

**KALIP UNSURLARININ İMALATINDA DIN1.2344
(ISO4957) ÇELİĞİNİN İŞLENEBİLİRLİĞİNİN
BELİRLENMESİ**

**2013
DOKTORA TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ**

Arif GÖK

**KALIP UNSURLARININ İMALATINDA DIN1.2344 (ISO4957) ÇELİĞİNİN
İŞLENEBİLİRLİĞİNİN BELİRLENMESİ**

Arif GÖK

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Eğitimi Anabilim Dalında
Doktora Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Ocak 2013**

Arif GÖK tarafından hazırlanan “KALIP UNSURLARININ İMALATINDA DIN1.2344 (ISO4957) ÇELİĞİNİN İŞLENEBİLİRLİĞİNİN BELİRLENMESİ” başlıklı bu tezin Doktora Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.


Yrd. Doç. Dr. Halil İbrahim DEMİRCİ

Tez Danışmanı, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Anabilim Dalı



Doç. Dr. Cevdet GÖLOĞLU

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir. 18/01/2013

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Mustafa KURT (MÜ)



Üye : Prof. Dr. Kerim ÇETİNKAYA (KBÜ)



Üye : Doç. Dr. İhsan KORKUT (GÜ)



Üye : Doç. Dr. Birhan IŞIK (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. H. İbrahim DEMİRCİ (KBÜ)

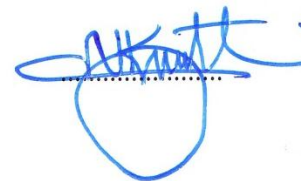


...../...../2013

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Arif GÖK

ÖZET

Doktora Tezi

KALIP UNSURLARININ İMALATINDA DIN1.2344 (ISO4957) ÇELİĞİNİN İŞLENEBİLİRLİĞİNİN BELİRLENMESİ

Arif GÖK

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Eğitimi Anabilim Dalı

Tez Danışmanları:

Yrd. Doç. Dr. Halil İbrahim DEMİRCİ

Doç. Dr. Cevdet GÖLOĞLU

Ocak 2013, 180 sayfa

Eğimli ve serbest formlu yüzeylerin işlenmesi, kalıp, hassas makine imalat endüstrileri, uzay ve uçak endüstrisi, otomotiv endüstrisi, biyomedikal cihazların üretiminde sıklıkla kullanılmaktadır. İmalat maliyetlerinin yüksek olması ve imalatta tolerans aralıklarının çok dar olması işlem planlamasını çok karmaşık hale getirmektedir. Bu geometrilerin imalatında yüksek verimlilik ve daha kaliteli yüzeylere ulaşılması için; kesme kuvvetlerinin, takım sehim değerlerinin ve form hatalarının artmasına sebebiyet veren kesme parametre değerlerinin belirlenmesi, oluşabilecek hataları minimum seviyeye indirmek için çok önemlidir.

Bu tezde, DIN 1.2344 sıcak takım iş çeliğinin, içbükey ve dışbükey yüzeyler için, TiC, TiN ve TiAlN kaplamalı küresel kesiciler ile belirlenen parametrelerde, L16 dikey dizininin kullanıldığı Taguchi deney tasarımıyla frezelenmesini içermektedir.

Tezde hedeflenen amaçlar; belirlenen kesme parametreleri arasından kesme kuvvetlerinin sebebiyet verdiği minimum takım sehim değerlerinin tespiti; akustik ses basıncı (ASB) değişimi ile ortalama yüzey pürüzlülüğünün tespiti; takım sehim değerlerinin sebebiyet verdiği form hatalarının belirlenmesidir.

Kesme kuvvetlerinin sebebiyet verdiği takım sehim değerlerinin belirlenmesi için, aynı ve zıt yönlü frezeleme teknikleri üzerinde farklı takım yolu tarzları (kontur ve tırmanma) kullanılmıştır. Kontrol edilebilen kesme parametreleri kesme hızı (V_c), ilerleme hızı (V_f), yanal adım miktarı (fp) ile ilgili parametre seviye aralıklarında deneyler gerçekleştirilmiştir.

Akustik ses basıncı (ASB) değişimi ile ortalama yüzey pürüzlülüğünün tespiti için, ilgili yüzeylerin belirlenen takım yolu tarzları ile farklı kesme parametreleri kullanılarak işlenmesinde ASB değişimi ölçülmüştür. Ölçümler, işleme sonrası elde edilen ilgili yüzey pürüzlülük (R_a) değerleri ile karşılaştırılmış ve aralarındaki ilişki doğrusal regresyon yöntemi ile modellenmiştir.

Takım sehim değerlerinin sebebiyet verdiği form hatalarının belirlenmesinde, işlenen numunelerde oluşan form hataları, üç boyutlu (3B) optik tarama metoduyla tespit edilmiş ve ölçülen takım sehim değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Belirlenen kısıtlar çerçevesinde ve elde edilen verilere göre, yanal adım ve ilerleme değeri arttıkça kesme kuvveti ve takım sehim değerleri artmıştır. Kesme hızı arttıkça kesme kuvvetleri ve takım sehim değerleri azalmıştır. İçbükey ve dışbükey yüzey tiplerinde kullanılan tüm kesiciler için, aynı yönlü frezeleme stratejisinde ve kontur takım yolu tarzında, kesme kuvvetleri ve takım sehim değerleri küçük çıkmıştır. Kullanılan kesiciler içerisinde, TiAlN kaplamalı kesiciye ait kesme kuvvetleri ve takım sehim değerleri daha küçük çıkmıştır. ASB – R_a aralarındaki ilişkiyi gösteren regresyon modeli istatistiksel olarak pozitif, doğrusal ve önemli olarak belirlenmiştir. Elde edilen ses basınç seviyesi ile yüzey pürüzlülüğü tahmininin yapılabileceği gösterilmiştir. Dinamik sehim ölçümlerinde, dışbükey yüzey tipi için takım sehim değerleri, içbükey yüzey tiplerindekilere göre küçük çıkmıştır. Buna paralel olarak, form hata değerleri de dışbükey yüzey tipinde küçük çıkmıştır. Sehimin yüksek

çıkıldığı bölgeler ile 3B optik tarama sonuçlarından elde edilen en büyük form hata değerlerinin bölgeleri, 45°-60° frezeleme pozisyon açılarında meydana geldiği tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler : İçbükey ve dışbükey yüzey, küresel parmak frezeleme, kesme kuvveti, takım sehim, form hatası, akustik ses basınç seviyesi, taguchi metodu, üç boyutlu optik tarama.

Bilim Kodu : 708.3.028

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

INVESTIGATION ON MACHINABILITY OF DIN1.2344 (ISO4957) STEEL IN MANUFACTURING OF MOULD FEATURES

Arif GOK

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Education

Thesis Advisors:

Assoc. Prof. Dr. Halil Ibrahim DEMIRCI

Assoc. Prof. Dr. Cevdet GOLOGLU

January 2013, 180 pages

Machining of inclined and free-form surfaces are often used in dies/moulds, precision machine design industry, aerospace and automotive industries, and production of bio-medical devices. High manufacturing costs and very small manufacturing tolerances result in process planning to be very complex. In order to obtain high productivity and achieving higher quality surfaces in machining of the geometries, determination of cutting parameter values that cause increases in cutting forces, tool deflection values and form errors is significantly important to minimize the errors that can be occurred.

In this thesis, concave and convex surfaces in DIN 1.2344 hot work tool steel were subjected to ball end milling with TiC, TiN and TiAlN-coated cutters according to L16 orthogonal array of Taguchi experimental design. The objectives of the thesis

are, among the specified cutting parameters, determination of minimum tool deflection values caused by cutting forces, determination of average surface roughness by the changes of acoustic sound pressure (ASP), and determination of form errors caused by tool deflection values.

For the objective of determination of tool deflection values caused by cutting forces, different tool path styles (contouring and ramping) built on down and up milling strategies were used. The experiments were carried out with controllable cutting parameters: cutting speed (V_c), feedrate (V_f), and step over (fp) with the related parameter levels.

For the objective of determination of average surface roughness by ASP, the changes in ASP were measured in machining of aforementioned surfaces with the related tool path styles and cutting parameters. The measurements were compared to surface roughness values (R_a), and the relationships between them was modeled by using linear regression method.

For the objective of determination of form errors caused by tool deflection values, the form errors on the specimens machined were measured by 3D optic scanning method and the measurements were compared to tool deflection values.

According to specified constraints and obtained data, the increases in step over and feedrate values have raised cutting force and tool deflection values. As a consequence, increasing cutting velocities have decreased cutting force and tool deflection values. In down milling cutting strategy and contour tool path style, cutting force and tool deflection values were found smaller for the cutting tools used in convex and concave surface types. Among the cutting tools used, the cutting force and tool deflection values belong to TiAlN coated cutting tool were detected smaller. The regression model showing the relation between ASP and R_a were statistically decided as positive, linear, and significant. Then, the model has shown that surface roughness would be estimated by the sound pressure level obtained. In dynamic deflection measurements, the tool deflection values for convex surfaces were found smaller than of concave surfaces. In parallel to this, the values of form errors were

found smaller in convex surface types. The regions displaying greater tool deflections values and the regions that the form errors obtained by 3D optic scanner were discovered at the milling position angles of 45-60°.

Key Words : Concave and convex surface, ball end milling, cutting force, tool deflection, form error, acoustic sound pressure level, taguchi method, optical scanner.

Science Code : 708.3.028

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren danışmanlarım Yrd. Doç. Dr. Halil İbrahim DEMİRCİ ve Doç. Dr. Cevdet GÖLOğLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deneylelerinin gerçekleştirilmesinde ve akademik vizyon kazanmamda engin bilgi ve deneyimi ile yardımlarını esirgemeyen, Prof. Dr. Mustafa KURT' a teşekkür ederim. Çalışma boyunca farklı bakış açıları ile bana engin bilgilerini sunan Prof.Dr. Kerim ÇETİNKAYA' ya teşekkür ederim.

Deneysel ölçümler boyunca her zaman maddi ve manevi destekleri ile yanımda olan Dr. Barkın BAKIR' a teşekkür ederim.

Sevgili eşim ve kızıma en zor anlarımda yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vii
TEŞEKKÜR.....	x
İÇİNDEKİLER	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xxi
BÖLÜM 1.....	1
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.....	4
EĞİMLİ YÜZEYLERİN İMALATI.....	4
2.1. LİTERATÜR TARAMASI.....	4
2.2. TEMEL KAVRAMLAR.....	22
2.2.1. İşleme Stratejileri.....	22
2.2.2. Kesme Parametreleri.....	23
2.2.3. Takım Yolu Tarzları	24
2.2.3.1. Takım Yolu Tarzlarının Talaş Kaldırmaya Etkileri.....	25
2.2.3.2. Takım Yolu Tarzlarının Kesme Parametrelerine Etkileri.....	25
2.3. ŞEKİL HATALARI	26
2.3.1. Yüzey Tamlığı-Doğruluğu.....	26
2.3.2. Yüzey Hata Kaynakları.....	26
2.3.3. Yüzey Pürüzlülüğü	28
2.4. OPTİK YÜZEY TARAMA	31
2.4.1. Optik Üçgenleme	32
2.4.2. Işık Kesiti.....	32
2.4.3. Fringe İzdüşümü	33

	<u>Sayfa</u>
2.5. AKUSTİK SES BASINÇ SEVİYESİ	35
2.5.1. Sinyal İşleme ve Yazılımları	35
2.5.2. Ses Verilerinin Alınması.....	36
2.6. KESİCİ TAKIM ÜZERİNDE EĞİLME ETKİSİ (SEHİM)	37
2.6.1. Takımın Geometrik Modeli	37
2.6.2. Elastik Eğrinin İntegrasyon Yöntemi İle Bulunması.....	40
2.6.3. Kesici Takımın Kademeli Konsol Kiriş Olarak Modellenmesi.....	42
2.6.4. Kesici Takım Sehim Modeli	43
BÖLÜM 3.....	45
ARAÇ VE YÖNTEM	45
3.1. CİHAZ VE DÜZENEKLER	45
3.1.1. BSD Freze Tezgâhı.....	45
3.1.2. Kuartz Dinamometre	46
3.1.3. Yük Amplifikatörü.....	47
3.1.4. Dinamometre Veri Alma Ara Yüzü.....	48
3.1.5. Veri Toplama Kartı.....	48
3.1.6. Deneylerde Kullanılan Kesici Takım Özellikleri	50
3.1.7. Deneylerde Kullanılan İş Parçası Malzemesi Özellikleri.....	52
3.1.8. Kesici Sehim Ölçümü İçin Endüktif Sensörler.....	54
3.1.8.1. Sensör Burçlarının Salgısının Alınması.....	57
3.1.8.2. Sensör Kalibrasyon Eğrisinin Elde Edilmesi	58
3.1.8.3. Deneysel Çalışma İçin Sensörlerin Yerleşimi	60
3.1.8.4. X ve Y Eksenlerinde Dinamik Sehim Ölçümü İçin Düzenek Kurulması.....	61
3.1.9. Yüzey Pürüzlüğünün Ölçümü.....	63
3.1.10. 3B Optik Tarama	63
3.1.11. Akustik Ses Basınç Seviyesini Belirleme.....	65
3.2. DENEYSEL TASARIM	67
3.2.1. Deney Tasarım Yöntemleri.....	67
3.2.2. Taguchi Deney Tasarımı.....	70
3.2.2.1. Sistem Tasarımı	72
3.2.2.2. Parametre Tasarımı	72
3.2.2.3. Tolerans Tasarımı	75

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 4.....	77
KESME KUVVETİ KAYNAKLI KESİCİ TAKIM SEHİMİNİN ÖLÇÜLMESİ....	77
4.1. İÇBÜKEY YÜZEY FORMU İÇİN KESME KUVVETİ VE TAKIM SEHİMİNİN ÖLÇÜMÜ.....	79
4.1.1. TiC Kaplama İçin Kesme Kuvveti ve Takım Sehimi.....	79
4.1.1.1. TiC Kaplama İçin Kesme Kuvveti ve Takım Sehiminin Varyans Analizi.....	83
4.1.2. TiN Kaplama İçin Kesme Kuvveti ve Takım Sehimi.....	84
4.1.2.1. TiN Kaplama İçin Kesme Kuvveti ve Takım Sehiminin Varyans Analizi	86
4.1.3. TiAlN Kaplama İçin Kesme Kuvveti ve Takım Sehimi.....	87
4.1.3.1. TiAlN Kaplama İçin Kesme Kuvveti ve Takım Sehiminin Varyans Analizi	90
4.1.4. İçbükey Yüzey Formu İçin Etkin Parametrelerin Karşılaştırılması	91
4.2. DIŞBÜKEY YÜZEY FORMU İÇİN KESME KUVVETİ VE TAKIM SEHİMİNİN ÖLÇÜMÜ	91
4.2.1. TiC Kaplama İçin Kesme Kuvveti ve Takım Sehimi.....	91
4.2.1.1. TiC Kaplama İçin Kesme Kuvveti ve Takım Sehiminin Varyans Analizi	94
4.2.2. TiN Kaplama İçin Kesme Kuvveti ve Takım Sehimi.....	95
4.2.2.1. TiN Kaplama İçin Kesme Kuvveti ve Takım Sehiminin Varyans Analizi	97
4.2.3. TiAlN Kaplama İçin Kesme Kuvveti ve Takım Sehimi.....	98
4.2.3.1. TiAlN Kaplama İçin Kesme Kuvveti ve Takım Sehiminin Varyans Analizi	101
4.2.4. Dışbükey Yüzey Formu İçin Etkin Parametrelerin Karşılaştırılması ...	102
4.3. DOĞRULAMA DENEYLERİ.....	102
4.4. ORTALAMA TAHMİNLERE GÖRE GÜVEN ARALIĞI	105
4.5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	106
 BÖLÜM 5.....	 108
AKUSTİK SES BASINÇ SEVİYESİNE BAĞLI YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN TESPİTİ.....	108
5.1. BASİT REGRESYON ANALİZİ	108
5.2. İÇBÜKEY YÜZEY FORMU İÇİN AKUSTİK SES BASINÇ SEVİYESİNE BAĞLI YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN TESPİTİ.....	110

	<u>Sayfa</u>
5.3. DIŞBÜKEY YÜZEY FORMU İÇİN AKUSTİK SES BASINÇ SEVİYESİNE BAĞLI YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN TESPİTİ.....	115
5.4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	121
BÖLÜM 6.....	123
TAKIM SEHİMİ KAYNAKLI FORM HATALARININ 3B OPTİK TARAMA İLE TESPİTİ.....	123
6.1. İÇBÜKEY VE DIŞBÜKEY YÜZEY FORMU TİC KAPLAMA İÇİN FORM HATALARININ 3B OPTİK TARAMA İLE TESPİTİ.....	123
6.2. İÇBÜKEY VE DIŞBÜKEY YÜZEY FORMU TİN KAPLAMA İÇİN FORM HATALARININ 3B OPTİK TARAMA İLE TESPİTİ.....	131
6.3. İÇBÜKEY VE DIŞBÜKEY YÜZEY FORMU TİALN KAPLAMA İÇİN FORM HATALARININ 3B OPTİK TARAMA İLE TESPİTİ.....	138
6.4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	145
BÖLÜM 7.....	147
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	147
7.1. SONUÇLAR.....	147
7.2. ÖNERİLER.....	151
KAYNAKLAR.....	152
EK AÇIKLAMALAR A. OPTİK TARAMA SONUÇLARI.....	165
EK AÇIKLAMALAR B. ORTOGONAL DİZİ TİPLERİ.....	178
ÖZGEÇMİŞ.....	180

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Scallop yüzey	6
Şekil 2.2. İşleme açıları	9
Şekil 2.3. Parçanın bağlantısı	11
Şekil 2.4. İşlenilen geometriler.....	12
Şekil 2.5. İşlenen yüzeyler.....	16
Şekil 2.6. Ölçümde kullanılan sensör yerleşimi	18
Şekil 2.7. Aynı yönlü (a) ve zıt yönlü (b) frezeleme stratejisi.	24
Şekil 2.8. Yüzey hatası ve şekilde sapma.....	26
Şekil 2.9. Yüzey hata kaynakları.....	28
Şekil 2.10. Yüzey pürüzlülük profili	29
Şekil 2.11. Balık kılçığı diyagramı.....	30
Şekil 2.12. Optik üçgenleme	32
Şekil 2.13. Işık kesiti.	32
Şekil 2.14. Fringe izdüşümü.....	33
Şekil 2.15. Kamera sistemi ve deformasyona uğramış fringeler.....	34
Şekil 2.16. Çift kameralı sistem	34
Şekil 2.17. Küresel parmak frezelerde geometri ve kesme kuvvetleri.....	38
Şekil 2.18. Elastik eğride çökme hesabı.....	40
Şekil 2.19. Kesicinin kademeli olarak modellenmesi	42
Şekil 2.20. Kesici takım için sehim bileşenleri	43
Şekil 3.1. Johnford VMC – 550 dik işleme merkezi.	45
Şekil 3.2. Tezgâh üzerinden ölçümlerin alınması için akış şeması.	46
Şekil 3.3. Kistler 9265b dinamometre.....	47
Şekil 3.4. KISTLER 5019b tipi yük amplifikatörü.	47
Şekil 3.5. KISTLER dynoware yazılımı arayüzü.....	48
Şekil 3.6. Veri toplama kartı.....	49
Şekil 3.7. Dinamometre sistemiyle kesme kuvveti ölçümünün akış şeması.	50
Şekil 3.8. Kullanılan parmak freze.	50
Şekil 3.9. Kesici uç geometrisi ve boyutları.....	51
Şekil 3.10. Hazırlanan iş parçası boyutları.....	53

Şekil 3.11. Sensörlerin uygulanışı.....	55
Şekil 3.12. Sensörlerin içyapısı	55
Şekil 3.13. Kalibrasyon sisteminin temel parçaları.....	56
Şekil 3.14. Sensörün düz yüzeyler için tipik eprisi V/mm ve I eğrileri	57
Şekil 3.15. Salgısız voltaj verileri	58
Şekil 3.16. Silindirik yüzey için takımın sabit konumunda oluşan kalibrasyon eğrisi.....	58
Şekil 3.17. Silindirik yüzey için takımın hareketli konumunda oluşan kalibrasyon eğrisi.....	59
Şekil 3.18. Simulink akış diyagramı.	60
Şekil 3.19. Endüktif sensörlerin yerleşimi	60
Şekil 3.20. Kesici takım bağlama ve sensör ölçüm mesafeleri	61
Şekil 3.21. Sensörün montaj gereksinimleri	62
Şekil 3.22. Kesici sehimi ölçüm deney düzeneğinin; a) gerçek ve b) şematik gösterimi.....	62
Şekil 3.23. opto-TOP-HE tarama başlığı	63
Şekil 3.24. Yüzeycik ve normali.	64
Şekil 3.25. ASCII STL formatı.	64
Şekil 3.26. Üç boyutlu optik tarama ile form hatalarının ölçülmesi.	65
Şekil 3.27. Ses sinyalleri için kullanılan deneysel ölçüm düzeneği.....	66
Şekil 3.28. Elde edilen ses sinyallerinin yapısı	66
Şekil 3.29. Proses ya da sistemin modeli	67
Şekil 3.30. Kesikli optimizasyon çözüm yöntemleri.	69
Şekil 4.1. Küresel parmak freze ile çeşitli takım yolu tarzları; a) kontur, b) tırmanma.....	78
Şekil 4.2. Takım yolu stratejileri- kontur; 1) zıt yönlü frezeleme (Yanal Adım yukarı), 2) aynı yönlü frezeleme (Yanal Adım yukarı), 3) zıt yönlü frezeleme (Yanal Adım aşağı), 4) aynı yönlü frezeleme (Yanal Adım aşağı), 5) tırmanma; zıt yönlü frezeleme (Yanal Adım sol), 6) aynı yönlü frezeleme (Yanal Adım sol), 7) zıt yönlü frezeleme (yanal ilerleme sağ), 8) aynı yönlü frezeleme (Yanal Adım sağ).	79
Şekil 4.3. Tırmanma ve kontur operasyonu için; a) X ekseninde takım sehimi ve kesme kuvveti, b) Y ekseninde takım sehimi ve kesme kuvveti.	80
Şekil 4.4. İçbükey yüzey tipi TiC kaplama için parametrelerin kesme kuvvetleri üzerine etkileri ve S/N oranları.....	81
Şekil 4.5. İçbükey yüzey tipi TiC kaplama için parametrelerin takım sehimi üzerine etkileri ve S/N oranları.....	82

Şekil 4.6.	İçbükey yüzey tipi TiN kaplama için parametrelerin kesme kuvvetleri üzerine etkileri ve S/N oranları.....	85
Şekil 4.7.	İçbükey yüzey tipi TiN kaplama için parametrelerin takım sehimi üzerine etkileri ve S/N oranları.....	86
Şekil 4.8.	İçbükey yüzey tipi TiAlN kaplama için parametrelerin kesme kuvvetleri üzerine etkileri ve S/N oranları.....	89
Şekil 4.9.	İçbükey yüzey tipi TiAlN kaplama için parametrelerin takım sehimi üzerine etkileri ve S/N oranları.....	89
Şekil 4.10.	İçbükey yüzey tipi için yüzde dağılımlarına dayalı etkin parametreler. .	91
Şekil 4.11.	Dışbükey yüzey tipi TiC kaplama için parametrelerin kesme kuvvetleri üzerine etkileri ve S/N oranları.....	93
Şekil 4.12.	Dışbükey yüzey tipi TiC kaplama için parametrelerin takım sehimi üzerine etkileri ve S/N oranları.....	93
Şekil 4.13.	Dışbükey yüzey tipi TiN kaplama için parametrelerin kesme kuvvetleri üzerine etkileri ve S/N oranları.....	96
Şekil 4.14.	Dışbükey yüzey tipi TiN kaplama için parametrelerin takım sehimi üzerine etkileri ve S/N oranları.....	97
Şekil 4.15.	Dışbükey yüzey tipi TiAlN kaplama için parametrelerin kesme kuvvetleri üzerine etkileri ve S/N oranları.....	100
Şekil 4.16.	Dışbükey yüzey tipi TiAlN kaplama için parametrelerin takım sehimi üzerine etkileri ve S/N oranları.	100
Şekil 4.17.	İçbükey yüzey tipi için yüzde dağılımlarına dayalı etkin parametreler.....	102
Şekil 5.1.	Basit doğrusal regresyon doğrusu.	110
Şekil 5.2.	İçbükey yüzey tipi ASB ve Ra değerleri; a) TiC kaplama, b) TiN kaplama, c) TiAlN kaplama	112
Şekil 5.3.	İçbükey yüzey tipi; a) TiC, b) TiN, c) TiAlN kaplamalar için yanal adım ve ilerlemenin ASB ve Ra üzerine etkileri.	113
Şekil 5.4.	İçbükey yüzey tipi; a) TiC, b) TiN, c) TiAlN kaplama için Ra 'nın fonksiyonu olarak ASB	114
Şekil 5.5.	Dışbükey yüzey tipi ASB ve Ra değerleri; a) TiC kaplama, b) TiN kaplama, c) TiAlN kaplama.	116
Şekil 5.6.	İçbükey yüzey tipi; a) TiC, b) TiN, c) TiAlN kaplamalar için yanal adım ve ilerlemenin ASB ve Ra üzerine etkileri.	118
Şekil 5.7.	Dışbükey yüzey tipi; a) TiC, b) TiN ve c) TiAlN kaplama için Ra 'nın fonksiyonu olarak ASB	120
Şekil 6.1.	İçbükey yüzey form hataları; a) en büyük form hatası (Deney 4), b) en küçük form hatası (Deney 1).	125

Şekil 6.2.	İçbükey yüzey formunun; a) en büyük form hatası için frezeleme pozisyon açısına göre b) kesme kuvvetlerinin değişimi.....	126
Şekil 6.3.	İçbükey yüzey formunun; a) en küçük form hatası için frezelem pozisyon açısına göre b) kesme kuvvetlerinin değişimi.....	127
Şekil 6.4.	Dışbükey yüzey form hataları; a) en büyük form hatası (Deney 10), b) en küçük form hatası (Deney 1).....	128
Şekil 6.5.	Dışbükey yüzey formunun; a) en büyük form hatası için frezeleme pozisyon açısına göre b) kesme kuvvetlerinin değişimi.....	129
Şekil 6.6.	Dışbükey yüzey formunun; a) en küçük form hatası için frezeleme pozisyon açısına göre b) kesme kuvvetlerinin değişimi.....	130
Şekil 6.7.	İçbükey yüzey form hataları; a) en büyük form hatası (Deney 4), b) en küçük form hatası (Deney 1).	132
Şekil 6.8.	İçbükey yüzey formunun; a) en büyük form hatası için frezeleme pozisyon açısına göre b) kesme kuvvetlerinin değişimi.....	133
Şekil 6.9.	İçbükey yüzey formunun; a) en küçük form hatası için frezeleme pozisyon açısına göre b) kesme kuvvetlerinin değişimi.....	134
Şekil 6.10.	Dışbükey yüzey form hataları; a) en büyük form hatası (Deney 10), b) en küçük form hatası (Deney 1).	135
Şekil 6.11.	Dışbükey yüzey formunun en büyük form hatası için frezeleme pozisyon açısına göre kesme kuvvetlerinin değişimi.	136
Şekil 6.12.	Dışbükey yüzey formunun; a) en küçük form hatası için frezeleme pozisyon açısına göre b) kesme kuvvetlerinin değişimi.....	137
Şekil 6.13.	İçbükey yüzey form hataları; a) en büyük form hatası (Deney 4), b) en küçük form hatası (Deney 1).	139
Şekil 6.14.	İçbükey yüzey formunun; a) en büyük form hatası için frezeleme pozisyon açısına göre b) kesme kuvvetlerinin değişimi.....	140
Şekil 6.15.	Dışbükey yüzey formunun; a) en küçük form hatası için frezeleme pozisyon açısına göre b) kesme kuvvetlerinin değişimi.....	141
Şekil 6.16.	Dışbükey yüzey form hataları; a) en büyük form hatası (Deney 7), b) en küçük form hatası (Deney 1).....	142
Şekil 6.17.	Dışbükey yüzey formunun; a) en büyük form hatası için frezeleme pozisyon açısına göre b) kesme kuvvetlerinin değişimi.....	143
Şekil 6.18.	Dışbükey yüzey formunun; a) en küçük form hatası için frezeleme pozisyon açısına göre b) kesme kuvvetlerinin değişimi.....	144

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. BSD tezgâhının teknik özellikleri.....	45
Çizelge 3.2. Kuvvet sensörünün teknik özellikleri.....	46
Çizelge 3.3. Veri toplama kartının teknik özellikleri.....	49
Çizelge 3.4. Küresel parmak frezeyle ait bilgiler.....	51
Çizelge 3.5. Kesici uç geometrisi ve boyutları.....	52
Çizelge 3.6. DIN 1.2344 sıcak iş çeliği fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	54
Çizelge 3.7. MARSURF PS1 teknik özellikleri.....	63
Çizelge 4.1. Faktör düzeylerinin atanması.....	78
Çizelge 4.2. TiC kaplama için L16 standart deney parametreleri dizisi ve ölçüm sonuçları.....	80
Çizelge 4.3. İçbükey yüzey tipi TiC kaplama kesme kuvveti için oluşturulan ANOVA Çizelgesi.....	83
Çizelge 4.4. İçbükey yüzey tipi TiC kaplama takım sehimi için oluşturulan ANOVA Çizelgesi.....	83
Çizelge 4.5. TiN kaplama için L16 standart deney parametreleri dizisi ve ölçüm sonuçları.....	84
Çizelge 4.6. İçbükey yüzey tipi TiN kaplama kesme kuvveti için oluşturulan ANOVA Çizelgesi.....	87
Çizelge 4.7. İçbükey yüzey tipi TiN kaplama takım sehimi için oluşturulan ANOVA Çizelgesi.....	87
Çizelge 4.8. TiAlN kaplama için L16 standart deney parametreleri dizisi ve ölçüm sonuçları.....	88
Çizelge 4.9. İçbükey yüzey tipi TiAlN kaplama kesme kuvveti için oluşturulan ANOVA Çizelgesi.....	90
Çizelge 4.10. İçbükey yüzey tipi TiAlN kaplama takım sehimi için oluşturulan ANOVA Çizelgesi.....	90
Çizelge 4.11. TiC kaplama için L16 standart deney parametreleri dizisi ve ölçüm sonuçları.....	92
Çizelge 4.12. Dışbükey yüzey tipi TiC kaplama kesme kuvveti için oluşturulan ANOVA Çizelgesi.....	94
Çizelge 4.13. Dışbükey yüzey tipi TiC kaplama takım sehimi için oluşturulan ANOVA Çizelgesi.....	94
Çizelge 4.14. TiN kaplama için L16 standart deney parametreleri dizisi ve ölçüm sonuçları.....	95

Çizelge 4.15. Dışbükey yüzey tipi TiN kaplama kesme kuvveti için oluşturulan ANOVA çizelgesi.	98
Çizelge 4.16. Dışbükey yüzey tipi TiN kaplama takım sehimi için oluşturulan ANOVA çizelgesi.	98
Çizelge 4.17. TiAlN kaplama için L16 standart deney parametreleri dizisi ve ölçüm sonuçları.	99
Çizelge 4.18. Dışbükey yüzey tipi TiAlN kaplama kesme kuvveti için oluşturulan ANOVA Çizelgesi.....	101
Çizelge 4.19. Dışbükey yüzey tipi TiAlN kaplama takım sehimi için oluşturulan ANOVA Çizelgesi.....	101
Çizelge 4.20. İçbükey yüzey tipi doğrulama deney sonuçları.	104
Çizelge 4.21. Dışbükey yüzey tipi doğrulama deney sonuçları.	104
Çizelge 4.22. İçbükey yüzey tipi için doğrulama deneyleri ile tahmin değerlerinin karşılaştırılması.	104
Çizelge 4.23. Dışbükey yüzey tipi için doğrulama deneyleri ile tahmin değerlerinin karşılaştırılması.	104
Çizelge 4.24. Güven aralığı değerleri (dB).	105
Çizelge 6.1. İçbükey ve dışbükey yüzey formu TiC kaplama için takım sehimi ve form hata değerleri.....	124
Çizelge 6.2. İçbükey ve dışbükey yüzey formu TiN kaplama için takım sehimi ve form hata değerleri.....	131
Çizelge 6.3. İçbükey ve dışbükey yüzey formu TiAlN kaplama için takım sehimi ve form hata değerleri.....	138
Çizelge Ek A.1. Dışbükey yüzey tipi TiC kaplama için oluşan şekil hataları.	166
Çizelge Ek A.2. Dışbükey yüzey tipi TiN kaplama için oluşan şekil hataları.	168
Çizelge Ek A.3. Dışbükey yüzey tipi TiAlN kaplama için oluşan şekil hataları.	170
Çizelge Ek A.4. İçbükey yüzey tipi TiC kaplama için oluşan şekil hataları.....	172
Çizelge Ek A.5. İçbükey yüzey tipi TiN kaplama için oluşan şekil hataları.	174
Çizelge Ek A.6. İçbükey yüzey tipi TiAlN kaplama için oluşan şekil hataları.	176
Çizelge Ek B.1. Ortogonal dizi tipleri.....	179

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

- S/N : sinyal gürültü oranı
TM : Taguchi metodu
fp : yanal adım [mm]
 α : talaş açısı [$^{\circ}$]
 φ : kayma açısı [$^{\circ}$]
t : talaş kalınlığı (mm)
D : kesici takım çapı [mm]
E : elastisite modülü [GPa]
Vf : ilerleme [mm/dak]
Vc : kesme hızı [m/dak]
F : talaş yüzeyindeki sürtünme kuvveti
Fc : esas kesme kuvveti [N]
Fa : ilerleme kuvveti [N]
Fn : kayma düzlemindeki normal kuvvet [N]
Fr : bileşke kuvvet [N]
Fs : kayma düzlemine paralel kuvvet [N]
Ft : itme kuvveti [N]
L : talaş-takım temas boyu [mm]
k : regresyon katsayısı
N : takım talaş yüzeyindeki kuvvet [N]
Ra : ortalama yüzey pürüzlülük değeri [μm]
z : kesici ağız sayısı
I : atalet momenti [mm^4]
E : elastisite modülü [MPa]
M : eğilme momenti [Nm]
Ak : kayma düzlemi alanı [mm^2]

- S : iş mili devri [dev/dak]
L : kesici takım uzunluğu [mm]
L_s : kesici sap uzunluğu [mm]
K_s : sıkma katılığı [N/mm]
Z_c : uygulanan kuvvet merkezi [mm]
dz : z yönünde kesici ucundan olan yükseklik [mm]
d : kesici efektif çapı [mm]
δ_t : kesicinin toplam eğilme sehimi [mm]
δ : Z noktasındaki sehim [mm]
δ_s : kesici sap kısmının sehimi [mm]
δ_f : kesici ağız kısmının sehimi [mm]
δ_{sf} : sehim açısına bağlı kesici sap kısmın sehimi [mm]
δ_{st} : sıkma katılığına bağlı oluşan sehimi [mm]
φ_s : sehim açısı [°]
φ_{st} : kesici kenar giriş açısı [°]
φ_{ex} : kesici kenar çıkış açısı [°]

KISALTMALAR

ASB	: akustik ses basıncı
DIN	: Deutch industrie normen (Alman endüstri normları)
EN	: avrupa normu
3B	: üç boyutlu
BDT	: bilgisayar destekli tasarım
BDİ	: bilgisayar destekli imalat
HSS	: yüksek hız çeliği
CAD	: computer aided desing
CAM	: computer aided manufacturing
CNC	: bilgisayarlı sayısal kontrol
CL	: kesici yeri
TiC	: titanyum karbür
TiN	: titanyum nitrür
TiAlN	: titanyum alüminyum nitrür
Al	: alimünyum
MRR	: malzeme kaldırma oranı
PVD	: fiziksel buhar çökeltme
ZYK	: zıt yönlü kontur
ZYT	: zıt yönlü tırmanma
AYK	: aynı yönlü kontur
AYT	: aynı yönlü tırmanma
ACIS	: area, charles, ian's system
STL	: stereolithography
AE	: akustik emisyon

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Talaş kaldırarak şekil verme işlemi üretim yöntemlerinin en önemli grubunu oluşturmaktadır. Diğer şekil verme yöntemleri (döküm, dövme, haddeleme vb.) ile üretilen malzemelerin nihai şekli talaş kaldırılarak verilmektedir. En son şeklin verilmesi uygun takım tezgâhı ve kesici takım seçilerek malzeme üzerinden parça koparılarak uzaklaştırılarak sağlanır. Uzay, havacılık, otomotiv ve kalıp gibi endüstri alanlarında oldukça sık rastlanan eğimli yüzeyleri, istenilen yüzey kalitesi ve toleranslarda üretimi çok büyük önem arz etmektedir. Hızla gelişen BDT (Bilgisayar Destekli Tasarım) / BDİ (Bilgisayar Destekli İmalat) ve BSD (Bilgisayarlı Sayısal Denetim) sistemlerine rağmen, eğimli yüzeyleri istenilen toleranslar ve kalitede üretebilmek hem zaman almakta hem de maliyetli işlemlerdir. Rekabet piyasasında var olabilmek için maliyet ve zaman faktörlerini aşağıya çekebilmek, ancak teknolojinin sunduğu gelişmeleri en uygun şekilde kullanmakla mümkün olabilmektedir.

Genel olarak eğimli yüzeylerin talaşlı imalatında işleme doğruluğu yarı bitirme ve bitirme işleme operasyonlarında aranmaktadır. Bu operasyonların gerçekleştirilmesinde de küresel uçlu takımlar kullanılmaktadır. Bu tip yüzeyler dikkate alınırken form hatası, dalgalanma ve pürüzlülük öne çıkmaktadır. Genel olarak form hatası, takımın pozisyonlanmasındaki hatalardan ve kesici takıma etkiyen kuvvetler sonucu oluşan sehimlerden meydana gelmektedir. Dalgalanma ise talaş kaldırma esnasında kesici takımın oluşturduğu tarak yüzeylerine bağlı, pürüzlülük ise titreşim ve parça yüzeyinde kalan izler nedeniyle oluşmaktadır.

Eğimli yüzeylerin işlenmesinde istenmeyen yüzey hataları (takım kırılması, esnemesi vb.) ve takım hatalarının minimuma indirilmesi vede yüksek imalat verimliliği için en iyi kesme parametrelerinin belirlenmesi çok önemlidir. Endüstride genel olarak

emniyetli çalışma adına düşük takım ilerleme hızları ile talaş kaldırılmaya çalışılmaktadır. Kullanılan ilerleme hızları üretim süresini artırmakta ve maliyetlere yansımaktadır. Fakat maliyeti düşürmek için yüksek ilerleme ve diğer kesme parametre değerleri (kesme hızı, yanal adım, talaş derinliği) kullanıldığında oluşan yüksek kesme kuvvetleri, kesici takım sehimleri ve yüzey hataları parça için boyutsal problemler oluşturmaktadır. Bu boyutsal hataların tespit edilip giderilmesi için otonom sistemlerin kullanımı büyük önem arz etmektedir. Üretim sistemleri için, otonom fonksiyonlar (ölçüm, denetim vb.) taleplerin karşılanmasında hayati öneme sahiptirler. Takım tezgâhları için bu otonomluğu gerçekleştirmede anahtar nokta, kesme sürecine destek verecek teknolojilerin geliştirilmesidir.

Üretimlerde talep edilen toleranslar ve boyutsal doğruluk aralıkları çok dardır ve bu yüzden boyutsal hataların en aza indirilmesi zorunludur. Parmak frezelerden kaynaklanan hatalarda takım üzerindeki salgı ve aşınma öne çıkmaktadır. Bunların yanında, kesme esnasında takım esnemesinden doğan, eğilme üretimde çoğu kez göz ardı edilen önemli bir hatadır. Takımın eğilmesinden kaynaklanan hataları (sehimi) hesaplayabilmek için takım yolu tarzı, malzeme etkisi, takım boyutları ve yüzeyin eğimi bilinmeli veya takım tezgâhlarının kullanımı esnasında otonom sistemlerin kurulumu gerekmektedir.

İmalat işlemlerinde istenilen kaliteyi elde edebilmek için yapılan ara süreçlerden biri üretilen parçanın yüzey kalitesinin kontrolüdür. Her bir parçanın yüzey kalitesinin kontrolü maliyet gerektiren ve zaman alıcı bir iştir. Bundan dolayı, tahmin modelleri ve sistemleri geliştirmek kaydıyla, kalite kontrole ayrılan süreyi ve maliyeti azaltmak mümkündür. Eğimli yüzeylerin küresel parmak frezelenmesi sürecinin izlenmesi, üretim sürecinde doğruluğun ve hassasiyetin elde edilebilmesi için önemli bir gerekliliktir.

Bu tezin amacı, kalıp unsurlarını oluşturan eğimli yüzeylerin farklı takım kaplamalarına (TiC, TiN ve TiAlN) sahip küresel uçlu parmak freze çakısı ile işlenmesi esnasında oluşan kesme kuvvetlerine bağlı takım sehiminin, form hatalarının ve akustik ses basınç (ASB) seviyesine bağlı yüzey pürüzlülük değerlerinin tespit edilmesi, parametre ve bulguların deneysel, istatistik yöntemlerle

araştırılması ve en uygun kesme şartlarının elde edilmesidir. Bu sebeple, kesme hızı, ilerleme, yanal adım kesme parametreleri; aynı yönlü tırmanma, aynı yönlü kontur, zıt yönlü tırmanma, zıt yönlü kontur işleme stratejileri kullanılarak deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Form hatalarına sebebiyet veren takım sehimi değerleri için endüktif mesafe sensörleri kullanılarak deney düzeneği oluşturulmuştur. Deneysel çalışma sonucu elde edilen sehimi değerleri 3B optik tarama yöntemi ile elde edilen form hataları sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca, akustik ses basınç seviyeleri tespit edilmiş ve yüzey pürüzlülükleri ile ilişkilendirilmiştir.

Tezin takip eden bölümünde, eğimli ve serbest formlu yüzeylerin işlenmesi, takım yolu stratejileri, hesaplama yöntemleri, optik tarama yöntemleri, akustik emisyon ve geometrik modellemeler ile ilgili bir literatür çalışması verilmiştir. Ayrıca, talaş kaldırma ile ilgili temel kavramlar ve teknolojisi, şekil hataları, optik tarama, akustik ses basınç seviyesi ve takım sehiminin analitik modelleri sunulmuştur.

Üçüncü bölümde, deneysel tasarım yöntemine ve deneysel çalışma sürecinde kullanılacak olan materyaller ile ölçüm tekniklerine yer verilmiştir. Bunlar: X ve Y eksenlerinde sehimi ölçümü için sensörlerin kurulumu, kesme kuvvetlerinin ölçümü için dinamometrenin kurulumu, ses ölçüm sensörlerinin kurulumu, parçanın form hatalarının tespiti için optik tarama süreci ve parça yüzey pürüzlülüklerinin değerlendirilmesidir.

Dördüncü bölümde, her bir yüzey tipi ve takım kaplaması için kesme parametrelerine bağlı oluşan kesme kuvvetleri kaynaklı takım sehiminin ölçümü verilmiş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Beşinci bölümde, basit regresyon analizi ile akustik ses basınç seviyesine bağlı yüzey pürüzlülüğünün tespiti sunulmuş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Altıncı bölümde, takım sehiminin sebebiyet verdiği form hatalarının tespiti 3B optik taramalar ile karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Son bölümde, deneysel çalışmaların genel sonuçlarının yorumlanmasına yer verilmiş, ileride yapılması gerekli çalışmalar hakkında önerilerde bulunulmuştur.

BÖLÜM 2

EĞİMLİ YÜZEYLERİN İMALATI

2.1. LİTERATÜR TARAMASI

Talaşlı imalat işlemlerinde bir iş parçasını istenilen geometriye getirmek için, üzerindeki fazlalıklar uygun takım tezgâhı ve kesici takım kullanılarak, talaşlar şeklinde uzaklaştırılıp, istenilen boyutlar ve yüzey kalitesi sağlanır. Uzay ve havacılık, otomotiv, kalıp gibi endüstriyel alanlarda çoğu ürüne son şekli, talaşlı imalat işlemleri ile verilir [1,2]. Takım malzemesinin, kesme parametrelerinin takım geometrisinin ve takım tezgâhının akıllı seçimi, düşük üretim maliyetleri ve yüksek kalitede ürünler için gereklidir. Bundan dolayı çalışmalar kesme sürecini anlayarak maliyetleri düşürmek ve kaliteyi artırmaya hedeflenmiştir. Aynı zamanda araştırmaların çoğunluğu talaş kaldırma esnasında, kesme kuvvetlerinin tahmini ve ölçümü ile doğrudan ilişkilidir. Çünkü kesme kuvvetlerinin bilinmesi, ısının oluşumu, takım aşınması ve işlenmiş yüzeyin doğruluğu ve kalitesi üzerinde doğrudan etkilidir [3,4].

Talaşlı imalat işlemlerinde maliyetinin düşük olması için kesici takımların yeterince uzun bir süre keskinliklerini korumaları ve kesme hızının, ilerleme hızının ve kesme derinliğinin yüksek olması istenir. Kesici takımlar, kesme işlemini etkin bir şekilde yapabilmeleri için talaşlı imalat esnasındaki yüksek gerilme, sıcaklık ve sürtünme etkilerine uzun süre dayanacak kabiliyette olmalıdır. Talaşlı imalat metodu ile metal ve alaşımlarını şekillendirmenin yaygınlaştığı Endüstri Devrimi'nden günümüze kadar kesici takımlar alanında yapılan çalışmalar, kesici takımların performanslarında kıyaslanamayacak artışları beraberinde getirmiştir [5,6].

Otomotiv endüstrisi, türbin bıçakları ve kalıp imalat sanayi genel olarak sertleştirilmiş çeliklerin ve karmaşık yüzeylerin üretimini içermektedir. Toleranslar

ve boyutsal doğruluk, üretimlerde çok kısıtlıdır ve bu yüzden boyutsal hataların en aza indirilmesi zorunludur. Kesici takımlardan kaynaklanan hatalardan bir kaçı takım üzerindeki salgı ve aşınmadır. Fakat bunların yanında takım eğilmesinden kaynaklanan üretimde göz ardı edilen önemli bir hata daha mevcuttur. Takımın eğilmesinden kaynaklanan hataları hesaplayabilmek için takım yolu tarzı, malzeme, takım boyutları ve yüzeyin eğimi bilinmelidir. O zaman takım eğilmesinden kaynaklanan hatalar minimuma indirilebilecektir.

Eğimli yüzeylerin küresel parmak frezelenmesinde, kesme kuvvetlerinin hesabı ve ölçümü, küresel parmak frezelerin analitik modeli, parmak frezelemede talaş morfolojisi, işleme stratejileri, kesme parametreleri, şekil hataları, takım aşınması, Taguchi metodu ile optimizasyonu ve farklı imalat şekilleri için takım durumu izleme çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalar ile ilgili detaylar aşağıda verilmiştir.

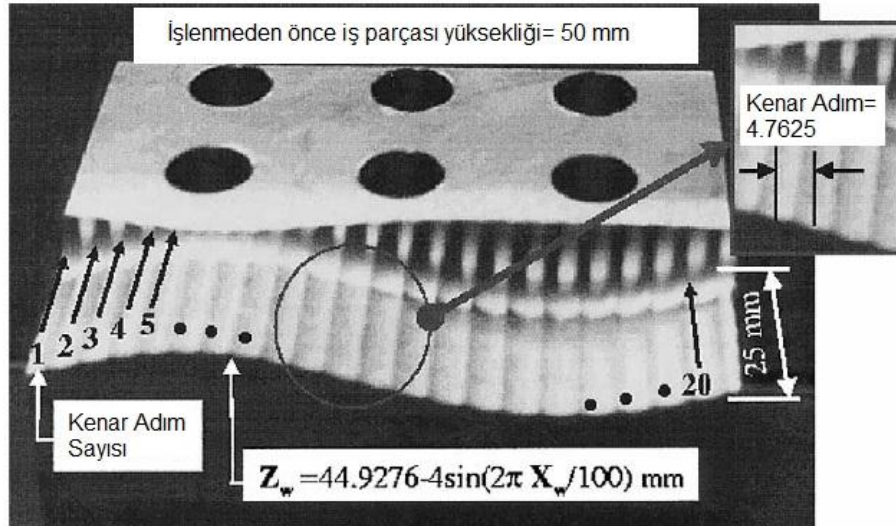
Abrari ve Elbastawi, küresel ve düz parmak frezeler için kesme kuvvetlerinin kapalı şekillerde formülasyonu üzerinde çalışmışlardır. Makalede frezelemede kesme kuvvetlerinin tahmini için temel bir fonksiyon geliştirilmiştir. Deneyleerde Al 7075 malzeme, kesici takım olarak 25,4 mm çapında, 30° helis açısına sahip, 4 kanallı HSS kullanmışlardır. Herhangi bir takım pozisyonunda kesme kuvvetleri göstermiştir ki, geliştirilen fonksiyon doğru sonuçlar vermektedir [7].

Huang ve Whitehouse, diferansiyel geometri kullanarak konik parmak frezelerin kesme kuvveti formülasyonu üzerine çalışmışlardır. Makalede farklı geometriler kullanarak konik parmak frezeler ile 3B kesme kuvvetlerinin lineer olmayan mekanistik modellerinin formülasyonu sunulmuştur. Kesici takım olarak 16 mm çapında 30° helis açılı takım, iş parçası malzemesi olarak orta karbonlu çelik semi finiş operasyonu ile kesilmiştir. Soğutma sıvısı kullanılmamıştır. Kesme şartları için sonuçlar göstermiştir ki model tahminleri ve ölçülen kesme kuvvetleri arasında yakın bir ilişki bulmuşlardır [8].

Li vd., frezeleme kuvvetlerinin simülasyon ve teorik modellenmesi üzerine çalışmışlardır. Çalışmada Windows tabanlı teorik frezeleme kuvvet simülasyon sistemi geliştirilmiştir. Bu sistem, frezelemede kuvvetleri, iş parçası malzeme

özellikleri, kesme parametreleri, takım geometrisi, kesme şartları ve frezeleme tipini dikkate alarak tahmin etmektedir. Kurulan sistemi test etmek için deneysel frezeleme operasyonları da gerçekleştirilmiştir [9].

Lazoğlu, küresel parmak frezelemede kesme kuvvetlerinin tahmini için yeni bir mekanistik model sunmuştur. Model iş parçası kesici takım kesiti alanını otomatik olarak hesaplayabilme yeteneğine sahip olarak geliştirilmiştir. Talaş yükünü ve kesme kuvvetlerini, analitik bir yaklaşım ile örnekleyerek belirlemek mümkün olmuştur. Sonuç olarak, kullanılan model çıktıları ve deneysel ölçümleri büyük oranda uyumlu bulmuştur (Şekil 2.1) [10].



Şekil 2.1. Scallop yüzey [10].

Milfelner ve Cus, küresel parmak frezelerde kesme kuvvetlerinin belirlenmesi için simülasyon sistemleri geliştirmeye çalışmışlardır. Bu sistem sayısal metotlar, bilgisayar programı, teknolojik süreçlerin teorik bilgisi, işleme ve testler gerçekleştirilerek kurulmuştur. Simülasyon sonuçlarının takım tasarımı modellerinin geliştirilmesinde ve işleme sürecinde kesme parametrelerinin optimizasyonu için oldukça kullanışlı olduğunu bulmuşlardır [11].

Li ve Li, helisel parmak frezeler için teorik bir kesme kuvveti modelini, kesme şartları, takım geometrisi ve iş parçası malzemesi giriş dataalarını içerecek şekilde geliştirmişlerdir. Modelde parmak freze helis açısının etkisi dikkate alınarak kesici

ekseni boyunca çok sayıda dilimde ayrıştırılmıştır. Birinci dilimdeki bölüm için kesme hareketi, takım uç yarıçapı etkisi ve kesici kenar etkisi ile eğik kesme için modellenmiştir. Diğer dilimlerin kesme hareketleri takım uç yarıçapı etkisi ve kesici kenar etkisi olmaksızın eğik kesme için modellenmiştir [12].

Yuwen vd., karmaşık yüzeylerin küresel parmak frezelenmesinde kesme kuvvetlerinin tahmini ve deneysel doğrulanması üzerinde durmuşlardır. Kesme kuvvetlerinin tahmininde talaş kalınlığını dikkate almışlar, ilerleme stratejisi planı ve takım yeri üzerine temellendirmişlerdir. Tahmin sonuçlarının doğruluğunu ortaya koymak için doğrulama deneyleri gerçekleştirmişlerdir [13].

Fontaine vd., küresel parmak frezeleme için kesme kuvvetlerinin modellenmesinde kesme şartlarının, takım giriş ve çıkışının, eğim açısının etkileri üzerinde durmuşlardır. Kesme kuvvetleri daha önceki makalelerinde sunulan termomekanik denklemlerle elde edilmiştir. Deneysel çalışmalar hem tırmanma hem de kontur operasyonları için değerlendirilmiştir [14].

Gyu ve Chong, kuvvet harita metodu kullanarak karmaşık yüzeylerin küresel parmak frezelemede ortalama kesme kuvveti tahmini üzerine çalışmışlardır. Kesici temas alanını kesicinin küresel kısmının Z haritalamasından elde edilmiştir. Kesme kuvvetlerinin hesabından önce kesicinin küresel kısmının her bir bölümünün sıklığı ampirik kesme parametreleri kullanılarak hesaplanmıştır [15].

Naserian vd., statik rijit kuvvet modeli herhangi bir titreşim etkisi, takım tezgâhının dinamik davranışı ve takım eğilmesi olmaksızın doğru bir yüzeydeki kesme kuvvetlerinin tahmini için kullanılmıştır. Hesaplamalar için AGIS ve Visual Basic programları kullanılmıştır. Deneyler için CK45 karbon çeliği kullanılmış olup, kesici takım içinde 16 mm çapında değiştirilebilir uçlu parmak freze tercih edilmiştir. Kuvvetlerin ölçümü için KISTLER 9255A dinamometre kullanılmıştır. Sonuçlar verimlilikte önemli artışlar olduğunu göstermiştir [16].

Kim vd., karmaşık yüzeylerin küresel parmak frezeleme operasyonlarında, kesme kuvvetlerinin tahmini için yeni bir model geliştirmişlerdir. Kesicinin parça

üzerindeki temas alanını anlık kesici yeri (cutter location) noktası ve Z-map (haritalama) bilgisinden yüzey geometrisine ulaşmışlardır. Kesici takım hareket yönü ile deforme olmamış talaş kalınlığı arasında yüksek oranlarda bağıntıya ulaşmışlardır [17].

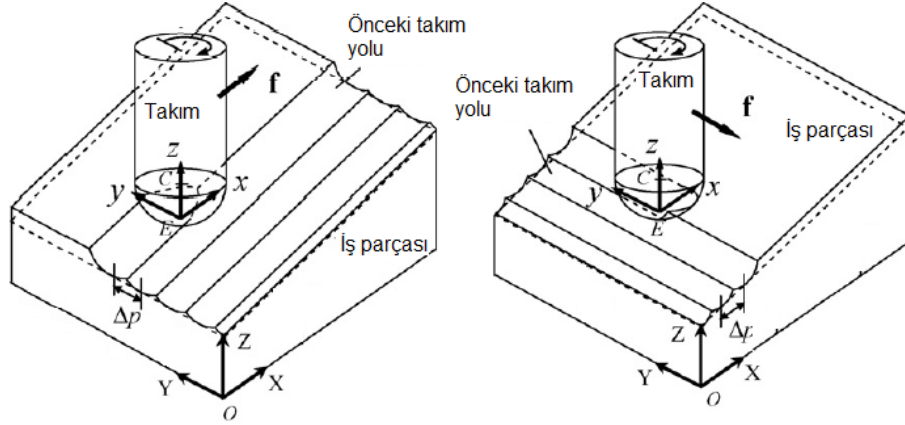
Fontaine vd., eğri yüzeylerin işlenmesinde kesme kuvvetlerinin tahmin modeli ve deneysel doğrulamalarını gerçekleştirmişlerdir. Analitik çalışmaları eğik kesme termomekanik model üzerine kurmuşlardır. Talaş oluşumu lokal kesme açıları ve lokal deforme olmamış talaş kesiti aracılığı ile eğik kesme sürecinin özelliklerinden elde edilmiştir. Deneysel yapılar tahmini sonuçlar karşılaştırılmıştır [18].

Said vd., aşınmış küresel parmak frezeler ile işlemede kesme kuvvetlerinin araştırılması için analitik bir model, yan yüzey yanak aşınması ile ilgili talaş geometrisi, takım geometrisinin tahmini için kurmuşlardır. Analitik model eğik kesmenin termomekanik modeli üzerine kurulmuştur. Karbür kaplı düz parmak freze ve titanyum malzeme seçilerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlar ile analitik model sonuçlarını çok uyumlu bulmuşlardır [19].

Lamikiz vd., karmaşık yüzeylerin frezelenmesinde kesme kuvvetlerinin tahmini üzerine çalışmışlardır. Makalede eğimli yüzeylerin aynı yönlü ve zıt yönlü frezelenmesi operasyonlarında kesme kuvvetlerinin tahmini modeli kurulmuştur. Kurulan bu yarı mekanistik model takım geometrisine, yüzey eğimine, malzeme cinsine, işleme yönüne ve kesme şartlarına bağlı katsayılar üzerine temellendirilmiş olarak kesme kuvvetlerini hesaplamaktadır. Tahminler iki malzeme Al7075-T6 ve AISI H13 kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak tahmin edilen ve deneylerden elde edilen sonuçlar arasında %10 hata çıkmıştır [20].

Fontaine vd., eğik kesmenin termomekanik bir modeli üzerine kurulmuş, frezelemede kuvvet tahmini modeli kullanılarak kesme kuvvetlerinin belirlenmesine çalışılmıştır. Bu model sayesinde takım talaş ara yüzeyindeki sürtünmenin, malzeme davranışının, kesme şartlarının, takım yolunun ve takım geometrisinin kesme kuvvetleri üzerindeki rolünü doğru bir şekilde tahmin etmeye çalışmışlardır. Deneylerinde AISI 4142 malzeme ve Kistler 9265B dinamometre, kaplanmamış iki

ağızlı 12 mm çapında küresel parmak freze, 5000 dev/dak devir sayısı, 0,05-0,1 mm/dak ilerleme değerleri ile $\delta=0, 5,07^\circ, 10,43^\circ, 15,26^\circ, 20,17^\circ$ lik işleme açıları kullanılmıştır (Şekil 2.2). Sonuç olarak F_x , F_y ve F_z kuvvetleri tahmin edilen ve ölçülen değerler olarak birbirine çok yakın elde edilmiştir [21].



Şekil 2.2. İşleme açıları [21].

Lacalle vd., karmaşık kalıp yüzeylerinin küresel parmak frezelenmesinde kesme kuvvetlerinin tahmini üzerine çalışmışlardır. Çalışmada kesici kenarın kesme mekaniği ve karmaşık talaş geometrisi dikkate alınmıştır [22].

Erdim vd., serbest formlu yüzeylerin işlenmesinde yüzey şekil hataları ve kesme kuvvetlerinin matematik modelleri üzerinde durmuşlardır. Buna ek olarak yüzey sapmaları ve kesme kuvvetlerinin tahmin modelleri geliştirilmiştir. İlerleme planı, temelini geliştirildiği kuvvet modeli tekniği ve malzeme kaldırma oranı (MRR) ile karşılaştırılmıştır [23].

Li vd., kesme kuvvetleri üzerine oluşturulmuş çeşitli frezeleme süreçleri için ilerleme optimizasyonu üzerine çalışmışlardır. Takım yolu bölümleri hesaplanan adımlara göre mikro bölümlere ayrılmıştır. Optimizasyonla ilgili yeni bir metot geliştirilmiştir [24].

Erdim vd., serbest formlu yüzeylerin işlenmesinde işleme stratejilerinin planlanması üzerinde durmuşlardır. Literatürde ilerleme optimizasyonu olarak kullanılan malzeme kaldırma oranı (MRR) kullanılmamıştır. Bundan ziyade yeni bir model

oluşturulmuştur. Yeni kurulan kuvvet temelli model diğer modellerin aksine ya ortalama yada ani işleme kuvvetlerini muhafaza ederek kurulmuştur. İlerleme stratejisi planları hem teorik hem de deneysel olarak serbest formlu yüzeyler işlenerek karşılaştırılmıştır. Geliştirilen model sayesinde işleme zamanı büyük ölçüde azalmıştır [25].

Toh, uzay sanayinin ürünleri için kullanılan kalıpları imal etmede önemli yere sahip frezeleme işlemlerinde kesici takım yolunun seçimi ve yönlenmesi üzerine çalışmıştır. Bu sayede yüzey kalitesinin ve takım ömrünün artabileceğini öne sürmüştür. Bu konu çerçevesinde yüzey eğimi, takımın parçaya giriş çıkış hareketleri, iş-takım kesit alanı üzerine detaylı literatür taraması gerçekleştirmişlerdir [26].

Öztürk ve Lazoğlu, kesici takımın iş parçasına girişte iki temel yöntem kullanmışlardır. Bunlardan birincisi Z-haritalama ve diğeri ise Mantıksal operasyon metodu üzerine oluşturulmuş katı modellerin kullanımudur. Makalede monotonik serbest form yüzeylerin 3B işlenmesinde ani giriş bölgelerinin doğru ve hızlı belirlenmesi için yeni bir analitik model geliştirilmiştir. Analitiksel takım ızgara boyutlarına bağlıdır bu yüzden Mantıksal metotlar ve ayırıştırımdan çok daha hızlı olduğu sonucu elde edilmiştir [27].

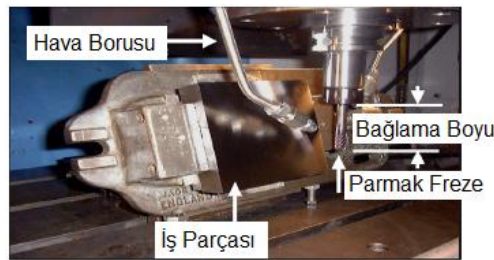
Ramos vd., karmaşık yüzeylerin parmak frezelenmesinde işleme stratejilerinin yüzey yapısı, pürüzlülüğü ve geometrik hatalar üzerine etkilerini araştırmışlardır. İşleme stratejisi olarak radyal, ızgara ve üç boyutlu öteleme stratejileri kullanılmış, en iyi sonucu üç boyutlu ötelemeye elde etmişlerdir [28].

Hu vd., ayakkabı kalıbının yüksek hızda işlenmesinde *B spline* takım öteleme metodunu kullanmışlardır. Yerel bölgelerde var olan takım öteleme eğrilerini yumuşak geçişli yapabilmek için basit bir vektör analizi yapmışlar ve takımı ikinci kez öteletmişlerdir. Bu sayede takımın iyileştirilmiş geçiş noktalarını elde etmişlerdir. Böylece, klasik takım öteleme ve *B spline* ötelemeyi karşılaştırmışlardır [29].

De Souza ve Coelho, endüstriyel parçalarının yüksek hızda işlenmesinde ilerleme hızı sınırlarının deneysel araştırılması üzerine çalışmışlardır. İşlenen parçanın yüzey kalitesi, sürecin kararlılığı ve işleme zamanı kriterleri kullanılarak, farklı kesme yönlerinde spline polinom yöntemiyle elde edilmiş takım yollarının etkisini irdelemişlerdir. Aynı zamanda ilerleme hızını da eş zamanlı takip etmişlerdir [30].

Chen vd., küresel parmak frezeleme operasyonlarının verimliliğini artırmak için takım profilinin değiştirilmesi ve ilerleme hızının optimizasyonu üzerine çalışmışlardır. Küresel takımın işleme esnasında oluşan scallop yükseklikleri dikkate alınarak optimizasyonu yapmışlardır. Sonuç olarak, düşük scallop yüksekliğini muhafaza etmek için takım ilerlemesini bu scallop değerinin üçte biri kadar almak gerektiğini bulmuşlardır [31].

