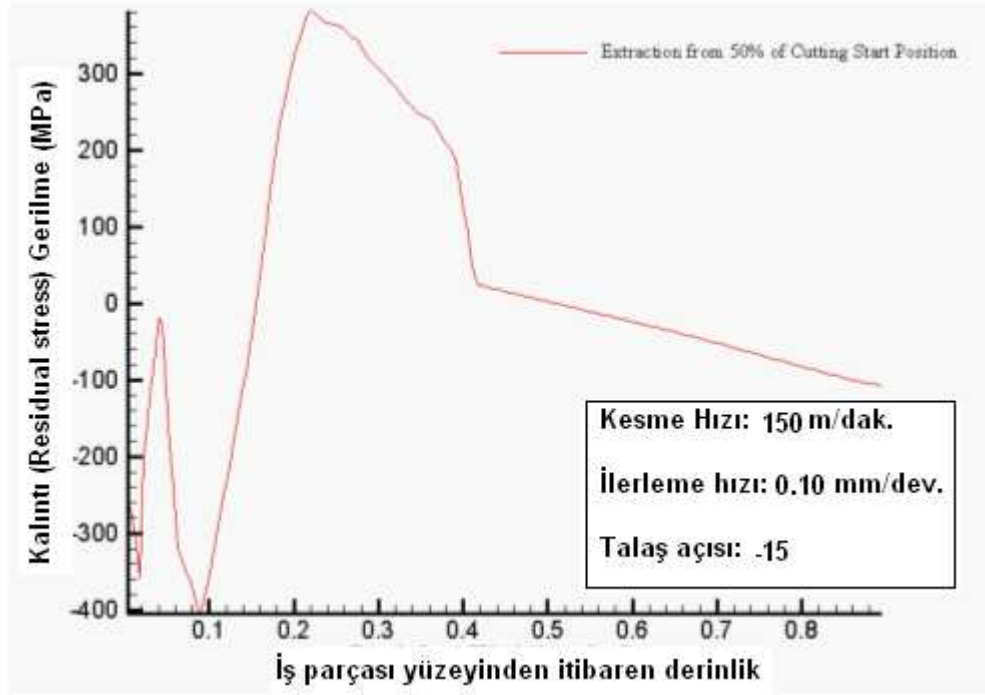
Şekil 5-13 . 100 m/dak ve 0.10 mm/dev için kalıntı gerilme grafiği



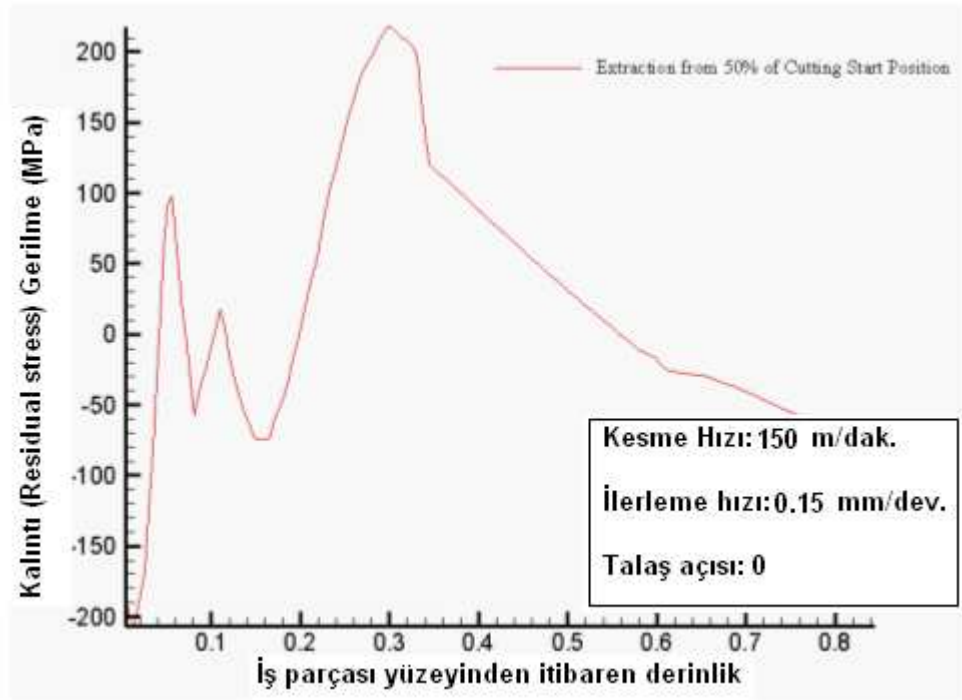
Şekil 5-14 . 100 m/dak ve 0.15 mm/dev için kalıntı gerilme grafiği



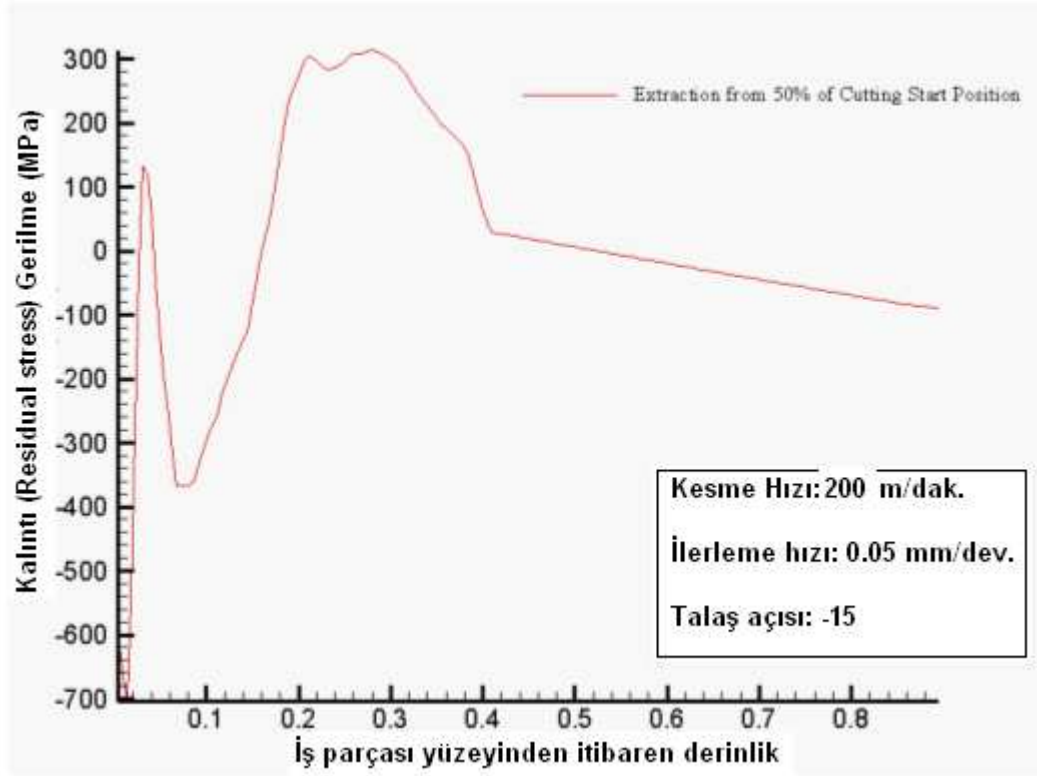
Şekil 5-15 . 150 m/dak ve 0.05 mm/dev için kalıntı gerilme grafiği



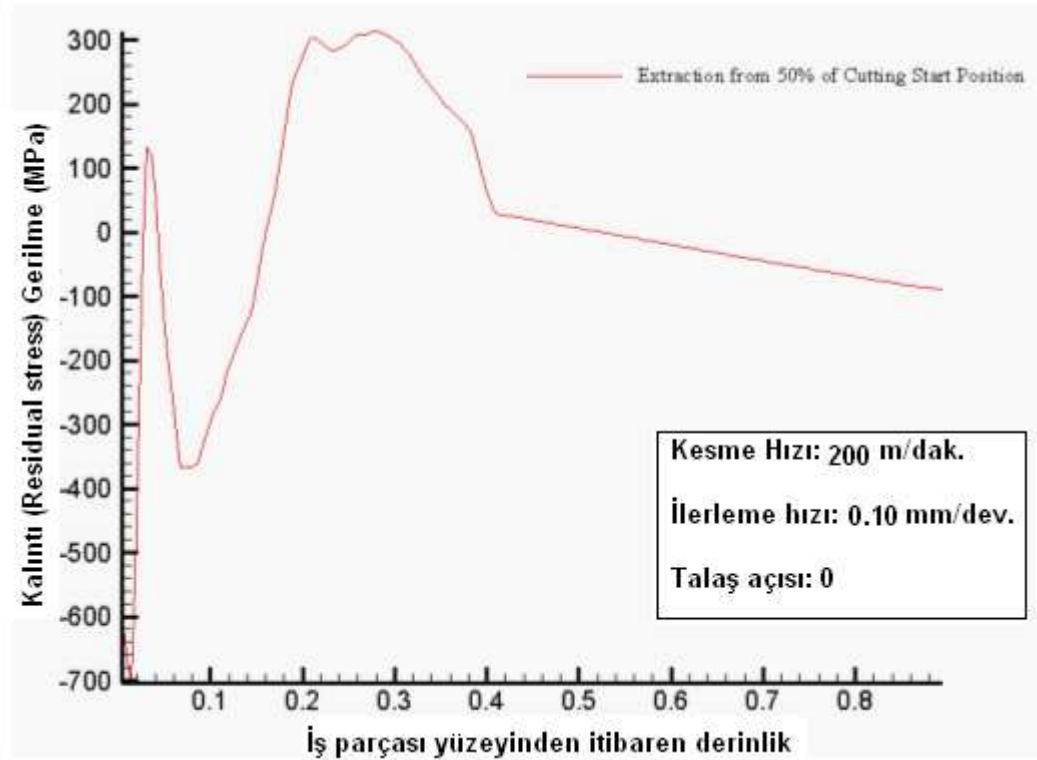
Şekil 5-16 .150 m/dak ve 0.10 mm/dev için kalıntı gerilme grafiği



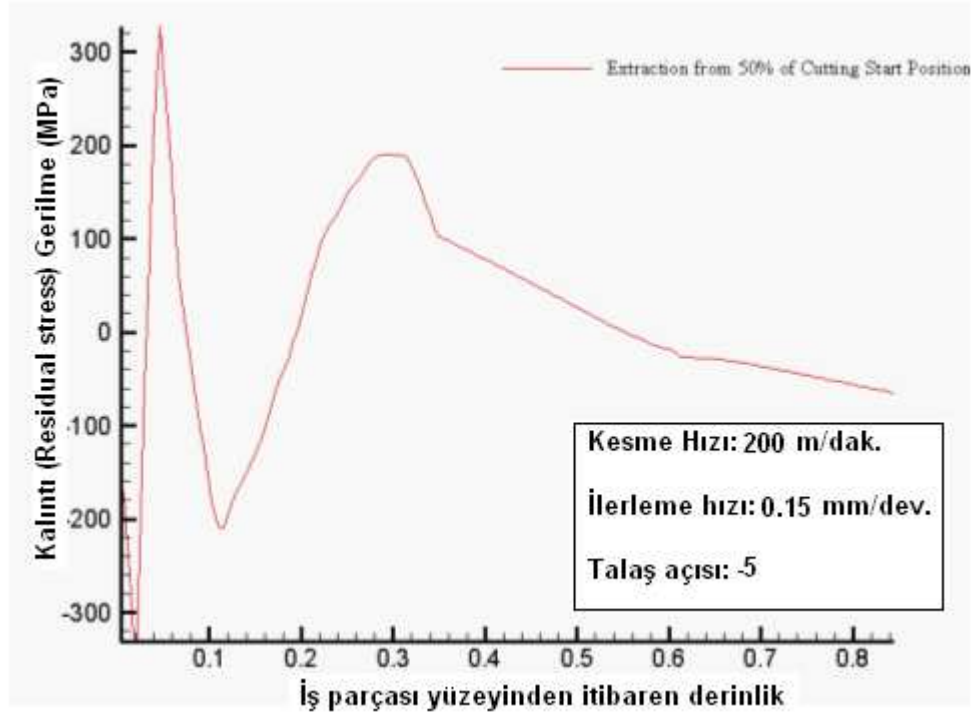
Şekil 5-17.150 m/dak ve 0.15 mm/dev için kalıntı gerilme grafiği



Şekil 5-18. 200 m/dak ve 0.05 mm/dev için kalıntı gerilme grafiği

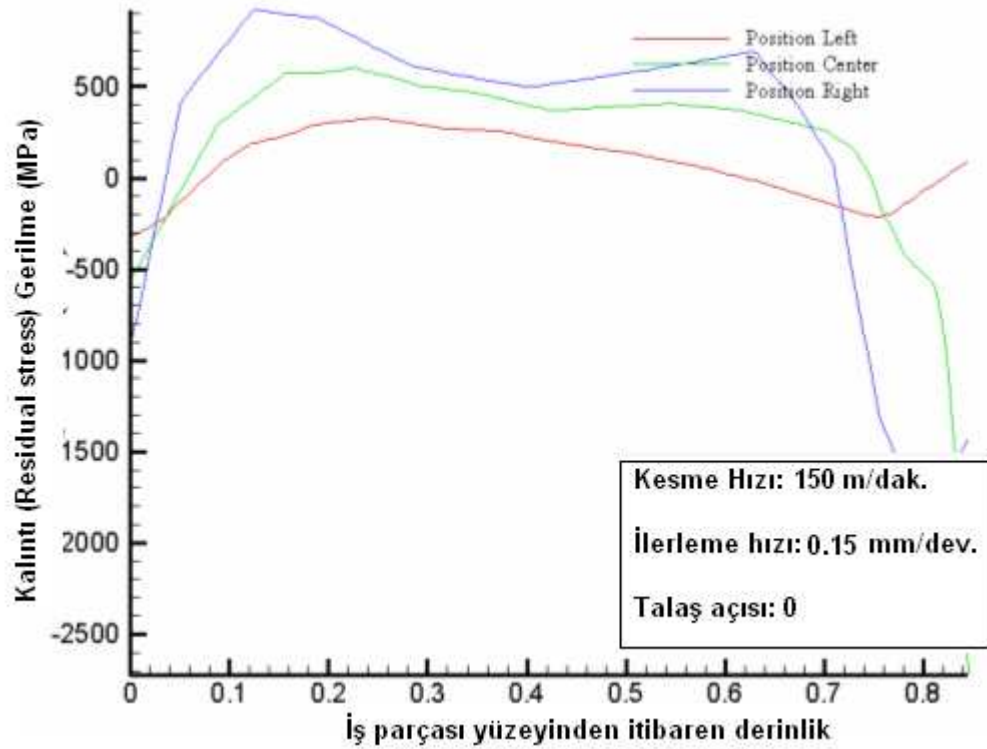


Şekil 5-19. 200 m/dak ve 0.10 mm/dev için kalıntı gerilme grafiği

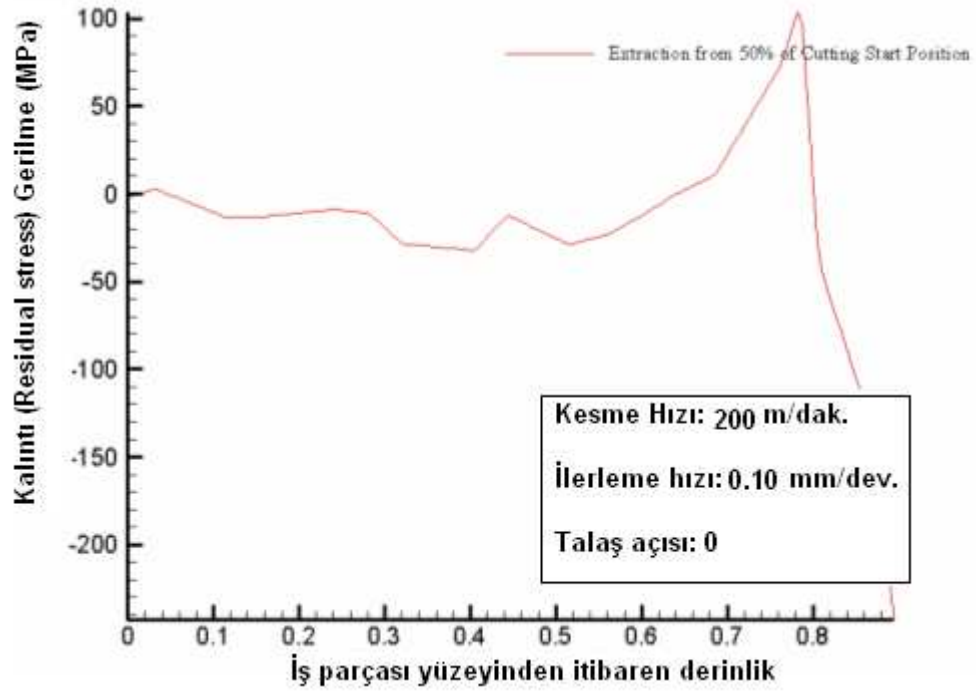


Şekil 5-20. 200 m/dak ve 0.15 mm/dev için kalıntı gerilme grafiği.

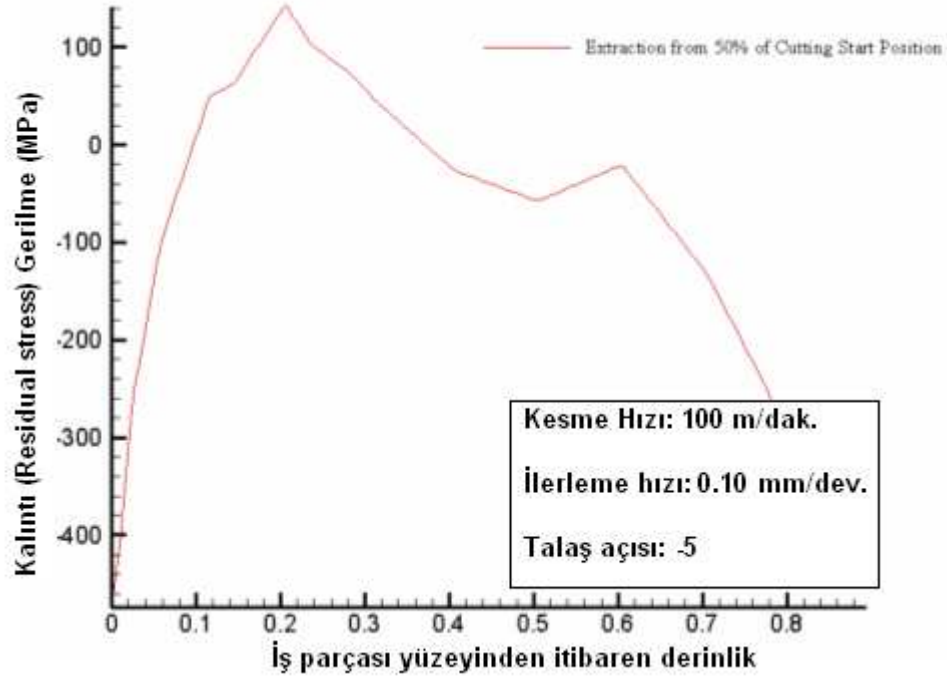
5.5.1.2 Pah Kırılmış Uç Geometrisine Ait Grafikler



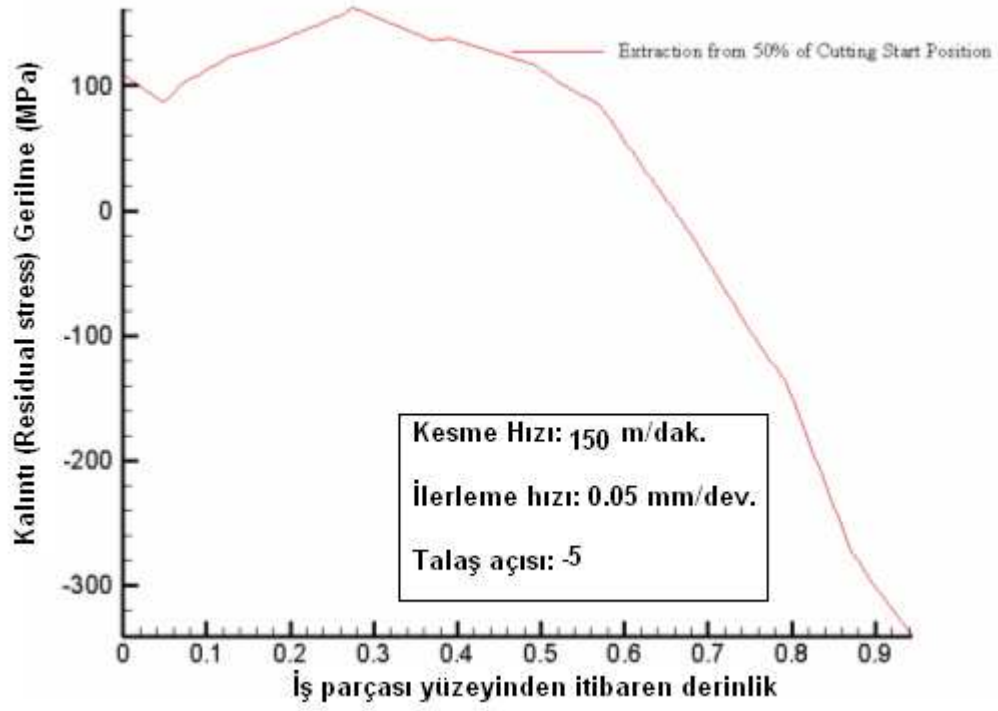
Şekil 5-21. 100 m/dak ve 0.05 mm/dev için kalıntı gerilme grafiği (Pah kırılmış uç)



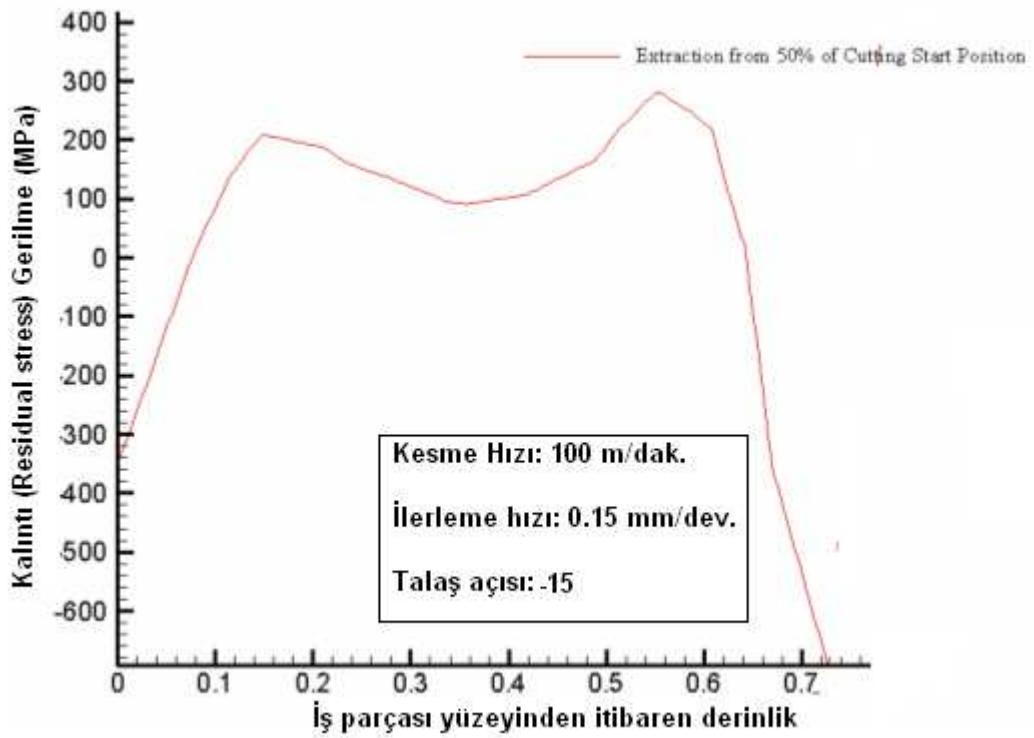
Şekil 5-22. 100 m/dak ve 0.10 mm/dev için kalıntı gerilme grafiği (Pah kırılmış uç)



