



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**FARKLI KÖŞE YUVARLATMA
GEOMETRİLERİNİN FREZE KESİCİ
TAKIMLARINDAKİ GERİLMELERE
ETKİSİNİN SONLU ELEMANLAR
YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ**

Semih KARADUMAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Aralık-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır.

TEZ KABUL VE ONAYI

Semih KARADUMAN tarafından hazırlanan “Farklı Köşe Yuvarlatma Geometrilerinin Freze Kesici Takımlarındaki Gerilmelere Etkisinin Sonlu Elemanlar Yöntemi İle İncelenmesi” adlı tez çalışması 27/12/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Doç. Dr. Murat DİLMEÇ

Danışman

Doç. Dr. Mehmet BAĞCI

Üye

Dr. Öğ. Üyesi Mevlüt TÜRKÖZ

Üye

Üye

.....
.....
.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Sadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Semih KARADUMAN

Tarih: 27/12/2019



ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI KÖŞE YUVARLATMA GEOMETRİLERİNİN FREZE KESİCİ TAKIMLARINDAKİ GERİLMELERE ETKİSİNİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ

Semih KARADUMAN

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Mehmet BAĞCI

2019, 119 sayfa

**Jüri
Doç. Dr. Mehmet BAĞCI**

Günümüzde imalat sanayinde çok yoğun kullanılan ve imalat maliyetlerinin önemli bir yüzdesi olan kesici takımların ömür iyileştirme çalışmaları gittikçe artmaktadır. Takım ömrünü arttırmak için kesici takım malzemesini iyileştirmek, imalatta kullanılan makineleri modernize etmek, takımları kaplamak gibi pek çok iyileştirmeler yapılmaktadır. Son yıllarda önemi anlaşılan diğer önemli bir konu ise köşe yuvarlatma işlemi olmuştur. Diğer üç birleşene ek olarak ortaya çıkan köşe yuvarlatma prosesi kaplama öncesi bir ön hazırlık işlevinin yanı sıra diğer işlemlerinde tamamlayıcısı olmuştur. Yüzey kalitesini arttırarak kaplamanın tutunabilmesi için temiz ve pürüzsüz bir yüzey meydana getirir. Ayrıca keskin köşelerde birikebilecek aşırı gerilmelerin giderilmesini ve takımın geç kırılmasına ya da hiç kırılmamasına fayda sağlayan bir ara proses halini almıştır.

Bu çalışmada, köşe yuvarlatma işleminin iş parçası üzerindeki gerilmeleri incelenerek takım aşınmasında ve kırılmasında iyileşme sağlayabileceği incelenmiştir. Literatürdeki çalışmalara bakılarak mevcut duruma ait karşılaştırmalar yapılmıştır. İş parçası ve takım üzerindeki gerilmelerin daha az olmasının sonucunda takım aşınmasının daha az olabileceğini savunan çalışmalar için referans analizler ortaya konulmuştur. Öncelikle herhangi bir köşe yuvarlatma işlemi uygulanmamış takım referans olarak analizi yapılmıştır. Sonrasında ise yedi adet radüslü (8 μm , 12 μm , 16 μm , 20 μm , 32 μm , 48 μm ve 64 μm) köşe yuvarlatma işlemi görmüş takımlar ile üç adet pah açılı (15°, 25° ve 40°) ve her bir pah açısına bağlı üç adet (8 μm , 12 μm ve 20 μm) değişken hipotenüs ile köşe hazırlama işlemi uygulanmış kesici takımların analizi yapılmıştır. Analiz sonuçlarının anlamlılığı üzerine yorumlar yapılmış olup bu sonuçların takım geliştirme sonuçlarına ait öneriler belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: ANSYS, aşınma, kesici takım, köşe yuvarlatma, sonlu elemanlar

ABSTRACT

MS THESIS

**INVESTIGATION OF THE EFFECT OF DIFFERENT CORNER ROUNDING
GEOMETRY ON STRESSES IN MILLING CUTTING TOOLS BY FINITE
ELEMENT METHOD**

Semih KARADUMAN

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Mechanical Engineering**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Mehmet BAĞCI

2019, 119 Pages

**Jury
Assoc. Prof. Dr. Mehmet BAĞCI**

Today, the lifetime of the cutting tools, which are used very intensively in the manufacturing industry and which is a significant percentage of the manufacturing costs, is increasing day by day. The tool is developing a variety to increase life. these; improving the cutting tool material, modernizing the machines used in manufacturing, coating the tools. The last priority seems to be another important issue. In addition to the other triple plant, the process was complementary to a pre-coating pre-coating function as well as other processes without ending the boot process before it appeared. The surface is clean and smooth to hold a deeply growing coating. It will also be an intermediate process, eliminating build-up overvoltages in sharp corners and benefiting from late breakage or no breakage of the tool.

In this study, the stresses of the corner rounding process on the workpiece were examined and it was investigated that it can improve the tool wear and breakage. Based on the studies in the literature, comparisons were made regarding the current situation. Reference analyzes have been put forward for studies that advocate that tool wear may be less as a result of less stress on the workpiece and tool. First of all, no corner rounding was applied and the tool was analyzed as a reference. Then, with seven radial (8 μm , 12 μm , 16 μm , 20 μm , 32 μm , 48 μm and 64 μm) corner rounded tools and three chamfer angles (15 °, 25 ° and 40 °) and each Three (8 μm , 12 μm and 20 μm) variable hypotenuses depending on the chamfer angle and corner preparation were applied and cutting tools were analyzed. Comments were made on the significance of the analysis results and recommendations for team development results of these results were determined.

Keywords: ANSYS, corner rounding, Cutting tool, finite element, wear

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında bana her türlü desteği sağlayan değerli danışman hocam Doç. Dr. Mehmet BAĞCI'ya desteklerinden dolayı teşekkürlerimi sunuyorum.

Ayrıca benim için her türlü fedakârlığı yapan, karşılığını ödeyemeyeceğim emeklerinden dolayı dünyanın en değerlileri annem Seher KARADUMAN'a ve babam Nihat KARADUMAN'a çok teşekkür ediyorum.

Semih KARADUMAN
KONYA-2019



İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
3. TEORİK ESASLAR.....	11
3.1 Talaşlı İmalat.....	11
3.2 Talaş Oluşumu.....	11
3.2.1 Ortogonal kesme teorisi.....	11
3.2.2 Talaş oluşumunda deformasyon bölgeleri.....	12
3.2.3 Ortogonal teoride kesme kuvvetleri	12
3.3 Kesici Takımlar	14
3.3.1 Kesici takım malzemeleri.....	15
3.3.1.1 Yüksek hız çelikleri (HSS).....	15
3.3.1.2 Seramikler	17
3.3.1.3 Elmaslar.....	17
3.3.1.4 Kübik Bor Bitrür (CBN)	18
3.3.1.5 Sert metaller	18
3.2 Kesici takım kaplama yöntemleri.....	19
3.3.2.1 CVD kaplama yöntemi.....	19
3.3.2.2 PVD kaplama yöntemi	21
3.3.3 Takım aşınmaları.....	22
3.3.3.1 Takım aşınma mekanizmaları.....	23
3.3.3.1.1 Abrasif (aşındırıcılarla) aşınma mekanizması	25

3.3.3.1.2 Difüzyon aşınma mekanizması.....	25
3.3.3.1.3 Oksidasyon aşınması mekanizması	25
3.3.3.1.4 Yorulma aşınma mekanizması.....	26
3.3.3.1.5 Adezyon aşınma mekanizması	26
3.3.3.2 Takım aşınma tipleri.....	26
3.3.3.2.1 Yan kenar aşınması.....	27
3.3.3.2.2 Krater aşınması	27
3.3.3.2.3 Plastik deformasyon	28
3.3.3.2.4 Çentik aşınması.....	28
3.3.3.2.5 Termal çatlaklar	29
3.3.3.2.6 Mekanik yorulma çatlakları.....	30
3.3.3.2.7 Kırılma.....	30
3.3.3.2.8 Kesici kenarda yığılma (BUE)	31
3.3.3.3 Takım aşınma hesaplama modelleri.....	32
3.3.3.3.1 Taylor takım ömrü modeli.....	32
3.4 Köşe Yuvarlatma.....	34
3.4.1 Kesici uç köşe yuvarlatma geometrileri	37
3.4.2 Köşe hazırlamanın işlemeye etkileri	39
3.4.3 Köşe hazırlamanın boyut etkisi ve mikro işlemeye katkısı.....	39
3.4.4 Köşe yuvarlatmanın talaş formuna etkisi	41
3.4.5 Takım aşınmaları ve takım ömrü	43
3.4.6 İşleme yüzeyi kalitesi	43
3.4.7 Köşe hazırlama geometrisi ve high speed işleme.....	44
3.4.8 Köşe hazırlama ve kaplama prosesi	44
3.4.9 Köşe hazırlama prosesinin uygulama sırası ve maliyeti	45
3.5 Köşe Hazırlama Yöntemleri.....	45
4. MATERYAL VE METOD.....	48
4.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi	48
4.1.1 Çalışmada kullanılacak analiz programının belirlenmesi	49
4.1.2 Explicit Dynamic.....	50
4.1.3 Explicit Dynamic teorisi.....	50
4.2. Analiz Parametrelerinin Belirlenmesi	51
4.2.1 Analizde kullanılacak malzemenin seçimi	51
4.2.2 Analizde kullanılacak boyut parametreleri	53

4.2.3 Analizde kullanılacak eleman ve nod sayılarının belirlenmesi	55
4.2.4 Analizde kullanılacak eleman tipinin belirlenmesi	59
4.2.5 Analiz sınır şartlarının belirlenmesi	61
5. ANALİZ SONUÇLARI.....	64
5.1 İş Parçasına Ait Gerilmelerin Grafik ve Görselleri	65
5.2 Takıma Ait Kayma Gerilmesi Sonuçlarının Grafikleri ve Görselleri	82
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	98
6.1 Sonuç.....	98
6.2 Tartışma.....	102
6.3 Öneriler.....	103
KAYNAKLAR.....	104
ÖZGEÇMİŞ.....	109

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

V_c	: Takım ilerleme hızı (mm/dak)
f_z	: Diş başı ilerleme (mm/diş)
S_a	: Serbest yüzey yuvarlatma ölçüsü (mm)
φ	: Kayma açısı ($^{\circ}$)
τ_s	: Kayma düzlemi kayma gerilemesi (MPa)
δ	: Normal gerilme (MPa)
F_R	: Bileşke kuvvet (N)
F_C	: Kesme kuvveti (N)
F_P	: Takım dalma kuvveti (N)
n	: Takım malzeme üssü
C	: Takım sabiti
γ_b	: Pah açısı ($^{\circ}$)
b_n, b_γ	: Pah ölçüleri
h_m	: Minimum paso ölçüsü (mm)
r_n	: Radüs yarıçapı (mm)
Φ	: Kayma düzlem açısı ($^{\circ}$)

Kısaltmalar

BUE	: Malzeme yığılması
CAD	: Computer Aided Design
CBN	: Kübik Bor Nitrür
CNC	: Computer Numeric Controll
CVD	: Chemical Vapour Deposition
DIN	: Alman Standartları Enstitüsü
EDM	: Electrical Discharge Machining
FEM	: Sonlu Elemanlar Yöntemi (Finite Element Methods)
HSS	: Yüksek Hız Çeliği
PVD	: Physical Vapor Deposition
X_T	: Parasolid uzantısı
3D	: Üç boyut

1. GİRİŞ

Her geçen gün imalat sanayinde kullanılan teknoloji gelişmektedir ve bunun sonucunda en önemli imalat yöntemlerinden birisi olan talaşlı imalat birleşenleri de teknolojik olarak gelişmektedir. Talaşlı imalat yapan tezgâhların dışında takımların gelişimi verimli, hızlı ve kaliteli imalat için sürekli olarak geliştirilmektedir. Bu gelişimin en önemlisi, maliyetleri düşürmesi açısından takım ömrünün arttırılması olarak ortaya çıkmıştır.

Kesme hızlarının yükseltilebilmesi ve ömrün artması için çok fazla çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmalar genellikle kesici takım malzemesi, takım kaplaması ve kesici geometrileri üzerine yoğunlaşarak sürdürülmektedir.

Kesici takımların imalatında kullanılan makinelerin gelişmesi ile istenilen geometriler eskiye göre takım malzemesine daha rahat işlenebilmektedir. Tezgâhların işleme kabiliyetinin artıp daha hassas geometriler ortaya çıkmasına rağmen, takımlardan istenilen performansların alınamamasından dolayı araştırmalar yapılmış ve köşe yuvarlama süreci takım imalatı sonrasında ek bir süreç olarak ortaya çıkmıştır. Mekanik parçaların yorulma kaynaklı hasarlarına karşı uygulanan pah kırma işleminin bir benzeri olarak açıklanabilecek radüslü köşe yuvarlatma işlemi, imalat sonrası kesici yüzeylerin bir miktar köreltilmesi esasına dayanmaktadır. Böylelikle aşırı keskin köşelerin kırılma problemine karşı iyi bir çözüm sağlanmıştır.

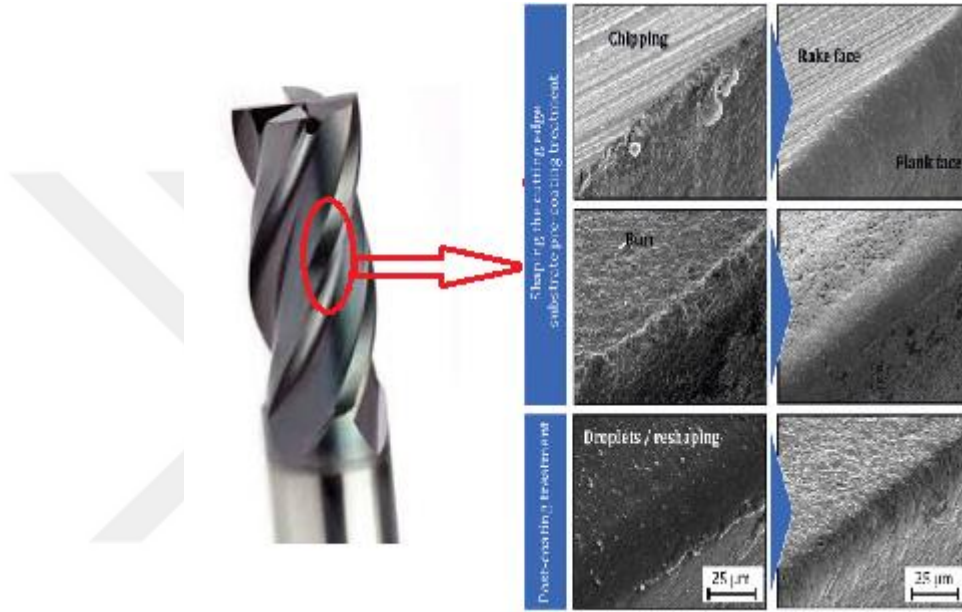
Talaş kaldırma teknolojisi ile ilgili kesme kuvveti, kesme sıvısı ve işlenebilirlik gibi konularda çalışmalar yapılmış ve birçok malzemeye uygulanmıştır. Çalışmalar sonucunda farklı kesici malzemeleri, takım kaplamaları ve kesme sıvıları geliştirilmiştir. Özellikle artan üretim talebi karşısında ve ekonomik koşullardan dolayı işleme hızları ve takım geometrisi alanında halen daha çalışılması gereken önemli konular bulunmaktadır.

Çalışmada günümüz koşullarında uygulanan köşe yuvarlatma yöntemleri ayrıntılı olarak incelenmiştir ve takım geometrilerinde optimizasyon için yedi adet analiz yapılmıştır. Bu analizlerden bir adedi imalattan çıktığı gibi keskin köşe üzerine yapılmıştır. Diğer altı analiz ise üçerli guruplar halinde pahlı ve radüslü şekilde yapılmıştır. Radüslü grupta ki ölçüler 8 µm, 12 µm, 16 µm, 20 µm, 32 µm, 48 µm ve 64 µm olarak seçilmiştir ve pahlı köşe hazırlamadaki ölçüler ise hipotenüsleri 8 µm, 12 µm, 20 µm olacak şekilde 15 °, 25 ° ve 40° olmak üzere üç farklı açıda toplamda altı farklı modellemede analiz edilmiştir.

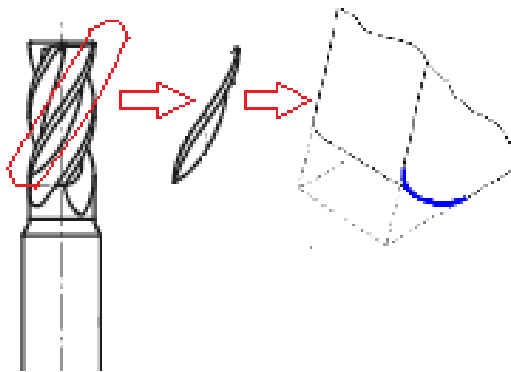
Çalışmada frezeleme işlemleri için daha uzun ömürlü kesici takım tasarımı üzerine çalışılmıştır. Bu çalışmada; yüksek hızlı frezelemede kesici ucun hangi bölgelerinin zorlamaya maruz kalacağı, sert metal yüzey frezelemede kesici takımın aşınabilecek bölgeleri tayin

edilebilmesi ve uç geometrisinin talaş oluşumunda oluşan gerilmeleri takımı nasıl etkilediği hakkında ön görüde bulunacak veriler elde edilmeye çalışılmıştır.

Köşe yuvarlatma, kesici parmak frezeler düşünüldüğünde kesme helisi boyunca köşeye pah ya da radüs oluşturma prosedir (Şekil 1.2). Bu proses sonucunda takım yüzeyinde de bir iyileşme görülmektedir (Şekil 1.1). Çalışmanın konusu olan farklı köşe hazırlama geometrileri analizi yapılarak helis köşesi boyunca oluşan gerilmelerin en aza indirilerek takım ömrünün arttırılması için öneriler geliştirilmesi hedeflenmiştir.



Şekil 1.1 Köşe hazırlama prosesinin gösterimi



Şekil 1.2 Köşe hazırlama prosesinin gösterimi

Yukarıdaki katkılara ek olarak kalıplılık sanayinde de yeni yeni ihtiyaç duyulmaya başlayan kalıp kesme ağızlarındaki köşe yuvarlatma ihtiyacı içinde ufuk açıcı bir çalışma olacağı düşünülmektedir. Araçların yan direklerinde kullanılmakta olan hot forming

uygulanmayan ve akma noktaları 1200 – 1400 MPa olan sert sacların şekillendirilmesinde ve kesilmesinde kullanılan kalıplarda uygulanmaya başlayan köşe yuvarlatma işlemleri için ön bir çalışma ile konunun uygulanabilirliği kalıpcılık endüstrisi ile uğraşan mühendislerle tartışılmıştır. Bu çalışmadan örnek alınarak kalıplardaki köşe yuvarlatma ile ilgili benzer analizler yapılarak ön görüşler ortaya konulabileceği düşünülmektedir. Bu noktada belirtilen hususların sonucunda tezin çok yönlülüğü gözlemlenmiş olacaktır.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Literatürde talaş oluşumu sırasında, köşe hazırlama prosesinin ve talaş oluşumunun takım ömrü üzerinde etkisini aynı anda araştıran bir çalışma bulunmamaktadır. Ancak takım analizleri ile takım aşınmasını ve köşe yuvarlatmanın takım ömrü üzerindeki etkisini inceleyen çalışmalar bulunmaktadır (Chien ve ark. 1897, Nakayama ve ark. 1960, Cortes, 2009). Literatürde mevcut olan araştırmalar direkt olarak, köşe yuvarlatma prosesinin takıma ya da iş parçasına olan etkisi üzerinde durmuştur, fakat talaş oluşum esnasındaki mekanik ve termal zorlamalar incelendiğinde aşınmalara hem takım hem de iş parçasındaki gerilmelerin neden olduğu anlaşılmaktadır. Bir takım geometrisi tasarlanması sırasında takım ve iş parçası gerilmelerinin dikkate alınması gerektiği literatürdeki formüllerle de anlaşılabilir. Bu yüzden bu çalışma hem takım hem parça için analiz içerdiğinden literatüre bir yenilik olup, bu çalışma yürütülürken daha önce yapılan araştırmalardan da faydalanılmış ve yorumlanılmıştır.

Köşe yuvarlatma hakkında ilk çalışmalar 1897’de yapılmış olan çalışma ile başlamıştır. Fischer, kesici takımların köşelerinin tamamen keskin olarak kabul edilemeyeceğini belirtmiştir. Kesici takımların, köşelerinin yuvarlak olması gerektiğini uluslararası gündeme getiren Chien, Albrecht ve Masuko’dur. Chien ve ark. (1897) yuvarlatılmış kesici kenarların sürtünme kuvvetleri üzerindeki etkilerini de tanımlamışlardır.

Ortogonal tornalama prosesinde, Chien (1897) takım şeklinin malzeme deformasyonu, işleme kuvvetlerini ve bitmiş yüzeydeki etkisini araştırmıştır. Chien, kuvvetlerin büyüklüğünün ve yönünün takım tipi ve takım boyutuna bağlı olduğunu belirlemiştir. Ayrıca takım ucunda ekstra kuvvet bileşenlerinin olduğunu belirlemiştir.

Albrecht (1970), köşe yuvarlatma etkisi hakkında çalışmış ve metallerde kesme teorisi ile metallerde aşınma teorisi konularını birleştirmiştir. Buna ek olarak, Masuoka, talaşlı imalattaki kuvvetlerin oluşumunu takım üzerinde çentik açma kuvveti olarak açıklamıştır.

Nakayama ve ark. (1960) talaş kalınlığı azaltılırken, talaş oluşumunda spesifik enerjinin artışında köşe yuvarlatma ile bağlantı kurmuştur. Çalışma, köşe yuvarlatmanın ilk araştırması olarak literatürde geçmektedir. Bu çalışma sonucunda, köşe yuvarlatmanın talaş oluşum işlemi sırasında enerjiyi düşürdüğü anlaşılmış ve gelişmelere öncü olmuştur.

Cortes (2009), incelemelerinde köşe yuvarlatma geometrisini matematiksel olarak incelemiştir. Matematiksel modelde köşe yuvarlatma geometrisine altıncı dereceden bir polinom ile yaklaşmıştır. Cortes, bu verilere dayanarak kesici kenar şeklini karakterize etmek için çok geniş fonksiyona ve fonksiyon parametrelerine sahip fonksiyonlar bulmuştur. Buna bağlı olarak talaş açısı ve boşluk açısı arasındaki köşe yuvarlatmayı ayrıntılı bir şekilde

açıklayabilmiştir. Fakat denklem karmaşık ve kontrol edilemez parametreler içermediğinden pratikte kullanım açısından uygun değildir.

A. Chouldhury ve M. A. El-Boradie (1998) tarafından yürütülen çalışmada, takım ömrü için bir CNC torna ve üç deney setinden oluşan sistem tasarlanmıştır. Takım geometrileri ise takım tutucu açısı 95° , yaklaşma açısı -6° , talaş açısı -6° ve talaş boşluğu 0° olarak belirlenmiştir. İlk deney seti değişik kesme hızlarında sabit ilerlemede (0,2 mm/devir) ve kesme derinliği 1,0 mm olarak yapılmıştır. İkinci deney yapılırken değişken kesme hızı (20 mm/min) ve kesme derinliği 1,0 mm'dir. Üçüncü deney sırasında ise kesme hızı (20 m/min) ve ilerleme (0,2 mm/rev) sabit tutulmuş, talaş derinliği değişmiştir. Takımların aşınma değerleri ölçülürken Mitutoya TM 300 takım mikroskobu ile kaydedilmiştir. Takımların aşınma değerleri ölçülürken ISO 3685 standartları kullanılmıştır. Deney sonunda Taylor takım ömrü formülü modernize edilerek, takım faktörleri işin içine girerek yeniden formül düzenlenmiştir.

Uhlmann ve ark. 2014 kenar geometrileri ile takım aşınması arasındaki korelasyonlar hakkında temel bilgi edinmek için çeşitli kesici kenar geometrilere sahip kesici frezelerin uçlarını aşınma deneylerinde test etmişlerdir. Bu nedenle, kanadın aşınma alanı, $L_{kesici}=10$ m'lik bir kesme uzunluğu boyunca analiz edilmiştir. Köşe yuvarlatma yarıçapı $r=8$ μm olan ve kesme kenarı $R_{s, \max}=0,3$ olan takımlar genellikle en düşük aşınma değerini göstermişlerdir. Köşe yuvarlatmasız frezelere kıyasla, yanal aşınma boyutu $V_{b\max}$ 'ın maksimum genişliği %14 oranında düşürülebilmştir ve sonuçların değişkenliği %92 oranında azaltılabilmştir.

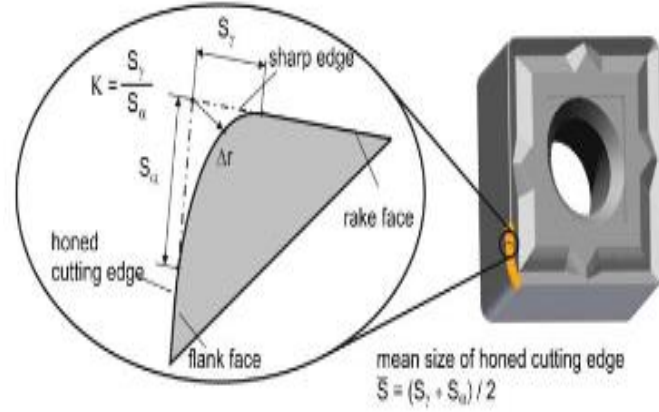
Fulemova ve Jonda, 2013 ferritik paslanmaz çeliklerde kullanılan uçların köşe yuvarlatma konusunda çalışmışlardır. Köşe yuvarlatmanın imalat yüzey kalitesine etkisini ve finish işleme sırasında kesme kuvvetlerini incelemişlerdir. Deneyleri 0,02 mm talaş derinliğinde yapmışlardır ve bu nedenle köşe yuvarlatma 20 μm daha düşük olması gerektiği durumunu test etmişlerdir. Köşe yuvarlatmalar, drag finish ve lazer teknolojisi ile yapılmıştır. Drag finishteki köşe yuvarlatma çapları 5 μm , 10 μm ve 15 μm lazer teknolojisindeki yuvarlatmalar ise 5 mikrometredir. Kesme koşulları deneysel tecrübelerle göre kesme hızı 200 m/dak, ilerlemesi 4,5 mm/diş, yatay frezeleme ve dıştan soğutma olarak belirlenmiştir. Sonuçların en iyi değerini 15 μm köşe yuvarlatması olan torna uçları vermiştir. Köşe yuvarlatma değeri 15 μm olan takımlar, köşe yuvarlatması 5 ve 10 μm yuvarlatma çaplarına göre, en iyi takım ömrüne, en düşük yüzey pürüzlülüğü ve en düşük kuvvet yükü gözlemlemişlerdir. İşlenen yüzeyin pürüzlülüğü ve kuvvet yükü takım aşınması ile bağlantılı olduğunu gözlemlemişlerdir. En iyi sonuçlar drag finish ile işlem gören takımlarda gözlemlenmiştir. Takımın kullanımı ve köşe yuvarlatma işlemi olarak önerilen parametreler, drag finish ile yuvarlatma prosesinde uç radüsü 15 μm olmuş ve takım imalat hızları ise $V_c=$

200 m/dak, $f_z=4,5$ mm/diş ve paso 0,02 mm şeklinde seçilmiştir. İmalat ise yatay frezeleme ve dışardan soğutma ile deney yapılmıştır.

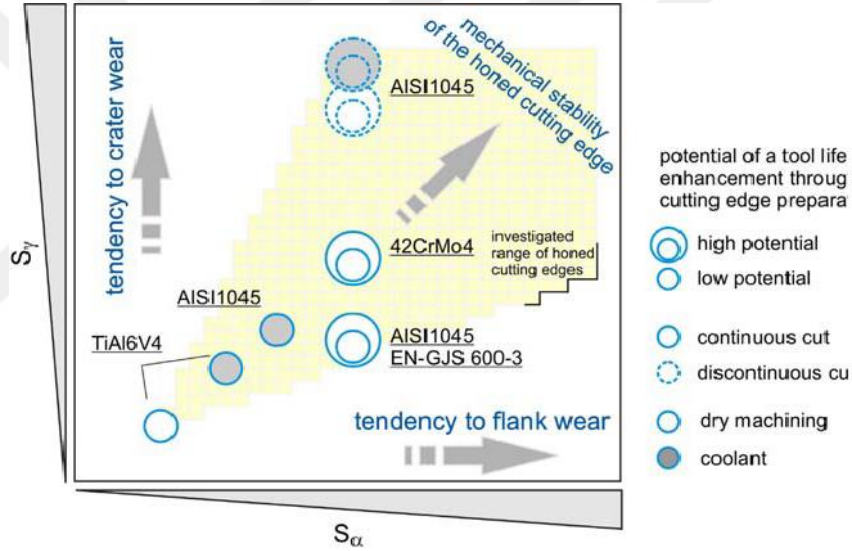
Kuruc ve ark. (2015) takım aşınması sorununu çözmek için bazı adımlar izlemişlerdir. Bunlar; hazırlanmamış torna uçlarının ölçümü, köşe yuvarlatma ve keme yüzeyi hazırlığı, hazırlanan torna uçlarının ölçümü, PVD kaplama, deneylerden çıkan takımların ömür ölçümü ve değerlendirilmesidir. Test edilen kesici takım malzemesi olarak karbür seçilmişler ve seçilen iş parçası DIN EN X6CrNiTi18 – 10 (AISI 321) sınıfı östenitik paslanmaz çelik malzeme olmuştur. Karbür torna uçlarının takım ömrü DMG CTX alfa 500 işleme merkezinde gözlemlenmiştir. Takımların yan aşınmaları fazla olduğu için yan aşınma gelişimi test sırasında ölçülmüştür. Kenar aşınma 0,25 mm'nin üzerine çıktığında deney durdurulmuştur. Deney sonuçlarında farklı sonuçlara ulaşımlardır. Fırçalama ile hazırlanan torna uçları, 45 µm altı radüslerde ıslak mikro fırçalamayla hazırlanan takımlar ile benzer takım aşınması sonuçlarını göstermiştir. Fırçalama metodu ile hazırlanan takımlar, radüs 64 µm ıslak mikro fırçalama ile hazırlamaya göre %32 daha uzun ömürlü olduğu görülmüştür. Sonuçlarda köşe yuvarlatma işlemi gören takımlar daha uzun kullanım ömrüne sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Altan ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada PM – HSS torna uçları, birçok çeşitteki köşe radüsleri yüzeysel freze ile tavllanmış çelikte deneysel ve teorik olarak analiz edilmiştir. Testler, aşınma öncesi kesici yüzeyin kaplanmasının önemini ortaya çıkartmıştır. Köşe radüsü hazırlatmanın modifikasyonu ve torna uçlarının yüzey yapısı, aşınma dayanımının önemli ana kriteridir. Yapılan deneylerde, kuru frezelemede 10 µm köşe yuvarlatma radüsü ile kesici takımlarda, köşe yuvarlatma yapılmayan takımlara göre dört-beş katlık performans artışı gözlemlenmiştir. Bu küçük köşe yuvarlatma, PM – HSS malzemedeki metal yorgunluğu kırılmasını en aza indirmiştir. Ayrıca, bu çalışmalarda kullanılan sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan gözlemler sonucunda teorik olarak optimum radüs ölçüsü 14 µm olduğu gözlemlenmiştir. Deneysel ve teorik çalışmalar sonucunda 10 ve 14 µm radüs ölçüleri elde edilmiştir.

Denkena (2011), genel olarak S_a (serbest yüzeydeki yuvarlatma ölçüsü) parametresini (Şekil 2.1), kesici aletin kenarındaki termal yük üzerindeki büyük etkiyi gösterdiğini gözlemlenmiştir.. Bu artan temas alanının ve yan yüzün iş parçası ile daha fazla sürtünmesinin bir sonucu olduğunu grafikler ile göstermiştir (Şekil 2.2). İdeal bir takım en yüksek mekanik stabilizeye, en düşük aşınmaya ve dolayısıyla maksimum takım ömrüne sahiptir. Beklenen termo-mekanik yük profiline göre sırasıyla kesici takımın, hakim aşınma davranışına bağlı olarak spesifik bir mikro geometri tasarlanabilir. Sunulan takım ömrü haritaları, kesici kenarın uygun bir biçim ve boyutunu belirlemek için etkili bir çıktı sağlamaktadır.



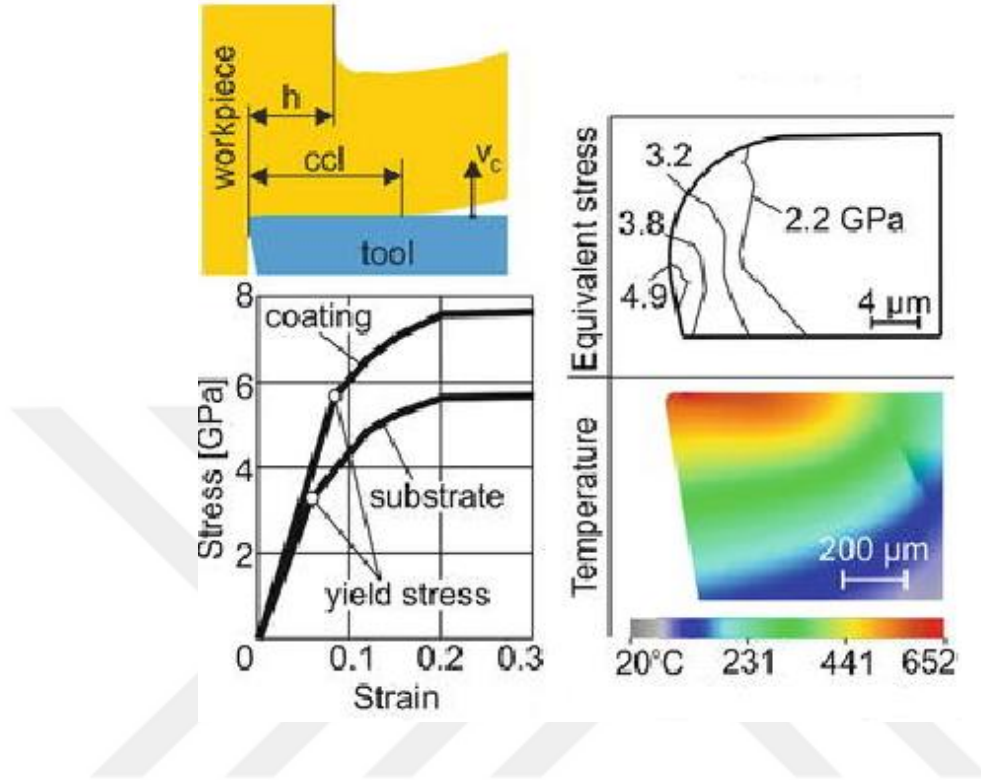
Şekil 2.1. Takım ucu köşe yuvarlatma ölçüleri. (Denkena 2011)



Şekil 2.2. Takımların S değerlerine göre aşınma değerlerinin değişim grafiği. (Denkena 2011)

Bouzakis ve ark. (2005) yaptıkları çalışmalarında tornalamada kullanılan kesici takımların kaplanma yöntemi ile çok iyi bir ömür artışı sağlanacağını gözlemlemişlerdir. Bunun haricinde kaplanmış bir takım için yaptıkları sonlu elemanlar analizleri ile gerilmenin en fazla olduğu yerde dökülmenin olduğunu deneysel ve teorik olarak incelemişlerdir. Bu çıkarımlar sonucunda da takım köşe yuvarlatması geometrisini geliştirmeye çalışmışlardır. Ayrıca deneylerinde ilerlemenin ve takım devirlerinin belirli bir yere kadar artırılmasının ömür açısından faydalı olacağını göstermişlerdir. Yaptıkları FEM analizleri ve deneysel çalışmalar iyi derecede benzerlik göstermektedir. Bouzakis ve ark. yapmış olduğu FEM (sonlu elemanlar

analizi) sonuçları Şekil 2.3 gibidir ve işleme şartları $V_c = 200$ m/dak, $h = 0,12$ mm, kuru kesme şartı ve kesilen malzeme 42CrMo₄ olarak belirlenmiştir.



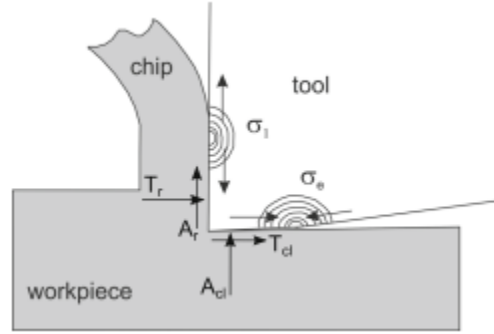
Şekil 2.3. Tornalama takımlarının kesme sırasındaki gerilim ve sıcaklık dağılımları. (Bouzakis ve ark. 2005)

Altan ve arkadaşları (2015) tornalama takımlarında değişik ilerleme ve devirlerde çeşitli sonuçlar çıkarmıştır. Gerilimlerin etkisi yüksek kesme hızında ve düşük ilerleme hızlarında önemli olabileceği hakkında çıkarımlarda bulunmuşlardır. İki referans kesim koşulunda ($V_c = 198$ m/dk ve $f = 0,25$ mm/devir), kesme kuvvetinde %12 artış ve ilerleme kuvvetinde %6 artış, pekleşme hızının 0,03'ten 0,1'e arttığını gözlemlemişlerdir. Bu arada, daha yüksek hızda ve daha düşük ilerleme hızında ($V_c = 500$ m/dk ve $f = 0,125$ mm/devir), kesme kuvvetinde %21 ve ilerleme kuvvetinde %17 artış, pekleşme hızındaki artış için de aynı değeri gözlemlemişlerdir. Bu etki, daha yüksek bir kesme hızı ve daha düşük bir ilerleme hızı kullanıldığından, oldukça yüksek pekleşme hızı durumundan kaynaklanmaktadır. Böylece daha yüksek malzeme gerilimine ve kesme kuvvetine neden olduğunu da ortaya çıkarmışlardır.

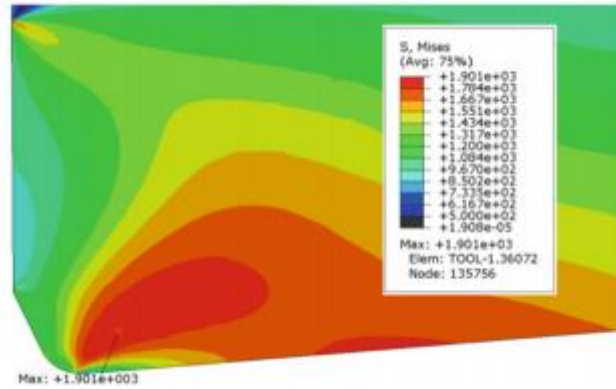
Habib ve ark. 2018 yaptığı analizlerle talaş ile takım ara yüzü boyunca kesme düzleminde maksimum gerilme değerinin oluştuğunu sonlu elemanlar yöntemi ile simüle etmişlerdir. Kesme düzlemindeki maksimum gerilme değeri, alüminyum alaşımı olan Al

5057'nin akma gerilmesi değerinden daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. Alüminyum alaşımlı Al5057 ortogonal kesiminin FEM simülasyonlarında, kesme düzleminde talaş ile kesici takımın ara yüzünde maksimum gerilmeler meydana geldiği bulunmuştur. Maksimum gerilmelerin değeri ise, iş parçasına göre ve takımın ilerleme hızındaki artışlarla yükseldiğini ortaya koyulmuştur.

Agmel ve ark. 2016 yılında pahlı köşe hazırlama üzerine yaptıkları FEM analizleri sonucunda keskin köşeli takımlara göre pahlı köşeye sahip takımların gerilmelerinin %20 daha fazla olduğunu bulmuşlardır. Analiz sonuçlarını incelediklerinde takımların serbest açısının olduğu yüzeyinde asal gerilmelerin keskin köşeli takıma göre %30 düştüğünü görmüşlerdir (Şekil 2.4). Agmel ve ark. yaptığı çalışmada, takımlarda daha erken körelmeye neden olacak gerilmelerin kontrolünde köşe hazırlatmalı takımların kullanılmasının faydalı olacağını göstermiştir.



Şekil 2.4 İşleme sırasındaki asal gerilmeler (Agmel 2016)



Şekil 2.5 Asal gerilmelerin dağılımını gösteren analiz sonuçları (Agmel 2016)

Mabroki ve Rigal yaptıkları çalışmada talaş oluşumu sırasındaki açığa çıkan ısıyı iki denklem ile modellemişlerdir. Denklemler adyobatik termal analiz ve takım-iş parçası arasında ısı iletiminin olmadığı şart olarak Δt anında gerçekleştiği düşünülerek ortaya çıkarılmıştır. İlk denklemi plastik deformasyon sonucu oluşan ısıyı bulmak için oluşturmuşlardır;

$$\dot{q}_p = \eta_p \bar{\sigma} \dot{\epsilon}$$

Denklem 2.1

Denklemdaki $\bar{\sigma}$ eşdeğer gerilme olduğu belirtilmiştir. Diğer denklem ise takım-iş parçası arasında gerçekleşen sürtünme kaynaklı hacimsel ısıyı açıklayan denklemdir:

$$\dot{q}_f = \eta_f J \bar{\tau} \dot{\gamma} \quad \text{Denklem 2.2}$$

Denklemdaki $\bar{\tau}$ ise kayma gerilmesi olarak belirtilmiştir. Denklemlerden ise takım aşınmasına neden olan sıcaklık artışının kök nedeni olarak kesme kuvvetlerinin olduğunu açıklamışlardır.

Özen (2004) çalışmasında talaş ve takım ara yüzeyinde oluşan sürtünmenin sürekli olmadığını ve bir denkleme bağlı olduğunu ifade etmiştir. Talaşın gerilmesi takım ucunda maksimumdur ve talaşın talaş yüzeyinden ayrıldığı noktaya doğru düşer ve sıfır olur. Bu gerilmeyi ortaya çıkaran kuvvetin takım ucuna ve takım talaş yüzeyine etki eden normal kuvvetin neden olduğunu modellemede açıklamıştır. Ayrıca, sürtünme kayma gerilmesinin daha kompleks olduğunu belirtmiştir. Bu kompleks kayma gerilmesi denklemini matematiksel olarak modellemiştir;

$$\sigma_N(x) = \sigma_{N_{max}} \left[1 - \left(\frac{x}{l_c} \right)^a \right] \quad \text{Denklem 2.3}$$

Talaş gerilmelerinin bulunmasında kullanılan Oxley teorisinde kullanılan denklemler incelendiğinde ise kayma gerilmesinin düşürüldüğü durumda talaşın takıma uygulayacağı hidrostatik basıncın ve normal gerilmenin düştüğü görülmektedir.

$$p_A = \tau_s \left(1 + 2 \left(\frac{\pi}{4} - \varphi \right) \right) \quad \text{Denklem 2.4}$$

$$p_A - p_B = (k_u - k_l)c \quad \text{Denklem 2.5}$$

Denklemden p_A talaşın A noktasındaki hidrostatik basıncıdır ve k_u , k_l ise birincil talaş oluşum bölgesindeki kayma direncidir. Son denklem olarak bir B noktasındaki basınç ile takım-talaş ara yüzündeki normal gerilme arasındaki ilişkiyi açıklayan kayma çizgisi alan denklemi şöyle olmuştur;

$$\sigma_n = p_B + 2\tau_s(\varphi - \alpha) \quad \text{Denklem 2.6}$$

Çalışmamızda ülkemizde konuyla ilgili hiçbir kaynağın bulunmaması ve bu konu ile ilgili çalışmalara sanayimizde ihtiyacın arttığından dolayı gelecek çalışmalara ışık tutacak bir çalışma olacağı düşünülmektedir. Ayrıca yurt dışındaki kaynaklara bakıldığında takım ve iş parçasının ayrı ayrı daha ayrıntılı olarak analiz edilip değerlendirildiği kaynak olmamasından dolayı literatür anlamında bir ilk niteliği taşımaktadır.

3. TEORİK ESASLAR

3.1 Talaşlı İmalat

Talaşlı imalat istenilen ölçülerde ve kaliteye sahip olmayan iş parçasını bir kesici uç ile talaş kaldırılarak istenilen ölçülere ve kalite sınırlarına sokan bir imalat yöntemidir. Mekanik bakımdan talaşlı imalat birçok karmaşık mekanizmayı içermektedir.

Bir hammadden talaş kaldırabilmek için kesici takımın malzemeye nüfuz etmesi gerekmektedir. Bu işlem takıma uygulanan uygun güç ve yeterli kesme kuvvetleri ile meydana gelebilmektedir. Kesme işleminin tamamlanması için ayrıca prosese uygun sertlikte ve geometrik yapıda kesici takım gerekmektedir.

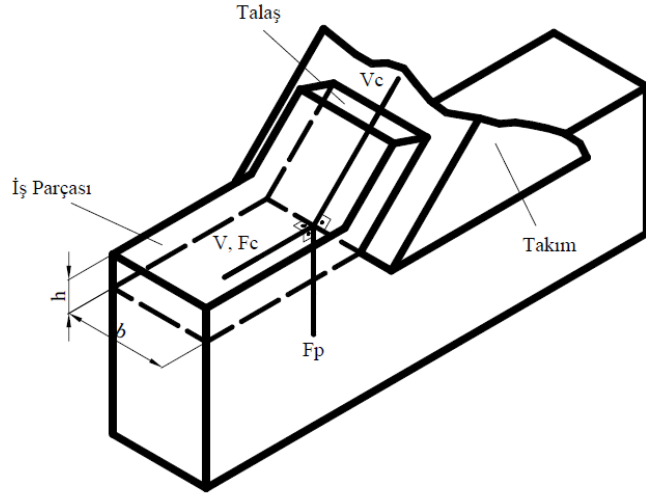
En fazla kullanılan talaşlı imalat yöntemleri tornalama, frezeleme, delik delme ve bunları takiben honlama, broşlama ve form kesme gibi özel işlemlerdir. Tüm metal kesme işlemlerin mekanik teorisi aynı olmakla birlikte bunların geometri ve kinematikleri birbirilerinden farklı olabilir.

3.2 Talaş Oluşumu

3.2.1 Ortogonal kesme teorisi

Metal talaş kaldırma işlemleri üç boyutlu ve karmaşık geometrilere sahip olmasına rağmen, iki boyutlu ortogonal kesme teorisi modelleme için kullanılmakta ve hesaplamaları basitleştirmektedir. Teoride malzeme ve takım kesme yüzeyi dik açı altında talaş kaldırma işlemini gerçekleştirdiği varsayılır. Ortogonal kesme işleminde uygulanmış geometrik ve kinematik şekil değiştirmelerle daha karmaşık hesaplamalar ve modellemeler yapılmaktadır. Şekil 3.1’de ortogonal ve eğik kesme işlemlerinin gösterimi yapılmıştır.

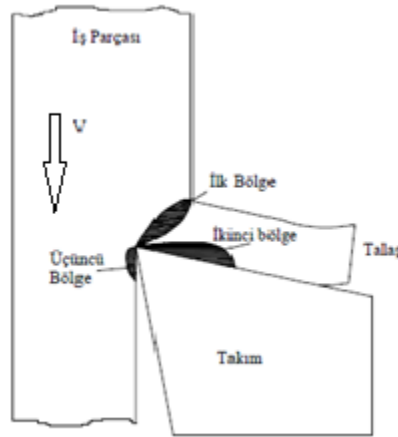
Taylan (2006) yaptığı çalışmada, ortogonal kesmede, kesme kenarı kesme hızına dik olan takım kullanıldığını belirtmiştir. Kesme genişliği (b) ve kesme derinliği (paso) (h) boyutunda bir metal talaş, iş parçasından kesilerek ayrılır. Ortogonal kesmede kesme işlemi kesme kenarı boyunca uniform olarak düşünülür. Böylelikle malzemenin yanına yayılma olmadan iki boyutlu düz gerilimli şekil değiştirme işlemi gerçekleşmektedir. Dolayısıyla kesme kuvvetleri sadece esas kesme kuvveti (F_c) ve pasif kuvvet (takım kuvveti) (F_p) olup kesme hızı ve normal yönünde oluşur. Bununla birlikte eğik kesmede kesme kenarı eğim açısıyla yönlendirilir ve ilave olarak radyal doğrultuda üçüncü kuvvet (F_r) görev alır.



Şekil 3.1. Ortogonal kesme teorisi (Altıntaş, 2000)

3.2.2 Talaş oluşumunda deformasyon bölgeleri

Ortogonal kesmenin kesit görünüşü incelendiğinde kesme işleminde üç adet şekil değiştirme (deformasyon) bölgesi vardır. Birincil kayma bölgesi, takım iş parçasına dalarken takımın malzeme içerisinde ilerlemesiyle bir talaş formu oluşmaya başlar. Malzemeye dalan takım, iş parçasından talaş kaldırmaya başlar ve kesilen malzemede (talaşta) ikincil deformasyon bölgesi oluşur. Üçüncül bölge ise takımın yan yüzeyindeki sürtünme bölgesinden kaynaklı bir sebeple oluşmaktadır (Taylan, 2006).



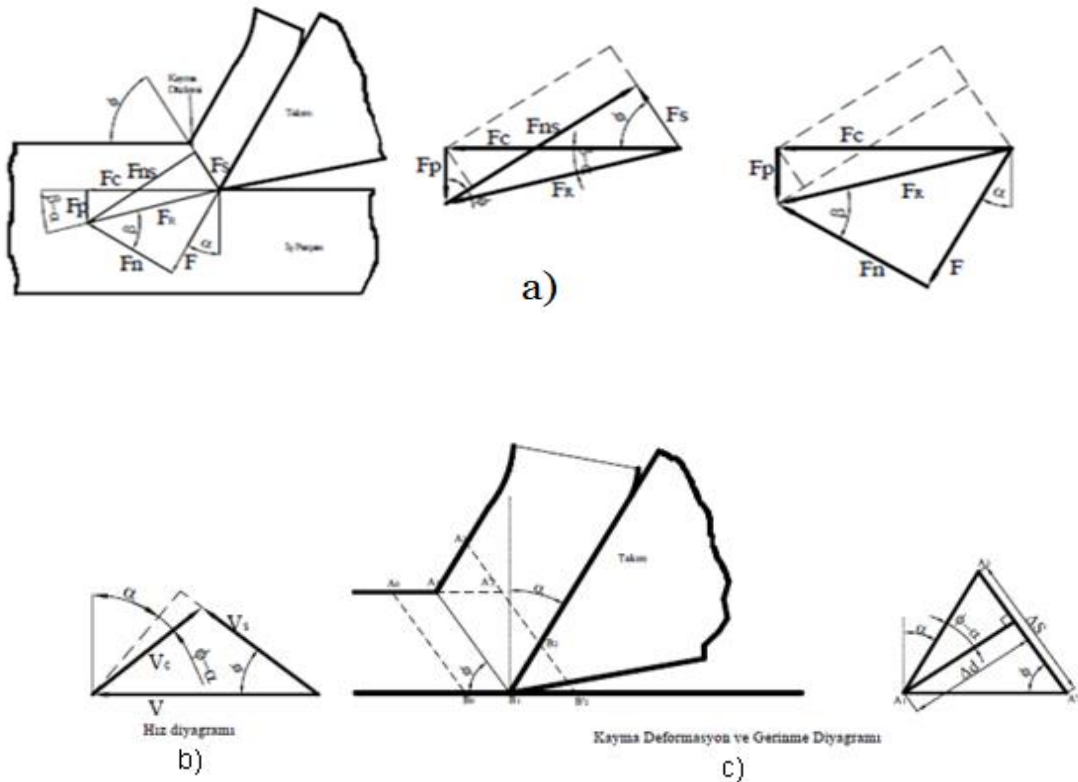
Şekil 3.2. Ortogonal kesmede deformasyon bölgeleri (Taylan, 2006)

3.2.3 Ortogonal teoride kesme kuvvetleri

Talaş, kesme işlemi başladığında takımın kesme yüzeyine yapışır. Kesme anındaki kaymaya zorlanan malzemenin gerilmesi malzeme kayma gerilmesine yakın olur ve talaşın

yapışma durumu bittikten sonra takım üzerinden sürekli kayan malzeme talaş olarak uzaklaşır. Buradaki temas zamanı, ilerleme parametreleri ile doğrudan ilişkilidir.

Birincil kesme bölgesinin kuvvet ve gerilmelerinin analizinde iki tip modelleme vardır. Bu modellemelerden en önemlisi Marchant tarafından bulunan ortogonal kesme modellemesidir. Çolak (2006) çalışmasında kayma modellemesini şu şekilde anlatmıştır, Lee, Shaffer, Palmer ve Oxley plastisite kanunlarıyla uyumlu kayma deformasyon bölgesinde “kayma açısı tahmini” yapılan kendilerine ait analiz oluşturmuşlardır. Bu çalışmada birincil kayma deformasyon bölgesi ince alanlar için tahmin edilmiştir. Deformasyon geometrisi ve kesme kuvvetleri Şekil 3.3.a’da ortogonal kesmenin kesitiyle gösterilmektedir. Kesme kenarının köşeli olduğu pah veya radüs bulundurmadığı varsayılarak; ince kayma bölgesindeki deformasyonlara değinilmiştir. Kayma açısı (ϕ), kesme hızı (V) ve kayma düzlemi doğrultuları arasındaki açıdır. Kayma düzlemindeki kayma gerilmesi (τ_s) ve normal gerilme (σ_s) sürekli olarak mevcuttur. Talaş üzerinde oluşan bileşke kuvvet (F_R) kayma bölgesine uygulanmış olup talaş-talaş yüzeyi arasındaki bölgede ortalama daimi sürtünme olduğu varsayılarak hesaplanır. Burada bileşke kuvvet (F_R), kesme kuvveti (F_C) ile takım kuvveti (F_P) in bileşkesidir (Altıntaş, 2000).



Şekil 3.3. Ortogonal kesme modellemesi; a. Kesme kuvvetleri diyagramı; b. Kesme hız diyagramı; c. Kayma diyagramı (Altıntaş, 2000; Şeker, 1997)

3.3 Kesici Takımlar

Kesici takımlar, talaş kaldırma mekanizması düşünüldüğünde, iş parçasından talaş kopartırken birçok zorlamaya maruz kalmaktadır. Ekonomik koşullar göz ardı edilse dahi talaşlı imalat sırasında kesici takımların çabuk aşınmaması imalat kalitesi ve sürekliliği için önem arz etmektedir. Talaşlı imalatın çeşitliliği, zorluğu ve dünyadaki rekabet göz önüne alındığında, metal ya da metal dışı birçok malzeme günümüz rekabet ortamında üreticilerin rekabetçi olabilmesi için geliştirilmiştir. Bu kesici takım malzemelerin gelişimi farklı deneysel koşullarda denenerek pratik sonuçlarla bulunmaktadır. Talaşlı imalat prosesleri için birçok kesici takım malzemesi uygulanabilir ve kullanılabilir. Fakat uygulamalarda kullanılacak takım malzemesinin ekonomikliğı burada önem kazanır. Günümüzde kullanılan kesici takımların malzemelerinin seçim parametreleri şöyle sıralanabilir; takım ömrüne katkısı, toplam talaş kaldırma hacmi, işlediğı yüzey kalitesine ve takım imalatındaki maliyetin malzeme payına bağılı olarak seçim yapmak mümkün olur (Çakır, 2000).

Talaşlı imalatta kullanılan takım malzemesinin verimliliğini belirleyen en önemli etkenler kullanım şartları ve hangi malzemeyi işlediğidir. Özellikle CNC makinelerin kullanımının arttığı günümüz şartlarında kesici takım kullanım koşulları rahatlıkla kontrol edilebilmektedir ve bu yüzden işlenecek malzemeye göre takım seçiminin kontrol edilmesi önem kazanmaktadır.

Talaşlı imalatta bir malzeme için seçilen takım işlenecek malzemenin mekanik özelliklerine göre seçilir. Seçilen takımın malzemeye nasıl etki edeceğini anlayabilmek için hammaddenin özelliklerinin iyi anlaşılması gerekmektedir. Mekanik özellikler malzemenin standart özellikleri olduğundan dolayı kesici takımın performansını doğrudan etkilemektedir. Bu özellikler, öz kütle, ısıl iletim, mukavemet özellikleri, sertlik, tokluk ve elastiklik olarak belirtilebilir (Köksal, 2007).