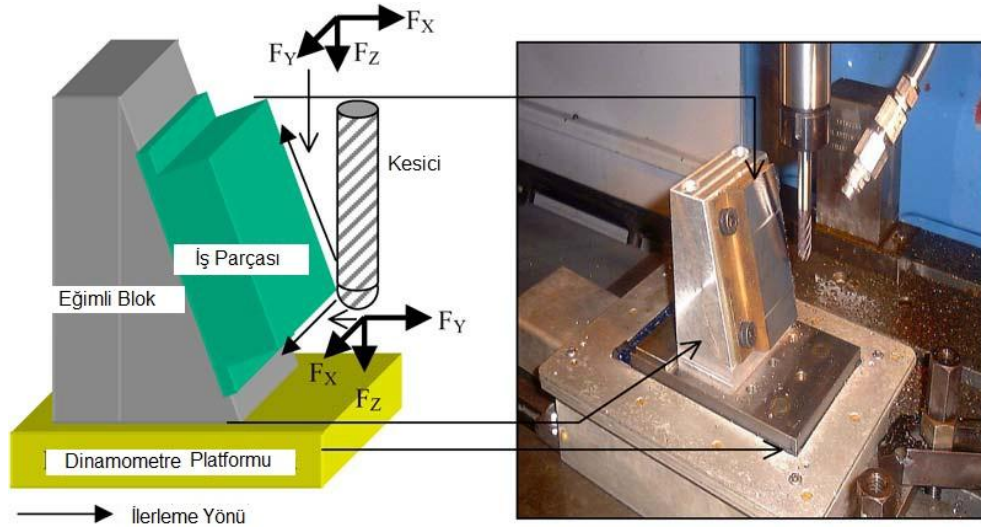
Toh, 75° eğimli iş parçası serbest form yüzeyinin bitirme frezelenmesi yapılırken kesici takım yönlenmesinin değerlendirmesini yapmıştır. Bu sayede en ideal kesme yolu stratejisini belirlemeye çalışmıştır. Deneylerde Matsuura FX-5 işleme merkezi, AISI H13 iş parçası malzemesi, TiAlN kaplamalı parmak freze kullanılmıştır. Yüzey görünümler için SEM fotoğrafları ve axonometrik yansıtma çıktıları kullanılmıştır (Şekil 2.3). Sonuç olarak tek yön dikey tırmanma yönlenmesini en ideal bulmuştur [32].



Şekil 2.3. Parçanın bağlanması [32].

Toh, diğer bir makalede iki kesme şartı üzerine elde edilen kesme kuvvetlerinin hızlı Fourier dönüşüm analizleri kullanılarak kaba ve bitirme frezelemede takım yolu yönlenmeleri üzerine titreşim analizleri yapılması için bir yaklaşım sunmuştur. Deneylerde sertleştirilmiş AISI H13 sıcak iş takım çeliği, testlerde, kaba işlemler için 6 kanallı tungsten karbür solid parmak freze, ince işlemler için 6 kanallı küresel

parmak freze kullanılmıştır. Kesici takımlar 10 mm çapında, 45 derece helis açısında ve 2,5 mikron kalınlığında TiAlN kaplama ve 10 mikron metreden daha az salgıya sahip takımlar tercih edilmiştir. Karşılaştırılan sonuçlar göstermiştir ki, yüksek aksel kesme derinliğinin ($10 \text{ mm} < A_d < 20 \text{ mm}$) hem aynı hem de zıt yönlü frezeleme için minimal titreşim etkileri vardır. Finiş frezelemede FFT (Fast Fourier Transform) analizleri kesme şartları dikkate alınmaksızın minimal titreşimde dikey tırmanma yönlenmesi yer alması gerektiğini önermiştir (Şekil 2.4) [33].



Şekil 2.4. İşlenen geometriler [33].

Lazoğlu vd., serbest formlu yüzeylerin işlenmesinde takım yolu optimizasyonu üzerine çalışmışlardır. Geliştirdikleri takım yolu optimizasyonu çoğu sınırlama altında üretilmesi zor parçaların üretimine izin vermektedir. Serbest formlu yüzeylerin anizotropik geometrisi yüzünden kesme kuvvetlerinin belirlenmesi çok krtitik bir durum olduğundan minimum takım yolu ile süreci tanımlamışlardır [34].

Helleno ve Schutzer, farklı takım yolu enterpolasyon yöntemlerinin yüzey pürüzlülüğü ve form hatası üzerine etkileri üzerine çalışmışlardır. BDİ yazılımlarının sahip oldukları enterpolasyonlar uzun işleme zamanı aldıkları için kalıp endüstrisinde daha az zaman alan enterpolasyon algoritmaları üzerine UG ticari yazılımı ile NC kodlar üreterek geliştirmişlerdir. Deneysel çalışmalarla pürüzlülük ve geometrik doğruluk açısından birbiriyle kıyaslanmıştır [35].

Sun ve Wright, küresel parmak frezeler için devir sayısı, ilerleme oranı ve kesme genişliği gibi kesme parametrelerinin seçiminde algoritma ve stratejiler sunmuşlardır. Hedeflerden biri aşırı işleme zamanını en aza indirmektir fakat kesici takım sınırları, işlenen parçaların tasarım özellikleri imalatı sınırlandırmaktadır. Yazarlar bunun çok değişkenli ve çok sınırlamalı bir optimizasyon problemi olduğunu vurgulamıştır. Bu problemi çözmek için küresel parmak freze için birinci süreç modeli geliştirilmiştir. Bu modelin temeli şekil hatasını simülasyon yazılımları ile kesme parametrelerinden tahmin edilmesi olmaktadır. İkinci kesme parametrelerindeki değişim analiz edilebilmekte ve bulunabilmektedir [36].

Salami vd., BSD tezgâhlarında ilerleme hızının optimizasyonunu yaparak verimliliği geliştirme üzerinde durmuşlardır. İlerleme hızının optimizasyonu için AGIS ve Visual Basic programları kullanılmıştır. İş parçası, takım, kesici kenarı ve hesaplanan maksimum kesme kuvvetlerinin modellenmesi Visual Basic programı ile kontrol edilerek ilerleme hızı optimizasyonu yapılmıştır. Deneyler için CK45 karbon çeliği kullanılmış olup, kesici takım içinde 16 mm çapında değiştirilebilir uçlu parmak freze tercih edilmiştir. Kuvvetlerin ölçümü için KISTLER 9255A dinamometre kullanılmıştır. Sonuçlar verimlilikte önemli artışlar olduğunu göstermiştir [37].

Tao ve Peiqing, karmaşık yüzeylerin işlenmesi için girişim olmadan takım yolu oluşturma stratejisini geliştirmişlerdir. İstenilen işleme toleransları dikkate alınarak takım yolu mesafesi ve her bir takım yolu adımı uzunluğunu analitik olarak hesaplamışlardır. Sonra takımın çarpmalarını tespit etmişler ve engel olmuşlardır. En son analitik bulguları doğrulamak için deneyler gerçekleştirmişlerdir [38].

Young-Keun vd., *Bezier* eğri ve yüzeyleri kullanarak serbest formlu yüzeylerin işlenmesinde takım yolu oluşturma üzerine çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada ilk olarak tolerans ile kesici temas noktası arasında maksimum mesafenin bulunması için ileri adım fonksiyonunu dikkate almışlardır. İkinci aşamada ise yandaş iki takım yolu arasındaki scallop yüksekliğinin maksimum değerine kenar adımı fonksiyonu kullanılarak karar vermişlerdir. *Bezier* eğri ve yüzeylerini kullanarak kesici temas noktalarını oluşturmuşlardır [39].

Zhang vd., geometrik ve mekanistik modelin birleşimi ile serbest formlu yüzeylerin işlenmesinde ilerleme optimizasyonu üzerine çalışmışlardır. Her bir takım hareketi için kesici geometrisine göre geometrik model hesaplanmış ve mekanistik model istenilen ilerleme değerini belirlemek için izin verilen maksimum kesme kuvvet ile kullanılmıştır. Sonuçta elde edilen optimize edilmiş ilerleme değerleri ile parçanın NC kodları yazılmış ve diğer takım yollarına göre büyük oranda işleme zamanı azaltılmıştır [40].

Tounsi ve Elbestawi, üç eksenli işlemede ilerleme planının optimizasyonunun deneysel doğrulanması üzerine çalışmışlardır. Tezgâhlarda ilerleme sürücü sistemlerinin düşük frekanslı dinamiklerini tanımlamışlardır. İlerleme stratejisinin planlanmasında verimlilik lineer olmayan takım yollarının küresel parmak frezelemede belirlenmesini kapsamaktadır. Buda işlemin doğruluğunu ve işlemin verimliliğini sağlamıştır. Stratejinin doğru belirlenmesi takım yolunun önemli ölçüde iyileşmesine sebebiyet vermiştir [41].

Surmann ve Enk, frezeleme operasyonlarında takım giriş şartlarının sebebiyet verdiği titreşim eğrilerinin simülasyonu üzerinde durmuşlardır. Talaş şekli modeli içinde takım sehiminin geri dönüşümüne kurulan model izin vermektedir. Model hızlı kesme kuvveti hesabını yapmakla birlikte talaş kesitinin hızlı analizini de yapmaktadır. Deneyler sayesinde teorik modellerin doğruluğu da kanıtlanmıştır [42].

Lee ve Yang, serbest formlu yüzeylerin işlenmesinde doğruluğu belirleme yaklaşımı geliştirmişlerdir. Üzerinde çalıştıkları parçanın doğruluğunun belirlenmesini sağlayan sistem 3 boyutlu ölçüm sistemleri kullanılarak parçalara uygulanmıştır [43].

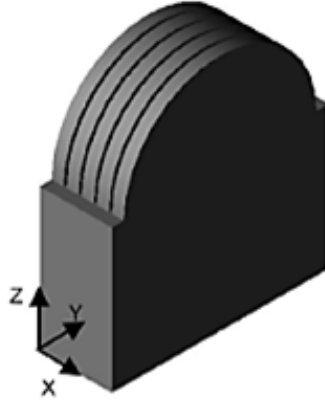
Kurt ve Bağcı, karmaşık yüzeylerin işlenmesinde ilerleme hızının optimizasyonu ve planlanması üzerine çalışmışlardır. Çalışmalarında, CAD/CAM ticari yazılımı ile bütünleştirilebilen ilerleme optimizasyon sistemi üç eksenli frezeleme operasyonları için geliştirilmiştir [44].

Ikua vd., makalede teorik analizler üzerine çalışmışlardır. Talaş geometrisinin değerlendirilmesi için kesme kenarlarının yuvarlak takım yolları dikkate alınmıştır.

Kesme kuvvetleri eğik kesme teorisi tabanlı değerlendirilmiştir. Takım sehiminin sebep olduğu kuvvetlerden kaynaklanan işleme hataları işlenen yüzeyin çeşitli bölgelerinde hesaplanmıştır. Kesme şartlarının, kesme tarzının ve kesme modelinin kesme kuvveti ve işleme hataları üzerine çeşitli etkileri araştırılmıştır. Deneylerde ilerleme hızı 0,1 mm/diş, talaş derinliği 1 mm, kuvvetlerin ölçümü için KISTLER dinamometre kullanılmıştır. Kesici takım olarak solid küresel uçlu parmak freze tercih edilmiştir. Çalışmanın sonuçları göstermiştir ki, kontur operasyonlarında; frezeleme pozisyonu açısının artması ile işleme hataları azalmış, tırmanma operasyonlarında ise işleme hatalarını etkileyen iki kuvvet bileşeni frezeleme pozisyonu açısından aşırı derecede etkilenmiştir. Dahası kontur operasyonlarında; aşağı doğru ilerleme yukarı doğru ilerlemeden daha doğru çıkmıştır. Tırmanmada sağa doğru ilerlemeler sola doğru ilerlemelerden daha doğru çıkmıştır [45].

Ikua vd., diğer bir makalede, eğimli yüzeyler için işleme hataları ve kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesinde teorik bir modelin geçerliliğinin denetlenmesi için bir dizi deney gerçekleştirilmiştir. Deneyler çeşitli kesme şartları konkav ve konveksin tırmanma ve kontur operasyonları içindir. Deneylerde yüksek tamlığa sahip TAKISAWA MAC-VIE işleme merkezi, kuvvetlerin ölçümü için KISTLER 9257B dinamometre, 7 mm çapında 30° helis açısına sahip solid küresel uçlu parmak freze kullanılmıştır. Kontur operasyonunda elektrik mikrometresi ile işleme hatalarını ölçmüşlerdir. Tırmanma operasyonunda ise 3 eksenli koordinat ölçme makinesi ile ölçülmüştür. Sonuçlar göstermiştir ki, kontur operasyonlarında frezeleme pozisyon açısı artması aracılığı ile kesme kuvvetleri etkisindeki işleme hataları azalmıştır [46].

Kim vd., kesici takımın elastik uygunluğu yüzünden küresel parmak frezelenen yüzeyin 3B şekil hataları analizi için bir metod sunmuşlardır. Çeşitli kesme koşullarında şekil hatalarının tahmini için kesme kuvveti ve kesici eğilmesinde eğik yüzeyin etkilerini içerecek şekilde model kurmuşlardır. Aynı zamanda yüzeyin eğimine göre kesme kuvvetlerini ölçmüş ve değerlendirmişlerdir (Şekil 2.5). Takım sehiminden sorumlu kesme kuvveti, tutucu rijitliği ve kesici dikkate alınarak hesaplanmıştır. Kesici ağız ve sap olarak konsol giriş şeklinde modellenmiştir [47].



Şekil 2.5. İşlenen yüzeyler [47].

Ryu vd., düz parmak frezeler ile kenar duvarlarının işlenmesinde şekil hatalarının tahmini için etkili bir metot önermişlerdir. Kesme kuvvetleri ve takım sehimini tezgâh rijitliği, takım ayar hataları ve takım geometrisi dikkate alınarak hesaplamışlardır. İşleme operasyonları aynı ve zıt yönlü frezeleme yöntemleri dikkate alınarak yapılmıştır. Deneysel olarak DAEWOO işleme merkezi, TiAlN ve WC kaplamalı 10 mm çapında küresel parmak freze kullanılmıştır. Çalışma şekilsel doğruluğu geliştirmek için kesme sürecinin planlanması ve gerçek zamanlı yüzey şekil tahminlerine büyük bir katkı sağlamıştır [48].

Lacalle vd., sertleştirilmiş çelik yüzeylerin yüksek hızda frezelenmesinde takım sehiminden kaynaklanan boyutsal hataları incelemişlerdir. İş parçası malzemesi olarak 30 ve 50 HRC sertlikleri kullanılmış, deneyler üç temel yüzey 15° , 30° , 45° için yapılmıştır. Kesici takım olarak sinterlenmiş Tungsten Karbür solid küresel parmak freze ve kaplanmış TiAlN tercih edilmiştir. Testleri üç takım yolu tarzı; tırmanma, inme ve yatay işleme yanı sıra iki frezeleme tipi aynı yönlü ve zıt yönlü frezeleme dikkate alınarak gerçekleştirmişlerdir. Deneysel sonuçlar göstermiştir ki konsol kiriş temelli sehim modeli çok doğru değildir fakat boyutsal hataların değerini bulmakta faydalı olabilmektedir. Bu yolla BDI yazılımlarına bu bilgiler adapte edilerek hatalar minimize edilebilecektir [49].

Sharman vd., yüksek hızda işleme ve Inconel 718'in işlenebilirliğinin belirlenmesini TiAlN ve CrN kaplamalı tungsten karbür küresel parmak frezeler kullanılarak deneysel olarak yapmışlardır. TiAlN kaplamalı takım ile 90 m/dk işlemede en uzun

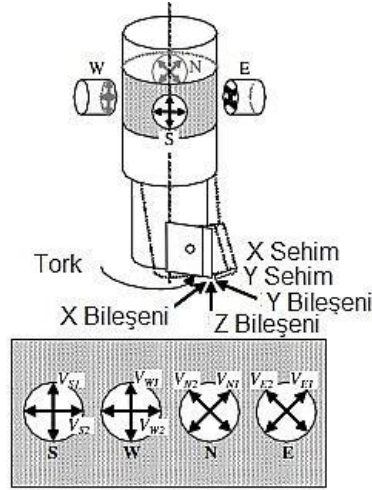
takım ömrü elde edilmiştir. Birinci takım aşınma mekanizması adheziv aşınma olmuş ve CrN kaplamayı büyük miktarda etkilemiştir. 60° malzeme oryantasyonu ile çok büyük miktarda takım sehimi oluşmuştur [50].

Bouzakis vd., küresel parmak takımlar ile çok eksenli bitirme frezelemede iş parçası pürüzlülüğünü tahmin etmek için bilgisayar destekli frezeleme simülasyon algoritması BALLMILL geliştirmiştir. Bu algoritma aracılığı ile frezeleme kinematikleri, deforme olmamış talaş geometrisi, kesme kuvveti bileşenleri, takım sehimi yüzünden iş parçasının ve kesici takımın bireysel hareketleri dikkate alınarak umulan final yüzey topografyası belirlenmiştir. Çalışmada farklı ilerlemede takım dönme pozisyonlarına karşı F_c , F_t , ve F_n kesme kuvvetleri ölçümleri ve hesapları eğik ters, aynı yönlü frezeleme için gösterilmiştir. Bu ölçümlerde piezo elektrik 3 bileşenli dinamometre kullanılmıştır. Kuvvet sinyalleri analog dijital çevirici ve toplayıcı aracılığı ile X, Y, Z referans sisteminde kaydedilmiştir. Talaş şekli SEM görüntüleri ile belirlenilmeye çalışılmıştır [51].

Rao ve Rao, eğimli geometrilerin frezeleme operasyonlarında yüzey hatalarının takım sehiminin telafisi ile kompensasyonu üzerine çalışmışlardır. Kesme kuvveti ve takım sehiminin tahmini için mekanistik model kurmuşlar ve deneysel çalışmalar ile modeli desteklemişlerdir. Sonuç olarak önerilen yöntemin boyutsal doğruluk sağladığını görmüşlerdir [52].

Depince ve Hascoet, takım yolu oluşturma esnasında takım sehiminin hesaba katılması için frezeleme operasyonlarında bir telafi sunmuşlardır. Takım sehimi işleme esnasında oluşur ve özellikle esnek takımlar gibi parmak frezelerin kullanımında meydana gelir ve bu iş parçası üzerinde boyutsal hatalara sebebiyet vermektedir. Çalışma iki bölümden oluşmuştur, birinci bölüm kesme kuvvet modelleri ve yüzey tahmin metotlarını sunmaktadır. Bu makale takım yolu oluşumundaki takım sehiminin etkilerinin bütünlüğüne odaklanmıştır. Modelin karşılaştırılması amacı ile yapılan deneylerde 6 mm çapında, 4 ağızlı, 30° helis açısına sahip, SAE 10351(C35) çeliği, 1250 dev/dak ve dik işleme merkezi kullanılmıştır. Teorik modelde telafi sürecinde takım yolu iyileştirilmektedir [53].

Aoyama ve Ishii, X, Y, Z eksenlerinde kesme kuvveti bileşenleri, kesme torku ve X, Y yönlerinde kesici takım sehimlerinin belirlenmesi için sensör uygulamaları üzerinde durmuşlardır. Sensörlerin asal ve temel özellikleri deneysel bir temelin üzerine geliştirilmiştir. Deneysel sonuçlar etkilerin avantajlarını doğrulamıştır (Şekil 2.6) [54].



Şekil 2.6. Ölçümde kullanılan sensör yerleşimi [54].

Lopez vd., takım sehimine bağlı oluşan boyutsal hataların giderilmesi için uygun takım yollarının seçilmesinde 3 ve 5 eksen işleme metotlarına ait yeni bir tarz geliştirmişlerdir. En küçük kesme kuvveti takım sehimi ile bağlantılandırılmış ve NC kodlar buna göre yeniden oluşturulmuştur [55].

Ghsoh vd., sensör temelli sinir ağları birleşimini kullanarak BSD tezgahlarında frezelemede takım aşınmasının tahmini üzerine çalışmışlardır. İşleme bölgesinden alınan kesme kuvveti, kesici takım titreşimi, ses basınç seviyesi gibi bir takım sinyal özellikleri ile ana kesici kenarın ortalama yan yüzey yanak aşınmasını tahmin etmişlerdir. Sonuç olarak kesme kuvveti sinyalleri ile takım aşınması değerlerini tutarlı bulmuşlardır. Elektrik akımı ve ASB verilerini yine oldukça memnun edici bulmuşlardır [56].

Marinescu ve Axinte, frezeleme operasyonlarında takım ve iş parçası hasarlarını belirlemek için akustik emisyon sinyallerinin etkinliğinin çözümsel bir analizi üzerine çalışmışlardır. Çalışmada sensör sistemlerinin kullanımının üç önemli unsur

üzerine kurulduğu ve bunların zaman tanımlamalarında takım yolu dikkate alınması, takım aşınma ile kuvvet değerlerin kademeli artması halinde AE (Akustik Emisyon) sensör ölçümlerinin kalibrasyonu, işlenmiş yüzeyin kötü frezelenmesinde yüksek enerji transferinin sonucu olarak yüzeyin hasarının tespiti dikkate alınmıştır. Elde edilen kuvvet sinyallerinin yükselmesi ile takım aşınmasının arttığı, yüzey bütünlülüğünün ise sensör sistemleri ile belirlenemeyeceğini belirtmişlerdir [57].

Marinescu ve Axinte, tarafından yapılan bir başka çalışmada birden fazla kesici ağız ile eş zamanlı frezelemede iş parçası yüzey hatalarının tanımlanması için zaman-akustik emisyon frekansı tabanlı izleme üzerine çalışmışlardır. Sistem kuvvet bilgisi aracılığı ile toplanan AE sinyallerinin kullanılması ile çalıştırılmıştır. Bu sayede eş zamanlı kesme yapan bütün kesici kenarlar için sinyalleri dikkate almışlardır. Sonuçlar bütün frezeleme şartları için zaman frekans alanında AE kullanılabilir. Ayrıca kesici kenarın hasarına bağlı oluşan yüzey bozulmaları da belirlenebilmektedir [58].

Rivero vd., makine içi sinyallerinin analizi üzerine kurulmuş kuru frezeleme operasyonlarında takım aşınmasının belirlenmesi üzerine çalışmışlardır. Makineden alınan sinyal bilgileri zaman ve frekans alanında temsil edilen değişiklikler analiz edilmiş, karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir [59].

Wilcox vd., kaba yüzey frezelemede takım uç geometrisinin izlenmesi için akustik emisyon sinyallerinin ve kesme kuvvetlerinin kullanımı üzerine çalışmışlardır. Kesici uç geometrilerini hassas taşlama ile üreterek, takımında meydana gelen kırılma, talaş açısı değişimleri, yan yüzey, burun ve krater aşınmalarının benzeşimini yapmışlardır. Sonuç olarak kesme kuvveti ve AE ölçümlerinin aşınma ve kesici uç geometrisi değişimi gibi teşhislerde kullanılabilmesine ulaşmışlardır [60].

Weingaertner vd., ses sinyali ölçümleri ile yüksek hızda parmak frezelemede dinamik kararlılığa işleme parametrelerinin etkisini hem deneysel hem de analitik olarak değerlendirmişlerdir. Çalışmada dış ses mikrofonu ile ses sinyalleri alınmış bitirme operasyonları için dinamik kararlılığa bakmışlardır. Kurdukları analitik model ile deneylerin uyduğu elde edilmiştir [61].

Tekiner ve Yeşilyurt, AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin tornalanmasında en iyi kesme parametrelerinin ve şartlarının ses işleme ile bulunması üzerinde çalışmışlardır. Çalışmalarında farklı kesme hızları ve ilerleme oranları kullanarak yan yüzey yanak aşınması, kesici kenar talaş birikmesi, yüzey pürüzlülüğü değerlerine göre en iyi kesme hızı ve ilerleme değerlerini ses seviyesine bağlı olarak belirlemişlerdir [62].

Salgado ve Alonso, takım aşınmasının takım izleme sistemleri ile belirlenmesi üzerinde durmuşlardır. Aşınmayı belirlemek için ses sinyalleri ve ilerleme motoru akımını kontrol etmişlerdir. Ses sinyallerinden takım aşınması bilgisini çıkarmada tekil spektrum analizini kullanmışlardır [63].

Ravindra vd., metal kesmede takımın durumunu izlemek için akustik emisyon üzerinde durmuşlardır. Ayrıca zaman serileri modelleme tekniği de kullanılarak istatistiksel bir metot da kullanılmıştır [64].

Haber vd., zaman ve frekans etki alanları için farklı sinyal özelliklerinin analizleri ile takım aşınmasının araştırılması üzerine çalışmışlardır. Yüksek hızda frezelemede takım aşınmasını gözlemlemek için titreşim sinyalleri ve kesme kuvveti sinyalleri zaman ve frekans etki alanlarında analiz edilmiştir. Ayrıca AE sensörleri ile kuvvetlendirilerek alınmış AE sinyallerinin spektrum analizi takım şartlarının değişimi ile çok hassas yapılmıştır [65].

Quadro ve Branco, delme testleri esnasında akustik emisyon analizleri gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında TiN kaplama ile AISI D3 malzemeyi kullanmışlardır. Deneylerinde kenar aşınmasını karakterize etmek için ışık mikroskobu kullanmışlar ve akustik ses ile bağlantısını kurmuşlardır [66].

Guo ve Ammula, takım aşınmasını araştırabilmek için gerçek zamanlı akustik emisyon izleme sistemi üzerine çalışmışlardır. Bu sayede takım aşınmasını tahmin etmişlerdir [67].

Asiltürk vd., regresyonla titreşim, akustik emisyon ve kesme parametrelerine bağlı yüzey pürüzlülüğünün modellenmesi üzerine çalışmışlardır. Kurdukları modelde birinci derece, ikinci derece ve logaritmik çoklu regresyon kullanmışlardır. Bu modeller aracılığı ile yüzey pürüzlülüğü üzerine ilerleme hızının en etkin parametre olduğuna ulaşmışlardır [68].

Bağcı, serfest formulu yüzeylerin işlenmesinde akustik ses basıncı kullanılarak kesme şartlarının etkileri ve talaş kaldırma oranı temelli ilerleme optimizasyonu yaklaşımının analizleri ve takibini çalışmıştır. Sonuç olarak, ses basınç seviyesinin, karmaşık yüzeylerin frezelenmesi sürecinde ilerleme değerlerinin değişimi ve işleme şartlarının etkilerinin izlenmesi için pratik ve faydalı bir metot olduğunu ortaya koymuştur [69].

Kesme kuvveti hesabı ve ölçümü ile ilgili yapılan literatür çalışması özet olarak değerlendirildiğinde;

- Kesme hızı arttıkça kesme kuvvetlerinde düşüş,
- İlerleme (Tabla) hızı arttıkça kesme kuvvetlerinde artış,
- Yanal adım değerindeki artış ile kesme kuvvetlerinde artış,
- Aynı yönlü frezeleme tekniğinde kesme kuvvetlerinde düşüş,
- Kesme kuvvetlerindeki artış ile yüzey pürüzlülüğü değerinin arttığı görülmüştür.

İşleme stratejileri ile ilgili yapılan literatür çalışması özet olarak değerlendirildiğinde;

- İşleme stratejilerinin planlanmasının işlenebilirlik üzerine olumlu etkileri gösterilmiştir.
- Takım girişinde Z haritalama yönteminin uygulanmasının olumlu sonuçlar verdiğine ulaşılmıştır.
- İlerleme optimizasyonun kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü değerlerini düşürdüğü ortaya koyulmuştur.
- *B spline* takım öteleme metodu ile verimli sonuçlar elde edilmiştir.

- *Bezeier* eğriler ile oluşturulan takım yollarının işlenebilirlik açısından verimli olduğuna ulaşılmıştır.

Takım sehim ve işleme hataları ile ilgili yapılan literatür çalışması özet olarak değerlendirildiğinde;

- Frezeleme pozisyon açısı arttıkça takım sehim ve işleme hatalarının arttığı vurgulanmıştır.
- İlerleme (Tabla) hızı ve yanal adım değerindeki artış takım sehimini de artırdığı vurgulanmıştır.
- Zıt yönlü frezeleme tekniğinde takım sehiminin büyük olduğu ortaya koyulmuştur.

Takım izleme sistemleri ile ilgili yapılan literatür çalışması özet olarak değerlendirildiğinde;

- Ses basınç seviyesi ile yan yüzey yanak aşınması tahmin edilmiştir.
- Akustik emisyon ile takım hasarı belirlenmiştir.
- Akustik emisyon ile takım uç geometrisinin şeklini kaybetmesi takip edilmiştir.
- Ses işleme ile en iyi kesme parametreleri belirlenmiştir.

2.2. TEMEL KAVRAMLAR

2.2.1. İşleme Stratejileri

Talaş kaldırarak şekil verme temelde üretilecek parçanın şekilsel ve boyutsal tamlığı yanında, en uygun düzeyde yüzey kalitesi ve üretim ekonomisini amaçlamaktadır. Talaş kaldırma olayında karşılaşılan problemlerden biri çıkan talaşların takım talaş ara yüzünden kontrollü bir şekilde uzaklaştırılmasıdır. Bu nedenle çıkan malzemenin davranışının bilinip analiz edilmesi büyük önem arz etmektedir. Çünkü talaşlı imalatta kullanılan kesici diğer üretim yöntemlerinin aksine bölgesel olarak ısı, mekanik, kimyasal ve aşınma faktörlerine maruz kalmaktadır [70].

Bunun yanında yüzeylerin işlenmesinde işleme stratejilerine bağlı takım kırılması, esnemesi ve benzeri takım hatalarının minimuma indirilmesi yüksek imalat verimliliği için en iyi kesme parametrelerinin belirlenmesi çok önemlidir. Endüstride genel olarak emniyetli çalışma adına düşük takım ilerleme hızları ile işleme stratejilerine dikkat edilmeden talaş kaldırılmaya çalışılmaktadır. Kullanılan ilgili ilerleme hızları ve işleme stratejileri üretim süresini artırmakta ve maliyetlere yansımaktadır. Fakat maliyeti düşürmek için yüksek ilerleme ve diğer kesme parametre değerleri kullanıldığında oluşan yüksek kesme kuvvetleri, kesici takım sehimleri ve yüzey hataları parça için boyutsal problemler oluşturmaktadır.

Tüm bu problemlerin oluşumunda takım yolu stratejilerinin etkileri birkaç çalışmada incelenmiştir. Takım ömrü açısından tek yön, kaydırma ve ızgara takım yolları dikkate alınmış ve yüksek talaş derinlikleri için ızgara takım yolu ideal. Yüzey pürüzlülüğü açısından takım yolu stratejileri incelendiğinde ilgili parametrelerde spiral takım yolunun ideal çıktığı vurgulanmıştır [71].

Yüksek hızlı işleme operasyonlarında işleme zamanı üzerine takım yolu hareketlerinin etkisi önemli bir husustur. İşleme zamanı açısından takım yolu stratejileri değerlendirildiğinde ise yüksek ilerleme hızlarında zig-zag takım yolunun çok etkili olduğu bulunmuştur [72].

Takım yollarının optimizasyonu üzerine yapılan çalışmalarda ise takımın hareket ettiği eğriler, kesme kuvvetleri ve işleme parametreleri referans alınarak iyileştirmeler yapılmıştır. Bu sayede imalat sürecinde olumsuz etmenler minimuma indirilmeye çalışılmıştır [73-75].

2.2.2. Kesme Parametreleri

Talaş kaldırma operasyonu ister dik işleme ister yatay işleme merkezinde yapılıyor olsun temel kesme parametreleri genel olarak değişmemektedir. Bunlar; Kesme hızı (V_c) (m/dak), iş mili devri S (dev/dak), kesici takım ilerleme hızı (V_f) (mm/dak), talaş derinliği ap (mm), kesici takımın çapı D (mm), kesici ağız başına ilerleme f_z (mm/ağız), kesici ağız sayısı Z (ağız) ve kesici yanal adımıdır (fp). Kesme

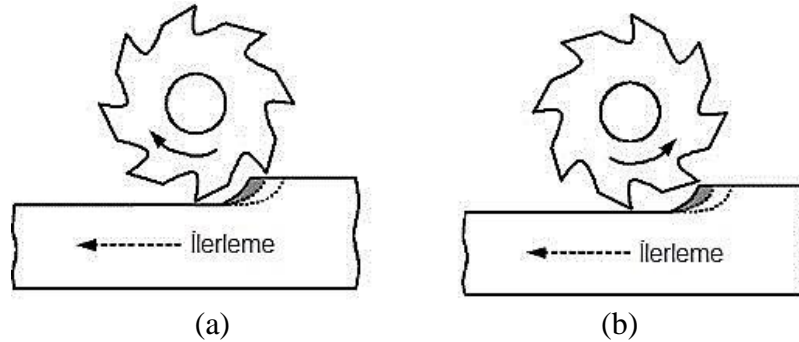
parametrelerinden kesme hızı ve kesici ağız başına ilerleme ilgili markanın katalog değerlerinden veya imalat kitaplarından kesilecek malzemenin cinsine, mekanik özelliklerine, takım malzeme cinsine, boyutuna, geometrisine göre belirlenebilmektedir. İş mili devri ve kesici takım ilerleme hızı ise aşağıdaki formüllerle hesaplanabilmektedir.

$$S = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times d} \quad (2.1)$$

$$V_f = S \times f_z \times Z \quad (2.2)$$

2.2.3. Takım Yolu Tarzları

Takım yolu tarzının doğru seçimi imalat süresini, talaş kaldırılan yüzeyin durumunu ve maliyeti etkilemektedir. Çalışma kapsamında dışbükey ve içbükey yüzeylerin frezelenmesi, tırmanma ve kontur takım yolu tarzları, aynı yönlü ve zıt yönlü frezeleme stratejileri üzerine kurularak gerçekleştirilmektedir. Aynı yönlü frezeleme tırmanma frezeleme olarak da adlandırılmaktadır. Kesicinin dönme yönü ilerleme hareketi ile aynıdır. Zıt yönlü frezeleme konvansiyonel frezeleme olarak da adlandırılmaktadır. Kesicinin dönme yönü iş parçasının ilerleme hareketinin tersidir. Şekil 2.7’de aynı ve zıt yönlü frezelemenin oluşumu gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Aynı yönlü a) ve zıt yönlü b) frezeleme stratejisi.

Aynı yönlü frezeleme stratejisinde talaş oluşumu, zıt yönlü frezelemedeki talaş oluşumunun tersidir. Şekil 2.7.a’den görüldüğü gibi kesici dişleri maksimum talaş kalınlığı ile frezelemeye başlar ve talaş kalınlığı sona doğru azalır. Zıt yönlü

frezeleme stratejisinde ise (Şekil 2.7.b), kesici az talaş kalınlığından çok talaş kalınlığına doğru kesme yapmaktadır. Bu iki farklı strateji temeline uygun olarak, takım yolu hareketlerinin oluşturduğu, tırmanma takım yolu tarzında kesici dışbükey veya içbükey yüzeyi paralel çizgiler şeklinde tarayarak işlemektedir. Kontur takım yolu tarzında ise kesici dışbükey veya içbükey yüzeyi dik çizgiler şeklinde tarayarak işlemektedir. Tezin dördüncü bölümünde, oluşturulan takım yolu tarzları ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

2.2.3.1. Takım Yolu Tarzlarının Talaş Kaldırmaya Etkileri

Takım yolu tarzı, kesici takımın frezeleme operasyonları sırasında talaş kaldırırken yapmış olduğu planlı ve bilinen hareketlerin tümü olarak tanımlanabilir. Talaş kaldırma sırasında takımın gösterdiği kesme performansını belirleyen en önemli olgu takım yolu tarzıdır. Takım yolunu oluşturan çeşitli parametrelerden en önemli olanları: takımın parçaya ilk girişi (başlangıç noktası) ve kesme açısı ile kesme parametreleridir.

2.2.3.2. Takım Yolu Tarzlarının Kesme Parametrelerine Etkileri

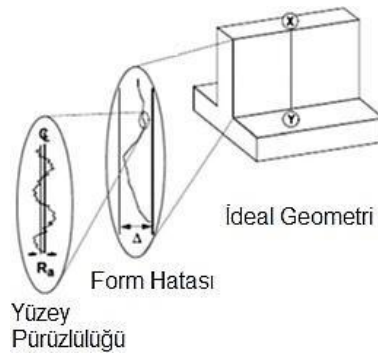
Seçimi yapılan takım yolu tarzına göre bazı kesme parametrelerinin uygun seçimi, elde edilecek kesme kuvvetleri ve takım sehimini doğrudan etkilemektedir. Örneğin, yüksek hızda işleme yapılırken takım yolu tarzı, kesici üzerine gelen yükün sabit olmasını sağlayacak şekilde olmalıdır. Aksi takdirde kesme kuvvetleri ve takım sehiminde olumsuzluklar ortaya çıkmaktadır [76].

En ideal kesme kuvveti ve takım sehim değeri için, işleme parametre değerlerinin daha önceden tespiti gerekmektedir. Bu parametre değerleri makineci el kitapları ya da deneyler gerçekleştirilerek elde edilmektedir. Deneyler aracılığı ile özel bir operasyon için optimum şartların belirlenmesi zaman ve kullanılan malzeme açısından çok maliyetli olmaktadır. Son yıllarda çok etkili bir metot olan Taguchi parametre tasarımı farklı işleme alanlarında deneysel çalışmalar için kullanılmaktadır [77-80].

2.3. ŞEKİL HATALARI

2.3.1. Yüzey Tamlığı-Doğruluğu

Doğruluk; geometrik olarak doğru ve ölçüsel gereklilik ile bitmiş parçanın uyumu ya da uyuşma derecesi olarak tanımlanabilir. Hata; özel toleransla imal edilen iş parçasının gerekli teorik değerinden kesici kenar pozisyonunun sapması olarak anlaşılabilir [81] (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Yüzey hatası ve şekilde sapma.

İmal edilen makine parçaları ya da ürünlerin yüzey kalitesini onların performansı doğrudan belirleyebilir. İş parçası yüzey kalitesi genellikle iki sınıfa ayrılır: yüzey dokusu ve yüzey bütünlüğü-doğruluğudur. Yüzey dokusunda mikro geometri ya da topografyadan söz edilir. Bu da temas ve yağlama-soğutma özellikleri, pürüzlülük şekli ve yüzey pürüzlülüğü tarafından karakterize edilir. Yüzey bütünlüğü, talaş kaldırmanın neden olduğu iş parçası yüzey tabakasına mekanik ve metalürjik değişim ile daha çok ilişkilendirilir. Bunlar, iş parçasının performansına önemli bir şekilde etki edebilir. Makine parçalarının/ürünlerin fonksiyonel performansını etkileyen yüzey özellikleri düşünüldüğünde mikro yapı, mikro sertlik, kalıntı gerilme ve yorulma olarak yüzey bütünlüğü karakterize edilebilir [82].

2.3.2. Yüzey Hata Kaynakları

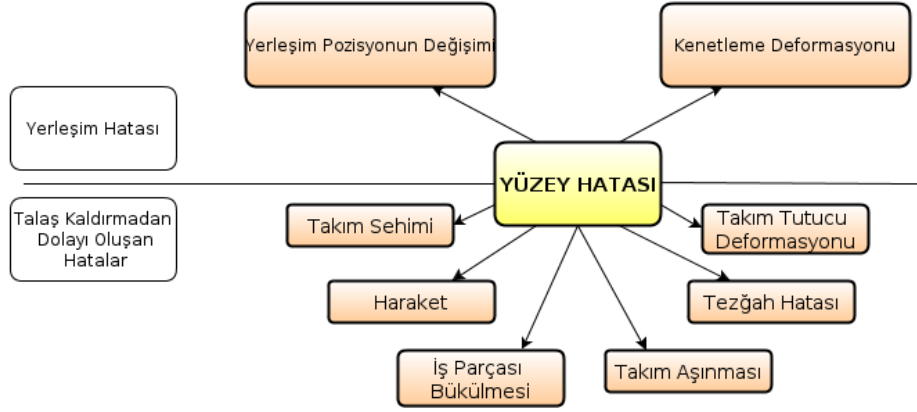
Geometrik doğruluğa boyut hataları, form hataları ve pozisyon hataları (paralellik, diklik, eğiklik, eş eksenlilik, yalpalama vb.) dahil edilir. Gerçek (asıl) yüzey daima

nominal pozisyonundan (konumundan) saptığından, yüzey hatası onların arasındaki maksimum sapma olarak tanımlanır. Yüzey hatası verimlilik ve işlevsel olarak gerekliliklerini tatmin ettiğinde izin verilebilir. Yüzey hata toleransı; alıştırma toleransı, profil toleransı ve şekil-konum toleransı olarak sınıflandırılabilir. Şekil-konum toleransları; düzlemsellik, dairesellik, doğrusallık, silindiriklik gibi sınıflandırılır. Tam gereklilik, talaş kaldırma parametrelerinin dikkatli seçimiyle başarılabılır [83-85].

Geleneksel talaş kaldırma işlemi boyunca oluşan kuvvet kesici takım, tezgâh sistemi ve iş parçasının elastik deformasyonuna sebep olur. Bu elastik deformasyon her geleneksel talaş kaldırma işleminde olur. Genellikle tornalama ve frezeleme işlemlerindeki elastik deformasyon, taşlama işlemine göre nispeten daha azdır. Parmak frezeleme işlemi parçaları şekillendirmek için yapılır. Bundan dolayı, talaş kaldırmanın elastikiyet olgusu özel olarak esas parçaların doğruluğu ve verimliliği ile ilgilidir.

Yüzey hata kaynakları Şekil 2.9'da gösterildiği gibi iki sınıfa ayrılabilir. Birincisi talaş kaldırmadan önce oluşan yerleştirme hatasıyla sonuçlanan yüzey hataları, ikincisi ise talaş kaldırma işleminden dolayı oluşan yüzey hatasıdır. Bu da talaş kaldırma esnasında karşılaşılan hatadır.

Üründeki hatayı etkileyen ana etkenler; % 60-65 tezgâh-takım, % 30-35 işlem ve % 5-10 çevresel faktörlerdir. Tezgâh-takım hatalarına tezgâhın kendisi sebep olur ve geometrik hatalar ve termal olarak oluşmuş hatalar buna dahil edilebilir. Süreç hataları operasyonun kendisiyle ilgilidir ve kesme kuvveti, sapma, takım aşınması, tırlama ve titreşim gibi sebepler neden olur [86].



Şekil 2.9. Yüzey hata kaynakları.

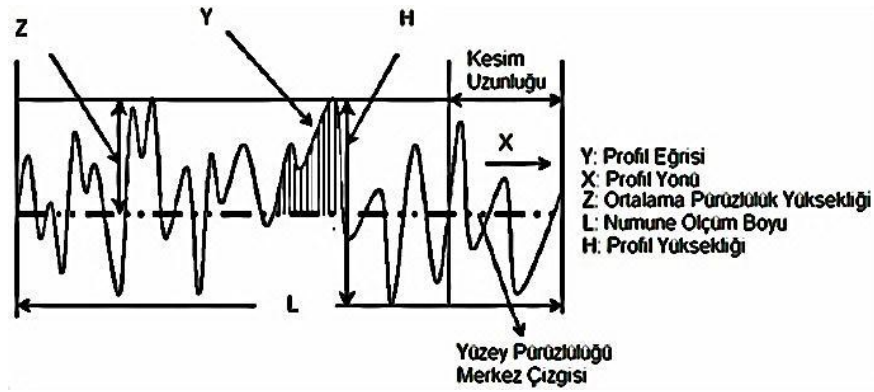
2.3.3. Yüzey Pürüzlülüğü

Talaşlı imalatta, üretimin zamanı ve maliyeti imalatın başarısını etkileyen önemli etkenler olmakla beraber, kalite konsepti içinde değerlendirildiğinde ve üretilen ürünün kullanılacağı yer ve hassasiyeti dikkate alındığında, ürünün kalitesi de üretim maliyeti ve zamanı kadar önemli bir etkidir. Bu bağlamda her imalat yönteminde olduğu gibi, talaşlı imalatta da ürün kalitesi hayli önemsenen ve üzerinde durulan bir araştırma konusudur. Ürün kalitesinin belirlenmesinde önemli faktör, ürünün üretim öncesi belirlenen toleranslar dahilinde olup olmadığıdır. Bu toleransların en önemlilerinden biride yüzey pürüzlülüğüdür. Yüzey pürüzlülüğü birinci olarak, ürünün fonksiyonunu yerine getirme sürecinde hem görsel hemde boyutsal olarak istenilen özelliklerde olması açısından önemlidir. Ayrıca, yüzey pürüzlülüğünden dolayı malzeme mikroyapısında oluşabilecek çentikler ve akabinde yorulma hasarı meydana gelme ihtimalinden dolayı da önemlidir. Bununla beraber, yüzeydeki temastan dolayı sürtünme, aşınma ve yüzeydeki ısı transferi de yüzey kalitesini etkilemektedir [87]. Bunlar dikkate alındığında, araştırmacılar, işlenebilirlik konusu içine yüzey kalitesini de alarak, üzerinde hassasiyet ile durmuşlardır. Bu konuda kapsamlı çalışmalara imza atan Thomas'a göre [88], işlenen parçaların yüzeylerinin tribolojik karakteristikleri, yüzey dokusundan birinci derecede etkilenmektedir. Yüzey pürüzlülüğü sadece aşınma, yorulma, sürtünme ve yağlama gibi tribolojinin geleneksel konularında değil, aynı zamanda sızdırmazlık, hidrodinamik, elektrik, ısı iletimi gibi farklı alanlarda da dikkate alınması gereken önemli bir faktördür. Bu nedenlerle, makine parçalarında yüzey pürüzlülük değerinin tespiti oldukça

önemlidir. Ayrıca, talaşlı imalat kullanılarak yapılan yüzey operasyonları birçok değişkenden etkilenebilmektedir. Yüzey pürüzlülük değerinin azaltılması; talaş derinliğinin azaltılması, düşük ilerleme ve yüksek kesme hızları kullanımı, soğutma suyu debisinin artırılması, kesici takımın uç yarıçapının ve talaş açısı değerlerinin büyük olması gibi faktörler yüzey pürüzlülüğü kalitesinde önemli rol oynamaktadır.

Yüzey pürüzlülüğü, maksimum yüzey pürüzlülüğü R_t , Ortalama yüzey pürüzlülüğü R_a gibi değişik şekillerde ifade edilebilmektedir. Ancak literatür ve imalat sanayi gözlemlendiğinde, R_a ortalama yüzey pürüzlülüğü'nün çok daha fazla kabul gördüğü görülmektedir. Yüzey pürüzlülüğünün R_a olarak matematiksel ifadesi aşağıda sunulmuştur. Yüzey pürüzlülüğü profili Şekil 2.10'da sunulmuştur.

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |Y(x)| dx \quad (2.3)$$



Şekil 2.10. Yüzey pürüzlülük profili [87].

Yüzey pürüzlülüğü, kesme hızı, ilerleme hızı, takım aşınması ve kesme kuvvetleri gibi kesme parametrelerine ve takım geometrisine bağlı bir işlenebilirlik parametresidir. İşlenebilirlikte, istenilen yüzey pürüzlülüğünün elde edilmesi, iş parçasının gerekli fonksiyonel özelliklerini yerine getirmesini sağlamak için önemli bir gerekliliktir. Literatürde işlenebilirlik çalışmaları çok çeşitli olup, kendi aralarında farklı sınıflandırmalara ayrılmıştır. İşlenebilirlik göstergeleri olarak kesici takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü gibi faktörler genel olarak dikkate alınan parametrelerdir. Şekil 2.11'de verilen Balık Kılıçığı diyagramında yüzey

yüzeý pürüzlüüğü, aşınma gibi işleme çıkışları üzerindeki etkileri belirlenebilmektedir. Bunlarla beraber sistemin en iyilenmeside yapılabilmektedir. Son yıllarda bu yöntem ile işlenen yüzeyin pürüzlüğünün tahmini ve en iyilenmesi üzerine yaygın çalışmalar yapılmaktadır [102-106].

2.4. OPTİK YÜZEY TARAMA

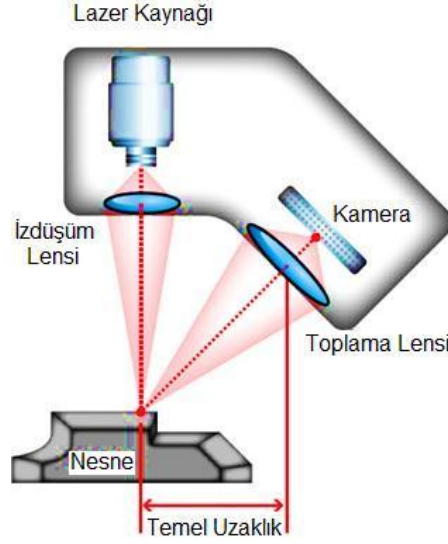
Fotoğrafın, en geniş anlamı ile 3B'lu dünyayı iki boyutlu resimlere dönüştürme işlemi olarak düşünürsek, üç boyutlu optik tarama işlemi bu işlemin tersi yani 2B'lu fotoğraflar yardımı ile 3B'lu görüntü elde edilmesi olarak tarif edilir. Fotoğraflama işleminde ne yazık ki bu dönüşüm işlemi tamamıyla yapmak olası değildir. Derinlik gibi bazı bilgilerin kaybolması söz konusudur. Fotoğraflama işleminde bazı bilgilerin kaybolmasından ötürü üç boyutlu görüntü oluşturmak için bir den fazla çekim yapmak gereklidir. Bu şekilde daha fazla bilgi edinilerek işlem daha iyi hale getirilir. 3B optik taramada kullanılan hem fotogrametri hem de topogrametri metodları, üç boyutlu cisimlerin iki boyutlu fotoğraflarının çekilmesi ve bu fotoğrafların bilgisayar ortamında tekrar üç boyutlu hale döndürülmesi işlemi hassas biçimde gerçekleştirir [107].

Üç boyutlu tarama teknikleri optik üçgenleme (optical triangulation) prensibini temel alır. Kelime anlamı belli sayıda noktanın konumunu kesin olarak tespit edebilmek için, bu noktaları tepe olarak kabul ederek bir alanı üçgenlere bölme işlemi olan "triangulation" tüm üç boyutlu ölçme/tarama tekniklerinin kullanıldığı yöntemdir. Çok çeşitli uygulama alanları olan üçgenleme prensibi haritacılıktan GPS ile konum belirlemeye kadar pek çok alanda kullanılmaktadır. Bu prensiple, matematiksel olarak uzayda kesişen doğruların yardımı ile noktanın bulunduğu yer hassas olarak elde edilir.

Üç boyutlu taramada, cisim bir veya daha fazla kamera ile iki boyutta taranır. Sonra üç boyutlu koordinat sistemine aktarılır. Bilgisayar yardımı ile cismin referansları veya yüzeylerinin ve formlarının nokta bulutu şeklinde ölçümlendirilmesi mümkündür. Optik ölçümde en yaygın kullanılan aktif metotlardır. Aktif Metotlar; optik üçgenleme, ışık kesiti, fringe izdüşümü teknikleridir.

2.4.1. Optik Üçgenleme

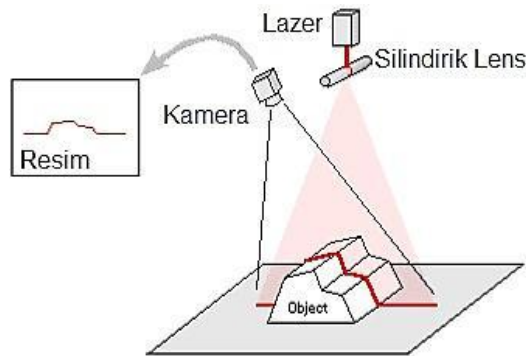
Bir lazer pointer ve optik dedektör üçgenel bir yapıda düzenlenir, sonuç olarak üçgenel dayanak noktası olarak adlandırılan, üzerine lazerle ışık düşürülen noktanın uzaklığı dedektör tarafından belirlenir (Şekil 2.12) [108,109].



Şekil 2.12. Optik üçgenleme [110].

2.4.2. Işık Kesiti

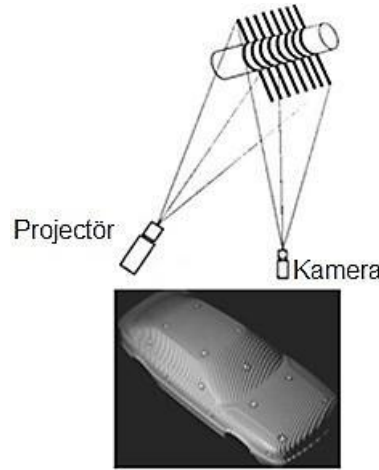
Işık kesiti tekniği, optik üçgenlemenin geliştirilmiş halidir. Bu teknikte cismin üzerine düşürülen bir çizgi ve optik dedektör yardımı ile cismin 3B'lu profili düzlemde elde edilir (Şekil 2.13) [107-109].



Şekil 2.13. Işık kesiti [111].

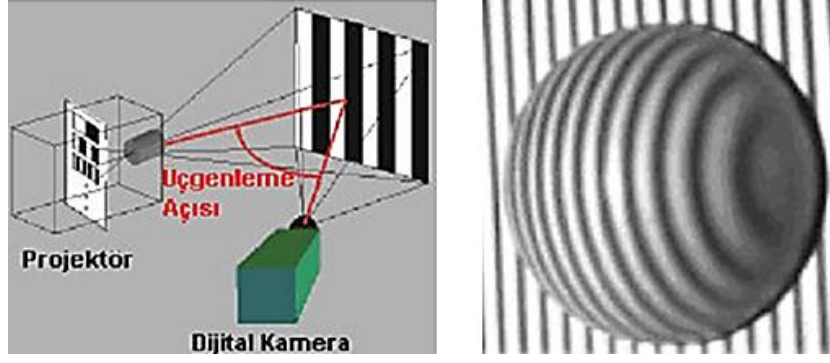
2.4.3. Fringe İzdüşümü

Fringe izdüşümü tekniği ışık kesiti tekniğinin gelişmiş halidir. Bu yöntemde güçlü bir ışık kaynağı ile 3B'lu optik tarama sistemi parça üzerine farklı dokusal özelliklerde saçaklar düşürmektedir. Parçanın yüzeyi üzerindeki bu kodlanmış ışıklar parçanın karakteristik özelliklerinin yönlerine bağlı olarak deforme olmaktadır. Kodlanmış ışıklar özel bir açı elde etmek için iş parçasının yüzeyine doğru yönlendirilmektedir. Bu açı triangulasyon olarak adlandırılır. Fringe izdüşüm deformasyon analizleri aracılığı ile 1 milyonun üzerinde 3B koordinat birkaç saniye içinde elde edilir. Bu sayede yüzey bilgisini içeren nokta bulutu elde edilir (Şekil 2.14) [112].



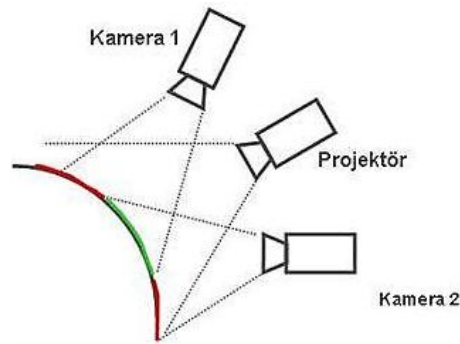
Şekil 2.14. Fringe izdüşümü [107].

3B'lu optik ölçüm tekniklerinde topogrametrik metodun yapıları aydınlatma tekniği, esnekliği ve güvenilirliği bakımından göze çarpmaktadır. Topogrametrik 3B sistemi güçlü bir ışık kaynağı ile cismin üzerine farklı dokusal özellikleri olan fringe'ler düşürür. Cismin yüzeyi üzerinde bu kodlanmış yapıları ışıklar, cismin şeklinin karakteristik özellikleri doğrultusunda deformasyona uğrar. Bu kamera sistemi projeksiyon sistemi ile özel bir açı yapacak şekilde yönlendirilmiştir. Bu açıya üçgenleme açısı denir. Cismin üzerine düşürülen fringe'lerin deformasyon bilgileri analiz edilerek 1 milyona kadar noktanın üç boyutlu koordinatları birkaç saniye içerisinde elde edilmiş olur. Şekil 2.15'de kamera, projektör ve sensör düzeneği ile cismin yüzeyinde deformasyona uğrayan izdüşürülmüş fringeler gösterilmiştir.



Şekil 2.15. Kamera sistemi ve deformasyona uğramış fringeler [109].

Böylelikle cismin yüzey formu bilgisini içeren nokta bulutu oluşturulmuş olur. Bundan sonra bir tersine mühendislik uygulaması olan nokta bulutundan BDT modelleme işlemi mümkün olmaktadır. Tarama sistemleri tek kameralı yüksek teknolojiye sahip sistemler olup uygulama alanına göre, farklı görüş alanlarına sahip lensler sunarak değişik ebattaki cisimlerin sayısallaştırılmasını mümkün kılmaktadır. Çift kameralı sistemlerde ortada bulunan projeksiyon cihazı ile eşit veya farklı açı yapacak şekilde konumlandırılmış 2 kamera bulunmaktadır (Şekil 2.16). İki kameranın da ortak olarak gördüğü bölge esas ölçüm bölgesidir. Breuckmann firmasının geliştirdiği asimetrik çift kameralı sisteminde (Stereoscan) ise ortada bulunan projeksiyon cihazı ile farklı iki açı yapacak şekilde konumlandırılmış 2 kamera bulunur. Bu asimetrik tasarım ile 3 tane üçgenleme açısı elde edilmiş olup detayların daha hassas ölçülmesi ve görüş kapasitesinin artırılması sağlanmış olur. Optik tarama olarak bilinen topogrametrik ölçümlendirme sonucunda istenen modelin nokta bulutu ve poligon ağ verisi (STL) elde edilmektedir [108].



Şekil 2.16. Çift kameralı sistem [108].

2.5. AKUSTİK SES BASINÇ SEVİYESİ

Gelişen teknoloji ve ihtiyaçlar paralelinde üretim sistemlerinin de gelişmesi kaçınılmazdır. Bunun sonucu olarak günümüze kadar farklı üretim teknikleri kullanılmıştır. Kaliteli ve yüksek hacimde üretim ihtiyaçlarını karşılamak için farklı üretim stratejileri geliştirilmiştir. Esnek imalat sistemleride (EİS) bu süreçte geliştirilen imalat sistemlerinden biridir. Fakat EİS'nin (donanım ve yazılım açısından) karmaşık yapıda olması yeni teknolojinin sisteme adaptasyonunu güçleştirmektedir. Bu nedenle imalat sistemlerinin hızlı bir şekilde kendilerini yenileyebilmeleri gerekmektedir. Artan rakabet ortamında, pazar ihtiyaçlarına hızla cevap verebilecek ve tepkisel davranışlarla üretime devam edebilecek bu üretim biçimi, yeniden kendini ayarlayabilen imalat sistemleri olarak adlandırılmaktadır (Reconfigurable Manufacturing Systems (RMS)). Yeniden kendini ayarlayabilir olabilen imalat sistemlerinin kontrol edilebilmesi için işlem akışının doğru bir şekilde yapılması gerekmektedir. İşlem akışının izlenmesi imalat sistemine müdahaleyi kolaylaştırmaktadır [113]. Örneğin bir talaşlı imalat işletmesi için takım aşınmasının izlenmesinin sağladığı avantajlar;

- Takım aşınmasını ve durumunu önceden takip edebilmeyi
- Aşınma değerlerinden en iyi takım ömrünü tespit edebilmeyi
- İşleme, gerçek zamanlı en iyi müdahalenin yapılabilmesini sağlamasıdır.

Yapılan çalışmalarda birçok algılayıcının talaşlı imalat sürecini izlemek amacıyla geliştirildiği ifade edilmektedir. Ancak bu aşamada önemli olan işlem akışını izlemek için minimum sayıda optimum algılayıcı seçimi ve sinyal işleme tekniğinin belirlenmesidir [113,114].

2.5.1. Sinyal İşleme ve Yazılımları

Talaşlı imalatın izlenmesinde kullanılan sinyaller tip olarak çok karmaşık ve çok küçük aralıklarda değişim gösteren, doğrusal olmayan, kesme parametrelerine göre değişim gösteren bir yapıya sahiptirler. Dolayısı ile farklı kesme şartlarında oluşan sinyaller sürekli değişmekte olduğu için izleme güçleşmektedir. Bu noktada en

uygun izleme işlemini gerçekleştirmek için, zaman boyutunda ve frekans boyutunda alınan sinyaller farklı sinyal işleme metotları kullanılarak değerlendirilir [114].

Talaşlı imalatın izlenmesinde iki türlü veri işleme vardır. Bunlardan biri direkt yöntemler, diğeri ise endirekt yöntemlerdir. Direkt yöntemde takımın optik yöntemler (Lazer veya CCD Kamera vs.) ve diğeri hassas ölçüm yöntemleri ile gözlenir. Endirekt yöntemde ise işlem esnasında oluşan akustik ses dalgaları, kesme kuvvetleri, kesme parametreleri, sıcaklık gibi kesme anında oluşan sinyaller değerlendirilerek izlenir.

Kesme anında oluşan sinyallerin karmaşık yapıda olmasından dolayı sayısal sinyal işlemede değişik algoritmalar kullanılmaktadır. Talaşlı imalatta takımın durumunun izlenmesinde elde edilen sinyaller, genelde zaman boyutunda ortalama Rms ya da frekans boyutunda Hızlı Fourier Dönüşümleri ile Dalgacık (Wavelet) algoritmaları kullanılarak analiz edilmektedirler [114].

2.5.2. Ses Verilerinin Alınması

İşleme anında oluşan seslerin analizi yapılarak takım hatalarının izlenmesi mümkündür. Bu konuda mikrofon en iyi sensör olup hem ucuz hemde pratik bir çözümdür. Kuvvet sensörü ve titreşim sensörü ile karşılaştırıldığında sensörün sistemdeki yeri problem değildir. Bu sensörler ile 100-13000 Hz aralığındaki frekans tepkilerini ölçmek mümkündür. Fakat çalışma şartlarında oluşan gürültülü ortam çok iyi bir filtreleme ve hassas bir izoleli kablolanmayı gerektirir. Bu sensörler kesme anında ve tezgâh boşta çalışırken tek kanaldan (mono) sinyallerin toplanmasına yardımcı olmaktadır [114].

Ses basıncı “dB ASB” ile ifade edilmiş olup, bu ifade; akustik ses dalgalarının hava molekülleri üzerine uyguladıkları ses basınç düzeyini ifade eden bir terimdir. 94 dB ASBL= 1 Pascal = 10 mikrobars’a tekabül etmektedir. Referans düzeyleri olması açısından, 0 dB ASB bir insanın normal şartlar altında işitebileceği en düşük ses seviyesini ifade ederken, 1 dB ASB, insan kulağının algılayabildiği en küçük değişikliği temsil eder. Kıyaslama açısından, yaklaşık bir metre uzaklıktan normal

konuşma ses seviyesi 60 dB ASB, bir kaya matkabı ise 120 dB ASB olarak ölçülür [115].