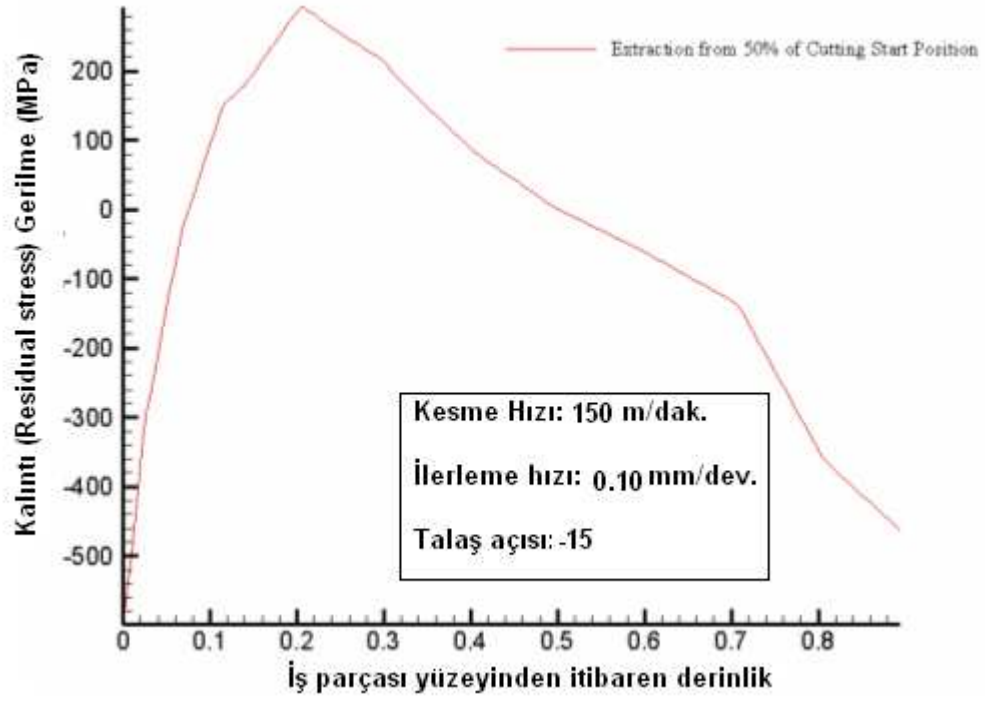
Şekil 5-23. 100 m/dak ve 0.15 mm/dev için kalıntı gerilme grafiği (Pah kırılmış uç)



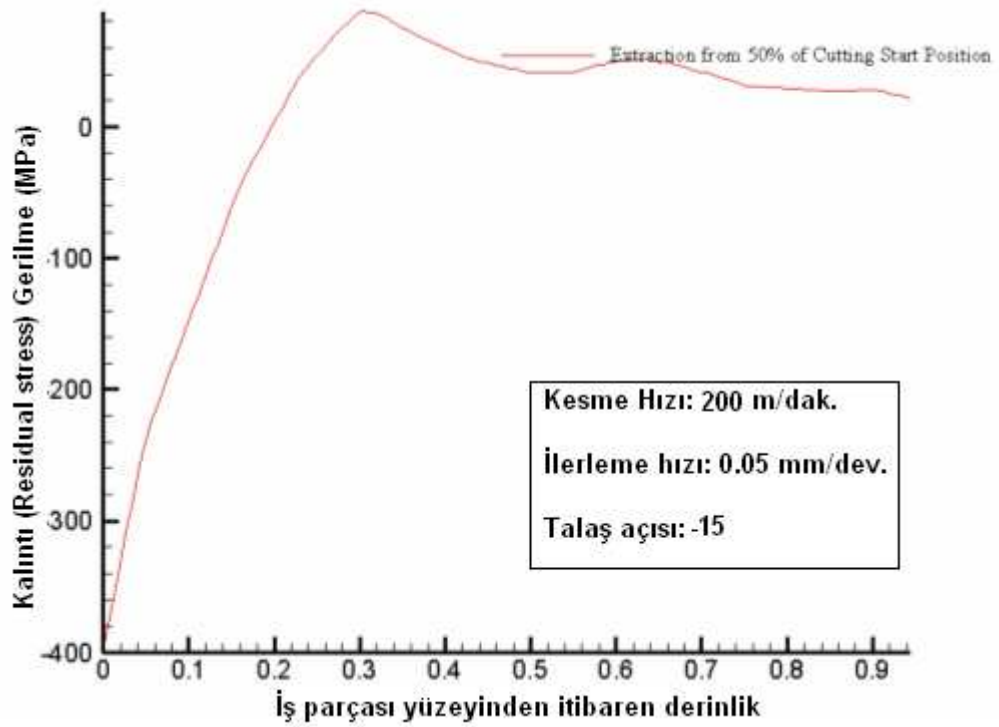
Şekil 5-24. 150 m/dak ve 0.05 mm/dev için kalıntı gerilme grafiği (Pah kırılmış uç)



Şekil 5-25. 100 m/dak ve 0.15 mm/dev için kalıntı gerilme grafiği (Pah kırılmış uç)

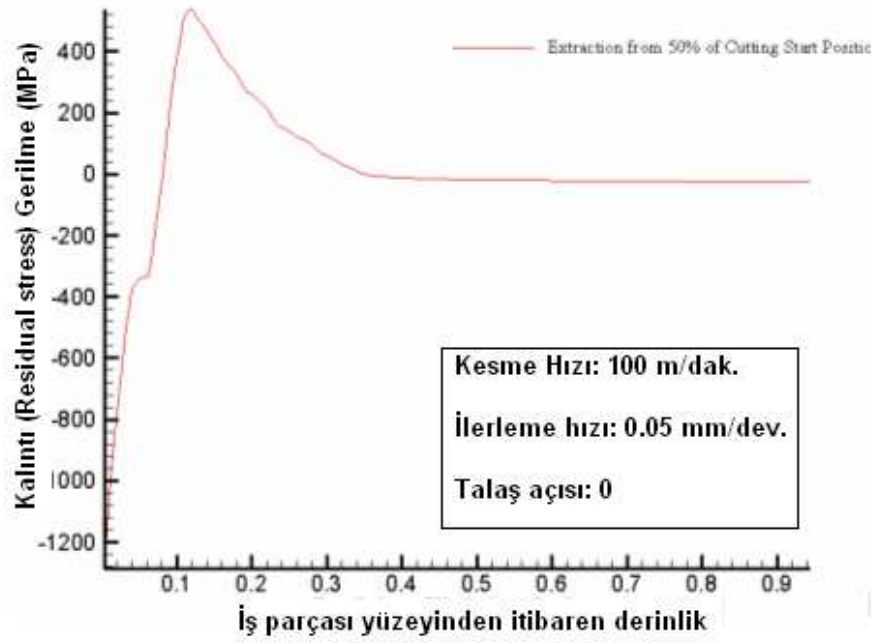


Şekil 5-26. 200 m/dak ve 0.15 mm/dev için kalıntı gerilme grafiği (Pah kırılmış uç)

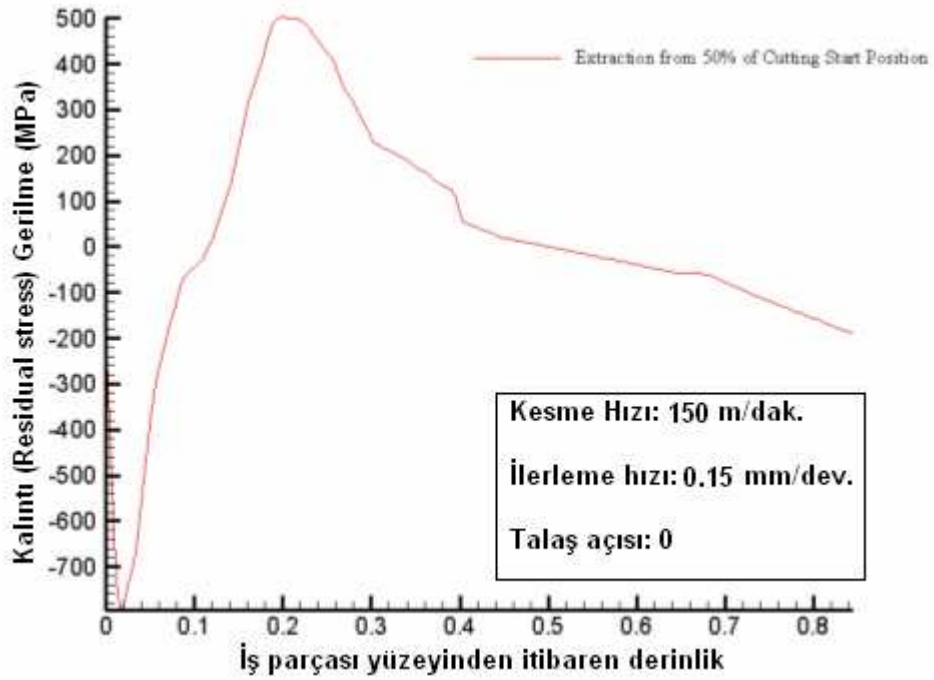


Şekil 5-27. 200 m/dak ve 0.15 mm/dev için kalıntı gerilme grafiği (Pah kırılmış uç)

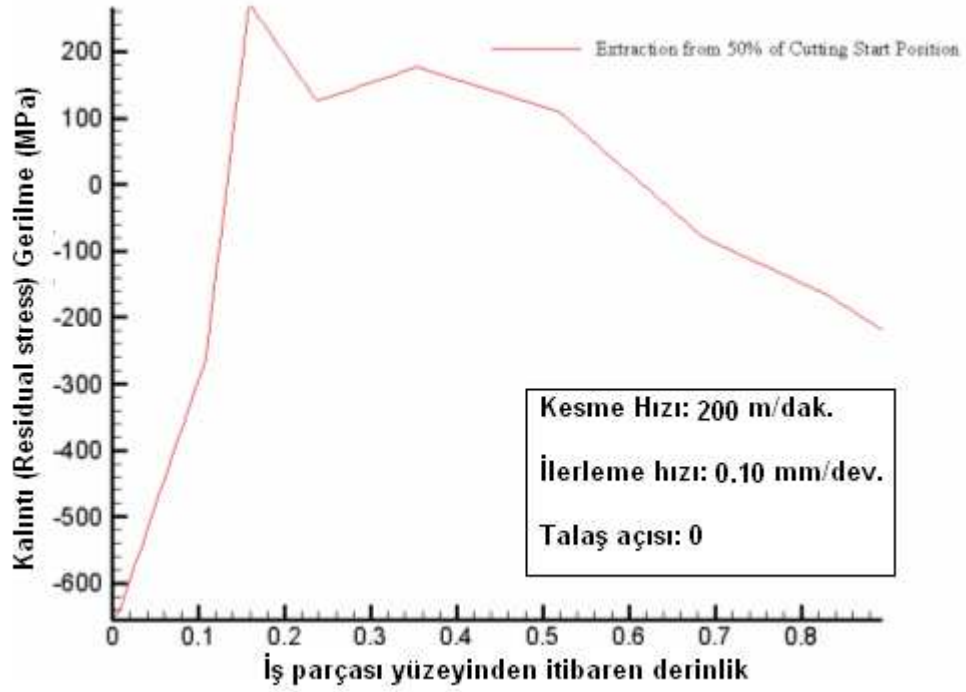
5.5.1.3 Pah Kırılmış ve Yuvarlatılmış Uç Geometrisine Ait Grafikler



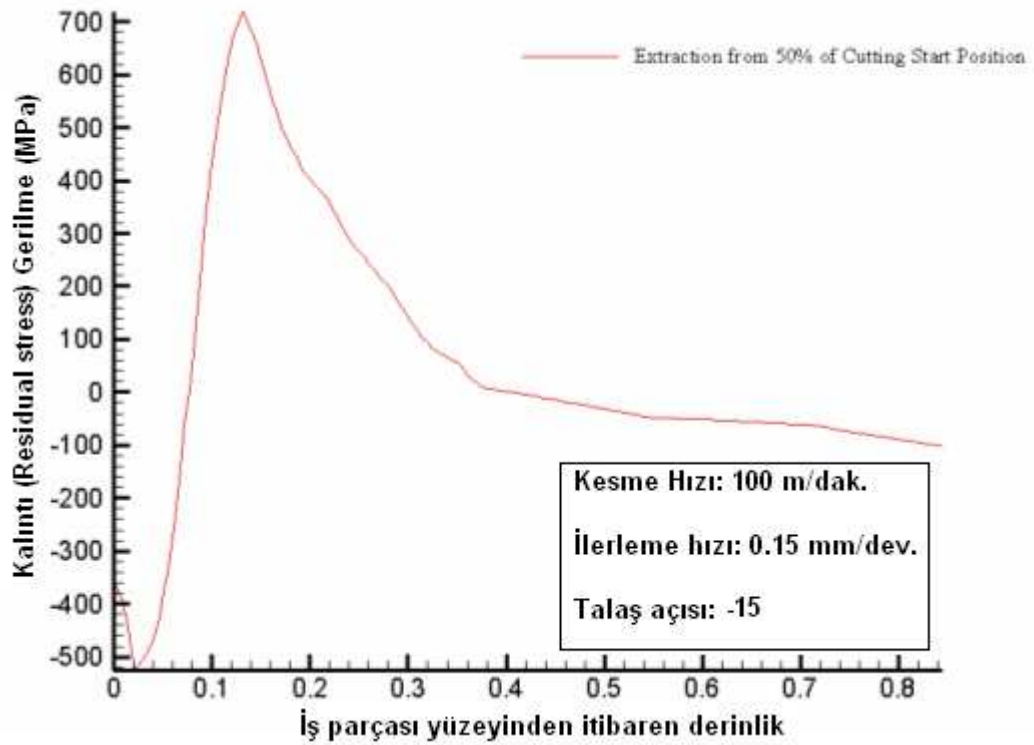
Şekil 5-28.100 m/dak ve 0.05 mm/dev için kalıntı gerilme grafiği



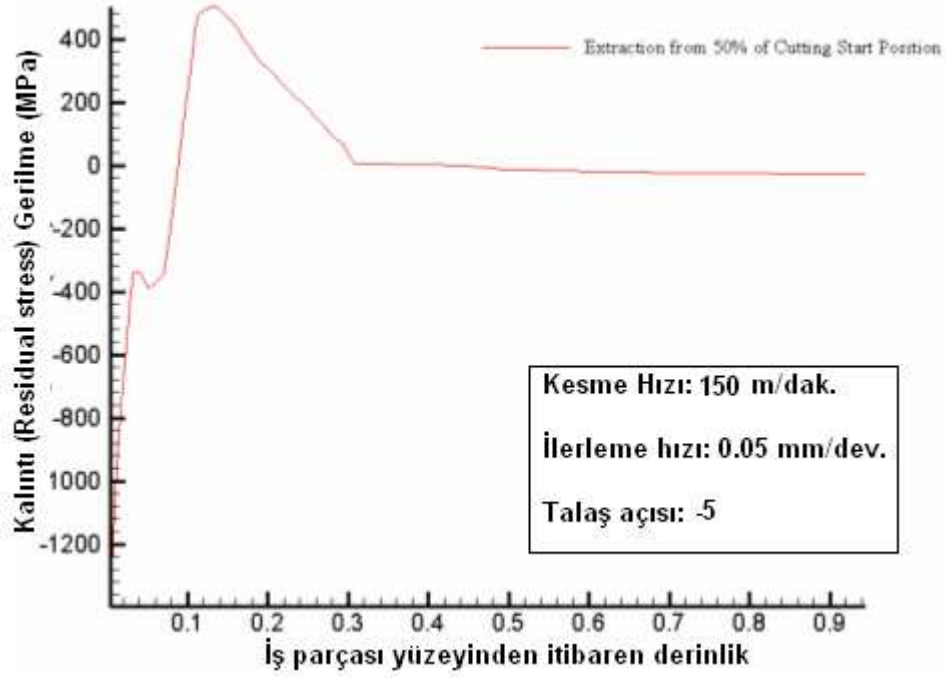
Şekil 5-29.150 m/dak ve 0.15 mm/dev için kalıntı gerilme grafiği.



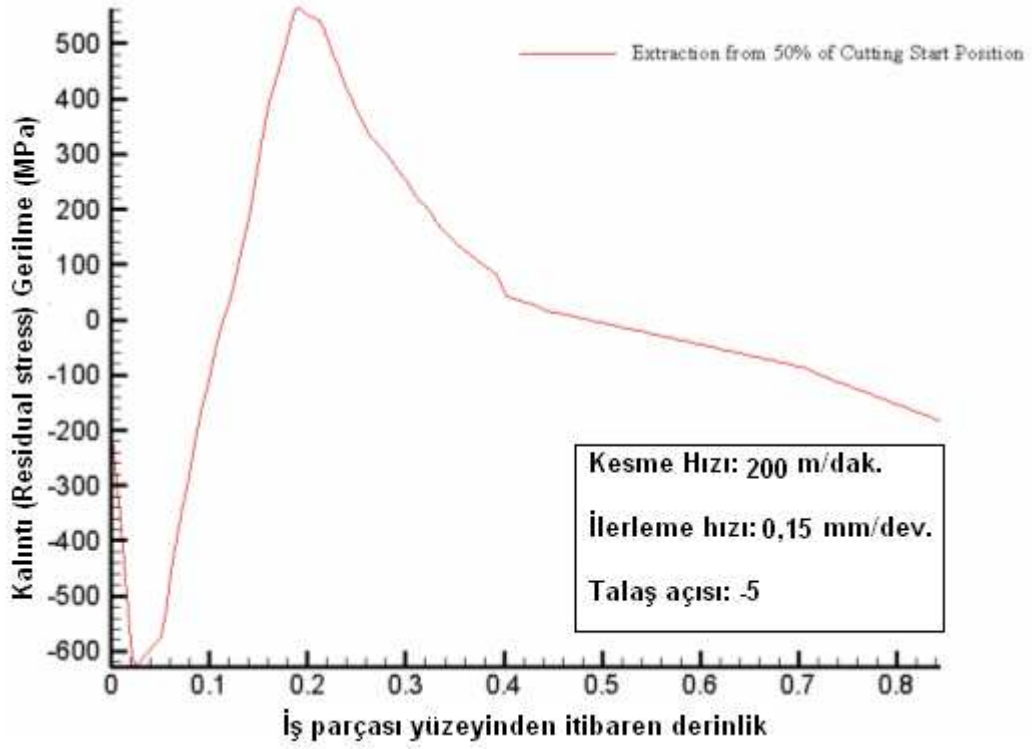
Şekil 5-30. 200 m/dak ve 0.10 mm/dev için kalıntı gerilme grafiği.



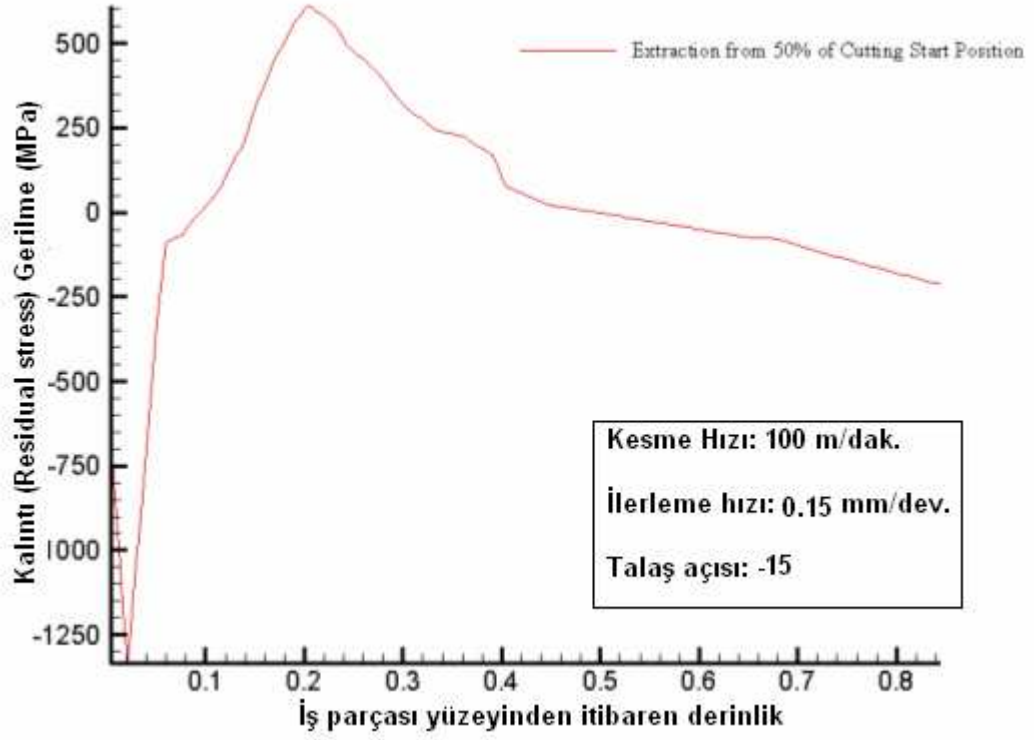
Şekil 5-31. 100 m/dak ve 0.15 mm/dev için kalıntı gerilme grafiği.



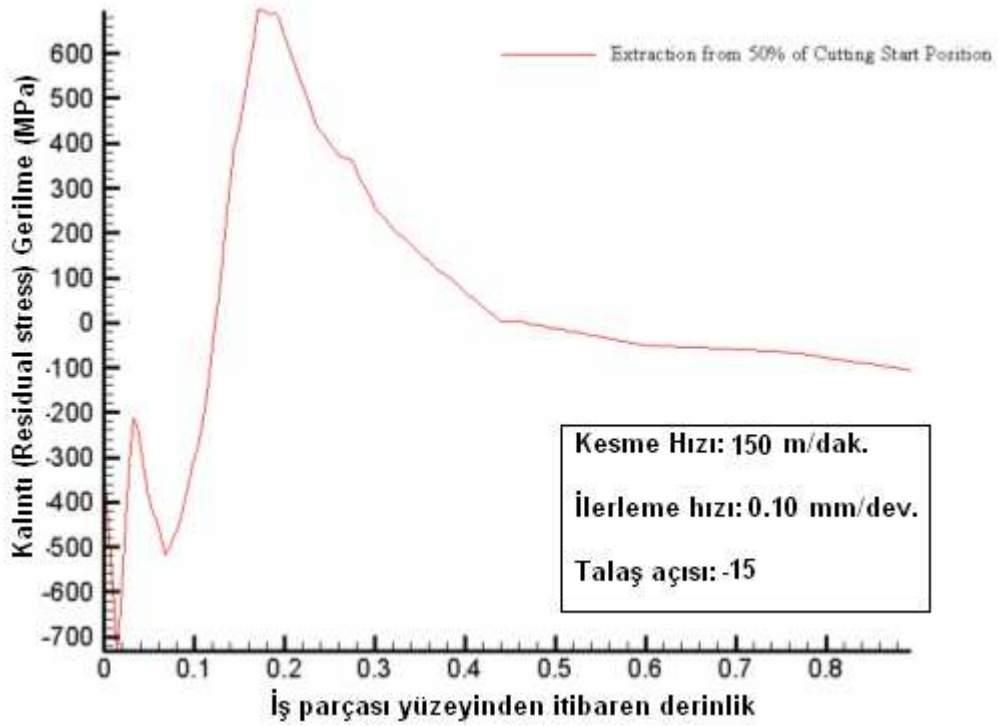
Şekil 5-32. 150 m/dak ve 0.05 mm/dev için kalıntı gerilme grafiği.



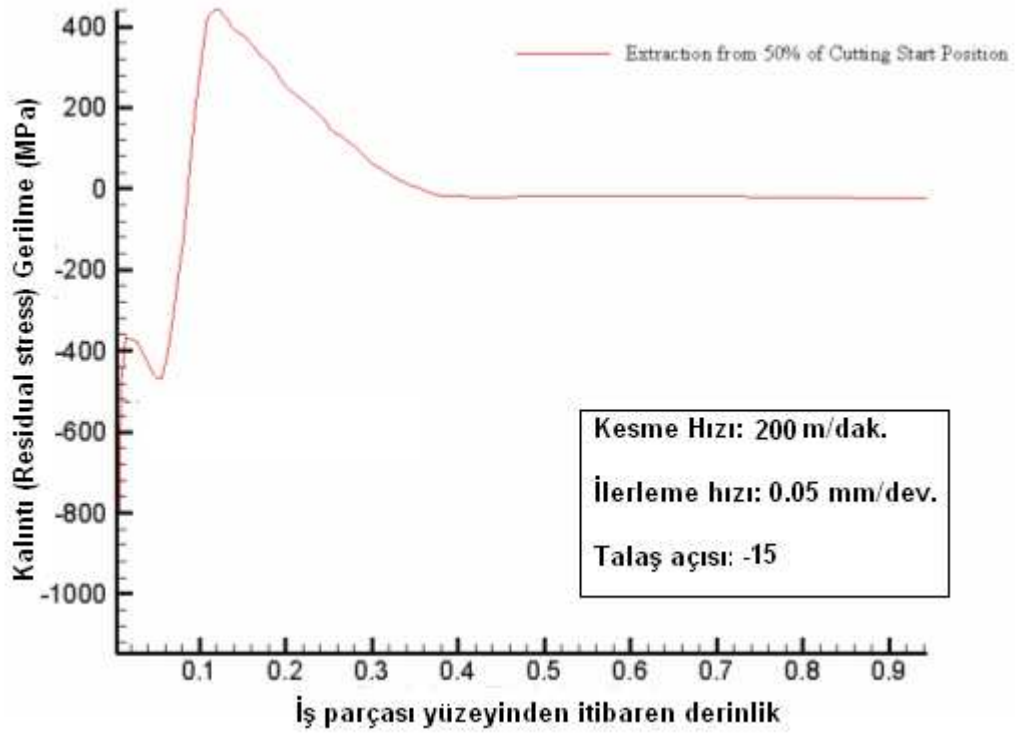
Şekil 5-33. 200 m/dak ve 0.15 mm/dev için kalıntı gerilme grafiği



Şekil 5-34. 100 m/dak ve 0.15 mm/dev için kalıntı gerilme grafiği



Şekil 5-35. 150 m/dak ve 0.10 mm/dev için kalıntı gerilme grafiği.



