



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

**AISI 4140 ISLAH ÇELİĞİNİN TiAIN KAPLI FREZELERLE
İŞLENMESİ SIRASINDA OLUŞAN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE
TİTREŞİMİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

MEHMET YILDIZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. HAMİT SARUHAN**

DÜZCE, 2018

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AISI 4140 ISLAH ÇELİĞİNİN TİAIN KAPLI FREZELERLE
İŞLENMESİ SIRASINDA OLUŞAN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE
TİTREŞİMİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

Mehmet YILDIZ 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

Prof. Dr. Hamit SARUHAN

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Hamit SARUHAN

Düzce Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Fuat KARA

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Ergün EKİCİ

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 28/06/2018

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 Haziran 2018

Mehmet YILDIZ

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Prof. Dr. Hamit SARUHAN' a en içten dileklerle teşekkür ederim. Tez çalışması boyunca gerek akademik gerekse manevi açıdan yardım ve desteğini esirgemeyen Öğretim Görevlisi Dr. Menderes KAM' a teşekkür etmeyi borç bilirim. Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması, Düzce Üniversitesi BAP-2017.06.05.537 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir

28 Haziran 2018

Mehmet YILDIZ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ŞEKİL LİSTESİ.....	VII
ÇİZELGELER	X
KISALTMALAR.....	XI
SİMGELER	XII
ÖZET	XIII
ABSTRACT	XIV
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR.....	4
2.1. KESİCİ TAKIM KAPLAMA YÖNTEMLERİ VE AISI 4140 İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR	4
2.2. YÜZEY KAPLAMA	10
2.3. FİZİKSEL BUHAR YOĞUŞTURMA YÖNTEMİ İLE KAPLAMA	12
2.4. KİMYASAL BUHAR YOĞUŞTURMA YÖNTEMİ İLE KAPLAMA	13
2.5. PVD VE CVD TEKNİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI.....	13
2.6. KESİCİ TAKIM KAPLAMA TİPLERİ.....	14
2.6.1. Titanyum Karbür (TiC) Kaplama:	14
2.6.2. Titanyum Nitrür (TiN) Kaplama:	14
2.6.3. Kübik Bor Nitrür (CBN) Kaplama:	15
2.6.4. Titanyum Karbonitrür (TiCN) Kaplama:	15
2.6.5. Titanyum Alüminyum Nitrit (TiAlN) Kaplama:	16
3. METARYAL VE YÖNTEM.....	18
4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR.....	25
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	73
5.1. SONUÇLAR	73
5.2. ÖNERİLER	73
6. KAYNAKÇA	75



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.1. Deney numunesi.	18
Şekil 3.2. Deney numunelerinin teknik resmi.....	19
Şekil 3.3. Malzeme analiz cihazı.	20
Şekil 3.4. Sertlik ölçüm cihazı.	21
Şekil 3.5. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı.	21
Şekil 3.6. Deney düzeneğinin şematik gösterimi.....	23
Şekil 3.7. Deney düzeneği.	23
Şekil 3.8. Deney düzeneğinin iki kanallı gösterimi.	24
Şekil 4.1. 0.0 µ kaplamalı takımların Ch1 kanalı titreşim eğrileri.	28
Şekil 4.2. 2.0 µ kaplamalı takımların Ch1 kanalı titreşim eğrileri.	28
Şekil 4.3. 3.0 µ kaplamalı takımların Ch1 kanalı titreşim eğrileri.	28
Şekil 4.4. 5.0 µ kaplamalı takımların Ch1 kanalı titreşim eğrileri.	29
Şekil 4.5. 0.0 µ kaplamalı takımların Ch2 kanalı titreşim eğrileri.	29
Şekil 4.6. 2.0 µ kaplamalı takımların Ch2 kanalı titreşim eğrileri.	29
Şekil 4.7. 3.0 µ kaplamalı takımların Ch2 kanalı titreşim eğrileri.	30
Şekil 4.8. 5.0 µ kaplamalı takımların Ch2 kanalı titreşim eğrileri.	30
Şekil 4.9. Ø10 mm 0.0 µ kaplama 0.5 mm'deki Ch1-Ch2 titreşim grafikleri.	33
Şekil 4.10. Ø10 mm 0.0 µ kaplama 1.0 mm'deki Ch1-Ch2 titreşim grafikleri.	33
Şekil 4.11. Ø10 mm 0.0 µ kaplama 1.5 mm'deki Ch1-Ch2 titreşim grafikleri.	33
Şekil 4.12. Ø10 mm 0.0 µ kaplama 2.0 mm'deki Ch1-Ch2 titreşim grafikleri.	34
Şekil 4.13. Ø10 mm 0.0 µ kaplama 2.5 mm'deki Ch1-Ch2 titreşim grafikleri.	34
Şekil 4.14. Ø10 mm 0.0 µ kaplama 3.0 mm'deki Ch1-Ch2 titreşim grafikleri.	34
Şekil 4.15. Ø10 mm 0.0 µ kaplama 3.5 mm'deki Ch1-Ch2 titreşim grafikleri.	35
Şekil 4.16. Ø10 mm 0.0 µ kaplama 4.0 mm'deki Ch1-Ch2 titreşim grafikleri.	35
Şekil 4.17. Ø10 mm 0.0 µ kaplama 4.5 mm'deki Ch1-Ch2 titreşim grafikleri.	35
Şekil 4.18. Ø10 mm 0.0 µ kaplama 5.0 mm'deki Ch1-Ch2 titreşim grafikleri.	36
Şekil 4.19. Ø10 mm 2.0 µ kaplama 0.5 mm'deki Ch1-Ch2 titreşim grafikleri.	36
Şekil 4.20. Ø10 mm 2.0 µ kaplama 1.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.	36
Şekil 4.21. Ø10 mm 2.0 µ kaplama 1.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.	37
Şekil 4.22. Ø10 mm 2.0 µ kaplama 2.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.	37
Şekil 4.23. Ø10 mm 2.0 µ kaplama 2.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.	37
Şekil 4.24. Ø10 mm 2.0 µ kaplama 3.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.	38
Şekil 4.25. Ø10 mm 2.0 µ kaplama 3.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.	38
Şekil 4.26. Ø10 mm 2.0 µ kaplama 4.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.	38
Şekil 4.27. Ø10 mm 2.0 µ kaplama 4.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.	39
Şekil 4.28. Ø10 mm 2.0 µ kaplama 5.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.	39
Şekil 4.29. Ø10 mm 3.0 µ kaplama 0.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.	39
Şekil 4.30. Ø10 mm 3.0 µ kaplama 1.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.	40
Şekil 4.31. Ø10 mm 3.0 µ kaplama 1.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.	40
Şekil 4.32. Ø10 mm 3.0 µ kaplama 2.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.	40
Şekil 4.33. Ø10 mm 3.0 µ kaplama 2.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.	41
Şekil 4.34. Ø10 mm 3.0 µ kaplama 3.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.	41

ÇİZELGELER

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 3.1. AISI 4140 çeliğinin farklı standartlardaki karşılıkları.....	20
Çizelge 3.2. AISI 4140 çeliklerinin kimyasal bileşimi.	20
Çizelge 3.3. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri.	22
Çizelge 4.1. Yüzey pürüzlülük ölçüm sonuçları.....	25
Çizelge 4.2. Düşey doğrultuda (Ch1) maksimum titreşim değerleri (mm/sn ²).....	26
Çizelge 4.3. Yatay doğrultuda (Ch2) maksimum titreşim değerleri (mm/sn ²).	27



KISALTMALAR

Ae	Yanal talaş derinliği
AFNOR	Association Francaise de Normalisation (Fransa Standart Kurumu)
AISI	American Iron and Steel Institute (Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü)
Ap	Dikey talaş derinliği
CVD	Chemical Vapour Deposition (Kimyasal Buhar Biriktirme)
DIN	Deutsches Institute für Normung (Alman Standartlar Enstitüsü)
EN	European Norm (Avrupa Normu)
F	Dakikada milimetre cinsinden ilerleme (mm/dakika)
Fn	Diş başı talaş miktarı (1 ağızın 1 turdaki talaş miktarı)
Fz	Kesici takımındaki ağız sayısı
GPa	Giga Paskal
HV	Vickers Sertliği
HRC	Rockwell-C Sertliği
HRA	Rockwell-A Sertliği
JIS	Japanese Industrial Standards Committee (Japon Standartlar Kurumu)
N	Devir (devir/dakika)
PVD	Physical Vapor Deposition (Fiziksel Buhar Biriktirme)
RPM	Revolution per minute (Dakikadaki dönme sayısı)
SAE	Society of Automotive Engineers (Otomotiv Mühendisleri Derneği)
Vc	Kesme Hızı

SİMGELER

Al	Alüminyum
AlN	Alüminyum nitrür
Ar	Argon
Al ₂ O ₃	Alüminyum oksit
AlF ₃	Alüminyum florid
BN	Bor nitrür
C	Karbon
CBN	Kübik bor nitrür
Co	Kobalt
Cr	Krom
CrN	Krom nitrür
Fe	Demir
Mn	Mangan
Mo	Molibden
N	Azot
Na	Sodyum
NaCl	Sodyum klorür
Nb	Niobyum
P	Fosfor
S	Kükürt
Si	Silisyum
SiC	Silisyum karbür
Sr	Stronsiyum
Ta	Tantalyum
Ti	Titanyum
TiAlN	Titanyum alüminyum nitrür
TiC	Titanyum karbür
TiCN	Titanyum karbonitrür
TiN	Titanyum nitrür
TiO	Titanyum oksit
V	Volfram
W	Vanaldyum
μ	Mikron
°C	Sıcaklık (Santigrat derece)
%	Yüzde

ÖZET

AISI 4140 ISLAH ÇELİĞİNİN TiAlN KAPLI FREZELERLE İŞLENMESİ SIRASINDA OLUŞAN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ VE TİTREŞİMİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Mehmet YILDIZ

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Hamit SARUHAN

Haziran 2018, 77 sayfa

Frezede talaş kaldırma işlemi sırasında oluşan titreşimlerin kesici takım kaplama kalınlığına bağlı olarak ürün yüzey pürüzlülüğü üzerinde önemli bir etkisi vardır. Son yıllarda yüzey pürüzlülüğünü iyileştirmek için kaplanmış kesici takımların kullanım ihtiyacı artmıştır. Bu çalışmanın amacı titanyum alüminyum nitrit (TiAlN) ile kaplanmış kesici takımın işlem sırasında kaplama kalınlığına bağlı olarak titreşim davranışlarının AISI 4140 alaşımlı çelikten yapılmış iş parçasının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini deneysel olarak incelemektir. Çalışmada üç farklı çaptaki (10, 12 ve 16 mm) kesici takım ve her kesici takım için dört farklı kaplama kalınlığı 0.0, 2.0, 3.0 ve 5.0 μ (mikron) kullanılmıştır. Frezeleme sırasında iş parçasında iki yönde titreşim sinyalleri toplanmış ve elde edilen yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür. Sonuçlardan 3.0 μ kaplama kalınlığı olan 10 mm çapındaki kesici takımın diğer takımlara kıyasla daha iyi bir yüzey pürüzlülüğü elde ettiği görülmüştür. Yüzey pürüzlülüğün iyileştirilmesi, uygun kaplama kalınlığına sahip kesici takımın kullanılarak titreşimin azaltılması ile mümkün olduğu söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: AISI 4140, Frezeleme, Kaplamalı kesici takım, Titreşim analizi, Yüzey pürüzlülüğü.

ABSTRACT

EXPERIMENTAL VIBRATION ANALYSIS OF TITANNIUM ALUMINIUM NITRIDE (TiAlN) COATED MILLING ISET EFFECTS ON AISI 4140 STEEL SURFACE ROUGHNESS

Mehmet YILDIZ

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Mechanical

Engineering

Master Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Hamit SARUHAN

June 2018, 77 pages

The vibration response of material removal process in milling has a significant effect on surface roughness of the product with respect to cutting tool coating. Recent requirements for improving of surface roughness have heightened the need for milling with coated cutting tools. The main objective of this study is to experimentally investigate the role of vibration behavior of cutting tool coated with titanium aluminum nitride (TiAlN) on an AISI 4140 alloy steel work piece surface roughness. The vibration data from work piece were recorded for three milling cutting tools with tool diameters of 10, 12, and 16 mm and for each diameter different coating thicknesses of 0.0, 2.0, 3.0, and 5.0 μ (microns) were used respectively. Vibration signals of work piece during milling process in two directions were collected and a roughness tester was used to measure the surface roughness of work piece. The results showed that vibration due to cutting tool coating thickness has a significant effect on surface roughness of work piece. It has been observed that the maximum average surface roughness was obtained for 16 mm tool diameters with coating thickness of 5.0 μ while the minimum average surface roughness was obtained for 10 mm tool diameters with coating thickness of 3.0 μ . Surface roughness can be improved by reduction sources of vibration by using appropriate cutting tool coating thickness.

Keywords: AISI 4140, Coated cutting tool, Milling, Surface roughness, Vibration analysis.

1. GİRİŞ

Malzemenin en küçük yapı taşı olan atomlar birbirleri arasındaki çekim kuvvetleri sayesinde, malzemenin kırılmasına, malzemenin şekil değiştirmesine ve deforme olmasına karşı direnç göstermektedirler. Bir malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri, o malzemenin atomlarının cinsine, atomlar arası bağ şekline ve içyapısındaki atomların dizilişine yani kristal yapısına bağlı olduğu görülmüştür. Atomlar arası bağlar, dış kuvvetlere karşı direnç göstermektedir [1].

Günümüzde en çok kullanılan metal türü olan çeliğin tam olarak tanımlamak oldukça güçtür. Çünkü değişik amaçlara hizmet etmek için fazla miktarlara varan çeşitliliğin içerisinde ortak bir paydada buluşup kesin bir tanımlama yapmak zordur [2]. Çelik, demir elementinin genellikle %0,2 ile %2,1 oranında değişen karbon miktarının bileşiminden meydana gelen bir alaşımdır. Çelik alaşımındaki karbon miktarları çeliğin sınıflandırılmasında etkin rol oynamaktadır. Karbon genel olarak demirin alaşımlayıcı maddesi olsa da demir elementini alaşımlama da magnezyum, krom, vanadyum ve volfram gibi farklı elementlerde kullanılabilir. Karbon ve diğer elementler demir atomundaki kristal kafeslerin kayarak birbirini geçmesini engelleyerek sertleşme aracı rolü üstlenmektedir. Alaşımlayıcı elementlerin, çelik içerisindeki, değişen miktarları ve mevcut buldukları formlar (çözünen elementler, çökelti evresi) çelikte sertlik, süneklik ve gerilme noktası gibi özelliklerini kontrol etmektedir. Karbon miktarı yüksek olan çelikler daha sert ve güçlü olmasına rağmen daha az sünek olduğu bilinmektedir [3].

Düşük alaşımlı orta karbonlu çelikler son yıllarda özellikle otomotiv endüstrisi ve savunma sanayinde önemli ölçüde kullanım alanı bulmuştur. Düşük alaşımlı çelikler endüstride hadde mamulü ve döküm mamulü olarak çok geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Bunun nedeni de, bu çeliklerin yüksek mukavemete sahip olmalarının yanında iyi tokluk özellikleri de göstermeleridir[4]. Düşük alaşımlı çelikler, düşük maliyetli olmaları sebebiyle döküm yöntemiyle karmaşık şekilli parçaların üretilmesinde tercih edilmektedirler [5].

S.H. Avner çalışmalarında endüstride yaygın kullanım alanı olan 4140 çeliğinin en önemli özelliği, içerdiği Cr ve Mo alaşım elementleri nedeniyle, su verme sonrasında sert

martenzitik bir yapı oluşturabilmesi, mukavemet, süneklik ve tokluk gibi mekanik özelliklerin bir arada sağlanmasına imkân vermesidir. Kimyasal bileşimleri karbon miktarı bakımından sertleştirilmeye elverişli olan ve ıslah işlemi sonunda belirli yükler altında yüksek tokluk özelliği gösteren alaşımlı yapıya sahip olduğu görülmüştür [6].

AISI 4140 çeliklerinin başlıca kullanım alanları: Krank mili, aks mili ve kovanı, yivli mil, tabanca ve tüfek parçaları, namlu yapımında ve benzeri sünekliği yüksek parçalar, ayrıca dişli çark yapımında kullanılmaktadır [2], [3].

Günümüz teknolojisinde en çok kullanılan imalat yöntemlerinden olan talaşlı imalat, malzemenin yapısını oluşturan atomların veya atom toplulukları arasındaki bağı kopararak yapılan imalattır. Talaşlı imalat yöntemleri tornalama, frezeleme, taşlama, honlama, vargelleme, eğeleme ve bunun gibi birçok imalat yöntemlerini kapsamaktadır. Talaşlı imalatta malzeme üzerinden kesici, delici veya talaş kaldırıcı takımlar sayesinde talaş kaldırarak iş parçası istenilen boyutta ve şekilde üretilmektedir. Bütün talaş kaldırma işlemlerindeki temel amaç, iş parçalarında istenen geometride, istenilen tolerans aralığında bitirme yüzeyinin oluşturulmasıdır. Bu nedenle kesici ve talaş kaldırıcı takımlar iş parçasının özelliğine göre seçmek gerekmektedir [7].

Farklı talaşlı imalat yöntemleri kullanılarak işlenen yüzeyler doğrudan veya dolaylı olarak işleme parametrelerinden etkilendiği görülmüştür. İyi seçilmeyen işleme parametreleri kesici takımların hızlı aşınması, kırılması gibi kayıpların yanı sıra iş parçasının bozulması veya yüzey kalitesinin düşüklüğü gibi ekonomik kayıplara da neden olduğu bilinmektedir [8].

Kesici takımların kaplanmasıyla ilgili teknolojik gelişmeler 1970'lerde başlamış ve kaplanmış takımlar, talaşlı imalat endüstrisinde önemli bir gelişme olarak kabul edilmiştir. Kesici Takımlar ile ilgili yapılan çalışmalarla her geçen gün kesici takım malzemelerinde sağlanan gelişmelerin yanı sıra var olan takımların yüzeylerinin kaplanması da daha ekonomik ve daha verimli bir çözüm olarak görülmüştür [9]. Titanyum karbür (TiC), titanyum nitrür (TiN), Titanyum alüminyum nitrür (TiAlN), Titanyum karbonitrür (TiCN), Kübik bor nitrür (CBN), Krom nitrür (CrN) ve Alüminyum oksit (Al_2O_3) yaygın olarak kullanılan kaplama şekilleri olduğu bilinmektedir [8], [9].

Dökme demir ve çelik için kaplama yapılarak yüzey koruması sağlanmaktadır. Özellikle kesici takımlarda kaplamasız ve kaplamalı aynı çeliğin performansı üzerine pek çok araştırma yapılarak kesme hızında getirdiği artış ve uzun takım ömrü ortaya koyduğu

görülmüştür. Kaplamalı takımlar aynı kesme hızında, aynı malzemede kaplamasız kesici takım' a göre % 50 - % 100 artış sağlamakta ve takım ömrünü ise % 200 - % 400 arasında verim artışı sağladığı görülmüştür [3].

Talaşlı imalatta yoğun olarak kullanılan kaplamalı takımlardan TiAlN kaplanmış freze ve talaşlı imalat yoğun olarak tercih edilen AISI 4140 ıslah çelikleri arasındaki bağ talaşlı imalat sürecidir. Bu imalat sırasında maliyeti artıran ve kaliteyi düşüren bazı durumlar gözlenmektedir. Bunların başında sıfır takım kullanımı maliyeti artırırken, alternatif olarak kullanılan kaplanmış frezelerde istenilen yüzey kalitesini sağlayamadığından kaliteyi düşürmektedir. Fiziksel buhar biriktirme (PVD) metodu ile üretilen TiAlN kaplamalar, yüksek sertlik, aşınma direnci, korozyon direnci ve yüksek sıcaklık oksidasyon direnci gibi üstün özelliklerinden dolayı, özellikle kalıp ve kesici takım sanayinde en çok tercih edilen kaplamalar arasında yer aldığı görülmüştür.

Bu çalışmada; Talaşlı imalat endüstrisinde yaygın kullanım alanı olan kaplamalı kesici takımlardan TiAlN kaplanmış frezeler ve yine aynı şekilde talaşlı imalat endüstrisinde yaygın olarak kullanılan AISI 4140 ıslah çeliğinin işlenmesi sırasında kesici takımdan dolayı (devir, ilerleme, paso miktarı, kaplama kalınlığı) oluşan titreşimin malzeme yüzeyine ve aynı zamanda takım ömrüne etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

2. LİTERATÜR

Bu bölümde, literatürde kesici takım kaplama tiplerinden TiAlN kaplama ve AISI 4140 çeliği ile ilgili literatür çalışmalarının özeti ve değerlendirilmesi sunulmuştur.

2.1. KESİCİ TAKIM KAPLAMA YÖNTEMLERİ VE AISI 4140 İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Kesici takımların kaplanmasıyla ilgili teknolojik gelişmeler 1970'lerde başlamış ve kaplanmış takımlar, talaşlı imalat endüstrisinde önemli bir gelişme olarak kabul edilmektedir [8].

Karbonlu çelikler kesici takım malzemesi olarak kullanılan en eski malzemelerdir. Bünyesinde %0.6-1.4 arasında karbon miktarı bulunmaktadır. Kesme hızlarını iyileştirmek amacı ile düşük alaşımlı çeliklere az miktarda krom (Cr), vanadyum (V), tungsten (W), molibden (Mo), mangan (Mn) gibi alaşım elementleri ilave edilir. Çelikleri kolayca şekillendirmek için tavlama işlemi yapılabilir ve takip eden süreçlerde su verme ve temperleme işlemi ile yüzey sertliği kazandırılabilir. Bu süreçte takım kesitinin tamamı martenzite dönüşmez, yüksek şok direncinin yanı sıra iç kısımları da yüksek tokluk özelliği gösterir [10]. Karbon çeliklerinin sertliği martenzitik yapısından kaynaklanmaktadır (58-64Rc). 250°C üzerindeki sıcaklıklarda temperleme sonucu martenzit yapı yumuşar; bu nedenle, karbon çelikleri sadece ahşap gibi yumuşak malzemelerin talaşlı imalatı için uygundur ve sadece düşük üretim hızlarında kullanılabilirler. Karbon çeliklerinin kolay işlenmesi ve ucuz olması en önemli avantajıdır. Ayrıca 200-250 °C çalışma sıcaklıklarında sertliklerini korurlar. Bu bakımdan, yüksek karbonlu çelikler el delik açıcıları (reamer) bazı durumlarda metal işleme için kullanılırlar [11].

Düşük alaşımlı çeliklerin sertliği, su verme ve temperleme işleminden sonra yaklaşık 700 vickers (HV) olduğu bilinmektedir. Temperlenmiş çeliğin mukavemeti, ince demir karbür partiküllerinden kaynaklanmaktadır. 350 °C' nin üzerinde demir karbür partikülleri hızla kabalaşarak çelik yumuşar ve giderek aşınma direnci azalır. Bu nedenle düşük üretim hızlarında kullanılmaktadır. Düşük alaşımlı çeliklerin hızlı aşınmalarının nedeni sert

partiküllerin hacminin sadece %5 civarında olmasından kaynaklanmaktadır. Genellikle bu sert partiküller yumuşak karbürlerden olan Fe_3C esaslıdır. Bu dezavantajlarından dolayı metallerin talaşlı imalatında kullanım alanları sınırlıdır. Bununla birlikte ucuz olmalarından dolayı, karbon çeliklerinde olduğu gibi ağaç işleme takımlarında yaygın olarak kullanılmaktadır [12].

20. yüzyılın başından buyana yüksek hız çelikleri, bilinen ve sürekli iyileştirilen kesici takım malzemesi grubu olup, diğer takım malzemelerine oranla daha düşük maliyeti ve işlenebilme kabiliyeti nedeniyle yaygın olarak kullanım alanı sahiptirler [10]. Yüksek sıcaklıklarda yüksek sertliği ve yüksek şok dirençlerini korumalarından dolayı yüksek hız çelikleri kesici takım malzemesi olarak kullanılırlar [13].

Yüksek hız çelikleri yüksek miktarda Cr, V, W ve Mo gibi karbür yapıcı elementlerle alaşımlandırılmıştır. Bu çelikler içerdikleri ana refrakter elemente göre iki ana gruba ayrılırlar. Molibdenli yüksek hız çelikleri (AISI M grubu: %0.4 Cr, %0.8 C, %0-6 W, %1-2 V ve %5-8 Mo) ve tungstenli yüksek hız çelikleri ise (AISI T grubu: %4 Cr, %0.7 C, %1 V ve %18 W). Üretilen bütün yüksek hız çeliklerinin büyük bir bölümü (Amerika Birleşik Devletinde %95'ini) M grubu paslanmaz çelikler oluşturmaktadır. M grubu çeliklerin maliyeti, T grubu çeliklerin maliyetinden %40 daha düşüktür. Ayrıca M grubu yüksek hız çelikleri T grubu çeliklere göre yüksek abrasif dirence sahiptir ve ısıl işlem sırasında şekil bozukluğuna daha az uğrarlar [12], [13].

Yüksek hız çeliklerinin matris yapısı martenzittir. Metalik alaşım elementleri ile karbon, kuvvetli bağ yapılı karbürleri oluşturmaktadırlar. Molibden ve tungsten nihai mikro yapıda yüksek miktarda M_6C tipi karbürleri $[Fe_3(W, Mo)_3C]$ oluştururlar. M_6C tipi karbür ostenitleme esnasında (1190-1270 °C) çözünerek matrisin sertleşmesini sağlar. Çözünmemiş M_6C karbürleri (~1600 HV) ise aşınma direncinin artmasına olanak sağlamaktadırlar. Vanadyum, kuvvetli karbür oluşturucu olarak MC tipi (V_4C_3) karbür oluşturur. Çok sert (2600 HV) ve kimyasal kararlılığı yüksek olan bu karbür, ostenitlemede çok az çözünürler; çözünmeyen serbest karbür partikülleri ise abrasif aşınma direncini artırır. Burada krom ise hem karbür oluşturur, hem de katı eriyik sertleşmesi sağlamaktadır [10], [12]. Alaşım elementlerinin oluşturduğu karbürler, toplam hacmin %10-20'lik bir kısmını kaplar ve 550°C'e kadar yapılan ısıtma ve soğutmalarda sertliklerinde herhangi bir azalma olmaz (M_2C ve MC tipi karbür çökmesinin sebep olduğu ikincil sertleşmeden dolayı). %5-8 Co ilavesi yüksek hız çeliğinin temperleme esnasında sertleşmesini geciktirip kızıl sertliğini artırarak daha

yüksek sıcaklıklarda çalışmasına olanak sağlar, bu çeliklerde karbon içeriği daha yüksektir (M40-T15 kaliteleri). Co ihtiva eden çelikler daha gevrek oldukları için işlenebilirlikleri, bilenmesi ve ısıl işlemleri daha zor ve maliyetleri de daha yüksektir [11]. Her tür yüksek hız çeliği istenilen boyuta sıcak haddelenebilir veya dövülebilir. Tavlanmış halde iken geleneksel talaşlı imalat teknikleri ile kesici takımlar kolaylıkla üretilebilir. Son bileme işleminden önce, takımlara ısıl işlem uygulanır. Ostenitleme (1190-1270°C) ve genelde üç kere menevişleme (~550°C) ile makul ölçüde tokluk özelliği ile birlikte yüksek mukavemet ve yüksek sertlik (³750 HV) kazanmaları sağlanır. Yüksek hız çelikleri, 650°C'e kadar olan işlem sıcaklıklarında kullanılabilmekte ve takımlara tekrar tekrar bileme işlemi uygulanabilir. Talaşlı işlemden eğilimin yüksek hızlara yönelmesi nedeniyle yüksek hız çeliklerinin kullanım alanları giderek yaygınlıklarını yitirmektedirler. Bu takımlar metal kesme endüstrisinde (özellikle tokluk beklenen alanlarda) özellikle broşlar, matkaplar, raybalar ve diğer tüm şekil verme takımları olarak önemli kullanım alanlarına sahiptirler [14].

Ergitme ve döküm tekniklerindeki gelişmeler takım kalitesini iyileştirmektedir ince karbürlerin daha üniform bir dağılımını sağlamak için, bazı kaliteler ön alaşımlanmış atomize tozların konsolidasyonu ile yapılmaktadır. Yöntemin pahalı oluşu, mikro yapısal avantajların kullanılmasını büyük ölçüde engellemektedir (piyasa payı %5). Takım yüzeylerine, refrakter metal karbür ve nitrür ince kaplamalar yapılarak yüksek sertlik ve aşınma dayanımı elde edilmektedir. Böylece yüksek hız çeliğinden üretilmiş takımların performansında birkaç kat artış sağlanmıştır [10]. Düşük sıcaklıklarda (300-550°C) PVD yöntemi ile takım malzemesinin olumsuz yönde etkilenmesi engellenir. Bu arda temperleme (mavileştirme) uygulanması ile takımın ömrünü artıran diğer bir avantajdır. Kesici takımlara TiN, TiAlN, TiC ve Al₂O₃ kaplama yapılarak takım ömründe önemli bir artış sağlanmaktadır. Yaygın olarak TiN, ve TiAlN kaplamalar uygulanmaktadır [11].