Kesici takımların imalatı sırasında, diğere mekanik sistemlere göre çok daha zorlu ısıl ve mekanik şartlara maruz kalırlar. Bu zorlu şartlar, kesici takımların talaşlı imalat sırasında oluşan ısıl ve mekanik yüklerle karşı karşıya kalmasındandır. Kesici takımların bu şartlarda görevini yerine getirebilmesi için kırılmaya karşı dayanımın yanında, yüzey sertliğinin de iyi olmasına gereksinim duyulmaktadır. Sürekli kesme işlemi yapan takımlarda ise kesme sırasında yüksek ısı oluşacağından termal özelliklerinin daha iyi olması beklenir. Yüksek sıcaklığa dayanımı az olan takımlarda ise çok hızlı bir şekilde termal aşınma mekanizmaları kaynaklı takım aşınması görülebilir. Darbeli kesim yapan takımlarda ise tokluk özelliğinin iyi olması gerekmektedir. Özetlenecek olursa iyi bir kesici takımın sahip olması gereken özellikler şöyle sıralanabilir:

- Yüksek basma ve eğilme mukavemeti olmalı,
- Yüksek sertlik ve tokluk direnci olmalı,
- Yüksek sıcaklıkta aşınmaması için sürünme özelliğinin iyi olması gerekir,
- İyi bir ısı dağıtma özelliği olmalıdır.

Bütün bu özelliklere sahip bir kesici takım malzemesi bulunamamaktadır sebebi ise yukarıdaki maddelerin birbiri ile çelişmesi ve zıtlıklar içermesidir. Sert bir malzemenin aşınma direnci iyidir ancak tokluğu düşüktür ve kırılabilirliği fazladır. İşlemenin verimli ve maliyetinin daha az olması takım malzemesinin seçim kriterlerine bağlıdır (Şahin, 1999).

3.3.1 Kesici takım malzemeleri

Kesici takımlar çoğu zaman yüksek mekanik kaliteye sahip, işlendikten sonra çeşitli proseslere uygun ve günümüz teknolojisinin en üst seviyesi kullanılarak üretilmiş malzemelerden imal edilir. İşlenecek malzemenin özellikleri kesici takım malzemesinde çeşitli problemler yaratsa da genellikle parça-kesici takım malzemesi uyumunun arandığı söylenebilir. Kesici takım malzemelerinden başlıca istenen özellikler; tokluk, aşınma direnci, işlenebilirlik ve sürünme direnci olarak sıralanabilir. İş parçasına uygun kesici takım malzemesinin seçilmesi aşınma mekanizmalarının kendini erken gösterme problemine karşı alınabilecek en önemli önlemdir ve yüksek kesme hızlarında imalatın önünü açmış olur. Bu şekilde yüksek hızlarda ve ekonomik şartlarda üretimin yapılmasını sağlar.

Takım malzemeleri üç grupta incelenebilir: metal içerikli, karbür içerikli ve seramik içerikli kesici takım malzemeler. Son yıllarda yoğun olarak kullanılan kesici takım malzemeleri karbür ve HSS malzemelerdir. Takım ömrünü arttırmaya yönelik yapılan araştırmalara göre kübik bor nitrür malzemesinin de sanayide kullanımını arttırmıştır (Şahin, 1999).

3.3.1.1 Yüksek hız çelikleri (HSS)

Takım çeliklerine bakıldığında yaklaşık 100 yıldır kullanılan HSS takımlar diğer malzemelere göre daha iyi işlenebilirlik özelliği ve daha düşük maliyetten dolayı tercih edilmektedir. HSS malzeme yüksek sıcaklıklarda iyi mukavemet, tokluk ve aşınma direnci gösteren malzemeler olarak tanımlanabilir. HSS malzeme ciddi anlamda W, Mo, V ve Cr gibi karbür oluşturu elementlerden oluşur. İçerdiği elemente göre iki grupta toplanan HSS malzemeler; Molibdenli çelikler (%0.8 C, %0.4 Cr, %5-8 Mo, %0-6 W ve %1-2 V) ve tungstenli HSS malzeme (%0.7 C, %4 Cr, %18 W ve %1 V) olarak ikiye ayrılır. Üretilen HSS takımların çoğunu Molibden içeren takım çelikleri oluşturur. Bu grubun en önemli özelliği ise abrasif

aşınmaya karşı sahip olduğu direnç özelliğidir ve ısıtılma işlemde geometrik olarak kendilerini çok iyi korurlar.

Martenzit yüksek hız çeliklerinin matris yapısını oluşturmaktadır. Kuvvetli bağlarla ortaya çıkan karbür yapılarının, metallerin ve karbonun birbiri ile bağ yapması sayesinde malzemede sert bir yapı oluşturur. Tungsten ve molibden mikro yapıda yüksek miktarda Fe_3W_3C tipi karbürleri oluşturur. Fe_3W_3C tipi karbüreler 1200 C° gibi sıcaklıklarda çözünerek sert yapılar oluşturur. Bu sıcaklıkta çözünememiş diğer karbürler ise daha sert yapı (1700 HV) oluşturarak aşınma direncinin artmasını sağlarlar. Vanadyum, bir başka karbür oluşturucu olarak V_4C_3 oluşturur. Tungsten ile oluşan karbürlere göre daha sert olan bu karbür abrasif aşınmaya karşı direnç oluşturur. HSS takımlardaki kroma bakıldığında hem sertlik sağlar hem de ergiyik sertlik oluştururlar. Tungsten, wolfram, vanadyum ve krom elementlerinin karbürleri malzemenin %20'si kadar takım malzemesinde bulunmaktadır. Malzemenin %7 kadar eklenen Co ise malzemeye yüksek sıcaklıklarda sürünme direnci ve yüksek sıcaklıkta aşınma direnci sağlar. Co içeren malzemeler daha sert ve gevrek olduğundan dolayı özel proseslerde kullanılmaktadır ve takımın işleme maliyetleri yüksek olduğundan dolayı çok ekonomik değildir (Özdemir, İpek, Zeytin, 1999).

HSS malzemelere katılan elementler malzemeye bazı özellikler kazandırır:

Karbon; kesici takımın içerisine katılan karbon malzemenin daha mukavim olmasını sağlar ve yapıda karbür oluşumunu sağlar.

Krom; Malzeme içerisinde % 4–5 arasında bulunmaktadır ve malzemede sertlik ve tokluk arasında denge kurmaktadır. Ayrıca martenzit bir yapı oluşturarak malzemeye sertlik kazandırır. Bunun dışında malzemeye termal çatlamlar karşısında iyileşmeler kazandırır.

Tungsten: malzemede yüksek sıcaklıklarda aşınma ve sürünme özelliğini iyileştirir. Yüksek sıcaklıklarda temperleşmeyi önleyerek malzemenin sertliğini sabit tutmayı sağlar.

Vanadyum: HSS içerisinde sert ve kararlı karbür meydana getirir. Bu özelliği sayesinde yüksek sıcaklıkta tane büyümesini engeller. Kobaltla yaptığı birleşik sayesinde çok sert bir hal alır ve aşınma direncini çok iyi bir noktaya taşır, bu sayede aşınma direncini ve sürünme özelliklerini iyileştirir. Vanadyum içeren HSS'ler kaba tornalama ve döküm parçalar gibi işlerde etkilidir. Parça yüzeyi sert olduğu durumlarda da gayet iyi işleme performansı gösterirler.

Kobalt; asıl etkisi sürünme özelliğini iyileştirmektir. Olumsuz etkisi ise kırılabilirliği artırma eğilimidir. Özellikle sert malzemelerin ve talaş derinliği fazla olan uygulamalarda takım ömrünü artırır.

Manganez; gevrekliği ve sertleşmede çatlak yapma ihtimalini artırır.

HSS takımları imalat yöntemleri dökme, dövme ve toz metalürji yöntemi (sinterleme) şeklinde sıralanabilir.

Dövme ve döküm metodu ile imal edilen takımlarda uygun olmayan üretim prosesleri kullanılması halinde takım malzemesi içinde karbür birikmeleri ve üniform olmayan malzeme yapısı ortaya çıkabilir. Taşlama merkezinde üretilen ve hassasiyeti yüksek olan takım geometrisinde istenilmeyen yapıların oluşması, düşük yüzey kalitesinin ortaya çıkması ve dengesiz yük dağılımlarının meydana gelmesi gibi problemlerle karşılaşılmasına neden olmaktadır. Bu problemi yok etmek için geliştirilmiş, takım malzemesini bir kalıp içerisine koyarak öncesinde basınç ile mekanik sonrasında ısı ile kimyasal olarak birleştirilmesi şeklinde uygulanan toz metalürjisi yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemin sonucunda takım malzemesi homojen bir biçimde karışmış olur ve malzeme yapısı kontrol altına alınmış olur. Toz metalürjisi ile üretilen takımlar daha iyi imalat kalitesine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu yöntemle üretilen takımlar daha yüksek sıcaklıklarda ve zorlamalarda çalışabilmektedir. Bu olumlu yönler rağmen toz metalürjisi ile üretilen takımlar diğer HSS takımlara göre daha pahalıdır (Şahin, 1999).

3.3.1.2 Seramikler

Malzeme işlemede işleme merkezlerinin gelişmesi ve güçlenmesi ile imalat hızlarının artabileceği ortaya çıkmıştır. Bu nedenle daha uzun ömürlü ve takım-iş parçası arasında sürtünmeyi en aza indirecek takım malzemesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu ihtiyaçları karşılamak üzere geliştirilen seramik malzemeler, yüksek sıcaklık dayanımına rağmen düşük tokluk özellikleri ile sanayide kendine uygulama alanları bulmuştur.

Seramik takımlar, sıcaklıklara dayanıklı metal olmayan inorganik malzemelerden imal edilmektedir. Seramik kesicilerin esas maddesi çok yüksek sertliğe sahip alüminyum oksitler oluşturmaktadır. Farklı malzemeler için diğer seramik malzemeler de kullanılabilir. Bunlar; magnezyum (MgO), yitrium oksit (Y₂O₃), zirkonyum oksit (ZrO), krom oksit (CrO) gibi malzemelerdir.

3.3.1.3 Elmaslar

Elmas, karbonun tetrahedral formundan oluşur ve geometrik özelliğini koruma kabiliyeti çok iyidir. Bu kabiliyetinden dolayı kesici takım endüstrisinde bolca kullanım alanı vardır. Doğada bulunduğu haliyle kullanmak oldukça pahalı ve gevrek. Ayrıca demir ile bağ

yapma eğiliminden dolayı çeliklerin işlenmesine uygun değildir. Daha çok plastik, bakır ve alüminyum alaşımlarında kullanımı uygundur (Özdemir, İpek, Zeytin, 1999).

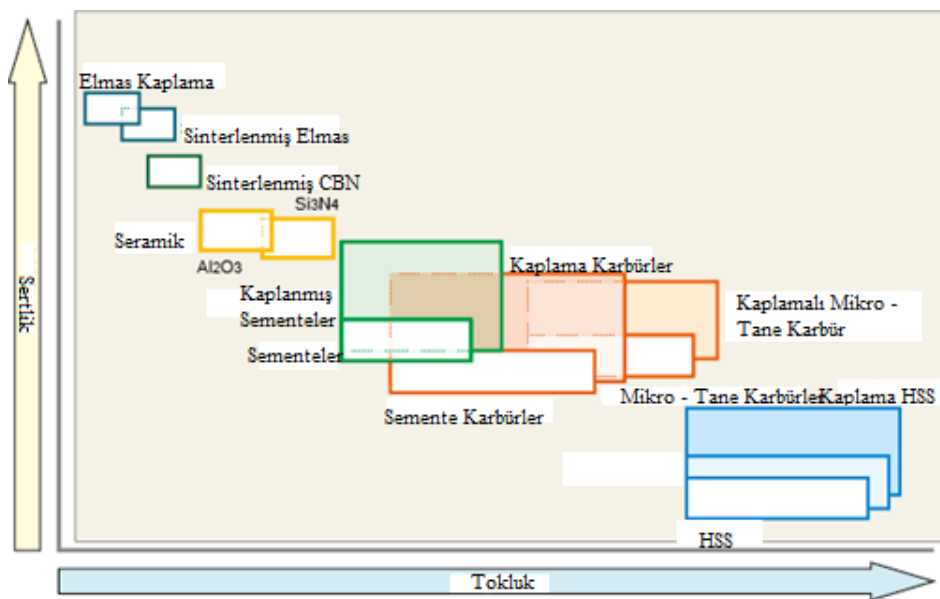
3.3.1.4 Kübik Bor Bitrür (CBN)

CBN, özel bir üretim metodu olan sinterleme yöntemi ile üretilen ve elmastan sonra en iyi sertliğe sahip malzemelerdir. Az miktarda elmas ile bağlayıcı bor nitrürün karışımı ile oluşturulan bir malzemedir. En önemli avantajı, demir veya diğer metallerle temasında yüksek sıcaklıkta olsa bile kararlı kalabilmesidir ve mükemmel aşınma direncidir. Bu aşınmaya karşı olan direnci ile sanayide her alanda kullanım bulmaktadır.

3.3.1.5 Sert metaller

Sert metaller olarak adlandırılan kesici takım malzemeleri sinterleme tekniği ile üretilir. Aşınma ve sürünme özellikleri çok iyi olup, bir nevi kompozit şeklinde sert metallerin daha yumuşak malzemelerle birleşimi sonucu meydana gelirler. Malzeme yapısına bakıldığında tungsten, karbon ve kobaltın yüksek sıcak ve yüksek basınçta sinterlenmesi ile üretilir. Kesilecek malzemeye göre karışım içerisine titanyum ve vanadyum konulabilir. İmalatları ise karıştırma, kalıpta presleme, sıcaklık ile sinterleme ve ısıl işlem olmak üzere dört adımdan oluşmaktadır.

Şekil 3.4'te görüldüğü gibi takım malzemelerinin sertlik–tokluk grafiği verilmiştir. Bu grafik ayrıca takımların sertlik–dayanım grafiği olarak da yorumlanabilir.



Şekil 3.4. Takımların sertlik ve tokluk grafiği (Anonim)

.3.2 Kesici takım kaplama yöntemleri

Takım malzemelerinde en önemli gelişmelerden biriside kaplama prosesidir. Kesici takımlar ince bir tabaka ile çeşitli metodlarla kaplanarak takım ömrünü önemli ölçüde arttırabilir. Kaplama için CVD denilen kimyasal çökeltme ve PVD adını taşıyan fiziksel çökeltme yöntemleri uygulanır (Dağ, 2002).

Takım yüzeyine yapılan ince sert kaplamalar kesici takımlarda en çok görülen yorulma problemine çözüm bulmak için geliştirilen koruyucu yöntemdir. Kesici takımlarda kullanım ömrünün tamamlanması daha çok yorulma kaynaklı kırılmalar ve çatlama sonucu meydana gelmektedir. Yorulma kaynaklı çatlama da kesici takımın yüzeyini, kesici takım malzemesinden daha sert bir malzeme ile kaplayarak çözebiliriz. Günümüz teknolojisinde kullanılan metotlar CVD ve PVD olarak belirtilebilir. CVD yöntemi yüksek sıcaklık ile buharlaştırılan kaplama malzemesinin takıma çökeltmesi işlemi yapılarak uygulanan yöntemdir. PVD metodu, düşük basınç ile daha düşük sıcaklıklarda buharlaşan kaplama malzemesinin malzeme üzerine çökmesi şeklinde özetlenebilir. Bu metotlar ile kaplanan takımlarda önemli gelişmeler görülmektedir (Altınkaya, 2006).

- Yüksek aşınma direnci
- Yüksek çatlama direnci
- Yüksek korozyon dayanımı
- Yüksek yapışma direnci
- Yüksek kimyasal kararlılık

3.3.2.1 CVD kaplama yöntemi

CVD, buharlaştırılan malzemenin birçok kimyasal işlemde geçirilerek ısıtılmış kaplanacak malzeme üzerinde biriktirilmesi olarak tanımlanabilir. Genellikle gaz fazında olan ve kimyasal tepkime sonucu çıkan malzemelerin katı halde kaplanacak malzeme üzerine birikmesi sonucu oluşan bir kaplama metodudur. Birikme sonucunda malzeme yüzeyinde çok ince fakat sert bir malzeme yığılmış olur.

CVD yöntemin çıkış zamanına bakılacak olursa 20. yy başlarına kadar dayanmaktadır. Fakat teknolojik durumdan dolayı 20. yy ortalarına kadar bu yöntemle herhangi bir üretim yapılamamıştır. ABD’de Battelle Memorial Enstitüsü’nde yapılan ilk çalışmalarda farklı malzemelerin yüzeylerinin borür ile kaplayarak yüzeyin daha dayanıklı hale geldiği görülmüştür. İlk çalışmalarda tungsten tellerle ısıtılan parçanın üzerine metal gazları

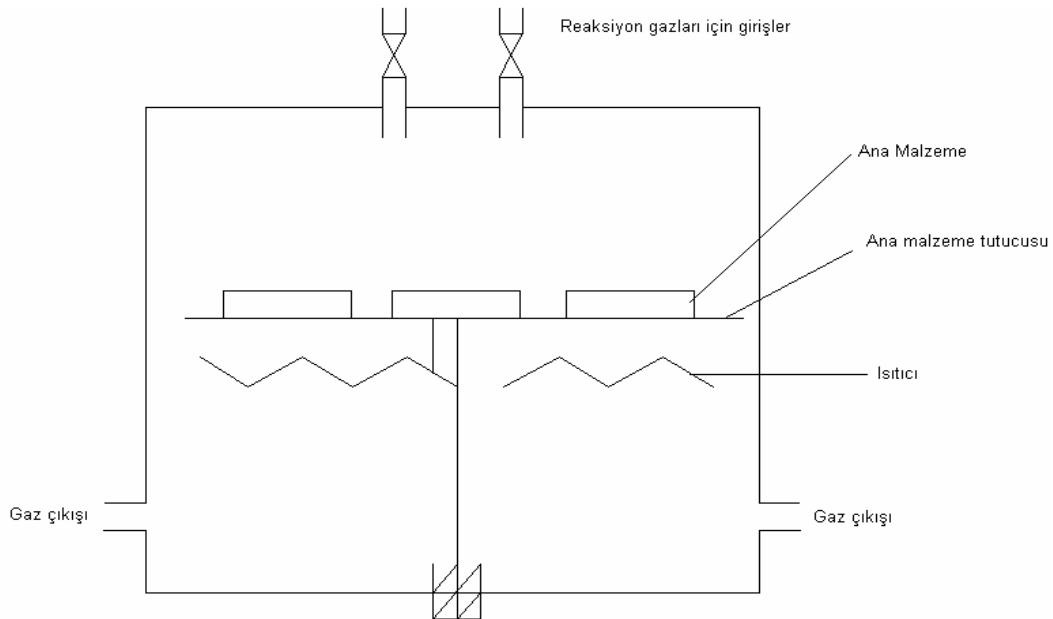
gönderilerek bu gazların yüzeyde tutunması sağlanmıştır. Bilim adamı Campbell'in uyguladığı birçok yöntem ve malzeme ile derin araştırmalar sonucunda günümüzdeki kullanılabilir hali almıştır. CVD kaplama metodunun mantığı, genellikle ısıtılan parça üzerine kimyasal reaksiyona girecek ve malzeme üzerine çökecek gazın gönderilerek, malzemenin kaplanmasını sağlamak olarak tanımlanabilir (Şekil 3.5).

CVD yöntemi, PVD ile kaplanan takımlar için ön kaplama yöntemi olarak kullanılıp çift katlı kaplamalar için iyi bir yapışma düzlemi sağlar. Bu özelliği ile tornalama ve frezeleme takımlarında fazlaca uygulaması görülür. CVD çok tabakalı kaplamalar, CBN'ler de kimyasal ve krater aşınmasına karşı takımın direncini iyileştirmek için kullanılmaktadır (Dağ, 2002).

CVD metodu düşük sıcaklıklarda kürleşen malzemelerde uygulanamamaktadır. Çünkü işlem sıcaklığı ve işlem süresi, PVD metoduna göre çok yüksektir ve kaplanacak malzemede tane büyümesi ve yumuşama gibi istenmeyen durumlara sebebiyet verir (Dağ, 2002).

CVD metodunun avantajlarını aşağıdaki gibi sıralayabiliriz;

- Standart kaplamalara göre % 50 daha fazla korozyon koruması,
- Çok daha sert yüzey ve çok daha az sürtünme katsayısı,
- Tuz testine karşı direnç 300 saat direnç, (Avrupa Standardı 200 saat),
- Kimyasallara karşı ekstra dayanım,
- Renkli kaplamalarda daha uzun ömürlü renk,
- Ani sıcaklık değişimlerine karşı direnç,
- Yüzde yüze yakın çevre yönetimidir.



Şekil 3.5. CVD yönteminin gösterimi (Dağ, 2002)

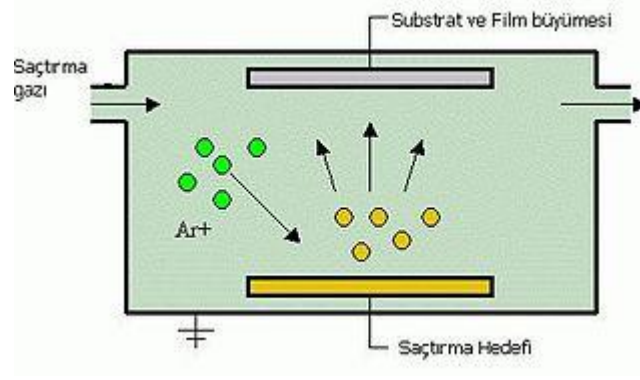
3.3.2.2 PVD kaplama yöntemi

PVD yönteminin CVD kaplamasına göre daha düşük sıcaklıklarda yapılıyor olması daha geniş uygulama alanına yayılmasına sebep olmuştur. PVD yönteminde ayrıca daha geniş kaplama kalınlığı ölçüsünün uygulanıyor olması da tercih sebebi olmuştur. Faraday'ın 19. yy yarılarında yaptığı metalleri düşük basınç altında buharlaştırıp başka metallerin üzerine çökertmesi ile PVD yönteminin başladığı kabul görmektedir. 1888 yılında Kundt'un yaptığı çalışmada metaller üzerine ince film kaplanarak kaplamanın yansıtma özelliği üzerine çalışmalar yapılmıştır. 19. yy ise, metalik gazların kinetiği, gazların difüzyonu ve gaz-metal tepkimeleri üzerine yapılan araştırmalara göre bir takım gelişmeler kaydedilmiştir (Altıntaş, 2006).

PVD'nin gelişmesi 2. Dünya savaşı sırasında meydana gelmiştir. Daha sert malzeme işleme gereksinimlerinden dolayı bilim insanları kaplamaya yönelmiştir. Seksenli yıllarda Japon firması Mistubishi, Gühring gibi alman firmaları TiN ile kaplama yaparak endüstride önemli gelişmelere katkı sağlamışlardır. O dönemden beri PVD kaplama sertliğin iyileştirilmesi ve termal direncin iyileştirilmesi konularına katkı sağlamaktadır (Şekil 3.6).

İmalatta kullanılan kesici takımlara uygulanan PVD yöntemi ikiye ayrılmaktadır. İlki kaplama malzemesinden iyon koparmaya dayanan sıçratma (Magnetron Sputtering) yöntemi, diğeri ise ark PVD tekniğidir. Bu yöntemde kaplama malzemesi DC akım ile koparılarak kaplama işlemine hazır hale gelir (Dağ, 2002).

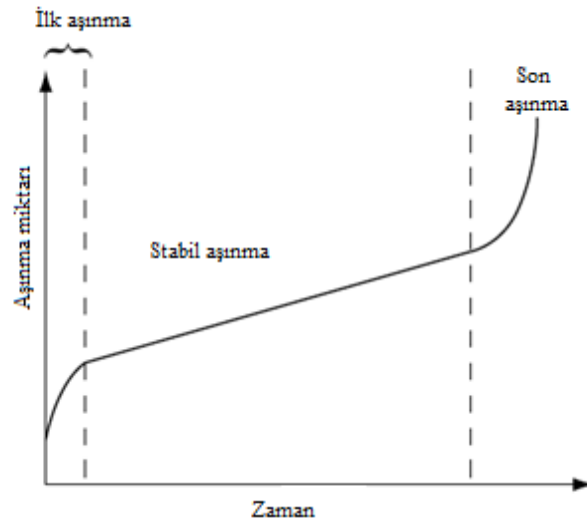
PVD kaplamalar düşük yüzey sıcaklıklarında (yaklaşık 500 ° C) uygulanır ve bu nedenle daha geniş bir kaplanacak malzeme yelpazesine hitap ederler. Genellikle, PVD kaplamalar HSS takımlara daha uygundur. Ayrıca, PVD yöntemi plaketsiz takımların kaplanmasında uygulanabilir tek yöntemdir. Çünkü CVD yöntemleri plaketsiz takımlarda lehimli ek yerini eriten ve çelik gövdeleri yumuşatan sıcaklıklarda uygulanır. PVD kaplamalar esasen termal çatlaklardan arındırılmış ve daha ince taneli takımlara uygulanır ve genel olarak CVD kaplamalardan çıkacak yüzeye göre daha pürüzsüz ve daha kaygandır. Keskin köşelerde birikme özelliğinden dolayı takım ömrüne daha fazla fayda sağlar. Freze kesici uçlar için PVD kaplamalar tercih edilir çünkü yüzeyde çatlak başlangıcını ve ilerlemesini azaltan gerilmeleri oluştururlar. PVD kaplama kalınlığı tipik olarak 2 µm ila 5 µm arasında değişir.



Şekil 3.6. PVD kaplama metodu

3.3.3 Takım aşınmaları

Aşınma, aşınan takımın işlenmiş yüzeye sürtünmesine ve işlenen yüzeye zarar vermesine sebep olur, sürtünmeleri artıran ve boyutsal doğruluğu azaltan sürtünme ile ısınmayı açığa çıkarır. Bu mekanizmada takım aşınması başladığında aşınma üç evreye bölünebilir, ilk aşama takımın aşınma hızının fazla olduğu bölgedir ve takım ucu bir miktar köreldikten sonra ikinci aşamanın başladığı bölgedir. İkinci aşamada ise daha istikrarlı bir aşınma süreci vardır. Bir sonraki bölgeye kadar daha yavaş aşınır ve bu evre sonunda aşınma hızı bir anda artar ve takımın ömrünü tamamladığı bölgeye girmiş olur (Şekil 3.7) (Kıyak, 2015).



Şekil 3.7. Takım aşınmasının zamana göre durumu (Altan,2014)

Bir kesici takım işleme sürecinde belirli bir noktadan sonra istenilen ölçülerde işleme yapmıyorsa ya da çıkan talahta değişimler varsa takım aşınmış anlamına gelmektedir. Bu sebeple uçların yenisi ile değişimi için çok büyük bir aşınma gerekmeyebilir. Ayrıca takımdaki aşınmalardan kaynaklı takım ve parça üzerine daha büyük kuvvetler uygulamak zorunda

kalmayacağından bu da işleme merkezinin kullanım ömrü açısından sağlıklı olmayacaktır. Genellikle pratik olarak bulunan değerlere göre takımın 0,3 mm aşınma olduğunda takımın ömrünün tamamlandığı konusunda yaygın bir görüş vardır (Altan,2014).

Kullanılan bir takımın aşınmasını daha iyi anlayabilmek için aşağıdaki proses girdilerini iyi analiz etmek gerekir. Bunlar;

- 1- Takım malzemesi,
- 2- İş parçası malzemesi,
- 3- Kesme parametreleri,
- 4- Takım geometrisi,
- 5- Kesme sıvısı şeklinde sıralanabilir.

3.3.3.1 Takım aşınma mekanizmaları

Takım üzerine etki eden çeşitli nedenlerden dolayı aşınmalar meydana gelmektedir ve bu nedenler takım malzemesi–iş parçası etkileşimlerine bağlı olarak etki eden faktörler mekanik etkiler, termal etkiler, kimyasal etkiler ve aşındırıcı etkiler olarak sıralanabilir.

Takıma kesme sırasında çok çeşitli yükler etki etmektedir. Özellikler kesme yüzeyine etki eden statik ve dinamik yükler takım aşınmasında çok önemli rol oynar. Ayrıca iş parçasının homojen bir yapıya sahip olmadığı ve şekillendirme sırasında meydana gelen darbeleri kesimler dinamik kuvvetleri ortaya çıkarır bunun sonucunda da aşınmalar görülür.

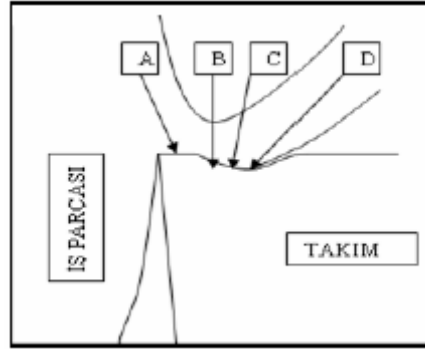
Talaşlı imalatta talaş yüzeyi ve takım arasında çok yüksek miktarda sürtünme olur. Bu sürtünme sebebiyle ısı meydana gelir. Açığa çıkan bu ısı kaynaklı takım fazlaca ısınır ve aşınmaya açık hale gelir.

Takımlarda oluşabilecek ısı ve basıncın etkisi ile iş parçası–takım arasında yüksek bir kimyasal yakınlık ortaya çıkar. Bu yakınlığın sonucunda ise kimyasal reaksiyon oluşumuna sebebiyet verebilir.

Birçok iş parçasında imalat sırasında, sertliği takım malzemesine yakın parçacıklar bulunabilir. Bu parçacıklar kesme sırasında takım üzerinde aşınma etkisi yaratan durumları oluşturur. Bu parçacıklar her ne kadar malzemenin içerisinde çok fazla bulunmasa da takım üzerinde aşındırmaya neden olur.

Aşınma, kesici takımın malzeme kaybından ileri gelen ve ilk şekline göre oluşan farklılıktır. Takım aşınması, kesici kenar üzerine uygulanan yük faktörlerinin bir kombinasyonunun ürünüdür. Kesici kenarın ömrü, kenar geometrisini değiştirmeye çalışan bu faktörler sayesinde belirlenir. Aşınmaya sebep olan esas yük faktörleri; mekanik, ısı, kimyasal

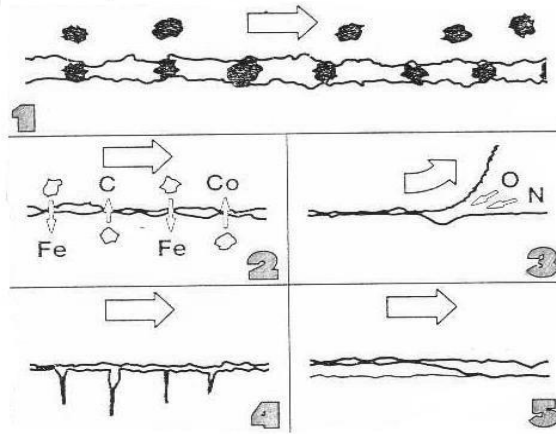
ve sürtünme faktörleridir. Şekil 3.8' de bir kesici takıma etkiyen yüklerin konumu şematik olarak ifade edilmiştir (Şeker 1997).



Şekil 3.8. Takım üzerine etkiyen yük bölgeleri: A) Mekanik, B) Termal, C) Kimyasal, D) Aşındırıcı yük bölgeleri (Şeker 1997)

Yukarıda sayılan nedenlerden dolayı çeşitli aşınma mekanizmaları meydana gelir ve bunlar şu şekilde sıralanır (Şekil 3.9);

- 1- Abresiv (aşındırıcılarla) aşınma,
- 2- Difüzyon aşınma,
- 3- Oksidasyon aşınması,
- 4- Yorulma ile aşınma (statik ve dinamik),
- 5- Yapışma ile (adhesiv) aşınma.



Şekil 3.9. Aşınma mekanizmaları; 1- Abresiv (aşındırıcılarla) aşınma; 2- Difüzyon aşınma; 3- Oksidasyon aşınması; 4- Yorulma ile aşınma (statik ve dinamik); 5- Yapışma ile (adhesiv) aşınma (Böhler, 1990, Altınkaya 2006)

Takımın daha uzun ömürlü olmasını yukarıdaki mekanizmalara karşı olan direnç belirlemektedir.

3.3.3.1.1 Abrasif (aşındırıcılarla) aşınma mekanizması

Abrasif aşınma takım üzerine etkisi olan en yaygın aşınma şeklidir. İş parçası içerisinde bulunan ve iş parçasından daha sert parçacıklar yüzünden meydana gelir. Bu sert malzemeler takım ve talaş arasında kalarak kesici takım üzerinden parça kaldırarak kesici takımın aşınmasına sebep olur. Kesici takımın bu aşınma tipine karşı direnci, kesici takımda kullanılan malzemeye bağlıdır. Abrasif aşınma takımın talaş yüzeyinde ise takımda krater aşınması denilen aşınmayı meydana getirir (Motorcu, 2006).

3.3.3.1.2 Difüzyon aşınma mekanizması

Kimyasal etkiler bu aşınma modelinde daha fazla etkilidir. Takım malzemesinin iş parçası malzemesine kimyasal yakınlığı difüzyon aşınmasının meydana gelmesine sebep olacaktır. Bu mekanizmada takım malzemesi her ne kadar sert olursa olsun aradaki kimyasal etkiden dolayı aşınma meydana gelecektir. Malzemeler arasındaki kimyasal yakınlığa göre difüzyon aşınmasının büyüklüğü belirlenmektedir. Takım malzemelerinin bazıları belirli bir iş parçasına kimyasal olarak çok fazla yakınlık duyarken bir başka takım malzemesi o kadar yakınlık duymayabilir.

Difüzyon mekanizmanın oluşması için tungsten karbür ve çelik gerekli kimyasal yakınlığa sahiptirler. Bu yakınlığın sonucunda takımda krater aşınması meydana gelir yani takımdan parçacıklar kopar. Difüzyon aşınmasını tetikleyen en önemli girdi sıcaklıktır. Sıcaklığı meydana getiren en önemli etken imalat hızındaki artıştır. Önlenmesi için çeşitli soğutma sıvıları kullanılır (Kuş, 2013).

3.3.3.1.3 Oksidasyon aşınması mekanizması

Birçok malzeme için oksitlenme farklı mekanizmalarda olabilir fakat genel olarak sıcaklık ve oksijenin olduğu ortamlarda oksitlenme fazlaca görülebilir. Tungsten ve kobaltın oksitlenmesi imalat sırasında oluşan yüksek sıcaklık ile takım arsında oluşan oksit filmi ile meydana gelir. Bu mekanizmanın aynısı alüminyumda da meydana gelir ve alüminyum oksit birçok malzemeye göre daha sert oksit yapısına sahip olur. Her bir kesici takım malzemesinin oksitlenmeye karşı direnci farklıdır ve farklı takım ömrü sergilemektedir. Talaş kaldırmanın fiziksel yapısı incelendiğinde kesici takım parça yüzeyine girerken içerisine oksijeni alarak parçaya dalar ve oksitlenmeye sebep olur. Oksidasyonun hızlanmasına sebep olan bir diğer neden de havadaki nemdir. Bu aşınma mekanizması incelendiğinde değişen takım teknolojisi ile büyük ölçekte çözülmüş bir problem olarak görülmektedir (Gündoğdu, 2006).

3.3.3.1.4 Yorulma aşınma mekanizması

Daha çok termomekanik olaylarla açıklanabilen yorulma aşınması, talaşlı imalat sırasındaki sıcaklık dalgalanmalarının sonucunda ve ayrıca mekanik zorlamalarında sebep olduğu karmaşık bir aşınma mekanizmasıdır. Tüm kesici takımlar diğer makine elemanları gibi yorulmaya duyarlıdır. Fakat bazı kesici takım malzemelerinin yorulma dayanımı çok daha düşüktür. Bu mekanizmanın daha fazla görüldüğü durumlar, kesme kuvvetinden meydana gelen gerilmelerin kesici takım yorulma dayanımından daha fazla olduğu zamanlardır. Anlatılan durum imalat sırasında yüksek hızlarla işleme yapılması ya da sertliği düşük takım malzemesi seçilmesinden dolayı meydana gelebilir. Bu mekanizmanın ileri boyutunda plastik deformasyona uğramış takım görülebilir (Uluğ, 2014).

3.3.3.1.5 Adezyon aşınma mekanizması

Adezyon aşınması, uygun olamayan işleme parametreleri sonucu ortaya çıkan ve yavaş ilerleme ve düşük devirdeki imalatlarda görülen bir mekanizmadır. Talaşın durumu deformasyonun sebebi ile bağlantılı olmamakla beraber tüm talaş tiplerinde görülebilir. Adezyon aşınması genellikle iş parçasının kesici yüzeye yapışması sonucu ortaya çıkmaktadır. Özellikle yumuşak malzemelerin işlenmesi sırasında meydana gelen mekanizmada talaş derinliğinde önem kazanır ve yüksek talaş derinliğinde takım ucuna yığılma artabilir. Bu aşınma mekanizmasının sonucunda çentik aşınması görülmektedir. Takımdaki aşınma hızının artması takım ile iş parçası arasındaki kimyasal yakınlığa da bağlıdır (Pul, 2010).

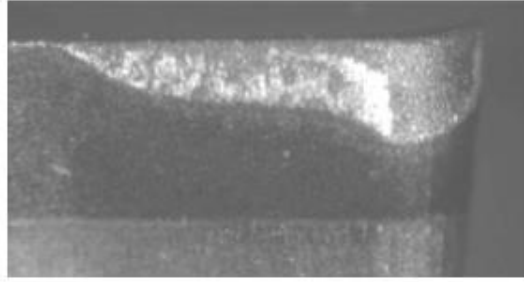
Talaşlı imalatta görülen aşınmalara neden olan aşınma mekanizmaları, üretim sırasında farklı kombinasyonlarla görülebilir. Örnek vermek gerekirse abrasif aşınmanın görüldüğü bir takımda ilerleyen aşamalarda yorulma aşınması da görülebilir.

3.3.3.2 Takım aşınma tipleri

Kesici takımlar ömürlerini tamamladıktan sonra, yakınlştırılarak kesici uçlarına bakıldığında çeşitli şekillerde aşındığını görebiliriz. Bu aşınma şekillerine göre takım üzerinde yapılan iyileştirmelerle ya da takım seçimini değiştirerek daha uzun ömürlü takımlar kullanabiliriz. Takım aşınma tiplerini incelediğimizde literatürde dokuz adet aşınma şekli görülmektedir.

3.3.3.2.1 Yan kenar aşınması

Yan kenar aşınması, kesici takımların yan yüzeylerinde genellikle abrasif aşınma mekanizması sonucu ortaya çıkan bir aşınma tipidir. Talaş kaldırma sırasında, talaş kaldıran kenar ve serbest yüzeyin bir kısmı talaş ve iş parçası ile temas eder bunun sonucunda bu kenarda aşınma meydana gelir (Şekil 3.10) (İşbilir, 2008).

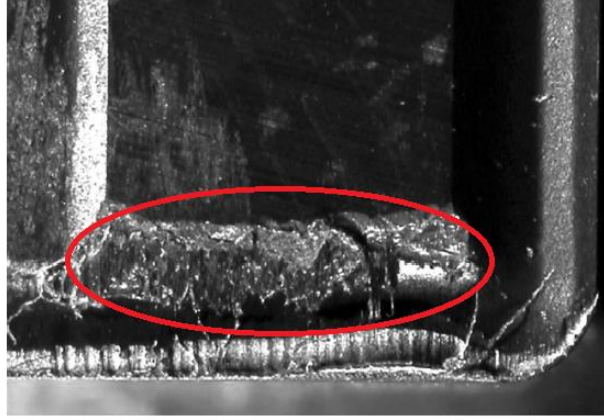


Şekil 3.10. Yan Kenar Aşınması (Stephenson, 2016)

Yan kenar aşınması diğer aşınma tiplerine göre normal karşılanan bir aşınma tipidir. Bu aşınma tipi kontrollü bir şekilde yönetildiği durumda imalatta herhangi bir sıkıntı yaşanmaz. Aşırı aşınan takımlarda kötü yüzey kalitesi ve pürüzlülük, istenilen toleransta parça işleyememe ve kesici kenarın şeklinden dolayı kesme kuvvetlerinde artış söz konusu olur. Kesici takım malzemesinin yanlış seçimi bu problemin ana kaynaklarından. Daha sert malzeme seçerek ve kesme sıvısı kullanarak bu aşınma tipi geciktirilebilir.

3.3.3.2.2 Krater aşınması

Krater aşınması ya da çukur aşınması olarak adlandırılan aşınma şekli, takım yüzeyinde abrasif ve difüzyon etkisi sonucu meydana gelir. Kesme sırasında oluşan sıcaklık artışı ile de meydana gelir. Krater aşınmasının sonucunda kesici kenar geometrisi değişir ve talaş kaldırma esnasındaki kuvvetlerin yönlerini değiştirir. Ayrıca kesici takımın kesme ağzını zayıflatır ve kırılmasına sebep olur (Şekil 3.11) (Şenkal, 2012).



Şekil 3.11. Krater Aşınması (Stephenson, 2016)

3.3.3.2.3 Plastik deformasyon

Plastik deformasyon, kesici kenar üzerinde oluşan yüksek kuvvet ve sıcaklık etkisi sonucu ortaya çıkan bir aşınma mekanizmasıdır. Takımın imalat sınırlarının zorlanması halinde yüksek ilerleme, devir ve talaş derinliğinde fazlaca görülen bir aşınma tipidir. Takımların mekanik özelliklerini koruyabilmesi ve plastik deforme olmaması için sınır şartlarında yani nispeten düşük sıcaklıklarda çalıştırılması gerekmektedir (Şenkal, 2012). Bu problemin çözümü için çalışma konusu olan kenar yuvarlatma işlemi ile iyileştirme yapılması mümkündür (Şekil 3.12).



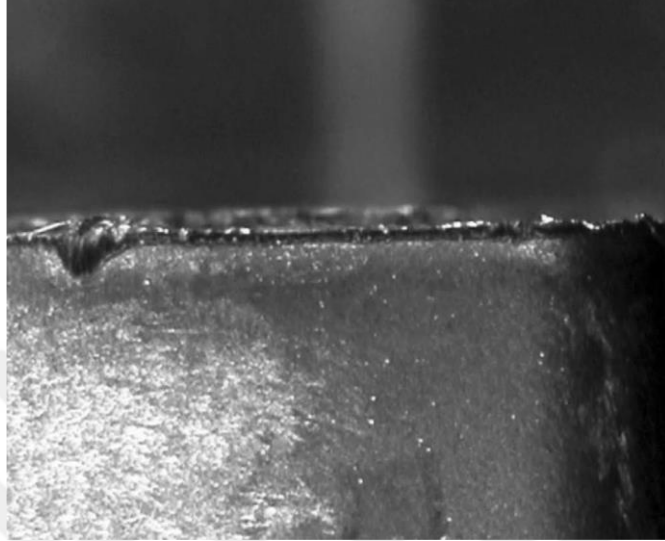
Şekil 3.12. Plastik Deformasyon (ASM Handbook)

3.3.3.2.4 Çentik aşınması

Böhler çentik aşınmasını şu şekilde açıklamaktadır; yardımcı kesici kenarda oluşan çentik aşınması tipik bir adezyon (yapışma) aşınması olmakla beraber oksidasyon aşınma

mekanizması ile birlikte büyüyebilir. Çentik, kesici takımın uç kısmı ile parça arasındaki alanda olmaktadır (Şekil 3.13) (Şenkal, 2012).

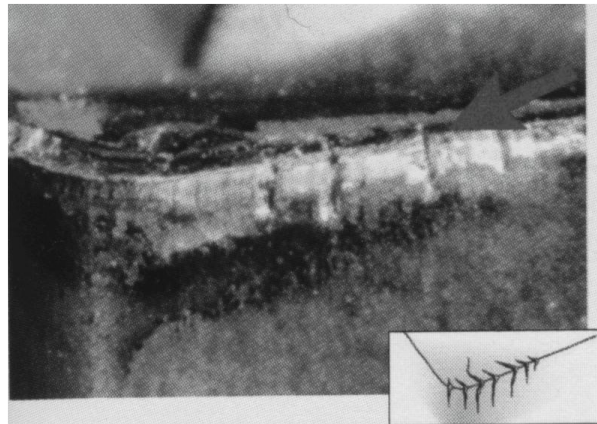
Çentik aşınmasının olduğu takımda kuvvetler aşırı büyür ve zamanla takımda kopmalar meydana gelir. Bu sebeple etkilenen yüzeyde kalitesel bozulmalar olur.



Şekil 3.13. Çentik Aşınması (Stephenson, 2016)

3.3.3.2.5 Termal çatlaklar

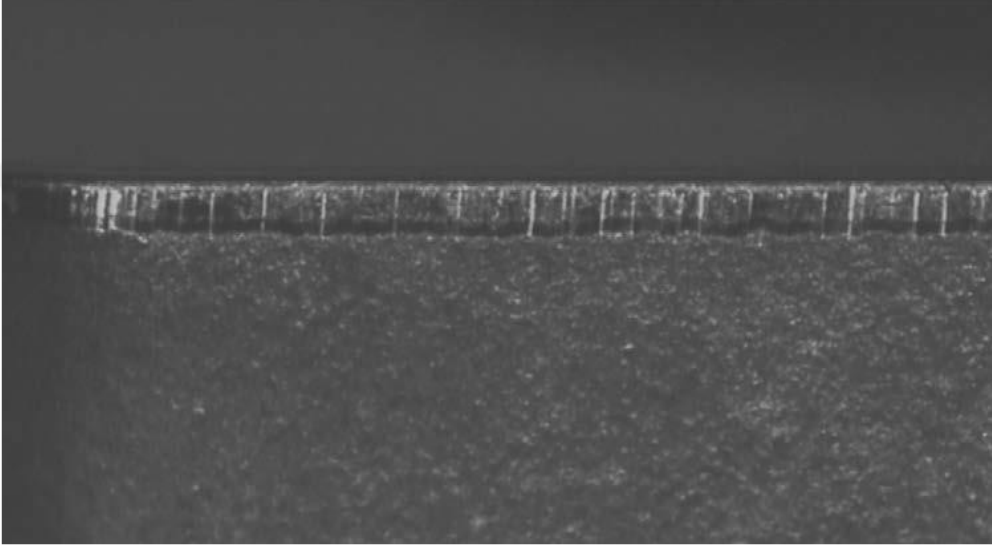
Termal çatlakların kök nedeni ısıl değişkenliklerin çok fazla olmasındandır. Özellikle frezelemede oluşan sıcaklık değişimleri bu proseste termal çatlakların meydana gelmesine sebep olan etkidir. Genellikle en çok görüldüğü durumlar sanayide yanlış kesici sıvı kullanımındır. Ani kesici sıvı açıp kapamaları sonucunda takım ömrü bu mekanizma kaynaklı azalmaktadır. Genellikle bu aşınma tipinin sonucunda kesici takımdan parçacıklar kopar ya da takımında kılcal çatlaklar oluşur (Şekil 3.14) (Altan, 2014).



Şekil 3.14. Termal Çatlaklar (ASM Handbook, Vol 16)

3.3.3.2.6 Mekanik yorulma çatlakları

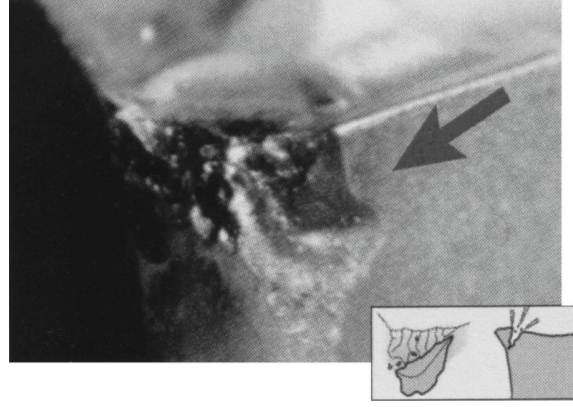
Mekanik yorulmanın sebebi diğer makine elemanları gibi kesici takımın aşırı dinamik yükün altında çalışmasıdır. Kuvvetteki büyüklük sürekli olduğu durumda kırılmaya sebep olmayacak büyüklükte olmasına rağmen sürekli değişken olması sebebi ile kırılmaya neden olur. Kesme kuvvetindeki değişim, hesaplanan değerlerden daha büyük olması çatlakları ve kırılmaları çok ciddi boyutlara ulaştırır ve takımın tokluk değerinin üzerine çıkabilir. Bu mekanizma sonucunda kesici takımında çatlaklar meydana gelir (Şekil 3.15) (Altınkaya, 2006).



Şekil 3.15. Mekanik Yorulma Çatlakları (Stephenson, 2016)

3.3.3.2.7 Kırılma

Kırılma sonucu kesici takım kullanılamaz hale gelir. Kenar kırılması aslında diğer aşınma tiplerinin bir sonucu olarak görülmüştür. Geometrisi değişen kesici takımın üzerine aşırı kesme kuvvetleri yüklenir ve sonuç olarak taşıyabileceğinden fazla kesme kuvvetlerine maruz kalır. Ayrıca diğer aşınma mekanizmalarının haricinde kesici takım malzemesinden de kaynaklanan problemler bu kırılma mekanizmasını tetikleyebilir. Eğer takımın malzemesi gevrek ve sünekliği düşükse darbeli yüklerde kolayca kırılabilir (Şekil 3.16) (Yazman, 2006).



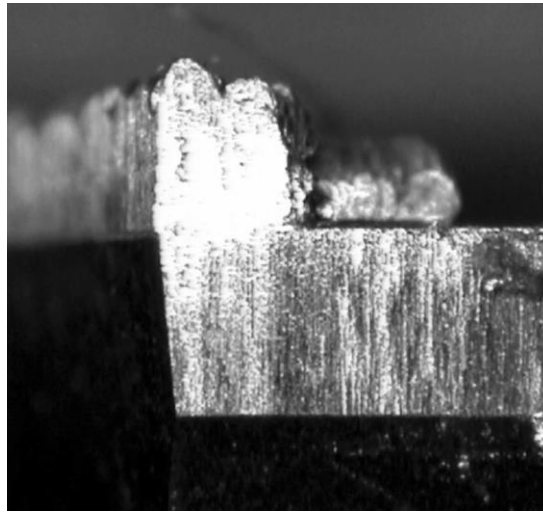
Şekil 3.16. Kırılma (ASM Handbook, Vol 16)

3.3.3.2.8 Kesici kenarda yığılma (BUE)

Kesici kenarda yığılmanın ilk fark edildiği zamanlarda mühendisler bunun takım ömrüne olumlu etkisi olabileceğini sanmışlardır. Fakat zaman geçtikten sonra ve ölçüm metotları geliştikten sonra anlaşıldı ki yığılma takım ömrüne olumsuz etki yapmakta olduğu anlaşılmıştır.

Mekanizma, genellikle sıcaklık ve kesme hızı parametreleri ile ilişkilidir. Kesme hızının ve sıcaklığın düşük olduğu anlarda malzemeye yapışan iş parçası kesme kuvvetlerini artırır ve kötü bir imalat yüzeyine sebep olur. Bu aşınma tipinin nedenleri, düşük hızda ve devirde ilerleme, negatif kesme açısı, kesilen malzeme ve uygun olmayan soğutma sıvısıdır.

Bu tip aşınma fark edildiğinde önlenmezse öncelikle yüzey kalitesi bozulur sonrasında takıma yapışan iş parçacıkları koparken takım üzerinden de takım malzemesini koparabilir. Sonrasında ise takım kırılmasına sebep olur (Şekil 3.17) (Yazman, 2006).



Şekil 3.17. Kesici Kenarda Yığılma (BUE) (Stephenson, 2016)

3.3.3.3 Takım aşınma hesaplama modelleri

Kesici takımlarda kesme hızları genellikle, bu amaçla ortaya çıkan kesme parametresi– takım ömrü ilişkisini matematiksel olarak ortaya koyan çeşitli modellemelerle çalışılır. Takım ömrünü tayin etmek için kullanılan hesaplama modelleri;

- Taylor Modeli,
- Gilbert Modeli,
- Krinenberg Modeli olarak sıralanabilir.

Genellikle ortaya atan bilim adamı ismi ile anılan hesaplamalardan günümüzde en çok Taylor modeli kullanılmaktadır.

3.3.3.3.1 Taylor takım ömrü modeli

Talaşlı imalatta en fazla karşılaşılan problem takım aşınması ve bu problemin ne zaman karşımıza çıkacağıdır. Kesici takım değişim zamanı imalat kalitesi, işçilik kaybı, enerji kaybı ve takım maliyeti gibi konularda önemli bir hale gelmektedir. Bir talaşlı imalat sürecinin maliyetinin belirlenmesinde ki en önemli etken takım maliyetidir. Takımda oluşan aşınmaların kontrolü ve zaman etüdünün yapılıp yaklaşık bir aşınma zamanına göre optimizasyon yapılması maliyet açısından çok önemlidir.

Taylor takım ömrü denklemin elde edilmesi;

Takım ömrü, takımda kabul edilebilir bir talaş kaldıramama durumunun oluşmasına kadar geçen süreye denmektedir. Takım ömrü T ile ifade edilir ve birimi dakikadır. Kesme işleminin en uygun şekilde ayarlanması için kesme hızı ve takım ömrü arasındaki bağlantı çok iyi bilinmesi gerekir. Bu bağlantıyı matematiksel olarak modelleyen Taylor denklem verilen formülle bu durumu açıklamaya çalışmıştır.

$$T = \frac{Sabit}{f_x \times x \times v_y} \quad (3.1)$$

Daha sonradan yukarıdaki denklem yaygın olarak kullanılan aşağıdaki formüle dönüşmüştür.

$$V \times T^n = C \quad (3.2)$$

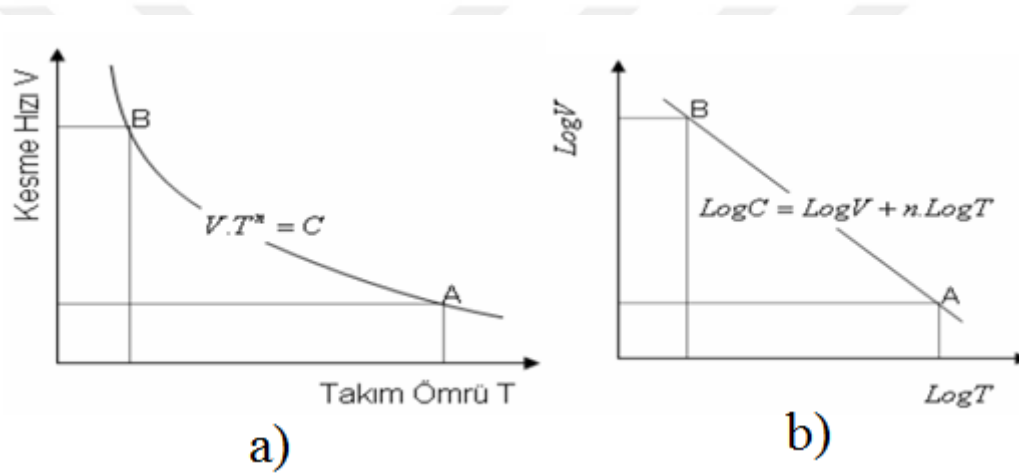
Bu denklemde (3.2), n takım üssü olarak belirtilir ve takıma, iş malzemesine, işleme koşullarına, takım geometrisine ve soğutma sıvısına göre değişen bir katsayıdır (Şeker,1997).

Taylor denklemi kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliğine bağlı olarak aşağıdaki denklem olarak güncellenmiştir.

$$T = \frac{C^m}{V^k \times f^m \times a^p}, \quad (3.3)$$

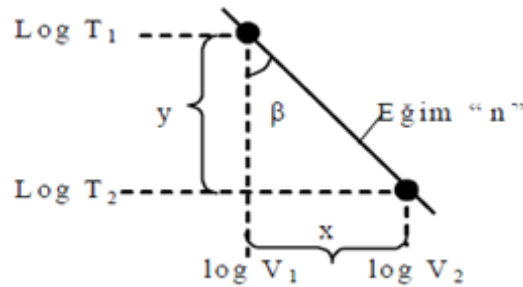
olarak ifade edilmiştir. Burada k, m ve p takım malzemesine bağlı sabitlerdir. Takım ömrünü en fazla sırasıyla kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği etkilemektedir.

Takım ömrünü ve kesme hızını denkleme göre açıklayan grafik ise şöyledir;



Şekil 3.18. Kesme hızı - takım ömrü ilişkisi; a) Lineer ilişki; b) Logaritmik ilişki (Altan, 2014)

Logaritmik grafiğe bakıldığında doğrunun eğimi bize takıma göre bir sabit vermektedir.