Şekil 5-36. 200 m/dak ve 0.05 mm/dev için kalıntı gerilme grafiği (Pah ve yuvarlatmalı uç)

5.6 Sonuçlar

Analizlerin temel hedefi farklı uç geometrilerinin kesme işlemini nasıl etkileyeceğini tesbit etmektir. Uç geometrisi olarak yuvarlatılmış, pah kırılmış ve hem yuvarlatılmış hemde pah kırılmış kesici geometrisi 2 boyutlu olarak modellenmiştir. Kalıntı gerilmeler parçaların yorulma ömürleri üzerinde oldukça büyük etkiye sahip değişkenlerden birisidir. Çekme kalıntı (Tensile residual stress) gerilmeleri ve basma kalıntı (compressive residual stress) gerilmeleri diye 2 ayrılırlar. Çekme kalıntı gerilmeleri daha çok sıcaklık (termal) etkisiyle oluşurken, basma kalıntı gerilmeleri mekanik yük etkisiyle oluşmaktadır. Basma kalıntı gerilmeleri malzemelerin yorulma ömürlerini artırırken çekme kalıntı gerilmeleri kısaltmaktadır. Analizler sonucunda pah kırılmış ve yuvarlatılmış uç geometrisine sahip kesicinin kullanıldığı simülasyonlarda en yüksek basma kalıntı gerilmelerinin oluştuğu gözlenmiştir. Yuvarlatılmış uç geometrisine sahip kesicinin kullanıldığı analizlerde ise daha çok yüksek değerlerde çekme kalıntı gerilmelerinin iş parçası yüzeyinde ortaya çıktığı kaydedilmiştir.

6 KURU DELME İŞLEMİNDE MATKAP SICAKLIĞININ DENEYSEL VE NÜMERİK OLARAK ARAŞTIRILMASI

Bu bölümde devir sayısının, ilerleme hızının, delme derinliğinin, sürekli ve kademeli delmenin ve delme işleminin ardışık olarak gerçekleştirilmesinin sıcaklık değişimi üzerindeki etkileri deneysel ve numerik olarak araştırılmıştır. Delme işlemi esnasında oluşan sıcaklık ölçümü için deneysel yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir. TiAlN kaplı içten soğutmalı karbür matkabın yağlama boşluğuna standart bir termokupl yerleştirilmek suretiyle sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Deney şartları Taguchi metodu ardımıyla belirlenmiş ve deneyler AISI 1040 çelik ve Al 7075-T6 alüminyum olmak üzere 2 farklı malzeme kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Matkabın uç noktasındaki sıcaklık değeri, langrangian temelli açık (explicit) sonlu elemanlar analiz yazılımı olan ThirdWave AdvantEdge™ kullanılarak numeric olarak hesaplanmıştır. Sonlu elemanlar analiz sonuçları ile deneysel sonuçlar karşılaştırılmış ve aralarında çok az farklılıklar olduğu görülmüştür.

Modern talaş kaldırma işlemlerinde çok yüksek kesme hızlarına ulaşılmış olması kesme işlemlerinin termal yönden araştırılmasının önemini artırmıştır. Günümüze kadar kesme esnasındaki sıcaklık değerlerini belirleyebilmek için onlarca deneysel yaklaşım, analitik çözümlemeler ve nümerik metodlar geliştirilmiştir. Deneysel ve analitik çalışmalar çalışmalar genellikle tornalama, frezeleme ve taşlama prosesi üzerinde odaklanmış durumdadır[Ming, 2003; Ren, 2004; Müller, 2003; Sutter, 2003, Liu, 2002; Grzesik, 1999; Chen, 1997; Ay, 1998; O’Sullivan, 2001; Dewes, 1999; Kitagawa, 1997; Choudhury, 2003; Palazzo, 2002; D’errico, 1998; Kuriyagawa, 2003; Xu, 2001;Dörr,2003].

Delik delme prosesi kompleks bir kesme işlemi olduğu için kesme anındaki sıcaklık değerini belirlemek oldukça zor bir işlemdir. Başka bir deyişle delme esnasındaki sıcaklığı ölçmek için çok az deneysel çalışma yapılmıştır[Bono, 2001-

2002; Agapiou, 1990; Kalidas, 2001]. İş parçası, kesici takım ve kesicitaım-talaş arasında sıcaklık değerlerini ölçmek için oldukça fazla method vardır. Bu metodlar literatürde detaylı olarak anlatılmıştır[Da Silva, 1999; Tay, 1993].

Delme prosesi esnasında, matkab ucu ile talaş arasında oluşan sıcaklı iş parçasının özelliklerini ve kesici takımın performansının doğrudan etkileyen en önemli faktörlerden bir tanesidir. Kesme sıcaklığı, kesici takım aşınmasını, delik hassasiyetini ve yüzey pürüzlülüğünü doğrudan etkilemektedir. Son zamanlarda delme esnasında ortaya çıkan kesme sıcaklığının hesaplayabilmek için SEY kullanılmaktadır. Chen [Chen, 1996], matkabın birinci kesme kenarı ve boşluk yüzü boyunca oluşan sıcaklık dağılımını tahmin edebilmek için 3 boyutlu sonlu elemanlar modeli kurarak analizler yapmıştır [Chen, 1996]. Yine Fuh [Fuh, 1994] tarafından 3 boyutlu SEY kullanılarak sıcaklık dağılımı için analizler yapılmıştır. Fuh çalışmasında kesme derinliğinin, kesme hızının, web kalınlığının ve helis açısının sıcaklık değişimi üzerindeki etkilerini araştırmıştır.

Agapiou ve Devires [Agapiou ,1990], iki ağızlı matkabın kesici kenarındaki ve flank yüzündeki termal olayları açıklayabilmek için analitik çalışmalar yapmışlardır. Elde etmiş oldukları analitik sonuçları deneysel verilerle karşılaştırmışlardır.

Agapiou ve Stephenson [Agapiou, 1994], farklı geometrilere sahip matkap uçlarında oluşabilecek sıcaklık değerlerini hesaplamak için bir model geliştirmişlerdir [Agapiou ve Stephenson]. Çalışmalarından elde etmiş oldukları analitik sonuçları iki farklı deneysel yaklaşımla elde ettikleri deneysel çıktılarla da karşılaştırmışlardır. Bono tarafından kuru delme esnasında oluşan sıcaklığın delik çapı ve silindirikliği üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bono çalışmasında 2 ve 3 boyutlu sonlu elemanlar yöntemini kullanarak ABAQUS yazılımını kullanarak nümerik analizler gerçekleştirmiş ve deneysel sonuçlarla kıyaslamıştır.

Kalidas, kuru ve ıslak kesme altında farklı matkap kaplamalarının delik kalitesi üzerindeki etkisini araştırırken farklı ilerleme ve devir sayılarında delme sıcaklığını ölçmüştür. Bu amaç için silindirik iş parçasının farklı yerlerine termokupl yerleştirmiştir[Kalidas, 2001].

6.1 Deneysel Malzemeler Ve Kesme Şartları

Kuru delme işlemi esnasında ortaya çıkan sıcaklık değerlerini ölçmek için yapılan deneyler 5 eksenli DECKEL MAHO DMU 60 P CNC işleme merkezinde gerçekleştirildi. İşleme merkezi maksimum 12.000 devir sayısına ulaşabilmekte ve 15 kW motor gücüne sahiptir. Delme deneylerinin yapıldığı CNC işleme merkezi Şekil 6.1.'de görülmektedir. Delik delmede kullanılan G kodları ProENGINEER CAD/CAM programı kullanılarak elde edilmiştir.



Şekil 6-1. CNC işleme merkezi ve data ölçmek için deneylerde kullanılan teçhizat.

6.1.1 Kesme Şartları

6.1.1.1 İlerleme Hızı Ve Devir Sayısının Etkisini Belirleyebilmek İçin Yapılan Deneyler

Taguchi metodu deneysel tasarım teorisi temelli, karmaşık üretim problemlerinin çözümünde uygulanan bir yöntemdir[Tsao ,2004]. Kesme değişkenlerinin (ilerleme hızı ve devir sayısı) sıcaklık üzerindeki etkilerini daha

efektif olarak hesaplayabilmek için 2 faktörlü, 3 seviyeli Taguchi ($L_9 (3^2)$) deneysel dağılımı kullanılmıştır. Tablo 6.1 ve 6.2 'de AISI 1040 çelik ve Al 7075-T651 Alüminyum alaşımı malzemeler için deneysel şartlar ayrıntılı olarak görülmektedir.

Tablo 6. 1. Al 7075-T6 alaşımının delinmesinde kullanılan kesme şartları

Örnek	Delme şartları	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
A	Devir Sayısı (dev/dak)	1910	2547	3184
B	İlerleme Hızı (mm/dev)	0.1	0.15	0.20

Deney No	Devir Sayısı (dev/dak)	İlerleme Hızı (mm/dev)
1	1910	0.10
2	1910	0.15
3	1910	0.20
4	2547	0.10
5	2547	0.15
6	2547	0.20
7	3184	0.10
8	3184	0.15
9	3184	0.20

Tablo 6. 2. AISI 1040 delinmesinde kullanılan kesme şartları

Örnek	Delme şartları	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
A	Devir Sayısı (dev/dak)	955	1433	1910
B	İlerleme Hızı (mm/dev)	0.08	0.12	0.16

Deney No	Devir Sayısı (dev/dak)	İlerleme Hızı (mm/dev)
1	955	0.08
2	955	0.12
3	955	0.16
4	1433	0.08
5	1433	0.12
6	1433	0.16
7	1910	0.08
8	1910	0.12
9	1910	0.16

6.1.1.2 Ardışık Delme İşleminin Sıcaklık Üzerindeki Etkisini Belirlemek İçin Yapılan Deneyler

Ardışık delme prosesinde farklı ilerleme değerleri ve farklı malzemeler için sıcaklık ölçüm deneyleri yapılmıştır. Deney şartları Tablo 6.3’de görülmektedir. Her ardışık delme deneyi için sıcaklık ve delme kuvveti ölçümü yapılmıştır. Bir ardışık delme prosesi esnasında 3 adet iş parçası 3 takım tutucuya sabitlenmiş halde CNC işleme merkezinin magazininde yer alacak şekilde hazırlanmıştır. Kullanılan takım tutucunun kodu SK 40 (GEWEFA-05.029.002-Ø2-25)’dir. Delme işlemi ardışık

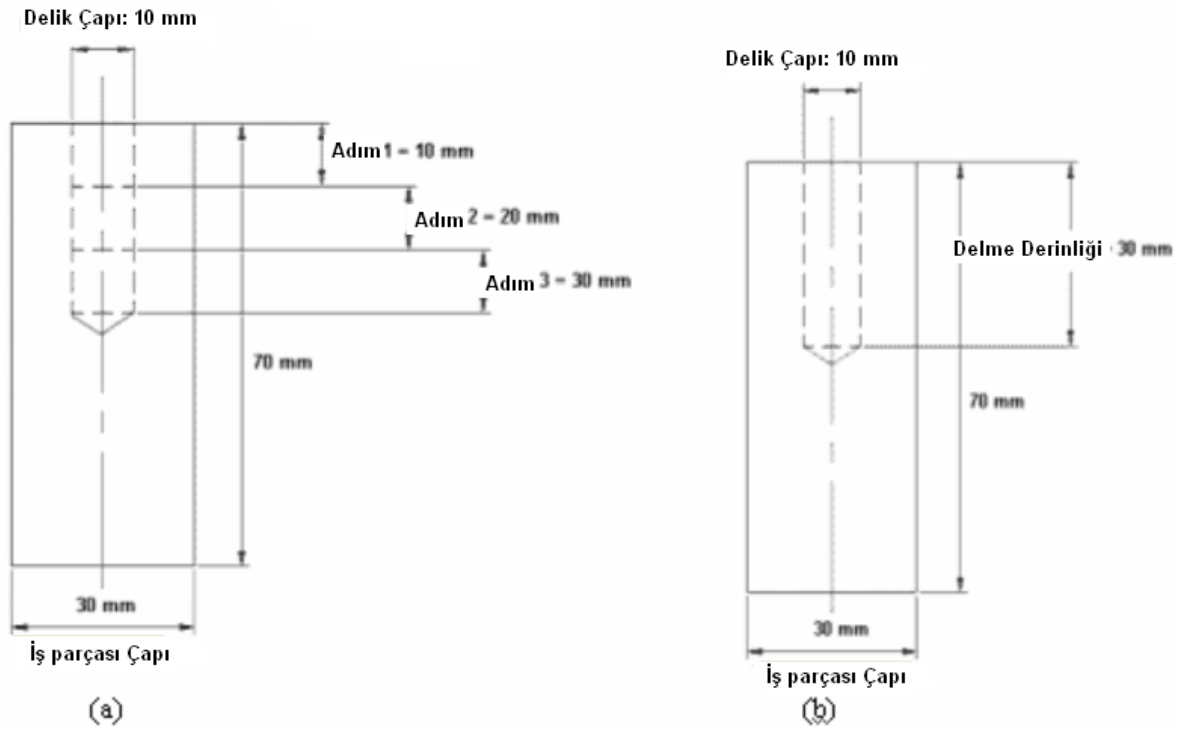
olarak gerçekleştirilip, her delme prosesi arasındaki iş parçası değiştirme zamanı 5 saniye olarak ölçülmüştür. Delme derinliği 35 mm olarak sabit bir değer alınmıştır.

Tablo 6. 3. Delme deney şartları (Delme derinliği=35 mm)

Malzemeler	Deney No	Devir Sayısı (dev/dak)	İlerleme Hızı (mm/dev)
Al 7075-T651	1	2547	0.1
	2	2547	0.15
AISI 1040	3	1433	0.08

6.1.1.3 Sürekli , Adım Adım (Kademeli) Delme İşleminin Ve Delme Derinliğinin Sıcaklık Üzerindeki Etkilerini Belirlemek İçin Yapılan Deneyler

Farklı malzemelerin kuru olarak delinmesi esnasında delme derinliğinin, sürekli delme işleminin ve kademeli delmenin delme sıcaklığı üzerindeki etkisini belirleyebilmek için farklı delme şartlarında toplam 30 deneysel çalışma yapılmıştır. Deney şartları Tablo 4 ve 5’de ayrıntılı olarak gösterilmiştir. İş parçalarına kör delik delinmiştir.



Şekil 6-2 (a) Kademeli delik delme ve (b) sürekli kuru delik delme işlemlerinin şematik gösterimi.

Delme deneylerinin herbiri için sıcaklık değerleri kaydedilmiştir. Kademeli delme işleminde Şekil 6.2a’da görüldüğü gibi her kademe 10 mm olmak üzere toplam 30 mm derinliğinde kör delikler delinmiştir. Farklı delme derinlikleri için yapılan testlerde, AISI 1040 malzemesi için 20,25 ve 30 mm derinlik değerleri alınırken Al 7075-T651 malzemesi için 20,30 ve 40 mm derinlik değerlerinde delme deneyleri yapılmıştır(Şekil 6.2b).

Tablo 6. 4. Farklı delme derinliklerinde gerçekleştirilen sürekli kuru delme işlemi için deneysel şartları

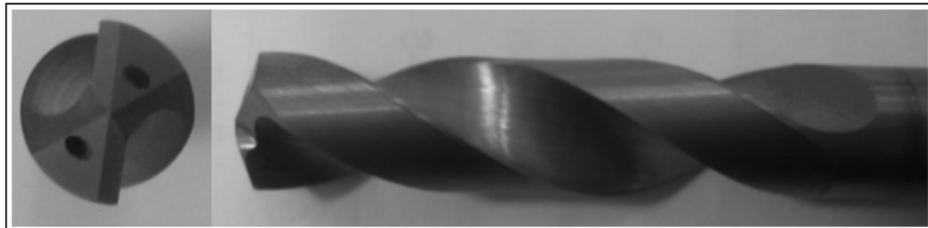
Malzemeler	Deney No	Devir Sayısı (dev/dak)	İlerleme Hızı (mm/dev)	Delme derinliği (mm)
AL 7075-T651	1	2547	0.1	20
AL 7075-T651	2	2547	0.15	20
AL 7075-T651	3	2547	0.2	20
AL 7075-T651	4	2547	0.1	30
AL 7075-T651	5	2547	0.15	30
AL 7075-T651	6	2547	0.2	30
AL 7075-T651	7	2547	0.1	40
AL 7075-T651	8	2547	0.15	40
AL 7075-T651	9	2547	0.2	40
AISI 1040	10	955	0.08	20
AISI 1040	11	955	0.12	20
AISI 1040	12	955	0.16	20
AISI 1040	13	955	0.08	25
AISI 1040	14	955	0.12	25
AISI 1040	15	955	0.16	25
AISI 1040	16	955	0.08	30
AISI 1040	17	955	0.12	30
AISI 1040	18	955	0.16	30

Tablo 6. 5. Kademeli kuru delme işlemi için deneysel şartlar

Malzemeler	Deney No	Devir Sayısı (dev/dak)	İlerleme Hızı (mm/dev)
AL 7075-T651	1	2547	0.1
AL 7075-T651	2	2547	0.15
AL 7075-T651	3	2547	0.2
AL 7075-T651	4	1910	0.1
AL 7075-T651	5	1910	0.15
AL 7075-T651	6	1910	0.2
AISI 1040	7	955	0.08
AISI 1040	8	955	0.12
AISI 1040	9	955	0.16
AISI 1040	10	1433	0.08
AISI 1040	11	1433	0.12
AISI 1040	12	1433	0.16

6.2 Kesici takımlar ve İş malzemelerinin Özellikleri

AISI 1040 ve AL 7075-T651 malzemelerinin delinmesinde kullanılmak üzere Sandvik Coromant Catalog'dan şekil 6.3'de görülmekte olan R840 1000 A1A kodlu içten soğutmalı matkap seçilmiştir.



Şekil 6-3. R840 1000 A1A kolu delik matkabı.

Delme matkabına ait boyutsal ve mekanik özellikler Tablo 6.6’de gösterilmiştir. Matkap içten soğutmalı ve çift kaplamalıdır.

Tablo 6. 6. Matkaba ait boyutsal ve mekanik özellikler

Matkap Çapı	10 mm
Kanal Sayısı	2 kanallı
Kesici ağız uzunluğu	47 mm
Uç açısı	140°
Helis Açısı	30°
Tutucu sap tipi	Silindrik
Kaplama türü	TiN/TiAlN

Deneylerde kullanılmakata üzere her iki malzemeden de 25 mm çapında, 75 mm uzunluğunda numuneler hazırlanmıştır. Tablo 6.7 ve 6.8’de malzemelere ait kimyasal kompozisyonlar ve mekaniksel özellikler detaylandırılmıştır.

Tablo 6. 7. Malzemelerin Kimyasal Kompozisyonları (wt %)

Al 7075-T651

Zn	Si	Mn	Cr	Ti	Al	Cu
0.5	0.13	0.30	0.28	0.2	base	2.0

(a)

AISI 1040 Çelik

C	Si	Mn	P	S
0.39	0.24	0.71	0.02	0.03

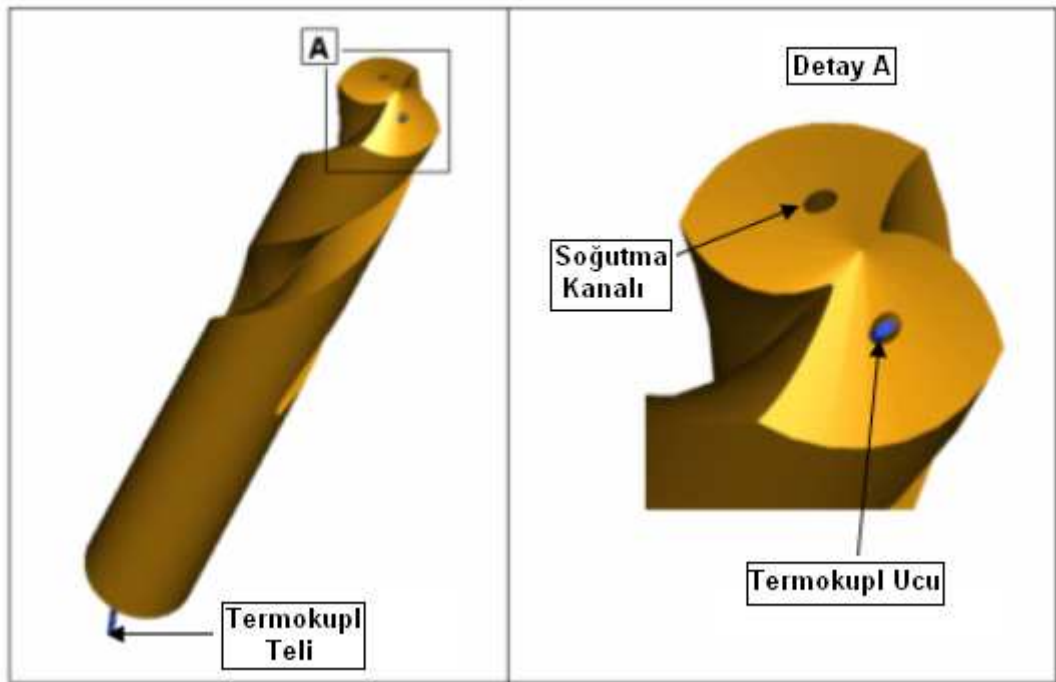
(b)

Tablo 6. 8. Malzemelerin mekanik özellikleri

Malzeme	UTS	YS	Yoğunluk	Uzama	Sertlik
	(MPa)	(MPa)	kg/m ³	(%)	(Bhn)
AISI 1040	515	350	7845	%25	180
Al 7075-T6	570	505	2800	%11	160

6.3 Sıcaklık Ve Kuvvet Ölçüm Deneyleri

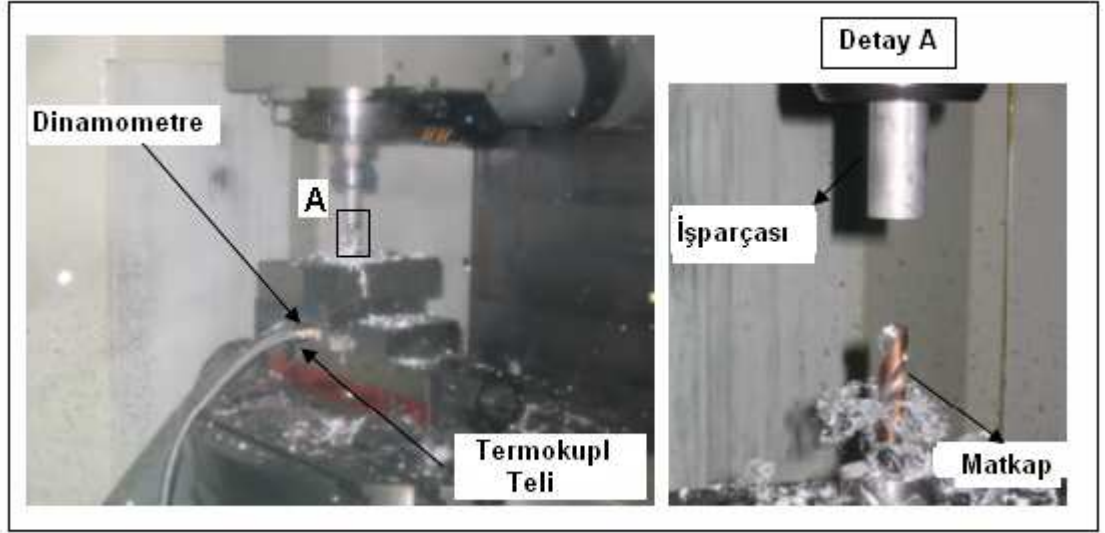
Ölçmede kullanılan cihazın yanıtlama zamanı ve sıcaklığın nereden ölçüleceği kesme prosesi esnasında oluşan sıcaklığı ölçmede en önemli iki husustur. Kullanılan teçhizatın hızlı ve geniş aralıkta ölçüm yapabilmesi gereklidir. Bu çalışmada 127 μm çapında K (Chromega®-Alomega®) tipi Teflon kaplı PFA OMEGA termokupl kullanılmıştır. Termokupl 500 °C'ye kadar sıcaklık ölçebilmekte ve 10 μs n yanıtlama zamanına sahiptir. Termokupl şekil 6.4'de de görüldüğü gibi içten soğutmalı karbür matkabın soğutma kanalından geçirilmiş ve matkabın uç kısmına yakın bir yere sabitlenmiştir. Matkabda özel bir tutucuya monte edilmiş ve o tutucuyla beraber CNC işleme merkezinin tablasına sabitlenmiş bulunana dinamometrenin üzerine yerleştirilmiştir.