Dökme Karbürler: Karbür miktarı yüksek oranlara ulaştığı zaman, takım malzemesine daha fazla sıcak dövme işlemi uygulanmaz: Bu nedenle, döküm yöntemi ile şekillendirilirler. Kesici takımlar için dökme Co-Cr-W alaşımları tescilli malzemedir. İstenilen özelliklere bağlı olarak, alaşımların genel bileşimi; %38-46 Co, %25- 35 Cr, %4-25 W ve %1-3 C şeklindedir. Stellite olarak adlandırılan Co-Cr-W alaşımının sertliği, karbon ve tungsten oranına bağlı olarak 40-60 Rc arasında değişmektedir. Isıl işlem uygulanmasına gerek duyulmamaktadır. Mikroskobik olarak alaşım, tungsten esaslı bileşikler ve toplam miktarı %45'e varan karbürlerden oluşmaktadır [6].

Bu alaşımın özelliği; yüksek aşınma, oksidasyon, yüksek sertlik, korozyon direnci ve mükemmel kızıl sertliğidir. Bu özelliklerin kombinasyonu bu alaşımı kesme uygulamaları için uygun olduğunu göstermektedir [14]. Dökme alaşımlar, kesici uçta hasar olmaksızın yüksek hız çeliklerinden daha yüksek sıcaklıklarda çalışabilmektedir. Yumuşama yavaş bir şekilde olduğu için, daha yüksek kesme hızlarında çalışmak mümkündür; fakat bu sırada süneklik azalır. Stellite kesici takım olarak uygulanabilirliği yüksek hız çeliklerine göre daha sınırlıdır [15]. Zira döküm alaşımları daha gevrek ve bu gevrek durum takım dizaynını sınırlandırmaktadır. Ayrıca takım maliyeti de daha yüksektir. Stellite metal kesme takımları yaygın olarak çelik, dökme demir, dökme çelik, paslanmaz çelik, pirinç ve bazı diğer işlenebilir malzemelerin talaşlı imalatında kullanılırlar. Genellikle tek noktalı torna tezgâhların da, şekillendirici takımlarda ve freze takımlarında kullanılmaktadırlar [6].

Karbür Esaslı Takımlar; bu malzemeler çok yüksek sertlik ve yüksek basma mukavemetli bir kitle oluşturacak şekilde bir metal veya demir alaşım grubu ile çok ince taneli refrakter metal karbür partiküllerinden oluşurlar [13]. Sement karbürler ise toz metalurjisi teknikleri ile üretilmektedir. Proses esasen titanyum, tungsten veya tantalum karbür tozlarının hazırlanmasını kapsar. Bu tozlardan biri veya birkaçı bağlayıcı ile karıştırılır. Bağlayıcı metal olarak genellikle kobalt, nadiren de nikel ve demir kullanılmaktadır. Bu karışım istenilen şekilde kompakt kitle halinde soğuk preslenir ve akabinde sinterlenir (1370-1480°C) veya sıcak presleme ile şekillendirilir [6]. Kobalt yüksek sıcaklıklarda karbürlerle ötektik oluşturur ve çok iyi ıslatma özelliği göstermektedir. Tungsten karbür, düşük sıcaklıkta katı kobalt da yalnızca %1 oranında çözünürken, nikelde %25 ve demirde %5 oranında çözünmektedir. Nikel ve demirde, tungsten karbürün yüksek katı çözünürlüğü, gevrekliği arttırıcı bir etki yapar. Kobalt miktarının artışıyla tokluğun artmasına karşılık sertlik, basma mukavemeti, elastisite modülü ve abrasif direnç azalmaktadır [13].

Bu tür kesici takımlarda abrasif eleman olarak tungsten karbür (WC) ile beraber titanyum karbür (TiC), tantalum karbür (TaC) ve niobyum karbür (NbC) de mikro yapıda yer alabilir. Bu tür ilave karbürlerin, difüzyona direnç gösteren bir ara tabaka meydana getirmelerinden dolayı kesici takımlarda karşılaşılan önemli hasar türlerinden biri olan kraterleşme engellemektedir [12]. Bazı özel sert metallerde sert faz olarak krom karbür, molibden karbür ve bağlayıcı metal olarak nikel bulunabilir. Sade tungsten karbürü kaliteler dökme demir, ostenitik çelik, demir dışı ve metal dışı malzemelerin işlenmesinde

kullanılırken tungsten karbür yanında titanyum ve tantalyum karbür de ihtiva eden kaliteler ise ferritik çeliklerin işlenmesinde kullanılmaktadırlar. Semente karbürlerin yüksek sıcaklık mukavemeti, karışık karbür miktarının artışı ile artmasına karşılık, kobalt miktarının artışı ile azalır (tokluk için bu ilişki terstir). Sinterlenmiş karbürlerin çok iyi takım performansı, çok yüksek kızıl sertlikle birlikte yüksek sertlik ve yüksek basma mukavemetinden ileri gelmektedir [16].

Sermetler, metalik bir fazla bağlanmış seramikler olup esasen semente karbürler sermetlerin bir alt sınıfını oluşturmaktadır. Çelik kesimi için, nikel ve molibdenle bağlanmış TiC ve TiN tercih edilmektedir [11]. Tipik bileşimini %8-25 Ni, %15-8 Mo₂C ve %60-80 TiC oluşturmaktadır. Ayrıca küçük miktarlarda Co, TiN, WC ve TiAlN içerebilirler. Sermetlerin mikro yapısı geleneksel semente karbürlerden farklıdır. Çünkü sinterleme sıcaklığında karbürün, bağlayıcı nikel içindeki çözünürlüğü kobaltınkinden daha fazladır. Bu nedenle sermetler, semente karbürlerden daha gevrek karakterdedir. Bu malzemeler yüksek krater ve oksidasyon direnci, düşük sürtünme katsayısı ve termal iletkenlik ile nispeten düşük yoğunluğa sahiptir. Bununla birlikte sertlik derinliği yüksek, abrasif direnci kobaltla bağlanmış tungsten karbüre göre daha düşüktür [13]. Karışık TiC-TiN kaliteleri daha iyi termal iletkenlik ve daha yüksek hızları ile karakterize edilmektedir [11].

Kesici takım olarak sermetler %20'den daha az bağlayıcı içermektedirler. Bu malzemeler çelik ve dökme demirler için özellikle orta ve hafif yükler altında yüksek ilerleme hızlarında yüzey operasyonlarında kullanılmaktadır [15]. Buna karşın, kaba ve darbeli işlemlerde, boşluklu ve pürüzlü yüzeylerde, sert dökümlerde, grafit ve sıcak iş takım çeliklerinde, demir dışı malzemelerde (Al, Cu vb.) ve yüksek oranda nikel içeren malzemelerde kullanılması halinde iyi sonuçlar verdiği görülmüştür [15], [16].

Seramik esaslı takımlar, Metal işleme teknolojisinin gelişmesi ile işleme hızlarının artması daha uzun ömürlü (yüksek ilerleme hızlarına çıkabilen) ve iş parçası ile etkileşmesi minimize edilmiş takım malzemesi araştırmalarını hızlandırmıştır. Seramik malzemeler, tokluk dezavantajlarına karşılık yüksek sıcaklıklardaki mekanik ve kimyasal kararlılıkları ile özellikle sürekli çalışan takımlar olarak kullanım alanı bulmaktadırlar. Bu maksatla kullanılan seramik malzemeler alümina, sialon ve kübik bor nitrürdür [15].

Alüminyum oksit esaslı seramikler, tane boyutu ortalaması birkaç mikron mertebesinde polikristalin, yoğun ve korundum kristal yapıları alümina (α -Al₂O₃) esaslı malzemelerdir.

Seramik takım uçları sıcak veya soğuk presleme ile üretilmektedir. Soğuk presleme ile seramik istenilen geometride şekillendirilir ve 1600-1700°C'de sinterlenir. Sıcak preslemede, presleme ve sinterleme aynı anda yapılır. Bazı tür seramiklere, sinterlemeye yardımcı olmak ve tane büyümesini geciktirmek için, az miktarda titanyum oksit ve magnezyum oksit ilave edilir. Şekillendirildikten sonra takım, elmaslı disklerle perslenir [10]. Geleneksel kesici takım malzemesi olan alümina (Al_2O_3) 3 grupta toplanabilir:

- A-1. Grup : %10 kadar oksit ve karbür (özellikle titanyum, magnezyum, molibden, krom, nikel, kobalt) içeren alümina. Bu karışım soğuk pres + sinterleme ile üretilir.
- A-2. Grup: Saf alümina, sıcak presleme ile üretilir.
- A-3. Grup: %25-30 refrakter karbür (TiC, SiC, TiN vb.) içeren alümina, sıcak presleme ile üretilir [16].

Alüminaya %10 ZrO₂ ilavesi ile kırılma tokluğunu büyük ölçüde (~%25) iyileştirmekte, dökme demir ve nikel esaslı alaşımların işleme kapasitesini artırmaktadır [13]. Titanyum karbür (TiC) ilavesi Al_2O_3 'ün ısı iletkenliğini, dolayısıyla ısı şok direncini artırmakta ancak sıcak presleme ile üretilebildiği için geometri sınırlandırılması dezavantajını doğurmaktadır. Al_2O_3 takımların SiC wiskerlerle takviye edilmesi kırılma tokluğu, mukavemet ve ısı şok direncini artırmaktadır. Yaklaşık 1 mm çapında ve 20 mm boyutunda olan bu wiskerler, yapının sertliğini ve aşınma direncini artırır. Sıcak presleme yöntemi ile üretilen bu tür kesici takımlar, üstün mekanik özellikleri nedeniyle sertleştirilmiş çelik, nikel esaslı alaşımlar ve dökme demirin aralı talaş kaldırma işlemlerinde kullanılabilir [10], [13].

Titanyum Alüminyum Nitrit (TiAlN), kaplamalar üzerinde yapılan çalışmalara bakacak olursak; Geçiş metal nitrürlerinin bağ yapısı, kovalent, metalik ve iyonik bağların karışımından meydana gelir ve bu da yüksek sertlik, aşınma direnci, kimyasal kararlılık ve süper iletkenlik gibi özelliklerin elde edilebilmesini sağlar. Bu özellikler metal nitrür ince filmlerin hızlı gelişimine sebep olmuş ve farklı uygulamalarda, aşınma ve korozyon direnci açısından iyi sonuçlar elde edilmiştir [17], [18]. Özellikle PVD yoluyla üretilen Ti esaslı sert seramik ince filmler, yüksek ergime noktası, yüksek sertlik ve yüksek aşınma direnci gibi özelliklerinden dolayı birçok alanda kullanılmakta olup, en çok bilinen türü ise TiN'dür [18], [19], [20]. TiN, B1-NaCl yapısında kristalleşir ve %37.5-50 arasında azot içerir. TiN'e alüminyumun ilavesi ile de oksidasyon ve termal kararlılık özellikleri gelişmiş TiAlN kaplamalar elde edilir [21]. TiAlN kaplamaların en önemli

özellikleri; yüksek sertlik (~28-32 GPa), düşük artık gerilme (~5 GPa), yüksek oksidasyon direnci, yüksek sıcak sertlik ve düşük termal iletkenlik olarak özetlenebilir. Bu özellikler TiAlN'i kuru talaşlı işleme, yüksek hızlı işleme, sıcak ekstrüzyon ve basınçlı döküm uygulamaları için iyi bir tercih haline getirmektedir [22], [23]. Ayrıca, soğuk çekme (colddrawing) uygulamalarında da başarılı sonuçlar alınmıştır [24]. TiAlN kaplamaların önemli bir avantajı da ısıtıldıkları zaman yoğun, yüksek yapışma mukavemetine sahip ve koruyucu Al₂O₃ filminin yüzeyde oluşmasıdır. Bu tabaka, oksijenin kaplama malzemesine difüzyonunu engeller ve oksidasyona karşı koruma sağlar [25]. TiAlN kaplamaların, 750-800 °C sıcaklıklara kadar oksidasyon dirençleri olduğu, korozyon dirençlerinin ise TiN ve CrN' den daha yüksek olduğu da bilinmektedir (TiN ve CrN kaplamalar 550 °C'den yüksek sıcaklıklarda kullanılmaya uygun değildirler. TiAlN kaplamaların diğer bir avantajı da yaşlanma sertleşmesinden dolayı yüksek sıcaklıklarda sertliklerinde ve aşınma dirençlerinde meydana gelen artıştır [18], [24]. TiAlN kaplamaların sahip olduğu düşük termal iletkenlik, talaşlı imalatta ısının çoğunun talaş yoluyla atılmasını sağlar. Dolayısıyla taban malzemesi termal olarak yüklenmez ve daha yüksek kesme hızları seçilebilir [25], [26].

Bununla birlikte TiAlN kaplama, kırılma direnci ve yüksek sürtünme katsayısından dolayı, düşük kayma hızları ve aralıklı kesme uygulamalarında TiN' den daha düşük performans gösterir [23], [26].

Yapılan araştırmalarla, TiN ve AlN' den oluşan çok tabakalı kaplamalarla, TiAlN tek tabaka kaplamalardan daha üstün özelliklerin elde edildiği de tespit edilmiştir [26]. TiAlN ve TiN/AlN kaplamalarda, TiN ve AlN tabakaların yukarıda sayılan avantajları bir araya getirilmiş olur. TiAlN kaplama özelliklerinin, çok tabaka kaplama uygulamalarıyla geliştirilmeye çalışıldığı çeşitli çalışmalar da vardır [27].

TiAlCN/TiAlN/TiAl kaplamaların ise AISI 4140 çeliğinin kazımalı aşınma direncini geliştirdiği tespit edilmiştir [28]. Çeşitli elementlerin ilavesi ile TiAlN kaplamaların özellikleri iyileştirilebilir. Silisyum (Si) ilavesinin TiAlN kaplamaların sertliğini arttırdığı bilinmektedir [28], [29].

2.2. YÜZEY KAPLAMA

Yüzey bir cismin kendi dışındaki ortam ile sürekli temas halinde olan kısmı, çevreyle olan sınırları olarak bilinmektedir. Bir başka tabirle yüzey, maddeyi çevreleyen ve

onun geometrisini oluşturan yine maddenin kendisinden oluşan bir katmandır. Maddenin çevreyle olan tüm kimyasal ve fiziksel etkileşimi yüzey üzerinden gerçekleşmektedir. Bu etkileşimlerin bazıları malzemenin tümüne mâl olan özellikleri büyük ölçüde yüzey tarafından belirlenmektedir [30]. Malzemelerin yüzeyi tarafından belirlenen bazı özellikler aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Korozyon davranışları
- Sürtünme ve aşınma özellikleri
- Dış görünüm ve renkleri
- Yüzeye bağlı mekanik özellikler
- Yapışma özellikleri
- Komşu maddeye difüzyon özellikleri
- Isıl elektron emisyon özellikleri bazı durumlarda ise yüzeyden beklenen özellikler malzemenin kütesinden beklenen özelliklerle aynı doğrultuda olmaya bilir [31].

Örneğin yüksek aşınma dayanımı istenen malzemeler sert olmak zorundadırlar ancak sert malzemelerin de kırılabilirlikleri o derece yüksektir. Dişlilerde bu sorun ön plana çıkmaktadır. Aşınma sorunu, yüzeyle ilgili bir sorun olduğundan malzemenin sadece yüzeyine sertlik özelliğinin kazandırılması yani sadece yüzeyinin aşınma direncinin artırılması malzemenin tamamına bu özelliği kazandırmaktadır. Bunun ile birlikte iç kısmın yumuşak kalması sağlanılarak kırılma tokluğunun yüksek tutulur. Bazı durumlarda ise yüksek nitelikli malzemeyi kütleli olarak üretmek teknolojik veya ekonomik olarak mümkün olmayabilir, aynı malzemeyi kaplama yöntemi, yapıştırma yöntemi gibi yöntemler kullanılarak imal edilebilir [31], [32].

Bu duruma örnek verecek olursak kütle olarak sadece toz metalürjisi yöntemi ile küçük parçalar halinde üretilen sert karbürlerin geniş yüzeyli metallerin üzerine kaplanması gösterilebilir. Yukarıda bahsedilen durumların tümünde yüzeyde yapılan iyileştirmeler malzemenin tüm kesitinin sadece küçük bir oranını tutmaktadır oysa elde edilen iyileştirmeler malzeme ömrünü 10-100 kat artırdığı görülmüştür. Verilen tüm örneklerle bakıldığında yüzey kaplama teknolojisinin ne denli ekonomik ve teknolojik olduğunu göstermektedir [31].

Yüzeylerin kaplanmasıyla ilgili farklı yöntemler mevcuttur; bunların başında kimyasal ve elektrokimyasal yöntemlerle malzemelerin kaplanması gelmektedir. Günümüze kadar bu yöntemlerle malzemelerin kaplanması korozyondan korunma ve dekoratif görüntü kazandırma amaçlarıyla yapılmaktadır. Aşınmaya dayanıklı kaplama oluşturmak için sert

malzemelerin yüzeye biriktirilmesi gerekmektedir. Bunları elektrokimyasal yollarla üretmek mümkün değildir. Sert malzemelerin, başka malzeme yüzeyleri üzerine kaplanması işlemi için “fiziksel buhar yoğunlaştırma” (PVD) ya da “kimyasal buhar yoğunlaştırma” (CVD) yöntemleri kullanılmaktadır. Tarihsel gelişim bakılacak olursa ilk olarak CVD teknikleri gelişmiş daha sonraları PVD yöntemleri geliştirilmiştir. Günümüzde sert kaplama üretimi yönünden uygulamaya yönelik avantaj ve dezavantajları göz önüne alınarak her iki tekniğinde kullanım alanları mevcuttur [31].

2.3. FİZİKSEL BUHAR YOĞUŞTURMA YÖNTEMİ İLE KAPLAMA

Physical Vapor Deposition (PVD) kaplama teknolojisi 1800 lü yıllardan beri varlığı bilinmekte, ancak son 50 yıldır kendisine endüstride bir yer bulabilmiş, ince film kaplama tekniğidir. Günümüze kadar geliştirilen farklı kaplama işlemleri ile uygulanan bu tekniğin mekanizması basitçe şöyledir. Vakumlu ortamda, bir ısıtıcı (rezistans, lazer, elektron bombardımanı vb.) ile buharlaştırılan kaplayıcı malzeme, kaplanacak olan malzeme üzerinde ince bir film katmanı halinde biriktirilir [33].

PVD kaplama tekniği; katı haldeki ham maddenin yüksek enerji ile plazma haline getirilerek, kontrollü olarak, kaplanacak malzemenin üzerine yapıştırılması işlemi olarak özetlenebilir. Bilimsel anlamda ilk olarak 19. yüzyıl sonlarında çalışmalara başlanmış, vakum teknolojisindeki gelişmeler ile bu çalışmalar hız kazanmıştır. Özellikle sanayileşmenin artması ile birlikte aşınma dayanımı ciddi anlamda bir ihtiyaç haline gelmiş ve 1960'lı yıllarda günümüzde kullanılan sistemlerin ilk adımları atılmıştır [35].

Özellikle PVD metodu ile üretilen Ti ve Al esaslı kaplamalar, alüminyum ekstrüzyon kalıplarında plazma nitrüleme, plazma sprey kaplama ve kimyasal buhar biriktirmeye (CVD) nazaran önemli avantajlar sunmaktadırlar. Bununla birlikte plazma nitrüleme işleminden sonra yapılan sert seramik kaplama uygulamalarıyla da iyi sonuçlar elde edilmiştir. PVD metoduyla üretilen TiAlN kaplamalar, sertlik ve korozyon direnci gibi farklı fonksiyonel özellikleri bir araya getirebilmesinden, ayrıca yüksek sıcaklık oksidasyon direnci avantajına sahip olmasından dolayı, özellikle kalıp malzemeleri için günümüzde önemini kaybetmeyen bir kaplama türü olarak varlığını sürdürmektedir [17].

Fiziksel Buhar Biriktirme (PVD) kaplama tekniğinde; kaplanacak malzeme yüksek vakumlu bir kabine yerleştirilir ve yüksek enerji ile iyonlaştırılmış ve reaktif gazlarla

oluşturulmuş plazma ile kaplanır. Kaplamanın homojen olabilmesi için kaplanacak malzemeye maksimum hareket kazandırılır [34].

2.4. KİMYASAL BUHAR YOĞUŞTURMA YÖNTEMİ İLE KAPLAMA

Chemical Vapour Deposition (CVD); kimyasal buhar yoğuşturma tekniği ile yüzey kaplamaları üretimi, bir gaz fazdan kimyasal reaksiyonlar sonucu elde edilen yeni fazın yüzeye çöktürülmesi esasına dayanmaktadır [31].

1931 yılında Moers CVD yoluyla titanyum karbür tek kristal elde etmeye çalışmış ve 1950 yılında Pollard deneysel olarak TiC kaplamayı elde etmeyi başarmıştır. Aynı yıllarda Ruppert ve Münster TiC kaplamaları aşınmayı azaltma amacıyla karbür kesici uçlara uygulamışlardır. Bu kaplamaların ticari olarak uygulanması ise 1969 yılını bulmuştur. Hemen ardından 1971 yılında da TiN kaplamaların üretimi yapılmıştır. Bu gelişmeleri takiben CVD yoluyla çok katlı kaplama üretimleri gerçekleştirilmiştir [32]. CVD teknikleriyle metal, oksit, nitrür, karbür, borür ve benzeri kaplamaların üretilmesi mümkündür. CVD kaplaması 700-1050°C'lik sıcaklıklardaki kimyasal reaksiyonlar tarafından oluşturulur. CVD kaplamalarının yüksek aşınma dirençleri ve sementle karbürlere kusursuz yapışma özelliği vardır [31], [34].

2.5. PVD VE CVD TEKNİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

CVD ve PVD kaplama yöntemlerini karşılaştıracak olursak;

CVD Yöntemi: Yüksek sıcaklıklara ve vakum ortamına ihtiyaç vardır. Ana metal sıcaklığa dayanıklı olmalı. Kullanılan yüksek enerjiler nedeniyle daha sağlam kaplamalar elde edilir. Kaplama üniform olarak dağıtılmıştır. Tungsten (W), Ta, Karbon gibi yüksek ergime noktasına sahip elementler sadece bu yöntemle kaplanır. Kimyasallar yüksek sıcaklıkta korozyon oluşturur [35].

PVD Yöntemi: Yüksek basınç ortamında çalışılır. Ana metal basınca dayanıklı olmalıdır. Kaplamalar CVD kaplamalar kadar dayanıklı değildir. Düşük sıcaklıkta gerçekleşir. Kaplama kalınlıkları fazladır. Kaplama hızı CVD' ye göre fazladır. Fakat esas metale yapışma sorunu vardır. Ana parçada sertlik sorunu olmaz [35].

Yukarıda sayılan tüm bu uygulamaların yanında özellikle aşınma dayanımı açısından bu tür kaplamalar talaşlı ve talaşsız şekillendirme takımlarında yaygın kullanım alanı bulmuştur. Sert kaplamalar kesici takımlarda oldukça yüksek ömür artışına sebep

olmakta, ayrıca kesme hızlarının yükseltilmesi veya soğutma sıvısı kullanımının ortadan kaldırılması gibi avantajları sayesinde talaşlı şekillendirme işleminin verimliliğini yükseltmektedir [31].

2.6. KESİCİ TAKIM KAPLAMA TİPLERİ

Kesici takımların tarihsel gelişimi şu sıraya göre gerçekleştirilmiştir. Karbon çeliği, HSS, Döküm alaşımları, İyileştirilmiş HSS, Karbürler (Sinterlenmiş Karbürler), Seramikler, Sermetler, Kaplamalı Karbürler, Çok kristalli Elmaslar, PCD ve Kübik Bor Nitrür (CBN) şeklindedir [35].

Kesici takımlarda yapılan başlıca kaplamalar ise; Titanyum Karbür (TiC), Titanyum Nitrür (TiN), Titanyum Alüminyum Nitrit (TiAlN), Kübik bor Nitrür (CBN), Titanyum Karbonitrür (TiCN).

2.6.1. Titanyum Karbür (TiC) Kaplama:

Titanyum karbür, TiC, ilk olarak Moissan tarafından elektrik ark fırınında gerçekleştirilmiştir. Isıtılmış tel üzerinden $TiCl_4$ gazı geçirilerek düşük miktarlarda üretilmiştir [24], [34].

Dökme demir ve çelikler için kaplama yapılarak yüzey koruması sağlanmaktadır. Özellikle kesici takımlarda kaplamasız ve aynı kaplamalı çeliğin performansı üzerine pek çok araştırma yapılarak kesme hızında getirdiği artış ve uzun takım ömrü açıklanmıştır. Kesme hızında, kaplamasız aynı malzemedeki kesici takım' a göre % 50 - % 100 artış sağlamakta ve takım ömrünü ise % 200 - % 400 arasında arttırmaktadır [36]. Bu değerler seramik kaplanmış takımların, imalat işleminin genel olarak maliyetini düşürdüğü ve önemli bir ekonomiyi elde edilen kaliteye göre sağladığının göstergesi olarak kabul edilebilir [37].

2.6.2. Titanyum Nitrür (TiN) Kaplama:

En eski ve en bilinen kaplama çeşididir. Demir, çelik vb. metaller, metal işleme, kesme kalıpları, aşınmaya maruz parçalar, tıbbi ve dekoratif parçalar için genel amaçlı bir kaplamadır [36].

Matkap uçları, frezeler, bıçaklar, broşlar, kesme-bükme kalıpları, zımbalar ve azdırma çakıları gibi birçok takım ve kalıpta kullanılmakta, performans yönünden kaplanan parçaların ömründe 3-30 kat arasında bir artış sağlamaktadır [34]. Kaplanan parçaların

ömründeki artış, kesici takımların tipine, işlenen malzemenin cinsine, kullanılan tezgâhın cinsine, kullanılan soğutma sıvısına ve işlem kalitesine göre farklılıklar gösterir [36]. Yüksek sertliğe ve düşük sürtünme katsayısına sahip olan TiN, metalin metale sürtünmesinden dolayı oluşan aşınmaları önler, kayganlığı artırır, yapışma-sarma gibi problemleri minimuma indirger. Kesme anında uç birikintilerin büyümesini engelleyerek iş parçası yüzeyinin temiz çıkmasını sağlar. Ayrıca ısıl iletkenliğinin düşük olması nedeniyle takıma ısı transferini engelleyerek takım ve tezgâhla daha yüksek devirlerde çalışma olanağı sağlar. Sürtünme katsayısı düşük olduğu için kesme ve sürtünme kuvveti azalır, kaygan yüzey de talaş akışını kolaylaştırır [24], [36].

2.6.3. Kübik Bor Nitrür (CBN) Kaplama:

CBN elmastan sonra en sert malzemedir [38]. Çok yüksek kızıl sertlik (2000 °C), mükemmel aşınma direnci ve işleme sırasında genellikle iyi kimyasal kararlılık gibi özellikleriyle mükemmel bir kesici takım malzemesidir. Seramikten toktur. Seramikten daha sert ancak daha kötü ısıl ve kimyasal dirence sahiptir [24]. Dövme çelik, sertleştirilmiş çelik ve dökme demir yüzeyi sertleştirilen parçalar, Co ve demir esaslı toz malzemeler, perlitik dökme demir ve ısıl dirençli alaşımlar CBN takımlarının yaygınca kullanıldığı malzemelerdir. CBN takımlar yüksek kesme hızlarında ve düşük ilerleme değerlerinde kullanılmaktadır. Kesme sıvısı kullanıldığında yüksek basınçta olması gerekmektedir. Aksi halde ısıl çatlakların oluşmasına neden olur [34].

Keskin köşelerde ve karmaşık geometriler üzerinde büyütülme yapılabildiği için daha çok tercih edilmektedir [38].

2.6.4. Titanyum Karbonitrür (TiCN) Kaplama:

TiCN kaplama en yüksek sertliğe ve en düşük yüzey pürüzlüğüne sahip kaplamadır. Delme ve talaşlı imalat sırasında daha yüksek makine hızlarının kullanılmasına olanak sağlayarak verimliliği artırır. İşlenen parçalarda yüksek yüzey kalitesi sağlar. TiCN kaplama, sağlamlığı, iyi yapışması, yüksek sertliği ve düşük sürtünme katsayısı ile metal işleyen takım ve zımbalara çatlamalara karşı yüksek direnç sağlar [34].

Uygulamalar; TiCN kaplama yüksek sertlik gerektiren uygulamalarda, zımbalarda, yüksek hızda çalışan talaş kaldıran takımlarda iyi performans sağlamaktadır. Sürekli darbeli ve mekanik gerilim altında çalışan kesme uçlarında performansı çok iyidir. Bazı uygulama örnekleri; çeşitli zımbalar, matkap uçları, raybalar, broşlar, azdırma bıçakları

ve elmas uçlardır. Özellikler; yüksek sertlik, iyi yapışma, iyi aşınma direnci, yükseltilmiş dayanıklılık, düşük sürtünme katsayısı, yüksek ısı iletkenliği şeklindedir [24], [34].

2.6.5. Titanyum Alüminyum Nitrit (TiAlN) Kaplama:

Fiziksel buhar biriktirme (PVD) metodu ile üretilen TiAlN kaplamalar, yüksek sertlik, aşınma direnci, korozyon direnci ve yüksek sıcaklık oksidasyon direnci gibi üstün özelliklerinden dolayı, özellikle kalıp ve kesici takım sanayinde en çok tercih edilen kaplamalar arasında gelmektedir. TiAlN filmler özellikle delme uygulamalarındaki kesme performansları sebebiyle tercih edilen kaplamalardır. TiAlN filmlerinin sertlikleri 2100-2300 HV civarındadır ancak delme uygulamalarında kullanılmalarının sebebi Al katkısıyla oksidasyon direncinin artırılmasıdır [38].

