



**T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AISI 4140 ISLAH ÇELİĞİNİN SERAMİK KESİCİ TAKIMLARLA
TORNALANMASINDA OLUŞAN TİTREŞİMİN YÜZEY
PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİNİN DENEYSEL ANALİZİ**

MUSA ŞEREMET

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ MENDERES KAM**

DÜZCE, 2019

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AISI 4140 ISLAH ÇELİĞİNİN SERAMİK KESİCİ TAKIMLARLA
TORNALANMASINDA OLUŞAN TİTREŞİMİN YÜZEY
PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİNİN DENEYSEL ANALİZİ**

Musa ŞEREMET tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Menderes KAM

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Menderes KAM

Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. Hamit SARUHAN

Düzce Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Gürcan ATAKÖK

Marmara Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 28/08/2019

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.



28 Ağustos 2019

Musa ŞEREMET

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Menderes KAM'a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Tez laboratuvar çalışmasında yardım ve desteğini esirgemeyen Mustafa DEMİRTAŐ'a teşekkür etmeyi borç bilirim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını, desteklerini ve dualarını esirgemeyen anneme, babama, eşime ve kızım Eslem'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi BAP - 2019.22.01.912 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir. Katkılarından dolayı Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü birimine ve personeline teşekkür ederim.

28 Ağustos 2019

Musa ŞEREMET

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
KISALTMALAR.....	x
SİMGELER.....	xi
ÖZET.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR.....	4
3. GENEL BİLGİLER.....	14
3.1. AISI 4140 ISLAH ÇELİKLERİ.....	14
3.2. ISIL İŞLEM.....	15
3.3. SERAMİK KESİCİ TAKIMLAR.....	16
3.3.1. Seramik Uçların Çeşitleri.....	17
3.3.2. Seramiklerin Çeliklere Göre Farklılıkları.....	18
3.3.3. Seramik Uçların Uygulama Alanları.....	18
3.4. TORNALAMA.....	19
3.4.1. Kuru ve Soğutma Sıvısı Kullanılarak Tornalama.....	19
3.4.2. Sert Tornalama.....	20
3.5. TİTREŞİM.....	21
3.6. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ.....	22
3.7. TAKIM AŞINMASI.....	24
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	26
4.1. DENEYLERDE KULLANILAN MALZEME.....	27
4.2. MALZEMELERE UYGULANAN ISIL İŞLEMLER.....	29
4.3. SERTLİK ÖLÇME TESTLERİ.....	30
4.4. DENEYLERDE KULLANILAN KESİCİ TAKIM VE TUTUCU.....	31
4.5. DENEYLERDE KULLANILAN KESME PARAMETRELERİ.....	32
4.6. DENEY DÜZENEGİ.....	33
4.7. TİTREŞİM VERİLERİNİN TOPLANMASI.....	35
4.8. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN ÖLÇÜLMESİ.....	35
5. BULGULAR VE TARTIŞMALAR.....	37
5.1. SERTLİK BULGULARI.....	37
5.2. TİTREŞİM BULGULARI.....	37
5.3. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ BULGULARI.....	49

5.4. TALAŞ FORMU VE KALINLIĞI İÇİN BULGULAR.....	55
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	59
7. KAYNAKLAR.....	62
8. EKLER	67
8.1. EK 1: X DOĞRULTUSUNDA (CH1) OLUŞAN TİTREŞİM GRAFİĞİ	67
8.2. EK 2: Y DOĞRULTUSUNDA (CH2) OLUŞAN TİTREŞİM GRAFİĞİ	73
8.3. EK 3: X, Y VE Z DOĞRULTUSUNDA (CH1, CH2, CH3) OLUŞAN TİTREŞİM GRAFİĞİ.....	79
ÖZGEÇMİŞ	85



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1. AISI 4140 ıslah çeliğinden yapılmış numuneler.	15
Şekil 3.2. Seramik kesici uçlar.....	18
Şekil 3.3. Kesme parametrelerinin (V, f, a) iş parçası üzerinde gösterimi.	19
Şekil 3.4. Yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi.....	23
Şekil 3.5. Parça yüzeyindeki şekil ve dalgalanmalar.....	23
Şekil 3.6. Yüzey pürüzlülüğünün gösterilmesi.....	24
Şekil 3.7. Takım aşınma tipleri ve oluşum yerleri.....	25
Şekil 4.1. Deney çalışmasında işlem aşamaları.....	27
Şekil 4.2. Deney numunesinin teknik resmi.....	28
Şekil 4.3. Deney numuneleri.....	28
Şekil 4.4. Isıl işlem eğrisi.....	29
Şekil 4.5. Sertlik ölçüm numuneleri.....	30
Şekil 4.6. Sertlik ölçme cihazı.....	31
Şekil 4.7. TNGA 120408 AB20 seramik kesici takım.....	31
Şekil 4.8. MTJNR 2525 M1604 takım tutucu.....	32
Şekil 4.9. Ch1, Ch2 ve Ch3 doğrultularının görünümü.....	33
Şekil 4.10. Deney düzeneğinin şematik görünümü.....	34
Şekil 4.11. Deney düzeneği.....	34
Şekil 4.12. Veri toplama cihazı (VibraQuest).....	35
Şekil 4.13. Yüzey pürüzlülüğü ölçme cihazı ve ölçümü.....	36
Şekil 5.1. 18 HRc numunenin z doğrultusunda (Ch3) oluşan titreşim grafiği.....	42
Şekil 5.2. 18 HRc numunenin z doğrultusunda (Ch3) oluşan titreşim grafiği (Devamı).....	43
Şekil 5.3. 45 HRc numunenin z doğrultusunda (Ch3) oluşan titreşim grafiği.....	44
Şekil 5.4. 45 HRc numunenin z doğrultusunda (Ch3) oluşan titreşim grafiği (Devamı).....	45
Şekil 5.5. 52 HRc numunenin z doğrultusunda (Ch3) oluşan titreşim grafiği.....	46
Şekil 5.6. 52 HRc numunenin z doğrultusunda (Ch3) oluşan titreşim grafiği (Devamı).....	47
Şekil 5.7. 120 m/dak ve farklı ilerlemelerde elde edilen en yüksek titreşim grafiği.....	48
Şekil 5.8. 160 m/dak ve farklı ilerlemelerde elde edilen en yüksek titreşim grafiği.....	48
Şekil 5.9. 200 m/dak ve farklı ilerlemelerde elde edilen en yüksek titreşim grafiği.....	48
Şekil 5.10. 240 m/dak ve farklı ilerlemelerde elde edilen en yüksek titreşim grafiği.....	49
Şekil 5.11. 18 HRc numunenin Ra ve Rz değerleri grafiği a) 120 m/dak b) 160 m/dak c) 200 m/dak d) 240 m/dak.....	52
Şekil 5.12. 45 HRc numunenin Ra ve Rz değerleri grafiği a) 120 m/dak b) 160 m/dak c) 200 m/dak d) 240 m/dak.....	53
Şekil 5.13. 52 HRc numunenin Ra ve Rz değerleri grafiği a) 120 m/dak b) 160 m/dak c) 200 m/dak d) 240 m/dak.....	54
Şekil 5.14. 18 HRc numune a) Elde edilen talaş formu b) Talaş kalınlığı grafiği.....	56
Şekil 5.15. 45 HRc numune a) Elde edilen talaş formu b) Talaş kalınlığı grafiği.....	57

Şekil 5.16. 52 HRc numune a) Elde edilen talaş formu b) Talaş kalınlığı grafiği.....	58
Şekil 8.1. 18 HRc numunenin x doğrultusunda (Ch1) oluşan titreşim grafiği.	67
Şekil 8.2. 18 HRc numunenin x doğrultusunda (Ch1) oluşan titreşim grafiği (Devamı).....	68
Şekil 8.3. 45 HRc numunenin x doğrultusunda (Ch1) oluşan titreşim grafiği.	69
Şekil 8.4. 45 HRc numunenin x doğrultusunda (Ch1) oluşan titreşim grafiği (Devamı).....	70
Şekil 8.5. 52 HRc numunenin x doğrultusunda (Ch1) oluşan titreşim grafiği.	71
Şekil 8.6. 52 HRc numunenin x doğrultusunda (Ch1) oluşan titreşim grafiği (Devamı).....	72
Şekil 8.7. 18 HRc numunenin y doğrultusunda (Ch2) oluşan titreşim grafiği.	73
Şekil 8.8. 18 HRc numunenin y doğrultusunda (Ch2) oluşan titreşim grafiği (Devamı).....	74
Şekil 8.9. 45 HRc numunenin y doğrultusunda (Ch2) oluşan titreşim grafiği.	75
Şekil 8.10. 45 HRc numunenin y doğrultusunda (Ch2) oluşan titreşim grafiği (Devamı).....	76
Şekil 8.11. 52 HRc numunenin y doğrultusunda (Ch2) oluşan titreşim grafiği.	77
Şekil 8.12. 52 HRc numunenin y doğrultusunda (Ch2) oluşan titreşim grafiği (Devamı).....	78
Şekil 8.13. 18 HRc numunenin x, y, z doğrultusunda (Ch1, Ch2, Ch3) oluşan titreşim grafiği.	79
Şekil 8.14. 18 HRc numunenin x, y, z doğrultusunda (Ch1, Ch2, Ch3) oluşan titreşim grafiği (Devamı).	80
Şekil 8.15. 45 HRc numunenin x, y, z doğrultusunda (Ch1, Ch2, Ch3) oluşan titreşim grafiği.	81
Şekil 8.16. 45 HRc numunenin x, y, z doğrultusunda (Ch1, Ch2, Ch3) oluşan titreşim grafiği (Devamı).	82
Şekil 8.17. 52 HRc numunenin x, y, z doğrultusunda (Ch1, Ch2, Ch3) oluşan titreşim grafiği.	83
Şekil 8.18. 52 HRc numunenin x, y, z doğrultusunda (Ch1, Ch2, Ch3) oluşan titreşim grafiği (Devamı).	84

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 4.1. AISI 4140 (42CrMo4) çeliği kimyasal bileşimi.	28
Çizelge 4.2. AISI 4140 çeliğinin diğer standartlardaki karşılıkları.	28
Çizelge 4.3. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri.	33
Çizelge 5.1. Numunelerin ortalama sertlik değerleri.	37
Çizelge 5.2. 18 HRc numunede en yüksek titreşim genliği değerleri.	38
Çizelge 5.3. 18 HRc numunede ikinci en yüksek titreşim genliği değerleri.	38
Çizelge 5.4. 45 HRc numunede en yüksek titreşim genliği değerleri.	39
Çizelge 5.5. 45 HRc numunede ikinci en yüksek titreşim genliği değerleri.	39
Çizelge 5.6. 52 HRc numunede en yüksek titreşim genliği değerleri.	40
Çizelge 5.7. 52 HRc numunede ikinci en yüksek titreşim genliği değerleri.	40
Çizelge 5.8. 18 HRc numunenin yüzey pürüzlülüğü değerleri.	50
Çizelge 5.9. 45 HRc numunenin yüzey pürüzlülüğü değerleri.	50
Çizelge 5.10. 52 HRc numunenin yüzey pürüzlülüğü değerleri.	51
Çizelge 5.11. Deneylerden elde edilen talaş kalınlığı değerleri.	55

KISALTMALAR

a	Kesme Derinliği (mm)
AFNOR	Association Francaise de Normalisation (Fransa Standart Kurumu)
AIISI	American Iron and Steel Institute (Amerikan Demir ve elik Enstitüsü)
ANOVA	Varyans Analizi
CNC	Computer Numeric Control (Bilgisayarlı Sayısal Kontrol)
CVD	Chemical Vapour Deposition (Kimyasal Buhar Biriktirme)
DIN	Deutsches Institut für Normung (Alman Norm Enstitüsü)
EN	European Norm (Avrupa Normu)
f	Bir Devirdeki İlerleme Hızı (mm/devir)
gRMS	Root Mean Square (Eđrinin Altındaki Alanın Karekökü)
HRC	Hardness Rockwell (Rockwell-C Sertliği)
HSS	High Speed Steel (Yüksek Hız eliđi)
JIS	Japanese Industrial Standards Committee (Japon Standartlar Kurumu)
kW	Kilo Watt
MPa	Mega Pascal
N	Devir Sayısı (devir/dakika)
PVD	Physical Vapor Deposition (Fiziksel Buhar Biriktirme)
Ra	Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (μm)
Rt	Pürüzlülüđük Yüksekliği (μm)
RSM	Response Surface Methodology (Tepki Yüzeyi Metodolojisi)
Rz	Ardışık Beş Rt Ortalama Değeri (μm)
SAE	Society of Automotive Engineers (Otomotiv Mühendisleri Derneđi)
SEM	Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)
V	Kesme Hızı (m/dak)
Vb	Yanal Aşınma

SİMGELER

Al	Alüminyum
AlN	Alüminyum nitrür
Al ₂ O ₃	Alüminyum oksit
C	Karbon
CBN	Kübik bor nitrür
Co	Kobalt
Cr	Krom
Cu	Bakır
Fe	Demir
m	Metre
mm	Milimetre
Mg	Magnezyum
Mn	Mangan
Mo	Molibden
N	Azot
Na	Sodyum
P	Fosfor
Pb	Kurşun
S	Kükürt
Si	Silisyum
Si ₃ N ₄	Silisyum nitrür
SiC	Silisyum karbür
Ti	Titanyum
TiAlN	Titanyum alüminyum nitrür
TiC	Titanyum karbür
TiCN	Titanyum karbonitrür
TiN	Titanyum nitrür
V	Volfram
W	Vanadyum
Zn	Çinko
°C	Sıcaklık (Santigrat derece)
µm	Mikron
%	Yüzde

ÖZET

AISI 4140 ISLAH ÇELİĞİNİN SERAMİK KESİCİ TAKIMLARLA TORNALANMASINDA OLUŞAN TİTREŞİMİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİNİN DENEYSSEL ANALİZİ

Musa ŞEREMET

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Menderes KAM

Ağustos 2019, 84 sayfa

AISI 4140 (42CrMo4) ıslah çelikleri yüksek mukavemet, yüksek tokluk, yüksek dayanım ve iyi sertleşebilirlik özelliklerinden dolayı otomotiv, uçak ve savunma sanayinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle yüksek sertliğe sahip bu çeliklerin tornalanmasında iyi bir yüzey kalitesi elde edilmesi büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada, işlemsiz, geleneksel ısıl işlem uygulanmış ve geleneksel ısıl işlem sonrası temperleme işlemi uygulanmış AISI 4140 ıslah çeliği 18, 45 ve 52 HRC sertlikte numunelerin (Ø100x250 mm) seramik kesici takımlarla tornalanmasında oluşan titreşimlerin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin deneysel olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Deneysel çalışmada, soğutma sıvısına gerek kalmadan kullanılan seramik kesici takımlar ile CNC torna tezgâhında dört farklı kesme hızı (120, 160, 200 ve 240 m/dak), üç farklı ilerleme (0,05, 0,10 ve 0,15 mm/dev) ve sabit kesme derinliği (0,2 mm) parametreleri kullanılarak tornalama deneyleri gerçekleştirilmiştir. İdeal kesme parametrelerini belirlemek, talaş kaldırma işlemi daha verimli hale getirebilmek ve oluşan titreşimleri ölçmek amacıyla üç eksen (x, y ve z doğrultuları) ivmeölçerler kullanılarak işleme anında kesici takımından çevrimiçi olarak veriler alınmıştır. Tornalama işlemi sürecinde oluşan titreşimlerin numunelerin yüzey kalitesine etkisini belirlemek için yüzey pürüzlülüğü ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen verilere göre, titreşim ve yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli parametrenin ilerleme olduğu görülmüştür. Diğer numunelere göre, 45 HRC numunenin tornalanmasında titreşimin daha düşük ve yüzey kalitesinin daha iyi olduğu görülmüştür. Seramik kesici takımlar ile tornalama işleminde yüksek sertlik değerlerine sahip temperleme işlemi uygulanmış numunelerin tornalanmasında daha düşük titreşim ve yüzey pürüzlülüğü değerleri elde edilmiş, dolayısı ile daha iyi yüzey kalitesi elde edilebildiği gözlemlenmiştir.

Anahtar sözcükler: AISI 4140, Seramik takım, Titreşim, Tornalama, Yüzey pürüzlülüğü.

ABSTRACT

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THE EFFECT OF VIBRATION ON THE SURFACE ROUGHNESS IN TURNING OF AISI 4140 STEEL WITH CERAMIC CUTTING TOOLS

Musa ŞEREMET

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Mechanical Engineering

Master's Thesis

Supervisor: Assistant Professor Menderes KAM

August 2019, 84 pages

AISI 4140 (42CrMo4) steel materials are widely used in automotive, aircraft and defense industries due to their high strength, high toughness, and good hardenability. For this reason, it is very important to obtain a good surface quality in turning hardness of these high steels. In this experimental study, it is aimed to investigate the effect of vibration on the surface roughness of untreated, conventional heat treated and tempered AISI 4140 steel samples ($\varnothing 100 \times 250$ mm) with 18, 45 and 52 HRc hardness using ceramic cutting tools. Cutting parameters were selected four different cutting speeds (120, 160, 200 and 240 m/min), three different feed rates (0,05, 0,10 and 0,15 mm/rev) and cutting depth (0,2 mm). In order to determine the ideal cutting parameters, to make the turning process more efficient and to measure the occurring vibrations, the data were obtained online from the ceramic cutting tool by using accelerometers in three axis (x, y and z directions). Surface roughness measurements were performed to determine the effect of vibrations during the turning process on the surface quality of the samples. According to the data obtained, the most important cutting parameter affecting vibration and surface roughness values was found to be the feed rate. Compared to other samples, it was found that the vibration of 45 HRc hardness sample was lower and the surface quality was better. It has been observed that lower vibration and surface roughness values have been obtained in tempered samples which have high hardness values in the turning process with ceramic cutting tools and therefore better surface quality can be obtained.

Keywords: AISI 4140, Ceramic tool, Surface roughness, Turning, Vibration.

1. GİRİŞ

Endüstride birçok üretim yöntemi mevcuttur ancak genellikle nihai işleme yöntemi olarak talaşlı imalat en çok kullanılanlar arasındadır. Talaşlı imalat, üretim türlerinde en pahalı yöntemlerden biridir. Rekabetin yaygın olduğu her ortamda talaşlı imalat yapmak için ekonomik, seri imalat ve kalite parametreleri ön plana çıkmaktadır. Bunu gerçekleştirebilmek için de doğru malzeme, doğru kesici takım ve doğru kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği) seçmek büyük önem arz etmektedir. Bu koşullar optimum düzeyde oluşturulmadığı takdirde üretimde etkili ve sürekli kalmak imkânsız olacaktır. Bu nedenle işlenecek malzeme, kesici takım ve kesme parametreleri çok iyi belirlenmeli ve kesme esnasında ortaya çıkacak olumsuz koşullar ortadan kaldırılmalıdır [1].

Günümüzde her amaç için kullanılabilir çok sayıda malzeme mevcuttur. En doğru malzemeyi seçebilmek için malzemeler hakkında bilgi sahibi olmak gerekir. Genellikle en doğru malzeme, genelde istenilen şartları tam anlamıyla sağlayan en ekonomik ve verimli malzemedir [2]. Malzeme seçiminde öncelikle malzemenin mukavemetli dayanım sergilemesi konusundaki beklentileri sorgulanır. Bu kapsamda mekanik özelliklerinden akma sınırı, kopma sınırı, elastikiyet modülü, sertliği, aşınmaya karşı dayanımı gibi faktörlere bakılır. Bununla birlikte ısıl genleşme özelliği, ısıl kapasite, elektrik iletkenliği, özgül kütle gibi fiziksel ve korozyona dayanım gibi kimyasal özellikler de malzeme seçiminde önemli rol oynamaktadır [3]. Malzemenin kimyasal bileşiminin, kullanılacak alanda önemli etkiye sahip olmasının yanında malzemeye uygulanacak ısıl işlemler de bir o kadar önemlidir. Isıl işlem, malzemeyi bir takım ısıtma, soğutma ve tekrar ısıtma işlemlerinden sonra istenilen sertlik ve tokluk derecesine getirme işlemi olarak tanımlanır. O halde doğru malzeme seçmek, uygun ısıl işlemler uygulamakla mümkündür.

Kullanılacak alana göre malzeme seçimini doğru bir şekilde yaptıktan sonra en önemli aşama bu malzemedeki talaş kaldırarak şekil verecek olan kesici takımın seçilmesidir. Malzemenin işlenmesinde doğru kesici takım kullanılması şarttır. Aksi takdirde ideal kesme şartları oluşmayacak ve istenilen kalitede kesme sonuçları elde edilemeyecektir.

İstenilen sertliğe ve tokluğa getirilmiş malzemeyi işleyecek olan kesici, kesme sırasında meydana gelecek ısıya ve aşınmaya karşı direnç gösterecek özellikte olmalıdır. O zaman kesici takım belirlenmesinde işlenecek malzemenin cinsi de en önemli etken olmaktadır.

Doğru malzeme ve doğru kesici takım seçmek talaşlı imalat yapmak için çok önemli faktör, fakat yeterli değildir. Malzeme seçimi ve kesici takım seçiminden sonra en önemli aşama ise etkili ve verimli kesme parametrelerinin seçilmesidir. İşlenecek malzemeye ve kesici takım özelliklerine göre kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği belirlenmelidir. Bu şekilde ideal kesme şartları oluşacak, istenilen kalite ve verimde üretim sağlamak mümkün olacaktır [1].

Yukarıda bahsedilen parametrelerle ideal kesme şartları oluşacaktır. Ancak bu şartları sağlayacak takım tezgâhlarına olan ihtiyaç aşıkardır. Takım tezgâhlarından beklenen performans, seçilen kesme koşullarını en verimli şekilde meydana getirmesidir. Takım tezgâhlarının güçlü, yüksek iş mili devri, hızlı eksen manevralarının olması daha rijit ve hassas işleme kabiliyeti için gereklidir. Aksi halde kesme sırasında beklenmedik durumlar (ses, titreşim, takım aşınması, elverişsiz yüzey kalitesi vb.) ortaya çıkacak ve talaş kaldırmayı olumsuz etkileyecektir. Bu tür olumsuz koşullar kesici takımların erken aşınmasına ve kırılmasına sebep olmaktadır. Bu durumda tormalanan yüzeylerin pürüzlülüğü artacak ve kullanılacak alanda görevini tam anlamıyla yerine getiremeyecektir. Üretimde işlenen parçalar her zaman pürüzsüz yüzeye sahip olması beklenir. Tamamen pürüzsüz yüzey elde etmek mümkün değil, ancak daha az pürüzlü yüzeyler elde etmek mümkündür. Bunu sağlamak için ise ideal kesme parametrelerini belirlemek ve tormalama esnasında meydana gelen olumsuz koşulları ortadan kaldırmak gerekmektedir [1].

Bu çalışmada edüstride özellikle otomotiv, uçak ve savunma sanayide yaygın kullanılan, yüksek mukavemet ve tokluğa sahip geleneksel ısıtma işlem ve temperleme işlemi uygulanmış, AISI 4140 ıslah çeliği 18, 45 ve 52 HRc sertlikteki numuneler CNC (Bilgisayarlı Sayısal Kontrol) torna tezgâhında işlenmiştir. Tormalama işlemi sırasında talaşlı imalatta yaygın olarak kullanılan ve yüksek sertliğe sahip malzemelerde, yüksek kesme hızlarında ve yüksek sıcaklıklarda talaş kaldırmaya elverişli olan seramik kesici takımlarla kuru ortamda tormalama işlemi yapılmıştır. Kuru tormalama işlemi yüksek sıcaklıklara çıkan kesme bölgesinde hızlı soğutmadan kaynaklı kesici takım ve numunelerin çarpılmaları sorununu gidermekle beraber soğutma sıvılarının muhafazası, taşınması ve kullanım sonrası imhası sorununu ortadan kaldırmaktadır. Tormalama

işleminde dört farklı kesme hızı (120, 160, 200 ve 240 m/dak), üç farklı ilerleme (0,05, 0,10 ve 0,15 mm/dev) ve sabit kesme derinliğinde (0,2 mm) her bir numune için on iki adet deney olmak üzere sertlikleri farklı 3 numune için toplam otuz altı adet deney yapılmıştır. Tornalama sırasında kesici takımında oluşan titreşim için üç doğrultuda (x-Ch1, y-Ch2, z-Ch3) çevrimiçi veri alınmış ve bu titreşimlerin yüzey pürüzlülüğüne etkisi deneysel olarak analiz edilmiştir. Tornalama esnasında her bir deney için elde edilen talaş formları ve kalınlıkları karşılaştırılmıştır.

2. LİTERATÜR

Bu bölümde, literatürde ıslah çeliklerinin seramik kesici takımlarla tornalamasında meydana gelen titreşim, oluşan yüzey pürüzlülüğü ile ilgili istatistiksel ve deneysel çalışmaların özetleri sunulmuştur. Ayrıca, yapılan literatür araştırmasının değerlendirilmesine yer verilmiştir.

Luo ve ark. (1999), yaptıkları çalışmada, yüksek sertlikte (AISI 4340) seramik ve CBN (Kübik Bor Nitrür) kaplamalı takımlarla tornalanmasında oluşan aşınma özelliklerini incelemiştir. Kesme parametreleri olarak kesme hızı (60, 100, 200 m/dak), ilerleme miktarı (0,1, 0,2, 0,3 mm/dev), kesme derinliği (0,2, 0,5 mm) kullanarak çalışmanın sonucunda CBN ve seramik kesici takımlarda meydana gelen aşınmaların sebebi olarak, iş parçası taneciklerinin sıkı bir şekilde yapışmasından kaynaklandığını görmüşlerdir. CBN ve seramik kesici takımların ömrünü artırmak için takımların bağlayıcılarının kuvvetlendirilmesi gerektiği kanaatini elde etmişlerdir. Ayrıca kesme hızı arttıkça meydana gelen sıcaklığın giderilmesi gerektiğini, bu sayede takımların aşınmaya karşı daha dirençli olacağı ve takımların bağlayıcı taneciklerindeki kopmaların azalacağı sonucuna varmışlardır [4].

Risbood ve ark. (2002), tornalama işleminde kesme kuvvetlerini ve titreşimleri ölçerek yüzey pürüzlülüğünün ve boyutsal sapmanın tahmin edilmesi üzerinde çalışma yapmışlardır. Çalışmada radyal titreşimin artması yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemsiz bir etkiye sahip olduğunu tespit etmişler. TiN (Titanyum Nitrür) kaplamalı kesici takımlarla yapılan tornalamada kesme hızının artmasıyla yüzey pürüzlülüğünde iyileşmeler gözlemlenmiştir. HSS (Yüksek Hız Çeliği) takımlarla tornalamada böyle bir durum ortaya çıkmadığı ve diğer yandan boyutsal sapmanın da azalan çapların tornalanmasında önemli olduğunu görmüşlerdir [5].

Ghani ve ark. (2002), dökme demirin seramik takımlarla işlenmesinde titreşim, yüzey pürüzlülüğü ve takım ömrü üzerinde çalışma yapmışlardır. Farklı kesme hızlarında deneyler yapmışlar ve 364 ile 685 m/dak kesme hızında maksimum takım ömrü tespit etmişlerdir. Ancak seramik takımların dökme demirin işlenmesinde, takım ömrünün

tatmin edici olmadığını görmüşlerdir [6].

Şahin ve Motorcu (2004), kaplamalı karbür ve sermet kesici takımlarla AISI 4140 ıslah çeliğinin işlenebilirliği üzerinde deneysel çalışma yapmışlardır. Farklı kesme hızlarında, ilerleme ve talaş derinliği sabit tutularak kuru kesme yapıp kesici takımların aşınmış yüzeylerini verniyer bölüntülü optik mikroskop ile incelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda bütün takımlar için, kesme hızının düşmesiyle takım ömründe belirgin bir şekilde artma ve sermet takımların kaplamalı karbür takımlardan daha iyi takım ömrü performansı sergilediğini görmüşlerdir [7].

Yallese ve ark. (2005), X200Cr12 çeliğinin (60 HRC) işlenmesi sırasında kesme koşullarının seramik ile CBN kesici takımın aşınması ve yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri üzerinde yaptıkları çalışma sonucunda izin verilen aşınma sınırının altında, seramik takımların CBN takımlarından daha düşük pürüzlülük değerleri ile kaliteli yüzeyler verdiğini görmüşlerdir [8].

Aslan ve ark. (2006), sertleştirilmiş AISI 4140 çeliğinin (63 HRC) Al_2O_3+TiCN karışık seramik takımlarla tornalanmasında kesme parametrelerinin tasarım optimizasyonu üzerine yaptığı çalışmada; üç kesme parametresinin (kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği) iki performans ölçüsü, kanat aşınması (V_b) ve yüzey pürüzlülüğünün (R_a) kombine etkileri, ortogonal bir dizi ve varyans analizi (ANOVA) kullanılarak araştırmışlardır. Deneyler Al_2O_3+TiCN karışık seramik takımlarla kuru ortamda tornalama yapmışlardır. Çalışmanın sonucunda kesme hızının takım aşınmasında önemli bir faktör olduğunu görerek takım aşınmasını en aza indirmek için, kesme hızının en yüksek seviyesi, 250 m/dak ve düşük kesme derinliği seviyeleri, 0,25 veya 0,50 mm olması gerektiğini görmüşlerdir. Yüzey pürüzlülüğünü en aza indirmek için, en yüksek kesme hızı, 250 m/dak, en düşük kesme derinliği seviyesi, 0,25 mm ve orta seviye ilerleme, 0,10 mm/dev parametrelerinde sadece ilerleme hızını en düşük seviyeye ayarlamamanın, 0,05 mm/dev değerinin, optimal kombinasyona sağlam bir alternatif olduğunu görmüşlerdir [9].

Apakhan (2006), farklı talaş açılara sahip seramik takımlarla, dökme demir olan silindir gömleğinin farklı kesme parametreleri, farklı talaş açılara sahip seramik kesici takımların işlenebilirliğe etkisini ve takım aşınmalarını incelemiştir [10].

İşbilir (2006), takım ömrünü sebep-sonuç diyagramları ile açıklamış, yüzey pürüzlülüğü ve takım ömrüne etki eden faktörlerin analizini yapmıştır [11].

Neşeli (2006), tornalama işleminde takım geometrisi ve tırlama titreşimlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri üzerine yaptığı çalışmada; talaşlı imalatta önemli etkiye sahip yüzey pürüzlülüğünün, takım geometrisinden ve tırlama titreşiminden ne ölçüde etkilendiğini değerlendirmiştir. Çalışmanın sonucunda; her yaklaşma açılarında farklı sonuçlar elde etmiştir. Yaklaşma açısı 60° olduğu durumlarda tırlama titreşimi en küçük seviyede gerçekleşip, açı değerinin 75° ve 90° olduğu durumlarda ise kesme kuvvetindeki artışlardan dolayı titreşimlerde de önemli ölçüde artışlar olduğunu görmüştür. İş parçası üzerinde meydana gelen yüzeyleri incelediğinde, yüzey pürüzlülüğün işleme sırasında meydana gelen tırlama titreşiminin şiddetiyle orantılı olduğu tespit etmiştir [12]. Ayrıca Neşeli (2007) yaptığı çalışmada, tornalama işleminde yaklaşma ve talaş açısına bağlı tırlama titreşimlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin oldukça önemli olduğunu görmüştür [13].

Samir ve ark. (2007), AISI 4140 çeliklerinin tornalanmasında, PVD (Fiziksel Buhar Biriktirme) ve TiAlN kaplamalı sementite karbür uçların aşınması ve kaplanmış kesici takımların kuru ve soğutma sıvısı ile işleme altında mikroyapı aşınma davranışları üzerindeki tribolojik etkilerini incelemiştir. Tornalama deneyleri 210 ila 410 m/dak arasında değişen yüksek kesme hızlarında gerçekleştirmişlerdir. Deneysel sonuçlara dayanan analizler, geleneksel soğutma sıvısının yüksek hızlı işleme altında TiAlN kaplamaları üzerinde aşınmayı geciktiren bir etkiye sahip olduğuna dair güçlü kanıtlar ortaya koyduğunu görmüşlerdir [14].

Orhan ve ark. (2007), 35 HRC de AISI D3 takım çeliğini CBN kaplamalı kesici uçlarla frezeleme işlemi yapmışlardır. Çalışmada takım aşınmasının titreşim genliğine etkisini araştırmışlar ve çalışmanın sonucunda takım aşınması arttıkça titreşim genliğinin de arttığını görmüşlerdir. Özellikle $160 \mu\text{m}$ 'luk yan aşınma değerine ulaşılan kadar titreşim genliğinde önemli bir artış olmadığı sonucuna varmışlardır [15].

Derakhshan ve Akbari (2009), geleneksel ısı işlemlere tabi tutularak elde edilen 45 ile 60 HRC sertliklerindeki AISI 4140 alaşımlı çeliklere sert tornalama işlemlerini uygulamışlardır. Tornalamada CBN takımlar kullanılmış ve farklı kesme hızlarında elde edilen yüzey pürüzlülükleri açısından karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, kesme hızının artması yüzey pürüzlülüğünde önemli bir etkiye sahip olduğunu görmüşlerdir [16].

Çakan (2010), sertleştirilmiş çeliklerin (AISI 4340 ve 52100) tornalanmasında seramik kesici takımların kanat aşınma davranışının gerçek zamanlı izlenmesi üzerinde çalışma

yapmıştır. Çalışmada tasarlanan gerçek zamanlı izleme sistemi, seramik kesici takımların yanal aşınma davranışını, optimum sert tornalama koşullarını belirlemek ve ölçmek açısından önemli sonuçlar elde etmiştir [17].

Şahin (2009), taguchi metodu kullanarak sertleştirilmiş AISI 4140 çelikleri işlenirken seramik ve CBN kesici takımları arasındaki takım ömrü karşılaştırması yapmıştır. Takım ömrü üzerindeki etkili kesme parametrelerini belirlemek için ortogonal tasarım, sinyal-gürültü oranı (S/N) ve varyans analizi (ANOVA) kullanmıştır. Sonuç olarak kesme hızının (V) takım ömrü üzerinde baskın bir faktör olduğunu, ardından kesici takımın sertliği (TH) ve en sonunda ilerleme (f) etkisinin olduğunu görmüştür [18].

Asiltürk ve Akkuş (2011), sertleştirilmiş AISI 4140 (51 HRc) kaplamalı karbür kesici takımlarla L₉ ortogonal dizisi kullanarak tornalama işlemi yapmış ve varyans analizi (ANOVA) kullanarak kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerine bakmışlardır. Çalışmanın sonucunda, ilerleme oranının ortalama yüzey pürüzlülük değeri (Ra) ve ardışık beş pürüzlülük yüksekliği ortalama değeri (Rz) üzerinde en önemli etkiye sahip olduğunu görmüşlerdir [19].