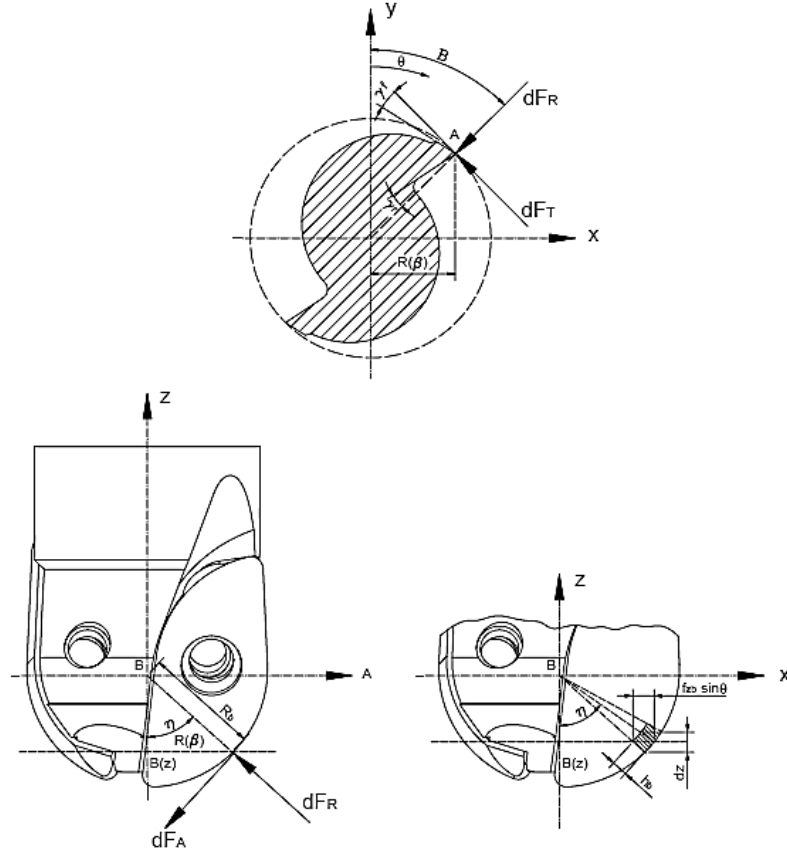
2.6. KESİCİ TAKIM ÜZERİNDE EĞİLME ETKİSİ (SEHİM)

2.6.1. Takımın Geometrik Modeli

Frezeleme mekaniği karmaşık süreçleri barındıran bir araştırma alanıdır ve konu hakkında oldukça fazla çalışma yapılmıştır. Fakat küresel uçlu takımlar kullanılarak yapılan araştırmalar oldukça azdır. Çünkü küresel takımların talaş kaldırma esnasında değişen efektif çap değerleri hesaplama sürecini daha da karmaşık bir hale sokmaktadır. Küresel uçlu parmak frezelerin kullanıldığı serbest formlu ve eğimli yüzeylerin işlenmesi sürecinde Lazoğlu [10], Milfener ve Cus [11], Yang ve Park [116], Sim ve Yang [117], Yücesan ve Altıntaş [118], Lamikiz vd. [119] mekanistik kesme modellerini geliştirmişlerdir.

Bu çalışmalar, her bir kesici ağızdaki kesme mekaniği ve kompleks talaş geometrisi bilgisine gereksinim duyan çalışmalardır.

Milfener vd. tarafından oluşturulan küresel parmak freze geometrisi Şekil 2.17'de gösterilmiştir. Bu sayede küresel parmak frezenin geometrik bilgileri üzerine etkiyen kuvvetler hakkında detay sunmuşlardır [11]. Küresel yüzey boyunca parmak frezenin kesici kenarını sürekli helis açısı ile belirlemişlerdir. Kesici kenarlar silindirik kısmın içinden kesici takımın küresel kısmından geçişte λ_b helis açısına sahiptirler.



Şekil 2.17. Küresel parmak frezelerde geometri ve kesme kuvvetleri [11].

Z yönünde kesici ucuna doğru X-Y düzleminde kesicinin radyüsünün azaltılması ile ilgili olarak helis açısı ve lokal helis açısı değiştirilir. Kesici takımın kesici kenarının yeri üzerindeki noktanın Z-koordinatı;

$$Z = \frac{R_b \beta}{\tan \lambda_b} \quad (2.4)$$

Burada R_b kesici takımın küresel kısmının yarıçapıdır, β kesici kenar helis açısının λ_b ve eksenel pozisyonun Z, Z = 0 olması durumunda kesici kenar ucu arasındaki açıdır.

Sabit uzunluğa sahip kesici takımlar için kesici takım yarıçapı ile ilgili bölgesel helis açısı değişimleri aşağıdaki denkleme göre hesaplanır;

$$\tan \lambda_b(\beta) = \frac{R(\beta)}{R_b} \tan \lambda_b \quad (2.5)$$

Burada $R(\beta)$, η açısı ile ilgili X - Y düzleminde takım yarıçapıdır.

$$\eta = \arcsin \frac{R(\beta)}{R_b} \quad (2.6)$$

Bura da η kesici kenar üzerindeki bir noktanın küresel kısmın merkezinden Z eksenine yönünde açısal bir pozisyonudur. X - Y düzleminde β açısı ile küresel kesici kenara ve helisel üzerinde bir noktaya dokunan kesici kenarın yarıçapı aşağıdaki formülle belirlenir [11].

$$R(\beta) = \sqrt{1 - (\beta \cot \lambda_b - 1)^2} \times R_b \quad (2.7)$$

Kesici takım üzerinde kesme kenarları arasındaki açısal boşluk;

$$\phi_p = \frac{360^\circ}{N_f} \quad (2.8)$$

Burada N_f kesici kenar sayısıdır. Kesici kenarın açısal pozisyonu aşağıda verilmiştir.

$$\theta(j) = j \frac{\phi_p}{N_\theta}, j = 1, 2, \dots, N_\theta \quad (2.9)$$

Burada, N_θ açısal pozisyonların sayısıdır. $\theta(j)$ kesici kenarın açısal pozisyonu ve θ_p kesici kenarlar arasındaki açısal boşluktur. Parmak frezenin kesici kenarları üzerinde aksel diferansiyel elemanın kalınlığı aşağıda verilmiştir [11].

$$dz(j) = i \left(\frac{A_D}{N_z} \right), i = 1, 2, \dots, N_z \quad (2.10)$$

Burada A_D aksel derinliktir, R_D radyal derinliktir ve N_z kesici takımın kesici kenarı üzerinde aksel diferansiyel elemanların sayısıdır. Kesme esnasında kesici kenarın açısal pozisyonu $B(i, j, k)$ aşağıda verilmiştir [11].

$$B(i, j, k) = \theta(j) + \phi_p(k - 1) - \frac{z}{R_b} \tan \lambda_b \quad (2.11)$$

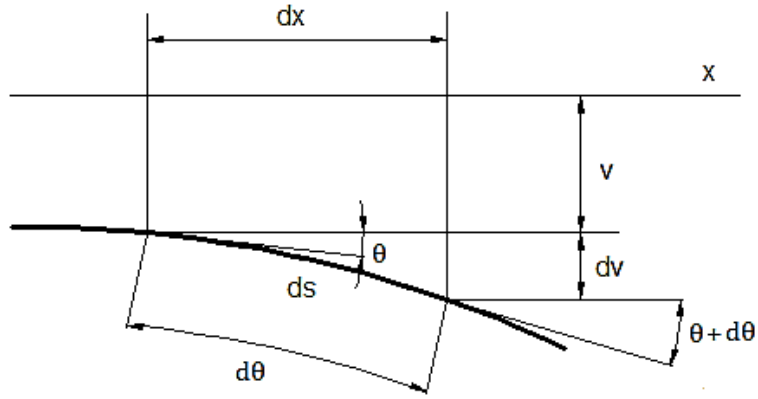
2.6.2. Elastik Eğrinin İntegrasyon Yöntemi İle Bulunması

Şekil 2.18’de gösterildiği gibi $d\theta$

$$ds = \rho d\theta \quad \Leftrightarrow \quad K = \frac{1}{\rho} = \frac{d\theta}{ds} \quad (2.12)$$

Küçük çökmeler için: $ds \approx dx$;

$$K = \frac{1}{\rho} = \frac{d\theta}{ds} \quad (2.13)$$



Şekil 2.18. Elastik eğride çökme hesabı.

Küçük θ için;

$$\tan\theta \approx \theta; \frac{dv}{dx} = \tan\theta, \theta = \frac{dv}{dx} \quad (2.14)$$

Türev alınırsa;

$$\frac{dv}{dx} = v' = \text{Eğim}, \frac{d\theta}{dx} = \frac{d^2v}{dx^2} \quad (2.15)$$

Denklem düzenlenirse;

$$K = \frac{1}{\rho} = \frac{d\theta}{dx} = \frac{d^2v}{dx^2} \quad (2.16)$$

$$K = \frac{1}{\rho} = -\frac{Mx}{EI} \text{ (Hooke kanunundan)} \quad (2.17)$$

Denklem düzenlenirse;

$$\frac{d\theta}{dx} = \frac{d^2v}{dx^2} = -\frac{M}{EI} \quad (2.18)$$

Denklem 2.32'de elastik eğrinin diferansiyel denklemi verilmiştir. Burada M , X 'e bağlı bir fonksiyondur ve iki defa integrali alınırsa çökme ifadesi bulunur.

$$\frac{d^3v}{dx^3} = -\frac{dM}{dx} \left(\frac{1}{EI} \right) = -\frac{V}{EI}, \quad \frac{dM}{dx} = V \quad (2.19)$$

$$\frac{d^4v}{dx^4} = -\frac{dV}{dx} \left(\frac{1}{EI} \right) = -\frac{q}{EI}, \quad \frac{dV}{dx} = -q \quad (2.20)$$

Buradan,

$$EIv'' = -M \quad \text{Eğilme-moment}$$

$$EIv''' = -V \quad \text{Kesme-kuvvet}$$

$$EIv'''' = q \quad \text{Yük durumu}$$

$EIv = \text{Çökme}$, $EIv' = \text{Eğim}$, $EIv'' = \text{Moment}$, $EIv''' = \text{Kayma}$, $EIv'''' = \text{Yük}$

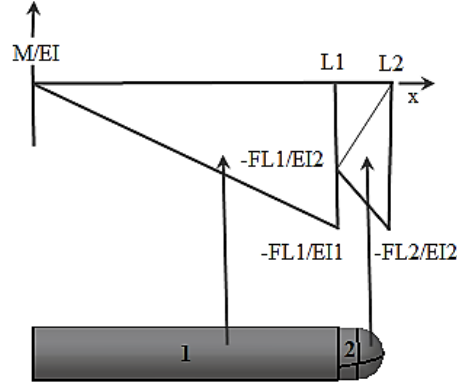
Sınırlamalar:

- Sadece lineer elastik davranış için geçerlidir.
- Çökmeler küçüktür.
- Eğilmeye bağlı şekil değiştirme etkindir, kaymaya bağlı değişiklikleri göz ardı etmektedir.

Kesici sehiminin hesaplanması için Moment Alanı yöntemi, Çift İntegrasyon yöntemi, Enerji yöntemleri, Virtüel İş yaklaşımı gibi farklı analitik çözümler yapılabilir.

2.6.3. Kesici Takımın Kademeli Konsol Kiriş Olarak Modellenmesi

Kesici takımında oluşabilecek maksimum sehim değeri moment alanı metodundan yola çıkılarak aşağıdaki formülasyonla elde edilir (Şekil 2.19). M eğilme momentini, EI değeride esnek rijitlik özelliğini ifade eder.



Şekil 2.19. Kesicinin kademeli olarak modellenmesi.

$$y_{max} = \frac{FL_1^3}{3EI_1} + \frac{1}{6} \frac{FL_1(L_2-L_1)(L_2+2L_1)}{EI_2} + \frac{1}{6} \frac{FL_2(L_2-L_1)(2L_2+L_1)}{EI_2} \quad (2.21)$$

Literatür incelendiğinde analitik yaklaşımla kesici takım sehimi hesaplamalarında farklı yaklaşımlar olduğu görülecektir. En basit kesici sehimi hesabı Elbestawi ve Tlusty [120] ve Wang [121] tarafından kullanılmıştır. Kesici ankastre kiriş gibi modellenmiş ve takım tutucu rijit kabul edilmiştir. Anlık yatay F kuvvetinin kesici ucuna etkidiği varsayımından hareket ile kesici sehimi δ_t aşağıdaki denklemlerle hesaplanmıştır.

$$\delta_t = \frac{FL^3}{3EI} \quad (2.22)$$

L bağlama boyu, I kesicinin atalet momenti değeri ve E kesici malzemesinin elastisite modülüdür. Daha sonra Devor ve Sutherland [122] dahada iyileştirilmiş bir sehimi modelini geliştirmişlerdir. F kuvvetini doğrudan kesici uca yansıtmamış ve kuvvet merkezi tanımlayan yeni bir formül geliştirmişlerdir.

$$\delta_t = \frac{F(2L+z_F)(L-z_F)^2}{6EI} \quad (2.23)$$

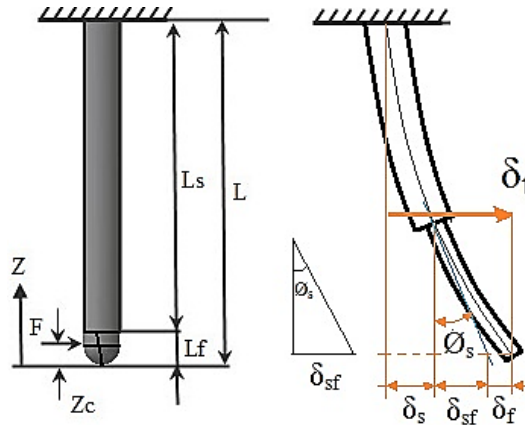
Burada yeni z_F kavramı kuvvet merkezi olarak tanımlanmaktadır. Daha gelişmiş bir yaklaşım Kline vd. [123] ve Devor ve Sutherland [122] tarafından geliştirilmiştir. Sundukları yaklaşım ile kesicinin herhangi bir noktasındaki sehim hesaplamaya olanak sağlamışlardır. Günümüzde halen aktif olarak kullanılan metot budur.

$$\delta(z) = \frac{F}{6EI} [(z_F - z)^3 - (L_e - z)^3 + 3(L_c - z)^2(L_c - z_F)] \quad (2.24)$$

δz kesici uç noktasından z kadar mesafedeki noktanın sehimini, z_F kuvvet merkezini, L_c ise kesicinin efektif boyunu ifade etmektedir.

2.6.4. Kesici Takım Sehim Modeli

İşleme hatalarının oluşmasında en büyük etkiyi yapan bileşen kesici takımın maruz kaldığı zorlanmaya bağlı sehim olgusudur. Kesici takım statik kuvvet altında tek mesnetli bir çubuk olarak düşünüldüğünde Şekil 2.20'de görüldüğü gibi küresel uçlu kesici ağız kısmı ve sap olmak üzere iki parçadan oluşur. Kesici iki kademeli silindirden oluşan tek taraftan mesnetli çubuk olarak temsil edilebilir. Kesicinin toplam eğilme sehimini her bir sehim bileşeninin ayrı ayrı toplanması ile bulunur.



Şekil 2.20. Kesici takım için sehim bileşenleri.

Kesici takım sehiminin ana sebebi kesme kuvvetinin yatay bileşenidir. Kesici üzerinde dikey bileşen Fz 'nin etkisi omasına rağmen Z yönündeki rijitlik değeri oldukça yüksek olduğundan takımın aksel sehimi ihmal edilmektedir. Kesici takım X ve Y eksenlerinde kesme kuvvetleri altında sehime maruz kalmaktadır. Sehim değeri aşağıda verilen formülasyon ile hesaplanmaktadır [10, 116-117, 123].

$$\delta = \frac{F}{6EI} [(z_c - z)^3 - (L - z)^3 + 3(L - z)^2(L - z_c)] \quad (2.25)$$

Burada δ , z noktasındaki kesici sehimi ve F ise kesme kuvvetidir. I kesicinin atalet momenti, E elastisite modülü, L tüm boy, z_c Z yönündeki kesici uçtan yükseklik, z sehimin pozisyonunu ifade etmektedir.

$$I = \frac{\pi d^4}{64} \quad (2.26)$$

Kesici efektif çapı olarak ifade edilen d , dış çapın 0,8-0,85 ile çarpılması ile kabaca bulunur [124-125].

$$\delta_t = \delta_s + \delta_f + \delta_{sf} + \delta_{st} \quad (2.27)$$

$$\begin{aligned} \delta_t = \frac{F}{6 \cdot E \cdot I} & [(z_c - L_f)^3 - (L - L_f)^3 + 3(L - L_f)^2 \cdot (L - z_c)] \\ & + \frac{F}{6 \cdot E \cdot I_f} [(z_c - z)^3 - (L_f - z)^3 + 3(L_f - z)^2 \cdot (L - z_c)] \\ & + \frac{F}{2 \cdot E \cdot I} [2 \cdot (L - z_c) \cdot (L - L_f) - (L - L_f)^2] \cdot (L_f - z) + \frac{F}{K_s} \end{aligned} \quad (2.28)$$

X ve Y yönlerindeki kesici sehimleri yukarıdaki formülasyonla bulunur [17].

BÖLÜM 3

ARAÇ VE YÖNTEM

3.1. CİHAZ VE DÜZENEKLER

3.1.1. BSD Freze Tezgâhı

Deneyleerde Johnford VMC – 550 dik işleme merkezi kullanılmıştır. Tezgâh üç eksenle lineer ve dairesel enterpolasyon yapabilen, metrik ve inç birimlerinde ISO format programlama yapabilen FANUC kontrol ünitesi O-M serisi bir tezgâhtır. İşleme merkezine ait teknik özellikler Çizelge 3.1’de tezgâhın görünümünü Şekil 3.1’de verilmiştir.

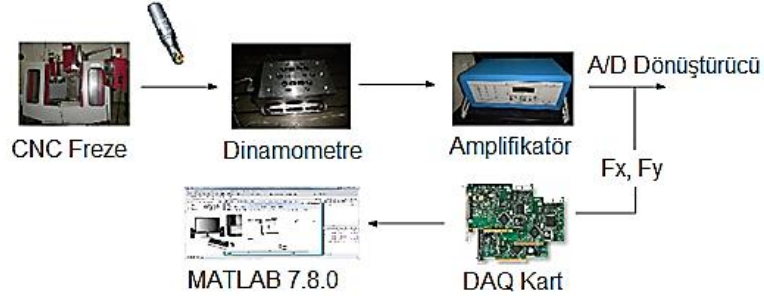
Çizelge 3.1. BSD tezgâhının teknik özellikleri.

Model No	VMC – 850 / 550 + APC
X, Y, Z Hareket Sınırı	X: 800 mm
	Y: 500 mm
	Z: 450 mm
İş Mili Motor Gücü	10 HP (30 min.)
Tabla Yükleme Kapasitesi	900 kg
Makina Ağırlığı	5500 kg



Şekil 3.1. Johnford VMC – 550 dik işleme merkezi.

Tezgâh üzerinde ölçümleri gerçekleştirilen kuvvet ve sehim değerlerinin akış şeması Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Tezgâh üzerinden ölçümlerin alınması için akış şeması.

3.1.2. Kuartz Dinamometre

BSD Freze Tezgâhları için Kuartz Dinamometre bir kuvvetin üç eksenli bileşenlerini ölçmede kullanılır, çok rijit bir yapıya sahip olması dolayısıyla yüksek tabii frekansa sahiptir. İki metal plaka arasında monte edilmiş dört adet üç eksenli kuvvet sensörü bulunmaktadır, her sensörde üç çift kuartz plaka vardır ve bunlardan biri Z yönünde basınca, diğer ikisi X ve Y yönlerindeki kesme kuvvetine hassastır. Bu sensörler dinamometre (Şekil 3.3) içinde kendi aralarında uygun şekilde bağlanıp, çıkış sinyalleri dokuz uçlu bir soket üzerinden dışarıya bağlanmıştır. Deneylerde kullanılan kuvvet sensörünün özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Kuvvet sensörünün teknik özellikleri.

Özellik	Sembol	Birim	Değerler
Ölçme Aralığı	Fx, Fy	kN	-15...15
	Fz	kN	-10...30
Aşırı Yük	Fx, Fy	kN	-20/20
	Fz	kN	-12/40
Hassasiyet	Fx, Fy	pC/N	~8
	Fz	pC/N	~3.8
Rijitlik	Cx, Cy	kN/μm	~0.8-1
	Cz	kN/μm	~2
Doğal Frekans	X, Y	kHz	~1.5-1.7
	F ₀ (Z)	kHz	~2.5-2.7
Çalışma Sıcaklığı		⁰ C	≤±0.02 (0-70)



Şekil 3.3. Kistler 9265b dinamometre.

3.1.3. Yük Amplifikatörü

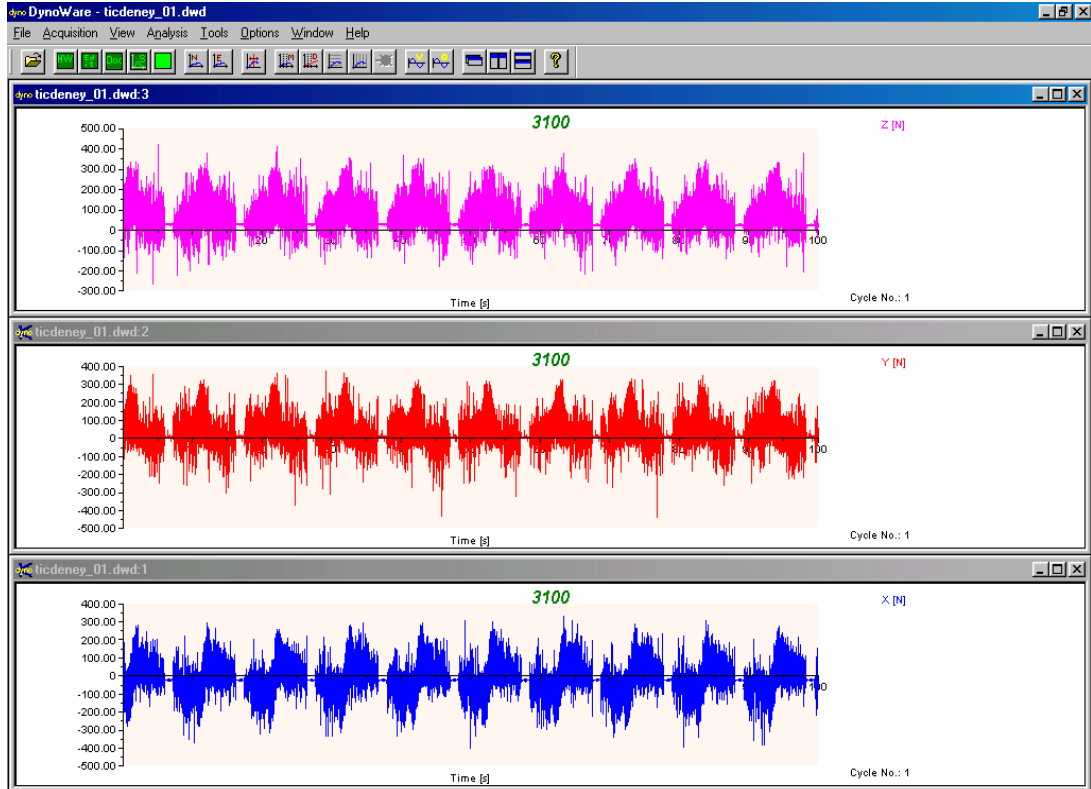
Deneyleerde kullanılan yük Amplifikatörü (Şekil 3.4) kuvvet sensöründen her yönde gelen (X,Y,Z) voltaj sinyallerini ayrı ayrı değerlendirebilmektedir. Analog kuvvet sensörlerinin ürettiği sinyallerin analogdan sayısala dönüştürücünün algılama kapasitesinin altında bir değere sahip olabilir. Bu tip amplifikatörler oluşabilecek veri kayıplarını önleyebilmektedir. Üç kanallı ve mikro işlemci kontrollüdür. Dinamometreden gelen sinyalleri yükselterek volt cinsinden çıkış vermektedir. İstenilen parametreler cihaz üzerindeki tuşlar vasıtası ile ayarlanabilmekte, LCD ekran ve LED göstergelerden okunabilmesinin yanı sıra cihaz üzerinde RS232 C ve IEEE-488 arayüz çıkışları sayesinde deney sonuçları bilgisayara aktarılabilmektedir [126].



Şekil 3.4. KISTLER 5019b tipi yük amplifikatörü.

3.1.4. Dinamometre Veri Alma Ara Yüzü

KISTLER 5019b yük amplifikatöründen alınan dataların değerlendirilmesi ve grafiksel olarak ifade edilmesi için geliştirilen Dynoware isimli yazılım programı kullanılmıştır. Bu program sayesinde üç eksen de iş parçasına etki eden kuvvetler grafiksel olarak görülmekte (Şekil 3.5) ve istenildiği taktirde data olarak Microsoft Office Excel programına aktarılabilmektedir.

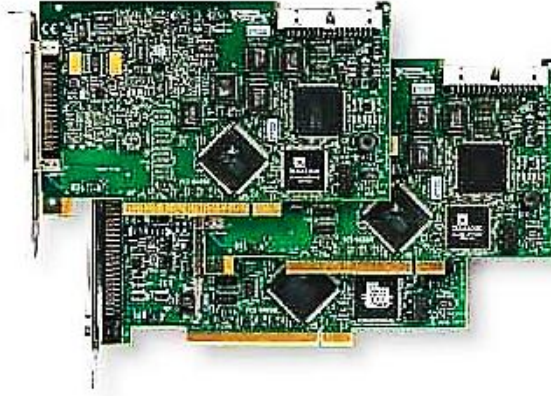


Şekil 3.5. KISTLER dynoware yazılımı arayüzü.

3.1.5. Veri Toplama Kartı

Veri toplama kartları sayısal sinyallerin bilgisayara aktarılmasına yarayan ünitelerdir. Bu ünitelerin seçimindeki en önemli faktör sensörlerden gelen verilerle kart özelliklerinin uyumlu olmasıdır. X ve Y eksenlerinde eş zamanlı verilerin alınması için kullanılan NI PCI 2064E (Şekil 3.6), sinyal verilerinin veri toplama kartları ile toplanması aşamasındaki algoritmalar MATLAB R2009a programlama dili kullanılarak geliştirilmiştir. Bu program içinde yer alan sayısal sinyal işleme

modülü, veri toplama kartlarının potlarına doğrudan ulaşabildiği için, ister analog ister dijital sinyal olsun veri toplamada kolaylık sağlamıştır [114]. Bu sayede 1 saniyede 250 veri alınarak toplam 100 saniye veri alınmıştır. Kullanılan veri toplama kartlarının bazı teknik özellikleri Çizelge 3.3’de verilmiştir.

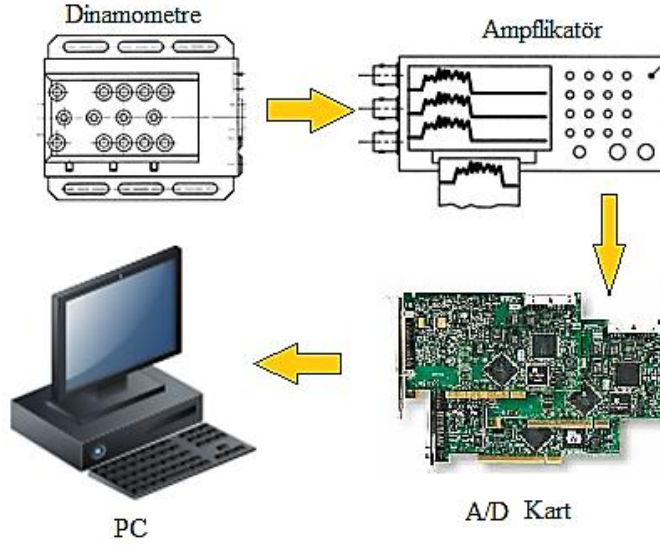


Şekil 3.6. Veri toplama kartı.

Çizelge 3.3. Veri toplama kartının teknik özellikleri.

Özellik	Birim
Voltaj Aralığı	± 10
Güç Çoğaltımı	+5V:typ.500mA, Max. 1A +12V:typ.50mA, Max. 100mA +12V:ryp.14mA, Max. 10mA
I/O Bağlantısı	I/O bağlantısı için 20-pin kafa ve 37 pin D-tipinde bağlantıya çevrim yapabilen adaptör
Operasyon Sıcaklığı	0 °C-50 °C
Depolama Sıcaklığı	-20 °C – 65 °C
Ağırlık	243 g

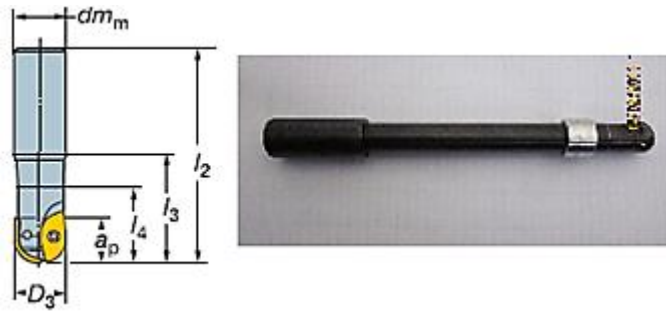
Tüm kuvvet ölçüm sisteminin akış diagramı Şekil 3.7’de gösterilmiştir [126-127].



Şekil 3.7. Dinamometre sistemiyle kesme kuvveti ölçümünün akış şeması.

3.1.6. Deneylerde Kullanılan Kesici Takım Özellikleri

Kesici olarak, SANDVIK firmasının CoroMill değiştirilebilir uçlu (R216-16A20-045), Ø16 mm silindirik saplı, 2 ağızlı, 30° helis açılı parmak frezeleri kullanılmıştır. Kullanılan parmak frezenin boyunun uzun tutulmasındaki amaç kalıpları oluşturan derin girintilerin işlenmesi durumudur. Küresel parmak frezeye ait bilgiler Şekil 3.8 ve Çizelge 3.4’de verilmiştir.

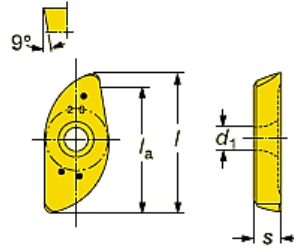


Şekil 3.8. Kullanılan parmak freze.

Çizelge 3.4. Küresel parmak frezeyle ait bilgiler.

Ürün Kategorisi	R216-32A32-070
Ağız Sayısı	2
Helis Açısı	30°
Çap Aralığı	10-50 mm
Norm	Helix Tools
L ₂	250 mm
dm	32 mm
a _p	28,8 mm
D ₃	16 mm
Sertlik Kalitesi	1025

İşlenebilirlik deneylerinde SANDVIK firmasına ait (R216-16 03 M-M H13A) üç farklı kesici uç kaplaması kullanılmıştır. Bunlar TiC, TiN ve TiAlN kaplamalardır. Uçlar 1025 kalitesi, 600 °C de fiziksel olarak PVD kaplama yöntemi ile kaplanmıştır. 1025 kalitesi sertlik ve tokluğun mükemmel bir bileşimine sahip ince tanecikli sinterlenmiş karbürdür. İnce tanecikler, kesme kenarının takım ömrü boyunca keskin kalmasına katkıda bulunur. Karbür, aşınma direnci sağlayan PVD yöntemiyle kaplanmış farklı uçlarda 3 mikronluk TiN ve TiAlN katmana sahiptir. Talaş yığılmasına karşı direncin gerçek fayda sağladığı çelikler, paslanmaz çelikler ve ısı dirençli süper alaşımların orta hızlarda işlemleri için ilk tercih edilen kesicilerdir [128]. Kaplamalar aşınma dayanımını arttırmakta ve kayganlık sağlamaktadır. Kesici takım için Şekil 3.9’da kullanılacak uç geometrisi ve Çizelge 3.5’de boyutları gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Kesici uç geometrisi ve boyutları.

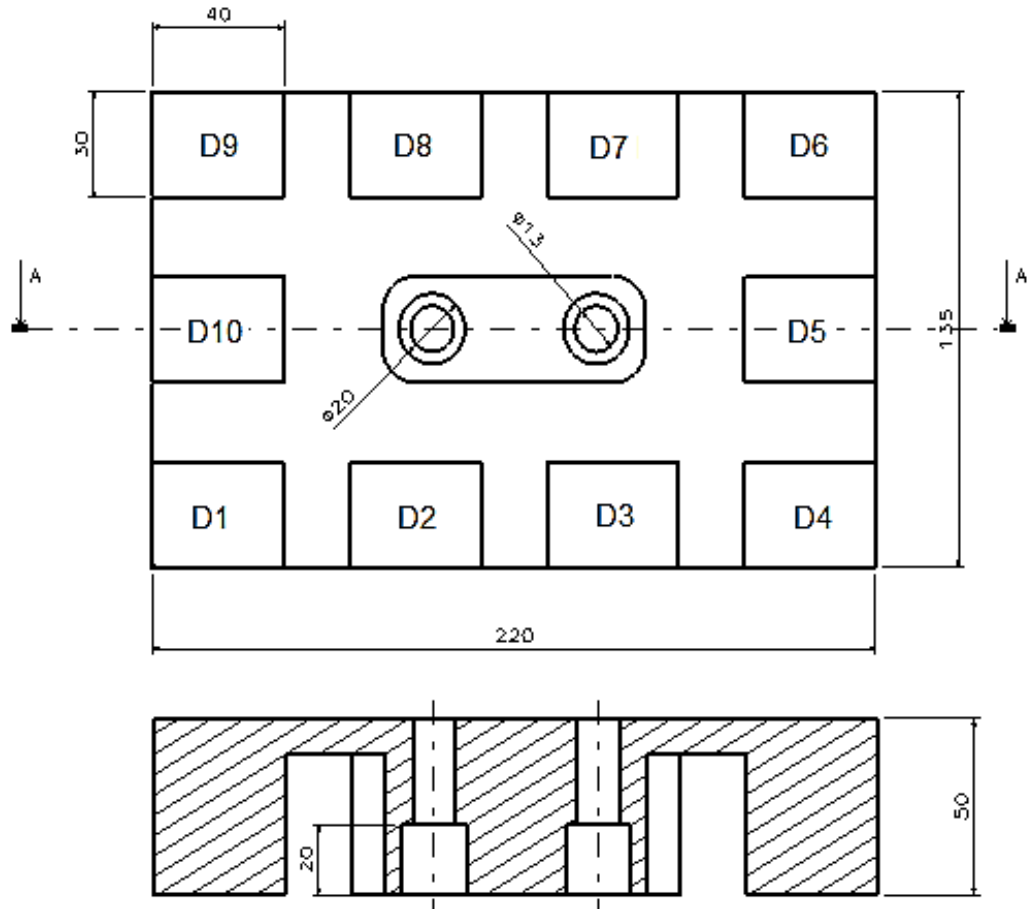
Çizelge 3.5. Kesici uç geometrisi ve boyutları.

l_a	14,4 mm
l	16 mm
d_1	2,9 mm
S	3,18 mm

3.1.7. Deneylerde Kullanılan İş Parçası Malzemesi Özellikleri

Sıcak iş çelikleri demir, demir dışı metaller ve alaşımlarının şekillendirilmesi için kullanılmaktadır. Şekil verilecek olan malzeme yüksek sıcaklığa ulaştırılıp, yüksek basınç uygulanarak şekillendirilmektedir. Diğer taraftan metal daha yüksek sıcaklıklara ısıtılıp ergime sıcaklığına getirilerek, şekle göre hazırlanmış bir kalıba da dökülebilir. Sıcak iş takım çelikleri pres döküm tezgahları, kalıplar, presleme silindirleri, çıkarma parçaları, maçalar, iticiler, dövme kalıpları ve delici zımbalar gibi amaçlar için kullanılabilir [129].

DIN 1.2344 malzemenin tercih edilmesindeki temel amaç yüksek sıcaklıkta iletkenliğini, sertliğini ve aşınmaya dayanımını yitirmeyen tokluğunun yüksek, ısı iletkenliği iyi olup yüzeysel çatlamalara dayanıklı olması ve mükemmel bir talaş kaldırma özelliğinin olmasıdır. DIN 1.2344 çok yüksek ısı kararlılığı olan homojen bir içyapıya sahiptir. DIN 1.2344 malzemenin endüstride kullanımı sertleştirmeden işlenmesi ve sertleştirilmesi olarak uygulandığı için malzemenin sertleştirme işlemi gerçekleştirilmemiştir. Dolayısıyla endüstride kullanımına paralel uygulama yapılmıştır. Deneylerde 220×135×50 mm boyutlarında dikdörtgen kütükler 40×30 mm boyutlarında 10 adet adacığa bölünmüştür. Bu sayede bir dikdörtgen kütük için on deney uygulaması yapılmıştır. Şekil 3.10'da iş parçasının boyutsal bilgileri, Çizelge 3.6'da mekanik ve fiziksel özellikleri gösterilmiştir.



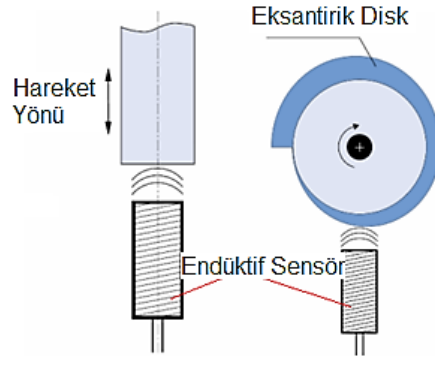
Şekil 3.10. Hazırlanan iş parçası boyutları [mm].

Çizelge 3.6. DIN 1.2344 sıcak iş çeliği fiziksel ve kimyasal özellikleri.

DIN Normu	1.2344 X 40 CrMoV51							
AISI Normu	H13							
ISO Normu	4957							
Özgül ağırlığı	20 °C'de 7,80 kg/dm ³							
Isıl iletkenliği	20 °C'de 25,0 W/(m.K)							
Isıl genleşmesi	20 °C'den °C'ye kadar, 10-6 m/(mK)							
Akma Dayanımı	1650 MPa							
Elastikiyet Modülü	210 GPa							
Poisson oranı	0.30							
Kayma modülü	81 GPa							
Yumuşatma Tavı Derecesi	750-800 °C							
Gerilim Alma Derecesi	600-650 °C							
Sertleştirme Derecesi	1020-1080 °C							
Menevişlemeden Sonra Elde Edilen sertlik	400 °C	500 °C			600 °C		700 °C	
	54 HRC	55 HRC			54 HRC		50 HRC	
Kimyasal Özellikler	%C	%Si	%Mn	%Cr	%Mo	%P	%V	%S
	0,39	1,00	0,40	5,10	1,30	0,025	1,00	0,005

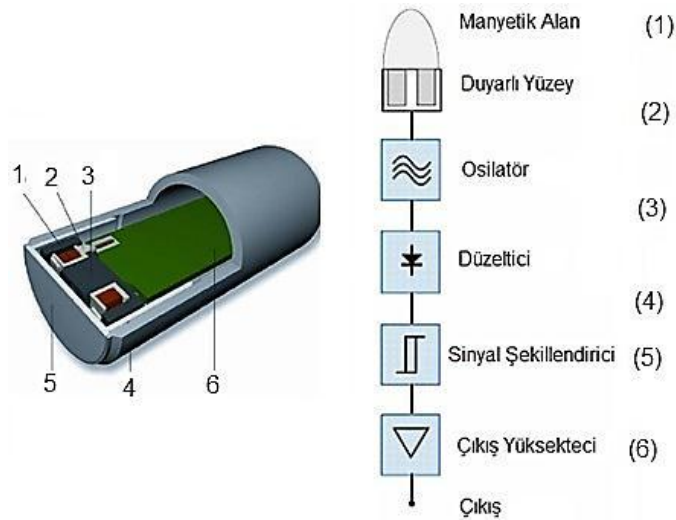
3.1.8. Kesici Sehım Ölçümü İçin Endüktif Sensörler

Endüktif sensörler (Şekil 3.11) malzeme içerisindeki akım dalgalanmalarının sebebiyet verdiği rezonans devresindeki kalite faktörünün değişimlerinin fiziksel etkilerini kullanmaktadır. Bobbin condenser (LC) osilatörü 100 khz ile 1 Mhz arasında çok yüksek frekanslı elektromanyetik alan oluşturur. Şekil 3.11'den görüldüğü gibi elektromanyetik alan hiç bir yöne yönelmeden sargı eksenine simetrik biçimlenir.



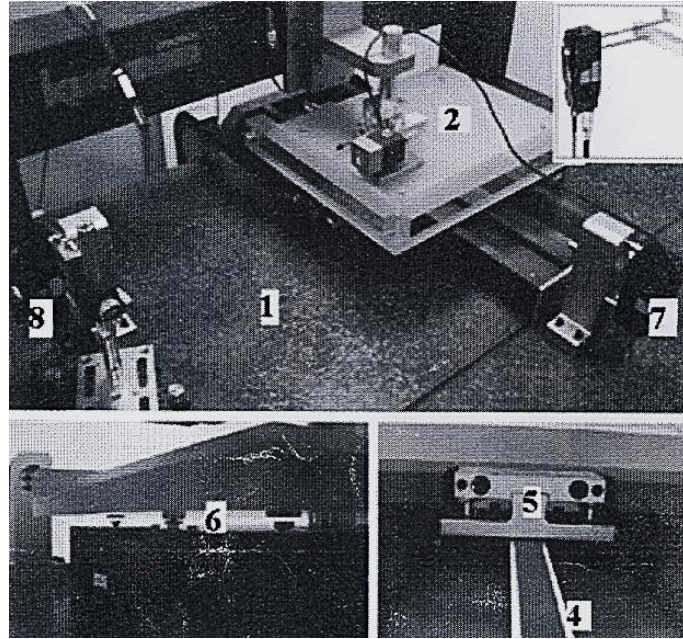
Şekil 3.11. Sensörlerin uygulanişı [130].

Endüktif sensörlerde, yalnızca akımı taşıyan iletken kullanılmayıp geçirgenliği yüksek olan ferit malzemede kullanılarak akımın istenilen yöne aktarılmasına gayret edilir. Bu iletken çekirdek üzerine yerleştirilen sargı sayesinde oluşan manyetik alan sensor etrafında hem tutulmuş hemde yoğunlaştırılmış olunur. Aynı zamanda sargı ve ferit çekirdek metal plakalarla çevrilmiş ise manyetik alan tamamen sensörün ön tarafına yani metale yaklaştırılacak kısma odaklanmış olur. Bu sayede sensor kenarlarında anahtarlanma olmaz ve tümü ile metale döndürülmüş olur. Bu şekilde oluşturulmuş endüktif sensörün manyetik alanına iletken bir malzeme girer ise indüksiyon yasasına göre malzeme içinde girdap akımları oluşur ve osilatör devresinden enerji çeker [130]. Sensörlerin içyapıları ve çalışma prensipleri Şekil 3.12’de gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Sensörlerin içyapısı [108].

Sensörleri oluşturan yaklaşım anahtarları bütün iletken malzemeleri algılayabilirler. Yaklaşım anahtarlarının salınan elektro manyetik çalışma prensiplerinden dolayı cisimler hareket etmese onları algılar ve çok küçük mikro-voltlarda elektrik enerjisi ile çalıştığı için oluşturduğu yüksek frekanslar radio gürültüsünü artırmaz. Aynı zamanda cisim üzerinde oluşan ısılar neredeyse fark edilemez. Sensörün cisim üzerinde manyetik bir etkisi yoktur [130]. Deneylerde kullanılan sensörlerin kalibrasyon işlemi TÜBİTAK tarafından yapılmıştır. Endüktif sensörlerin kalibrasyon işleminde diferansiyel lazer interferometre (7), dört adet ultrasonik piezo nanomotor (4, 5, 6, 8), dört adet hava yastıkları üzerinde yer alan granit masası (1) ve hava yastıklı X, Y hareket ünitesi (2) Şekil 3.13’de gösterilmiştir. Burada diferansiyel lazer interferometer mesafeleri okumak için, piezo nanomotorlar hareketi sağlayabilmek için, hava yastıkları titreşim önleyici olarak kullanılmıştır. Kurulan bu sistem yalnızca X, Y yönünde hareket etmekte olup istenilen pozisyona kısıtlı olan yazılım kullanılarak getirilebilmektedir.

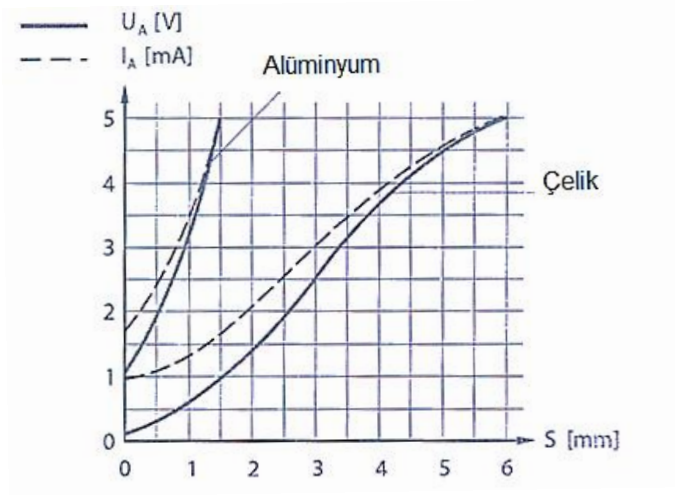


Şekil 3.13. Kalibrasyon sisteminin temel parçaları [108].

Diferansiyel lazerler mesafe okumayı, piezo-nanomotorlar ise sistemi hareket ettirerek pozisyonlamayı sağlamaktadır. Normal atmosfer koşullarında yapılan interferometrik ölçümlerde havanın kırılma indisinden dolayı ışığın dalga boyu değerine düzeltme yapılması gerekmektedir. Buradaki en önemli amaç temassız

endüktif mesafe sensörünün silindirik parçalar karşısında vereceği voltaj tepki denkleminin (Şekil 3.14) elde edilmesidir. Üretici firma sadece düzlem yüzeyler karşısındaki voltaj/mesafe denklemini vermiş olduğundan silindirik parça için denklemin elde edilme zorluğu oluşmuştur [130].

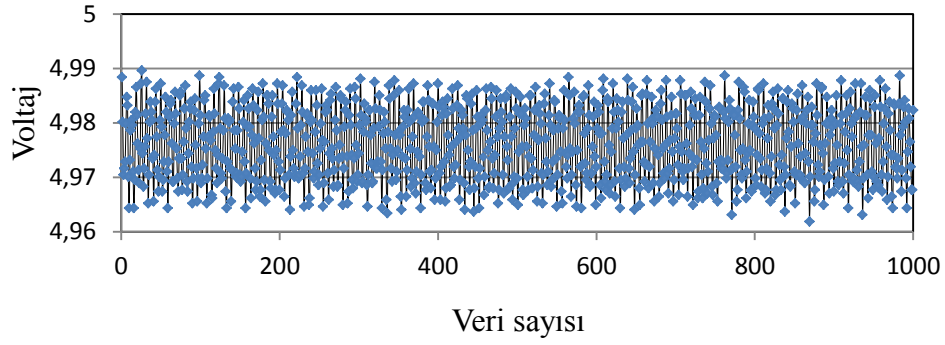
Şekil 3.14’de endüktif mesafe sensörünün silindirik yüzey algılama hassasiyetini karakterize etmek için gidiş ve geliş kalibrasyon çalışması sonucunda elde edilen eğri ve voltaj-mesafe dönüştürme denklemleri görülmektedir [87].



Şekil 3.14. Sensörün düz yüzeyler için tipik eprisi V/mm ve I eğrileri [108].

3.1.8.1. Sensör Burçlarının Salgısının Alınması

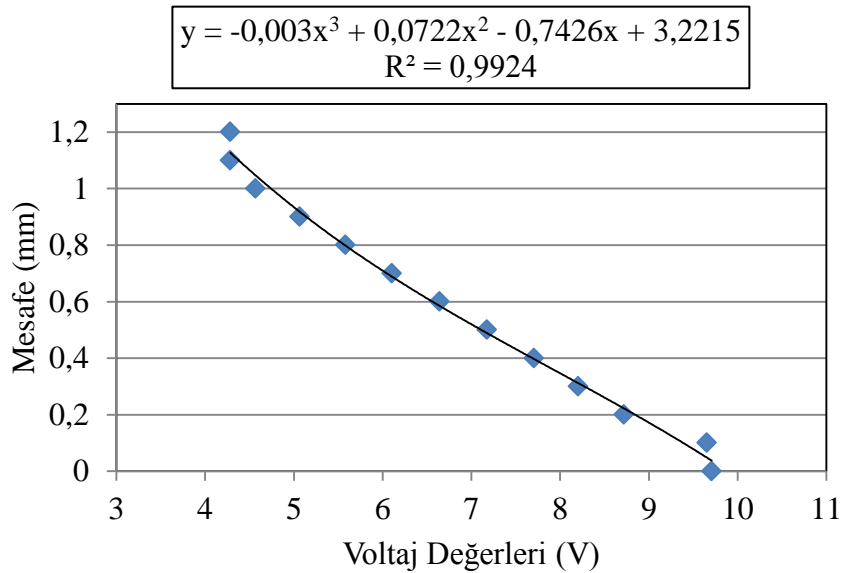
Endüktif sensörlere karşılık gelen Alüminyum burçlardan sağlıklı veri alınabilmesi için salgısız dönmeleri gerekmektedir. Harici olarak BSD torna tezgahındada hassas olarak tornalama işlemine tabi tutulmalarına rağmen gerçek çalışma ortamına geçildiğinde stabil sinyal alınamamaktadır. Oluşan salgıyı en aza indirebilmek için burçlar kesici takım üzerinde, fener mili saat yönü tersine (CCW) dönerken tezgâh tablasına bağlanmış finish işleme torna kateri ile Z eksenini boyunca talaş alınarak salgı minimuma (yaklaşık sıfıra) indirilmiştir. Böylece sensörlerden düzgün sinyaller alınmıştır [87]. Salgı alınması işleminden sonra endüktif sensörden alınan sinyal Şekil 3.15’de görüldüğü gibidir.



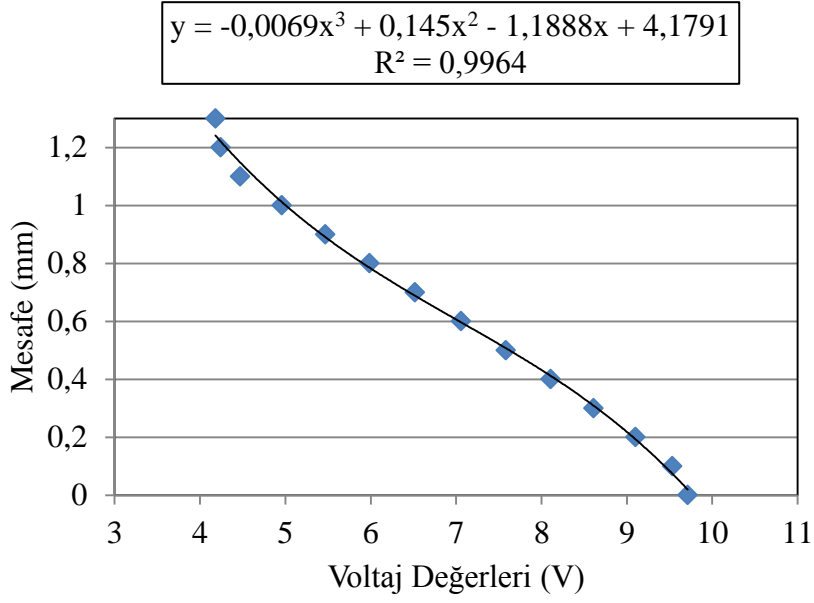
Şekil 3.15. Salgısız voltaj verileri [87].

3.1.8.2. Sensör Kalibrasyon Eğrisinin Elde Edilmesi

Deneysel çalışmalardan önce sensörler gerekli şekilde bağlanmış ve kalibrasyon çalışması yapılmıştır [130]. Burada amaç temassız endüktif mesafe sensörünün silindirik parçalar karşısında vereceği voltaj tepki denkleminin elde edilmesidir. Tezgâh üzerinde sensör kalibrasyonlarında sensör ölçüm aralığında tezgâh hareket ettirilmiş ve eğri oluşturulmuştur. Şekil 3.16’da takımın sabit durumunda kalibrasyon eğrisi Şekil 3.17’de ise 1000 dev/dak’da saat yönünde takım dönerken oluşan kalibrasyon eğrileri verilmiştir.



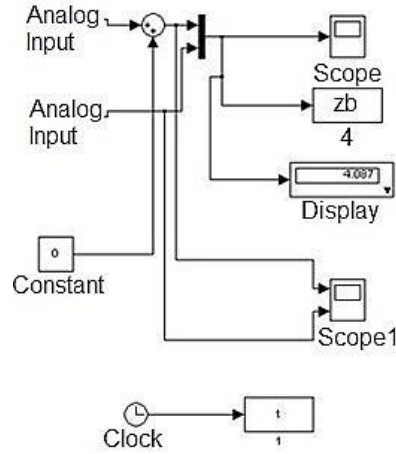
Şekil 3.16. Silindirik yüzey için takımın sabit konumunda oluşan kalibrasyon eğrisi [131].



Şekil 3.17. Silindirik yüzey için takımın hareketli konumunda oluşan kalibrasyon eğrisi.

Endüktif mesafe sensörünün silindirik yüzey algılama hassasiyetini karakterize etmek için gidiş ve geliş kalibrasyon çalışması sonucunda elde edilen eğri ve voltaj-mesafe dönüştürme denklemleri Şekil 3.16 ve 3.17’de verilmiştir [87]. Kalibrasyonu yapılan sensörlerden alınan gerilim değerleri üçüncü derece gerilim-mesafe denklemi kullanılarak uzunluk birimine dönüştürülmüştür. Bu sayede kesici takımda talaş kaldırma esnasında meydana gelen sehim; voltaj değişimleri tespit edilerek, dönüşüm denkleminde yerine yazılarak, kesici takımdaki elastik deformasyon mesafe cinsinden belirlenmiştir.

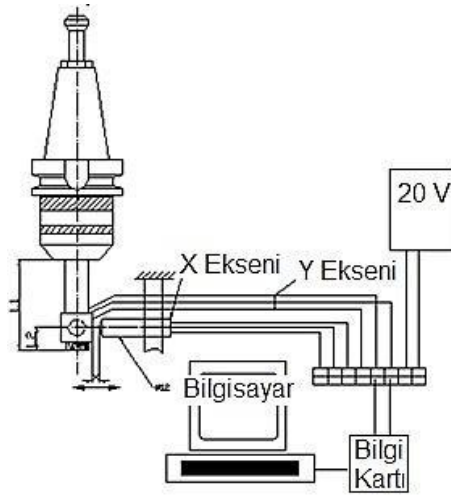
X ve Y eksenlerine yerleştirilen sensörlerden Matlab yazılımı üzerindeki Simulink aracı (Şekil 3.18) kullanılarak elde edilen voltaj verileri (*zb*) adı altında oluşan dosyada saklanmıştır. Anlık eş zamanlı grafiksel değişimler her iki sensörden de ayrı ayrı izlenebilmiştir. Saniyede ki veri alma frekansı 250 Hz’dir. Sensörlerin başlangıç konumunu uygun şekilde ayarlayabilmek için sensörden çıkış voltajına sabit eklenerek seviyeleri hassas olarak eşitlenmiştir.



Şekil 3.18. Simulink akış diyagramı.

3.1.8.3. Deneysel Çalışma İçin Sensörlerin Yerleşimi

Deneysel çalışma düzeneği için endüktif sensörlerin yerleşimi Şekil 3.19'daki gibi tasarlanmıştır.



Şekil 3.19. Endüktif sensörlerin yerleşimi [87].

Çalışmada sensör uzaklıkları literatürde derin girintilerin işlenmesi için kullanılan deal bağlama boyları temel alınarak oluşturulmuştur. Takım bağlama boyları kesici takım çapının 15 katı mesafeyi geçmeyecek şekilde ($L_1 = 11,25 \times D$) bağlama yapılmıştır. Kesici takım bağlama ve sensör ölçüm mesafeleri Şekil 3.20'de gösterilmiştir. Sensörün çalışma voltaj aralığı 0-10 volt arası olduğundan her iki yönde de sehimin belirlenebilmesi için ($X0$) mesafesi; sensör çıkış voltaj değeri 5

Volt civarında sabit kalacak şekilde ayarlanmıştır. Sensör bağlama boyu L_2 ise kesici takım çapının 2,5 katı olacak şekilde ($L_2=2,5 \times D$) monte edilmiştir.

Kesici takım bağlama ve sensör ölçüm mesafeleri aşağıdaki gibi verilmiştir.

D = Kesici Takım Çapı (mm)

L_1 = Kesici Takım Bağlama Boyu (mm) ; $11,25 \times D$

L_2 = Sensör Ölçüm Yüksekliği (mm); $2,5 \times D$

X_0 = Sensör Ölçüm Mesafesi (mm); 5 Volt okunan konum

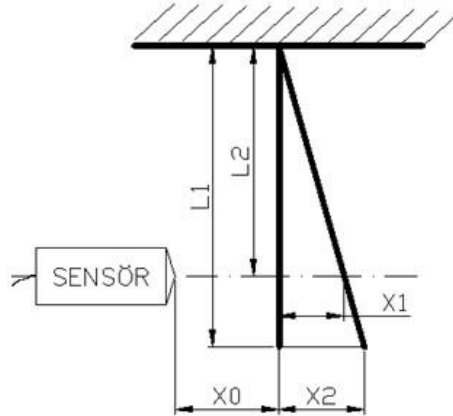
X_1 = Sensör Konumundaki Sehim (mm)

X_2 = Takım Ucundaki Sehim (mm)

Kesici takım ucundaki sehim benzerlik kuralına göre hesaplanmıştır.

$$L_2/L_1 = X_1/X_2$$

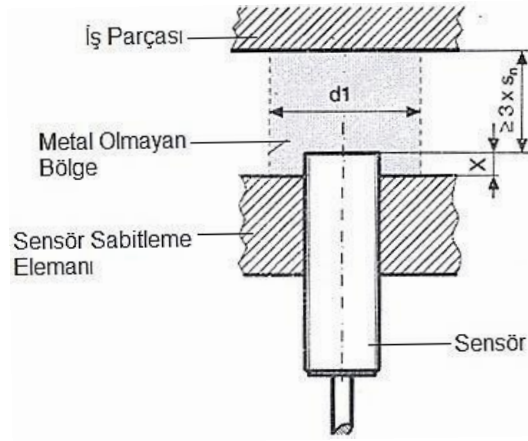
(3.1)



Şekil 3.20. Kesici takım bağlama ve sensör ölçüm mesafeleri [87].

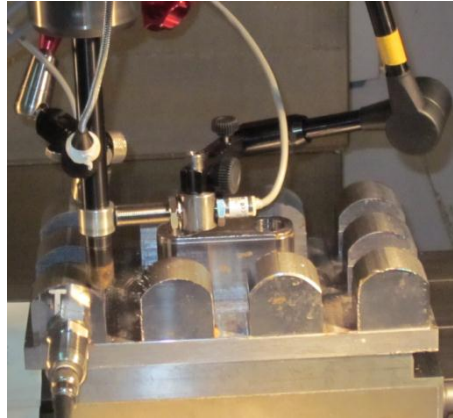
3.1.8.4. X ve Y Eksenlerinde Dinamik Sehim Ölçümü İçin Düzenek kurulması

Sehim X ve Y yönünde, birbirine 90° dik olarak konumlandırılacak olan iki endüktif temassız sensör kullanılarak ölçülmüştür. Manyetik tutucular kullanılarak sensörlerin aksinel ayarları, sensörlerin okuma, birbirine etkileri ve diklik ayarları yapılmıştır. Sensör montajı için sınırlamalar Şekil 3.21’de gösterilmiştir.

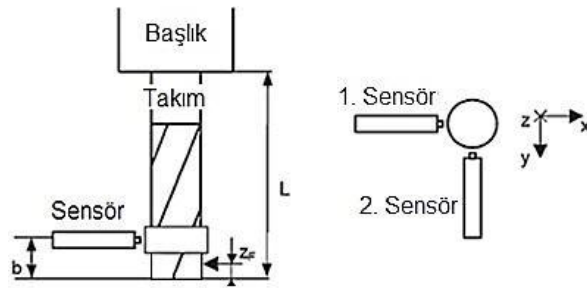


Şekil 3.21. Sensörün montaj gereksinimleri [108].

Kesiciler üzerine farklı çaplar için yapılmış hassas işlenmiş alüminyum parçalar geçirilerek helisli kısımdan sehim ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.22’de detaylı deney çalışması ve şematik gösterimleri yer almaktadır.



(a)



(b)

Şekil 3.22. Kesici sehimi ölçüm deney düzeneğinin; a) gerçek ve b) şematik gösterimi.

3.1.9. Yüzey Pürüzlüğünün Ölçümü

Yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçümü için DIN, ISO, CNOMO parametrelerinin seri ölçümlerini yapabilen, otomatik ve dinamik kalibrasyon özelliğine sahip, otomatik, 1,75 / 5,6 /17,5 mm tarama boyu seçimli, profil çözünürlüğü 0,012µm MARSURF PS1 prototip ölçü aleti kullanılmıştır. Cihazın teknik özellikleri Çizelge 3.7’de verilmiştir.

Çizelge 3.7. MARSURF PS1 teknik özellikleri.

Ölçme Prensipleri	İğne Metodu
Veri Toplama	2µm iğne ucu, 0,7 mN ölçme kuvveti
Parametreler	Ra, Rq, Rz
Ölçüm Aralığı	350 µm, 180 µm, 90 µm
Ölçüm Uzunluğu	1.75 mm, 5.6 mm, 17.5 mm

Ölçümler esnasında parçaların küresel yapılarından dolayı 45° lik altlıklar yapılmış ve parçalar üzerlerine oturtularak ölçümler gerçekleştirilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü sonuçlarının güvenilirliği açısından pürüzlülük ölçümleri en az dört tekrarlamalı olarak yapılmıştır. İş parçası üzerinde işleme sırasında oluşan yüzey pürüzlülüğü değerlerinin ölçümleri için kesme uzunluğu 0,8 mm ve örnekleme uzunluğu 5,6 mm olarak alınmıştır. Ortam sıcaklığı yaklaşık 20 ±1 °C’dir.

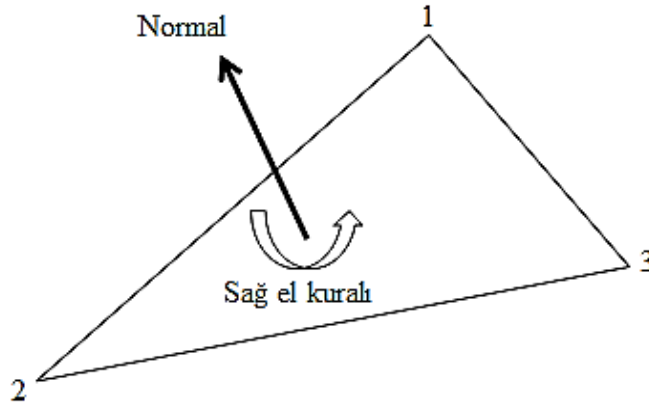
3.1.10. 3B Optik Tarama

Deneyleerde Breuckmann firmasının opto-TOP-HE tarama sistemi kullanılmıştır (Şekil 3.23). Tarama yöntemi ile orijinal BDT verisi ve bu veriye bağlı olarak imal edilmiş parçanın 3B sayısallaştırma verisinin karşılaştırılması hedeflenmiştir.



Şekil 3.23. opto-TOP-HE tarama başlığı [109].

Numunelerin optik taranmasında Fringe izdüşümü yöntemi tercih edilmiştir. Bu yöntemde çoklu ışık kesitleri (siyah ve beyaz şeritler halindeki desenler) cismin yüzeyine düşürülerek bir ya da daha fazla yüksek çözünürlükteki kamera yardımı ile bilgisayar ortamına aktarılır ve üç boyutlu yüzey bilgisi elde edilir [109]. Bu aşama sonrasında fringe izdüşümü yöntemi ile elde edilen nokta bulutu öncelikle yüzey modele çevrilmiş ve bu yüzey küçük üçgen yüzeylere (Şekil 3.24) bölünmüştür [111]. Bu üçgen yüzeyler ise köşelerinin kartezyen koordinatları ve yüzey normal vektörü ile temsil edilmiştir. Temsil edilen bu yüzeylerin Şekil 3.25’de verilen algoritmada görüldüğü gibi köşeleri üç temel ekseninde ifade edilmiş olur. Taramalar ile gerçek parçaların karşılaştırılmasında öncelikle yüzeyin normaline göre belirlemeler yapıldıktan sonra Z ekseninde köşe koordinatına göre yerleşim yapılmıştır.