TiN kaplamalar 550 C civarında okside olmaya başlarken, TiAlN kaplamalarda bu sıcaklık 800 C'dir [18]. CrN kaplamalarında oksidasyon direnci, TiN kaplamalara göre daha yüksektir. Bunun nedeni koruyucu bir amorf olan Al_2O_3 filminin oluşmasıdır. Bu kaplamalar ile oluşan yapılar, hedef malzemesinin(katod) kompozisyonuna bağlı olarak değişmektedir [22].

Yapılan araştırmalarda, Al ilave edilmiş TiN ve TiC filmlerinin yüksek sıcaklıklarda oksidasyon dirençleri test edilmiş ve Al ilave edilmiştir ayrıca TiN ve TiC filmlerinin oksidasyon dirençlerinde kayda değer bir yükselmenin olduğu tespit edilmiştir. Diğer bir çalışmada ise yüksek sıcaklıklarda oksidasyon direnci zayıf olan TiN yerine, TiAlN' un yüksek oksidasyon direnci gösterdiği belirtilmiştir [18], [39].

Düşük ısı iletkenlik katsayısına sahip TiAlN kaplanmış kesici takımlarda üretilen ısının büyük bir kısmı talaş ile dışarı atıldığından talaş oluşumu iyi olduğu görülmüştür [40]. TiAlN kaplanmış takımlarla yapılan talaş kaldırma işlemlerinde 2-3 kat daha iyi takım ömrü elde edilmiştir. Seramik kaplı kesici takımlarda önemli oranlarda takım ömrü artışı sağlanmaktadır. Buna bağlı olarak işleme ve işleme hızlarında % 10-100 oranlarında artış sağlanmakta, işleme kısalmakta ve yüzey kalitesinde iyileşmeler olmaktadır [18].

TiAlN kaplamalarının genel özellikleri; Mor ve siyahi renkte, 3300 Hv sertlik değerinde, 2-5 μ 'a kadar kaplama yapılabilir, kaplama ısısı 200 - 500 °C arasındadır, termal oksidasyon derecesi 800 – 900 °C arasında olup, yüzey pürüzlülüğü Ra 0.2 μ dur [18], [34].

Kesici takımların ömürlerinin sona erdiğine ilişkin belirtiler [24], [34].

- a) Yüzey kalitesindeki olumsuzluklar,
- b) Serbest yüzey aşınmasının belirli bir değere ulaşması,
- c) Kesme kuvvetlerindeki artışların, belirli bir değere ulaşması,
- d) Talaşın oluşum biçimlerinde görülen farklılıklar, şeklindedir.

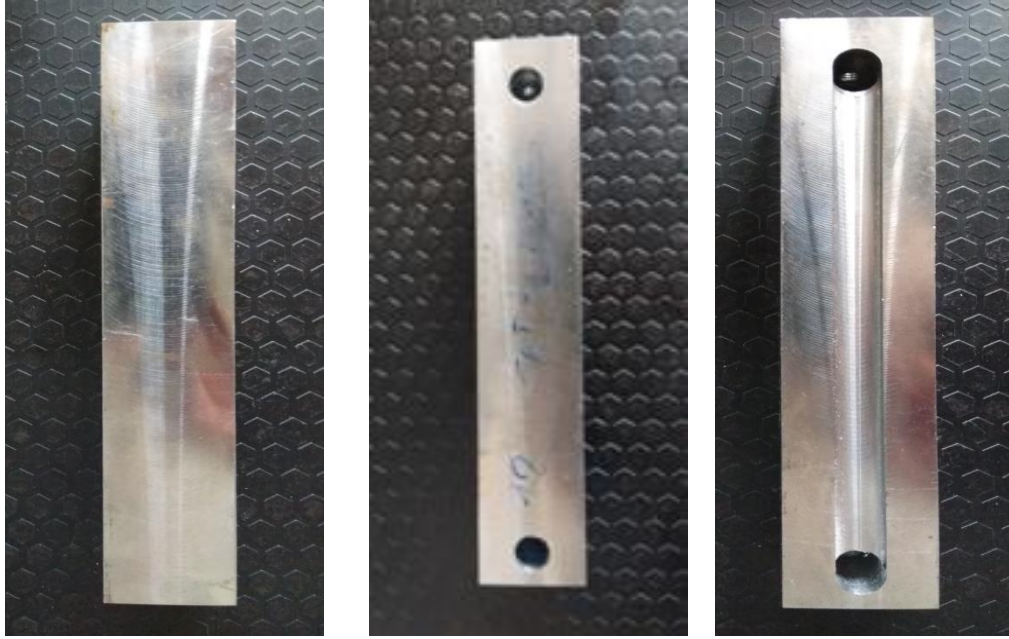
Yapılan araştırmalara göre, alüminyum kullanılan kaplamalı takım malzemeleri, hacimsel olarak daha fazla talaş kaldıracabildiği ve kesme uzunlukları daha iyi değerlerde olduğu belirlenmiştir [40]. Performans deneylerinde yüksek kesme hızlarına sahip olan takımlarda kaldırılan talaş hacmi ve ekonomik uygunluk performansının daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Aşınmalar ilk andaki hızlı büyümeden sonra ve doğrusal olarak artmaktadır. Takımın ömrünü tamamlamasına yakın aşınma tekrar hızlanmakta ve kesme işlemine devam edildiğinde kesici takım kırılmaktadır [41].

Kuru talaş kaldırma işlemlerinde TiAlN kaplamalı kesici takımlarda, yüksek aşınma direnci ve termal kararlılık görülmüştür. Elde edilen yüzey pürüzlülüğü, taşlama kalitesine yakındır [42]. TiAlN kaplamalı kesici takımlarda aşınma miktarına bağlı olarak, sürtünme kuvvetlerindeki artış oranı, diğer kesicilere göre en az olmaktadır. Yapılan deneylerde talaş kaldırma performansı en yüksek kesici takımın TiAlN kaplamalı kesici takım olduğu görülmüştür [43].

3. METARYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada Talaşlı imalat endüstrisinde yoğun kullanım alanı olan AISI 4140 ıslah çeliği kullanılmıştır. Aynı şekilde talaşlı imalatta yoğun kullanım alanı olan TiAlN kaplama tercih edilmiştir.

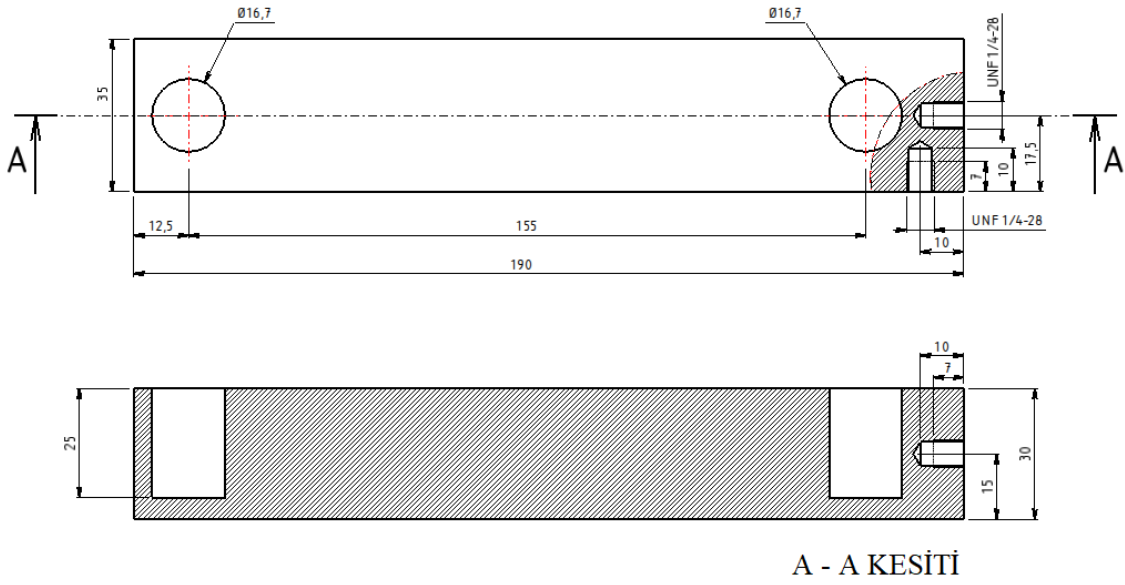
Burada asıl amaç kesici takımdaki kaplama kalınlığının AISI 4140 çeliğinin talaşlı imalatı sırasında titreşimin yüzey kalitesine etkisini incelemektir. Bu süreçte üç (3) farklı çap için (10 - 12 ve 16 mm) ve her bir çap için dört (4) farklı TiAlN kaplama kalınlığına (0.0 μ , 2.0 μ , 3.0 μ ve 5.0 μ) sahip takımlar ile deneyler gerçekleştirilmiştir, 12 adet Deney numuneleri 190*35*30 mm ölçülerinde hazırlanmıştır.



Şekil 3.1. Deney numunesi.

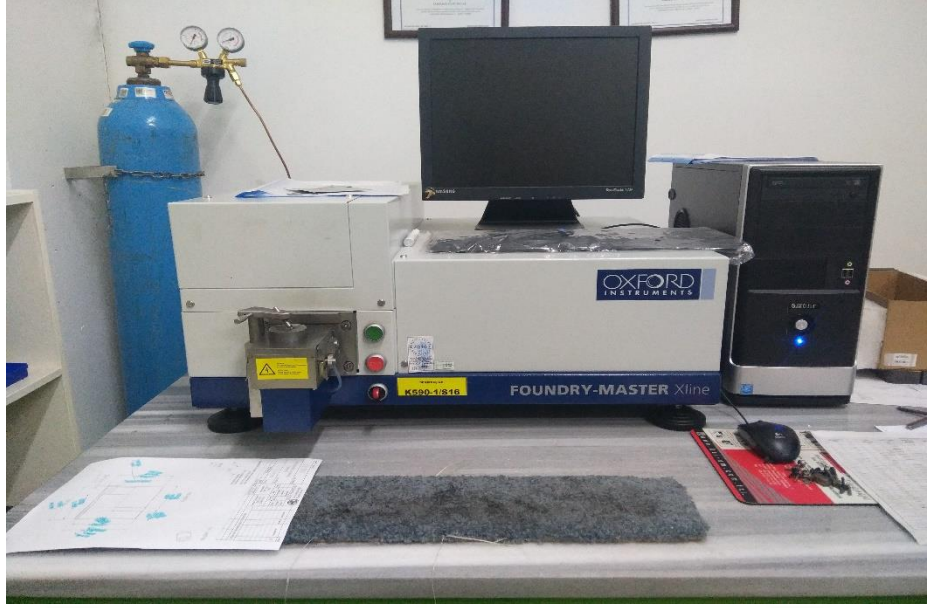
Her bir numune ile 10 adet deney gerçekleştirilmiş ve toplamda 120 adet deney yapılmıştır. Bu deneyler Düzce Üniversitesi Mühendislik Fakültesi bünyesindeki Bora marka 2,5 eksen freze tezgâhın da gerçekleştirilmiştir. Deney numunelerin' de işlem sırasında oluşan titreşimler bilgisayar ortamına VibraQuest TM yazılım ve donanım sistemi ile aktarılmıştır. Veri toplama sistemi titreşim sinyalleri için tasarlanmış bir yüksek bant genişliği amplifikatörüne sahiptir. Deney numunelerini ön hazırlık operasyonları kapsamında 190×35,2×30,2 mm ölçülerine getirmek için kaba olarak Face

- miling (Yüzey Tıraşlama) operasyonu yapılmıştır. Ardından 190×35×30 mm ölçülerine satih taşlama tezgâhı ile taşlanmıştır. Daha sonra takım alınlarının deney sırasında talaş derinliği (A_p) değerlerini sağlarken zorlanmaması için 25 mm derinliğinde ön delik operasyonu yapılmıştır. Deney numunelerinin hazırlanmasındaki son adım olarak deneylerde meydana gelen titreşimin ölçülmesinde kullanılan titreşim ölçme soketini deney numunesine sabitlemek için her deney numunesine X ve Y yönlerinde 10 mm derinliğinde 5,4 mm çapında ön delik operasyonu yapılmıştır. Bu ön deliklere ¼-28 UNJF kılavuz vasıtasıyla 7 mm derinlikte kılavuz çekilmiştir ve Şekil 3.2 deney numunelerinin teknik remi verilmiştir.



Şekil 3.2. Deney numunelerinin teknik resmi.

Deney numunelerine malzeme analizi Oxford marka analiz cihazı ile yapılmış ve sonuçlar Çizelge 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.3. Malzeme analiz cihazı.

Çizelge 3.1. AISI 4140 çeliğinin farklı standartlardaki karşılıkları.

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

Çizelge 3.2. AISI 4140 çeliklerinin kimyasal bileşimi.

Element	C	Si	Mn	P	Sr	Cr	Mo	Al
%	0.413	0.263	0.812	0.0102	0.0177	1.05	0.186	0.0201

Numune sertlikleri Teskon TH320 model sertlik ölçüm cihazında ölçülmüştür. Numunelerin sertlik değerlerinin 38-42 HRC olduğu belirlenmiştir.



Şekil 3.4. Sertlik ölçüm cihazı.

Yapılan deneyler sonucunda oluşan yüzey kalitesi ALPA-SM RT-60 cihazında deney numunelerinin yüzey kaliteleri her bir deney numunesinin orta kısmından 80 mm'lik kesitler alınarak her numuneden 3'er adet ölçüm yapılmıştır ve ortalama Ra ve Rz cinsinden yüzey pürüzlülükleri ölçülmüştür.



Şekil 3.5. Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı.

Deneylerde kullanılacak kesme şartları belirlenmesinde Kesme Hızı $V_c = 75$ mm/dk, diş başı talaş miktarı sırası ile $F_n = 0,02 - 0,04 - 0,06$ devir/diş olarak belirlenmiştir. Bu şartları kabul ederek kesme şartları belirlenmiştir.

$$N = V_c \times 1000 / \pi \times D \text{ (dev/dk.)} \quad (1)$$

$$F = N \times F_z \times F_n \text{ (mm /dk.)} \quad (2)$$

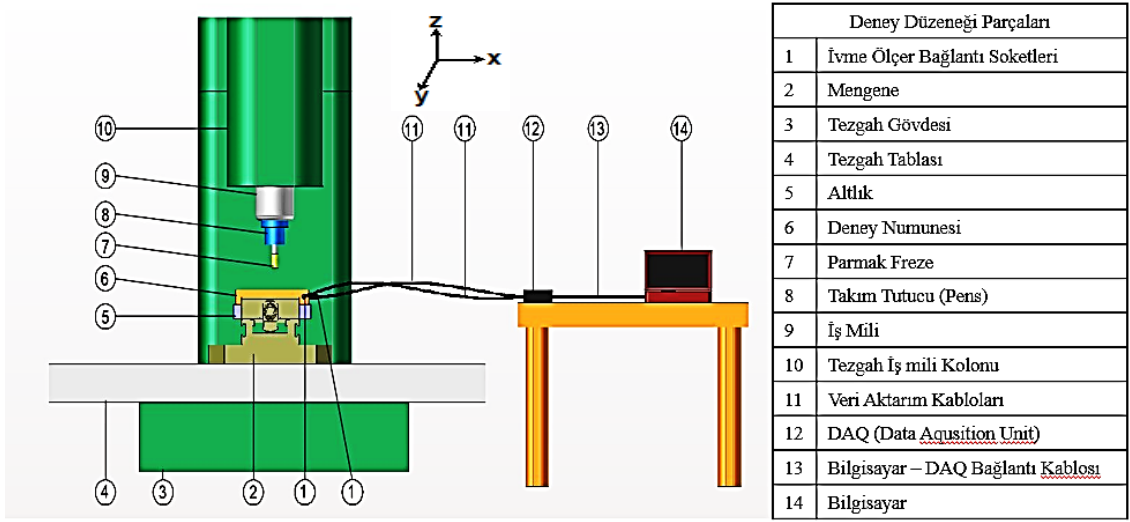
Burada N, dakikadaki devir sayısı; D, kesici takım çapı; Vc, dakikadaki kesme hızı; Fz, kesici takımdaki ağız sayısı; Fn, Diş başı talaş miktarı (1 ağızın 1 devirdeki kaldıracağı talaş miktarı); F, dakikada milimetre cinsinden ilerlemedir.

Denklem (1) ve denklem (2) kullanılarak kesme şartları hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 3.3 de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri.

	Kaplama Kalınlığı			
	Ø10 mm Parmak Freze	Ø12 mm Parmak Freze	Ø16 mm Parmak Freze	
	-	-	-	5µm
	2µm	2µm	2µm	3µm
	3µm	3µm	3µm	2µm
	5µm	5µm	5µm	-
S(d/dk)	2388	1990	1492	1492
F(mm/dk)	192	318	358	358
AP(mm)	0.5	0.5	0.5	0.5

Çizelge 3.3 de belirtilen şartların uygulandığı deney sisteminin şematik gösterimi Şekil 3.6 'da görsel olarak belirtilmiştir.

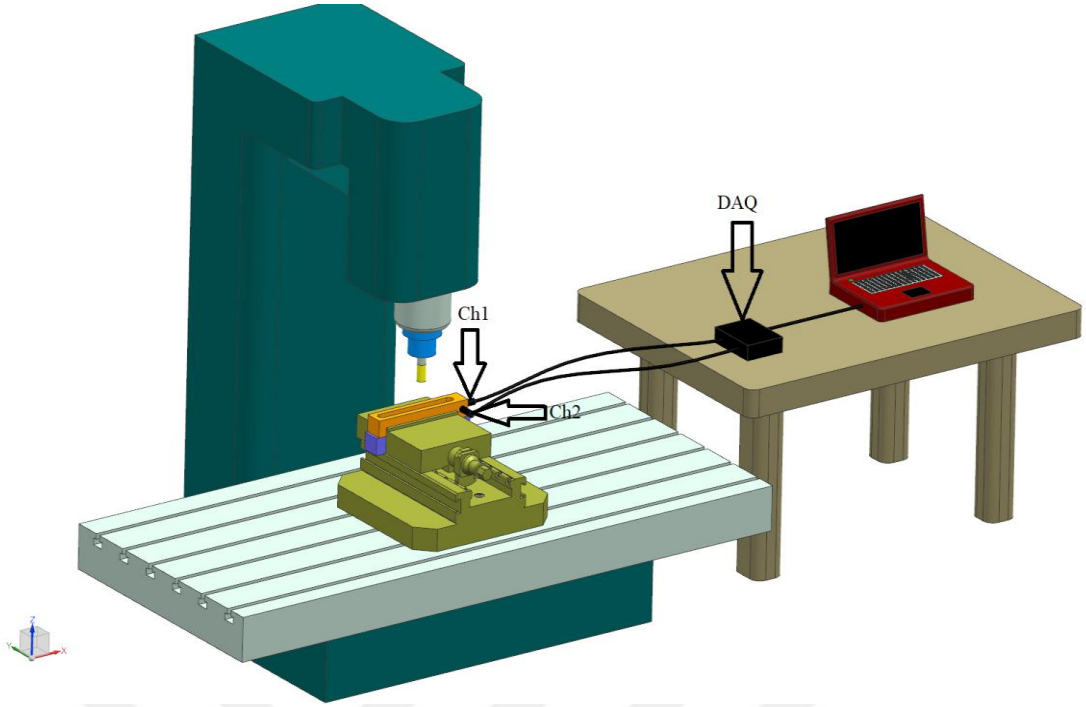


Şekil 3.6. Deney düzeneğinin şematik gösterimi.



Şekil 3.7. Deney düzeneği.

Yukarda görsel olarak belirtilen deney setinde x (Ch1) ve y (Ch2) yönünde oluşan titreşimleri ölçmek için iki adet ivmeölçer kullanılmış ve deney numunesine 90 derece açı ile monte edilmiştir. Veriler DAQ (Data Acquisition Unit) cihazı yardımı ile bilgisayar ortamına aktarılmıştır. X yönünde ölçüm yapan ivmeölçer (Ch1), Y yönünde ölçüm yapan ivmeölçer (Ch2) olarak belirlenmiştir. Ch1 ve Ch2 kanallarının sistem üzerindeki gösterimi Şekil 3.8’de belirtilmiştir.



Şekil 3.8. Deney düzeneğinin iki kanallı gösterimi.

12 adet takım ve 12 adet deney numunesi ile toplamda 120 adet deney gerçekleştirilmiştir. Her takım ile 0,5 mm A_p değerinde 10 adet deney yapılmış, toplamda her deney numunesinde 5 mm talaş kaldırılmıştır. Her takımın son deneyinin yüzey pürüzlülük değerleri ALPA- SM marka RT60 model yüzey pürüzlülük ölçüm cihazında R_a ve R_z değerleri ölçülmüş ve ölçüm sonuçları Çizelge 4.1’de sunulmuştur. Deneylerde kullanılan parametreler çap değişkenlerine bağlı olup $\varnothing 16$ mm frezeler için 1492 devir/dk, 358 mm/dk, $\varnothing 12$ mm frezeler için 1990 devir/dk, 318 mm/dk, $\varnothing 10$ mm frezeler için 2388 devir/dk, 192 mm/dk olarak belirlenmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Bu bölümde tez çalışmasının deney aşamalarında elde edilen bulgulara ve deneysel sonuçlara yer verilmiştir. Ayrıca deney sonuçları karşılaştırılmış ve tartışılmıştır.

Deney setinde yapılan deneyler sırasında elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Yüzey pürüzlülük ölçüm sonuçları.

Deney No	Takım Çapı (mm)	Kaplama Kalınlığı (μ)	Ra (μ)	Rz (μ)
1	10	0.0	1.72	10.87
2	10	2.0	0.91	4.13
3	10	3.0	0.72	5.57
4	10	5.0	1.06	8.37
5	12	0.0	1.87	10
6	12	2.0	1.17	6.11
7	12	3.0	0.85	4.93
8	12	5.0	0.96	7.83
9	16	0.0	1.29	6.96
10	16	2.0	1.24	6.02
11	16	3.0	1.07	6.5
12	16	5.0	1.43	10.05

Çizelge 4.1’de Ra ve Rz olarak iş parçası yüzeyindeki ortalama yüzey pürüzlülüğü değerleri üç farklı çap da 10, 12 ve 16 mm ve 0.0, 2.0, 3.0 ve 5.0 μ kaplama kalınlıkları için verilmiştir. Frezelemede kullanılan 10mm çapındaki kesici takım ve 3.0 μ kaplama kalınlığı için Ra ve Rz yüzey pürüzlülük değeri sırasıyla 0.72 μ ve 5.57 μ olarak ölçülmüştür. 12 mm çapındaki kesici takım 3.0 μ için ölçülen en büyük Ra ve Rz değerleri 0.85 μ ve 4.91 μ olarak ölçülmüştür son olarak 16 mm kesici çapındaki kesici takımın 3.0 μ için ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri sırasıyla 1.07 μ ve 6.5 μ olarak ölçülmüştür.

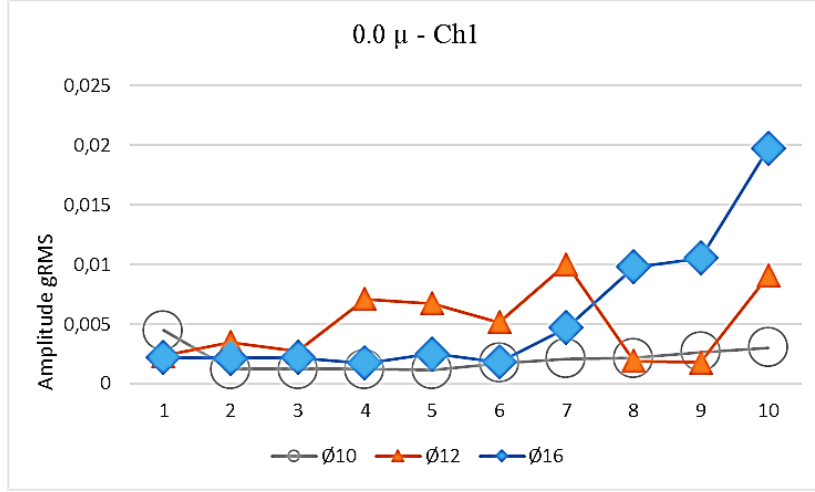
Deneylerde elde edilen titreşimlerin grafiklerinin sayısal verilenin bulunduğu sonuçlar Çizelge 4.2 - Çizelge 4.3’de verilmiştir. Bu veriler kıyaslanarak elde edilen titreşim eğilim grafikleri Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de belirtilmiştir.

Çizelge 4.2. Düşey doğrultuda (Ch1) maksimum titreşim değerleri (mm/sn²).

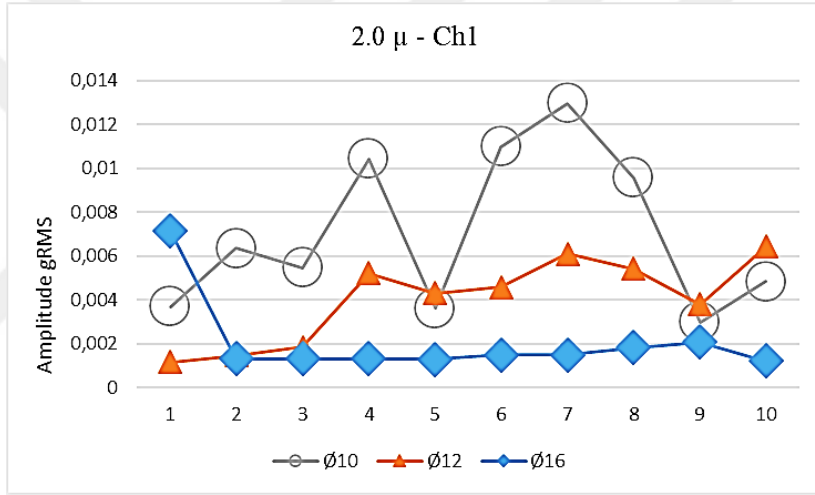
Deneysel No	Kaplama Kalınlığı (μ)											
	Ø10 mm				Ø12 mm				Ø16 mm			
	0.0 μ	2.0 μ	3.0 μ	5.0 μ	0.0 μ	2.0 μ	3.0 μ	5.0 μ	0.0 μ	2.0 μ	3.0 μ	5.0 μ
1	0.004456	0.003703	0.001702	0.006619	0.002322	0.001171	0.001537	0.001274	0.002204	0.001740	0.001406	0.004503
2	0.001237	0.006370	0.001349	0.011488	0.003477	0.001487	0.001573	0.002024	0.002135	0.001323	0.001406	0.008287
3	0.001217	0.005488	0.001178	0.012139	0.002709	0.001866	0.001499	0.002042	0.002214	0.001323	0.001890	0.007735
4	0.001205	0.010427	0.001336	0.006235	0.007087	0.005221	0.001238	0.002070	0.001735	0.001313	0.001554	0.007937
5	0.001190	0.003625	0.001347	0.003119	0.006731	0.004318	0.001720	0.001714	0.002522	0.001304	0.001809	0.007596
6	0.001744	0.011008	0.001320	0.012849	0.005161	0.004581	0.001681	0.001673	0.001840	0.001496	0.061747	0.006547
7	0.002097	0.012980	0.001254	0.011308	0.010039	0.006107	0.001711	0.001694	0.058680	0.001499	0.001502	0.006130
8	0.002171	0.009573	0.001400	0.010230	0.001904	0.005421	0.002637	0.002074	0.009790	0.001841	0.001600	0.006145
9	0.002660	0.003007	0.001936	0.015317	0.001765	0.003806	0.001738	0.002092	0.080516	0.002089	0.001432	0.005333
10	0.003040	0.004849	0.001638	0.014964	0.009048	0.006436	0.001741	0.002235	0.019716	0.001232	0.002029	0.005613

Çizelge 4.3. Yatay doğrultuda (Ch2) maksimum titreşim değerleri (mm/sn²).