Şekil 3.19. Taylor takım ömrü denklemine göre "n" üstü ve eğimi (Altan, 2014)

$$n = \tan(\alpha) = \frac{\log(V_1) - \log(V_2)}{\log(T_1) - \log(T_2)} \quad (3.4)$$

Takım malzemelerine bağılı “n” değeri bazı takımlar için aşağıdaki gibi standart kullanılır (şekil 3.20);

Kesici Takımlar	“n” üstel değeri
Seri elik takımlar (HSS) uçlar	0,14~0,16
Kaplanmış karbür (sert metal) uçlar	0,21~0,25
TiC (titanyum karbür) kaplı uçlar	0,3
TiN (titanyum nitrit) kaplı uçlar	0,35
Sentetik çok kristalli elmas uçlar	0,33
Seramik-kaplanmış uçlar	0,4

şekil 3.20. Takım malzemelerine bağılı “n” değeri (Altan, 2014)

Ayrıca bu denklemlere göre ve bu sabitlere göre C değerini denklem 3.5’ten bulunabilmektedir.

$$\log(C) = \log(V) + n \cdot \log(T) \quad (3.5)$$

3.4 Köşe Yuvarlatma

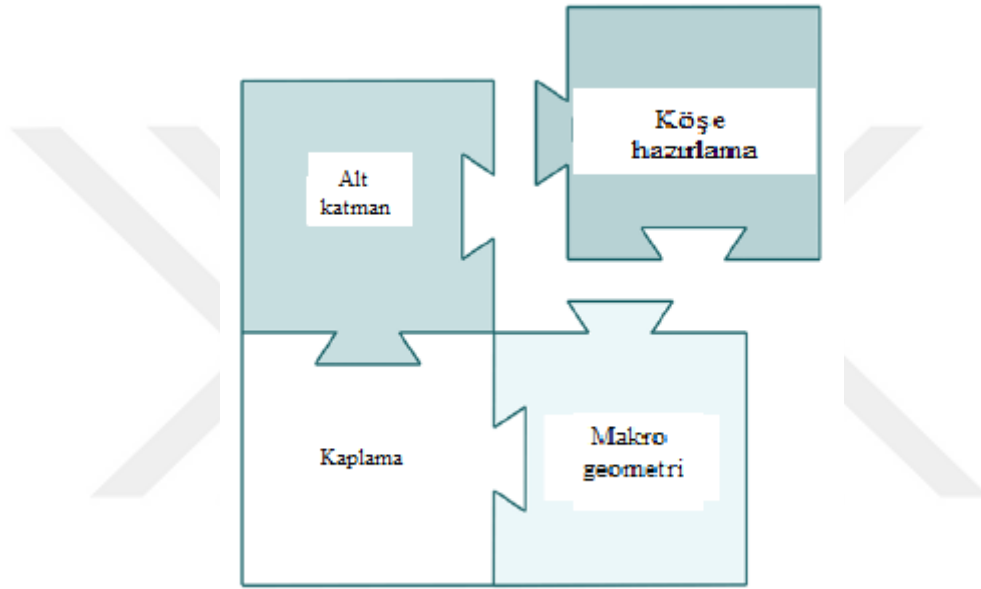
Köşe yuvarlatma uygulaması kesici uçlar için üretim kapasitesi açısından ve iş parçasının kalitesini arttırmak amacıyla kesici uçlara uygulanan modern bir yöntemdir. Kesici takım üretkenliğini arttırmada kullanılan dört etken vardır (şekil 3.21). Bunlar;

- Kesici takım malzemesi; ekonomik şartlar ve özel şartlar için ortak noktada buluşmalıdır.
- Kaplama teknolojisi: kesme uygulamaları için özel ve ömrü arttırıcı etkisi olmakla beraber ekonomikte olmalıdır.
- Makro yapı: teknolojik olarak talaş atılmasına, talaş kırmasına ve takımın tezgâha bağlanmasını sağlamalıdır.
- Kesici uç yuvarlatma: özel uygulamalar için uygulanabilir olmalı, ayrıca kaplama uygulamalarına takımı hazırlamalı ve kontrol edilebilir olmalıdır.

Modern üretim teknolojisi ve deney alt yapısı ile kesici takımlar incelendiğinde, takımların çok ekstrem şartlarda çalıştığı görülmektedir. Lokal olarak takım ve iş parçası arasında basıncın 100–10000 N/mm², sıcaklığın 300–1200 C° ve hızın 100–6000 m/dak olabildiği gözlemlenmiştir.

Kesici takım malzemesi ile ilişkili olarak seçeneğin çoğaldığı bir teknolojik durumda HSS, çok farklı çeşitte karbür ve seramik, CBN ve elmas imalatta kullanılmaktadır. Uygulamalar bu seçenek çokluğuna rağmen mekanik ve termal özellikler sayesinde aşınma ve tokluk arasında bir dengeleme yapmak zorundadır (Paucksch ve ark., 2008).

Kaplama teknolojisi ve genel yüzey işleme teknolojileri birçok alanda büyük gelişmeler göstermiştir. Kaplama teknolojisi prensip olarak HSS ve karbür takımların aşınma direncini yükselmiş ve takım ömrünü iyileştirmiştir. Ayrıca son zamanlarda uygulaması olan nanoteknoloji ile yüzey mühendisliği, takım kaplamaları için yeni bir bakış açısı kazanmıştır.



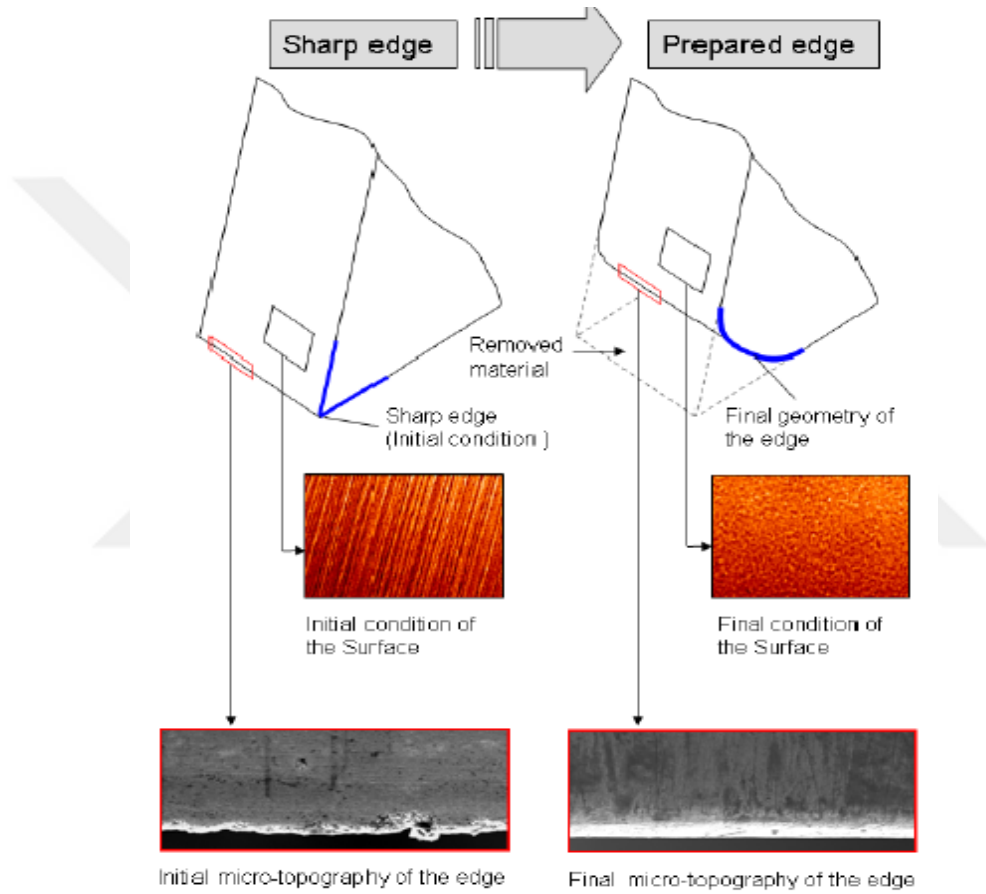
Şekil 3.21. Takım ömrüne etki eden etkenler (Rodriguez, 2009)

Kesici takımlarda makro geometrinin gelişimi şekilsel ve ölçüsel olarak açıklanmaktadır. Bu gelişmeler şöyle sıralanmaktadır; kesme açıları, serbest yüzey ölçüsü talaş kırması, yüzey açıları ve köşeler. Kesme anındaki talaş oluşumu yüzeylerin boyutsal ve yüzey kalitesine göre çeşitli mekanizmalar oluşturur. Bu mekanizmaların kontrolü ise takım üretimi sırasındaki boyutlara bağlıdır.

Köşe yuvarlatma işlemi köşe geometrilerini içermektedir ve mikro geometrinin kesme işlemine hazır hale getirilmesi anlamına gelmektedir. Bu iyileşmeler yüzey kalitesini ve kesme hattının iyileştirilmesi ile mümkün olmaktadır. Ayrıca köşe yuvarlatma işlemi ile köşe aşınmalarını ve streslerinin kötü durumunu iyileştirirken takım performansını ve imalat hızları arttırılabilmektedir. Yüksek kapasiteli ve seri imalatlarda çok daha fazla önem kazanan köşe yuvarlatma prosesi takım maliyeti konusunda da inanılmaz katkı sağlamaktadır. Bunlara ek

olarak köşe yuvarlatma uygulaması ile beraber kaplamamanın takım ömrüne katkısı da arttırılmıştır (Rodriguez, 2009).

Takımların imalat sonrası yüzey ve köşeleri incelendiğinde çok keskin ve çatlaklı bir yüzeye sahip olduğu görülür ve köşe yuvarlatmasız olan takımda mikro kırıklar, çizikler, kötü ve pürüzlü yüzey, düzensizlikler, düşük mekanik dayanım ve istenmeyen talaş bulunabilir. Bunlara rağmen optimum takım için bunların hepsinin ortadan kaldırılması gerekmektedir (Şekil 3.22).



Şekil 3.22. Keskin köşeli takım ve köşe yuvarlatma işlemi görmüş takım. (Rodriguez, 2009)

Kesici takımlara uygun seçilen basit köşe yuvarlatma işlemleri kesici takımlarda başarılı gelişmeler ve iyileşmeler sağlar. Kuralına göre hazırlanan bir köşe yuvarlatma, kesici takımın mikro topografyasında önemli gelişmelere katkı sağlar. Son yıllarda köşe yuvarlatmanın sağladığı gelişmeler fark edildikten sonra yüzey finish ve mikro işleme için çeşitli varyasyonlarda yüzey işleme tekniği geliştirildi. Bu işleme şekilleri yüzeyden talaş kaldırmak yerine yüzeyin taşlanmasına benzer bir mantıkla uygulandı. Konvansiyon işleme düşünüldüğünde köşe yuvarlatma çok önem kazanmaktadır. Çünkü kesme prosesinde takımın

stabil çalışması iş parçası kalitesine direkt olarak etki etmektedir. Maliyetler ve kalite toplamda düşünüldüğünde günümüzde köşe yuvarlatma işleminin en az kaplama kadar önemli olduğu ortaya çıkmıştır (Dornfeld ve ark. 2006; Tikal ve ark. 2003).

Sistemli ve kontrollü uygulanan bir köşe yuvarlatma prosesi takıma birçok önemli özellik kazandırmaktadır;

- Kesici takıma mekanik dayanım,
- Köşelerin aşınmasını azaltma,
- Takım ömrünü arttırma ,
- Kesici takımını kaplamaya hazır hale getirme,
- İş parçası kalitesini arttırma gibi özellikler sıralanabilir.

Yukarıda sözü edilen faydaların dışında köşe yuvarlatmanın ana etkisi termomekanik iyileşmeleri sağlamasıdır. Kesme işleminin termomekanik hali değerlendirildiğinde, kesici uç geometrisi kesme bölgesindeki deformasyon bölgelerini, ısı dağılma bölgelerini, kesme kuvvetlerini ve stres dağılımını etkiler. Bu durum talaş formunu ve akışını, yüzey oluşumunu, yüzey sertliğini, takım dayanımını ve takım aşınmasının değişimine sebebiyet verir. Bu etkiler direkt olarak takım ve talaş arasındaki sürtünmeyi azaltıcı etki meydana getirerek adezyon aşınım mekanizmalarını minimize eder.

Yeni kaplama ve yeni takım malzemelerinin köşe yuvarlatma etkisi ile desteklendiği halde takım ömrüne çok önemli katkılar sağlayacağı çok açık bir şekilde ortaya çıkmaktadır.

3.4.1 Kesici uç köşe yuvarlatma geometrileri

Kesici uç köşe yuvarlatma formları, takım tasarımına göre ve üretime göre birçok çeşitte ortaya çıkmaktadır. Şekil 3.23 gösteriyor ki çok çeşitli köşe yuvarlatma tipi üretimde kullanılan kesici takımlarda kullanılmaktadır. Buna rağmen daha çok üç tip köşe yuvarlatma şekli günümüzde uygulanmaktadır. Bunlar;

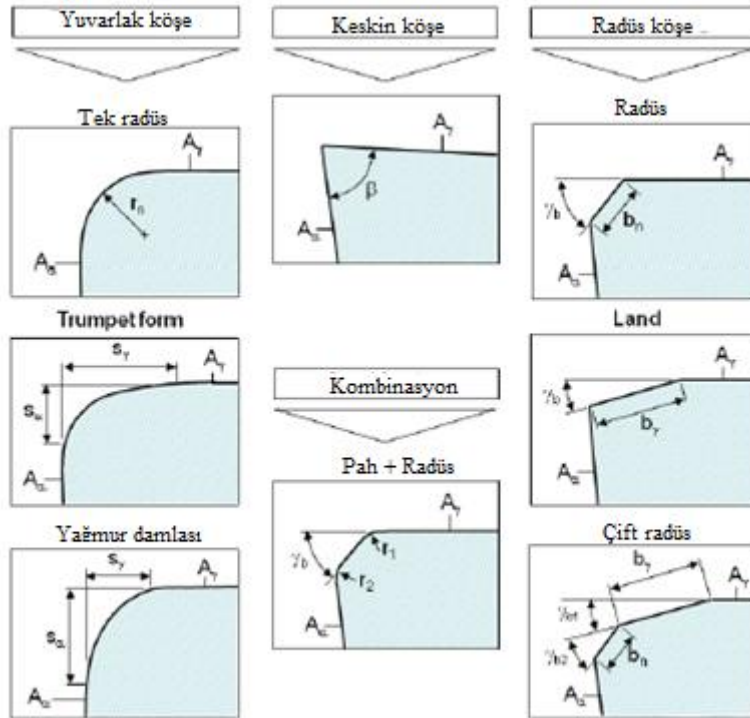
- 1- Keskin köşe
- 2- Yuvarlak köşe
- 3- Pahlı köşe olarak sıralanır.

Keskin köşe hazırlama teorikte takım serbest yüzeyi A_y ve kesme yüzeyindeki açının keskin olduğu durumdur. Yuvarlak köşe ise takım formuna göre çok çeşitli formlar alabilmektedir. Eğer yuvarlak köşe profili farklı yuvarlatmalardan oluşuyorsa bunlarda waterfall ya da trampet form olarak adlandırılır. Eğer serbest yüzeydeki radüsün bitimi serbest yüzeye daha fazla girdiği durumda trampet formdaki köşe formu oluşmuş olur. Bunun aksi durumda ise waterfall köşe formu oluşmaktadır (Rodriguez, 2009).

Pahlı köşe hazırlamaya göre, geometri bir pah yardımı ile ortaya çıkmaktadır. Pah, γ_b ile gösterilen bir açı ve pahların serbest yüzeye ve kesme yüzeyi başlangıçlarına olan mesafelerini gösteren b_n ve b_γ ölçülerinden oluşur. Bunlara ek olarak çeşitli kombinasyonlarda pahlı köşe yuvarlatmalarda mevcuttur. Ayrıca, son zamanlarda çift pahlı köşe yuvarlatmalarda takım üretiminde kullanılmaktadır (Şekil 3.23).

Genel yuvarlak köşe yuvarlama da hazırlanan finish kesme, semi-finish kesme, hassas işleme ve mikro işleme proseslerinde kullanılabilir. Buna karşılık, pahlı köşe yuvarlatma prosesi uygulanan takımlar genellikle zorlu tornalamalarda ve darbeli kesme işleminde kullanılmaktadır. Genellikle, pahlı köşe hazırlama işlemi CBN, PCBN ve seramik takımlara uygulanmaktadır. Yuvarlak köşe hazırlama işlemi ise elmas, PCD, HSS ve sement karbür takımlara uygulanmaktadır.

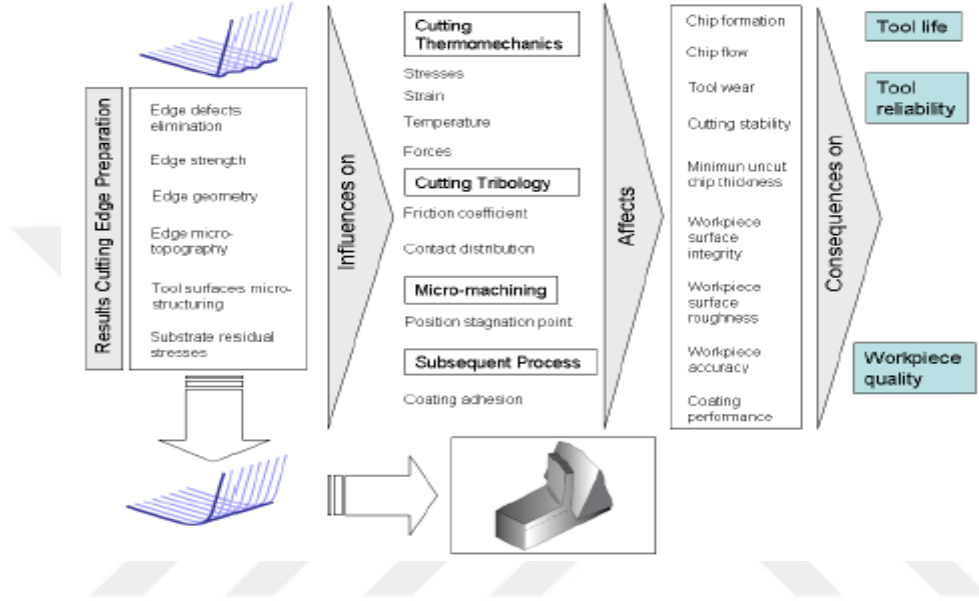
HSS ve sement karbür takımlarda görülen keskin köşelerde taşlama ile imalat sonrasında köşe radüsü $r_n < 5 \mu\text{m}$ ama bu ölçüden daha büyük ölçüler de takım imalatına göre değişkenlik göstermektedir. Genel referanslara göre, yuvarlak köşe yuvarlatma prosesi (mikro taşlama, fırçalama ve drag finish) takıma $5 \mu\text{m} < r_n < 50 \mu\text{m}$ aralığında bir radüs ölçüsü kazandırır. Ayrıca, proses girdilerine göre bu radüs $100 \mu\text{m}$ bile olabilmektedir. Uygulamalara bakıldığında pahlı köşe yuvarlatmada ölçüler şöyle olmaktadır; $30 \mu\text{m} < b_n < 300 \mu\text{m}$ ve pah açısı $10^\circ < \gamma_b < 45^\circ$ olabilmektedir (Rodriguez, 2009).



Şekil 3.23. Kesici takım köşe hazırlama geometrileri (Rodriguez, 2009).

3.4.2 Köşe hazırlamanın işlemeye etkileri

Kesici takım köşe hazırlama prosesi kesici takım köşelerinde çeşitli farklılıklar oluşturur; kesici takım köşesinde mikro topografide ve kesici yüzey mikro yapısında değişiklikler gibi. Kesici takım köşe hazırlama prosesi çıktılarının imalata çeşitli etkileri takım performansı ve iş parçasının kalitesinde iyileşme olarak görülür (Şekil 3.24).



Şekil 3.24. Kesici takım köşe hazırlama prosenin çıktıları (Rodriguez, 2009)

Köşe hazırlama prosenin sağladığı iyileşmeleri ayrıca şu şekilde sıralayabiliriz;

- Deformasyon bölgelerinin şekli,
- Kesmenin sıcaklığının dağılması,
- Kesme kuvvetleri,
- Kesme anı gerilmelerin dağılımı noktalarında iyileşme sağlamaktadır.

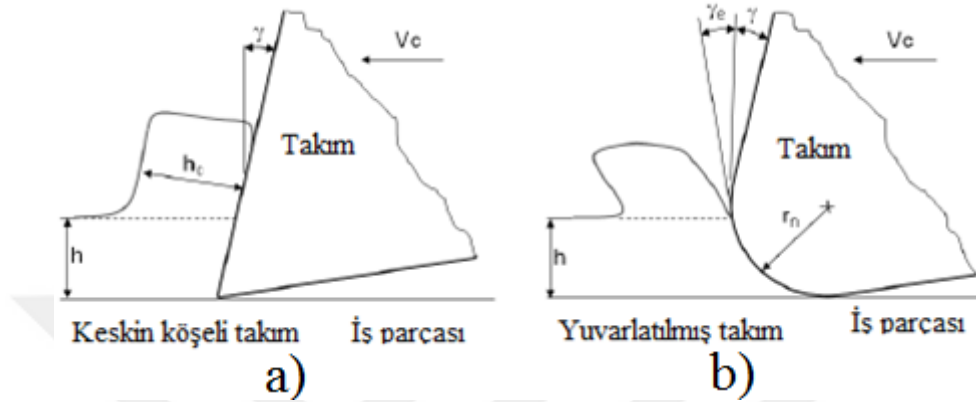
Yukarıdaki iyileşmeler aşağıdaki maddelerin ortaya çıkabilmesini sağlamaktadır:

- Talaş formu ve talaş akışı,
- İş parçası yüzey kalitesi,
- Takım aşınma direncinin yükselmesi gibi durumlar ortaya çıkabilmektedir.

3.4.3 Köşe hazırlamanın boyut etkisi ve mikro işlemeye katkısı

Kesici takımlar tamamen keskin köşelere sahip değildir ve serbest yüzey–kesici yüzey arasında yaklaşık olarak ideal radüse sahip olduğu düşünülmektedir (Şekil 3.25). Kesici takım

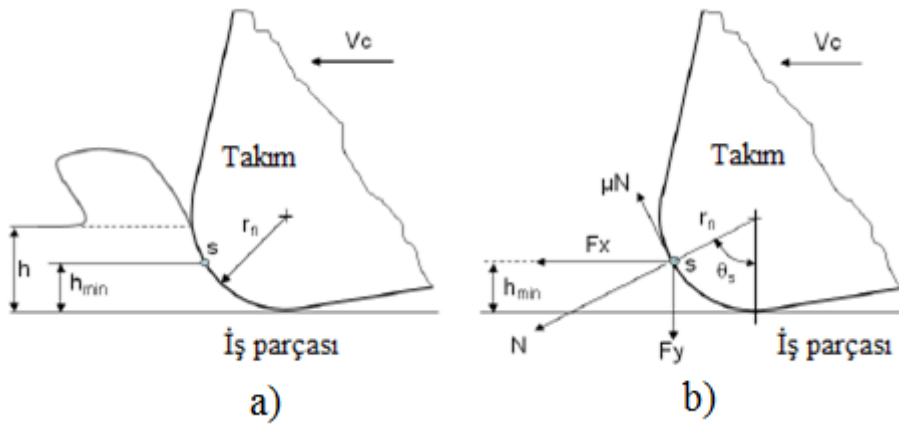
uç radüsünün gelişimi sürecindeki incelemelere göre, radüsün kesme prosesinde talaş oluşumunda ki etkisinin çok önemli rol oynadığı ortaya çıkmıştır (Trent ve Wright, 2000). Birçok kaynaktaki modellere bakıldığında araştırmaların keskin yüzeye göre yapıldığı görülmektedir. Bunun kesme prosesindeki etkisinin dikkate alınması araştırmalar için çok önemlidir, çünkü h paso derinliğinin minimum değeri köşe radüsü ile bire bir ilişkilidir.



Şekil 3.25. Teorik olarak kesici takımın köşe gösterimi; a) keskin köşeli takım; b) yuvarlatılmış takım

Kesme modelinin minimum talaş derinliği ilişkisi direkt olarak takım–iş parçası arasındaki sürtünme katsayısı ve minimum kesme derinliğine odaklanmaktadır. Bu model küçük köşe radüsü ve yüksek sürtünme katsayısına göre değerlendirilir ve bu ilişki en kısa paso kalınlığını verir. Bu teoriye göre minimum talaş derinliği h_{min} , köşe radüsü r_n ve sürtünme açısı β olarak tanımlar. Bu sürtünme açısı Merchant ortogonal kesme modelindeki anlamı ile aynı anlama gelmektedir (Yuan ve ark., 2003) Buna göre minimum paso h_m şöyle olabilir:

$$h_{min} = r_n \left[1 - \cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\beta}{2}\right) \right] \quad (3.6)$$



Şekil 3.26. Minimum kesme kalınlığı; a) yuvarlatılmış köşeli takımın minimum paso yüksekliği; b) yuvarlatılmış köşeli takımın kuvvet dağılımı (Yuan ve ark. 2003)

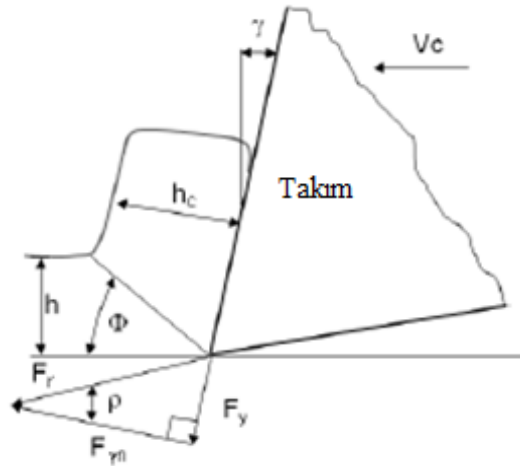
3.4.4 Köşe yuvarlatmanın talaş formuna etkisi

Merchant teorisine göre bakıldığında hesaplamalar yapılırken köşeler hep keskin alınmış, modellemeler ve hesaplamalar böyle yapılmıştır. Bu nedenle kayma düzlemi de dümdüz alınarak model basite indirgenmiş ve kayma düzlemi açısı Φ aşağıdaki gibi matematiksel olarak ifade edilmiştir:

$$\Phi = \frac{\pi}{4} - \frac{\beta}{2} + \frac{\gamma}{2} \quad (3.7)$$

Denklemleri boyutlarla ifade ettiğimizde ise;

$$\tan \Phi = \frac{\cos \gamma}{(hc/h) - \sin \gamma} \quad (3.8)$$



Şekil 3.27. Merchant teorisine göre boyutlar

Buna göre hc ;

$$hc = h \left(\frac{\cos \gamma}{\tan \Phi} + \sin \gamma \right) \quad (3.9)$$

olmaktadır.

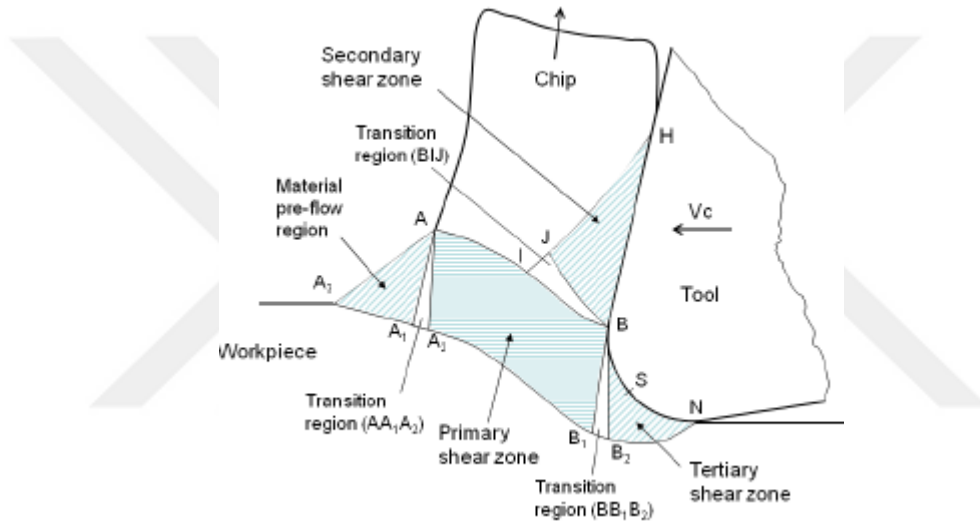
Köşe yuvarlatma işlemini de bu modellemeye uyarlayıp matematiksel ifadeye döküldüğünde ise denklem şu hali almaktadır;

$$h_c = SB \cdot \cos(\varphi_{SB}) + \frac{BH}{2} \cdot \left(1 + \sqrt{1 + \left(\frac{\tau_s}{k} \right)^2} + \frac{\tau_s}{k} \right) \quad (3.10)$$

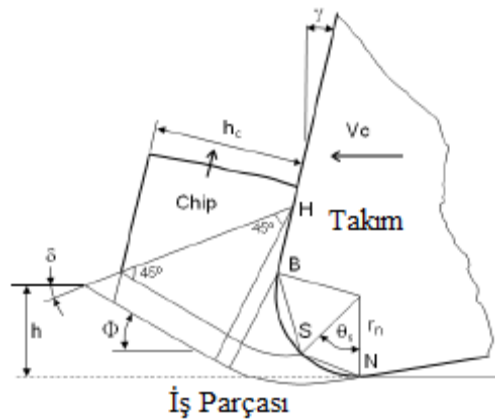
olarak değişmektedir.

$$\varphi_{SB} = \frac{\arccos(\tau_{SB}/k)}{2} \quad (3.11)$$

k değeri ise burada iş malzemesinin ortalama kayma – akma gerilimi değeridir.



Şekil 3.28. Köşe yuvarlatma dâhil edildiği modellemenin kayma düzlemleri (Rodriguez, 2009)



Şekil 3.29. Köşe hazırlamanın adapte edildiği boyutların modeli

3.4.5 Takım aşınmaları ve takım ömrü

Takım aşınması ve takım ömrünün artışı köşe yuvarlatma direkt olarak iyileştirdiği çalışmalar sonucu ortaya çıkarılmıştır. Sonuçlar belirli bir köşe radüsüne kadar takım ömrünün daha uzun olabileceğini fakat bir değerden sonra bu iyileşmenin sınırlandığı da çalışmalarda gözlemlenmiştir. Ayrıca gözlemlerle keskin köşeli takımlardaki kırılmaların da takım ömrünü azalttığını ve köşe yuvarlatmanın varlığı bu etkiyi de ortadan kaldırdığı görülmüştür.

HSS tornalama uçlarının deneyinde farklı sanayi koşullarında incelenmiştir. Radüs mikro püskürtme metodu ile işlenmiştir. Deneyler tornalamada köşe radüsünün performansının kıyası açısından önemli temeller oluşturmuştur. Radüslü takımlarla daha yüksek işleme hızlarına rağmen daha iyi dayanım göstermiştir. En iyi performans ise kuru tornalamada ve uç radüsü 10 µm olan takım ile sağlanmıştır. Ayrıca kaplamalı ve kaplamasız olarak denenilen takımlarda yine radüslü takımlar en iyi sonucu vermiştir (Rech ve ark., 2005).

Bir başka deneyde ise mikro püskürtme ve abrasif aşındırıcı ile imal edilen ve radüsü 10 µm ve 20 µm olan takımlardan en iyi sonucun alındığı belirtilmektedir. İmalat yöntemleri kendi arasında değerlendirildiğinde ise en iyi sonuç abrasif aşındırma ile imal edilen radüsün verdiği görülmüştür. Bu yöntemin daha iyi sonuç vermesi ise daha iyi bir yüzey kalitesinden kaynaklandığı belirtilmiştir. Püskürtme metodunun ise imalat süresinin abrasif aşındırma metoduna göre daha kısa olması bir artı olarak belirtilmiştir. Ancak hızlı üretim sırasında yüzeyi bozduğu anlaşılmıştır (Rodriguez, 2009).

3.4.6 İşleme yüzeyi kalitesi

İmalat yüzeyi kalitesini belirlemek için sabit deney koşullarında farklı parametreler ve uç radüsleri ile çalışılan deneylerde ampirik bir formül çıkarılmıştır (Elsharkawy, 1975).

$$R_t = f(r_n, f) = k_3 \cdot r_n^{k_4} = (12f + 1,60) \cdot r_n^{0,4} \quad (3.12)$$

Denklemdaki k değerleri deneysel olarak bulunan değerlerdir ve takım–iş parçası kombinasyonuna göre değişmektedir.

Köşe yuvarlatmanın etkileri mikro ve nano işlemlerde daha fazla görülmekle birlikte özellikle talaşlı imalat sonrası plastik kalıpların direkt kullanımına fırsat sağlaması maliyetler ve hızlilik açısından çok faydalı olmuştur. Ayrıca EDM tezgâhlarına ihtiyacı azalttığından dolayı kalıp ömürlerinin uzamasında da fayda sağlamıştır.

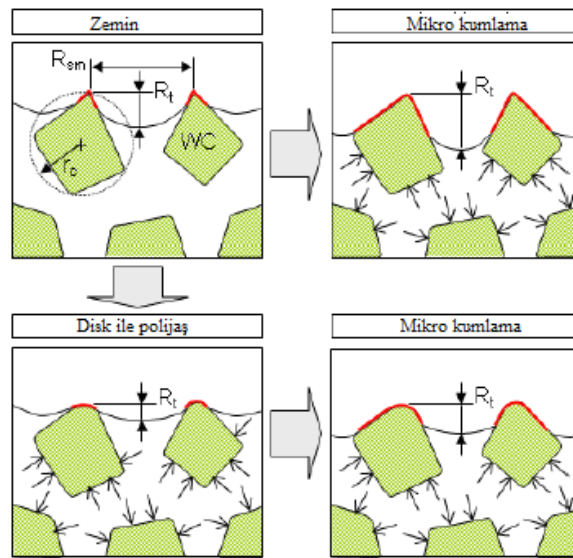
3.4.7 Köşe hazırlama geometrisi ve high speed işleme

Çeşitli çalışmalar köşe hazırlamanın high speed işleme teknolojisine katkısı hakkında birçok içeriğe sahiptir. Daha önceki takımlara göre köşe yuvarlatma ile hazırlanan takımların daha uzun dayanıma sahip olduğu 1200 ve 4500 m/dak ile çalışan kesme parametreleri ile kaynaklara girmiştir. Bu çalışmada r köşe radüsü 10 μm ve 50 μm arasında değiştirilerek takımlar denenmiştir ve paso derinliği 0,1 mm olarak işlenmiştir. High Speed işlemeye göre deneyden çıkarılan en önemli sonuç büyük radüs ölçülerinde takımın parçayı yakmasıdır. Buna göre uç radüsü high speed işlemede iyileşmeler sağlamış fakat radüsün büyümesi sonucu sürtünme artmış ve parça yüzeyinde istenmeyen sonuçlar ortaya çıkmıştır (Schulz, 1989).

3.4.8 Köşe hazırlama ve kaplama prosesi

Köşe hazırlama prosesi takım yüzeyinin, topografik yapısını ve takım yüzey kalitesini etkilemektedir. Takım kaplaması tarafından bakıldığında, kaplama öncesinde bir miktar takım yüzeyi aşınır ve kaplamanın stabil olmasına katkı sağlar. Ayrıca kaplamanın tutunması için çok daha kaliteli bir yüzey hazırlık işlemi de olmaktadır (Tushinsky ve ark., 2002).

Son zamanlarda, köşe hazırlama işleminin yüzey yapısı ve aşınmayı engelleyen film kaplamasını kapsayan çalışmalar tungsten karbür üzerine yapılmıştır. Bu çalışmada mikro fırçalama ve polisaj prosesleri ile çalışılmıştır. Şekil 3.30 'da görüldüğü gibi işlemlerin yüzeye olan etkisi, yüzeylerde olan iyileşmeler ve kaplamanın yapışabilirliği görülmektedir.



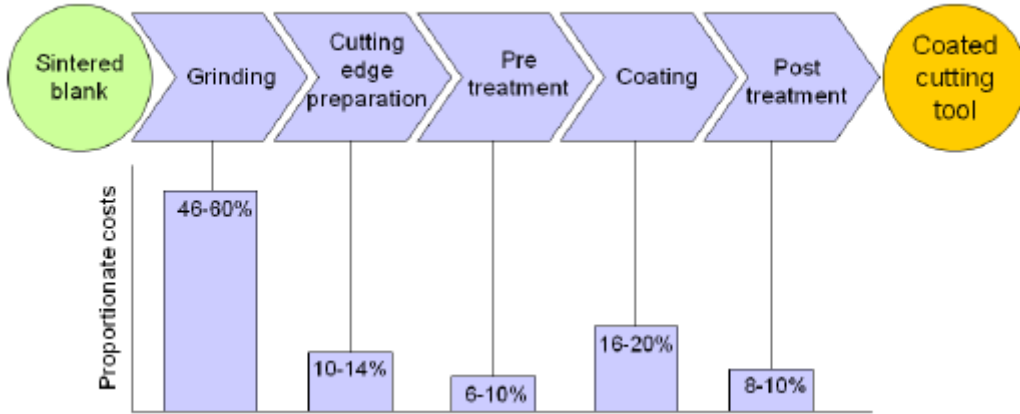
Şekil 3.30. Köşe hazırlamanın karbürü takımlardaki kaplama öncesi etkisi (Bouzakis ve ark. 2005)

3.4.9 Köşe hazırlama prosesinin uygulama sırası ve maliyeti

Bir karbür kesici takımın imalatı düşünüldüğünde basit bir şekilde ifade etmek gerekirse sıralama şöyle olmaktadır;

- 1- Presleme ve sinterleme,
- 2- Taşlama,
- 3- Köşe hazırlama,
- 4- Ön yüzey hazırlama (yüzey temizleme),
- 5- Kaplama,
- 6- Son işlem (Kalite kontrolleri),

İmalat sıralaması ve yukarıdaki proses değerlendirildiğinde takım imalatındaki maliyetleri yüzde olarak şekil 3.31’de ki gibi verilebilir.



Şekil 3.31. Kesici takım imalatındaki maliyet yüzdeleri (Friemuth, 2002)

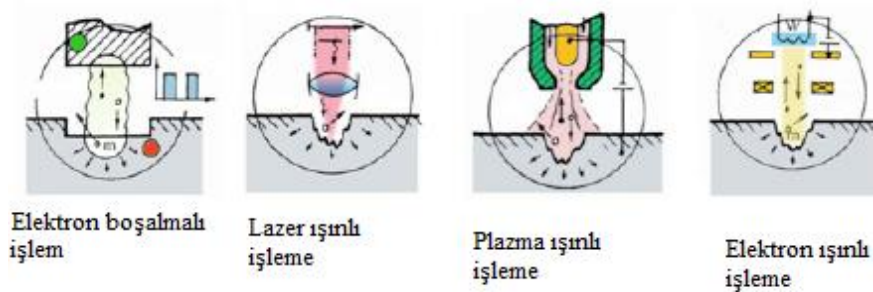
3.5 Köşe Hazırlama Yöntemleri

Günümüz imalatı incelendiğinde bir teknik resmi işlemin çok farklı yöntemleri bulunmaktadır, fakat işin çıktısı kalitesel olarak ve parçanın fonksiyonunu yerine getirecek şekilde imal etmektir. Köşe hazırlama işleminde de birçok yöntem olmakla beraber yaygın kullanılan birkaç metot vardır. Buradaki işin çıktısı sonucunda istediğimiz köşe formunu ve ölçülerini imal edebiliyor muyuz? Köşe yuvarlamadaki en büyük problem proses kontrolünün zor ve karmaşık olmasıdır. Fonksiyonel olarak işlevini yerine getiren uygulama aslında sanayi uygulamalarının en idealidir. Aşağıda sıralanan köşe hazırlama proseslerinin birçoğu deneysel ya da sanayi uygulaması olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunları şöyle sıralayabiliriz;

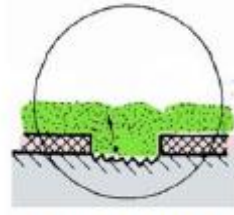
- 1- Mekanik yöntemler
 - 1.a- Su jeti
 - 1.b- Mikro taşlama
 - 1.c- Ultrasonik işleme
 - 1.d- Aşındırıcı akışı ile işleme
- 2- Termal yöntemler
 - 2.a- Elektron bomba yöntemi
 - 2.b- Lazer yöntemi
 - 2.c- Plasma yöntemi
 - 2.d- Elektro şarj yöntemi
- 3- Kimyasal yöntemler
 - 3.a- Kimyasal işleme
 - 3.b- Elektro-kimyasal işleme



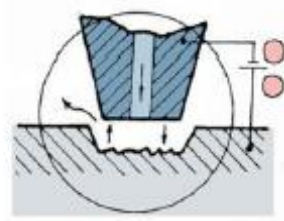
Şekil 3.32. Mekanik yöntemler; a. Mikro abrasif jet işleme; b. Fırçalama; c. Taşlama; d. Magnet finish; e. Su jeti ile işleme; f. Mikro taşlama; g. Ultrasonik işleme; h. Aşındırıcı akışlı işlem



Şekil 3.33. Termal yöntemler; a. Elektron boşalmalı işlem; b. Lazer ışınli işleme; c. Plazma ışınli işleme; d. Elektron ışınli işleme



Kimyasal işleme



Elektrokimyasal işleme

Şekil 3.34. Kimyasal yöntemler; a. Kimyasal işleme; b. Elektrokimyasal işleme

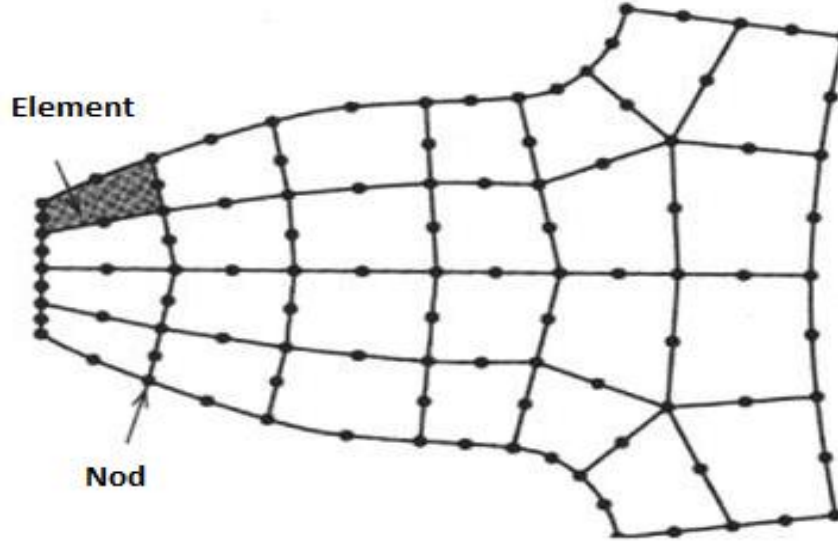


4. MATERYAL VE METOD

4.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Günümüzde birçok mühendislik problemini çözmek için kullanılan sonlu elemanlar yöntemi modellemesi yapılan katıların ve akışkanların belirli sayıda parçaya bölerek çıktılar veren bir mühendislik hesaplama yöntemidir. Bu problemin çözümünde çeşitli matris, diferansiyel denklem ve integral hesapları kullanılmaktadır. Çok karmaşık ve öngörülemeyen fakat sonucunun mühendislikte önem oluşturduğu problemlerin daha basit ve modellenabilir hale getirilmesi olarak da tanımlanabilen sonlu elemanlar yöntemi günümüzde gelişmiş olan bilgisayarlar yardımı ile daha verimli kullanılmaktadır.

Sonlu elemanlar yönteminde sonsuz sayıda olan fiziki varlık, sonlu (eleman) parçalar halinde bölünür ve bu parçalar arasındaki ilişkiler matematiksel olarak ilişkilendirilir. Bu ilişkilerin her bir noktasına nod ismi verilir ve nodlar arasındaki bağa göre çıktılar alınır. Eleman ve nodların oluşturduğu bir bütüne mesh yapısı denilir (Şekil 4.1). Mesh yapısı incelendiğinde çeşitli geometrik düzende ortaya çıkar.



Şekil 4.1. Bir mesh yapısı

Sonlu elemanlar yönteminin işleyişine bakıldığında Çizelge 4.1’de görülmektedir.

Çizelge 4.1. Sonlu elemanlar yönteminin akış şeması

1. Programın Başlatılması
2. Analiz Tipinin Seçilmesi
3. Malzeme Seçimi
4. Geometri Oluşturma
5. Malzeme Özelliklerinin Girilmesi
6. Meshlemenin Yapılması
7. Analiz Şartlarının Girilmesi
8. Çözümleme
9. Sonuç

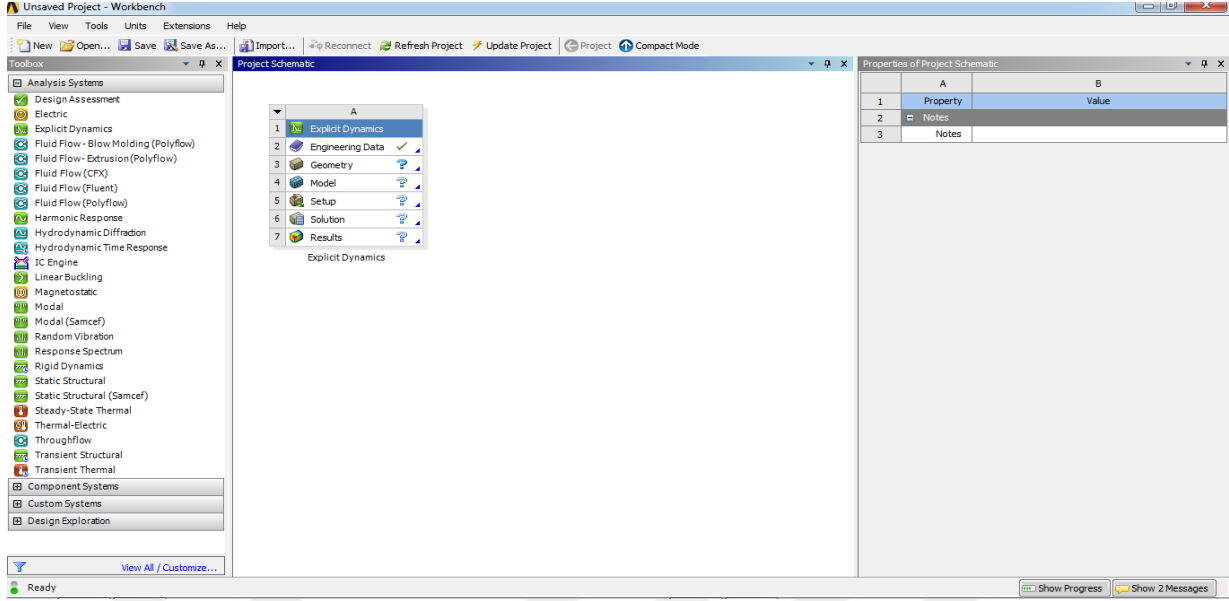
Yukarıdaki şemaya ek olarak analizlerin yapılabilmesi için 3D tasarımda gerekmektedir.

4.1.1 Çalışmada kullanılacak analiz programının belirlenmesi

Sonlu elemanlar yönteminde kullanılan birçok program bulunmasına rağmen en önemlisi ANSYS programıdır. Birçok savunma, uzay-uçak, beyaz eşya ve otomotiv firması bu program yardımı ile çözümler yapmaktadır. Matematiksel altyapısının çok güçlü olması sebebi ile tercih edilmektedir.

Çalışmamızda kullanılan programda ANSYS Workbench olup programın içerisindeki eklenti olan Explicit Dynamic modülü kullanılmıştır. Birçok modül arasından seçilmesinin sebebi ise hareketli parçaların analizi konusunda kullanılmasıdır. Çalışmamızda takımın hareketli olması bu seçimin yapılmasına sebep olmuştur.

ANSYS kullanılarak yapılması planlanan analizde kullanılması düşünülen takımların çizimleri SolidWorks programında çizilecek ve X_T formatında kaydedip ANSYS programında açılması sağlanacaktır. ANSYS programında analiz yaparken bir dizi işlemler takip edilmektedir (Şekil 4.2). Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak çok çeşitli problemlerin sayısal çözüm metodu ile sonuca gitmek mümkün olmaktadır. Bu çalışmada dinamik durum seçeneği ile parça üzerinde oluşan anlık gerilim analizi Explicit Dynamic (Şekil 4.2) modülü ile yapılmıştır.



Şekil 4.2. Explicit Dynamic modülü

4.1.2 Explicit Dynamic

Explicit Dynamic modülüne ayrıntılı olarak bakılacak olursa Ansys Help kısmına göre aşağıdakilerden birisini ya da birkaçını analizini yapmakta kullanılmaktadır.

- Düşük [1 m/s] ile çok yüksek hıza [5000 m/s] kadar darbeli hız uygulamaları,
- Gerilme dalgası yayılımı,
- Yüksek frekanslı dinamik davranışlar,
- Büyük deformasyonlar ve geometrik olarak doğrusal olmayan modelleri,
- Karmaşık sınır şartları koşulları,
- Malzeme hasarı ve kırılması dâhil karmaşık malzeme davranışı,
- Kıvrılma ve ani hareket dâhil olmak üzere doğrusal olmayan yapısal tepki,
- Kaynak ve bağlantı elemanı deformasyonları,
- Katı ve sıvılarda şok dalgası yayılımı,
- Sert ve esnek gövdelerin analizini yapmakta kullanılmaktadır.

ANSYS yardım sayfasına göre modellemeler genellikle 1 saniyenin altında çalıştırılmaktadır. Daha uzun süreler için günlerce analiz sonucunun beklenmesi gerekmektedir.

4.1.3 Explicit Dynamic teorisi

Explicit Dynamic'te hâlihazırda bulunan Lagrangian formülasyonları için, kafes modellediği malzeme ile birlikte hareket eder, bozulur ve kütle korunumu otomatik olarak

sağlanır. Herhangi bir zamanda yoğunluk, bölgenin mevcut hacminden ve ilk kütesinden belirlenebilir. Formülasyonu ise;

$$\frac{\rho_0 \cdot V}{m} = \frac{V}{m} \quad (4.1)$$

Momentumun korunumunu ifade eden kısmi diferansiyel denklemler Newton'un ikinci yasasından şöyle türetilir (Ansys Help);

$$\rho \cdot \ddot{x} = b_x + \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial z} \quad (4.2)$$

$$\rho \cdot \ddot{y} = b_y + \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{yz}}{\partial z} \quad (4.3)$$

$$\rho \cdot \ddot{z} = b_z + \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} \quad (4.4)$$

Enerjinin korunumu şu şekilde ifade edilir:

$$\dot{e} = \frac{1}{\rho} (\sigma_{xx} \cdot \dot{\epsilon}_{xx} + \sigma_{yy} \cdot \dot{\epsilon}_{yy} + \sigma_{zz} \cdot \dot{\epsilon}_{zz} + 2 \cdot \sigma_{xy} \cdot \dot{\epsilon}_{xy} + 2 \cdot \sigma_{yz} \cdot \dot{\epsilon}_{yz} + 2 \cdot \sigma_{zx} \cdot \dot{\epsilon}_{zx}) \quad (4.5)$$

Bu denklemler, modelin her bir elemanı için, önceki zaman adımının sonundaki giriş değerlerine dayanarak çözülür. Çözümün stabilizasyonu ve doğruluğunu sağlamak için küçük zaman artışları kullanılır.

4.2. Analiz Parametrelerinin Belirlenmesi

4.2.1 Analizde kullanılacak malzemenin seçimi

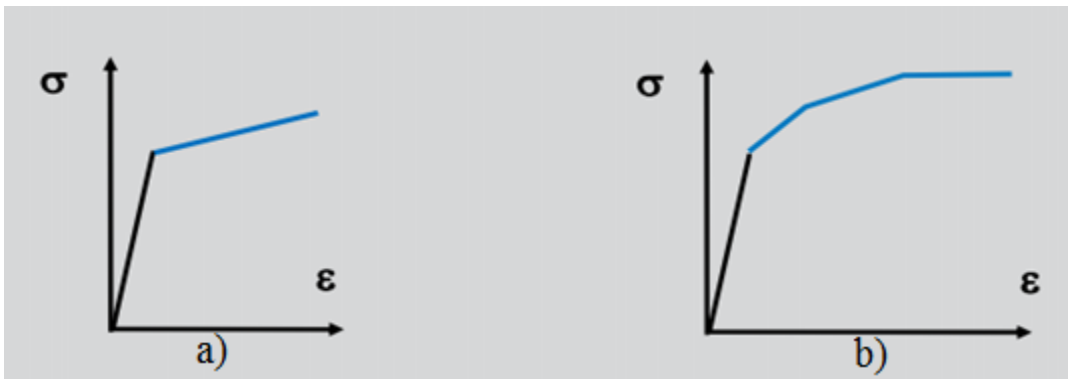
Çalışmamızda kullanılan malzemeler takım için tungsten ve iş parçası için ise yüksek kalite 7000 serisi alüminyum seçilmiştir. Çizelge 4.2'de görüldüğü gibi mekanik özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.2. Analizdeki malzemelerin özellikleri

Materyal	Yoğunluk (Kg/mm ³)	Kayma Modülü MPa	Poisson Oranı	Akma Mukavemeti (MPa)
Alüminyum Alaşımı	2,707e-006	27	0.33	480
Tungsten	19,25e-006	177	0.28	410

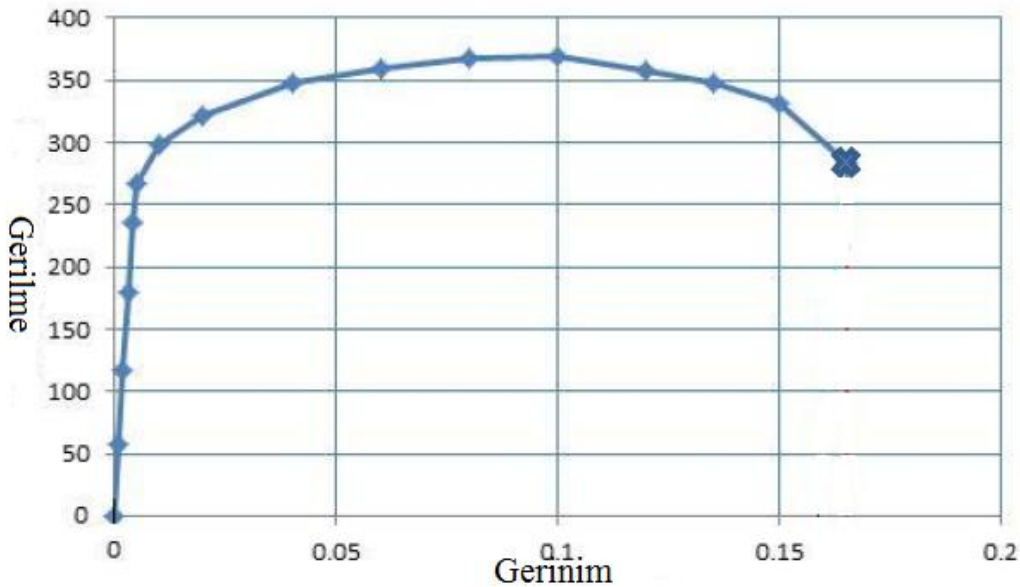
ANSYS programında yapılacak olan analize göre malzeme özelliklerinin seçilmesinden sonra yapılacak olan analizin hangi deformasyon bölgesinde yapılacağı seçilmiştir. Çalışmada talaş kaldırma işlemine dayalı bir işlem olduğundan dolayı yapılan analizde malzeme plastik bölgede incelenmesi gerektiği anlaşılmış ve analize plastik bölge özelliklerini içeren program kütüphanesinde bulunan explicit materialden alüminyum alaşımı seçilmiştir. ANSYS'te bulunan iki farklı gerilme-şekil değişim grafiği plastik deformasyonun tanımlaması için incelenmiştir (Ansys Lecture 4, 2011). Bu grafikler şöyle sıralanabilir;

- 1- Bilinear curve shape
- 2- Multilinear curve shape



Şekil 4.3 ANSYS gerilme – şekil değişim grafiği; a. Bilinear curve shape, b. Multilinear curve shape

Explicit material içerisinde incelendiğinde alüminyum alaşımlarının multiliner grafiğine uygun bir gerinim-gerilme grafiğine uygun olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.4). Bu grafikler ANSYS kütüphanesinden hazır olarak çağırılabilirken belirtildiği gibi explicit materyal kısmından da direkt olarak kullanılabilir.