Aslantaş ve ark. (2011), sertleştirilmiş AISI 52100 (63 HRc) alaşımlı çeliklerin tornalamada kaplamalı ve kaplamasız Al₂O₃/TiCN karışık seramik takımlarının takım ömrü ve aşınma mekanizması üzerinde çalışma yapmışlardır. Çalışma sonucunda kaplamasız takımlarda kırılma ve kopma tipi hasarlar daha sık görülürken, TiN kaplı takımlarda krater aşınması daha yaygın olduğunu görmüşlerdir. Çalışmadan elde edilen en önemli sonuç, TiN kaplama ve krater aşınmasının talaş akış yönünü etkilemiş olmasıdır. Kaplanmamış seramik takımlarda, krater oluşumu yonga kıvrılma yarıçapında azalma olduğu görmüşlerdir [20].

Vipindas ve Govindan (2013), Taguchi L₉ ortogonal dizisine dayanan Al 6061 malzemesi üzerinde bir dizi tornalama işlemi yapmışlar ve tornalama işleminde yüzey pürüzlülüğünü 0,3 ve 4,4 µm arasında ölçmüşlerdir. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli parametrenin ilerleme olduğunu görmüşlerdir [21].

Elbah ve ark. (2013), AISI 4140 (60 HRc) çeliğinin seramik takımlar ile sert tornalama işleminde yüzey pürüzlülüğünü etkileyen önemli parametreyi belirlemek için yanıt yüzey metodolojisi (RSM) ve ANOVA kullanmışlardır. İstatistiksel analize göre ilerleme oranının ve kesme derinliğinin yüzey pürüzlülüğünü azaltmada önemli etkiye sahip olduğunu görmüşlerdir. Ayrıca pürüzlülük ölçümleri takım aşınmasına bağlı olarak

değiştirdiğini bununla birlikte, aşınmanın 0,3 mm değerinde izin verilen kanat aşınmasına kadar yükselmesine rağmen, pürüzlülük değerinin (Ra), 0,9 μm 'u aşmadığını görmüşlerdir [22].

Hessainia ve ark. (2013), kesme parametrelerine ve takım titreşimlerine dayanan sert tornalama sırasında yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi üzerine yaptıkları çalışmada; RSM kullanarak sert tornalama sonucunda meydana gelen yüzey pürüzlülüğünü incelemişlerdir. Deneylerde kullanılan malzeme AISI 4140 ve $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiC}$ karışık seramik takım kullanmışlardır. Kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği, radyal ve takım kesme yönlerinde takım titreşimi gibi kesme parametrelerini dikkate almışlardır. ANOVA kullanılırken kesme parametrelerinin ve takım titreşiminin yüzey pürüzlülüğüne etkilerini araştırmışlardır. İlerleme ve kesme hızının, yüzey pürüzlülüğü üzerinde en yüksek etkiye sahip olduğunu görmüşlerdir. Deneylerde seçilen parametreler için oluşan titreşimin yüzey pürüzlülüğüne çok fazla etki etmediğini görmüşlerdir. Sonuç olarak kesici takım titreşim genliklerinin optimal sert tornalama parametreleri; 180 m/dak'lık kesme hızı, 0,08 mm/dev'lik ilerleme hızı, 0,15 mm kesme derinliği ve kesici takım titreşim genliği 0,862 m/s^2 ana kesme kuvveti yönünde, 0,999 m/s^2 radyal kesme ivmesi ve optimize edilmiş yüzey pürüzlülüğü $\text{Ra}=0,21 \mu\text{m}$, $\text{Rt}=2,40 \mu\text{m}$ olarak bulmuşlardır [23].

Das ve arkadaşları (2014), çalışmalarında TiN kaplamalı seramik takım kullanarak sertleştirilmiş AISI 4140 çeliğinin işlenebilirliği için deneysel araştırma yapmışlar ve çalışmada, kuru ortamda PVD-TiN kaplı $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiCN}$ karışık seramik uçlar kullanılarak malzemenin sert tornalanmasında yüzey pürüzlülüğü, yan aşınma ve talaş morfolojisi üzerine bazı işlenebilirlik özelliklerini incelemişlerdir. Talaş derinliğinin takım kanat aşınmasında az da olsa etkili olduğunu ve kesme hızının, yüzey pürüzlülüğünün ana kesme parametresi olduğunu görmüşlerdir. Oluşan talaşların ve kesici takımların SEM görüntülerini almışlar ve takım aşınmasının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda yüzey pürüzlülüğünün esas olarak ilerlemeden etkilendiğini ve talaş derinliğinin ihmal edilebilir bir etkiye sahip olduğunu görmüşlerdir. Titreşim ve kesme hızının artması yüzey pürüzlülüğünü olumsuz etkilediğini görmüşlerdir. ANOVA sonuçlarına göre kesme hızının, yanal aşınmayı etkileyen ana kesme parametresi ve talaş derinliği ise kenar aşınmasının ana kesme parametresi olduğunu ve kesme hızının artmasıyla yanal aşınma artarak yüzey kalitesinin bozulduğunu görmüşlerdir. Kuru koşullarda sert tornalama işlemi için PVD-TiN kaplamalı $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiCN}$ karışık seramik takımının, silindirik tornalama işlemlerinde

verimli ve uygun maliyetli olduğunu tespit etmişlerdir. Sertleştirilmiş alaşımlı çeliğin tornalamada kaplamalı ve kaplamasız $Al_2O_3/TiCN$ karışık seramik takımların takım ömrü ve aşınma mekanizması üzerinde de çalışmalar yapmışlardır. Kesme parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği) yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilere bakarak yüzey pürüzlülüğünü etkileyen ana kesme parametresinin kesme hızı olduğunu görmüşlerdir [24].

Karayel ve Nalbant (2014), AISI 4140 çeliğinin tornalamasında ilerleme hızı, kesme hızı ve kesici takımların yüzey pürüzlülüğünü, takım ömrünü ve takım aşınmasına etkileri üzerinde çalışma yapmışlardır. Çalışmada TNMG profiline sahip Al_2O_3 , TiC ve TiCN malzemesiyle kaplanmış NC 3020 ve NC 3030 kalitesinde iki kesici takım kullanmışlardır. Deneyler kuru kesme ortamında yapılmış olup, yüzey pürüzlülüğü deneylerinde beş farklı kesme hızı (150, 200, 250, 300, 350 m/dak), üç farklı ilerleme hızı (0,15, 0,25, 0,35 mm/dev) ve 2 mm sabit kesme derinliği kullanmışlardır. Takım ömrü deneylerinde; beş farklı kesme hızı (150, 200, 250, 300, 350 m/dak), 0,25 mm/dev sabit ilerleme ve 2 mm sabit kesme derinliği kullanmışlardır. Deneylerde kullanılan kesici takımların taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelemeleri sonucunda, çıtlama ve çentik aşınması tiplerinin oldukça etkin olduğunu görmüşlerdir. Çalışmanın sonucunda; kesme hızının yüzey pürüzlülüğünde çok fazla etkili olmadığını, ilerleme miktarının ve kullanılan uç kalitesinin ise oldukça etkili olduğunu, takımın ömrüyle üçüncü dereceden azalan bir ilişkisi olduğunu, ilerleme miktarı ile ortalama yüzey pürüzlülüğü miktarı arasında artan doğrusal ilişkinin olduğunu görmüşlerdir. Ayrıca NC3020 uç ile NC3030 uçlara göre daha düşük yüzey pürüzlülük değeri elde etmişlerdir. En uzun takım ömrü; TNMG 220408 kesici takımlarla 150 m/dak kesme hızında, 73,70 dakika talaş kaldırarak gerçekleştiğini görmüşlerdir. En düşük ortalama yüzey pürüzlülük değeri ise; TNMG 160408 kesici takımlarla 150 m/dak kesme hızında, 0,15 mm/dev ilerleme miktarında 0,983 μm olarak ölçmüşlerdir. En yüksek ortalama yüzey pürüzlülük değeri ise; TNMG 160408 kesici takımlar ile 200 m/dak kesme hızında 0,35 mm/dev ilerleme hızında 5,138 μm olarak ölçmüşlerdir [25].

Rashid ve ark. (2016), AISI 4340 (69 HRC) çeliğini CBN kesici takımlar ile sert tornalama işlemi yapmışlar ve sonuç olarak en düşük ilerleme hızında en iyi yüzey kalitesini elde etmişler, ancak en düşük ilerleme hızında en fazla takım aşınması ortaya çıktığını görmüşlerdir [26].

Özocakcıoğlu (2016), seramik kesici takım ile sertleştirilmiş AISI 4140 (51-53 HRC)

çeliği üzerinde tornalama işlemi gerçekleştirmiş, farklı kesme parametreleri için kesici takımın aşınmaya karşı gösterdiği davranışları çevrimiçi izleme yöntemi kullanarak incelemiştir. Deneylerde, 150 ve 180 m/dak kesme hızında, 0,04, 0,08, 0,12 mm/dev ilerleme hızlarında ve 0,2 mm kesme derinliğinden oluşan kesme parametrelerini kullanarak gerçekleştirmiştir. Deneylerin sonucunda ANOVA yöntemi ile birbirlerinden anlamlı derecede farklı bulmuş ve belirlenen deney koşulları için ilerleme hızının, kesici takım uç aşınmasında en önemli faktör olduğunu görmüştür [27].

Pınar ve Fırat (2016), AISI 4140 çeliğinin çok yönlü takımla tornalanmasında yüzey pürüzlülük performansının optimizasyonu üzerine yaptığı çalışmada; AISI 4140 çeliğinin kaba işleme şartlarında, (yüksek ilerleme ve talaş derinliği) tornalama takımıyla tornalanmasını istatistiksel olarak tartışmışlardır. Taguchi'nin L_8 ortogonal dizisi esas alınarak, kesme hızı, talaş kırıcı tipi ve uç yarıçapı faktörlerinin farklı seviyelerinde deneyler gerçekleştirmişlerdir. %95 güven seviyesinde yapılan analizler sonucunda, uç yarıçapının pürüzlülük üzerinde en anlamlı etkiye sahip olduğunu, bunu talaş kırıcı tipi, uç yarıçapı etkileşiminin izlediği ve optimum yüzey pürüzlülüğün $0,572 \mu\text{m}$ olduğunu görmüşlerdir [28].

Çakmak ve Sarıdemir (2016), AISI 4140 çeliğinin tornalanmasında kesici uç geometrisinin talaş kırmaya ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi üzerine yaptıkları çalışmada AISI 4140 çeliğinin CNC torna tezgâhında, kaplamalı karbür kesici takımlarla tornalamışlardır. Deneylerde farklı uç geometrisine sahip kaplamalı uçlar kullanarak kesici takımın talaş kırıcı formunun, yüzey pürüzlülüğüne ve talaş formuna etkisini araştırmışlardır. Deneylerde kesme hızı, talaş derinliği ve ilerleme hızı değişkenlerini kullanıp talaş tiplerini kıyaslayarak incelemiştir. İşlenen malzemelerin yüzey pürüzlülüğü ölçmüşler, elde edilen değerlerde genel olarak ilerleme hızı arttığında talaşın rahat kırıldığını ve yüzey pürüzlülüğünün arttığını görmüşlerdir [29].

Kaçal ve Yıldırım (2016), sertleştirilmiş (60 HRC) PMD-23 toz metal çeliğinin tornalanmasında işleme performansı, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması açısından değerlendirmişlerdir. Deneyleri üç farklı kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğinde kuru şartlarda yapmışlardır. Kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü (R_a) üzerindeki etkilerini belirlemek için ANOVA yapmışlardır. Elde edilen sonuçlarda R_a üzerinde en etkili parametrenin kesme derinliği olduğunu görmüşlerdir. İlerleme ve kesme derinliğinin artışıyla R_a değerlerinin arttığını görmüşlerdir. ANOVA sonuçlarına

baktıklarında ise Ra üzerindeki en etkili parametrenin kesme derinliği ve daha sonra ilerleme hızı olduğunu tespit etmişlerdir [30].

Kara ve ark. (2017), AISI 4140 ıslah çeliğinin tornalanmasında yüzey pürüzlülüğü ve titreşimin taguchi metodu ile optimizasyonunu incelemişlerdir. Çalışmada dört farklı kesme hızı (100, 150, 200, 250 m/dak), ilerleme hızı (0,05, 0,10, 0,15, 0,20 mm/dev) ve kesme derinliği (0,25, 0,50, 0,75, 1 mm) kombinasyonlarında işlenmesi için bir dizi tornalama deneyi gerçekleştirmişlerdir. Taguchi analizi sonucu, yüzey pürüzlülüğü için kesme hızının dördüncü seviyesi olan 250 m/dak, ilerleme hızının birinci seviyesi olan 0,05 mm/dev ve kesme derinliğinin birinci seviyesi olan 0,25 mm değerlerinde en düşük yüzey pürüzlülüğü değerlerine ulaşmışlardır. Bununla birlikte titreşim için optimal değerlere kesme hızının üçüncü seviyesi olan 200 m/dak, ilerleme hızının birinci seviyesi olan 0,05 mm/dev ve kesme derinliğinin birinci seviyesi olan 0,25 mm değerlerinde ulaşıldığını görmüşlerdir. ANOVA sonuçlarına göre, yüzey pürüzlülük değeri üzerinde en etkili parametrenin ilerleme hızı (%92,63), daha sonra sırasıyla kesme derinliği (%2,08) ve kesme hızı (%1,37) olduğu ve titreşim üzerindeki en etkili parametrenin ise ilerleme hızı (%88,96), daha sonra sırasıyla kesme derinliği (%6,50), kesme hızının (%4,54) olduğunu görmüşler. AISI 4140 ıslah çeliğinin tornalama işlemindeki optimum yüzey pürüzlülüğü ve titreşim değerlerinin belirlenmesinde, Taguchi deneysel tasarım metodunun başarılı bir şekilde uygulanabileceği sonucuna varmışlardır [31].

Shiddique ve ark. (2017), AISI 4140 alaşımlı çeliğin TNMG 432 PD M400 C7 CVD Al₂O₃ kaplamalı karbür kesici uç ile tornalama işlemi yapmışlardır. Yüzey pürüzlülüğü analizi için kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğinin optimum değerlerini elde etmeye çalışmışlardır. Yüzey pürüzlülüğü için en önemli parametrenin ilerleme hızı olduğunu ve optimum kesme parametrelerinin 2100 dev/dak devir sayısı, 0,10 mm/dev ilerleme ve 0,5 mm kesme derinliği olduğunu görmüşlerdir [32].

Özlü ve ark. (2018), sıcak dövme sonrası yüksek soğuma hızlarında soğutulan AISI 5140 çeliğinin seramik kesici takım kullanarak kuru işleme şartlarında beş farklı kesme hızında (120, 150, 180, 210 ve 240 m/dak), dört farklı ilerleme hızı (0,04, 0,08, 0,12 ve 0,16 mm/dev) ve dört farklı talaş derinliğinde (0,4, 0,6, 0,8 ve 1 mm) tornalama yapmışlardır. Sonuç olarak, soğutma hızının yüzey pürüzlülüğü (Ra) üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu görmüşlerdir. Sıcak dövme işleminden sonra polimerli suda soğutularak en yüksek sertliğe sahip iş parçasında en yüksek kesme kuvvetine ulaşılırken, aynı iş parçasında en düşük yüzey pürüzlülüğü değerini elde etmişlerdir [33].

Yardımeden ve Turan (2018), farklı kesme parametreleriyle AISI 1040 çeliğin tornalanmasında meydana gelen titreşimlerin ve yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi üzerinde yaptıkları çalışmada, soğutma sıvısı kullanılmadan farklı kesme parametreleri ile tornalanmış, sonucunda titreşim ivmesinin artışıyla yüzey pürüzlülüğü de artış göstermiş, yüzey pürüzlülüğü ile kesme parametreleri arasındaki ilişkide ise; ilerleme oranı ve talaş derinliğinin artışıyla yüzey pürüzlülüğünün arttığını, kesme hızının artışıyla da yüzey pürüzlülüğünün azaldığını görmüşlerdir [34].

Sande (2018), mükemmel mekanik özellikleri ve yüksek aşınma direnci nedeniyle son yıllarda kalıplama, şekillendirme, diş çekme ve çekme kalıpları, kesme bıçakları, masterlar ve parlatma rulolarında önemli bir rol oynayan ve yüksek sertliklerinden dolayı, kesici takım malzemeleriyle reaksiyona girme yakınlığı bulunan, işlenmesi en zor malzemelerden olan AISI D2 (yüksek karbonlu yüksek kromlu) malzemeyi seramik kesici takımlarla sert tornalama işlemi uygulamış ve kuru kesme şartlarında daha iyi sonuçlar elde etmiştir [35].

Ambhore ve ark. (2018), sertleştirilmiş AISI 52100 çeliğini tornalamak için kesme parametrelerinde (kesme hızı, ilerleme hızı ve kesme derinliği) incelemişlerdir. Kesici takıma gelen her üç yöndeki, aksel (ilerleme), radyal ve teğetsel titreşimi, ivmeölçer monte edilerek ölçmüşlerdir. Yüzey pürüzlülüğü, ilerleme hızından ve ardından kesme hızından yüksek oranda etkilenirken, kesme derinliği etkisinin daha az olduğunu görmüşlerdir [36].

Samtaş ve Korucu (2019), 80x80x30 mm boyutlarında EN AW 5754 (AlMg₃) alüminyum alaşımına kriyojenik işlem uygulamış, kaplamalı ve kaplamasız kesici takımlarla yüzey frezeleme işlemi gerçekleştirmişler ve yüzey frezeleme işlemi esnasında kesme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Deneylerde Taguchi L₉ ortogonal dizini ile üç farklı kesici uç (Al₂O₃-TiCN-TiN kaplamalı, TiAlN kaplamalı Nano, TiB₂ kaplamalı), kesme hızı (310, 450, 600 m/dak), ilerleme oranı (0,15, 0,25, 0,35 mm/diş) ve kesme derinliği (0,5, 1, 1,5 mm) kullanmışlardır. Taguchi analizi sonucu minimum yüzey pürüzlülüğü için elde edilen optimum kesme şartları; Al₂O₃-TiCN-TiN kaplamalı kesici uç, 1 mm kesme derinliği, 600 m/dak kesme hızı ve 0,15 mm/diş ilerleme oranı ve bu kesme şartları için yüzey pürüzlülük değerleri 0,47 µm olarak bulmuşlardır [37].

Şahinoğlu ve Güllü (2019), CNC torna tezgâhında, kuru kesme şartlarında, CuZn₃9Pb₃ malzeme kullanarak, 4 farklı ilerleme, 5 farklı talaş derinliği ve 4 farklı kesme hızında

oluşan ses şiddeti, titreşim, tezgâhın çektiği akım değeri ve yüzey pürüzlülük değerleri arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. RSM ile analiz ederek optimum kesme parametrelerini belirlemişlerdir. İlerleme miktarı arttıkça yüzey pürüzlülük, ses şiddeti, titreşim ve tezgâhın çektiği akım değerinin arttığını, titreşim değeri arttıkça, yüzey pürüzlülük değerinin ve ses şiddetinin de arttığını görmüşlerdir [38].

Literatürde birçok araştırmacı AISI 4140 ıslah çelikleri üzerinde sert tornalama, yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması, oluşan titreşim ölçümü ve analizi üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Ayrıca alaşımli çeliklerde seramik takımların kesme kabiliyeti ve sonucunda meydana gelen aşınma analizi üzerine araştırmalar gerçekleştirmişlerdir [39] , [40]. AISI 4140 ıslah çeliği ve diğer çelikler üzerinde yapılan bütün çalışmalarda kesme parametrelerinin titreşim, takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğünü önemli ölçüde etkilediğini görmüşlerdir.

Bu çalışmada ise; geleneksel ısıl işlem uygulanmış AISI 4140 ıslah çeliğinin seramik kesici takımlarla CNC torna tezgâhında kuru şartlarda tornalanmasında oluşan titreşimin iş parçalarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi deneysel olarak incelenmesi amaçlanmıştır.

3. GENEL BİLGİLER

Bu bölümde; AISI 4140 çeliği, ısıl işlem, seramik kesici takımlar, tornalama, titreşim, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması terimleri hakkında genel bilgiler verilmiştir.

3.1. AISI 4140 ISLAH ÇELİKLERİ

Endüstride yaygın kullanım alanına sahip ıslah çelikleri; kimyasal bileşimlerindeki karbon miktarı bakımından, sertleştirilmeye oldukça elverişli ve ıslah işlemi uygulanması sonucunda belirli bir çekme dayanımında yüksek tokluk özelliği gösteren, alaşımsız ve alaşımlı makine imalat çelikleridir. Islah işlemi, çelik malzemeleri sertleştirme ve arkasından temperleme işlemi uygulanmasıyla yüksek tokluk özelliğinin kazandırılması olarak tanımlanmaktadır [41], [42]. Bu çelikler ıslah işlemi sonunda kazandıkları üstün mekanik özelliklerinden dolayı endüstride otomobil ve uçak yapımında oldukça kullanılmaktadır. Özellikle makine parçaları, krank mili, aks mili, yivli mil gibi sünekliği yüksek olan parçaların imalatında olmak üzere geniş bir kullanım alanına sahip malzemelerdir [2], [42], [43]. Bu nedenle ıslah çelikleri, inşaat ve alaşımsız çeliklerden sonra en yüksek oranda üretimi yapılan ve kullanılan çeliklerdir. AISI 4140 (42CrMo4) çeliği, düşük alaşımlı Cr-Mo'li ıslah çelikleri en yaygın kullanım alanına sahip olan türlerdir. AISI 4140 çeliği, içerdiği Cr ve Mo alaşım elementleri sayesinde, su verme işlemi sonunda sert martenzitik bir yapı oluşturarak, mukavemet, süneklik ve tokluk gibi mekanik özelliklerinin bir arada olmasını sağlamaktadır [2].

Kullanım alanları olarak, yukarıda belirtilenlerin yanında soğuk çekme mil ve çubukları, türbin motorları, turbo jeneratörlerinin fren halkaları ve kolları, dişliler, demir yollarının tekerlekleri ve milleri gibi birçok alan saymak mümkündür [42], [43]. Şekil 3.1'de AISI 4140 ıslah çeliğinden yapılmış numuneler gösterilmiştir.



Şekil 3.1. AISI 4140 ıslah çeliğinden yapılmış numuneler.

Islah çelikleri kimyasal bileşimlerine göre alaşımsız ıslah çelikleri, mangan alaşımlı ıslah çelikleri, krom alaşımlı ıslah çelikleri ve krom-molibden alaşımlı ıslah çelikleri şeklinde sınıflandırılabilir. AISI 4140 çeliği, düşük alaşımlı yapı çeliği, dövme kalite çelikleri, orta karbonlu çelik ve alaşımlı çelik olarak da adlandırılır [44].

AISI 4140 çeliği aynı çelik grubu ile kıyaslandığında orta derecede sertleşebilir ancak o çeliklere göre dayanımı ve tokluğu daha yüksektir. Karbon oranı yüksek olduğundan dolayı sertleşme kabiliyeti ve mukavemeti yüksektir. Çekme dayanımları 1650 MPa'a kadar çıkabilmektedir. Bu nedenle sertleştirme ve temperleme işlemine oldukça elverişlidir [42].

3.2. ISIL İŞLEM

Isıl işlem, malzemeleri istenilen sertlik derecelerine getirmek için birtakım ısıtma soğutma ve tekrar ısıtma süreçlerini içeren bir uygulamadır. Geleneksel ısıl işlem, içyapı ve özellikleri bakımından belirli bir durumu elde etmek için malzemenin katılaşma sıcaklığının altında uygun sıra ve süre ile ısıtılıp soğutulması işlemi olarak tanımlanmaktadır [42]. Isıl işlemde malzemenin kompozisyonunda değişme olmaz. Soğutma işlemi su, yağ ve havada yapılmaktadır. Suda yapılan soğutmada daha hızlı olduğundan malzemenin iç yapısına kadar sertleşme olmaz. Suyun temininden dolayı bu

işlem en ekonomik olanıdır. Yağda yapılan soğutmada daha yavaş olduğundan derinlere kadar sertleştirmek mümkündür. En uzun süreli soğutma havada gerçekleşmekte ve malzemenin iç yapısına kadar sertleşmesine imkân tanımaktadır [2].

Çeliklerin ısıtım özelliklerinin belirlenmesinde önemli temel noktalar; çelikteki %C oranı, alaşım elementlerinin yüzdesi, mekanik özellikler, çeliğin kullanım ortamı ve kullanım alanında maruz kalacağı zorlamalar olarak sıralanabilir. Endüstride bu hususlar dikkate alınarak çeliğe uygulanacak ısıtım işlem çeşitleri belirlenerek, bu ısıtım özellikler çerçevesinde birçok farklı ısıtım işlem yöntemi kullanılarak istenilen özellikler elde edilebilmektedir. Isıtım işlem sıcaklıkları malzeme içerisinde bulunan karbon miktarı ile ilişkilidir. Bu sebeple ısıtım işlemler için belirli bir sıcaklık değeri verilemez. Isıtım işlem sıcaklıkları demir-karbon denge diyagramındaki eğrilerle tespit edilebilmektedir [2].

Su verilen çeliklerin gevrekliğini gidermek veya tokluğunu artırmak amacıyla kritik sıcaklık çizgisinin altındaki sıcaklıklarda uygulanan tavlama işlemine temperleme işlemi denilmektedir. Bu işlemde çelik malzeme belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılıp, o sıcaklıkta belirli bir süre tutulduktan sonra havada soğutulur. Bu işlem sırasında su verilen çelikteki iç gerilmeler büyük ölçüde giderilir ve bu nedenle çeliğin süneklik ve tokluğunda artma, sertlik ve mukavemetinde ise azalma meydana gelmektedir [43].

Temperleme işlemi, normal yoldan sertleştirilmiş çelik için gerekli sıcaklığa yeniden ısıtılır, bu sıcaklıkta belirli bir süre bekletilir ve daha sonra havada soğutulur. Sıcaklığın sıkı bir kontrolü şarttır, bu amaçla özel temperleme fırınları kullanılır. Temperleme işlemi sertleştirmenin hemen ardından uygulanmalıdır. Temperleme zamanı parçanın çekirdeğinin belirli bir süre, belirli bir sıcaklığa sahip olmasına yetecek kadar uzun olmalıdır. Bu süre parçanın büyüklüğüne göre yarım saatten iki saate kadar değişir. Sıcaklık ne kadar düşük kullanılırsa işlem o kadar uzun zaman alır [2].

3.3. SERAMİK KESİCİ TAKIMLAR

Kesici takımların aşınmaya karşı dirençli, kırılmaya karşı dayanıklı, yüksek sıcaklıklarda kimyasal kararlılığını ve sertliğini koruyabilmesi, üretim için oldukça önemli etkenlerdir. Seramik kesici takımlar kesme sırasında bu özelliklerde çalışabilen ve yüksek performans gösteren kesici uçlardır.

Talaşlı imalatta etkili ve verimli bir talaş kaldırma işlemi yapabilmek için dikkat edilmesi gereken en önemli unsurlardan biri kesici takımlardır. 1930'lu yıllardan beri imalat

sektöründe kullanılan seramik kesici takımlar, günümüzde yüksek kesme parametrelerinde etkili talaş kaldırma işlemi nedeniyle tercih edilmektedir [45]. Özellikle yüksek kesme hızlarında kesici takım ile talaş yüzeyi arasında sıcaklık artmaktadır. Bu durumda yüksek sıcaklıklara ve ısıl şoklara karşı dayanıklı kesici takımlara olan ihtiyaç ortaya çıkmaktadır. Seramik kesici takımlar sıcaklığın yüksek olduğu durumlarda sertliklerini koruyabilen, yüksek kesme hızlarında etkili ve verimli şekilde çalışabilen kesici takımlardır [46]. Seramik kesici takımlar yüksek sertliklerdeki malzemelerin soğutma sıvısı kullanılmadan, yüksek kesme hızlarında işlenerek kaliteli yüzeyler elde edilmesini sağlamaktadır. Ancak, seramik kesici takımlar sertliklerinden dolayı kırılmaya eğilimlidir ve üretim maliyetleri yüksektir. Bu kırılmaların önüne geçmek için ise tezgâh titreşimlerinin az olması gerekmektedir [47].

3.3.1. Seramik Uçların Çeşitleri

Seramik kesicilerin esasını alüminyum oksit (Al_2O_3) oluşturmaktadır. Bugün gelinen noktada birçok alaşım elemanı ile seramik kesici takımları görmek mümkündür. Seramik kesici takımlar üç başlık altında incelenebilir [10], [48].

- Alüminyum oksit (Al_2O_3) içeren seramikler
 - Saf oksit esaslı,
 - Katkılı alüminyum oksit esaslı,
 - Alüminyum oksit esaslı takviyeli,
- Silisyum nitrür (Si_3N_4) içeren seramikler
- Kaplamalı seramikler

Şekil 3.2’de farklı alaşım malzemesi ve farklı profillerde imal edilmiş seramik kesici uçlar gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Seramik kesici uçlar [49].

Son yıllarda talaşlı imalat sektöründe silisyum nitrür ve sialon esaslı kesiciler yaygın olarak kullanılmaktadır. Sialon, silisyum nitrür (Si_3N_4) ve alüminyum oksidin (Al_2O_3) bir araya gelmesiyle oluşan seramik türüdür. Sialon esaslı kesici uçlar aşınmaya karşı dayanımı yüksek olduklarından dolayı yüzey kalitesi gerektiren durumlarda çok iyi sonuçlar vermektedirler [50].

3.3.2. Seramiklerin Çeliklere Göre Farklılıkları

Seramik kesiciler metal olmayan kesicilerdir. Metalik olmayan seramiklerin çeliklere göre farklılıkları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Yoğunlukları çeliğin üçte biri kadardır.
- Çok yüksek basma kuvvetine sahiptirler.
- Çeliklerde meydana gelen plastik deformasyon seramiklerde görülmez.
- Sertliklerinden dolayı kırılığandır.
- Saf seramiğin elastikiyet modülü çeliğin iki katı civarındadır.
- Isıl iletkenliği çeliklere göre çok düşüktür.

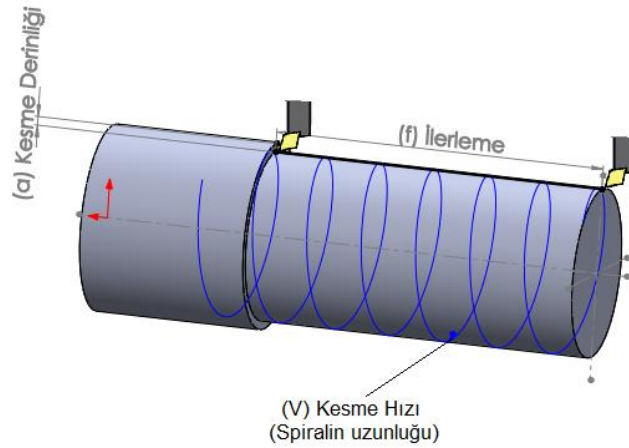
3.3.3. Seramik Uçların Uygulama Alanları

Seramik kesiciler yüksek sertlik ve aşınma direnci sayesinde işlenmesi zor olan malzemelerde 300 m/dak'nın üzerinde kesme hızlarıyla, yaklaşık 1200 °C'ye kadar çalışabilen kesici takımlardır. Bu kesici takımların en çok kullanılan uygulama alanları şunlardır [48].

- Dökme demir ve çelikler.
- 66 HRC'ye kadar çelikler.
- Nikel esaslı süper alaşımlar.

3.4. TORNALAMA

Tornalama işlemi, kendi eksenini etrafında dönmekte olan genellikle silindirik iş parçası üzerinden eksenini doğrultusunda ilerleme yapan bir kesici takım yardımı ile talaş kaldırılmasıdır. Tornalama işleminde malzeme, kesici takım ve kesme parametrelerinin seçimi büyük önem taşımaktadır. Kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliği) talaşlı imalatın verimliliğini etkileyen en önemli unsurlardandır. Deneysel çalışmaların hemen hemen tamamında en ideal kesme parametreleri ile kesme koşulları ortaya çıkarılması hedeflenmektedir. Kesme hızı (V) birimi m/dak'dır. Yani kesici takımın iş parçası çevresinde bir dakikada almış olduğu yoldur. İlerleme hızı (f) birimi mm/dev cinsinden verilmektedir. Yani kesicinin bir devirde almış olduğu talaş miktarıdır. Kesme derinliği (a) birimi mm cinsinden verilmektedir. Kesme parametreleri işlenecek malzemenin cinsine ve kullanılan kesici takımın malzemesine göre belirlenir. Kesme parametrelerinin iş parçası üzerinde gösterimi Şekil 3.3'te verilmiştir [1].



Şekil 3.3. Kesme parametrelerinin (V , f , a) iş parçası üzerinde gösterimi [1].

3.4.1. Kuru ve Soğutma Sıvısı Kullanılarak Tornalama

Talaşlı imalatta hem kuru hem de soğutma sıvısı kullanılarak tornalama yapmak mümkündür. Soğutma sıvısının birçok avantajı olmasına rağmen dezavantajları da vardır. Tornalama işleminde iş parçası üzerinden talaş kaldırılırken sürtünme meydana gelmektedir. Bu sürtünmeden dolayı ortaya çıkan sıcaklık, hem iş parçasını hem de kesici

takımı olumsuz olarak etkilemektedir. Kesmeyi olumsuz etkileyen bu durumu ortadan kaldırmak veya minimize etmek için soğutma sıvıları kullanılmaktadır. Soğutma sıvılarının aşağıdaki gibi faydaları vardır.

- Kesici takımların ve iş parçalarının ısınmalarını önler.
- Kesici takımların aşınmalarını azaltır.
- Kesici takımların sürekli aynı performansla kesmesine yardımcı olur.
- Çıkan talaşların kesme bölgesinden uzaklaşmasını sağlar.
- Kesme bölgesinin sürekli olarak temiz kalmasını sağlar.
- İş parçası yüzey kalitelerinin istenilen toleransta olmasını sağlar.
- CNC tezgâhı için aynı zamanda yağlama görevi görerek korozyonu önler [51], [52].

Soğutma sıvılarının birçok faydası olmasına rağmen her şartlarda soğutma sıvısı kullanılarak tormalama yapmak mümkün değildir. Kullanılan iş parçası ve kesici takım malzemelerinin soğutma sıvısı kullanılarak işlemeye uygun olmayabilir. Bu durumda kuru tormalama işlemi yapılması gerekmektedir. Kuru tormalama işlemi yüksek sıcaklıklara çıkan kesme bölgesinde hızlı soğutmadan kaynaklı kesici takımların ve iş parçalarının çarpılmalarını gidermekle birlikte soğutma sıvılarının muhafazası, taşınması ve kullanım sonrası imhası sorununu ortadan kaldırmaktadır. Ayrıca soğutma sıvılarının insan sağlığına olumsuz etkilerinden dolayı talaşlı imalatta kuru tormalama yöntemi ön plana çıkmaktadır [52].