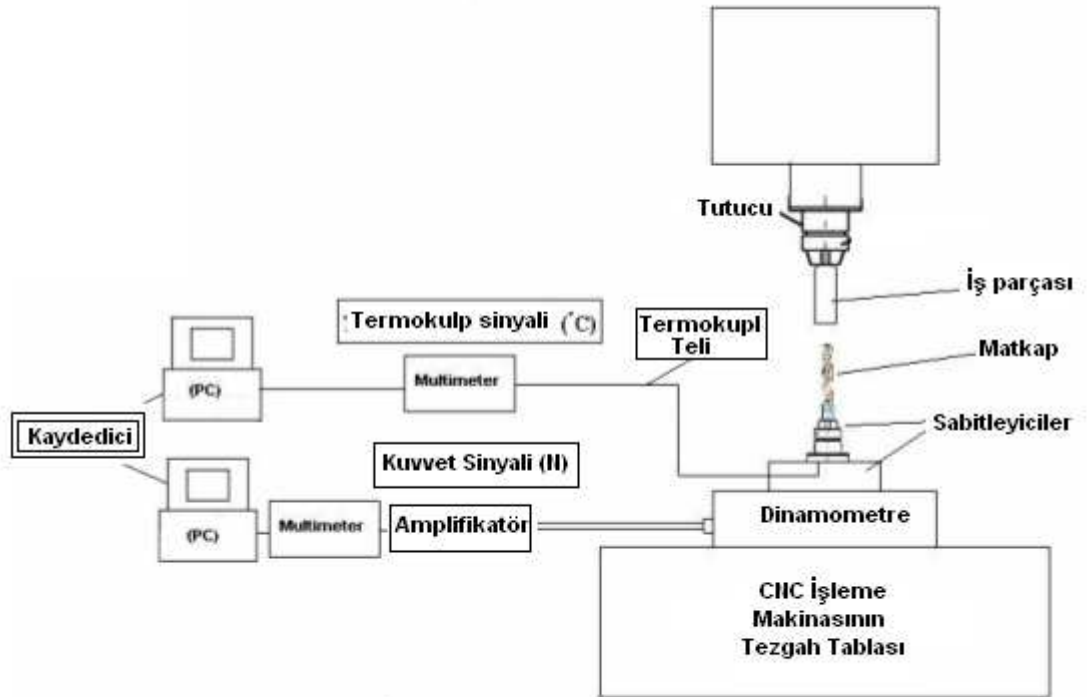
Şekil 6-4 İçten soğutmalı karbür matkabın soğutma kanalına termokuplun yerleştirilmesi.

Kuvvet ölçümü amacıyla 3 komponentli Kistler 9257BA dinamometre kullanılmıştır. Dinamometre amplifikatör yardımıyla multimeter'e bağlanmış ve bu sayede kuvvet datası vıl cinsinden elde edilebilmiştir. Kuvvet ve sıcaklık ölçümü

eşzamanlı olarak yapılmıştır. Şekil 6.5a ve 6.5b’de eş zamanlı olarak yapılan kuvvet ve sıcaklık ölçüm deney düzeneği ayrıntılı olarak görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 6-5. Deneysel kurulumun şematik ve fotoğrafik gösterimi.

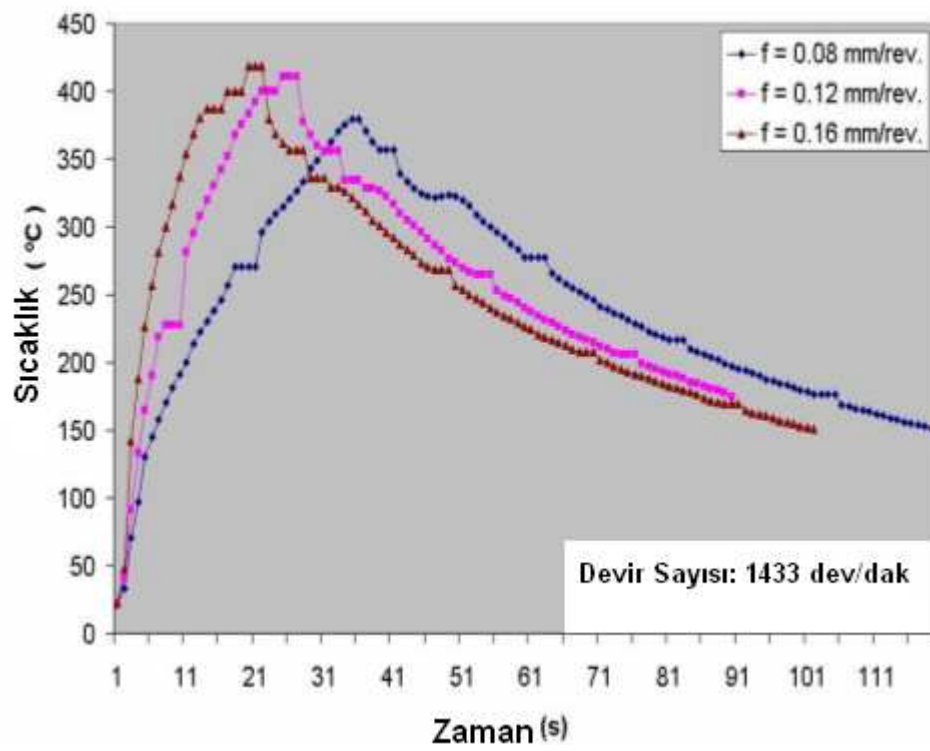
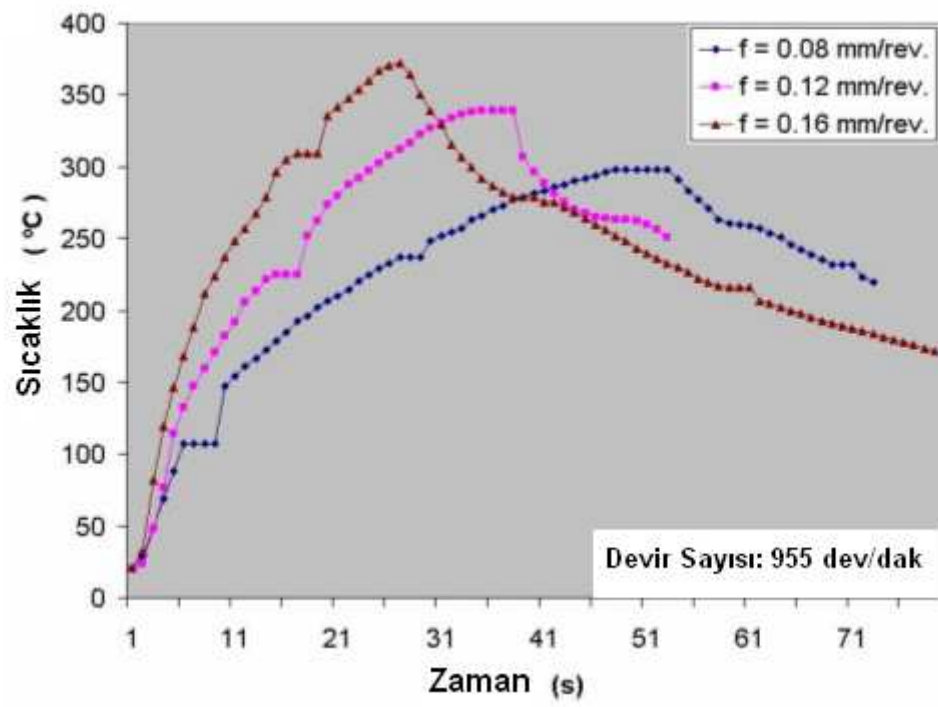
6.4 Sonuçlar

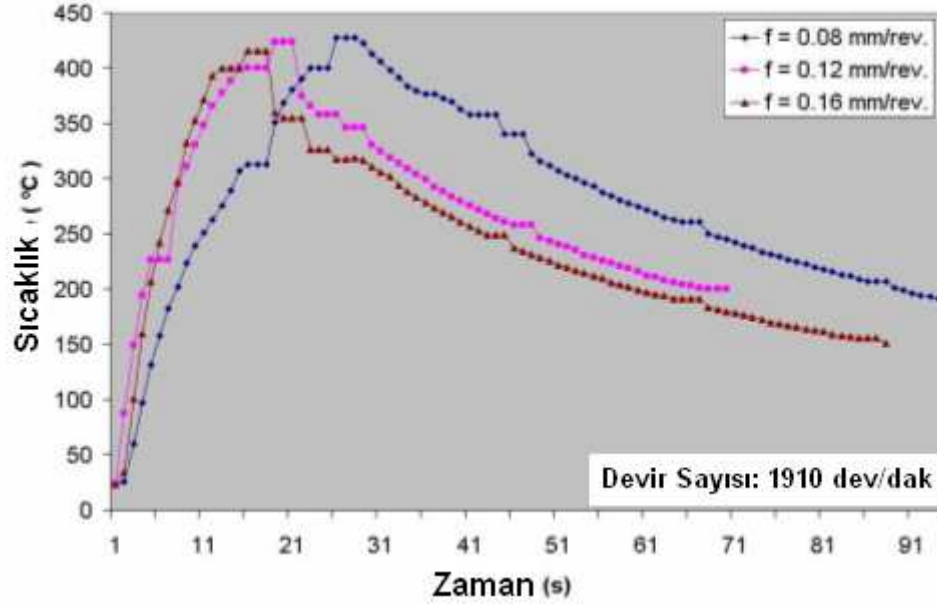
6.4.1 İlerleme Ve Devir Sayısının Etkisini Belirlemek İçin Yapılan Deneylerden Elde Edilen Sonuçlar Ve Tartışmalar

Delme işlemi esnasında oluşan sıcaklığı ölçmek amacıyla yeni deneysel bir yaklaşım geliştirilmiş ve bu yaklaşım AISI 1040 çelik ve Al 7075-T651 alüminyum alaşım malzemelerinin delinmesi anında ortaya çıkan sıcaklık değerlerini belirleme başarıyla kullanılmıştır. Toplam 18 deney yapılmış ve her deney şartı için sıcaklık ve kuvvet ölçümü yapılmıştır. İlerleme ve devir sayısının elme sıcaklığı üzerindeki etkisini araştırmak için deneysel çalışmaların yanı sıra sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak nümerik çözümleme de yapılmıştır.

Her iki iş malzemesinde de ilerleme hızı ve devir sayısının artmasıyla beraber sıcaklık ve kuvvet değerlerinde de artış olduğu görülmüştür. AISI 1040 çelik malzemesinin delinmesi işleminde 955, 1433 ve 1910 dev/dak devir sayıları ve 0.08, 0.12 ve 0.16 mm/dev. ilerleme hızları için ölçümler gerçekleştirilmiş ve deneyler arasındaki kıyas aynı delme zamanları için yapılmıştır. Şekil 6.6a'da görüldüğü gibi 955 dev/dak devir sayısında 0.08, 0.12 ve 0.16 mm/dev ilerleme için kritik delme zamanı 12 saniye kabul edilmiş ve sırasıyla 165, 200 ve 230 °C değerleri okunmuştur. İlerleme hızındaki artışın doğrusal olmasına karşın sıcaklık değerindeki değişimin doğrusal olmadığı gözlenmiştir. Ek olarak Şekil 6.6a ve 6.6b'de görüldüğü gibi aynı ilerleme değerleri için, 1433 ve 1910 dev/dak devir sayılarında da benzer bir değişim gözlenmiştir.

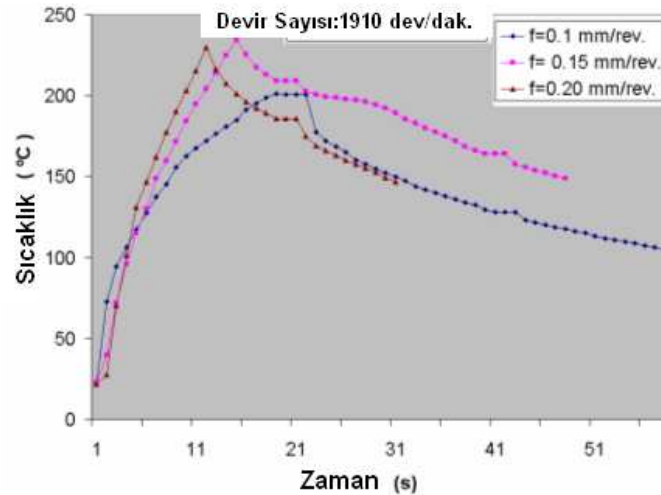
Devir sayısının delme sıcaklığı üzerindeki etkisini belirlemek için 0.08 mm/dev ilerleme hızı ve 955, 1433 ve 1910 dev/dak dönme sayılarında deneyler yapılmıştır. Sırasıyla 300, 370 ve 420 °C sıcaklık değerleri elde edilmiştir. Devir sayısının doğrusal olarak artmasına rağmen sıcaklık artışı doğrusal olmamıştır. Şekil 6.6 a,b,c 'de AISI 1040 çelik malzemesi üzerinde yapılan deneylerden elde edilen sıcaklık ve kuvvet dataları detaylı olarak gösterilmiştir.

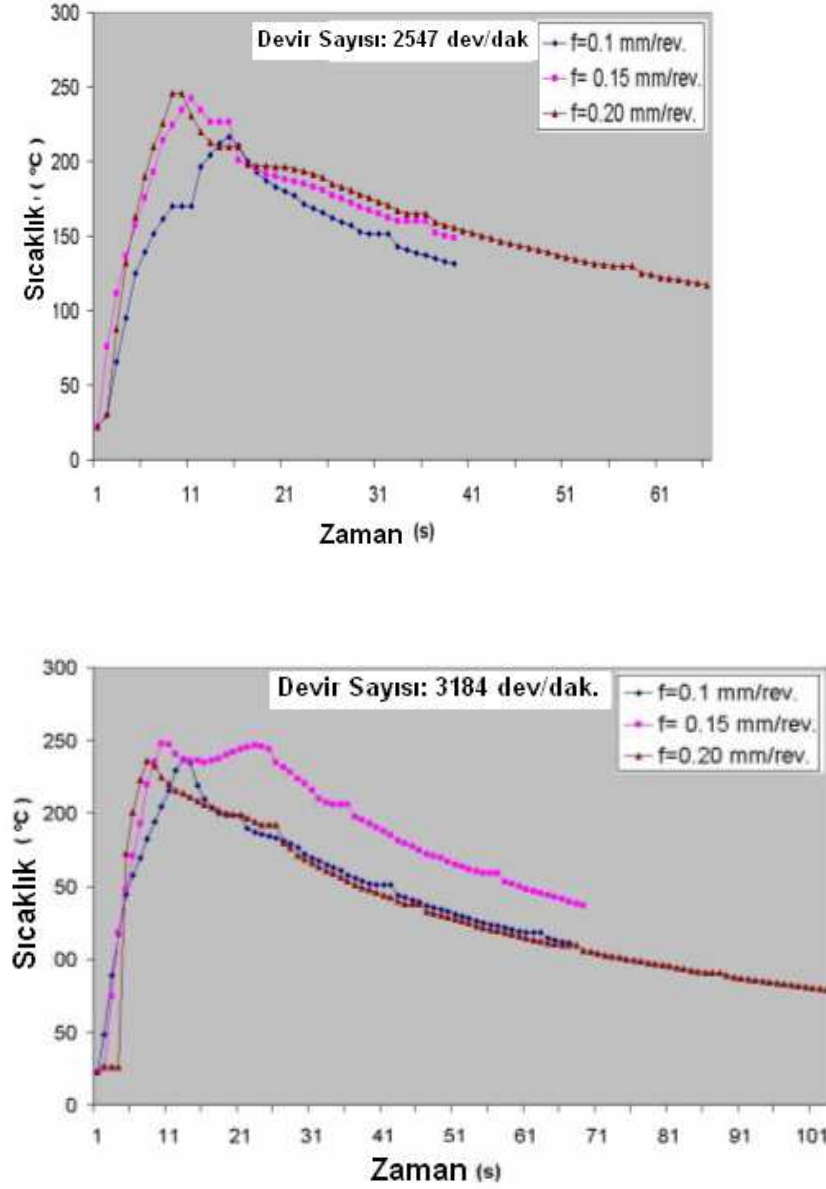




Şekil 6-6. AISI 1040 çelik malzemesi için ilerleme hızı ve devir sayısının 9 farklı kombinasyonunda yapılan deneylerden elde edilen sıcaklık ölçüm değerleri.

AL 7075-T651 alaşım malzemesinin delinmesi işleminde 1910, 2547 ve 3184 dev/dak devir sayıları ve 0.1, 0.15 ve 0.20 mm/dev. ilerleme hızları için ölçümler gerçekleştirilmiş ve deneyler arasındaki kıyas aynı delme zamanları için yapılmıştır. Şekil 6.7a'da görüldüğü gibi 1910 dev/dak devir sayısında 0.1, 0.15 ve 0.2 mm/dev ilerleme için kritik delme zamanı 12 saniye kabul edilmiş ve sırasıyla 165, 200 ve 230 °C değerleri okunmuştur. İlerleme hızındaki artışın doğrusal olmasına karşın sıcaklık değerindeki değişimin doğrusal olmadığı gözlenmiştir. Ek olarak Şekil 6.7a ve 6.7b'de görüldüğü gibi aynı ilerleme değerleri için ve 2547 ve 3184 dev/dak devir sayılarında da benzer bir değişim gözlenmiştir.

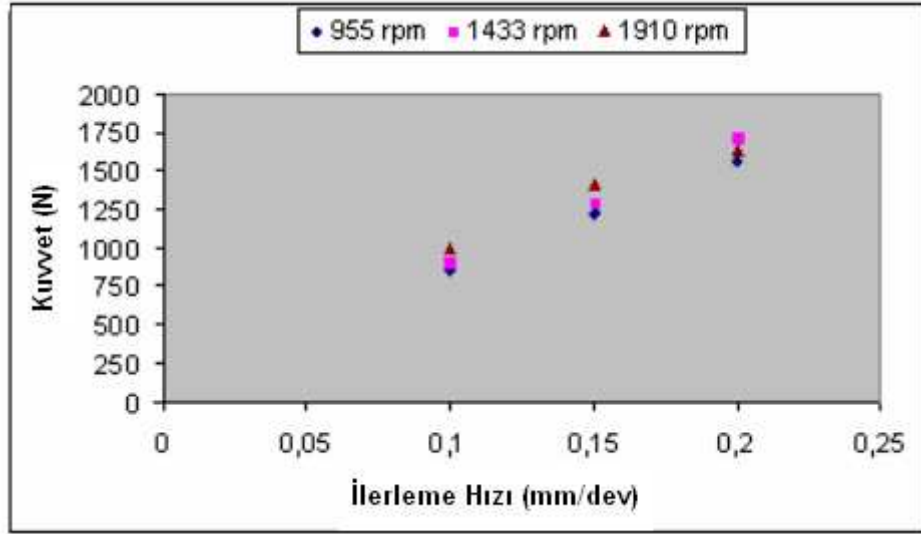




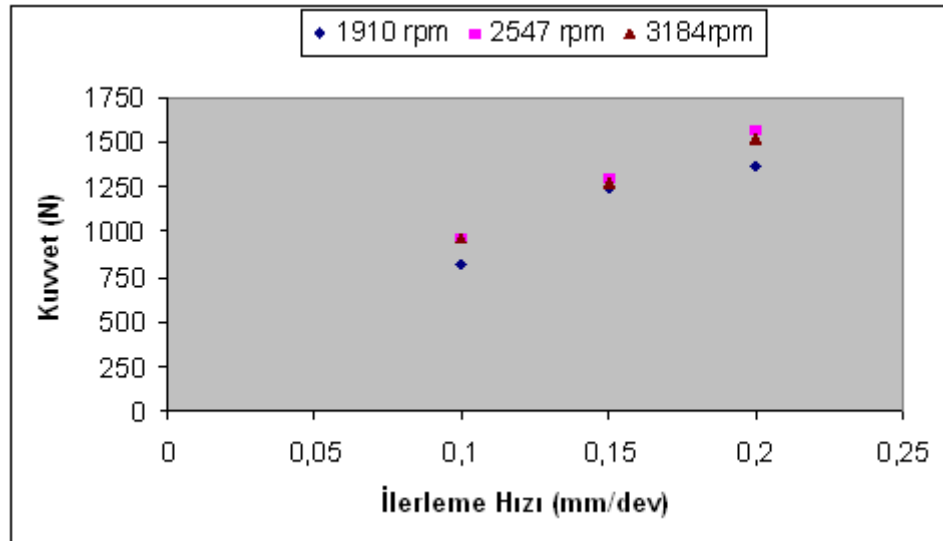
Şekil 6-7. AL 7075-T651 malzemesi için ilerleme hızı ve devir sayısının 9 farklı kombinasyonunda yapılan deneylerden elde edilen sıcaklık ölçüm değerleri.

Devir sayısının delme sıcaklığı üzerindeki etkisini belirlemek için 0.1 mm/dev ilerleme hızı ve 1910, 2547 ve 3184 dev/dak dönme sayılarında deneyler yapılmıştır. Sırasıyla 200, 220 ve 240 °C sıcaklık değerleri elde edilmiştir. Devir sayısının doğrusal olarak artmasına rağmen sıcaklık artışı doğrusal olmamıştır. AISI 1040 çelik ve Al 7075-T651 alaşım malzemelerinin delinmesi esnasında farklı ilerleme ve devir sayıları için delme kuvvet değerleri ölçülmüştür. Her iki malzeme için ilerleme ve devir sayısındaki artışın delme kuvvetinde artışa sebep olduğu gözlenmiştir. Kuvvet üzerinde ilerleme değerinin devir sayısından daha fazla bir artışa neden olduğu tesbit

edilmiştir. Şekil 6.8 ve Şekil 6.9’de her iki malzeme için elde edilen delme kuvvet değerleri gösterilmiştir.



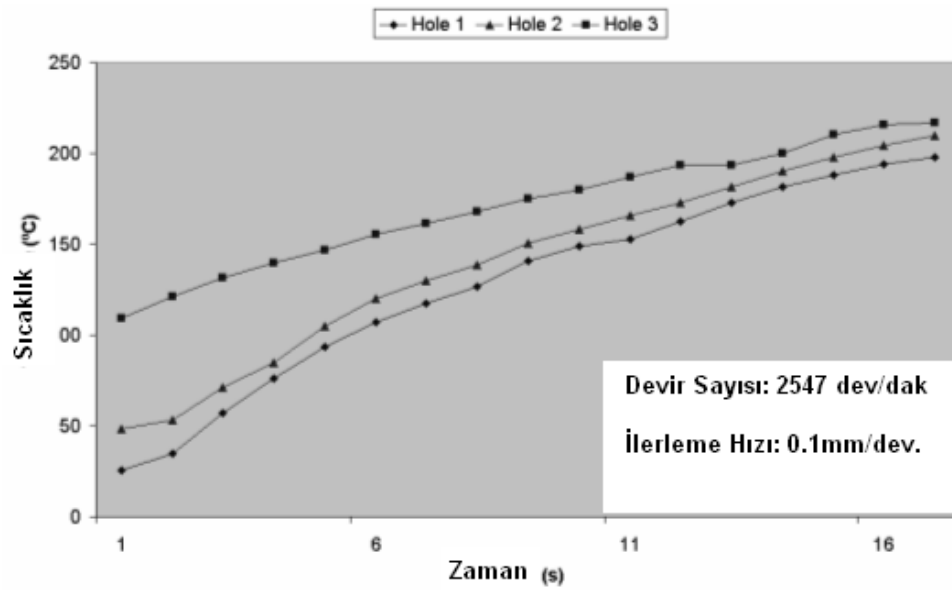
Şekil 6-8. AISI 1040 çelik malzemesi için farklı ilerleme ve devir sayılarında ölçülen delme kuvvetleri.



Şekil 6-9. Al 7075-T651 malzemesi için farklı ilerleme ve devir sayılarında ölçülen delme kuvvetleri.