Şekil 4.4 Alüminyum Gerilme-Gerinim grafiği

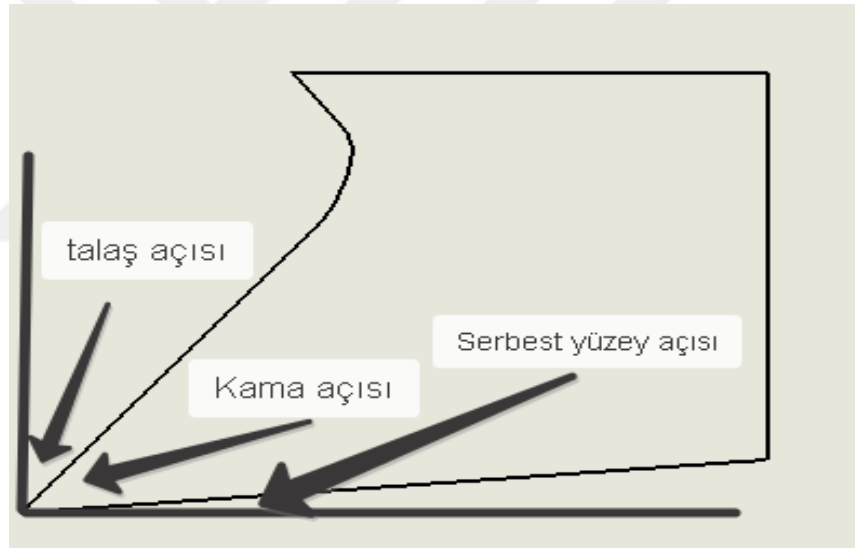
4.2.2 Analizde kullanılacak boyut parametreleri

Seçilen malzemelere göre standartlardan örnek alınarak boyutlandırma yapılmıştır, fakat analizleri sınırlayan nokta boyutların büyümesi ile analizlerin hesaplama sürelerinin artması hatta bilgisayarların analizi yapamaz duruma gelmesidir. Bu yüzden boyutlar, sonuçları objektif ve hızlı verebilecek şekilde seçilmiştir. Buna bağlı olarak iş parçası ölçüleri şöyle olmuştur;

- Kalınlık 2 mm
- Uzunluk 15 mm
- Yükseklik 5 mm olarak belirlenmiştir.

Takımdaki ölçülendirmelere bakıldığında en önemli kısmı açılardır ve bu açılar;

- Talaş açısı 40°
- Kama açısı 45°
- Serbest açısı 5° olarak seçilmiştir. (Şekil 4.5)



Şekil 4.5 Takımın açılarının şematik gösterimi.

Analiz, uluslararası kabul edilen ISO 8688 – 1 1989 standartlarına göre yapılmıştır. Takım hızı 20000 mm/sn olarak belirlenmiş ve talaşlı imalat süresi standartta göre 0,00125 sn olmuştur. Bu süre ise 20000 mm/sn olan takım hızı ile 25 mm'lik parça boyunun kesilmesi için gereken süredir.

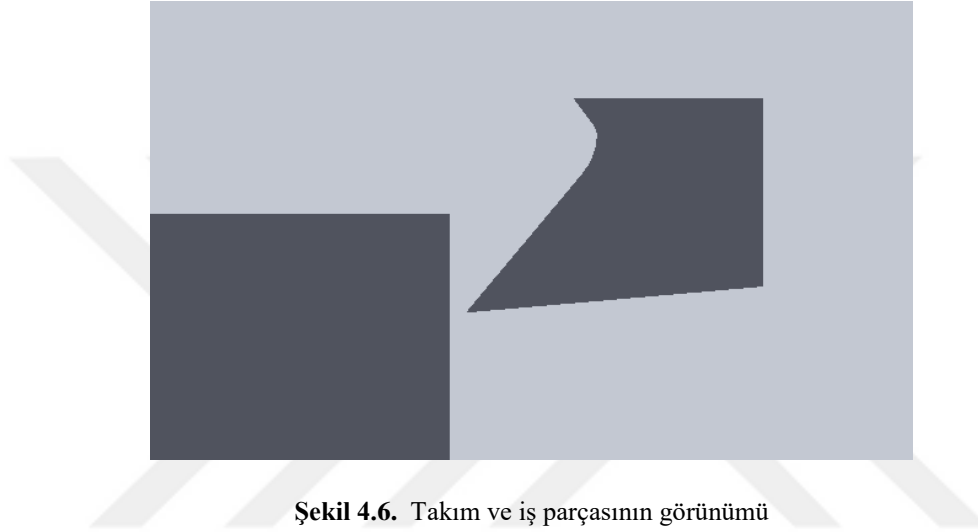
Takımın iş parçasına talaş derinliği yani paso ise 0,6 mm seçilmiştir. Buradaki seçim ampirik formül ile kıyas edilerek minimum paso ölçüsüne göre seçilmiş ve analizde kullanılacak en büyük radüs ölçüsüne göre kontrol edilmiştir (Rodriguez, 2009).

$$h_{min} = r_n \left[1 - \cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\beta}{2}\right) \right] \quad (4.6)$$

Burada r_n analizde uygulanacak köşe hazırlama radüsü ve β serbest yüzey açısıdır. Analizde uygulanacak minimum köşe yuvarlatma 0,008 mm olacağından talaş derinliği en küçük köşe hazırlamaya göre belirlenmelidir.

Buna göre;

$$h_{min} = 0,008 \left[1 - \cos\left(\frac{\pi}{4} - \frac{5}{2}\right) \right] = 0,0091 \text{ mm olmak zorundadır.}$$



Şekil 4.6. Takım ve iş parçasının görünümü

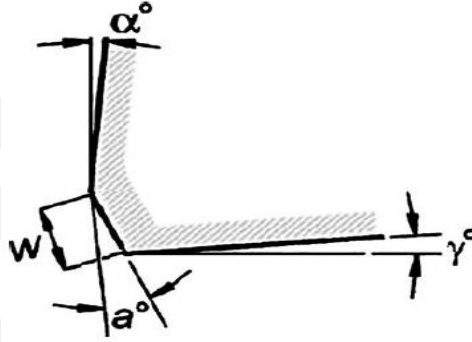
Takım radüs ve pah ölçülerinin belirlenmesinde ise çeşitli kaynaklarda uygulanmış olan deneysel ve teorik verilerden faydalanılmıştır. Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4’de görüldüğü gibi analiz edilecek uç geometrilerinin ölçüleri verilmiştir. Şekil 4.7’de ise pah ölçülerinin yerleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Analizde kullanılacak pah ölçü varyasyonları

Analiz Referans Numarası	Radüs Ölçüsü (μm)
1	8
2	12
3	16
4	20
5	32
6	48
7	64

Çizelge 4.4. Analizde kullanılacak radüs ölçü varyasyonları

Analiz Referans Numarası	Açı (a°)	Pah Hipotenüs Ölçüsü (w)
1	15°	8
2		12
3		20
4	25°	8
5		12
6		20
7	40°	8
8		12
9		20



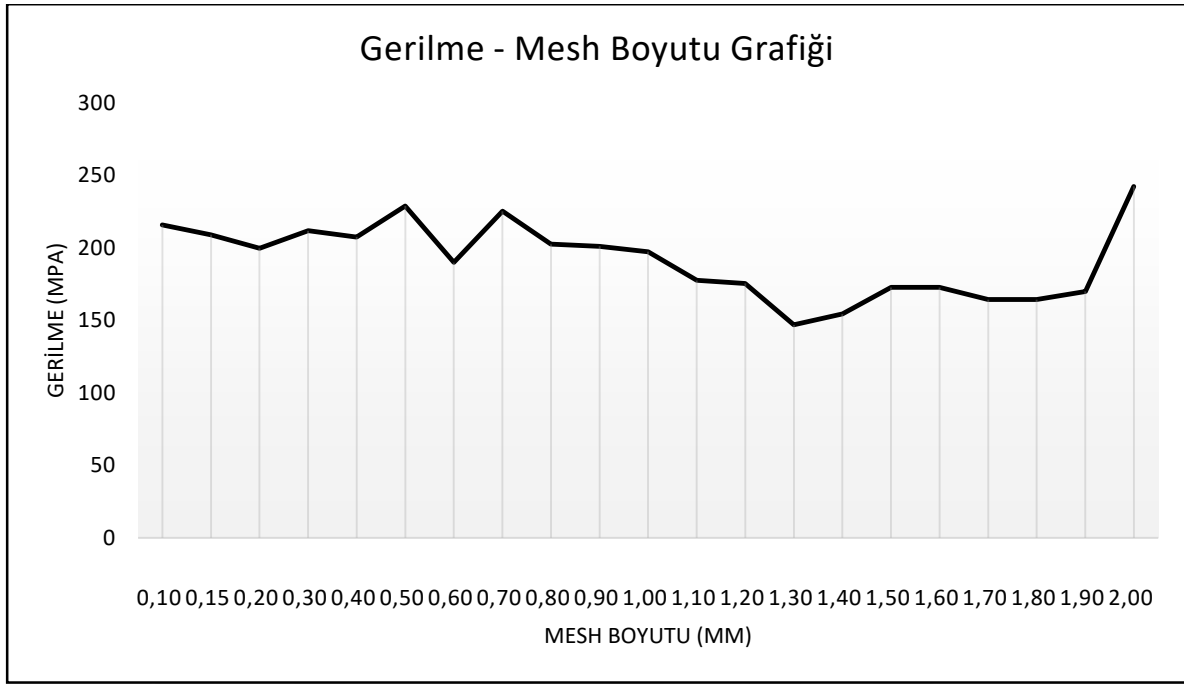
Şekil 4.7. Pah ölçülerinin gösterimi

4.2.3 Analizde kullanılacak eleman ve nod sayılarının belirlenmesi

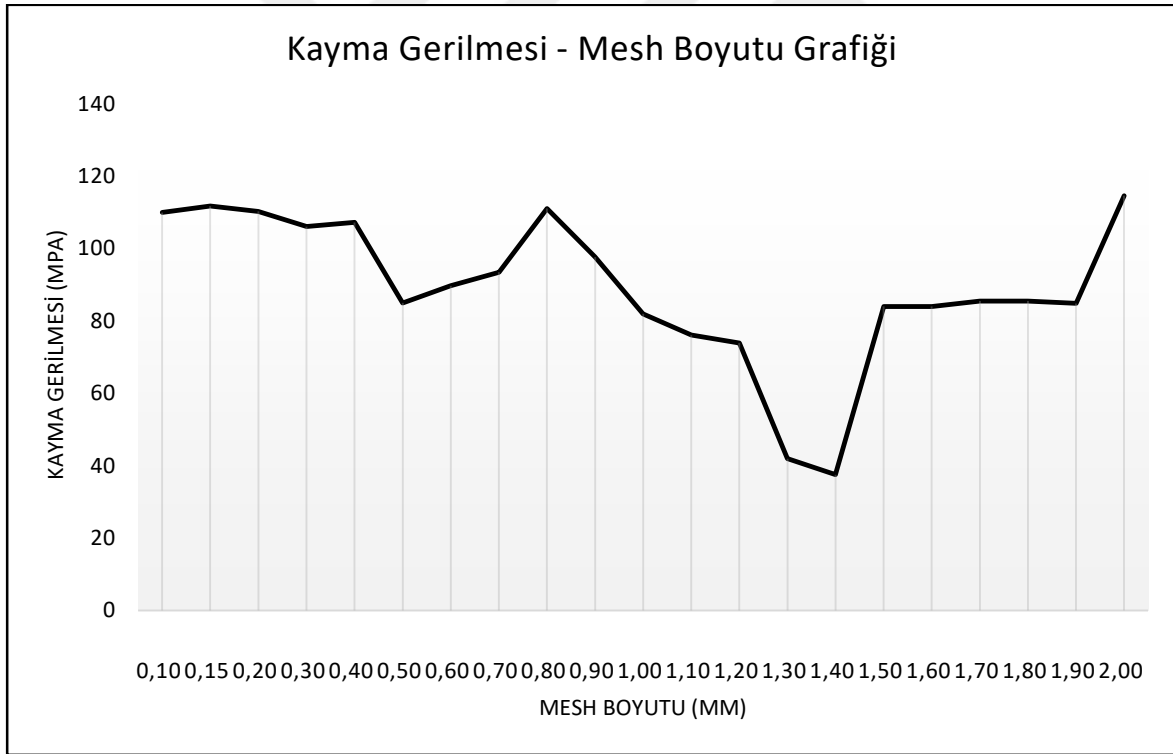
Yapılan analizde nod sayılarının optimizasyonu için 33 adet analiz yapılarak en hızlı çözümlenecek ve en doğru sonucu verecek eleman boyutuna ulaşılması hedeflenmiştir. Burada en küçük mesh boyutuna sahip olan analiz çıktıları referans alınarak diğer analiz sonuçlarında hata sapmaları hesap edilmiştir. Analiz sonuçlarının doğruluğunu kıyaslamak adına hem gerilme sonuçları hem de kayma gerilmesi sonuçları değerlendirilmiştir. Çizelge 4.5'te görüldüğü gibi analiz sonuçlarında hata oranları 0,4 mm seçilen mesh ölçüsünden sonra referans hata oranı olarak seçilen %5 hata oranından fazla çıkmaktadır. Şekil 4.8 ve 4.9'de ise analiz sonuçları grafik üzerinde ifade edilmiştir, grafik incelendiğinde ise 0,4 mm mesh ölçüsünden sonra kayma gerilmesinde %22'lik bir hata oranı görülmektedir. Ayrıca hata oranı bir polinom grafik ile ifade edildiğinde hatanın gittikçe arttığı da gözlemlenmektedir. Yine bu polinomun grafiği incelendiğinde hata oranının 0,4 mm boyutundaki mesh yapısında %5 olduğu gözlemlenmektedir.

Çizelge 4.5. Keskin köşe takımına uygulanan mesh boyutlandırma analiz sonuçları

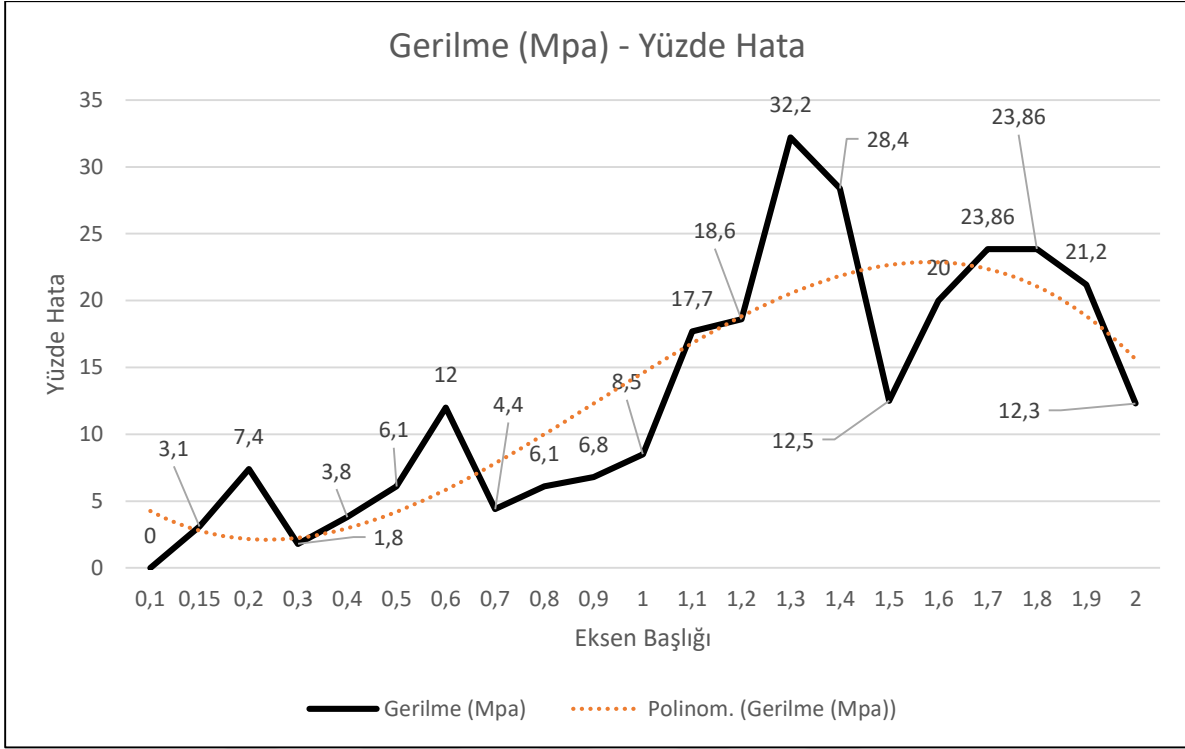
Analiz No	Mesh Boyutu (mm)	Node Sayısı	Maximum Gerilme	Maksimum Kayma Gerilmesi	Max Gerilme Hatası %	Kay. Gerilmesi Hatası %
		Eleman Sayısı				
1	0,1	134445	215,88	109,94	0	0
		123658				
2	0,15	55137	209,14	111,68	3,1221049	1,5826815
		49250				
3	0,2	23056	199,85	110,26	7,4254215	0,2910679
		19740				
4	0,3	7785	211,94	106,06	1,825088	-3,529198
		6238				
5	0,4	3528	207,6	107,21	3,8354641	-2,483173
		2620				
6	0,5	1885	229,04	84,969	-6,095979	-22,7133
		1300				
7	0,6	1425	190	89,678	11,988142	-18,43005
		964				
8	0,7	928	225,41	93,429	-4,41449	-15,01819
		576				
9	0,8	720	202,67	111,06	6,1191403	1,0187375
		435				
10	0,9	584	201,21	97,638	6,7954419	-11,18974
		342				
11	1	368	197,47	81,935	8,5278859	-25,47299
		186				
12	1,1	330	177,64	76,077	17,713545	-30,80135
		164				
13	1,2	312	175,62	73,908	18,64925	-32,77424
		154				
14	1,3	255	146,98	41,924	31,915879	-61,86647
		120				
15	1,4	240	154,47	37,52	28,446359	-65,87229
		112				
16	1,5	225	172,83	83,972	12,477845	-23,62016
		104				
17	1,6	225	172,83	83,972	19,941634	-23,62016
		104				
18	1,7	180	164,37	85,497	23,860478	-22,23304
		78				
19	1,8	180	164,37	85,497	23,860478	-22,23304
		78				
20	1,9	153	170,04	84,816	21,234019	-22,85246
		64				
21	2	117	242,51	114,56	-12,33556	4,2022922
		40				



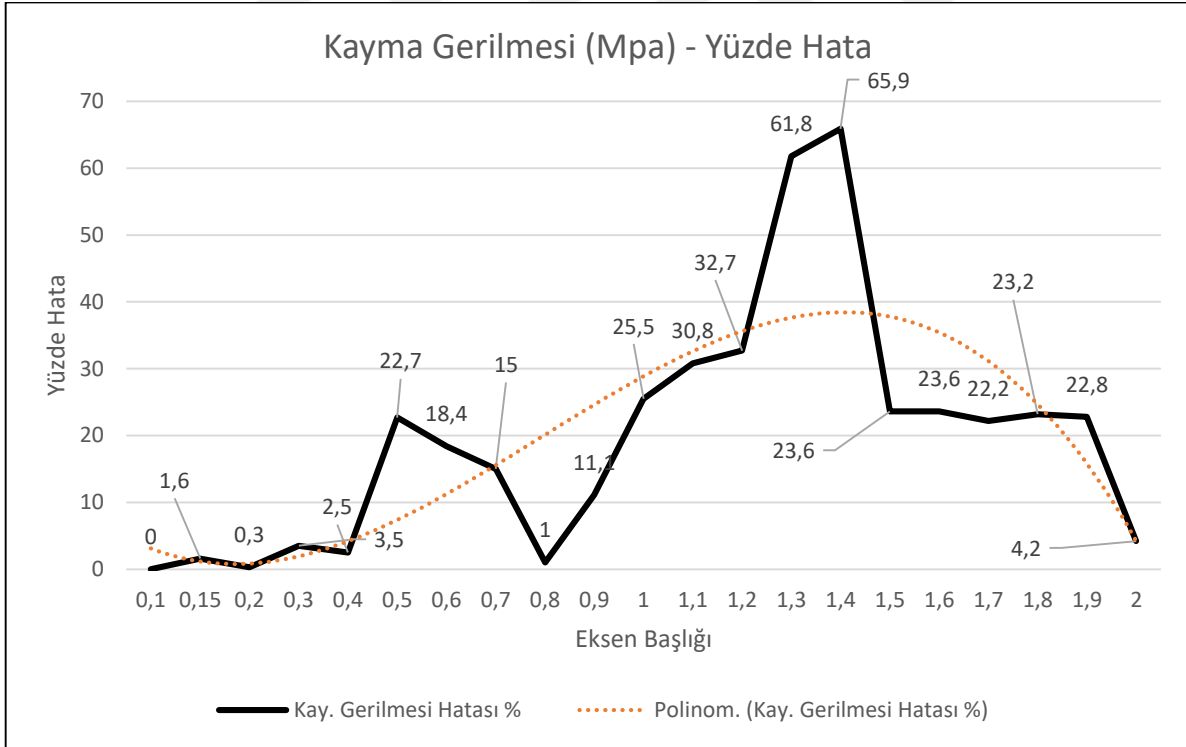
Şekil 4.8. Mesh boyutu – gerilme dalgalanmasını gösteren grafik



Şekil 4.9. Mesh boyutu – kayma gerilmesi dalgalanmasını gösteren grafik



Şekil 4.10. Keskin köşe takımına uygulanan mesh boyutlandırma gerilme analiz sonuçları grafiği



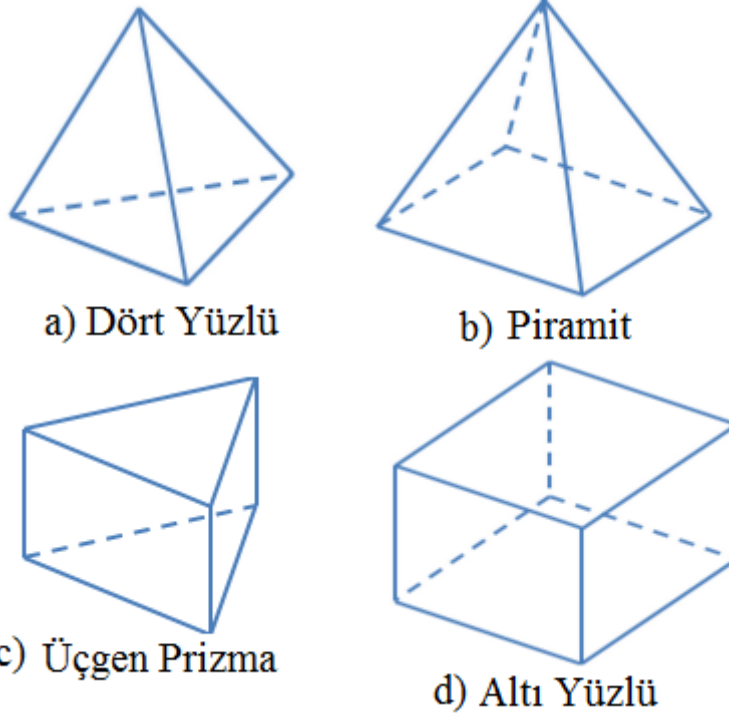
Şekil 4.11. Keskin köşe takımına uygulanan mesh boyutlandırma kayma gerilme analiz sonuçları grafiği

4.2.4 Analizde kullanılacak eleman tipinin belirlenmesi

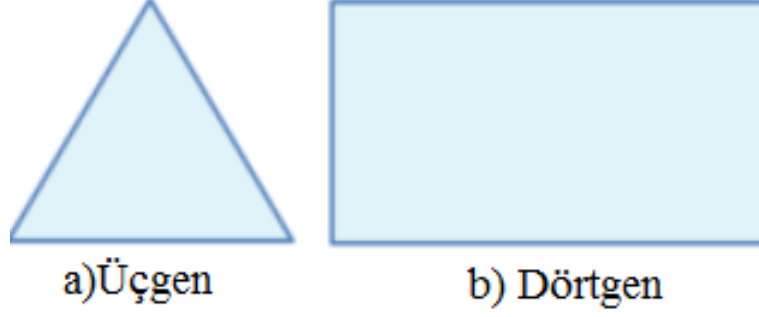
Çalışmamızda yapılacak analizler için mesh yapısının optimizasyonu analizin doğruluğu için tek başına yeterli olmayıp doğru eleman tipinin belirlenmesi de sonuçların gerçekliği için önemlidir.

Eleman yapıları genel anlamda iki başlıkta değerlendirilmektedir. Bunlar;

- a. İki Boyutlu Elemanlar
 - a.1. Üçgen
 - a.2. Dörtgen
- b. Üç Boyutlu Elemanlar
 - b.1. Dört yüzlü
 - b.2. Piramit
 - b.3. Üçgen prizma
 - b.4. Altı yüzlü, şeklinde sıralanabilir.



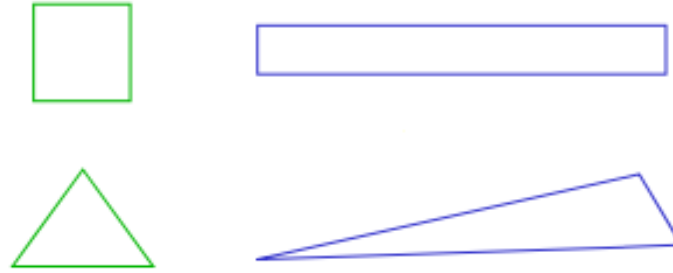
Şekil 4.12. Üç boyutlu eleman tipleri; a) Dört Yüzlü, b) Primit, c) Üçgen Prizma, d) Altı Yüzlü



Şekil 4.13. İki boyutlu eleman tipleri; a) Üçgen, b) Dörtgen

Yapılan analizler üç boyutlu olduğundan dolayı üç boyutlu eleman tipleri üzerinde durulmuş ve üç boyutlu analizlerde altı yüzlü eleman tipinin doğruluğu en yüksek olduğu literatürde belirtilmiştir (Bern, M., Plassmann, P, 2000). Bunun sebebi ise en fazla nod sayısına sahip olup enerji denklemi sayısının diğer eleman tiplerine göre fazla olduğu belirtilmiştir. Ayrıca ANSYS programının yazılım firmasının ANSYS guide dokümanlarından elde edilen bilgilere göre mesh yapısının kalitesini açıklayan kitapçıkta mesh istatikleri kısmından mesh kalitesi de göz önünde bulundurularak seçilen mesh yapısının maksimum sayıda olacak şekilde analizler yapılmıştır.

Mesh kalitesi kitapçığına göre swekness (eğiklik) miktarının minimum seviyede olması gerektiği vurgulanmıştır (Şekil 4.13). Mesh kalitesi de 0,1 mm ve 0,4 mm mesh boyutu için kıyaslandığında yüzde 1'lik bir fark olduğu ortaya çıkmıştır.

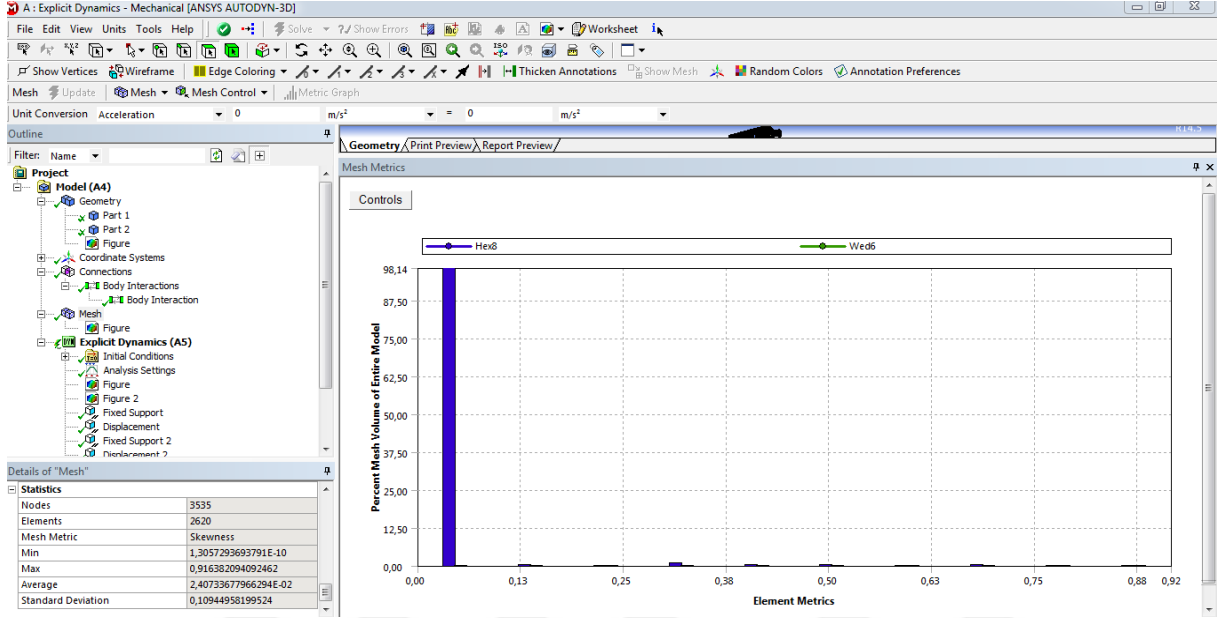


Şekil 4.14. Mesh yapılarının şekil değişimi

Şekil 4.12 da görüldüğü gibi eğiklik durumuna göre mesh yapısının kalitesini ortaya koyan gösterge çizelgesi gösterilmiştir. Şekil 4.14 de ise çalışmada yapılan analizlerin meshlerinin eğiklik oranı verilmiştir. Eğiklik oranının skalasına göre 0–0,25 çok iyi kalite olarak karşımıza çıkmaktadır (ANSYS Mesh Quality, 2009).



Şekil 4.14. Mesh yapılarının kalite skalası



Şekil 4.15 0,4 mm boyutlu mesh ile yapılan analiz mesh kalitesi

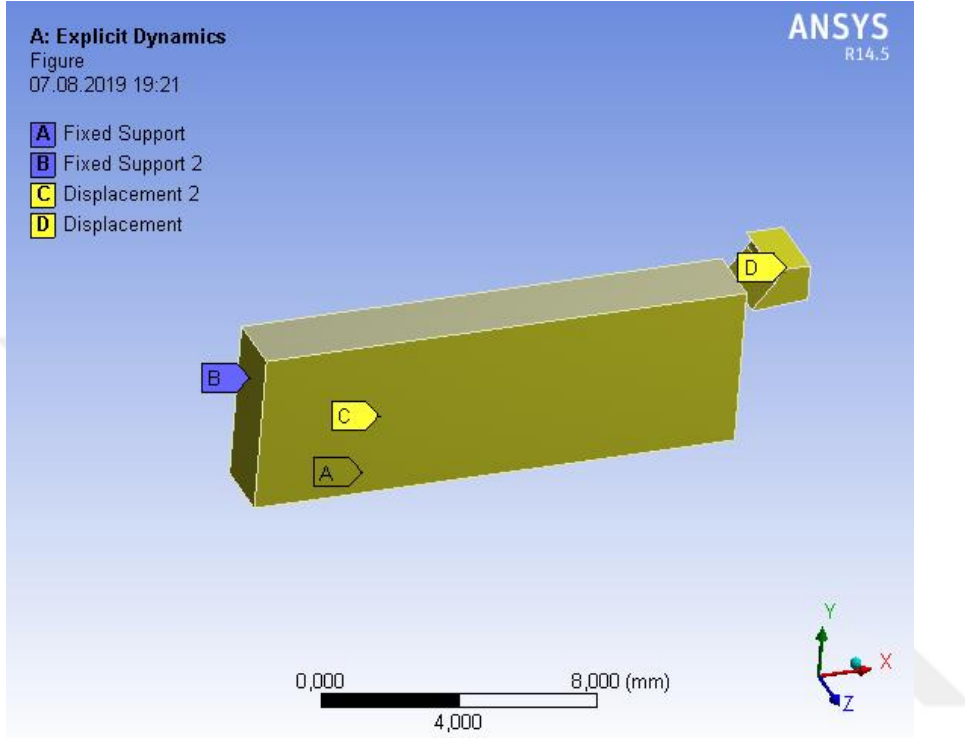
Analiz sonuçlarının mesh kalitesi incelendiğinde oluşturulan meshlerin %98,14'ü en iyi mesh kalitesi bölgesine girmektedir.

4.2.5 Analiz sınır şartlarının belirlenmesi

Çalışmamızda analiz sınır şartlarının belirlenmesi analiz edilecek iş parçasının ve takımın gerçek uygulama şartları düşünülerek programa tanımlanmıştır. Analizde ki kurguda parçanın bir mengene ile tutulduğunu varsayarak takımın geldiği doğrultudaki dik yüzeylerin mengene ile sıkıldığı düşünülmüştür. Fakat bu yüzeylerden talaşın uzaklaşması gerektiğinden dolayı sadece Z doğrultusunda sabitlenmiştir. X ve Y doğrultusunda hareketi engellemek için ise parça tabanı ve takımın geldiği yüzeyin karşısı sabitlenerek üç eksen de parça sabitlenilmiştir (Şekil 4.16).

Takımın sınır şartlarında ise iki yöntem kullanılmıştır. İlk yöntem parça gerilmelerin belirlenmesinde takımı rijit kabul ederek takım esnemelerinin gerilmelerdeki etkisini ortadan kaldırarak net bir veri almak için kullanılmıştır. İkincisinde ise takımın tamamını kullanmak

yerine boyutu küçülterek analiz süresini kısaltmak amacı ile takım kesici kısmından parça çıkarılması sureti ile analiz yapılmıştır. Burada takımdan çıkartılan parçanın takım içinde nasıl sabit kalması gerekiyorsa o şekilde sınır şartları belirlenmiştir. Yani, yan, üst ve arka yüzleri takım hareketi boyunca deformasyon olmayacak şekilde sınır şartı belirlenmiştir.



Şekil 4.16. Sınır Şartlarının gösterimi

Analiz için girilen sürtünme katsayısı ise ASTM Specialty Handbook: Tool Materials kitabından alınmıştır. Alüminyum alaşımlarının talaşlı işlenmesinde sürtünme katsayısının 0,2 ile 0,55 aralığında bir değer seçileceği belirtilmiştir. Analizlerde kullanılan sürtünme değeri ise 0,25 seçilmiştir. Köşe hazırlama sonucu takım yüzeyinin pürüzlülüğünün azaldığı düşünüldüğünde 0,2 sürtünme katsayısına daha yakın olacaktır.

Analiz bitiş süresinin belirlenmesinde ise analizi yapılan malzemenin ses hızı ve analiz yapılacak iş parçasının uygulanacak hızın doğrultusundaki uzunluk ile ilişkili aşağıdaki formül (4.7) ile bulunmuştur (DYNA Support, 2019).

$$\Delta t \leq f \cdot \left[\frac{h}{c} \right]_{min} \quad 4.7$$

f; güvenlik katsayısı

c; malzeme ses hızı

h: analiz yapılan doğrultu uzunluğu

Ses hızı f alüminyum malzeme için 5000'dir ve güvenlik katsayısı 1 ile 1,5 arasında alınması önerilmektedir.

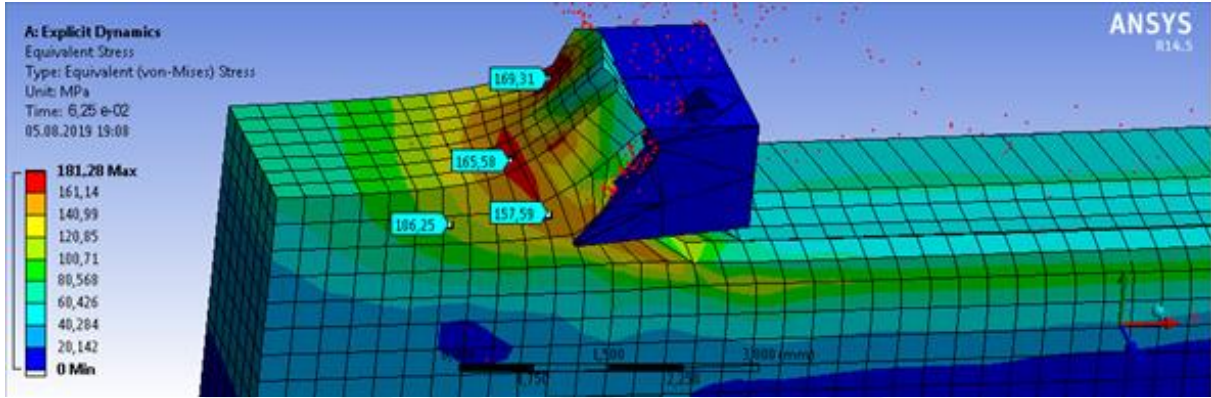
$$1,2 \cdot \left[\frac{15}{5000} \right]_{min} = 0,0036$$

İşlem sonucunda analiz süresi 0,0036 olarak çıkmıştır ve analiz girdisi olarak işlenmiştir.



5. ANALİZ SONUÇLARI

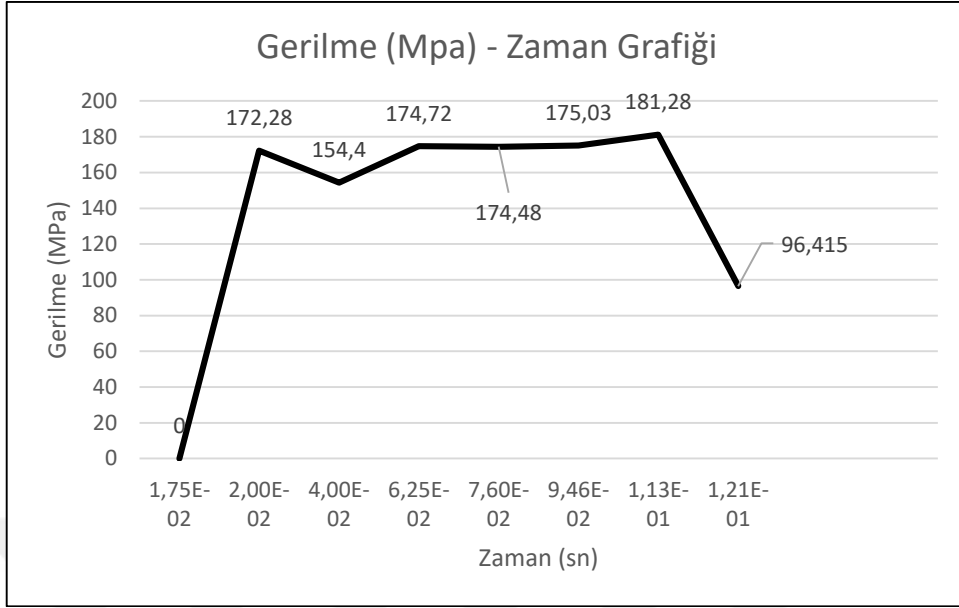
Yapılan dinamik analizler sonucunda bulunan kesici takım ve iş parçasında oluşan deformasyonlar Şekil 5.1'de görülmektedir. Analizlerde ki modeller, mesh yapıları ve sınır şartları aynı olduğundan dolayı materyal ve metotlar kısmında verilmiştir. Takımın ve iş parçasının analiz sonuçları iki bölüme ayrılmıştır.



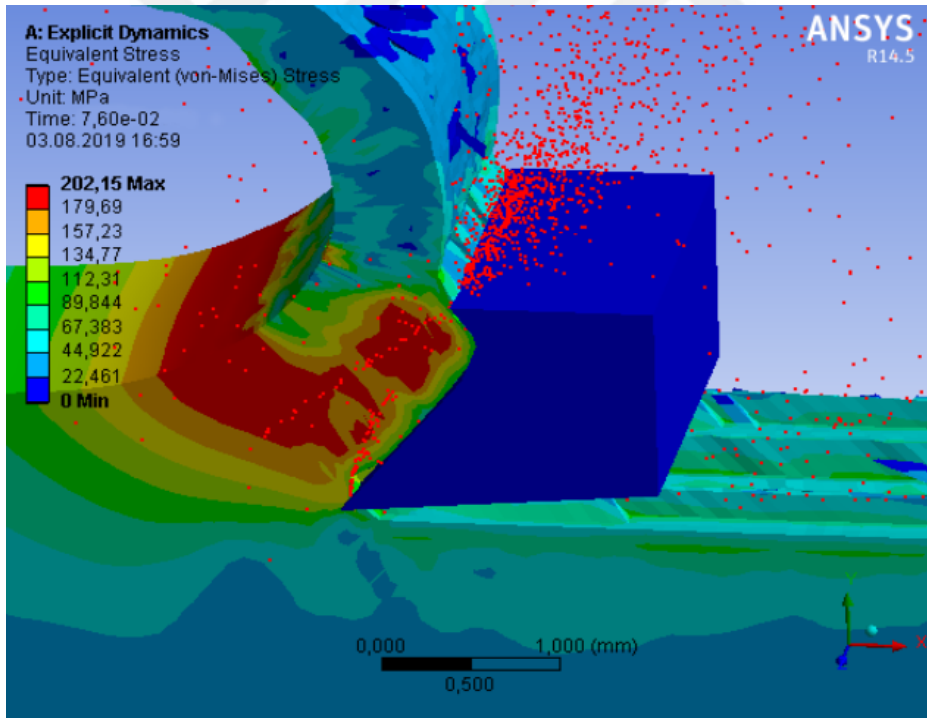
Şekil 5.1. Analizlerle ilgili gerilme örneği

5.1 ve 5.2 başlıklı bölümlerde analiz sonuçları ile ilgili grafik ve görseller paylaşılmıştır. Grafikler değerlendirildiğinde kayma gerilmeleri ve iş parçası gerilmeleri görülmektedir. Kayma gerilmeleri analizleri sonuçları, kaynakça kısmında paylaşılan formüllerin çalışma amacını desteklemek için çalışma içerisine dâhil edilmiştir. Bu analizlerin minimum ve maksimum değerleri serbest yüzey aşınmasının değerlendirilmesi için analiz edilmiştir. İş parçalarının gerilmelerinin dâhil edilme sebebi ise takımın krater aşınmasına sebep olan gerilme olarak literatürde karşımıza çıkmasıdır.

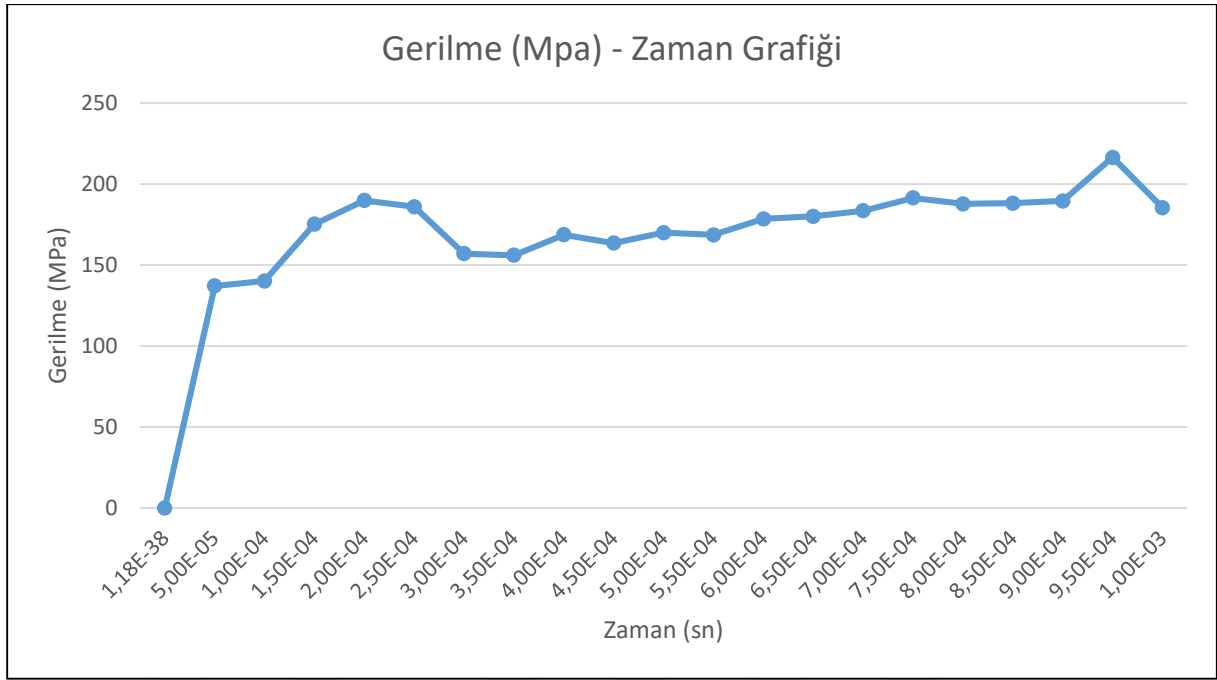
5.1 İş Parçasına Ait Gerilmelerin Grafik ve Görselleri



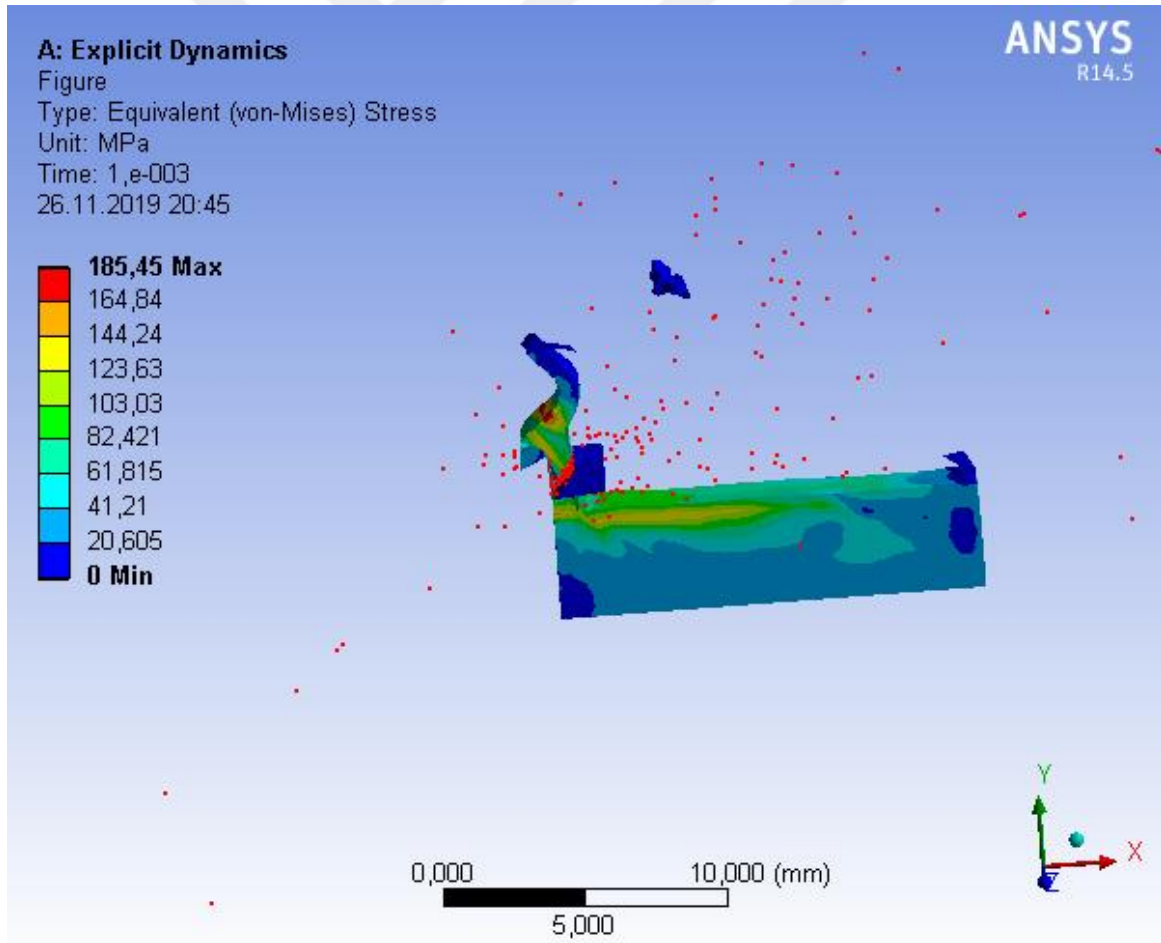
Şekil 5.2. Köşe hazırlaması uygulanmayan takımın iş parçasının zaman – gerilme grafiği



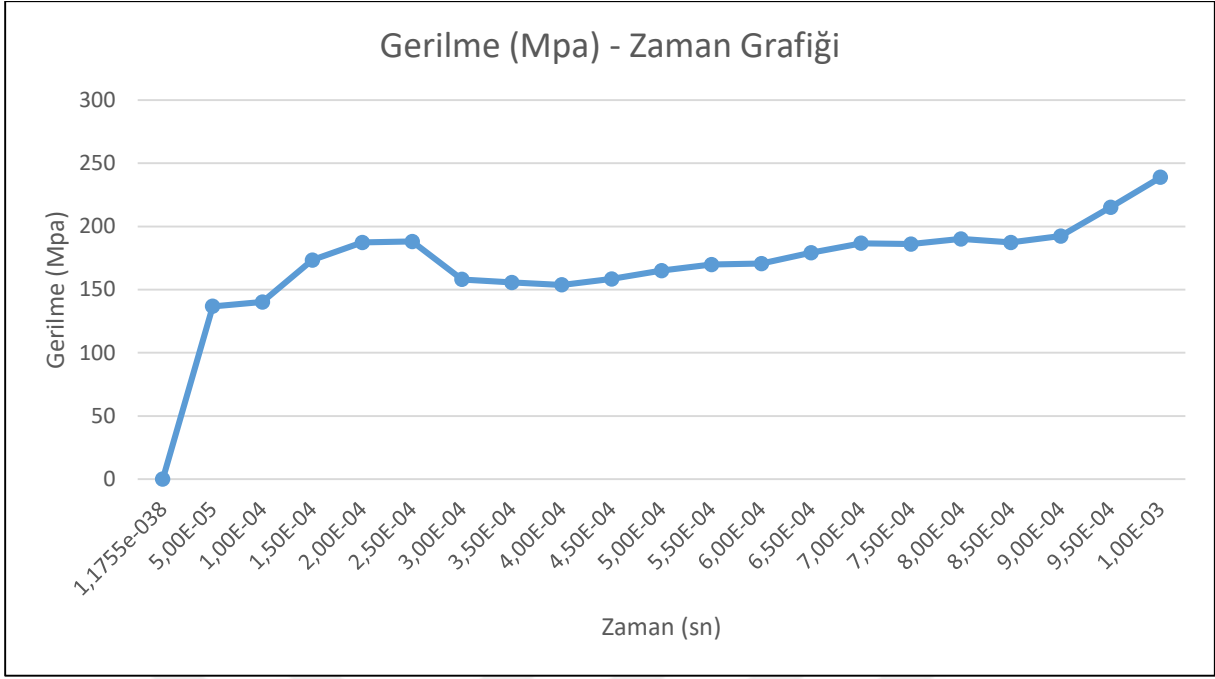
Şekil 5.3. Köşe hazırlaması uygulanmayan takıma ait iş parçasının gerilme durumu



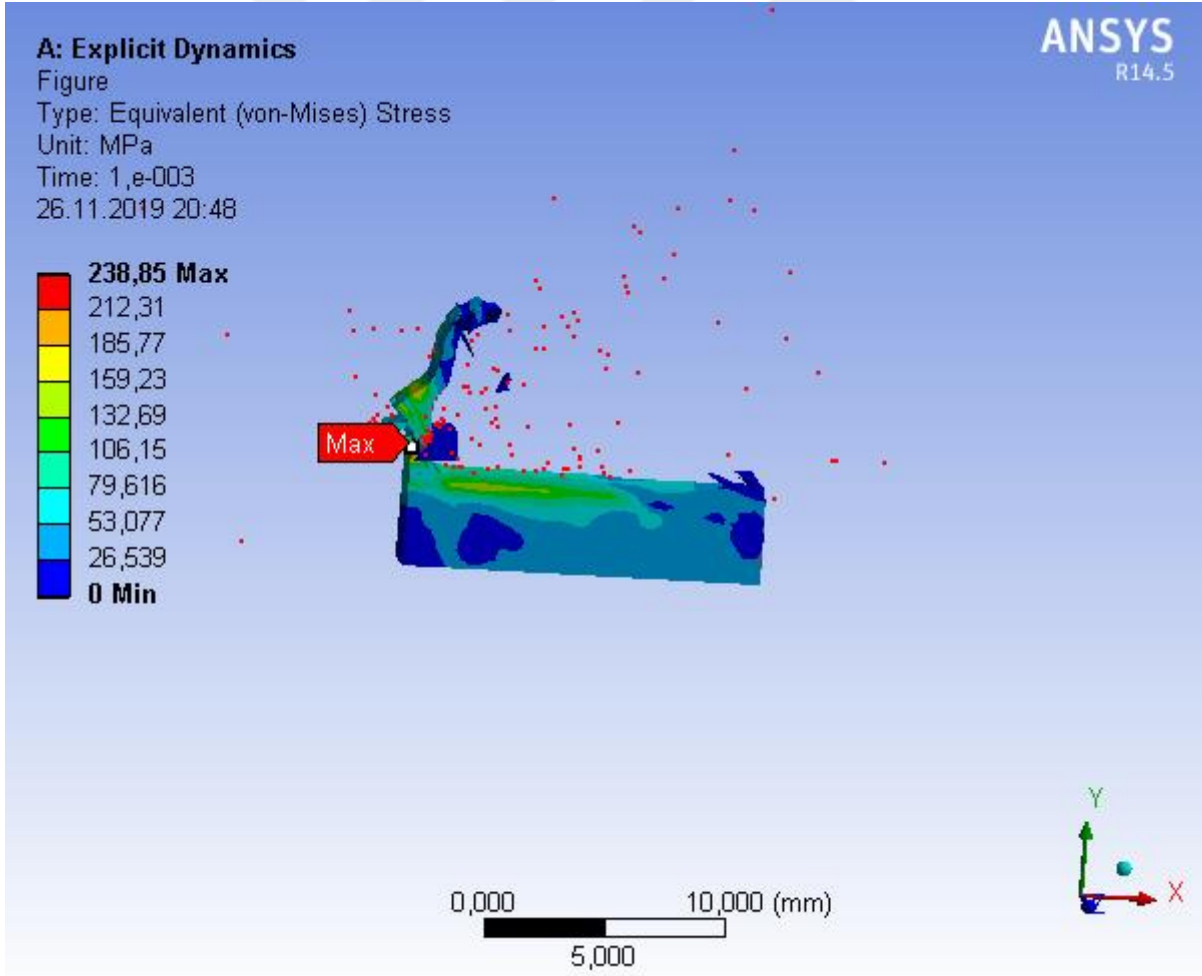
Şekil 5.4. Pah açısı 15 derece ve hipotenüsü 8 mikrometre olan takımın iş parçası gerilmesi