3.4.2. Sert Tormalama

Sert tormalama, modern tezgâhları kullanarak sertlikleri yüksek çeliklerin işlenmesini içeren yeni bir teknolojidir. Sert işleme, daha uzun takım ömrü ve yüksek hassasiyetli işleme ile kesici takım seçimi açısından zorluklar sunar. Otomotiv, rulman, dişli ve kalıp endüstrisinde sert tormalama uygulamaları tipik olarak daha düşük ekipman maliyetleri, daha kısa kurulum süresi ve karmaşık geometrileri tormalamak için yüksek esneklik sağlayan daha az işlem adımı dahil olmak üzere bir dizi potansiyel faydaya sahiptir. Dahası, sert tormalama işlemi genellikle soğutucu/yağlayıcı olmadan gerçekleştirilir ve bu nedenle soğutma sıvısının saklanması, taşınması ve imhası sorunu ortadan kalkmış olur. Bu, aynı zamanda operatörlerin sağlığını da desteklemektedir. Sert tormalamada

genellikle kübik bor nitrür, seramik, karbür vb. gibi sert tornalama takımları kullanılmaktadır [53].

3.5. TİTREŞİM

Titreşimler genellikle hareketli parçalara sahip makinelerin ve bunların temasta bulunduğu parçaların içindeki dinamik kuvvetlerin etkisi sonucu ortaya çıkar. Sistem işlevini yapmak için harcadığı kuvvetlerin bir kısmını gövdesini veya bağlı olduğu yapıyı titretmek için harcar. Bu olay sistemlerde enerji kaybı anlamını taşır. Ayrıca sistemlerde parça aşınmasına ve malzeme yorulmasına neden olmaktadır. Sistemlerin bozulma ve kırılmasının sebeplerinden biri de titreşimdir [54].

Talaşlı imalatta istenmeyen olumsuz durumlardan biri de işleme sırasında meydana gelen titreşimlerdir. Bir cismin denge konumu etrafında periyodik olarak yaptığı salınım hareketine mekanik titreşim denir. Diğer bir ifade ile titreşim, istenmeyen ve gereksiz bir enerji durumudur. Özellikle takım tezgâhlarında yüksek gürültü yapması, tezgâh parçalarını kırması ve istenmeyen kuvvetleri iletmesi bir gerçektir. Bu nedenle ortaya çıkan titreşimler en aza indirilmeye çalışılır [12]. Tornalama sırasında kontrol edilmeyen titreşimler iş parçası yüzey kalitesinin bozulmasına, iş parçası ölçü tamlığının sağlanamamasına, kesici takımların erken aşınmasına veya kırılmasına, takım tezgâhi elemanlarının zarar görmesine ve istenmeyen yüksek gürültülere neden olmaktadır [55].

Talaş kaldırma esnasında sürekli olarak, zorlanmış ve kendiliğinden oluşan (doğal) olmak üzere iki türlü titreşim meydana gelir. Zorlanmış titreşim, takım tezgâhının mekanik hareketlerinin toplam etkisi sonucu meydana gelen titreşimdir. Kendiliğinden oluşan titreşim ise talaş kaldırma esnasında, tezgâhtan ve dış çevreden bağımsız olarak ortaya çıkmaktadır. Bu titreşimlere doğal titreşim de denilmektedir. Bu titreşimler iş parçalarında işleme tamlığında azalma, düşük işleme hassasiyeti, kesici takımların aşınmaları veya kırılmaları, takım tezgâhının zarar görmesi gibi imalatı olumsuz etkileyen unsurlara sebep olmaktadır [56], [57].

Kesici takım ile iş parçası arasında titreşim varsa işlenen yüzeyde dalgalanmalar oluşur. Yüzeyde meydana gelen bu dalgalanmalar talaş kalınlığını da değiştirir. Yüzeydeki bu dalgalanmalardan dolayı kesici takımın her pasoda periyodik olarak aynı dalgalı yüzey oluşturmaya devam edecektir [58].

Nasıl ki, insanlar sürekli titreşim yapan iş makinelerinde çalışırken sağlığına zarar

veriyorsa, tezgâhlarda oluşan en küçük titreşim hali bile iş parçası ölçü tamlığını, takım ve tezgâh ömrünü olumsuz yönde etkilemektedir. Yapılan bütün araştırmaların amacı ideal kesme şartlarını olumsuz yönde etkileyen unsurları ortadan kaldırmak veya en aza indirmektir. Malzeme, kesici takım, kesme parametreleri ve tezgâh gücü bileşenlerinin birbirine uygunluğu, titreşimin azalmasında büyük rol oynamaktadır. Bu bileşenler ideal kesme şartlarına uygun olsa da kesme sırasında meydana gelen titreşimin tamamen ortadan kalkması mümkün değildir. Her ne kadar kesme koşulları uygun olsa da yine de ölçebileceğimiz ve üzerinde analiz yapabileceğimiz titreşim olacaktır.

Titreşim hareketinin meydana geldiği doğrultu veya eksen sayısı serbestlik derecesi olarak tanımlanır. Uygulamalarda bir titreşim hareketi pek çok doğrultu veya eksenle meydana gelebilmektedir. Bu nedenle titreşim hareketi üç doğrusal eksenle (x, y ve z) ve üç açısız doğrultuda (r_x , r_y ve r_z) ölçülür [59].

3.6. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

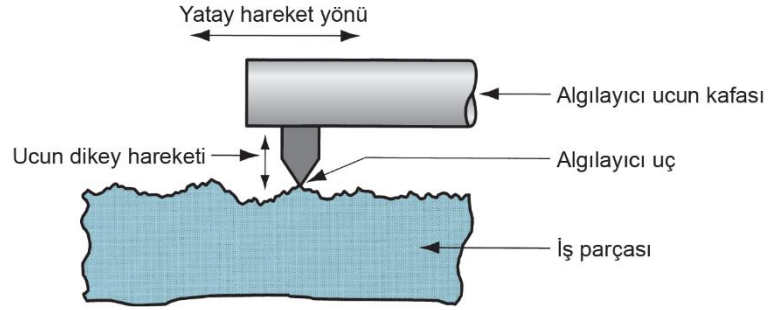
Talaşlı imalat sırasında işlenen iş parçası yüzeyinde istenmeyen izler oluşur. Malzeme, kesici takım, kesme parametreleri ve tezgâh gücü gibi etkenlerle beraber fiziksel, kimyasal ve ısıl faktörlere bağlı olarak, nominal yüzey çizgisinin altında ve üstünde meydana gelen düzensiz sapmalar, yüzey pürüzlülüğü olarak tanımlanmaktadır [60].

İş parçası, hangi metotla işlenirse işlensin (tornalama, frezeleme, taşlama vb.) yüzeyinde belli bir yüzey pürüzlülüğünün oluşması kaçınılmazdır. İşlenen malzemelerde elde edilen yüzey pürüzlülüğü, endüstride çok büyük önem teşkil etmektedir. Üretici firmalar imalat sektöründeki ticari paylarını arttırarak mümkün olduğu kadar fazla pay alabilmek için bu alanda çok büyük yatırımlarla araştırma ve geliştirme faaliyetleri yapmaktadırlar [61].

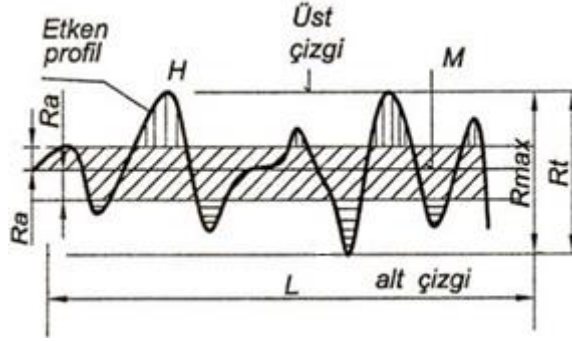
Farklı yöntemlerle işlenen malzemelerin yüzey pürüzlülüklerinin sayısal değerleri aynı olmasına rağmen bazen bunların sürtünme, aşınma, korozyon ve yorulma dirençlerinin farklı olduğu gözlenmektedir. Çünkü işleme izlerinin yönleri ve dağılımları pürüzlülük performansını etkilemektedir. Bu nedenle işlenecek malzemelerde yüzey pürüzlülük değerlerinin yanında işleme metotları da belirtilmesi pürüzlülük performansını arttıracaktır [62].

Makine elemanlarının birlikte çalışan yüzeylerin birbirine göre hassasiyetleri yaptıkları görevler bakımından çok önemlidir. Birbiriyle sürtünerek çalışan yüzeylerin hassasiyetleri çalışma esnasında makinenin çalışma performansını etkilemektedir.

Yüzeyleri pürüzlü olan makine parçaları çalıştıkları yerlerde gürültülü çalışır ve çabuk yıpranırlar. Yüzeyi hassas ve amacına uygun işlenmiş makine parçaları ise birbiriyle uyumlu çalışarak makinenin verimini yükseltirler. Pürüzlülük değeri parçanın yüzeyinden profilometre denilen bir cihazla mikrometre (μm) olarak ölçülür. Şekil 3.4'te yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi işlemi, Şekil 3.5'te parçanın yüzeyindeki şekil ve dalgalanmalar gösterilmiştir [63].



Şekil 3.4. Yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi [64].



Şekil 3.5. Parça yüzeyindeki şekil ve dalgalanmalar [64].

L: Sınırlandırılan uzunluk (mm)

H: Geometrik profil üst sınırı

M: Profil ortalama çizgisi

Ra: Ortalama pürüzlülük değeri (μm)

Rt: Pürüzlülük yüksekliği (μm)

Rz: Ardışık beş Rt değerinin ortalama değeri (μm)

Rmax: En büyük pürüzlülük değeri (μm)

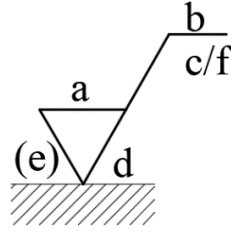
Talaşlı imalatta yüzey pürüzlülüğünü etkileyen durumlar aşağıda verilmiştir.

- Takım tezgâhlarının rijitliği,

- Yataklama sistemlerinden kaynaklanan hatalar,
- Takım tutucuların rijitliği,
- Aşınan takımlar ve titreşim etkileri,
- Takımların geometrisi,
- Kesme parametreleri,
- Malzemelerin mekanik özellikleri,
- Soğutma sıvılarının etkileri [65].

Bir parçanın yüzey kalitesi yapım resimlerinde çeşitli sembollerle gösterilir. Bu sayede istenen yüzey kalitesi, üretim yöntemi, tezgâh tipi ve ilave işlemler belirlenmiş olur [52].

Pürüzlülük değeri, R_a aritmetik ortalama pürüzlülük olarak ifade edilir. Yüzey işleme sembolü üzerinde gösterilen pürüzlülük değeri, imalat yöntemi ve standardı gibi bilgiler Şekil 3.6’da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Yüzey pürüzlülüğünün gösterilmesi.

- a) R_a sembolü ile beraber μm cinsinden pürüzlülük değeri
- b) İmalat yöntemi
- c) μm cinsinden dalgalılık veya mm cinsinden örnek uzunluğu
- d) İşleme izlerinin yönü
- e) İşleme payı
- f) R_a dışındaki sembolle μm cinsinden pürüzlülük değeri [52].

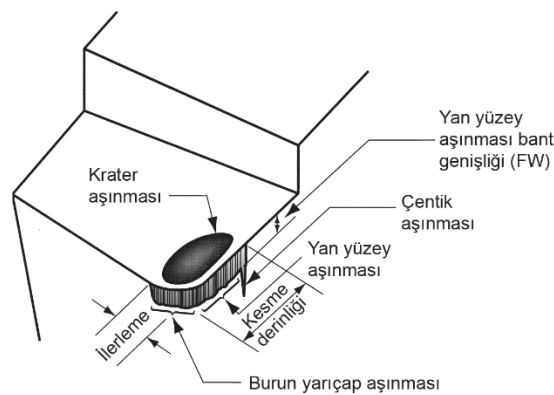
3.7. TAKIM AŞINMASI

Üretimin akışını ve standardını bozan en önemli ve en etkili faktörlerden birisi de takım aşınmasıdır. İş parçası ve kesici takımın özellikleri yanında kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme oranı, kesme derinliği, çalışma sıcaklığı) gibi etkenler takım aşınma miktarını belirleyen unsurlardır. Bu unsurların seçimindeki hatalar takım aşınmasını hızlandıracaktır. Takım aşındıkça elde edilen yüzey kalitesi bozulur. Ayrıca, takım

aşınması arttıkça, kesmeye harcayacağı güç artacağından ve yeni takım kullanma ihtiyacı doğacağından dolayı parçaların işleme maliyetleri de artar. Etkili bir üretim yapmak için kalite, verimlilik ve ekonomikliği beraber düşünmek gerekir [66].

Takım aşınmasının belirlenmesinde üzerine ara vermeden aşınmanın tespit edilmesi çok önemlidir. Bu nedenle yeni nesil üretim tezgâhlarında adaptif denetim mekanizmaları geliştirilmiştir. Otomatik talaş kaldırma işlemlerinde kesici takım ömrünü tamamlamadan önce değiştirilmesi gerekmektedir. Aksi halde üretime devam edilmesine rağmen istenilen tolerans değerlerinde parçalar üretilemeyecektir. Kesici takımda meydana gelen aşınmalar iş parçası yüzey kalitesinde bozulmalara neden olmakla birlikte, kesici takım değiştirilmeden üretime devam edilmesi üretim ve takım maliyetlerini yükseltecektir [67].

Takım aşınması mekanik ve kimyasal nedenlerle, kesici takımın kesme kenarından küçük parçaların koparak ayrılmasıyla oluşmaktadır [68]. Takım aşınması imalatta verimi etkileyen en önemli unsurlardandır. Kesme sırasında beklenen yüzey kalitesi elde edilemiyor ve takımın kesme performansında düşüş gözleniyor ise takım aşınmış demektir. Aşınmış takımla kesmeye devam edilmesi hem iş parçası yüzey kalitesini bozacak, hem de kesme işlemi için harcanan güç artacaktır. Aşınmış takımın talaş kaldırma sırasında tespit edilmesi ve gerekli müdahalenin yapılması imalat için çok önemlidir. Bu nedenle kesici takımlardan maksimum verim almak ve imalatı sürekli kılmak için meydana gelen aşınma tiplerini bilmek gerekir. Şekil 3.7’de takım aşınma tipleri ve oluşum yerleri gösterilmiştir.

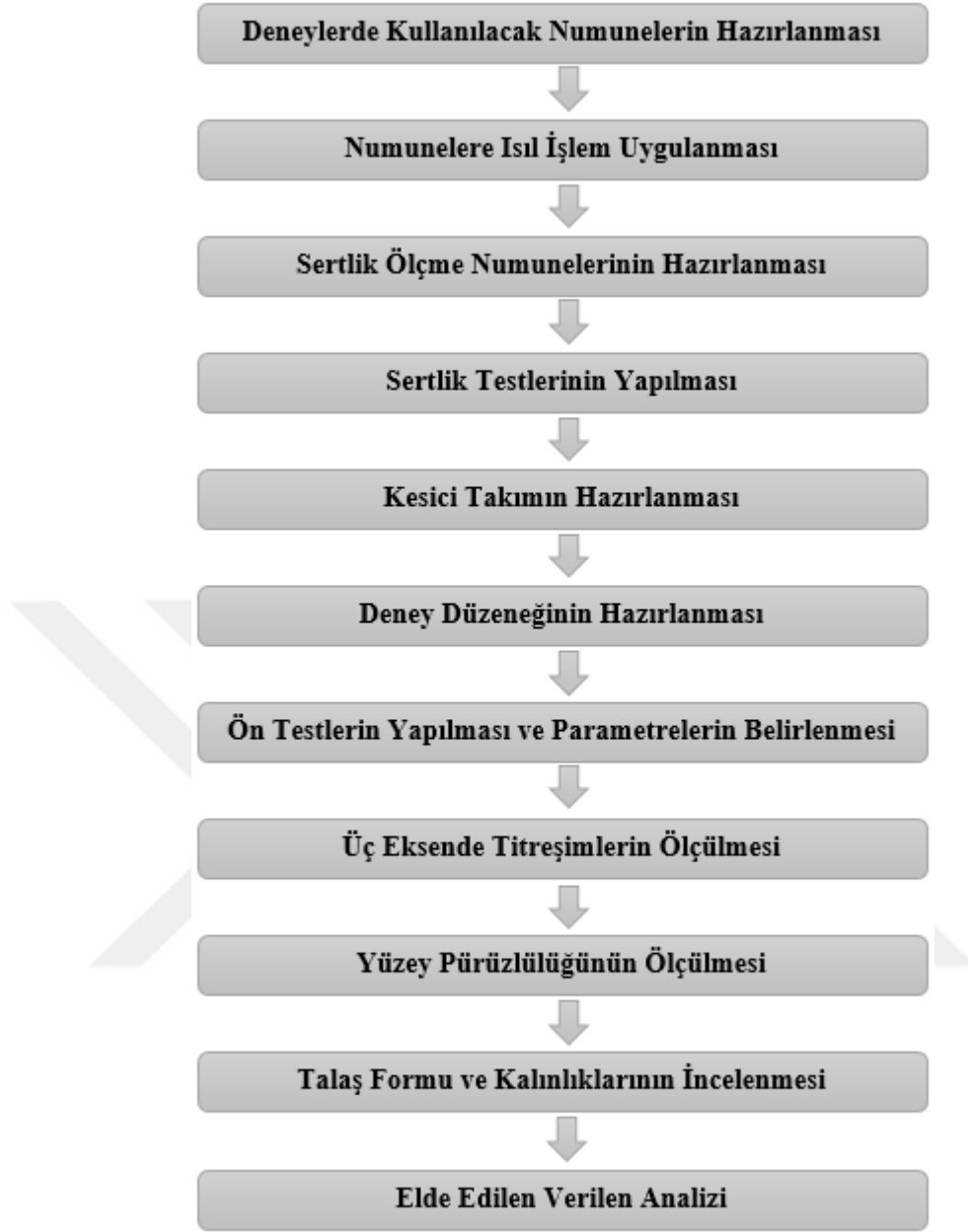


Şekil 3.7. Takım aşınma tipleri ve oluşum yerleri [69].

Aşınma tipleri olarak, serbest yüzey aşınması, krater aşınması, talaş yığılması, çentik aşınması, plastik deformasyon, termal çatlaklar, kenarda tanecik kopması gibi aşınmalar ortaya çıkmaktadır [69].

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, imalat endüstrisinde yaygın kullanılan AISI 4140 ıslah çeliği numunelerinin kuru kesme şartları altında seramik kesici (TiN-Al₂O₃) takımlarla CNC torna tezgâhında tornalanmasında oluşan titreşimin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri araştırılarak uygun işleme şartlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Deneysel çalışmada sertlikleri farklı üç adet numune kullanılmış ve bu numunelerin mekanik özelliklerini tespit etmek amacıyla sertlik ölçüm testleri yapılmıştır. Tornalama sırasında kesici takıma gelen titreşim genliği değerleri her deney için üç ekseninde (x-Ch1, y-Ch2, z-Ch3) ayrı ayrı alınmış ve her deney için elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri ölçülmüştür. Ayrıca her deney için tornalama esnasında elde edilen talaş formu ve kalınlıkları karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışmada izlenen işlem aşamaları Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Deney çalışmasında işlem aşamaları.

4.1. DENEYLERDE KULLANILAN MALZEME

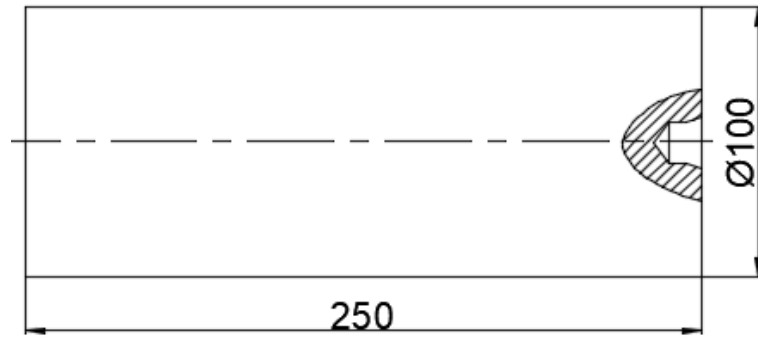
Literatür araştırmaları referans alınarak endüstride yaygın kullanım alanına sahip AISI 4140 ıslah çeliği kullanılmıştır. Deneyler için AISI 4140 çeliği $\varnothing 100 \times 250$ mm ölçülerinde üç adet numune imal edilmiş olup kimyasal bileşimleri Çizelge 4.1’de, diğer standartlarda karşılığı Çizelge 4.2’de gösterilmiştir. Isıl işlem görmemiş (18 HRC), geleneksel ısıl işlem ve temperleme işlemi uygulanmış (45 HRC) ve geleneksel ısıl işlem uygulanmış (52 HRC) numuneler kullanılmıştır. Şekil 4.2’de deney numunesinin teknik resmi, Şekil 4.3’te deney numuneleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. AISI 4140 (42CrMo4) çeliği kimyasal bileşimi.

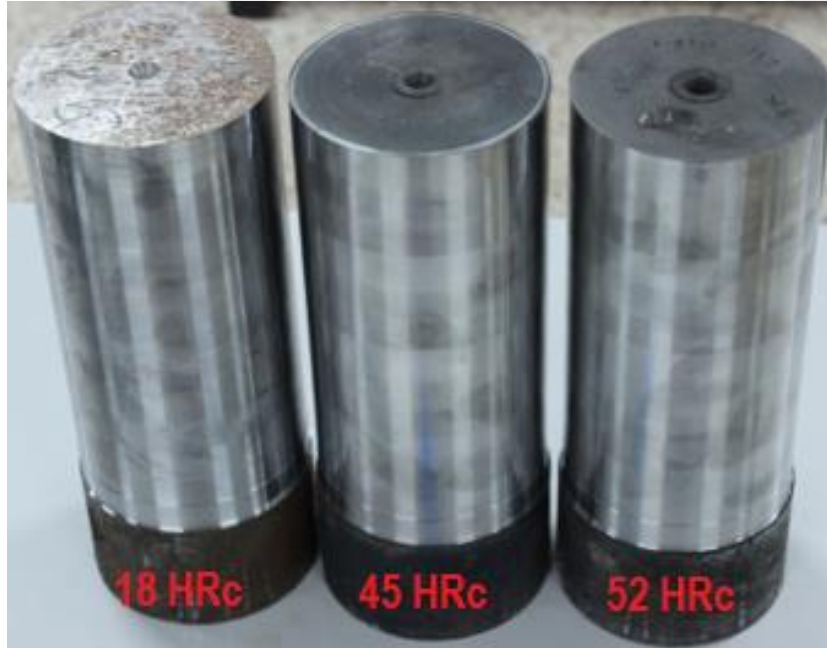
Element	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Al
(%)	0,39	0,27	0,74	0,008	0,01	1,06	0,2	0,03

Çizelge 4.2. AISI 4140 çeliğinin diğer standartlardaki karşılıkları [70].

AISI / SAE	DIN	EN	AFNOR	JIS
4140	1.7225	42CrMo4	42 CD 4	SCM 440 (H)



Şekil 4.2. Deney numunesinin teknik resmi.

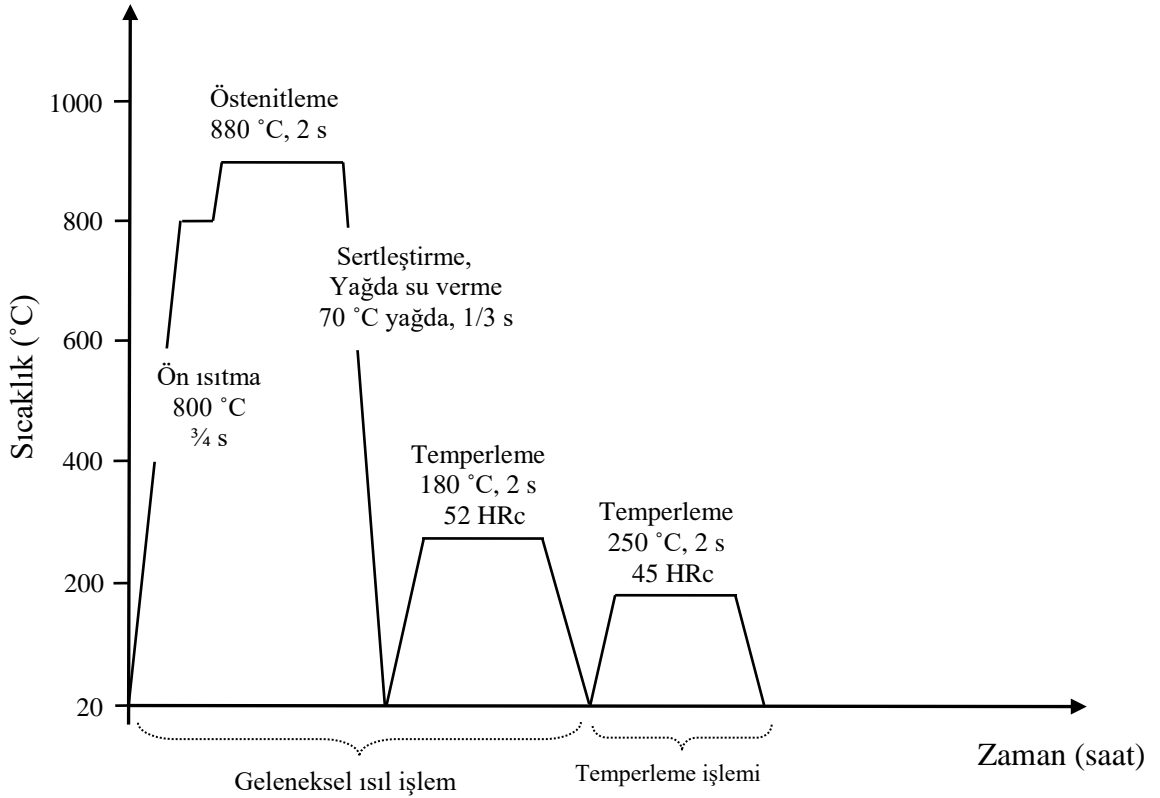


Şekil 4.3. Deney numuneleri.

4.2. MALZEMELERE UYGULANAN ISIL İŞLEMLER

Isıl işlem, malzemelere uygulanan birtakım ısıtma, soğutma ve tekrar ısıtma olarak bilinir. Numunelerin istenilen sertlik derecelerine getirmek için geleneksel ısıl işlem ve temperleme işlemi uygulanmıştır. Temperleme işlemi, ısıl işlem sonrasında malzemenin ani soğutmadan dolayı ortaya çıkan iç gerginliklerinin giderilmesi, bu sayede mukavemeti ve tokluk değerinin artması tanımlanmaktadır [2].

Numunelere ısıl işlemler, Düzce SARSILMAZ Silah Sanayi A.Ş'de yapılmıştır. Birinci numuneye ısıl işlem uygulanmamıştır. İkinci ve üçüncü numuneye 800 °C ön ısıtma sonrası 45 dakika sonra 880 °C'ye çıkmış ve 2 saat östenitleme uygulanıp daha sonra 70 °C'deki yağda 20 dakika bekletilerek sertleştirme işlemi uygulanmıştır. Daha sonra her iki numuneye 180 °C'de 2 saat temperleme işlemi uygulanmış ve 52 HRc sertliğine getirilmiştir. Son olarak üçüncü numuneye 250 °C'de 2 saat temperleme işlemi uygulanmış ve 45 HRc sertliğine getirilmiştir. Şekil 4.4'te ısıl işlem eğrisinde ayrıntılı olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Isıl işlem eğrisi.

4.3. SERTLİK ÖLÇME TESTLERİ

Deneylerde kullanılan AISI 4140 (18, 45 ve 52 HRc) numunelerin sertlik ölçme cihazında sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümlerinde kullanılmak üzere her ısıl işlem türü için Ø14x10 mm boyutlarında deney numuneleri hazırlanmıştır. Şekil 4.5'te sertlik ölçümlerinde kullanılan numuneler gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Sertlik ölçüm numuneleri.

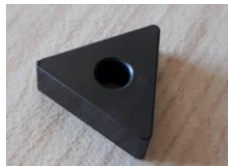
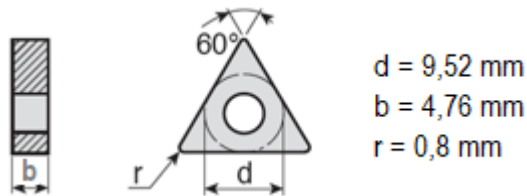
Malzemelerin sertlikleri Düzce Üniversitesi, Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi laboratuvarında ölçülmüştür. Bulut Makine marka ve DIGIROCK-RB modelidir. Cihaz Rockwell test metotlarına göre numune haline getirilmiş malzemelerin makro sertlik ölçümlerini yapmaktadır. Sertlik ölçümlerinde, ölçüm sonucu en az 9 sertlik ölçümünün ortalamasını alarak belirlenmiştir. Ölçümlerde kullanılan sertlik ölçme cihazı Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Sertlik ölçme cihazı.

4.4. DENEYLERDE KULLANILAN KESİCİ TAKIM VE TUTUCU

Deneylerde TaeguTec marka seramik kesici takım ve tutucu kullanılmıştır. Kesici takım tipi TNGA (TiN-Al₂O₃) AB20 120408 T1020 olup ve ölçüleri Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. TNGA 120408 AB20 seramik kesici takım.

Kesici takımların talaş kaldırma kabiliyeti sağlam bir bağlanma ile mümkündür. Sağlam bağlanmayan kesici takımlar iyi bir şekilde talaş kaldıramaz, kesici takımın kırılmasına

sebeplendirir veya yerinden çıkararak çevreye zarar vermesine neden olur. Bu nedenle verimli bir talaş kaldırma işlemi için kesici takımların sağlam bağlanması şarttır. Kesici takımın bağlanmasında kullanılacak takım tutucu, kesici takımın tipi ve özelliğine göre seçilmiştir. Deneylerde, MTJNR 2525 M1604 modelde takım tutucu kullanılmıştır. Şekil 4.8’de deneylerde kullanılan takım tutucu gösterilmiştir.



Şekil 4.8. MTJNR 2525 M1604 takım tutucu.

4.5. DENEYLERDE KULLANILAN KESME PARAMETRELERİ

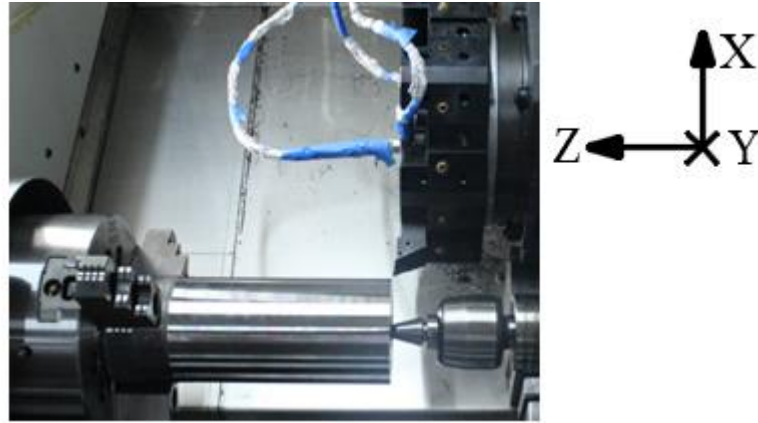
Kesme parametreleri ideal kesme şartlarını oluşturmada başlıca kriterdir. Deneylere başlamadan önce literatür araştırmaları referans alınarak optimum kesme parametrelerinin belirlenebilmesi için çok sayıda ön test yapılmıştır. Ön testlerden alınan veriler doğrultusunda deneyler için optimum kesme parametreleri belirlenmiştir. Deneylerde farklı sertliklere sahip üç adet numune üzerinde, dört farklı kesme hızı (120, 160, 200 ve 240 m/dak) her kesme hızı için üç farklı ilerleme (0,05, 0,10 ve 0,15 mm/dev), sabit kesme derinliği (0,2 mm) kullanılmış ve her numune için on iki adet olmak üzere, üç numunede toplam otuz altı adet deney yapılmıştır. Tornalama deneyleri için işleme süreleri hesaplanmıştır. Farklı sertliklerdeki üç adet numune için Çizelge 4.3’te verilen kesme parametreleri kullanılmıştır.

Çizelge 4.3. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri.

Deney No	V (m/dak)	f (mm/dev)	a (mm)
D1	120	0,05	0,2
D2		0,10	
D3		0,15	
D4	160	0,05	0,2
D5		0,10	
D6		0,15	
D7	200	0,05	0,2
D8		0,10	
D9		0,15	
D10	240	0,05	0,2
D11		0,10	
D12		0,15	

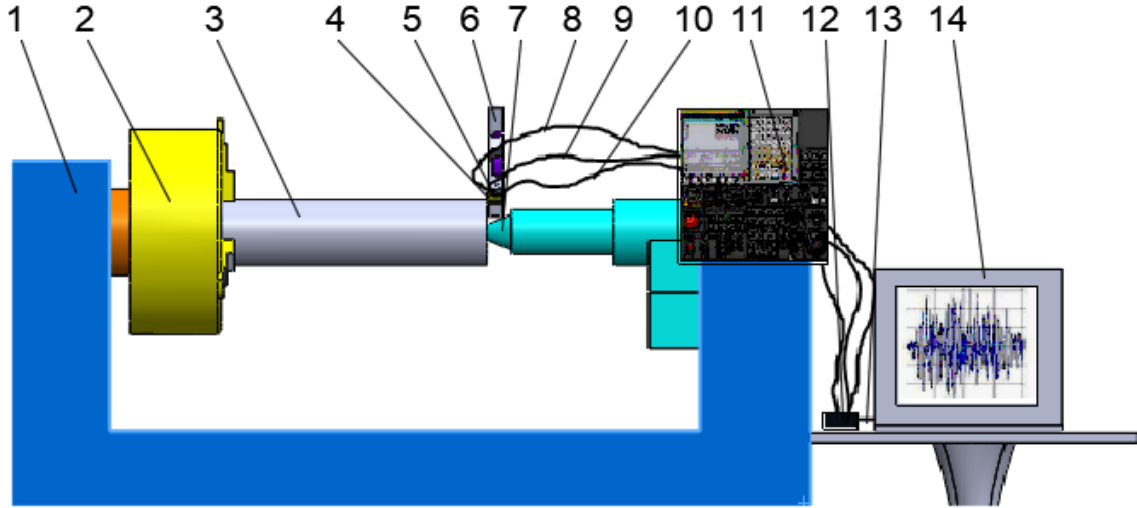
4.6. DENEY DÜZENEGİ

Yapılan çalışmada etkili ve verimli sonuçlar almak iyi bir deney düzeneği oluşturmaktan geçer. Deney düzeneğinde kullanılan ekipmanlar sağlam ve hassas bir şekilde bağlanmalıdır. Deneysel çalışmada, numune ayna punta arasına bağlanmış, kesici takım hassas bir şekilde bağlanmış, üç eksende oluşan titreşimleri ölçmek için üç adet ivmeölçer kullanılmış ve takım tutucu üzerine 90 derece açı ile monte edilmiştir. Veriler, DAQ (Data Acquisition Unit) cihazı yardımı ile bilgisayar ortamına aktarılmıştır. X doğrultusunda ölçüm yapan ivmeölçer (Ch1), Y doğrultusunda ölçüm yapan ivmeölçer (Ch2) ve Z doğrultusunda ölçüm yapan ivmeölçer (Ch3) olmak üzere üç doğrultudan veri almak için belirlenmiştir. Ch1, Ch2 ve Ch3 doğrultularının deney düzeneği üzerindeki görünümü Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Ch1, Ch2 ve Ch3 doğrultularının görünümü.