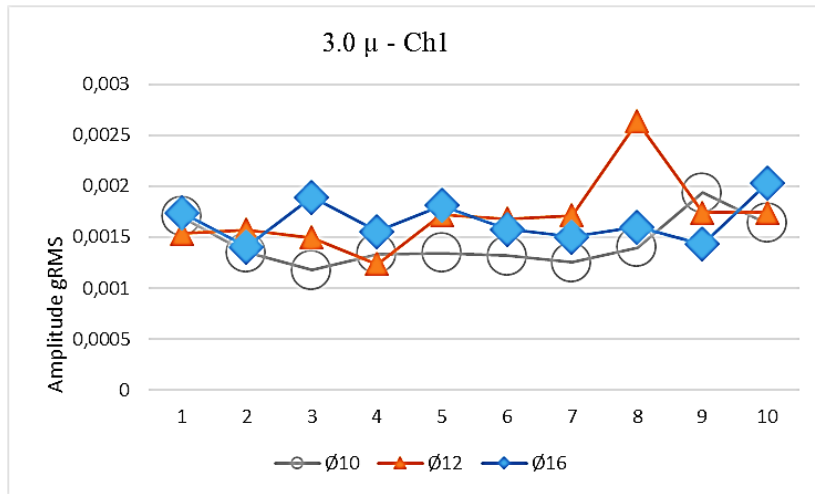
Deneý No	Kaplama Kalınlığı											
	Ø10 mm				Ø12 mm				Ø16 mm			
	0.0 µ	2.0 µ	3.0 µ	5.0 µ	0.0 µ	2.0 µ	3.0 µ	5.0 µ	0.0 µ	2.0 µ	3.0 µ	5.0 µ
1	0.022554	0.013436	0.005204	0.035916	0.001842	0.001864	0.002332	0.002526	0.001475	0.014880	0.002773	0.004755
2	0.002919	0.025593	0.004227	0.121794	0.004407	0.005400	0.001639	0.002552	0.002004	0.001447	0.002668	0.004912
3	0.003379	0.033316	0.003423	0.058011	0.003548	0.008021	0.005007	0.002464	0.001922	0.001555	0.002201	0.006492
4	0.004538	0.039209	0.004603	0.035270	0.003573	0.025524	0.003082	0.002715	0.002834	0.002422	0.002819	0.007169
5	0.004320	0.017916	0.002216	0.018854	0.004250	0.022064	0.005174	0.003385	0.002973	0.001447	0.001426	0.009071
6	0.007659	0.067199	0.004387	0.064703	0.002966	0.019196	0.005614	0.003922	0.008559	0.001463	0.002289	0.007829
7	0.008749	0.068849	0.003045	0.064577	0.006299	0.025144	0.006459	0.003545	0.044480	0.002361	0.002213	0.006533
8	0.009190	0.040948	0.004511	0.052922	0.002749	0.016806	0.013908	0.004585	0.072182	0.003594	0.002189	0.006553
9	0.011879	0.017428	0.002891	0.17885	0.004687	0.019813	0.006771	0.024167	0.087425	0.005518	0.002134	0.006641
10	0.013338	0.018386	0.006092	0.128672	0.005590	0.022448	0.007083	0.011660	0.134102	0.002429	0.002178	0.006652



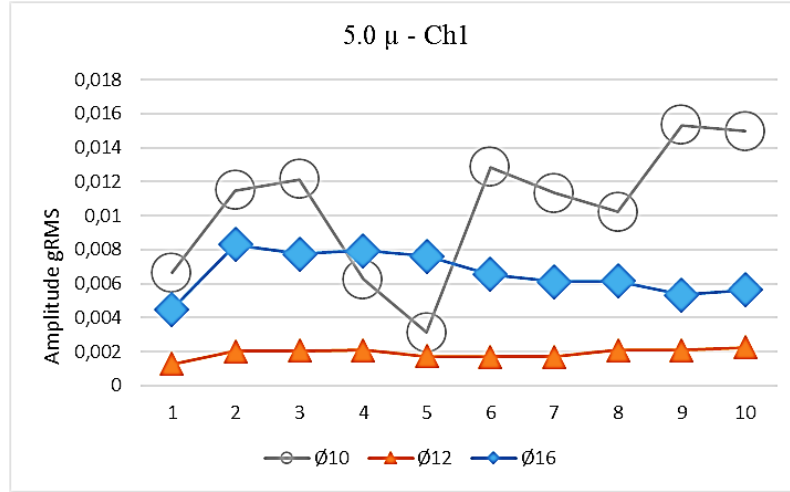
Şekil 4.1. 0.0 μ kaplamalı takımların Ch1 kanalı titreşim eğrileri.



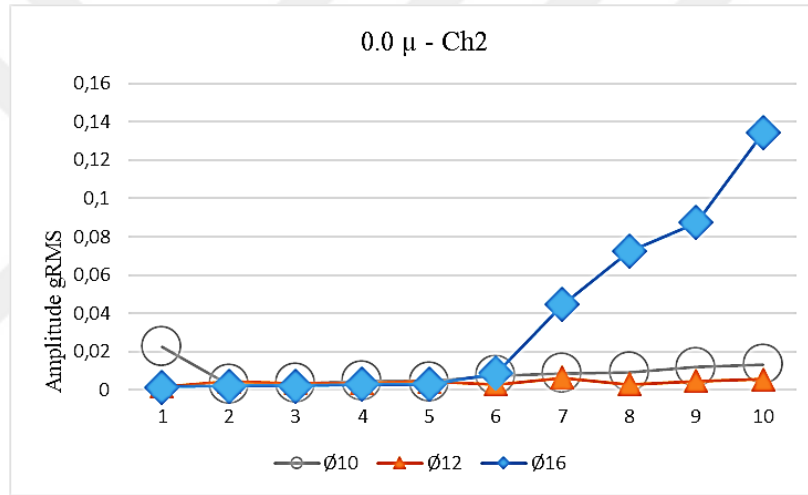
Şekil 4.2. 2.0 μ kaplamalı takımların Ch1 kanalı titreşim eğrileri.



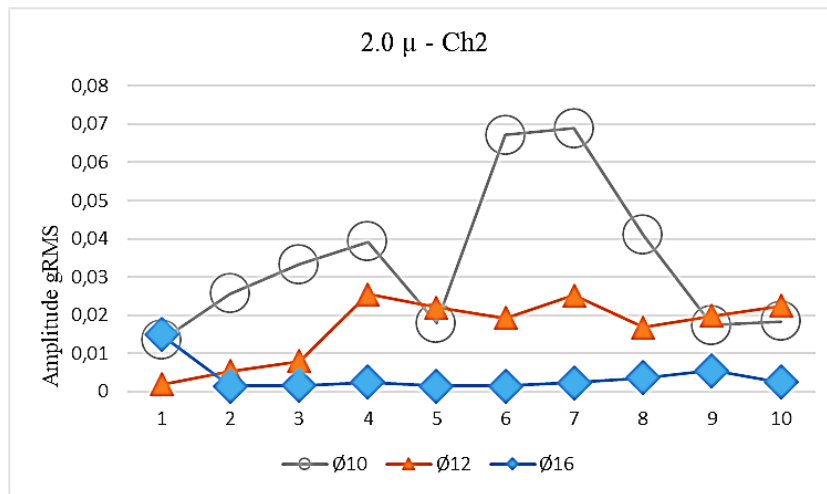
Şekil 4.3. 3.0 μ kaplamalı takımların Ch1 kanalı titreşim eğrileri.



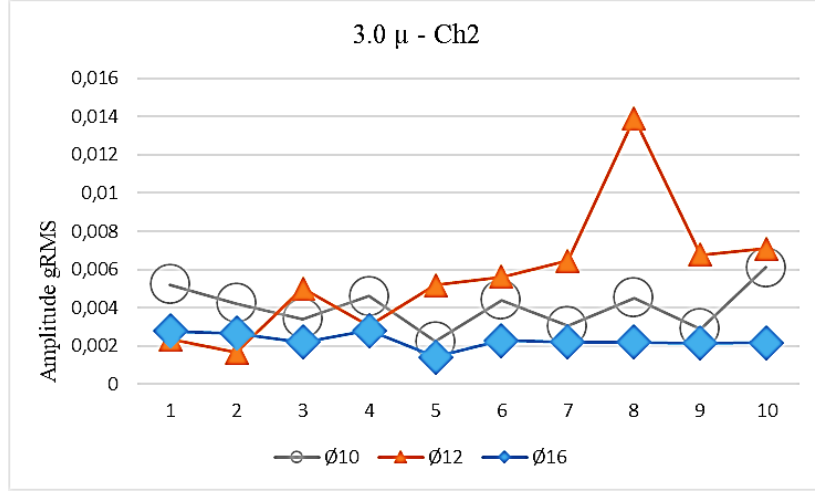
Şekil 4.4. 5.0 μ kaplamalı takımların Ch1 kanalı titreşim eğrileri.



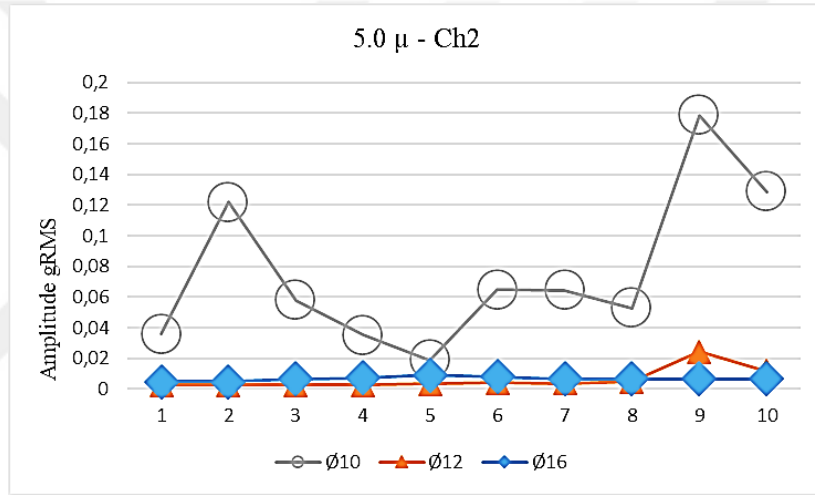
Şekil 4.5. 0.0 μ kaplamalı takımların Ch2 kanalı titreşim eğrileri.



Şekil 4.6. 2.0 μ kaplamalı takımların Ch2 kanalı titreşim eğrileri.



Şekil 4.7. 3.0 μ kaplamalı takımların Ch2 kanalı titreşim eğrileri.



Şekil 4.8. 5.0 μ kaplamalı takımların Ch2 kanalı titreşim eğrileri.

Deneyler sırasında elde edilen titreşim grafikleri ise Şekil 5.9 – Şekil 5.128’de görsel olarak belirtilmiştir.

Çizelge 5.1. ve Şekil 5.1 - Şekil 5.8 de bulunun veriler ve çaplara göre kaplama kalınlıkları için titreşim eğrileri incelendiğinde kaplama kalınlığının etkisi görülmektedir.

Kaplama kalınlığı kesici takımların titreşimini doğrudan etkilemektedir. Çizelge 5.1. de değişik kaplama kalınlıklarının frezeleme işlemi sırasındaki titreşim sönümlemedeki etkileri görülmektedir. Bulgular doğrultusunda 3 farklı kaplama ve kaplamasız koşulda 3.0 μ kaplamalı kesici takım en iyi yüzey kalitesini üretmiştir. Çizelge 5.1. de görüleceği gibi, titreşim genliği seviyesinde küçük farklar olmasına rağmen 3.0 μ kaplama kalınlığındaki takımlarda önemli bir değişim gözlenmemiştir. Takım ile iş parçası arasındaki sürtünmeden kaynaklanan kesici takım aşınması ile titreşim genliği artmaktadır. Bu

doğrultuda takımlar incelendiğinde 2.0 ve 3.0 μ kaplama kalınlığına sahip takımlarda deformasyon görülmezken kaplamasız ve 5 μ kaplama kalınlığına sahip kesici takımların uç kısımlarında deformasyon başladığı gözlemlenmiştir. Kaplamadaki maksimum kaplama kalınlığı olan 5.0 μ kaplamanın iyi performans sağlayamadığı görülmüştür. Burada çıkarılacak diğer bir sonuç ise kaplama kalınlığının yüksek olması kesici takımın performansını olumlu yönde etkilemeyeceği deneyler sırasında gözlemlenmiştir.

Kesici takımın titreşim karakteristiği olan titreşim frekansı ve genliği talaş kaldırma işleminde yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli faktörlerdir. Frekans titreşimin kaynağını genlik ise titreşimin büyüklüğünü ve enerjisini ifade eder. Çalışmada üç farklı çaptaki (10, 12 ve 16 mm) kesici takım ve her kesici takım için dört farklı kaplama kalınlığı (0.0, 2.0, 3.0 ve 5.0 μ) kullanılarak 12 adet deney seti ve her bir deney seti için her defasında 0.5 mm derinlikte talaş kaldırılarak 10 adet deney yapılmış, toplamda her deney seti için 5 mm talaş kaldırılmıştır. Genel toplamda böylece 120 deney gerçekleştirilmiş ve elde edilen titreşim ivme (gRMS) değerleri Şekil 5'te ayrı ayrı grafikler halinde sunulmuştur. Grafiklerdeki baskın (dominant) genlik tepe değerleri incelendiğinde Y (Ch2) doğrultusundaki tepe değerleri X (Ch1) yönündekinden daha yüksek değerde olduğu görülmektedir. Ayrıca kesici takım ağız sayısına bağlı olarak davranış gösterdiği görülmektedir. Baskın tepe değerleri kesici takımın dönme frekansı, kesici ağız geçiş frekansı (Tooth Pass Frequency- TPF) ve harmoniklerinden (1X, 2X, 3X gibi) oluştuğu görülmektedir. Kaplamasız 10 mm çapındaki kesici takım için 160 Hz ağız geçiş frekansı katları olan 52 x (160x52= 8320 Hz) Ch1 için 54 x (160 x 54= 8640 Hz) Ch2 için değer harmoniklerinden daha baskın olduğu görülmüştür. 3.0 μ kaplamalı 10 mm çapındaki kesici takım için 160 Hz ağız geçiş frekansı katları olan 5X Ch1 için ve 59X Ch2 için diğer harmoniklerden baskın olduğu görülmüştür.

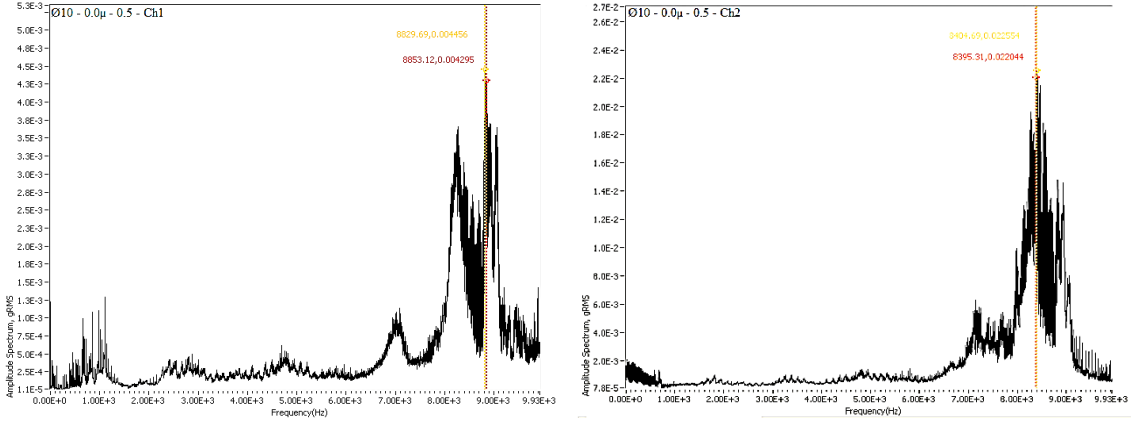
Kaplamasız 12 mm çapındaki kesici takım için 133 Hz ağız geçiş frekansı katları olan 70X Ch1 için ve 74X Ch2 için diğer harmoniklerden daha baskın olduğu görülmüştür. 3.0 μ kaplamalı 12 mm çapındaki kesici takım için 133 Hz ağız geçiş frekansı katları olan 6X Ch1 için 54X Ch2 için diğer harmoniklerden baskın olduğu görülmüştür.

Kaplamasız 16 mm çapındaki kesici takım için 100 Hz ağız geçiş frekansı katları olan 73X Ch1 için 66X Ch2 için diğer harmoniklerden baskın olduğu görülmüştür.

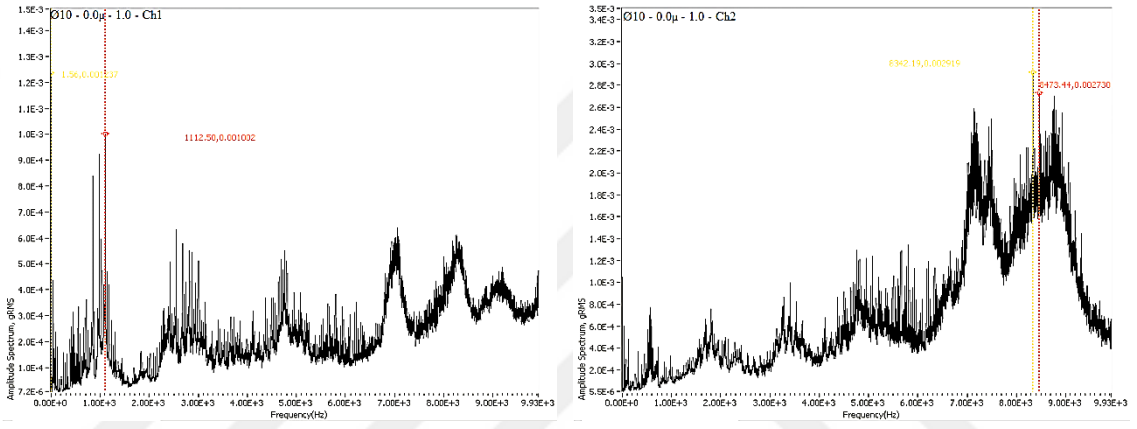
3.0 kaplamalı 16 mm çapındaki kesici takım için 100 Hz ağız geçiş frekansı katları olan 11X Ch1 için 71X Ch2 için diğer harmoniklerden baskın olduğu görülmüştür.

Bütün elde edilen sonuçlardan 3.0 μ kaplama kalınlığı olan 10 mm çapındaki kesici takımın diğer takımlara kıyasla daha iyi bir yüzey pürüzlülüğü elde edildiği görülmüştür. Bunun yanında 5.0 μ kaplama kalınlığı olan 16 mm çapındaki kesici takımın diğer takımlara göre daha kötü bir yüzey pürüzlülüğü elde ettiği görülmüştür. Düşük ilerleme ve yüksek kesme hızında daha düşük yüzey pürüzlülüğü değeri elde edildiği görülmüştür.

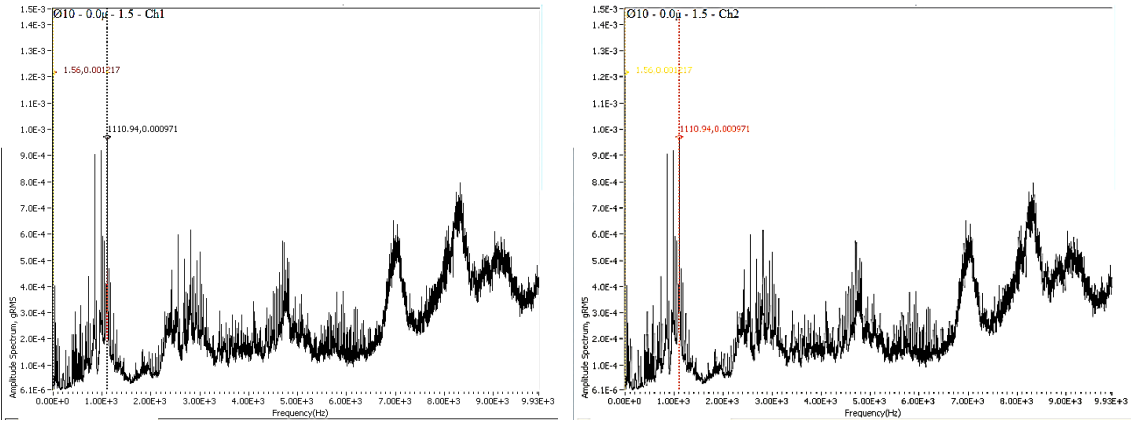




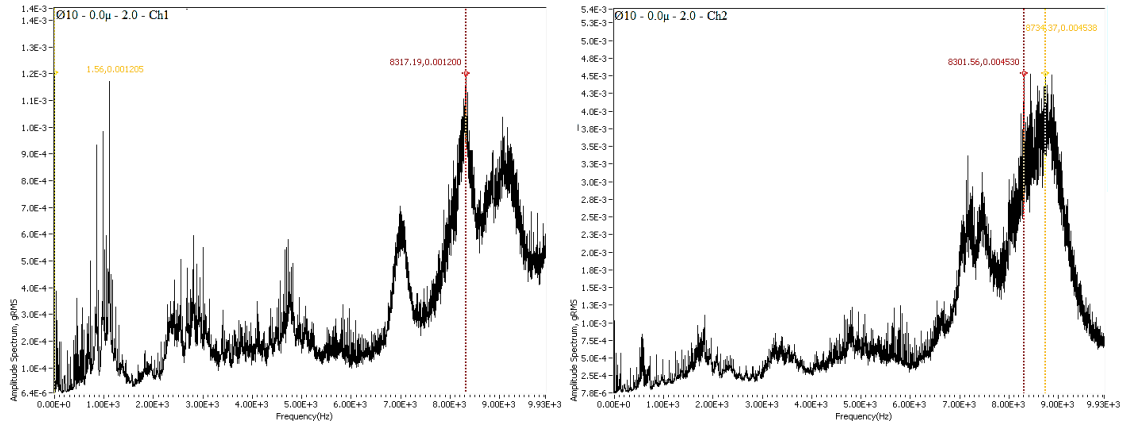
Şekil 4.9. Ø10 mm 0.0 µ kaplama 0.5 mm'deki Ch1-Ch2 titreşim grafikleri.



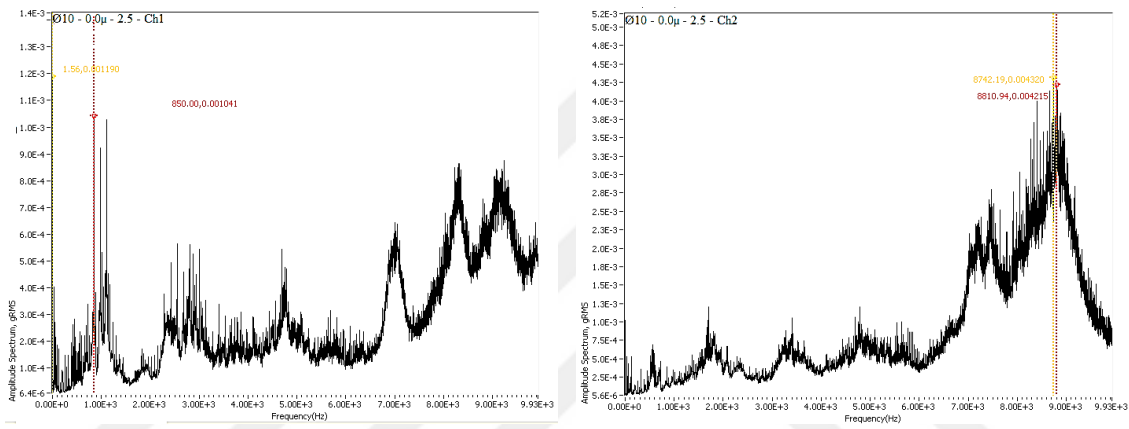
Şekil 4.10. Ø10 mm 0.0 µ kaplama 1.0 mm'deki Ch1-Ch2 titreşim grafikleri.



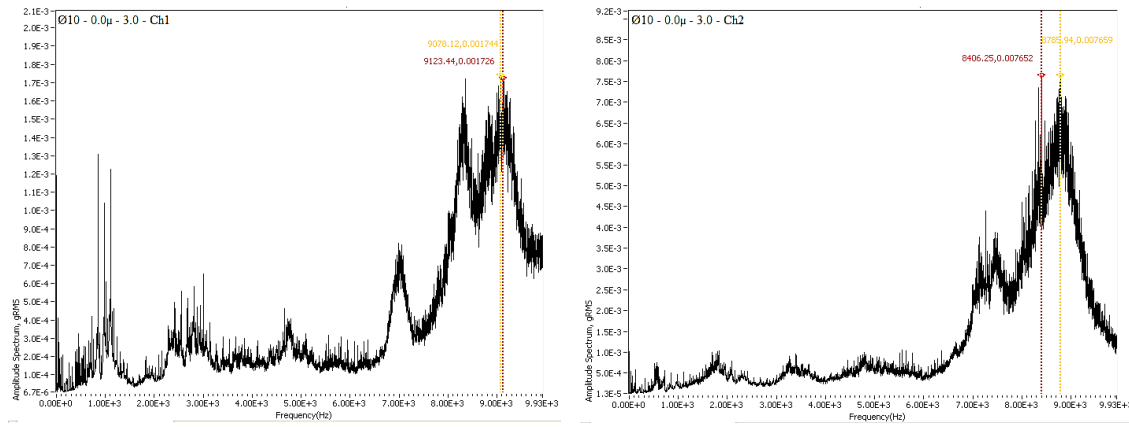
Şekil 4.11. Ø10 mm 0.0 µ kaplama 1.5 mm'deki Ch1-Ch2 titreşim grafikleri.



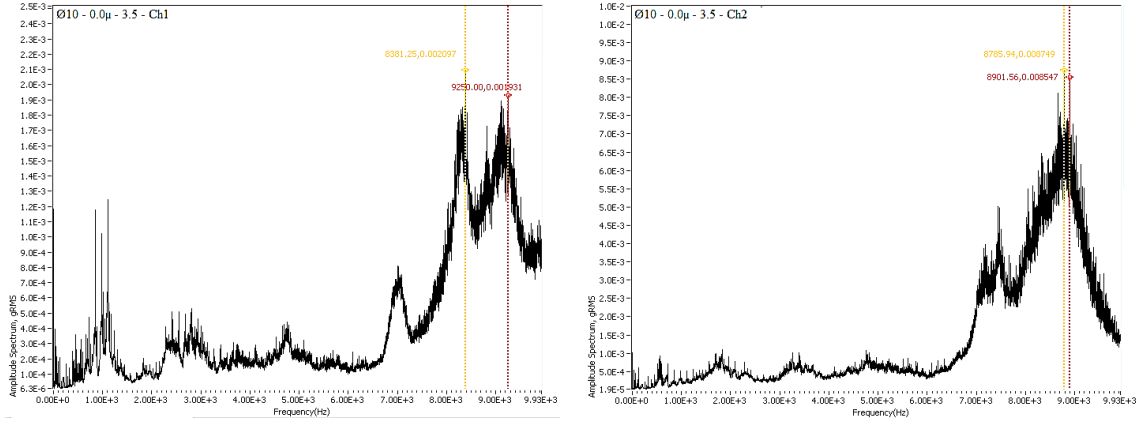
Şekil 4.12. Ø10 mm 0.0 µ kaplama 2.0 mm'deki Ch1-Ch2 titreşim grafikleri.



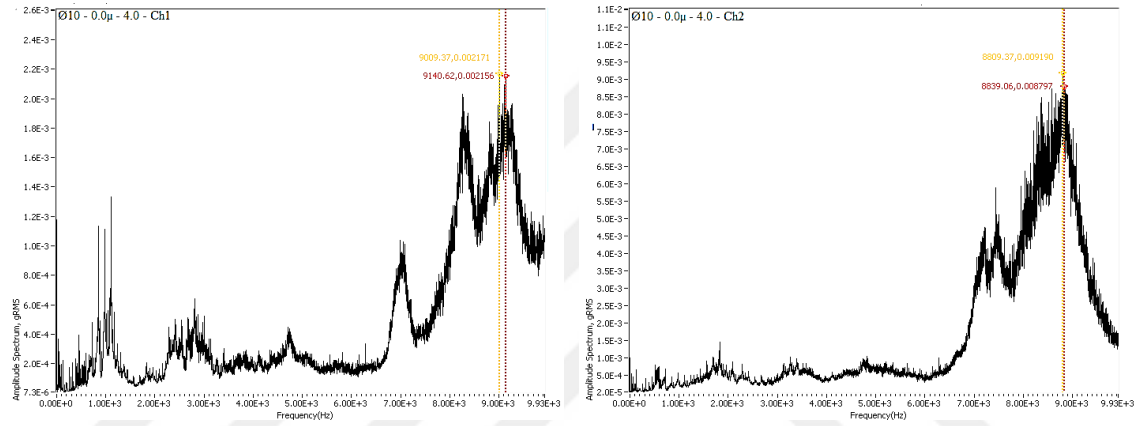
Şekil 4.13. Ø10 mm 0.0 µ kaplama 2.5 mm'deki Ch1-Ch2 titreşim grafikleri.



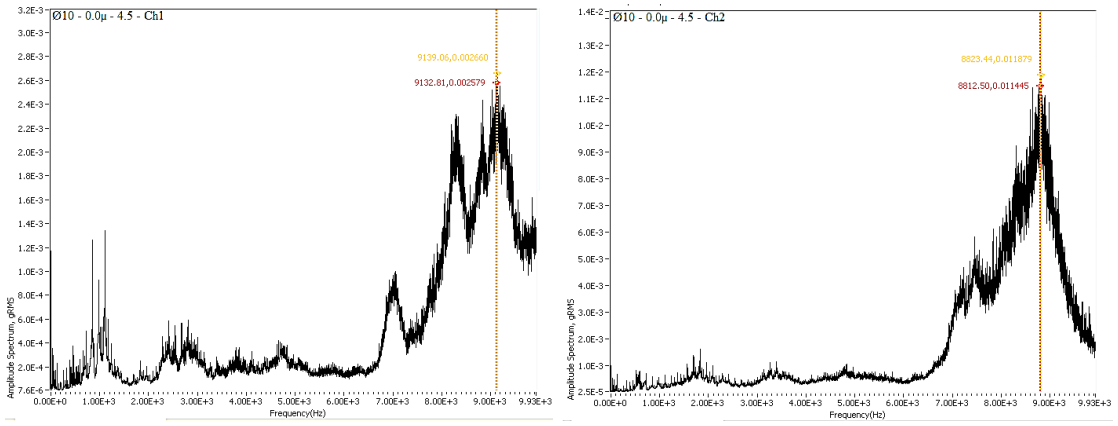
Şekil 4.14. Ø10 mm 0.0 µ kaplama 3.0 mm'deki Ch1-Ch2 titreşim grafikleri.