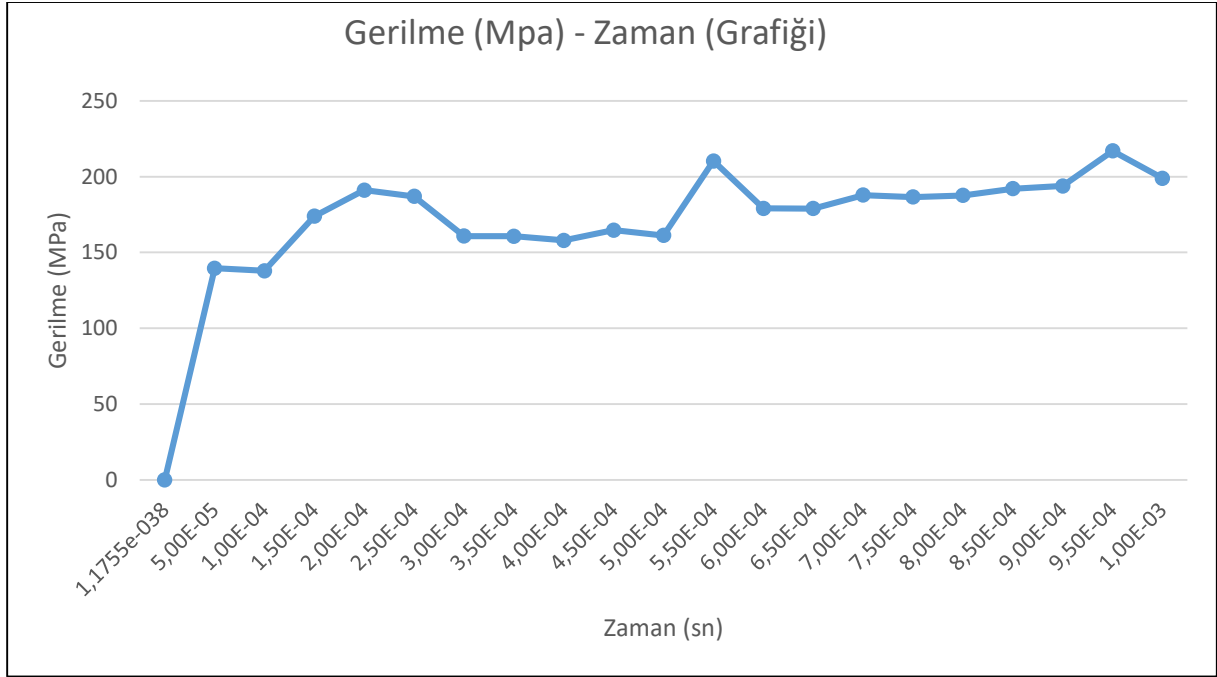
Şekil 5.5. Pah açısı 15 derece ve hipotenüsü 8 mikrometre olan takımın iş parçası analiz görseli



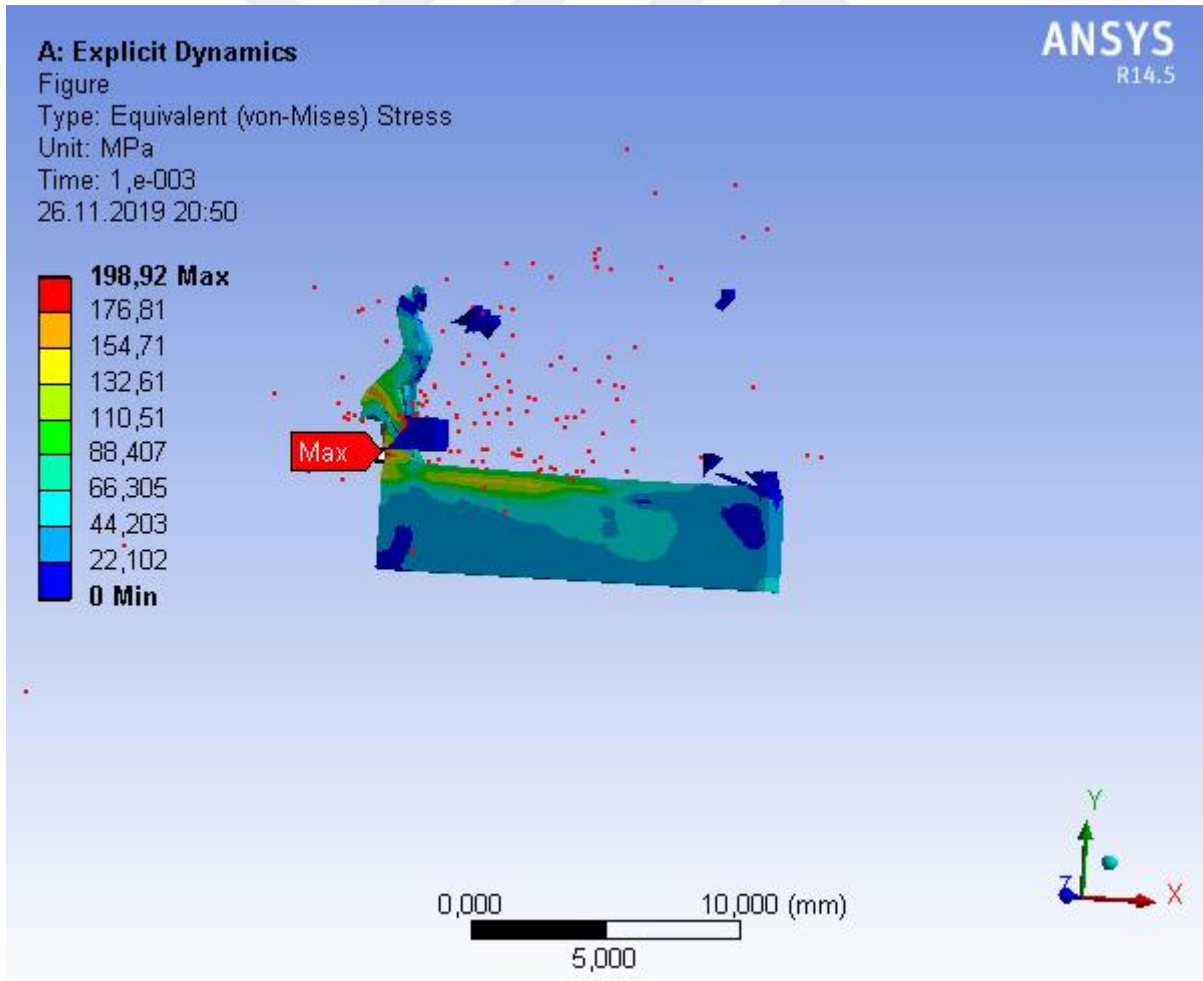
Şekil 5.6. Pah açısı 15 derece ve hipotenüsü 12 mikrometre olan takımın iş parçası gerilmesi



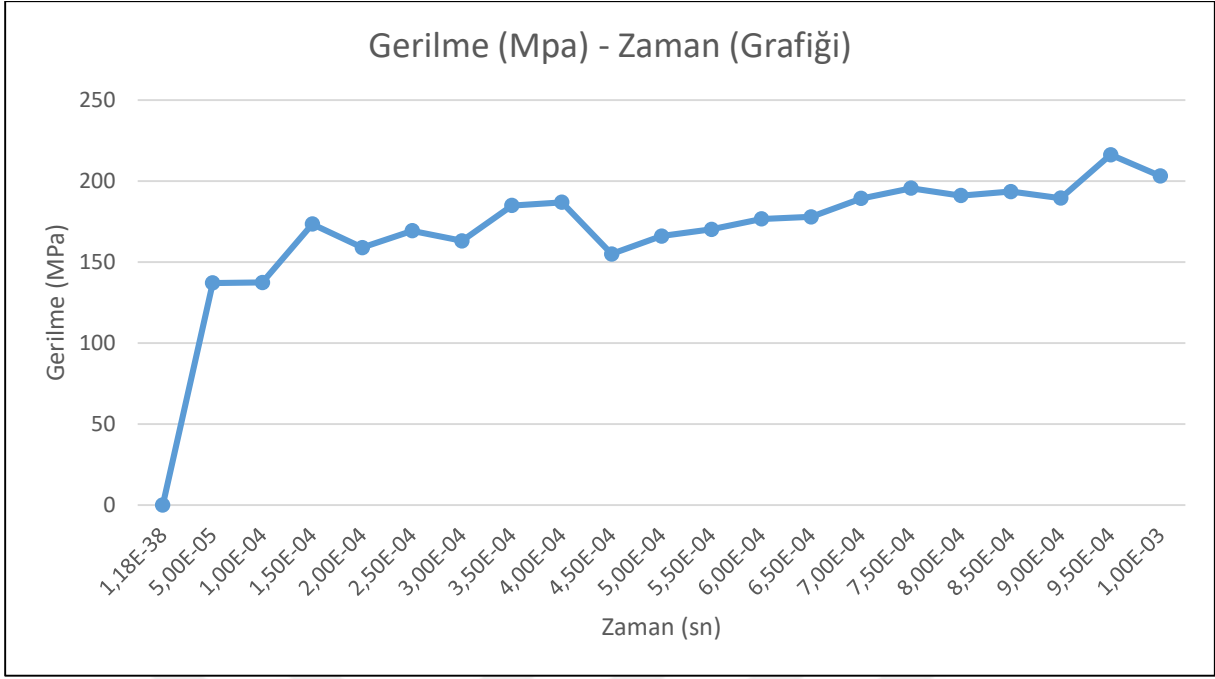
Şekil 5.7. Pah açısı 15 derece ve hipotenüsü 12 mikrometre olan takımın iş parçası analiz görseli



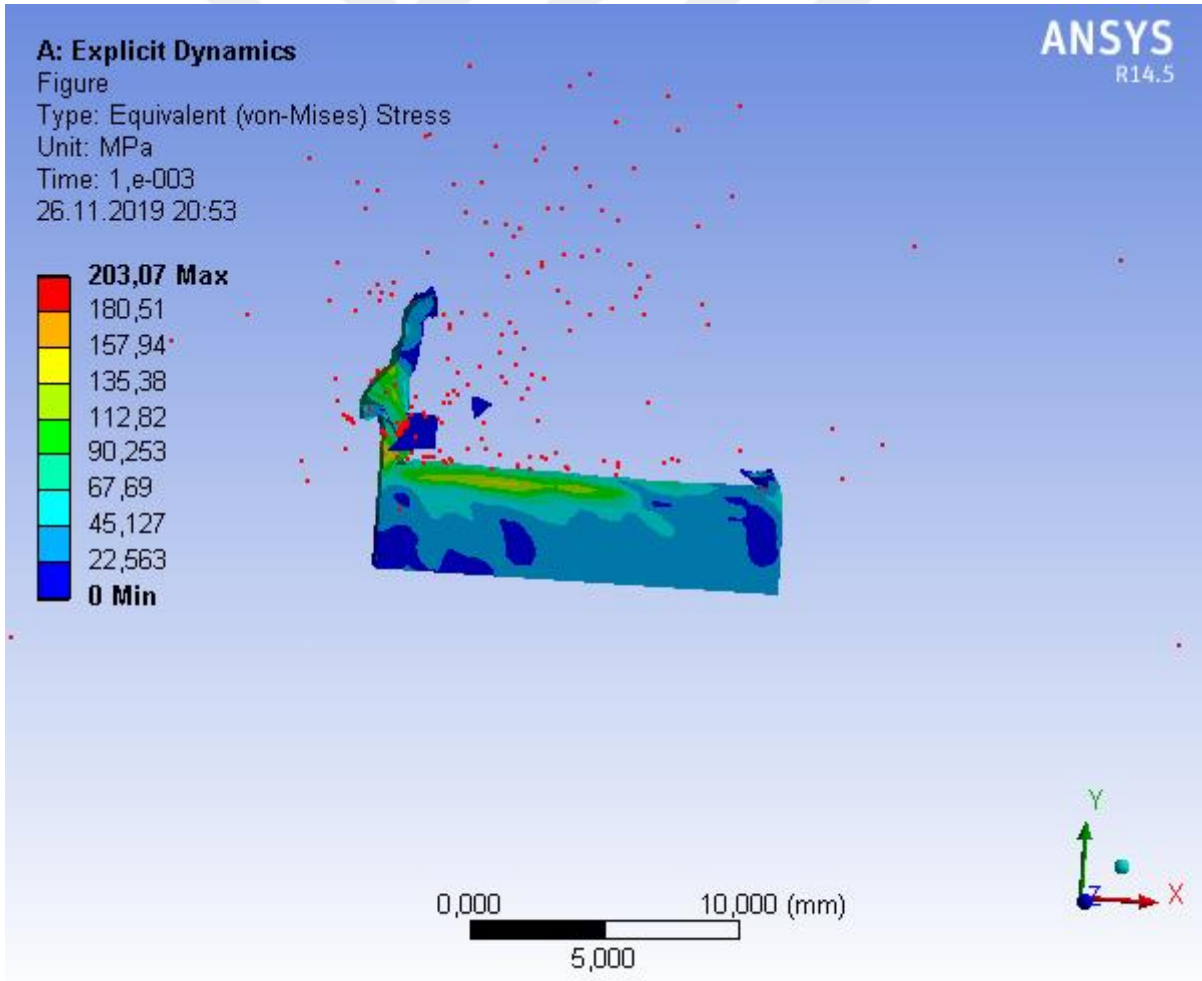
Şekil 5.8. Pah açısı 15 derece ve hipotenüsü 20 mikrometre olan takımın iş parçası gerilmesi



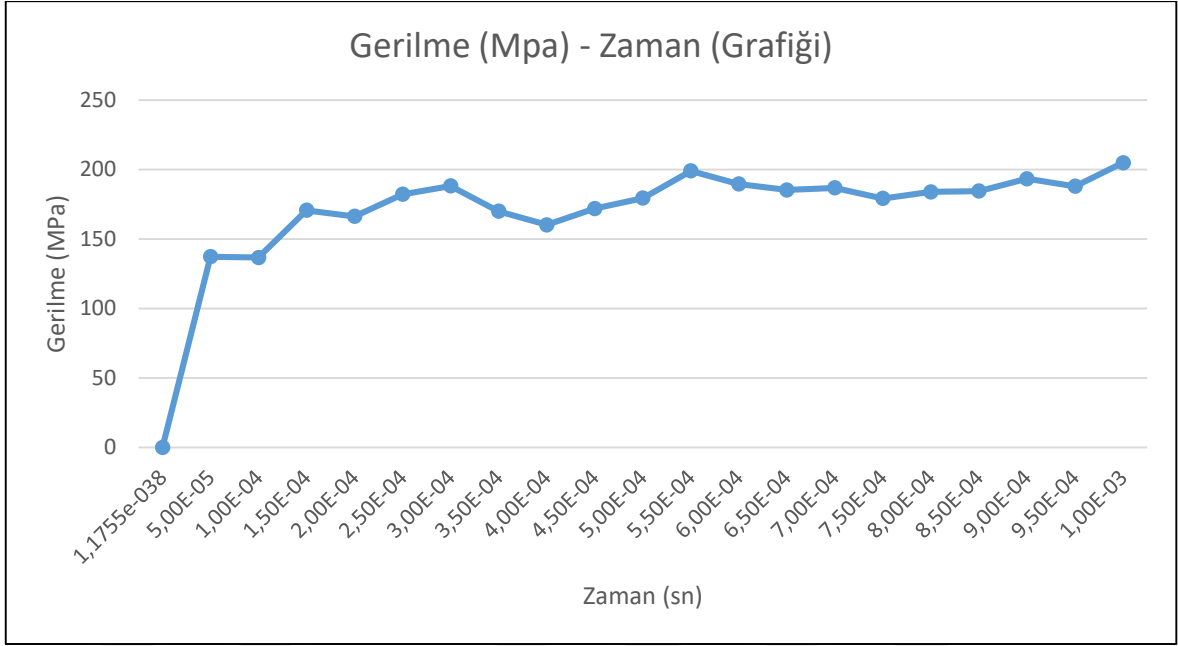
Şekil 5.9. Pah açısı 15 derece ve hipotenüsü 20 mikrometre olan takımın iş parçası analiz görseli



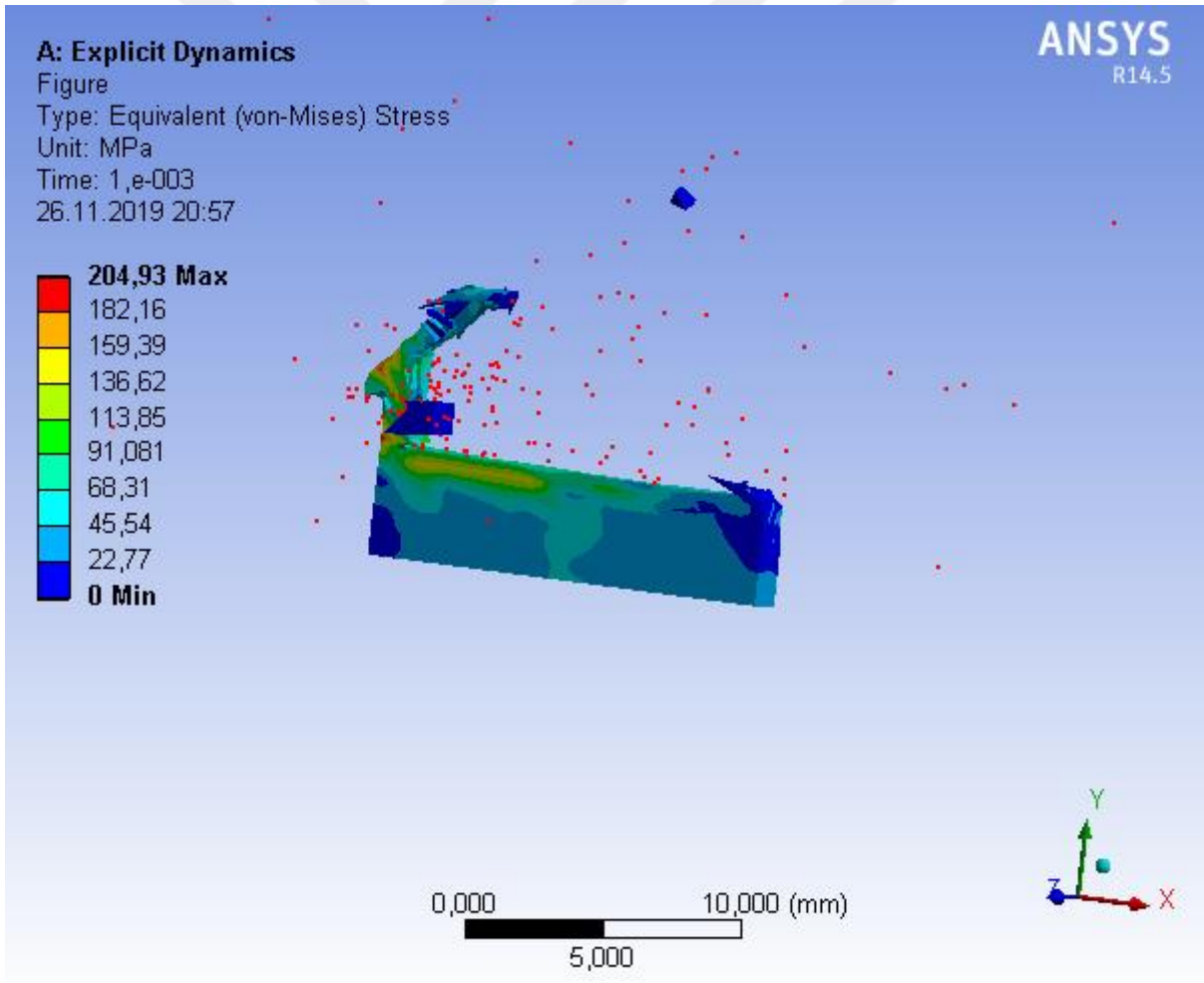
Şekil 5.10. Pah açısı 25 derece ve hipotenüsü 8 mikrometre olan takımın iş parçası gerilme analizi



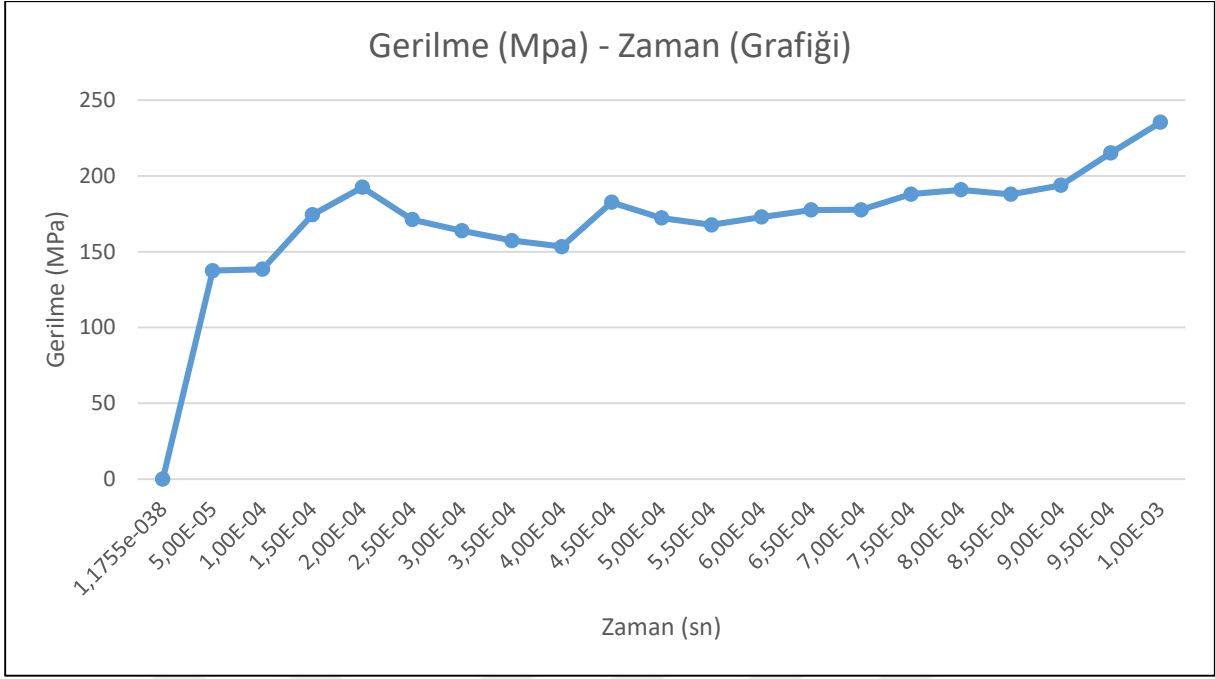
Şekil 5.11. Pah açısı 25 derece ve hipotenüsü 8 mikrometre olan takımın iş parçası analiz görseli



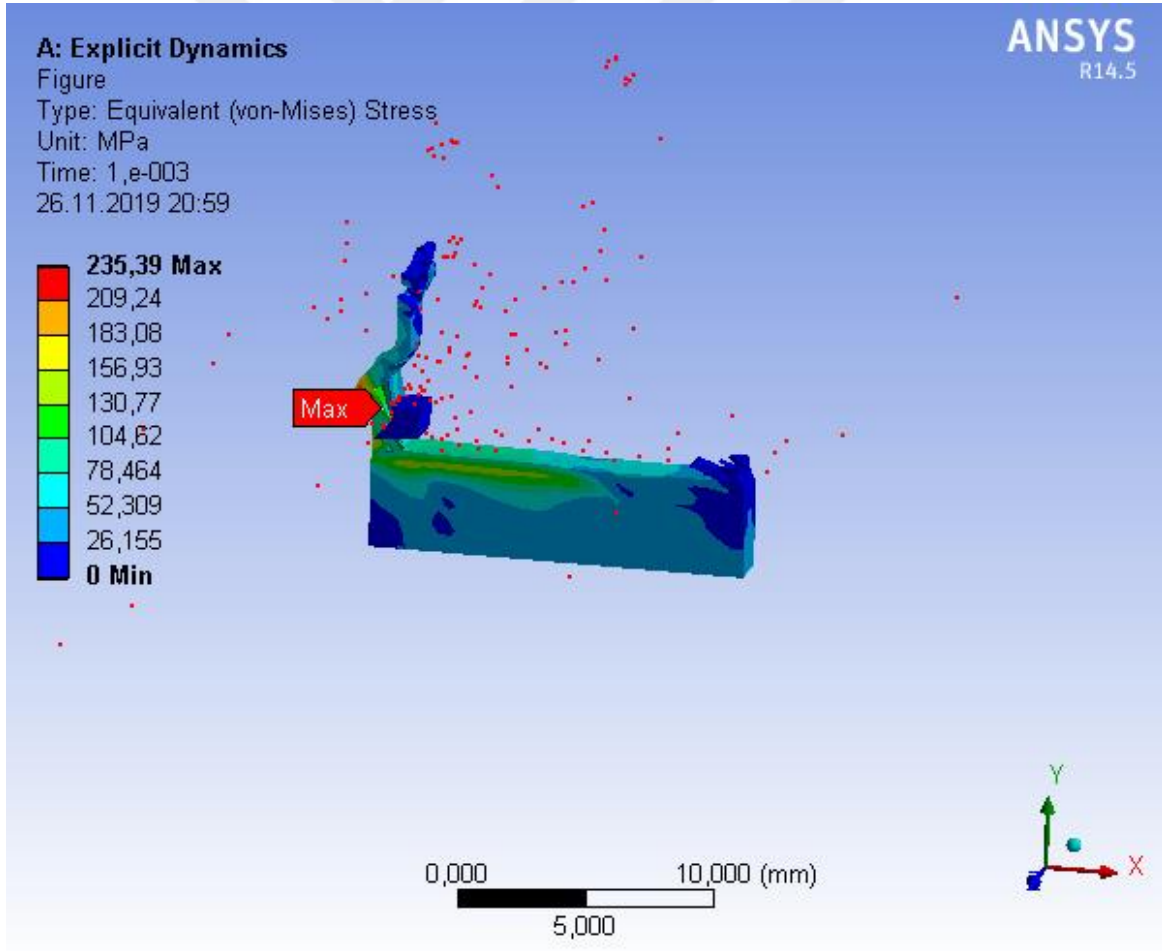
Şekil 5.12. Pah açısı 25 derece ve hipotenüsü 12 mikrometre olan takımın iş parçası gerilme analizi



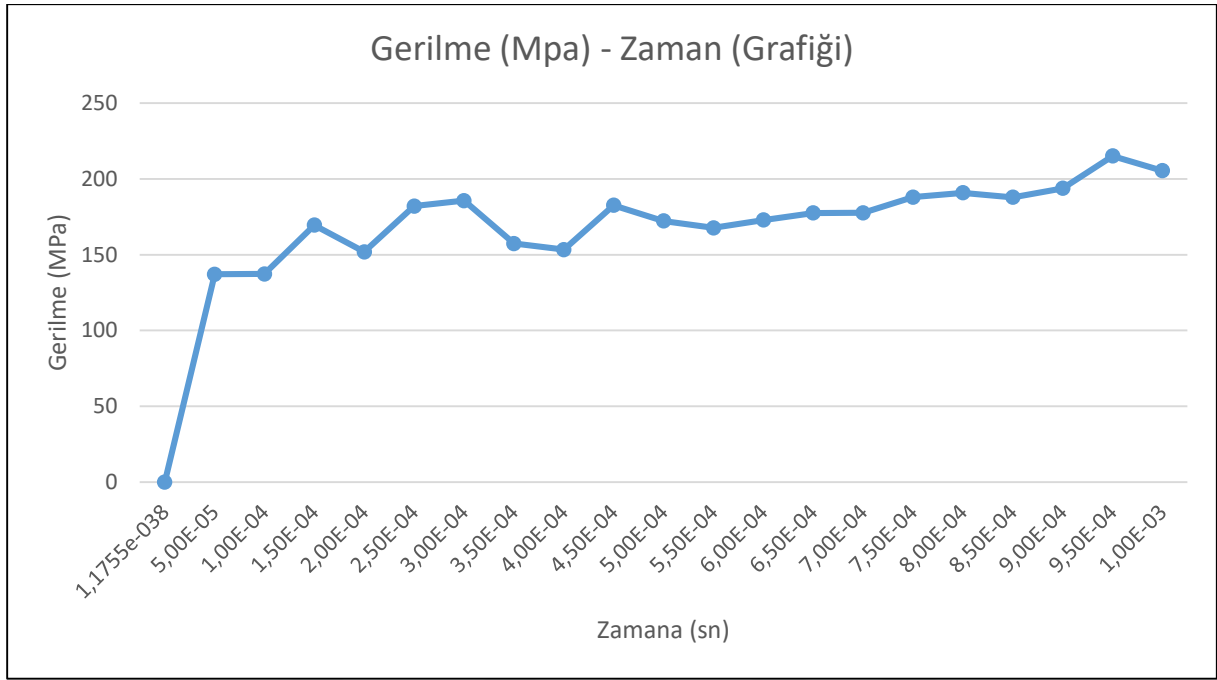
Şekil 5.13. Pah açısı 25 derece ve hipotenüsü 12 mikrometre olan takımın iş parçası analiz görseli



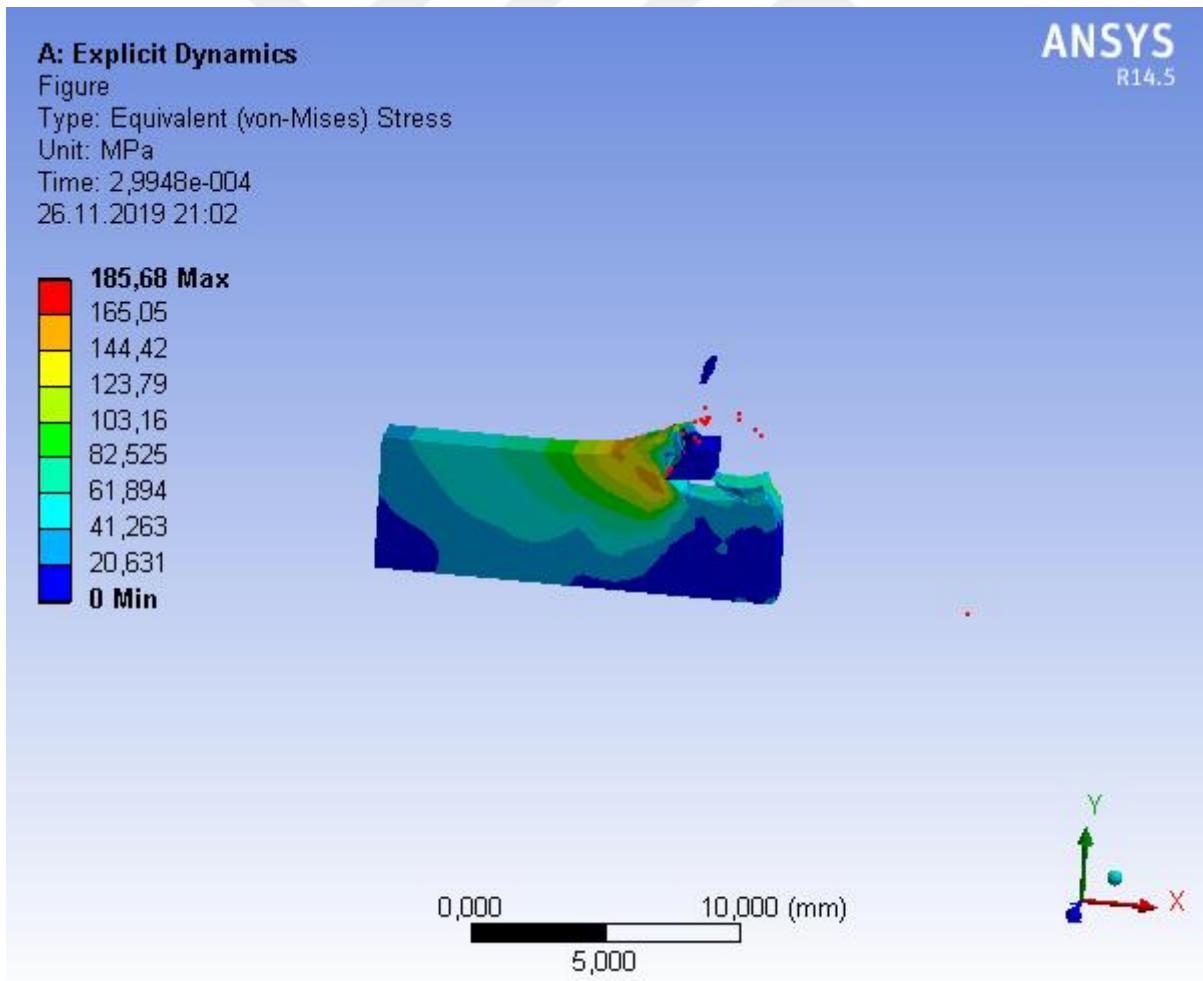
Şekil 5.14. Pah açısı 25 derece ve hipotenüsü 20 mikrometre olan takımın iş parçası gerilme analizi



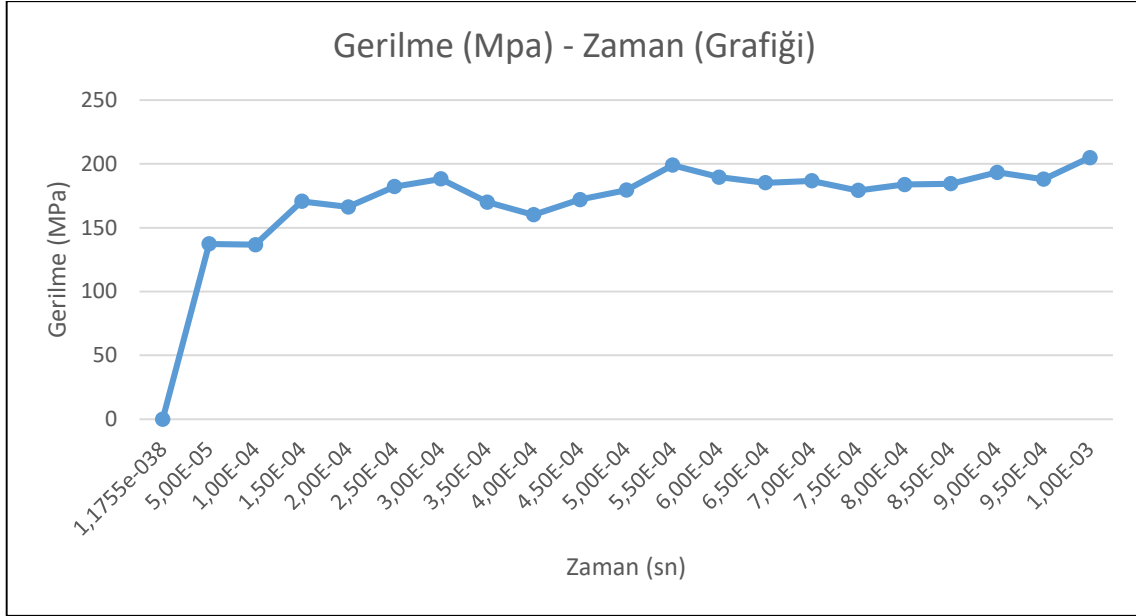
Şekil 5.15. Pah açısı 25 derece ve hipotenüsü 20 mikrometre olan takımın iş parçası analiz görseli



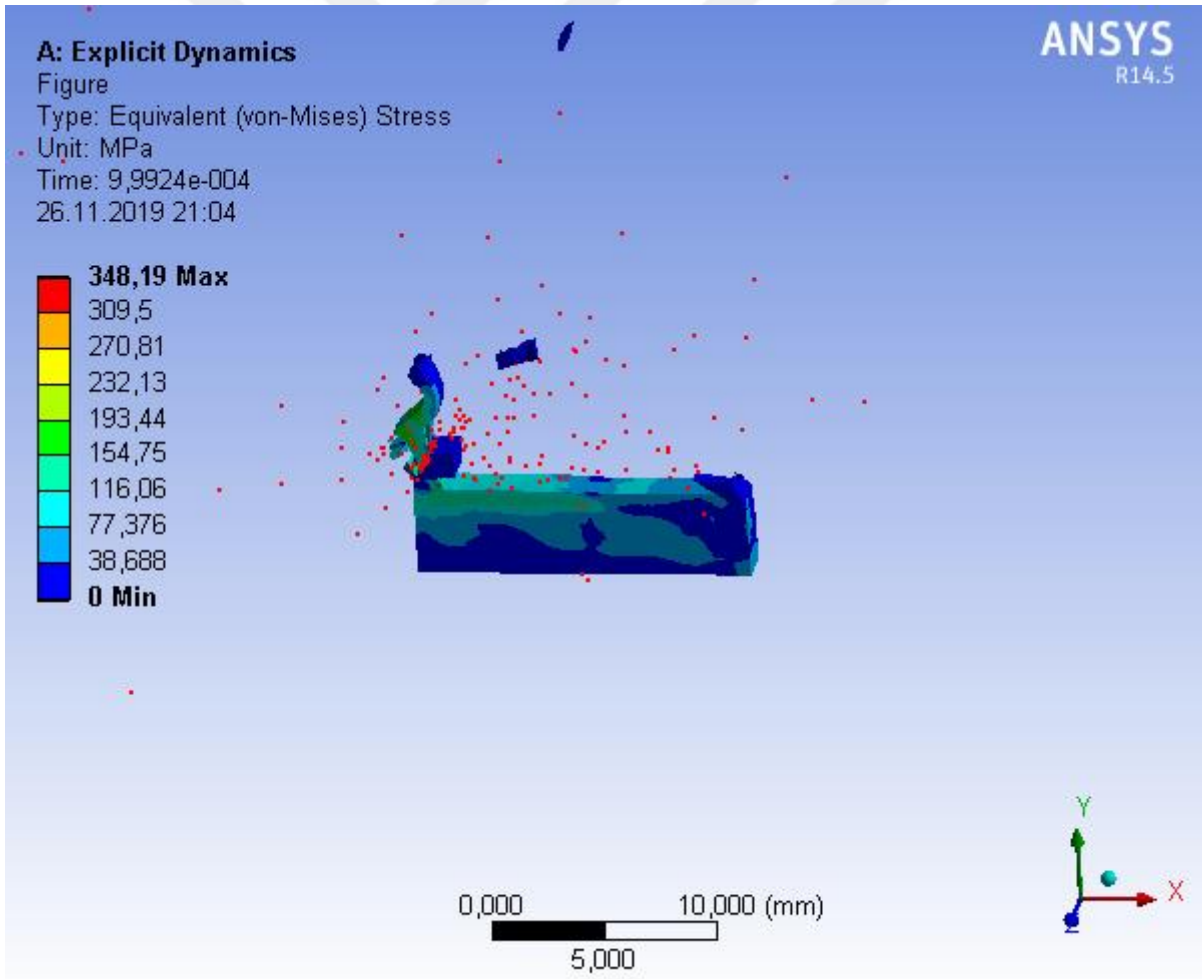
Şekil 5.16. Pah açısı 40 derece ve hipotenüsü 8 mikrometre olan takımın iş parçası gerilme analizi



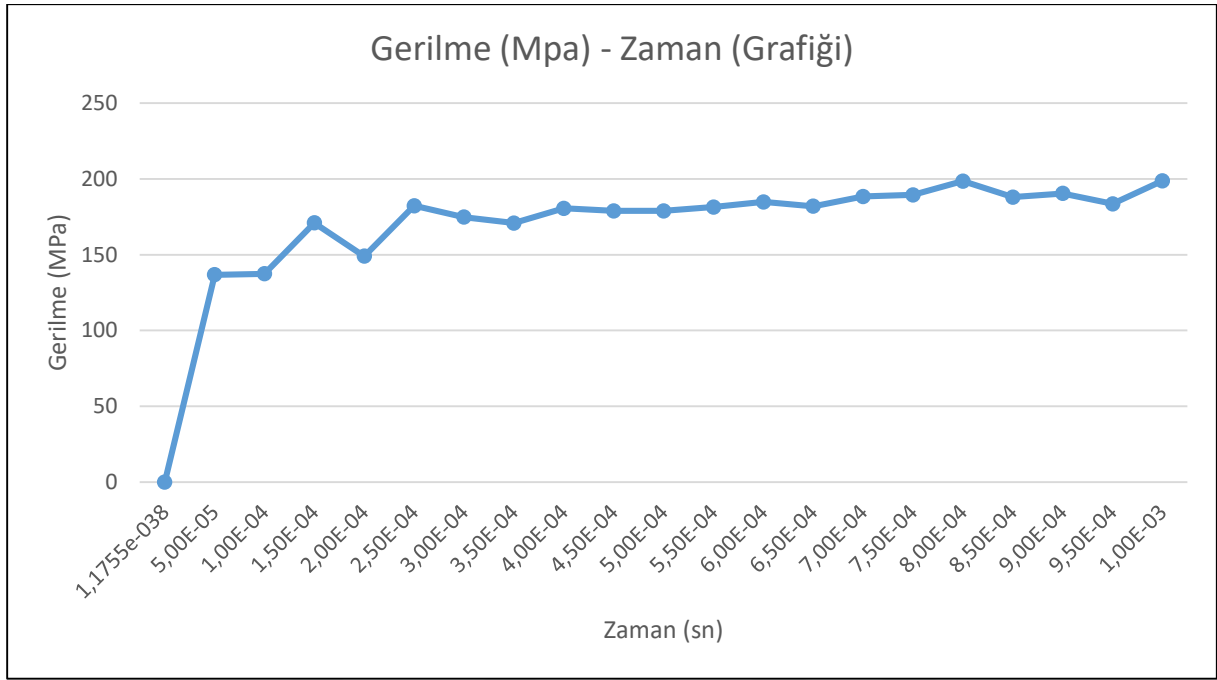
Şekil 5.17. Pah açısı 40 derece ve hipotenüsü 8 mikrometre olan takımın iş parçası analiz görseli



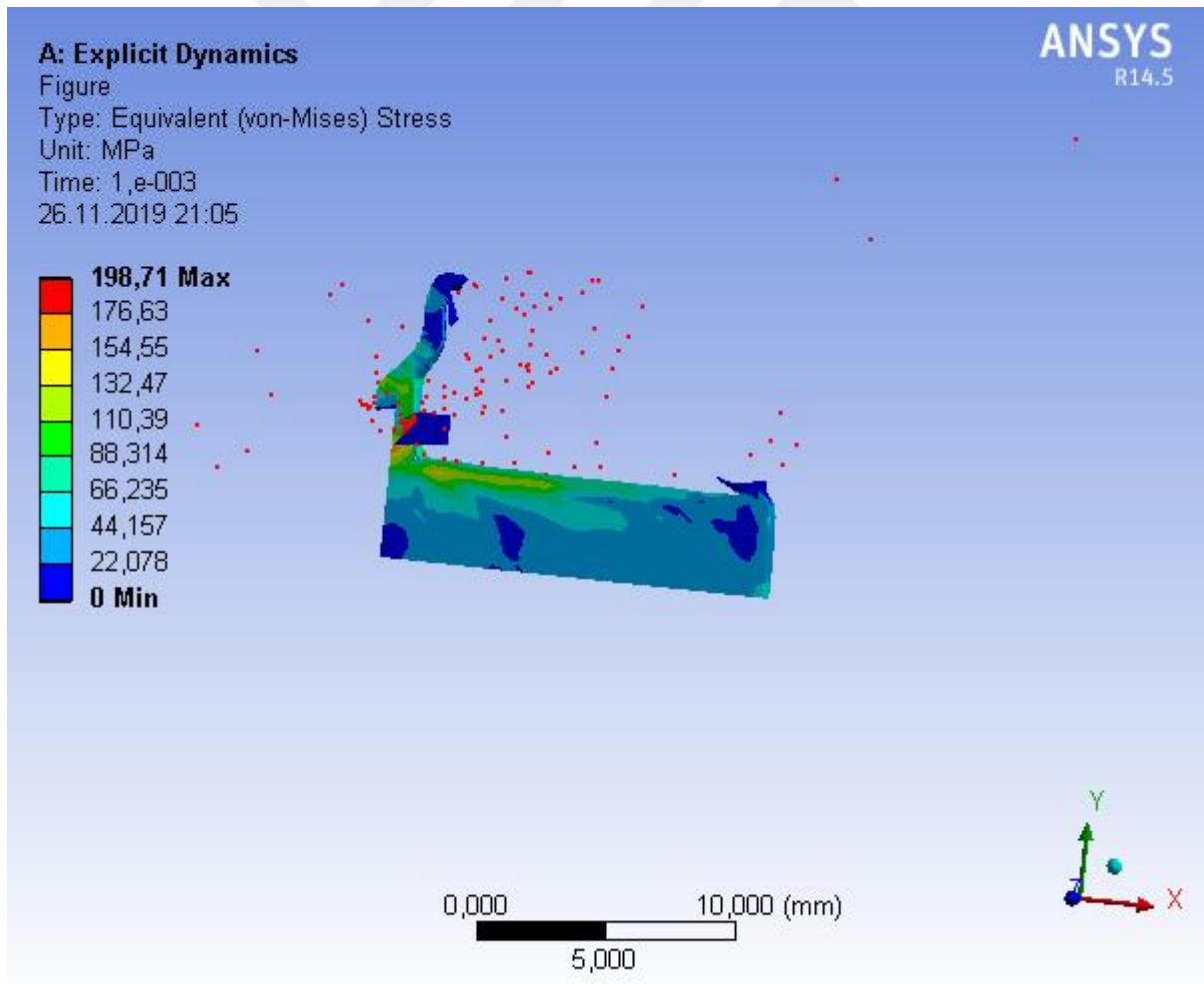
Şekil 5.18. Pah açısı 25 derece ve hipotenüsü 12 mikrometre olan takımın iş parçası gerilme analizi



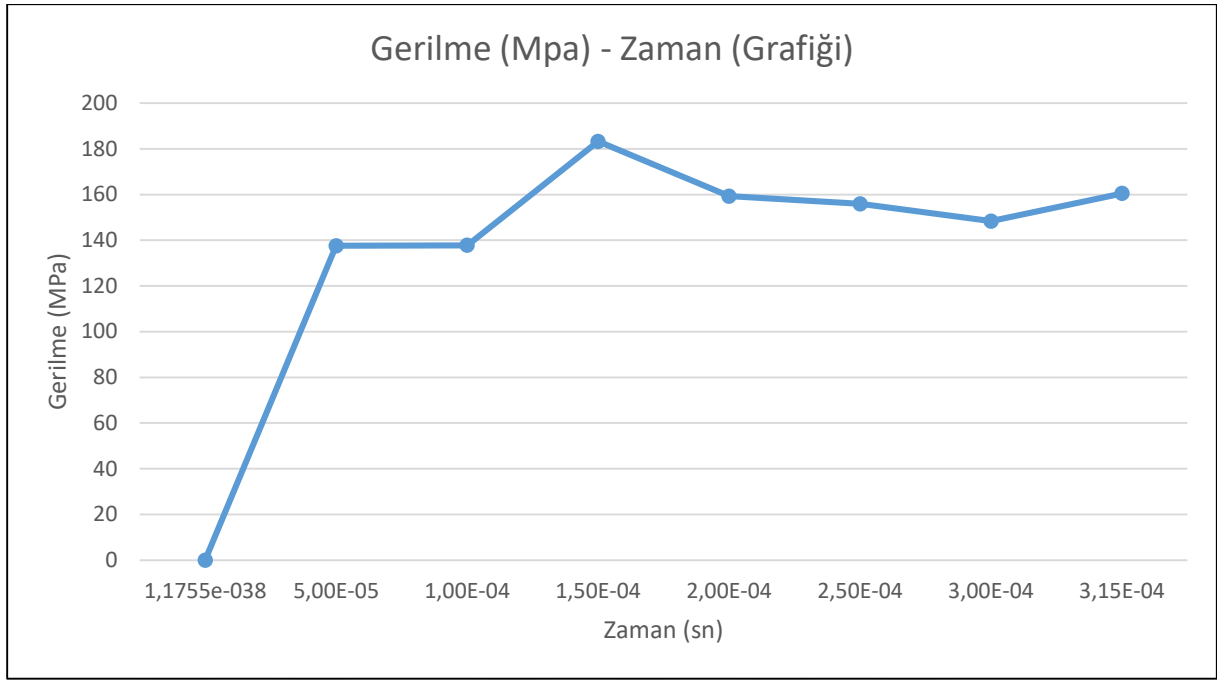
Şekil 5.19. Pah açısı 40 derece ve hipotenüsü 12 mikrometre olan takımın iş parçası analiz görseli



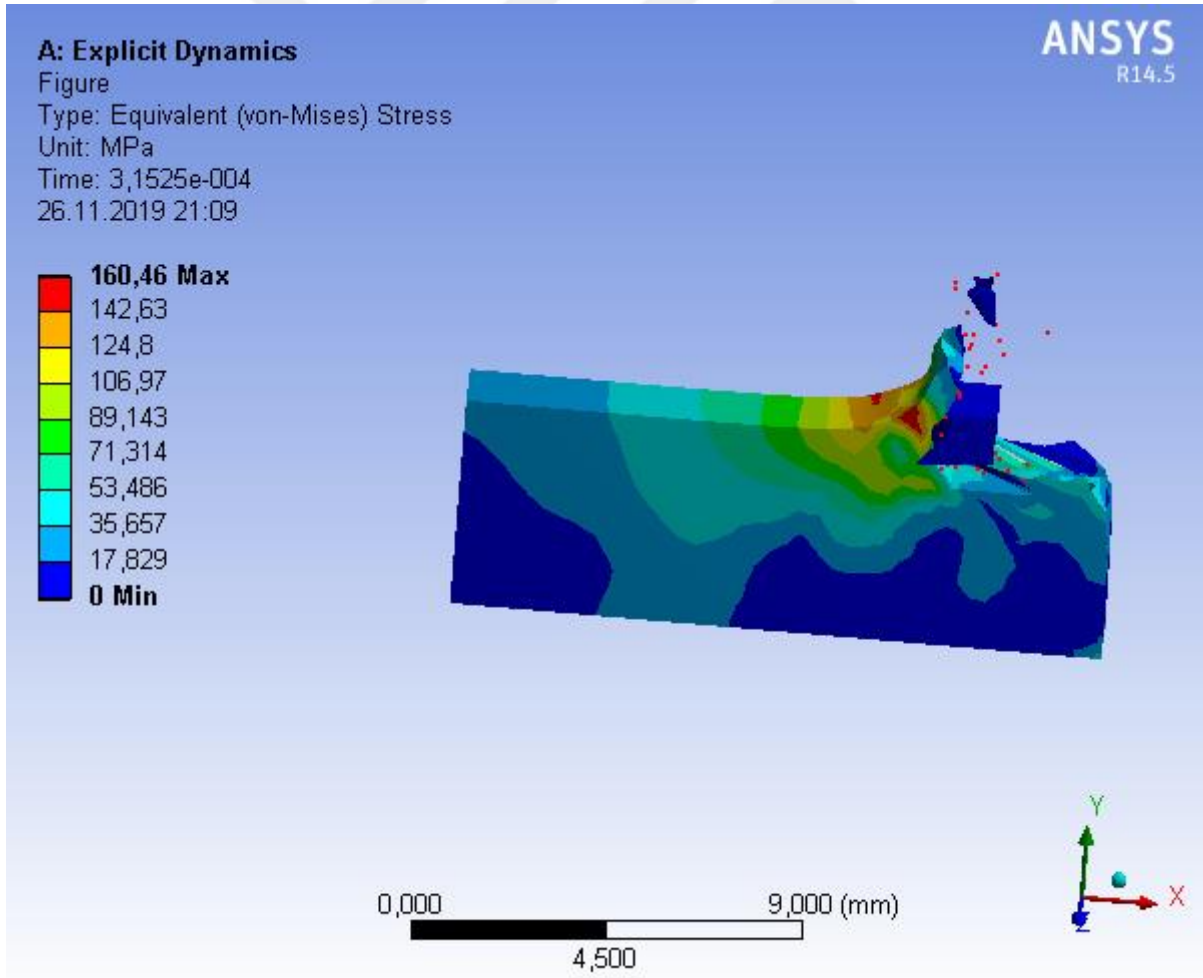
Şekil 5.20. Pah açısı 40 derece ve hipotenüsü 20 mikrometre olan takımın iş parçası gerilme analizi



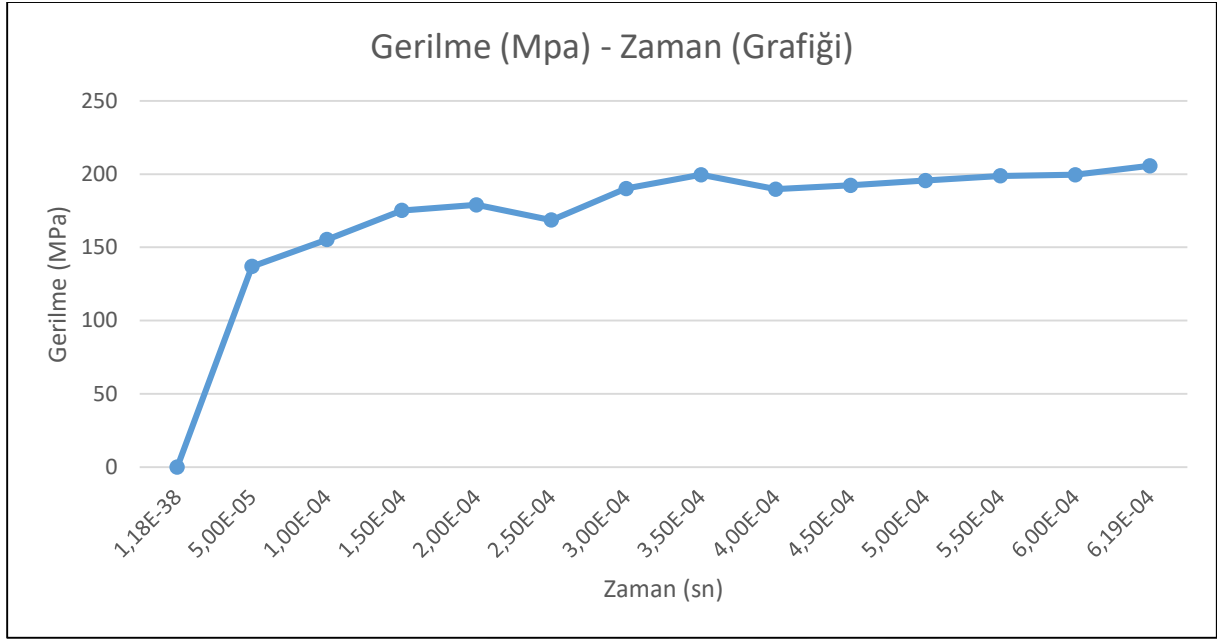
Şekil 5.21. Pah açısı 40 derece ve hipotenüsü 20 mikrometre olan takımın iş parçası analiz görseli



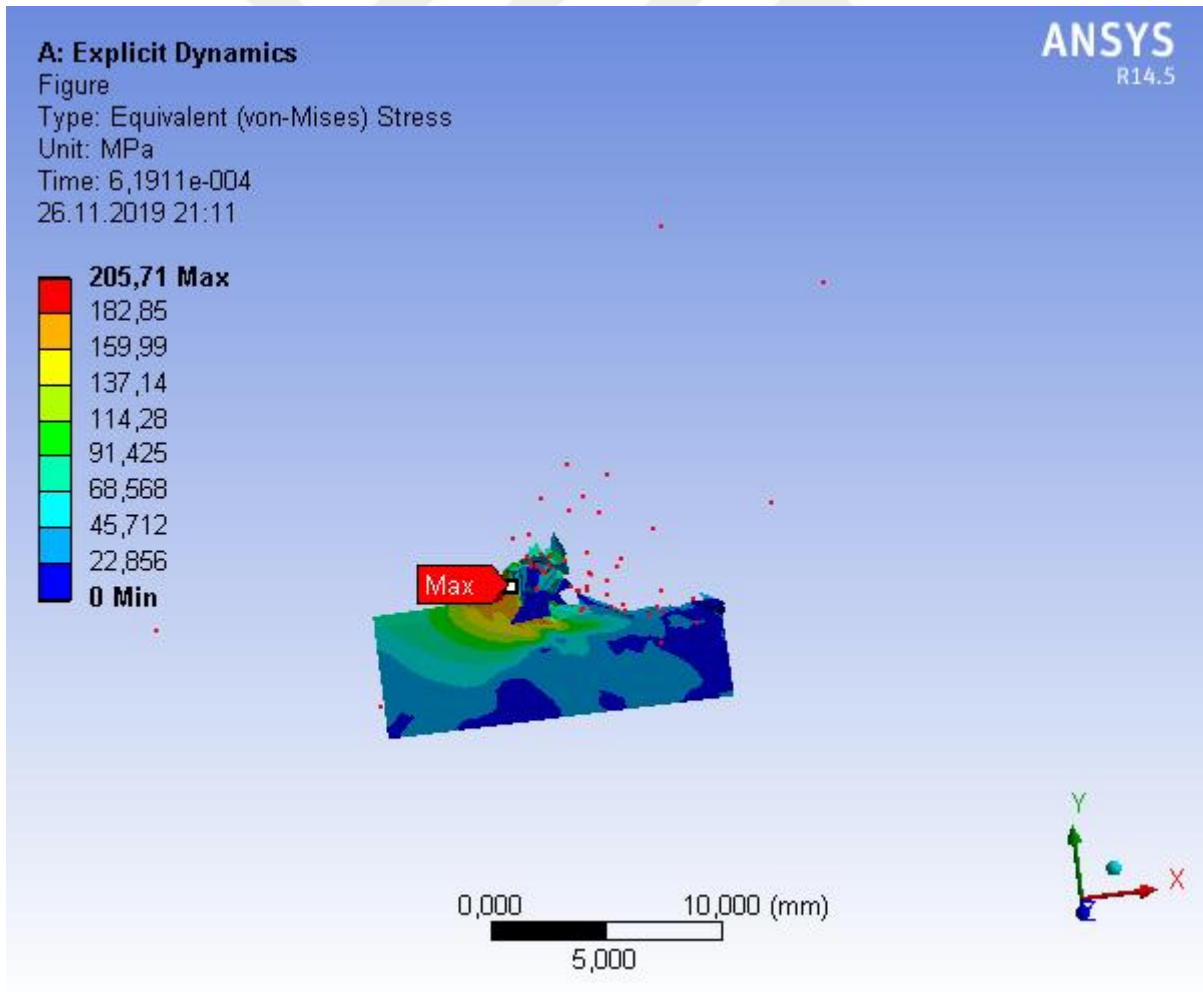
Şekil 5.22. Radüs ölçüsü 8 mikrometre olan takımın iş parçası analiz grafiği