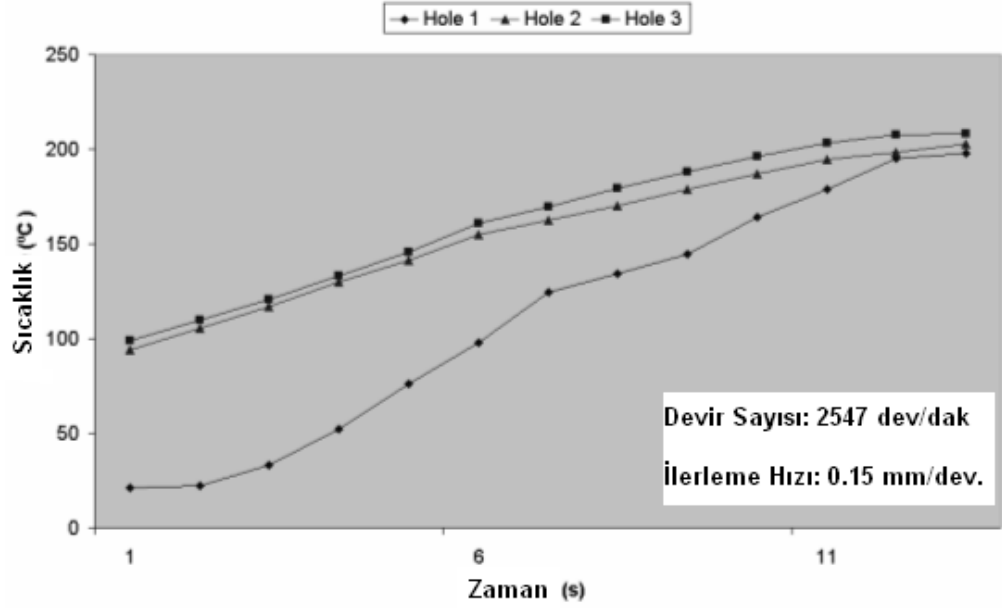
6.4.2 Ardışık Delme İşleminin Sıcaklık Üzerindeki Etkisini Belirlemek İçin Yapılan Deneyler

AISI 1040 çelik ve AL 7075-T651 alaşım malzemesinin ardışık delinmesi işleminde delinen delik sayısı artmasıyla sıcaklığın yükseldiği gözlenmiştir. Al 7075-T651 malzemesi 0.1 mm/dev ilerleme ve 2547 dev/dak devir sayısında ardışık olarak 3 delik delinmiş ve sırasıyla 180, 200 ve 210 °C sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Şekil 6.10'de bu sıcaklık değişimi görülmektedir.



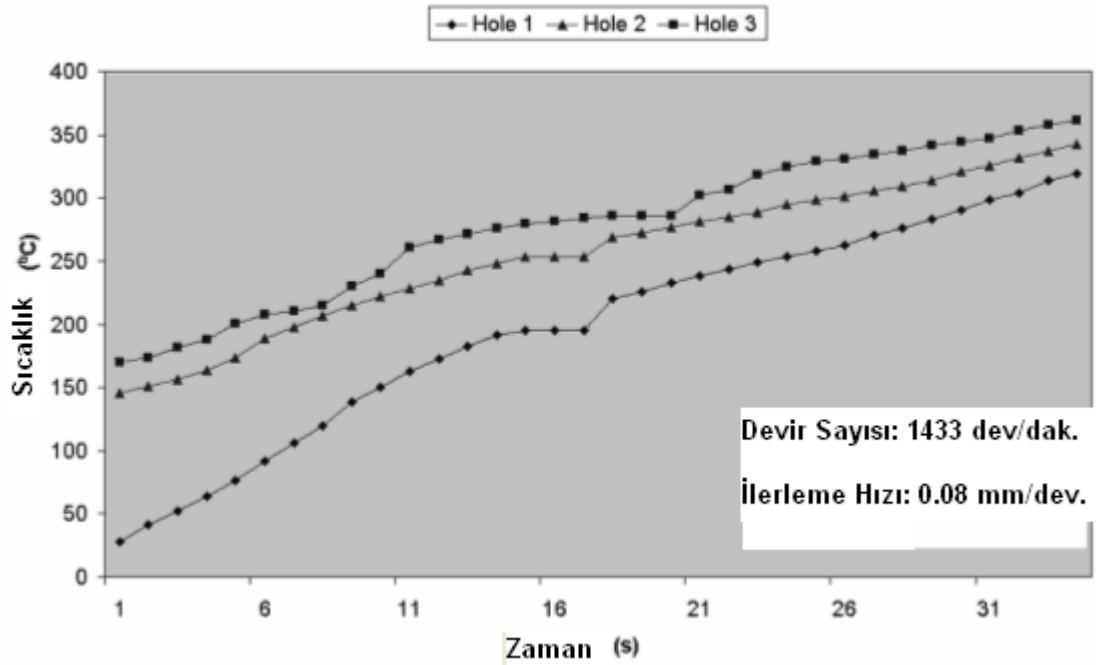
Şekil 6-10. AL 7075-T651 malzemesinin ardışık delinmesi esnasında ölçülen sıcaklık değerleri.

Al 7075-T651 malzemesi 0.15 mm/dev ilerleme ve 2547 dev/dak devir sayısında ardışık olarak 3 delik delinmiş ve sırasıyla 198, 205 ve 210 °C sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Şekil 6.11'de bu sıcaklık değişimi görülmektedir



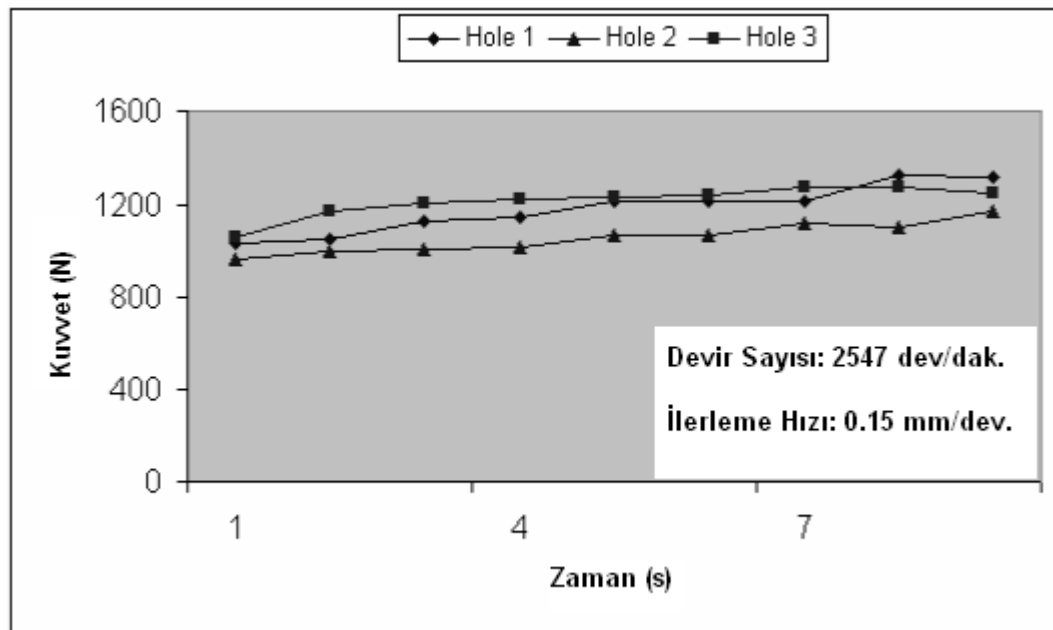
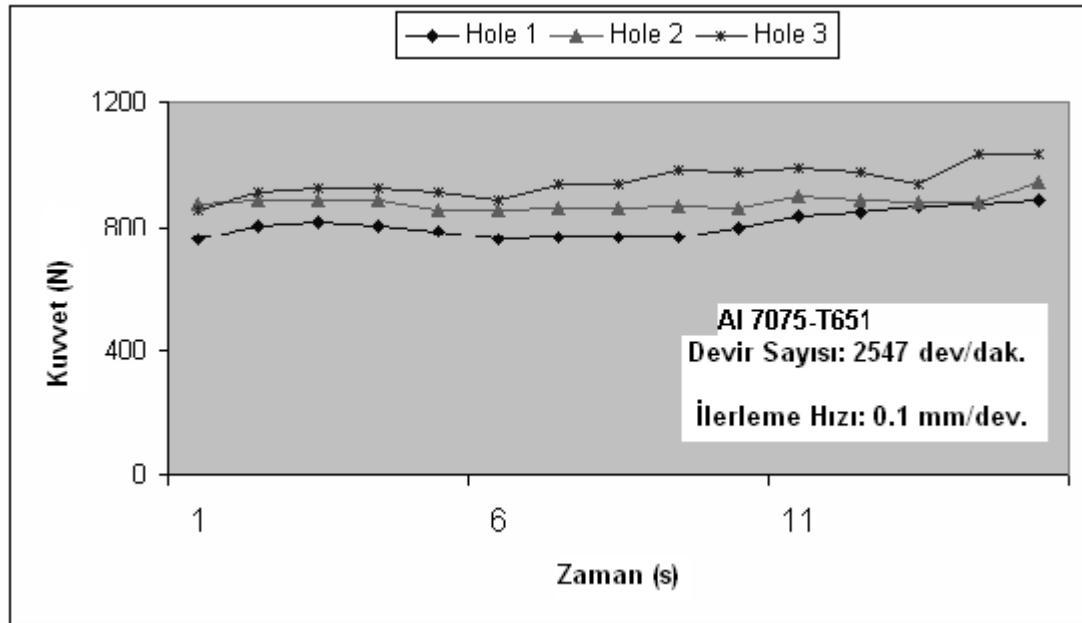
Şekil 6-11. AL 7075-T651 malzemesinin ardışık delinmesi esnasında ölçülen sıcaklık değerleri.

AISI 1040 malzemesi 0.08 mm/dev ilerleme ve 1433 dev/dak devir sayısında ardışık olarak 3 delik delinmiş ve sırasıyla 320, 348 ve 360 °C sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Şekil 6.12’de bu sıcaklık değişimi görülmektedir

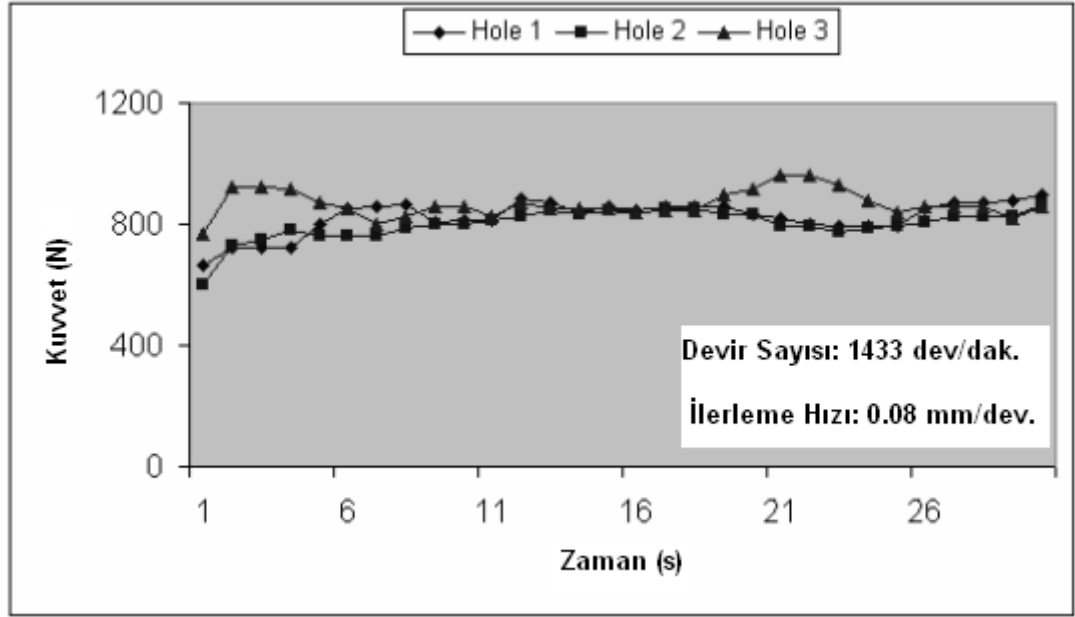


Şekil 6-12. AISI 1040 malzemesinin ardışık delinmesi esnasında ölçülen sıcaklık değerleri

Şekil 6.13 ve 6.14’da her iki malzemenin ardışık delinmesi esnasında oluşan delme kuvvetleri görülmektedir.



Şekil 6-13. Al 7075-T651 malzemesinin ardışık olarak delinmesi sırasında ölçülen delme kuvvet değerleri.



Şekil 6-14. AISI 1040 malzemesinin ardışık olarak delinmesi sırasında ölçülen delme kuvvet değerleri.

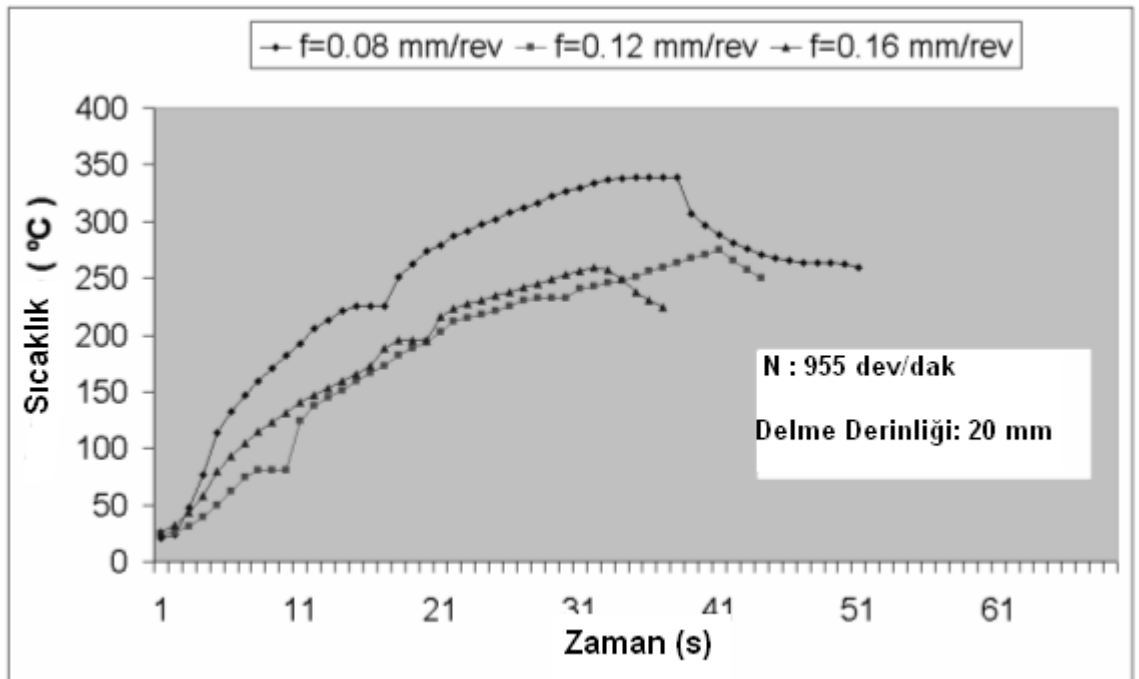
6.4.3 Sürekli , Adım Adım (Kademeli) Delme İşleminin Ve Delme Derinliğinin Sıcaklık Üzerindeki Etkilerini Belirlemek için Yapılan Deneylerden Elde Sonuçlar

Farklı delme derinlikleri, ilerleme hızları ve devir sayılarında AISI 1040 ve Al 7075-T651 malzemeleri için sürekli ve kademeli kuru delme işlemlerinde oluşan sıcaklık değerleri ölçülmüştür.

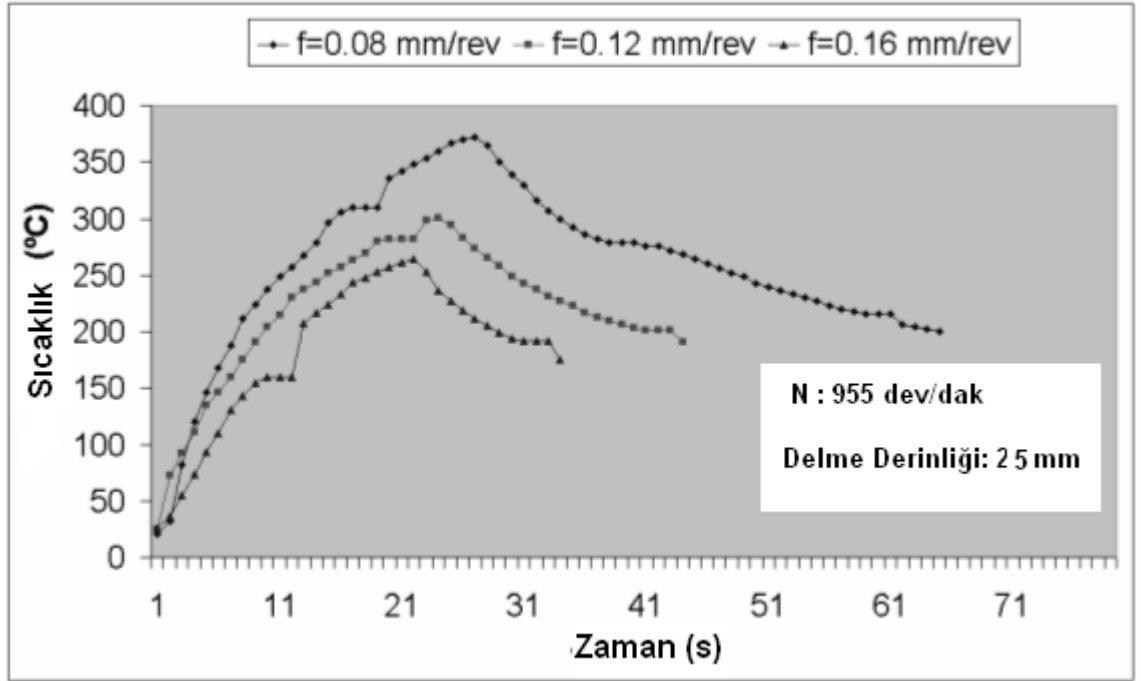
Çalışma iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. İlk olarak farklı ilerleme ve delme derinliklerinde iki farklı iş malzemesi için sürekli kuru delme esnasında sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. İkinci olarak farklı ilerleme ve devir sayısı değerleri için kademeli delme işlemi deneyleri yapılmış ve matkabın uç noktasında oluşan sıcaklık değerleri belirlenmiştir.

6.4.3.1 Sürekli Kuru Delme Deneyleri (Continuous dry drilling tests)

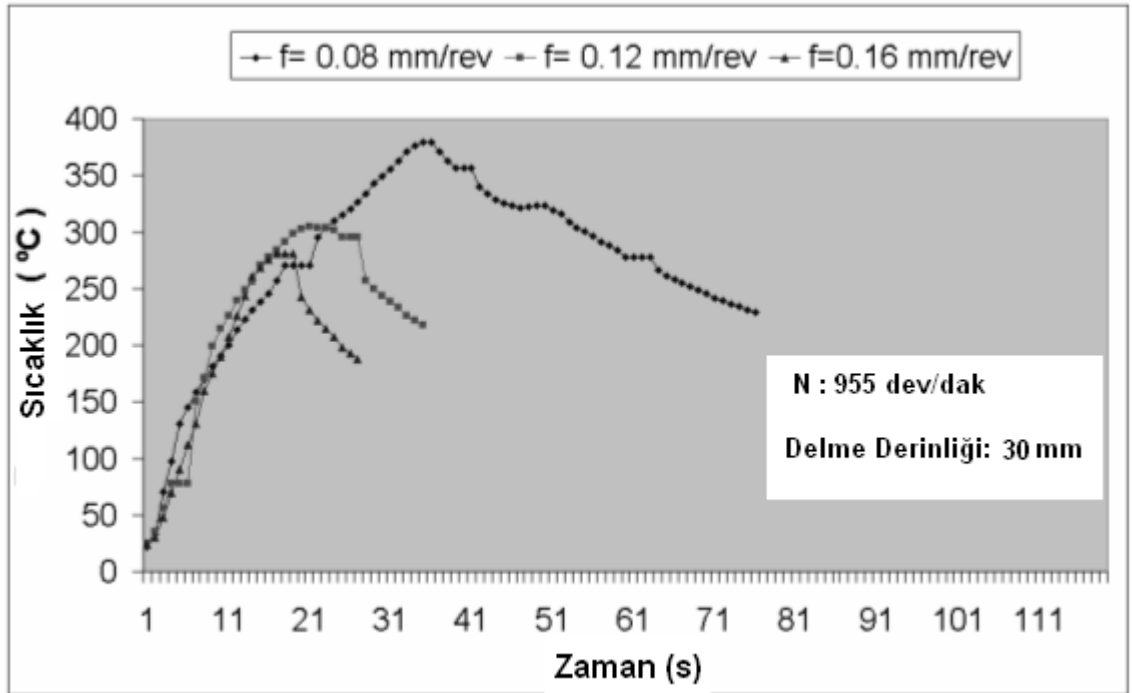
AISI 1040 çelik malzemesinde 3 farklı ilerleme (0.08, 0.12, 0.16 mm/rev) ve delme derinliği (20, 25, 30 mm) için aynı devir sayısında (955 rpm) delme deneyleri yapılmıştır. Şekil 6.15’de görüldüğü gibi aynı ilerleme hızı ve devir sayısında yapılan farklı derinlikteki delme deneylerinde delik derinliğinin artmasıyla matkabın ucunda oluşan sıcaklık değeri de yükselmektedir. 955 dev/dak , 0.08 mm/dev ve 0.12 mm/dev için 20mm ve 25 mm derinliğe sahip deliklerin delinmesi esnasında ortaya çıkan sıcaklık değerleri arasındaki fark büyük iken 25 mm ve 30 mm derinliğe sahip deliklerin delinmesi esnasında ortaya çıkan sıcaklık farkları çok azdır. Bununla beraber 955 dev/dak dönme sayısı ve 0.16 mm/dev ilerleme değerinde 20 mm ve 25 mm arasındaki sıcaklık farkı az iken 25 mm ve 30 mm derinliğe sahip deliklerin delinmesi esnasında ölçülen sıcaklıklar arasındaki fark şekil 6.15 ve 6.15b ‘de görüldüğü gibi oldukça fazladır. Ek olarak aynı delme derinliği ve devir sayısında ilerleme hızını artırarak deney yaptığımızda ölçülen sıcaklık değerinin düşmüş olduğu görülmektedir. Şekil 6.15’de gösterildiği gibi ilerleme hızını %50 ve %100 artırdığımızda sıcaklıktaki düşüş sırasıyla %18.6 ve %23.1 (20 mm derinlikte), %19.2 ve %29.11(25 mm derinlikte) ve % 20 ve % 26 (30 mm derinlikte) olarak kaydedilmiştir.