Şekil 3.24. Yüzeycik ve normali.

```

katı ismi
  yüzey normali ni nj nk
    dış eğri
      köşe v1x v1y v1z
      köşe v2x v2y v2z
      köşe v3x v3y v3z
    eğri bitiş
  yüzey bitiş
katı bitiş ismi

```

Şekil 3.25. ASCII STL formatı.

Bilgisayar destekli yazılım ile elde edilen model, işlenen parçanın optik taraması ile elde edilen STL (StereoLithography) verisi ile aynı koordinat sistemi üzerine yerleştirilerek, modeller arasındaki farklar analiz edilmiştir. STL verisinin içbükey veya dışbükey bölgesi ile BDT verisinin içbükey ve dışbükey bölgeleri aynı doğrultuda birleştirilmiş ve parçanın düzgün bir duvarı referans alınarak hatalar ortaya çıkarılmıştır. Burada amaç katı model olarak elde edilen işlenmiş parçaya ait BDT verisi ile ulaşılmak istenen hedef yüzey arasındaki farkların analizidir. Şekil 3.26'da gerçek ölçüm durumu gösterilmiştir.



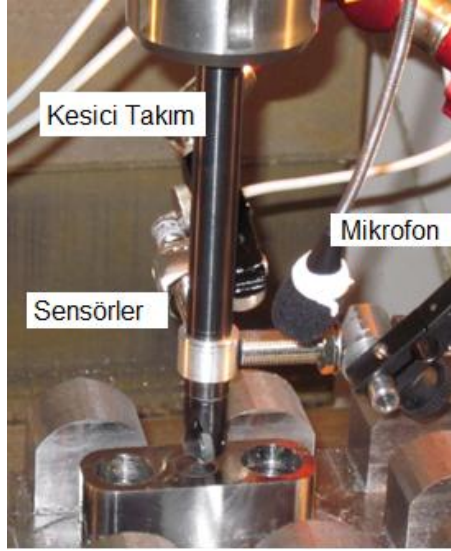
Şekil 3.26. Üç boyutlu optik tarama ile form hatalarının ölçülmesi.

3.1.11. Akustik Ses Basınç Seviyesini Belirleme

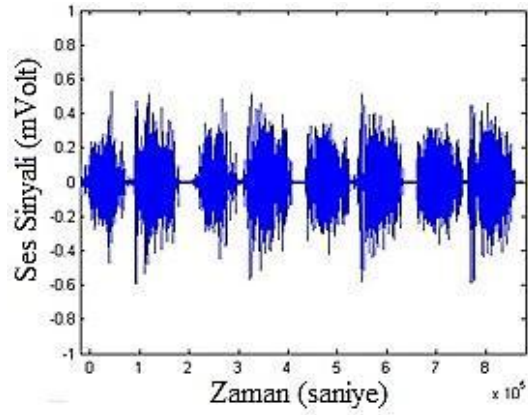
Deneylerde akustik ses basınç seviyesi, mVolt biriminde 100 msec örneklemede yapılarak, veri toplama sistemi ile kaydedilmiş ve kalibre edilmiş bir mikrofonla alınmıştır [131]. Mikrofon kesici takıma mümkün olan en yakın mesafeye sabitlenmiştir. Deneyler için kullanılan ses sensöründen (Mikrofon) alınan ham sinyaller MATLAB yazılımında geliştirilen algoritma sayesinde sayısal değerlere dönüştürülmüş ve her deney için bilgisayara kaydedilmiştir. Mikrofonun kalibrasyonu için C.E.M DT 8850 bir ses ölçüm cihazı ile aynı ses değeri ölçülmüş ve bulunan farkların yazılıma girilmesinden sonra ölçümler yapılmıştır. Deneylerde sinyaller zaman boyutunda incelenmiş ve toplanan ham sinyaller filtrelendirildikten sonra aritmetik ortalamaları analiz edilmiştir. Sinyaller öncelikle Volt birimine son olarak da desibel (dB) cinsine dönüştürülmüştür [131]. Desibel dönüşümleri aşağıdaki formül ile gerçekleştirilmiştir.

$$ASP = 20 \log_{10}(V_c/V_o) \quad (3.2)$$

Burada, V_c çıkış alınan değer, V_o ise elde edilen en küçük Volt değeridir. Şekil 3.27'de kullanılan ölçüm düzeneği ve Şekil 3.28'de örnek akustik ses sinyallerinin yapısı gösterilmiştir.



Şekil 3.27. Ses sinyalleri için kullanılan deneysel ölçüm düzeneği.

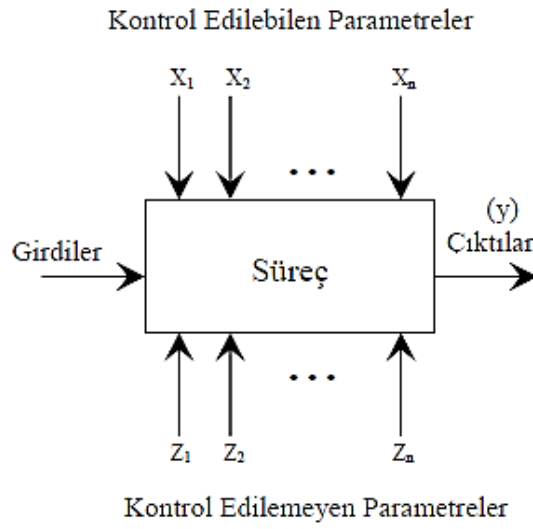


Şekil 3.28. Elde edilen ses sinyallerinin yapısı [131].

3.2. DENEYSSEL TASARIM

3.2.1. Deney Tasarım Yöntemleri

Deney tasarımı, ürünü, süreci ya da sistemi etkileyen faktörler (değişkenler) üzerinde değişiklikler yaparak süreç ya da sistem tepkisinin gözlenmesini sağlayan testler serisidir. Deneyler, Şekil 3.29'da gösterildiği gibi özel süreç ya da sistemler hakkında bir takım bilgiler elde etmek için kullanılır [132-133].



Şekil 3.29. Proses ya da sistemin modeli [107].

Süreç; makinelerin kombinasyonu, metotlar, insanlar veya çıktı üreten diğer kaynaklar topluluğu olarak tanımlanabilir. Faktörler; diğer adıyla deney değişkenleri ise deney sonucunu etkileyen kontrol altında olan ve olmayan çevre değişkenleridir. Faktörler, kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen gürültü faktörleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Deneyi etkileyen kesme hızı, ilerleme, devir sayısı, talaş derinliği ve kesici takım boyutları, gibi faktörler kontrol edilebilen faktörlerdir. Kontrol edilemeyen faktörler ise deney esnasında kontrol altında olmayan faktörlerdir. Yüzey pürüzlülüğü, takım ömrü, iş parçası deformasyonu gibi faktörler kontrol edilemeyen faktörlerdir [87].

Klasik deney tasarım yöntemlerinin kullanımları endüstriyel şartlar altında verimli ve sağlıklı olmayan yaklaşımlardır. Süreci etkileyen faktörlerin sayısı arttıkça gerekli

olan deney sayısı da çok hızlı şekilde artmaktadır. Genichi Taguchi, kendi adıyla anılan yaklaşımı ile deneylerin gerçekleştirilmesi ve değerlendirilmesindeki verimliliği artıracak bir çözüm getirmiştir [134].

Bu sayede deney öncesinde yapılan ayrıntılı analiz ve değerlendirmelerle gereken deney sayısını önemli şekilde düşürmek mümkün olmuştur. Taguchi metodu, bir deney tasarım tekniği olmanın ötesinde yüksek kalitede sistem tasarımı için son derece faydalı bir tekniktir. Diğer taraftan deney sayısında elde edilen azalma, faktörler arasındaki etkileşimlerin belirli ölçüde göz ardı edilmesinden kaynaklanmaktadır.

Diğer önemli bir nokta ise deney tasarımının dengeli olmasıdır, yani faktörlerin birbirinden bağımsız olarak değerlendirilebilmesini sağlaması ve bunun için de tasarımda faktörlerin farklı seviyeleri için her test edilen şart altında eşit sayıda örnekleme yapılmasıdır. Taguchi'nin standart tasarımları bu sistem üzerine kurulmuştur [135].

Optimizasyon işlemi, verilen bir problem için belirli kısıtlamalara dikkat ederek, mümkün olan en iyi çözümü bulmaktır. Başka bir deyişle, olası en büyük ya da en küçük $f(x)$ değerini veren, belirli kısıtlamalar dahilinde olan bir x değerini bulmaktır. Optimizasyon işlemlerinde, çözülmesi istenen probleme, uyulması istenen kısıtlamalar göz önünde tutularak; bir amaç fonksiyonu yardımıyla uygun çözümler bulunması hedeflenir [136]. Kısıtlar, kararların hangi sınırlar arasında alınması gerektiğini belirtir. Mühendislik problemlerinin çoğu kısıtlı problemlerden oluşur. Burada ana amaç, kısıtları olan bir fonksiyonu en küçükmektir. Kısıtlı bir optimizasyon probleminin sayısal optimizasyon yöntemleriyle çözülebilmesi için genellikle aşağıdaki gibi formüle edilmesi gerekir:

Amaç fonksiyonu : En küçükle (En büyükle) $f(x)$

Kısıtlar : $g(x) \leq 0 \quad i = 1, \dots, m$

$h(x) = 0 \quad j = 1, \dots, l$

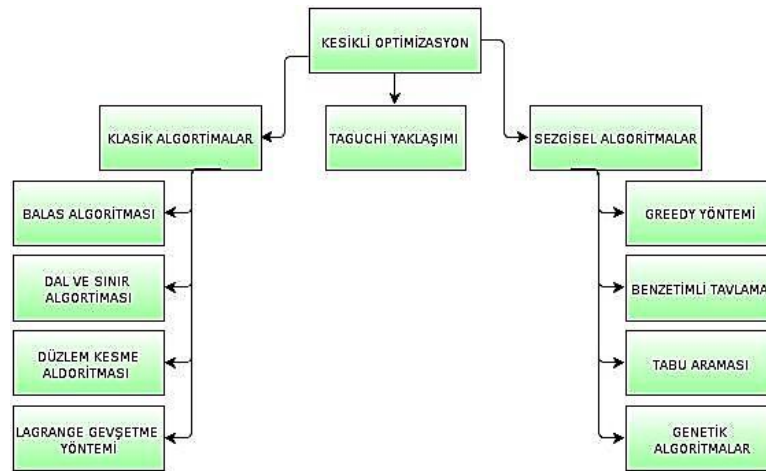
Burada $f(x)$ amaç fonksiyonu, $g(x)$ eşitsizlik kısıdı, $h(x)$ ise eşitlik kısıdı olarak adlandırılır. $x=(x_1, x_2, \dots, x_n)^T$, n gerçek değişkenli karar değişkeninin sütun vektörüdür.

Optimizasyon problemleri, genel olarak karar değişkenlerinin tipine bağlı olarak iki kısma ayrılmaktadır:

- Sürekli Optimizasyon
- Kesikli Optimizasyon

Sürekli optimizasyonda, amaç fonksiyonu ve kısıtlar, karar değişkenlerinin sürekli bir fonksiyonudur. Amaç fonksiyonu sistemin etkinliğinin en büyüklmesi, maliyetin en küçüklenmesi gibi hedefler biçiminde ifade edilir.

Kesikli optimizasyonda, amaç fonksiyonu ve kısıtlar, karar değişkenlerinin sürekli bir fonksiyonu değildirler. En geniş anlamıyla, normal olarak sürekli biçimde tanımlanan karar değişkenlerinin, kesikli değerler alan karar değişkenleri biçiminde tanımlandığı kesikli optimizasyon, hem problemlerin modellenmesinde hem de bu modellerin problem çözümünde kullanılmasında etkin ve hızlı çalışan algoritmalara ihtiyaç duyar. Kesikli optimizasyon çözüm yöntemleri Şekil 3.30'da gösterilmiştir [137].



Şekil 3.30. Kesikli optimizasyon çözüm yöntemleri [107].

Talaş kaldırma işlemi pek çok kontrol edilemez parametreler içerdiğinden dolayı doğruluğu sınırlayan ampirik şartlar konvansiyonel olarak pratikte kullanılır. Bundan dolayı bu şartlar ile yüzey kalitesine güvenilemez yada herhangi özel bir durum için kabul edilebilir. Spesifik durumda gerekli yüzey kalitesini elde etmek için, süreç parametreleri bir seri deneysel çalışma vasıtasıyla belirlenebilir. Genellikle, kesme performanslarının seçiminde kataloglardan, deneysel sonuçlardan ya da çalışanın tecrübesinden elde edilmiş verilerden faydalanılır. Fakat tezgâh, iş parçası, kesici takım ve diğer faktörler düşünüldüğünde bu şekilde yapılan optimum parametrelerin seçilmesi çok güvenilir değildir [107].

Süreç şartları ve ürünlerin optimizasyonu için mühendislerin kullandığı metodoloji olan sağlam tasarım (gürbüz tasarım) varyasyon değişimine en duyarlıdır. Bu ürünler imalat maliyetini düşürerek yüksek kalite geliştirirler. Taguchi'nin parametre tasarımı sağlam tasarım için önemli bir araçtır [138].

Çok çeşitli deney tasarımları mevcuttur: her defada tek etken, eşleştirilmiş karşılaştırma, iki seviyeli etkensel, kısmi etkensel, Latin kareler, Box-Behnken, Plackett-Burman, Rassal bağımsız gruplar düzeni, faktöriyel deneme düzenleri, merkezi kompozit, Box-Henken, tesadüf blokları deney tasarımı, faktöriyel tasarım, yanıt yüzey tasarım ve Taguchi metodudur. Deney tasarımında Taguchi metodu (TM) yüzey pürüzlülüğü, kuvvet ve geometrik hata problemleri için en geniş metodoloji olarak karşımıza çıkmaktadır [139-143]. Bu çalışmada deneysel tasarım tekniği olarak TM kullanıldığı için bu metot aşağıda detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

3.2.2. Taguchi Deney Tasarımı

Fisher tarafından 1920'de geliştirilen klasik parametre tasarımı hem karmaşık hem de kullanım zorluğuna sahiptir. Süreç parametrelerinin sayısında artış olduğunda çok fazla sayıda deney yapılmasını gerektirir. Bu problemi aşmak için, Taguchi metodunda az sayıda deneyle tüm parametrelere yayılarak dikey düzenlemenin özel tasarımı kullanılır. Taguchi metodu, maliyet ve kalite performansı için deneysel tasarım optimizasyonuna basit, verimli ve sistematik bir yaklaşım sunar. Taguchi, arzu edilen değerden sapma performans karakteristiğini ölçmek için kayıp

fonksiyonu kullanımını tavsiye eder. Kayıp fonksiyonun değeri daha sonra sinyal-gürültü ye (S/N) dönüşür. Bu oran, hedef performans civarındaki varyansı, istikrar ve güvenilirliğini ölçer. S (Sinyal), sistemin verdiği ve ölçülmek istenen gerçek değeri, N (Gürültü) ise ölçülen değer içerisinde bulunan kontrol edilemeyen faktörlerin değerini gösterir. Bu oranın büyütülmesi, kontrol edilemeyen faktörlerin küçültülmesi anlamına gelmektedir. Genellikle burada S/N oranının analizi performans karakteristiğinde üç kategoride incelenir: düşük-daha iyi, yüksek-daha iyi ve nominal-daha iyi. Süreç parametrelerinin her bir seviyesi için S/N oranı S/N analizine dayalı hesaplanır. Performans karakteristik kategorisine bakmaksızın büyük S/N oranı daha iyi performans karakteristiğine karşılık gelmektedir. Burada, süreç parametrelerinin optimal seviyesi en yüksek S/N oranlı seviyedir. Dahası, istatistik varyans analizi (ANOVA) süreç parametrelerinin istatistiksel olarak önemini görmek için yapılır. S/N ile ANOVA analizi, süreç parametrelerinin optimal kombinasyonu tahmin edilebilir. En sonunda parametre tasarımından elde edilen optimal süreç parametrelerinin doğruluğunu kanıtlamak için doğrulama deneyleri yapılır [144-147].

Klasik deneysel tasarım b^a olarak tanımlanır. Burada “ a ” değişken sayısını, “ b ” ise değişken seviyesini temsil etmektedir. Taguchi’nin deney için tasarımı ise “ L_{abc} ” ile belirtilir. Burada “ L_a ” tasarım matrisi ya da değişkenlerin dikeydüzenlemesi, “ b ” değişken seviyesi ve “ c ” değişken sayısı olup aşağıdaki maddeleri içermektedir:

- Güçlü tasarım- en uygun davranışı başarmak için şartları araştırmak,
- Kayıp fonksiyonu minimize etmek,
- S/N oranını maksimize etmek ve
- Etkileşim etkileri için lineer grafik incelemelerinden deneysel tasarım seçimi.

Taguchi yönteminin pek çok imalat sektöründe başarılı bir şekilde kullanıldığı ispatlanmıştır. Mühendislik analizlerinde genişçe kullanılmakta olan Taguchi tekniği süreç ya da ürünlerin optimizasyonunda üç adımlı yaklaşımı önermiştir. Bunlar, sistem tasarımı, parametre tasarımı ve tolerans tasarımıdır [147-148].

3.2.2.1. Sistem Tasarımı

Sistem tasarımı bu metodun ilk adımıdır. Bu adımda eldeki bütün materyaller değerlendirilir, aynı zamanda mevcut teknolojik yenilikler araştırılır ve sistemde kullanılabilirliği üzerine fizibilitesi yapılır. Bu tasarımın içeriği kalite karakteristiklerini geliştirmek için süreç parametre değerlerinin ayarlarını optimize etmek ve en uygun süreç parametreleri altında ürün parametre değerlerini tanımlamaktır [149]. Bu aşamada müşteriye maksimum seviyede memnun edebilecek, minimum maliyet göz önüne alınarak malzeme, parça, prototip ürün, parametre değerlerinin seçimi yapılmaktadır [150].

3.2.2.2. Parametre Tasarımı

Süreç yenilemesi ve iyileştirmesinin en önemli adımı parametre tasarımıdır. Taguchi'ye göre, ürün kalitesini iyileştirmede en belirleyici çalışmaların yapılabileceği aşama, hem ürün hem de süreç tasarımı için, parametre tasarımı aşamasıdır. Parametre tasarımında amaç, ürünün performans farklılıklarını asgariye indirerek, ürünün hem imalat, hem de hayat boyu maliyetini azaltmaktır. Taguchi, bu amaçla yapılan ürün ve süreç tasarımına sağlam tasarım demektedir. Burada sağlam, kontrol edilemeyen faktörlere, örneğin, nem, toz, ısı gibi çevre koşullarına, müşteri kullanımındaki farklı uygulamalara ve malzemedeki farklılıklara karşı duyarsız, yani onlardan etkilenmeyen, ürün ve süreç anlamında kullanılmaktadır [87].

Ürün ve süreç parametre tasarım aşamalarında, optimal değerlerin belirlenmesi ve optimal ayarların yapılması gereken çok sayıda faktör vardır. Üstelik bu faktörlerin birçoğu birbirleriyle etkileşim durumundadır. Bu kontrol edilebilen ve kontrol edilemeyen faktörlerin, ürün ve ürünün performansına olan etkilerinin birlikte belirlenebilmesi için en etkin yöntem istatistiksel deney tasarımı yöntemidir. Deney tasarımı aracılığıyla, birçok faktörün ürün üzerindeki etkisi ekonomik olarak (düşük maliyetle) belirlenebilir ve varyasyon oluşturan faktörlere karşı önlemleri, tasarım aşamasında almak mümkün olmaktadır. Dolayısıyla Taguchi'nin off-line kalite kontrol sistemi için en önemli kalite sağlama yöntemi deney tasarımıdır [151].

Parametre tasarımı içerisinde seviyelerin seçilmesi sırasında iki amaç vardır: Hedef değerin tutturulması ve değişkenliğin minimize edilmesidir. Taguchi tekniğinin parametre tasarımı kısmı aşağıda belirtilmiştir;

- Kalite karakteristiklerinin (bağımlı parametrelerin, örneğin; kesici takım ömrü, yüzey pürüzlülüğü) ve tasarım parametrelerinin (bağımsız parametreler, örneğin; kesme hızı, talaş derinliği, ilerleme miktarı vb.) belirlenmesi,
- Tasarım parametreleri ve etkileşim seviyelerinin belirlenmesi,
- Uygun bir lineer grafik ya da dikey dizinin belirlenmesi ve bu dikey dizine uygun parametrelerin seviyelerinin yerleştirilmesi,
- Dikeydizine yerleştirilen seviyelerde deneysel çalışmanın gerçekleştirilmesi,
- Deneysel sonuçları kullanarak S/N oranlarının hesaplanması ve sonuçların analiz edilmesi,
- Optimal tasarım parametrelerinin seçilmesi,
- Doğrulama deneylerinin yapılması basamaklarını içermektedir.

Bu işlem sırası takip edilerek parametre tasarımı gerçekleştirilir. İlk olarak sistem tasarımı kısmında yapılan problemin tanımına göre bağımlı parametreler ve bağımsız parametrelerin ne olacağına karar verilir. Eğer sonucu etkileyecek parametre sayısı fazla ise etkisi az olacağı düşünülenler ihmal edilir. Yine deney maliyetleri göz önünde bulundurularak deney parametrelerinin sayısı artırılır ya da azaltılır.

Bir sonraki adımda ise, belirlenen tasarım parametrelerinin, yani sonuçları etkileyecek olan bağımsız parametrelerin uygun seviyeleri belirlenir. Bu aşamada bir faktörün dağılımını, seviyelere doğru bir şekilde yansıtmak gerekir. Çünkü dağılım popülasyon sayısı ile sınırlıdır. Seviye sayısının fazla olması deney sayısını arttırmaktadır. Bazı deney örneklerinde deney seviyeleri deney maliyetlerini arttıran unsurlar olmaktadır. Deney seviyeleri arasındaki farklılıklar, bağımsız parametrelerin bağımlı parametre üzerindeki etkisini düzgün yansıtmamaya neden olabilecektir. Dolayısıyla seviyeler arasındaki farklar eşit bir şekilde azalmalı ya da artmalıdır. Deneysel bir çalışmada deney seviyeleri bir faktörün alabileceği alt ve üst limit değerleri göz önünde bulundurularak belirlenir.

Üçüncü aşama ise uygun bir lineer grafik ya da dikay dizini belirlemek ve bu dikey dizine parametrelerin uygun seviyelerini yerleştirmektir. Taguchi, kısmi faktöriyel deney tasarımlarına dikey dizin ismini vermiştir. Taguchi'nin bu noktada yaptığı, deney tasarımlarını sadeleştirerek pratisyenlerin anlayacağı bir düzeye getirmek olmuştur. Dikey dizinler Taguchi tarafından aşağıdaki gibi kodlanmıştır. Taguchi tarafından hazırlanan dikey dizinlerin listesi Ek Açıklamalar B'de verilmiştir.

$$LX(Y^Z) \quad (3.3)$$

Bu kodlamada;

L: Latin kare tabanlı anlamındadır,

X: Tasarımdaki deney sayısı,

Y: Deneydeki seviye sayısı ve

Z: Deneyde kullanılabilir maksimum faktör sayısıdır.

Bu kodlamanın pratikte “*Y^Z*” kısmı pek kullanılmamaktadır [152].

Deneysel çalışmaların yapılması parametre tasarımının dördüncü aşamasıdır. Bir sonraki aşama ise, deneysel sonuçları kullanarak *S/N* oranlarını hesaplamak ve sonuçları analiz etmektir. Hedef değerlerin sağlanması için deney sonuçlarının ortalamaları; varyasyonun minimize edilmesi için *S/N* kullanılmaktadır. Sinyal/Gürültü oranı Taguchi tekniğinde, “sinyal-S” terimi çıkış karakteristiği için bilinen ya da bulunan değer; “gürültü-N” terimi ise tanımlanmamış değer olarak tanımlanır. Bu nedenle; bilinen değerlerden kalite karakteristiğini ölçmek için Taguchi yöntemi sinyalin gürültüye dönüştürüldüğü *S/N* oranını kullanmaktadır ve çözülecek problemin tipine göre değişik şekiller almaktadır. Toplam *S/N* çeşidi sayısı yetmiş kadardır, fakat bunların en çok üç tanesi yaygın olarak kullanılmaktadır.

Daha küçük daha iyi (S/N_S): Ortalamayı ve değişimi olabildiğince küçültmek istenen problemlerde kullanılır. Örneğin; yüzey pürüzlülüğünün en küçük olması istenilen durumlarda, daha küçük daha iyi kriterine göre *S/N* oranı;

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i^2 \right) \quad (3.4)$$

formülüyle hesaplanır. Formülde, y_i^2 , ölçüm sonuçlarının toplamının karesi, n ise toplam ölçüm sayısıdır.

Daha büyük daha iyi (S/N_B): Ortalamayı büyütüp, değişimi küçültmek istenen durumlarda kullanılır. Örneğin; kesici takım ömrünün en yüksek olması istenilen durumlarda, daha büyük daha iyi kriterine göre S/N_B oranı;

$$S/N = -10 \log\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{Y_i^2}\right) \quad (3.5)$$

formülüyle hesaplanır.

Nominal daha iyi (S/N_N): Varyasyonu oldukça küçültmek istenilen durumlarda kullanılır. Nominal daha iyi kriterine göre S/N_N oranı;

$$S/N = -10 \log\left(\frac{\overline{Y^2}}{S}\right) \quad (3.6)$$

formülüyle hesaplanır. Bu eşitlikte; s örnek varyanstır. S/N oranları desibel olarak ölçülmektedir [153].

3.2.2.3. Tolerans Tasarımı

Tolerans tasarımı genel olarak parametre çalışmaları sonucunda elde edilemeyen kalite durumlarında uygulamaya konulan bir süreç olarak tanımlanmaktadır. Parametre tasarımında hedeften sapmalar tamamen elimine edilmeyebilir. Tolerans tasarımı, üretilen hatalı ürünlerin olasılıklarının limiti, üretilen tüm parçalar için kullanılmalıdır. Tolerans etrafındaki hedef genellikle tasarım mühendisi tarafından belirlenir; alabileceği değişim aralığı olarak tanımlanır. Tolerans limitleri test ve denemeden sonra ayarlanır. Tolerans ayarlamalarını; hedef, emniyet faktörü, fonksiyonel limit, beklenen kalite seviyesi ve hedeften herhangi bir sapmada finansal maliyet gibi kriterler belirler [147-152].

Parametre tasarımı ile faktörlerin belirlenen seviyelerinde, istenilen küçüklükte bir değişkenlik elde edilemiyorsa tolerans tasarımı kullanılır. Bu bölümde, Varyans

analiz çizelgesi hazırlanarak değişimin istenilen düzeye indirilmesi ile ilgili çalışmalar yapılır. Burada her bir etkenin toplam varyasyondaki yüzdesi hesaplanarak sistemin çıktı varyasyonunun istenilen düzeye getirilmesi için her bir etkenin varyasyonu ile ne kadar oynanması gerektiği hesaplanmaktadır. Bu basamakta yapılan işlem daha çok bir duyarlılık analizi olarak ortaya çıkmaktadır. Varyans analizi, kontrol faktörleri ve iterasyon etkilerinin anlamlılıklarını açıklamaktadır [153].

BÖLÜM 4

KESME KUVVETİ KAYNAKLI KESİCİ TAKIM SEHİMİNİN ÖLÇÜLMESİ

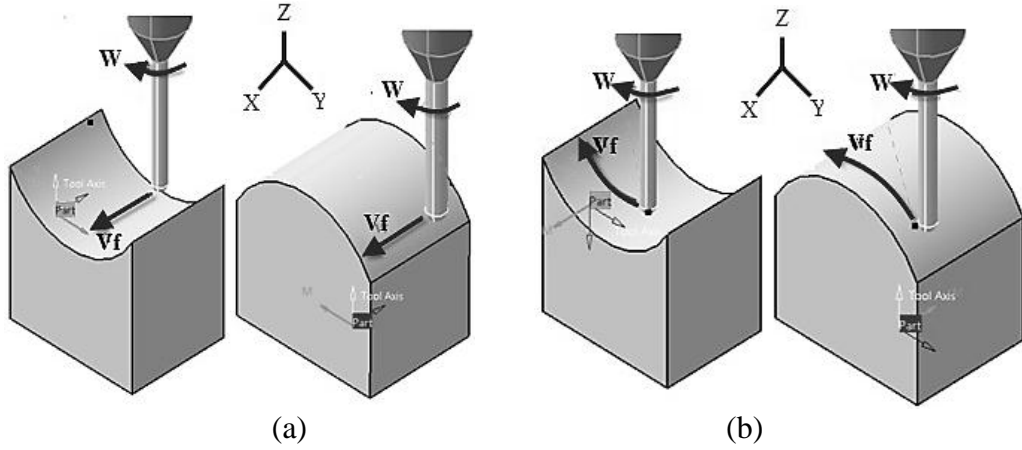
Bu bölümünde DIN1.2344 (X40CrMoV5-1) malzemesinden içbükey ve dışbükey yüzey formları için talaş kaldırma esnasında farklı kaplamalı takımlar ile kesici takımın maruz kaldığı kesme kuvvetleri (F) ve buna bağlı takım sehimi (δ) değerleri ölçülmüştür. Kesme hızı (V_c), ilerleme (V_f), yanal adım (fp) ve takım yolu tarzlarının kesici takım üzerine gelen kesme kuvvetlerine ve buna bağlı kesici takımda oluşan sehime etkileri incelenmiştir. Talaş kaldırma işlemindeki parametrelerin tasarımı ve elde edilen sonuçların yorumlanmasında en uygun verilere ulaşmak için Taguchi metodu kullanılmıştır. Talaş kaldırma esnasında oluşan kesme kuvvetleri ve kesici takımda meydana gelen sehim değerlerinin belirlenen dikey dizin yerleşimine göre Taguchi metoduyla analizlerinde en küçük en iyi fonksiyonu kullanılmıştır.

Çalışmada kesici ve kullanılan malzemeye göre son talaş kaldırma operasyonu için işleme tarzına ek olarak üç farklı değişken kontrol edilebilir parametre kullanılmıştır. Bunlar; kesme hızı (V_c), ilerleme (V_f) ve kesici yanal adımıdır (fp). Kesici yanal adımı kesicinin yüzey üzerinde bırakmış olduğu izleri, kesiciye binen yükü ve işleme zamanını doğrudan etkilemektedir [154]. Talaş kaldırma operasyonlarında yanal adım değeri, kesici çapının %5'i alınarak oluşturulmuştur. Kesme hızı ve ilerleme değer aralıkları, kesici üreticisi firmanın (Sandvik Coramant) malzeme ve kesici takıma bağlı olarak önerdiği değerlerdir. Bu yüzden bu değerlerin en küçük ve en büyük aralıkları firma kataloglarından alınmıştır (Çizelge 4.1) [155]. Kullanılan dört farklı parametre ve her bir parametre için dört farklı seviye için L16 standart dikey dizine göre deney tasarımı yapılmıştır.

Çizelge 4.1. Faktör düzeylerinin atanması.

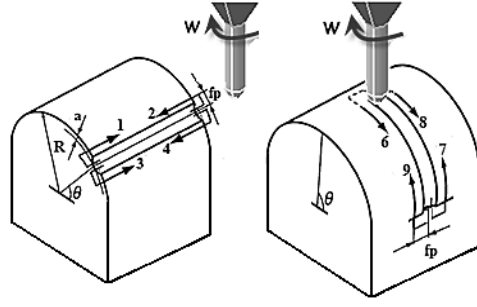
Faktörler		Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4
Kesme hızı, V_c [m/dak]	TiC	70	80	90	100
	TiN	100	110	120	130
	TiAlN	110	120	130	140
İlerleme, V_f [mm/dak]	TiC	223	255	286	318
	TiN	318	350	382	414
	TiAlN	350	382	414	445
Yanal adım, f_p [mm]		0.8	1	1.5	2
Takım yolu tarzları		Zıt Yönlü Kontur [ZYK]	Aynı Yönlü Kontur [AYK]	Zıt Yönlü Tırmanma [ZYT]	Aynı Yönlü Tırmanma [AYT]

Tırmanma takım yolu tarzında kesici dışbükey veya içbükey yüzeyi paralel çizgiler şeklinde tarayarak işlemektedir (Şekil 4.1-a). Kontur takım yolu tarzında ise kesici dışbükey veya içbükey yüzeyi dik çizgiler şeklinde tarayarak işlemektedir (Şekil 4.1-b). Her iki takım yolunda da adımlar sabittir ve kesici her bir adımı işledikten sonra o adımın başlangıç noktası hizasına gelecek şekilde parçaya temas etmeden bir adım yana ilerlemekte ve bundan sonra diğer adımı işlemektedir.



Şekil 4.1. Küresel parmak freze ile çeşitli takım yolu tarzları; a) kontur, b) tırmanma.

Belirlenen bu şartlar altında dört adet işleme tarzı oluşturulmuş ve bunlar; zıt yönlü kontur (ZYK), aynı yönlü kontur (AYK), zıt yönlü tırmanma (ZYT) ve aynı yönlü tırmanmadır (AYT) (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Takım yolu stratejileri- kontur; 1) zıt yönlü frezeleme (Yanal Adım yukarı), 2) aynı yönlü frezeleme (Yanal Adım yukarı), 3) zıt yönlü frezeleme (Yanal Adım aşağı), 4) aynı yönlü frezeleme (Yanal Adım aşağı), 5) tırmanma; zıt yönlü frezeleme (Yanal Adım sol), 6) aynı yönlü frezeleme (Yanal Adım sol), 7) zıt yönlü frezeleme (yanal ilerleme sağ), 8) aynı yönlü frezeleme (Yanal Adım sağ).

Elde edilen sonuçlarının Sinyal/Gürültü (S/N) oranlarının tespitinde Çizelge 4.1’de bulunan parametreler ve seviyeleri kullanılmıştır. Bu çalışmada; frezeleme deneyleri için kesme hızı, ilerleme, yanal adım ve takım yolu tarzı parametreleri dört farklı seviyede olacak şekilde deney parametreleri ve seviyeleri belirlenmiştir.

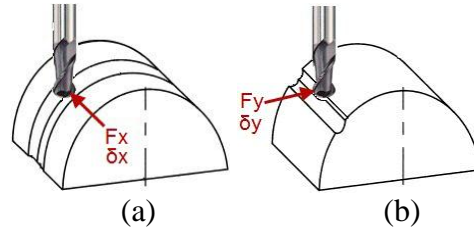
İşleme etki eden parametrelerin performansları arasındaki farklılığı ortaya koymak için Varyans analizleri yapılmıştır. Varyans analizi, bağımsız değişken ya da değişkenlerin çeşitli değerlerinin bağımlı değişken üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla uygulanmaktadır. Deneyler sonucunda yapılan ölçümler neticesinde elde edilen veriler, Minitab Release 16 programı kullanılarak analiz edilmiştir.

4.1. İÇBÜKEY YÜZEY FORMU İÇİN KESME KUVVETİ VE TAKIM SEHİMİNİN ÖLÇÜMÜ

4.1.1. TiC Kaplama İçin Kesme Kuvveti ve Takım Sehimi

TiC kaplama deney grubu 16 adet gözlemi içermektedir. Kesme hızı değerleri 70, 80, 90 ve 100 m/dak, ilerleme değerleri 223, 255, 286 ve 318 mm/dak seçilmiştir. Yanal adım ve takım yolu tarzları her kaplama için eşit alınmıştır. Deneysel çalışmada kullanılan tırmanma takım yolu tarzında takım sehimi değeri için X eksenini (Şekil 4.2 (a)), kontur takım yolu tarzı için Y eksenini (Şekil 4.2 (b)) dikkate alınmıştır. Tırmanma takım yolu tarzında takım merkezi açısının Y yönünde önemli miktarda

işleme hatası oluşturduğu vurgulanmıştır [44]. Kontur takım yolu tarzında ise X eksenine talaş kaldırılan ilerleme yönü olmuştur ve bu yönde takım sehim değerlerinin yanıltıcı olduğu literatür de vurgulanmıştır [44]. Aynı zamanda deneylerde X , Y eksenlerinde F_x ve F_y kesme kuvveti değerleri kaydedilmiştir (Şekil 4.3). Deneyler sonrası X ve Y eksenlerinde elde edilen kesme kuvvetleri, sehim değerleri ve parametrelerin dikey yerleşimi Çizelge 4.3’de gösterilmiştir.

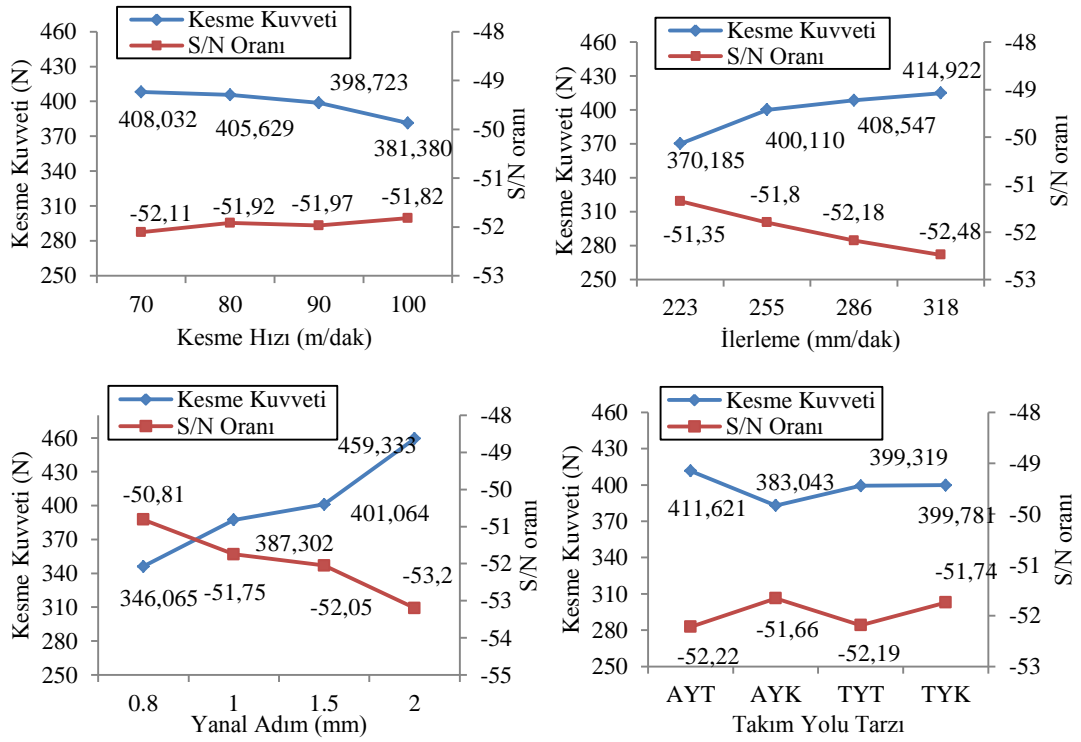


Şekil 4.3. Tırmanma ve kontur operasyonu için; a) X ekseninde takım sehimi ve kesme kuvveti, b) Y ekseninde takım sehimi ve kesme kuvveti.

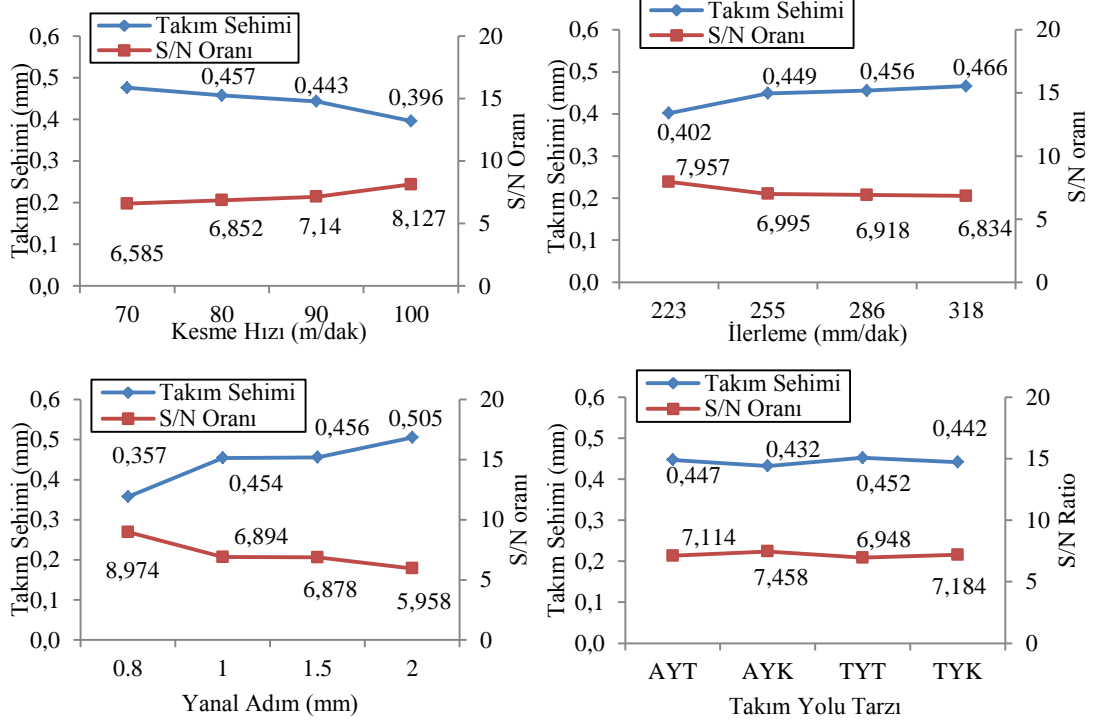
Çizelge 4.2. TiC kaplama için L16 standart deney parametreleri dizisi ve ölçüm sonuçları.

Deney No	Parametre 1	Parametre 2	Parametre 3	Parametre 4	Ölçüm Sonuçları	
	Kesme Hızı V_c [m/dak] (A)	İlerleme V_f [mm/dak] (B)	Yanal Adım f_p [mm] (C)	Takım Yolu Tarzı (D)	Kesme Kuvveti (F) [N]	Takım Sehimi (δ) [mm]
1	70	223	0,8	AYT	335,449	0,314
2	70	255	1	AYK	369,432	0,490
3	70	286	1,5	ZYT	417,480	0,515
4	70	318	2	ZYK	509,766	0,553
5	80	223	1	ZYT	390,133	0,410
6	80	255	0,8	ZYK	352,103	0,401
7	80	286	2	AYT	476,074	0,524
8	80	318	1,5	AYK	404,205	0,493
9	90	223	1,5	ZYK	360,697	0,401
10	90	255	2	ZYT	457,031	0,491
11	90	286	0,8	AYK	364,076	0,373
12	90	318	1	AYT	413,086	0,506
13	100	223	2	AYK	394,459	0,451
14	100	255	1,5	AYT	421,875	0,412
15	100	286	1	ZYK	376,556	0,409
16	100	318	0,8	ZYT	332,630	0,320

En küçük en iyi kalite karakteristiği kullanılarak dört parametrenin S/N oranları ölçüm değeri için hesaplanmıştır. Şekil 4.4 ve 4.5’den farklı seviyelerde her bir kesme parametrelerinin etkileri gözlemlenmektedir. En yüksek S/N oranları daima en küçük hata ile en iyi kaliteyi göstermektedir. Bundan dolayı en yüksek değere sahip seviye her bir parametrenin en iyi seviyesini belirler. Şekil 4.4 ve 4.5’de içbükey yüzey tipi TiC kaplama için kesme kuvvetleri ve takım sehimi açısından optimum seviyeler: kesme hızı için seviye dört ($V_c = 100$ m/dak), ilerleme hızı için seviye bir ($V_f = 223$ mm/dak), yanal adım için seviye bir ($f_p = 0,8$ mm), takım yolu tarzı için seviye iki (AYK) dir.



Şekil 4.4. İçbükey yüzey tipi TiC kaplama için parametrelerin kesme kuvvetleri üzerine etkileri ve S/N oranları.



Şekil 4.5. İçbükey yüzey tipi TiC kaplama için parametrelerin takım sehimi üzerine etkileri ve S/N oranları.

Şekil 4.4 ve 4.5 incelendiğinde kesme hızı arttıkça genel olarak kesme kuvvetleri ve takım sehimi değerleri azalmıştır. Kesme hızlarındaki düşüş takımın asıl kesici kenarı üzerindeki deformasyonları (talaş birikmesi vb.) artmakta ve kesici takım parça temas uzunluğunu artırmaktadır. Uzun temas uzunluğu takım talaş yüzeyindeki sürtünme kuvvetini artırarak kesme kuvvetlerinin artışına sebep olmaktadır. Yanal adım ve ilerleme tarafından oluşturulan talaş kesit alanı, kesme kuvvetlerini belirleyen en önemli faktördür. Şekil 4.4 ve 4.5'den de anlaşılacağı gibi, yanal adım ve ilerleme değeri arttıkça kesme kuvvetleri ve takım sehimi artmaktadır. Bunun sebebi olarak, yanal adım ve ilerlemeye bağlı talaş kesitindeki artış gösterilebilir. Takım yolu tarzları incelendiğinde ise aynı yönlü frezeleme tekniği kesme kuvvetleri ve takım sehimi değerleri açısından küçük çıkmıştır. Çünkü kesici takım çok talaştan az talaşa doğru hareket eder ve buna bağlı kesme kuvveti değerleri azalmış olur.

4.1.1.1. TiC Kaplama İçin Kesme Kuvveti ve Takım Sehiminin Varyans Analizi

DIN1.2344 X40CrMoV5-1 malzemesi üzerinde yapılan 16 deney neticesinde elde edilen ölçümlerin farklı olmasının nedeni giriş parametreleri ve seviyelerinden kaynaklanmaktadır. Her bir parametrenin ölçülen değere etkisini belirlemek için varyans analizi yapılmıştır (Çizelge 4.3 - 4.4). Varyans analizi Çizelgesindeki p değeri 0.05'den (% 95 önem seviyesinden) küçükse gruplar arasında anlamlı farklılık vardır. Ayrıca parametrenin ve hatanın serbestlik dereceleri ile önem seviyesi F dağılım Çizelgesinden de incelenebilir. Deneysel veriden hesaplanan F değeri ölçülen değere ilgili parametrenin etkisi hakkında bilgi vermektedir.

Çizelge 4.3. İçbükey yüzey tipi TiC kaplama kesme kuvveti için oluşturulan ANOVA Çizelgesi.

Seviyeler	SD	KT	KO	F Değeri	p	P Değeri(%)
Kesme Hızı	3	1739	580	1,05	0,353	4,64
İlerleme	3	4700	1823,8	3,31	0,048	12,54
Yanal Adım	3	26328	8776	15,92	0,001	70,26
Takım Yolu Tarzı	3	3049	1016	1,84	0,260	8,13
Hata	3	1654	551			4,41
Toplam	15	37469				100,00

Çizelge 4.4. İçbükey yüzey tipi TiC kaplama takım sehimini için oluşturulan ANOVA Çizelgesi.

Seviyeler	SD	KT	KO	F Değeri	p	P Değeri(%)
Kesme Hızı	3	0,009658	0,003219	2,73	0,127	13,06
İlerleme	3	0,013997	0,004666	3,95	0,041	18,93
Yanal Adım	3	0,045828	0,015276	12,95	0,002	61,98
Takım Yolu Tarzı	3	0,000907	0,000302	0,26	0,445	1,22
Hata	3	0,003540	0,001180			4,78
Toplam	15	0,073929				100,00

İçbükey yüzey tipi TiC kaplama kuvvet değeri için (Çizelge 4.3) yanal adımın F (15,92) değeri en önemli kontrol parametresidir. Yanal adım (%70,26) ilerleme değerinin (%12,54) dışbükey yüzey tipinde olduğu gibi beş katı çıkmıştır. Kesme hızı (%4,64) ve takım yolu tarzı (%8,13) istatistiksel ve fiziksel olarak küçük etkiye sahiptir. İçbükey yüzey tipi TiC kaplama sehim değeri için yanal adımın F (12,95) değeri en önemli kontrol parametresidir. Yanal adım (%61,98) ilerleme değerinin

(%18,93) üç katı oranında etkili çıkmıştır. Kesme hızı (%13,06) ve takım yolu tarzı (%1,22) istatistiksel ve fiziksel olarak küçük etkiye sahiptir.

4.1.2. TiN Kaplama İçin Kesme Kuvveti ve Takım Sehimi

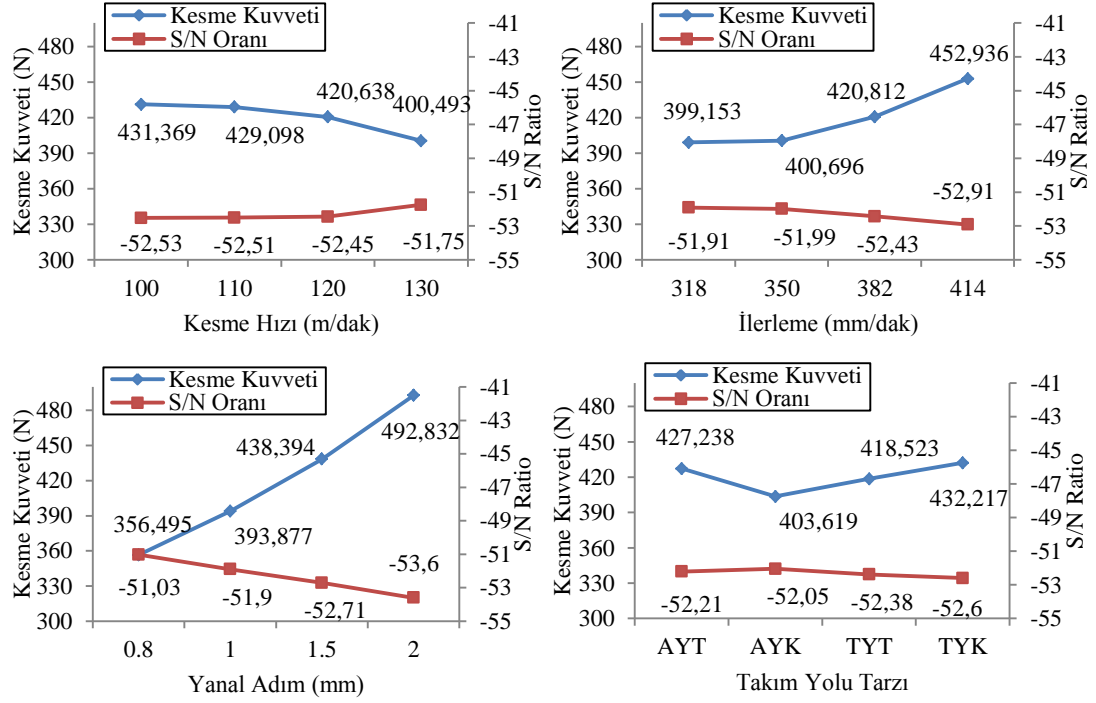
TiN kaplamada 16 adet gözlemi içermektedir. Kesme hızı değerleri 100, 110, 120 ve 130 m/dak, ilerleme değerleri 318, 350, 382 ve 414 mm/dak seçilmiştir. Çizelge 4.5'de L16 dikey dizin yerleşimi ve ölçüm sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.5. TiN kaplama için L16 standart deney parametreleri dizisi ve ölçüm sonuçları.

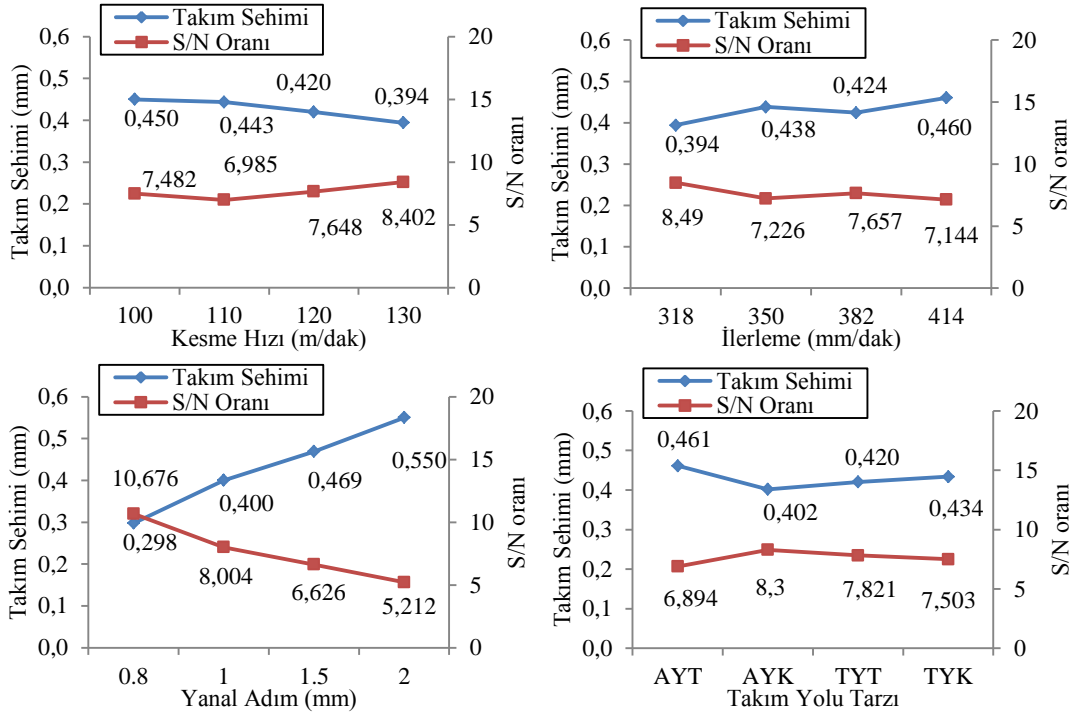
Deney No	Parametre 1	Parametre 2	Parametre 3	Parametre 4	Ölçüm Değerleri	
	Kesme Hızı V_c [m/dak] (A)	İlerleme V_f [mm/dak] (B)	Yanal Adım f_p [mm] (C)	Takım Yolu Tarzı (D)	Kesme Kuvveti (F) [N]	Takım Sehimi (δ) [mm]
1	100	318	0,8	AYT	331,758	0,228
2	100	350	1	AYK	376,217	0,302
3	100	382	1,5	ZYT	464,297	0,511
4	100	414	2	ZYK	553,203	0,617
5	110	318	1	ZYT	394,043	0,391
6	110	350	0,8	ZYK	372,162	0,290
7	110	382	2	AYT	470,941	0,522
8	110	414	1,5	AYK	479,244	0,528
9	120	318	1,5	ZYK	424,525	0,410
10	120	350	2	ZYT	462,723	0,503
11	120	382	0,8	AYK	369,033	0,286
12	120	414	1	AYT	426,270	0,429
13	130	318	2	AYK	484,459	0,547
14	130	350	1,5	AYT	385,508	0,376
15	130	382	1	ZYK	378,978	0,316
16	130	414	0,8	ZYT	353,027	0,265

En küçük en iyi kalite karakteristiği kullanılarak dört parametrenin S/N oranları ölçüm değeri için hesaplanmıştır. Bundan dolayı en yüksek değere sahip seviye her bir parametrenin en iyi seviyesini belirler. Şekil 4.6 ve 4.7'de içbükey yüzey tipi TiN kaplama için kesme kuvvetleri ve takım sehimi açısından optimum seviyeler kesme hızı için seviye dört ($V_c = 130$ m/dak), ilerleme hızı için seviye bir ($V_f = 318$

mm/dak), yanal adım için seviye bir ($f_p = 0,8$ mm), takım yolu tarzı için seviye iki (AYK) dir.



Şekil 4.6. İçbükey yüzey tipi TiN kaplama için parametrelerin kesme kuvvetleri üzerine etkileri ve S/N oranları.



Şekil 4.7. İçbükey yüzey tipi TiN kaplama için parametrelerin takım sehimi üzerine etkileri ve S/N oranları.

Şekil 4.6 ve 4.7 incelendiğinde kesme hızı arttıkça genel olarak kesme kuvvetleri ve takım sehimi değerleri azalmıştır. Yanal adım ve ilerleme değeri arttıkça kesme kuvvetleri ve takım sehimi artmaktadır. Aynı yönlü frezeleme tekniği kesme kuvvetleri ve takım sehimi değerleri açısından küçük çıkmıştır.

4.1.2.1. TiN Kaplama İçin Kesme Kuvveti ve Takım Sehiminin Varyans Analizi

TiN kaplamanın kesme kuvveti ve takım sehim verileri için yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.6 ve 4.7’de verilmiştir. Kesme kuvvetleri ve takım sehim değerleri için yanıl adım en önemli etkiye sahiptir.

Çizelge 4.6. İçbükey yüzey tipi TiN kaplama kesme kuvveti için oluşturulan ANOVA Çizelgesi.

Seviyeler	SD	KT	KO	F Değeri	<i>p</i>	P Değeri(%)
Kesme Hızı	3	2369,2	789,7	1,25	0,154	4,34
İlerleme	3	6588,8	2196,3	3,49	0,019	12,09
Yanal Adım	3	41429,6	13809,9	21,96	0,000	76,06
Takım Yolu Tarzı	3	2195,2	731,7	1,16	0,157	4,03
Hata	3	1886,1	628,7			3,46
Toplam	15	54468,9				100,00

Çizelge 4.7. İçbükey yüzey tipi TiN kaplama takım sehimi için oluşturulan ANOVA Çizelgesi.

Seviyeler	SD	KT	KO	F Değeri	<i>p</i>	P Değeri(%)
Kesme Hızı	3	0,007495	0,002498	0,75	0,650	4,31
İlerleme	3	0,043010	0,011656	3,51	0,041	8,29
Yanal Adım	3	0,137642	0,045881	13,82	0,001	79,27
Takım Yolu Tarzı	3	0,009337	0,003112	0,94	0,443	3,37
Hata	3	0,009962	0,003321			5,73
Toplam	15	0,173636				100,00

İçbükey yüzey tipi TiN kaplama kuvvet değeri için yanal adımın *F* (21,96) değeri en önemli kontrol parametresidir. Yanal adım (%76,06) ilerleme değerinin (%12,09) yaklaşık altı buçuk katı, kesme hızının (%4,34) ve takım yolu tarzının (%4,03) yaklaşık 17 katı oranda istatistiksel ve fiziksel olarak etkili bulunmuştur. İçbükey yüzey tipi TiN kaplama sehimi değeri için yanal adımın *F* (13,82) değeri en önemli kontrol parametresidir. Yanal adım (%79,27) ilerleme değerinin (%8,29) yaklaşık dokuz katı, kesme hızının (%4,31) yaklaşık 19 katı ve takım yolu tarzının (%3,37) 26 katı oranda istatistiksel ve fiziksel olarak etkili bulunmuştur.

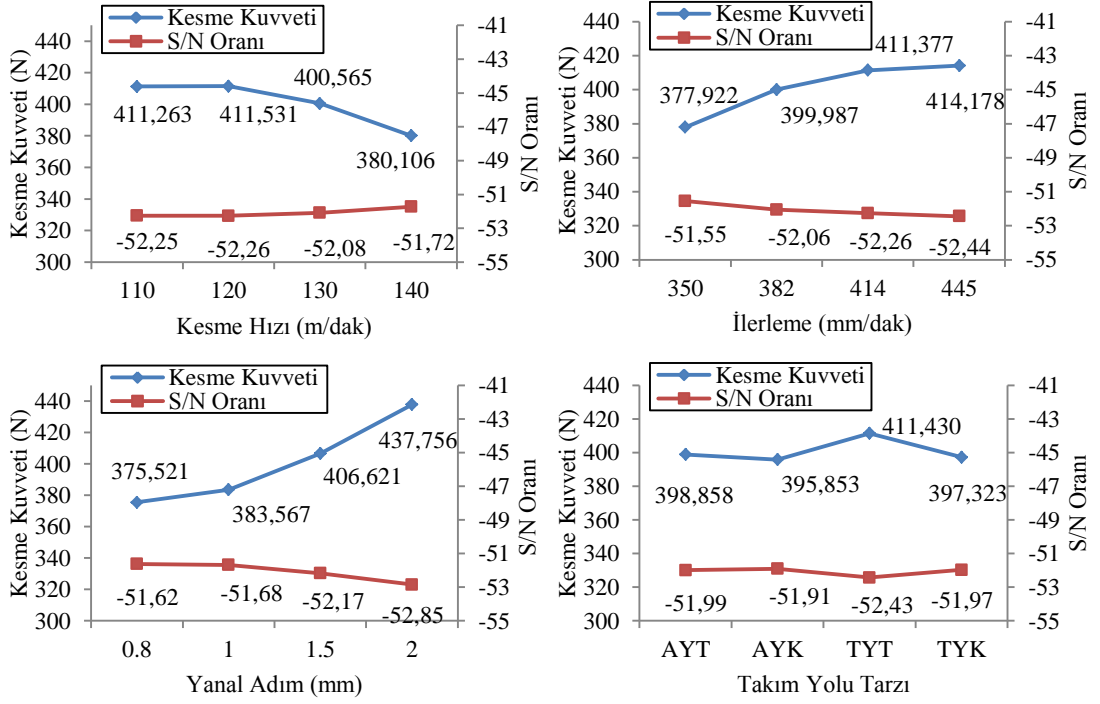
4.1.3. TiAlN Kaplama İçin Kesme Kuvveti ve Takım Sehimi

TiAlN kaplamada 16 adet gözlemi içermektedir. Kesme hızı değerleri 110, 120, 130 ve 140 m/dak, ilerleme değerleri 350, 382, 414 ve 445 mm/dak seçilmiştir. Çizelge 4.8' de L16 dikey dizin yerleşimi ve ölçüm sonuçları verilmiştir.

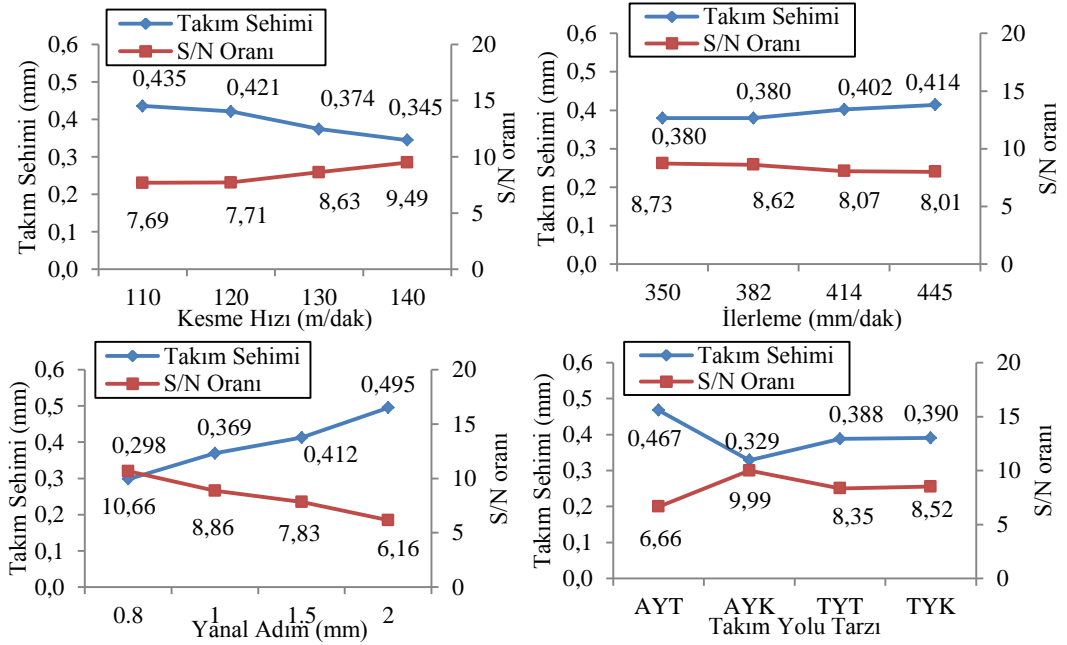
Çizelge 4.8. TiAlN kaplama için L16 standart deney parametreleri dizisi ve ölçüm sonuçları.