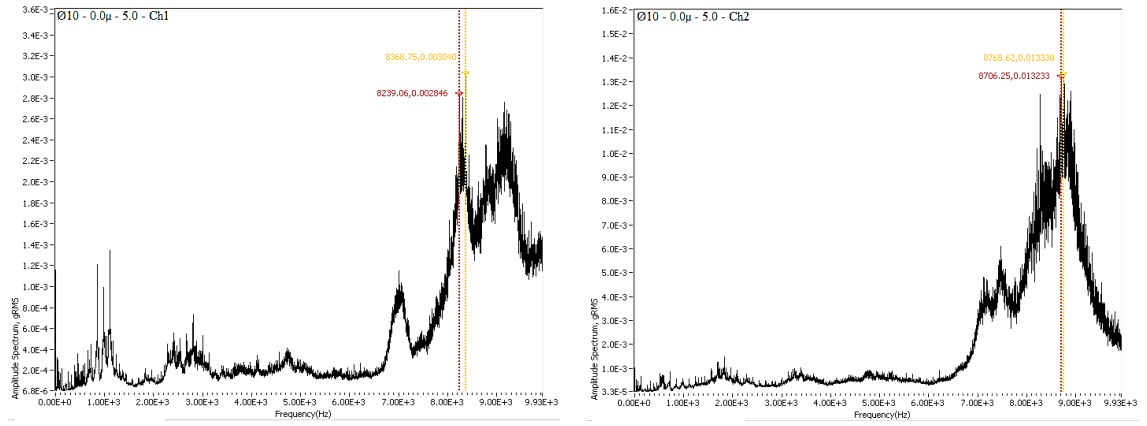
Şekil 4.15. Ø10 mm 0.0 µ kaplama 3.5 mm'deki Ch1-Ch2 titreşim grafikleri.



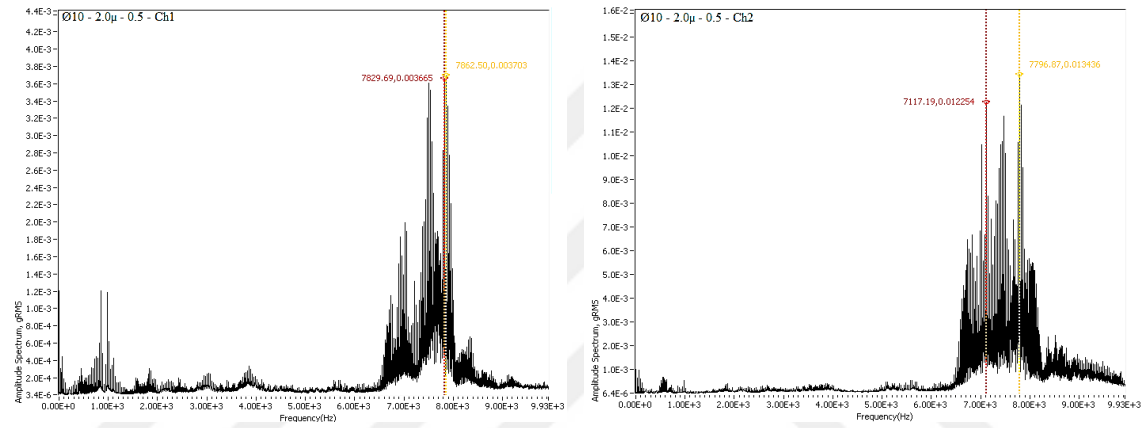
Şekil 4.16. Ø10 mm 0.0 µ kaplama 4.0 mm'deki Ch1-Ch2 titreşim grafikleri.



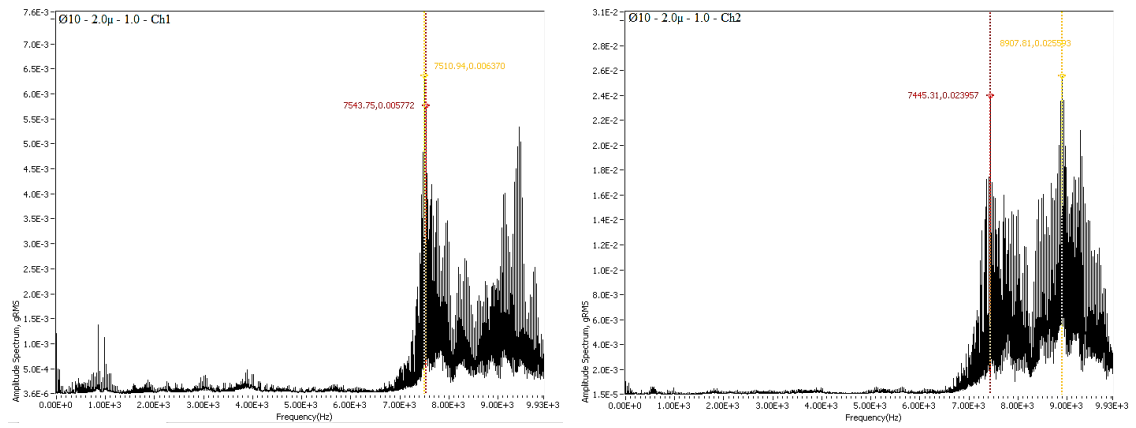
Şekil 4.17. Ø10 mm 0.0 µ kaplama 4.5 mm'deki Ch1-Ch2 titreşim grafikleri.



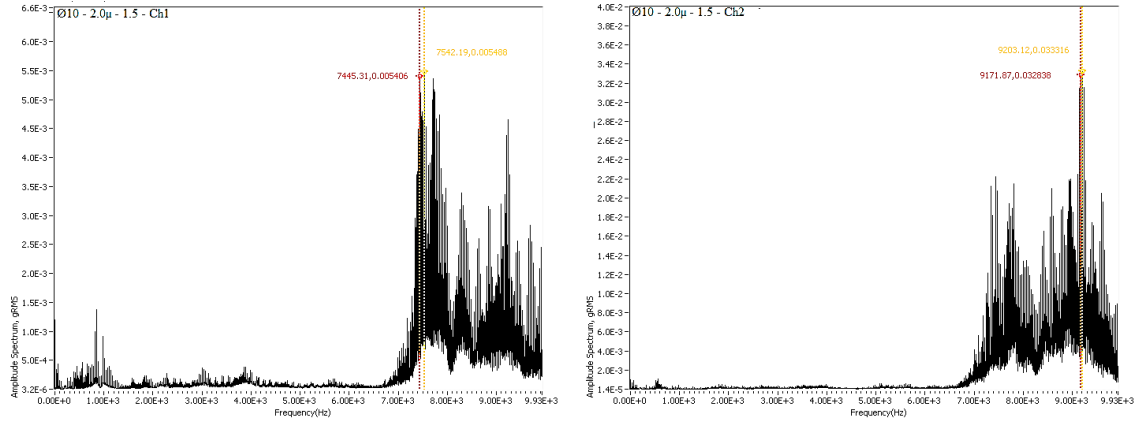
Şekil 4.18. Ø10 mm 0.0 µ kaplama 5.0 mm'deki Ch1-Ch2 titreşim grafikleri.



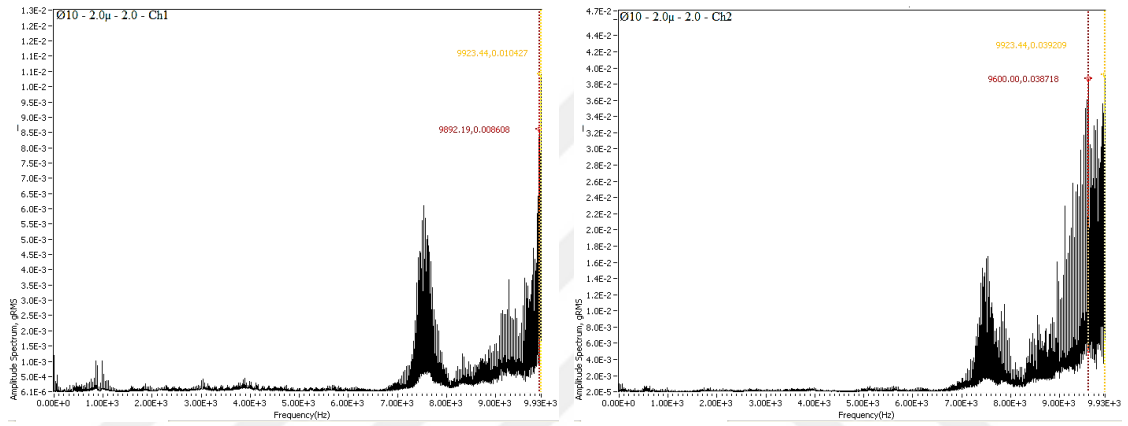
Şekil 4.19. Ø10 mm 2.0 µ kaplama 0.5 mm'deki Ch1-Ch2 titreşim grafikleri.



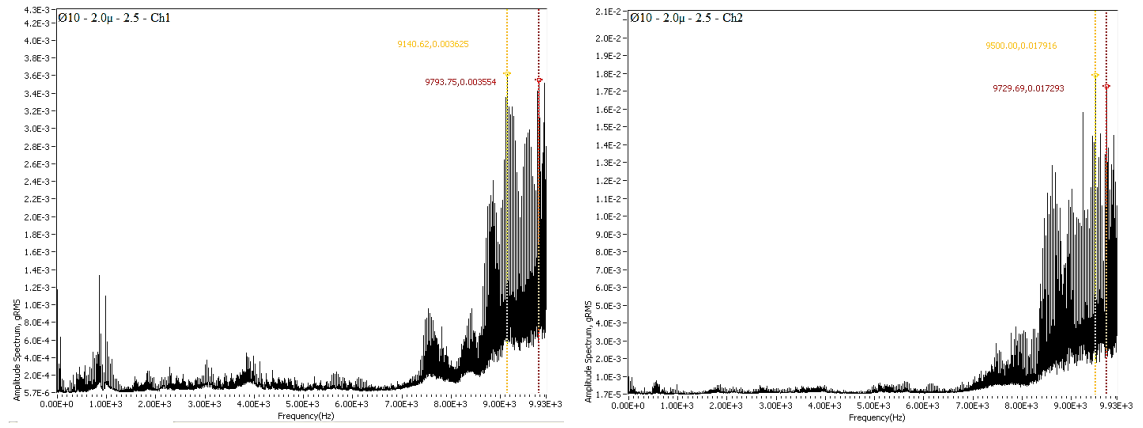
Şekil 4.20. Ø10 mm 2.0 µ kaplama 1.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



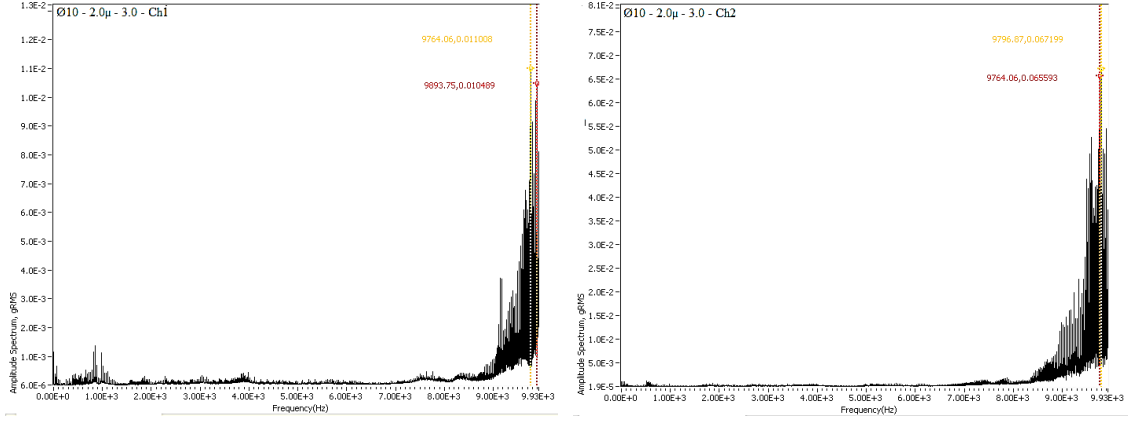
Şekil 4.21. Ø10 mm 2.0 µ kaplama 1.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



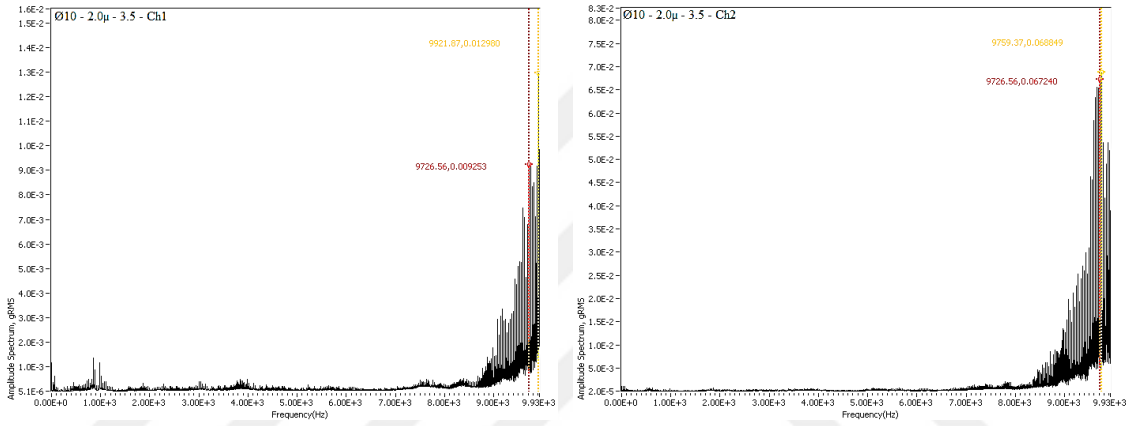
Şekil 4.22. Ø10 mm 2.0 µ kaplama 2.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



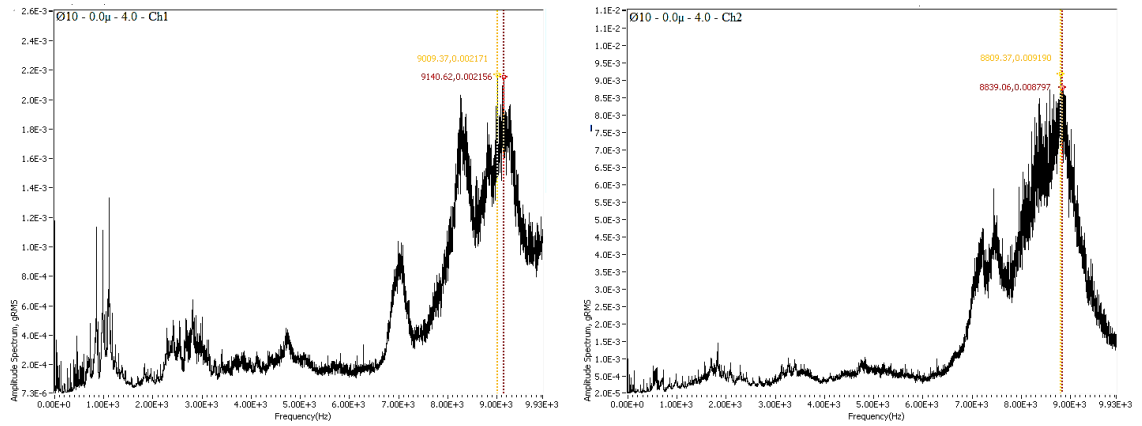
Şekil 4.23. Ø10 mm 2.0 µ kaplama 2.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



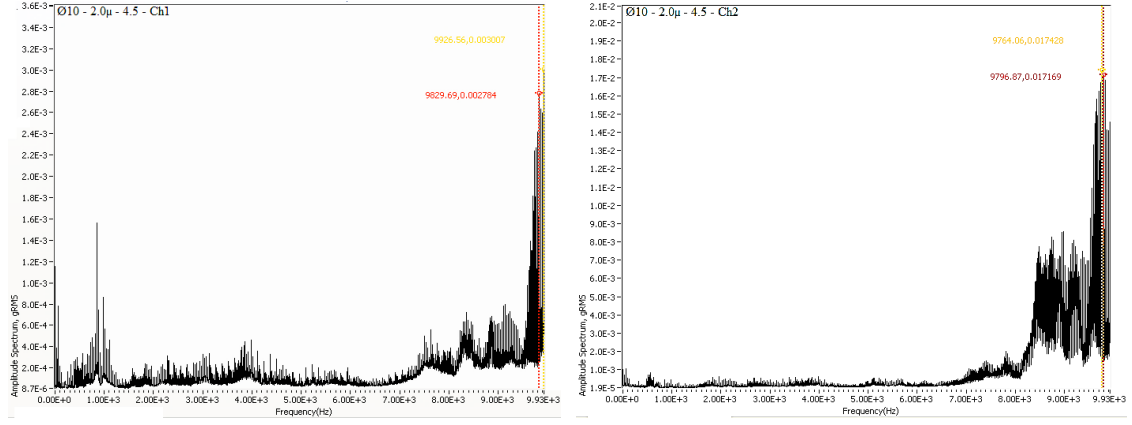
Şekil 4.24. Ø10 mm 2.0 µ kaplama 3.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



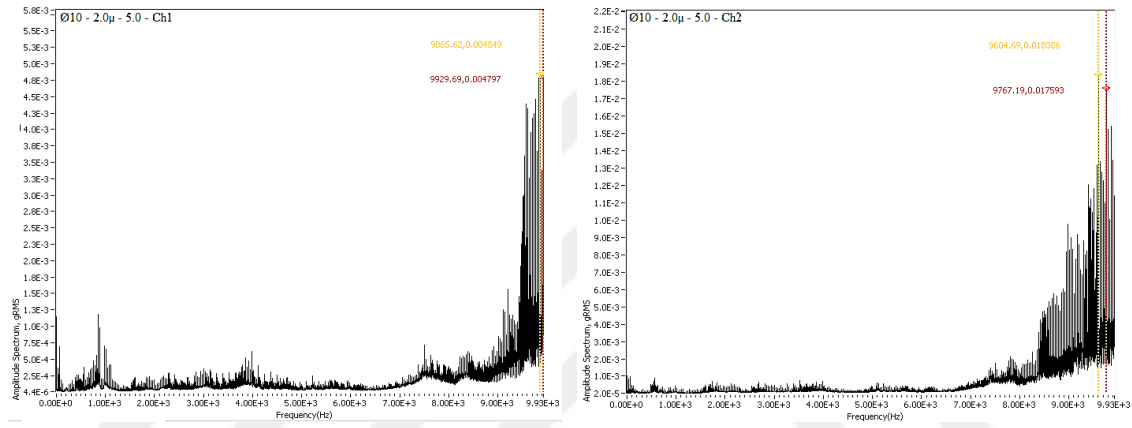
Şekil 4.25. Ø10 mm 2.0 µ kaplama 3.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



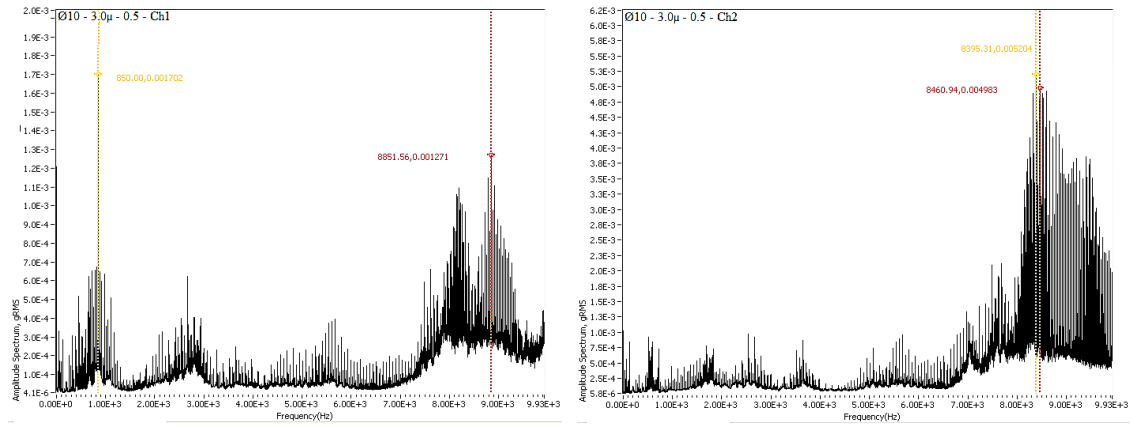
Şekil 4.26. Ø10 mm 2.0 µ kaplama 4.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



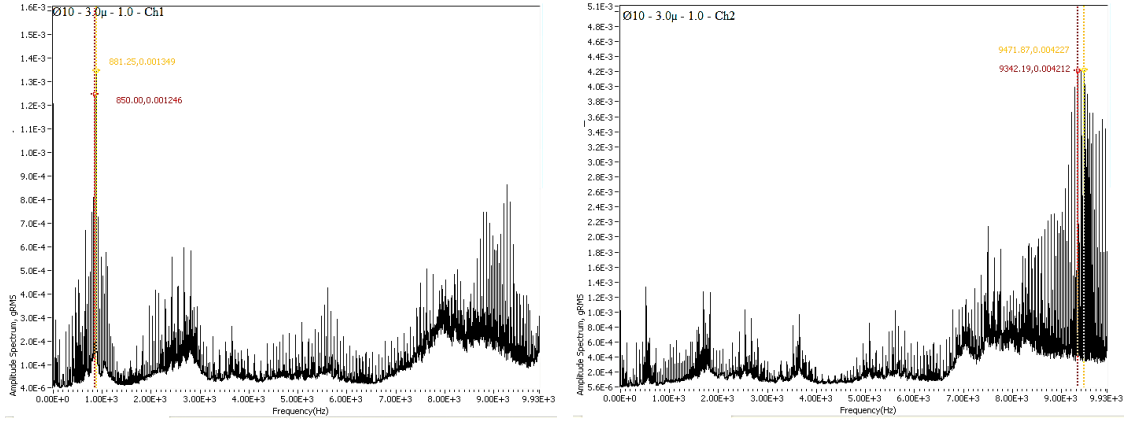
Şekil 4.27. Ø10 mm 2.0 μ kaplama 4.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



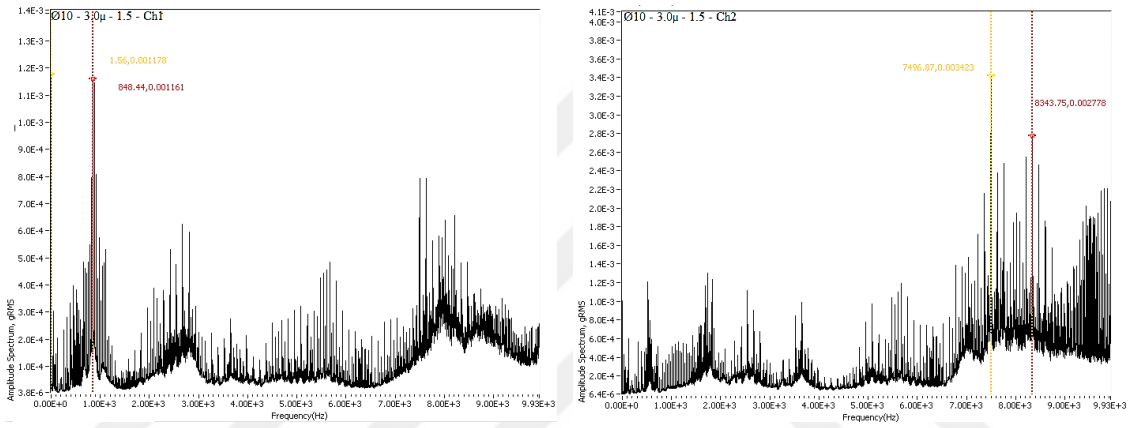
Şekil 4.28. Ø10 mm 2.0 μ kaplama 5.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



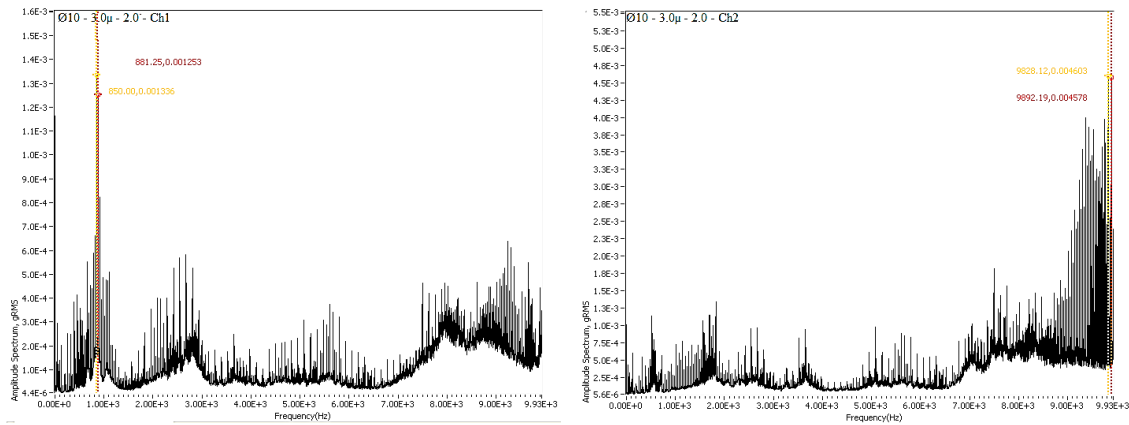
Şekil 4.29. Ø10 mm 3.0 μ kaplama 0.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



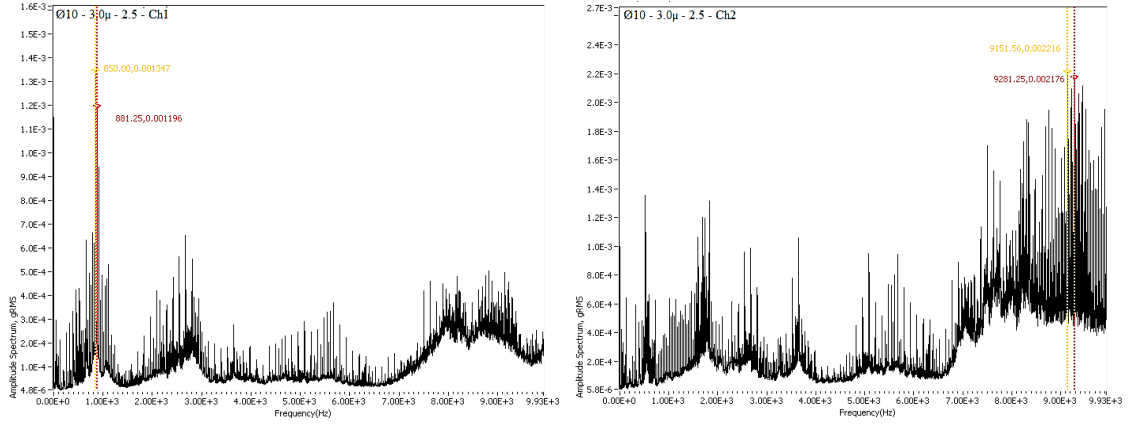
Şekil 4.30. Ø10 mm 3.0 µ kaplama 1.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



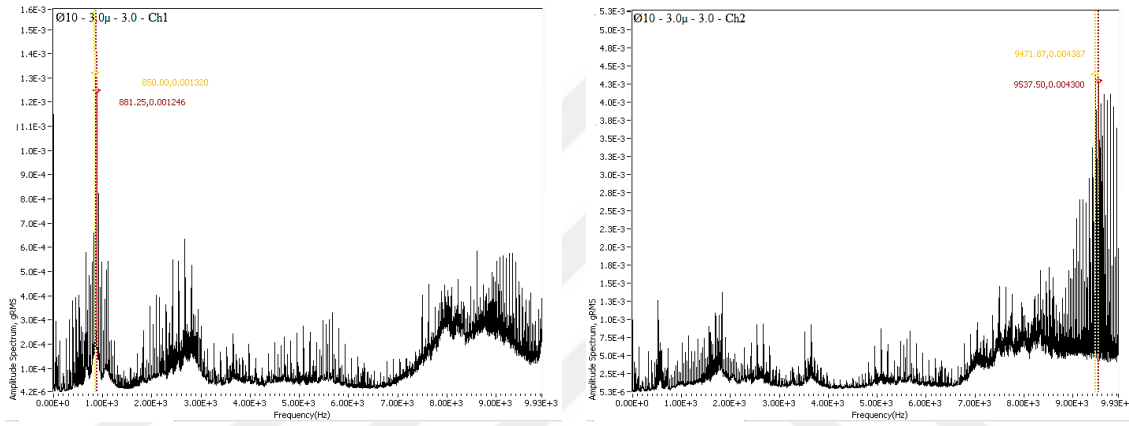
Şekil 4.31. Ø10 mm 3.0 µ kaplama 1.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



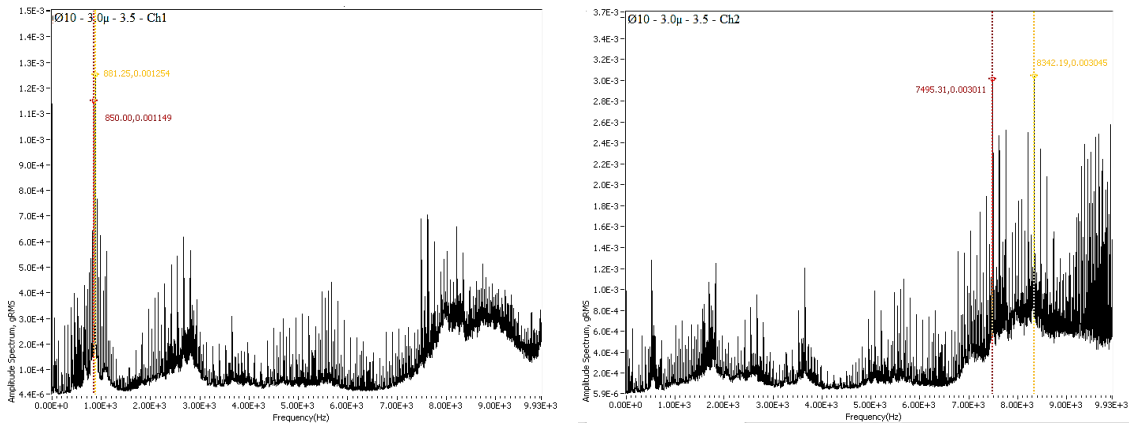
Şekil 4.32. Ø10 mm 3.0 µ kaplama 2.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