(a)



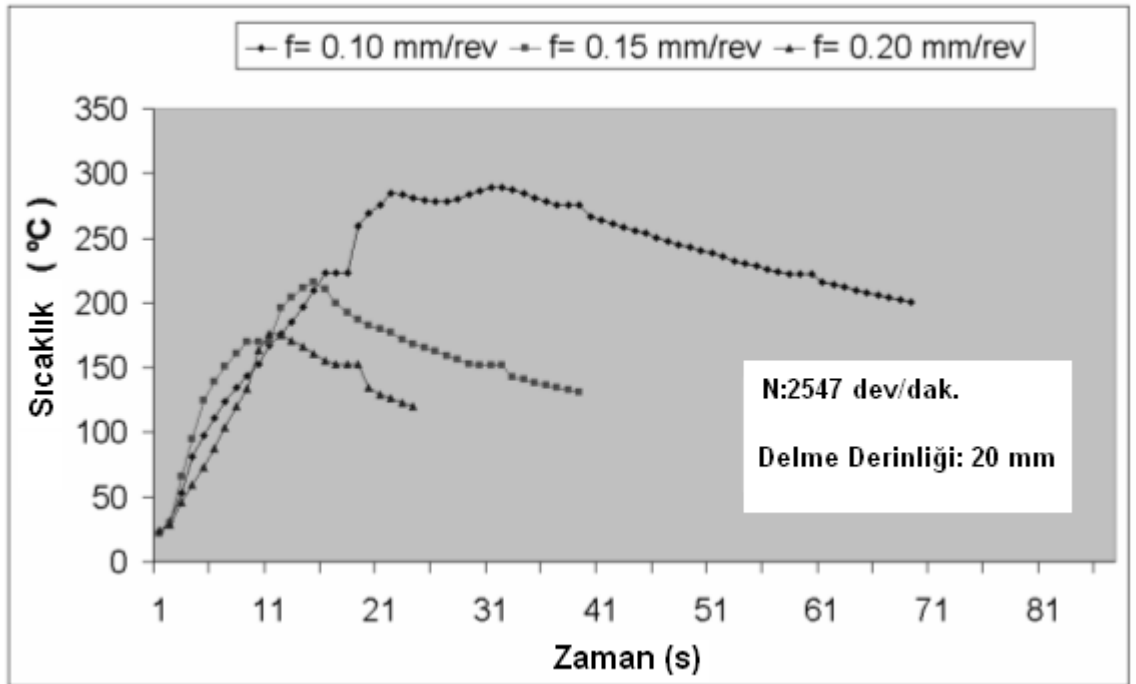
(b)



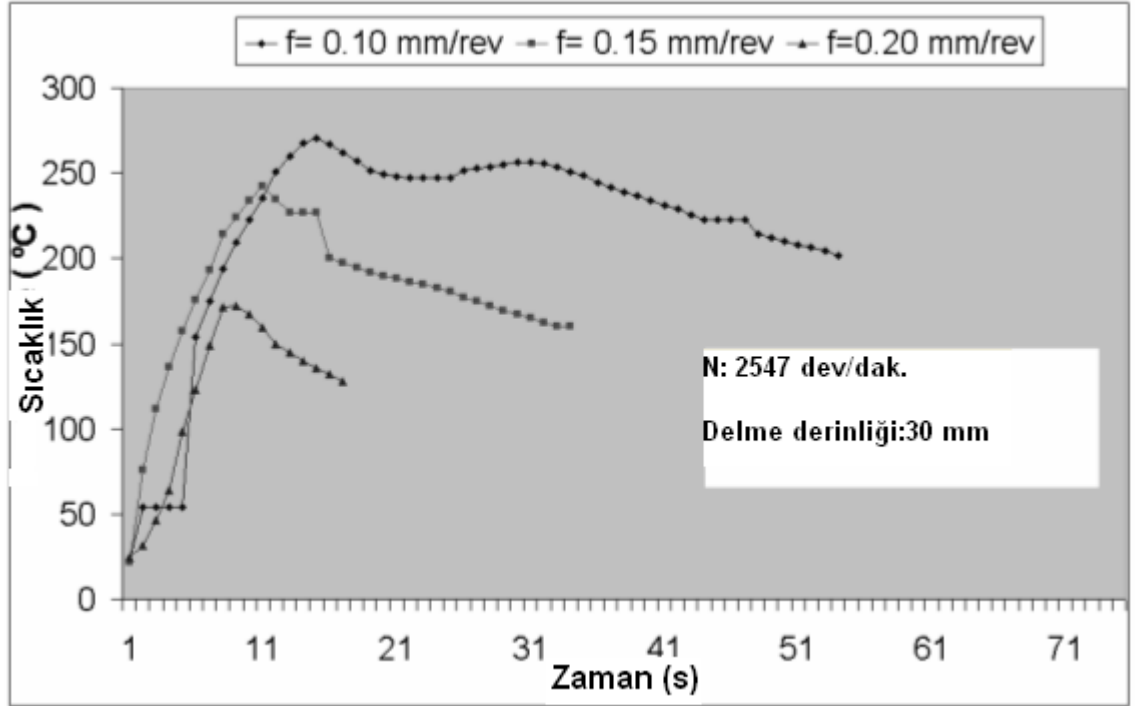
(c)

Şekil 6-15. AISI 1040 çelik malzemesinin delinmesi sırasında delme derinliği ve ilerleme hızının matkap sıcaklığını üzerindeki etkileri.

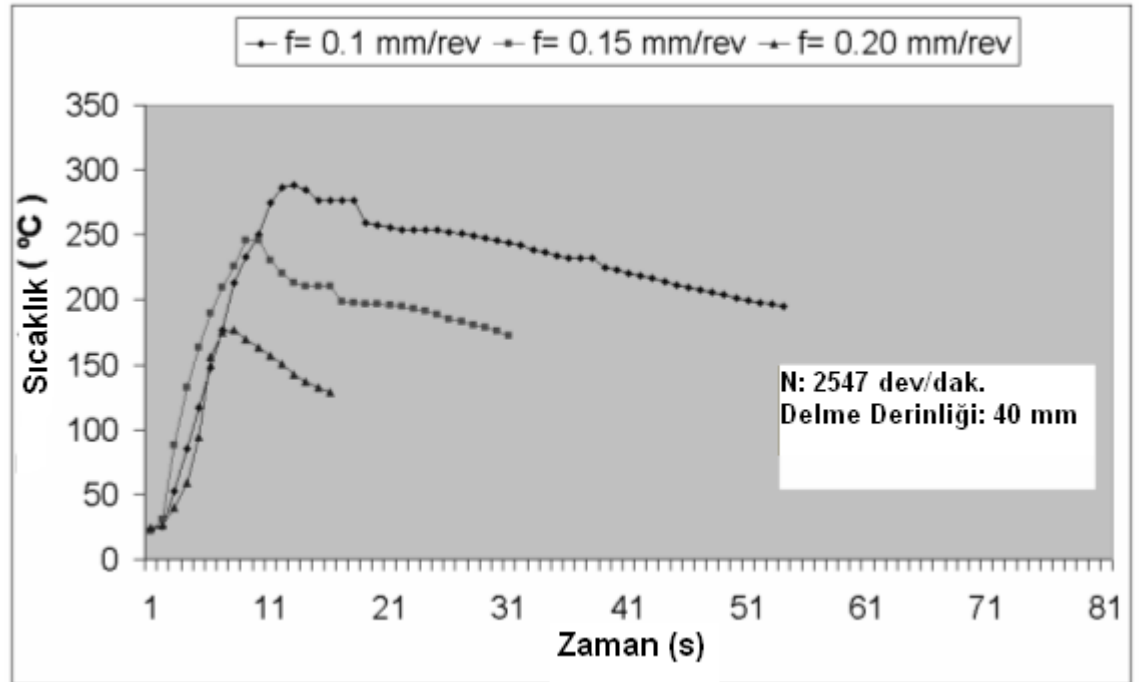
Al 7075-T651 alaşım malzemesi kullanılarak 3 farklı ilerleme (0.1, 0.15, 0.20 mm/rev) ve delme derinliği (20, 30, 40 mm) için aynı devir sayısında (2547 rpm) delme deneyleri yapılmıştır. şekil 6.16'de doğrudan delme işlemi süresince farklı ilerleme ve delme derinlik değerlerinde kesicinin ucunda meydana gelen sıcaklık değişimleri gösterilmiştir. şekil 6.16'de görüldüğü gibi aynı ilerleme hızı ve devir sayısında yapılan farklı derinlikteki delme deneylerinde delik derinliğinin artmasıyla matkabın ucunda oluşan sıcaklık değeride yükselmektedir. Aynı ilerleme hızlarında farklı delme derinliklerinde sıcaklık değişiminin çok az olduğu gözlenmiştir. İlave olarak aynı devir sayısında ilerlemede ki artış sıcaklıkta düşüşe sebep olmuştur. Bu da iş parçası-kesici temas zamanının azalmasıyla açıklanabilir. şekil 6.16'de gösterildiği gibi ilerleme hızını %50 ve %100 artırdığımızda sıcaklıktaki düşüş sırasıyla %25.5 ve %39.3 (20 mm derinlikte), %10.7 ve %36.5 (30 mm derinlikte) ve % 14.5 ve % 38.5 (40 mm derinlikte) olarak kaydedilmiştir.



(a)



(b)

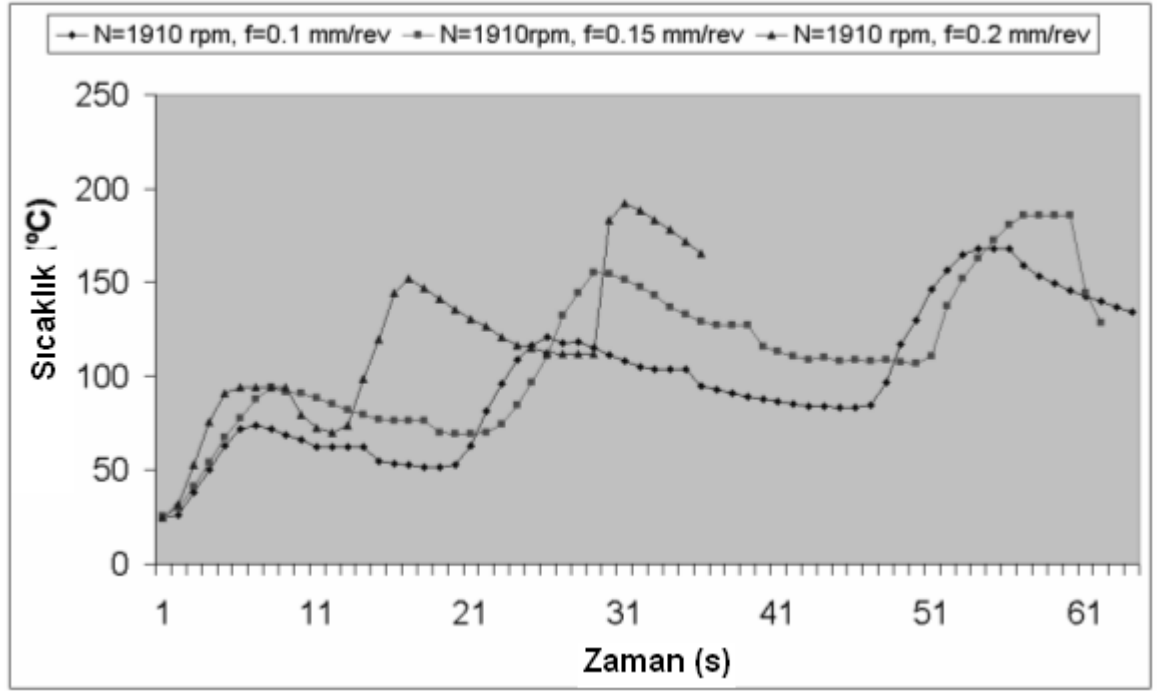


(c)

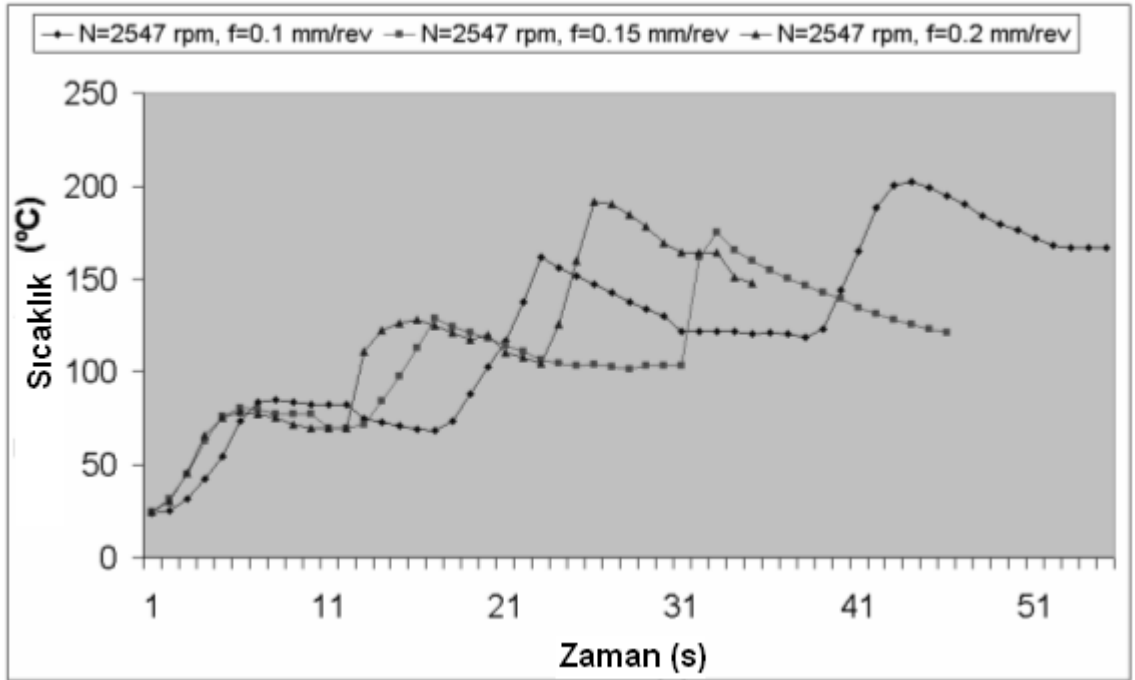
Şekil 6-16. Al 7075- T651 alaşım malzemesinin delinmesi sırasında delme derinliği ve ilerleme hızının matkap sıcaklığını üzerindeki etkileri.

6.4.3.2 Kademeli kuru delme deneyleri

Kademeli kuru delme esnasında oluşan sıcaklık değerlerini ölçmek için AISI 1040 çeliği için aynı devir sayısı(955 dev/dak) ve 3 farklı ilerleme hızında (0.08, 0.12, 0.16 mm/rev) deneyler yapılmıştır. Aynı şekilde Al 7075-T651 alaşımı içinde 2547 dev/dak dönmese sayısı ve 3 farklı ilerleme hızı (0.1, 0.15, 0.2 mm/rev) için 10 mm adımlı kademeli kuru delme testleri yapılmış ve matkabın ucuna etkiyen sıcaklık ölçülmüştür. Delme testleri 3 adımda gerçekleştirilmiş ve her adımda da 10 mm delik derinliği artırılmıştır. Şekil 6.17 ve 6.18’de görüldüğü gibi delme adımıdaki artışla beraber ortaya çıkan sıcaklıkta da yükselme kaydedilmiştir. Ek olarak kademeli delme işleminde sabit ilerleme değeri için devir sayısındaki artış sıcaklıkta artışa sebebiyet vermektedir(Şekil 6.17 ve 6.18). 3 adımlı kademeli delme işleminde birinci (0-10mm) ve ikinci(10-20mm) delme adımları arasında oldukça fazla sıcaklık artışı gözlenirken üçüncü adımda (20-30mm) bu artış azalmaktadır. Aynı delme şartlarında AL 7075-T651 malzemesi delinirken (N=2547 rpm, f= 0.10 mm/rev and depth of drilling= 30 mm) kademeli delmede maksimum 203 °C sıcaklık ölçülürken sürekli delmede 271 °C sıcaklık ölçülmüştür. Maksimum sıcaklık değeri kademeli delmeye göre % 33 daha fazladır. AISI 1040 çelik malzemesi için 30 mm derinlik, 0.08 mm/dev ilerleme hızı ve 955 dev/dak kdelme şartlarında gerçekleştirilen kademeli ve sürekli delme işlemlerinde ölçülen maksimum sıcaklık değerleri karşılaştırılmıştır. Şekil 6.6c ve 6.18a’dan anlaşılacağı gibi kademeli delmede 251 °C ölçülürken sürekli delmede sıcaklık değeri 380 °C ölçülmüştür. Sürekli delmede oluşan sıcaklık değeri kademli delmede oluşan değerden % 51 daha fazladır.

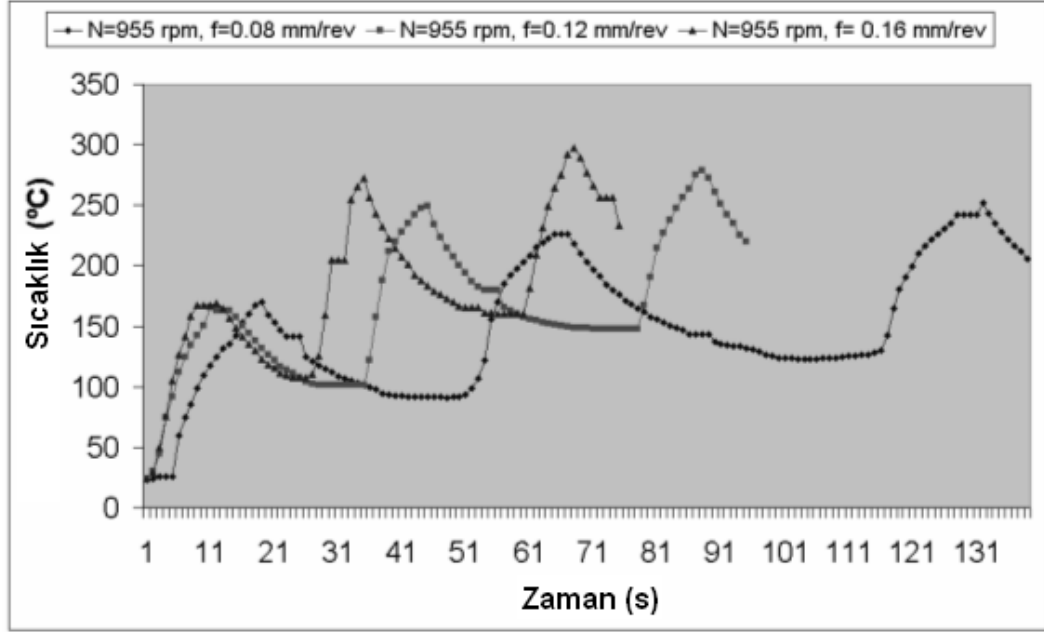


(a)

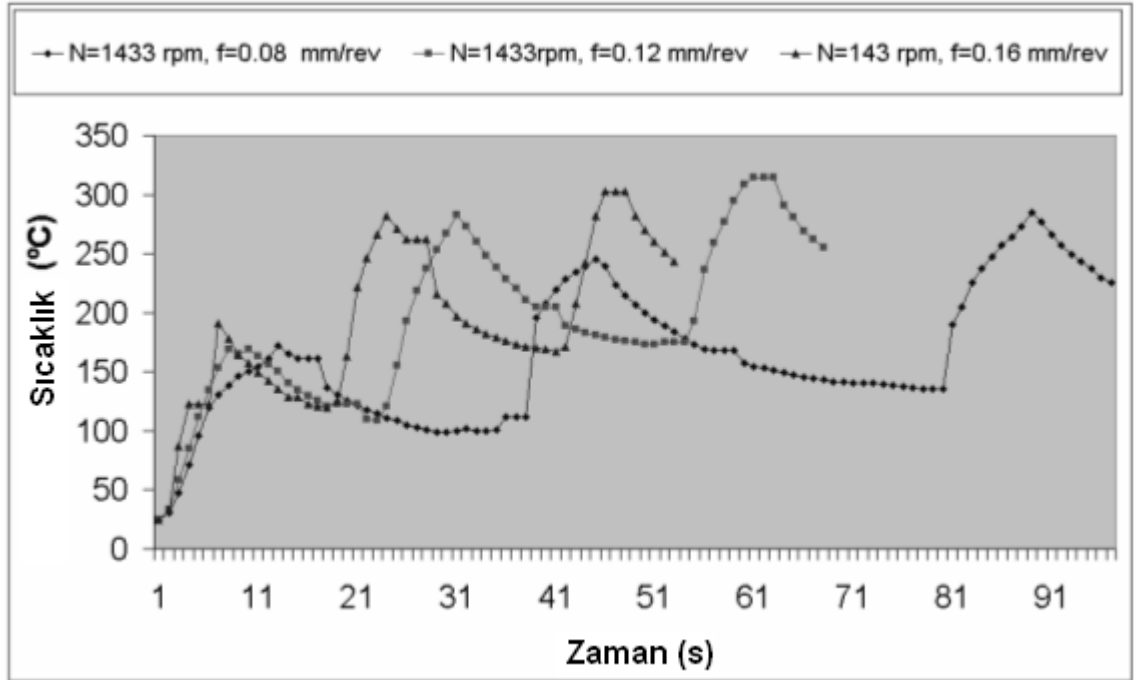


(b)

Şekil 6-17. Al 7075-T651 alaşım malzemesinin kademeli delinmesi esnasında matkap ucunda oluşan sıcaklık değerleri.



(a)



(b)

Şekil 6-18. AISI 1040 çelik malzemesinin kademeli delinmesi esnasında matkap ucunda oluşan sıcaklık değerleri.

integrasyon temelli Third Wave AdvantEdge yazılım kullanılmıştır. Yazılım , gerinim sertleşmesi (strain hardening), termal yumuşama (thermal softening) ve gerinim algılama (rate sensitivity) kavramlarının birleşiminden hareketle analiz yapmakta ve ayrıca altı nodlu üçgen eleman temelli çalışmakta ve adaptif yeniden ağ örme algoritmasına sahip bulunmaktadır [Thirdwave Manual, 2002].

İş parçası-kesici takım ve kesici takım-talaş ara yüzeylerindeki sürtünme katsayısı $\mu = 0.5$ alınarak sabit kabul edilmiştir. Malzeme davranışı, (6. 1) no'lu fonksiyonla ile ifade edilmektedir.

$$\begin{aligned} \text{Eğer } \dot{\epsilon}^p < \dot{\epsilon}_t^p, \quad & \left(1 + \frac{\epsilon^p}{\epsilon_0^p}\right) = \left[\frac{\bar{\sigma}}{g(\epsilon^p)}\right]^{m_1}, \\ \text{Eğer } \dot{\epsilon}^p > \dot{\epsilon}_t^p, \quad & \left(1 + \frac{\epsilon^p}{\epsilon_0^p}\right) + \left[1 + \frac{\dot{\epsilon}_t^p}{\epsilon_0^p}\right]^{\frac{m_2}{m_1}} = \left[\frac{\bar{\sigma}}{g(\epsilon^p)}\right]^{m_2} \end{aligned} \quad (6. 1)$$

Termal yumuşama ve gerinim sertleşmesi (strain hardening) etkileri, (6.2) no'lu fonksiyonla ifade edilmektedir.

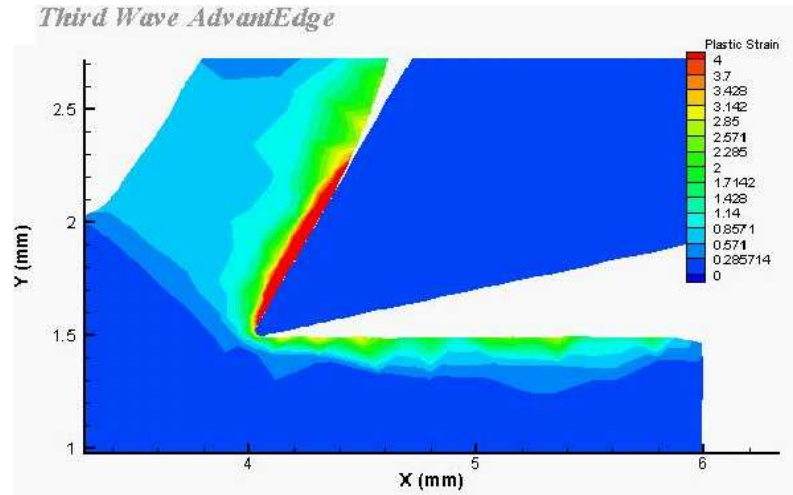
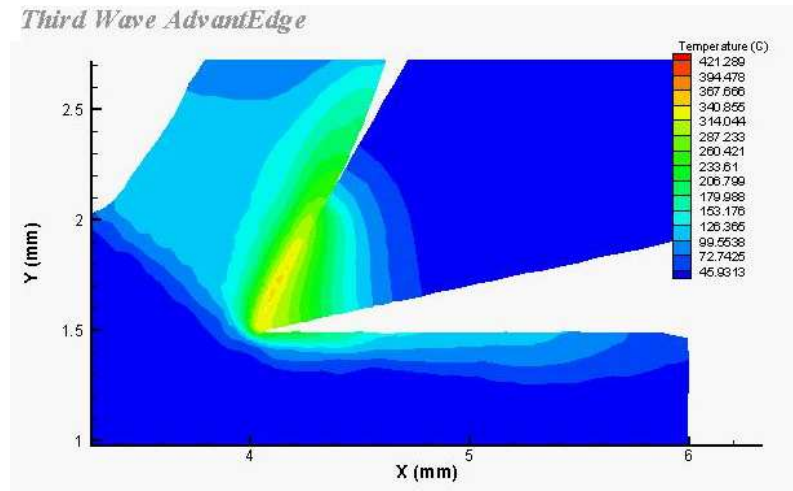
$$g(\epsilon^p) = \sigma_0 \Theta(T) \left[1 + \frac{\epsilon^p}{\epsilon_0^p}\right]^{\frac{1}{n}} \quad (6. 2)$$

(2) no'lu denklemde yer alan $\Theta(T)$ termal yumuşama fonksiyonu, (6.3) no'lu fonksiyonda ifade edilmektedir.

$$\begin{aligned} \text{Eğer } T < T_{cut}, \quad & \Theta(T) = C_0 + C_1 T + C_2 T^2 + C_3 T^3 + C_4 T^4 + C_5 T^5 \\ \text{Eğer } T > T_{cut}, \quad & \Theta(T) = \Theta(T_{cut}) - \left(\frac{T - T_{cut}}{T_{MELT} - T_{cut}}\right) \end{aligned} \quad (6.3)$$

AISI 1040 çelik ve Al 7075-T651 malzemeleri için sonlu elemanlar modeli oluşturularak analizler yapıldı. AISI 1040 malzeme için 0.16 mm/dev ilerleme ve 955 dev/dak devir sayısı değerleri için analiz yapılırken Al 7075-T651 alşım malzemesi

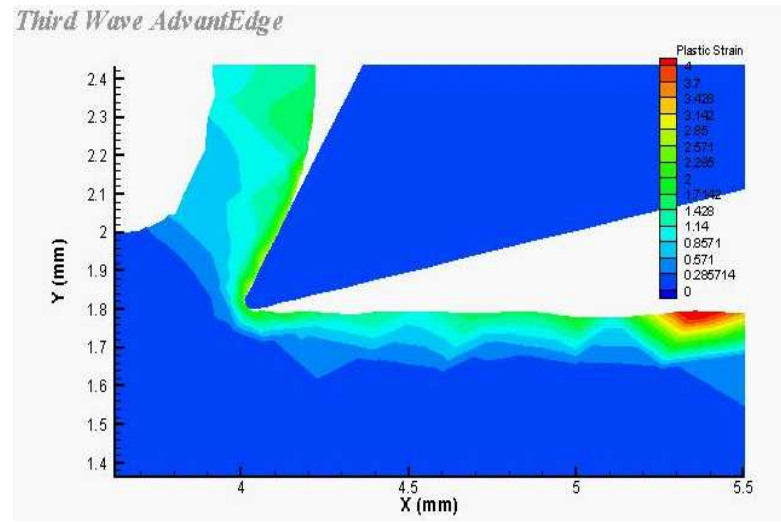
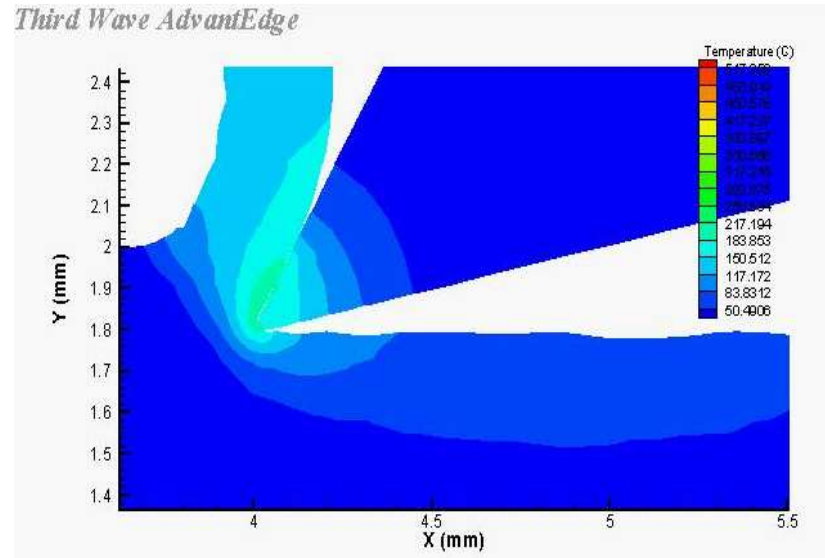
içinde 0.2 mm/dev ve 3184 dev/dak değerleri için analizler koşturulmuştur. AISI 1040 malzeme için Sonlu elemanlar analizi sonucu 340°C iken deneysel sonuç 350°C ölçülmüştür. Al 7075-T651 alaşım malzemesi için analiz sonucu 250 °C iken deneysel ölçümden 255 °C elde edilmiştir. Şekil 6.20 ve 6.21’da analiz sonuçları görülmektedir. Sonlu elemanlar analiz sonuçları ile deneysel sonuçlar birbirine çok yakın çıkmıştır. Sonlu elemanlar analizleri PC(personal computer- Intel pentium IV (2.0 GHZ.) ‘de koşturulmuştur.