Deney No	Parametre 1	Parametre 2	Parametre 3	Parametre 4	Ölçüm Değerleri	
	Kesme Hızı V_c [m/dak] (A)	İlerleme V_f [mm/dak] (B)	Yanal Adım f_p [mm] (C)	Takım Yolu Tarzı (D)	Kesme Kuvveti (F) [N]	Takım Sehimi (δ) [mm]
1	110	350	0,8	AYT	368,116	0,231
2	110	382	1	AYK	385,254	0,490
3	110	414	1,5	ZYT	430,664	0,442
4	110	445	2	ZYK	461,016	0,577
5	120	350	1	ZYT	386,416	0,400
6	120	382	0,8	ZYK	372,865	0,293
7	120	414	2	AYT	452,637	0,485
8	120	445	1,5	AYK	434,205	0,504
9	130	350	1,5	ZYK	374,076	0,395
10	130	382	2	ZYT	454,289	0,426
11	130	414	0,8	AYK	386,752	0,384
12	130	445	1	AYT	387,141	0,290
13	140	350	2	AYK	383,080	0,491
14	140	382	1,5	AYT	387,539	0,307
15	140	414	1	ZYK	375,455	0,295
16	140	445	0,8	ZYT	374,351	0,283

En küçük en iyi kalite karakteristiği kullanılarak dört parametrenin S/N oranları ölçüm değeri için hesaplanmıştır. Şekil 4.8 ve 4.9'da içbükey yüzey tipi TiAlN kaplama için kesme kuvvetleri ve takım sehimi açısından optimum seviyeler: kesme hızı için seviye dört ($V_c = 140$ m/dak), ilerleme hızı için seviye bir ($V_f = 350$ mm/dak), yanal adım için seviye bir ($f_p = 0,8$ mm), takım yolu tarzı için seviye iki (AYK) dir.



Şekil 4.8. İçbükey yüzey tipi TiAlN kaplama için parametrelerin kesme kuvvetleri üzerine etkileri ve S/N oranları.



Şekil 4.9. İçbükey yüzey tipi TiAlN kaplama için parametrelerin takım sehimini üzerine etkileri ve S/N oranları.

Şekil 4.8 ve 4.9 incelendiğinde kesme hızı arttıkça genel olarak kesme kuvvetleri ve takım sehim değeri azalmıştır. Yanal adım ve ilerleme değeri arttıkça kesme

kuvvetleri ve takım sehimi artmaktadır. Aynı yönlü frezeleme tekniği ve kontur takım yolu tarzı kesme kuvvetleri ve takım sehimi değerleri açısından küçük çıkmıştır.

4.1.3.1. TiAlN Kaplama İçin Kesme Kuvveti ve Takım Sehiminin Varyans Analizi

TiAlN kaplamanın kesme kuvveti ve takım sehim verileri için yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.9 ve 4.10'da verilmiştir. Kesme kuvvetleri ve takım sehim değerleri için yanal adım en önemli etkiye sahiptir.

Çizelge 4.9. İçbükey yüzey tipi TiAlN kaplama kesme kuvveti için oluşturulan ANOVA Çizelgesi.

Seviyeler	SD	KT	KO	<i>F</i> Değeri	<i>p</i>	<i>P</i> Değeri(%)
Kesme Hızı	3	2611,5	870,5	4,49	0,048	15,91
İlerleme	3	3259,6	1086,5	5,60	0,045	19,86
Yanal Adım	3	9342,4	3114,1	16,05	0,012	56,93
Takım Yolu Tarzı	3	613,3	204,4	1,05	0,157	3,73
Hata	3	582,1	194,0			3,54
Toplam	15	16408,8				100,00

Çizelge 4.10. İçbükey yüzey tipi TiAlN kaplama takım sehimi için oluşturulan ANOVA Çizelgesi.

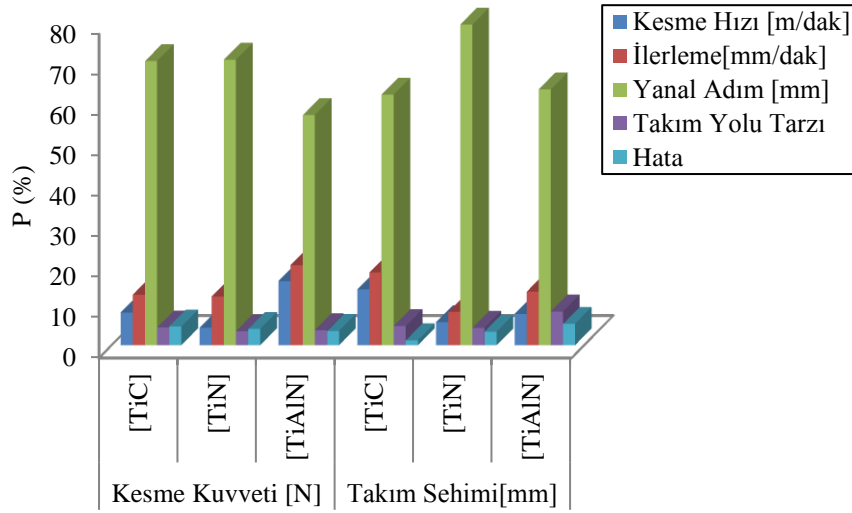
Seviyeler	SD	KT	KO	<i>F</i> Değeri	<i>p</i>	<i>P</i> Değeri(%)
Kesme Hızı	3	0,021071	0,007024	1,61	0,342	7,78
İlerleme	3	0,035048	0,001168	3,43	0,045	13,29
Yanal Adım	3	0,081432	0,027144	10,07	0,005	63,27
Takım Yolu Tarzı	3	0,038774	0,012925	1,80	0,287	8,37
Hata	3	0,008085	0,002695			5,28
Toplam	15	0,152866				100,00

İçbükey yüzey tipi TiAlN kaplama kuvvet değeri için (Çizelge 4.9) yanal adımın *F* (16,05) değeri parametreler arasında en büyüğüdür. Yanal adım (%56,93) ilerleme değerinin (%19,86) yaklaşık altı katı kesme hızının (%15,91) üç buçuk ve takım yolu tarzının (%3,73) yaklaşık 15 katı oranda istatistiksel ve fiziksel olarak etkili bulunmuştur. İçbükey yüzey tipi TiAlN kaplama sehim değeri için yanal adımın *F* (10,07) değeri istatistiksel ve fiziksel önem olarak parametreler arasında en büyüğüdür.

Yanal adım (%63,27) ilerleme değerinin (%13,29) yaklaşık dört katı kesme hızının (%7,78) dokuz ve takım yolu tarzının (%8,37) yaklaşık yedi katı oranda istatistiksel ve fiziksel olarak etkili bulunmuştur.

4.1.4. İçbükey Yüzey Formu İçin Etkin Parametrelerin Karşılaştırılması

Hesaplanan yüzde dağılımları içbükey yüzey tipi için Şekil 4.10'da verilmiştir. Kesme parametreleri içinde en güçlü etkiye sahip olan yanıl adım olmuştur. İkinci olarak kesme parametrelerinde en güçlü olanı ilerleme hızı olmuştur.



Şekil 4.10. İçbükey yüzey tipi için yüzde dağılımlarına dayalı etkin parametreler.

4.2. DIŞBÜKEY YÜZEY FORMU İÇİN KESME KUVVETİ VE TAKIM SEHİMİNİN ÖLÇÜMÜ

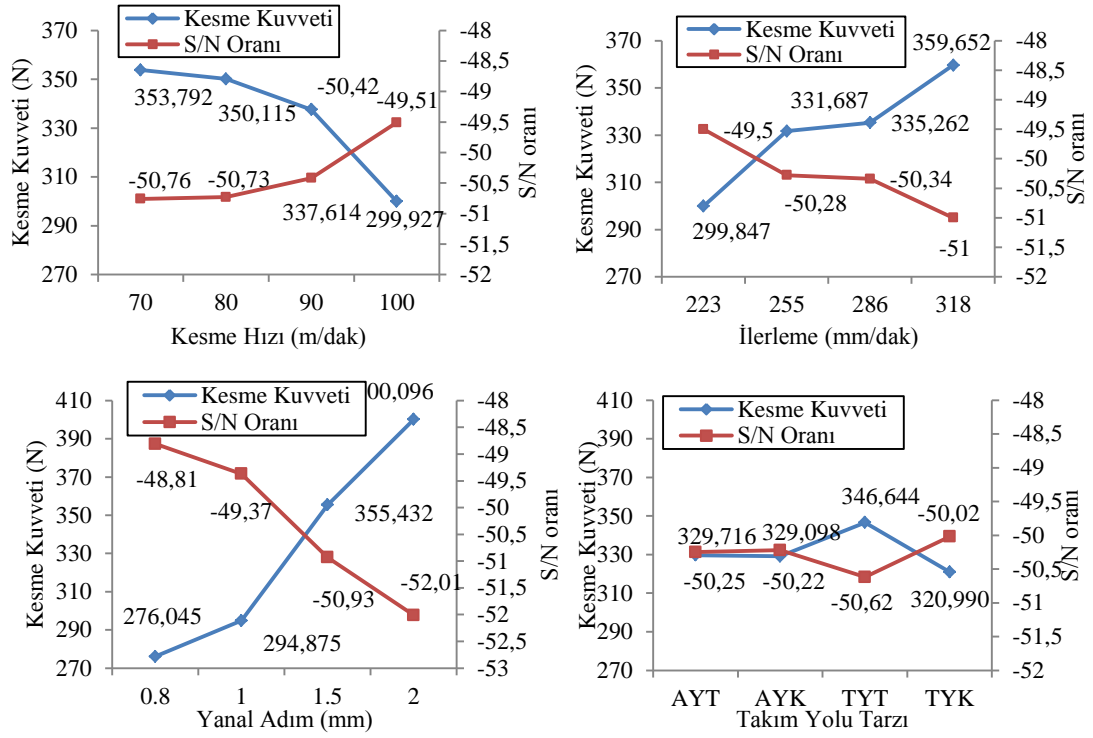
4.2.1. TiC Kaplama İçin Kesme Kuvveti ve Takım Sehimi

TiC kaplama deney grubu 16 adet gözlemi içermektedir. Kesme hızı değerleri 70, 80, 90 ve 100 m/dak, ilerleme değerleri 223, 255, 286 ve 318 mm/dak seçilmiştir. Yanıl adım ve takım yolu tarzları her kaplama için eşit alınmıştır. Çizelge 4.11'de L16 dikey yerleşimi ve ölçüm sonuçları verilmiştir.

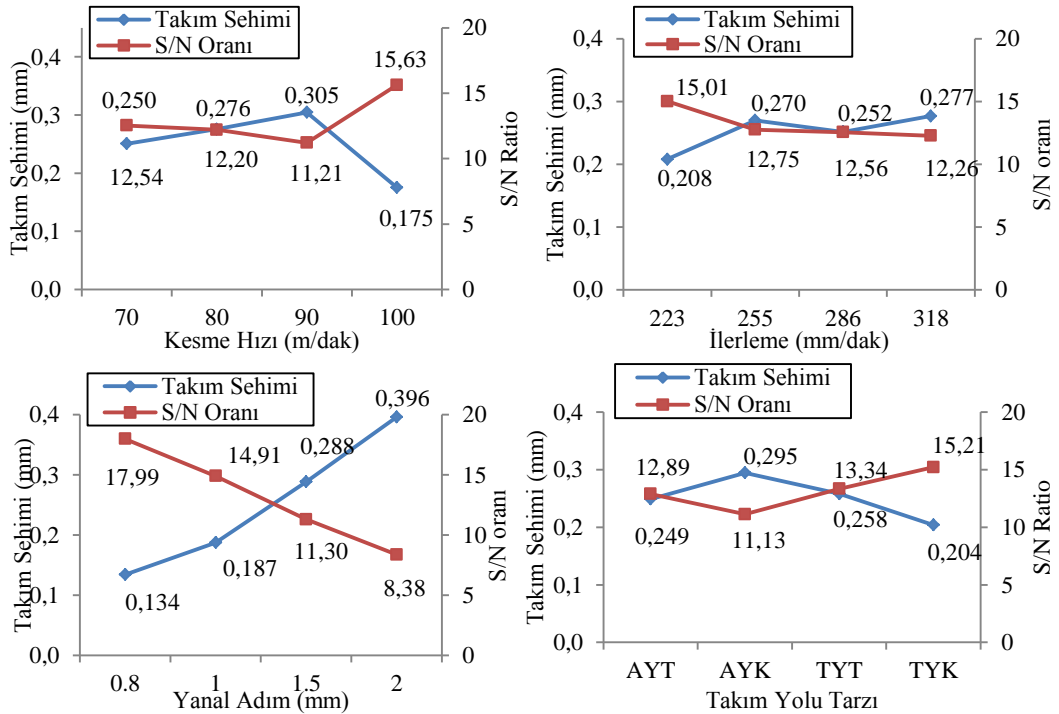
Çizelge 4.11. TiC kaplama için L16 standart deney parametreleri dizisi ve ölçüm sonuçları.

Deney No	Parametre 1	Parametre 2	Parametre 3	Parametre 4	Ölçüm Sonuçları	
	Kesme Hızı V_c [m/dak] (A)	İlerleme V_f [mm/dak] (B)	Yanal Adım f_p [mm] (C)	Takım Yolu Tarzı (D)	Kesme Kuvveti (F) [N]	Takım Sehimi (δ) [mm]
1	70	223	0,8	AYT	267,363	0,091
2	70	255	1	AYK	291,208	0,261
3	70	286	1,5	ZYT	388,379	0,276
4	70	318	2	ZYK	408,217	0,372
5	80	223	1	ZYT	280,168	0,129
6	80	255	0,8	ZYK	291,088	0,156
7	80	286	2	AYT	411,945	0,386
8	80	318	1,5	AYK	417,26	0,429
9	90	223	1,5	ZYK	310,638	0,308
10	90	255	2	ZYT	439,004	0,461
11	90	286	0,8	AYK	276,705	0,185
12	90	318	1	AYT	334,107	0,200
13	100	223	2	AYK	341,217	0,301
14	100	255	1,5	AYT	305,449	0,138
15	100	286	1	ZYK	274,017	0,157
16	100	318	0,8	ZYT	279,023	0,103

Dışbükey yüzey tipi TiC kaplama için en küçük en iyi kalite karakteristiği kullanılarak dört parametrenin S/N oranları ölçüm değeri için hesaplanmıştır. Şekil 4.11 ve 4.12’de verilen grafiklerden farklı seviyelerde her bir kesme parametrelerinin etkileri gözlenebilmektedir. Şekil 4.11 ve 4.12’de dışbükey yüzey tipi TiC kaplama için kesme kuvvetleri ve takım sehimi açısından optimum seviyeler: kesme hızı için seviye dört ($V_c = 100$ m/dak), ilerleme hızı için seviye bir ($V_f = 223$ mm/dak), yanal adım için seviye bir ($f_p = 0,8$ mm), takım yolu tarzı için seviye dört (ZYK) dür.



Şekil 4.11. Dışbükey yüzey tipi TiC kaplama için parametrelerin kesme kuvvetleri üzerine etkileri ve S/N oranları.



Şekil 4.12. Dışbükey yüzey tipi TiC kaplama için parametrelerin takım sehimi üzerine etkileri ve S/N oranları.

Şekil 4.11 ve 4.12 incelendiğinde içbükey yüzey tipinde elde edilen sonuçlara paralel olarak kesme hızı arttıkça genel olarak kesme kuvvetleri ve takım sehimi değerleri azalmıştır. Yanal adım ve ilerleme değeri arttıkça kesme kuvvetleri ve takım sehimi artmaktadır. Takım yolu tarzları incelendiğinde ise kontur operasyonu kesme kuvvetleri ve takım sehimi değerleri açısından küçük çıkmıştır.

4.2.1.1. TiC Kaplama İçin Kesme Kuvveti ve Takım Sehiminin Varyans Analizi

TiC kaplamanın kesme kuvveti ve takım sehimi verileri için yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.12 ve 4.13'de verilmiştir. Kesme kuvvetleri ve takım sehimi değerleri için yanıl adım en önemli etkiye sahiptir.

Çizelge 4.12. Dışbükey yüzey tipi TiC kaplama kesme kuvveti için oluşturulan ANOVA Çizelgesi.

Seviyeler	SD	KT	KO	<i>F</i> Değeri	<i>p</i>	<i>P</i> Değeri(%)
Kesme Hızı	3	5874,4	1958,1	2,33	0,149	10,72
İlerleme	3	7326,1	2820,7	3,35	0,046	13,37
Yanal Adım	3	37686,3	12562,1	14,92	0,006	69,80
Takım Yolu Tarzı	3	1363,2	454,4	0,54	0,391	3,48
Hata	3	2526,1	842,0			4,68
Toplam	15	54776,1				100,00

Çizelge 4.13. Dışbükey yüzey tipi TiC kaplama takım sehimi için oluşturulan ANOVA Çizelgesi.

Seviyeler	SD	KT	KO	<i>F</i> Değeri	<i>p</i>	<i>P</i> Değeri(%)
Kesme Hızı	3	0,018397	0,006132	1,27	0,239	7,86
İlerleme	3	0,028009	0,009336	3,94	0,037	11,96
Yanal Adım	3	0,155817	0,051939	10,82	0,009	66,58
Takım Yolu Tarzı	3	0,017394	0,005798	1,20	0,314	7,43
Hata	3	0,014388	0,004796			6,14
Toplam	15	0,234005				100

Dışbükey yüzey tipi TiC kaplama kuvvet değeri için (Çizelge 4.12) yanıl adımın *F* (14,92) değeri parametreler arasında en büyüğüdür. Bundan dolayı istatistiksel ve fiziksel olarak en önemli parametre yanıl adım (%69,80) ilerleme değerinin (%13,37) neredeyse beş katı çıkmıştır. Kesme hızı (%10,72) ve sonrasında işleme stratejisi (%3,48) istatistiksel ve fiziksel olarak etkili bulunmuştur. Dışbükey yüzey tipi

TiC kaplama sehimi değeri için (Çizelge 4.13) yanal adımın F (10,82) değeri parametreler arasında en önemli kontrol parametresidir. Bundan dolayı yanal adım (%66,58) ilerleme değerinin (%11,96) yaklaşık altı katı, kesme hızının (%7,86) ve takım yolu tarzının (%7,43) yaklaşık dokuz katı oranında istatistiksel ve fiziksel olarak etkili bulunmuştur.

4.2.2. TiN Kaplama İçin Kesme Kuvveti ve Takım Sehimi

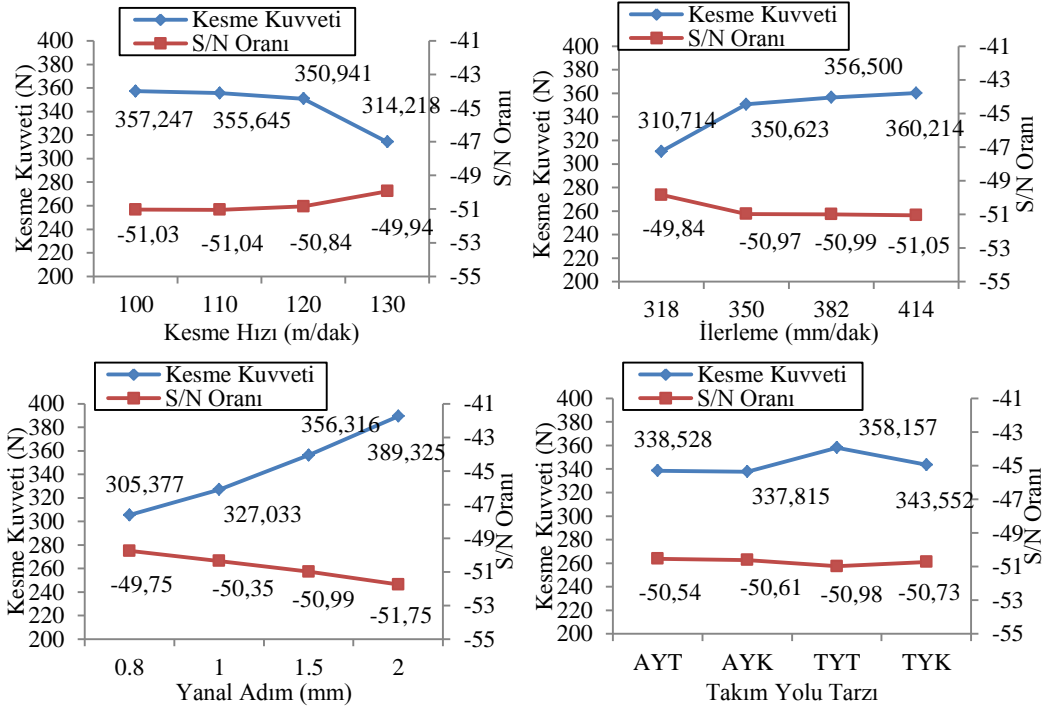
TiN kaplamada 16 adet gözlemi içermektedir. Kesme hızı değerleri 100, 110, 120 ve 130 m/dak, ilerleme değerleri 318, 350, 382 ve 414 mm/dak seçilmiştir. Çizelge 4.14'de L16 dikey yerleşimi ve ölçüm sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.14. TiN kaplama için L16 standart deney parametreleri dizisi ve ölçüm sonuçları.

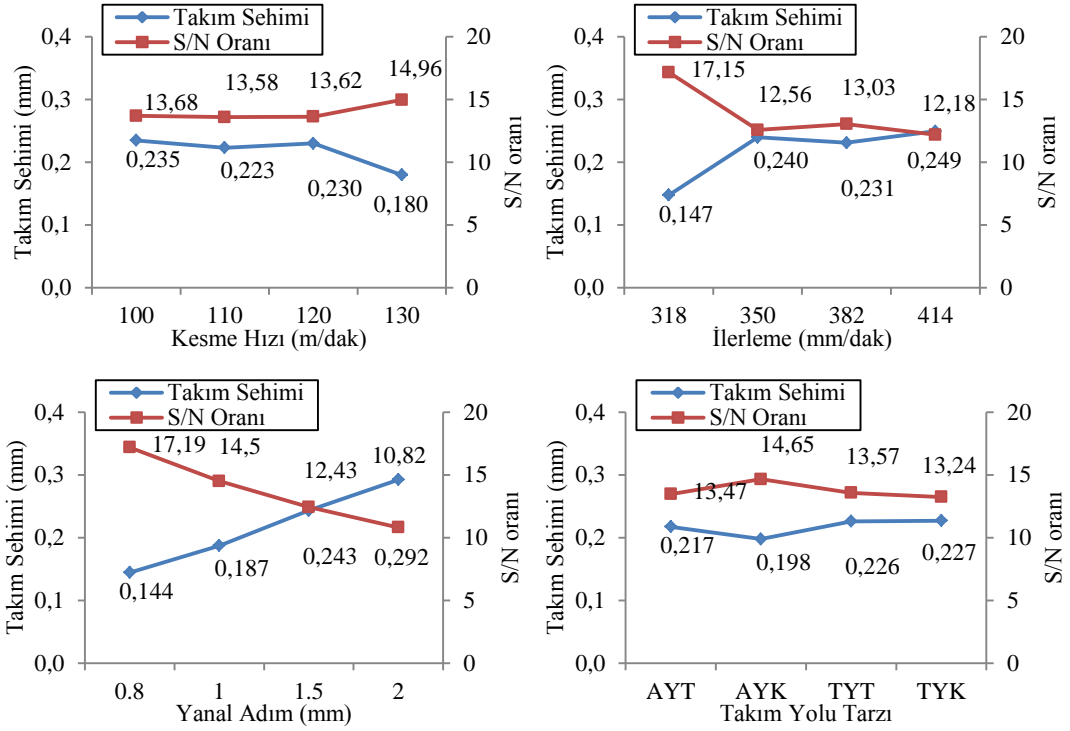
Deney No	Parametre 1	Parametre 2	Parametre 3	Parametre 4	Ölçüm Değerleri	
	Kesme Hızı V_c [m/dak] (A)	İlerleme V_f [mm/dak] (B)	Yanal Adım f_p [mm] (C)	Takım Yolu Tarzı (D)	Kesme Kuvveti (F) [N]	Takım Sehimi (δ) [mm]
1	100	318	0,8	AYT	269,715	0,080
2	100	350	1	AYK	326,315	0,232
3	100	382	1,5	ZYT	390,602	0,283
4	100	414	2	ZYK	416,357	0,341
5	110	318	1	ZYT	317,566	0,162
6	110	350	0,8	ZYK	322,580	0,181
7	110	382	2	AYT	393,594	0,296
8	110	414	1,5	AYK	387,838	0,290
9	120	318	1,5	ZYK	324,119	0,199
10	120	350	2	ZYT	420,895	0,345
11	120	382	0,8	AYK	318,651	0,171
12	120	414	1	AYT	325,098	0,212
13	130	318	2	AYK	320,455	0,185
14	130	350	1,5	AYT	323,703	0,199
15	130	382	1	ZYK	319,151	0,181
16	130	414	0,8	ZYT	291,563	0,152

S/N oranları ölçüm değerine göre Şekil 4.13 ve 4.14'de dışbükey yüzey tipi TiN kaplama için kesme kuvvetleri ve takım sehimi açısından optimum seviyeler: kesme

hızı için seviye dört ($V_c = 130$ m/dak), ilerleme hızı için seviye bir ($V_f = 318$ mm/dak), yanal adım için seviye bir ($f_p = 0,8$ mm), takım yolu tarzı için seviye iki (AYK) dir.



Şekil 4.13. Dışbükey yüzey tipi TiN kaplama için parametrelerin kesme kuvvetleri üzerine etkileri ve S/N oranları.



Şekil 4.14. Dışbükey yüzey tipi TiN kaplama için parametrelerin takım sehimi üzerine etkileri ve S/N oranları.

Şekil 4.13 ve 4.14 incelendiğinde kesme hızı arttıkça genel olarak kesme kuvvetleri ve takım sehimi değerleri azalmıştır. Yanal adım ve ilerleme değeri arttıkça kesme kuvvetleri ve takım sehimi artmaktadır. Aynı yönlü frezeleme tekniği kesme kuvvetleri ve takım sehimi değerleri açısından küçük çıkmıştır.

4.2.2.1. TiN Kaplama İçin Kesme Kuvveti ve Takım Sehiminin Varyans Analizi

TiN kaplamanın kesme kuvveti ve takım sehimi verileri için yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.15 ve 4.16'da verilmiştir. Kesme kuvvetleri ve takım sehimi değerleri için yanıl adım ve ilerleme en önemli etkiye sahiptir.

Çizelge 4.15. Dışbükey yüzey tipi TiN kaplama kesme kuvveti için oluşturulan ANOVA çizelgesi.

Seviyeler	SD	KT	KO	F Değeri	<i>p</i>	P Değeri(%)
Kesme Hızı	3	5483,0	1827,7	5,47	0,021	18,99
İlerleme	3	6599,1	2199,7	6,58	0,015	22,86
Yanal Adım	3	14831,1	4943,7	14,80	0,008	51,39
Takım Yolu Tarzı	3	942,9	314,3	0,94	0,443	4,26
Hata	3	1002,4	334,1			3,47
Toplam	15	28858,5				100,00

Çizelge 4.16. Dışbükey yüzey tipi TiN kaplama takım sehimi için oluşturulan ANOVA çizelgesi.

Seviyeler	SD	KT	KO	F Değeri	<i>p</i>	P Değeri(%)
Kesme Hızı	3	0,001536	0,000512	0,16	0,384	1,65
İlerleme	3	0,029350	0,010713	3,40	0,047	31,57
Yanal Adım	3	0,051439	0,017146	5,44	0,014	55,34
Takım Yolu Tarzı	3	0,001165	0,000388	0,12	0,457	1,25
Hata	3	0,009453	0,003151			10,17
Toplam	15	0,092944				100,00

Dışbükey eğimli yüzey tipi TiN kaplama kuvvet değeri için (Çizelge 4.15) yanıl adımın *F* (14,80) değeri parametreler arasında en büyüğü çıkmıştır. Bundan dolayı istatıksel ve fizıksel olarak en önemli parametre yanıl adım (%51,39) ilerleme değerinin (%22,86) yaklaşık iki katı, kesme hızının (%18,99) iki buçuk katı ve takım yolu tarzının (%4,26) yaklaşık 12 katı oranında istatıksel ve fizıksel olarak etkili bulunmuştur. Dışbükey eğimli yüzey tipi TiN kaplama sehim değeri için (Çizelge 4.16) yanıl adımın *F* (5,44) değeri en önemli kontrol parametresidir. Bundan dolayı istatıksel olarak en önemli parametre yanıl adım (%55,34) ilerleme değerinin (%31,57) yaklaşık bir buçuk katı, kesme hızının (%1,65) ve takım yolu tarzının (%1,25) yaklaşık 45 katı oranında istatıksel ve fizıksel olarak etkili bulunmuştur.

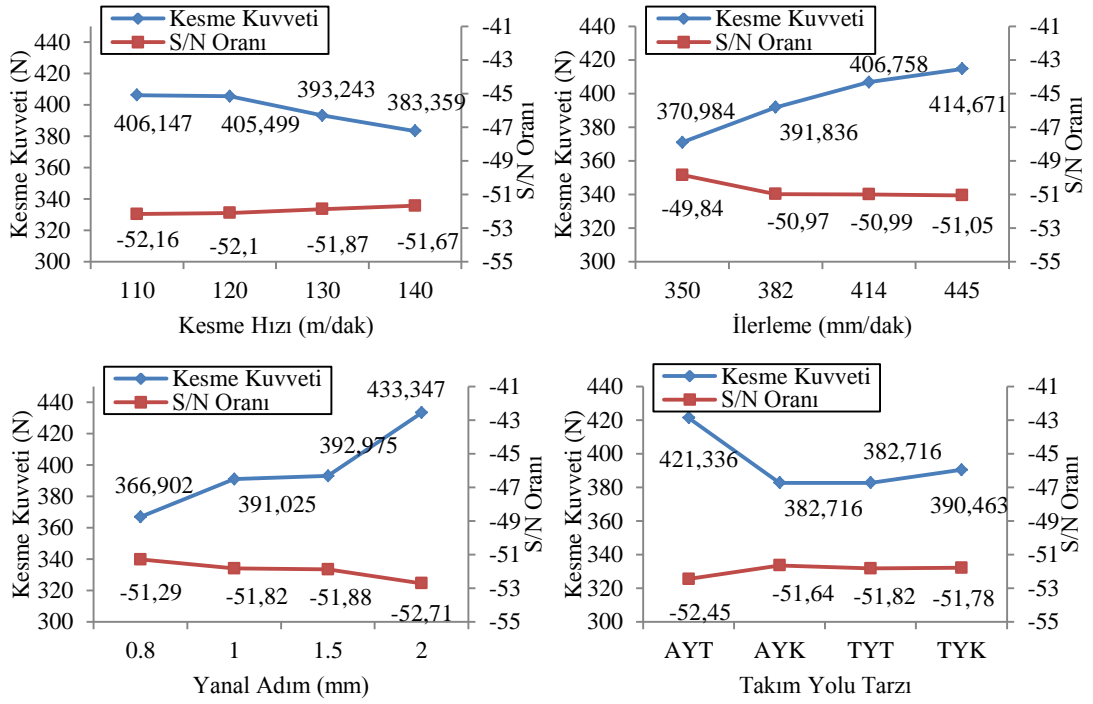
4.2.3. TiAlN Kaplama İçin Kesme Kuvveti ve Takım Sehimi

TiAlN kaplamada 16 adet gözlemi içermektedir. Kesme hızı değerleri 110, 120, 130 ve 140 m/dak, ilerleme değerleri 350, 382, 414 ve 445 mm/dak seçilmiştir. Çizelge 4.17'de L16 dikey dizin yerleşimi ve ölçüm sonuçları verilmiştir.

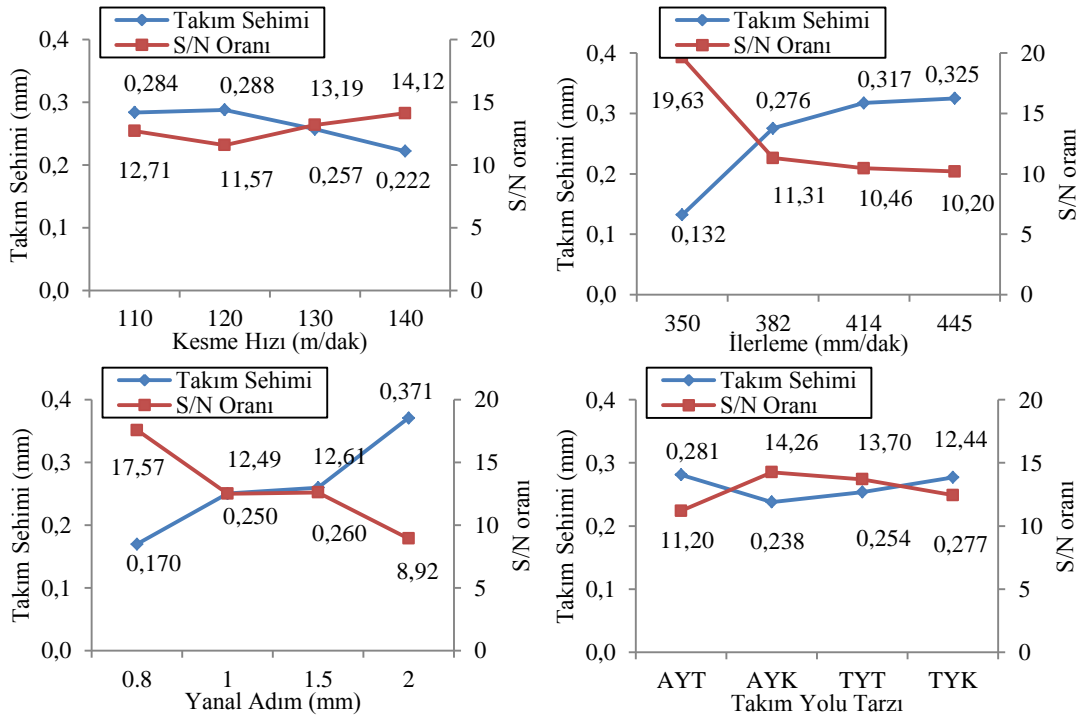
Çizelge 4.17. TiAlN kaplama için L16 standart deney parametreleri dizisi ve ölçüm sonuçları.

Deney No	Parametre 1	Parametre 2	Parametre 3	Parametre 4	Ölçüm Değerleri	
	Kesme Hızı V_c [m/dak] (A)	İlerleme V_f [mm/dak] (B)	Yanal Adım f_p [mm] (C)	Takım Yolu Tarzı (D)	Kesme Kuvveti (F) [N]	Takım Sehimi (δ) [mm]
1	110	350	0,8	AYT	268,724	0,081
2	110	382	1	AYK	378,541	0,300
3	110	414	1,5	ZYT	400,648	0,353
4	110	445	2	ZYK	450,675	0,450
5	120	350	1	ZYT	361,000	0,156
6	120	382	0,8	ZYK	370,022	0,210
7	120	414	2	AYT	480,010	0,470
8	120	445	1,5	AYK	410,963	0,314
9	130	350	1,5	ZYK	360,006	0,100
10	130	382	2	ZYT	408,496	0,321
11	130	414	0,8	AYK	368,143	0,253
12	130	445	1	AYT	436,328	0,352
13	140	350	2	AYK	394,205	0,241
14	140	382	1,5	AYT	400,283	0,270
15	140	414	1	ZYK	378,229	0,192
16	140	445	0,8	ZYT	360,719	0,183

En küçük en iyi kalite karakteristiği kullanılarak dört parametrenin S/N oranları ölçüm değeri için hesaplanmıştır. Şekil 4.15 ve 4.16'da dışbükey yüzey tipi TiAlN kaplama için kesme kuvvetleri ve takım sehimi açısından optimum seviyeler: kesme hızı için seviye dört ($V_c = 140$ m/dak), ilerleme hızı için seviye bir ($V_f = 350$ mm/dak), yanal adım için seviye bir ($f_p = 0,8$ mm), takım yolu tarzı için seviye iki (AYK) dir.



Şekil 4.15. Dışbükey yüzey tipi TiAlN kaplama için parametrelerin kesme kuvvetleri üzerine etkileri ve S/N oranları.



Şekil 4.16. Dışbükey yüzey tipi TiAlN kaplama için parametrelerin takım sehimi üzerine etkileri ve S/N oranları.

Şekil 4.15 ve 4.16 incelendiğinde kesme hızı arttıkça kesme kuvvetleri ve takım sehimi değerleri azalmıştır. Yanal adım ve ilerleme değeri arttıkça kesme kuvvetleri ve takım sehimi artmaktadır. Aynı yönlü frezeleme tekniği ve kontur takım yolu tarzı kesme kuvvetleri ve takım sehimi değerleri açısından küçük çıkmıştır.

4.2.3.1. TiAlN Kaplama İçin Kesme Kuvveti ve Takım Sehiminin Varyans Analizi

TiAlN kaplamanın kesme kuvveti ve takım sehim verileri için yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.18 ve 4.19’da verilmiştir. Kesme kuvvetleri ve takım sehim değerleri için yanıl adım en önemli etkiye sahiptir.

Çizelge 4.18. Dışbükey yüzey tipi TiAlN kaplama kesme kuvveti için oluşturulan ANOVA Çizelgesi.

Seviyeler	SD	KT	KO	F Değeri	p	P Değeri(%)
Kesme Hızı	3	2797,4	2336,9	3,32	0,037	8,37
İlerleme	3	11298,8	3766,3	5,35	0,019	33,83
Yanal Adım	3	16802,9	5601	7,95	0,011	50,32
Takım Yolu Tarzı	3	379,1	126,4	0,17	0,162	1,13
Hata	3	2111,6	703,9			6,32
Toplam	15	33389,4				

Çizelge 4.19. Dışbükey yüzey tipi TiAlN kaplama takım sehimi için oluşturulan ANOVA Çizelgesi.

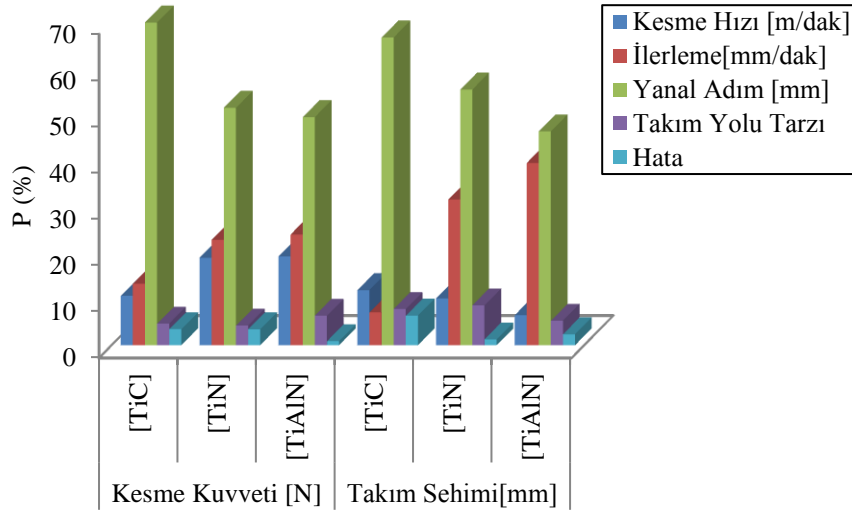
Seviyeler	SD	KT	KO	F Değeri	p	P Değeri(%)
Kesme Hızı	3	0,011069	0,003690	0,82	0,247	5,32
İlerleme	3	0,082070	0,027357	6,06	0,030	39,48
Yanal Adım	3	0,096236	0,032079	7,10	0,009	46,29
Takım Yolu Tarzı	3	0,004931	0,001644	0,36	0,449	2,37
Hata	3	0,013549	0,004516			6,51
Toplam	15	0,207855				100

Dışbükey yüzey tipi TiAlN kaplama kuvvet değeri için (Çizelge 4.18); yanıl adımın F (7,95) değeri en önemli kontrol parametresidir. Bundan dolayı yanıl adım (%50,32) ilerleme değerinin (%33,83) yaklaşık bir buçuk katı kesme hızının (%8,37) altı katı ve takım yolu tarzının (%1,13) kırk beş katı oranda istatistiksel ve fiziksel olarak etkili bulunmuştur. Sehim değeri için; yanıl adımın F (7,10) değeri en önemli

kontrol parametresidir. Bundan dolayı yanal adım (%46,29) ilerleme değerinin (%39,48) yaklaşık bir katı kesme hızının (%5,32) yaklaşık dokuz katı ve takım yolu tarzının (%2,37) yaklaşık 23 katı oranda istatistiksel ve fiziksel olarak etkili bulunmuştur.

4.2.4. Dışbükey Yüzey Formu İçin Etkin Parametrelerin Karşılaştırılması

Hesaplanan yüzde dağılımları dışbükey yüzey tipi için Şekil 4.17’de verilmiştir. Kesme parametreleri içinde en güçlü etkiye sahip olan yanal adım olmuştur. İkinci olarak kesme parametrelerinden en güçlü olanı ilerleme hızı olmuştur.



Şekil 4.17. İçbükey yüzey tipi için yüzde dağılımlarına dayalı etkin parametreler.

4.3. DOĞRULAMA DENEYLERİ

Yüzey tiplerine göre hazırlanmış olan S/N oranlarının en büyük değerinin sahip olduğu seviye o parametrenin en iyi seviyesidir. Parametrelerin yanlarına yazılan sayılar, ilgili parametrenin en iyi seviyesini göstermektedir (Çizelge 4.1). Buna göre içbükey yüzey formu için kesme kuvvetleri açısından TiC kaplamanın en iyi seviyeleri A4B1C1D2, TiN kaplamanın en iyi seviyeleri A4B1C1D2, TiAlN kaplamanın en iyi seviyeleri A4B1C1D2’dir. Konkav yüzey formu için takım sehimi açısından TiC kaplamanın en iyi seviyeleri A4B1C1D2, TiN kaplamanın en iyi seviyeleri A4B1C1D2, TiAlN kaplamanın en iyi seviyeleri A4B1C1D2’dir.

Dışbükey yüzey formu için, kesme kuvvetleri açısından TiC kaplamanın en iyi seviyeleri A4B1C1D4, TiN kaplamanın en iyi seviyeleri A4B1C1D2, TiAlN kaplamanın en iyi seviyeleri A4B1C1D2'dir. İlgili yüzey formu için takım sehimi açısından TiC kaplamanın en iyi seviyeleri A4B1C1D4, TiN kaplamanın en iyi seviyeleri A4B1C1D2, TiAlN kaplamanın en iyi seviyeleri A1B1C1D2'dir.

Bu parametreler ışığında tahmin hesabı yaparak test deneylerinin sonuçları önceden matematiksel olarak hesaplanabilmektedir (Çizelge 4.22-4.23). Bu hesaplamalar içbükey ve dışbükey yüzey tipleri için ayrı ayrı aşağıdaki formüllerle yapılmıştır.

$$\eta_{cal} = \bar{\eta}_m + \left(Maks. \frac{S}{N_1} - \bar{\eta}_m \right) + \left(Maks. \frac{S}{N_2} - \bar{\eta}_m \right) + \left(Maks. \frac{S}{N_3} - \bar{\eta}_m \right) + \left(Maks. \frac{S}{N_4} - \bar{\eta}_m \right) \quad (4.1)$$

Burada η_{cal} = Seçilen en iyi seviyelerin S/N değerlerinin $\bar{\eta}_m$ (ortalama) den farkının toplamı, $\bar{\eta}_m$ = Hesaplaması yapılan yüzey formu için S/N değerlerinin aritmetik ortalamasıdır.

$$F_{cal} = 10^{\frac{-\eta_{cal}}{20}} \quad (4.2)$$

F_{cal} değeri ise hesaplanan temel büyüklüğün değeridir.

Taguchi metodunun final adımı kalite karakteristiğini araştırmak için doğrulama deneylerinin yapılmasıdır. Belirlenen en iyi parametreler için ikişer adet doğrulama deneyleri gerçekleştirilmiştir. Belirlenen parametrelerin değerleri Çizelge 2.1'den alınarak seçilen bu seviye değerlerine göre iki farklı yüzey tipi için toplamda 12 adet test deneyi gerçekleştirilmiştir. Her bir yüzey tipi test deneyi için kullanılan kesici, daha önce aynı yüzey formları için kullanılan kesici olacak şekilde seçilmiştir. Deneyler sonrası elde edilen kuvvet (F), sehim (δ) ve S/N (η_{mea}) değerleri Çizelge 4.20. ve 4.21.'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.20. İçbükey yüzey tipi doğrulama deney sonuçları.

	Deneysel Numarası	F [N]	δ [mm]	F_{mea} [N]	δ_{mea} [mm]	F [η_{mea} dB]	δ [η_{mea} dB]
TiC	1	309,499	0,228	313,615	0,225	-49,928	12,955
	2	317,732	0,222				
TiN	1	324,028	0,229	321,767	0,226	-50,151	12,917
	2	319,507	0,223				
TiAlN	1	345,228	0,242	343,409	0,246	-50,716	12,162
	2	341,591	0,251				

Çizelge 4.21. Dışbükey yüzey tipi doğrulama deney sonuçları.

	Deneysel Numarası	F [N]	δ [mm]	F_{mea} [N]	δ_{mea} [mm]	F [η_{mea} dB]	δ [η_{mea} dB]
TiC	1	221,607	0,057	220,599	0,056	-46,872	24,858
	2	219,592	0,056				
TiN	1	244,484	0,071	245,733	0,07	-47,804	23,036
	2	246,982	0,07				
TiAlN	1	262,335	0,081	259,779	0,08	-48,292	21,937
	2	257,224	0,079				

Çizelge 4.22. İçbükey yüzey tipi için doğrulama deneyleri ile tahmin değerlerinin karşılaştırılması.

	Tahmin Değerleri				Farklar			
	F_{cal} [N]	η_{cal} [dB]	δ_{cal} [mm]	η_{cal} [dB]	$ F_{mean}-F_{cal} $	$ \eta_{mean}-\eta_{cal} $	$ \delta_{mean}-\delta_{cal} $	$ \eta_{mean}-\eta_{cal} $
TiC	308,341	-49,78	0,222	13,072	5,274	0,148	0,001	0,019
TiN	315,137	-49,97	0,224	12,995	6,63	0,181	0,003	0,097
TiAlN	337,578	-50,567	0,245	12,216	5,831	0,149	0,004	0,123

Çizelge 4.23. Dışbükey yüzey tipi için doğrulama deneyleri ile tahmin değerlerinin karşılaştırılması.

	Tahmin Değerleri				Farklar			
	F_{cal} [N]	η_{cal} [dB]	δ_{cal} [mm]	η_{cal} [dB]	$ F_{mean}-F_{cal} $	$ \eta_{mean}-\eta_{cal} $	$ \delta_{mean}-\delta_{cal} $	$ \eta_{mean}-\eta_{cal} $
TiC	223,920	-47,001	0,058	24,731	3,321	0,129	0,002	0,127
TiN	249,244	-47,932	0,072	22,853	3,511	0,128	0,002	0,183
TiAlN	263,849	-48,427	0,081	21,830	4,070	0,135	0,001	0,107

4.4. ORTALAMA TAHMİNLERE GÖRE GÜVEN ARALIĞI

Ortalama tahmini, deneylerden elde edilen sonuçların ortalamalarına dayanan tek bir nokta tahminidir. Bu ortalamadan büyük veya küçük olduğu için % 50 şans vermektedir. Bundan dolayı güven aralığı hesaplanabilmektedir. Güven aralığı doğrulama deneylerinin kalite karakteristiklerini doğrulamak için kullanılır. Tahminlerin gösterilmesi için aşağıdaki denklem kullanılmaktadır.

$$CI = \sqrt{F_{0,05}(1, v_e) V_e \left(\frac{1}{n_{eff}} + \frac{1}{r} \right)} \quad (4.3)$$

Burada $F_{0,05}(1, v_e)$, v_e hata ve 1 serbestlik derecesine karşı % 95 güven aralığında F oranıdır. V_e hata varyansı, n_{eff} etkin ölçüm sonuçları sayısı ve r test deney sayısıdır ($r = 2$).

$$n_{eff} = \frac{N}{1+v_T} \quad (4.4)$$

N toplam deney sayısı, v_T temel faktör serbestlik derecesinin toplamıdır ($v_T = 12$).

Denklem 4.3 - 4.4 kullanılarak içbükey ve dışbükey yüzey tipleri için güven değerleri Çizelge 4.24'de verilmiştir.

Çizelge 4.24. Güven aralığı değerleri (dB).

	Kesme Kuvveti (F)			Takım Sehimi (δ)		
	TiC	TiN	TiAlN	TiC	TiN	TiAlN
Dışbükey yüzey tipi	52,83	37,36	31,05	0,15	0,19	0,11
İçbükey yüzey tipi	58,10	54,12	29,29	0,09	0,11	0,14

Denklem 4.1 – 4.2'den elde edilen tahmin değerleri ile doğrulama deneylerinden elde edilen sonuçlar arasındaki S/N oranlarının farkları Çizelge 4.22 ve 4.23'de gösterilmiştir. Bu farkların Çizelge 4.24.'de verilen % 5 güven aralığı değerlerinden küçük olduğu görülmektedir. Bundan dolayı, bütün yüzey tipi ve takım kaplamaları için optimum kontrol faktörü ayarları güvenli olarak doğrulanmıştır.

4.5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

DIN1.2344 X40CrMoV5-1 sıcak takım çeliğinin küresel parmak frezelenmesinde kesme parametreleri ile takım yolu tarzlarının kesme kuvvetleri ve takım sehimleri üzerine etkileri Taguchi metodu kullanılarak değerlendirilmiştir.

- İki yüzey tipi ve bütün kaplama türleri için kesme hızı arttıkça genel olarak kesme kuvvetleri ve takım sehimi değerleri azalmıştır. Çünkü kesme hızlarındaki düşüş takımın asıl kesici kenarı üzerindeki deformasyonları (talaş birikmesi vb.) artırmakta ve kesici takım parça temas uzunluğunu artırmaktadır. Uzun temas mesafesi takım talaş yüzeyindeki sürtünme kuvvetini artırarak kesme kuvvetlerinin artmasına sebep olmaktadır. Yanal adım ve ilerleme tarafından oluşturulan talaş kesit alanı, kesme kuvvetlerini belirleyen en önemli faktördür. Elde edilen verilere göre yanal adım ve ilerleme değeri arttıkça kesme kuvvetleri ve takım sehimi artmaktadır. Bunun sebebi olarak, yanal adım ve ilerlemeye bağlı talaş kesitindeki artış gösterilebilir.
- Dışbükey yüzey tiplerinin işlenmesi kesme kuvvetleri ve takım sehimi açısından yüksek doğruluğa sahip çıkmıştır. Çünkü dışbükey yüzey tipinde talaş kesme bölgesinden kolaylıkla atılabilmektedir.
- İçbükey ve dışbükey yüzey tipleri için aynı yönlü frezeleme tekniğinde kesme kuvvetleri ve takım sehimi değerleri küçük çıkmıştır. Çünkü ilgili kesme tekniğinde kesici takım çok talaştan az talaşa doğru hareket etmekte ve buna bağlı kesme kuvveti değerleri azalmaktadır. Literatürde yapılan çalışmalarda, aynı yönlü frezeleme tekniğinde daha az kesme kuvveti olduğu vurgulanmıştır [46, 156]. Kesme kuvvetlerinin düşük olması takım sehiminin azalmasını sağlamıştır.
- Kesme tarzı olarak kontur operasyonları kesme kuvvetleri ve takım sehimi açısından küçük çıkmıştır. Çünkü kontur operasyonları kavis eksenine paralel ve kısa süreli işlemeyi içermektedir. Yapılan çalışmalarda, kavis eksenine paralel hareketlerin talaşın kesme bölgesinden kolay uzaklaştırılmasını sağladığı vurgulanmıştır [17, 44, 46, 70].

- Optimal şartlar için doğrulama deneyleri gerçekleştirilmiştir. Dışbükey yüzey tipi TiC, TiN ve TiAlN kaplamalar için elde edilen doğrulama deney sonuçları tahmin değerlerinden çok daha iyi çıkmıştır. Ancak içbükey yüzey tipi için üç kaplama türünde de doğrulama deney çıktıları tahmin değerlerinden büyük çıkmıştır. Bunun sebebi, içbükey yüzey tipinde talaşın kesme bölgesinden rahat atılamaması, talaş sıkışmasına sebebiyet vermiştir. Bu nedenle kesme kuvveti ve takım sehimi değerleri artış göstermiştir.
- Güven aralığını belirlemek için hesaplar bütün yüzey tipleri ve takım kaplamalarının optimal faktör ayarları için yapılmış ve sonuçlar güvenli olarak doğrulanmıştır.

BÖLÜM 5

AKUSTİK SES BASINÇ SEVİYESİNE BAĞLI YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN TESPİTİ

Üretim süreçlerinde kaliteyi artırmanın en önemli kısımlarından biri elde edilen mamulün yüzey kalitesinin kontrolüdür. Bütün üretimler için mamullerin yüzey kalitelerinin tespiti hem maliyetli hem de çok zor bir iştir. Bu nedenle tahmin modelleri ve izleme sistemleri ile kalite kontrol süreçleri için ayrılan süre ve maliyetler minimuma indirilebilmektedir. Genellikle işleme operasyonlarının izlenmesindeki amaç talaş oluşumu ve şeklinin sınıflandırılması, takım aşınması, boyut toleransları, yüzey dokusu (pürüzlülüğü, dalgalılık), takım sehimi gibi imalatta istenmeyen oluşumların engellenmesidir.

Çalışmanın bu bölümünde, küresel kalıp yüzeylerinin işleminde ASB değişimi ile ortalama R_a arasındaki ilişki araştırılmış ve doğrusal regresyon yöntemi kullanılarak modellenmiştir. Bu nedenle, farklı yüzey formlarının (içbükey ve dışbükey) farklı takım yolu stratejileri (Aynı Yönlü Tırmanma, Aynı Yönlü Kontur, Zıt Yönlü Tırmanma ve Zıt Yönlü Kontur) ile belirlenen kesme parametrelerinin, kesme hızı (V_c), ilerleme hızı (V_f), yanal adım (f_p) ve seviye aralıklarının dik işleme merkezinde konumlanan iş parçasının talaş kaldırma anında oluşan akustik ses basıncının deneysel olarak ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

5.1. BASİT REGRESYON ANALİZİ

Ses basınç seviyesindeki değişim ile ortalama yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişkinin belirlenmesi için basit regresyon analizi yapılmıştır. Regresyon analizi, aralarında sebep-sonuç ilişkisi bulunan iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi belirlemek ve bu ilişkiyi kullanarak o konu ile ilgili tahminler ya da

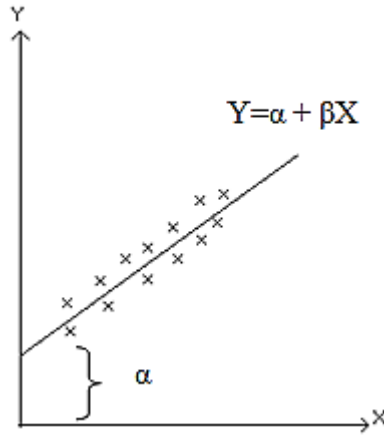
kestirimler yapabilmek amacıyla gerçekleştirilir [147]. Birçok istatistiksel çalışmada olduğu gibi regresyon analizinde de ana kütle verilerinin tümü yerine bu ana kütlede seçilen örnek veriler ile analiz yapılır. Daha sonra elde edilen sonuçlar ana kütledeki ilişkinin tahmininde kullanılır. Bilindiği gibi, ana kütle birimi sayısı çok fazla olduğundan, zamandan ve araştırma masraflarından tasarruf amacıyla tüm ana kütle birimleri yerine, bu ana kütlelerden tesadüfi olarak belirli sayıda birim (n) seçilerek istatistik analizler yapılır. Ana kütle ve örnek verileriyle yapılan istatistik uygulanmasında farklılık yoktur. Ancak teknikler uygulandıktan sonra örnekleme teorisinden yararlanılarak ana kütle parametrelerinin testleri ve tahminleri yapılır.

Basit regresyon analizi, Y bağımlı değişkeninin tek bir bağımsız (açıklayıcı) değişken X ile arasındaki ilişkinin doğrusal fonksiyonla ifade edilmesine dayanmaktadır. Basit doğrusal regresyon modeli, tek bir serbest değişken içeren aşağıdaki model ile ifade edilmektedir.

$$Y_i = \alpha + \beta X_i + \varepsilon_i \quad (5.1)$$

Bu modelin α ve β parametrelerini bulmak için X serbest değişkeni, Y bağlı değişkeni ve \mathcal{E} hata terimi ile ilgili gözlemlere gerek duyulur. Ana kütle içinde birer α ve β değeri varken, bu ana kütlede çekilen her bir örneklem için ayrı birer $\hat{\alpha}$ ve $\hat{\beta}$ elde edilmektedir. İşte bu $\hat{\alpha}$ ve $\hat{\beta}$ normal bölünmeye sahip olup beklenen değerleri sırasıyla α ve β 'dir. Uygulamada tek bir örneklem alınmakta ve bu örneklem yardımıyla ana kütle parametreleri tahmin edilmektedir.

α doğrusal fonksiyonun sabitidir. $X=0$ olduğunda regresyon doğrusunun dikey eksen olan Y ile kesiştiği noktayı göstermektedir. β (β_{yx} ile de gösterilebilir) ise doğrusal fonksiyonun eğimidir. Regresyon analizinde bağımsız değişken X deki bir birimlik değişimin bağımlı değişken Y'de (Y cinsinden) ne kadarlık bir değişime sebep olduğunu gösteren regresyon katsayısıdır. Fonksiyon tipinin belirlenmesi için regresyon analizine serpilme diyagramı çizilerek başlanır. Aşağıdaki serpilme diyagramında gözlem noktalarının dağılımının doğrusal bir eğilimde olduğu açıkça görülmektedir.



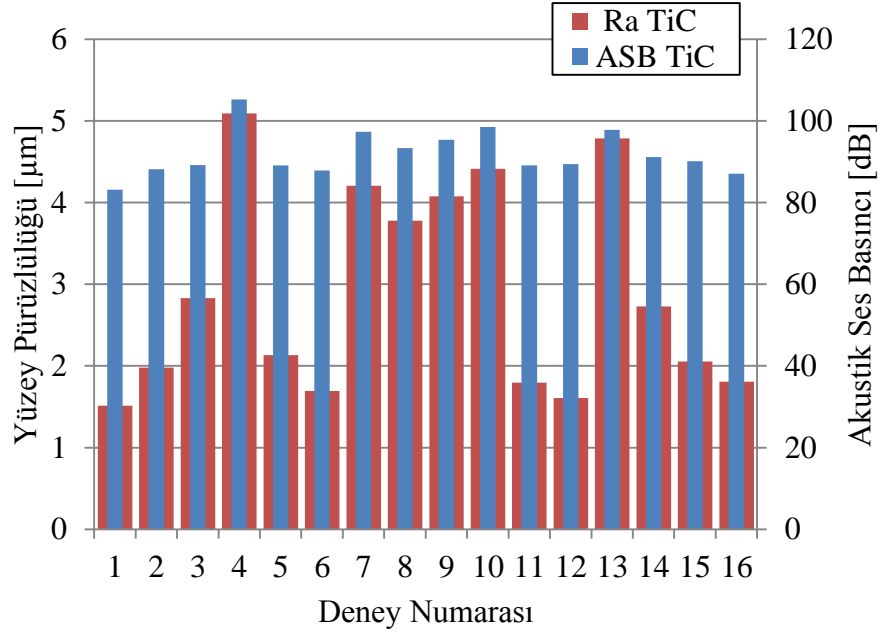
Şekil 5.1. Basit doğrusal regresyon doğrusu.

α ve β parametrelerinin gösterdiği grafikte regresyon doğrusunun eğiminin pozitif olduğu anlaşılmaktadır. β 'nin işareti iki değişken arasındaki ilişkinin yönünü göstermektedir. Her iki değişken birlikte artıyor veya azalıyorsa β 'nin işareti pozitif (+), değişkenlerden biri artarken diğeri azalıyorsa β 'nin işareti negatif (-) olacaktır. β 'nin sıfır (0) olması ise iki değişkenin arasında bir ilişki olmadığını göstermektedir. Sıfır (0)'dan farklılık ise iki değişken arasında belirli bir ilişkinin varlığını ifade etmektedir. Regresyon katsayısının alt sınırı (0) vardır, ancak belirli bir üst sınırı yoktur. Bu nedenle regresyon doğrusuna bakarak ilişkinin gücü hakkında kesin bir şey söylemek mümkün değildir. Regresyon modeline açıkça dahil edilemeyen diğer değişkenleri temsil etmek üzere $Y_i = \alpha + \beta X_i + \mathcal{E}_i$ modelinde yer verilen \mathcal{E} hata terimini gözlemek hiçbir zaman mümkün olmaz. Dolayısıyla \mathcal{E} hata terimi zorunlu varsayımlar yapılarak kullanılmaktadır. Minitab ticari yazılımı kullanılarak yapılan çalışma sonucunda, regresyon denklemi ve R^2 (R -Sq) oranı elde edilmiştir. Pearson katsayısına göre, R^2 'nin 0.80 ve üzeri olması durumunda bağımlı değişken ile bağımsız değişken arasında ilişkinin kuvvetli olduğu varsayılmaktadır [147, 154].

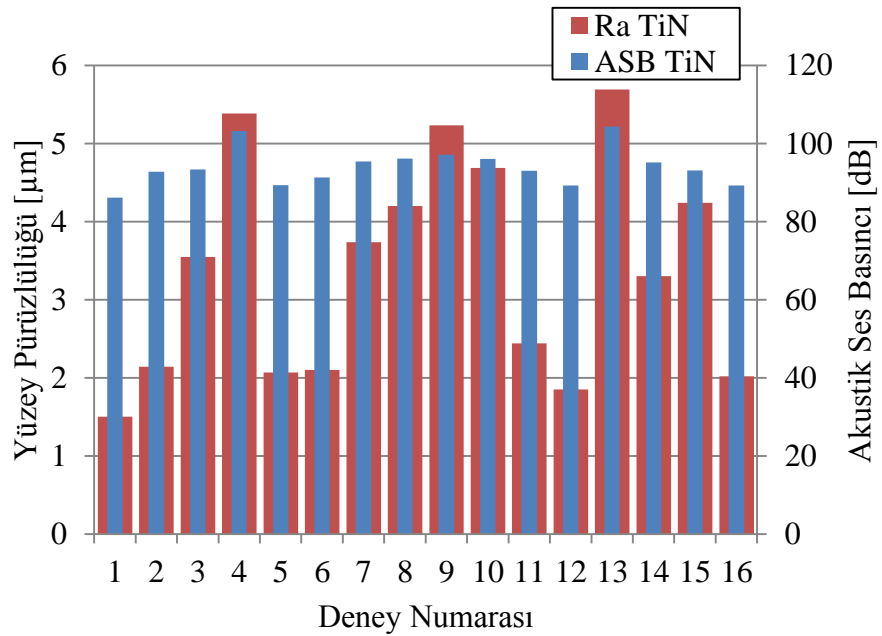
5.2. İÇBÜKEY YÜZEY FORMU İÇİN AKUSTİK SES BASINÇ SEVİYESİNE BAĞLI YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN TESPİTİ

İçbükey yüzey formu TiC, TiN, TiAlN kaplama türleri için deneylerden elde edilen ASB [dB] ve Ra [μ m] değerleri Şekil 5.2'de gösterilmiştir. Her üç kaplama türü için

ASB ve *Ra* grafikleri incelendiğinde *ASB* değerinin artması ile *Ra* değerlerindeki artış göze çarpmaktadır. Aynı zamanda *ASB* değerindeki azalmalara paralel *Ra* değerleri de azalmıştır.