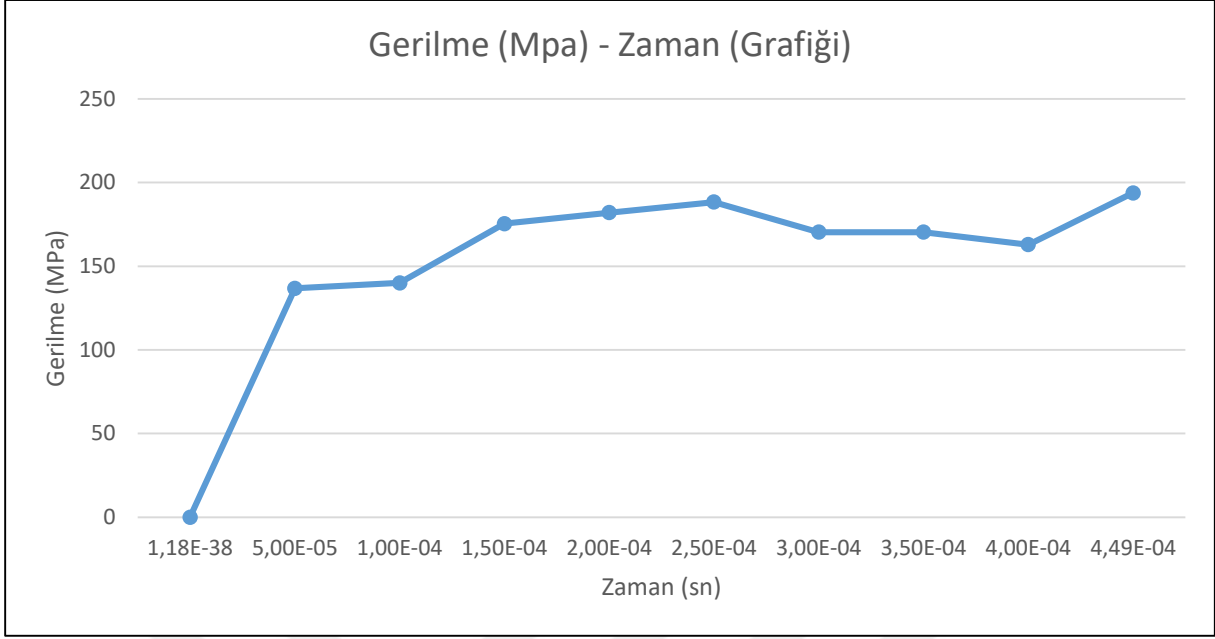
Şekil 5.23. Radüs ölçüsü 8 mikrometre olan takımın iş parçası analiz görseli



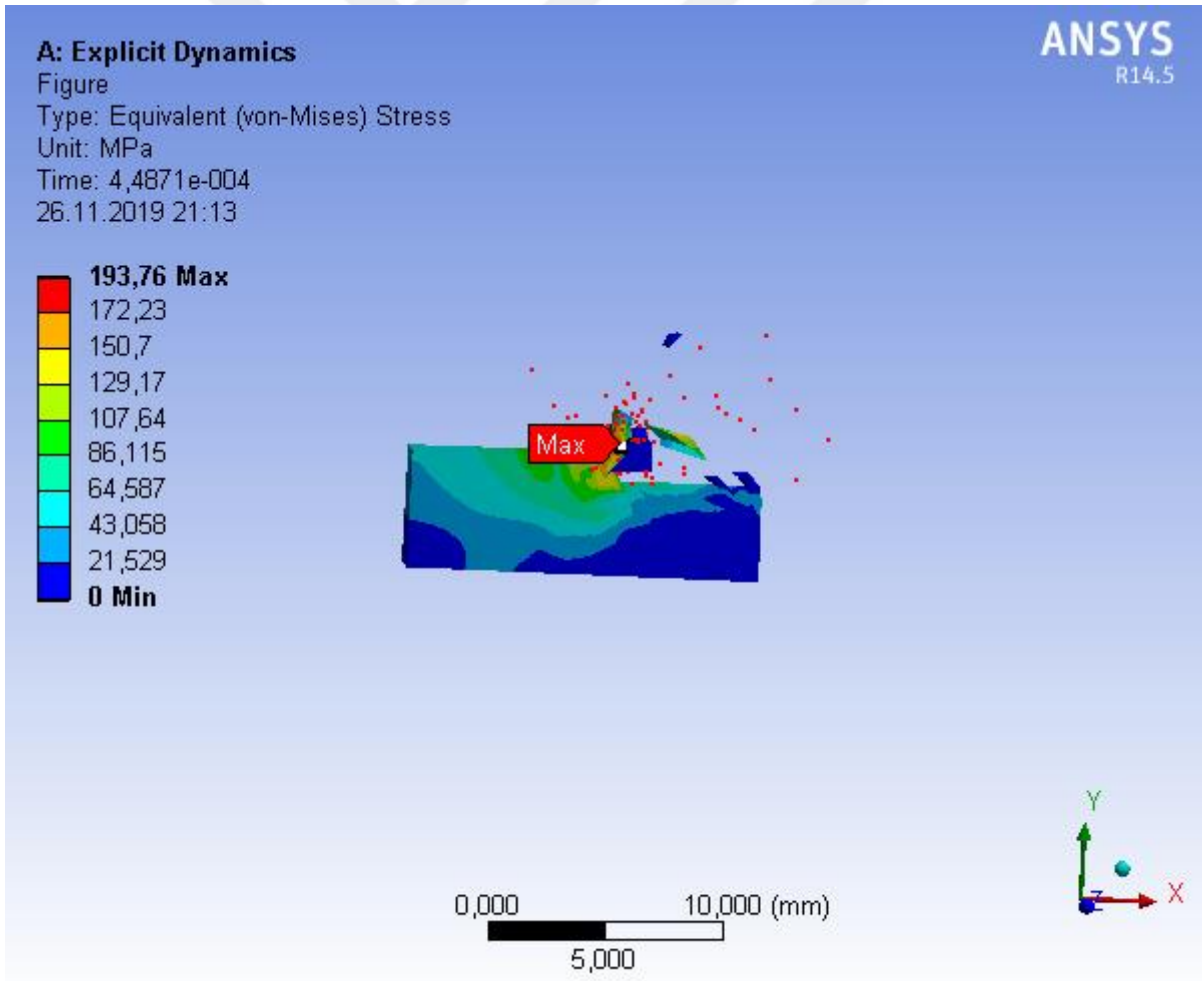
Şekil 5.24. Radüs ölçüsü 12 mikrometre olan takımın iş parçası analiz grafiği



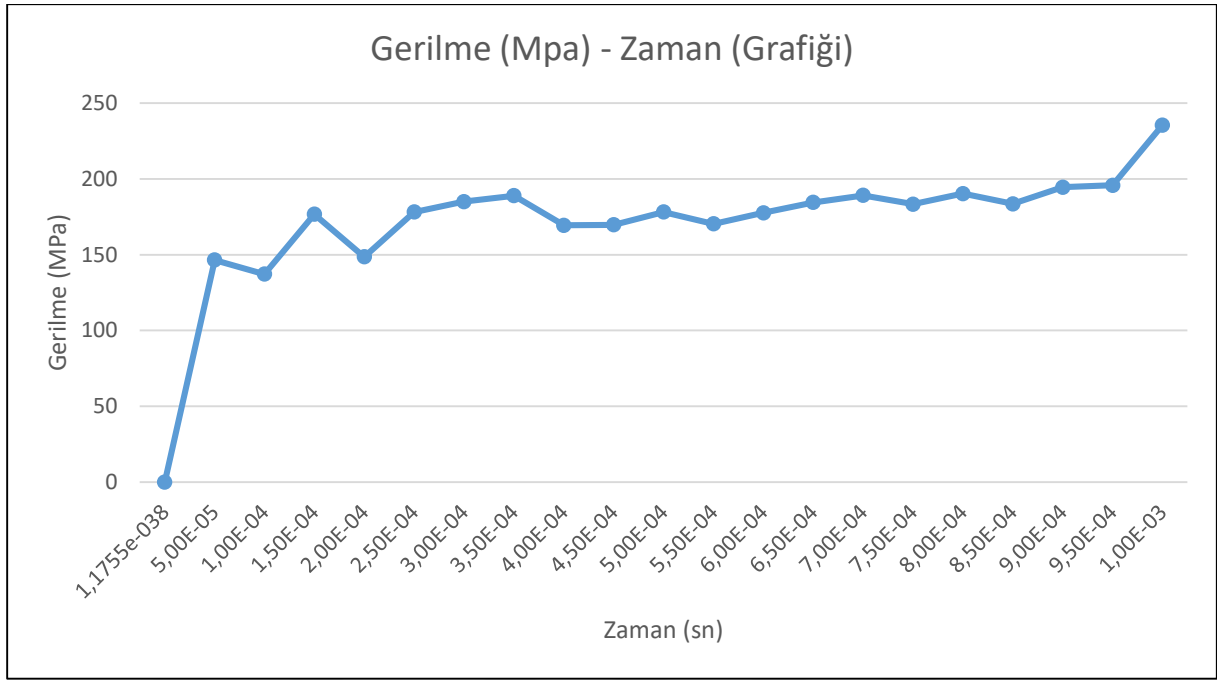
Şekil 5.25. Radüs ölçüsü 12 mikrometre olan takımın iş parçası analiz görseli



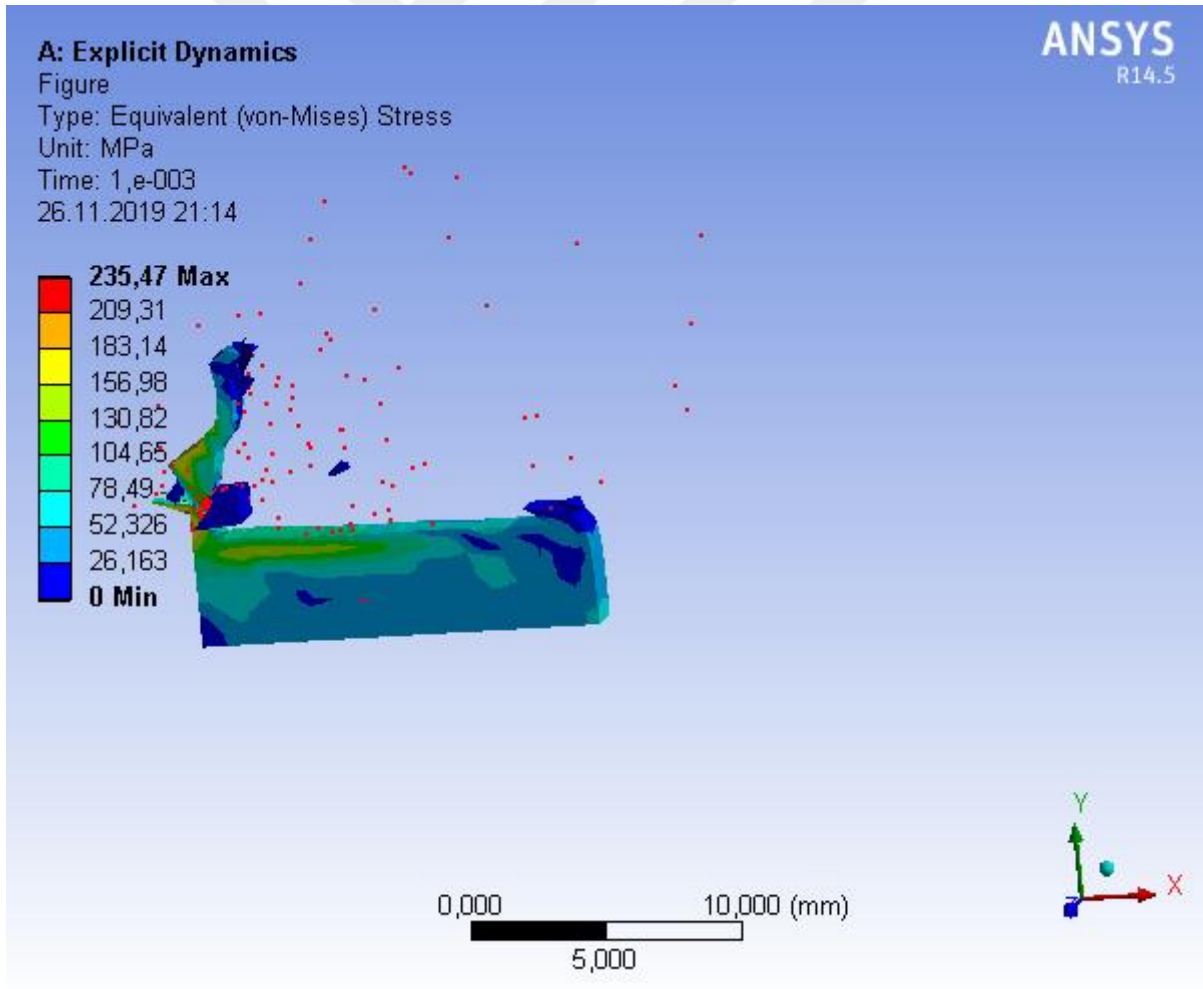
Şekil 5.26. Radüs ölçüsü 16 mikrometre olan takımın iş parçası analiz grafiği



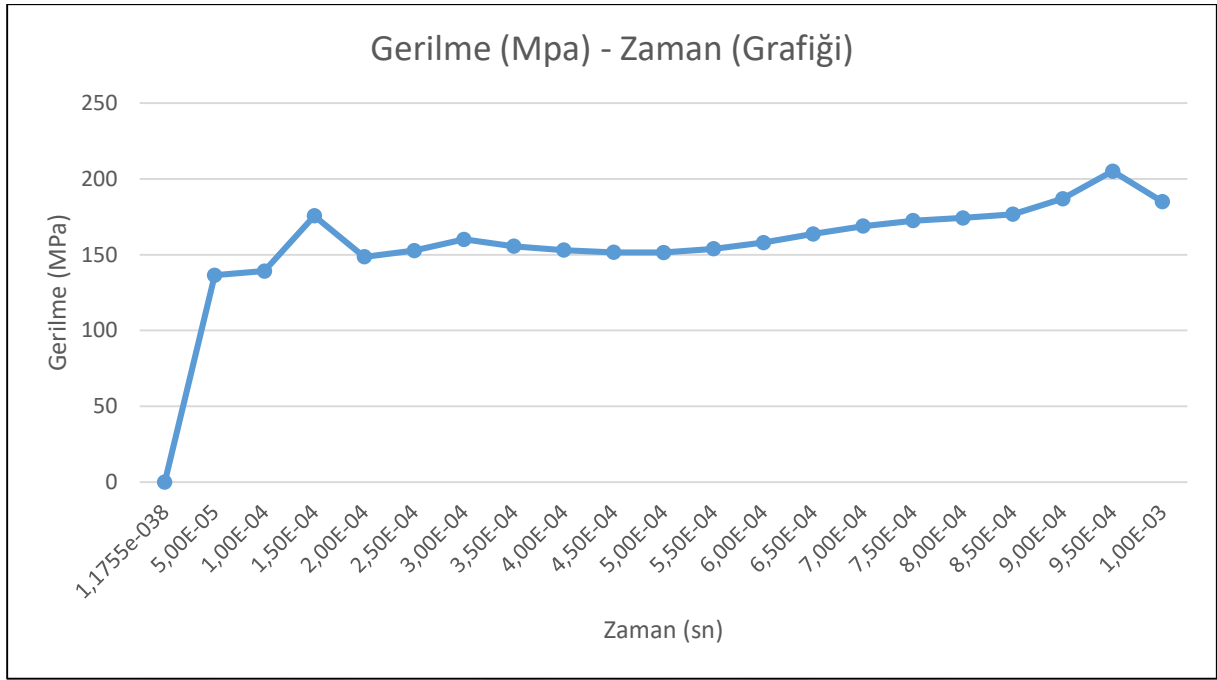
Şekil 5.27. Radüs ölçüsü 16 mikrometre olan takımın iş parçası analiz görseli



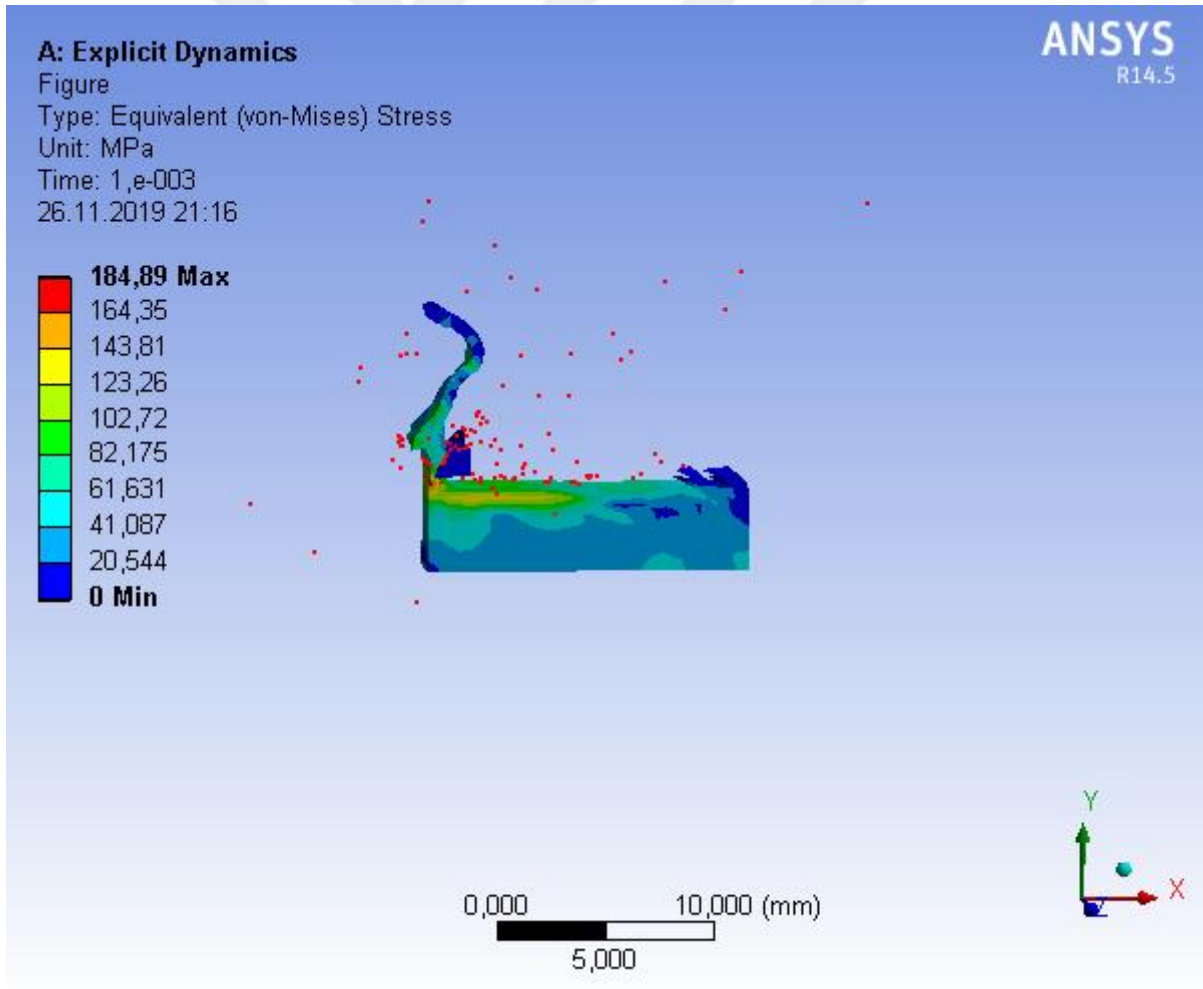
Şekil 5.28. Radüs ölçüsü 20 mikrometre olan takımın iş parçası analiz grafiği



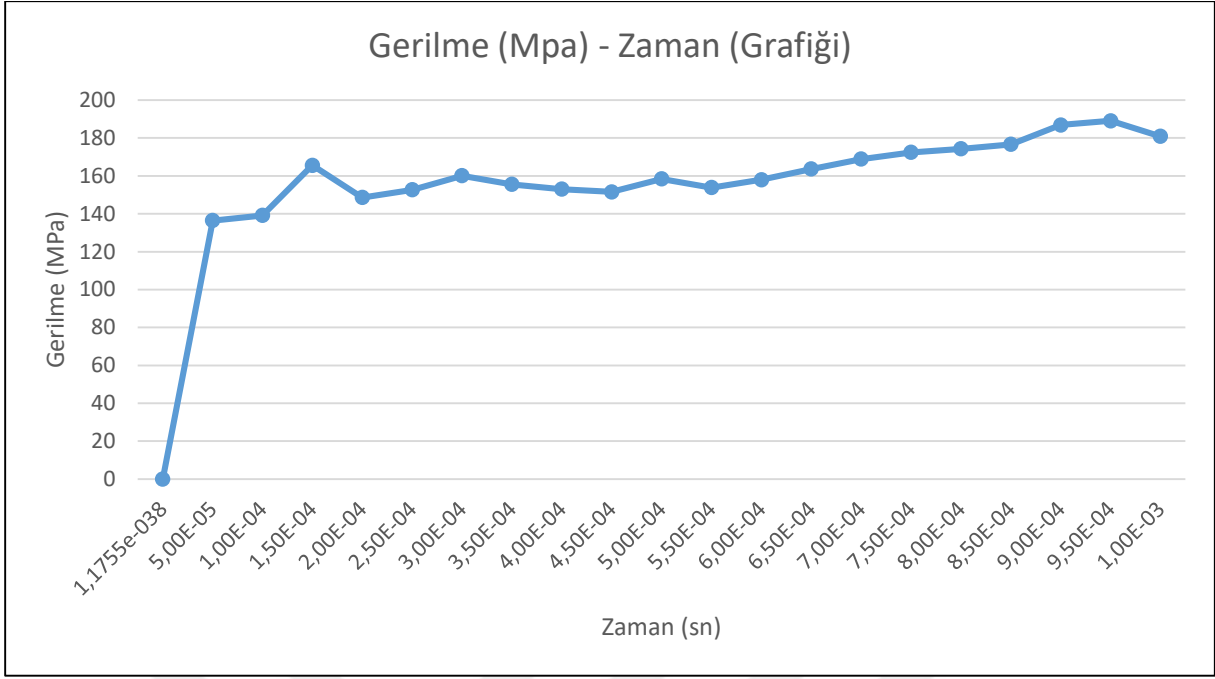
Şekil 5.29. Radüs ölçüsü 20 mikrometre olan takımın iş parçası analiz görseli



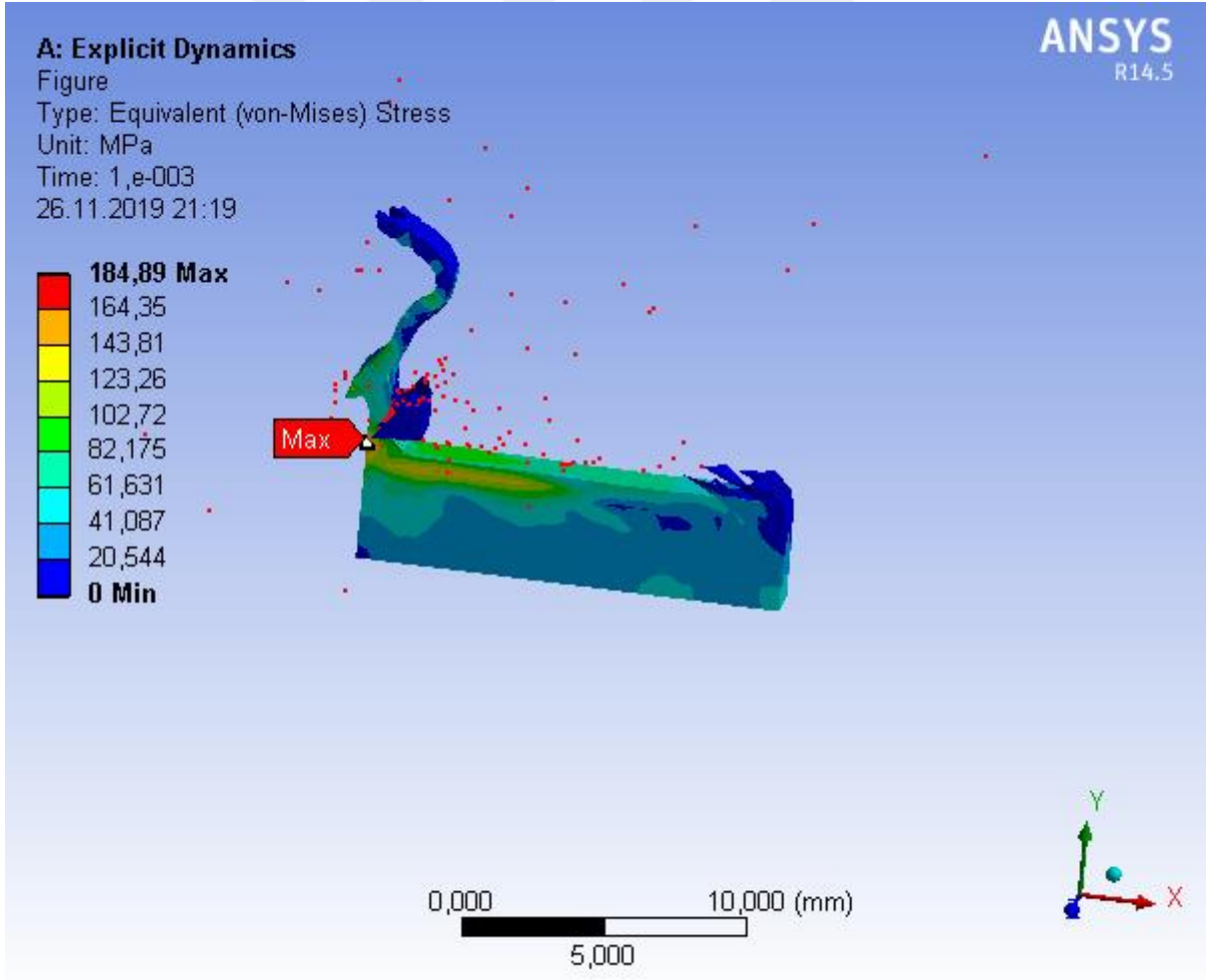
Şekil 5.30. Radüs ölçüsü 32 mikrometre olan takımın iş parçası analiz grafiği



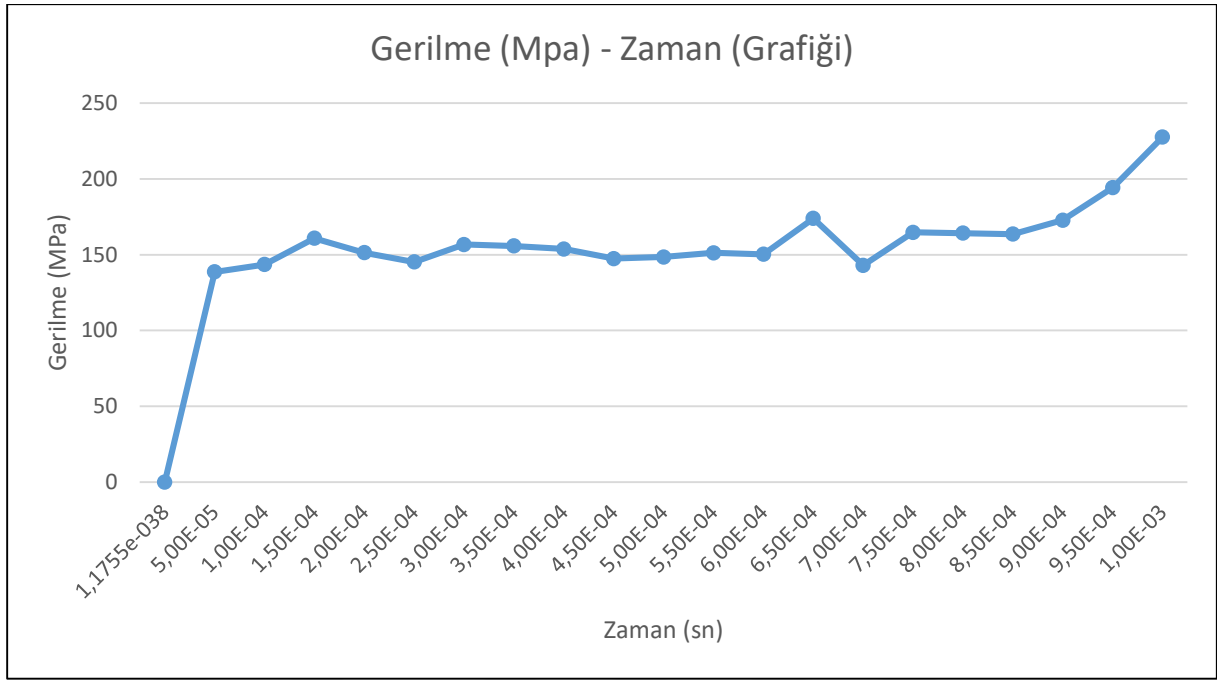
Şekil 5.31. Radüs ölçüsü 32 mikrometre olan takımın iş parçası analiz görseli



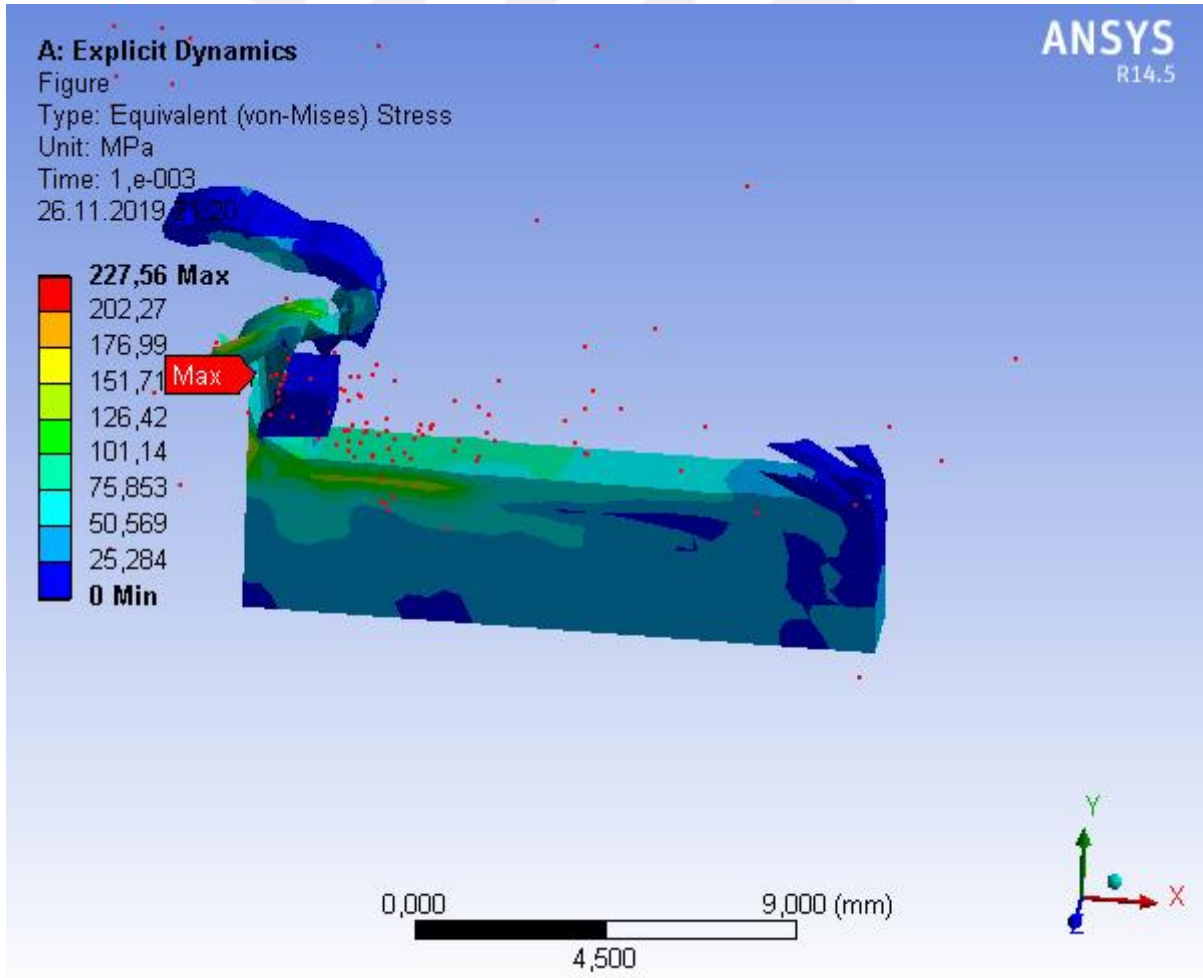
Şekil 5.32. Radüs ölçüsü 48 mikrometre olan takımın iş parçası analiz grafığı



Şekil 5.33. Radüs ölçüsü 48 mikrometre olan takımın iş parçası analiz görseli

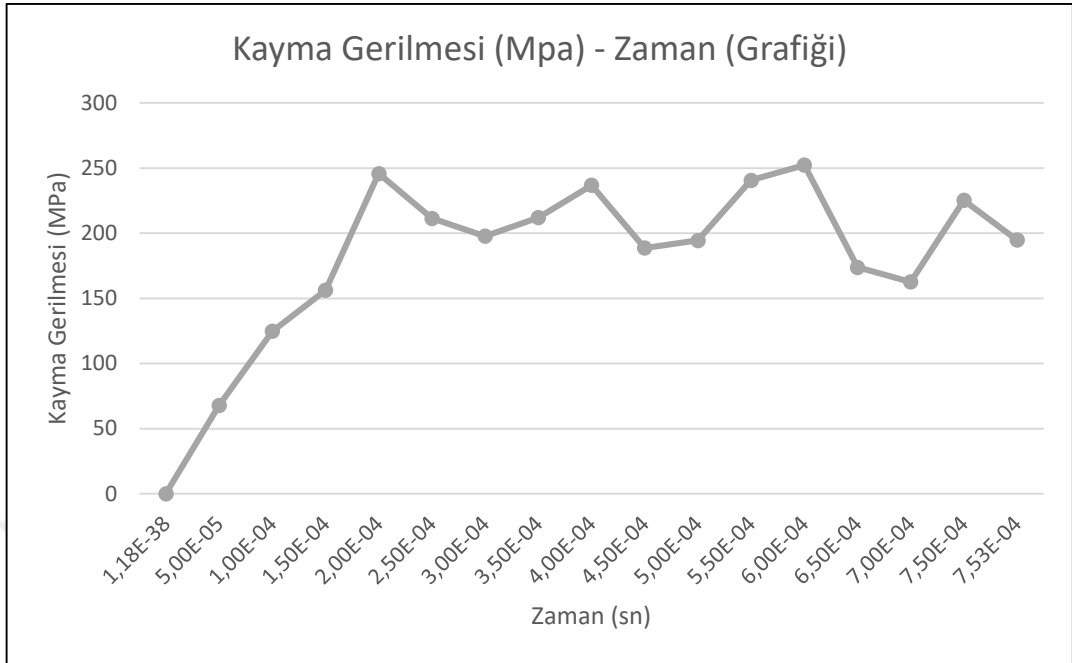


Şekil 5.34. Radüs ölçüsü 64 mikrometre olan takımın iş parçası analiz grafığı

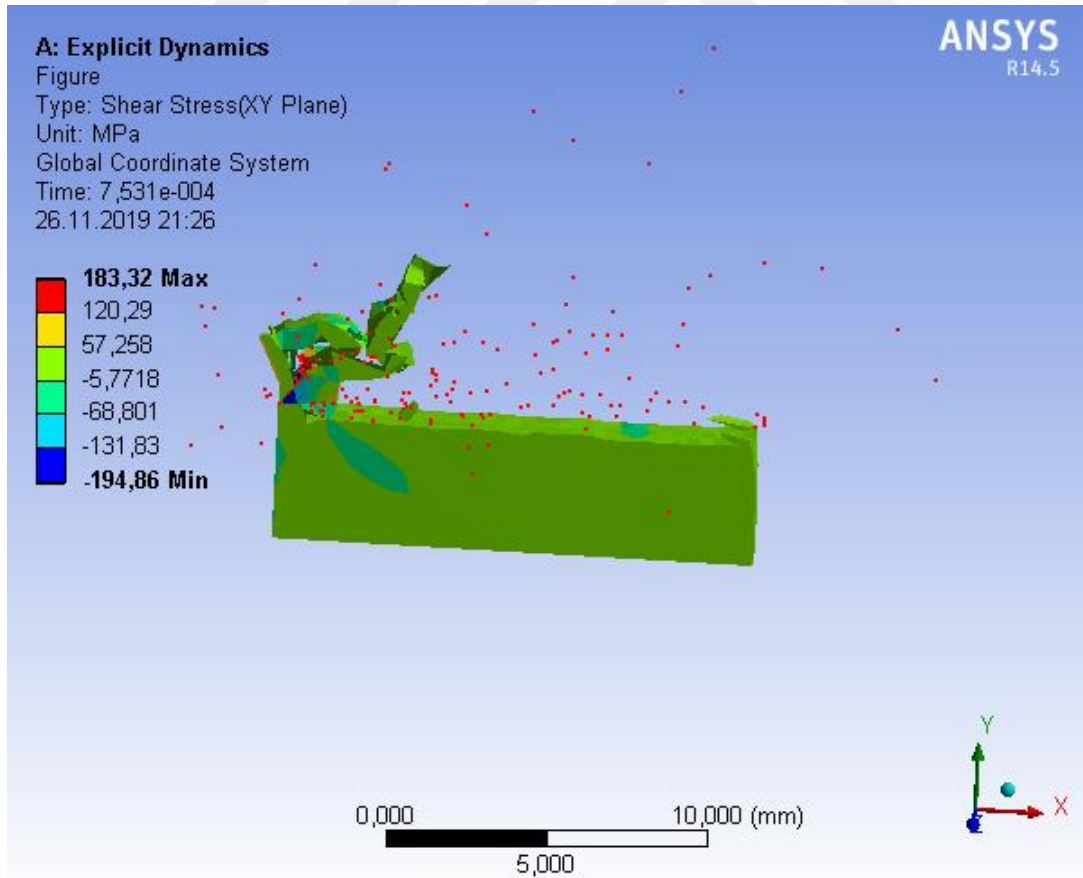


Şekil 5.35. Radüs ölçüsü 64 mikrometre olan takımın iş parçası analiz görseli

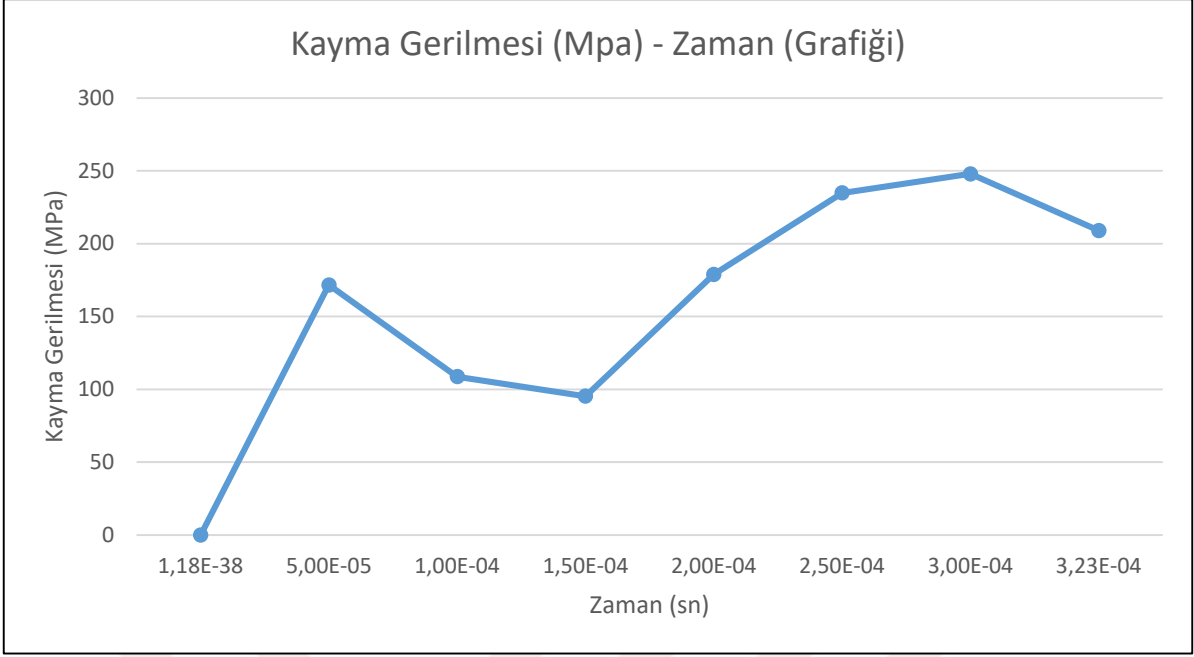
5.2 Takıma Ait Kayma Gerilmesi Sonuçlarının Grafikleri ve Görselleri



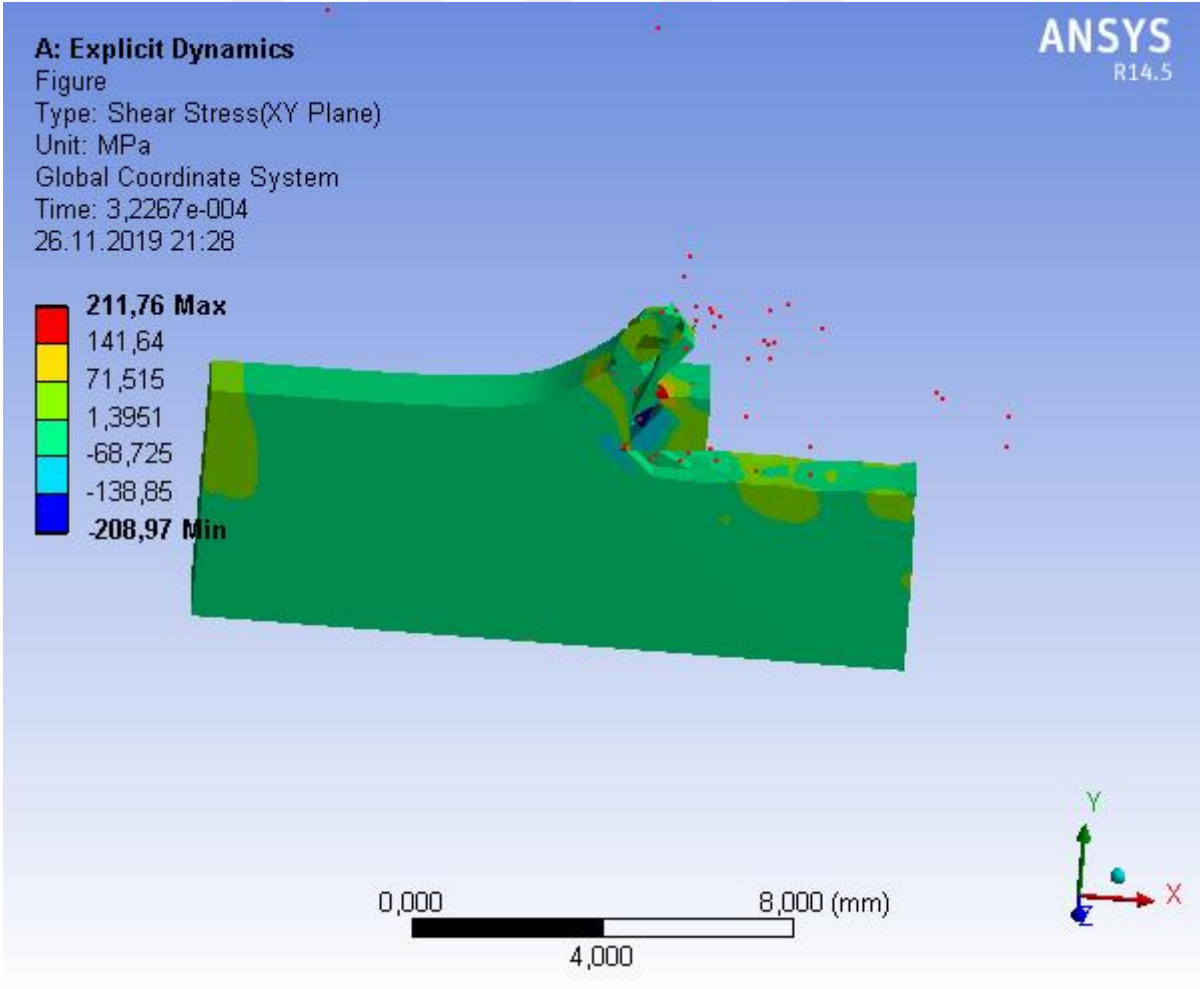
Şekil 5.36. Pah açısı 15 derece ve hipotenüsü 8 mikrometre olan takımın kayma gerilme analiz grafiği



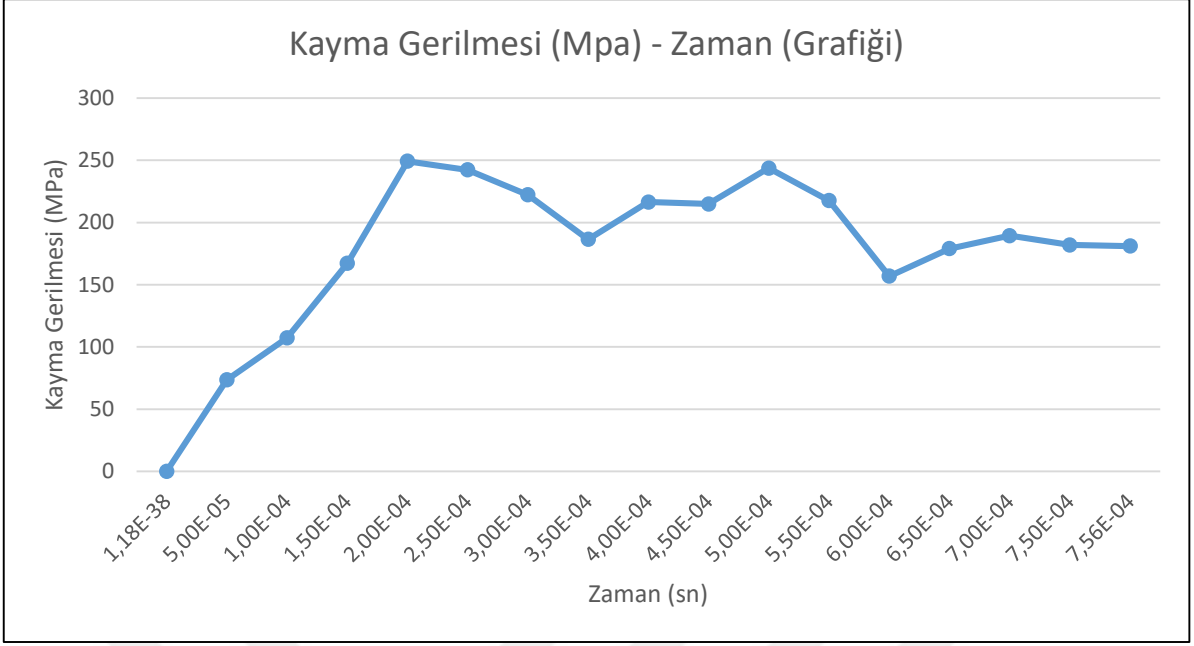
Şekil 5.37. Pah açısı 15 derece ve hipotenüsü 8 mikrometre olan takımın kayma gerilme analiz görseli



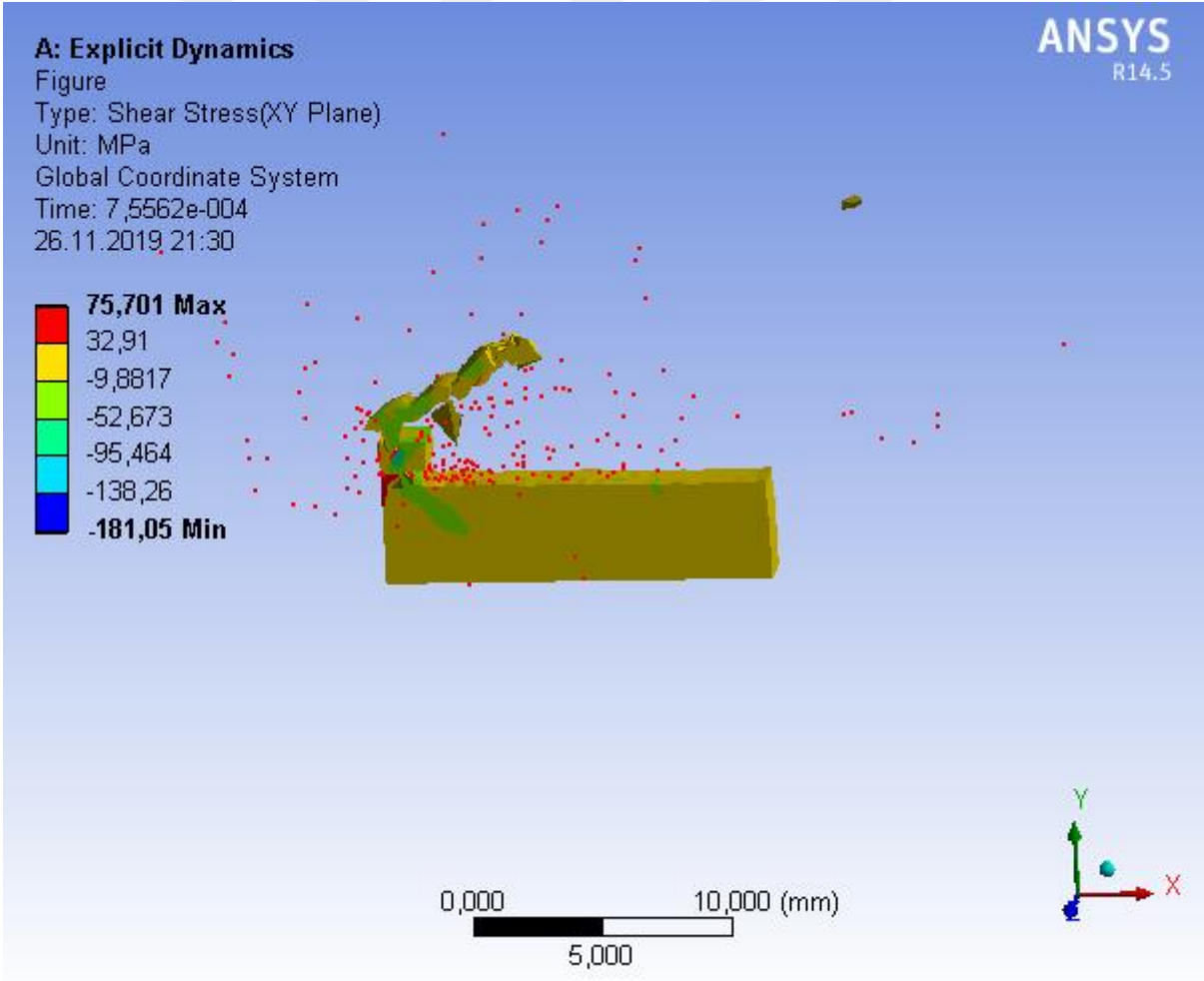
Şekil 5.38. Pah açısı 15 derece ve hipotenüsü 12 mikrometre olan takımın kayma gerilme analiz grafiği



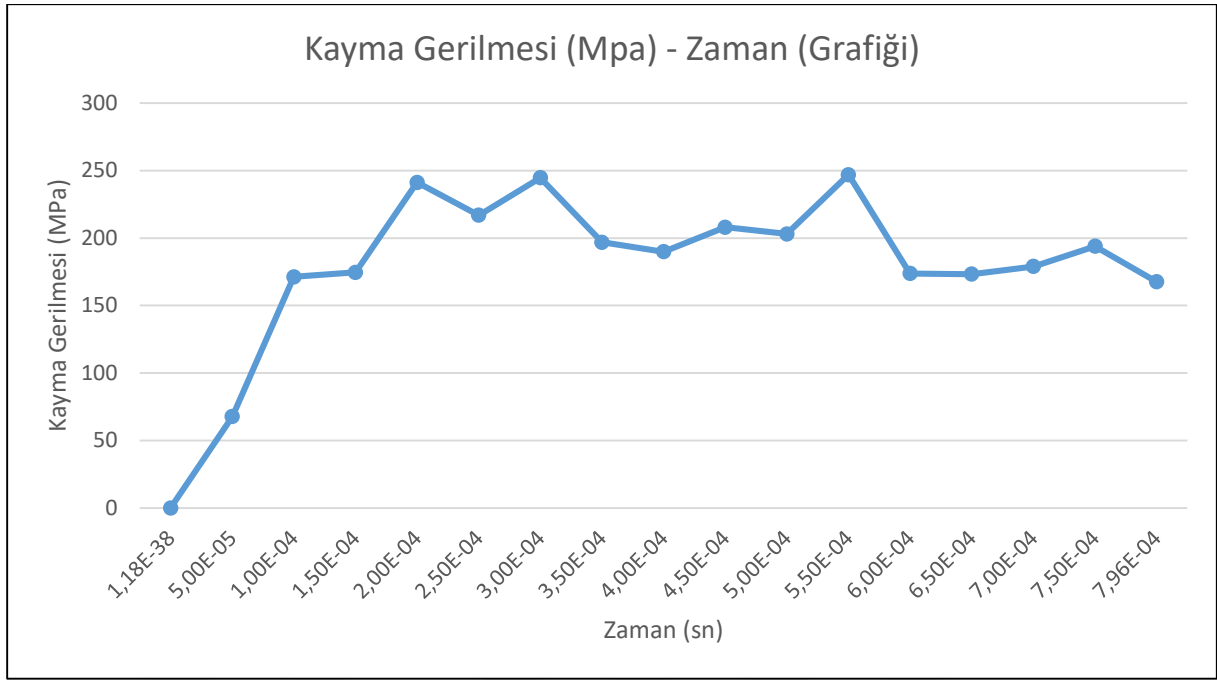
Şekil 5.39. Pah açısı 15 derece ve hipotenüsü 12 mikrometre olan takımın kayma gerilme analiz görseli