(a)

(b)

Şekil 6-20 .AISI 1040 çelik malzeme için Sıcaklık dağılımı (a) ve plastik gerinim (b)



(a)

(b)

Şekil 6-21. Al 7075-T651 alaşım malzemesi için Sıcaklık dağılımı (a) ve plastik gerinim (b)

7 SONUÇLAR/ÖNERİLER

7.1 Sonuçlar

Bu çalışmada nümerik bir yöntem olan sonlu elemanlar metodunu kullanarak metal kesme işleminde ortaya çıkan kuvvet, sıcaklık ve gerilmelerin deneysel çalışmalardan elde edilen değerlere çok yakın olarak tahmin edilebilecekleri görülmüştür. Nümerik yöntemlerin kullanılmasının en büyük faydası, deneysel çalışmaların parasal ve zamansal maliyetini azaltması olarak söylenebilir. Buna rağmen çalışmada sonlu elemanlar yönteminin bazı eksikliklerinin bulunduğu da dikkat çekilmiştir. Ayrıca yeni bir kavram olan ve şu an için sadece çarpışma gibi çok yüksek hızlarda gerçekleşen olaylarının simülasyonunu gerçekleştirmede kullanılan SPH (Meshless) metodu kullanılarak kesme işleminin analizinin yapılabilmesi için model kurulmuş ve başarı ile analiz gerçekleştirilmiştir.

İkinci olarak çok yüksek sertliğe sahip metallerin tornalanması sırasında ortaya çıkan kalıntı gerilmelerin karakteristiği Thirdwave AdvantEdge metal kesme simülasyon yazılımı kullanılarak belirlenmiştir. Ve yapılan analizler sonucunda en yüksek basma kalıntı gerilme değerlerinin pah kırılmış uç geometrisine sahip kesicinin kullanılması esnasında ortaya çıkacağı dolayısı ile iş parçasının yorulma ömrünün artırılabilceği görülmüştür.

Ve son olarak devir sayısının, ilerleme hızının, delme derinliğinin, sürekli ve kademeli delmenin ve delme işleminin ardışık olarak gerçekleştirilmesinin sıcaklık değişimi üzerindeki etkileri deneysel ve nümerik olarak araştırılmıştır. Delme işlemi esnasında oluşan sıcaklık ölçümü için deneysel yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir. Matkabın uç noktasındaki sıcaklık değeri, langrangian temelli açık (explicit) sonlu elemanlar analiz yazılımı olan ThirdWave AdvantEdge™ kullanılarak nümerik olarak hesaplanmıştır. Sonlu elemanlar analiz sonuçları ile deneysel sonuçlar karşılaştırılmış ve aralarında çok az farklılıklar olduğu görülmüştür. Sonuç olarak nümerik yöntemlerin metal kesme işleminin analizinde kullanılması sonucu maliyet ve zamandan tasarruf sağlanacağı ve nümerik yöntemler sayesinde deneysel sonuçlara çok yakın değerlerin elde edilebileceği ortaya çıkmıştır.

7.2 Öneriler

Gelecekte SPH yönteminin farklı metal kesme işlemlerinin analizinde kullanılması için çalışmalar yapılabilir. Ve deneysel sonuçlardan elde edilen sürtünme katsayıları bulunarak yazılıma dinamik bir sürtünme katsayısı adapte edilebilirse sonuçların doğruluk derecesi artırılabilir.

Kalıntı gerilme simülasyonlarının doğruluk oranını tesbit edebilmek için belirli kesme şartlarında kesme deneyleri yapılabilir. Ayrıca şu an üzerinde çalışmakta olduğumuz kalıntı gerilme karakteristiğinin malzemelerin yorulma ömrü üzerindeki etkileri de araştırmaya açık bir konudur.

KAYNAKLAR

- 1) Altintas, Y., Mechanics of Metal Cutting, Manufacturing Automation, USA, Cambridge University Press, 2000.
- 2) Dirikolu, M.H., and et al., Finite Element Simulation of Chip Flow in Metal Machining, Int. J. Mech. Sci., 43, 2699-2713, 2001.
- 3) Klamecki, B.E., Incipient Chip Formation in Metal Cutting - A Three-dimension Finite Element Analysis. PhD Thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign, 1973.
- 4) Özel, T., Modelling of Hard Part Machining: Effect of Insert Edge Preparation in CBN Cutting Tools, Journal of Materials Processing Technology, 2002.
- 5) Ceretti, E., et al., Application of 2D FEM to Chip Formation in Orthogonal Cutting, Journal of Materials Processing Technology, 59, 169-180, 1996.
- 6) Carroll, J.S., and Strenkowski, J.T., Finite Element Models of Orthogonal Cutting with Application to Single Point Diamond Turning, Journal of Mechanical Sciences, 30, 899-920, 1988.
- 7) Zhang, L., On the Separation Criteria in the Simulation of Orthogonal Metal Cutting Using the Finite Element Method, Journal of Materials Processing Technology, 90, 273-278, 1999.
- 8) E-G. Ng., et al., Modelling of Temperature and Forces when Orthogonally Machining Hardened Steel, International Journal of Machine Tools&Manufacture, 39, 885-903,1999.
- 9) McClain B., et al., A Numeric Investigation of the Rake Face Stress Distribution in Orthogonal Machining, Journal of Materials Processing Technology, 123, 114-119, 2002.

- 10) Shet, C., and Deng, X., Residual Stress and Strain in Metal Cutting, International Journal of Machine Tools&Manufacture, 43,573-587, 2003.
- 11) Baker, M., et al., A Finite Model of High Speed Metal Cutting with Adiabatic Shearing, Computers and Structures, 80, 495-513, 2002.
- 12) Behrens, A., Westhoff, B., Anwendug von Marc auf Zerspanprozesse, Laboratorium Fertigungstechnik, Universitat der Bundeswehr Hamburg.
- 13) E-G. Ng., and Aspinwall, D.K., Modelling of Hard Machining, Journal of Materials Processing Technology, 127, 222-229, 2002.
- 14) Monaghan, J., and MacGinley, T., Modelling the Orthogonal Machining Process using Coated Carbide Cutting Tools, Computational Materials Science 16, 275-284, 1999.
- 15) Ceretti, E., et al., Turning Simulations Using A Three-Dimensional FEM Code, Journal of Materials Processing Technology, 98, 99-103, 2000.
- 16) Lei, S., et al., Thermo-mechanical Modeling of Orthogonal Machining Process by Finite Element Analysis, International Journal of Machine Tools&Manufacture, 39, 731-750, 1999.
- 17) Zehnder, A., et al., Measurement and Simulation of Temperature and Strain Field in Orthogonal Metal Cutting, International Congress of Theoretical and Applied Mechanics, ICTAM 2000.
- 18) Shi, G., et al., A Finite Element Study of the Effect of Friction in Orthogonal Metal Cutting, Finite Elements in analysis and Design, 38, 863-883, 2002.
- 19) Shuyu, B., A Finite Element Model of Face Milling, CODEF, <http://lma.berkeley.edu>)

- 20) Behrens, A., et al., Investigation of Segmented Chip Forming in High Speed Cutting Processes, paper 2001-75, Institute of Design and production Engineering, University of the Federal Armed Forces Hamburg, Germany.
- 21) Özel, T., and Altan, T., Process Simulation using Finite Element Method- Prediction of Cutting Forces, Tool Stresses and Temperatures in High Speed Flat End Milling, International Journal of Machine Tools&Manufacture, 40, 713-738, 2000.
- 22) Özel, T., Investigation of the Influence of Edge Preparation on CBN Cutting Tools when Machining Hardened AISI H-13 Tool Steel, 2nd International Conference on Design and Production of Dies and Molds, 2001.
- 23) Özel, T., Investigation of High speed Flat End milling process-prediction of chip formation, cutting forces, tool stresses and temperatures, PHD Thesis, The Ohio State University, USA. 1998.
- 24) Shet, C., and Deng, X., Finite Element Analysis of the Orthogonal Metal Cutting Process, Journal of Materials Processing Technology, 105,95-109, 2000.
- 25) Kumbera, T.G., et al., Numerical Simulations of Ductile Machining of Silicon Nitride with a Cutting Tool of Defined Geometry.
- 26) Yung-Chang, Y., et al., A Finite Analysis of Orthogonal Machining using Different Tool Edge Geometries, The Engineering Research Center for Net Shape Manufacturing, The Ohio State University, Colombus, Ohio, USA.
- 27) Mackerle, J., Finite-Element Analysis and Simulation of Machining: A Bibliografya (1976-1996), Journal of Materials Processing Technology, 86, 17-44, 1999.

- 28) Liu, C.R., and Guo, Y.B., Finite Element Analysis of the Effect of Sequential Cuts and Tool-Chip Friction on Residual Stresses in a Machined Layer, , 42, 1069-1086, 2000.

- 29) Li, K., et al., Finite Element Simulation of the Orthogonal Metal Cutting Process for Qualitative Understanding of the Effects Of Crater Wear on the Chip Formation Process, Journal of Materials Processing Technology, 127, 309-304, 2002.

- 30) Arola, D., and Ramulu, M., Orthogonal Cutting of Fiber-Reinforced Composites:A Finite Element Analysis, Journal of Mechanical Sciences, 39, 597-613, 1997.

- 31) Klocke, F., Examples of FEM Application in Manufacturing Technology, Journal of Materials Processing Technology, 120, 450-457, 2002.

- 32) Ali, F. and Lorong, P., An Explicit Thermomechanical Finite Element Software for Simulating Chip Formation in Cutting, Mecanique&Industries, 3, 343-349, 2002.

- 33) Mamalis, A.G., et al., Modelling of Precision Hard Cutting Using Implicit Finite Element Methods, Journal of Materials Processing Technology, 123,464-475,2002.

- 34) Marusich, T.D., Simulation and Analysis of Chip Breakage in Turning Processes, (<http://thirdwave.com>), 2001

- 35) Monaghan, J., Brazil, D., Modelling the Flow Processes of a Particle Reinforced Metal Matrix Composite during Machining, Composites Parts A, 29a, 87-99,1998.

- 36) Sangkee, M., Mesh Separation Criteria in Finite Element Simulation for Drilling Burr Formation, <http://lma.berkeley.edu>

- 37) Belytschko, T., et al., Nonlinear Finite Elements for Continua and Structures, John Wiley&Sons LTD., Canada, 2001.
- 38) Kim, K.W., and Sin, H.C., Finite Element Method and Thermo-Viscoplastic Cutting Model in Manufacturing Systems, Journal of Machine Tools&Manufacture, 36, 1995.
- 39) Kistler, B.L., Finite Element Analyses of Tool Stresses in Metal Cutting Processes, SAND97-8224, USA,1997.
- 40) Yang, X., and Liu, C.R., A New Stress-Based Model of Friction Behavior in Machining and Its Significant Impact on Residual Stresses Computed by Finite Element Method, Journal of Mechanical Sciences, 44, 703-723, 2002.
- 41) Wince, N.J., Modeling Chip Formation in Orthogonal Metal Cutting using Finite Element Analysis, Msc . Thesis, Mississippi State Univetsity, 2002.
- 42) C. Ming, S. Fanghong, W. Haili, Y. Renwei, Q. Zhenghong, Z. Shuqiao, Experimental research on the dynamic characteristics of the cutting temperature in the process of high-speed milling, Journal of Materials Processing Technology 138 (2003) 468-471.
- 43) X.J. Ren, Q.X. Yang, R.D. James, L. Wang, Cutting temperatures in hard turning chromium hardfacings with PCBN tooling, Journal of Materials Processing Technology 147 (1) (2004) 38-44.
- 44) B. Müller, U. Renz, Time resolved temperature measurements in manufacturing, Measurement 34 (4) (2003) 363-370.
- 45) G. Sutter, L. Faure, A. Molinari, N. Ranc, V. Pina, An experimental technique for the measurement of temperature fields for the orthogonal cutting in high speed machining, International Journal of Machine Tools and Manufacture 43 (2003) 671-678.

- 46) X.L. Liu, D.H. Wen, Z.J. Li, L. Xiao and F.G. Yan, Cutting temperature and tool wear of hard turning hardened bearing steel, *Journal of Materials Processing Technology* 129 (1) (2002) 200-206.
- 47) W. Grzesik, Experimental investigation of the cutting temperature when turning with coated indexable inserts, *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 39 (3) (1999) 355-369.
- 48) W. Chen, C. Tsao and P. Liang, Determination of temperature distributions on the rake face of cutting tools using a remote method, *International Communications in Heat and Mass Transfer* 24 (2) (1997) 161-170.
- 49) H. Ay, W. Yang, Heat transfer and life of metal cutting tools in turning, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 41 (1998) 613-623.
- 50) D. O'Sullivan, M. Cotterell, Temperature measurement in single point turning, *Journal of Materials Processing Technology* 118 (2001) 301-308.
- 51) R.C. Dewes, E. Ng, K.S. Chua, P.G. Newton, D.K. Aspinwall, Temperature measurement when high speed machining hardened mould/die steel, *Journal of Materials Processing Technology* 92-93 (1999) 293-301.
- 52) T. Kitagawa, A. Kubo and K. Maekawa, Temperature and wear of cutting tools in high-speed machining of Inconel 718 and Ti-6Al-6V-2Sn, *Wear* 202 (1997) 142-148.
- 53) S.K. Choudhury and G. Bartarya, Role of temperature and surface finish in predicting tool wear using neural network and design of experiments, *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 43 (2003) 747-753.
- 54) G. Palazzo and R. Pasquino, N. Bellomo, Temperature fields in machining processes and heat transfer models, *Mathematical and Computer Modelling* 35 (2002) 101-109.

- 55) G. E. D'Errico, An adaptive system for turning process control based on tool temperature feedback, *Journal of Materials Processing Technology* 78 (1998) 43-47.
- 56) T. Kuriyagawa, K. Syoji and H. Ohshita, Grinding temperature within contact arc between wheel and workpiece in high-efficiency grinding of ultrahard cutting tool materials, *Journal of Materials Processing Technology* 136 (2003) 39-47.
- 57) X. Xu, Experimental study on temperatures and energy partition at the diamond–granite interface in grinding , *Tribology International* 34 (2001) 419-426.
- 58) J. Dörr, Th. Mertens, G. Engering and M. Lahres, ‘In-situ’ temperature measurement to determine the machining potential of different tool coatings, *Surface and Coatings Technology* 174-175 (2003) 389-392.
- 59) M. Bono, J. Ni, A method for measuring the temperature distribution along the cutting edges of a drill, *Journal of Manufacturing Science and Engineering* 124 (2002) 921–923.
- 60) M. Bono, J. Ni, The effects of thermal distortions on the diameter and cylindricity of dry drilled holes, *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 41 (2001) 2261–2270.
- 61) M. Bono, J. Ni, A model for predicting the heat flow into the workpiece in dry drilling, *Journal of Manufacturing Science and Engineering* 124 (2002) 773–777.
- 62) J.S. Agapiou, M.F. DeVries, On the determination of thermal phenomena during a drilling process—part I, analytical models of twist drill temperature distributions, *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 30 (1990) 203–215.

- 63) J.S. Agapiou, M.F. DeVries, On the determination of thermal phenomena during a drilling process—part II, comparison of experimental and analytical twist drill temperature distributions, *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 30 (1990) 217–226.
- 64) S. Kalidas, R.E. DeVor and S.G. Kapoor, Experimental investigation of the effect of drill coatings on hole quality under dry and wet drilling conditions, *Surface and Coatings Technology* 148 (2001) 117-128.
- 65) T.C. Jen, G. Gutierrez, S. Eapen, G. Barber, H. Zhao, P.S. Szuba, J. Labataille and J. Manjunathaiah, Investigation of heat pipe cooling in drilling applications: part I: preliminary numerical analysis and verification, *International Journal of Machine Tools and Manufacture* 42 (2002) 643-652.
- 66) R. Komanduri, Z.B. Hou, A review of the experimental techniques for the measurement of heat and temperatures generated in some manufacturing processes and tribology, *Tribology International* 34 (2001) 653-682.
- 67) M. Da Silva, J. Wallbank, Cutting temperature: prediction and measurement methods—a review, *Journal of Materials Processing Technology* 88 (1-3) (1999) 195-202.
- 68) A.A.O. Tay, A review of methods of calculating machining temperature , *Journal of Materials Processing Technology* 36 (3) (1993) 225-257.
- 69) W. Chen, Effect of the cross-sectional shape design of a drill body on drill temperature distributions, *International Communications in Heat and Mass Transfer* 23 (3) (1996) 355-366.
- 70) K. Fuh, W.C. Liang, Temperature rise in twist drills with a finite element approach , *International Communications in Heat and Mass Transfer* 21 (3) (1994) 345-358.

- 71) J.S. Agapiou, D.A. Stephenson, Analytical and experimental studies of drill temperatures, *Journal of Engineering for Industry* 116 (1) (1994) 54-60.
- 72) J.S. Strenkowski, A.J. Shih, J. Lin, An analytical finite element model for predicting thrust force and torque in drilling, *International Journal of Machine Tools and Manufacture* xx (2004) xxx-xxx.
- 73) M. Nouari, G. List, F. Girot and D. Coupard, Experimental analysis and optimisation of tool wear in dry machining of aluminium alloys, *Wear* 255 (2003) 1359-1368.
- 74) S. Dolinsek, Work-hardening in the drilling of austenitic stainless steels, *Journal of Materials Processing Technology* 133 (2003) 63-70.
- 75) H.F. Hsieh, Investigation of the Thrust and Torque generated during drilling Processes, MSc. Thesis, University of Maryland, USA, 1992.
- 76) Advantedge Software, Theoretical Manual, 3.5, 2001, Third-wave Systems.
- 77) C.C.Tsao, H. Hocheng, Taguchi analysis of delamination associated with various drill bits in drilling of composite material. *International Journal of Machine Tools and Manufacture* xxx (2004) xxx-xxx.
- 78) V. Kalhori, Modeling and simulation of mechanical cutting , PhD Thesis, Lulea University of Technology, 2001.
- 79) Chandrakanth Shet , et al., Finite element simulation of high-pressure water-jet assisted metal cutting ,*International Journal of Mechanical Sciences*, Volume 45, Issues 6-7, June-July 2003, Pages 1201-1228
- 80) C. R. Liu and Y. B. Guo .,Finite element analysis of the effect of sequential cuts and tool–chip friction on residual stresses in a machined layer, *International Journal of Mechanical Sciences*, Volume 42, Issue 6, June 2000,

Pages 1069-1086.

- 81) Zone-Ching Lin , et al., Residual stresses with different tool flank wear lengths in the ultra-precision machining of Ni---P alloys , Journal of Materials Processing Technology, Volume 65, Issues 1-3, March 1997, Pages 116-126

- 82) Hiroyuki Sasahara , et al., Prediction model of surface residual stress within a machined surface by combining two orthogonal plane models , International Journal of Machine Tools and Manufacture, Volume 44, Issues 7-8, June 2004, Pages 815-822

- 83) R. M. Arunachalam , et al., Residual stress and surface roughness when facing age hardened Inconel 718 with CBN and ceramic cutting tools, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Volume 44, Issue 9, July 2004, Pages 879-887

- 84) Wiesner, C., Residual Stresses after Orthogonal Machining of AISI 304: Numerical Calculation of the Thermal Component and Comparison with Experimental Results, 1992.

- 85) Yoichi Matsumoto and Da-Chun Hsu ., Workpiece temperature rise during the cutting of AISI 4340 steel Wear, Volume 116, Issue 3, 15 May 1987, Pages 309-317.

- 86) Ship-Peng Lo , An analysis of cutting under different rake angles using the finite element method , Journal of Materials Processing Technology, Volume 105, Issues 1-2, 7 September 2000, Pages 143-151.

- 87) Patrik Dahlman , et al., The influence of rake angle, cutting feed and cutting depth on residual stresses in hard turning , Journal of Materials Processing Technology, Volume 147, Issue 2, 10 April 2004, Pages 181-184.

- 88) Michael Jacobson , et al., Cutting speed influence on surface integrity of hard turned bainite steel, Journal of Materials Processing Technology, Volume

128, Issues 1-3, 6 October 2002, Pages 318-323

- 89) M. H. El-Axir , A method of modeling residual stress distribution in turning for different materials, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Volume 42, Issue 9, July 2002, Pages 1055-1063
- 90) M. M. El-Khabeery and M. Fattouh , Residual stress distribution caused by milling , International Journal of Machine Tools and Manufacture, Volume 29, Issue 3, 1989, Pages 391-401
- 91) Zone-Ching Lin , et al., The study of ultra-precision machining and residual stress for NiP alloy with different cutting speeds and depth of cut, Journal of Materials Processing Technology, Volume 97, Issues 1-3, 1 January 2000, Pages 200-210
- 92) Edoardo Capello , Residual stresses in turning: Part I: Influence of process parameters , Journal of Materials Processing Technology, In Press, Corrected Proof, Available online 5 August 2004,
- 93) R. M'Saoubi, et al., Residual stress analysis in orthogonal machining of standard and resulfurized AISI 316L steels, Journal of Materials Processing Technology, Volume 96, Issues 1-3, 1 November 1999, Pages 225-233
- 94) W. Bouzid Saï , et al., Influence of machining by finishing milling on surface characteristics International Journal of Machine Tools and Manufacture, Volume 41, Issue 3, February 2001, Pages 443-450
- 95) B. R. Sridhar , et al., Effect of machining parameters and heat treatment on the residual stress distribution in titanium alloy IMI-834, Journal of Materials Processing Technology, Volume 139, Issues 1-3, 20 2003, Pages 628-634
- 96) R. T. Coelho , et al., Some effects of cutting edge preparation and geometric modifications when turning INCONEL 718™ at high cutting speeds, Journal of Materials Processing Technology, Volume 148, Issue 1, 1 May 2004, Pages

147-153.