Dört farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme ile on iki deney, üç adet numune için toplam otuz altı deney gerçekleştirilmiştir. Her bir deney için Ch1, Ch2 ve Ch3 doğrultularından çevrimiçi olarak titreşim genliği verileri alınarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Şekil 4.10'da deney düzeneğinin şematik görünümü, Şekil 4.11'de deney düzeneği gösterilmiştir.



Deney Düzeneği Ekipmanları			
1	Tezgâh Gövdesi	8	Z-Ch3 Veri Kablosu
2	Tezgâh Aynası	9	Y-Ch2 Veri Kablosu
3	İş Parçası	10	X-Ch1 Veri Kablosu
4	Kesici Uç	11	Tezgâh Kontrol Ünitesi
5	Takım Tutucu	12	DAQ (Data Acquisition Unit)
6	Taret	13	Bilgisayar-DAQ Bağlantı Kablosu
7	Punta	14	Bilgisayar

Şekil 4.10. Deney düzeneğinin şematik görünümü.



Şekil 4.11. Deney düzeneği.

Deneyler, Gölyaka Çok Programlı Lisesi, Makine Teknolojisi laboratuvarında Lokesh Machines Limited marka, TL250 model ve motor gücü 22 kW CNC torna tezgâhında gerçekleştirilmiştir. Kullanılan tezgâhın üretim yılı 2019 olup çalışma süresi 100 saattir. Tezgâhın rijitliği deneylerden alınan verilerin ölçme geçerliliğinin yüksek olması açısından önemlidir.

4.7. TİTREŞİM VERİLERİNİN TOPLANMASI

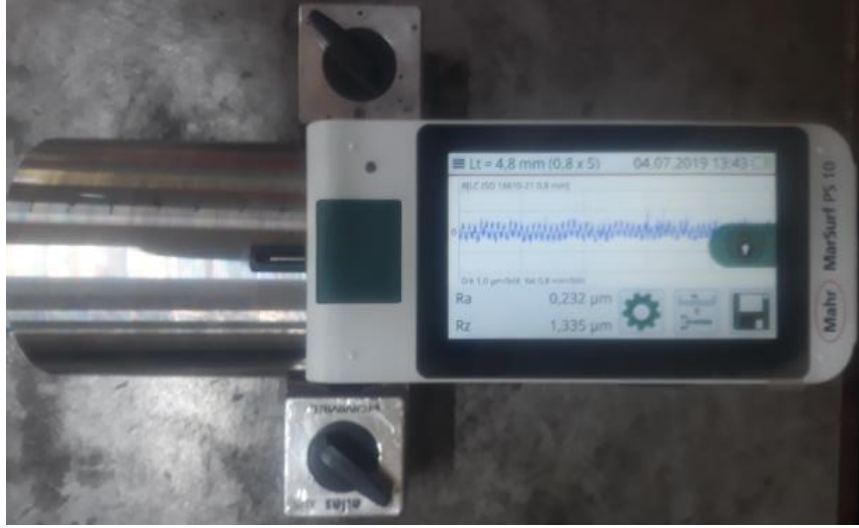
Deneylerde titreşim verileri üç doğrultuda (x-Ch1, y-Ch2 ve z-Ch3) üç adet ivmeölçer (PCB Piezotronics 608A11) kullanılarak ölçülmüştür. Kullanılan cihaz Şekil 4.12'de gösterilmiş ve VibraQuest yazılım programı kullanılarak veriler toplanmıştır.



Şekil 4.12. Veri toplama cihazı (VibraQuest).

4.8. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN ÖLÇÜLMESİ

Yüzey pürüzlülüğü ölçümünde her numune için yapılan on iki adet deney sonrasında elde edilen yüzeylerden her bir yüzey için üç farklı noktadan ölçüm yapılmış, ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) ve (Rz) değerleri alınmıştır. Ölçümler LC ISO-16610-21 standardında olup ölçüm mesafesi 4,8 mm uygulanmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı Mahr marka, MarSurf PS 10 model olup ölçme işlemi Şekil 4.13'te gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Yüzey pürüzlülüğü ölçme cihazı ve ölçümü.

5. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Bu bölümde tez çalışmasının deneysel aşamalarında elde edilen bulgulara ve deneysel sonuçlara yer verilmiştir. Deneysel çalışmada elde edilen sertlik bulguları, titreşim bulguları, yüzey pürüzlülüğü bulguları, talaş formu ve kalınlığı bulguları verilmiştir. Ayrıca deneysel bulgular karşılaştırılmış ve tartışılmıştır.

5.1. SERTLİK BULGULARI

Sertlik ölçümlerinde, ölçüm sonucu en az 9 adet sertlik ölçümünün ortalamasını alarak belirlenmiştir. İşlemsiz ve ısıtıl işlem uygulanmış numunelere ait ortalama sertlik değerleri Çizelge 5.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Numunelerin ortalama sertlik değerleri.

İşlemsiz Numuneler	Geleneksel Isıl İşlem ve Temperleme İşlemi Uygulanmış Numuneler	Geleneksel Isıl İşlem Uygulanmış Numuneler
18 HRc	45 HRc	52 HRc

5.2. TİTREŞİM BULGULARI

Deneylerde sertlikleri farklı üç adet numune kullanılmış ve her numune için on iki adet deney yapılmıştır. Deneylerde kesici takıma gelen titreşim verileri x-Ch1, y-Ch2 ve z-Ch3 doğrultuları için çevrimiçi olarak alınmış ve aşağıdaki çizelgelerde kesme parametreleri ile birlikte verilmiştir. 18 HRc numunenin tornalanmasında takıma gelen en yüksek titreşim genliği değerleri Çizelge 5.2’de, ikinci en yüksek titreşim genliği değerleri Çizelge 5.3’te gösterilmiştir. 45 HRc numunenin tornalanmasında takıma gelen en yüksek titreşim genliği değerleri Çizelge 5.4’te, ikinci en yüksek titreşim genliği değerleri Çizelge 5.5’te gösterilmiştir. 52 HRc numunenin tornalanmasında takıma gelen en yüksek titreşim genliği değerleri Çizelge 5.6’da, ikinci en yüksek titreşim genliği değerleri Çizelge 5.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.2. 18 HRc numunede en yüksek titreşim genliği değerleri.

Kesme Parametreleri				En Yüksek Titreşim Genliği Değerleri (gRMS)		
V (m/dak)	f (mm/dev)	a (mm)	t (sn)	Ch1	Ch2	Ch3
120	0,05	0,2	47,12	0,003016	0,001839	0,003330
	0,10		23,56	0,001083	0,001769	0,005047
	0,15		15,71	0,001194	0,001960	0,006915
160	0,05	0,2	35,34	0,000975	0,001599	0,004241
	0,10		17,67	0,001339	0,001894	0,006977
	0,15		11,78	0,001301	0,002096	0,008635
200	0,05	0,2	28,27	0,001029	0,001680	0,004857
	0,10		14,14	0,001217	0,001990	0,007166
	0,15		9,42	0,001655	0,002220	0,010194
240	0,05	0,2	28,27	0,001023	0,001686	0,004564
	0,10		14,14	0,001217	0,001984	0,005710
	0,15		7,18	0,001430	0,002346	0,008793

Çizelge 5.3. 18 HRc numunede ikinci en yüksek titreşim genliği değerleri.

Kesme Parametreleri				İkinci En Yüksek Titreşim Genliği Değerleri (gRMS)		
V (m/dak)	f (mm/dev)	a (mm)	t (sn)	Ch1	Ch2	Ch3
120	0,05	0,2	47,12	0,001014	0,000771	0,003124
	0,10		23,56	0,000895	0,001442	0,004987
	0,15		15,71	0,001090	0,001917	0,006520
160	0,05	0,2	35,34	0,000781	0,001110	0,003983
	0,10		17,67	0,001162	0,001727	0,006756
	0,15		11,78	0,001279	0,002054	0,008181
200	0,05	0,2	28,27	0,000661	0,001285	0,004512
	0,10		14,14	0,001154	0,001301	0,006865
	0,15		9,42	0,001648	0,001971	0,009621
240	0,05	0,2	28,27	0,000492	0,001028	0,003828
	0,10		14,14	0,000927	0,001108	0,005689
	0,15		7,18	0,001402	0,001486	0,007513

Çizelge 5.4. 45 HRc numunede en yüksek titreşim genliği değerleri.

Kesme Parametreleri				En Yüksek Titreşim Genliği Değerleri (gRMS)		
V (m/dak)	f (mm/dev)	a (mm)	t (sn)	Ch1	Ch2	Ch3
120	0,05	0,2	47,12	0,004664	0,001273	0,002364
	0,10		23,56	0,001436	0,001765	0,003194
	0,15		15,71	0,001184	0,001956	0,004784
160	0,05	0,2	35,34	0,000965	0,001785	0,004168
	0,10		17,67	0,001148	0,001890	0,003429
	0,15		11,78	0,001268	0,002087	0,004210
200	0,05	0,2	28,27	0,001285	0,002513	0,004668
	0,10		14,14	0,001205	0,001986	0,003186
	0,15		9,42	0,001347	0,002209	0,003845
240	0,05	0,2	28,27	0,001025	0,001758	0,004326
	0,10		14,14	0,001212	0,001995	0,002859
	0,15		7,18	0,001422	0,002335	0,004287

Çizelge 5.5. 45 HRc numunede ikinci en yüksek titreşim genliği değerleri.

Kesme Parametreleri				İkinci En Yüksek Titreşim Genliği Değerleri (gRMS)		
V (m/dak)	f (mm/dev)	a (mm)	t (sn)	Ch1	Ch2	Ch3
120	0,05	0,2	47,12	0,002428	0,000773	0,002310
	0,10		23,56	0,001074	0,001150	0,003097
	0,15		15,71	0,000960	0,000963	0,004321
160	0,05	0,2	35,34	0,000920	0,001697	0,004078
	0,10		17,67	0,000528	0,000990	0,003377
	0,15		11,78	0,000656	0,001010	0,003985
200	0,05	0,2	28,27	0,001265	0,001759	0,004292
	0,10		14,14	0,000485	0,000871	0,003155
	0,15		9,42	0,000556	0,001193	0,003832
240	0,05	0,2	28,27	0,000434	0,000878	0,002807
	0,10		14,14	0,000384	0,000830	0,002730
	0,15		7,18	0,000524	0,001178	0,003678

Çizelge 5.6. 52 HRc numunede en yüksek titreşim genliği değerleri.

Kesme Parametreleri				En Yüksek Titreşim Genliği Değerleri (gRMS)		
V (m/dak)	f (mm/dev)	a (mm)	t (sn)	Ch1	Ch2	Ch3
120	0,05	0,2	47,12	0,002843	0,001477	0,002403
	0,10		23,56	0,001682	0,001767	0,004114
	0,15		15,71	0,001176	0,001928	0,004939
160	0,05	0,2	35,34	0,001368	0,001584	0,003266
	0,10		17,67	0,001141	0,001881	0,004384
	0,15		11,78	0,001261	0,002067	0,004451
200	0,05	0,2	28,27	0,001130	0,001668	0,005095
	0,10		14,14	0,001208	0,001979	0,004670
	0,15		9,42	0,001347	0,002207	0,005354
240	0,05	0,2	28,27	0,001010	0,001675	0,004332
	0,10		14,14	0,001206	0,001979	0,004546
	0,15		7,18	0,001412	0,002321	0,005480

Çizelge 5.7. 52 HRc numunede ikinci en yüksek titreşim genliği değerleri.

Kesme Parametreleri				İkinci En Yüksek Titreşim Genliği Değerleri (gRMS)		
V (m/dak)	f (mm/dev)	a (mm)	t (sn)	Ch1	Ch2	Ch3
120	0,05	0,2	47,12	0,002066	0,000870	0,002098
	0,10		23,56	0,001210	0,001156	0,004073
	0,15		15,71	0,000971	0,001359	0,004759
160	0,05	0,2	35,34	0,001153	0,000968	0,003207
	0,10		17,67	0,000736	0,001240	0,004367
	0,15		11,78	0,000839	0,001231	0,004401
200	0,05	0,2	28,27	0,001011	0,001474	0,004659
	0,10		14,14	0,000850	0,001439	0,004557
	0,15		9,42	0,000715	0,001744	0,004749
240	0,05	0,2	28,27	0,000591	0,001182	0,003980
	0,10		14,14	0,000677	0,001242	0,004285
	0,15		7,18	0,000849	0,001357	0,004951

18 HRc numunenin tornalanmasında takıma gelen en yüksek titreşim genliği değerlerine bakıldığında Ch1 ve Ch2 doğrultularında 0,001 ile 0,002 gRMS aralığında değişen titreşim genliği değerleri elde edilmiş, en yüksek titreşim genliği değerleri ise Ch3 doğrultusunda elde edilmiştir. Ch3 doğrultusu kesme ilerlemesi yönünde olduğundan dolayı titreşim genliği değerleri Ch1 ve Ch2 doğrultularına göre daha yüksek çıkmıştır. Ch1 ve Ch2 doğrultuları için titreşim genliği değerlerinde olağan dışı durum

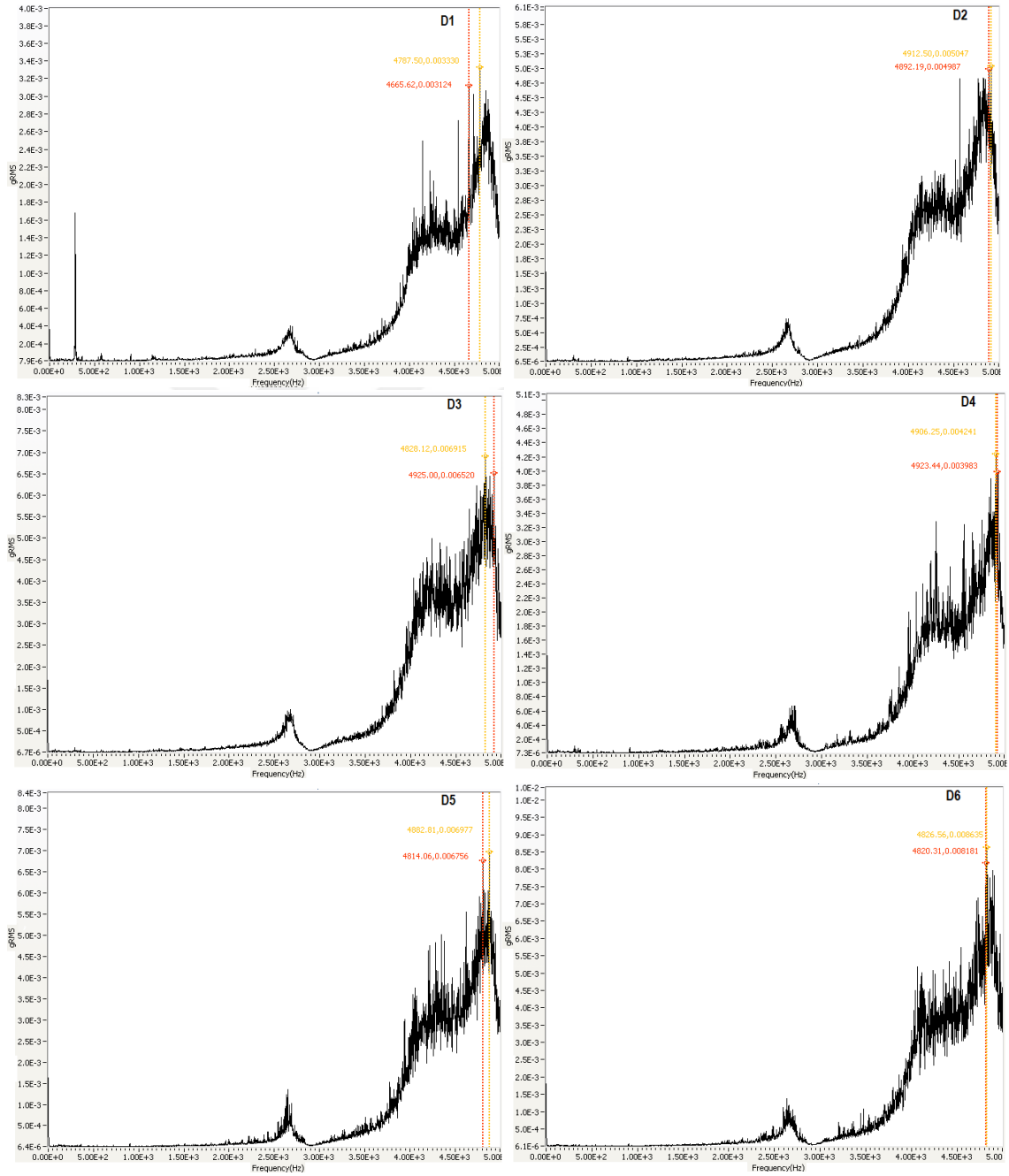
görülmemiştir. Ch3 doğrultusu en yüksek titreşim genliği değeri 0,0101 gRMS ile 200 m/dak kesme hızında ve 0,15 mm/dev ilerlemede elde edilmiştir. En düşük titreşim genliği değeri ise 0,0033 gRMS ile 120 m/dak kesme hızında ve 0,05 mm/dev ilerlemede ölçülmüştür. İkinci en yüksek titreşim genliği değerlerine bakıldığında ise en yüksek titreşim genliği değerlerini doğrular nitelikte olduğu görülmüştür.

45 HRc numunenin tornalanmasında takıma gelen en yüksek titreşim genliği değerlerine bakıldığında Ch1 ve Ch2 doğrultularında 0,001 ile 0,002 gRMS aralığında değişen titreşim genliği değerleri ölçülmüş, en yüksek titreşim genliği değerleri ise Ch3 doğrultusunda elde edilmiştir. Ch3 doğrultusu kesme ilerlemesi yönünde olduğundan dolayı titreşim genliği değerleri Ch1 ve Ch2 doğrultularına göre daha yüksek çıkmıştır. Ch1 ve Ch2 doğrultuları titreşim genliği değerlerinde olağan dışı durum görülmemiştir. Ch3 doğrultusu en yüksek titreşim genliği değeri 0,0047 gRMS ile 120 m/dak kesme hızında ve 0,15 mm/dev ilerlemede elde edilmiştir. En düşük titreşim genliği değeri ise 0,0023 gRMS ile 120 m/dak kesme hızında ve 0,05 mm/dev ilerlemede ölçülmüştür. İkinci en yüksek titreşim genliği değerlerine bakıldığında en yüksek titreşim genliği değerlerini doğrular nitelikte olduğu görülmüştür.

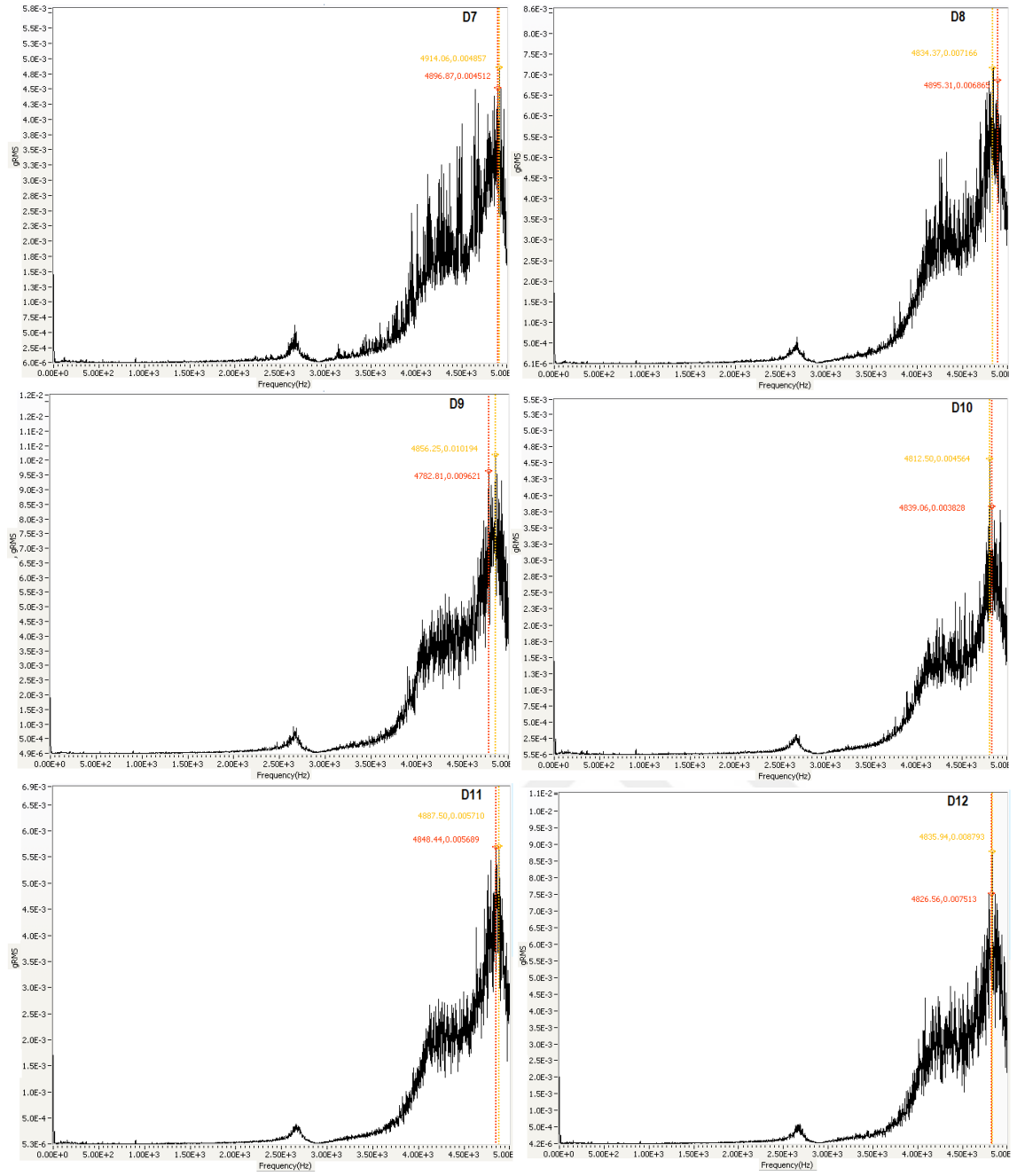
52 HRc numunenin tornalanmasında takıma gelen en yüksek titreşim genliği değerlerine bakıldığında Ch1 ve Ch2 doğrultularında 0,001 ile 0,002 gRMS aralığında değişen titreşim genliği değerleri ölçülmüş, en yüksek titreşim genliği değerleri ise Ch3 doğrultusunda elde edilmiştir. Ch3 doğrultusu kesme ilerlemesi yönünde olduğundan dolayı titreşim genliği değerleri Ch1 ve Ch2 doğrultularına göre daha yüksek çıkmıştır. Ch1 ve Ch2 doğrultuları titreşim genliği değerlerinde olağan dışı durum görülmemiştir. Ch3 doğrultusu en yüksek titreşim genliği değeri 0,0054 gRMS ile 240 m/dak kesme hızında ve 0,15 mm/dev ilerlemede ölçülmüştür. En düşük titreşim genliği değeri ise 0,0024 gRMS ile 120 m/dak kesme hızında ve 0,05 mm/dev ilerlemede ölçülmüştür. İkinci en yüksek titreşim genliği değerlerine bakıldığında en yüksek titreşim genliği değerlerini doğrular nitelikte olduğu görülmüştür.

Genel olarak takıma gelen titreşim genliği değerleri 0,15 ilerlemede daha yüksek, 0,05 ilerlemede daha düşük çıktığı görülmüştür. Bu nedenle titreşimi etkileyen ana parametrenin ilerleme olduğu görülmüştür. İlerleme azaldıkça titreşim genliği değerleri azalmıştır. En yüksek titreşim genliği değerleri her numunede Ch3 doğrultusunda meydana gelmiştir. Ch3 doğrultusu kesme ilerlemesi yönü olduğundan dolayı elde edilen değerler anlamlı olmuştur. Deneylerde elde edilen 18 HRc numunenin tornalanmasında

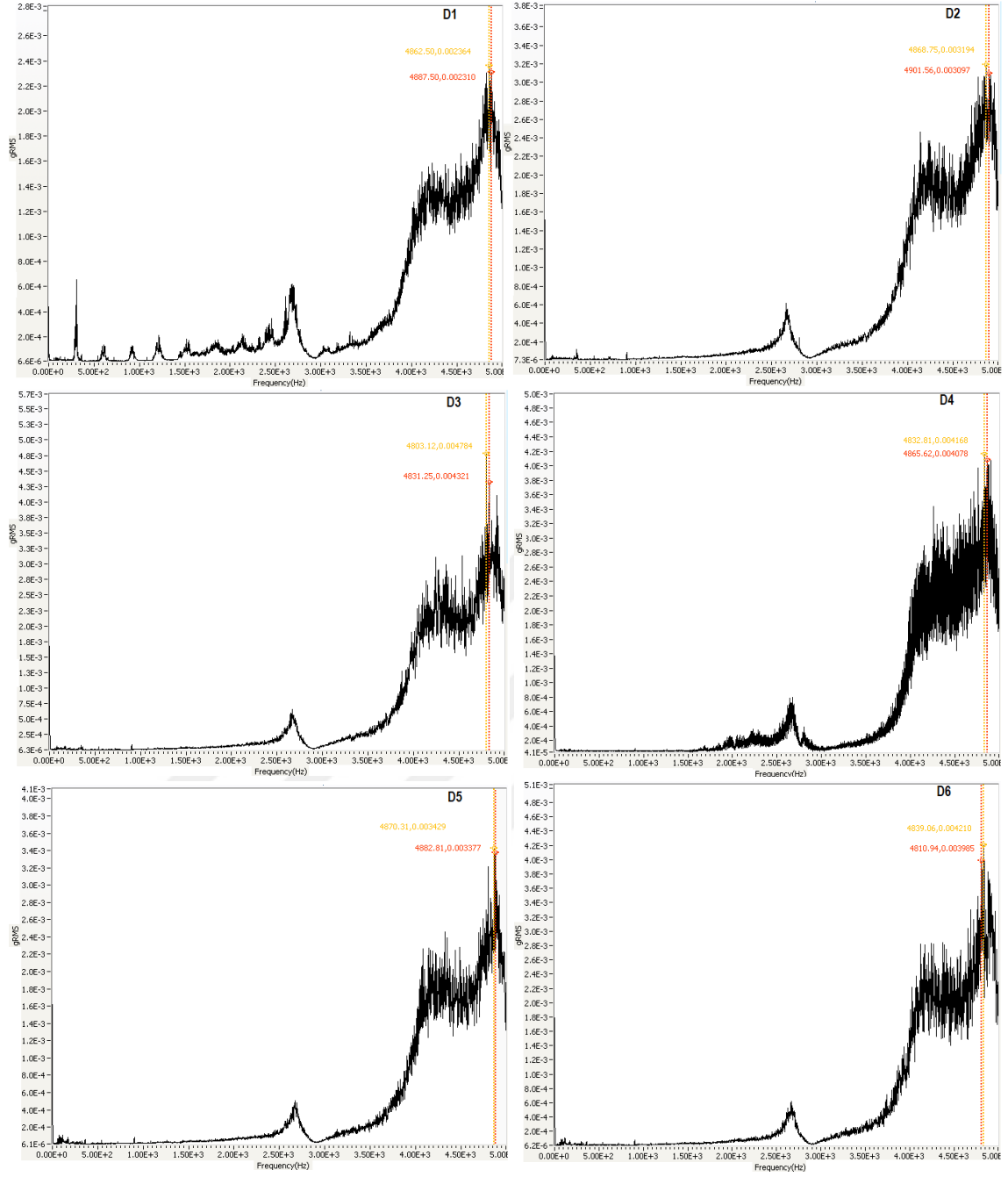
takıma gelen titreşim genliği, Ch3 doğrultusu grafik olarak Şekil 5.1’de, 45 HRc numunenin tornalanmasında takıma gelen titreşim genliği Ch3 doğrultusu grafik olarak Şekil 5.3’te, 52 HRc numunenin tornalanmasında takıma gelen titreşim genliği Ch3 doğrultusu grafik olarak Şekil 5.5’te verilmiştir. Her üç numuneye ait Ch1 doğrultusu grafiği Ek 1’de, Ch2 doğrultusu grafiği Ek 2’de ve üç doğrultuya (Ch1, Ch2, Ch3) ait grafikler Ek 3’te verilmiştir.



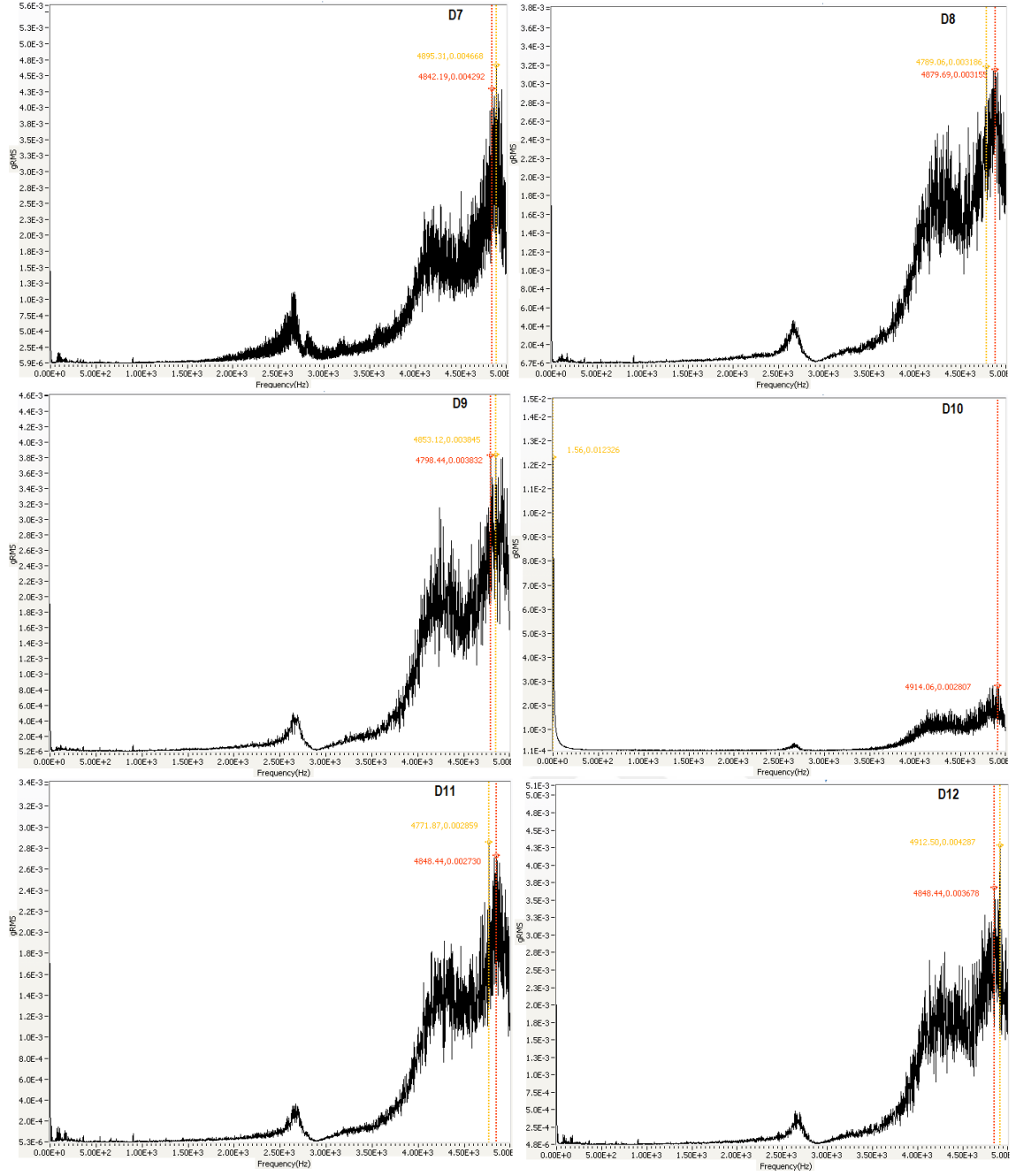
Şekil 5.1. 18 HRc numunenin z doğrultusunda (Ch3) oluşan titreşim grafiği.



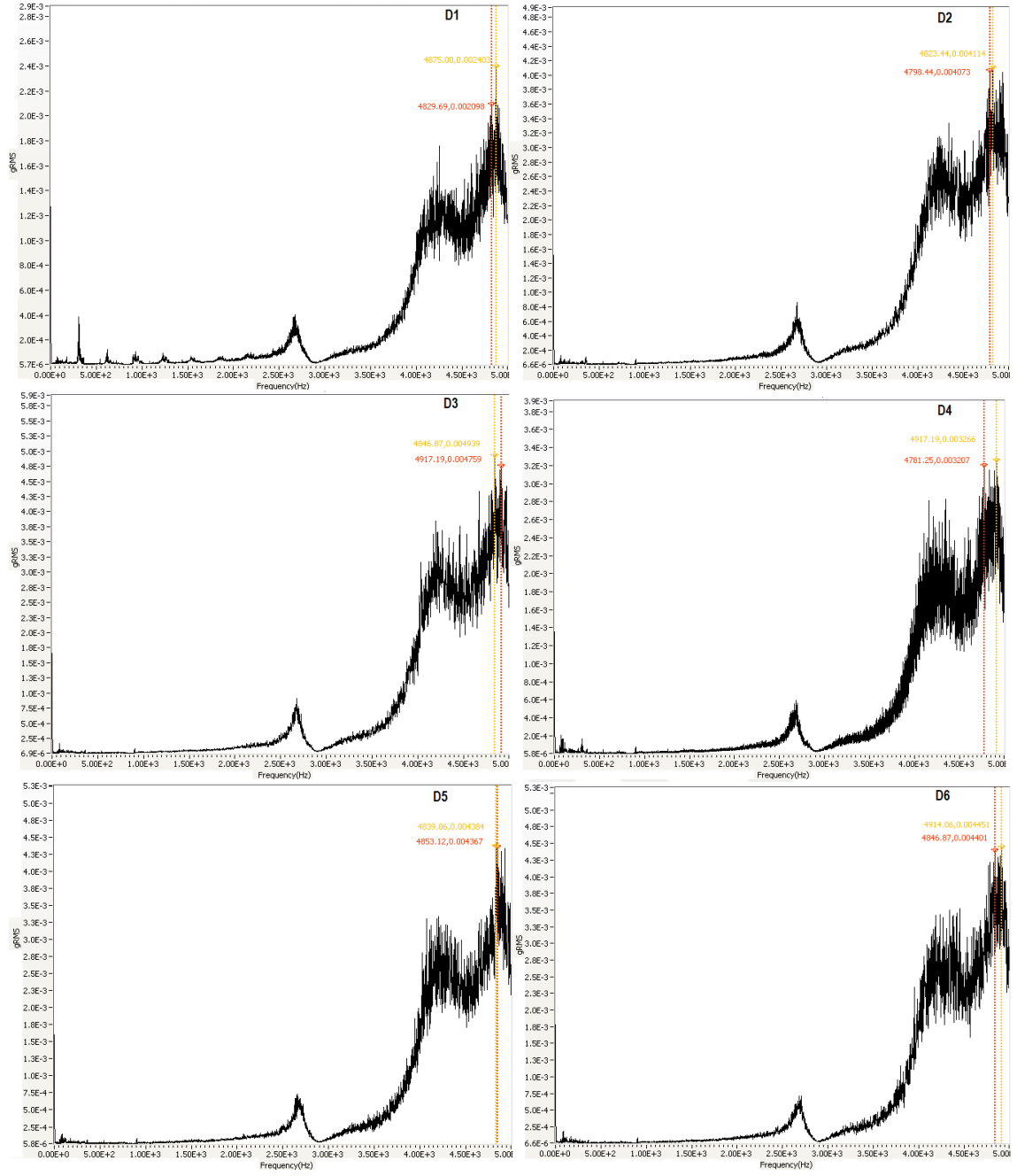
Şekil 5.2. 18 Hrc numunenin z doğrultusunda (Ch3) oluşan titreşim grafiği (Devamı).