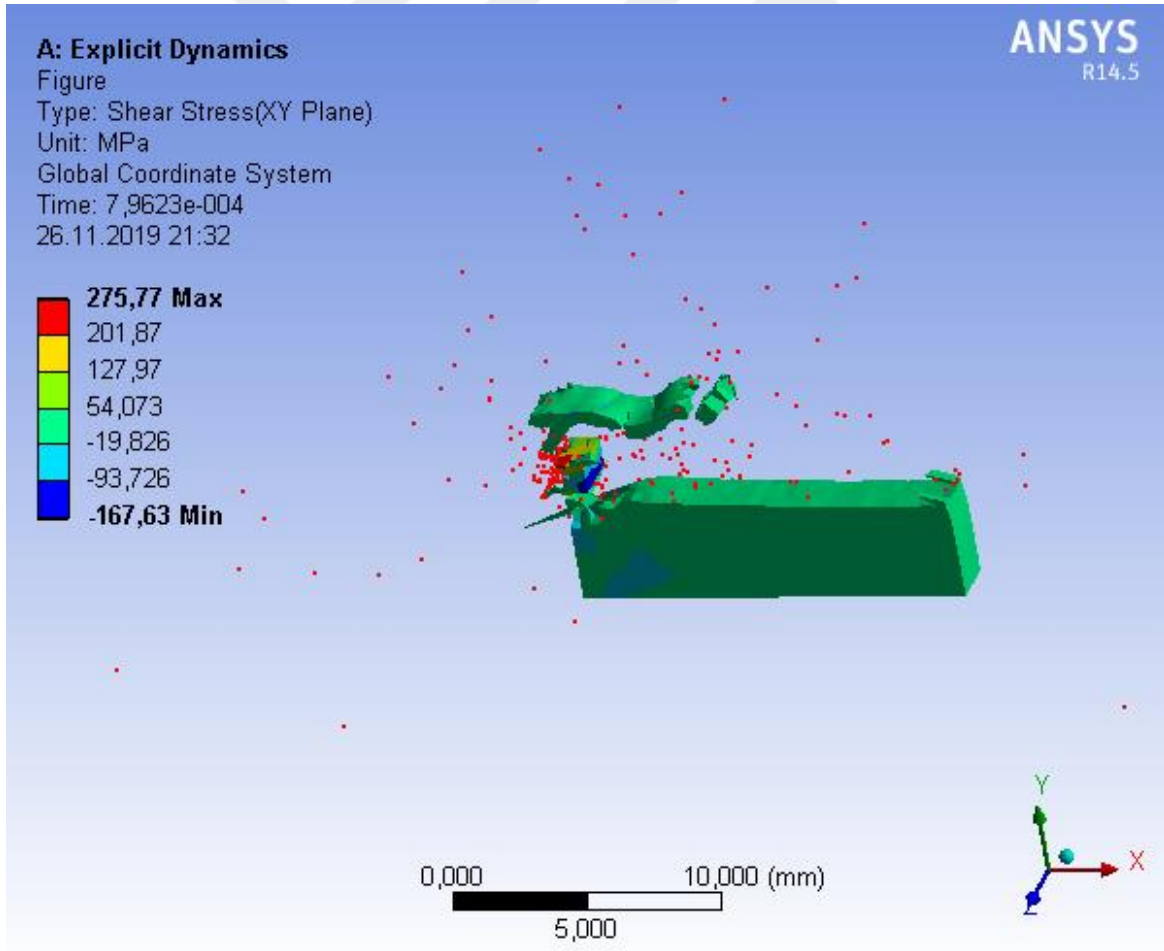
Şekil 5.40. Pah açısı 15 derece ve hipotenüsü 20 mikrometre olan takımın kayma gerilme analiz grafiği



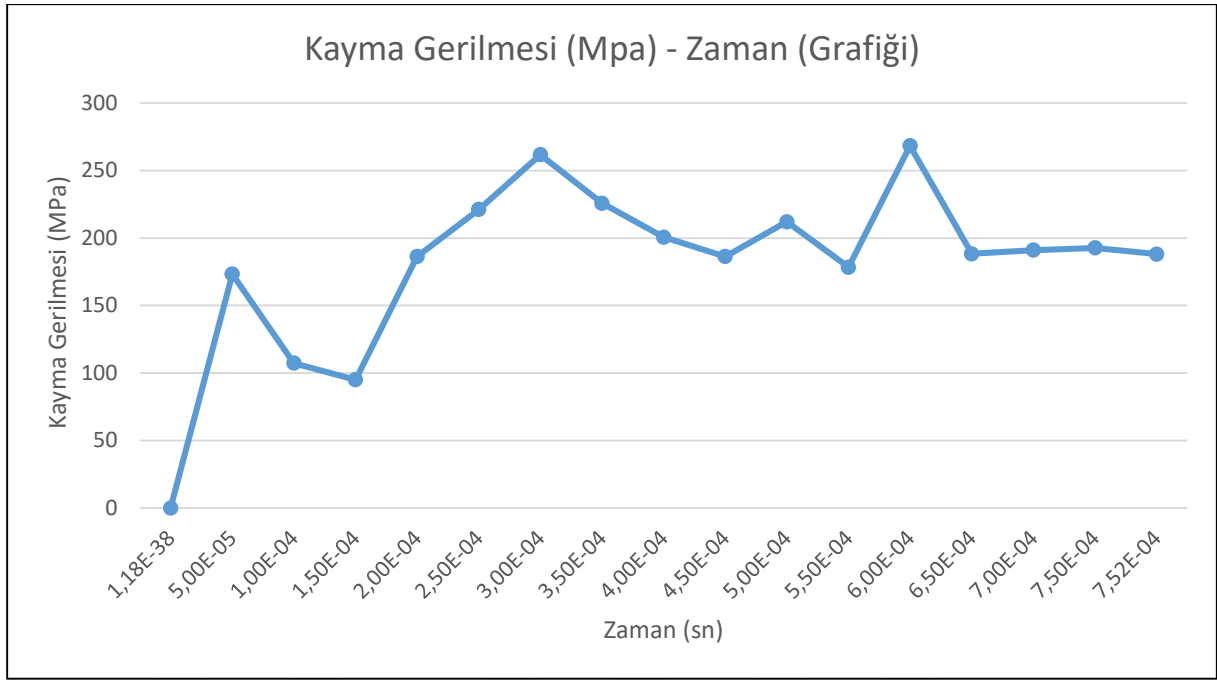
Şekil 5.41. Pah açısı 15 derece ve hipotenüsü 20 mikrometre olan takımın kayma gerilme analiz görseli



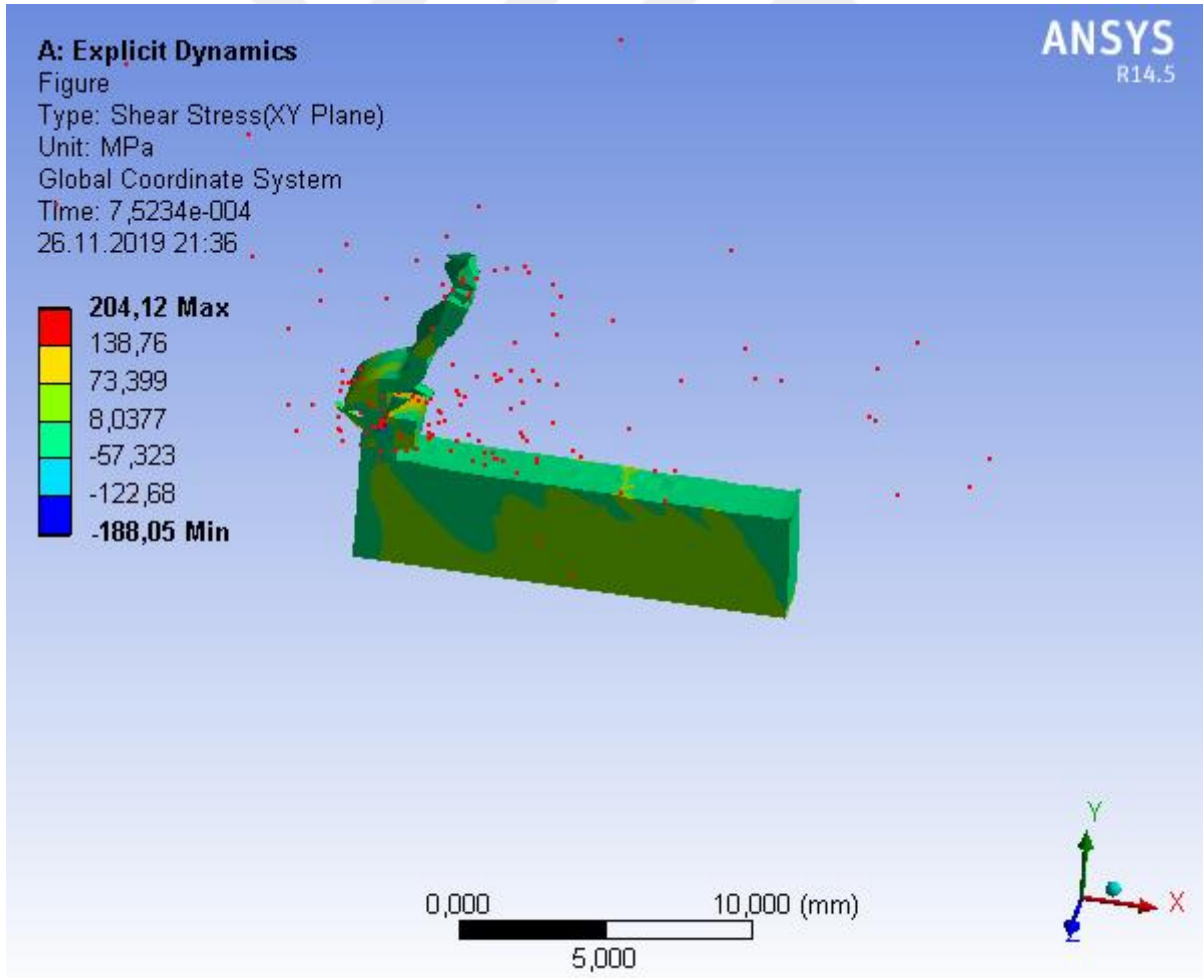
Şekil 5.42. Pah açısı 25 derece ve hipotenüsü 8 mikrometre olan takımın kayma gerilme analiz grafiği



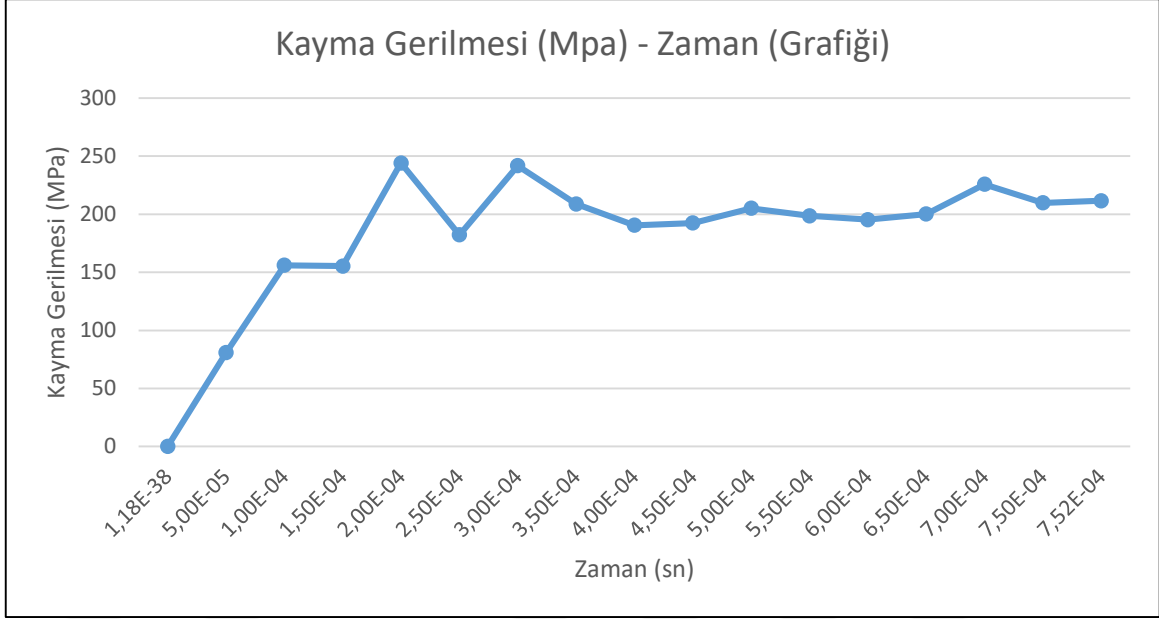
Şekil 5.43. Pah açısı 25 derece ve hipotenüsü 8 mikrometre olan takımın kayma gerilme analiz görseli



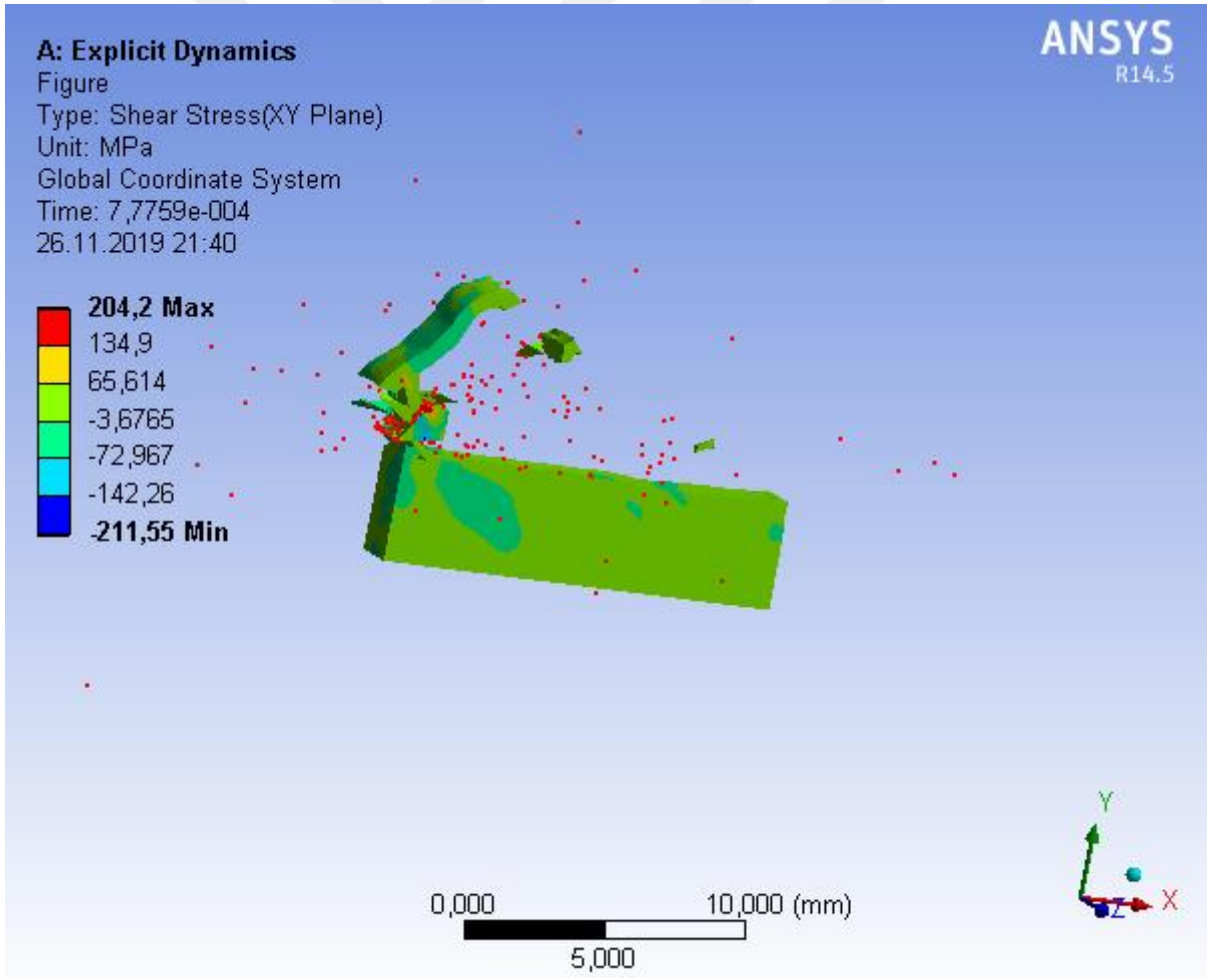
Şekil 5.44. Pah açısı 25 derece ve hipotenüsü 12 mikrometre olan takımın kayma gerilme analiz grafiği



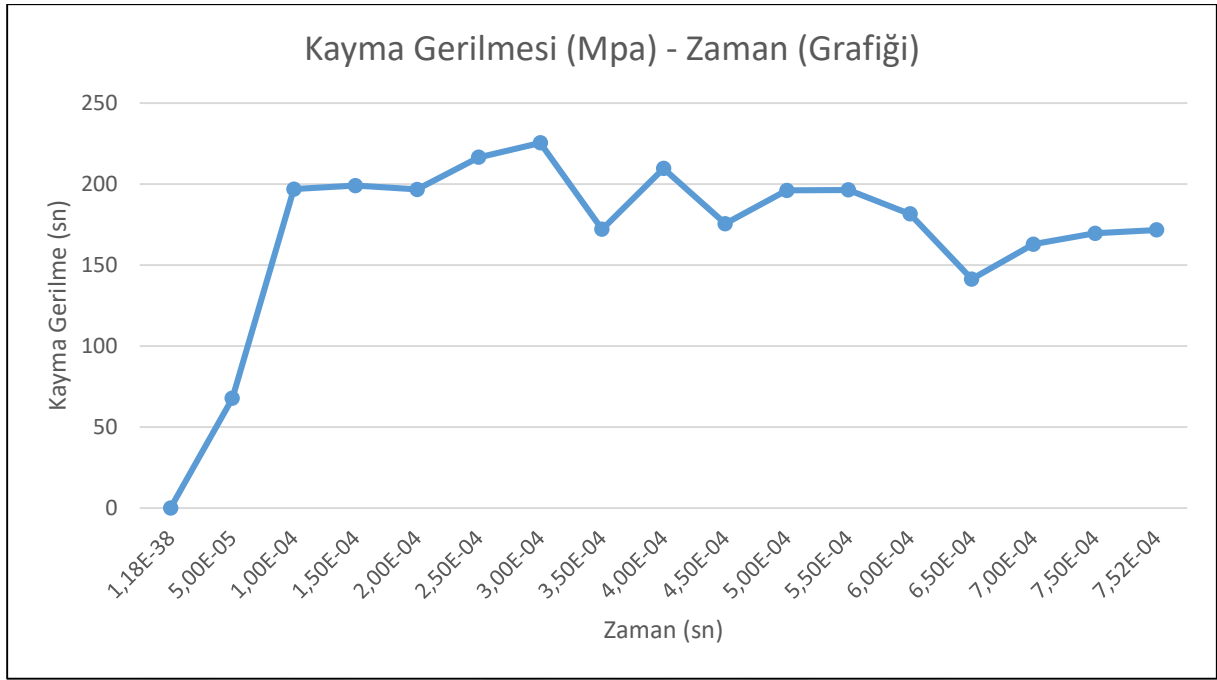
Şekil 5.45. Pah açısı 25 derece ve hipotenüsü 12 mikrometre olan takımın kayma gerilme analiz görseli



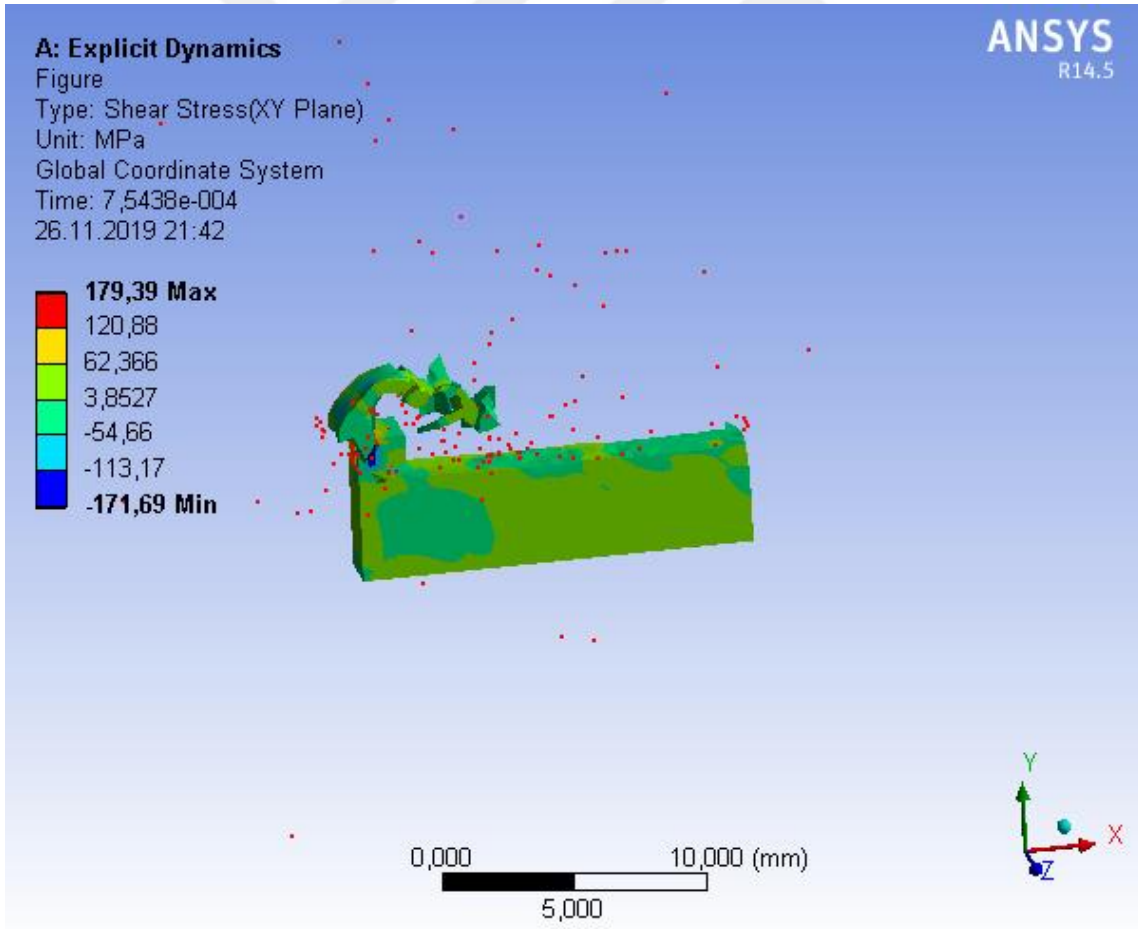
Şekil 5.46. Pah açısı 25 derece ve hipotenüsü 20 mikrometre olan takımın kayma gerilme analiz grafiği



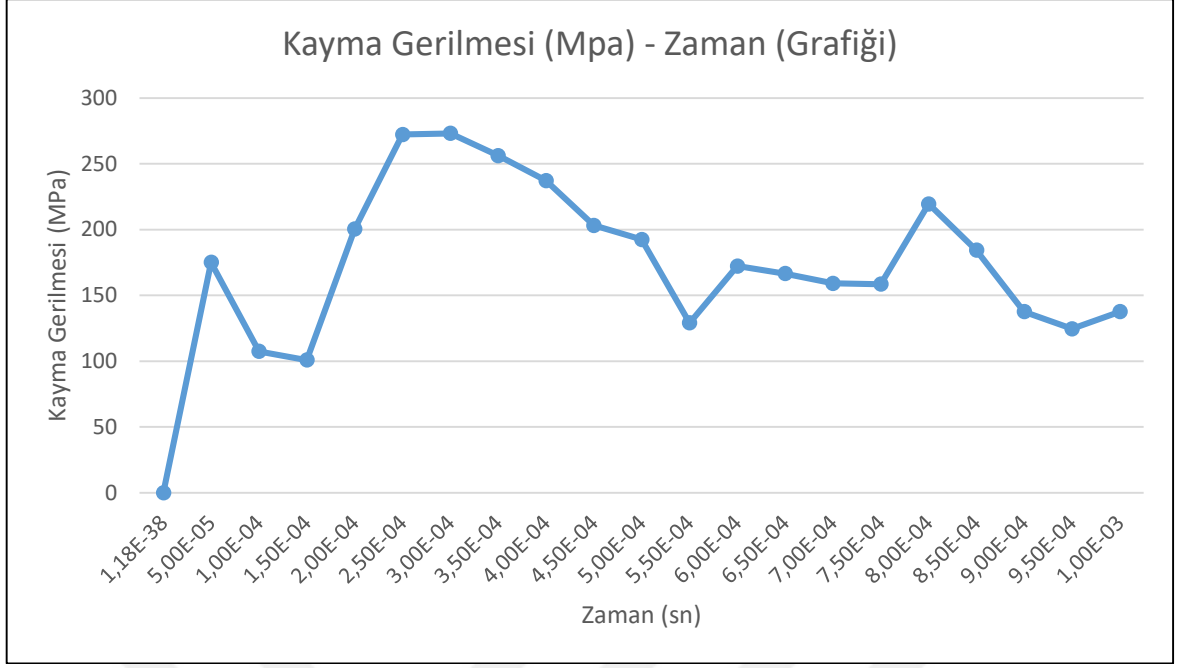
Şekil 5.47. Pah açısı 25 derece ve hipotenüsü 20 mikrometre olan takımın kayma gerilme analiz görseli



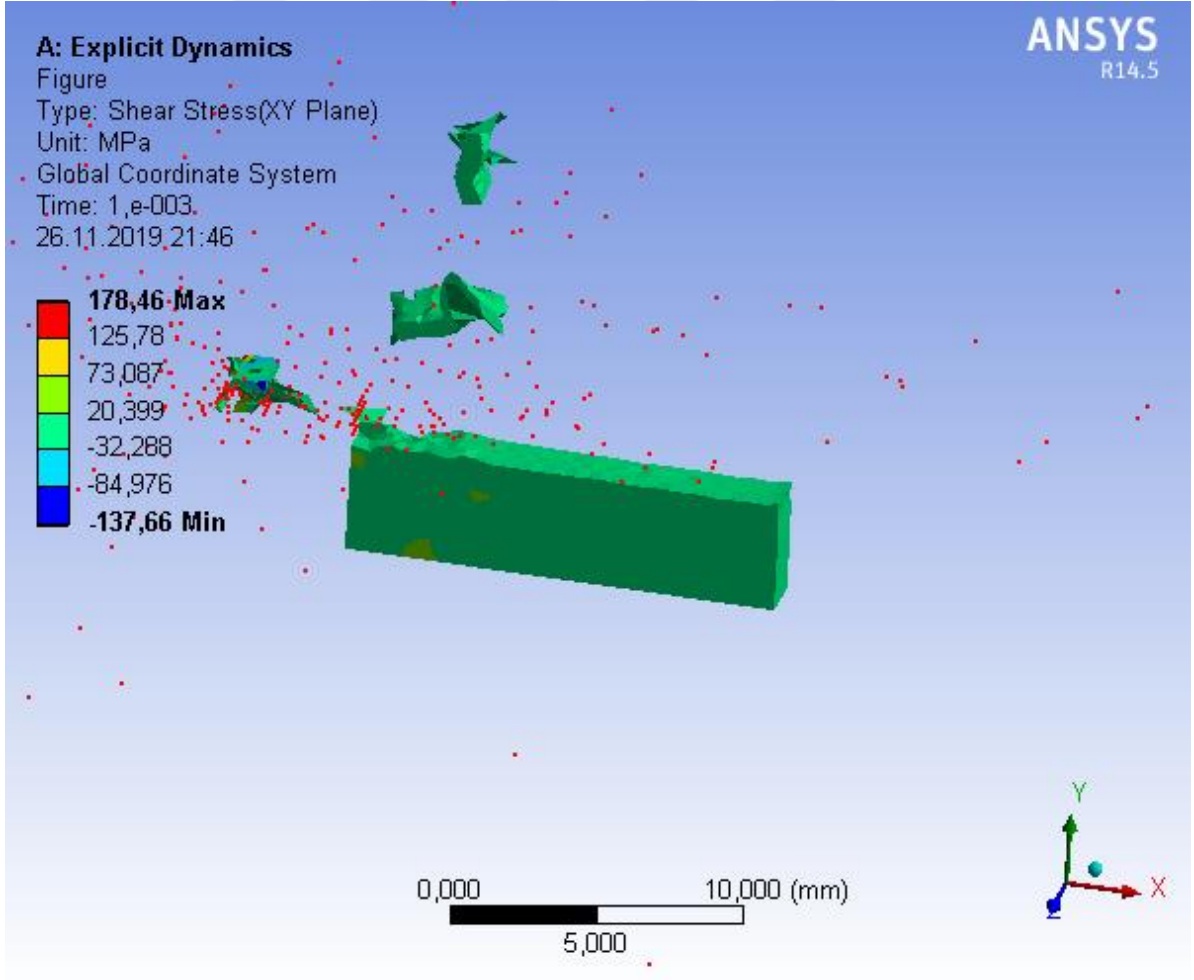
Şekil 5.48. Pah açısı 40 derece ve hipotenüsü 8 mikrometre olan takımın kayma gerilme analiz grafiği



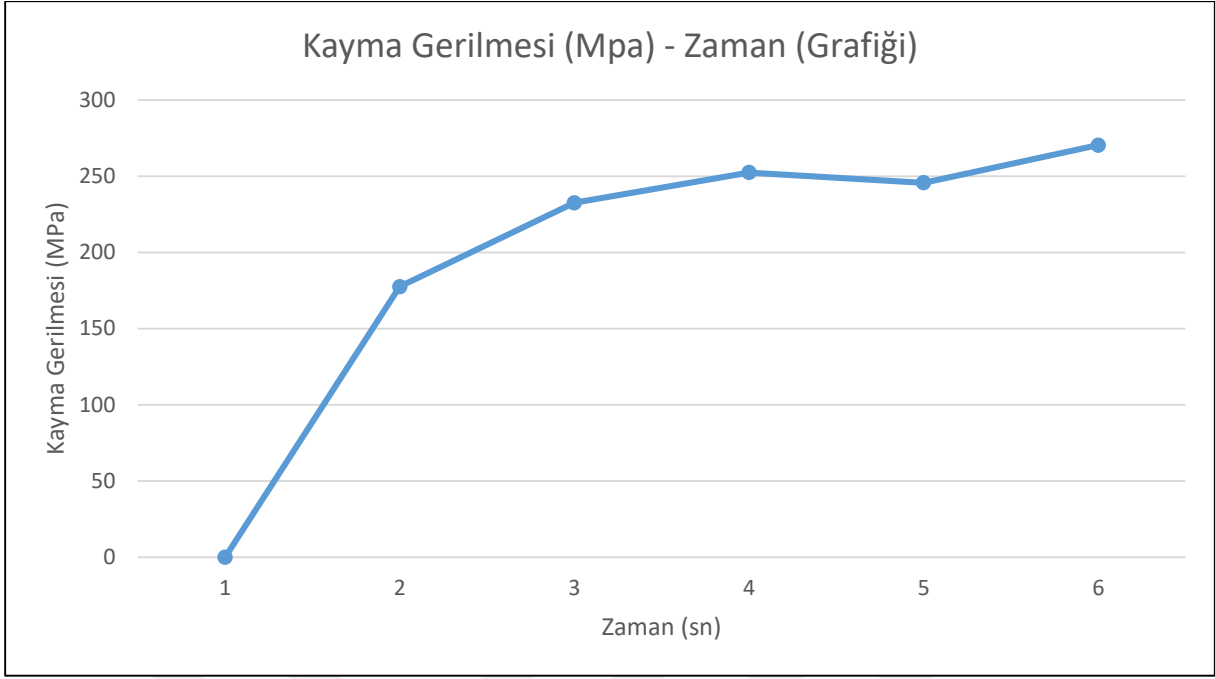
Şekil 5.49. Pah açısı 40 derece ve hipotenüsü 8 mikrometre olan takımın kayma gerilme analiz görseli



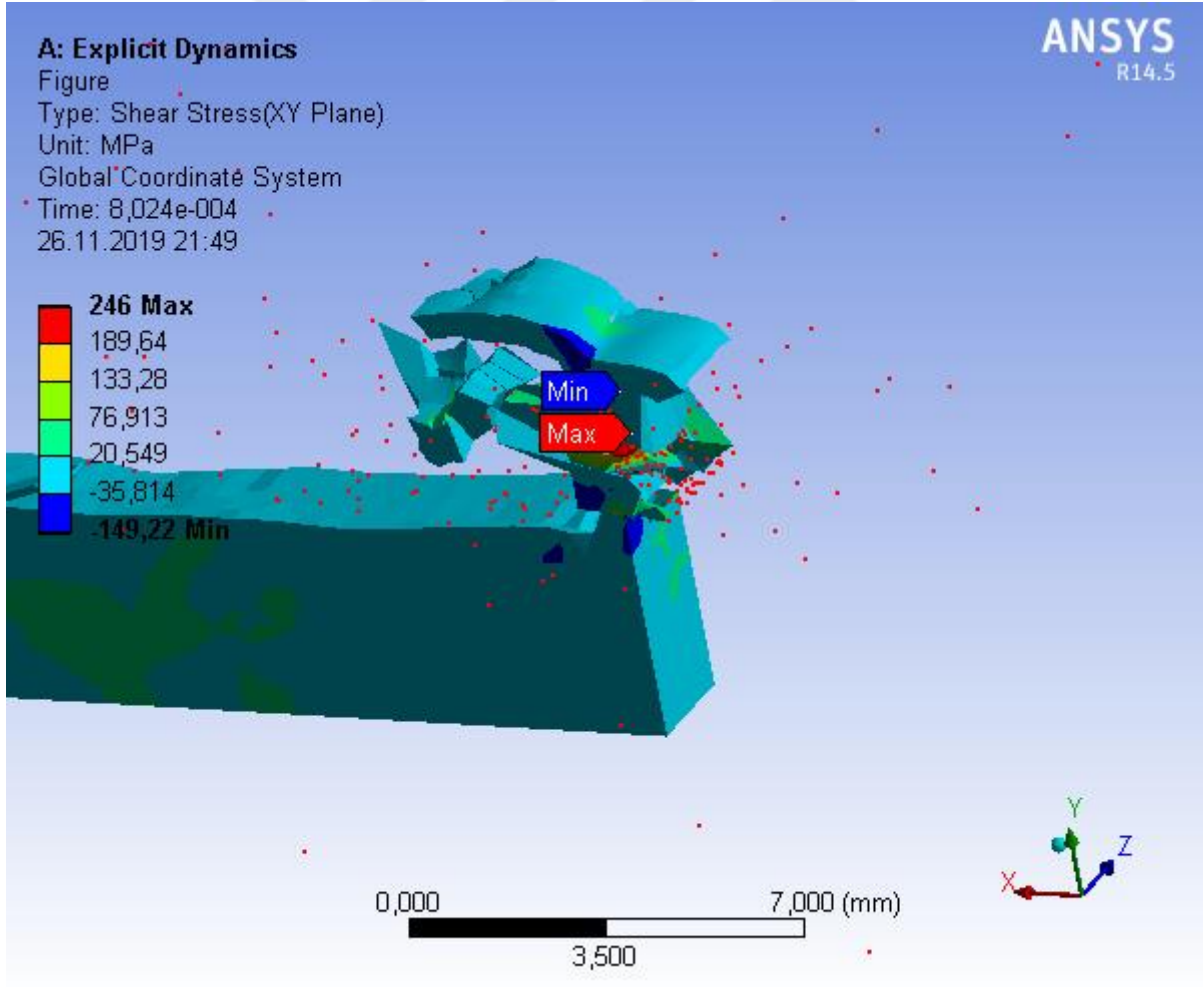
Şekil 5.50. Pah açısı 40 derece ve hipotenüsü 12 mikrometre olan takımın kayma gerilme analiz grafiği



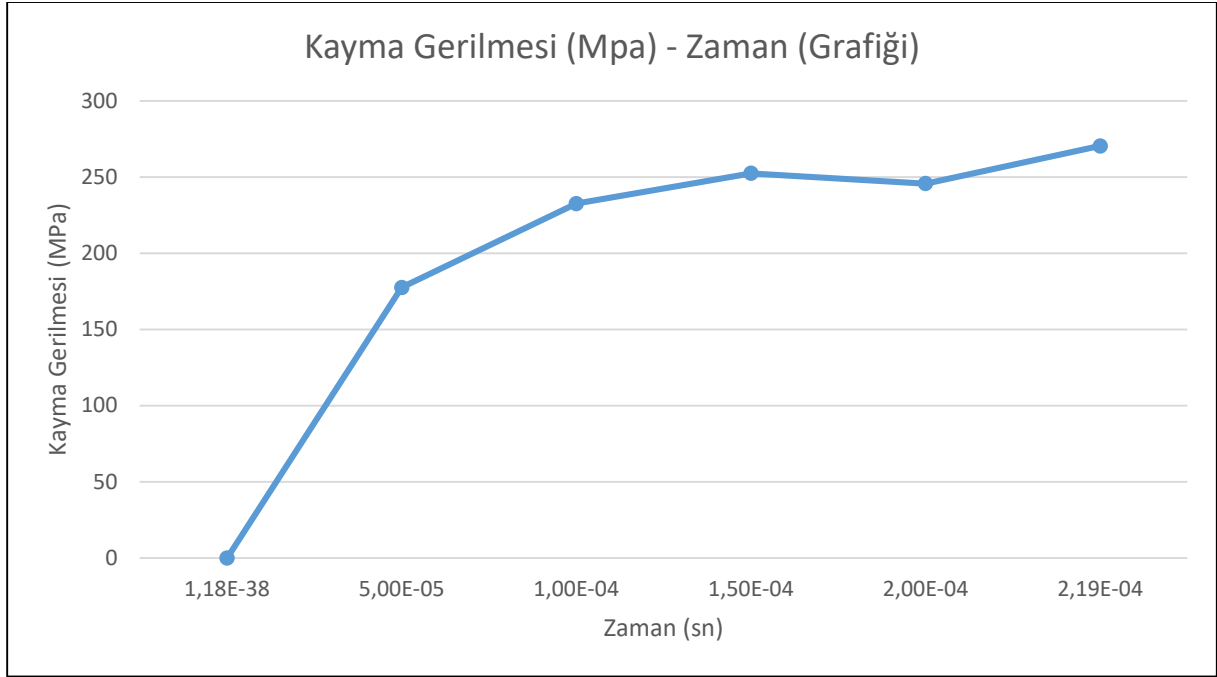
Şekil 5.51. Pah açısı 40 derece ve hipotenüsü 12 mikrometre olan takımın kayma gerilme analiz görseli



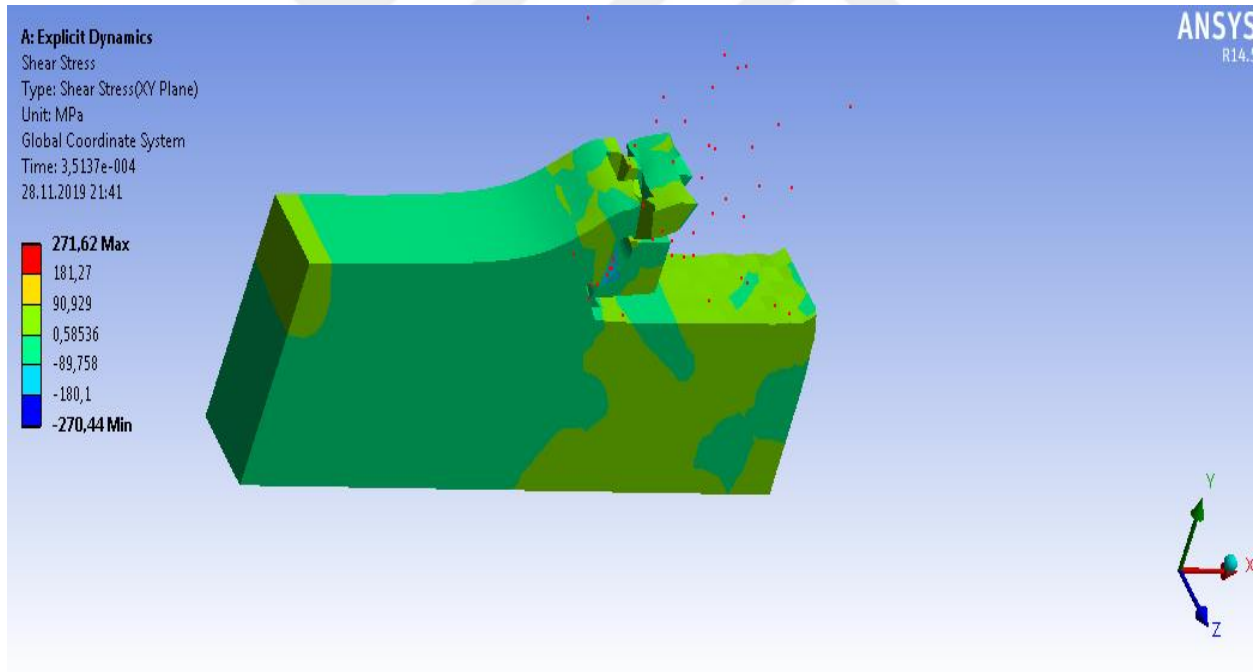
Şekil 5.52. Pah açısı 40 derece ve hipotenüsü 20 mikrometre olan takımın kayma gerilme analiz grafiği



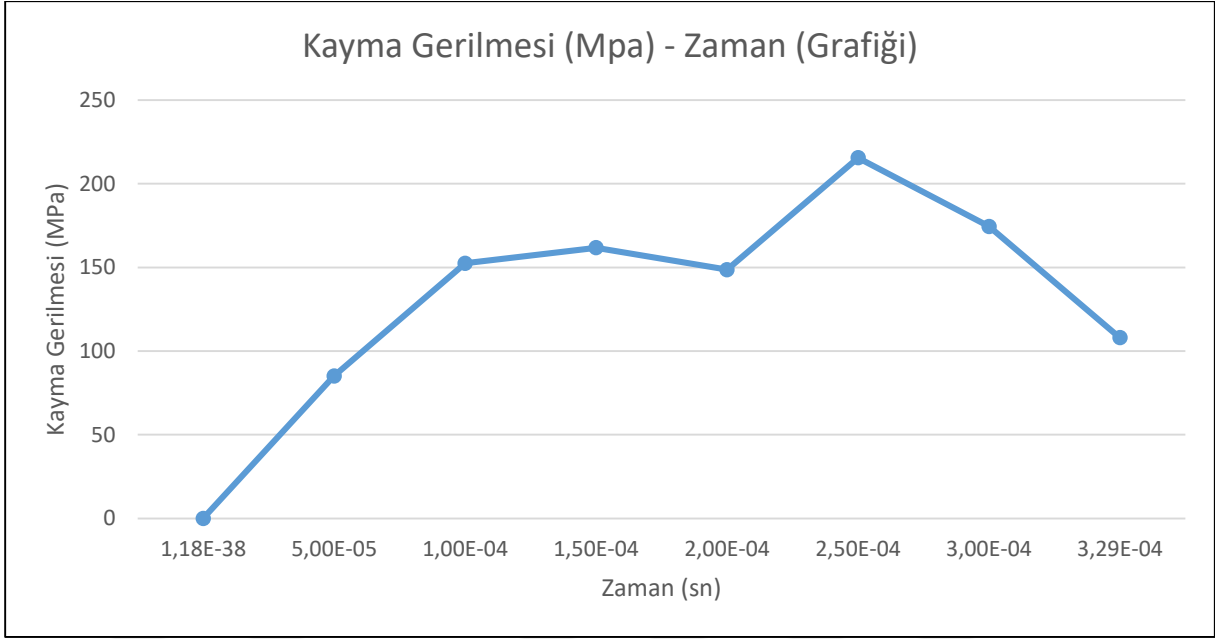
Şekil 5.53. Pah açısı 40 derece ve hipotenüsü 20 mikrometre olan takımın kayma gerilme analiz görseli



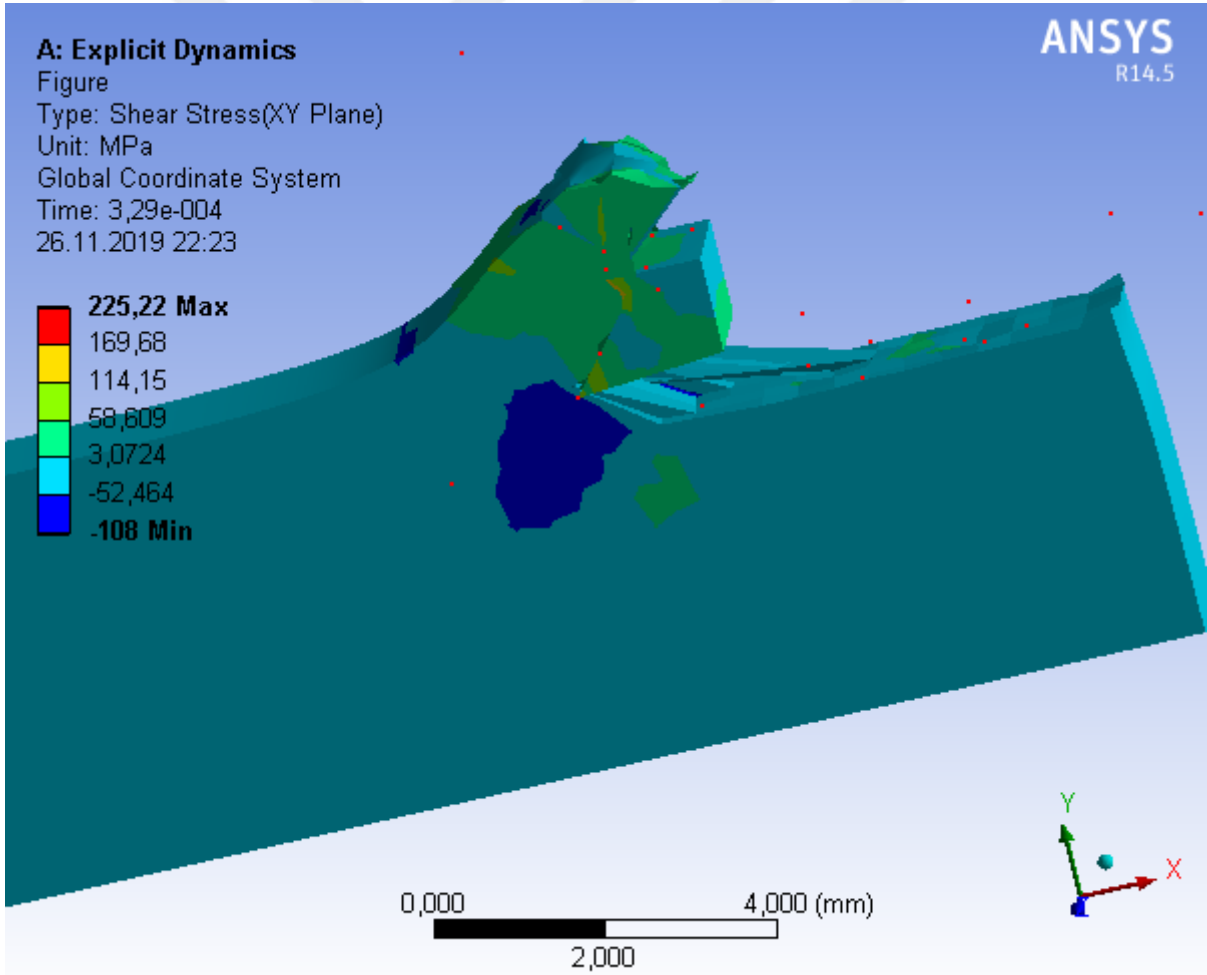
Şekil 5.54. Radüsü 8 mikrometre olan takımın kayma gerilme analiz grafiği



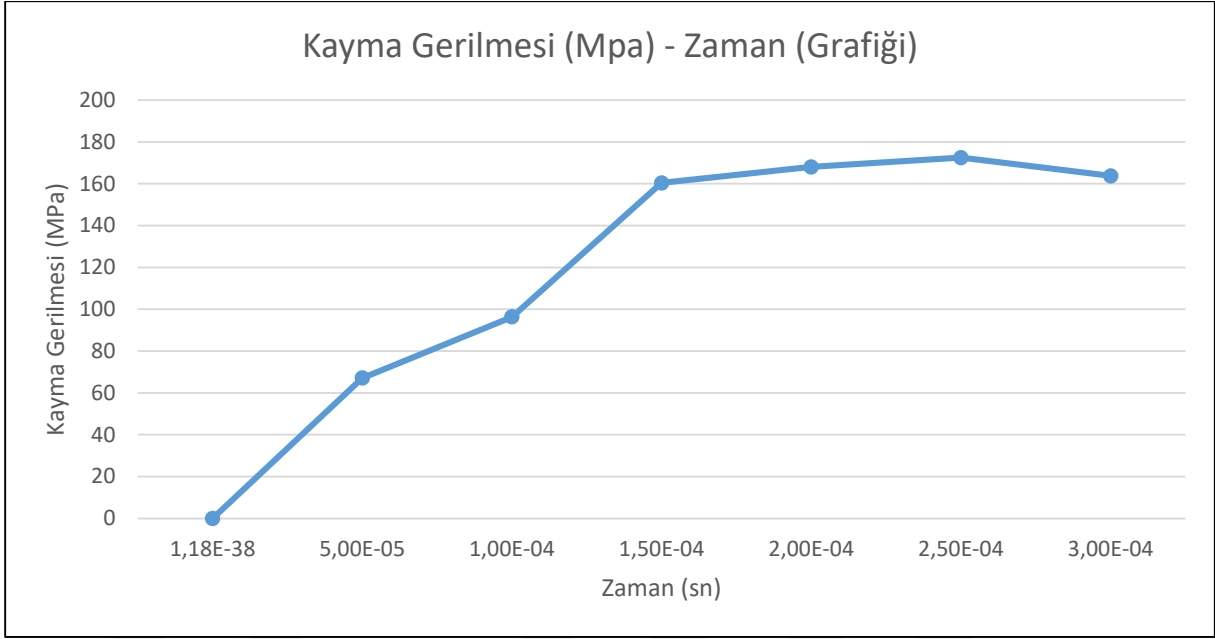
Şekil 5.55. Radüsü 8 mikrometre olan takımın kayma gerilme analiz görseli



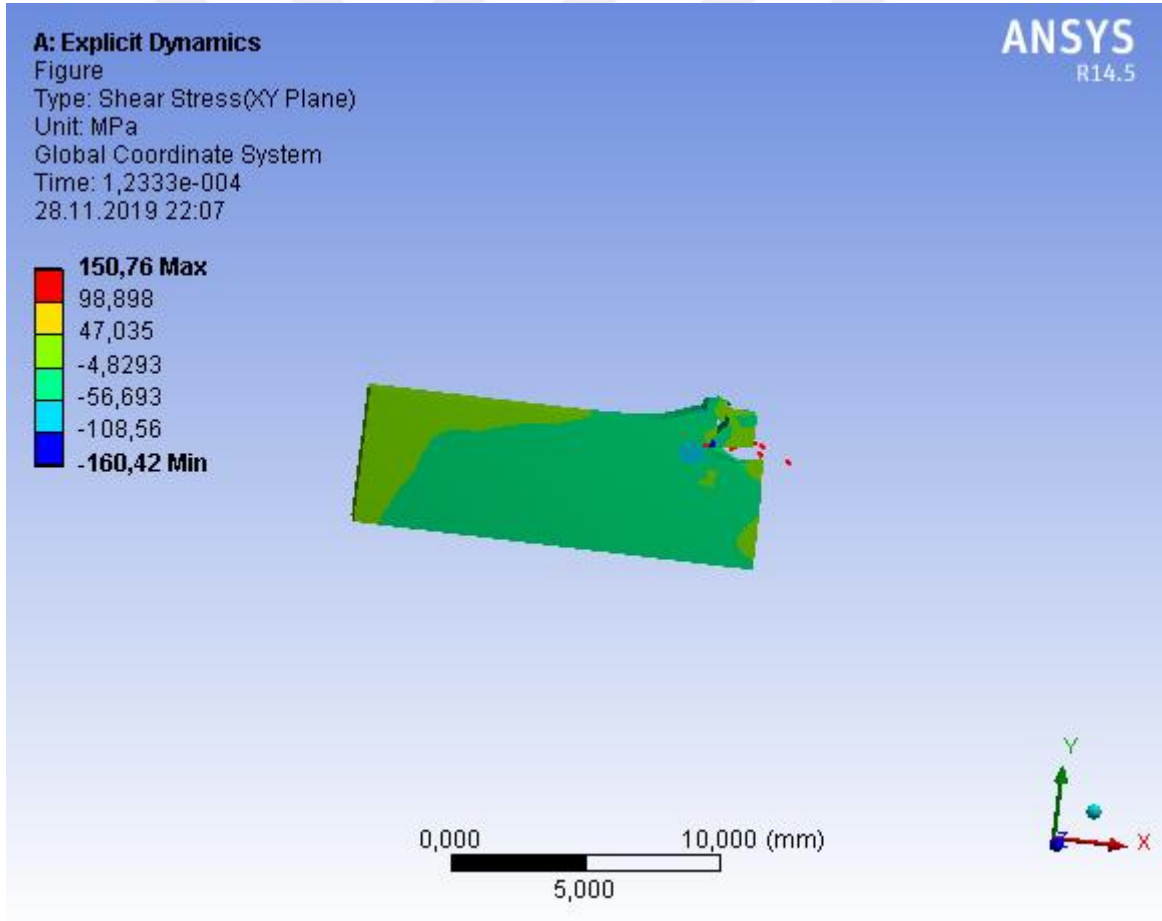
Şekil 5.56. Radüsü 12 mikrometre olan takımın kayma gerilme analiz grafiği



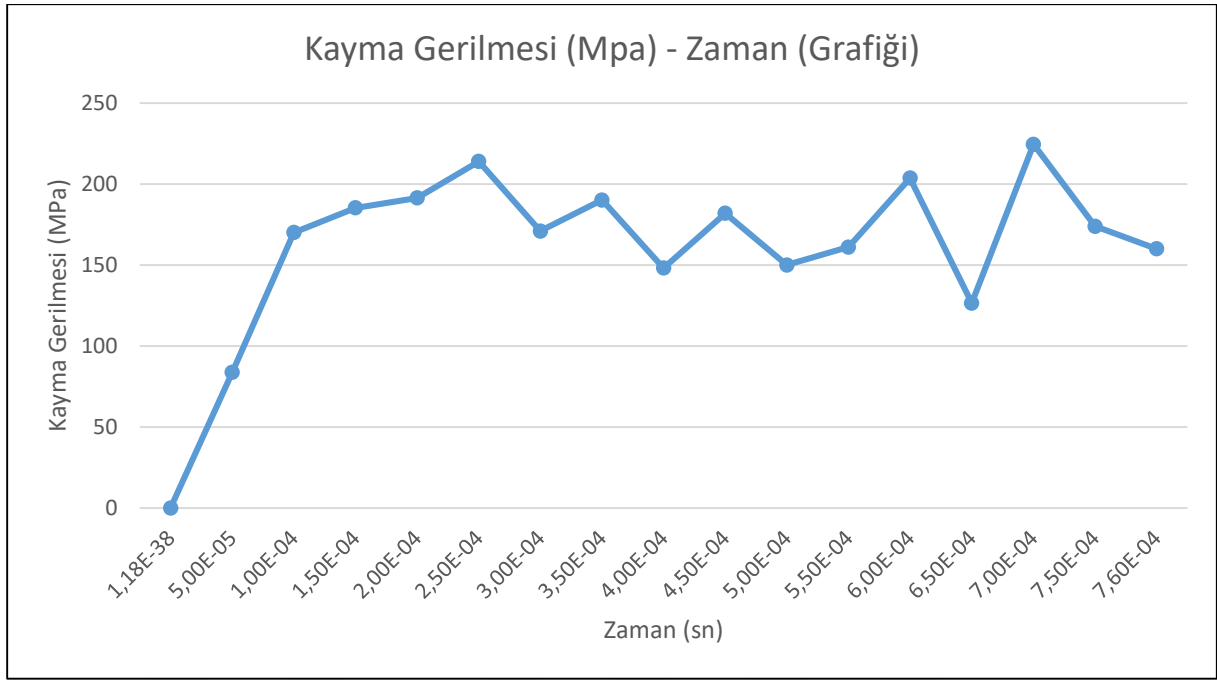
Şekil 5.57. Radüsü 12 mikrometre olan takımın kayma gerilme analiz görseli