- 97) Y. Kevin Chou and Hui Song , Tool nose radius effects on finish hard turning
Journal of Materials Processing Technology, Volume 148, Issue 2, 15 May
2004, Pages 259-268
- 98) D. Y. Jang , et al., Surface residual stresses in machined austenitic stainless
steel, Wear, Volume 194, Issues 1-2, June 1996, Pages 168-173
- 99) Shaw, M.C., Chapter 1-Introduction , Metal Cutting Principles, New York,
Oxford University Press, 1984.
- 100) Childs, T.H., Maekawa, K., 1990, Computer-Aided Simulation and
Experimental Studies of chip Flow and Tool wear in the Turning of Low Alloy
Steels by Cemented Carbide Tools, Wear, 139, pp. 235-250.
- 101) Eldridge, K.F., et al., Thermo-Viscoplastic Finite Element Modeling of
Machining Under Various Cutting Conditions, Transactions of SME, Vol.XIX.
pp 162-169.
- 102) P. Fallböhmer , et al., Survey of the die and mold manufacturing industry -
practices in Germany, Japan, and the United States Journal of Materials
Processing Technology, Volume 59, Issues 1-2, 15 May 1996, Pages 158-168
- 103) Fourment, L. et al., Numerical simulation of Tool Wear in Orthogonal
Cutting, CIRP STC Meeting, 1997, France.
- 104) Klamecki, B.E., et al., On the Plane Strain Transition Across the Shear Zone
in Metal Cutting, ASME Journal of Engineering for Industry, Vol. 110, pp.
322-325.1988
- 105) Smoothed Particle Hydronamics part:I, Jean Luc Lacomé,FEA Newsletters,
October, 2001 p.3-8

- 106) Bican, İ., Hacim Şekillendirme işlerinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Simülasyonu, Yüksek lisans Tezi MSc Thesis, 2004, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmit, Turkey.

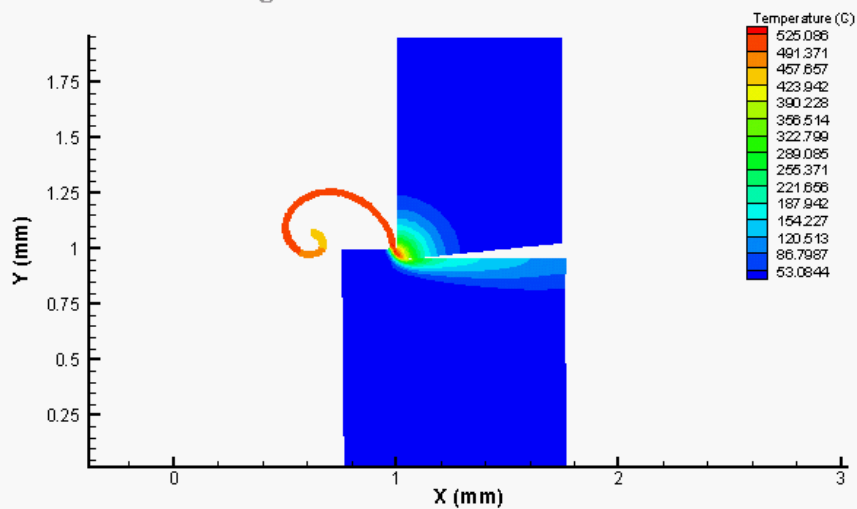
ÖZGEÇMİŞ

Araş.Gör. **Eyup BAĞCI** 1980 yılında K.MARAŞ’da doğdu. 1996 yılında K.Maraş Teknik Lisesini (C.N.C. Bölümü) Birincilik Derecesi ile bitirdi. Aynı yıl Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi bölümünü kazandı. 2000 yılında aynı bölümden birincilik derecesi ile mezun oldu. 2000 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Tasarım ve İmalat Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimine başlamış olan Bağcı, 2001 yılında aynı bölüme araştırma görevlisi olarak atanmıştır.

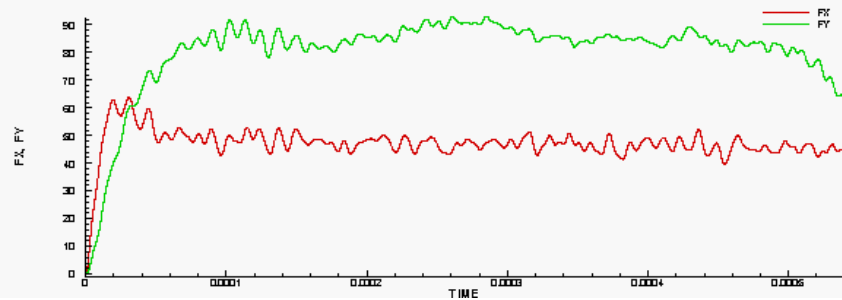
Pro/Engineer, Unigraphics, CATIA, ANSYS, ABAQUS ve AdvantEdge yazılımlarını aktif olarak kullanan Eyup Bağcı çalışmalarını, metal kesmenin sonlu elemanlar yöntemiyle analizi, kesme esnasında oluşan form hatalarının kaynaklarının bulunması, kesme parametrelerinin optimizasyonu ve yüksek hızda işleme konuları(High Speed Machining) üzerinde yoğunlaştırmıştır. Uluslararası dergilerde ve konferanslarda makaleleri yayınlanmıştır.

EK 1

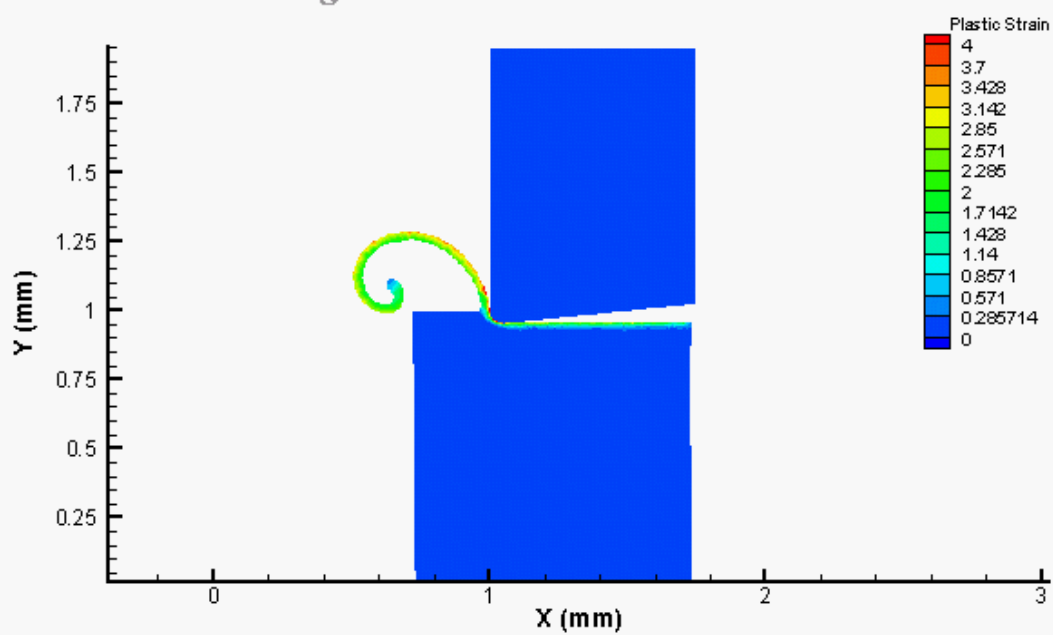
Third Wave AdvantEdge

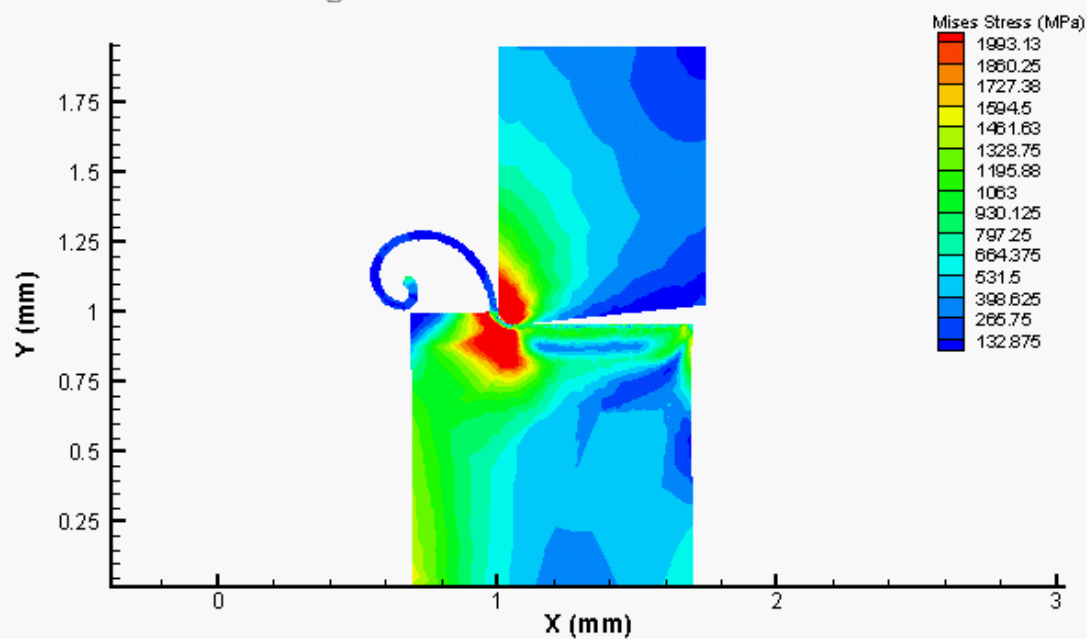
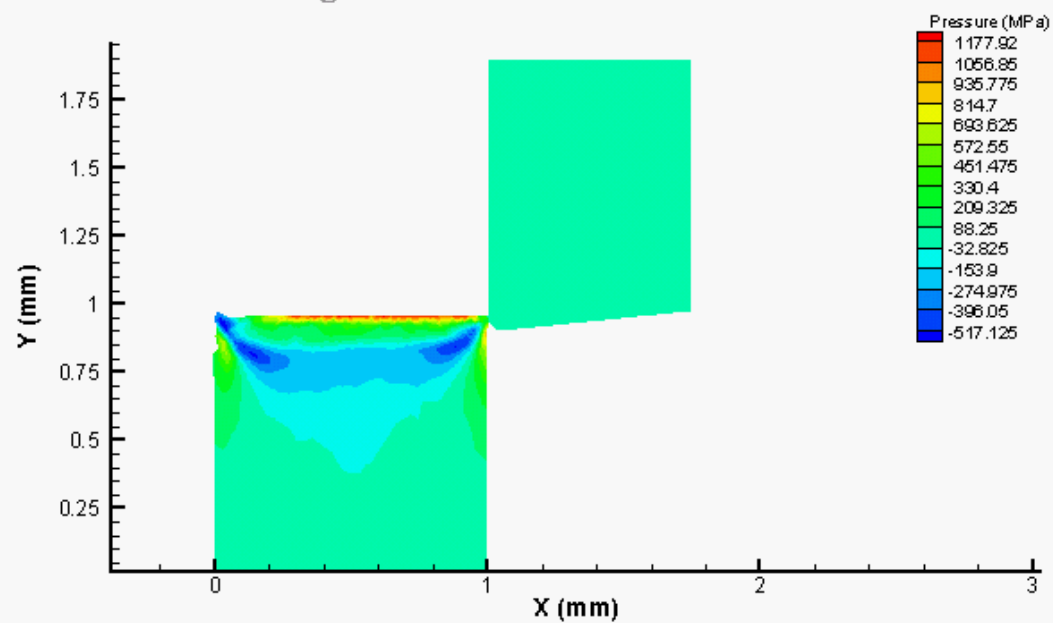


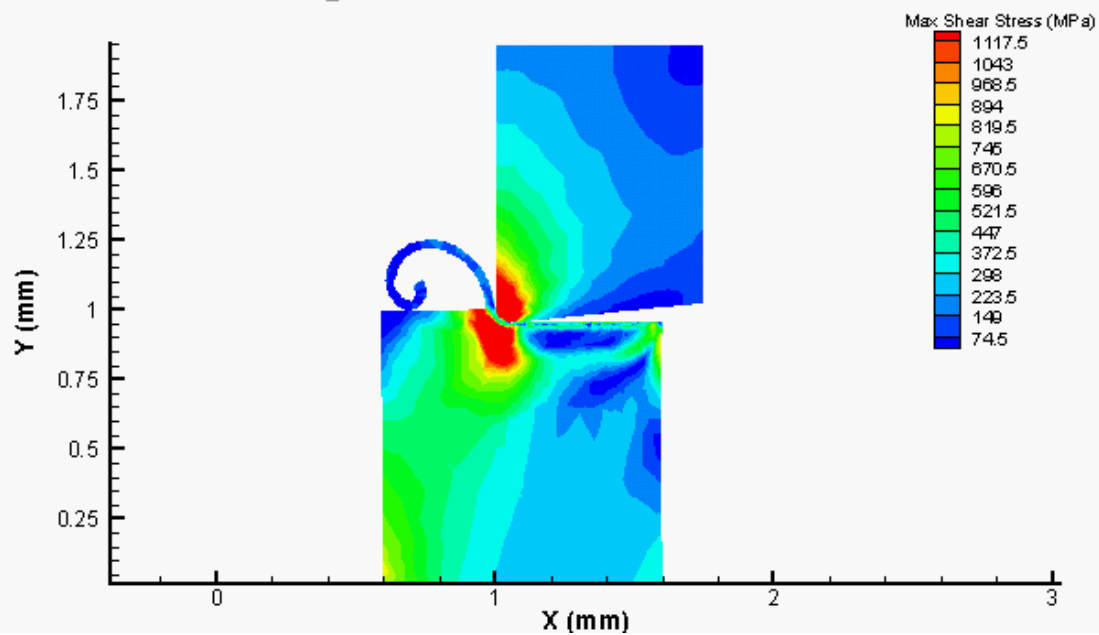
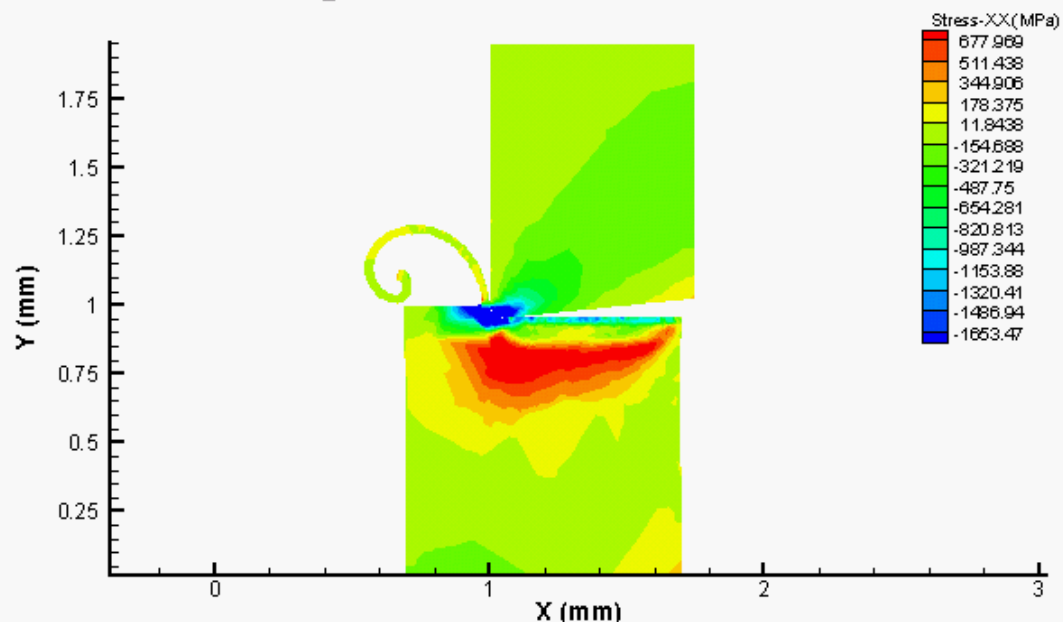
Animated Image.

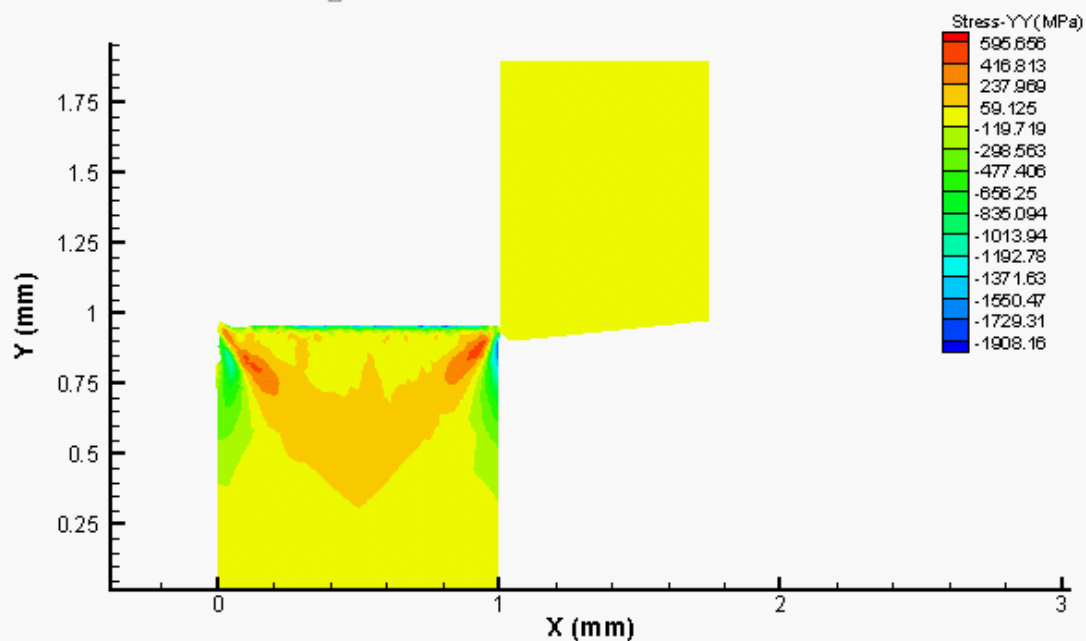
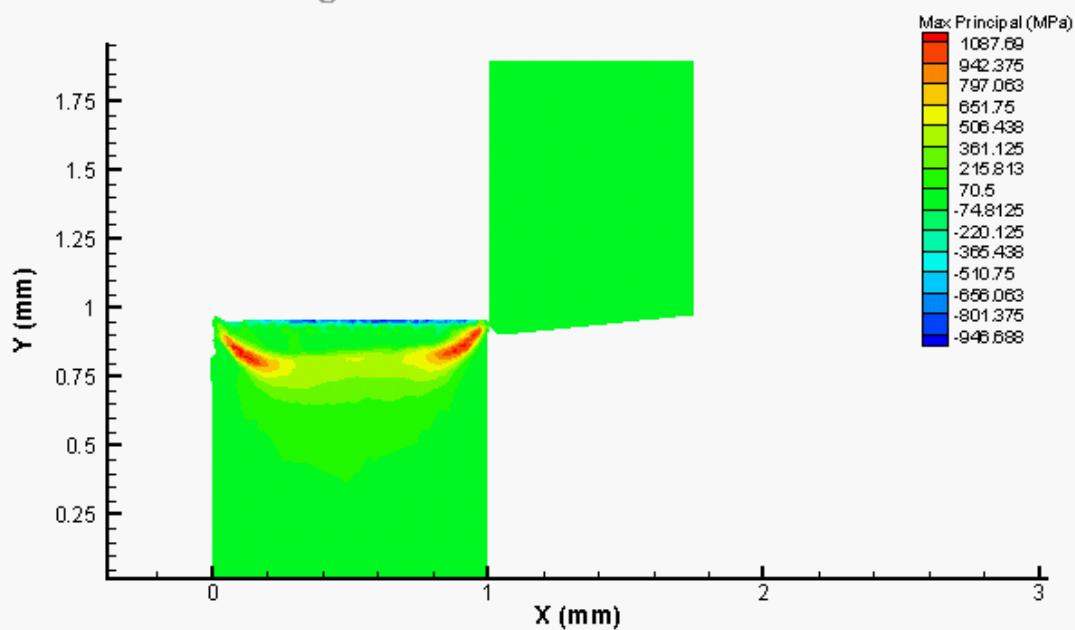


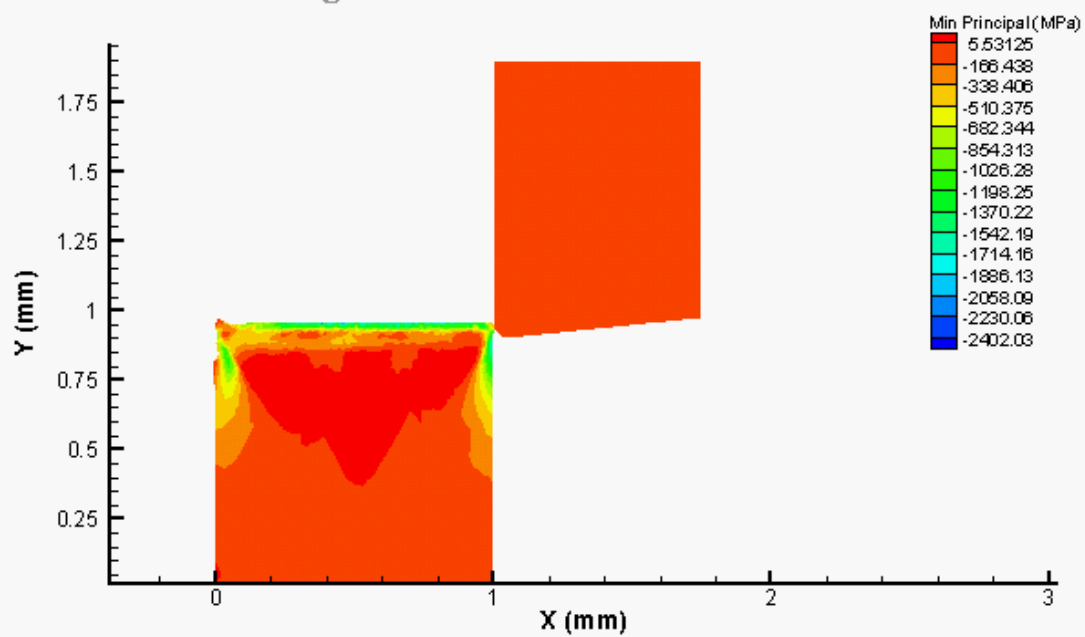
Third Wave AdvantEdge



Third Wave AdvantEdge*Third Wave AdvantEdge*

Third Wave AdvantEdge*Third Wave AdvantEdge*

Third Wave AdvantEdge*Third Wave AdvantEdge*

Third Wave AdvantEdge

Tez Çalışmasıyla İlgili Yapılan Akademik Yayınlar

Uluslararası Makale	<u>Eyup Bağcı,</u> Babür Özçelik	Finite element and experimental investigation of twist drill temperature changes in sequential dry drilling(Accepted)	International Journal of Advanced Manufacturing Technology	Haziran 2004
Uluslararası Makale	<u>Eyup Bağcı,</u> Babür Özçelik	Investigation of the effect of drilling conditions on the twist drill temperature during step by step and continuous dry drilling(Submitted)	International Journal of Material & Design	Temmuz 2004
Uluslararası Makale	Babür Özçelik <u>Eyup Bağcı</u>	Experimental and numerical studies on the determination of twist drill temperature in dry drilling (Submitted)	International Journal of Machine Tool & Manufacture	Haziran 2004
Uluslararası Makale	<u>Eyup Bağcı,</u> Babür Özçelik	Investigation of the influence of drilling conditions on the drill temperature in dry drilling process using Taguchi Method and ANOVA. (Submitted)	International Journal of Material & Design	Agustos 2004
Uluslararası Makale	<u>Eyup Bağcı,</u> Babür Özçelik	Investigation of effect of different tool edge geometries and cutting parameters on workpiece residual stresses on hard turning process using Finite Element Method (FEM) –(Preparing)	International Journal of Materials Processing Technology	-----
Ulusal Konferans	Eyup Bağcı, H. Kurtaran ve B. Özçelik	Metal Kesme İşleminin Analizinde Sonlu Elemanlar Yönteminin Kullanılması	MBÜY2003, Malzeme Bilim ve Üretim Yöntemleri Sempozyumu, Ege Üniversitesi	15-17 Ekim 2003
Ulusal Konferans	Eyup Bağcı, Babür Özçelik ve H. Kurtaran	Metal Kesmenin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizinde Kullanılan Yazılımlar, Modellemeye Karşılaşılan Güçlükler ve Algoritmaların Yetersizlikleri	II. Makina Tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi, Konya.	26-27 Eylül 2003
Uluslararası Konferans	Eyup Bağcı and B. Ozcelik	An Analysis of Orthogonal Cutting Under Different Rake Angles Using the Finite Element Method	3rd International Advanced Technologies Symposium, in Turkey	August 18-20, 2003