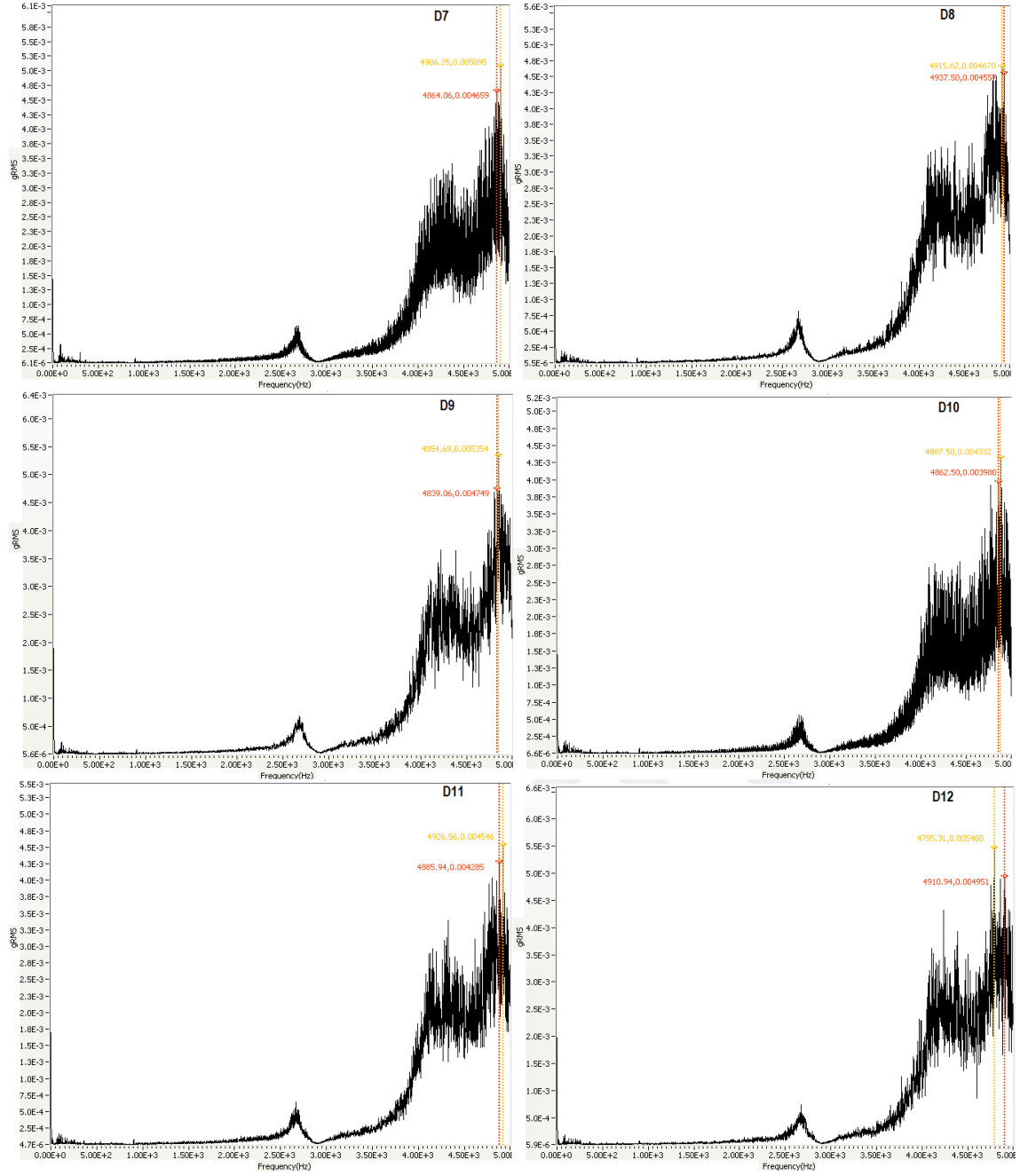
Şekil 5.3. 45 HRC numunenin z doğrultusunda (Ch3) oluşan titreşim grafiği.



Şekil 5.4. 45 HRc numunenin z doğrultusunda (Ch3) oluşan titreşim grafiği (Devamı).

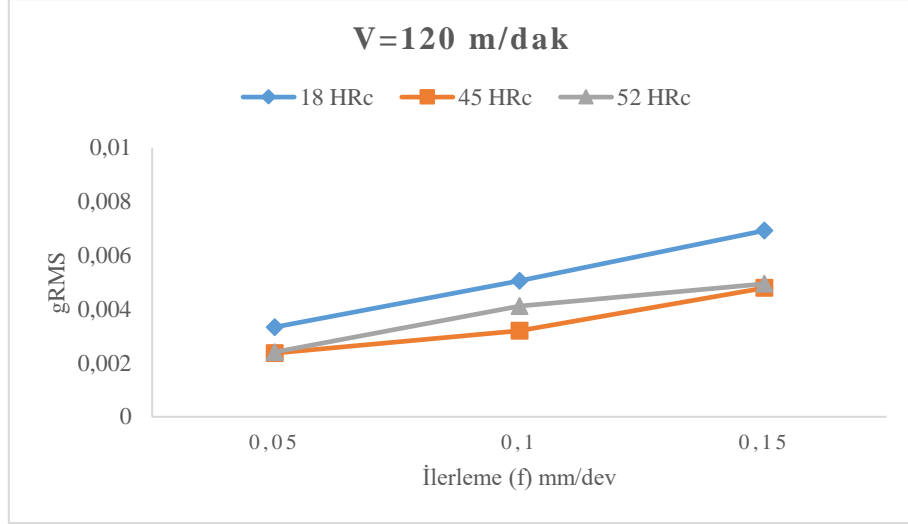


Şekil 5.5. 52 HRc numunenin z doğrultusunda (Ch3) oluşan titreşim grafiği.

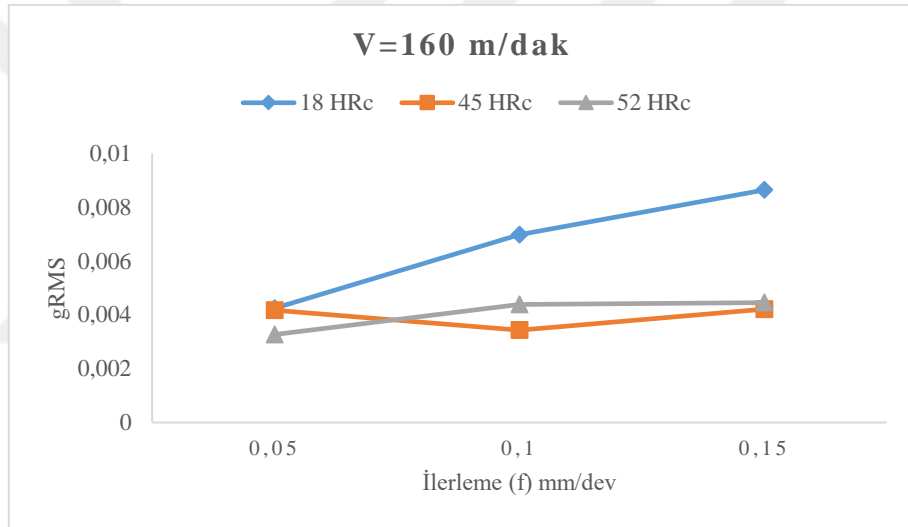


Şekil 5.6. 52 HRC numunenin z doğrultusunda (Ch3) oluşan titreşim grafiği (Devamı).

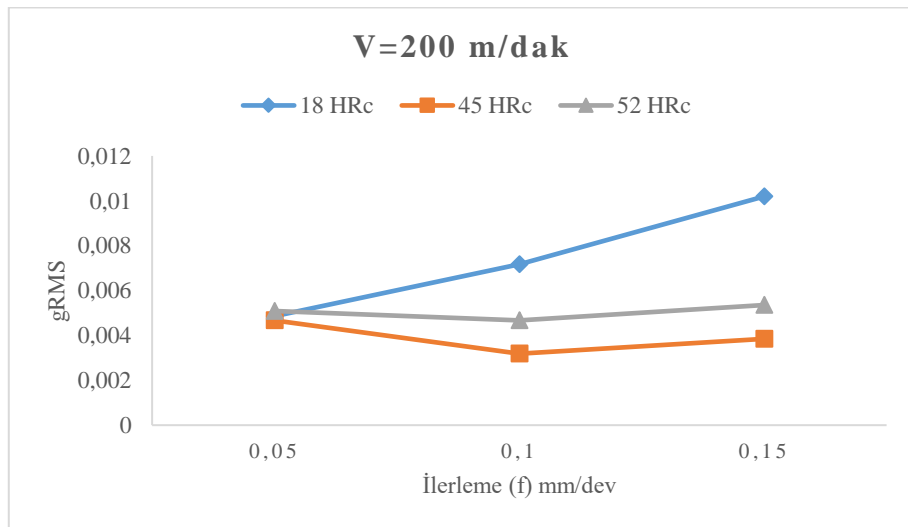
Elde edilen veriler her bir kesme hızına göre grafik haline getirilmiştir. Şekil 5.7’de 120 m/dak kesme hızına, Şekil 5.8’de 160 m/dak kesme hızına, Şekil 5.9’da 200 m/dak kesme hızına, Şekil 5.10’da 240 m/dak kesme hızına göre titreşim grafikleri gösterilmiştir.



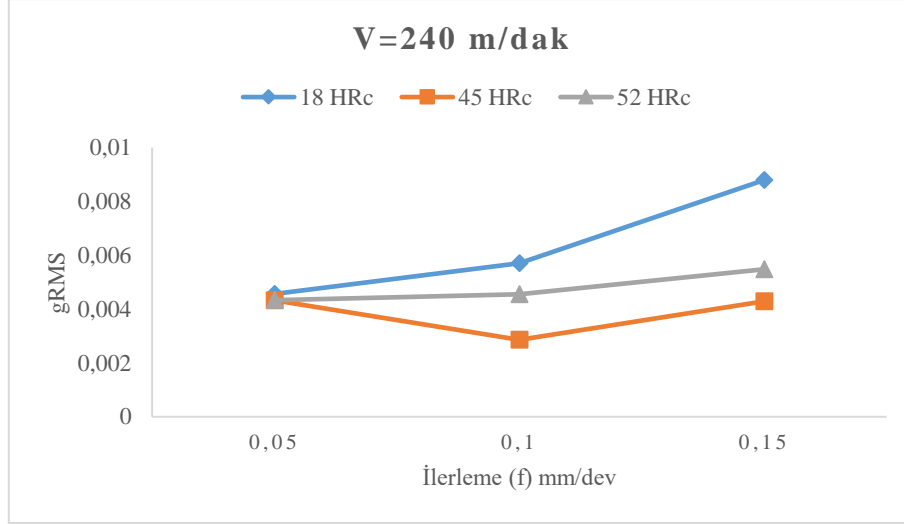
Şekil 5.7. 120 m/dak ve farklı ilerlemelerde elde edilen en yüksek titreşim grafiği.



Şekil 5.8. 160 m/dak ve farklı ilerlemelerde elde edilen en yüksek titreşim grafiği.



Şekil 5.9. 200 m/dak ve farklı ilerlemelerde elde edilen en yüksek titreşim grafiği.



Şekil 5.10. 240 m/dak ve farklı ilerlemelerde elde edilen en yüksek titreşim grafiği.

Numunelerin tornalanması sırasında kesici takımında oluşan en yüksek titreşim genliği değerleri sırasıyla 18, 52 ve 45 HRC numunelerde elde edildiği görülmüştür. 45 ve 52 HRC numunelerine uygulanan geleneksel ısıtma işlemi, titreşim genliği değerlerini düşürmüştür. İkinci bir temperleme işlemi uygulanan 45 HRC numunenin titreşim genliği değeri en düşük olduğu görülmüştür. 18, 45 ve 52 HRC numunelerin tornalanmasında takıma gelen en düşük titreşim genliği değerleri 0,05 mm/dev ilerlemede, en yüksek titreşim genliği değerleri 0,15 mm/dev ilerlemede olduğu görülmüştür. 18, 45 ve 52 HRC numunelerin tornalanmasında takıma gelen titreşim genliği değerlerinin ilerlemenin artmasıyla birlikte arttığı gözlenmiştir. Parametrelerde belirlenen kesme hızının ise titreşim genliği değerleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı görülmüştür.

5.3. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ BULGULARI

Deneylerde, elde edilen yüzeylerin ortalama yüzey pürüzlülük değerleri kesme parametreleri ile birlikte, 18 HRC numune için Çizelge 5.8'de, 45 HRC numune için Çizelge 5.9'da ve 52 HRC numune için Çizelge 5.10'da verilmiştir.

Çizelge 5.8. 18 HRc numunenin yüzey pürüzlülüğü değerleri.

Deney No	V (m/dak)	f (mm/dev)	a (mm)	t (sn)	Ra (μm)	Rz (μm)
D1	120	0,05	0,2	47,12	0,361	3,389
D2		0,10		23,56	0,393	2,135
D3		0,15		15,71	0,645	3,457
D4	160	0,05	0,2	35,34	0,273	2,120
D5		0,10		17,67	0,282	1,795
D6		0,15		11,78	0,525	2,671
D7	200	0,05	0,2	28,27	0,203	1,630
D8		0,10		14,14	0,258	2,090
D9		0,15		9,42	0,483	2,591
D10	240	0,05	0,2	28,27	0,400	2,817
D11		0,10		14,14	0,365	2,380
D12		0,15		7,18	0,523	2,666

Çizelge 5.9. 45 HRc numunenin yüzey pürüzlülüğü değerleri.

Deney No	V (m/dak)	f (mm/dev)	a (mm)	t (sn)	Ra (μm)	Rz (μm)
D1	120	0,05	0,2	47,12	0,237	2,074
D2		0,10		23,56	0,248	1,605
D3		0,15		15,71	0,406	2,183
D4	160	0,05	0,2	35,34	0,234	1,579
D5		0,10		17,67	0,276	1,424
D6		0,15		11,78	0,401	2,151
D7	200	0,05	0,2	28,27	0,144	1,078
D8		0,10		14,14	0,252	1,507
D9		0,15		9,42	0,355	1,906
D10	240	0,05	0,2	28,27	0,233	1,476
D11		0,10		14,14	0,216	1,571
D12		0,15		7,18	0,345	2,011

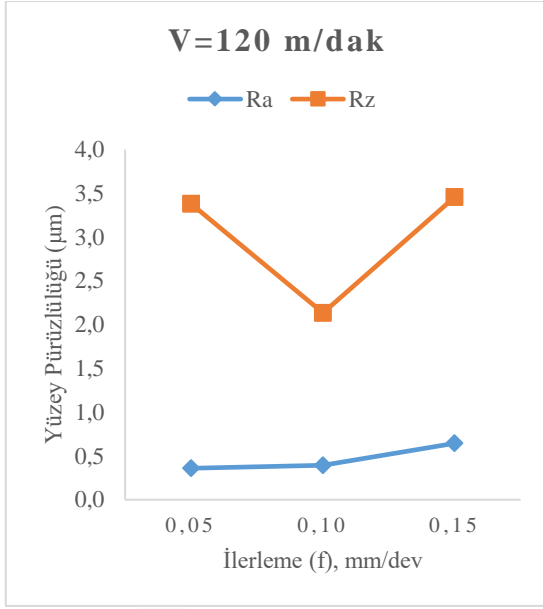
Çizelge 5.10. 52 HRc numuneninin yüzey pürüzlülüğü değerleri.

Deney No	V (m/dak)	f (mm/dev)	a (mm)	t (sn)	Ra (μm)	Rz (μm)
D1	120	0,05	0,2	47,12	0,492	2,868
D2		0,10		23,56	0,512	2,669
D3		0,15		15,71	0,643	3,790
D4	160	0,05	0,2	35,34	0,349	2,467
D5		0,10		17,67	0,353	2,617
D6		0,15		11,78	0,466	3,358
D7	200	0,05	0,2	28,27	0,394	2,569
D8		0,10		14,14	0,496	2,691
D9		0,15		9,42	0,418	2,708
D10	240	0,05	0,2	28,27	0,163	1,066
D11		0,10		14,14	0,433	2,063
D12		0,15		7,18	0,486	2,125

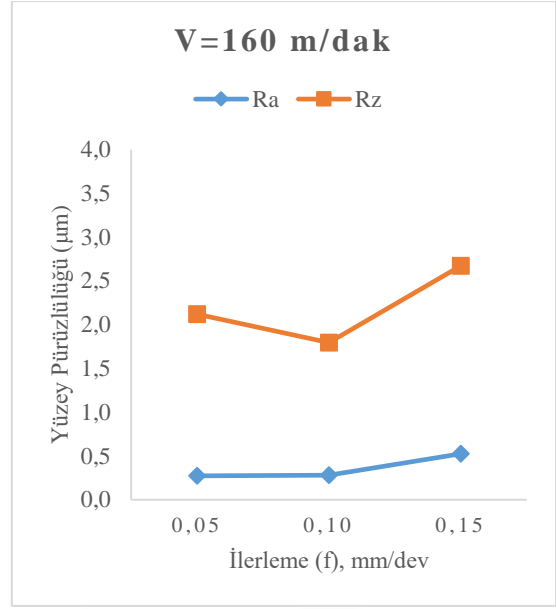
18 HRc numuneninin en yüksek yüzey pürüzlülüğü değerlerine bakıldığında Ra 0,645 μm ile 120 m/dak kesme hızında ve 0,15 mm/dev ilerlemede görülmüştür. En düşük yüzey pürüzlülük değeri ise Ra 0,203 μm ile 200 m/dak kesme hızında ve 0,05 mm/dev ilerleme hızında elde edilmiştir. 45 HRc numuneninin en yüksek yüzey pürüzlülüğü değerlerine bakıldığında Ra 0,406 μm ile 120 m/dak kesme hızında ve 0,15 mm/dev ilerlemede görülmüştür. En düşük yüzey pürüzlülük değeri ise Ra 0,144 μm ile 200 m/dak kesme hızında ve 0,05 mm/dev ilerleme hızında elde edilmiştir. 52 HRc numuneninin en yüksek yüzey pürüzlülüğü değerlerine bakıldığında Ra 0,643 μm ile 120 m/dak kesme hızında ve 0,15 mm/dev ilerlemede görülmüştür. En düşük yüzey pürüzlülük değeri ise Ra 0,163 μm ile 240 m/dak kesme hızında ve 0,05 mm/dev ilerleme hızında elde edilmiştir.

Her üç numuneninin Rz değerlerine bakıldığında, elde edilen Ra değerlerinin paralelinde değerler elde edildiği görülmüştür.

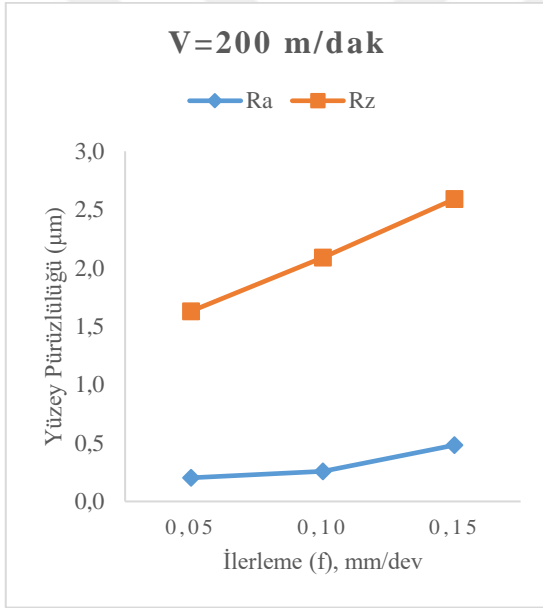
Deneylerden elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri her bir numune için ayrı ayrı kesme hızı ve ilerlemeye bağlı olarak Ra ve Rz değerleri grafik haline getirilmiştir. 18 HRc numune için yüzey pürüzlülük değerleri ilerleme ve kesme hızına (120, 160, 200 ve 240 m/dak) göre Şekil 5.11’de gösterilmiştir. 45 HRc numune için yüzey pürüzlülük değerleri ilerleme ve kesme hızına (120, 160, 200 ve 240 m/dak) göre Şekil 5.12’de gösterilmiştir. 18 HRc numune için yüzey pürüzlülük değerleri ilerleme ve kesme hızına (120, 160, 200 ve 240 m/dak) göre Şekil 5.13’te gösterilmiştir.



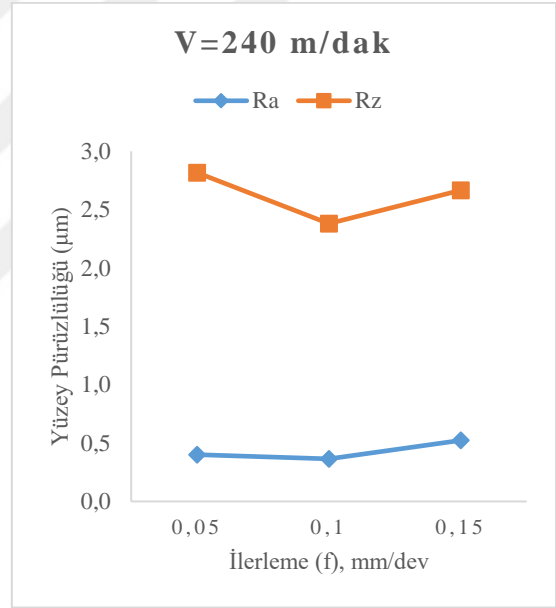
a)



b)

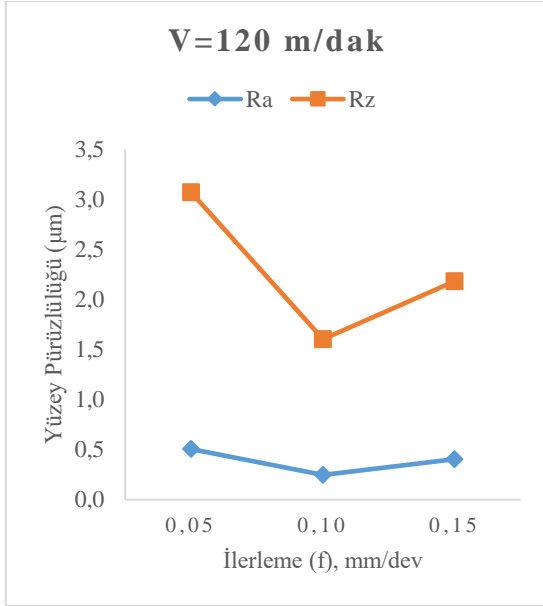


c)

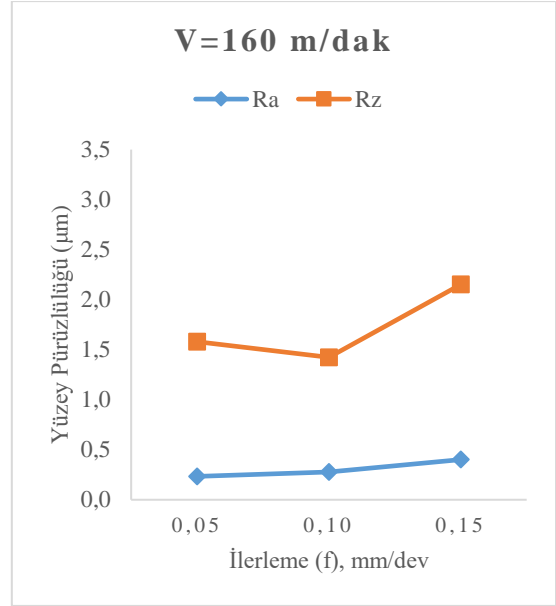


d)

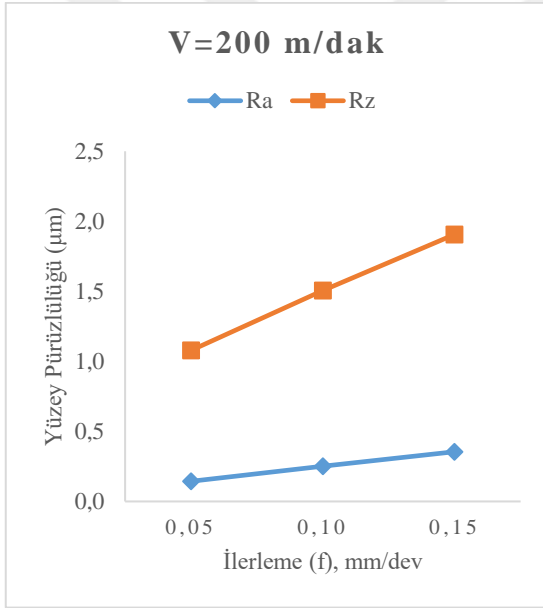
Şekil 5.11. 18 HRc numunenin Ra ve Rz değerleri grafiği a) 120 m/dak b) 160 m/dak c) 200 m/dak d) 240 m/dak.



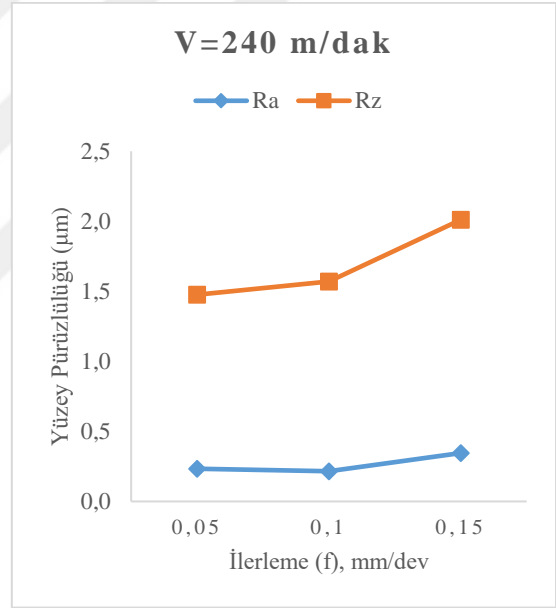
a)



b)

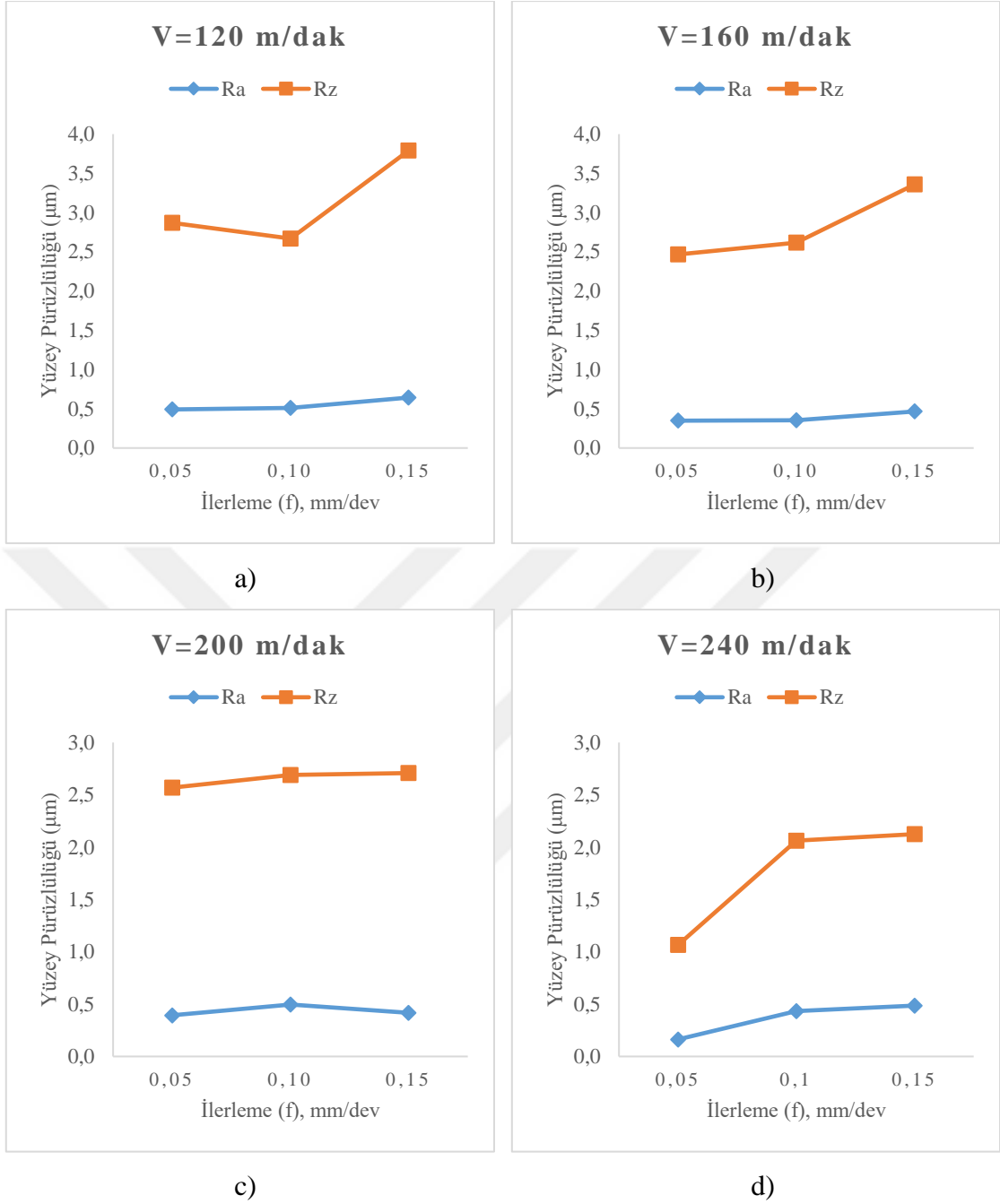


c)



d)

Şekil 5.12. 45 HRc numunenin Ra ve Rz değerleri grafiği a) 120 m/dak b) 160 m/dak c) 200 m/dak d) 240 m/dak.



Şekil 5.13. 52 HRC numunenin Ra ve Rz değerleri grafiği a) 120 m/dak b) 160 m/dak c) 200 m/dak d) 240 m/dak.

Yüzey pürüzlülüğü değerleri ilerleme ve kesme hızına bağlı olarak değiştiği bilinmektedir [1]. Yüzey pürüzlülüğünde en önemli parametre ilerleme hızıdır. İyi bir yüzey kalitesi için ilerleme hızını çok iyi belirlemek gerekir. Deneylerde kullanılan parametreler birçok ön testler uygulanarak belirlenmiştir. Grafikler incelendiğinde en yüksek pürüzlülük değerleri sırasıyla 18, 52 ve 45 HRC numunelerde elde edilmiştir. Genel olarak en düşük yüzey pürüzlülük değerleri en düşük ilerleme hızlarında elde edilmiş ancak en uygun

yüzey kalitesi, kesme hızının yüksek ilerlemenin düşük olduğu parametrelerde görülmüştür.

Yüzey pürüzlülüğü ile titreşim genliği değerleri kıyaslandığı zaman titreşim genliği değerlerinin arttığı parametrelerde yüzey pürüzlülüğü değerlerinin de arttığı, titreşim genliği değerlerinin azaldığı parametrelerde yüzey pürüzlülüğü değerlerinin de azaldığı görülmüştür. Bu durumda titreşim ile yüzey pürüzlülüğü değerleri arasında doğru orantı olduğu görülmüştür.