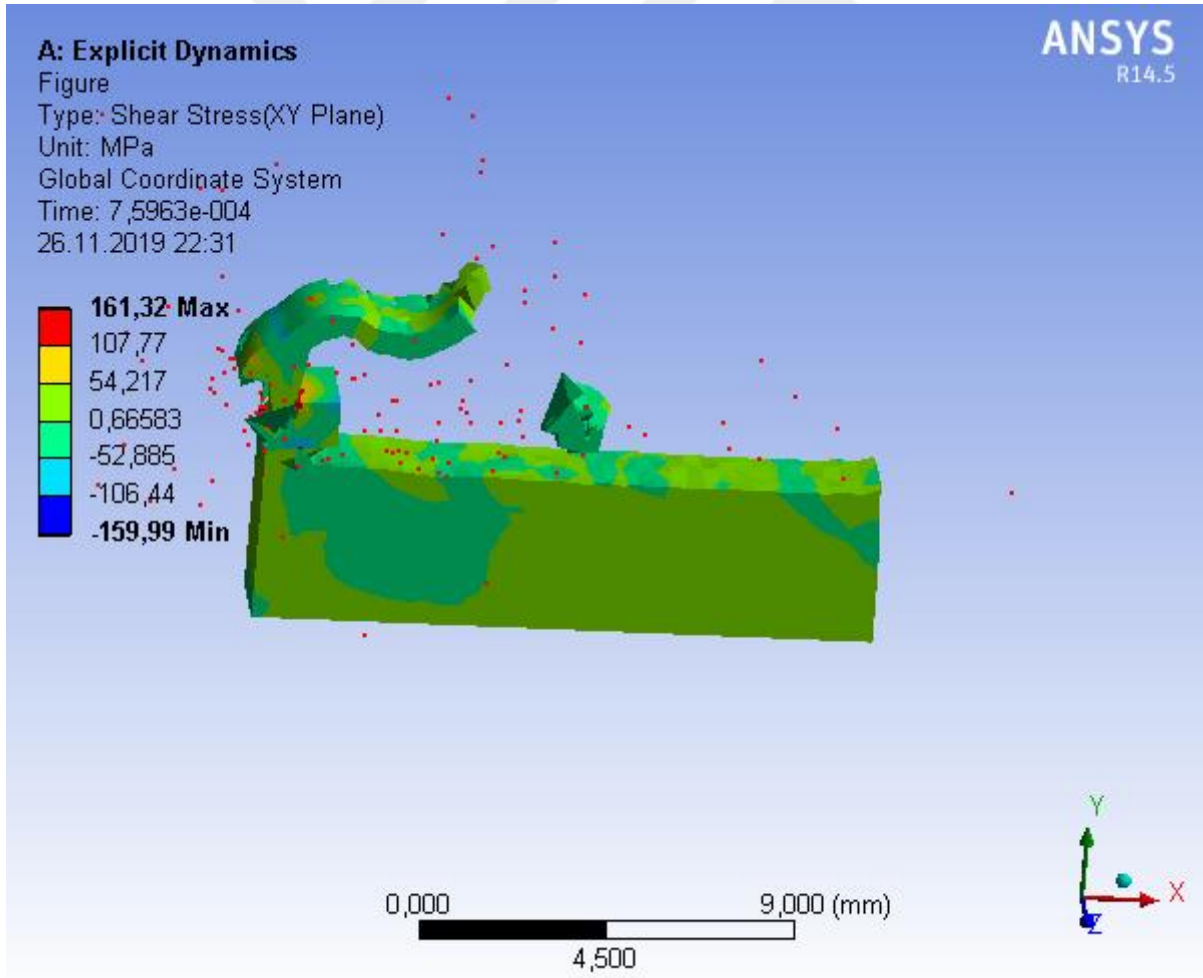
Şekil 5.58. Radüsü 16 mikrometre olan takımın kayma gerilme analiz grafiği



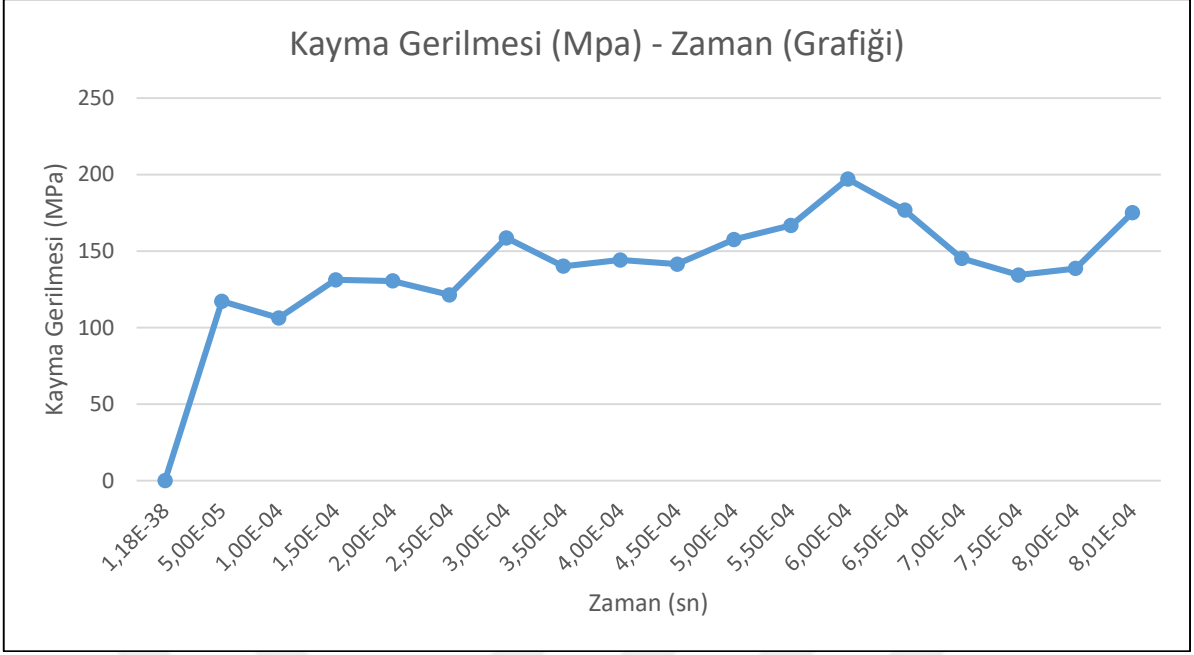
Şekil 5.59. Radüsü 16 mikrometre olan takımın kayma gerilme analiz görseli



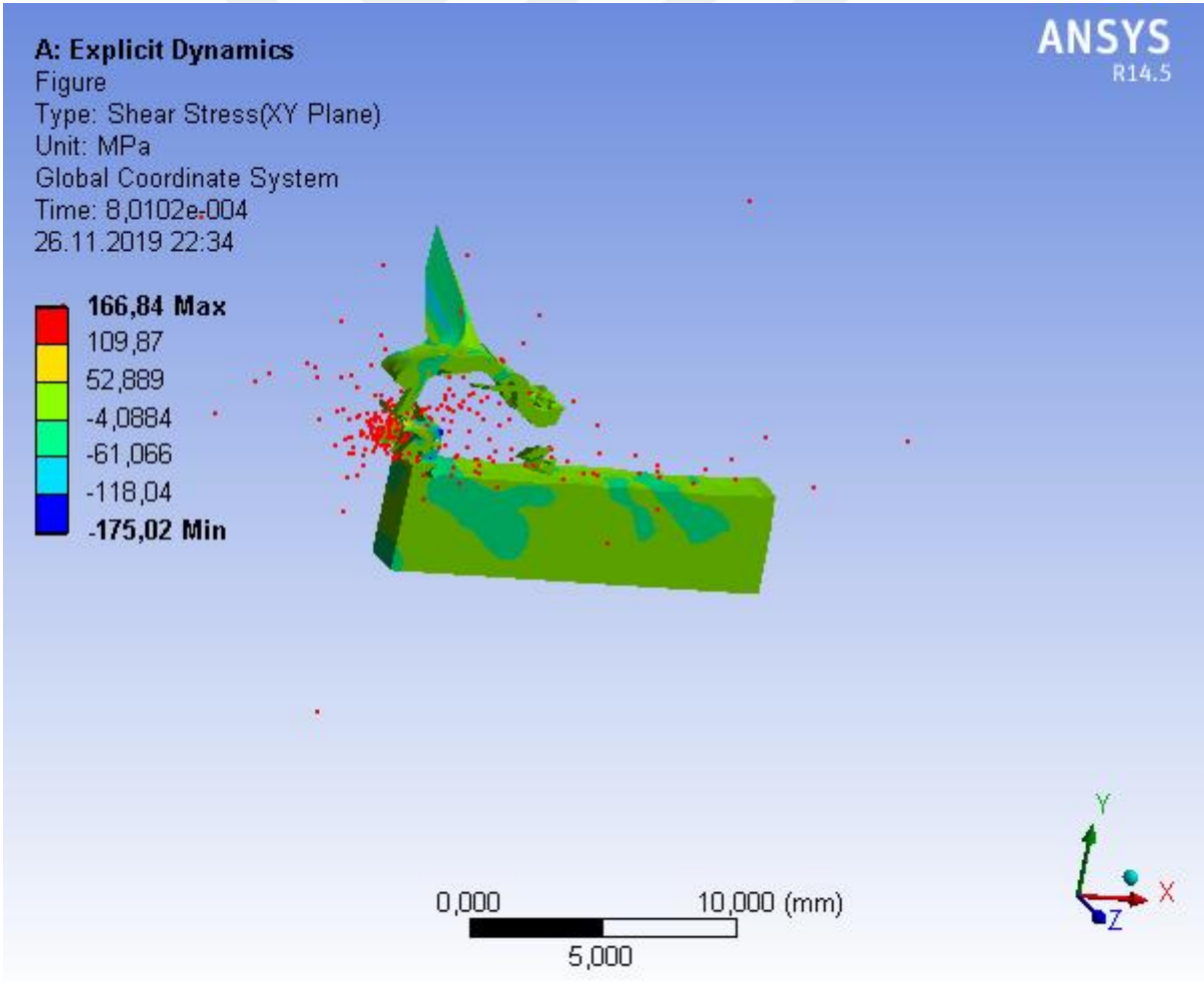
Şekil 5.60. Radüsü 20 mikrometre olan takımın kayma gerilme analiz grafiği



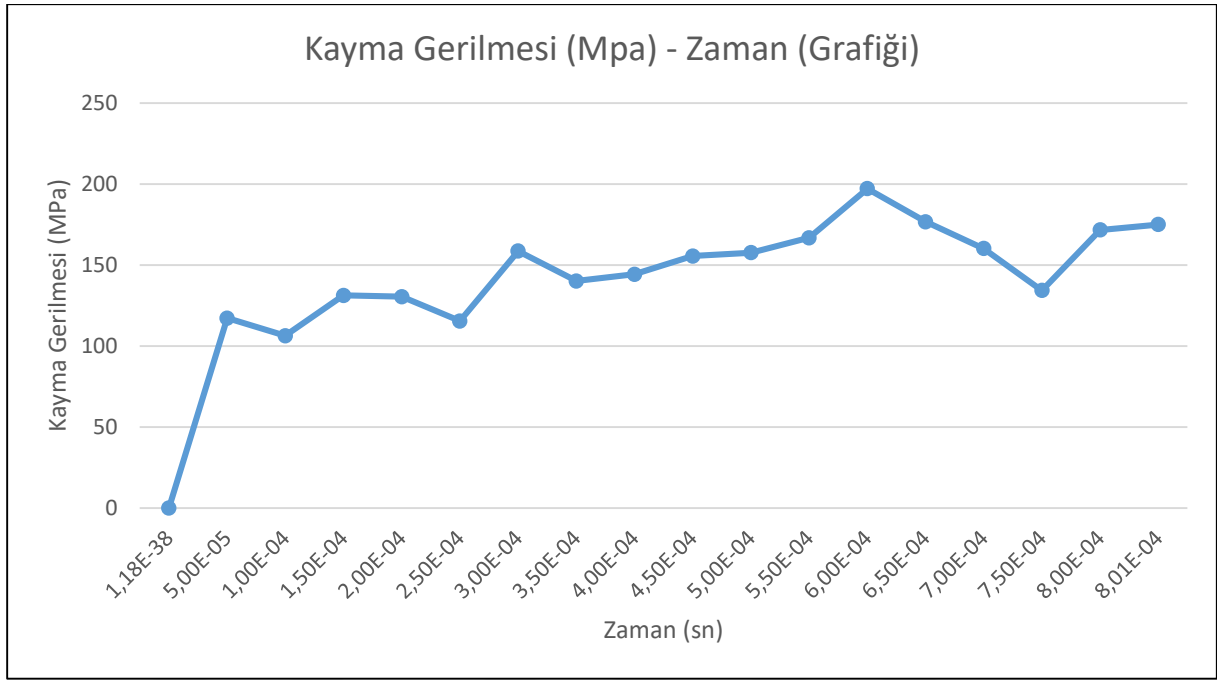
Şekil 5.61. Radüsü 20 mikrometre olan takımın kayma gerilme analiz görseli



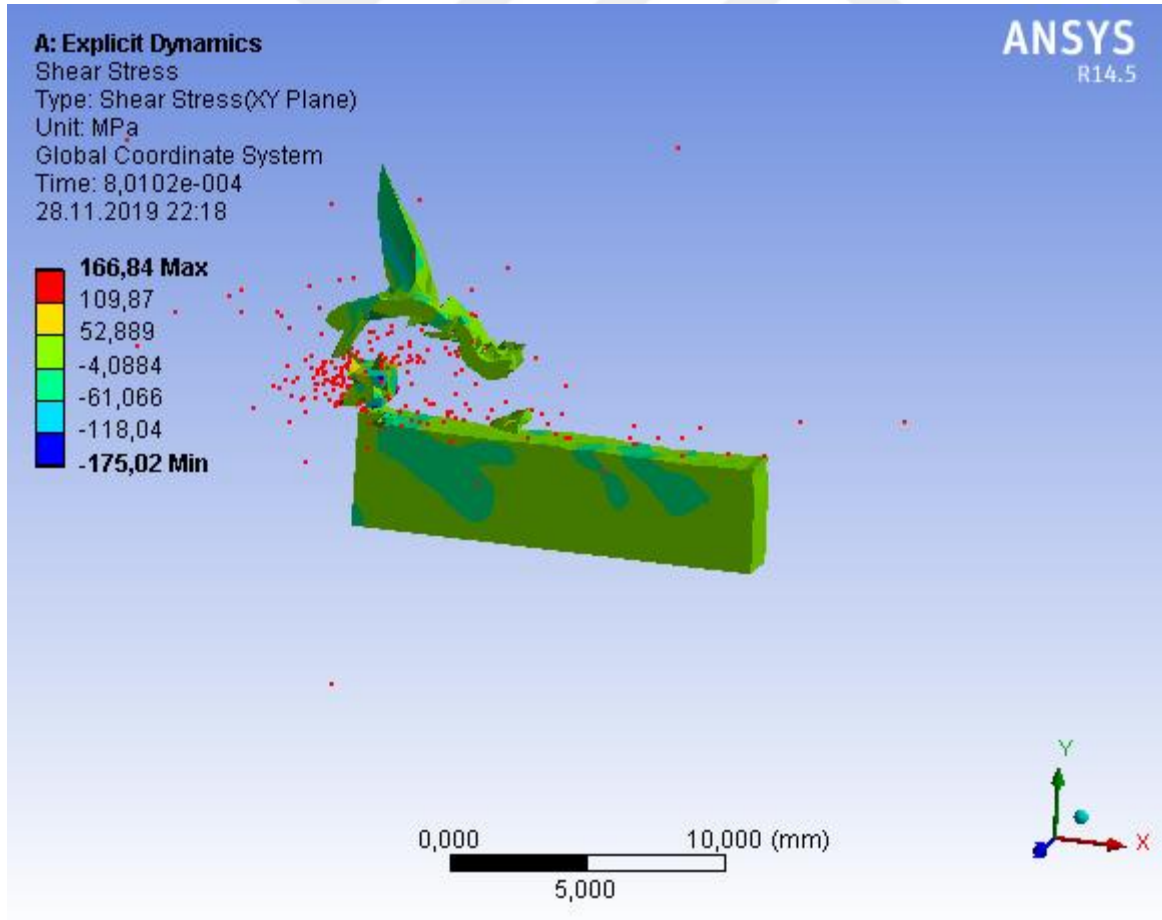
Şekil 5.62. Radüsü 32 mikrometre olan takımın kayma gerilme analiz grafiği



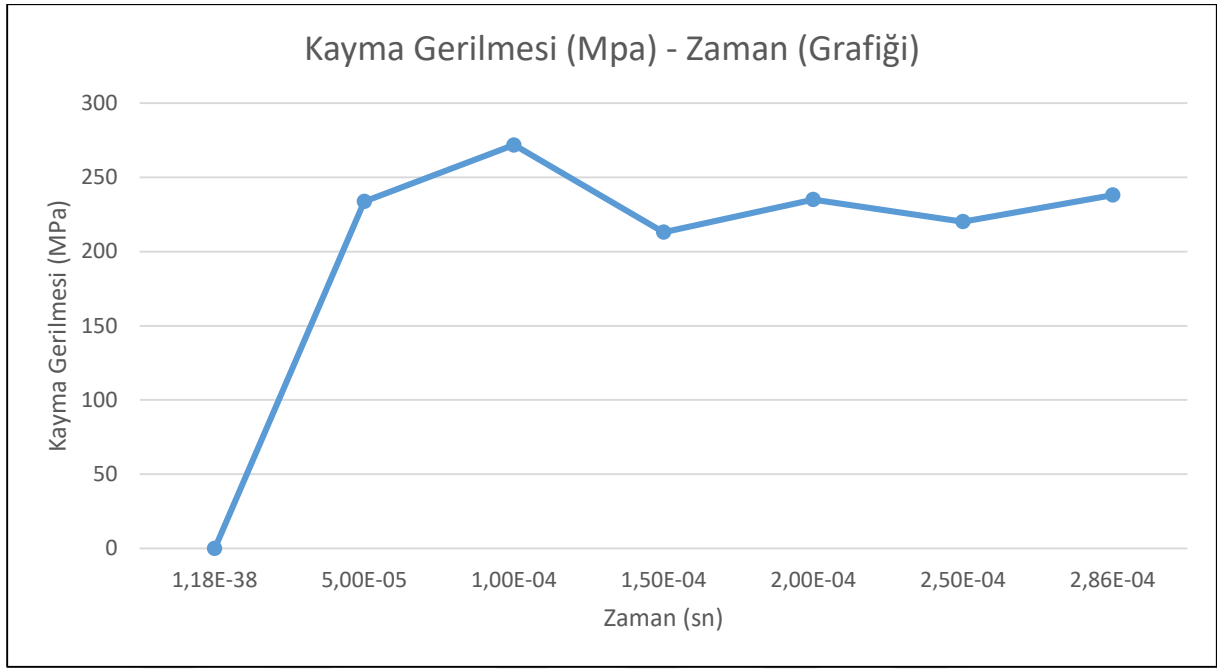
Şekil 5.63. Radüsü 32 mikrometre olan takımın kayma gerilme analiz görseli



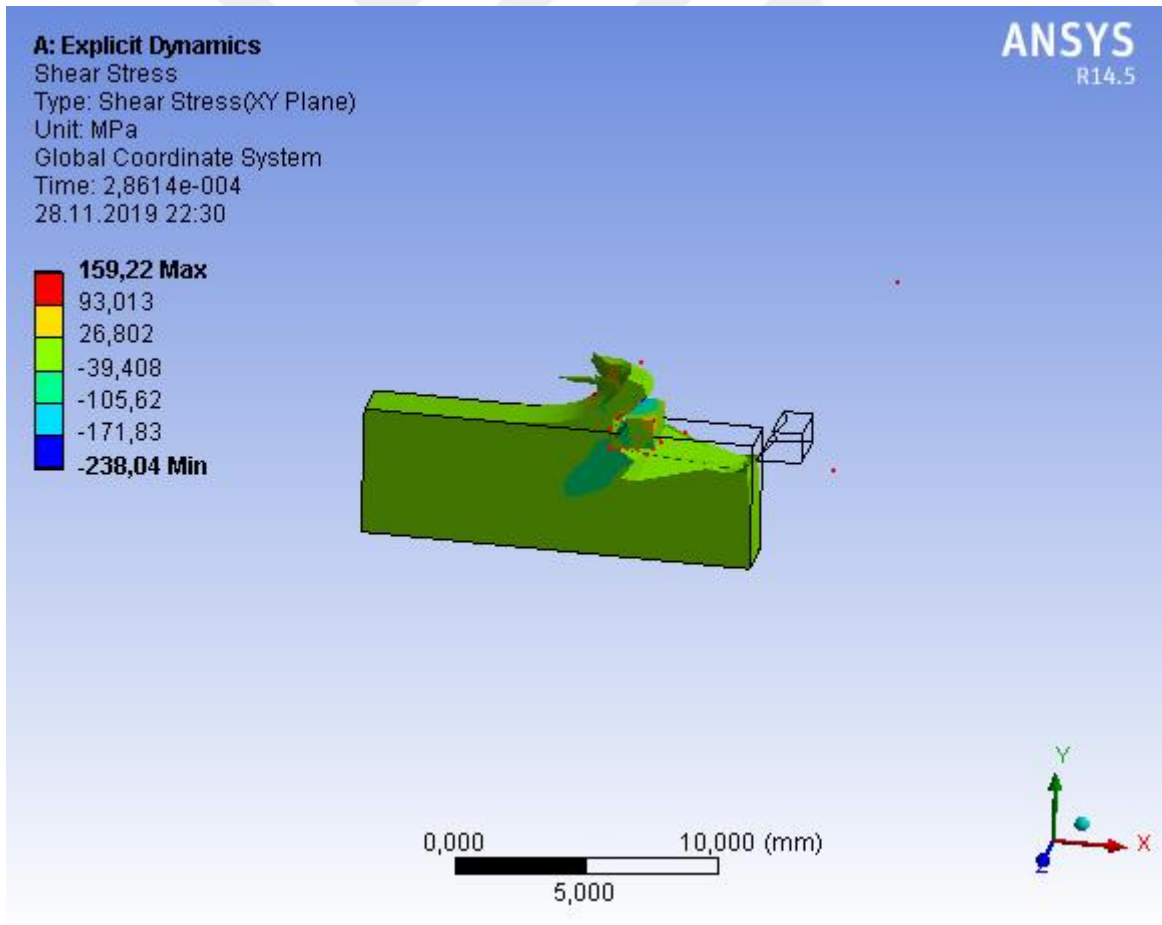
Şekil 5.64. Radüsü 48 mikrometre olan takımın kayma gerilme analiz grafiği



Şekil 5.65. Radüsü 48 mikrometre olan takımın kayma gerilme analiz görseli



Şekil 5.66. Radüsü 64 mikrometre olan takımın kayma gerilme analiz grafiği



Şekil 5.67. Radüsü 64 mikrometre olan takımın kayma gerilme analiz görseli

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

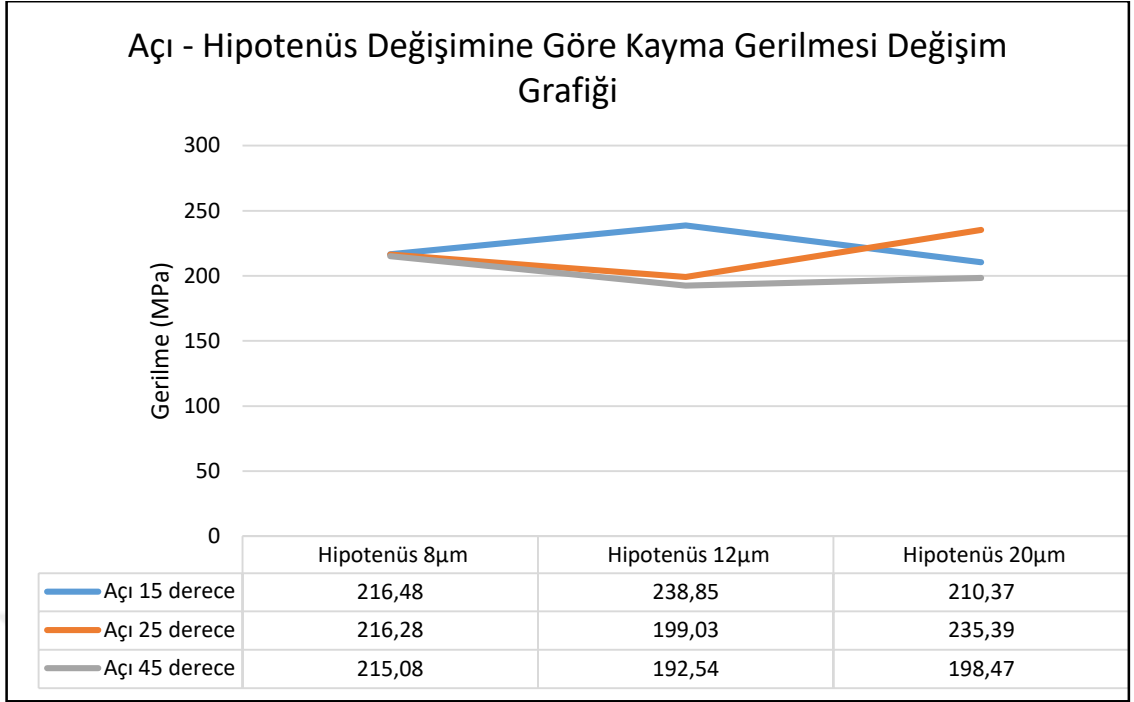
6.1 Sonuç

Kesici takıma hiçbir köşe hazırlama uygulanmadığı haliyle analiz edildiğinde, takımın iş parçasında oluşturduğu maksimum gerilme ise 181,28 MPa olmuştur. Takım üzerindeki gerilmenin maksimum olduğu nokta, kesici takımın sivri olan uç kısmı olarak gözlemlenmiştir. Bu sonuca bağlı olarak gerilmenin takım geometrisi üzerine yayılmadığı ve tek noktada toplandığı anlaşılmıştır. Bu bağlamda takımın hızlıca deforme olacağı sonucuna ulaşılmıştır. Talaş kalkma anındaki gerilmeler gözlemlendiğinde ise talaşın, takımın talaş yüzeyine yakın kısımda maksimum gerilmeye ulaştığı görülmüştür ve takımın bu yüzeyden daha hızlı aşınabileceği konusunda öngörü sahibi olunmuştur.

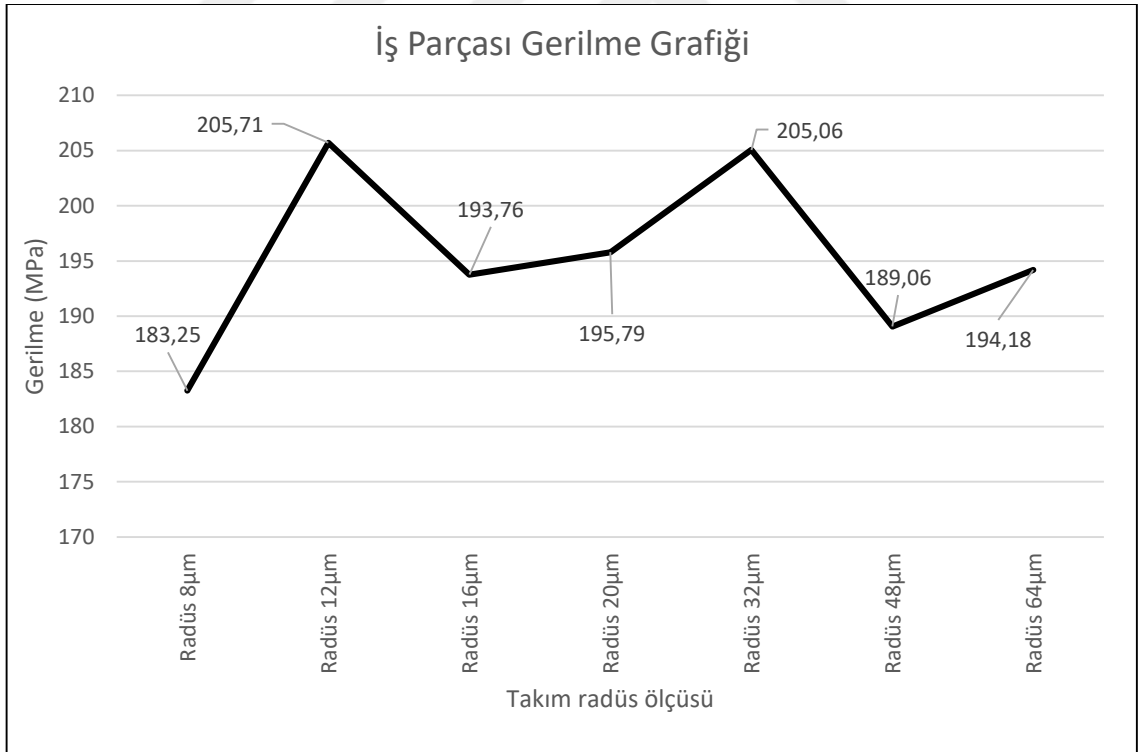
Pah kırılarak köşe hazırlama işlemi yapılan takımlar incelendiğinde, 15° açıda 8,12 ve 20 mikrometre hipotenüs uzunluğuna sahip takımla işlenen iş parçasında hipotenüs uzunluğuna göre sırasıyla maksimum 216,48; 238,85 ve 210,37 MPa gerilme oluşmuştur. 15° açı ile köşe hazırlaması tasarlanan takımın analiz sonucunda yine hipotenüs uzunluğuna göre (8µm,12µm ve 20µm) sırasıyla maksimum kayma gerilmesi 252,33; 247,92 ve 249,25 MPa gerilme oluşmuştur. Takımdaki gerilmenin dağılımı incelendiğinde gerilmeler takımın serbest yüzeyinde daha fazla olduğu anlaşılmıştır. Köşe hazırlaması, 25° açıdan oluşan pahlı takımda da üç farklı hipotenüs ölçüsü ile analiz yapılmıştır. İşlenen iş parçasında oluşan gerilmeler ise 8 mikrometre hipotenüse sahip takımda maksimum 216,28 MPa; 12 mikrometrelik hipotenüslü takımda en fazla 199,03 MPa ve 20 mikrometrelik hipotenüsle işlenen takımda ise en büyük gerilme 235,39 MPa olarak gözlemlenmiştir. Gerilmenin parça üzerindeki durumuna bakıldığında, talaş oluşum gerilmelerinin keskin köşeli takımın talaş oluşum gerilmelerine göre daha homojen dağıldığı görülür. 25° pah açısı ile oluşturulan takımda 8,12 ve 20 mikrometrelik hipotenüs ölçülerine göre sırasıyla maksimum 246,95; 268,41 ve 244,16 MPa kayma gerilmesinin oluştuğu görülmektedir. Bu takımda gerilme dağılımının takımın talaş yüzeyine yakın bölgelerde fazla olduğu görülür fakat keskin köşede gerilmeler azdır. Pahlı köşe hazırlamanın üçüncü modellemesi olan ve 40° açı pah kırılarak köşe hazırlaması tasarlanan takımlar ile işlenen iş parçasına ait maksimum gerilmeleri en fazla 215,08; 192,54 ve 198,47 MPa gerilme oluşmuştur. Ayrıca, analizin gerilme sonucunun dağılımına bakıldığında talaş gerilmeleri homojen olmuştur. Ortogonal kesme teorisinde tahmin edilen kayma bölgelerinin oluştuğu gözlemlenmiştir. Takım üzerindeki kayma gerilmeler ise 40 derece açığa sahip takım için hipotenüs ölçülerine göre en büyük değerleri 8 mikrometre hipotenüs uzunluğunda

225,45MPa; 12 mikrometre hipotenüs uzunluğunda 275,3 MPa ve 20 mikrometre hipotenüs uzunluğunda 245,77 MPa olarak gözlemlenmiştir. Takımda oluşan gerilme dağılımı, diğer pah kırılarak hazırlanan takımlarla aynı gerilme durumuna sahiptir.

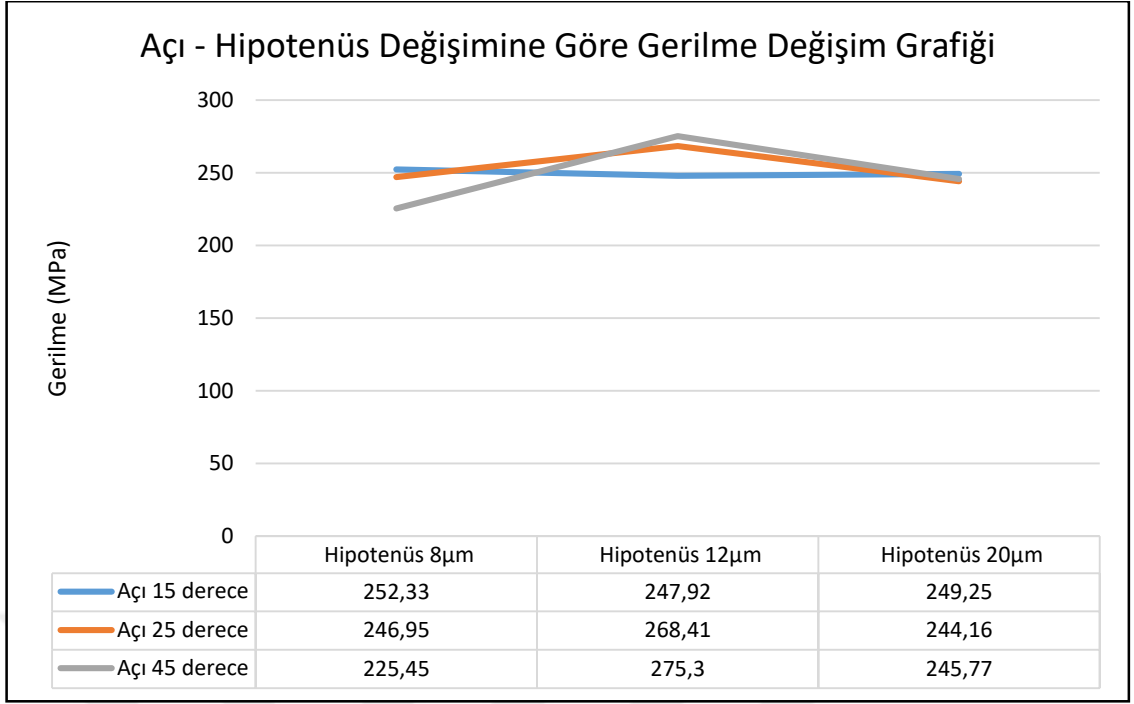
Radüslü modellenen takımlar ve iş parçalarının analiz sonuçlarına bakıldığında, 8 µm köşe radüsüne sahip takım ile işlenmesi modellenen iş parçasında en yüksek gerilme değeri 183,25 MPa olduğu görülmektedir. İş parçasındaki gerilmenin yoğun olduğu bölge, kayma düzlemine yakındır. 8 µm radüs ile köşe hazırlama uygulanan takımda oluşan maksimum kayma gerilmesi 270,44 MPa olmuştur. 12 µm köşe yuvarlatma uygulanan takımla işlenen parça için yapılan analizde maksimum gerilme 205,71 MPa olmuştur. Takım üzerinde oluşan gerilme büyüklüğü incelendiğinde en fazla kayma gerilmesi 215,54 MPa olmuştur. 16 µm radüs ölçüsü ile yapılan analizde, iş parçasında en fazla 193,76 MPa gerilme görülmüştür. Talaş oluşumu ortogonal kesme modellemesindeki kayma bölgeleri ile benzer kayma bölgelerine sahiptir ve büyük gerilmeler takımın kesme yüzeyine yakın bölgelerde ortaya çıkmıştır. Bu takımın gerileme analizi yapıldığında ise maksimum kayma gerilmesi 172,48 MPa olmuştur ve gerilme görseli incelendiğinde takımın uç kısımlarında gerilmenin fazla olduğu görülmektedir. 20 µm köşe hazırlama ölçüsüne sahip takımda ise iş parçasında oluşan gerilme 195,79 MPa ve takım üzerinde oluşan kayma gerilmesi ise 224,52 MPa olmuştur. Yapılan analizlerde köşe yuvarlatma olarak 32 mikrometre radüse sahip takımla işlenen parçada maksimum görülen gerilme 205,06 MPa ve takımın kendisinde görülen maksimum kayma gerilmesi 197,13 MPa olarak görülmüştür. 48 mikrometre radüse sahip takım ile modellenen analizde iş parçasında oluşan en büyük gerilme 189,06 MPa ve takımda oluşan maksimum kayma gerilmesi 197,13 MPa olmuştur. En büyük radüs ölçüsü olan 64 µm ile modellenen analizde iş parçasında oluşan maksimum gerilme 194,18; takımda oluşan maksimum kayma gerilmesi ise 271,77 MPa (Şekil 6.1 - Şekil 6.2).



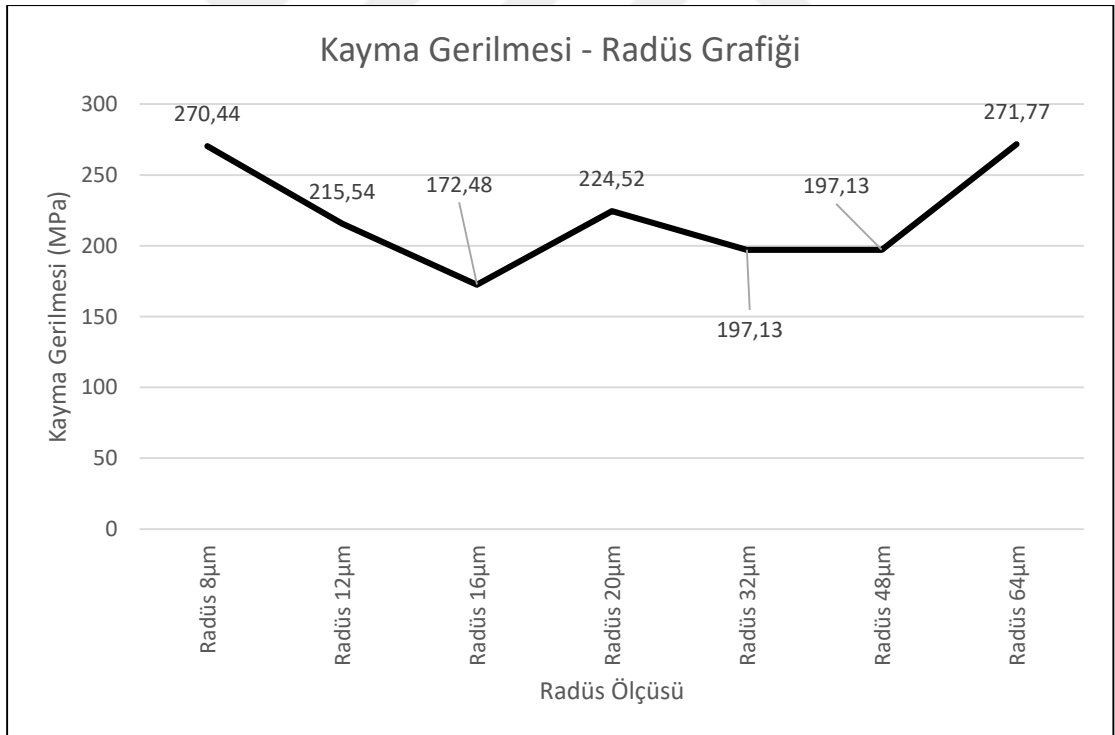
Şekil 6.1. Pahlı takımların talaş kaldırma sırasındaki iş parçası gerilmeleri



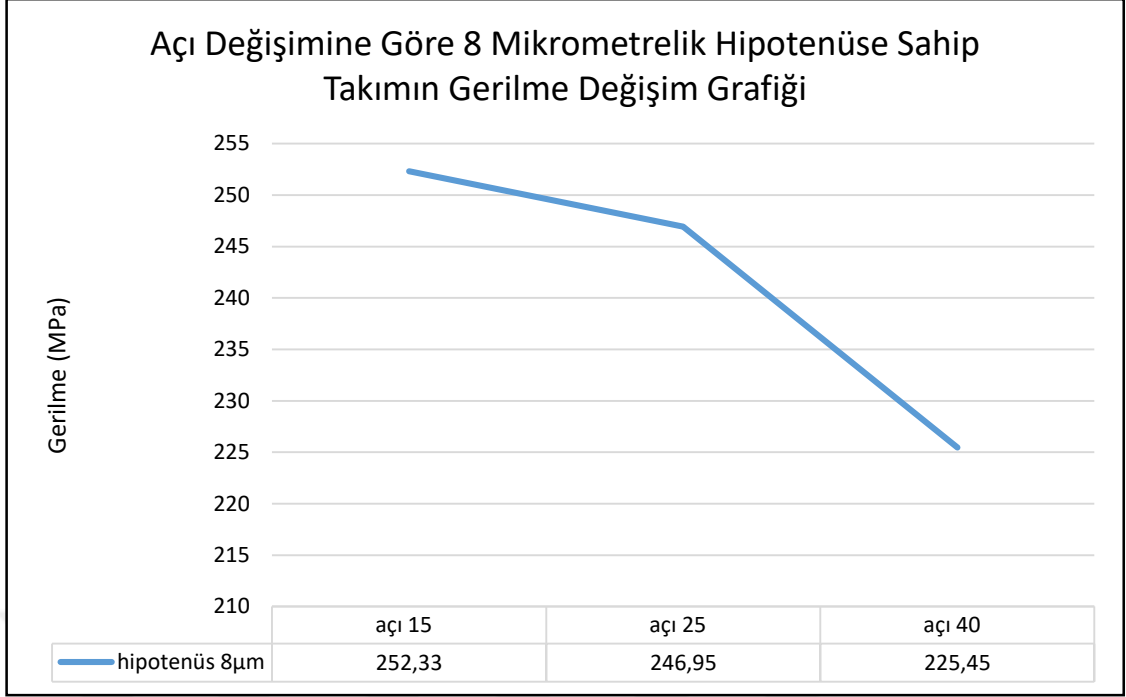
Şekil 6.2. Radüslü takımların iş parçası üzerinde oluşturduğu gerilmeler



Şekil 6.3. Pahlı takımların talaş kaldırma sırasındaki gerilmelerin Hipotenüs-Açı değişimine göre grafiği



Şekil 6.4. Radüslü takımların talaş kaldırma sırasındaki gerilmeleri



Şekil 6.5. Açı değişimine göre 8 mikrometrelik hipotenüse sahip takımın gerilme değişim grafiği

6.2 Tartışma

Kesici takımların, talaş kaldırma sırasında oluşan gerilme durumlarının incelendiği bu çalışmada takım üzerinde oluşan en düşük kayma gerilmesi 16 µm radüs ile modellenen takımda görülmüştür. Takım aşınmalarının serbest yüzey kısmında yoğun olduğu takımlar için literatürdeki formüllere göre bu geometrinin kullanımı uygundur. Ancak 8 mikrometrelik radüslü takım serbest yüzey aşınmasına dirençli değildir.

Takımların, iş parçası üzerinde oluşturduğu gerilme büyüklüklerine bakıldığında en düşük gerilmeyi 8 µm köşe radüslü takımın oluşturduğu görülmektedir. Uç radüsleri tasarlanırken çok iyi optimizasyon yapılması gerektiği ortaya çıkmıştır. Çünkü 8 µm radüslü takımın gerilmesi, diğer radüslü takımlar ile kıyaslandığında küçükten büyüğe % 12, %5,5 %6,5, % 12,1, %3,2 ve %6 daha küçük olduğu görülmüştür. Bu nedenle talaş yüzeyi aşınmasının fazla olduğu takımlarda 8 mikrometrelik radüs kullanımı uygundur.

Sonuçlara göre takım aşınması göz önüne alındığında takımların serbest yüzey kısmından daha hızlı aşınacağı geometriler ise radüslü 8 mikrometre, 64 mikrometre ve 40 derece açılı 12 mikrometre hipotenüs uzunluklu takımlar olarak gözlemlenmiştir. Krater aşınmasının en fazla olacağı takımlar ise 12 mikrometre 15 derece açılı 12 mikrometre ve 20 mikrometre ve 25 derece açılı modellemeler olarak sonuçlanmıştır. Bu grafik ve veriler

sonucunda takım hangi aşınma mekanizmasına maruz kalıyorsa takım tasarımını da ihtiyaca göre revize edebilme ön görüşüne sahip olunmuştur.

Yapılan çalışmada 8 mikrometrelilik köşe hazırlama ile analizi yapılan takımlarda ise açı arttıkça gerilmelerin düştüğü gözlemlenmiştir.

6.3 Öneriler

Çalışmanın en önemli önerisi takımların mevcut çalışma şartlarında yaşanan problemlere göre optimizasyon yapılması için bir ön görüş sağlamasıdır. Çıktılara göre krater aşınması görülen takımlarda 8 mikrometrelilik radüslü takım kullanılması önerilmektedir, ayrıca serbest yüzey aşınması görülen takımlarda ise 16 mikrometrelilik radüslü takım kullanılması tavsiye edilmektedir. Çalışmadan çıkarılan sonuca göre yan kenar aşınması görülen takımlarda 16 mikrometrelilik radüs ile köşe hazırlama uygulanan takım kullanımının faydalı olacağı görülmüştür.

Analiz sonuçları önemli öngörüler sağlamaktadır, fakat konuyla ilgili deneysel çalışmanın yapılarak analiz çıktılarının teyit edilmesi bu çalışmanın motivasyonuna olumlu yönde katkı sağlamış olacaktır. Ayrıca bu çalışmanın, gelecekte kalıpcılık ile ilgili araştırmalar içinde çok önemli veriler sağlaması beklenmektedir. Kalıplar da uygulanabilecek köşe yuvarlatma prosesinin çalışmada uygulanan metotlar ile daha kolay anlaşılacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Akkurt, M., 2011, Talaş Kaldırma Bilimi ve Teknolojisi CNC Takım Tezgahları Ve Üretim Otomasyonu, Birsen Yayınevi
- Altan, E., Yıldız Teknik Üniversitesi Talaşlı İmalat 1 – 2 Ders Notları, 2014, İstanbul
- Altan T., Göcmen A., Sartkulvanich P., Effects Of Flow Stress And Friction Models In Finite Element Simulation Of Orthogonal Cutting-A Sensitivity Analysis, Machine Science and Technology, 9:1, 1-26, DOI: 10.1081/MST-200051211
- Altınkaya, E. (2006). “AISI 316 Östenitik çeliğin işlenmesinde kesme değerlerinin ve takım kaplamasının yüzey pürüzlülüğüne ve takım aşınmasına etkilerinin incelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 30-40
- Altintas Y., 2000, Manufacturing Automation-Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations, and CNC Design, Cambridge University Press, Cambridge
- ANSYS Lecture 4, Rate Independent Plasticity, Ansys Mechanical, Basic Structural Nonlinearities, 2011
- ANSYS Appendix 4, Mesh Quality, Ansys Meshing Application Introduction, 2011
- Astakhov, V., Metal Cutting Mechanics, 1st ed. Boca Raton, London, CRC Press, 1999
- Bern, M., Plassmann, P., Mesh Generation, Handbook of Computational Geometry. Elsevier Science 2000
- Biermann, D., Terwey, I., Cutting Edge Preparation to Improve Drilling Tools for HPC Processes, Institute of Machining Technology, Technische University Dortmund, 2008
- Boothroyd, G., Knight, W., Fundamentals Of Machining And Machine Tools, 3rd ed., Boca Raton, Taylor and Francis Group, 2006
- Bouzakis K.-D., Michailidis, N., Vidakis, N., Efstathiou, K., Leyendecker, T., Erkens, G., Wenke, R., Fuss, H.-G., Optimization of the Cutting Edge Radius of PVD Coated Inserts in Milling Considering Film Fatigue Failure Mechanisms, Surface and Coatings Technology 133 - 134 (2000) 501 – 507
- Bouzakis, K. D., Skordaris, G., Michailidis, N., Effect On PVD Coated Cemented Carbide Insert Cutting Performance Of Micro – Blasting And Lapping Of Their Substrates, Surface And Coatings Technology, 200 (2005), S. 128 – 132
- Bouzakis, K. D., Skordaris, G., Michailidis, N., Mesomeris, G., Pavlidou, Erkens, G., Cutting Performance Improvement Through Micro – Blasting On Well – Adherent PVD films On Cemented Carbide Inserts, Surface And Coatings Technology, 200 (2005), S. 1879 – 1884

- Böhler Sert Maden ve Takım Sanayi ve Ticaret A.Ş., “Talaş Kaldırma Bilgileri”, Yeni Karar Yayıncılık, İstanbul, 31-42 (1990).
- Choudhury, I.A., See, N.L., Zukhairi, M., Machining With Chamfered Tools, Journal Of materials Processing Technology, 2006
- Cortes C. J. Cutting Edge Preparation of Precision Cutting Tools by Applying Micro – Abresive Jet Machining Proce, Kassel University, Germany, 2009
- Çakır, C., “Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri” Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayınları, 1-68, 2000.
- Çolak, O., CNC Freze Tezgahı İçin Kesme Parametrelerinin Akıllı Yöntemlerle Elektronik Ortamda Optimizasyonu, Doktora Tezi, 2006
- Dağ, M., “PVD Yöntemi ile TiN Kaplanmış AISI 304 Çeliğinin Aşınma Deneyleri ve Yüzey Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-25 (2002).
- Denkena, B., Biermann, D., Cutting Geometries, CIRP – Manufacturing Technology 63 (2014) 631 – 653
- Denkena B., Lucas A., Bassett E., Effects of the Cutting Edge Microgeometry on Tool Wear and Its Thermomechanical Load, CIRP Annals - Manufacturing Technology 60 (2011) 73–76,
- Dornfeld, D., Min, S., Takeuchi, Y., Recent advances in mechanical micro-machining. In: CIRP Annals 55, 2006
- Elsharkawy, M., Einfluss des Ecken Und Schneidkantenradius Auf Die Oberflächengute Beim Feindrehen, Fertigungstechnik Und Bertieb 25 (1975), S 230 – 233
- Endirino, E. A., Fundamentals of Machining and Machine Tools, Third Edition, Taylor and Franchis, 2006
- Fang, N., Wu, Q., The Effects Of Chamfered And Honed Tool Edge Geometry İn Machining Of Three Aluminium Alloys, International Journal Of Machine Tools And Manufacture, 2005
- Fulemova, J., Rehor, J., Influence of Form Factor of the Cutting Edge on Tool Life during Finishing Milling, University of West Bohemia in Pilsen, Procedia Engineering 10 (2015) 682 – 688
- Fulemova, J., Janda, Z., Influence of the Cutting Edge Radius and the Cutting Edge Preparation on Tool Life and Cutting Forces at Inserts with Wiper Geometry, 24th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation, 2013
- Flöter, A., Sharf, Spiegelglatt Und Extrem Verschleissfest. In: Konstruktion 11-12, 2004

- Habib A., Jhala A. S., FEM Analysis of Orthogonal Cutting of Aluminium Alloy using Rigid Tool, International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), 2278-0181, July-2018
- ISO 8688 – 1 1989, ISO 8688 -2 1989, Contents 2, 3, 4, 5, 6, 7
- Khalili, K., Safaei, M., FEM Analysis Of Edge Preparation For Chamfered Tools, Birjand, Iran, 2009
- Khouldhury, I. A., El- Boradie, M. A., Machining Nickel Base Superalloys: Inconel 718, Journal of Engineering Manufacture, March 1, 1998
- Kıyak, M., Yıldız Teknik Üniversitesi İmal Usulleri 2 Ders Notları, 2015, İstanbul
- Klocke F., Brumm M., and Reimann J., Modeling of surface zone influences in generating gear grinding, Procedia CIRP 8 (2013) 21–26.
- Kuş, A.. “AISI 52100 rulman çeliğinin tornalanmasında uygun kesici takım ve kesme parametrelerinin belirlenmesi” Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2013
- Köksal, S., Talas Kaldırma Prensipleri ve Kesici Takımlar, Yüksek Lisans Ders Notları, 2007
- Maity, K., Pradhan. S., Investigation of FEM Simulation of Machining of Titanium Alloy Using Microgroove Cutting Insert, Springer Science+Business Media, 2018
- Motorcu, A. R. (2006). “Ç 1050, Ç 4140 ve Ç 52100 çeliklerinin işlenebilirliği ve modeller geliştirilmesi” Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 11-14
- Ozdemir, O., İpek, M., Zeytin, S., Kesici Takım Malzemeleri, Sakarya Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Sakarya, 1999
- Ozel T (2003) Modeling of hard part machining: effect of insert edge preparation in CBN cutting tools. J Mater Process Technol 141:284–293
- Paucksch, E., Holsten, S., Linss, M., Tikal, F. Zerspantechnik. 12 Auflage. Braunschweig, Vieweg, 2008
- Pul, M.. “Al matrisli MgO takviyeli kompozitlerin infiltrasyon yöntemi ile üretilmesi ve işlenebilirliğinin değerlendirilmesi”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 90-95, 2010
- Radzevich S. P., On satisfaction of the fifth necessary condition of proper part surface generation in design of plunge shaving cutter for finishing of precision involute gears, ASME J. Mech. Des. 129 (2007) 632–639.
- Raja Izamshah Raja Abdullah, Redzuwan B. I., Aziz M. S. A., Kasim M. S., Comparative Study of Tool Wear in Milling Titanium Alloy (Ti-6Al-4V) Using PVD and CVD Coated Cutting Tool, Faculty of Manufacturing Engineering, Universiti Teknikal Malaysia Melaka, Durian Tunggal, Malaysia 2017

- Rech, J., Yen Y. C., Schaff M., Hamdi, H., Altan, T., Bouzakis, K. D., Influence of Cutting Edge Radius on the Wear Resistance of PM-HSS Milling Inserts, *Wear* 259 (2005) 1168 – 1176
- Rodriguez, C., Cutting Edge Preparation of Precision Tools by Applying Micro-abrasive Jet Machining and Brushing, April 17, 2009, 13 – 14
- Uluğ, D., Kaplamalı ve Kaplamasız Sementit Karbür Takımlar için Taylor Takım Ömrü Modelindeki ‘n’ Üstel Değerinin Deneysel Olarak Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, 2012, 28 – 35
- Schulz, H., Hochgeschwindigkeitsfräsen metallischer und nichtmetallischer Werkstoffe, 1. Auflage, München, Wien, Carl Hanser Verlag, 1989
- Stephenson D., A., Agapiou J., S., Metal Cutting Theory and Practice, 2016
- Şahin, Y., “Talaş kaldırma prensipleri”, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 163 - 170 (2000).
- Şahin, Y., Talaş Kaldırma Prensipleri, Cilt 1, Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Ankara, 1999
- Şeker, U., “Takım tasarımı ders notları”, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Ankara, 59-102 (1997).
- Şenkal, D. (2012). “Yüzeyi sertleştirilmiş soğuk iş kalıp çeliklerinin tornalanması işlemlerinde takım ömrü-kesme parametreleri ilişkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 27-30
- Taylan, M., Sertleştirilmiş Takım Çeliklerinin Delinmesinde Kesme Parametrelerinin Takım Aşınması Ve Talaş Oluşumuna Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, 2011
- Tikal, F., Heiler, R., Müller, P., Bohrer und Gewindewerkzeuge, 1. Auflage, Landsberg, Verlag Moderne Industrie, 2003
- Tool Wear and Tool Life, ASM Handbook, Volume 16 Machining
- Trent, E., Wright, P., Metal Cutting, 4th ed. Boston, Oxford, Butterworth-Heinemann, 2000
- Tushinsky, L., Kovensky, I., Plokhov, A., Sindeyev, V., Reshedko, P., Coated metal; structure and properties of metal – coating compositions, 1st ed. Berlin, Heidelberg, Springer – Verlag, 2002
- Tyan T., WEI H. YANG “Analysis Of Orthogonal Metal Cutting Processes”, International Journal For Numerical Methods in Engineering, Vol.34,365-389,1992.
- Uluğ, D. (2014). “Kaplamalı ve kaplamasız sementit karbür takımlar için taylor takım ömrü modeli’ndeki ‘n’ üstel değerinin deneysel olarak araştırılması” Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara

Uysal, A. Doktora Tezi, Kesici Ağız Yuvarlatılmış Aşınmış Kesici Takımlar ile Ortoganol Talaş Kaldırmanın Kayma Hatları ile Modellenmesi ve Analizi, Doktora Tezi, 168 – 174

Vopat, T., Kuruc, M., Simna, V., Zaujec, R., Peterka, J., Cutting Edge Microgeometry and Preparation Methods, 28th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation, 384 – 391

Yazman, Ş. (2006). “Östemperlenmiş ferritik küresel grafitli dökme demirlerde kesme parametrelerinin işlemeye etkilerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 24-34

Yuan. C. Q., Li, J., Yan, X.P., Peng, Z., The use of the fractal description to characterise engineering surface and wear particles, Wear 255, 2003

<https://www.dynasupport.com/tutorial/ls-dyna-users-guide/time-step-size>, (Ziyaret Tarihi: 12.10.2019)

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Semih KARADUMAN
Uyruğu : Türkiye Cumhuriyeti Vatandaşı
Doğum Yeri ve Tarihi : Eskişehir, 31\05\1992
Telefon : +90 538 632 8553
Faks : ---
E-Posta : semihkaradumansk@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı	İlçe	İl	Bitirme Yılı
Lise	: Yunus Emre Anadolu Öğretmen Lisesi			2010
Üniversite	: Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü			2015
Yüksek Lisans:	Konya Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü			

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2017-2018	Karcan Kesici Takım	Ar-Ge Mühendisi
2018	Tanatar Kalıp	Kalıphane Mühendisi
2018-2019	ETİ GIDA	Bakım Mühendisi
2019-Devam ediyor	ARÇELİK	Kalıphane Mühendisi

YAYINLAR

Karaduman, S., Bağcı, M., Farklı Köşe Yuvarlatma Geometrilerinin Freze Kesici Takımlarındaki Gerilmelere Etkisinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İncelenmesi, ISSN 2587 – 1943, Konya, 2019. (Yüksek Lisans tezinden yapılmıştır)

UZMANLIK ALANI

Kalıpçılık, Döküm, Talaşlı İmalat, Sonlu Elemanlar, Parça Tasarım, Proje Yönetimi, Malzeme, Sac Prosesi, Kalite Kontrol, Bakım