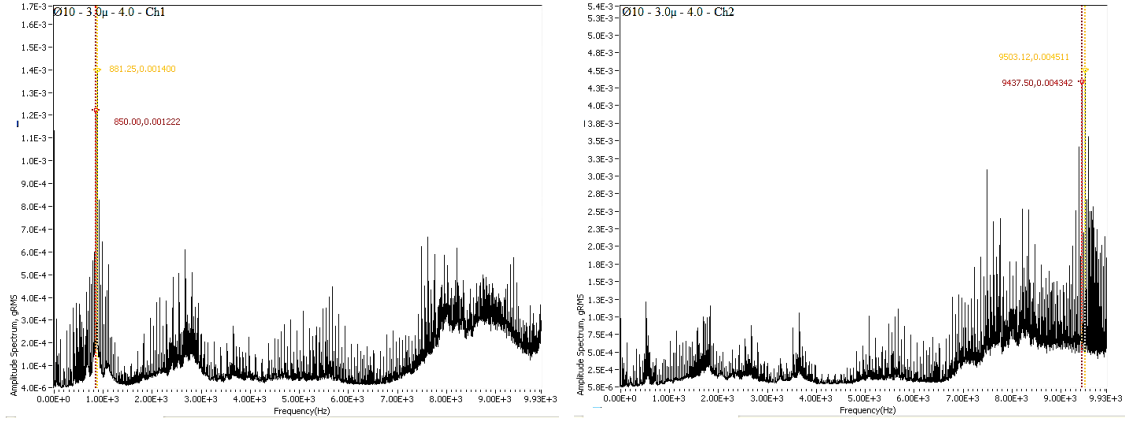
Şekil 4.33. Ø10 mm 3.0 μ kaplama 2.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



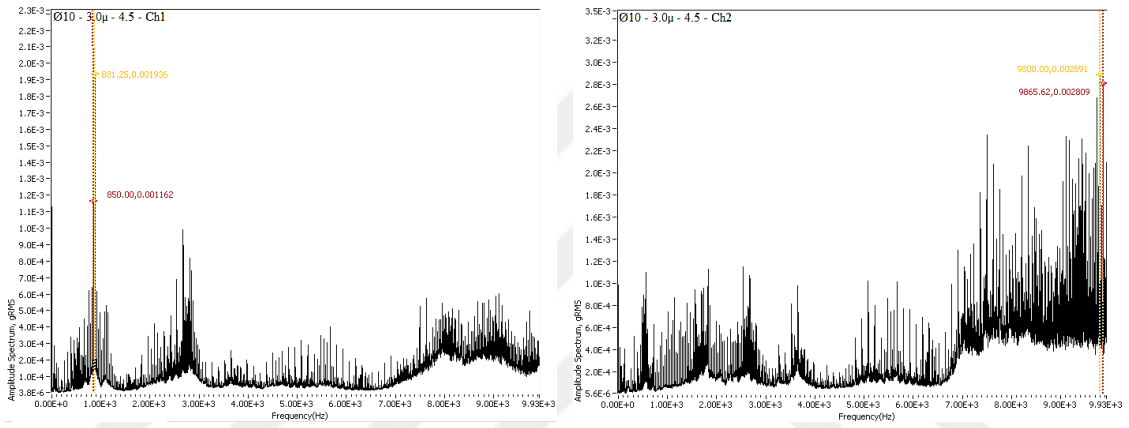
Şekil 4.34. Ø10 mm 3.0 μ kaplama 3.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



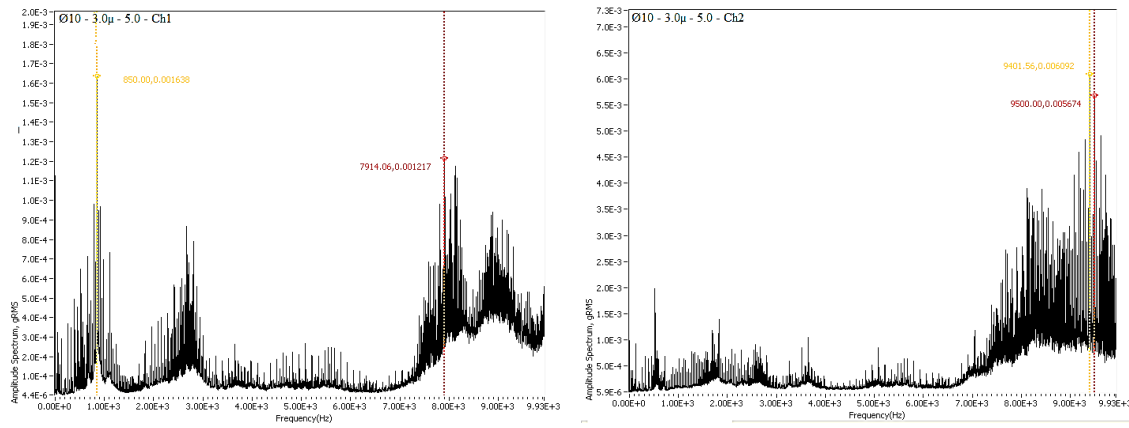
Şekil 4.35. Ø10 mm 3.0 μ kaplama 3.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



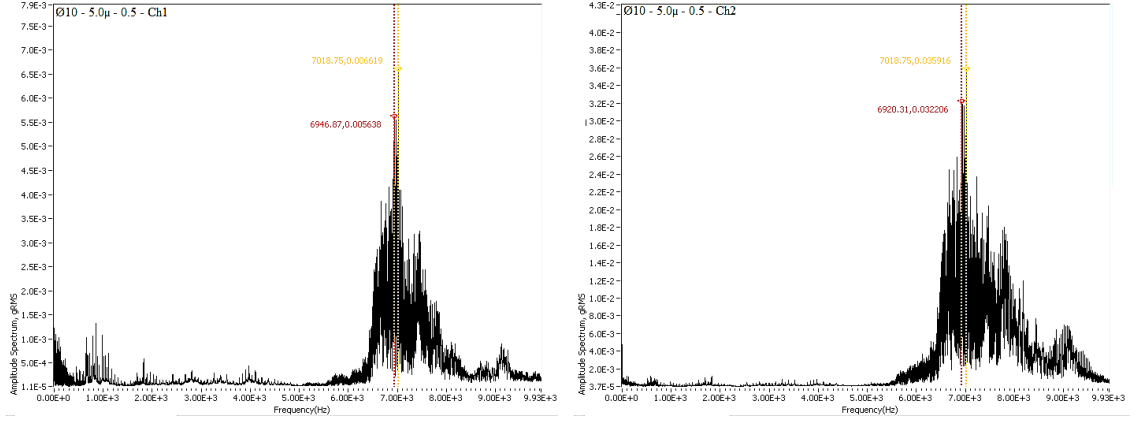
Şekil 4.36. Ø10 mm 3.0 μ kaplama 4.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



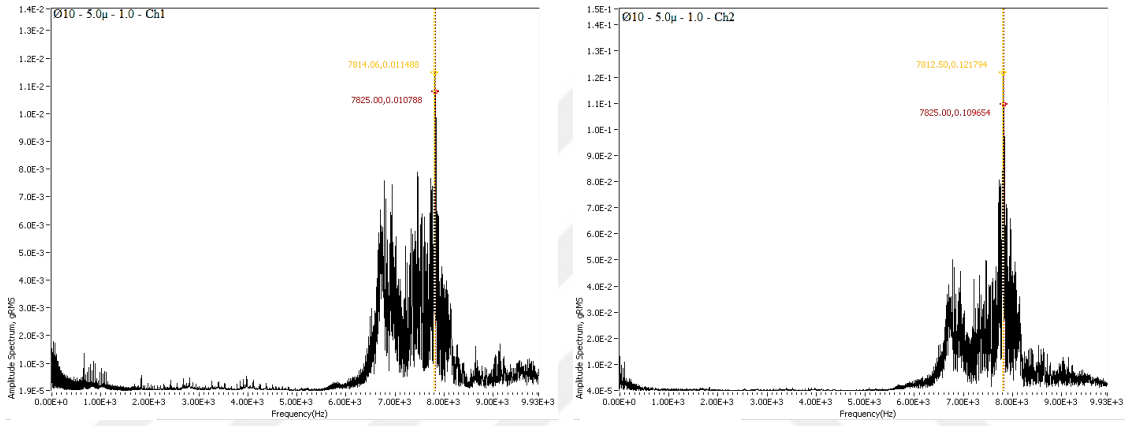
Şekil 4.37. Ø10 mm 3.0 μ kaplama 4.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



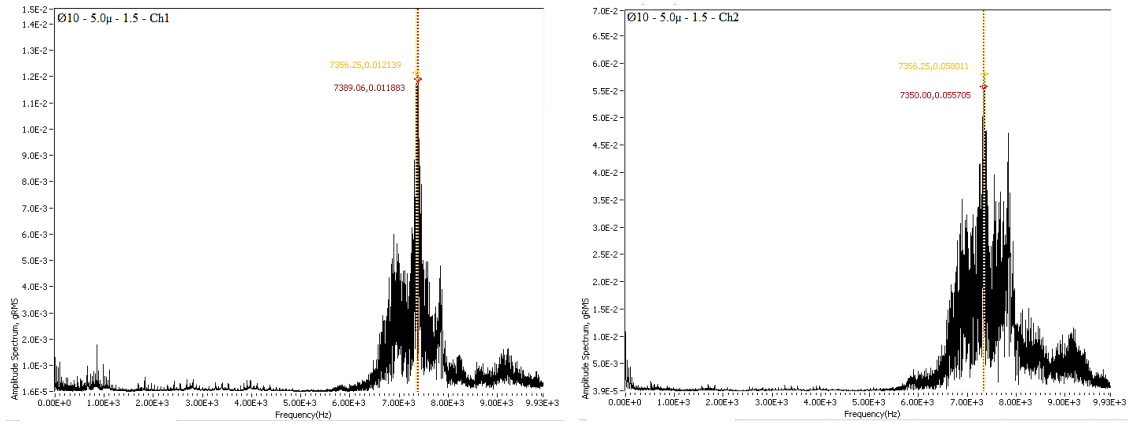
Şekil 4.38. Ø10 mm 3.0 μ kaplama 5.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



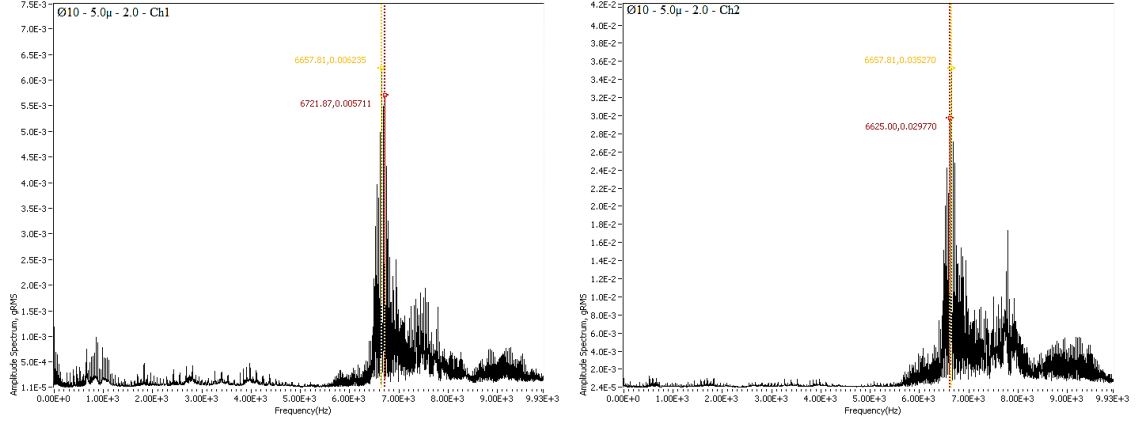
Şekil 4.39. Ø10 mm 5.0 μ kaplama 0.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



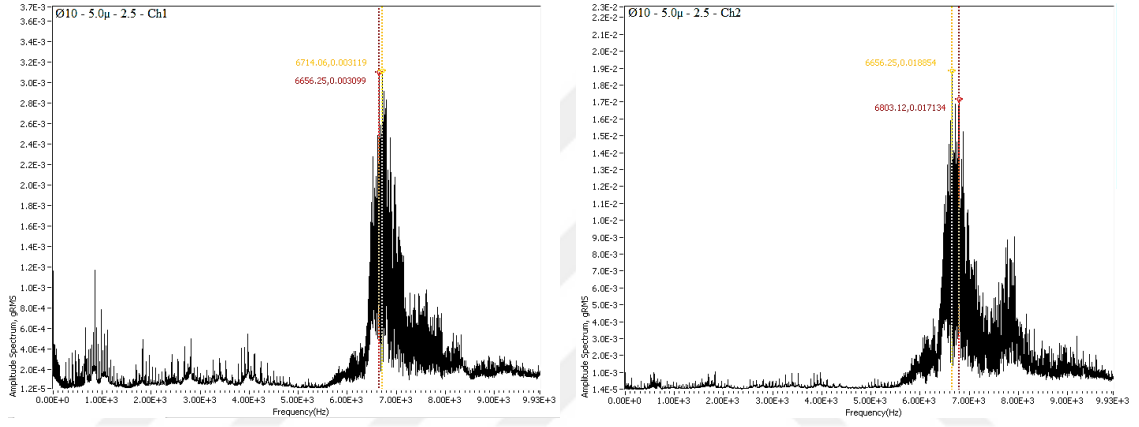
Şekil 4.40. Ø10 mm 5.0 μ kaplama 1.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



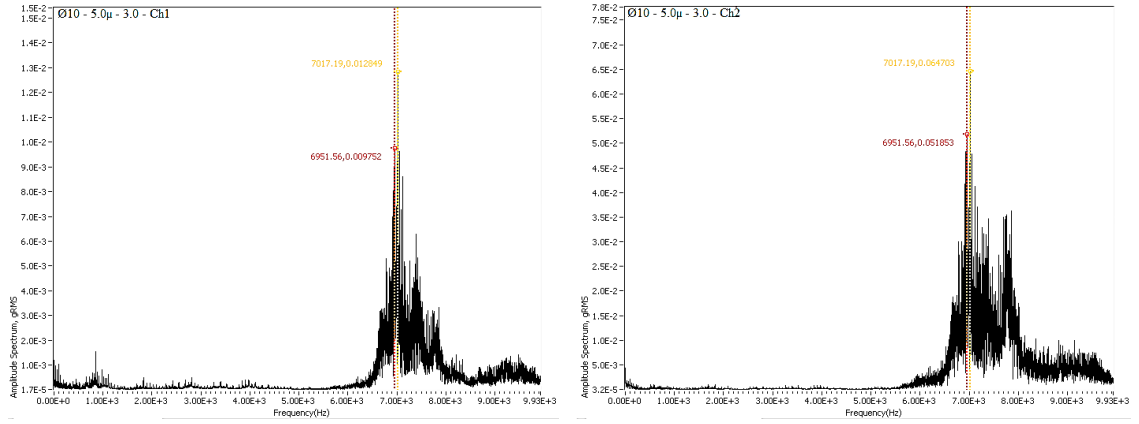
Şekil 4.41. Ø10 mm 5.0 μ kaplama 1.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



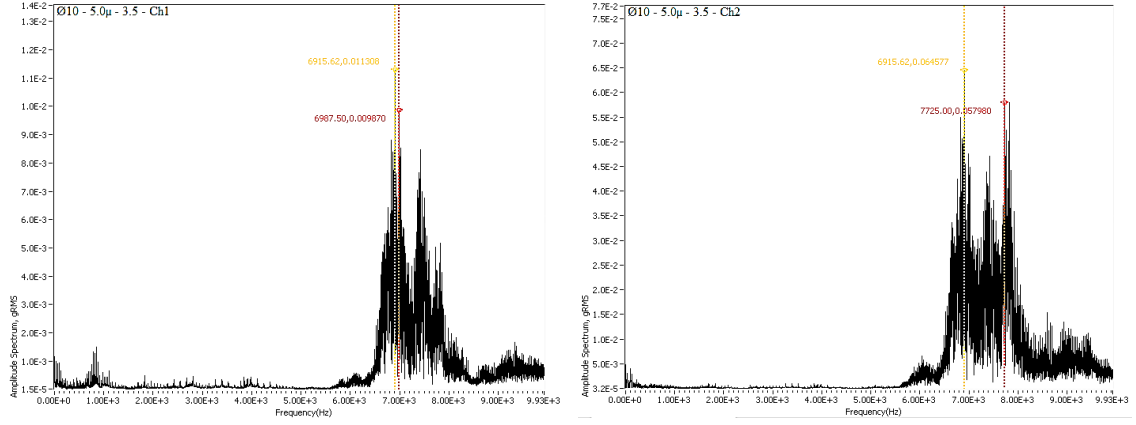
Şekil 4.42. Ø10 mm 5.0 µ kaplama 2.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



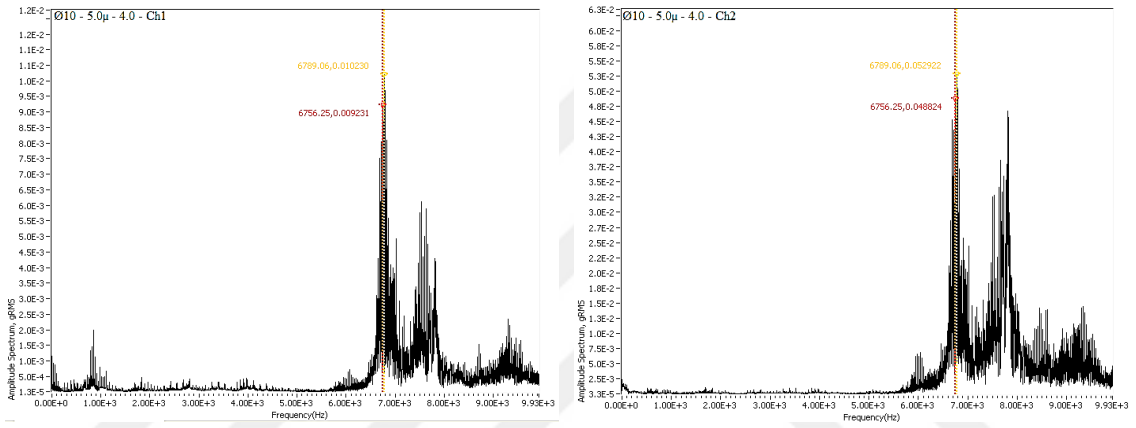
Şekil 4.43. Ø10 mm 5.0 µ kaplama 2.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



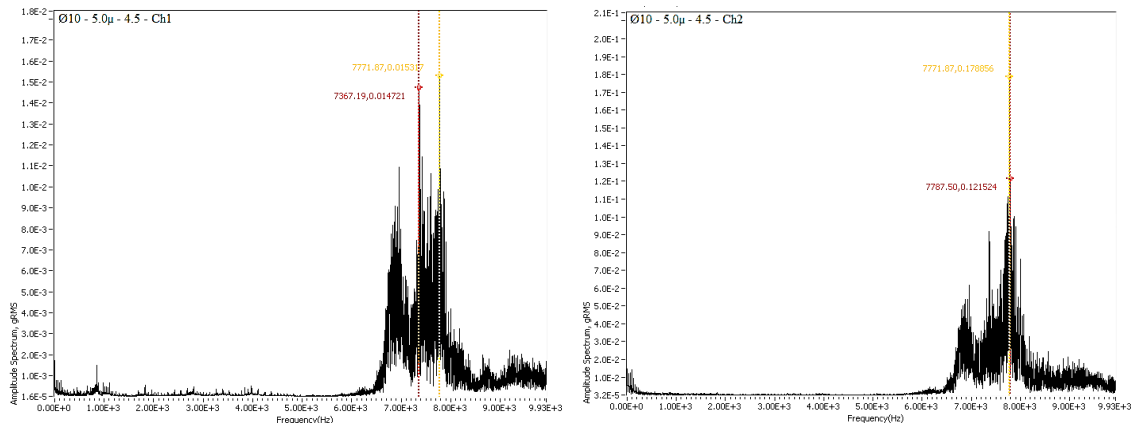
Şekil 4.44. Ø10 mm 5.0 µ kaplama 3.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



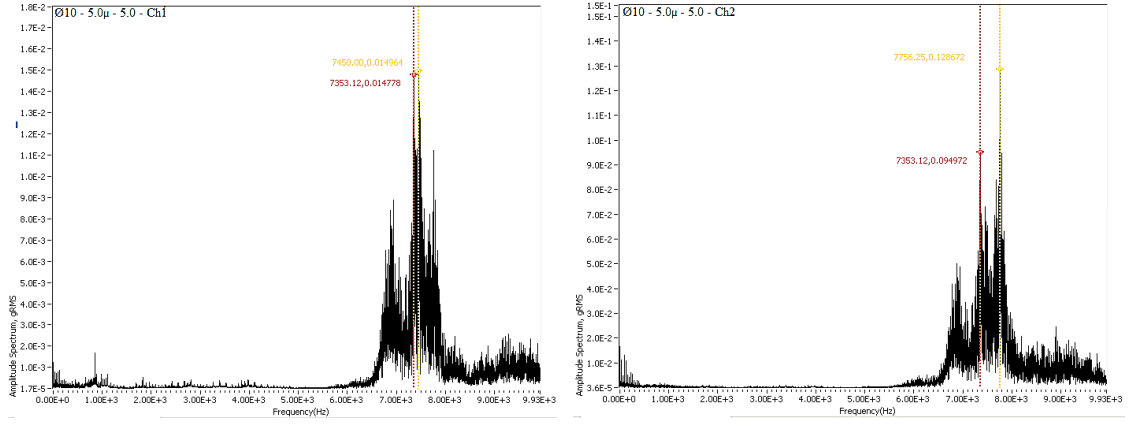
Şekil 4.45. Ø10 mm 5.0 µ kaplama 3.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



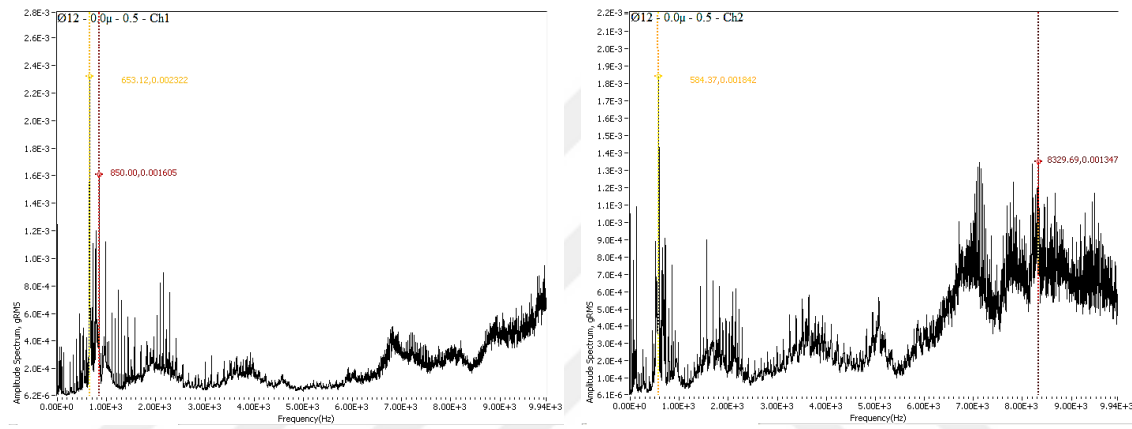
Şekil 4.46. Ø10 mm 5.0 µ kaplama 4.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



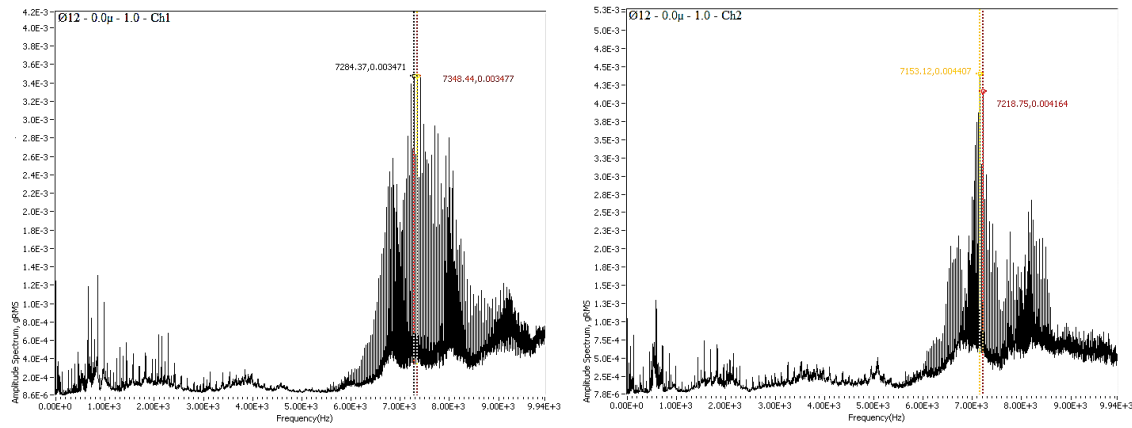
Şekil 4.47. Ø10 mm 5.0 µ kaplama 4.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



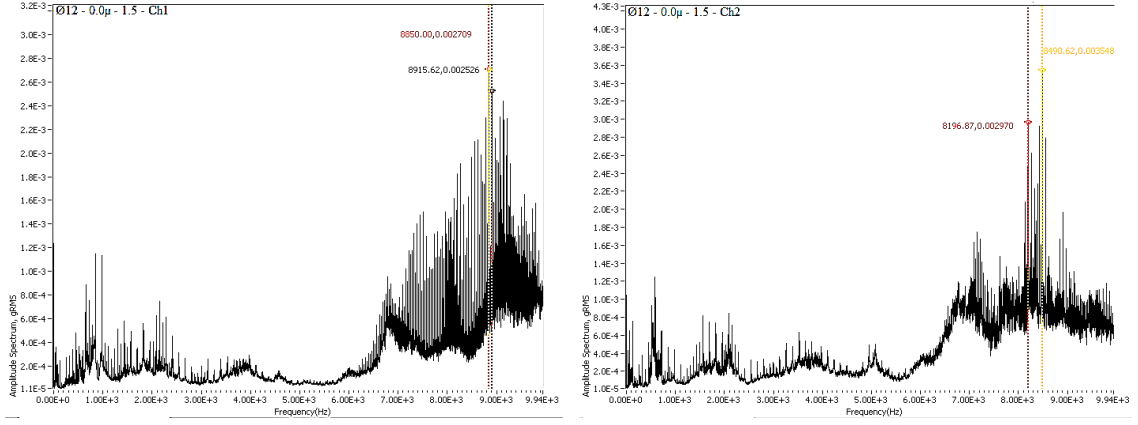
Şekil 4.48. Ø10 mm 5.0 µ kaplama 5.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



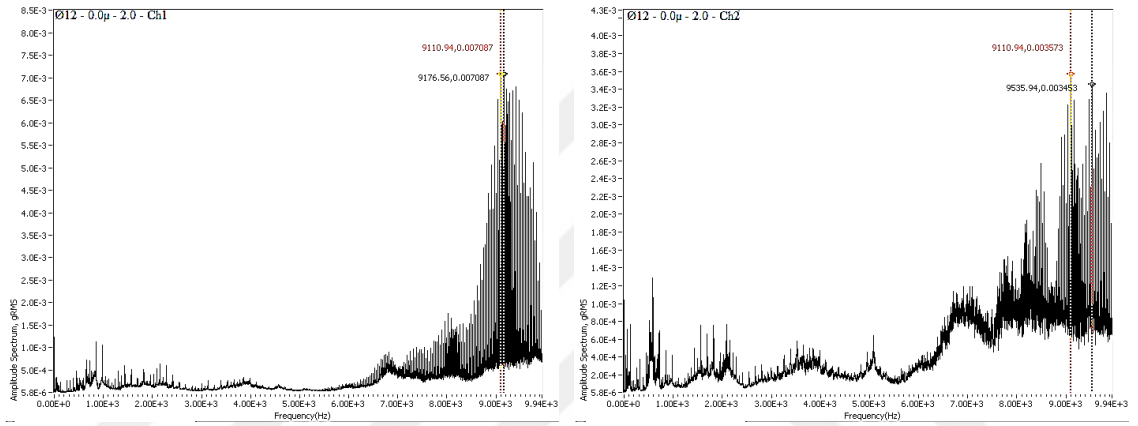
Şekil 4.49. Ø12 mm 0.0 µ kaplama 0.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



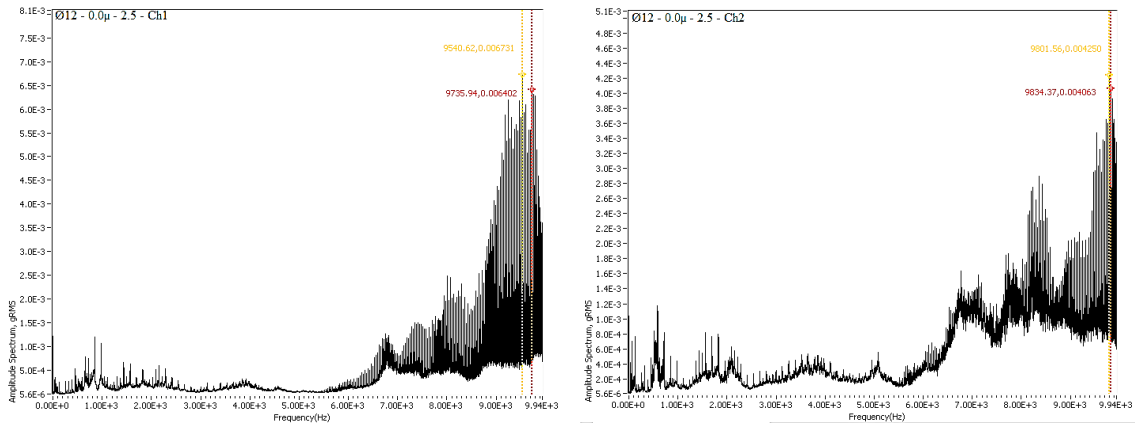
Şekil 4.50. Ø12 mm 0.0 µ kaplama 1.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