5.4. TALAŞ FORMU VE KALINLIĞI İÇİN BULGULAR

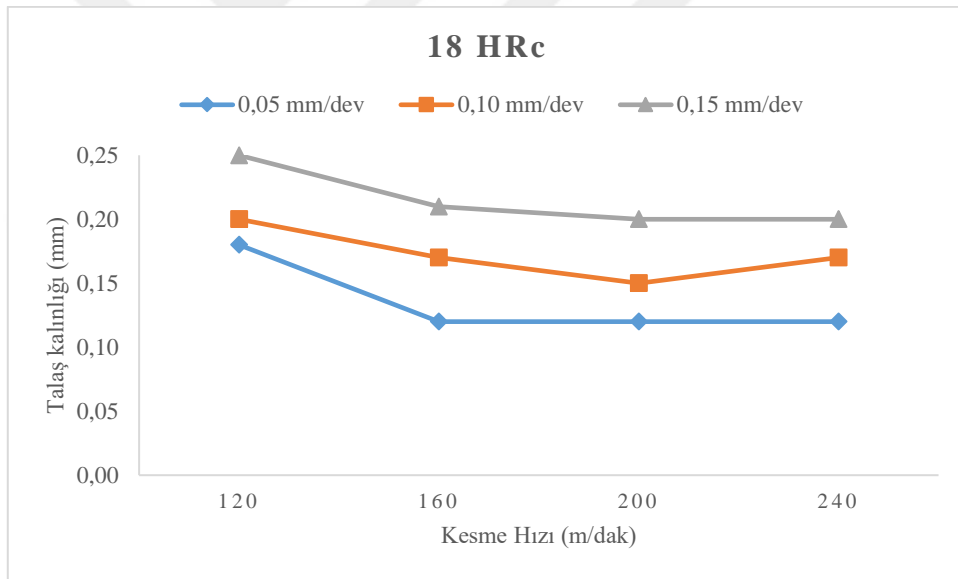
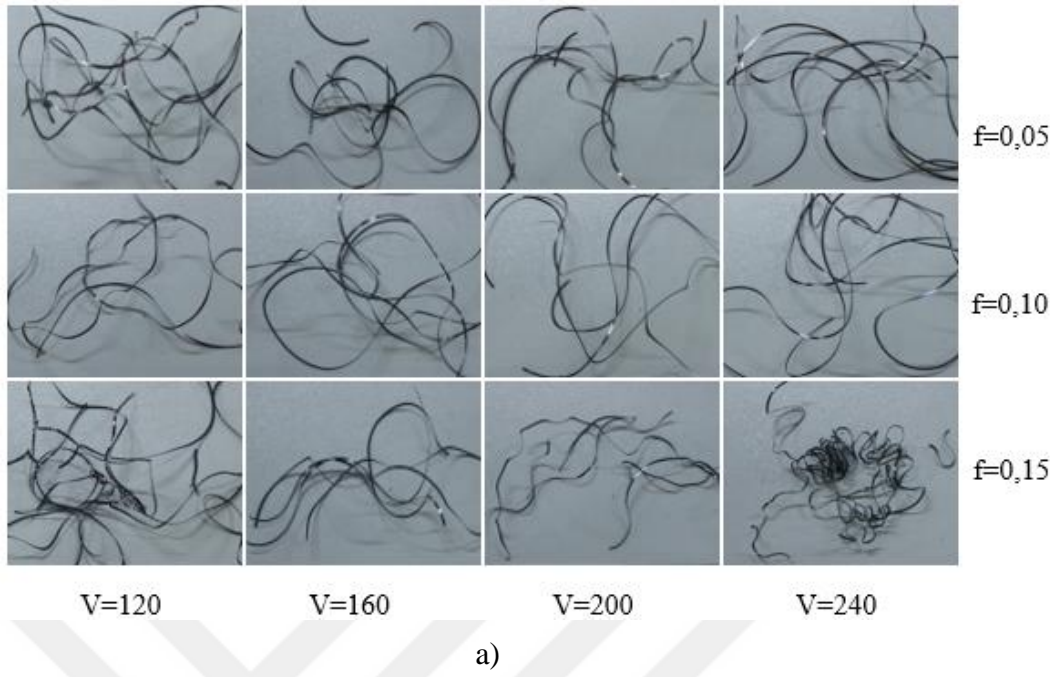
Deneylerde incelenen diğer bir durum ise talaş formu ve kalınlıklarıdır. Talaş kalınlıkları her bir deney için elde edilen talaşlar üzerinden ölçülmüştür. Çizelge 5.11’de 18, 45 ve 52 HRc numunelerin deneylerinden elde edilen talaş kalınlığı değerleri, kesme parametreleri ile birlikte verilmiştir.

Çizelge 5.11. Deneylerden elde edilen talaş kalınlığı değerleri.

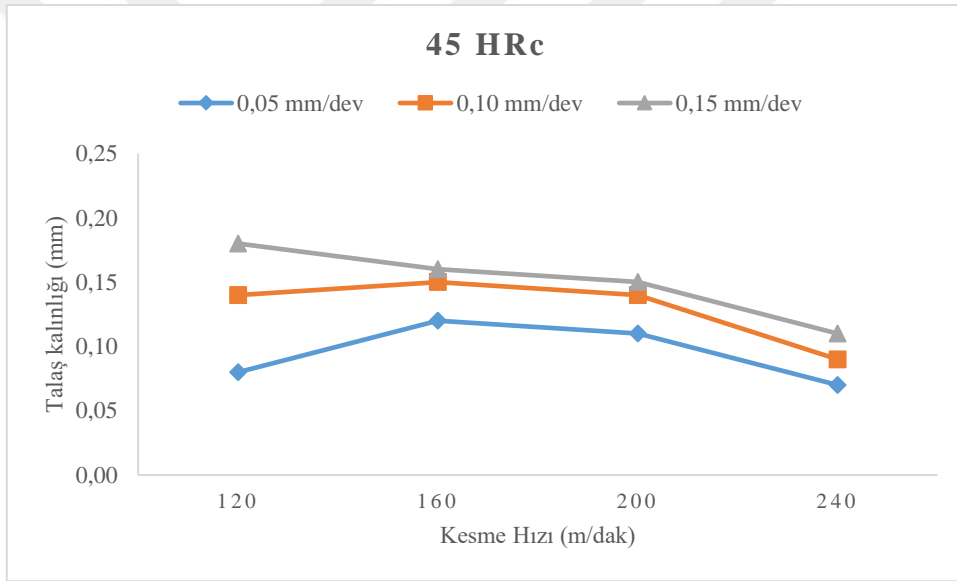
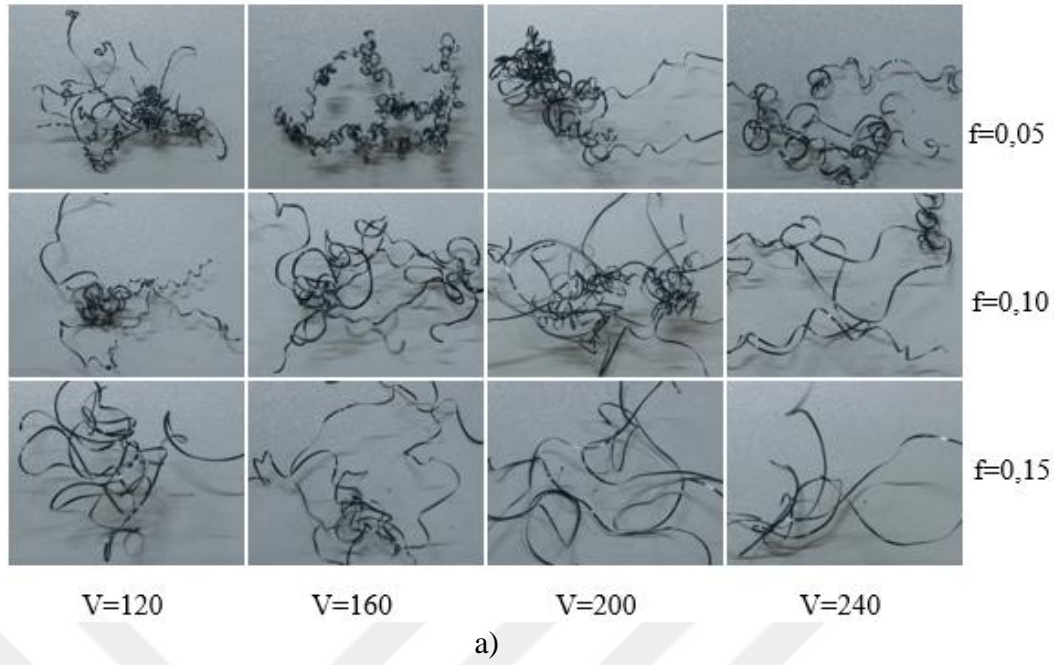
Kesme Parametreleri			Talaş Kalınlıkları (mm)		
V (m/dak)	f (mm/dev)	a (mm)	18 HRc	45 HRc	52 HRc
120	0,05	0,2	0,18	0,06	0,06
	0,10		0,20	0,14	0,07
	0,15		0,25	0,18	0,11
160	0,05	0,2	0,12	0,12	0,10
	0,10		0,17	0,15	0,10
	0,15		0,21	0,16	0,12
200	0,05	0,2	0,12	0,11	0,05
	0,10		0,15	0,14	0,10
	0,15		0,25	0,15	0,15
240	0,05	0,2	0,12	0,07	0,06
	0,10		0,17	0,09	0,08
	0,15		0,20	0,11	0,10

18 HRc numunede talaş kalınlığı en yüksek, 52 HRc numunede talaş kalınlığı en düşük olarak ölçülmüştür. Genel olarak her üç numunede ilerlemenin artmasıyla talaş kalınlığı değerlerinin de arttığı görülmüştür. Kesme hızının artmasıyla talaş kalınlığı değerlerinin azaldığı görülmüştür. Şekil 5.14’te 18 HRc numune, Şekil 5.15’te 45 HRc numune ve Şekil 5.16’da 52 HRc numune deneylerinden elde edilen talaş kalınlıkları grafiği, talaş

formu ile birlikte gösterilmiştir.

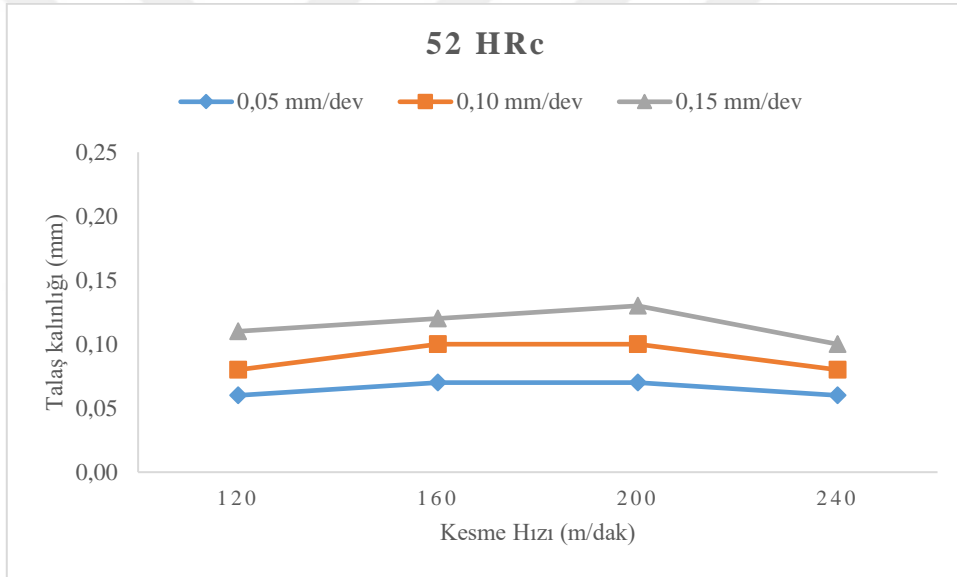
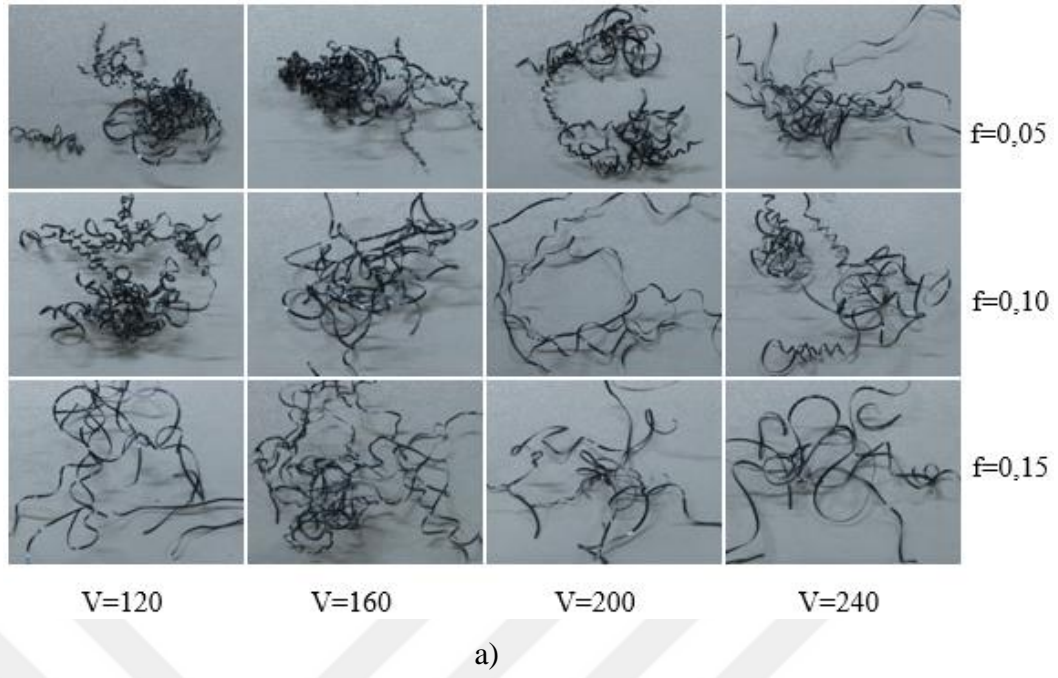


Şekil 5.14. 18 HRc numune a) Elde edilen talaş formu b) Talaş kalınlığı grafiği.



b)

Şekil 5.15. 45 HRc numune a) Elde edilen talaş formu b) Talaş kalınlığı grafiği.



Şekil 5.16. 52 HRc numune a) Elde edilen talaş formu b) Talaş kalınlığı grafiği.

Talaş formlarına bakıldığı zaman 18 HRc numunede sürekli talaş, 45 ve 52 HRc numunelerde daha çok kesintili talaş elde edilmiştir. Numunelerin sertlikleri arttıkça talaşın daha çok kırıldığı görülmüş ve bunun sonucunda yüzey kalitesinin iyileşmesinde katkı sağladığı görülmüştür.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada endüstride özellikle otomotiv, uçak ve savunma sanayide yaygın kullanılan AISI 4140 ıslah çeliğinin seramik kesici takımlar ile kuru ortamda tormalanmasında oluşan titreşimin yüzey pürüzlülüğüne etkisi deneysel olarak incelenmiştir. 18, 45 ve 52 HRc sertliklerinde üç adet numune kullanılmış, her numune için on iki adet olmak üzere toplam otuz altı adet deney yapılmıştır. Deneysel çalışmada seramik kesici takımlarla CNC torna tezgâhında sert ve kuru tormalama işlemi incelenmiştir. Tormalama esnasında farklı kesme parametrelerinde kesici takıma gelen titreşim genliği değerleri ve tormalama sonucunda elde edilen her bir yüzeyin yüzey pürüzlülüğü değerleri incelenmiştir. Deneylerde kullanılan numunelerin sertlik ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca elde edilen talaş formları ve kalınlıkları incelenerek karşılaştırılmıştır.

Sonuçlar, her üç numunede de kesici takıma gelen en düşük titreşim genliği değerleri 0,001 ile 0,002 gRMS aralığında x (Ch1) ve y (Ch2) doğrultusunda ölçülmüştür. En yüksek titreşim genliği değeri ise kesme ilerlemesi yönünde olduğundan dolayı z (Ch3) doğrultusunda ölçülmüştür.

18 HRc numunenin tormalanmasında, Ch3 doğrultusu en yüksek titreşim genliği değeri 0,0101 gRMS ile 200 m/dak kesme hızında ve 0,15 mm/dev ilerlemede elde edilmiştir. En düşük titreşim genliği değeri ise 0,0033 gRMS ile 120 m/dak kesme hızında ve 0,05 mm/dev ilerlemede elde edilmiştir. 45 HRc numunenin tormalanmasında, Ch3 doğrultusu en yüksek titreşim genliği değeri 0,0047 gRMS ile 120 m/dak kesme hızında ve 0,15 mm/dev ilerlemede elde edilmiştir. En düşük titreşim genliği değeri ise 0,0023 gRMS ile 120 m/dak kesme hızında ve 0,05 mm/dev ilerlemede ölçülmüştür. 52 HRc numunenin tormalanmasında, Ch3 doğrultusu en yüksek titreşim genliği değeri 0,0054 gRMS ile 240 m/dak kesme hızında ve 0,15 mm/dev ilerlemede elde edilmiştir. En düşük titreşim genliği değeri ise 0,0024 gRMS ile 120 m/dak kesme hızında ve 0,05 mm/dev ilerlemede bulunmuştur. Titreşim genliği değerlerinin artan doğru orantılı olarak kesme hızı ve ilerleme ile arttığı, azalan kesme hızı ve ilerleme ile azaldığı görülmüştür.

18 HRc numunede en yüksek yüzey pürüzlülüğü değeri 0,645 μ m ile 120 m/dak kesme

hızında ve 0,15 mm/dev ilerlemede, en düşük yüzey pürüzlülük değeri ise 0,203 μm ile 200 dev/dak kesme hızında ve 0,05 mm/dev ilerlemede görülmüştür. 45 HRc numunede en yüksek yüzey pürüzlülüğü değeri 0,406 μm ile 120 m/dak kesme hızında ve 0,15 mm/dev ilerlemede, en düşük yüzey pürüzlülük değeri ise 0,144 μm ile 200 dev/dak kesme hızında ve 0,05 mm/dev ilerlemede elde edilmiştir. 52 HRc numunede en yüksek yüzey pürüzlülüğü değeri ise 0,643 μm ile 120 m/dak kesme hızında ve 0,15 mm/dev ilerlemede, en düşük yüzey pürüzlülük değeri ise 0,163 μm ile 240 dev/dak kesme hızında ve 0,05 mm/dev ilerlemede görülmüştür. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen ana parametrenin ilerleme olduğu ve sonrasında kesme hızının takip ettiği görülmüştür.

18 HRc sertliğindeki numunede titreşim genliği değerleri yüksek, 52 HRc sertliğindeki numunede titreşim genliği değerleri düşük, 45 HRc sertliğindeki numunede titreşim genliği değerlerinin en düşük olduğu görülmüştür. Bu durumda en yüksek yüzey pürüzlülük değerleri 18 HRc sertliğindeki numunede, en düşük pürüzlülük değerleri ise 45 HRc sertliğindeki numunede elde edilerek sertlik ve temperleme süresinin yüzey pürüzlülüğünü önemli ölçüde etkilediği görülmüştür.

45 HRc numuneye uygulanan ikinci bir temperleme işlemi malzemenin mukavemet ve tokluğunu arttırmıştır. Bu nedenle 45 HRc numunenin tornalama işlemi sonrasında yüzey kalitesi arttığı, malzemenin darbe ve titreşimin fazla olduğu ortamlarda kullanılması daha elverişli hale geldiği görülmüştür.

En düşük titreşim genliği değerleri, ilerlemenin en düşük olduğu parametrede meydana gelmiştir. Genellikle titreşimin en düşük olduğu parametrede, yüzey pürüzlülük değerinin azaldığı görülmüştür. Tezgâh gücü ve kapasitesi dikkate alınarak yüksek kesme hızı ve düşük ilerlemelerde, titreşim genliği değerlerini düşürerek yüzey pürüzlülük değerini de düşürdüğü görülmüştür. Elde edilen veriler sonucunda optimum kesme parametresi, 200 m/dak kesme hızı ve 0,05 mm/dev ilerleme olduğu görülmüştür.

Benzer çalışmalarda literatürde elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerlerine göre daha düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri dolayısı ile daha iyi yüzey kaliteleri elde edilmiştir.

Talaşlar metalik gri renkli, kıvrımlı ve sürekli talaş elde edilmiş, ilerleme hızı arttıkça talaş kalınlığı artmış ve kesme hızı arttıkça talaş kalınlıklarının düştüğü görülmüştür. Talaş kalınlıkları numunelerin sertliklerine göre değişkenlik göstermiş, sertlik arttıkça talaş kalınlıkları düşmüştür.

Bu alanda çalışma yapmak isteyen araştırmacılara öneri olarak, seramik kesici takımlar

ile kuru tornalama deneylerinde takımların aşınmaları incelenebilir. Ayrıca tornalama esnasında çalışma sıcaklığına bakılarak yüzey pürüzlülüğüne etkisi araştırılabilir.

AISI 4140 ıslah çeliklerini 60 HRc sertliklerinde seramik kesici takımlarla kuru ve kesme sıvısı kullanılarak tornalama işlemlerinde titreşim ve yüzey pürüzlülük değerleri araştırılabilir.

AISI 4140 malzemede 18, 45 ve 52 HRc sertliğinde karbür kesici takımlarla tornalama işleminde titreşim ve yüzey pürüzlülük değerleri araştırılabilir.

Seramik kesici takımlarla 18, 45 ve 52 HRc sertliğinde AISI 4340 veya AISI 4150 ıslah çeliklerinin tornalanmasında titreşim ve yüzey pürüzlülük değerleri araştırılabilir.

7. KAYNAKLAR

- [1] M. Şeremet ve M. Kam, “AISI 4140 ıslah çeliğinin tornalama işleminde parametrelerin yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınmasına etkisi üzerine bir değerlendirme”, *Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi (Bahar)*, c. 2, ss. 2030-2037, 2019.
- [2] M. Kam, “Kriyojenik işlem görmüş millerin dinamik davranışlarının deneysel analizi”, Doktora tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2016.
- [3] F. C. Babalık, “Makine elemanları ve konstrüksiyon örnekleri”, *Nobel yayıncılık*, 2. baskı, ss. 84-87, 2006.
- [4] S. Y. Luo, Y. S. Liao and Y. Y. Tsai, “Wear characteristics in turning high hardness alloy steel by ceramic and CBN tools”, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 88, no. 1, pp. 114-121, 1999.
- [5] K. A. Risbood, U. S. Dixit and A. D. Sahasrabudhe, “Prediction of surface roughness and dimensional deviation by measuring cutting forces and vibrations in turning process”, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 132, no. 1-3, pp. 203-214, 2003.
- [6] A. K. Ghani, “Study of tool life, surface roughness and vibration in machining nodular cast iron with ceramic tool”, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 127, no. 1, pp. 17-22, 2002.
- [7] Y. Şahin, A.R. Motorcu, “AISI 4140 çeliğinin farklı kaplamalı karbür ve sermet kesici takımlarla işlenebilirliği”, *On Birinci Uluslararası Makine Tasarım ve imalat Kongresi*, ss. 1-13, 2004.
- [8] M. A. Yallese, J. F. Rigal, K. Chaoui and L. Boulanouar, “The effects of cutting conditions on mixed ceramic and cubic boron nitride tool wear and on surface roughness during machining of X200Cr12 steel (60 HRc)”, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, vol. 219, no. 1, pp. 35-55, 2005.
- [9] E. Aslan, N. Camuşcu ve B. Birgören, “Design optimization of cutting parameters when turning hardened AISI 4140 steel (63 HRc) with Al₂O₃+TiCN mixed ceramic tool”, *Materials & design*, vol. 28, no. 5, pp. 1618-1622, 2007.
- [10] M. Apakhan, “Seramik takımlarla talaş kaldırmada talaş açısının işlenebilirliğe etkisi”, Yüksek lisans tezi, Makine Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2006.
- [11] F. İşbilir, “Takım ömrünün sebep-sonuç diyagramları ile açıklanması, yüzey pürüzlülüğü ve takım ömrü etkili faktörlerin analizi”, Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara , Türkiye, 2006.
- [12] S. Neşeli, “Tornalamada takım geometrisi ve tırlama titreşimlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri”, Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2006.

- [13] S. Neşeli, "Tornalamada yaklaşma açısı ve talaş açısına bağlı tırlama titreşimlerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri", *Politeknik Dergisi*, c. 10, sayı 4, ss. 383-389, 2007.
- [14] K. Samir, "Wear mechanisms and tool performance of TiAlN PVD coated inserts during machining of AISI 4140 steel", *Wear*, vol. 262, no. 1-2, pp. 64-69, 2006.
- [15] S. Orhan, "Tool wear evaluation by vibration analysis during end milling of AISI D3 cold work tool steel with 35 HRC hardness", *NDT&E International*, vol. 40, no. 2, pp. 121-126, 2007.
- [16] E. D. Derakhshan and A. A. Akbari, "Experimental investigation on the effect of workpiece hardness and cutting speed on surface roughness in hard turning with CBN tools", *Proceedings of the World Congress on Engineering*, vol. 2, pp. 1-3, 2009.
- [17] A. Cakan, "Real-time monitoring of flank wear behavior of ceramic cutting tool in turning hardened steels", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 52, no. 9-12, pp. 897-903, 2011.
- [18] Y. Şahin, "Comparison of tool life between ceramic and cubic boron nitride (CBN) cutting tools when machining hardened steels", *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 209, no.7, pp. 3478-3489, 2009.
- [19] İ. Asiltürk ve H. Akkuş, "Determining the effect of cutting parameters on surface roughness in hard turning using the Taguchi method", *Measurement*, vol. 44, no. 9, pp. 1697-1704, 2011.
- [20] K. Aslantas, T. I. Uçun and A. Çicek, "Tool life and wear mechanism of coated and uncoated Al₂O₃/TiCN mixed ceramic tools in turning hardened alloy steel", *Wear*, vol. 274, pp. 442-451, 2012.
- [21] M. P. Vipindas and P. Govindan, "Taguchi-based optimization of surface roughness in CNC turning operation", *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology*, vol. 2, no. 4, pp. 454-463, 2013.
- [22] M. Elbah, M. A. Yallese, H. Aouici, T. Mabrouki and J. F. Rigal, "Comparative assessment of wiper and conventional ceramic tools on surface roughness in hard turning AISI 4140 steel", *Measurement*, vol. 46, no. 9, pp. 3041-3056, 2013.
- [23] Z. Hessainia, A. Belbah, M. A. Yallese, T. Mabrouki and J. F. Rigal, "On the prediction of surface roughness in the hard turning based on cutting parameters and tool vibrations", *Measurement*, vol. 46, no. 5, pp. 1671-1681, 2013.
- [24] S. R. Das, D. Dhupal and A. Kumar, "Experimental investigation into machinability of hardened AISI 4140 steel using TiN coated ceramic tool", *Measurement*, vol. 62, pp. 108-126, 2015.
- [25] B. Karayel ve M. Nalbant, "Ç4140 malzemesinin tornalamasında ilerleme, kesme hızı ve kesici takımın yüzey pürüzlülüğü, takım ömrü ve aşınmaya etkileri", *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, c. 11, sayı 3, ss. 11-26, 2014.
- [26] W. B. Rashid, S. Goel, J. P. Davim and S. N. Joshi, "Parametric design optimization of hard turning of AISI 4340 steel (69 HRC)", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 82, no, 1-4, pp. 451-462, 2016.
- [27] A. Özocakcıoğlu, "Sertleştirilmiş AISI 4140 çelik malzemenin işlenmesinde seramik kesici takımında oluşan aşınmanın incelenmesi", Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Bolu, Türkiye, 2016.
- [28] A. M. Pınar ve K. Fırat, "AISI 4140 çeliğin çok yönlü takımla tornalanmasında yüzey pürüzlülük performansının optimizasyonu", *Politeknik Dergisi*, c. 19, sayı 4,

ss. 491-498, 2016.

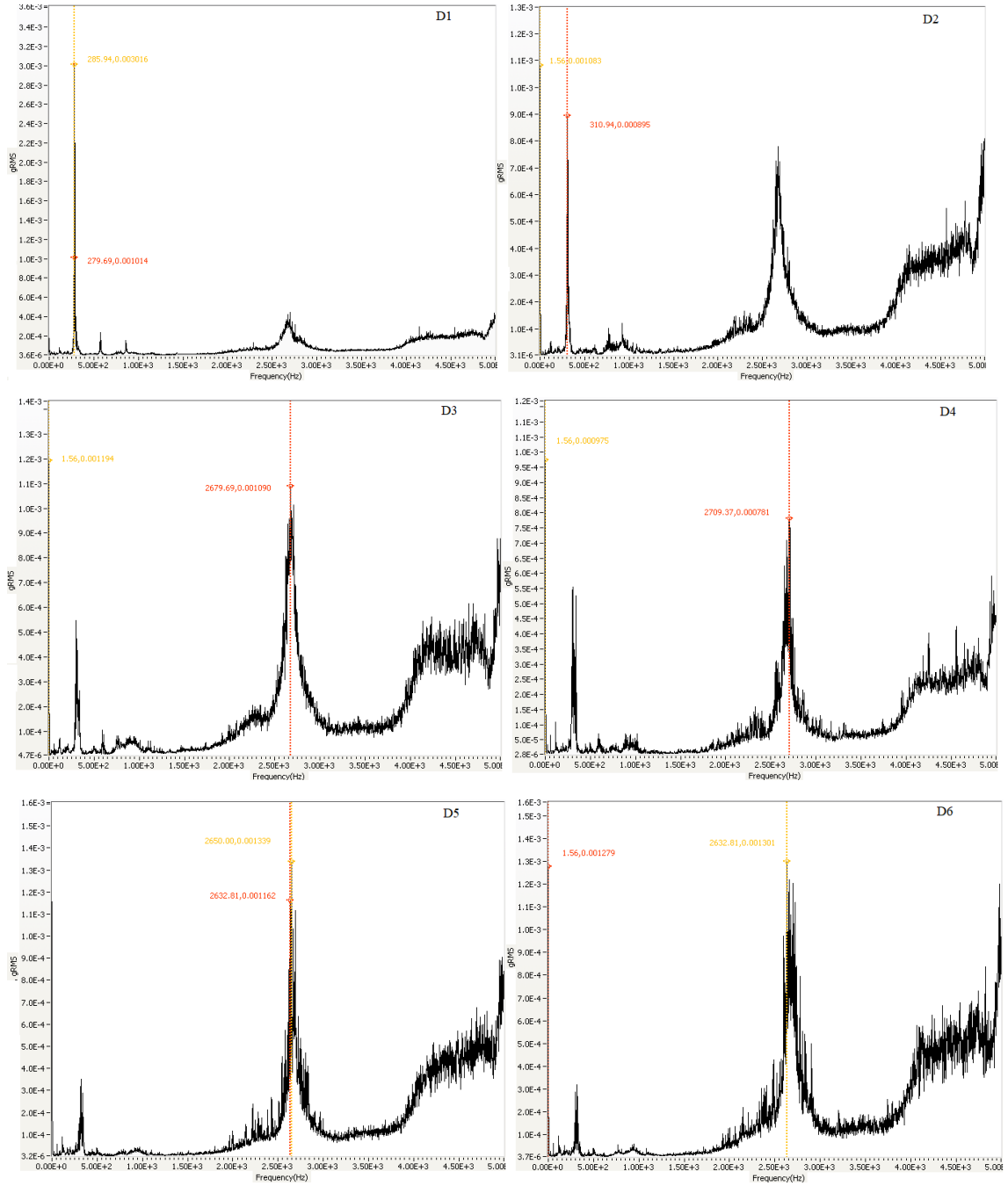
- [29] S. Çakmak, “AISI 4140 çeliğinin işlenmesinde kesici uç geometrisinin talaş kırmaya ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi”, *Düzce Üniversitesi, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 4, sayı 2, ss. 765-771, 2016.
- [30] A. Kaçal ve F. Yıldırım, “Pmd23 çeliğinin tormalanmasında CBN kesici uçların kesme performansının yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması üzerindeki etkilerinin belirlenmesi”, *Gazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 31, sayı 1, ss. 181-189, 2016.
- [31] F. Kara, O. Özbek, M. Kam ve H. Saruhan, “AISI 4140 ıslah çeliğinin tormalanmasında yüzey pürüzlülüğü ve titreşimin taguchi metodu ile optimizasyonu”, *II. INES Uluslararası Akademik Araştırmalar Kongresi*, ss. 1132-1140, 2017.
- [32] M. S. Shiddique, M. N. Akhtar and M. Ziaulhaque, “Turning parameter optimization for surface roughness of AISI 4140 alloy steel by taguchi method”, *Ijsart Journal*, vol. 3, no. 5, 2017.
- [33] B. Özlü, H. Demir ve M. Türkmen, “The effect of mechanical properties and the cutting parameters on machinability of AISI 5140 steel cooled at high cooling rates after hot forging”, *Journal of Polytechnic*, DOI: 10.2339/politeknik.479345, 2018.
- [34] A. Yardımeden, “Farklı kesme parametreleriyle AISI 1040 çeliğin tormalanmasında oluşan titreşimlerin ve yüzey pürüzlülüğün incelenmesi”, *DÜMF Mühendislik Dergisi*, c. 9, sayı 1, ss. 269-278, 2018.
- [35] A. N. Sande, “Optimization of surface roughness in turning of hardened AISI D2 steel”, *International Journal of Research and Scientific Innovation*, vol. 5, no. 3, 2018.
- [36] N. Ambhore, D. Kamble and S. Chinchankar, “Prediction of cutting tool vibration and surface roughness in hard turning of AISI 52100 steel”, *MATEC Web of Conferences*, vol. 211, pp. 3011, 2018.
- [37] G. Samtaş ve S. Korucu, “Kriyojenik işlem görmüş EN AW 5754 (AlMg₃) alüminyum alaşımının frezelenmesinde yüzey pürüzlülüğü için kesme parametrelerinin optimizasyonu”, *Politeknik Dergisi*, c. 22, sayı 3, ss. 665-673, 2019.
- [38] A. Şahinoğlu ve A. Güllü, “CuZn39Pb3 malzemenin torna tezgâhında işlenmesinde oluşan akım, ses şiddeti, titreşim ve yüzey pürüzlülük değeri arasındaki ilişkinin incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, Yayınlanmak üzere gönderildi, 2019.
- [39] T. Ünal, “Sertleştirilmiş makine çeliğinin seramik kesici takımlarla işlenebilirliği ve takım ömrü denklemi modelinin oluşturulması”, *G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, c. 16, sayı 3, ss. 513-521, 2003.
- [40] A. Özer ve E. Bahçeci, “AISI 410 martensitik paslanmaz çeliklerin kesici takım ve kaplamasına bağlı işlenebilirliği”, *Gazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 24, sayı 4, ss. 693-698, 2009.
- [41] M. Kam, H. Saruhan ve F. Kara, “Isıl işlem görmüş millerin dinamik davranışlarının deneysel analizi”, *Düzce Üniversitesi, İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, c. 5, sayı 1, ss. 80-90, 2016.
- [42] E. Kesti, “Ç-4140 çeliğinin mikro yapı ve mekanik özelliklerine su verme ortamının etkilerinin araştırılması”, Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2009.