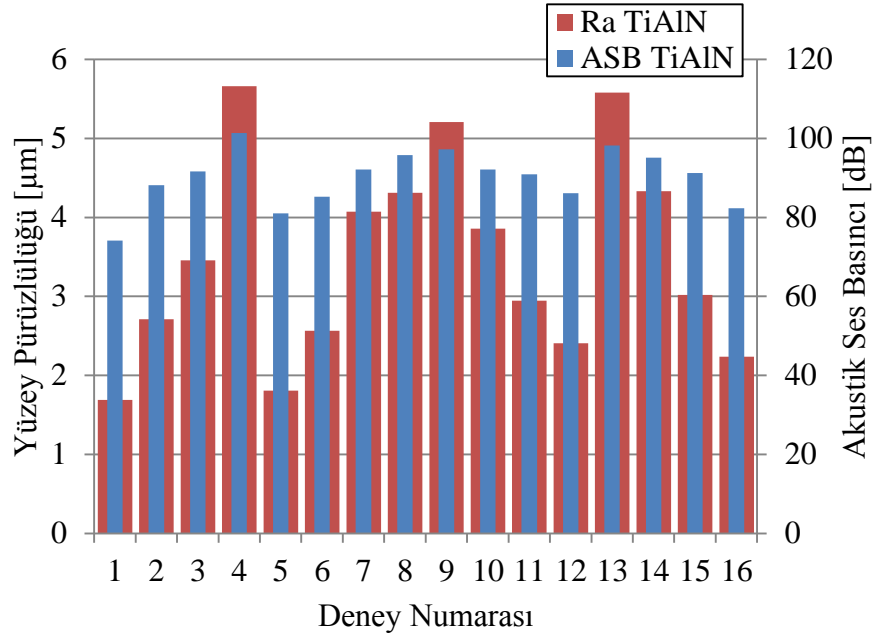


(a)



(b)

Şekil 5.2. İçbükey yüzey tipi *ASB* ve *Ra* değerleri; a) TiC kaplama, b) TiN kaplama, c) TiAlN kaplama.

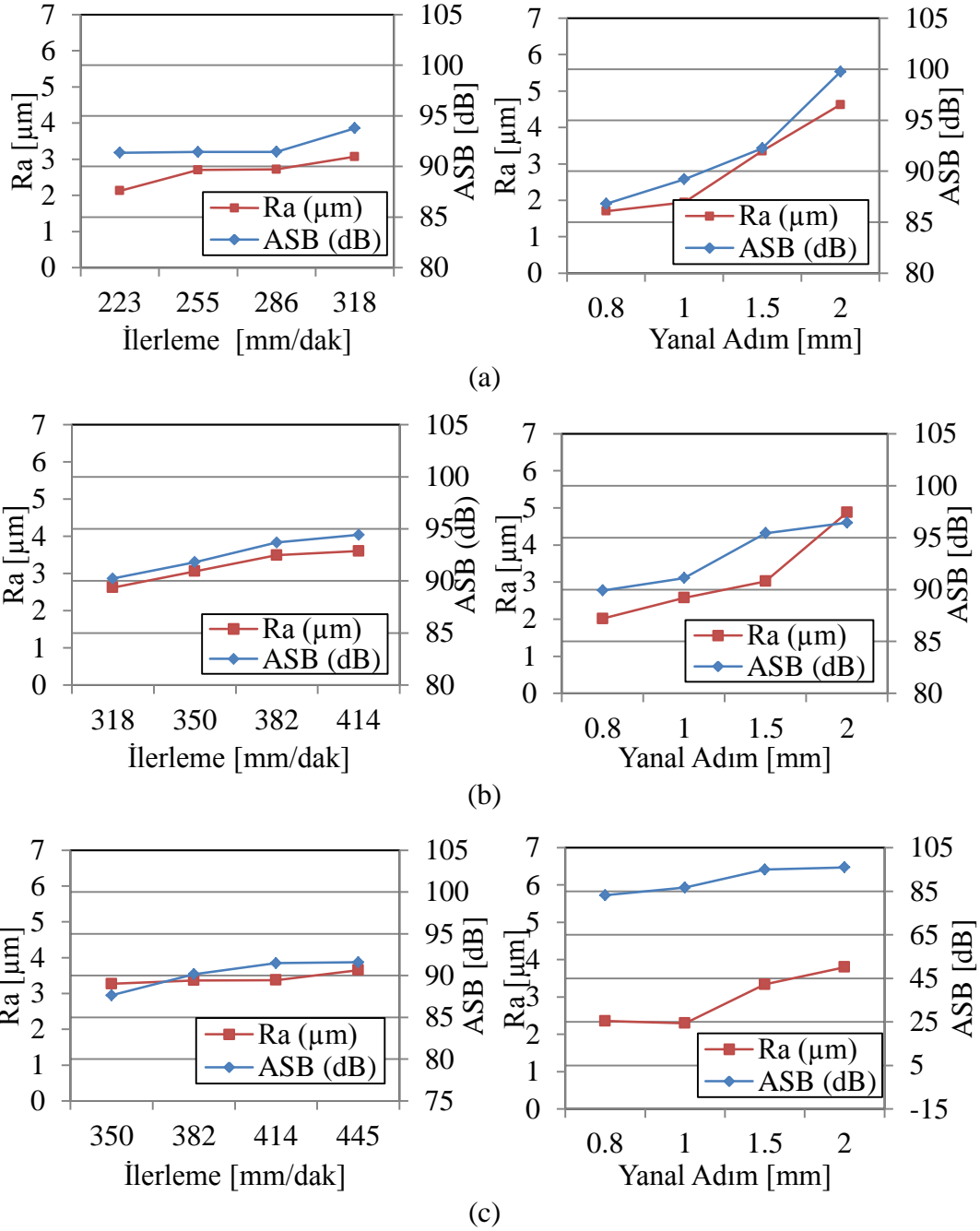


(c)

Şekil 5.2. (devam ediyor).

Şekil 5.2 (a) TiC kaplamaya göre dört numaralı deneyde en büyük *ASB* (105,2 dB) değeri ve en büyük *Ra* (5 µm) değeri meydana gelmiştir. Diğer taraftan en küçük *ASB* (83,1 dB) değeri Deney 1’de en küçük *Ra* (1,51 µm) değeri için oluşmuştur. Şekil 5.2 (b) TiN kaplamaya göre 13 numaralı deneyde en büyük *ASB* (104,3 dB) değeri sebebiyle en büyük *Ra* (5,69 µm) değeri meydana gelmiştir. En küçük *ASB* (86,1 dB) değeri Deney 1’de en küçük *Ra* (1,50 µm) değeri için oluşmuştur. Son olarak, Şekil 5.2 (c) TiAlN kaplamaya göre 13 numaralı deneyde en büyük *ASB* (101,3 dB) değeri sebebiyle en büyük *Ra* (5,66 µm) değeri meydana gelmiştir. En küçük *ASB* (74,1 dB) değeri Deney 1’de en küçük *Ra* (1,68 µm) değeri için oluşmuştur.

Kesme parametreleri açısından sonuçlar değerlendirildiğinde ise ilerleme (*V_f*) ve yanal adım (*f_p*) parametrelerindeki artış *ASB* ve *Ra* değerlerini artırmıştır. İlerleme ve yanal adım parametrelerinin *ASB* ve *Ra* değerleri üzerine etkileri Şekil 5.3’ de verilmiştir.



Şekil 5.3. İçbükey yüzey tipi; a) TiC, b) TiN, c) TiAlN kaplamalar için yanıl adım ve ilerlemenin ASB ve R_a üzerine etkileri.

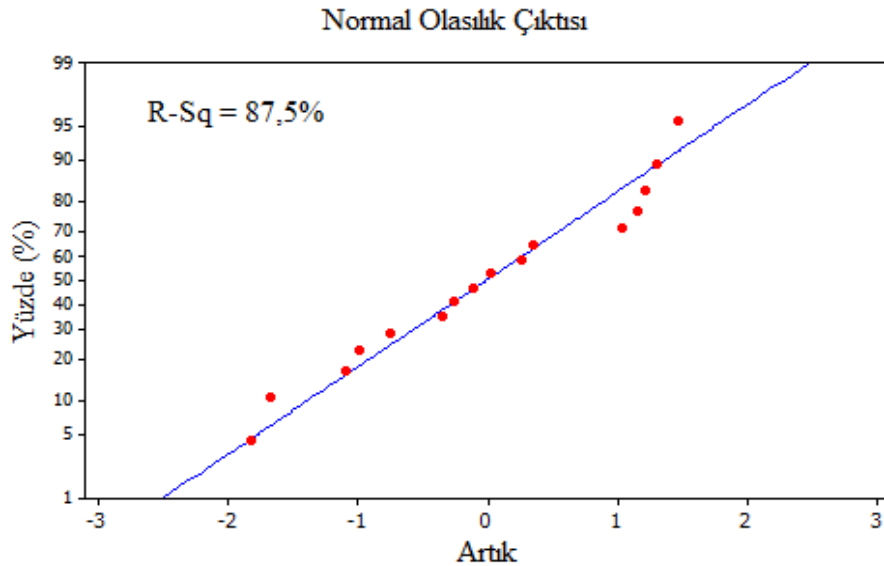
Şekil 5.3 (a)'ya göre TiC kaplama için en büyük ASB ve R_a değerleri 318 mm/dak ilerleme ve 2 mm yanıl adım değerinde, en küçük ASB ve R_a değeri 223 mm/dak ilerleme ve 0,8 mm yanıl adım değerinde görülmüştür. Şekil 5.3 (b)'ye göre TiN kaplama için en büyük ASB ve R_a değerleri 414 mm/dak ilerleme ve 2 mm yanıl adım değerinde, en küçük ASB ve R_a değeri 318 mm/dak ilerleme ve 0,8 mm yanıl

Adım değerinde görülmüştür. Son olarak, Şekil 5.3 (c)'ye göre TiAlN kaplama için en büyük *ASB* ve *Ra* değerleri 445 mm/dak ilerleme ve 2 mm yanal adım değerinde, en küçük *ASB* ve *Ra* değeri 350 mm/dak ilerleme ve 0,8 mm yanal adım değerinde görülmüştür. İçbükey yüzey tipi adına gerçekleştirilen basit regresyon analizine göre akustik ses basınç seviyesi ve yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişki TiC, TiN ve TiAlN kaplamalar için pozitif, doğrusal ve istatistik olarak önemli (sirasıyla $R^2 = 0,875$; 0,822 and 0,873) bulunmuştur (Şekil 5.4). Bütün kesme parametreleri dikkate alındığında, akustik ses basınç seviyesi ve yüzey pürüzlülüğü arasında belirlenen korelasyon katsayısı $R^2 = 0,8$ 'den daha iyi bulunmuştur. Bu talaş kaldırma esnasında akustik ses basınç seviyesinin yüzey pürüzlülüğünün tahmininde kullanılmasının faydalı olduğunu göstermiştir. İçbükey yüzey tipi TiC, TiN ve TiAlN kaplamalar için regresyon denklemleri aşağıda verilmiştir.

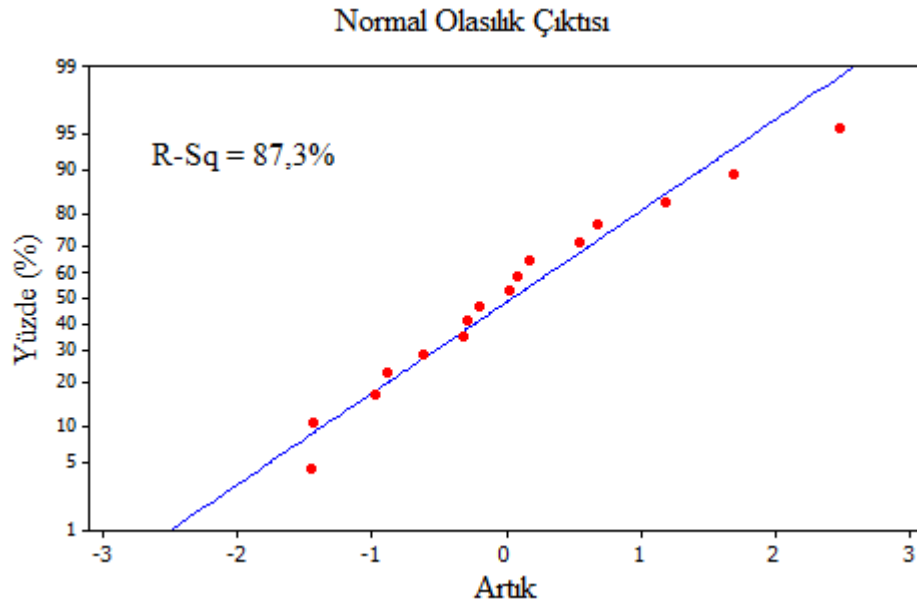
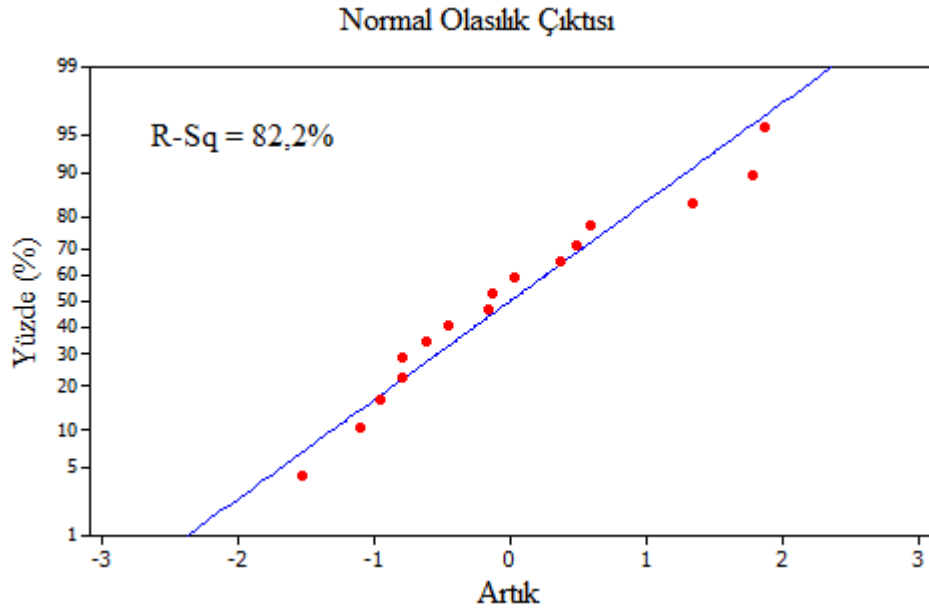
$$Ra_{(TiC)} = - 16,7 + 0,213 \times ASB \quad (5.1)$$

$$Ra_{(TiN)} = - 21,3 + 0,263 \times ASB \quad (5.2)$$

$$Ra_{(TiAlN)} = - 11,8 + 0,169 \times ASB \quad (5.3)$$



Şekil 5.4. İçbükey yüzey tipi; a) TiC, b) TiN, c) TiAlN kaplama için *Ra*'nın fonksiyonu olarak *ASB*.

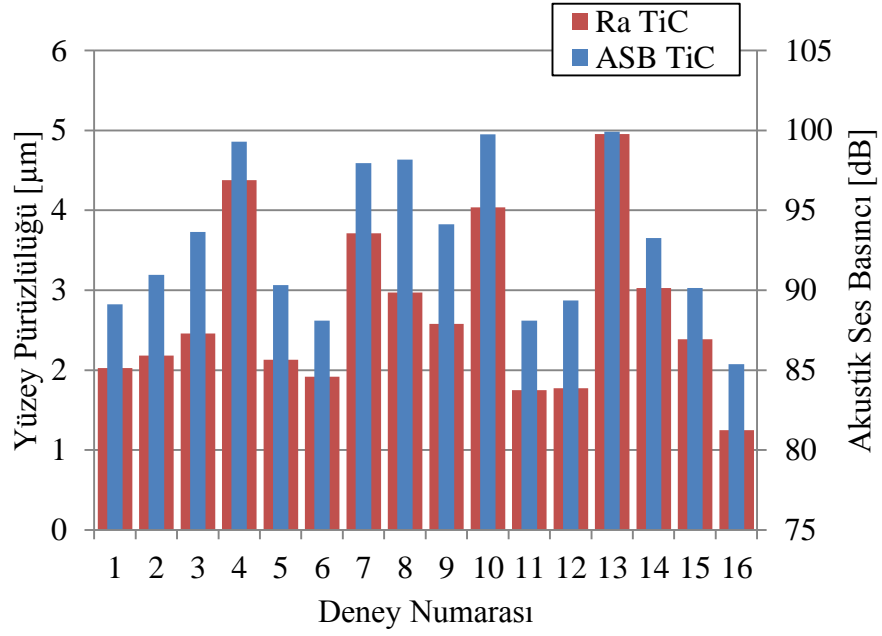


Şekil 5.4. (devam ediyor).

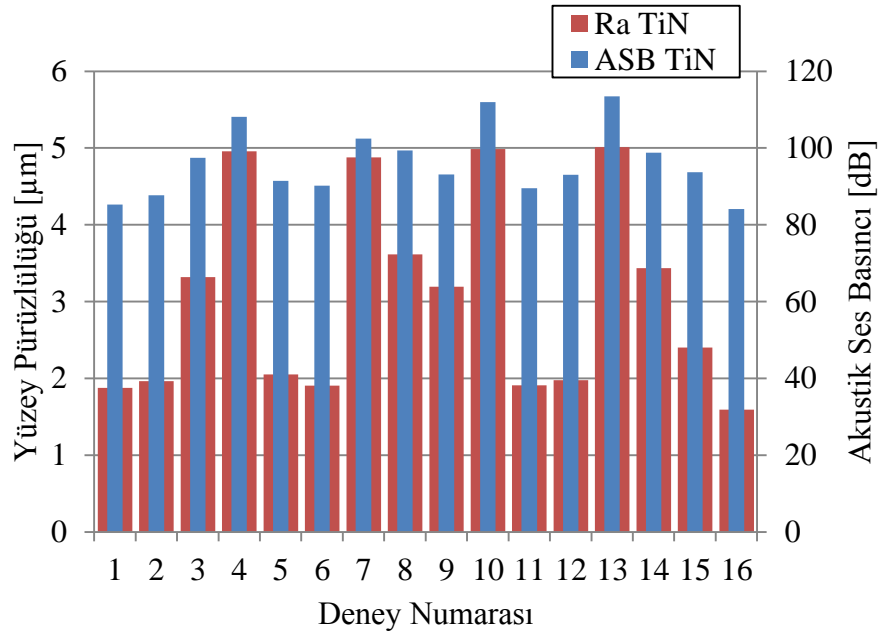
5.3. DIŞBÜKEY YÜZEY FORMU İÇİN AKUSTİK SES BASINÇ SEVİYESİNE BAĞLI YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN TESPİTİ

Dışbükey yüzey formu TiC, TiN, TiAlN kaplama türleri için deneylerden elde edilen ASB [dB] ve Ra [μm] değerleri Şekil 5.5' de gösterilmiştir. Her üç kaplama türü için ASB ve Ra grafikleri incelendiğinde içbükey yüzey tipine paralel olarak ASB

değerinin artması ile Ra değerlerinde artış ASB 'nin azalması ile Ra değerlerinde azalma göze çarpmaktadır.

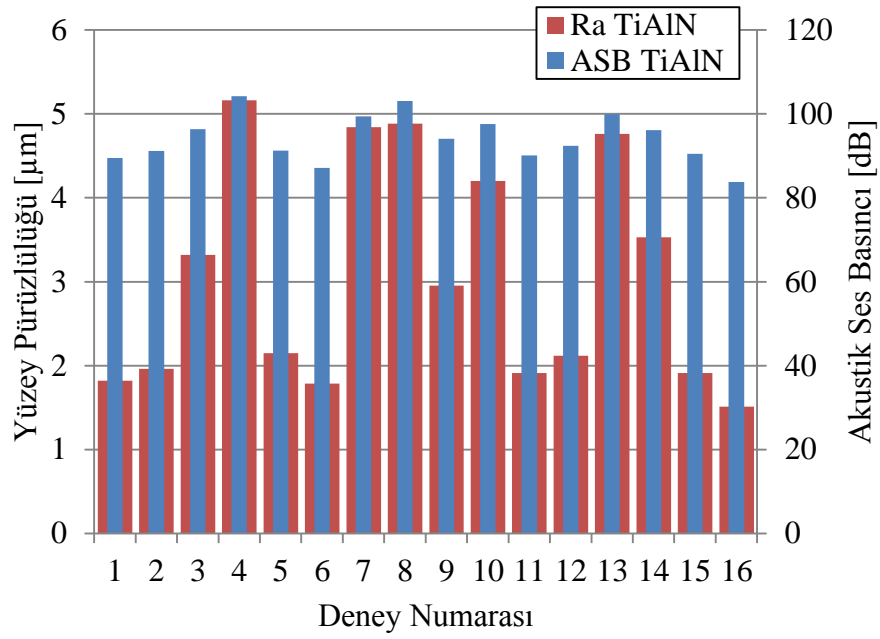


(a)



(b)

Şekil 5.5. Dışbükey yüzey tipi ASB ve Ra değerleri; a) TiC kaplama, b) TiN kaplama, c) TiAlN kaplama.

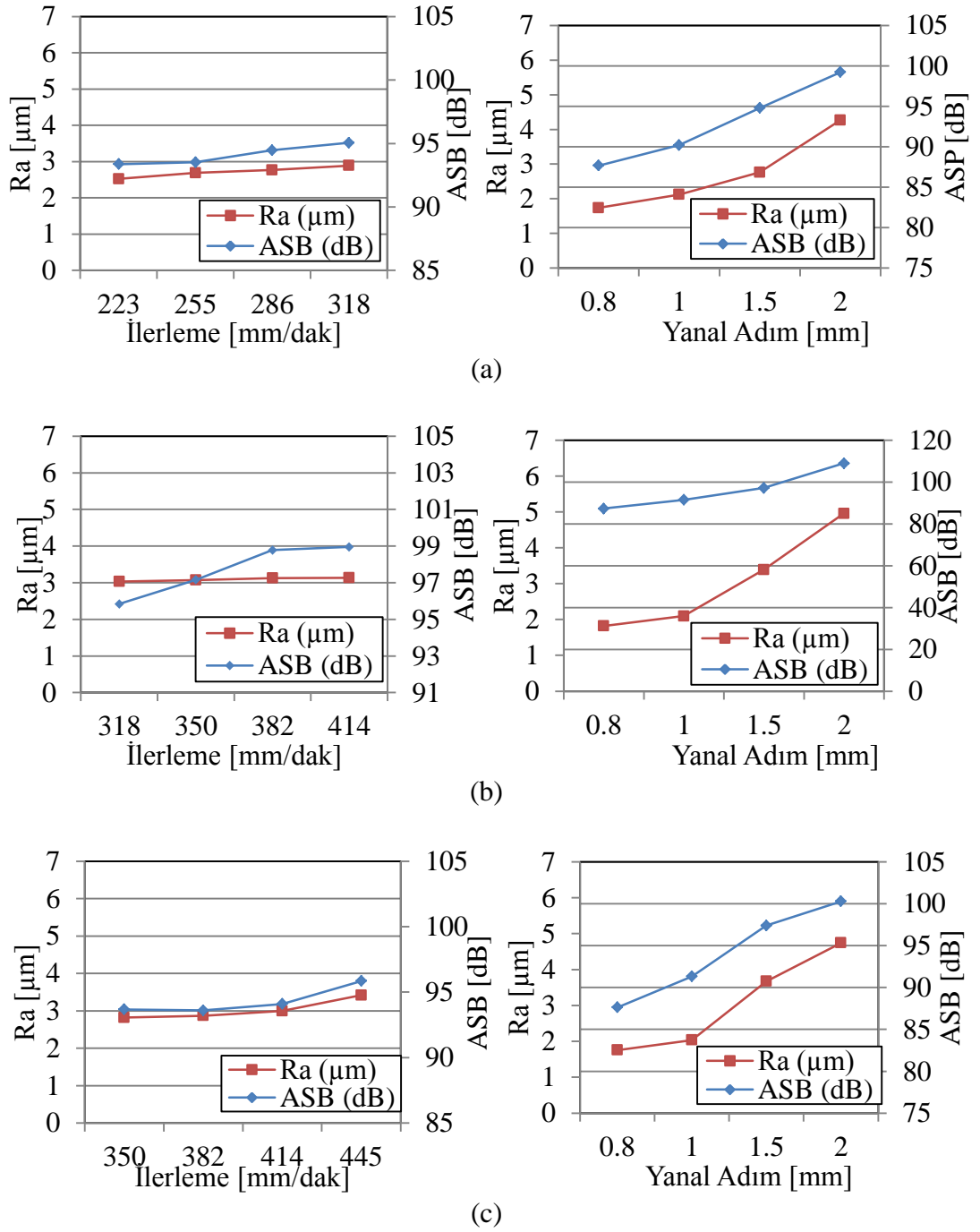


(c)

Şekil 5.5. (devam ediyor).

Şekil 5.5 (a) TiC kaplamaya göre 13 numaralı deneyde en büyük *ASB* (99,9 dB) değeri ve en büyük *Ra* (4,95 µm) değeri meydana gelmiştir. Diğer taraftan en küçük *ASB* (85,3 dB) değeri Deney 16'da en küçük *Ra* (1,25 µm) değeri için oluşmuştur. Şekil 5.2 (b) TiN kaplamaya göre 13 numaralı deneyde en büyük *ASB* (113,4 dB) değeri sebebiyle en büyük *Ra* (5,01 µm) değeri meydana gelmiştir. En küçük *ASB* (84 dB) değeri Deney 16'da en küçük *Ra* (1,59 µm) değeri için oluşmuştur. Son olarak, Şekil 5.2 (c) TiAlN kaplamaya göre 4 numaralı deneyde en büyük *ASB* (104,1 dB) değeri sebebiyle en büyük *Ra* (5,16 µm) değeri meydana gelmiştir. En küçük *ASB* (83,7 dB) değeri Deney 16'da en küçük *Ra* (1,51 µm) değeri için oluşmuştur.

Dışbükey yüzey tipi için kesme parametreleri açısından sonuçlar değerlendirildiğinde ise ilerleme (*V_f*) ve yanal adım (*f_p*) parametrelerindeki artış *ASB* ve *Ra* değerlerini içbüye yüzey tipindeki sonuçlara paralel bir şekilde artırmıştır. İlerleme ve yanal adım parametrelerinin *ASB* ve *Ra* değerleri üzerine etkileri Şekil 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.6. İçbükey yüzey tipi; a) TiC, b) TiN, c) TiAlN kaplamalar için yanıl adım ve ilerlemenin ASB ve Ra üzerine etkileri.

Kesme parametrelerin (V_f ve f_p) ASB ve Ra üzerine etkileri değerlendirildiğinde içbükey yüzey tipinde elde edilen sonuçların benzeri olarak parametre değerlerindeki artış ASB ve Ra değerlerini artırmıştır. Şekil 5.6 (a)'ya göre TiC kaplama için en büyük ASB ve Ra değerleri 318 mm/dak ilerleme ve 2 mm yanıl adım değerinde, en

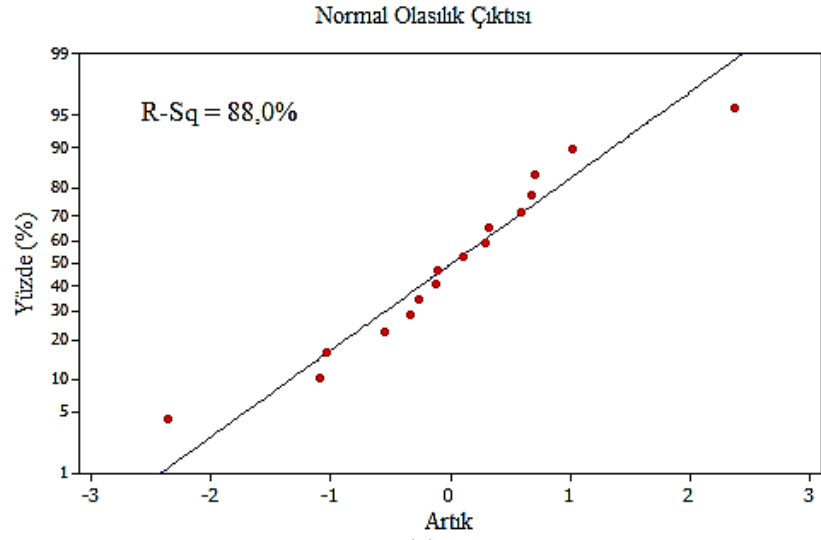
küçük *ASB* ve *Ra* değeri 223 mm/dak ilerleme ve 0,8 mm yanal adım değerinde görülmüştür. Şekil 5.3 (b)'ye göre TiN kaplama için en büyük *ASB* ve *Ra* değerleri 414 mm/dak ilerleme ve 2 mm yanal adım değerinde, en küçük *ASB* ve *Ra* değeri 318 mm/dak ilerleme ve 0,8 mm yanal adım değerinde görülmüştür. Son olarak, Şekil 5.3 (c)'ye göre TiAlN kaplama için en büyük *ASB* ve *Ra* değerleri 445 mm/dak ilerleme ve 2 mm yanal adım değerinde, en küçük *ASB* ve *Ra* değeri 350 mm/dak ilerleme ve 0,8 mm Yanal Adım değerinde görülmüştür.

Dışbükey yüzey tipi adına gerçekleştirilen basit regresyon analizine göre akustik ses basınç seviyesi ve yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişki TiC, TiN ve TiAlN kaplamalar için pozitif, doğrusal ve istatistik olarak önemli (sırasıyla $R^2 = 0,888$; $0,885$ ve $0,916$) bulunmuştur (Şekil 5.7). Bütün kesme parametreleri dikkate alındığında, akustik ses basınç seviyesi ve yüzey pürüzlülüğü arasında belirlenen korelasyon katsayısı $R^2 = 0,8$ 'den daha iyi bulunmuştur. Bu talaş kaldırma esnasında akustik ses basınç seviyesinin yüzey pürüzlülüğünün tahmininde kullanılmasının içbükey yüzey tipinde olduğu gibi faydalı olduğunu göstermiştir. Dışbükey yüzey tipi TiC, TiN ve TiAlN kaplamalar için regresyon denklemleri aşağıda verilmiştir.

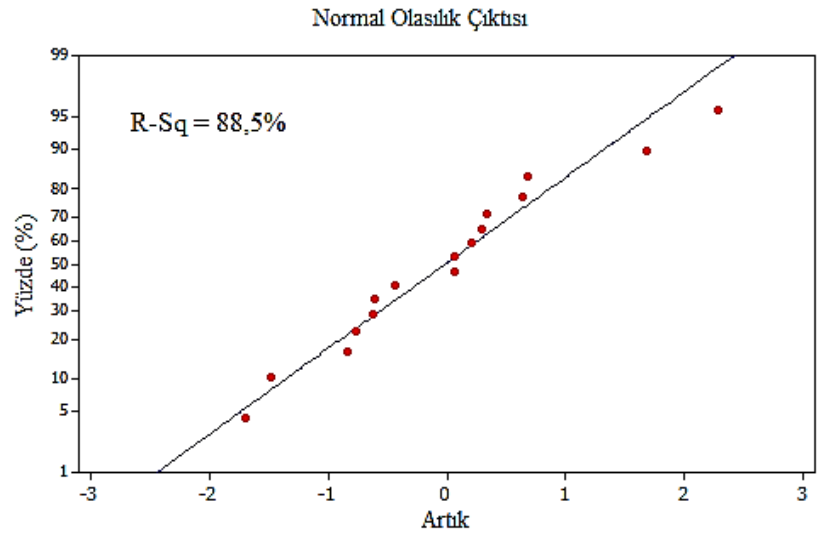
$$Ra_{(TiC)} = - 16,5 + 0,207 \times ASB \quad (5.4)$$

$$Ra_{(TiN)} = - 10,1 + 0,136 \times ASB \quad (5.5)$$

$$Ra_{(TiAlN)} = - 17,9 + 0,223 \times ASB \quad (5.6)$$

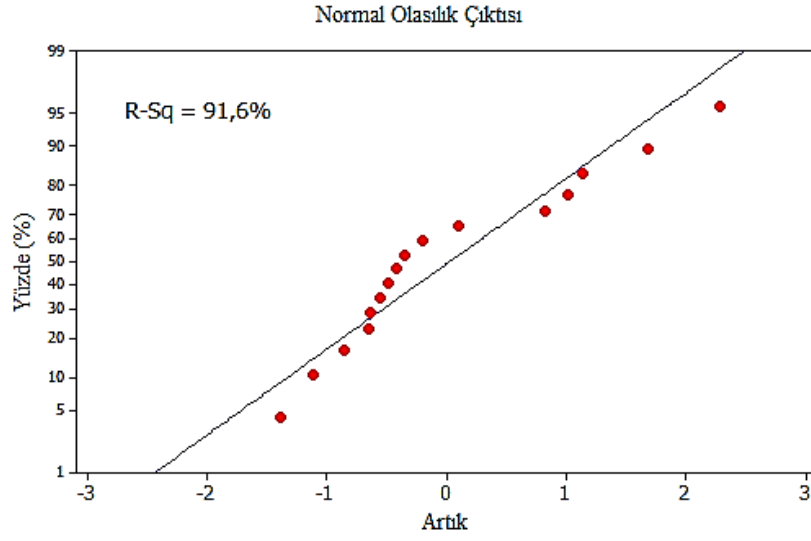


(a)



(b)

Şekil 5.7. Dışbükey yüzey tipi; a) TiC, b) TiN ve c) TiAlN kaplama için Ra'nın fonksiyonu olarak ASB.



Şekil 5.7. (devam ediyor).

5.4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

- Deneysel çalışmada ses basınç seviyesinin incelenmesi kesme şartlarının etkilerinin belirlenmesinde pratik ve faydalı bir metot olduğunu göstermiştir.
- Yüzey pürüzlülüğü gibi optimum işlenebilirliğin vazgeçilmez unsurunun ses basınç seviyesi ile tespit edilebildiği ortaya konulmuştur.
- İçbükey yüzey tipinin işlenmesinde *ASB* seviyesi dışbükey yüzey tipine nazaran daha küçük elde edilmiştir (Şekil 5.2.). Çünkü dışbükey yüzey tipinde mikrofona çok daha rahat ses ulaşabilmektedir. İçbükey yüzey tipinde ise takımın parça içinde çalışması mikrofona sesin rahat gelmesine engel olmuştur.
- Dışbükey yüzey için bütün kaplamalar dikkate alındığında en büyük *ASB* değerleri TiN kaplama için gözlem on ve on üçte sırasıyla 111,9 dB ve 113,4 dB oluşmuştur. Bunun sebebi ise küresel parmak frezenin eğimli yüzeyde daha kısa kesme kenarı ile talaş kaldırmasıdır ve bu tırlama titreşiminin meydana gelmesine neden olmuştur.
- İçbükey yüzey tipinde takım kaplamaları dikkate alınmaksızın *Ra* değerleri dışbükey yüzey tipine nazaran daha büyük çıkmıştır.

- İlerleme ve yanal adım parametreleri açısından ses ve yüzey pürüzlülüğü değerlendirildiğinde ise parametrelerin büyümesi takım kaplaması ve yüzey formuna bağımlı olmadan *ASB* ve *Ra* değerlerini artırmıştır.
- Takım kaplamasının *Ra* değerleri üzerine etkisi incelendiğinde; deneylerde düşük kesme hızlarında TiAlN kaplamının iyi performans sergilediği, ilerleme ve yanal adım değerleri arttığında takım kaplamasına bağlı olmaksızın *Ra* değerlerinin arttığı görülmüştür.
- İçbükey ve dışbükey yüzey tipi için zıt yönlü frezeleme tekniğinde *ASB* ve *Ra* değerleri aynı yönlü frezelemeye göre yüksek çıkmıştır. Nedeni ise takımın az talaştan çok talaşa doğru girmesi kesme kuvvetlerini dolayısıyla *Ra* değerlerini artırmış ve takım boyunun uzun olmasından dolayı tırlama titreşimi oluşturmuştur. Tırlama titreşimine bağlı *ASB* değerleri de artış göstermiştir.
- Kontur takım yolu tarzında frezeleme pozisyon açısının artması ile *Ra* üzerinde etkili *ASB* değeri azalmıştır. Tırmanma takım yolu tarzında ise *ASB* değeri nadiren etkilenmiştir.

BÖLÜM 6

TAKIM SEHİMİ KAYNAKLI FORM HATALARININ 3B OPTİK TARAMA İLE TESPİTİ

Eğimli yüzeylerin küresel parmak frezelenmesinde, değişken yüzey formu kesici takım üzerinde değişken kesme kuvvetlerine neden olmaktadır. Kesme kuvvetleriyle oluşan esnemeler parça üzerinde göz ardı edilemeyecek form hataları oluşturabilmektedir. Sehim değerlerinin ve buna bağlı form hatalarının bulunması, üretim için uygun toleranslar içinde kalınması ve maliyetlerin azaltılması açısından önem taşımaktadır. Bu sebeple bu bölümde endüktif sensörler ile işleme süresince dinamik takım sehimini kaydedilmiştir. 3B optik tarama ile işlenen deney numunelerin takım sehimine bağlı form hataları tespit edilmiştir. Ölçülen takım sehiminin, bölgesi ve değerleri ile 3B optik tarama form hata ölçüm bölgesi ve değerleri karşılaştırılmıştır.

6.1. İÇBÜKEY VE DIŞBÜKEY YÜZEY FORMU TİC KAPLAMA İÇİN FORM HATALARININ 3B OPTİK TARAMA İLE TESPİTİ

Deneylerde X ve Y eksenlerinde kesici takım sehim değerleri (Çizelge 6.1) kaydedilmiştir. Elde edilen sehim değerlerinde kontur operasyonu için Y eksen, tırmanma operasyonu için X eksen dikkate alınmıştır. Her iki yüzey tipi için gerçekleştirilen 32 adet tarama ve her tarama için ilgili üç boyutlu form hataları tespit edilmiştir. Form hatalarının tespiti için optik taramadan elde edilen model ile BDT modeli karşılaştırılmış ve parça üzerindeki takım sehiminden kaynaklanan form hataları sayısal olarak ölçülerek (Çizelge 6.1) işaretlenmiştir. Parça üzerinde meydana gelen negatif veya pozitif form hataları ve oluştuğu bölgeler üç boyutlu optik tarama çıktıları ile gösterilmiştir. Parça üzerinde form hata değerleri renklendirmeler yardımı ile belirginleştirilmiştir. Takım sehiminin ve buna bağlı

form hatalarının büyük olması birçok tarama için sadece gri rengin oluşmasına sebebiyet vermiştir.

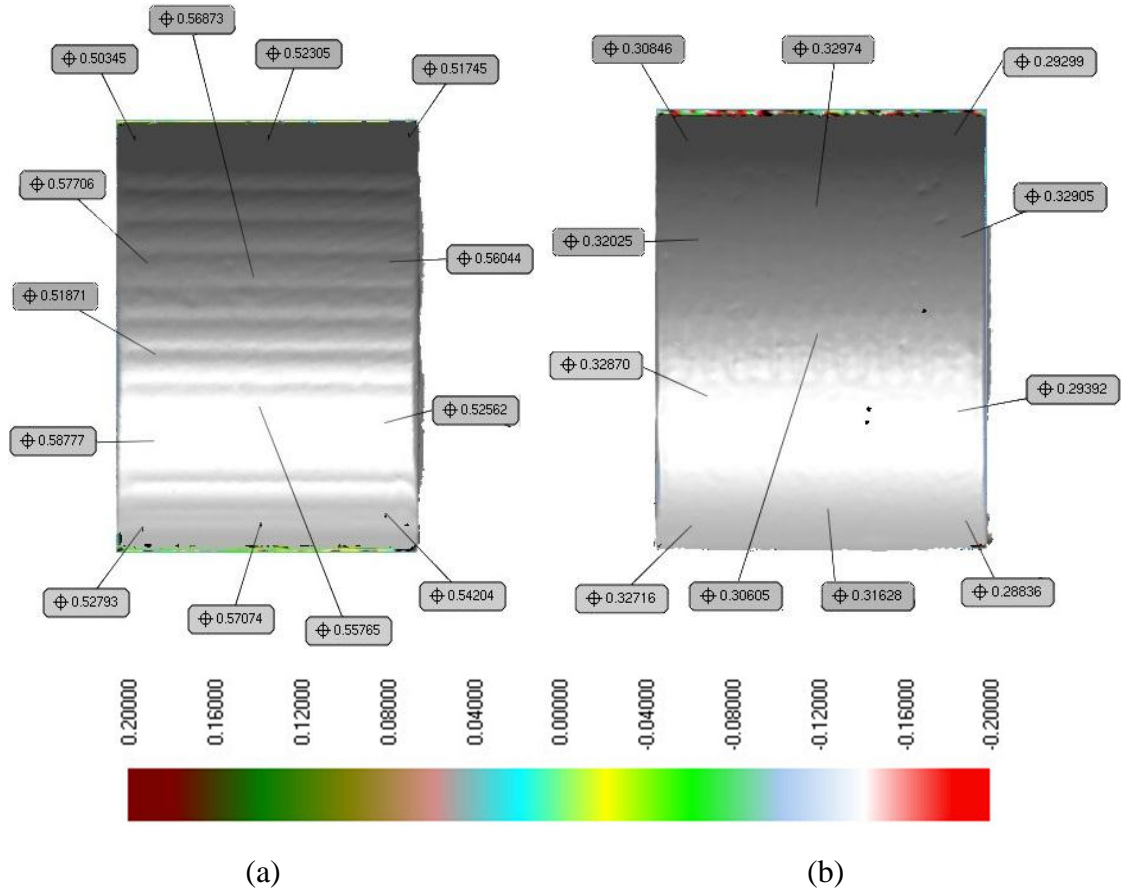
Yapılan deneylerde meydana gelen en büyük ve en küçük form hata değerleri Çizelge 6.1' de verilmiştir.

Çizelge 6.1. İçbükey ve dışbükey yüzey formu TiC kaplama için takım sehimi ve form hata değerleri.

Deney No	Ölçüm Sonuçları					
	İçbükey Yüzey Formu			Dışbükey Yüzey Formu		
	Takım Sehimi δ [mm]	En Büyük Form Hata Değeri [mm]	En Küçük Form Hata Değeri [mm]	Takım Sehimi δ [mm]	En Büyük Form Hata Değeri [mm]	En Küçük Form Hata Değeri [mm]
1	0.314	0,378	0,329	0.091	0,12745	0,06869
2	0.490	0,533	0,401	0.261	0,28750	0,23057
3	0.515	0,542	0,470	0.276	0,29299	0,25703
4	0.553	0,587	0,517	0.372	0,41516	0,36537
5	0.410	0,440	0,389	0.129	0,16926	0,08269
6	0.401	0,423	0,386	0.156	0,20721	0,13412
7	0.524	0,559	0,468	0.386	0,40825	0,37694
8	0.493	0,537	0,465	0.429	0,46842	0,43079
9	0.401	0,435	0,398	0.308	0,37024	0,30281
10	0.491	0,525	0,460	0.461	0,55534	0,40511
11	0.373	0,384	0,351	0.185	0,20077	0,11334
12	0.506	0,527	0,480	0.200	0,21189	0,13592
13	0.451	0,481	0,448	0.301	0,37429	0,23749
14	0.412	0,437	0,397	0.138	0,16740	0,11610
15	0.409	0,426	0,406	0.157	0,23537	0,12012
16	0.320	0,328	0,347	0.103	0,14853	0,08589

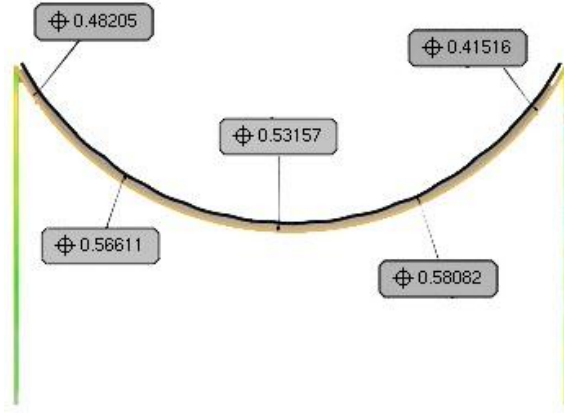
Çizelge 6.1' de verilen içbükey ve dışbükey yüzey formları için kesme kuvveti ve sehimi değerleri incelendiğinde, kuvvet değerinin artması ile buna bağlı takım sehimi değerini artırdığı gözlemlenmiştir. İçbükey ve dışbükey yüzey formu için Deney no 1'de en küçük kesme hızı, ilerleme ve yanal adım değerinde en küçük kesme kuvveti ve takım sehimi değerleri oluşmuştur. İçbükey yüzey formunda ise Deney no 4 için en büyük kesme kuvveti ve takım sehimi meydana gelmiştir. Dışbükey yüzey formunda Deney no 10 için en büyük kesme kuvveti ve takım sehimi meydana gelmiştir.

Çizelge 6.1’ de görüldüğü gibi içbükey yüzey formu için en büyük form hatası 0,587 mm ile Deney 4’de oluşmuştur. Deneysel ölçümlerden elde edilen en büyük sehim değeri yine Deney 4’de (0,553 mm) aynı bölgede oluşmuştur. En küçük form hatası (0,288 mm) ile Deney 1’de oluşmuştur. Deneysel ölçümlerde ise 0,314 mm ile yine benzer bölge ile Deney 1’de oluşmuştur. Deney 4 ve Deney 1’e ait optik tarama görüntüleri sırasıyla Şekil 6.1 (a) ve 6.1 (b)’de verilmiştir.

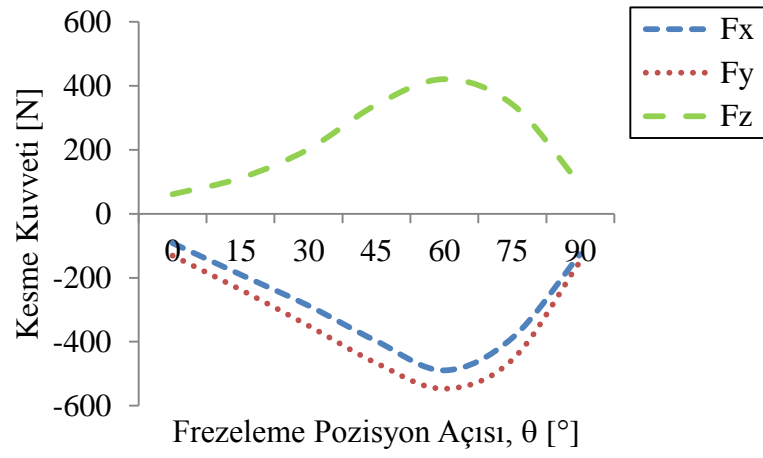


Şekil 6.1. İçbükey yüzey form hataları; a) en büyük form hatası (Deney 4), b) en küçük form hatası (Deney 1).

İçbükey yüzey formu için üç boyutlu optik taramalardan elde edilen en büyük form hata çıktıları frezeleme pozisyon açısına göre kesme kuvvetlerinin değişimi ile Şekil 6.2’de verilmiştir.



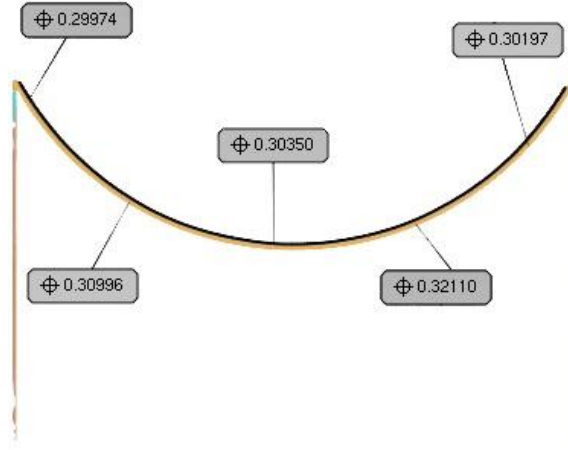
(a)



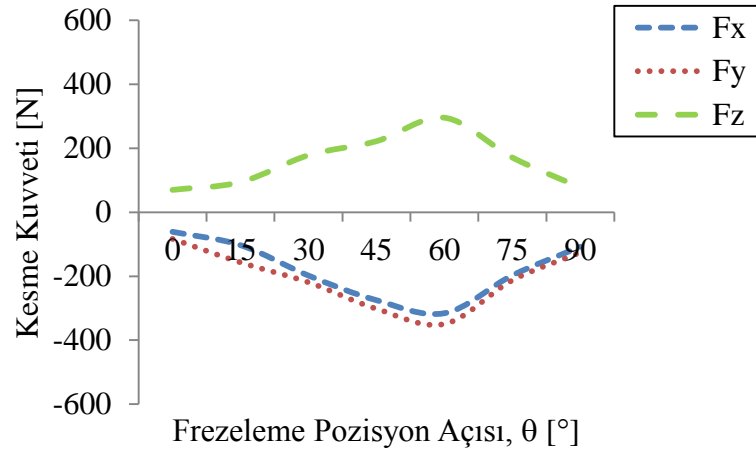
(b)

Şekil 6.2. İçbükey yüzey formunun; a) en büyük form hatası için frezeleme pozisyon açısına göre, b) kesme kuvvetlerinin değişimi.

İçbükey yüzey formunda en küçük form hata çıktılarının meydana geldiği ilgili deney için frezeleme pozisyon açısına göre kesme kuvvetlerinin değişimi ile Şekil 6.3'de verilmiştir.



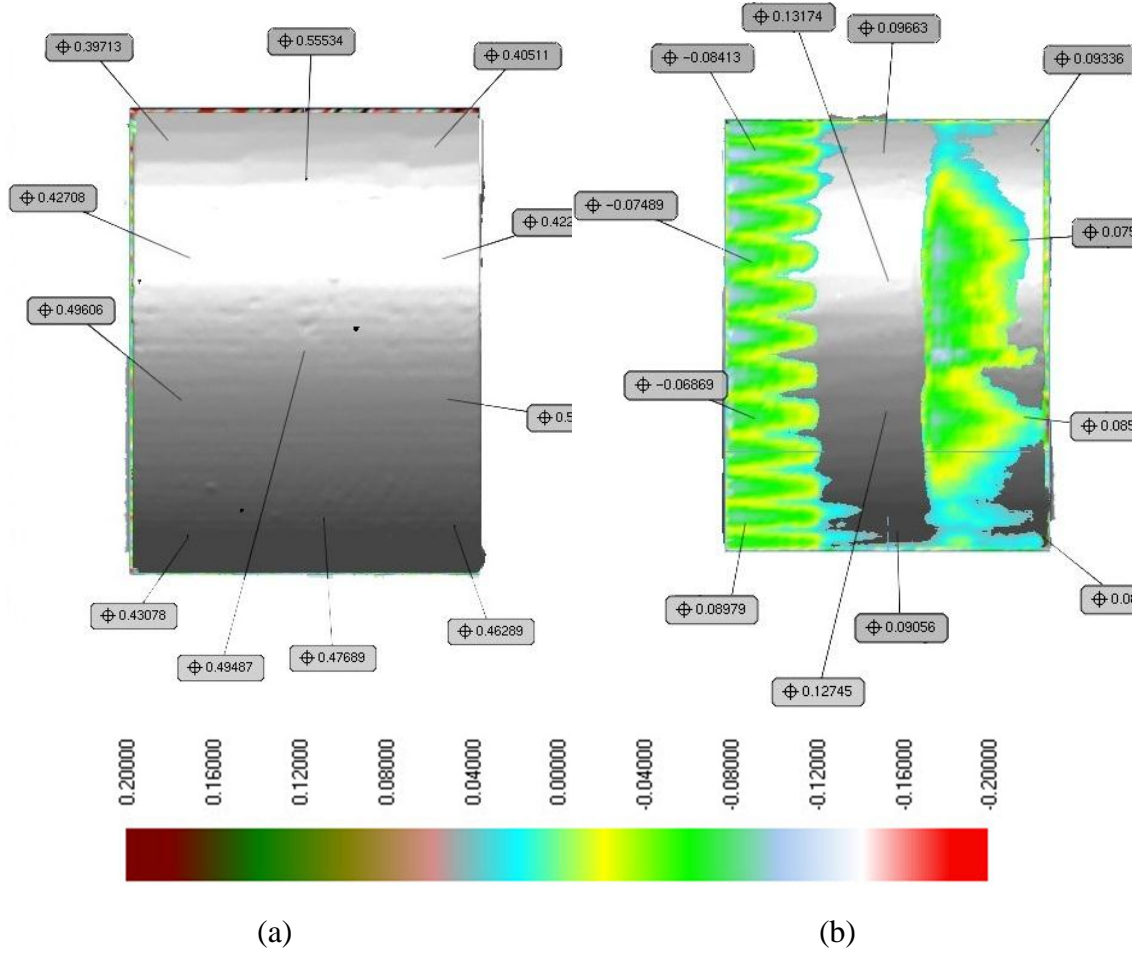
(a)



(b)

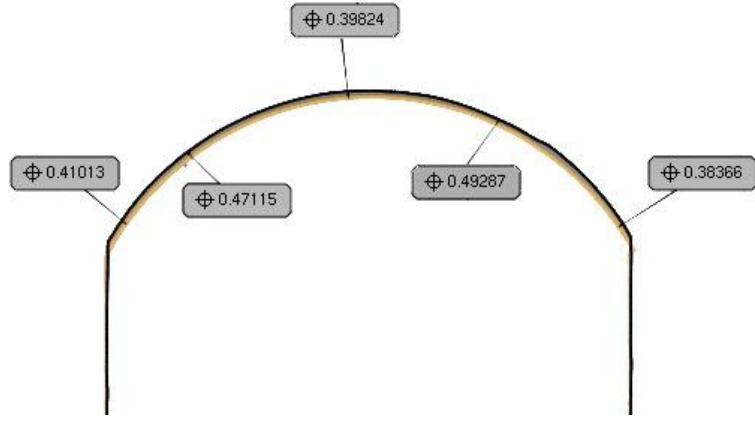
Şekil 6.3. İçbükey yüzey formunun; a) en küçük form hatası için frezeleme pozisyon açısına göre, b) kesme kuvvetlerinin değişimi.

Çizelge 6.1' de görüldüğü gibi dışbükey yüzey tipi için en büyük form hatası 0,555 mm ile Deney 10'da oluşmuştur. Deneysel ölçümlerden elde edilen en büyük sehim değeri (Çizelge 6.1) yine Deney 10'da form hatası ile aynı bölgede 0,461 mm oluşmuştur. En küçük form hatası 0,068 mm ile Deney 1'de oluşmuştur. Deneysel ölçümlerde ise 0,091 mm ile yine Deney 1'de oluşmuştur. Deney 10 ve Deney 1'e ait optik tarama görüntüleri sırasıyla Şekil 6.4 (a) ve 6.4 (b)'de verilmiştir.

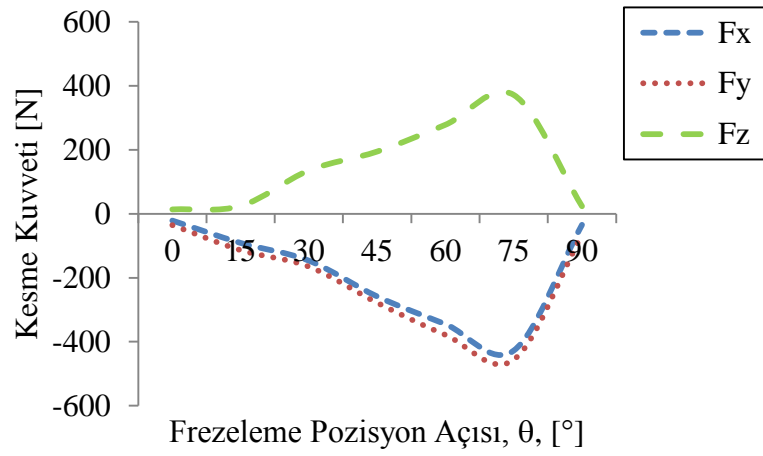


Şekil 6.4. Dışbükey yüzey form hataları; a) en büyük form hatası (Deney 10), b) en küçük form hatası (Deney 1).

Dışbükey yüzey formu için üç boyutlu optik taramalardan elde edilen en büyük form hata çıktıları frezeleme pozisyon açısına göre kesme kuvvetlerinin değişimi ile Şekil 6.5’ de verilmiştir.



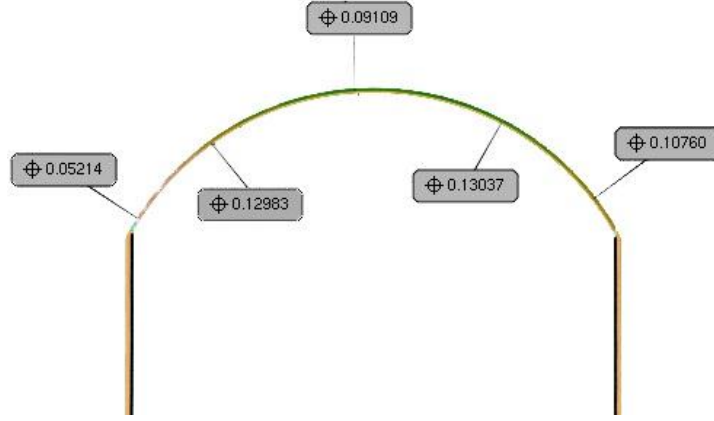
(a)



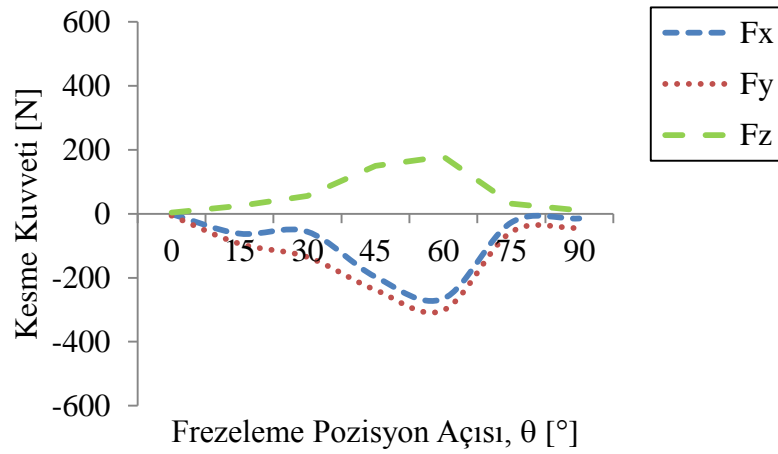
(b)

Şekil 6.5. Dışbükey yüzey formunun; a) en büyük form hatası için frezeleme pozisyon açısına göre, b) kesme kuvvetlerinin değişimi.

Dışbükey yüzey formunda en küçük form hata çıktılarının meydana geldiği ilgili deney için frezeleme pozisyon açısına göre kesme kuvvetlerinin değişimi ile Şekil 6.6' da verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 6.6. Dışbükey yüzey formunun; a) en küçük form hatası için frezeleme pozisyon açısına göre, b) kesme kuvvetlerinin değişimi.

Şekil 6.2, 6.3, 6.5 ve 6.6'dan görüldüğü gibi içbükey ve dışbükey numunelerin simetrik yarısı için frezeleme pozisyon açısının 45° - 60° aralığında en büyük kesme kuvvetleri ve form hata değerleri oluşmuştur. Kesici efektif çapın sifira yaklaştığı bölgelerde kesme kuvvetleri ve form hata değerleri azalmıştır. Takım temas uzunluğu efektif çapın büyüdüğü pozisyon açılarında büyümüş, bu durum kesme kuvvetlerini ve buna bağlı form hatalarını artırmıştır. Aynı zamanda içbükey yüzey formunda form hata değerleri çok daha büyük çıkmıştır.

6.2. İÇBÜKEY VE DIŞBÜKEY YÜZEY FORMU TiN KAPLAMA İÇİN FORM HATALARININ 3B OPTİK TARAMA İLE TESPİTİ

Her iki yüzey tipi için gerçekleştirilen 32 adet taramaya ait üç boyutlu form hataları tespit edilmiştir. Yapılan deneylerde meydana gelen en büyük ve en küçük form hata değerleri Çizelge 6.2' de verilmiştir.

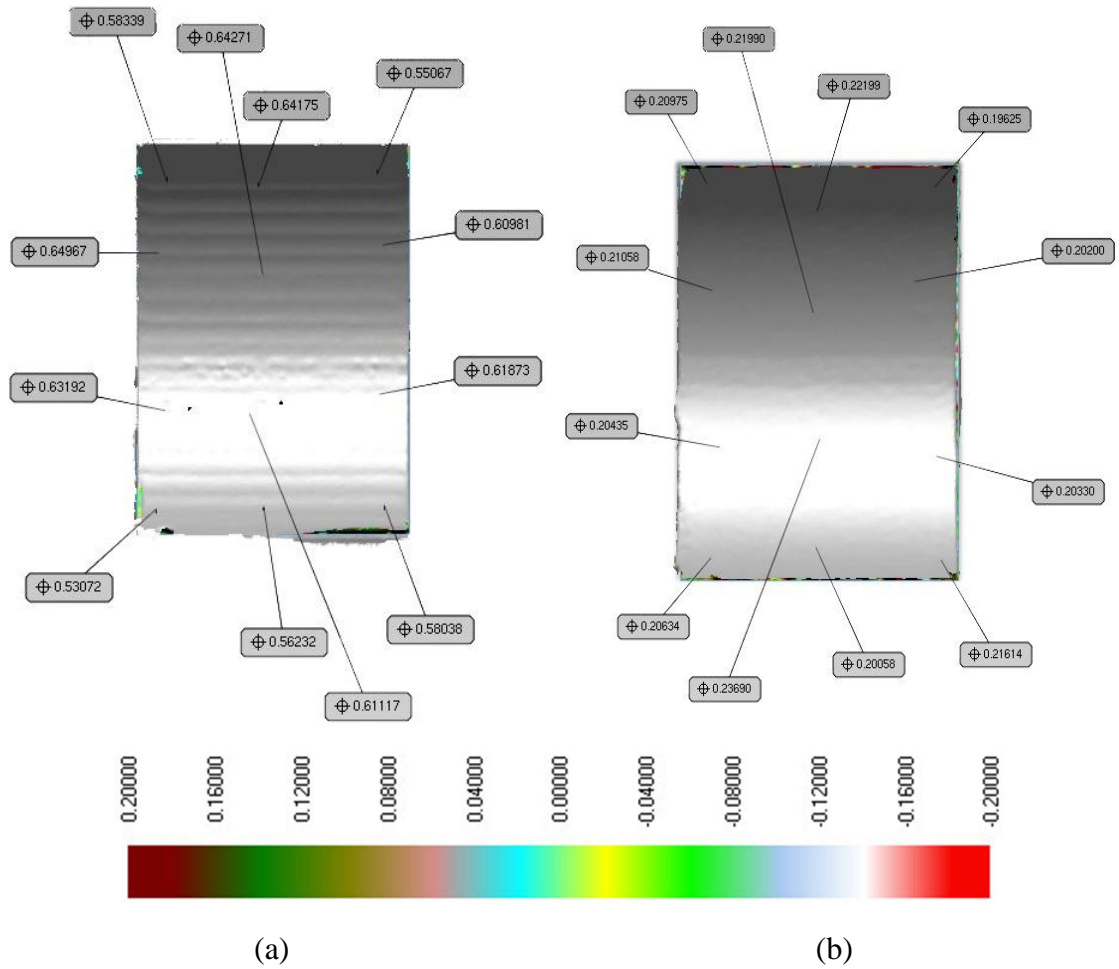
Çizelge 6.2. İçbükey ve dışbükey yüzey formu TiN kaplama için takım sehim ve form hata değerleri.