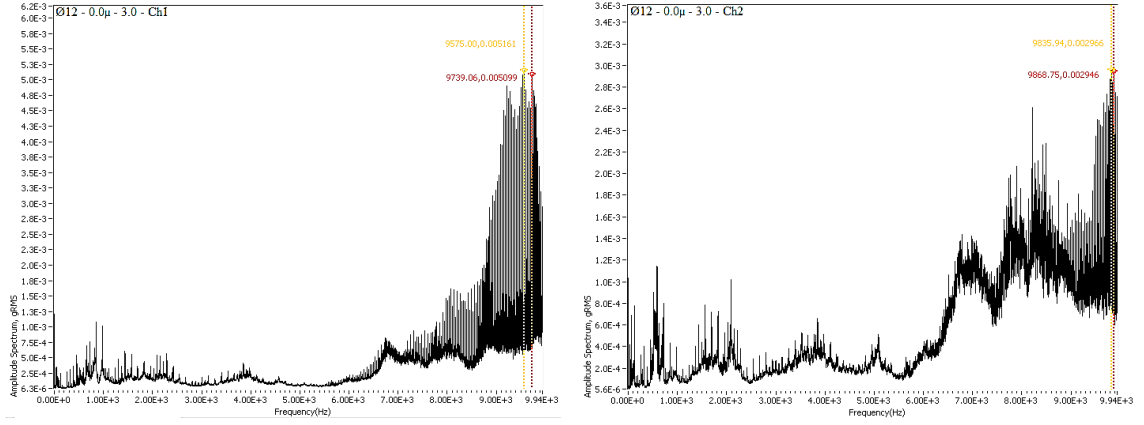
Şekil 4.51. Ø12 mm 0.0 µ kaplama 1.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



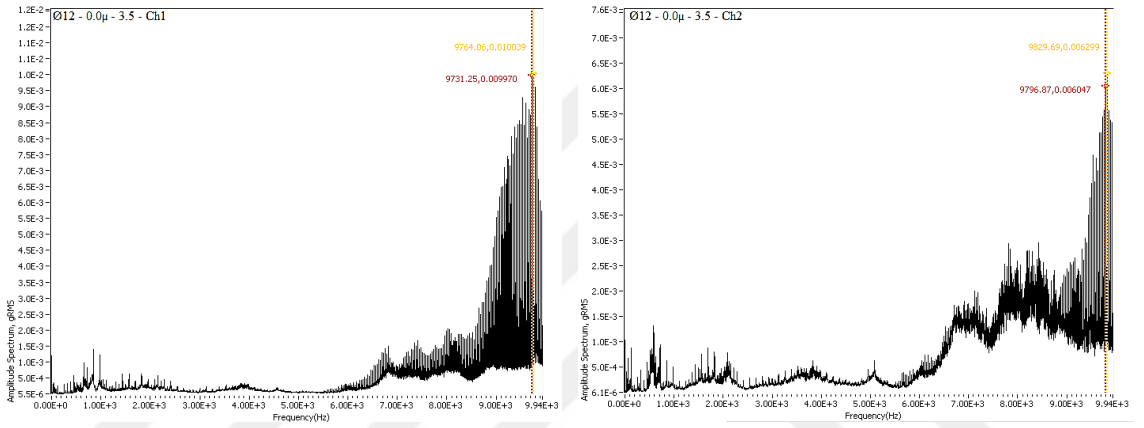
Şekil 4.52. Ø12 mm 0.0 µ kaplama 2.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



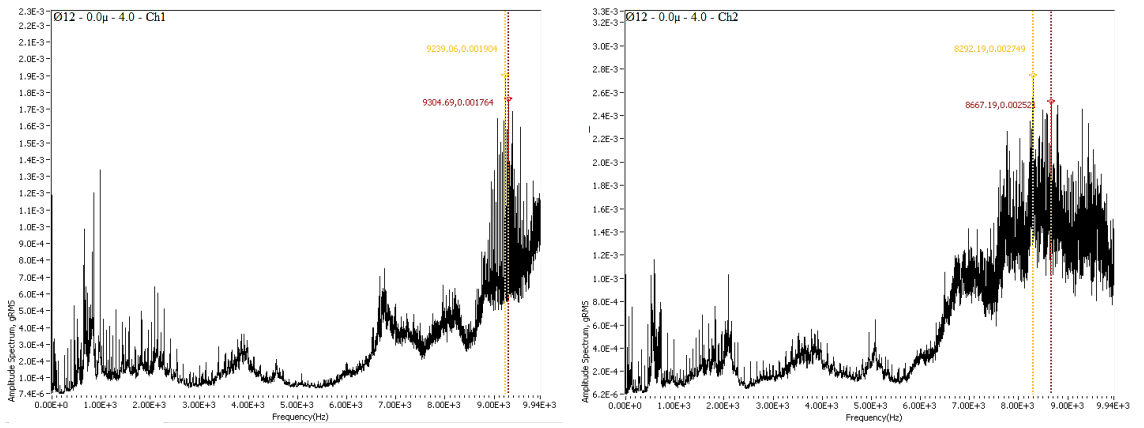
Şekil 4.53. Ø12 mm 0.0 µ kaplama 2.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



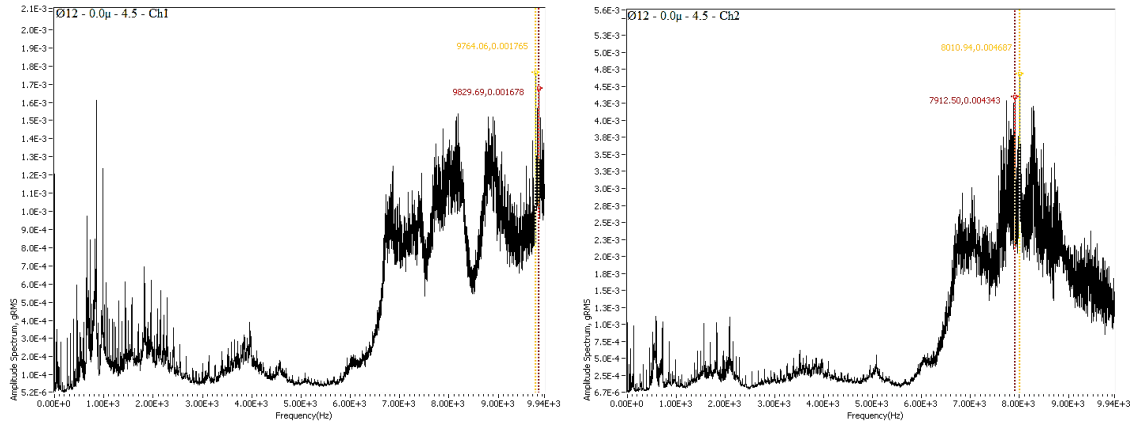
Şekil 4.54. Ø12 mm 0.0 µ kaplama 3.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



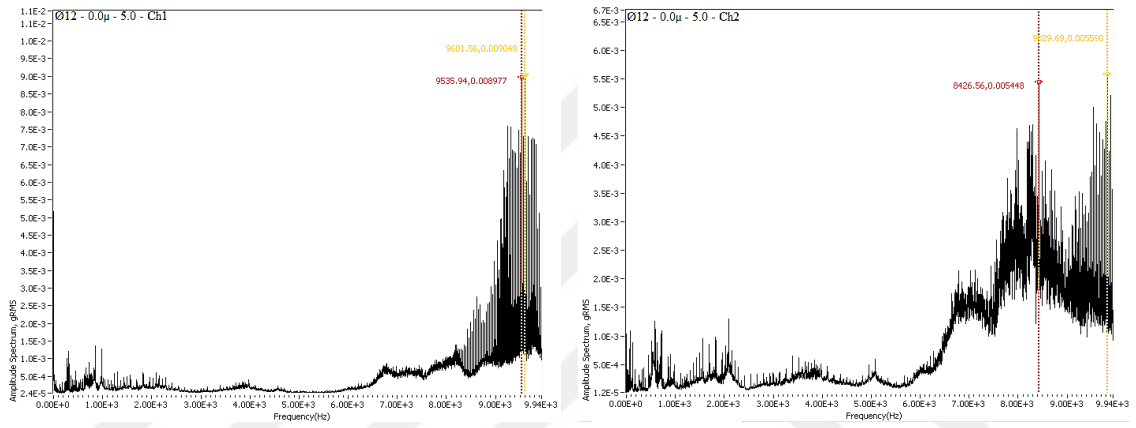
Şekil 4.55. Ø12 mm 0.0 µ kaplama 3.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



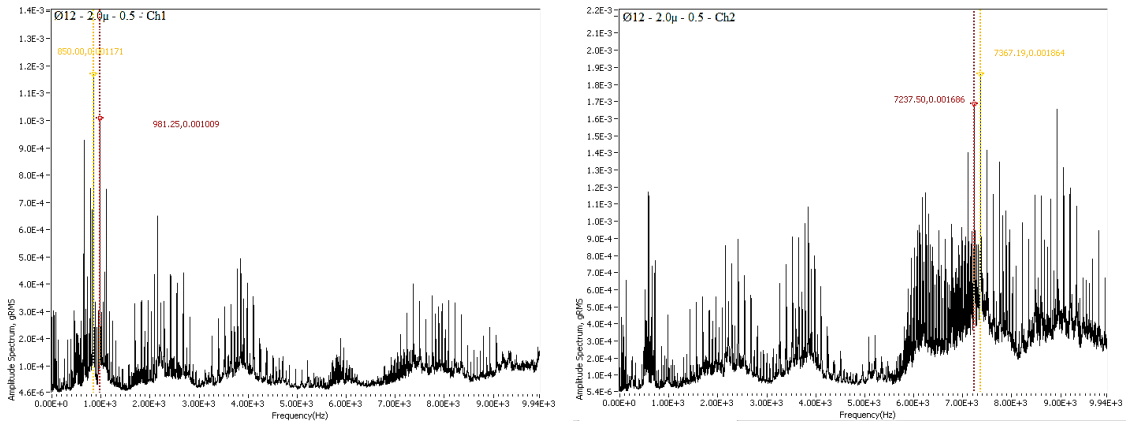
Şekil 4.56. Ø12 mm 0.0 µ kaplama 4.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



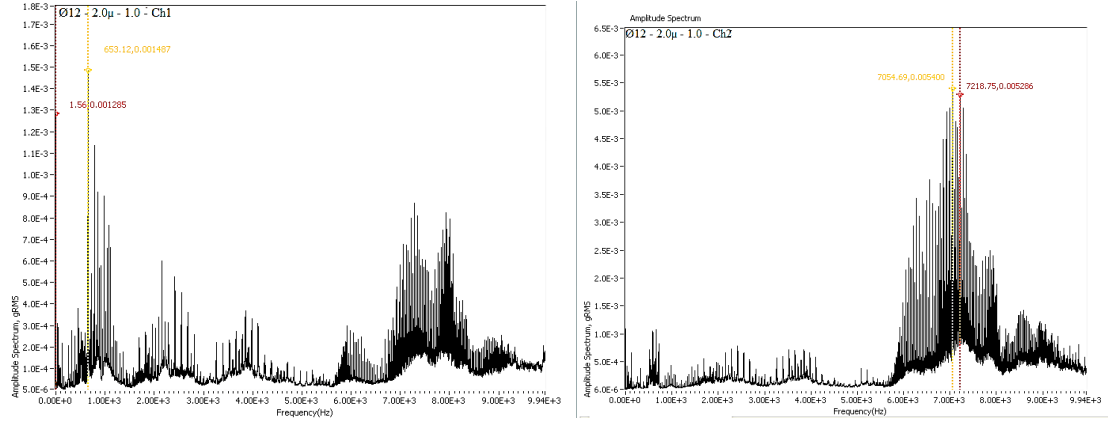
Şekil 4.57. Ø12 mm 0.0 μ kaplama 4.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



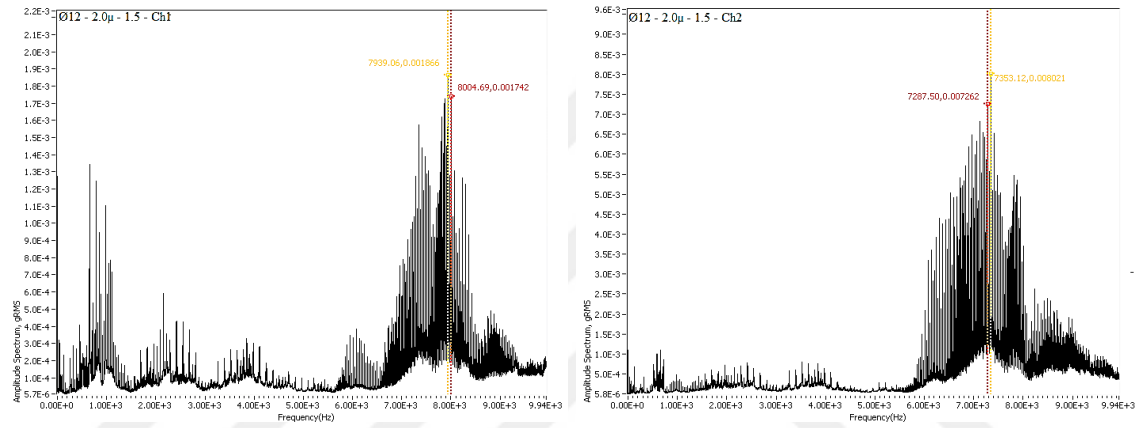
Şekil 4.58. Ø12 mm 0.0 μ kaplama 5.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



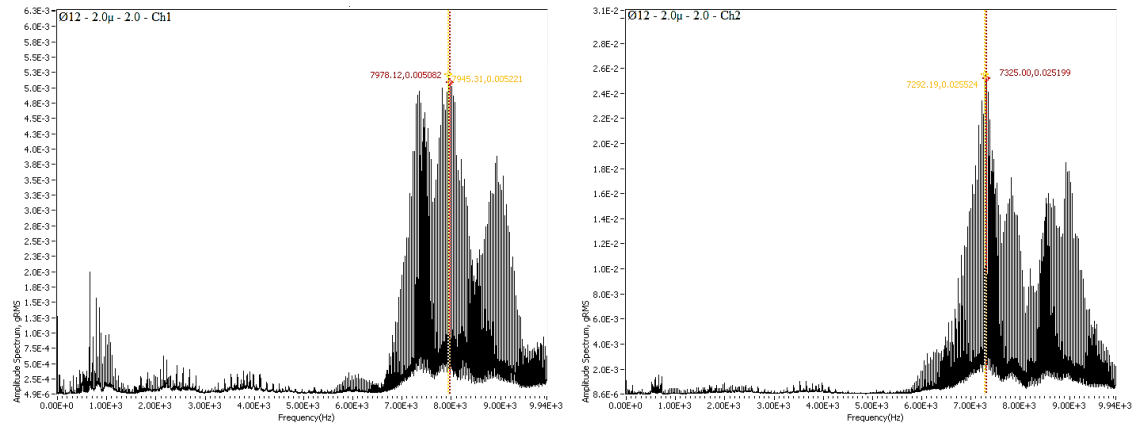
Şekil 4.59. Ø12 mm 2.0 μ kaplama 0.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



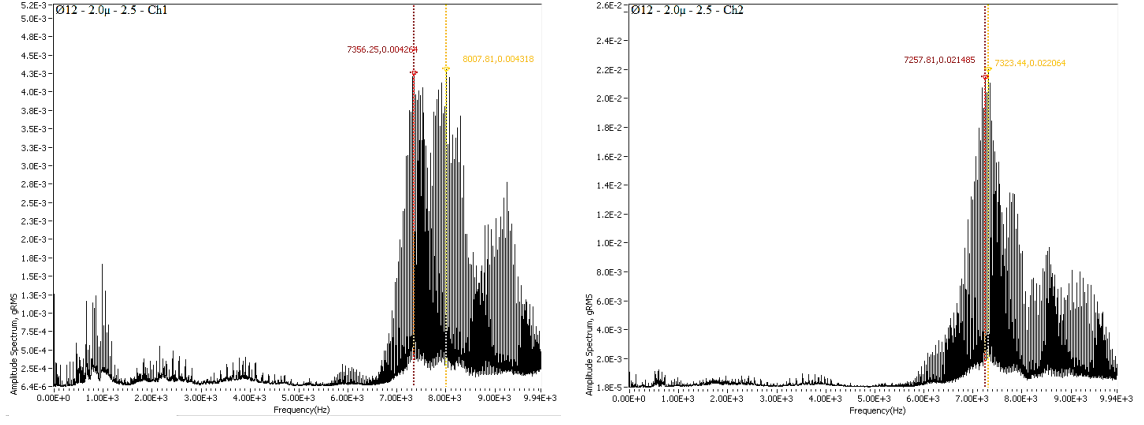
Şekil 4.60. Ø12 mm 2.0 µ kaplama 1.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



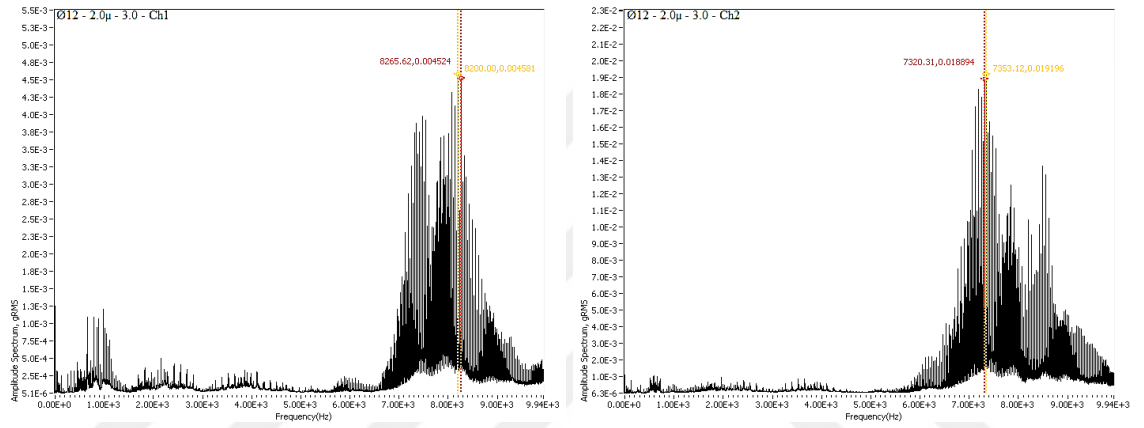
Şekil 4.61. Ø12 mm 2.0 µ kaplama 1.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



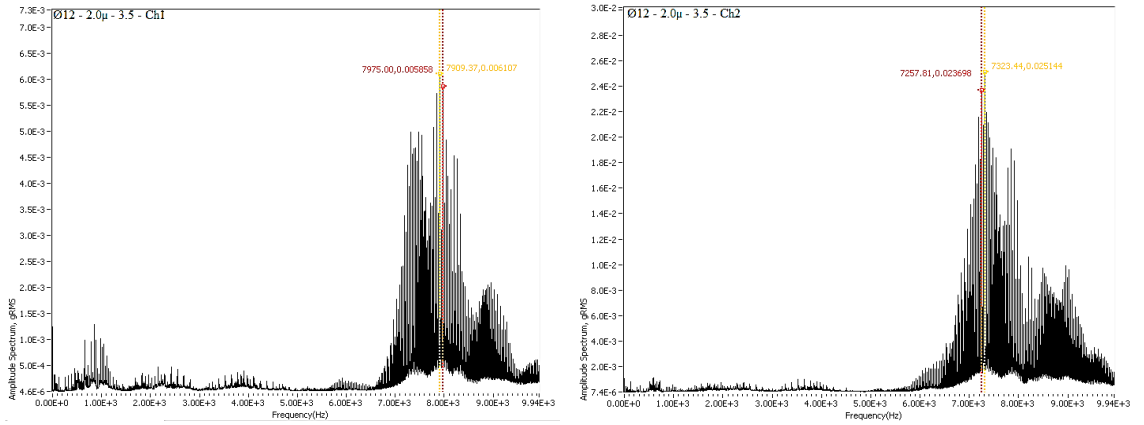
Şekil 4.62. Ø12 mm 2.0 µ kaplama 2.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



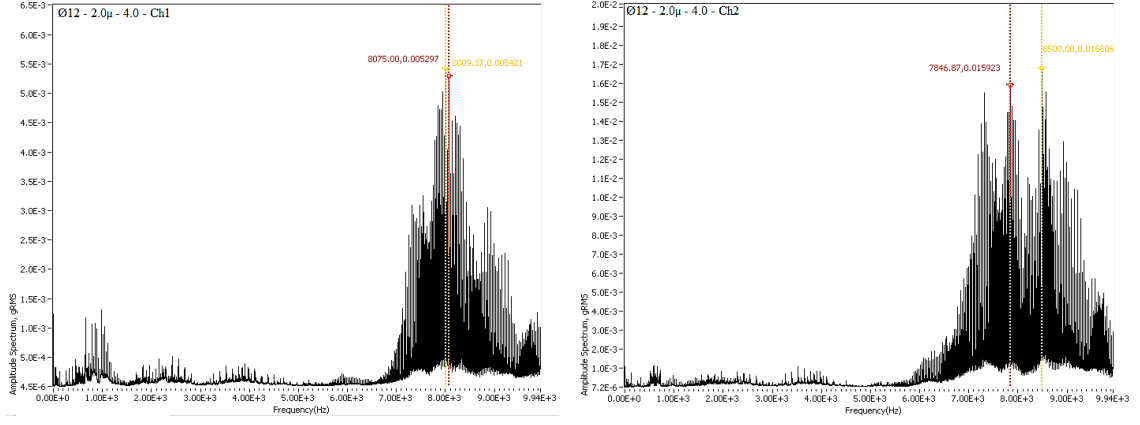
Şekil 4.63. Ø12 mm 2.0 μ kaplama 2.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



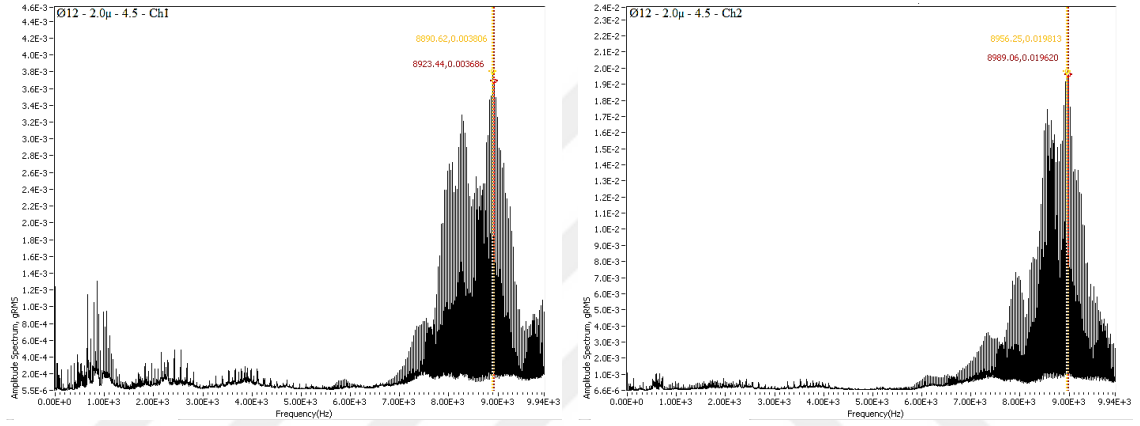
Şekil 4.64. Ø12 mm 2.0 μ kaplama 3.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



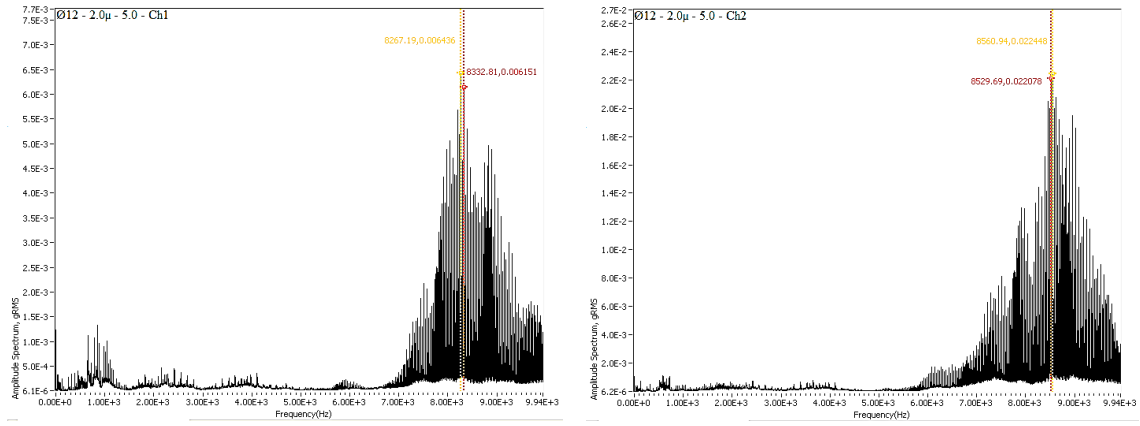
Şekil 4.65. Ø12 mm 2.0 μ kaplama 3.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



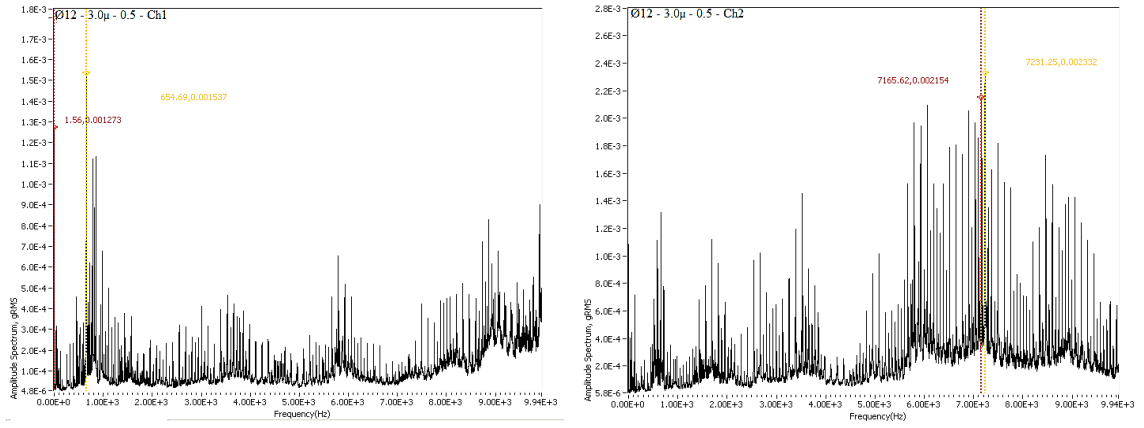
Şekil 4.66. Ø12 mm 2.0 µ kaplama 4.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



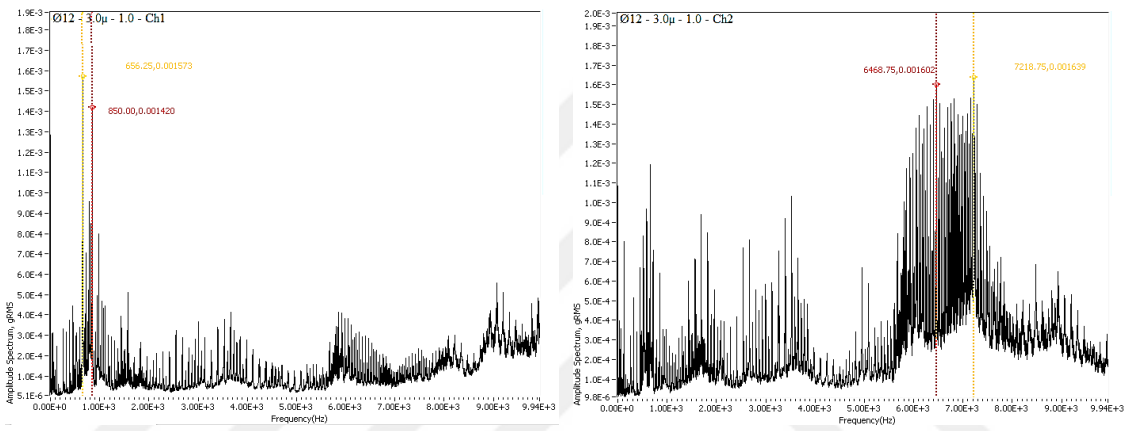
Şekil 4.67. Ø12 mm 2.0 µ kaplama 4.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