- [43] M. Uzkut ve İ. Özdemir, “Farklı çeliklere uygulanan değişen ısıtma hızlarının mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi”, *DEÜ, Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi*, c. 3, sayı 3, ss. 65-73, 2001.
- [44] Anonim, (2019, 9 Eylül) [Online]. Erişim: <http://www.hascometal.com>.
- [45] B. Doğan ve N. Çekel, “Two-dimensional and numerical analysis of sialon-based cutting tips thermal conductivity by using sem images”, *International Interdisciplinary Journal of Scientific Research*, vol. 1, no. 2, pp. 29-42, 2014.
- [46] B. Doğan ve H. Tan, “Sialon-Si₃N₄ esaslı seramik kesici uçların ısı iletkenliğinin incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, c. 21, sayı 1, ss. 7-12, 2017.
- [47] B. Joshi, G. Gyawali, H. Wang, T. Sekino and S. Lee, “Thermal and mechanical properties of hot pressed translucent Y₂O₃ doped Mg- α/β -sialon ceramics”, *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 557, pp. 112-119, 2013.
- [48] Anonim, (2019, 1 Şubat) [Online]. Erişim: <https://docplayer.biz.tr>.
- [49] Anonim, (2019, 7 Şubat) [Online]. Erişim: <https://ankatek.org/>.
- [50] B. Yaman ve H. Mandal, “Sialon seramikleri ve fe-esaslı alaşımlar arasında meydana gelen kimyasal etkileşimlerin incelenmesi”, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 22, sayı 2, ss. 234-245, 2009.
- [51] Anonim, (2019, 9 Haziran) [Online]. Erişim: <https://www.tezmaksan.com.tr>.
- [52] MEGEP, “Ders notları”, Makine Teknolojisi, Ankara, 2007.
- [53] S. K. Shihab, Z. A. Khan, A. Mohammad and A. N. Siddiquee, “A review of turning of hard steels used in bearing and automotive applications”, *Production & Manufacturing Research*, vol. 2, no. 1, pp. 24-49, 2014.
- [54] E. Yılmaz, “Dış tormalama işleminde, takım tutucu malzemesinin ve sertliklerinin (HRC) yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerine etkisinin gri ilişkisel analiz yöntemi ile belirlenmesi”, Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2010.
- [55] E. Nas, “Frezeleme işleminde kesici uç sayısının titreşim ve yüzey pürüzlülüğüne etkisinin incelenmesi”, Bilim uzmanlığı tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, 2008.
- [56] S. Orak ve E. Türkeş, “Tornalamada ortogonal kesme için turlama titreşimi ve kararlılığın lineer analizi”, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 19, sayı 2, ss. 89-108, 2006.
- [57] G. Tlusty, “Manufacturing processes and equipment”, *Prentice Hall*, 2000.
- [58] J. Tlusty, “Manufacturing processes and equipment”, *Prentice Hall*, 1999.
- [59] İ. C. Çay, “Tarım traktörleri sürücü koltukları titreşim sönümleme elemanları üzerine bir araştırma”, Doktora tezi, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2006.
- [60] A. Güllü, “Silindirik taşlamada istenilen yüzey pürüzlülüğünü elde etmek için taşlama parametrelerinin bilgisayar yardımıyla optimizasyonu”, Doktora tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 1995.
- [61] E. Ay, “Farklı seramik kesici takımlar için takım ömrü modellerinde üstel değerlerin deneysel olarak belirlenmesi”, Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2013.
- [62] H. Sarı, “Frezelemede takım geometrisi ve turlama titreşimlerinin yüzey

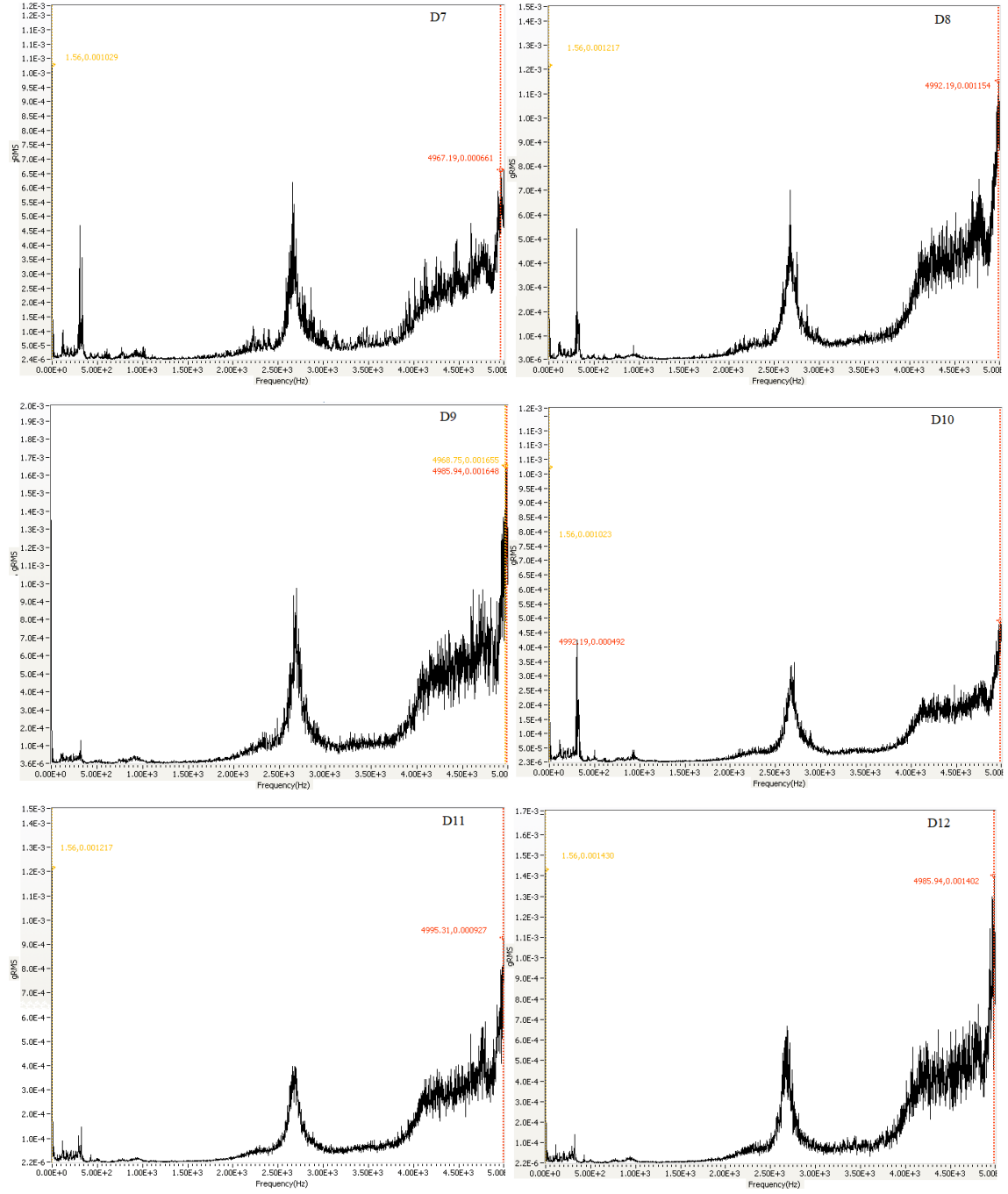
- pürüzlülüğüne etkileri”, Yüksek lisans tezi, Mühendislik Bilimleri, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2008.
- [63] Anonim, (2019, 10 Şubat) [Online]. Erişim: <https://slideplayer.biz.tr>.
- [64] M. P. Groover, “Principles of modern manufacturing”, A.B.D, 2015.
- [65] B. Özses, “Bilgisayar sayısal denetimli takım tezgâhlarında değişik işleme koşullarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi”, Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2002.
- [66] M. C. Kayacan, A. Çelik ve Ö. Salman, “Tornalama işlemlerinde kesici takım aşınmasının bulanık mantık ile modellenmesi”, *TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi*, sayı 526, ss. 87-95, 2003.
- [67] Y. Işık ve M. C. Çakır, “Tornalama işlemlerinde taylor takım ömrü denkleminin deneysel olarak incelenmesi”, *Teknoloji*, c. 3, sayı 4, ss. 47-56, 2000.
- [68] J. Kopac, “Influence of cutting material and coating on tool quality and tool life”, *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 78, no. 1-3, pp. 95-103, 1998.
- [69] Anonim, (2019, 20 Şubat). [Online]. Erişim: <https://www.sandvik.coromant.com/tr>.
- [70] M. Yıldız ve H. Saruhan, “AISI 4140 ıslah çeliğinin TiAlN kaplı frezelerle işlenmesi sırasında oluşan yüzey pürüzlülüğü ve titreşimin deneysel olarak incelenmesi”, *Düzce Üniversitesi, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 6, sayı 4, ss. 745-753, 2018.

8. EKLER

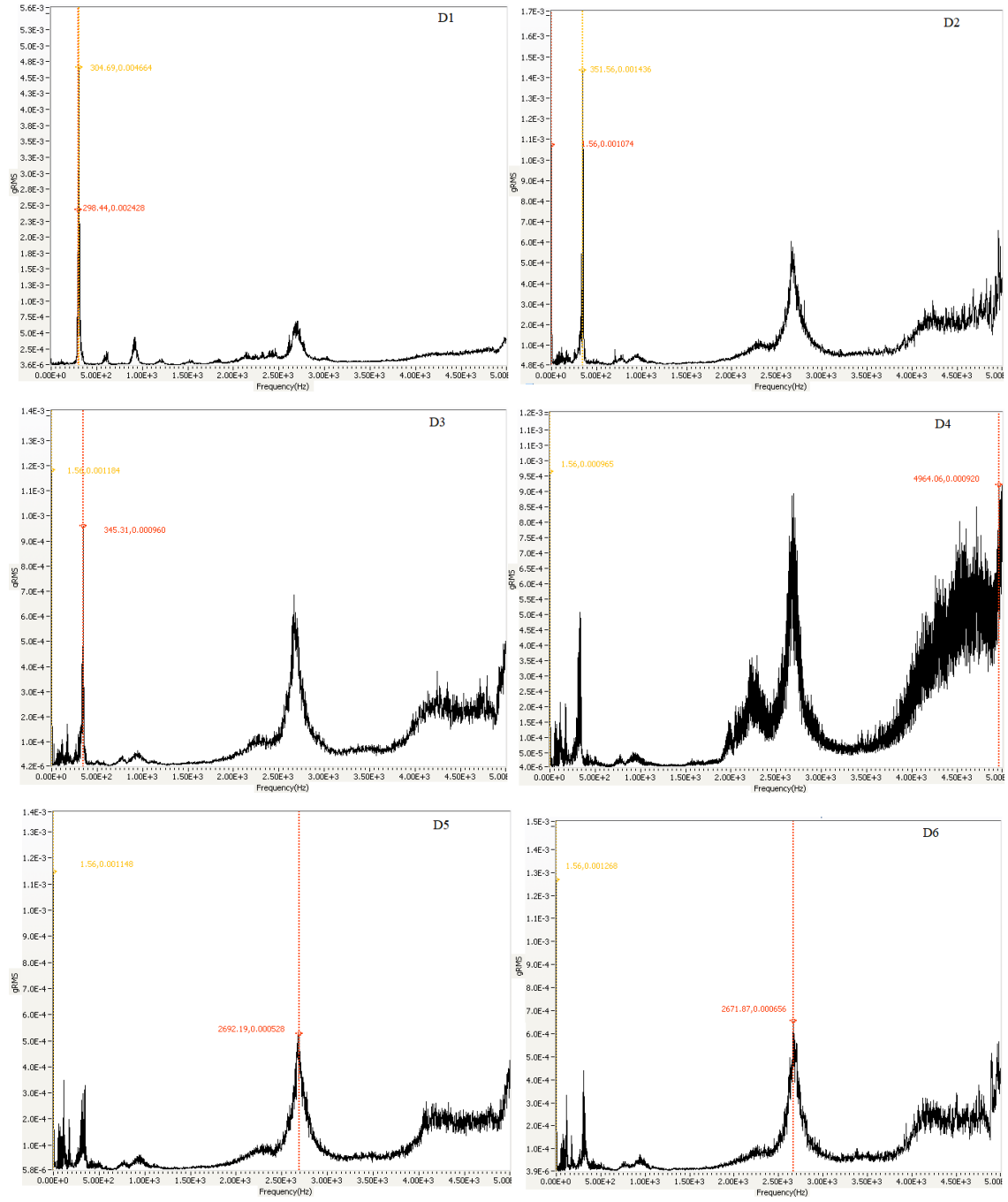
8.1. EK 1: X DOĞRULTUSUNDA (CH1) OLUŞAN TİTREŞİM GRAFİĞİ



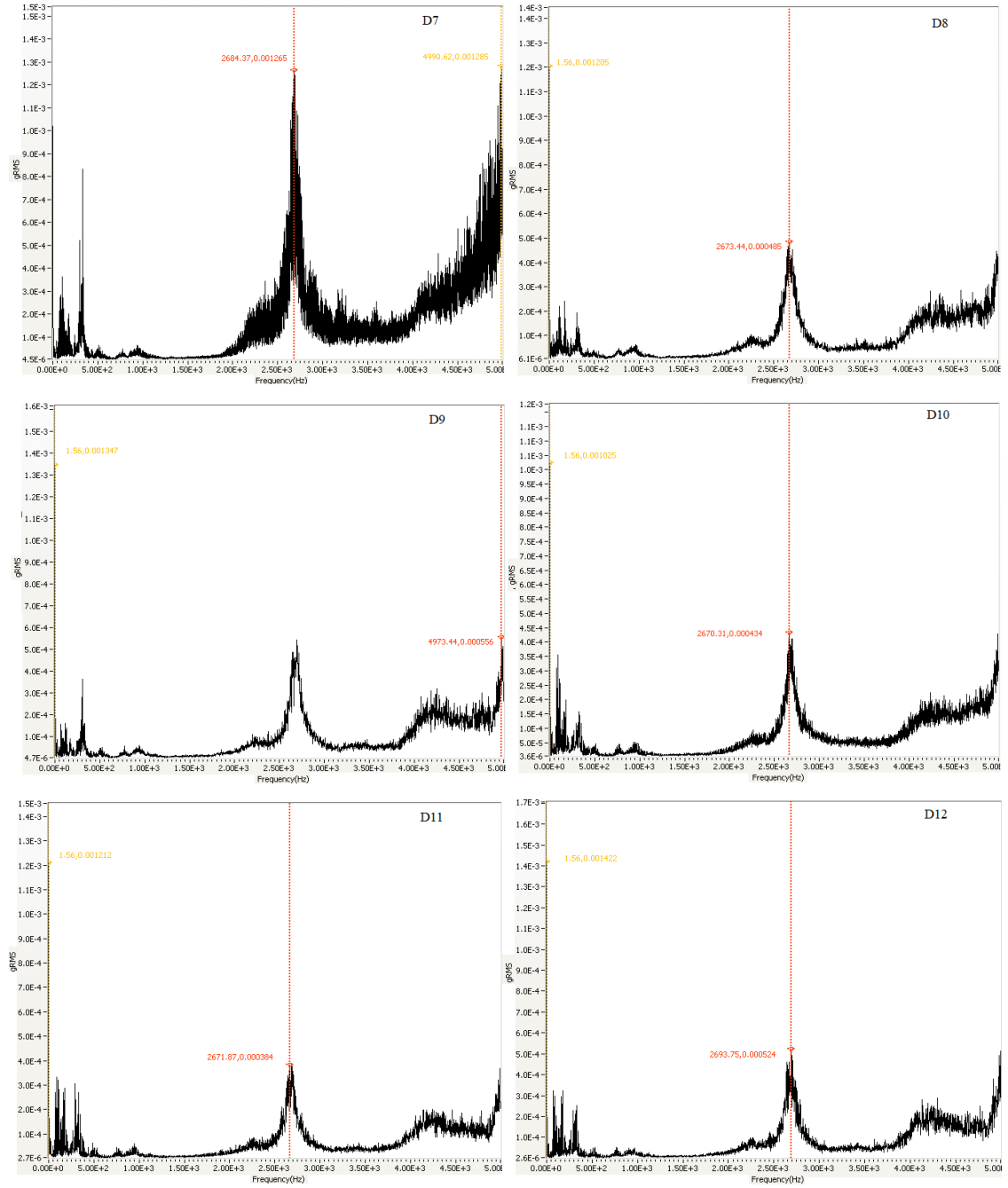
Şekil 8.1. 18 HRc numunenin x doğrultusunda (Ch1) oluşan titreşim grafiği.



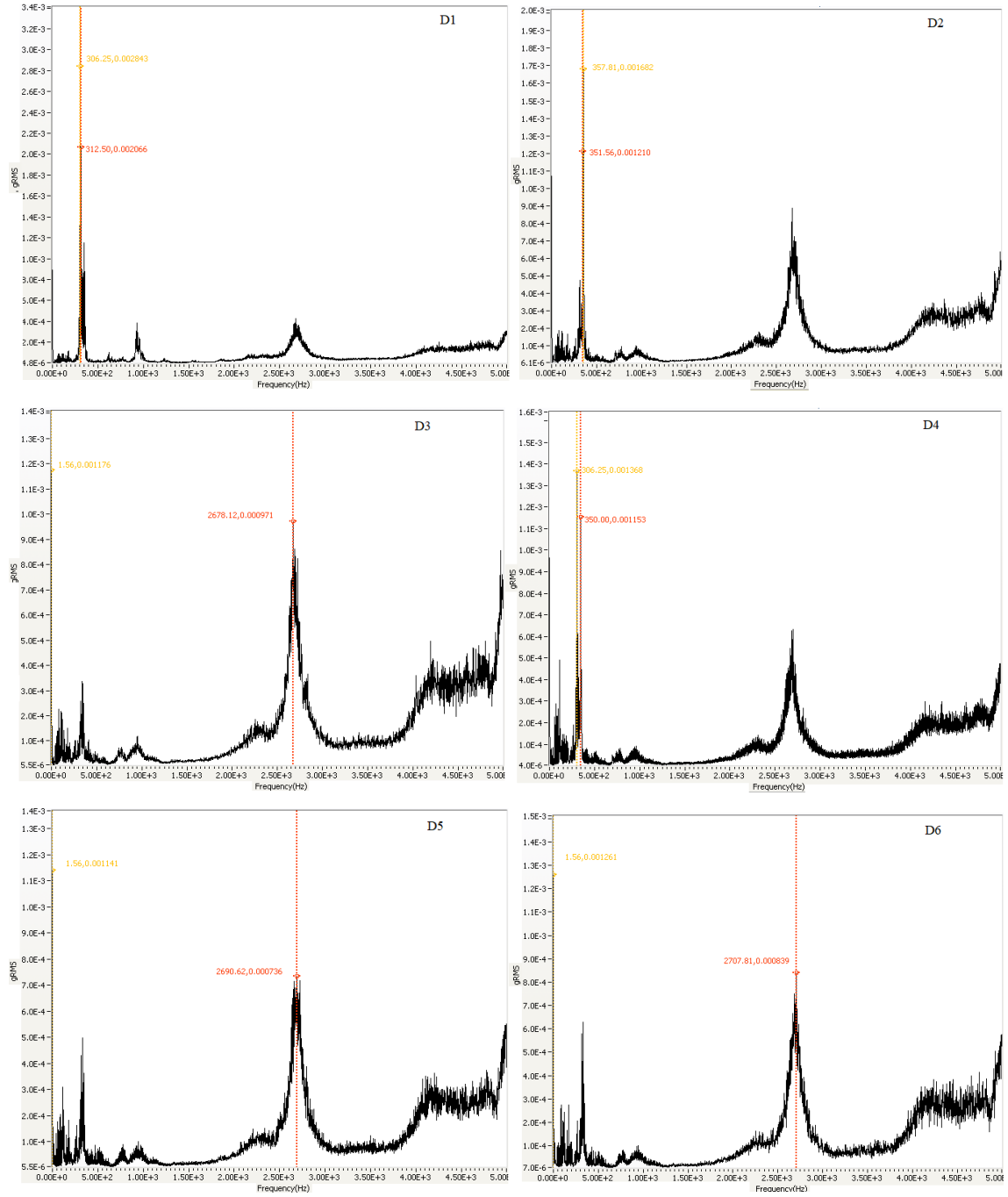
Şekil 8.2. 18 HRc numunenin x doğrultusunda (Ch1) oluşan titreşim grafiği (Devamı).



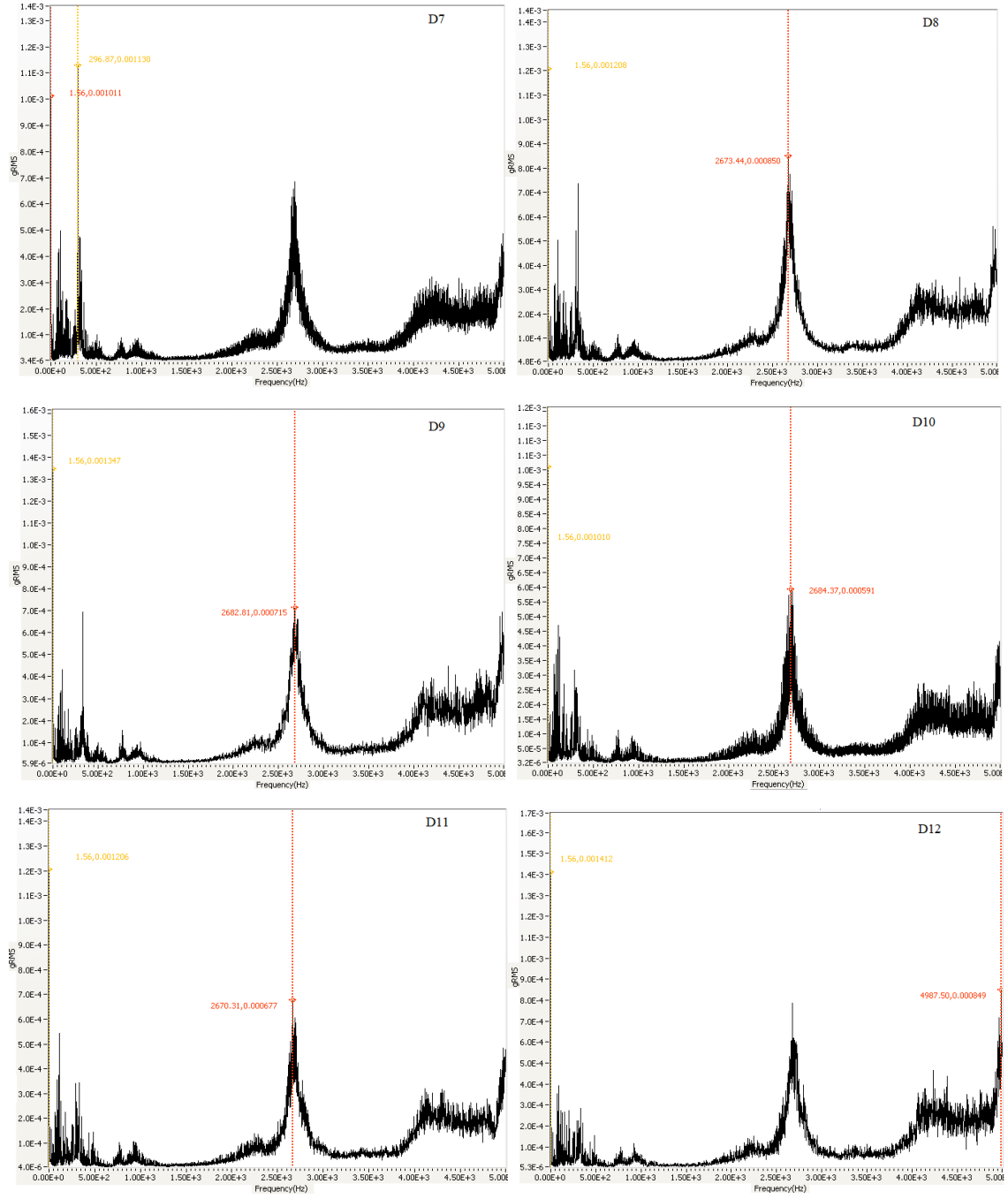
Şekil 8.3. 45 Hrc numunenin x doğrultusunda (Ch1) oluşan titreşim grafiği.



Şekil 8.4. 45 HRC numunenin x doğrultusunda (Ch1) oluşan titreşim grafiği (Devamı).

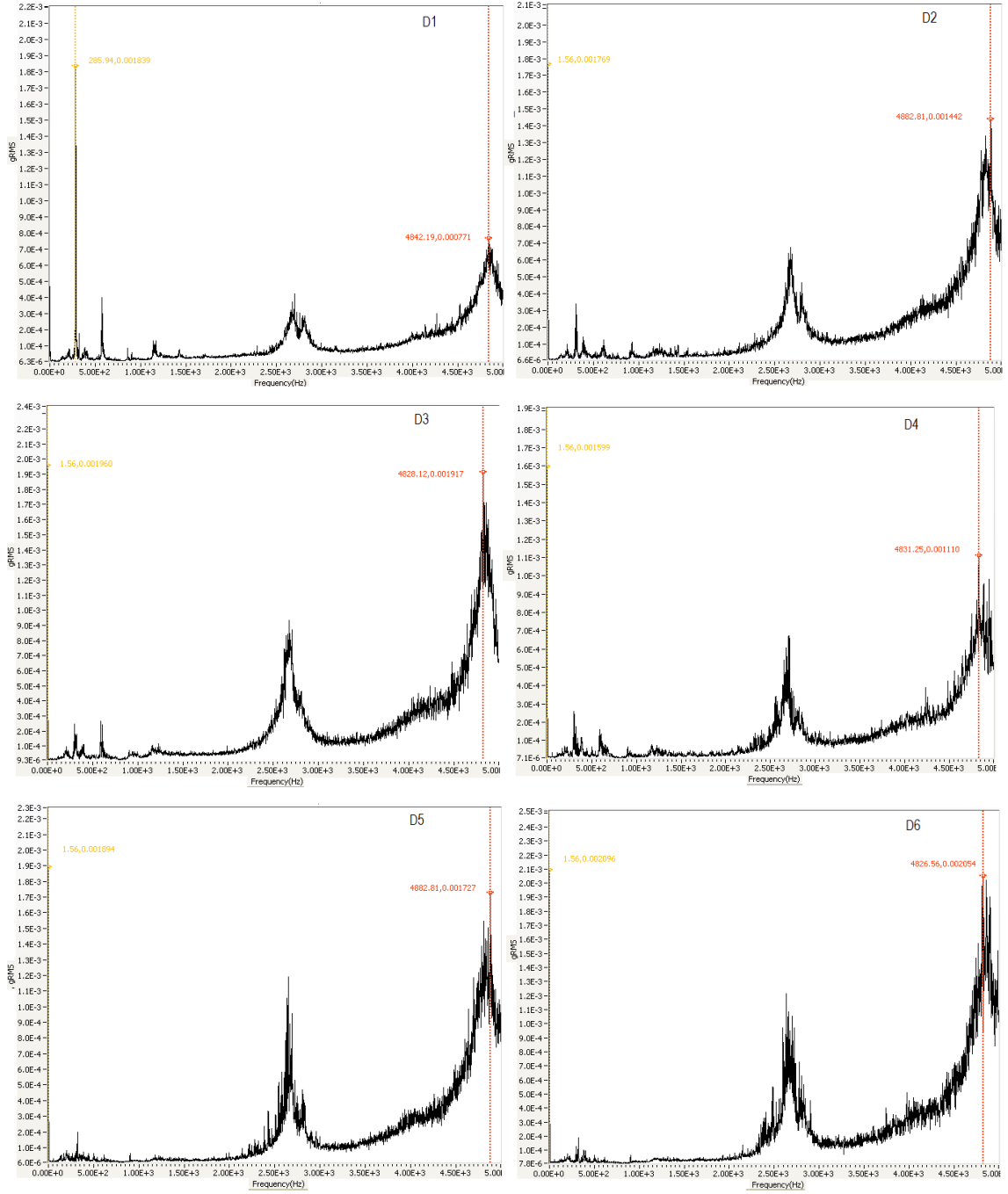


Şekil 8.5. 52 HRC numunenin x doğrultusunda (Ch1) oluşan titreşim grafiği.

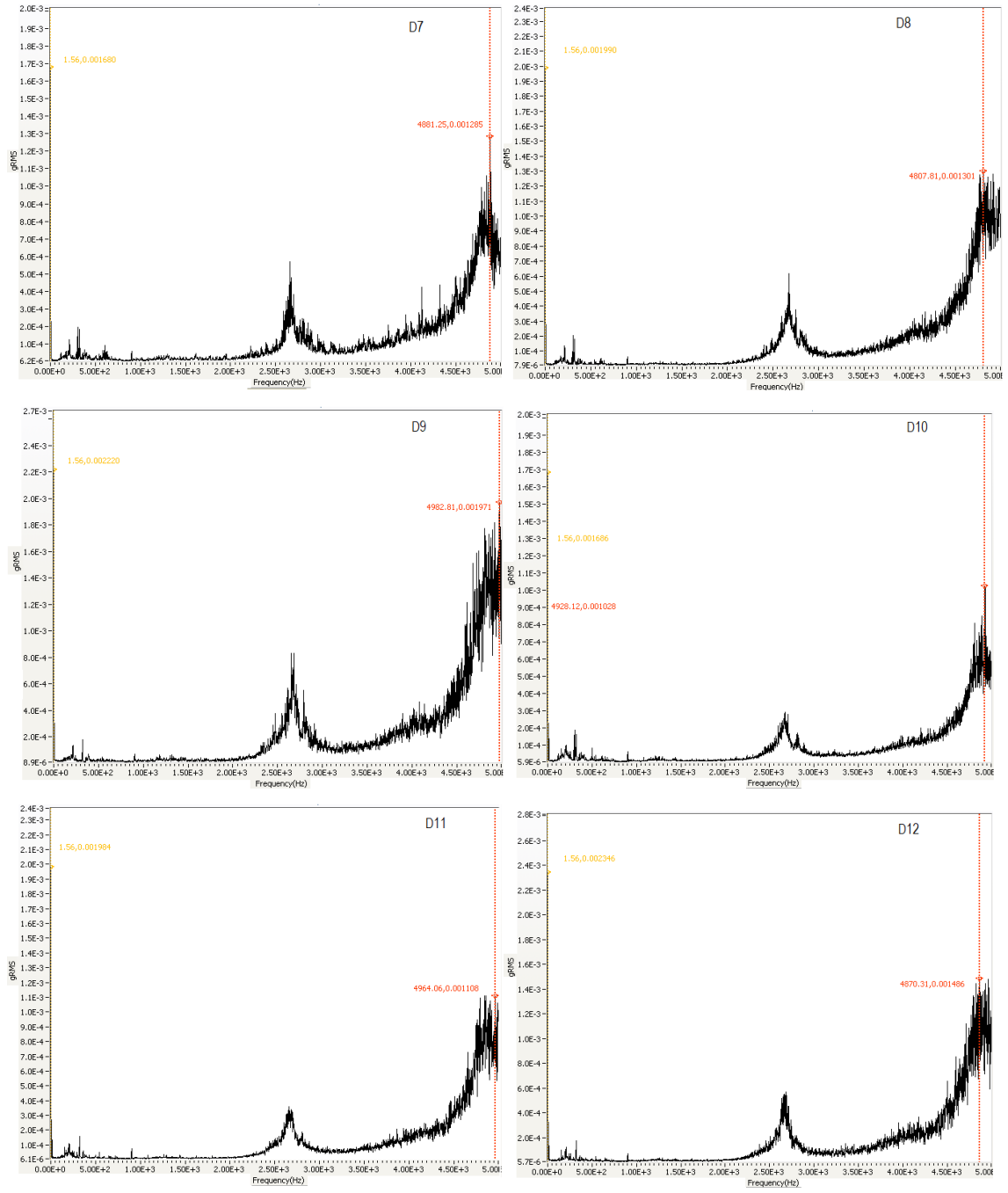


Şekil 8.6. 52 Hrc numuneninin x doğrultusunda (Ch1) oluşan titreşim grafiği (Devamı).

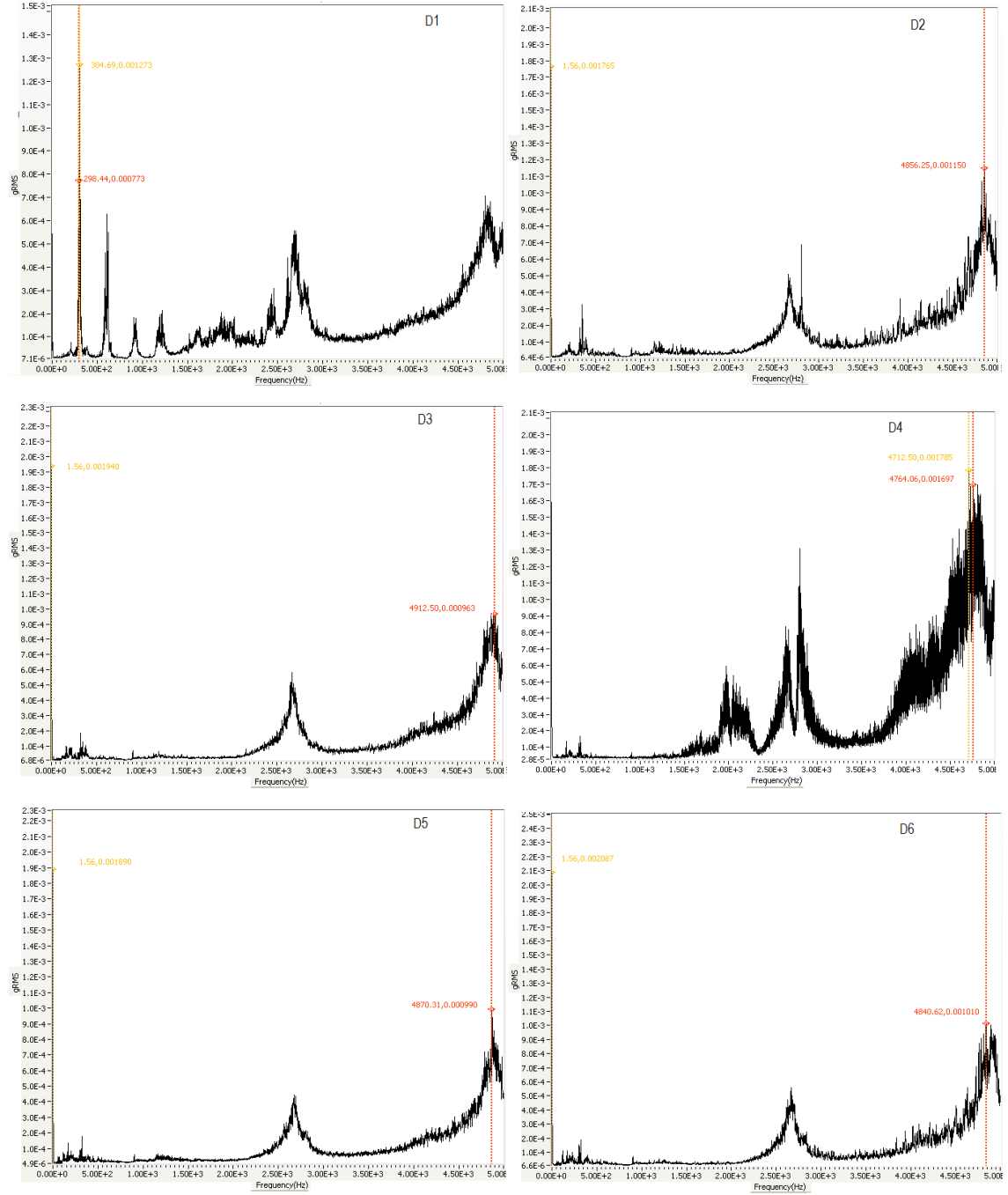
8.2. EK 2: Y DOĞRULTUSUNDA (CH2) OLUŞAN TİTREŞİM GRAFİĞİ



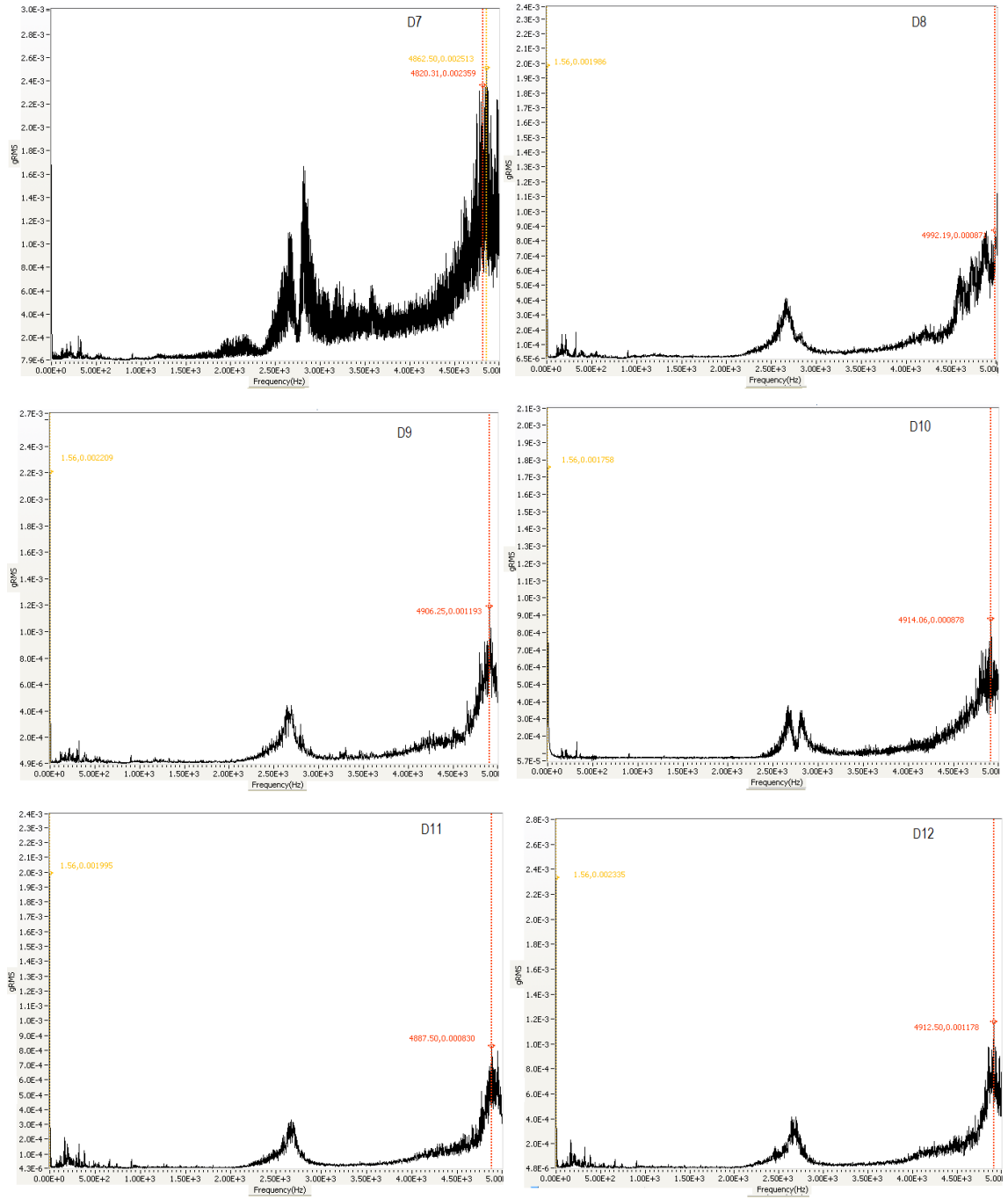
Şekil 8.7. 18 HRC numunenin y doğrultusunda (Ch2) oluşan titreşim grafiği.