Deney No	Ölçüm Sonuçları					
	İçbükey Yüzey Formu			Dışbükey Yüzey Formu		
	Takım Sehimi δ [mm]	En Büyük Form Hata Değeri [mm]	En Küçük Form Hata Değeri [mm]	Takım Sehimi δ [mm]	En Büyük Form Hata Değeri [mm]	En Küçük Form Hata Değeri [mm]
1	0.228	0,236	0,196	0.080	0,120	0,067
2	0.302	0,482	0,388	0.232	0,246	0,179
3	0.511	0,524	0,426	0.283	0,304	0,240
4	0.617	0,649	0,562	0.341	0,339	0,267
5	0.391	0,434	0,383	0.162	0,161	0,132
6	0.290	0,371	0,362	0.181	0,256	0,193
7	0.522	0,555	0,454	0.296	0,292	0,257
8	0.528	0,562	0,533	0.290	0,319	0,271
9	0.410	0,471	0,382	0.199	0,258	0,196
10	0.503	0,552	0,489	0.345	0,447	0,383
11	0.286	0,341	0,288	0.171	0,188	0,135
12	0.429	0,447	0,378	0.212	0,283	0,231
13	0.547	0,614	0,525	0.185	0,299	0,172
14	0.376	0,432	0,354	0.199	0,239	0,208
15	0.316	0,332	0,322	0.181	0,196	0,173
16	0.265	0,301	0,265	0.152	0,162	0,129

Çizelge 6.2'de verilen içbükey ve dışbükey yüzey formları için kesme kuvveti ve sehim değerleri incelendiğinde TiC kaplamaya paralel olarak kuvvet değerinin artması ile buna bağlı takım sehim değerini artırdığı gözlemlenmiştir. İçbükey ve dışbükey yüzey formu için Deney No 1'de en küçük kesme hızı, ilerleme ve yanal adım değerinde en küçük kesme kuvveti ve takım sehim değeri oluşmuştur. İçbükey yüzey formunda ise Deney No 4 için en büyük kesme kuvveti ve takım

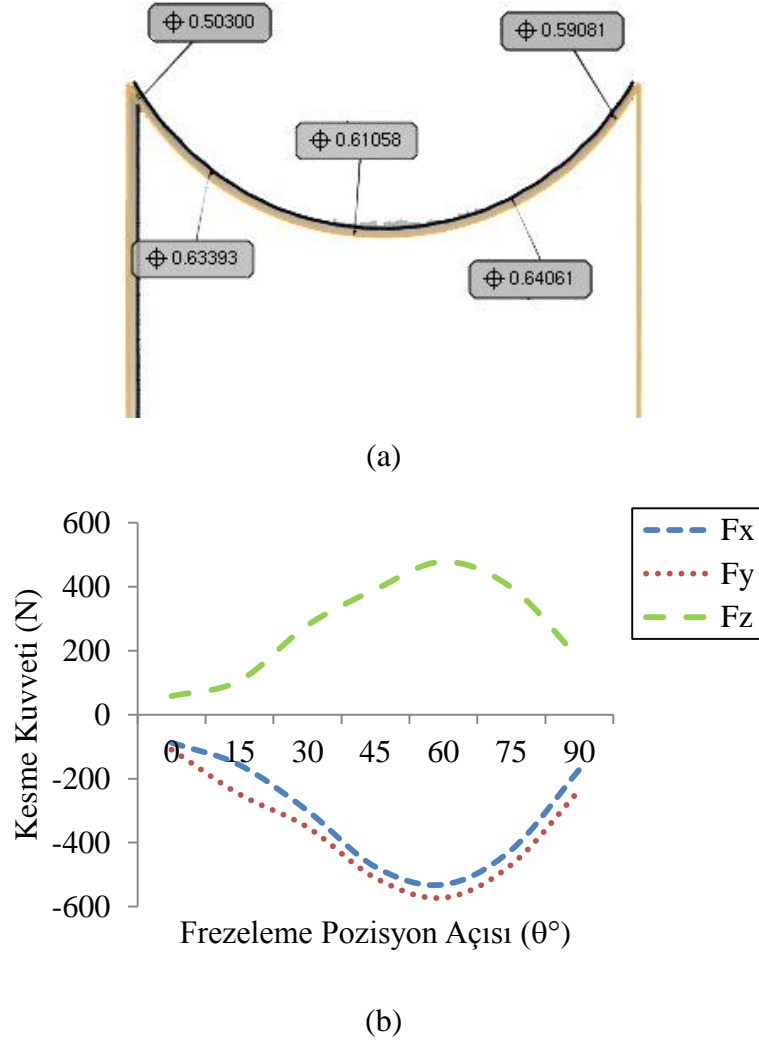
sehimi meydana gelmiştir. Dışbükey yüzey formunda Deney No 10 için en büyük kesme kuvveti ve takım sehimi meydana gelmiştir.

Çizelge 6.2'de görüldüğü gibi içbükey yüzey formu için en büyük form hatası 0,642 mm ile Deney 4'de oluşmuştur. Deneysel ölçümlerden elde edilen en büyük sehim değeri yine Deney 4'de (0,617 mm) aynı bölgede oluşmuştur. En küçük form hatası (0,196 mm) ile Deney 1'de oluşmuştur. Deneysel ölçümlerde ise 0,228 mm ile yine benzer bölge ile Deney 1'de oluşmuştur. Deney 4 ve Deney 1'e ait optik tarama görüntüleri sırasıyla Şekil 6.7 (a) ve 6.7 (b)'de verilmiştir.



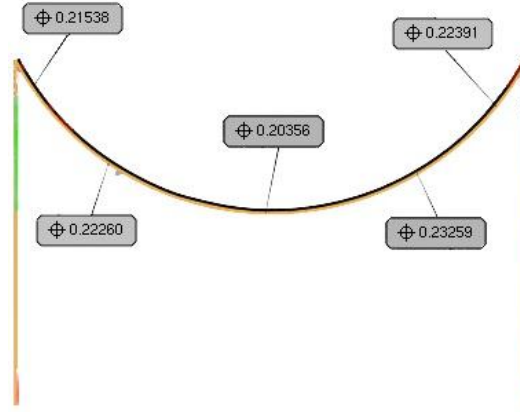
Şekil 6.7. İçbükey yüzey form hataları; a) en büyük form hatası (Deney 4), b) en küçük form hatası (Deney 1).

İçbükey yüzey formu için üç boyutlu optik taramalardan elde edilen en büyük form hata çıktıları frezeleme pozisyon açısına göre kesme kuvvetlerinin değişimi ile Şekil 6.8' de verilmiştir.

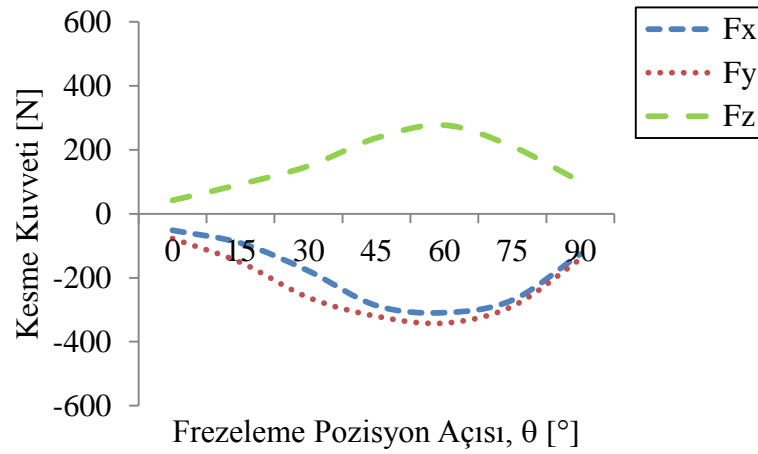


Şekil 6.8. İçbükey yüzey formunun; a) en büyük form hatası için frezeleme pozisyon açısına göre b) kesme kuvvetlerinin değişimi.

İçbükey yüzey formunda en küçük form hata çıktılarının meydana geldiği ilgili deney için frezeleme pozisyon açısına göre kesme kuvvetlerinin değişimi ile Şekil 6.9' da verilmiştir.



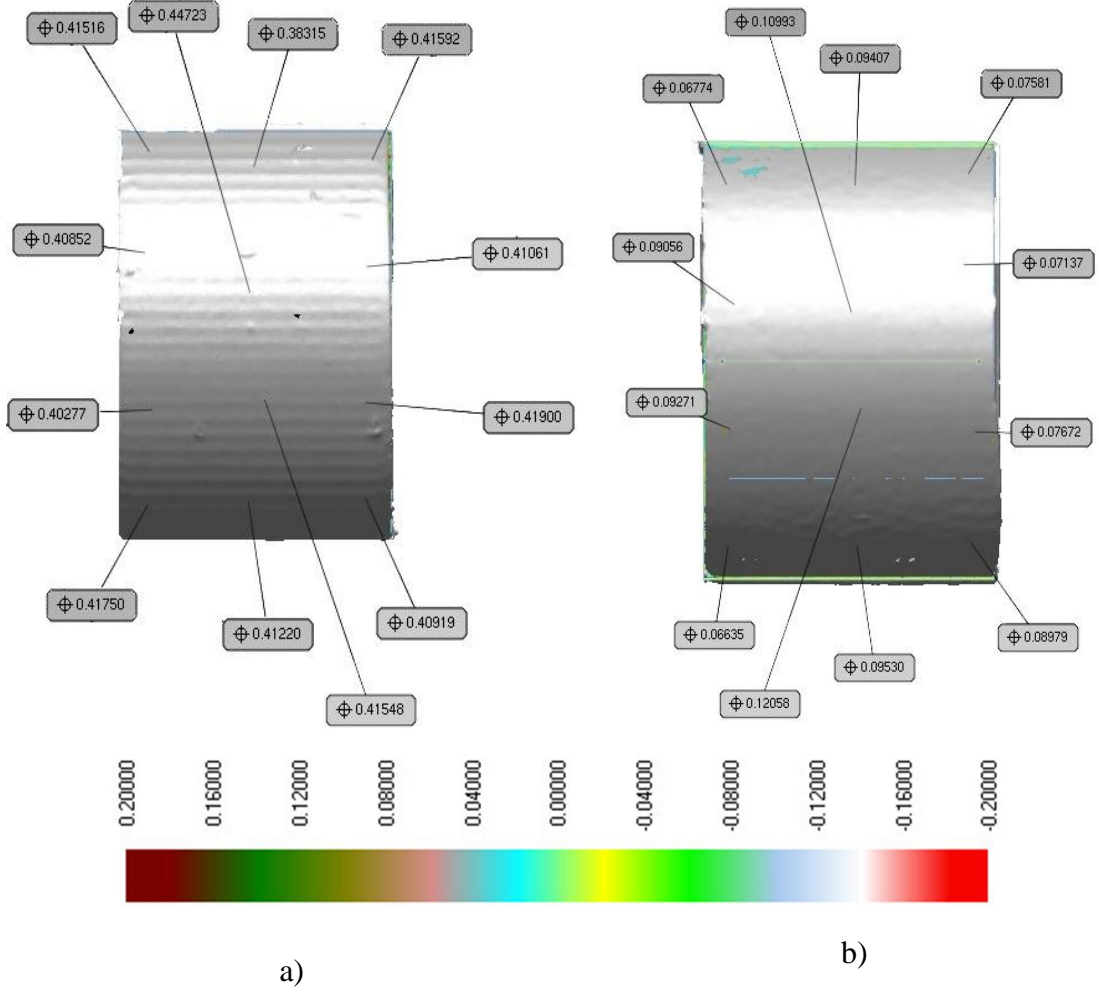
(a)



(b)

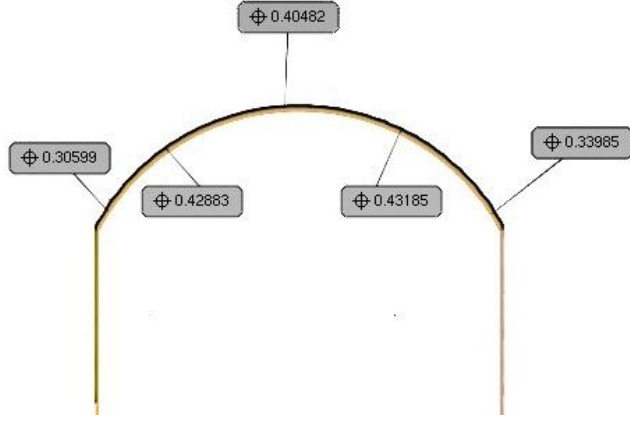
Şekil 6.9. İçbükey yüzey formunun; a) en küçük form hatası için frezeleme pozisyon açısına göre, b) kesme kuvvetlerinin değişimi.

Çizelge 6.2’ de görüldüğü gibi dışbükey yüzey tipi için en büyük form hatası 0,447 mm ile Deney 10’da oluşmuştur. Deneysel ölçümlerden elde edilen en büyük sehim değeri (Çizelge 6.2) yine Deney 10’da form hatası ile aynı bölgede 0,345 mm oluşmuştur. En küçük form hatası 0,067 mm ile Deney 1’de oluşmuştur. Deneysel ölçümlerde ise 0,080 mm ile yine Deney 1’de oluşmuştur. Deney 10 ve Deney 1’e ait optik tarama görüntüleri sırasıyla Şekil 6.10 (a) ve 6.10 (b)’de verilmiştir.

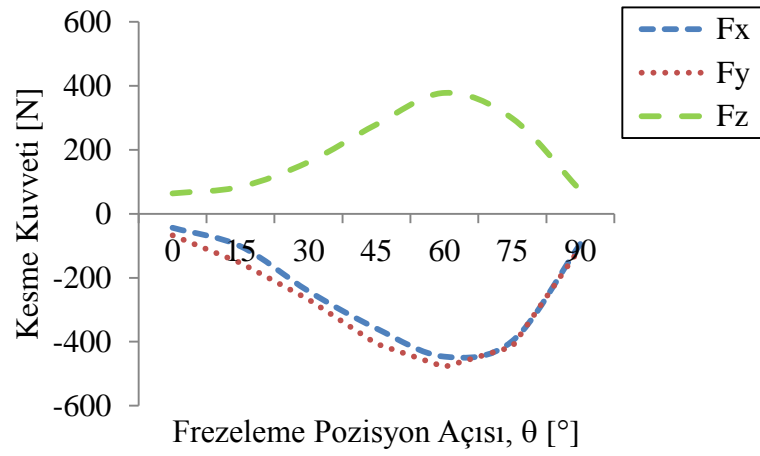


Şekil 6.10. Dışbükey yüzey form hataları; a) en büyük form hatası (Deney 10), b) en küçük form hatası (Deney 1).

Dışbükey yüzey formu için üç boyutlu optik taramalardan elde edilen en büyük form hata çıktıları frezeleme pozisyon açısına göre kesme kuvvetlerinin değişimi ile Şekil 6.11' de verilmiştir.



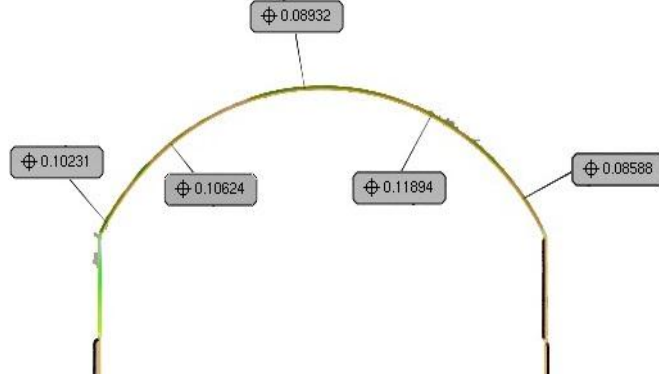
(a)



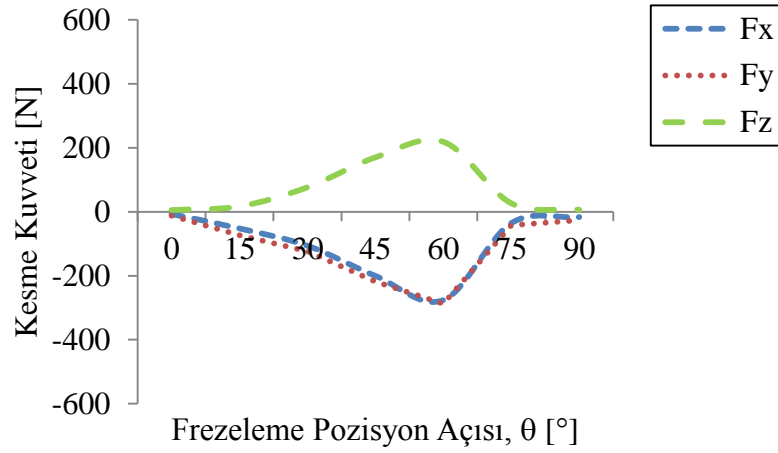
(b)

Şekil 6.11. Dışbükey yüzey formunun en büyük form hatası için frezeleme pozisyon açısına göre kesme kuvvetlerinin değişimi.

Dışbükey yüzey formunda en küçük form hata çıktılarının meydana geldiği ilgili deney için frezeleme pozisyon açısına göre kesme kuvvetlerinin değişimi ile Şekil 6.12' de verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 6.12. Dışbükey yüzey formunun; a) en küçük form hatası için frezeleme pozisyon açısına göre, b) kesme kuvvetlerinin değişimi.

Şekil 6.8, 6.9, 6.11 ve 6.12'den görüldüğü gibi içbükey ve dışbükey numunelerin frezeleme pozisyon açısının $45^\circ - 60^\circ$ aralığında en büyük kesme kuvvetleri ve form hata değerleri oluşmuştur. TiC kaplamaya paralel olarak kesici efektif çapın sifıra yaklaştığı bölgelerde kesme kuvvetleri ve form hata değerleri azalmıştır. Takım temas uzunluğu efektif çapın büyüdüğü pozisyon açılarında büyümüş, bu durum kesme kuvvetlerini ve buna bağlı form hatalarını artırmıştır. TiC kaplamaya göre daha büyük kesme kuvvetleri ve takım sehim değerleri oluşmuştur. Aynı şekilde form hata değerleri de TiC kaplamaya göre artış göstermiştir.

6.3. İÇBÜKEY VE DIŞBÜKEY YÜZEY FORMU TiAlN KAPLAMA İÇİN FORM HATALARININ 3B OPTİK TARAMA İLE TESPİTİ

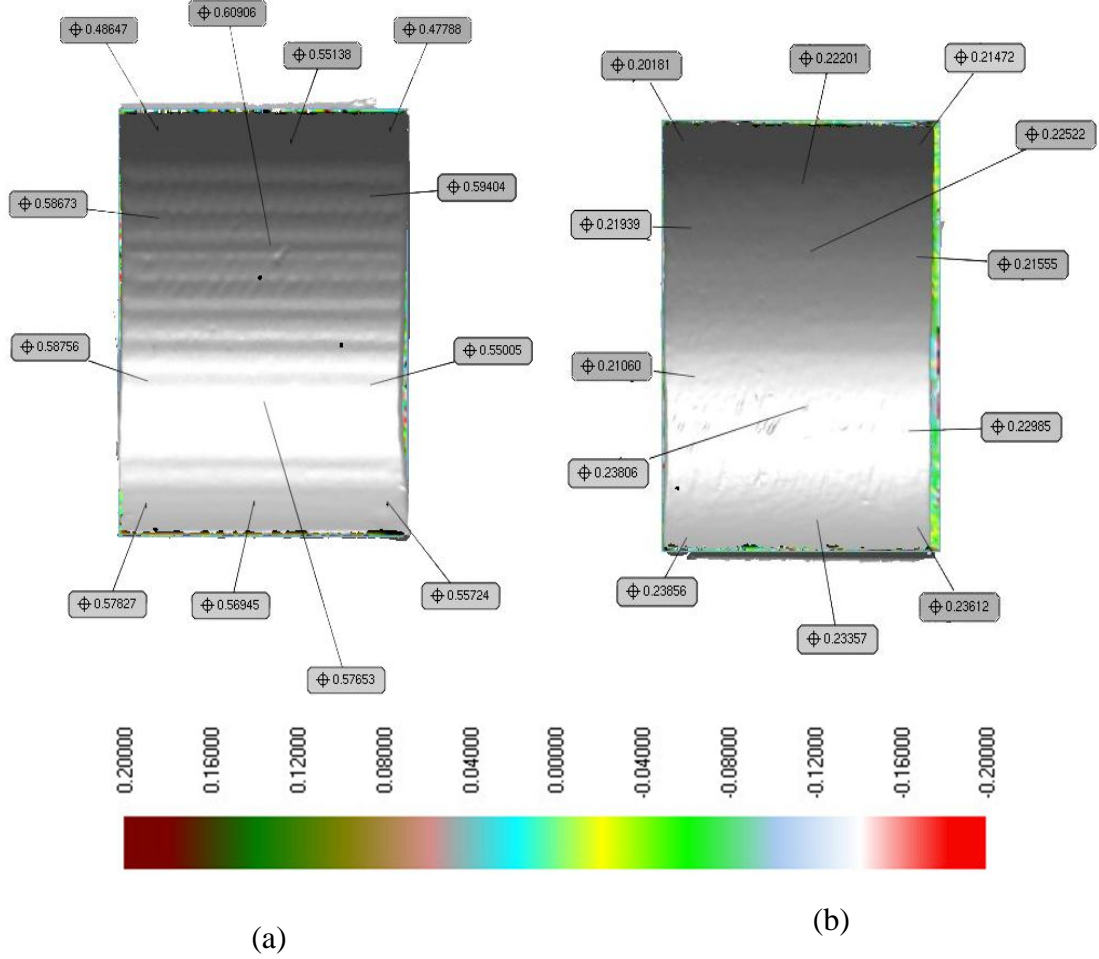
Her iki yüzey tipi için gerçekleştirilen 32 adet tarama ve her tarama için ilgili üç boyutlu form hataları tespit edilmiştir. Yapılan deneylerde meydana gelen en büyük ve en küçük form hata değerleri Çizelge 6.3’de verilmiştir.

Çizelge 6.3. İçbükey ve dışbükey yüzey formu TiAlN kaplama için takım sehimi ve form hata değerleri.

Deney No	Ölçüm Sonuçları					
	İçbükey Yüzey Formu			Dışbükey Yüzey Formu		
	Takım Sehimi δ [mm]	En Büyük Form Hata Değeri [mm]	En Küçük Form Hata Değeri [mm]	Takım Sehimi δ [mm]	En Büyük Form Hata Değeri [mm]	En Küçük Form Hata Değeri [mm]
1	0,23135	0,23856	0,20181	0,08140	0,09530	0,04599
2	0,40046	0,40599	0,33995	0,30010	0,30904	0,23217
3	0,49021	0,59545	0,45252	0,35350	0,34019	0,22840
4	0,57752	0,60906	0,47788	0,45010	0,46781	0,39374
5	0,42215	0,43079	0,39242	0,18600	0,24358	0,17521
6	0,29366	0,30384	0,25501	0,21010	0,27223	0,19020
7	0,48521	0,49345	0,43119	0,47030	0,48859	0,42350
8	0,50412	0,54496	0,49853	0,31420	0,28417	0,26329
9	0,39512	0,41238	0,38058	0,10020	0,11618	0,04602
10	0,49642	0,51448	0,46384	0,32140	0,31280	0,24748
11	0,39419	0,43251	0,32940	0,25330	0,29839	0,25143
12	0,29075	0,29084	0,20899	0,35210	0,34366	0,22688
13	0,45130	0,46853	0,37500	0,29120	0,30982	0,23750
14	0,30789	0,33268	0,26927	0,31060	0,31531	0,34535
15	0,29561	0,30640	0,27814	0,19234	0,18708	0,14385
16	0,28341	0,29202	0,25755	0,18343	0,17932	0,14968

Çizelge 6.3’ de verilen içbükey ve dışbükey yüzey formları için kesme kuvveti ve sehim değerleri incelendiğinde kuvvet değerinin artması ile buna bağlı takım sehim değerini artırdığı gözlemlenmiştir. İçbükey ve dışbükey yüzey formu için Deney No 1’de en küçük kesme hızı, ilerleme ve yanal adım değerinde en küçük kesme kuvveti ve takım sehimi değerleri oluşmuştur. İçbükey yüzey formunda ise Deney No 4 için en büyük kesme kuvveti ve takım sehimi meydana gelmiştir. Dışbükey yüzey formunda Deney No 7 için en büyük kesme kuvveti ve takım sehimi meydana gelmiştir.

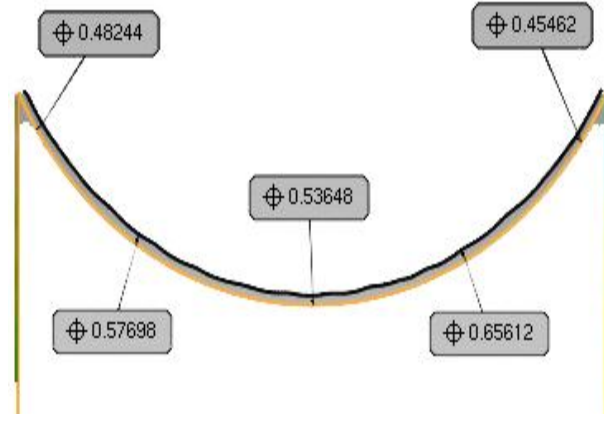
Çizelge 6.3' de verildiği gibi Deney 4 ve Deney 1'e ait optik tarama grafik sonuçları sırasıyla Şekil 6.13 (a) ve 6.13 (b)'de verilmiştir.



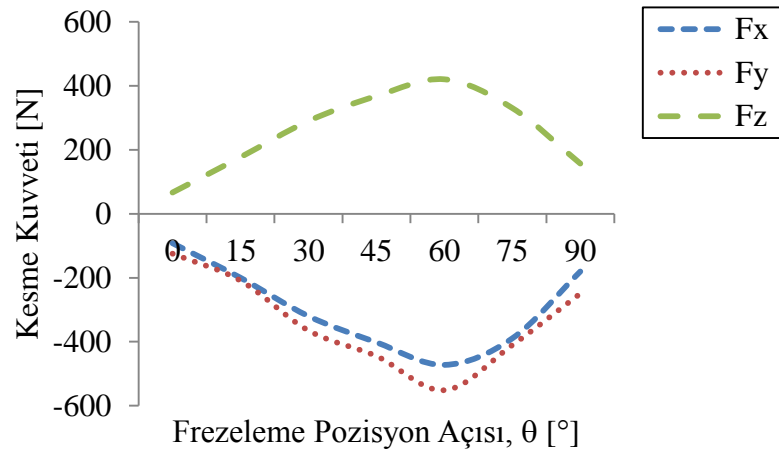
Şekil 6.13. İçbükey yüzey form hataları; a) en büyük form hatası (Deney 4), b) en küçük form hatası (Deney 1).

Çizelge 6.3' de görüldüğü gibi en büyük form hatası 0,60906 mm ile Deney 4'de oluşmuştur. Deneysel ölçümlerden elde edilen en büyük sehim değeri yine Deney 4'e form hatası ile aynı bölgede 0,57752 mm oluşmuştur. En küçük form hatası 0,20181 mm ile Deney 1'de oluşmuştur. Deneysel ölçümlerde ise 0,23135 mm ile yine Deney 1'de oluşmuştur.

İçbükey yüzey formu için üç boyutlu optik taramalardan elde edilen en büyük form hata çıktıkları frezeleme pozisyon açısına göre kesme kuvvetlerinin değişimi ile Şekil 6.14'de verilmiştir.



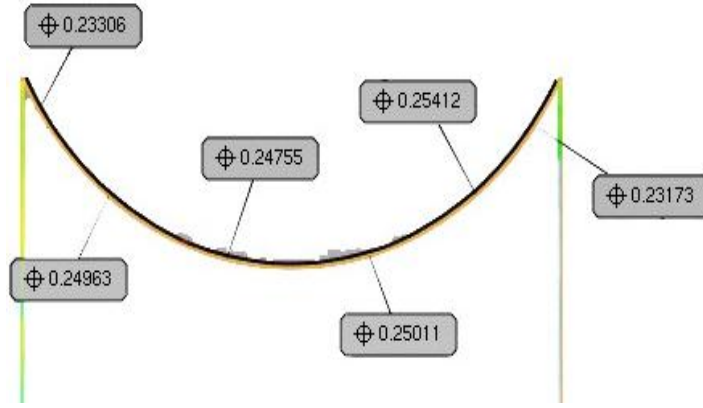
(a)



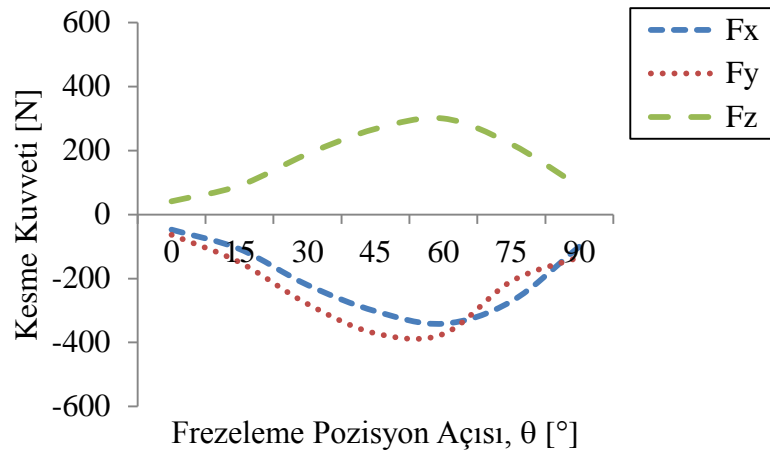
(b)

Şekil 6.14. İçbükey yüzey formunun; a) en büyük form hatası için frezeleme pozisyon açısına göre, b) kesme kuvvetlerinin değişimi.

İçbükey yüzey formunda en küçük form hata çıktılarının meydana geldiği ilgili deney için frezeleme pozisyon açısına göre kesme kuvvetlerinin değişimi ile Şekil 6.15'de verilmiştir.



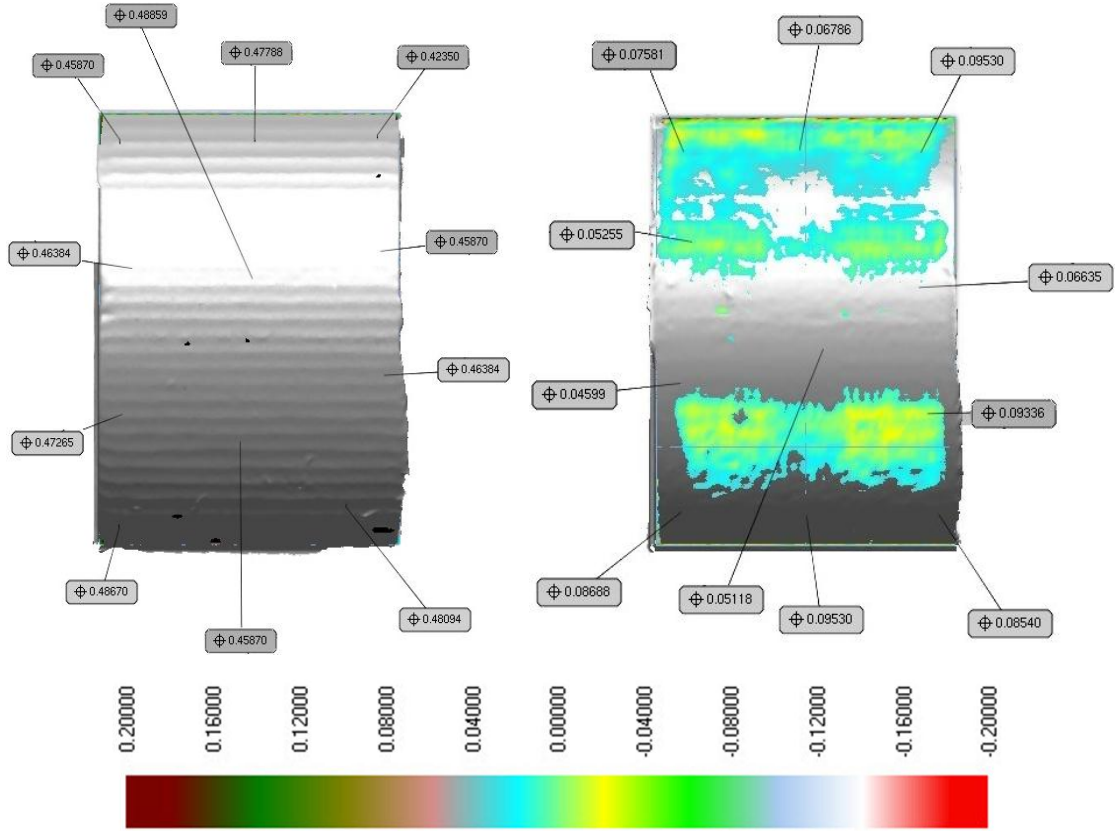
(a)



(b)

Şekil 6.15. Dışbükey yüzey formunun; a) en küçük form hatası için frezeleme pozisyon açısına göre, b) kesme kuvvetlerinin değişimi.

Çizelge 6.3' de görüldüğü gibi dışbükey yüzey formu için en büyük form hatası 0,48859 mm ile Deney 7'de oluşmuştur. Deneysel ölçümlerden elde edilen en büyük sehim değeri yine Deney 7'de (0,47030 mm) aynı bölgede oluşmuştur. En küçük form hatası Çizelge 6.3 'de görüldüğü gibi (0,04599 mm) ile Deney 1'de oluşmuştur. Deneysel ölçümlerde ise 0,03140 mm ile yine benzer bölge ile Deney 1'de oluşmuştur. Deney 7 ve Deney 1'e ait optik tarama grafik sonuçları sırasıyla Şekil 6.16 (a) ve 6.16 (b)'de verilmiştir.

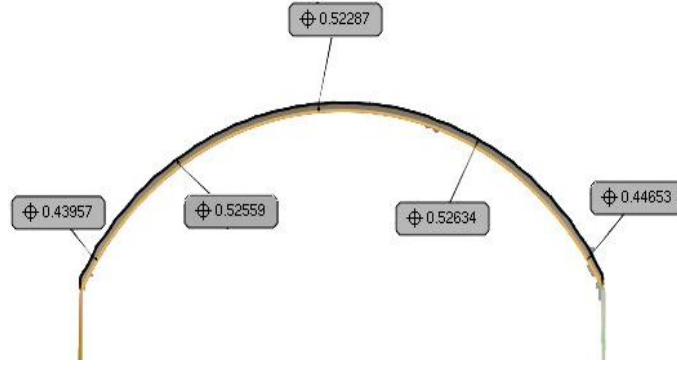


(a)

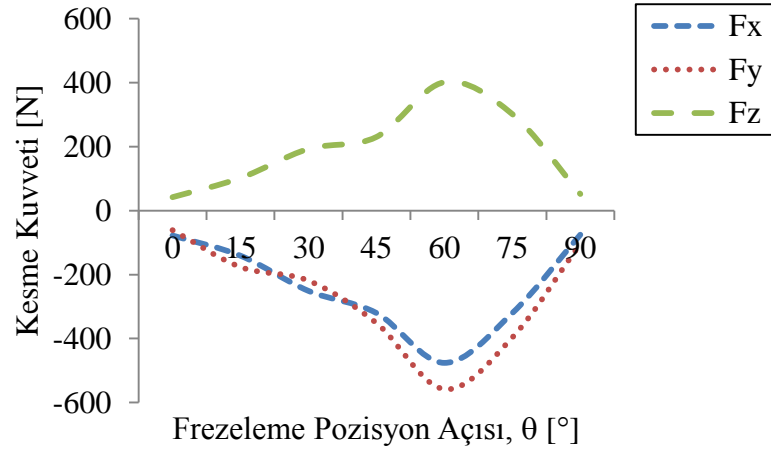
(b)

Şekil 6.16. Dışbükey yüzey form hataları; a) en büyük form hatası (Deney 7), b) en küçük form hatası (Deney 1).

Dışbükey yüzey formu için üç boyutlu optik taramalardan elde edilen en büyük form hata çıktıları frezeleme pozisyon açısına göre kesme kuvvetlerinin değişimi ile Şekil 6.17’de verilmiştir.



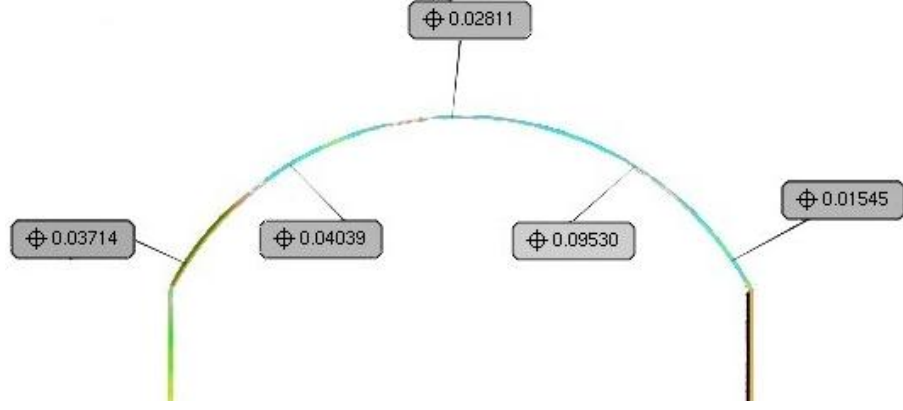
(a)



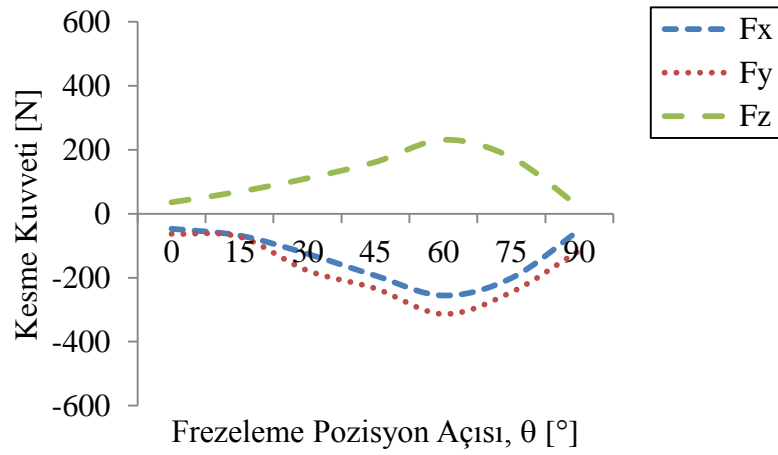
(b)

Şekil 6.17. Dışbükey yüzey formunun; a) en büyük form hatası için frezeleme pozisyon açısına göre, b) kesme kuvvetlerinin değişimi.

En küçük form hata çıktılarının meydana geldiği ilgili deney için frezeleme pozisyon açısına göre kesme kuvvetlerinin değişimi ile Şekil 6.18’de verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 6.18. Dışbükey yüzey formunun; a) en küçük form hatası için frezeleme pozisyon açısına göre, b) kesme kuvvetlerinin değişimi.

Şekil 6.14, 6.15, 6.17 ve 6.18'den görüldüğü gibi içbükey ve dışbükey numuneler içinde frezeleme pozisyon açısının $45^\circ - 60^\circ$ aralığında en büyük kesme kuvvetleri ve form hata değerleri oluşmuştur. Kesici efektif çapının sıfıra yaklaştığı bölgelerde kesme kuvvetleri ve form hata değerleri azalmıştır. TiAlN kaplama için elde edilen kesme kuvvetleri ve form hataları TiN kaplamanın kesme parametreleri daha büyük olduğu halde çok azda olsa küçük çıkmıştır. Çünkü TiAlN kaplamaların Al katkısı oksidasyon direncini artırmaktadır. TiN kaplamalar 550°C civarında okside olmaya başlarken, TiAlN kaplamalarda bu sıcaklık 800°C 'dir. TiC kaplamalarında oksidasyon direnci, TiN kaplamalara göre daha yüksektir. Bunun nedeni koruyucu bir amorf olan Al_2O_3 filminin oluşmasıdır. Yapılan araştırmalarda, Al ilave edilmiş, TiAlN ve TiC kaplamaların yüksek sıcaklıklarda oksidasyon dirençlerini test etmişler

ve Al ilave edilmiş, TiAlN ve TiC kaplamaların oksidasyon dirençlerinde kayda değer bir yükselmenin olduğu tespit edilmiştir. Buna bağlı takım aşınması ve benzeri mekanizmalar gecikmekte ve kesme kuvvetlerinin artışına engel olmaktadır.

6.4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölüm kapsamında gerçekleştirilen TiC, TiN, TiAlN kaplamalı kesiciler ile elde edilen, içbükey ve dışbükey yüzey formlarına ait, 96 adet yüzey 3B optik tarama sonuçları Ek Açıklamalar A' da verilmiştir.

- Form hatalarının tespitinde üç boyutlu optik tarama sonuçlarının, dinamik sehimi ölçümlerinden alınan sonuçlarla aynı bölgelerde olduğu ortaya konulmuştur.
- Dışbükey yüzey formlarının işlenmesi takım sehimi ve form hataları açısından yüksek doğruluğa sahip çıkmıştır.
- Dışbükey ve içbükey yüzey formu için zıt yönlü frezeleme tekniğinde takım sehimi ve buna bağlı form hata değerleri, aynı yönlü frezelemeye göre yüksek çıkmıştır. Nedeni ise hem yüzeyin formu hem de takımın az talaştan çok talaşa doğru girmesi, kesme kuvvetlerini artırmış ve takım boyunun uzun olmasından dolayı tırlama titreşimi oluşturmuştur. Aynı zamanda yapılan çalışmalarda, aynı yönlü frezeleme tekniğinde daha az kesme kuvveti olduğu vurgulanmıştır. Kesme kuvvetlerinin düşük olması takım sehiminin azalmasını sağlamıştır.
- Kesme tarzı olarak kontur operasyonları takım sehimi ve buna bağlı form hataları açısından küçük çıkmıştır. Çünkü kontur operasyonları kavis eksenine paralel ve kısa süreli işlemeyi içermektedir. Yapılan çalışmalarda, kavis eksenine paralel çalışmaların talaşın kesme bölgesinden kolay uzaklaştırılmasını sağladığı vurgulanmıştır.
- Eğimli yüzey üzerinde takım frezeleme pozisyonu arttıkça takım sehimi ve buna bağlı form hatasının arttığı görülmüştür. 45°-60° frezeleme pozisyon açısı aralığında en büyük form hataları oluşmuş, takım efektif çapının sıfır olduğu noktalara doğru azalmıştır. Efektif çapın sıfır olduğu noktalarda kesici takım temas uzunluğu azalmış ve kesme kuvvetlerini azaltmıştır.
- TiN kaplama kesme kuvvetleri, takım sehimi değerleri ve form hataları açısından az da olsa büyük çıkmıştır. Çünkü TiC ve TiAlN kaplamalarda koruyucu bir

amorf olan Al_2O_3 filminin oluşması takım deformasyon mekanizmalarını geciktirmiştir. Buna bağlı kesme kuvvetleri ve form hata değerleri azalmıştır.

BÖLÜM 7

SONUÇ VE ÖNERİLER

7.1. SONUÇLAR

Bu çalışmada, küresel parmak freze ile içbükey ve dışbükey yüzeylerin frezelenmesinde kesme kuvvetleri ve takım sehimi kaynaklı form hatalarının değerlendirilmesi ile akustik ses basıncına bağlı yüzey pürüzlülüğünün tahmini için deneyler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca tüm kesme kombinasyonları için kesme parametrelerinin ve takım yolu tarzlarının form hatasının başlıca sebebi olan kesici sehimi üzerindeki etkilerini araştırmak amacı ile endüktif mesafe sensörleri kullanılarak sehim ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Sehim ölçümlerinin etkinliğini doğrulamak amacı ile deneyler sonrasında ortaya çıkan parçaların form ölçümleri optik tarama ile yapılarak, deneysel ve nümerik sistemlerden elde edilenlerle kıyaslaması sağlanmıştır. Yapılan detaylandırılmış ön çalışmalar ile bu alandaki verimliliklerin artırılmasındaki etken parametreler belirlenmiştir. Eğimli yüzeylerin küresel parmak frezelenmesinde oluşan şekil hatalarını, kesme kuvvetlerini ve yüzey pürüzlülüğünü araştırmak için Taguchi metodu kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışma neticesinde elde edilen dataların istatistiksel analizinde Minitab paket programı kullanılmıştır. Talaş kaldırma sürecinin eniyilenmesi ve optimizasyonu açısından sistem çıkışları ve onlara etki eden en önemli parametreler ile ilgili şu sonuçlara ulaşılmıştır;

Kesme kuvvetleri kaynaklı takım sehimi ile ilgili sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Taguchi optimizasyon yöntemi kullanılarak yapılan analizde hem kesme kuvvetleri hem de takım sehimi oluşumunda en etkili parametre Yanal Adımdır. Kuvvetler ve takım sehimini etkileyen bir sonraki parametre ise ilerleme hızıdır.

- İçbükey ve dışbükey yüzey tipi TiC, TiN, TiAlN kaplama türleri için kesme hızı arttıkça genel olarak kesme kuvvetleri ve takım sehimi değerleri azalmıştır. Çünkü kesme hızlarındaki düşüş takımın asıl kesici kenarı üzerindeki deformasyonları (talaş birikmesi vb.) artırmakta ve kesici takım parça temas uzunluğunu artırmaktadır. Uzun temas mesafesi takım talaş yüzeyindeki sürtünme kuvvetini artırarak kesme kuvvetlerinin artışına sebep olmaktadır. Yanal adım ve ilerleme tarafından oluşturulan talaş kesit alanı, kesme kuvvetlerini belirleyen en önemli faktördür. Elde edilen verilere göre yanal adım ve ilerleme değeri arttıkça, kesme kuvvetleri ve takım sehimi artmaktadır. Bunun sebebi olarak, yanal adım ve ilerlemeye bağlı talaş kesitindeki artış gösterilebilir.
- Dışbükey yüzey tipinde talaş kesme bölgesinden kolaylıkla atılabildiği için kesme kuvvetleri ve takım sehimi açısından yüksek doğruluğa sahip çıkmıştır.
- Aynı yönlü frezeleme tekniğinde her iki yüzey tipi için kesme kuvvetleri ve takım sehim değerleri küçük çıkmıştır. Çünkü ilgili kesme tekniğinde kesici takım çok talaştan az talaşa doğru hareket etmekte ve buna bağlı kesme kuvveti değerleri azalmaktadır.
- Kontur takım yolu tarzı kavis eksenine paralel ve kısa süreli işlemeyi içerdiği için kesme kuvvetleri ve takım sehimi açısından küçük çıkmıştır.
- Varyans analizlerine göre bütün kesme parametreleri, kesme kuvvetleri ve takım sehim değerleri üzerine önmeli etkiye sahip bulunmuştur ($P<0.05$).
- Optimal şartlar için gerçekleştirilen doğrulama deneylerinde dışbükey yüzey tipi TiC, TiN ve TiAlN kaplamalar için elde edilen doğrulama deney sonuçları tahmin değerlerinden çok daha iyi çıkmıştır. İçbükey yüzey tipi için üç kaplama türünde de doğrulama deney ıktıları tahmin değerlerinden büyük çıkmıştır. Bunun sebebi, içbükey yüzey tipinde talaşın kesme bölgesinden rahat atılamaması, talaş sıkışmasına sebebiyet vermiştir. Bu nedenle kesme kuvveti ve takım sehimi değerleri artış göstermiştir.
- Güven aralığını belirlemek için hesaplar bütün yüzey tipleri ve takım kaplamalarının optimal faktör ayarları için yapılmış ve sonuçlar güvenli olarak doğrulanmıştır.

Akustik ses basınç seviyesine bağlı yüzey pürüzlülüğünün tespiti ile ilgili sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Deneysel çalışmada ses basınç seviyesinin incelenmesi kesme şartlarının etkilerinin belirlenmesinde pratik ve faydalı bir metot olduğunu göstermiştir.
- Yüzey pürüzlülüğü gibi optimum işlenebilirliğin vazgeçilmez unsurunun ses basınç seviyesi ile tespit edilebildiği ortaya konulmuştur.
- Dışbükey yüzey tipine nazaran içbükey yüzey tipinin işlenmesinde akustik ses basınç seviyesi daha küçük elde edilmiştir. Çünkü dışbükey yüzey tipinde mikrofona çok daha rahat ses ulaşılabilir. İçbükey yüzey tipinde ise takımın parça içinde çalışması mikrofona sesin rahat gelmesine engel olmuştur.
- Bütün kaplamalar dikkate alındığında dışbükey yüzey için en büyük akustik ses basınç seviyesi değerleri TiN kaplama için Deney 10 ve 13'te sırasıyla 111,9 dB ve 113,4 dB oluşmuştur. Bunun sebebi ise küresel parmak frezenin eğimli yüzeyde daha kısa kesme kenarı ile talaş kaldırmasıdır ve bu tırlama titreşiminin meydana gelmesine neden olmuştur.
- Akustik ses basınç değerleri içbükey yüzey tipinde büyük çıkmıştır. Çünkü eğimli yüzey içinde küresel parmak frezenin daha uzun kesme kenarı ile parçaya temas etmektedir.
- Takım kaplamaları dikkate alınmaksızın içbükey yüzey tipinde yüzey pürüzlülüğü değerleri dışbükey yüzey tipine nazaran daha büyük çıkmıştır.
- Akustik ses basınç seviyesi ve yüzey pürüzlülüğü değerlendirildiğinde ilerleme ve yanal adım parametrelerinin büyümesi takım kaplaması ve yüzey formuna bağımlı olmadan akustik ses basınç seviyesi ve yüzey pürüzlülüğü değerlerini artırmıştır.
- Takım kaplamasının Ra değerleri üzerine etkisi incelendiğinde; deneylerde düşük kesme hızlarında TiAlN kaplamanın daha iyi performans sergilediği, ilerleme ve yanal adım değerleri arttığında takım kaplamasına bağlı olmaksızın Ra değerlerinin arttığı görülmüştür.
- Her iki yüzey tipi için zıt yönlü frezeleme tekniğinde akustik ses basınç seviyesi ve yüzey pürüzlülüğü değerleri aynı yönlü frezelemeye göre yüksek çıkmıştır. Nedeni ise takımın az talaştan çok talaşa doğru girmesi kesme

kuvvetlerini dolayısıyla Ra değerlerini artırmış ve takım boyunun uzun olmasından dolayı tırlama titreşimi oluşturmuştur.

Takım sehimi kaynaklı form hatalarının 3D optik tarama ile bulunmasını içeren sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Form hatlarının tespitinde üç boyutlu optik tarama sistemlerinin, dinamik sehim ölçümlerinden alınan sonuçlarla aynı bölgelerde olduğu ortaya konulmuştur.
- İçbükey yüzey tipinin işlenmesi, takım sehimi ve form hataları açısından daha büyük çıkmıştır.
- İçbükey ve dışbükey yüzey tipi için zıt yönlü frezeleme tekniğinde takım sehimi ve buna bağlı form hata değerleri yüksek çıkmıştır. Nedeni ise hem yüzeyin formu hem de takımın az talaştan çok talaşa doğru girmesi kesme kuvvetlerini artırmış ve takım boyunun uzun olmasından dolayı tırlama titreşimi oluşturmuştur.
- Kontur takım yolu tarzı takım sehimi ve buna bağlı form hataları açısından küçük çıkmıştır. Çünkü kontur operasyonları kavis eksenine paralel ve kısa süreli işlemeyi içermektedir.
- Eğimli yüzey üzerinde takım frezeleme pozisyonu arttıkça takım sehimi ve buna bağlı form hatasının arttığı görülmüştür. 45°-60° frezeleme pozisyon açısı aralığında en büyük form hataları oluşmuş, takım efektif çapının sıfır olduğu noktalara doğru azalmıştır. Efektif çapın sıfır olduğu noktalarda kesici takım temas uzunluğu azalmış ve kesme kuvvetlerini azaltmıştır.
- İşleme sonrası yapılan nümerik kalıntı malzeme analizinde elde edilen form hata bölgeleri ile 3B optik tarama deneysel ölçümlerinden elde edilen form hata bölgeleri aynı çıkmıştır.
- TiN kaplama kesme kuvvetleri, takım sehimi değerleri ve form hataları açısından az da olsa büyük çıkmıştır. Çünkü TiC ve TiAlN kaplamalarda koruyucu bir amorf olan Al₂O₃ filminin oluşması takım deformasyon mekanizmalarını geciktirmiştir. Buna bağlı kesme kuvvetleri ve form hata değerleri azalmıştır.

7.2. ÖNERİLER

Bu çalışmada eğimli yüzeylerin küresel parmak frezelenmesinde kesme parametrelerinin ve takım yolu tarzlarının işlenen yüzeyin form doğruluğu üzerine etkileri, kesme kuvvetlerinin ve takım sehiminin deneysel analizi yolu ile araştırılmıştır. Ayrıca yüzey pürüzlülüğünün akustik ses basınç seviyesi ile tahmini ortaya konulmuştur. Elde edilen sonuçlar, hem bu konuda ihtisas yapan araştırmacılar hem de imalat sanayiinde süreç tasarımcısı ve kontrolcülerini için faydalı olacaktır. Aynı zamanda doğru öngöründe bulunmalarına yardımcı olacaktır.

Çalışmalar esnasında farkına varılmıştır ki; farklı kesme parametrelerini içeren talaş şekilleri incelenmesi gereken bir durum olarak görülmektedir. İmalat sürecinde işlenen malzemeden ayrılan talaş şekilleri incelenerek, özellikle yüzey pürüzlülüğü ölçülemeyen eğimli ve serbest yüzeyli geometrilerin pürüzlülük değerlerinin belirlenmesi açısından önemlidir. Bu veriler yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi açısından kullanılabilir.

Çalışmada, kurulan dinamik sehim ölçüm sistemine ek eş zamanlı yüzey form doğruluğunu ve yüzey pürüzlülüğünü dolaylı olarak tespit edebilen sistemler geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

1. Köksal, S., “Face milling of nickel-based superalloys with coated and uncoated carbide tools”, PhD Thesis, *Coventry University School of Engineering*, England, Coventry, 250-287 (2000).
2. Shaw, M. C., “Metal Cutting Principles 2nd Edition”, *Oxford University Press*, Oxford, 102-110 (2005).
3. Şeker, U., Kurt, A. and Çiftçi, İ., “The effect of feed rate on cutting forces when machining with linear motion”, *Journal of Materials Processing Technology* 146: 403-407 (2004).
4. Şeker, U., Çiftçi, İ. and Hasırcı, H., “The effect of alloying elements on surface roughness and cutting forces during machining of ductile iron”, *Materials & Design*, 24: 47-51 (2003).
5. Trent, E. M. and Wright, P., “Metal Cutting 4th Edition”, *Butterworths Press*, London, 278-291 (2000).
6. Zhou, J. M., Andersson, M. and Ståhl, J. E., “Identification of cutting errors in precision hard turning process”, *Journal of Materials Processing Technology*, 153–154: 746-750 (2004).
7. Abrari, F. and Elbestawi, M. A., “Closed form formulation of cutting forces for Ball and flat end mills”, *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, 33: 17-27: (1997).
8. Huang, T. and Whitehouse, D. J., “Cutting force formulation of taper end mills using differential geometry”, *Precision Engineering*, 23: 196-203 (1999).
9. Li, X. P., Nee, A. Y. C., Wong, Y. S. and Zheng, H. Q., “Theoretical modelling and simulation of milling forces”, *Journal of Materials Processing Technology*, 89-90: 266-272 (1999).
10. Lazoğlu, İ., “Sculpture surface machining: a generalized model of ball-end milling force system”, *Journal of Machine Tools & Manufacture*, 43: 453-462 (2003).
11. Milfelner, M. and Cus, F., “Simulation of cutting forces in ball-end milling”, *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 19: 99-106 (2003).
12. Li, X. P. and Li, H. Z., “Theoretical modelling of cutting forces in helical end milling with cutter runout”, *International Journal of Mechanical Sciences*, 46: 1399-1414 (2004).

13. Yuwen, S., Fei, R., Dongming, G. and Zhenyuan, J., "Estimation and experimental validation of cutting forces in ball-end milling of sculptured surfaces", *International Journal Of Machine Tools & Manufacture*, 49: 1238–1244 (2009).
14. Fontaine, M., Moufki, A., Devillez, A. and Dudzinski, D., "Modeling of cutting forces in ball-end milling with tool-surface inclination: part II. influence of cutting conditions, run-out, ploughing and inclination angle", *Journal of Materials Processing*, 40: 1557-1572 (2000).
15. Gyu, M. K. and Chong, N. C., "Mean cutting force prediction in ball-end milling using force map method", *Journal Of Materials Processing Technology*, 146: 303-310 (2004).
16. Naserian, R. S., Sadeghi, M.H. and Haghghat, H., "Static rigid force model for 3 axis ball end milling of sculptured surfaces", *Machine Tools & Manufacture*, 47: 785-792 (2007).
17. Kim, G. M., Kim, B. H. and Chu, C. N., "Estimation of cutter deflection and form error in ball end milling processes", *Machine Tools & Manufacture*, 43: 917-924 (2003).
18. Fontaine, M., Moufki, A., Devillez, A. and Dudzinski, D., "Predictive force model for ball-end milling and experimental validation with a wavelike form machining test", *International Journal Of Machine Tools & Manufacture*, 46: 367-380 (2006).
19. Said, M., Sai, K. and Said, W. B., "An investigation of cutting forces in machining with worn ball-end mill", *Journal of Materials Processing Technology*, 209: 24-33 (2008).
20. Lamikiz, J. A., Lopez De Lacalle, L. N., Sanchez, A. and Salgado, M. A., "Cutting force estimation in sculptured milling", *International Journal Of Machine Tools & Manufacture*, 44: 1511-1526 (2004).
21. Fontaine, M., Moufki, A., Devillez, A. and Dudzinski, D., "Modelling of cutting forces in ball end milling with tool surface inclination Part I: Predictive force model and experimental validation", *Journal of Materials Processing Technology*, 189: 73-84 (2007).
22. Lacalle, L. N. L., Lamikiz, A., Sanchez, J. A. and Salgado, M. A., "Estimation of cutting forces in the ball end machining of complex surfaces", *Int J Adv Manuf Technol.*, 44: 1511-22 (2004).
23. Erdim, H., Lazoğlu, I. and Kaymakçı, M., "Free-form surface machining and comparing feedrate scheduling strategies", *Machining Science And Technology*, 11: 117-133 (2007).

24. Li, Z., Z., Zhang, Z. and Zhengl, H., "Feedrate optimization for variant milling process based on cutting force prediction", *Int. j. Adv. Manuf. Technology*, 24: 541-552 (2004).
25. Erdim, H., Lazoğlu, I. and Ozturk, B., "Feedrate scheduling strategies for free-form surfaces", *International Journal Of Machine Tools & Manufacture*, 46: 747-757 (2006).
26. Toh, C. K., "A Study of the effects of cutter path strategies and orientations in milling", *Journal Of Materials Processing Technology*, 152: 346-356 (2004).
27. Öztürk, B. and Lazoğlu, İ., "Machining of free-form surfaces. Part I: analytical chip load", *Journal of Machine Tools & Manufacture*, 46: 728-735 (2006).
28. Ramos, A. M., Relvas, C. and Simoes, J. A., "The influence of finishing milling strategies on texture, roughness and dimensional on the machining of complex surfaces", *Journal Of Materials Processing Technology*, 136: 209-216 (2003).
29. Hu, J., Shen, H., Shuishen, Z. and Wang, Y., "B spline tool offset of a free-form curve in the shoe last high speed machining", *Int j. Adv. Manuf. Technology*, 30: 864-869 (2006).
30. De Souza, A. F. and Coelho, R. T., "Experimental investigation of feed rate limitations on high speed milling aimed at industrial applications", *Int j. Adv. Manuf. Technology*, 43: 4989-4998 (2005).
31. Chen, J., Huang, Y. and Chen, M., "Feedrate optimization and tool profile modification for the high efficiency ball-end milling process", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 45: 1070-1076 (2005).
32. Toh, C. K., "Surface topography analysis in high speed finish milling inclined hardened steel", *Precision Engineering*, 28: 386-398 (2004).
33. Toh, C. K., "Vibration analysis in high speed rough and finish milling hardened steel", *Journal of Sound and Vibration*, 278: 101-115 (2004).
34. Lazoglu, I., Manav, C. and Murtezaoglu, Y., "Tool path optimization for free form surface machining", *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 58: 101-104 (2009).
35. Helleno, A. and Schutzer, K., "Investigation of tool path interpolation on the manufacturing of die and molds with hsc technology", *Journal Of Materials Processing Technology*, 179: 178-184 (2006).
36. Sun, G. and Wright, P., "Simulation based cutting parameter selection for ball end milling", *Journal of Manufacturing Systems*, 24: 4-12 (2005).

37. Salami, R., Sadeghi, M. H. and Motakel, B., "Feed rate optimization for 3 axis ball end milling of sculptured surfaces", *Machine Tools & Manufacture*, 47: 760-767 (2007).
38. Tao, C. and Peiqing, Y., "A tool path generation strategy for sculptured surfaces machining", *Journal Of Materials Processing Technology*, 127: 369-373 (2002).
39. Young-Keun, C., Banerjee, A. and Lae-Woo, L., "Tool path Generation for free form surfaces using *bezier* curves/surfaces", *Computer & Industrial Engineering*, 52: 486-501 (2007).
40. Zhang, L., Feng, J., Wang, Y. and Chen, M., "Feedrate scheduling strategy for free-form surface machining through an integrated geometric and mechanistic model", *Journal of Adv. Manuf. Technology*, 40: 35-47 (2009).
41. Tounsi, N. and Elbestawi, M. A., "Optimized feed scheduling in three axes machining. Part II: experimental validation", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 43: 269-282 (2003).
42. Surmann, T. and Enk, D., "Simulation of milling tool vibration trajectories along changing engagement conditions", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 47: 1442-1448 (2007).
43. Lee, S. G., Yang, S., "Improvement of product accuracy in freeform surface machining", *Int. J. Adv. Manuf. Technology*, 21: (2003).
44. Kurt, M. and Bagci, E., "Feedrate optimisation/scheduling on sculptured surface machining: a comprehensive review, applications and future directions", *Int. J. Adv. Manuf. Technol*, 55 : 1037-1067 (2011).
45. Ikuu, B. W., Tanaka, H., Obata, F. and Sakamoto, S., "Prediction of cutting forces and machining error in ball end milling of curved surfaces -I theoretical analysis", *Precision Engineering*, 25: 266-273 (2001).
46. Ikuu, B. W., Tanaka, H., Obata, F. and Sakamoto, S., "Prediction of cutting forces and machining error in ball end milling of curved surfaces-II Experimental verification", *Precision Engineering*, 26: 69-82 (2002).
47. Kim, G. M., Cho, P. J. and Chu, C. N., "Cutting force prediction of sculptured surface ball-end milling using Z-map", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 40: 277-291 (2000).
48. Ryu, S., Lee, H. and Chu, N., "The form error prediction in side wall machining considering tool deflection", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 43: 1405-1411 (2003).

49. Lacalle, L. N. L., Lamikiz, A., Sanchez, J. A. and Salgado, M. A., “Effects of tool deflection in the high-speed milling of inclined surfaces”, *Int. J. Adv. Manuf. Technol*, 24: 621-631 (2004).
50. Sharman, A., Dewes, R. and Aspinwall, D., “Tool life when high speed ball nose end milling inconel 718”, *Journal of Materials Processing Technology*, 118: 29–35 (2001).
51. Bouzakis, K. D., Aichouh, P. and Efstathiou, K., “Determination of the chip geometry, cutting force and roughness in free form surfaces finishing milling with ball end tools”, *Machine Tools & Manufacture*, 43: 499-514 (2003).
52. Rao, V., S. and Rao, P., V., M., “Tool deflection compensation in peripheral milling of curved geometries”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 46: 2036-2043 (2006).
53. Depince, P. and Hascoet, Y., “Active integration of tool deflection effects in end milling. Part 2. Compensation of tool deflection”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 46: 945-956 (2006).
54. Aoyama, H. and Ishii, T., “Sensor to detect cutting force components, cutting torque, and cutting tool deflections”, *Journal of Manufacturing Processes*, 2: 6-14 (2004).
55. Lopez, L. N., Lamikiz, A., Sanchez, J.A. and Salgado, M. A., “Toolpath selection based on the minimum deflection cutting forces in the programming of complex surfaces milling”, *International Journal Of Machine Tools & Manufacture*, 47: 388-400 (2007).
56. Ghosh, N., Ravi, Y. B., Patra, A., Mukhopadhyay, S., Paul, S., Mohanty, A. R. and Chattopadhyay, A. B., “Estimation of tool wear during CNC milling using neural network-based sensor fusion”, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 21: 466–479 (2007).
57. Marinescu, I. and Axinte, D. A., “A critical analysis of effectiveness of acoustic emission signals to detect tool and workpiece malfunctions in milling operations”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 48: 1148–1160 (2008).
58. Marinescu, I. and Axinte, D. A., “A time–frequency acoustic emission-based monitoring technique to identify workpiece surface malfunctions in milling with multiple teeth cutting simultaneously”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 49: 53–65 (2009).
59. Rivero, A., Lopez de Lacelle, L. N. and Penalva, L. M., “Tool wear detection in dry high-speed milling based upon the analysis of machine internal signals”, *Mechatronics*, 18: 627-633 (2008).