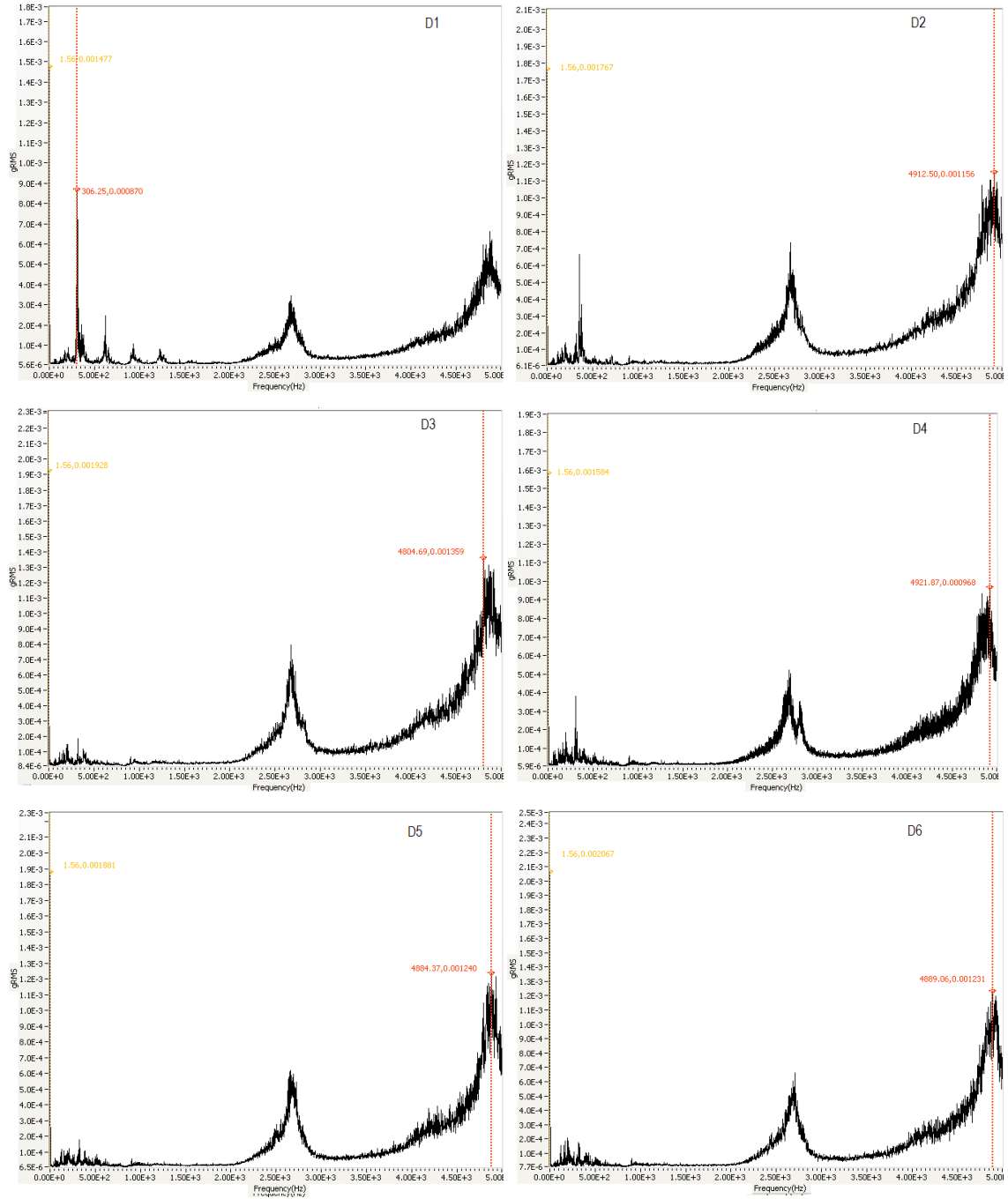
Şekil 8.8. 18 Hrc numunenin y doğrultusunda (Ch2) oluşan titreşim grafiği (Devamı).



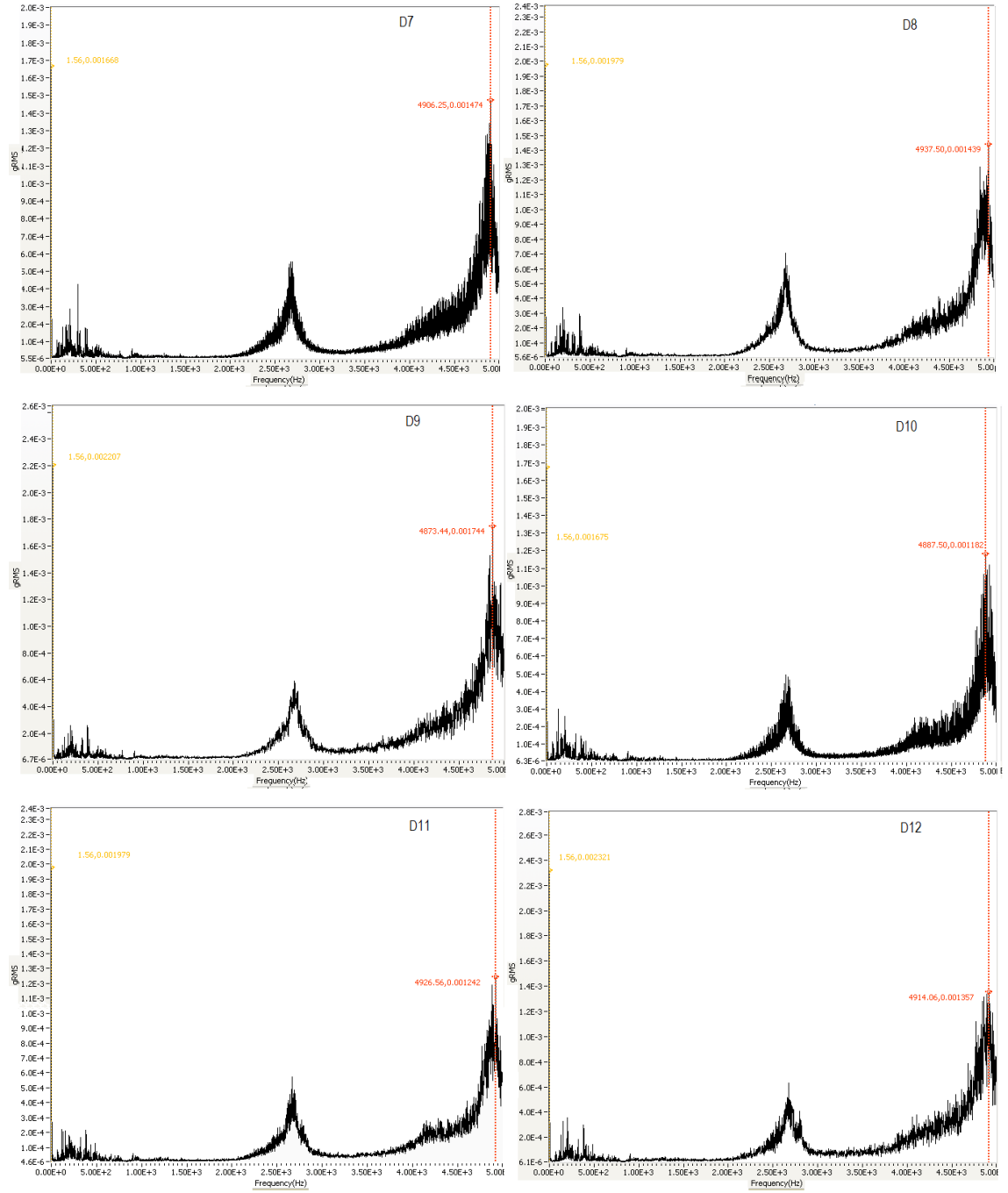
Şekil 8.9. 45 HRC numunenin y doğrultusunda (Ch2) oluşan titreşim grafiği.



Şekil 8.10. 45 HRC numunenin y doğrultusunda (Ch2) oluşan titreşim grafiği (Devamı).

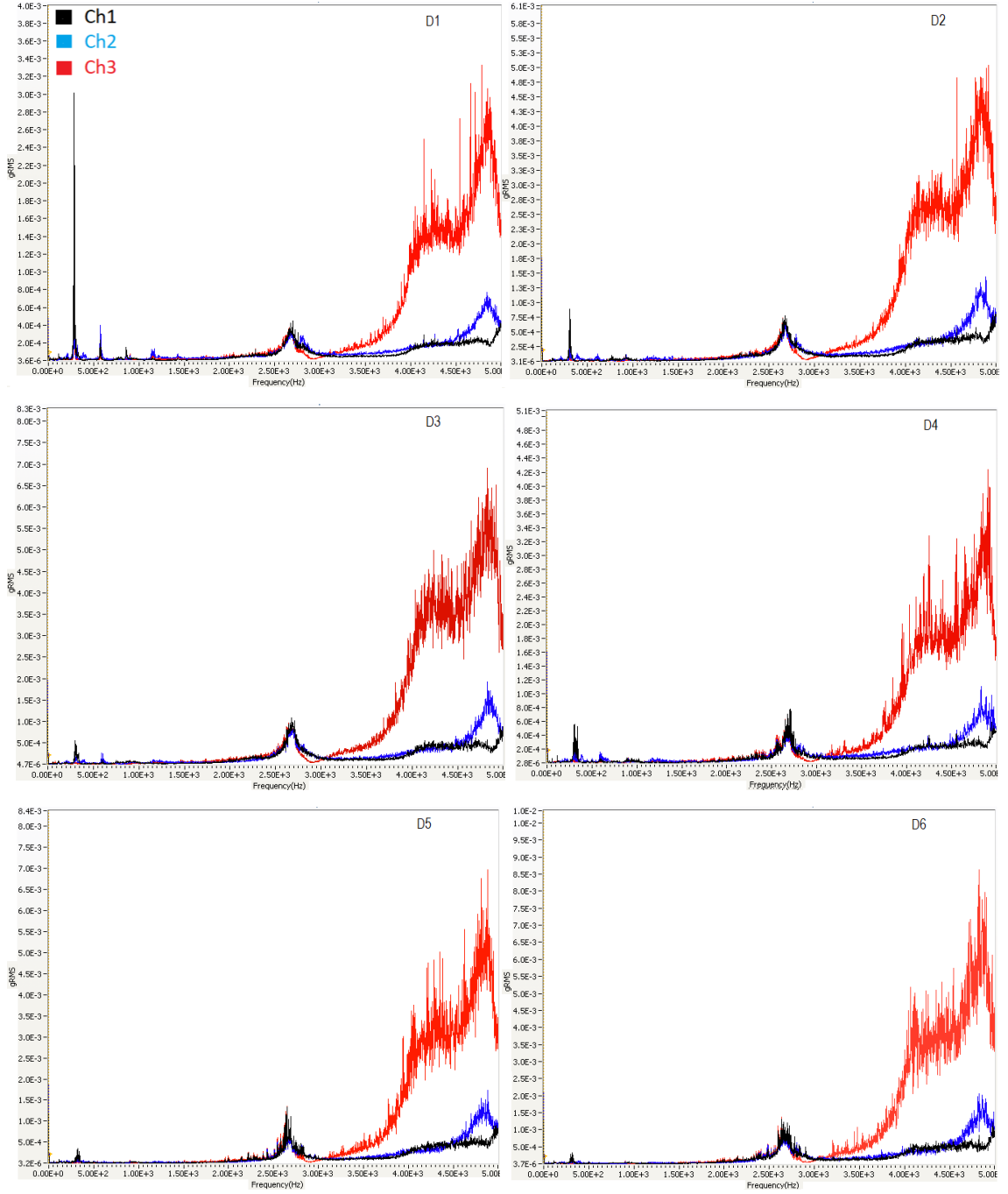


Şekil 8.11. 52 HRC numunenin y doğrultusunda (Ch2) oluşan titreşim grafiği.

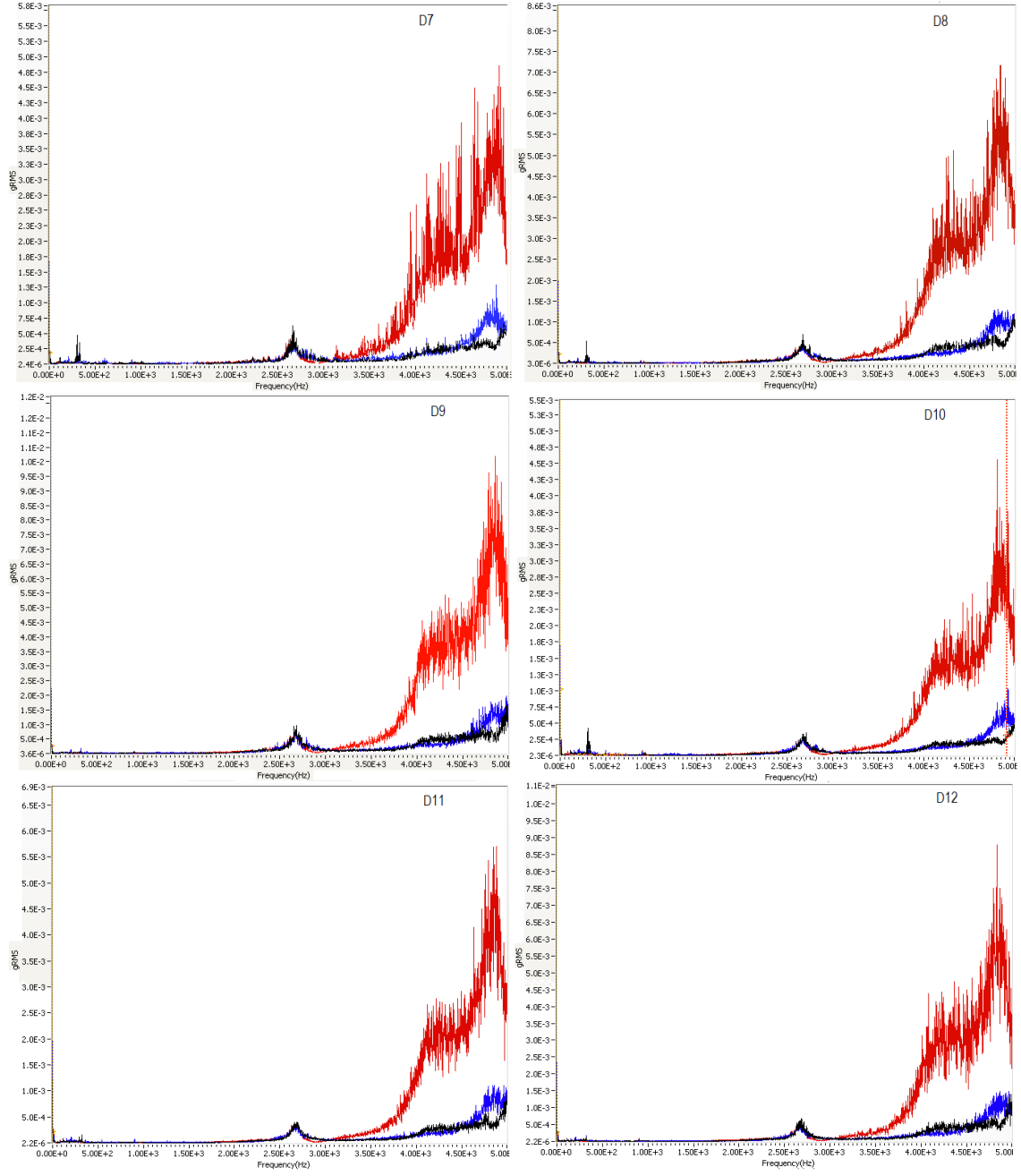


Şekil 8.12. 52 HRC numunenin y doğrultusunda (Ch2) oluşan titreşim grafiği (Devamı).

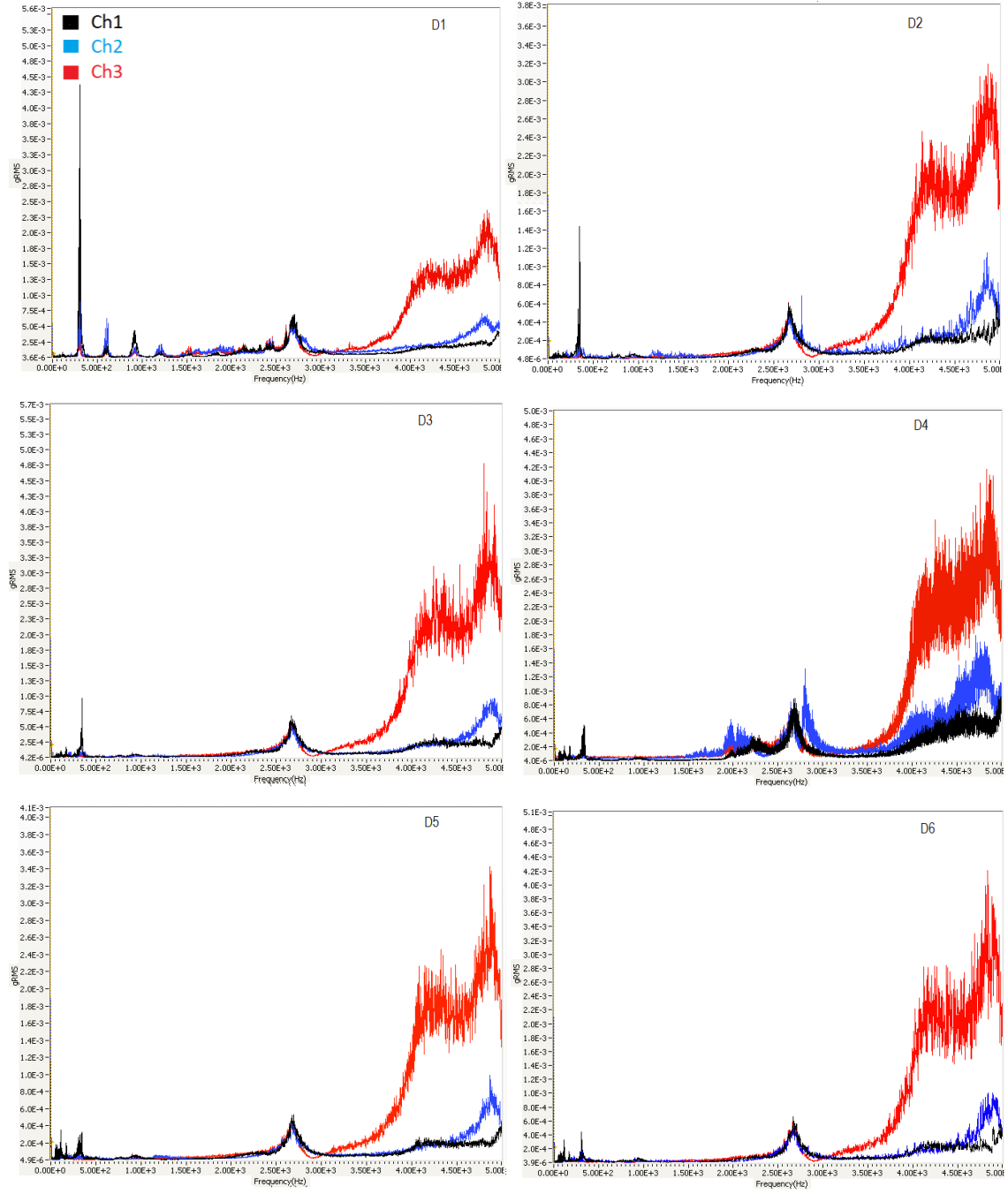
8.3. EK 3: X, Y VE Z DOĞRULTUSUNDA (CH1, CH2, CH3) OLUŞAN TİTREŞİM GRAFİĞİ



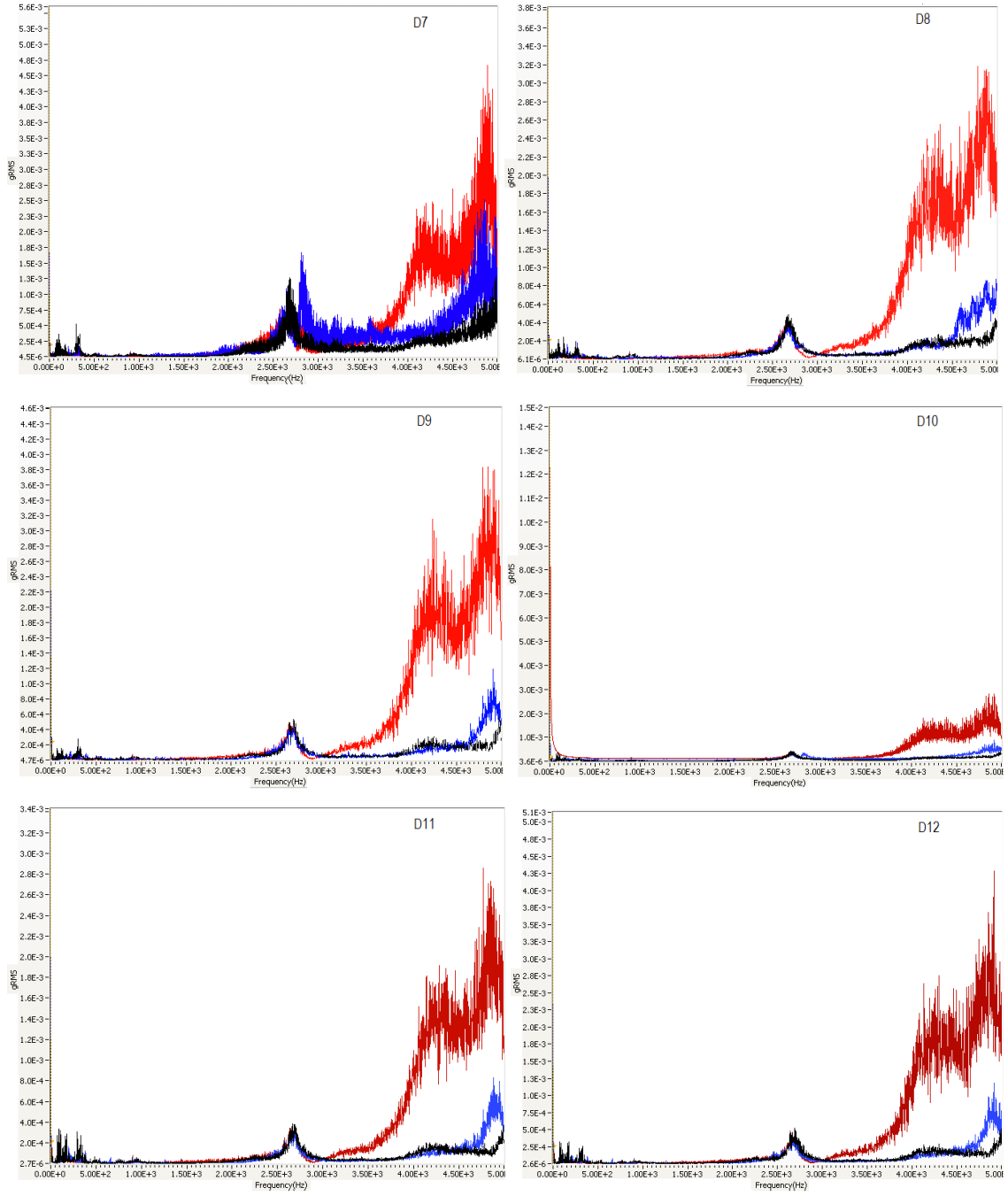
Şekil 8.13. 18 HRc numunenin x, y, z doğrultusunda (Ch1, Ch2, Ch3) oluşan titreşim grafiği.



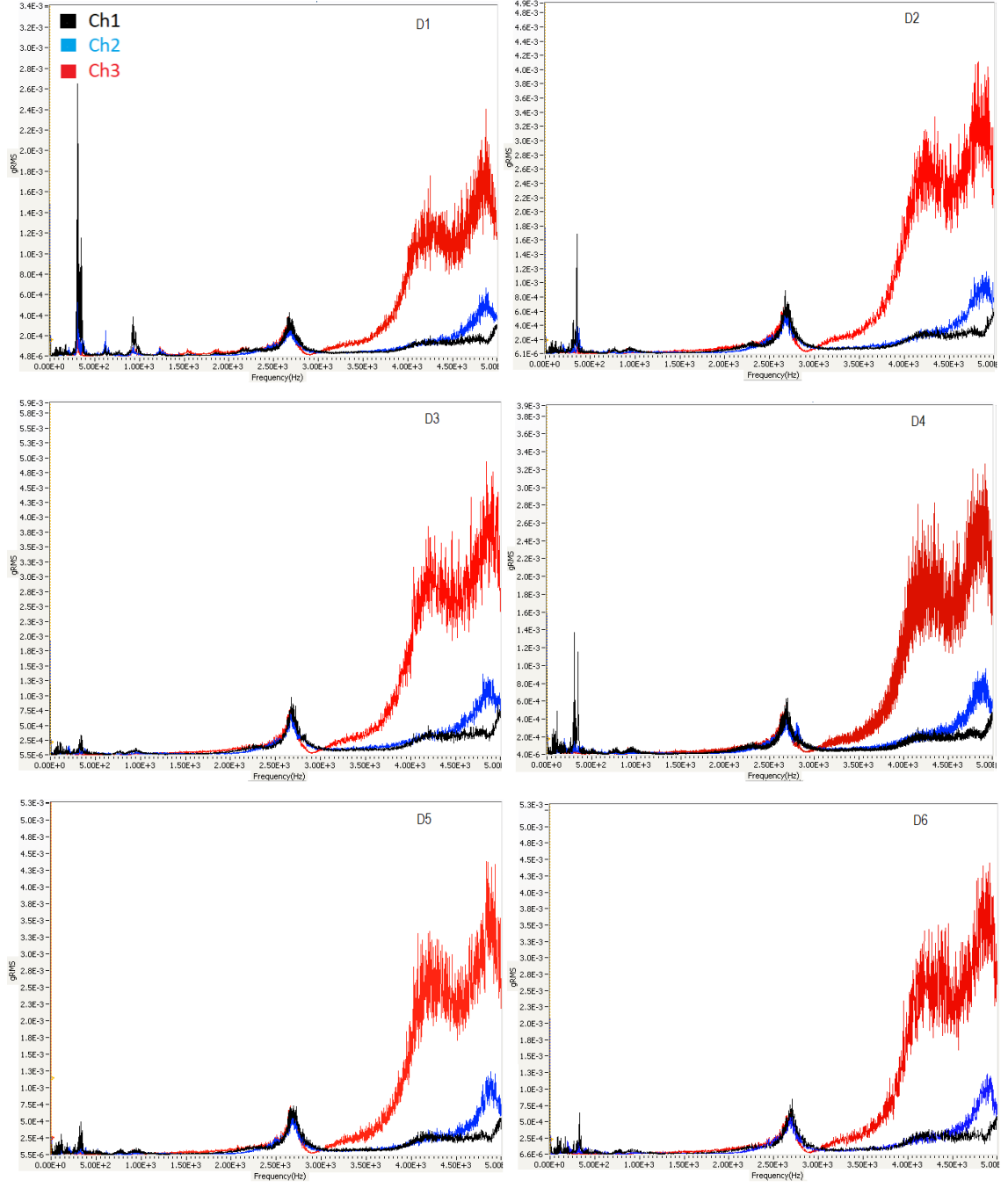
Şekil 8.14. 18 Hrc numunenin x, y, z doğrultusunda (Ch1, Ch2, Ch3) oluşan titreşim grafiği (Devamı).



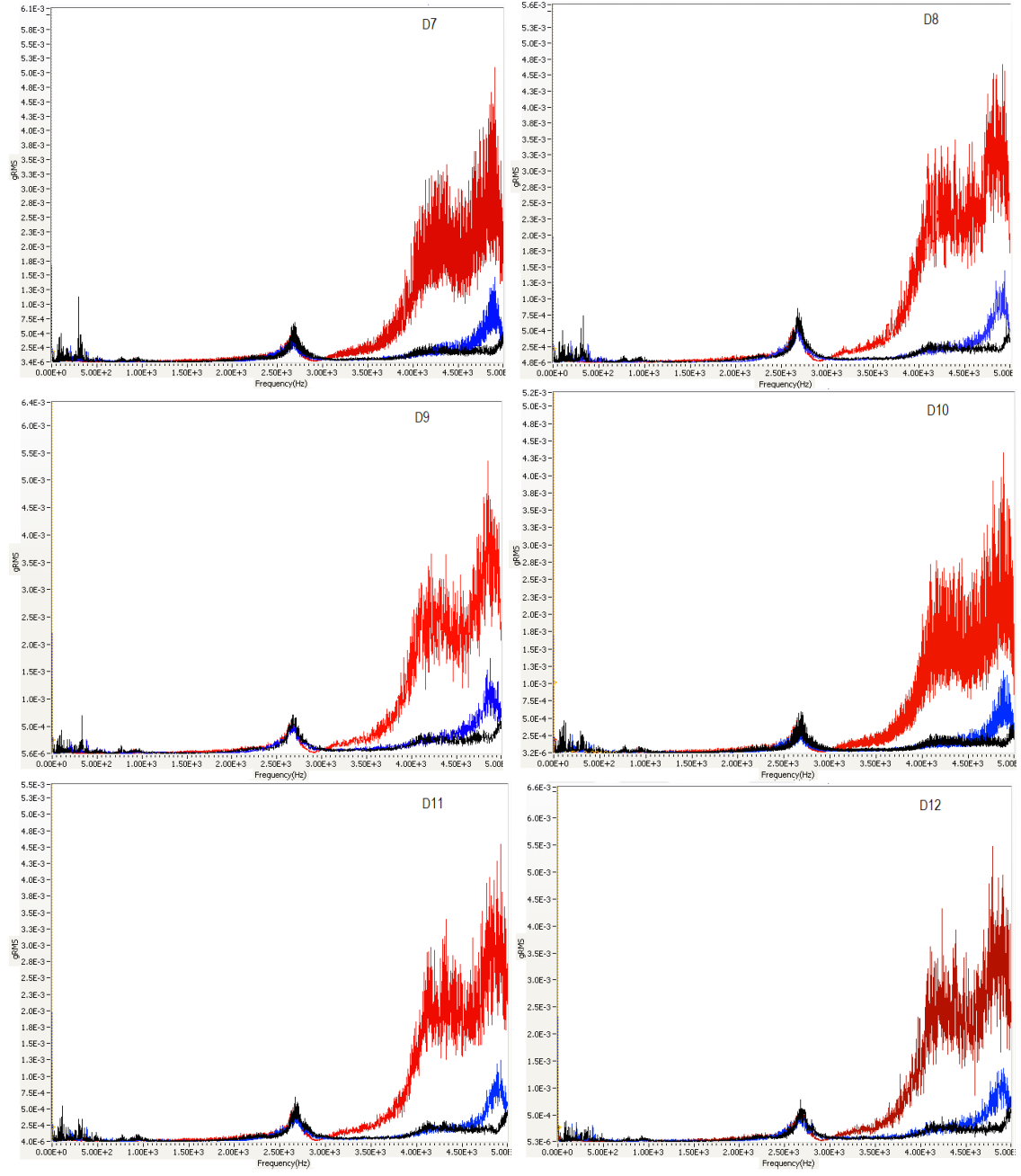
Şekil 8.15. 45 HRc numuneninin x, y, z doğrultusunda (Ch1, Ch2, Ch3) oluşan titreşim grafiği.



Şekil 8.16. 45 HRC numunenin x, y, z doğrultusunda (Ch1, Ch2, Ch3) oluşan titreşim grafiği (Devamı).



Şekil 8.17. 52 HRc numunenin x, y, z doğrultusunda (Ch1, Ch2, Ch3) oluşan titreşim grafiği.



Şekil 8.18. 52 HRc numuneninin x, y, z doğrultusunda (Ch1, Ch2, Ch3) oluşan titreşim grafiği (Devamı).

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Musa ŞEREMET
Doğum Tarihi ve Yeri : 1983 Ardeşen
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : musaseremet@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y.Lisans	Makine Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2019
Lisans	Makine Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2019
Lisans	Talaşlı Üretim Öğretmenliği	Dumlupınar Üniversitesi	2005
Lise	Torna/Tesviye	Ardeşen Çok Prog. Lisesi	2000