60. Wilcox, S. J., Reuben, R. L. and Souquet, P., “The use of cutting force and acoustic emission signals for the monitoring of tool insert geometry during rough face milling”, *Int. J. Mach. Tools Manufact*, 37: 481-494 (1997).
61. Weingaertner, L. W., Schroeter, B. R., Polli, L. M. and Gomes, O. J., “Evaluation of high-speed end-milling dynamic stability through audio signal measurements”, *Journal of Materials Processing Technology*, 179: 133–138 (2006).
62. Tekiner, Z. and Yeşilyurt, S., “Investigation of the cutting parameters depending on process sound during turning of AISI 304 austenitic stainless steel”, *Materials and Design*, 25: 507–513 (2004).
63. Salgado, R. D. and Alonso, J. F., “An approach based on current and sound signals for in-process tool wear monitoring”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 47: 2140–2152 (2007).
64. Ravindra, V. H., Srinivasa, G. Y. and Krishnamurthy, R., “Acoustic emission for tool condition monitoring in metal cutting”, *Wear*, 212: 78-84 (1997).
65. Haber, E. R., Jimenez, E. J., Peres, R. C. and Alique, R. J., “An investigation of tool-wear monitoring in a high-speed machining process”, *Sensors and Actuators*, 116: 539–545 (2004).
66. Quadro, L. A. and Branco, J. R. T., “Analysis of the acoustic emission during drilling test”, *Surface & Coatings Technology*, 94-95: 691-695 (1997).
67. Guo, Y.B. and Ammula, S.C. “Real-time acoustic emission monitoring for surface damage in hard machining”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 45: 1622–1627 (2005).
68. Asilturk, İ., Akkus, H. and Demirci, T. M., “Regresyonla titreşim, akustik emisyon ve kesme parametrelerine bağlı yüzey pürüzlülüğünün modellenmesi”, *VI. Makina Tasarım ve İmalat Teknolojileri Kongresi*, Konya 67-76 (2011).
69. Bağcı E., “Monitoring and analysis of MRR-based feedrate optimization approach and effects of cutting conditions using acoustic sound pressure level in free-form surface milling”, *Scientific Research and Essays*, 6 (2) : 256-277 (2011).
70. Çakır M. C., “Modern Talaşlı İmalatın Esasları”, *Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayınları*, 525, (1999).
71. Toh, C. K., “A study of the effects of cutter path strategies and orientations in milling”, *Journal Of Materials Processing Technology*, 152: 346-356 (2004).
72. Monreal, M. and Rodriguez, C. A., “Influence of tool path strategy on the cycle time of high-speed milling”, *Computer Aided Desing*, 35: 395-401 (2003).

73. Toh, C. K., "Design, evaluation and optimisation of cutter path strategies when high speed machining hardened mould and die materials", *Materials & Design*, 26: 517-533 (2005).
74. Chen, T. and Shi, Z., "A tool path generation strategy for three-axis ball-end milling of free-form surfaces", *Journal Of Materials Processing Technology*, 208: 259–263 (2008).
75. Giri, V., Bezbaruah, D., Bubna, P. and Choudhury, R.A., "Selection of master cutter paths in sculptured surface machining by employing curvature principle", *International Journal Of Machine Tools & Manufacture*, 45: 1202–1209 (2005).
76. Law, K. M. Y. and Geddam, A., "Prediction of contour accuracy in the end milling of pockets", *J. Mater. Process. Technol.*, 113(1–3): 399–405 (2001).
77. Yang, W. H. and Tarng, Y. S., "Design optimization of cutting parameters for turning operations based on the Taguchi method", *J. Mater. Process. Technol.*, 84: 122–129 (1998).
78. Yang, J. L. and Chen, J. C., "A systematic approach for identifying optimum surface roughness performance in end-milling operations", *J. Ind. Technol.*, 17 (2): 1–8 (2001).
79. Kwak, J. S., "Application of Taguchi and response surface methodologies for geometric error in surface grinding process", *Int. J. Mach. Tool Manuf.*, 45: 327–334 (2005).
80. Davim, J. P., "Design of optimisation of cutting parameters for turning metal matrix composites based on the orthogonal arrays", *J. Mater. Process. Technol.*, 132: 340–344 (2003).
81. Ramesh, R., Manan, M. A. and Poo, A. N., "Error compensation in machine tools: a review part 1: geometric, cutting-force induced and fixture-dependent errors", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 40: 1235–1256 (2000).
82. Luo, X. and Cheng, K., "Abrasive nanometric machining: modelling, simulation and its application promise", *Key Engineering Materials Vols.*, 257-258: 27-32 (2004).
83. Kundrak, J., Karpuschewski, B., Gyania, K. and Bana, V., "Accuracy of hard turning", *Journal of Materials Processing Technology*, 2: 328–338 (2008).
84. Wang, Y., Chen, X. and Gindy, N., "Surface error decomposition for fixture development", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 31: 948–956 (2007).

85. İnternet: Uslan İ. “İstatistik Yöntemler”, <http://websitesem.gazi.edu.tr/iuslan/DosyaIndir?>, (2008).
86. Lee, S. G. and Yang, S. H., “Improvement of product accuracy in freeform surface machining”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 21: 972–979 (2003).
87. Bakır, B., “Frezelemede talaş oluşumunun ve geometrisinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin incelenmesi”, Doktora Tezi, *Marmara Üniversitesi F.B.E.*, 55-71 (2012).
88. Thomas, T. R.: “Rough Surface”, *Longman*, New York, 109-135 (1982).
89. Atakök, G., “CNC Tornada talaş kaldırma işlemlerinde talaş kırıcı geometrisinin işlenebilirliğe etkilerinin deneysel ve sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmesi”, Doktora Tezi, *Marmara Üniversitesi F.B.E.*, İstanbul, 79-102 (2008).
90. Rawat, S. and Attia, H., “Wear mechanisms and tool life management of wcco drills during dry high speed drilling of woven carbon fibre composites”, *Wear*, 267: 1022-1030 (2009).
91. Leone, C., Addona, D. and Teti, R., “Tool wear modelling through regression analysis and intelligent methods for nickel base alloy machining”, *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 4: 327-331 (2011).
92. Aslantas, K., Ucun, İ. and Çicek, A., “Tool life and wear mechanism of coated and uncoated al₂o₃/ticn mixed ceramic tools in turning hardened alloy steel”, *Wear*, 274–275: 442-451 (2012).
93. Kalla, D., Sheikh-Ahmad, J. and Twomey, J., “Prediction of cutting forces in helical end milling fiber reinforced polymers”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 50: 882-891 (2010).
94. Kim, H. G., Sim, J. H. and Kweon, H. J., “Performance evaluation of chip breaker utilizing neural network”, *Journal of Materials Processing Technology*, 209: 647-656 (2009).
95. Zuperl, U., Cus, F. and Reibenschuh, M., “Neural control strategy of constant cutting force system in end milling”, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 27: 485-493 (2011).
96. Asiltürk, İ. and Çunkaş, M., “Modeling and prediction of surface roughness in turning operations using artificial neural network and multiple regression method”, *Expert Systems with Applications*, 38: 5826-5832 (2011).

97. Nalbant, M., Gökkaya, H., Toktaş, İ. and Sur, G., “The experimental investigation of the effects of uncoated, pvd- and CVD-coated cemented carbide inserts and cutting parameters on surface roughness in CNC turning and its prediction using artificial neural networks”, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 25: 211-223 (2009).
98. Fang, N. and Wu, Q., “A comparative study of the cutting forces in high speed machining of TI-6AL-4V and inconel 718 with a round cutting edge tool”, *Journal of Materials Processing Technology*, 209: 4385-4389 (2009).
99. Korkut, I., Acır, A. and Boy, M., “Application of regression and artificial neural network analysis in modelling of tool-chip interface temperature in machining”, *Expert Systems with Applications*, 38: 11651-11656 (2011).
100. Bharathi S. and Baskar, N., “Application of particle swarm optimization technique for achieving desired milled surface roughness in minimum machining time”, *Expert Systems with Applications*, 39: 5982-5989 (2012).
101. Aouici, H., Yallese, M. A., Chaoui, K., Mabrouki, T. and Rigal, J. F., “Analysis of surface roughness and cutting force components in hard turning with cbn tool: prediction model and cutting conditions optimization”, *Measurement*, 45: 344-353 (2012).
102. Teti, R., Jemielniak, K., O’Donnell, G. and Dornfeld, D., “Advanced monitoring of machining operations”, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 59: 717-739 (2010).
103. Liu, Y. T., Chang, W. C. and Yamagata, Y., “A study on optimal compensation cutting for an aspheric surface using the taguchi method”, *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 3: 40-48 (2010).
104. Franco, P., Estrems, M. and Faura, F., “A study of back cutting surface finish from tool errors and machine tool deviations during face milling”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 48: 112-123 (2008).
105. Ozcelik, B. and Bayramoglu, M., “The statistical modeling of surface roughness in high-speed flat end milling”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 46: 1395-1402 (2006).
106. Benardos, P. G. and Vosniakos, G. C., “Prediction of surface roughness in cnc face milling using neural networks and taguchi's design of experiments”, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 18: 343-354 (2002).
107. Köklü, U., “Değişik şekillerde aralıklı (şekilli) yüzeylerin taşlanmasıyla oluşan şekil hatalarının deneysel incelenmesi”, Doktora Tezi, *Marmara Üniversitesi F.B.E.*, Türkiye (2009).

108. Bağcı, E., “Serbest formlu yzeylere sahip parçaların CNC frezeleme ile imalatında tolerans ve yzey pürüzlülük değerlerinin iyileştirilmesi için kesme parametreleri ve stratejilerinin optimizasyonu”, Doktora Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Türkiye (2010).
109. İnternet: Defne Mühendislik, “Mühendislik, Tasarım, Ürün Geliştirme”, <http://www.defnemuhendislik.com/tr/makaleler.html>, (2009).
110. İnternet: Breuckmann precision in 3D Products, “3Dimesional Optical Scanner, <http://www.breuckmann.com/products/optotop-he.html>, (2012).
111. İnternet: “Geodetic Services, Inc”, The Basics of Photo Grammetry, <http://www.geodetic.com>, (2012).
112. Kurt, M., Hortomacıoğlu, S., Mutlu, B. and Köklü, U., “Minimization of the surface roughness and form error on the milling of free-form surfaces using a grey relational analysis” *Materiali in Tehnologije/Materials and Technology*, 46:3, 205-213 (2012).
113. Hamamcı, E., “Frezeleme işlemlerinde takım ömrünün akustik emisyon sinyalleri ile akıllı yöntemler kullanılarak belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta 47-56 (2004).
114. Çolak, O., “Cnc freze tezgahı için kesme parametrelerinin akıllı yöntemlerle elektronik ortamda optimizasyonu”, Doktora Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta 108-114 (2006).
115. İnternet: Eren, A., “Akustik Ses Basınç Seviyesinin Değerlendirilmesi”, <http://www.ardaeden.net/academic/mikrofonlardadBSPL.pdf>,(2011).
116. Yang, M. and Park, H., “The prediction of the cutting force in ball-end milling”, *Int. J. Mach. Tools Manufact.*, 31: 543-551 (1991).
117. Sim, C. and Yang, M. Y., “The prediction of the cutting force in ball-end milling a flexible cutter”, *J. Mach. Tools Manufact.*, 33: 267-284 (1993).
118. Yücesan, G. and Altıntaş, Y., “Mechanics of Ball-End Milling Process”, *Manuf. Science and Engineering, ASME Winter Annual Meeting*, New Orleans, USA, 64: 543-551 (1993).
119. Lamikiz, A., Lacalle, L. N. L., Salgado, M. A. and Sanchez, J. A., “Estimation of cutting forces in the ball end milling of complex surfaces”, *Int. J. Adv. Manuf. Technol*, 44 (14): 1511-1522 (2004).
120. Elbestawi, M. and Tlustý, J., “Constraints in adaptive control with flexible end mills”, *Annals of CIRP*, 28: 253-255 (1979).

121. Wang, W. P., "Solid modelling for optimizing metal removal of three dimensional nc end milling", *J. Manuf. System*, 7: 57-65 (1988).
122. Devor, R. E. and Sutherland, J. W., "An improved method for cutting force and surface error prediction in flexible end milling systems", *JEI of ESME*, 108: 269-279 (1986).
123. Kline, W. A., DeVor, R.E. and Shareef, I. A., "The effect of runout on cutting geometry and forces in end milling", *International Journal of Machine Tool Desing and Research*, 23: 123-140, (1983).
124. Kline, W. A., DeVor, R. E. and Lindberg, J. R., "The prediction of cutting forces in end milling with application to cornering cuts", *International Journal of Machine Tool Desing and Research*, 22 (3): 7-22, (1982).
125. Altıntaş, Y., "Manufacturing Automation: Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations and CNC Desing", *Cambridge Universty Press*, 98-107 (2000).
126. Korkut, İ., "A dynamometer design and its construction for milling operation", *Material & Desing*, 24(8): 631-637, (2003)
127. Yılmaz, N., "Demir esaslı toz metal malzemelerin talaşlı işlenebilirliği", Doktora Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Türkiye 134- 141 (2006).
128. İnternet: Sandvik Coromant, "Kesici Takımlar, Tutucular ve Kaplamalar", <http://coroguide.sandvik.coromant.com/main.asp>, (2012).
129. Shivpuri, R. and Lee Semiatin, S., Report, ERCNSM-88-05, *Ohio State University*, (1988).
130. Gok, A., Bakır, B., Gologlu, C. and Demirci, H. I., "Parmak frezeleme işlemlerinde endüktif sensörler ile dinamik sehim ölçümü", *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, Elazığ, Turkey, 16-18 May (2011).
131. Gok, A., Gologlu, C., Demirci, H. and Kurt, M., "Determination of surface qualities on inclined surface machining with acoustic sound pressure", *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering*, 58-10: 587-597 (2012).
132. Motorcu, A. R., "Ç1050, Ç4140 Ve Ç52100 çeliklerinin işlenebilirliği ve modeller geliştirilmesi" Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara 123-142 (2006).
133. İnternet: Desing of Experiment, "Taguchi Method for Desing of Experiment", http://www.me.mtu.edu/~jwsuther/doe2005/notes/doe_ch9.pdf, (2008).

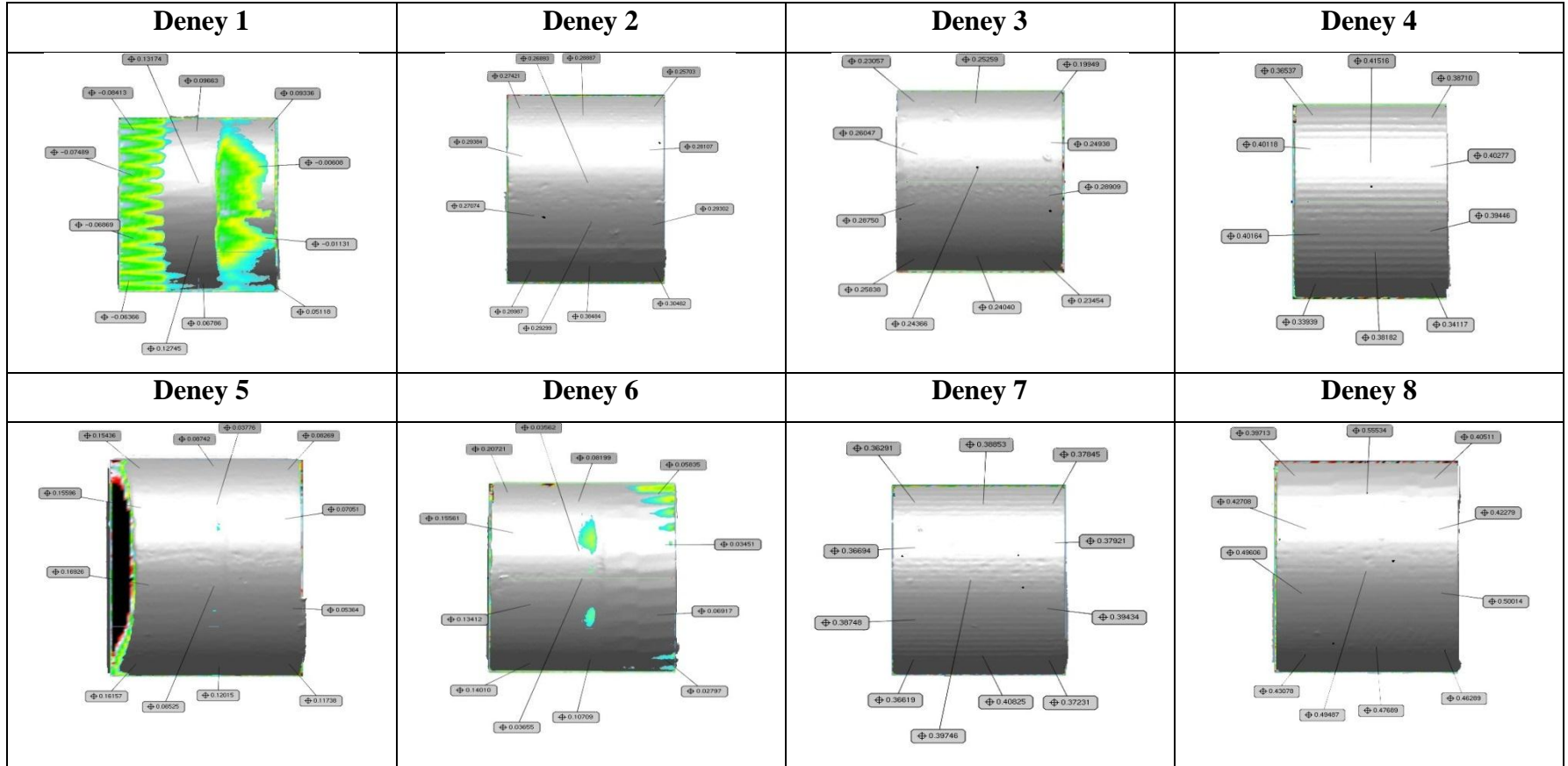
134. Taguchi, G., Chowdhury, S. and Wu, Y., “Taguchi’s Quality Engineering Handbook”, *WileyScience*, New Jersey (2005).
135. Jae-Seob, K.: “Application of taguchi and response surface methodologies for geometric error in surface grinding process”, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45: 327-334 (2005).
136. Gülcü, A., “Yapay zeka tekniklerinden genetik algoritma ve tabu arama yöntemlerinin eğitim kurumlarının haftalık ders programlarının hazırlanmasında kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul 51-76 (2006).
137. Asiltürk, İ. and Akkuş, H., “Determining the effect of cutting parameters on surface roughness in hard turning using the taguchi method”, *Measurement*, 44: 1697-1704 (2011).
138. Tsao, C. C. and Hocheng, H., “Evaluation of thrust force and surface roughness in drilling composite material using Taguchi analysis and neural network”, *Journal of Materials Processing Technology*, 203: 342–348 (2008).
139. Savur, M.K., “Statik ve dinamik yüklemeler altındaki yapıların ardışık taguchi metodu ile optimum tasarımı için fortran programı geliştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik Ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul 111-115 (2007).
140. Benardos, P. G. and Vosniakos, G.C., “Predicting surface roughness in machining: a review”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 43: 833–844 (2003).
141. İnternet: Optimizasyon, “İstatistik Yöntemler ve Uygulanması”, <http://www.gyte.edu.tr/dersler/103/CMB523/cmb523-7a.ppt>, (2011).
142. Şanyılmaz, M., “Deney tasarımı ve kalite geliştirme faaliyetlerinde taguchi yöntemi ile bir uygulama” Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kütahya 92-99 (2006).
143. İnternet: Anadolu Üniversitesi, “İstatistiksel Analiz ve Örnek Uygulamalar”, <http://www.aof.anadolu.edu.tr/kitap/IOLTP/2294/unite04.pdf>, (2009).
144. Shaji, S. and Radhakrishnan, V., “Analysis of process parameters in surface grinding with graphite as lubricant based on the taguchi method”, *Journal of Materials Processing Technology*, 141: 51-59 (2003).
145. Alagumurthi, N., Palaniradja, K. and Soundararajan, N., “Optimization of grinding process through design of experiment (doe)- a comparative study”, *Materials and Manufacturing Processes*, 21: 19–21 (2006).

146. Nian, C. Y., Yang, W. H. and Tarng, Y. S., "Optimization of turning operations with multiple performance characteristics", *Journal of Materials Processing Technology*, 95: 90-96 (1999).
147. Yang, W. H. and Tarng, Y. S., "Design optimization of cutting parameters for turning operations based on the taguchi method", *Journal of Materials Processing Technology*, 84: 122-129 (1998).
148. Davim, J. P., "Design of optimisation of cutting parameters for turning metal matrix composites based on the orthogonal arrays", *Journal of Materials processing Technology*, 132: 340-344 (2003).
149. Roy, R. K., "A Primer On Taguchi Method", *Competitive Manufacturing Series*, New York, 7-80 (1990).
150. Sakarya, N., "Cep işlemede takım yolu hareketlerinin ve kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkilerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 63-69 (2005).
151. Şirvancı, M., "Kalite İçin Deney Tasarımı Taguchi Yaklaşımı", *Literatür Yayıncılık*, İstanbul 45-55 (1997).
152. Bass, I., "Six Sigma Statistics with Excel and Minitab", *McGraw-Hill Companies*, Oxford 34-45 (2007).
153. Montgomery, D. C., Peck, E. A. and Vining, G. G., "Introduction to Linear Regression Analysis", *WileyScience*, Hoboken (2006).
154. Gologlu, C. and Sakarya, N., "The Effects of cutter path strategies on surface roughness of pocket milling of 1.2738 steel based on taguchi method", *Journal of Materials Processing Technology*, 206: 7-15 (2008).
155. İnternet: Sandvik, "Küresel ve Düz Parmak Freze Kesici Takımlar" <http://www.sandvik.coromant.com>, (2012).
156. Uçar, M. and Ay, M., "Parmak freze ile kanal ve alın yüzey işlemede takım ekseni ile işlenen yüzey arasındaki paralelliğin bozulmasına etki eden kesme parametrelerinin incelenmesi", *Makina-İmalat Teknolojileri Sempozyumu*, Konya 10-16 (1999).

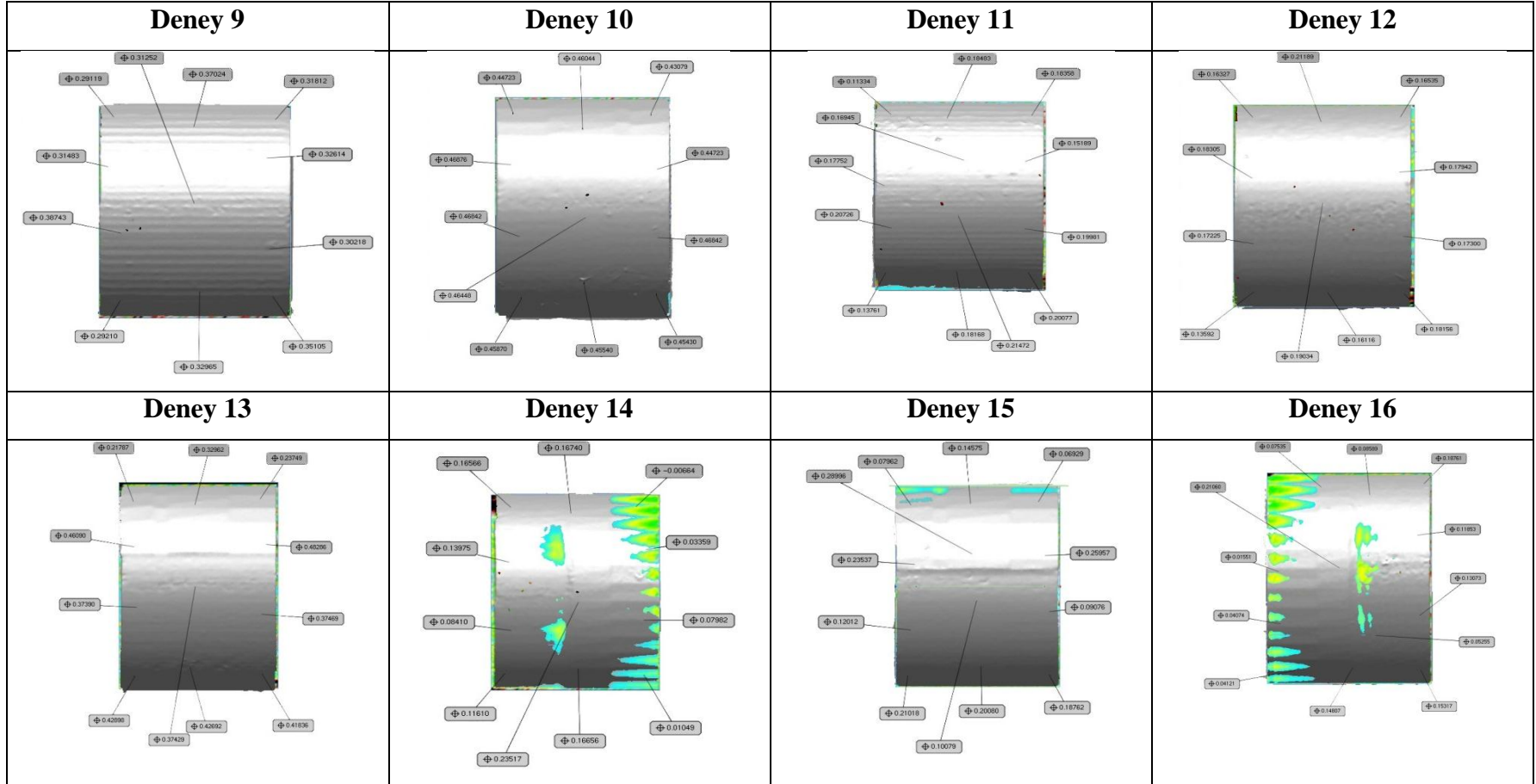
EK AÇIKLAMALAR A.

OPTİK TARAMA SONUÇLARI

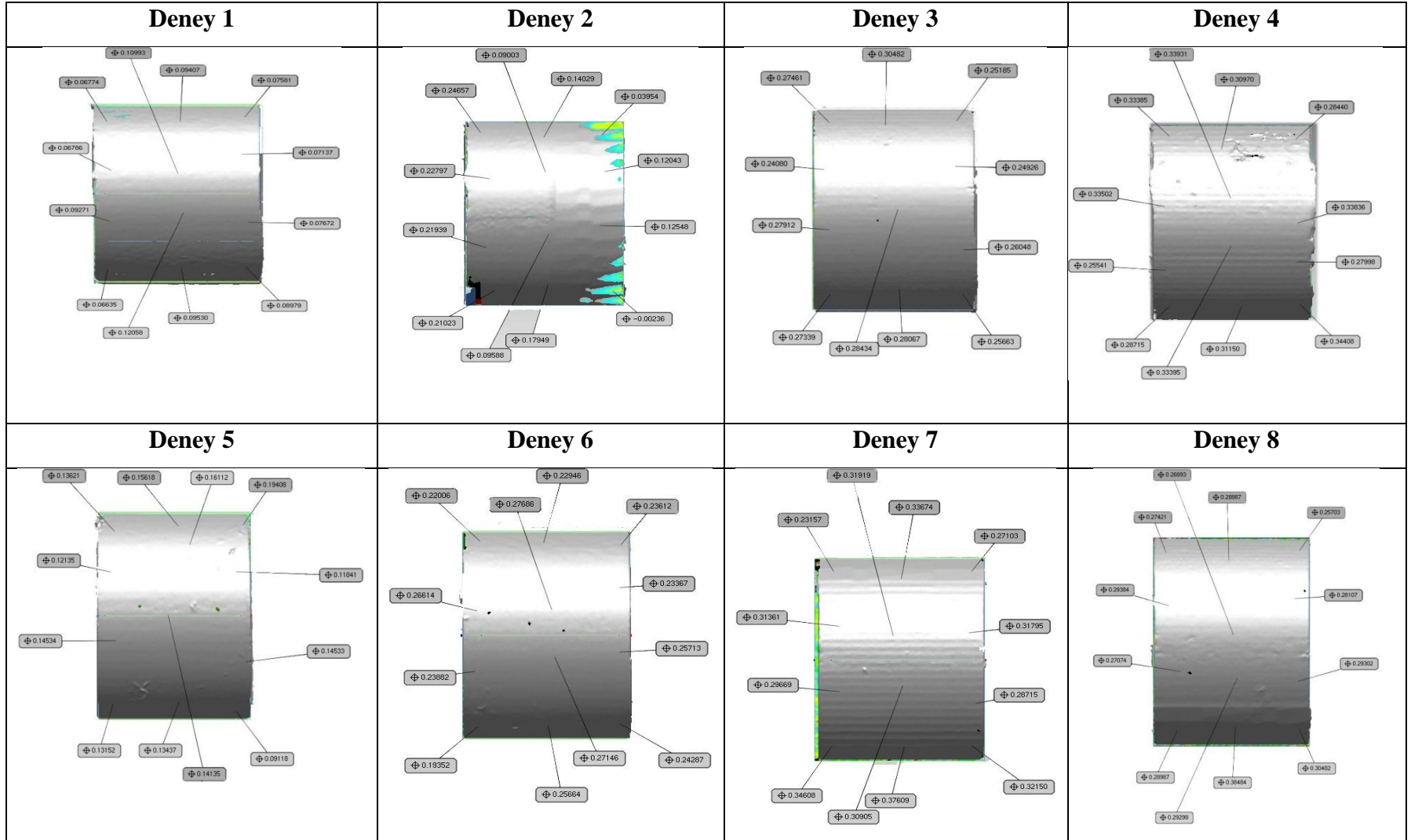
Çizelge Ek A.1. Dışbükey yüzey tipi TiC kaplama için oluşan şekil hataları.



Çizelge Ek A.1. (devam ediyor).



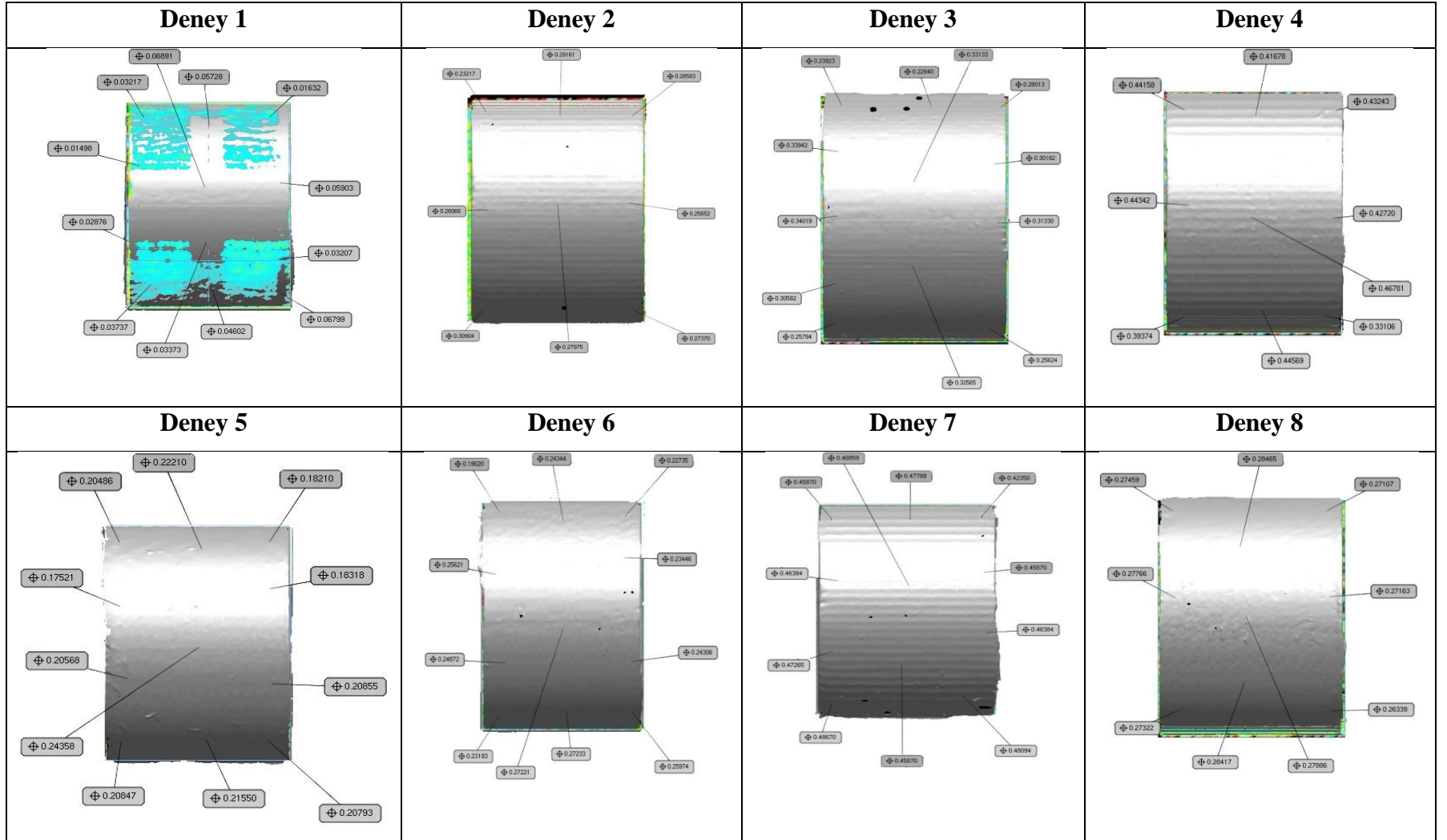
Çizelge Ek A.2. Dışbükey yüzey tipi TiN kaplama için oluşan şekil hataları.



Çizelge Ek A.2. (devam ediyor).

Deney 9	Deney 10	Deney 11	Deney 12
<p>Micrograph of Deney 9 showing 15 measurement points with values: 0.22789, 0.23166, 0.20655, 0.19631, 0.21516, 0.22990, 0.22451, 0.23334, 0.24716, 0.22684, 0.22999, 0.24075.</p>	<p>Micrograph of Deney 10 showing 10 measurement points with values: 0.41516, 0.44723, 0.38315, 0.41592, 0.40852, 0.41061, 0.40277, 0.41900, 0.41750, 0.41220, 0.40919, 0.41548.</p>	<p>Micrograph of Deney 11 showing 10 measurement points with values: 0.17836, 0.17796, 0.13541, 0.19564, 0.15421, 0.19792, 0.20269, 0.16500, 0.16513, 0.16595, 0.18889.</p>	<p>Micrograph of Deney 12 showing 10 measurement points with values: 0.27787, 0.27740, 0.25953, 0.23125, 0.24827, 0.25469, 0.27011, 0.26619, 0.23675, 0.28324, 0.29187, 0.24292.</p>
Deney 13	Deney 14	Deney 15	Deney 16
<p>Micrograph of Deney 13 showing 10 measurement points with values: 0.17546, 0.10268, 0.19952, 0.29946, 0.19544, 0.32808, 0.19994, 0.30707, 0.14365, 0.20261, 0.23457, 0.17273.</p>	<p>Micrograph of Deney 14 showing 10 measurement points with values: 0.22961, 0.24921, 0.24743, 0.18866, 0.24077, 0.20867, 0.24793, 0.18487, 0.16833, 0.21863, 0.21330, 0.18869.</p>	<p>Micrograph of Deney 15 showing 10 measurement points with values: 0.14025, 0.21225, 0.21555, 0.20181, 0.16540, 0.17249, 0.14816, 0.14869, 0.18839, 0.19645, 0.17311, 0.18669.</p>	<p>Micrograph of Deney 16 showing 10 measurement points with values: 0.16292, 0.13096, 0.12983, 0.14927, 0.13463, 0.13767, 0.15961, 0.15227, 0.19978, 0.18155, 0.19156, 0.16939.</p>

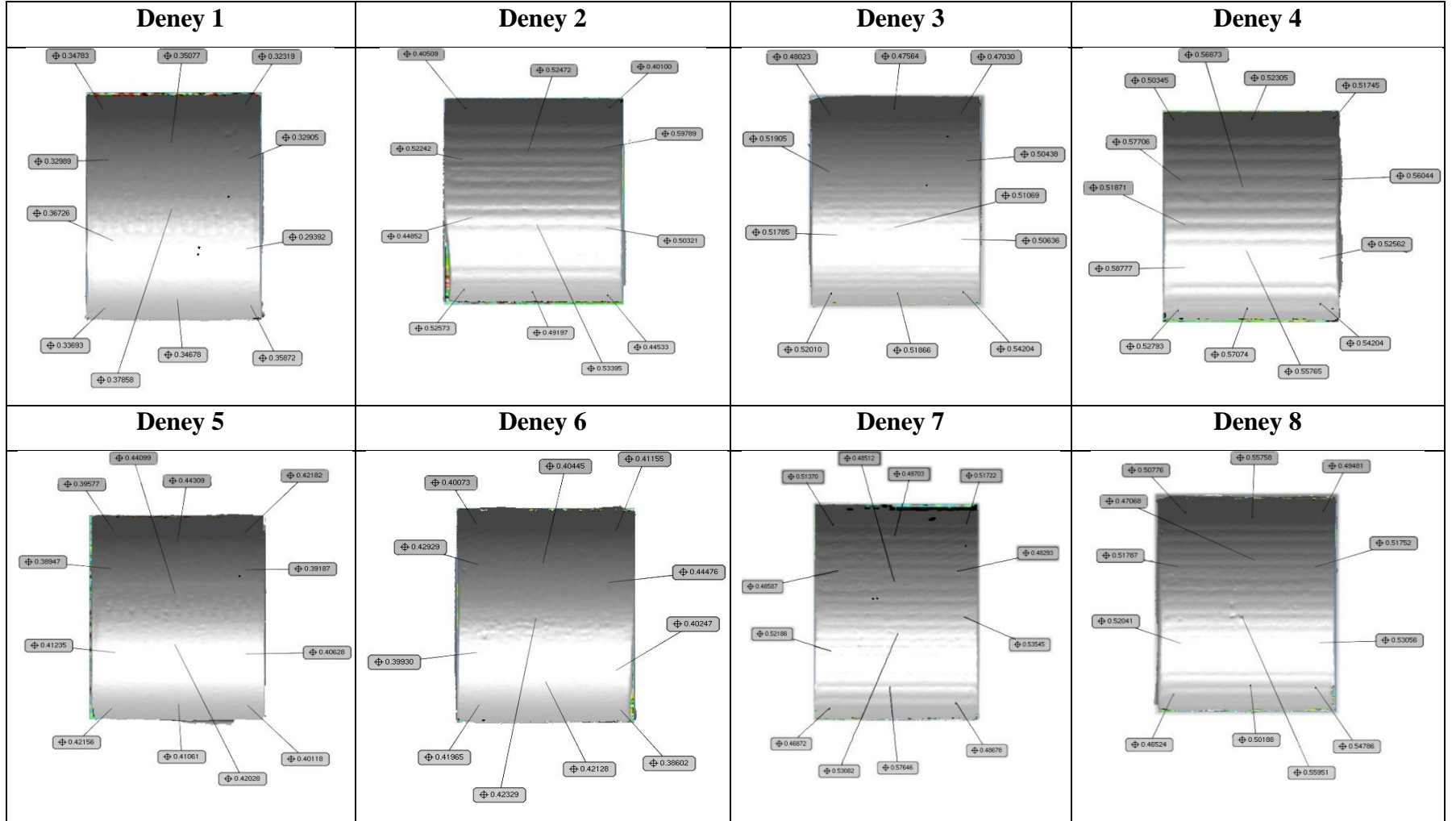
Çizelge Ek A.3. Dışbükey yüzey tipi TiAlN kaplama için oluşan şekil hataları.



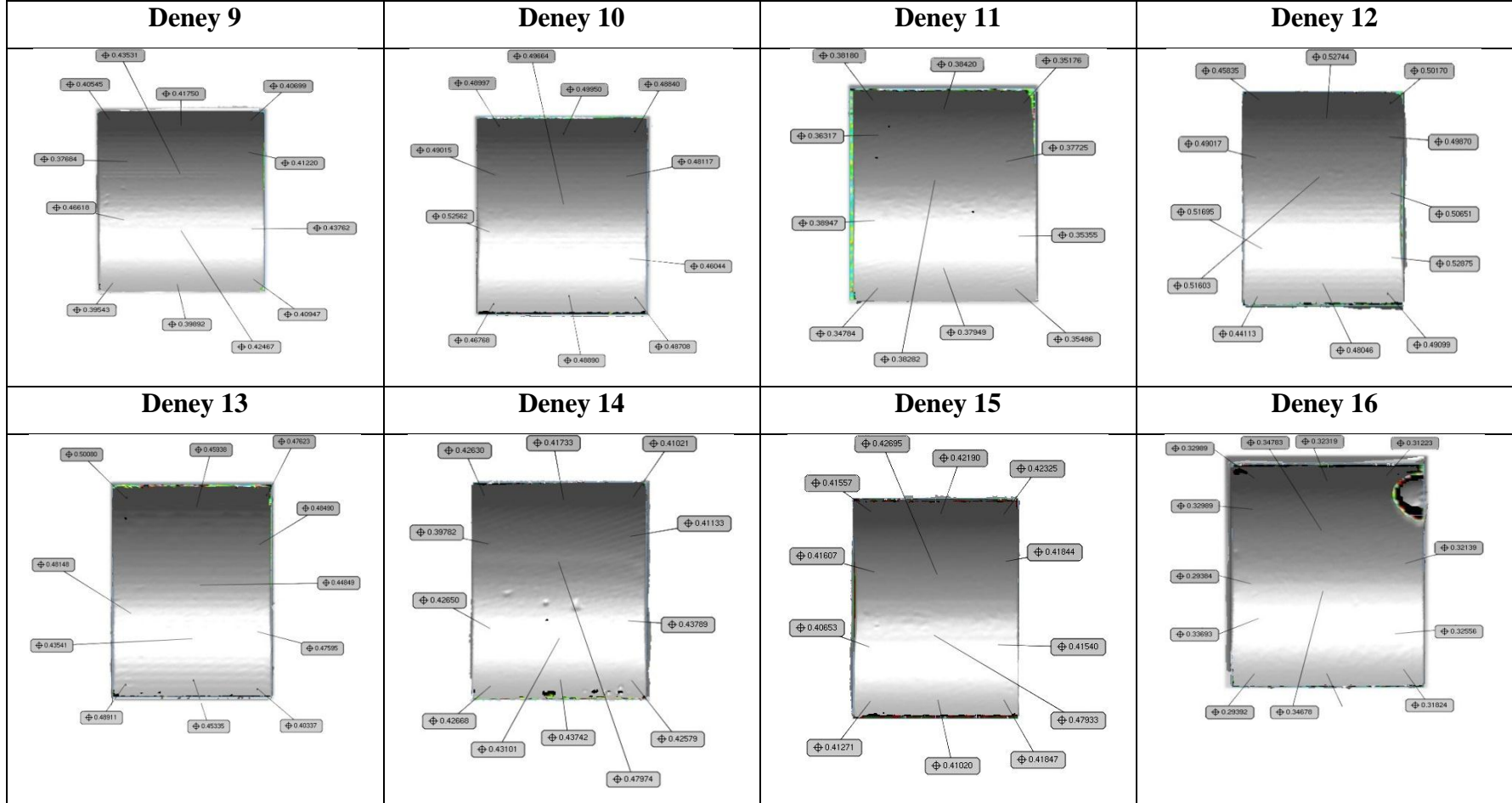
Çizelge Ek A.3. (devam ediyor).

Deney 9	Deney 10	Deney 11	Deney 12
<p>Micrograph of Deney 9 showing a square specimen with 12 measurement points. Values range from 0.19220 to 0.25974.</p>	<p>Micrograph of Deney 10 showing a square specimen with 12 measurement points. Values range from 0.26078 to 0.31068.</p>	<p>Micrograph of Deney 11 showing a square specimen with 10 measurement points. Values range from 0.25143 to 0.29594.</p>	<p>Micrograph of Deney 12 showing a square specimen with 12 measurement points. Values range from 0.31750 to 0.34366.</p>
Deney 13	Deney 14	Deney 15	Deney 16
<p>Micrograph of Deney 13 showing a square specimen with 12 measurement points. Values range from 0.23750 to 0.30982.</p>	<p>Micrograph of Deney 14 showing a square specimen with 12 measurement points. Values range from 0.31521 to 0.33968.</p>	<p>Micrograph of Deney 15 showing a square specimen with 10 measurement points. Values range from 0.23217 to 0.29161.</p>	<p>Micrograph of Deney 16 showing a square specimen with 8 measurement points. Values range from 0.14966 to 0.18426.</p>

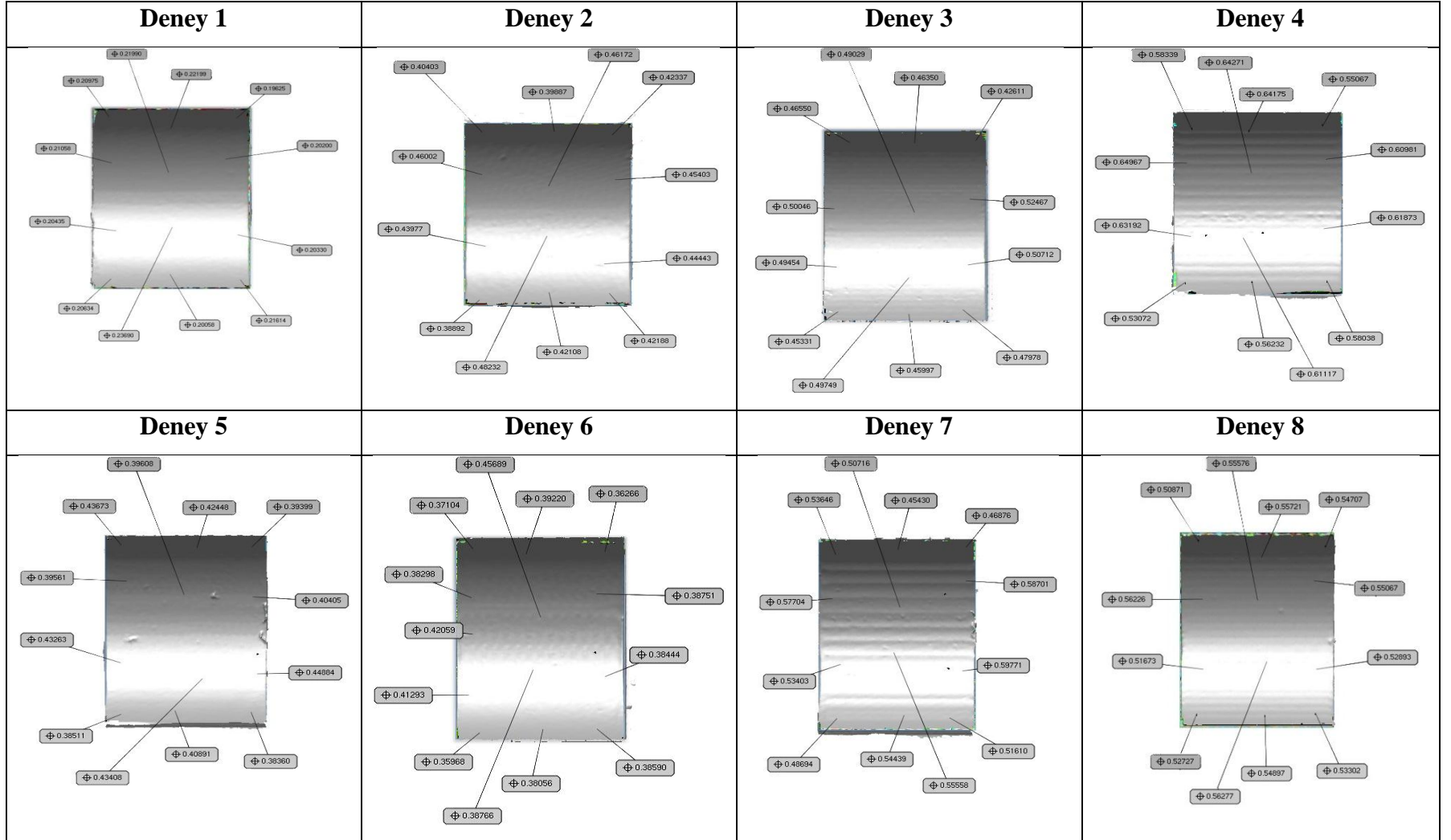
Çizelge Ek A.4. İbüküey yüzey tipi TiC kaplama için oluşan şekil hataları.



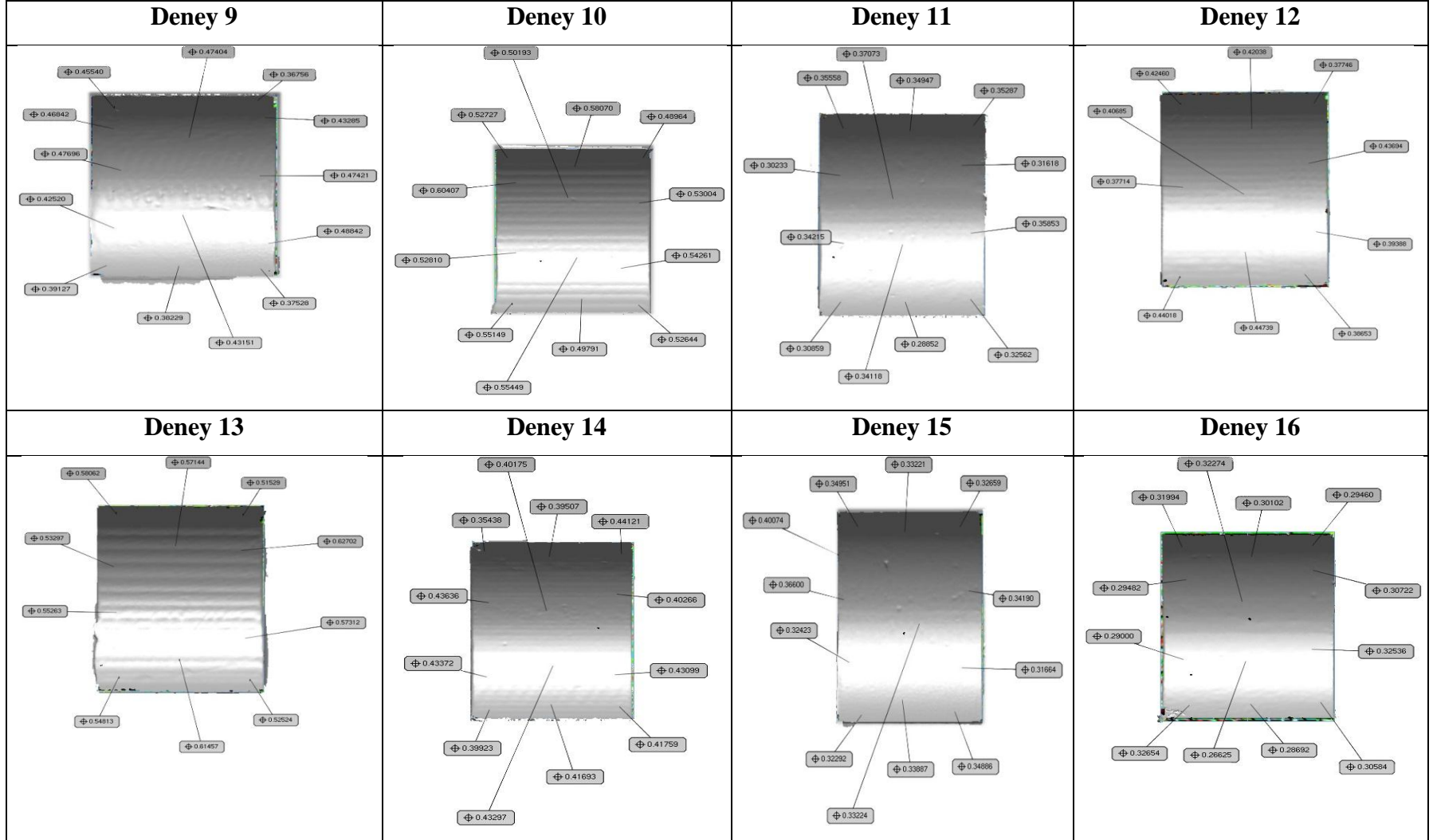
Çizelge Ek A.4. (devam ediyor).



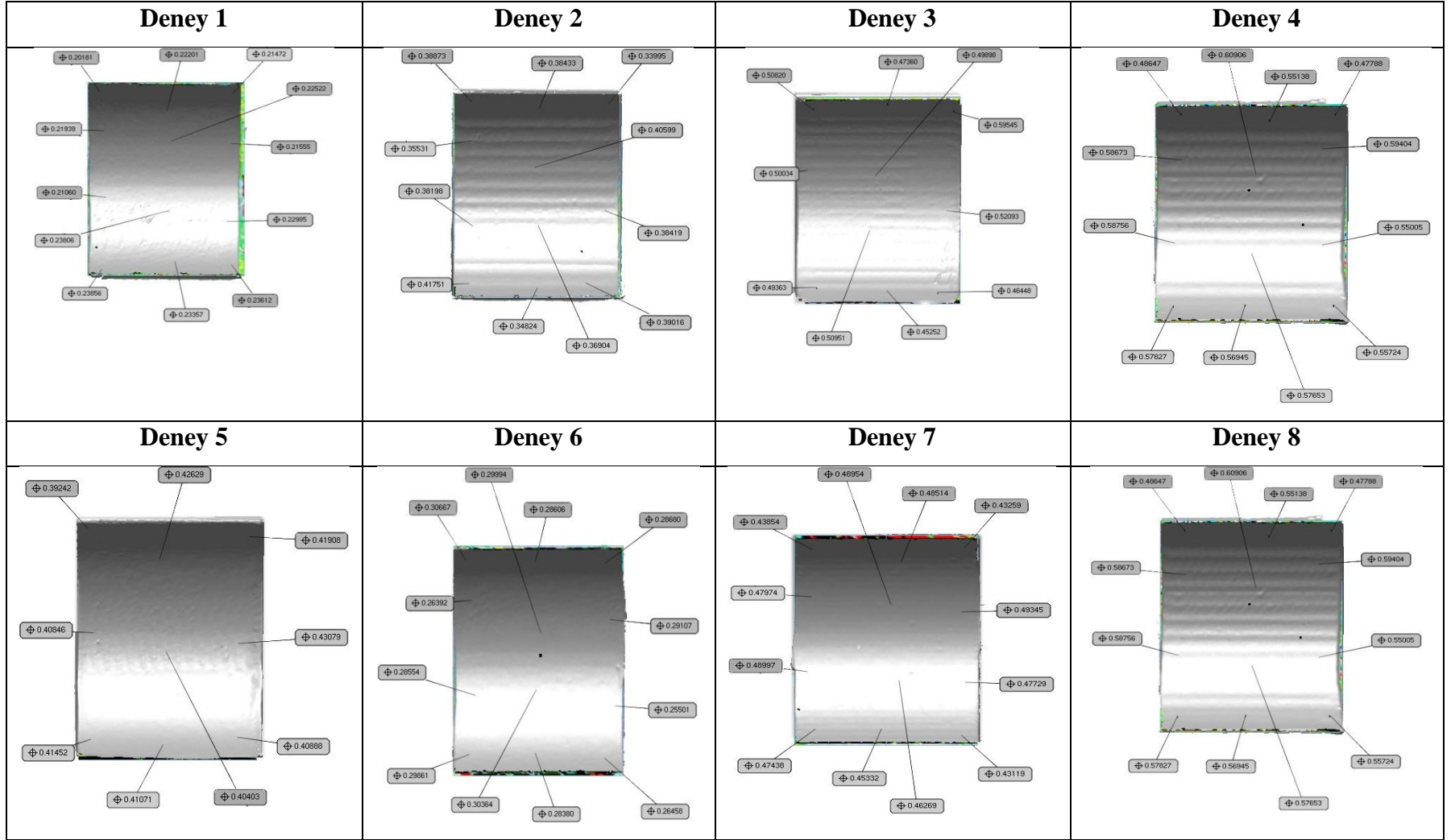
Çizelge Ek A.5. İbüküey yüzey tipi TiN kaplama için oluşın şekil hataları.



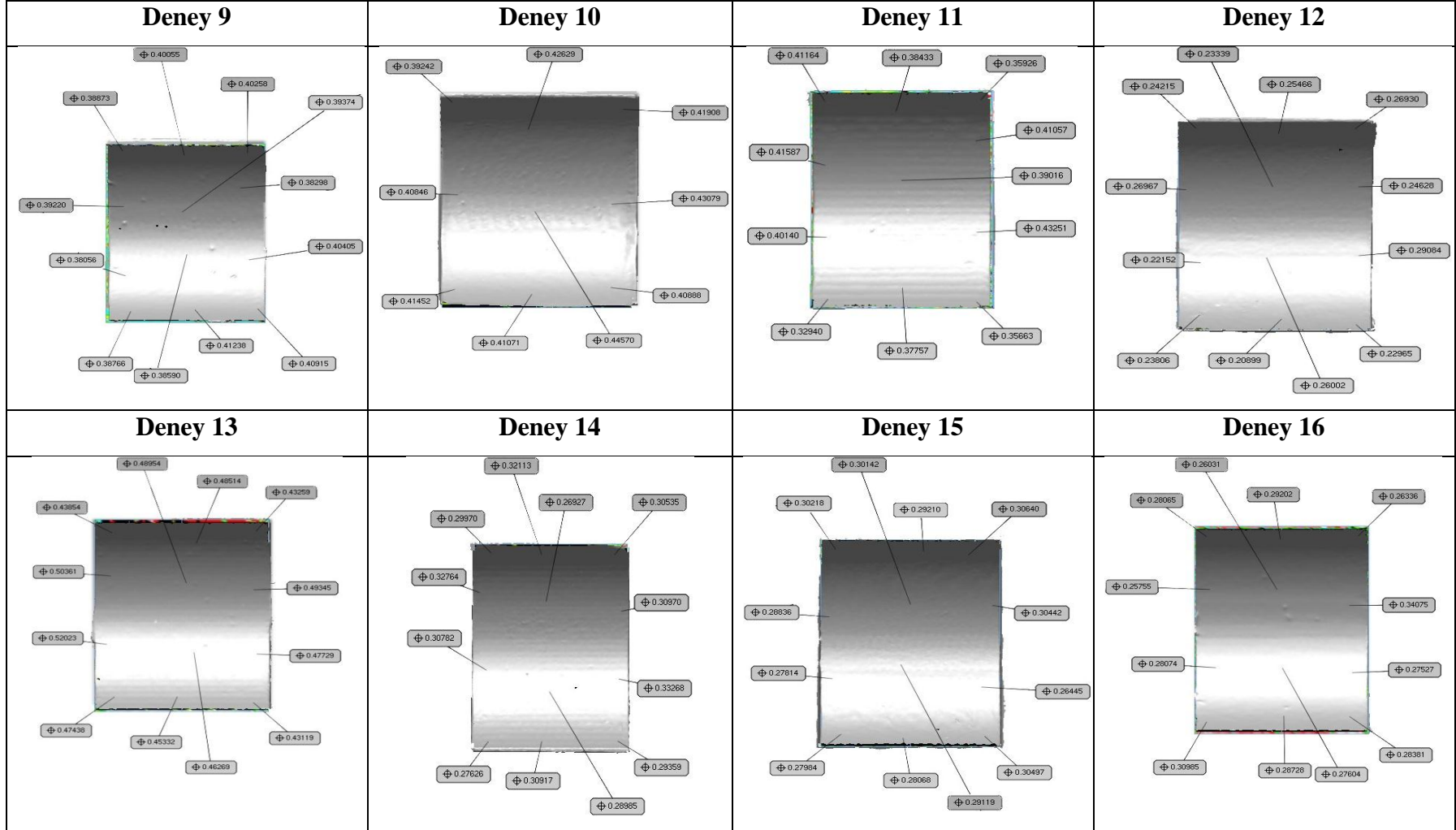
Çizelge Ek A.5. (devam ediyor).



Çizelge Ek A.6. İçbükey yüzey tipi TiAlN kaplama için oluşan şekil hataları.



Çizelge Ek A.6. (devam ediyor).



EK AÇIKLAMALAR B.
ORTOGONAL DİZİ TIPLERİ

Çizelge Ek B.1. Ortogonal dizi tipleri.

Seviye Sayısı								
2		3			4		5	
Parametre Sayısı	P = 2,S = 2 P = 3,S = 2	L4	P = 2,S = 3 P = 3,S = 3 P = 4,S = 3	L9	P = 2,S = 4 P = 3,S = 4 P = 4,S = 4 P = 5,S = 4	L'16	P = 2,S = 5 P = 3,S = 5 P = 4,S = 5 P = 5,S = 5 P = 6,S = 5	L25
	P = 4,S = 2 P = 5,S = 2 P = 6,S = 2 P = 7,S = 2	L8	P = 5,S = 3 P = 6,S = 3 P = 7,S = 3 P = 8,S = 3	L1 8	P = 6,S = 4 P = 7,S = 4 P = 8,S = 4 P = 9,S = 4 P = 10,S = 4	L'32	P = 7,S = 5 P = 8,S = 5 P = 9,S = 5 P = 10,S = 5 P = 11,S = 5 P = 12,S = 5	L50
	P = 8,S = 2 P = 9,S = 2 P = 10,S = 2 P = 11,S = 2	L11	P = 9,S = 3 P = 10,S = 3 P = 11,S = 3 P = 12,S = 3 P = 13,S = 3	L2 7				
	P = 12,S = 2 P = 13,S = 2 P = 14,S = 2 P = 15,S = 2	L16	P = 14,S = 3 P = 15,S = 3 P = 16,S = 3 P = 17,S = 3 P = 18,S = 3 P = 19,S = 3 P = 20,S = 3 P = 21,S = 3 P = 22,S = 3 P = 23,S = 3	L3 6				
	P = 16,S = 2 P = 17,S = 2 P = 18,S = 2 P = 19,S = 2 P = 20,S = 2 P = 21,S = 2 P = 22,S = 2 P = 23,S = 2 P = 24,S = 2 P = 25,S = 2 P = 26,S = 2 P = 27,S = 2 P = 28,S = 2 P = 29,S = 2 P = 30,S = 2 P = 31,S = 2	L32						

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgileri

Adı Soyadı: Arif GÖK

Doğum Tarihi Ve Yeri: 08.10.1981, Zonguldak

Medeni Hali: Evli

Telefon: 0505 758 67 90

e-mail: agok@kastamonu.edu.tr

Eğitim Bilgileri

Lise: Zonguldak Teknik Lisesi, 1995–1999

Lisans: Dumlupınar Üniversitesi Teknik Eğitim Fak. Mak. Eğt. Böl. 2000–2004

Y. Lisans: Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bil. Enst. Mak. Eğt. ABD. 2004–2007

Yabancı Dil: İngilizce

Çalışma Alanı: CAD, CAM, CAE, CIM, Hızlı Prototipleme, İşlenebilirlik

İş Deneyimi

Öğretim Görevlisi, Ankara Üniversitesi 2006-2007

Öğretim Görevlisi, Kastamonu Üniversitesi Meslek Yüksekokulu 2007-Devam