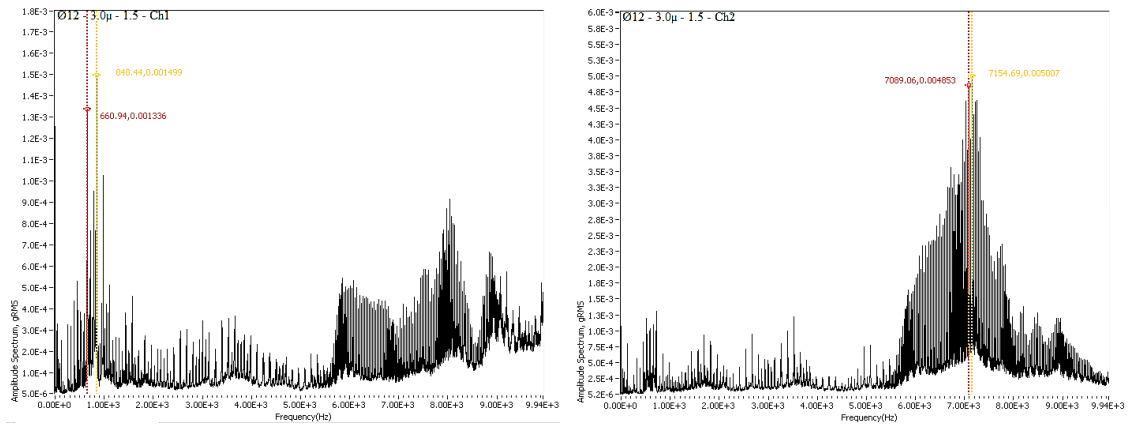
Şekil 4.68. Ø12 mm 2.0 µ kaplama 5.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



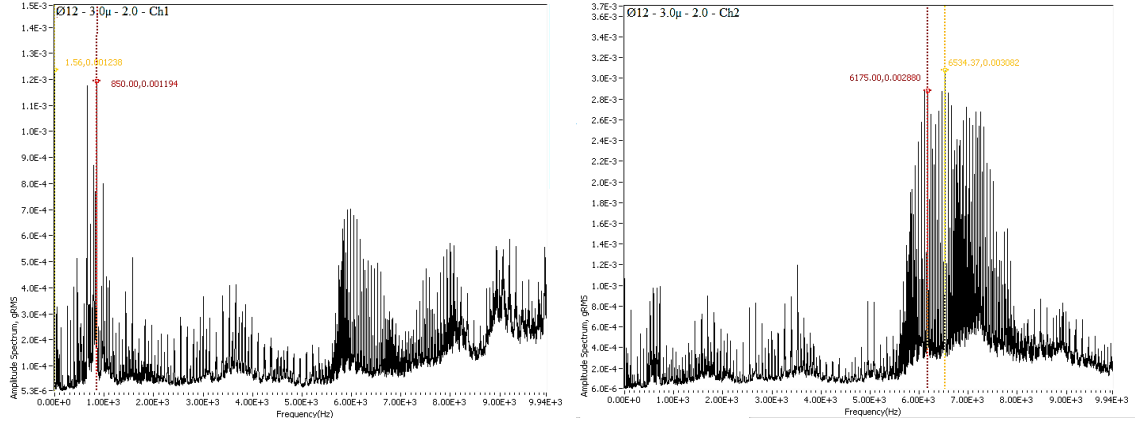
Şekil 4.69. Ø12 mm 3.0 µ kaplama 0.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



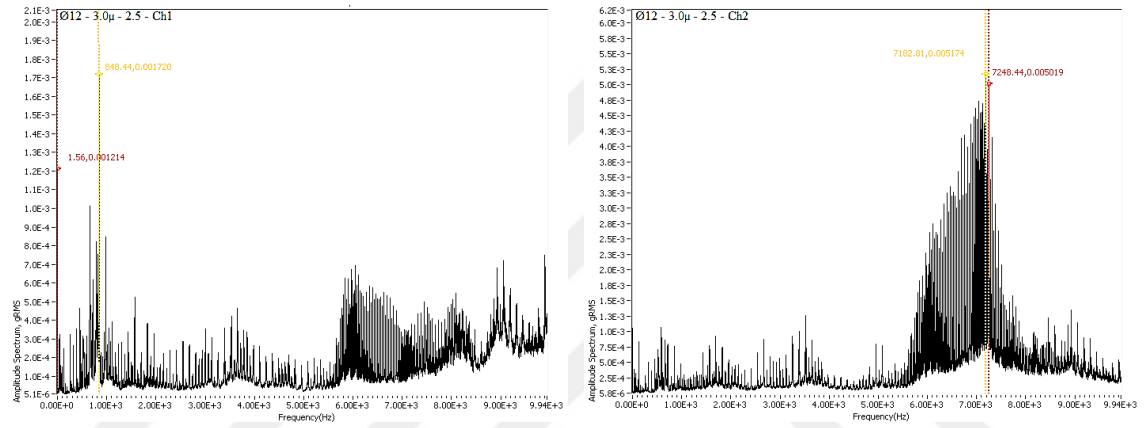
Şekil 4.70. Ø12 mm 3.0 µ kaplama 1.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



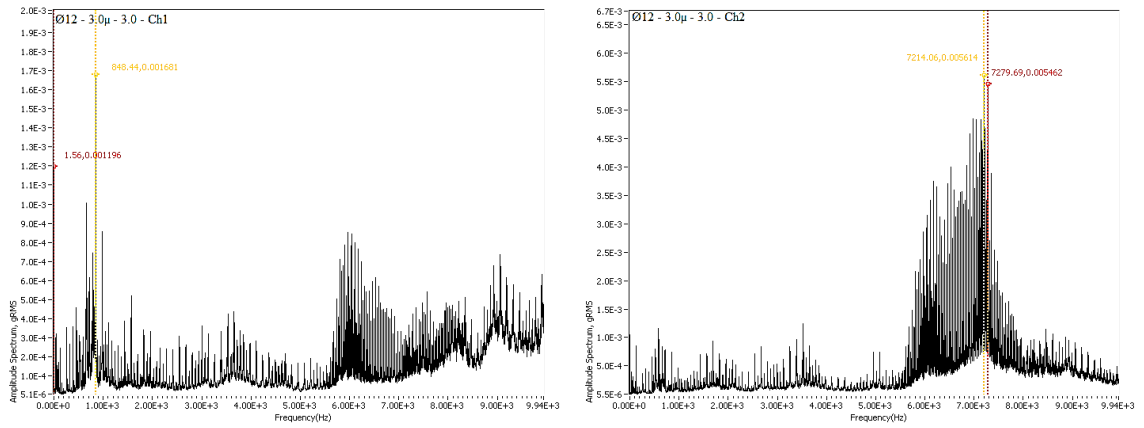
Şekil 4.71. Ø12 mm 3.0 µ kaplama 1.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



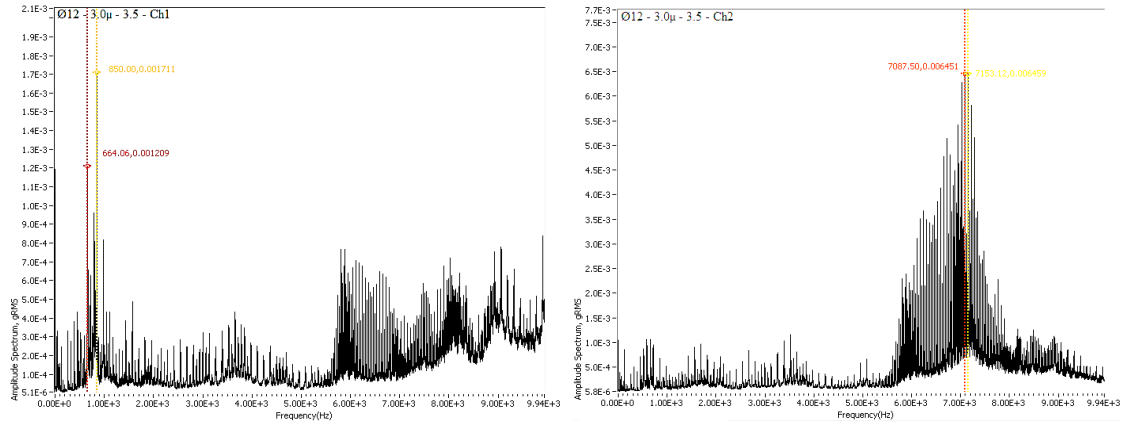
Şekil 4.72. Ø12 mm 3.0 µ kaplama 2.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



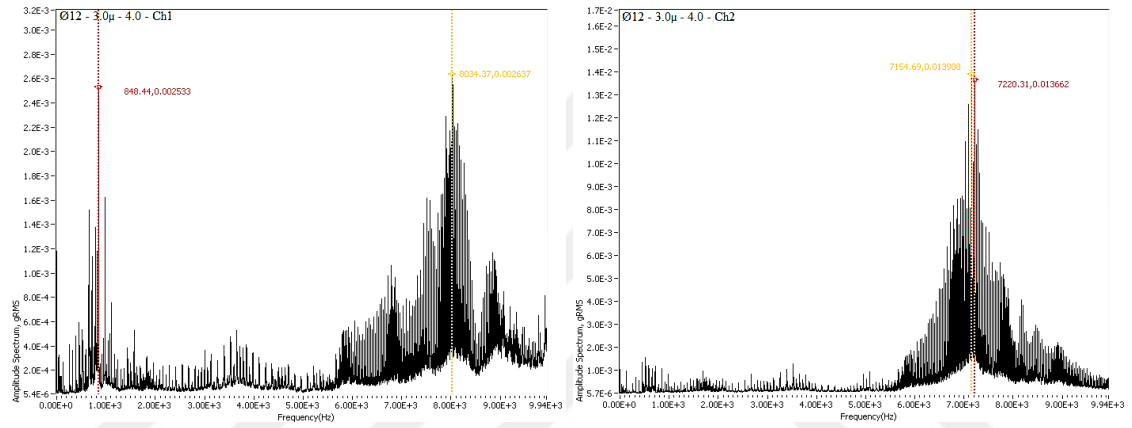
Şekil 4.73. Ø12 mm 3.0 µ kaplama 2.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



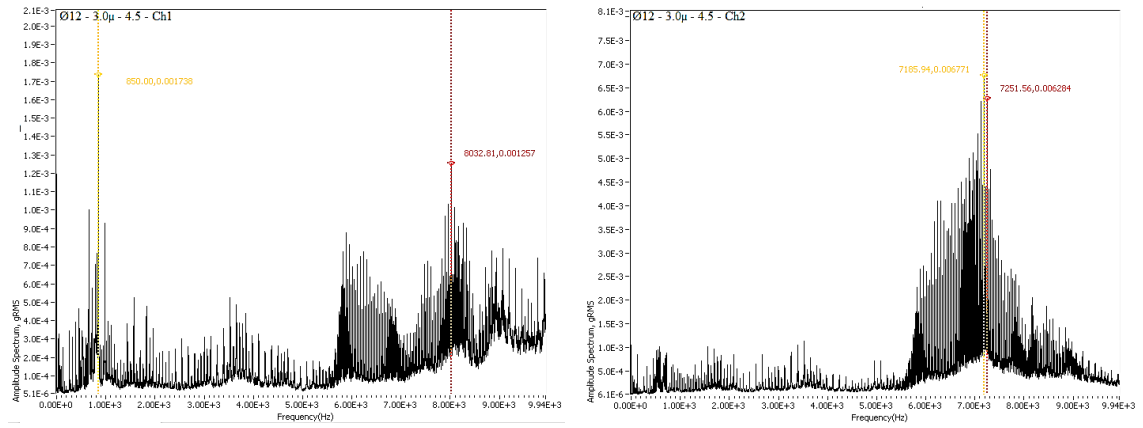
Şekil 4.74. Ø12 mm 3.0 µ kaplama 3.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



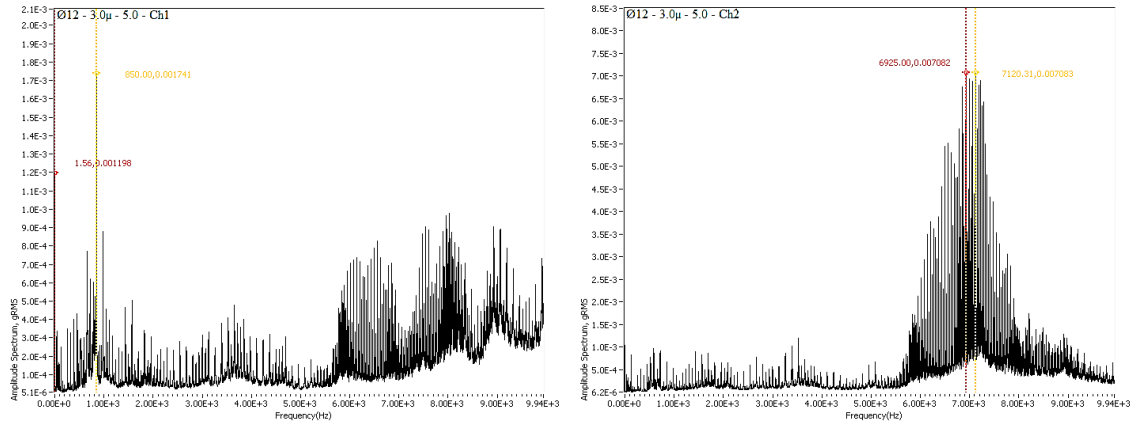
Şekil 4.75. Ø12 mm 3.0 μ kaplama 3.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



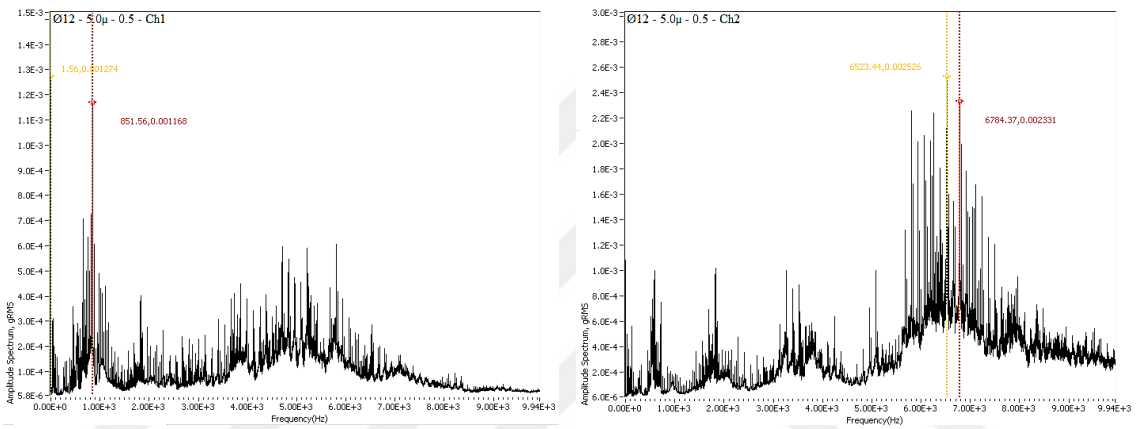
Şekil 4.76. Ø12 mm 3.0 μ kaplama 4.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



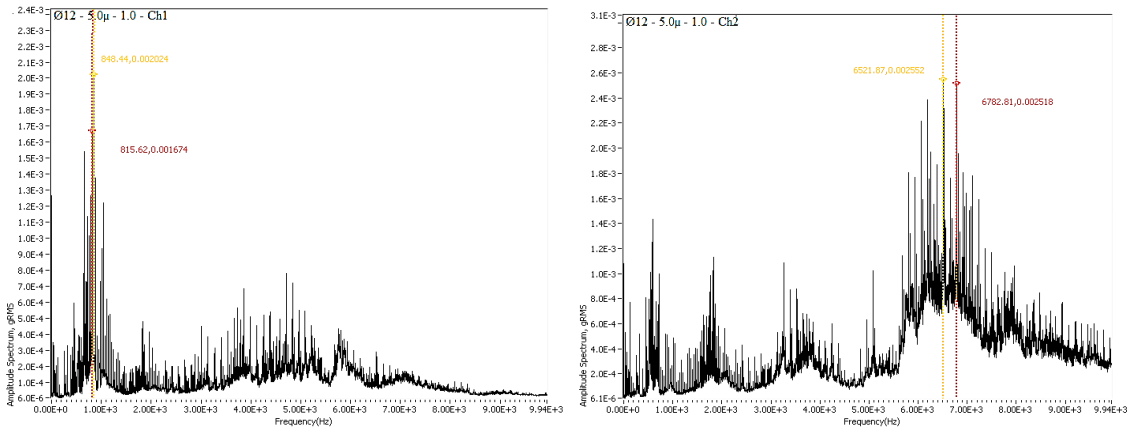
Şekil 4.77. Ø12 mm 3.0 μ kaplama 4.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



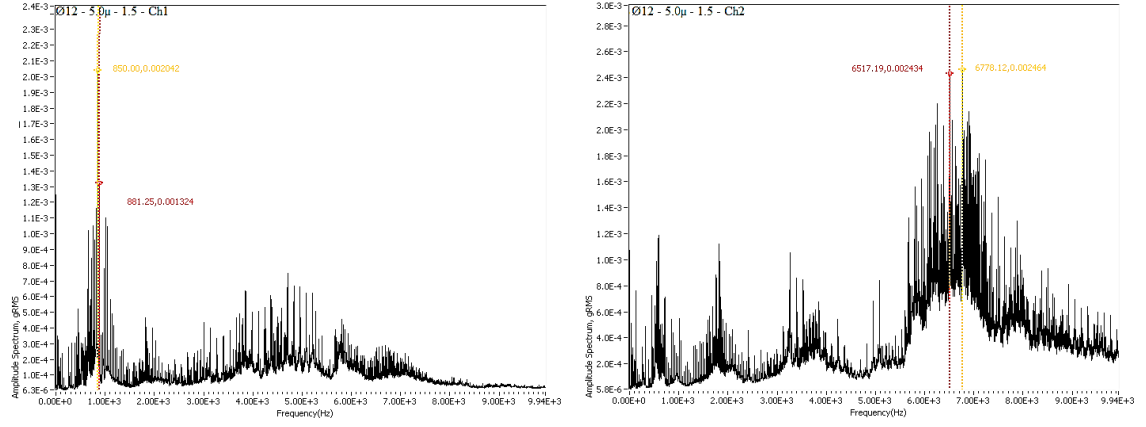
Şekil 4.78. Ø12 mm 3.0 µ kaplama 5.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



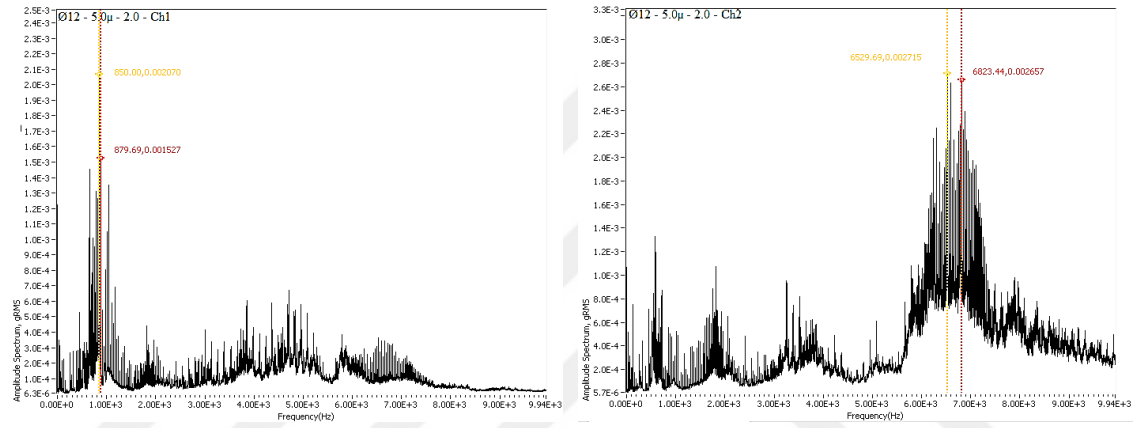
Şekil 4.79. Ø12 mm 5.0 µ kaplama 0.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



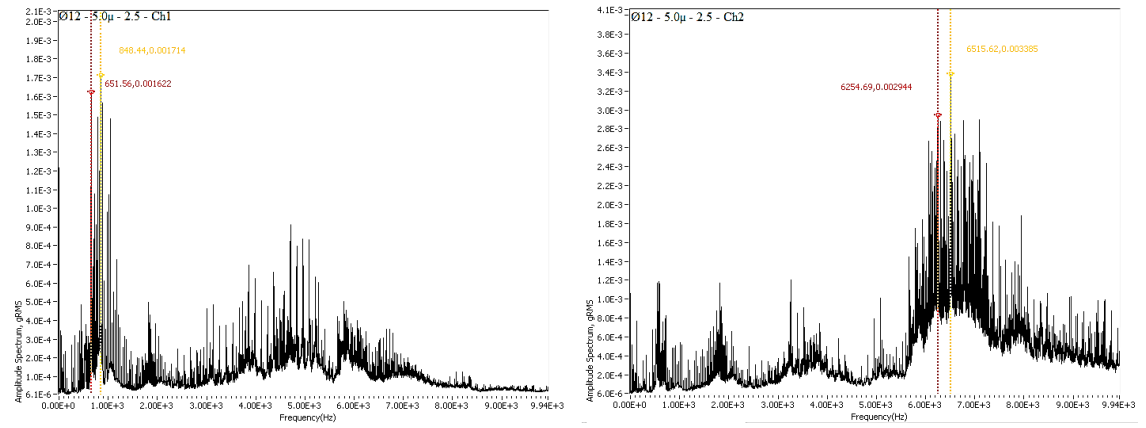
Şekil 4.80. Ø12 mm 5.0 µ kaplama 1.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



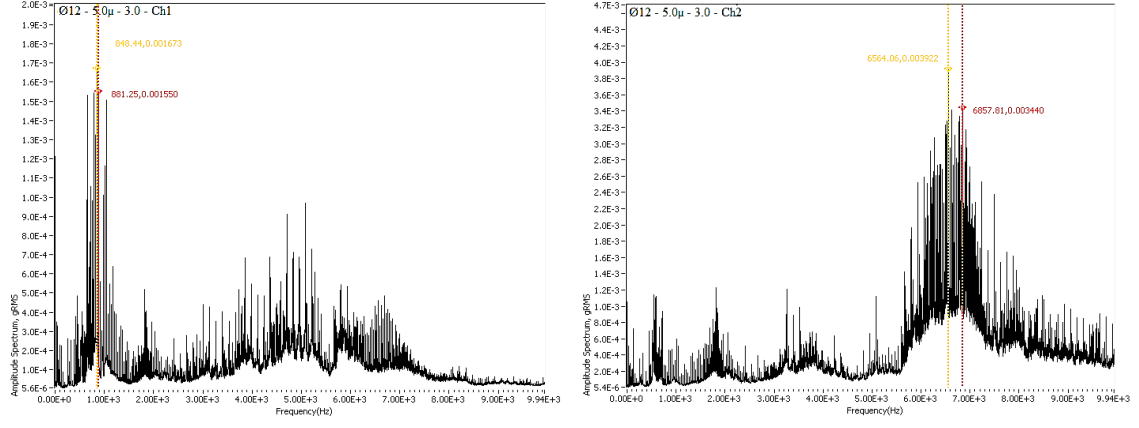
Şekil 4.81. Ø12 mm 5.0 µ kaplama 1.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



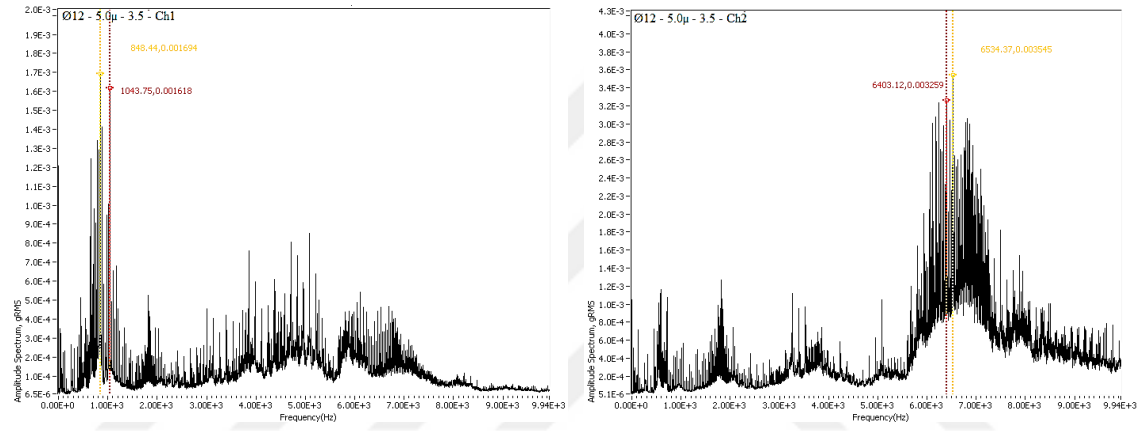
Şekil 4.82. Ø12 mm 5.0 µ kaplama 2.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



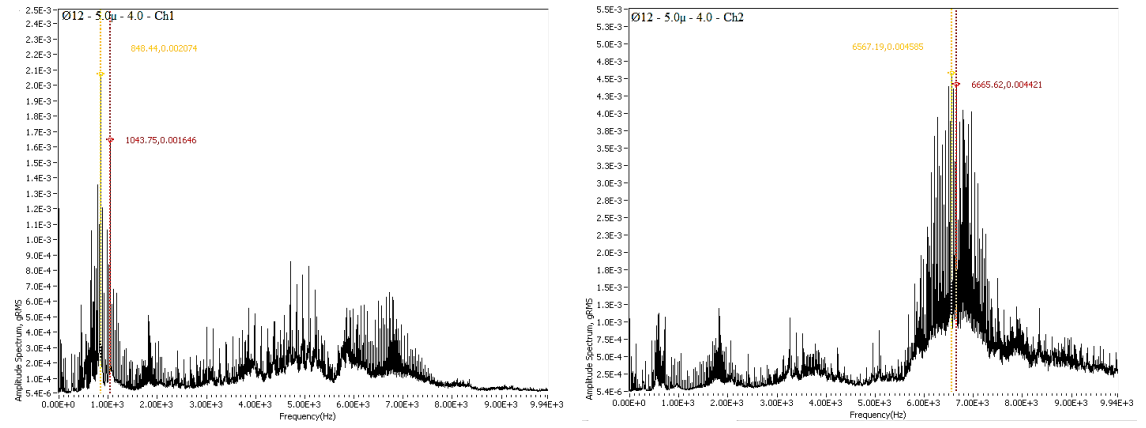
Şekil 4.83. Ø12 mm 5.0 µ kaplama 2.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



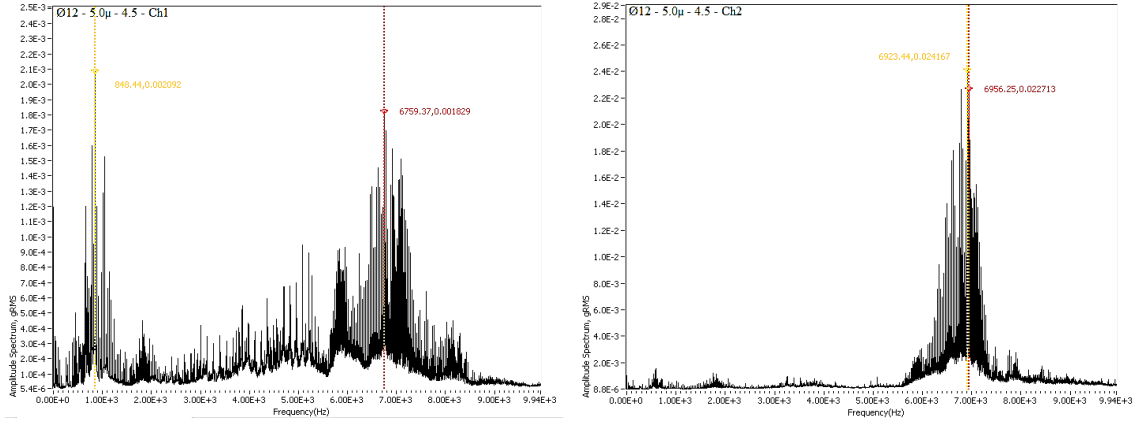
Şekil 4.84. Ø12 mm 5.0 µ kaplama 3.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



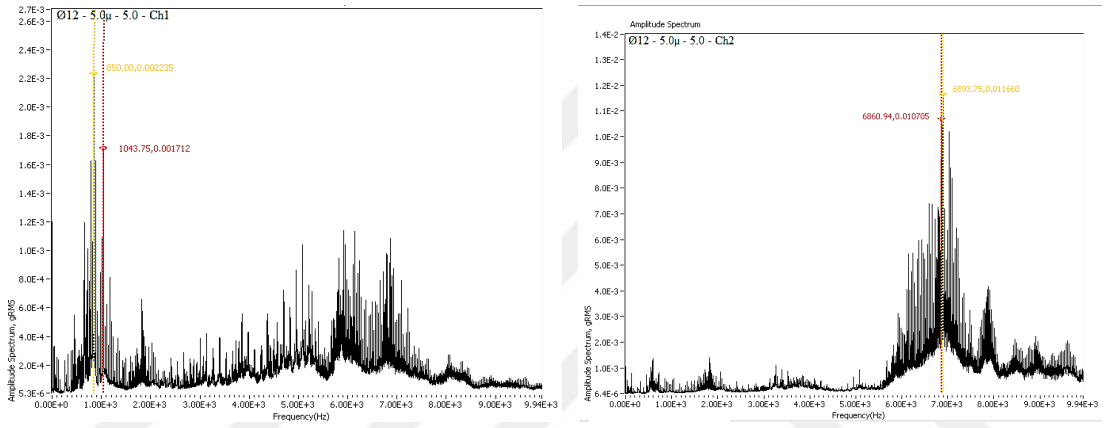
Şekil 4.85. Ø12 mm 5.0 µ kaplama 3.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



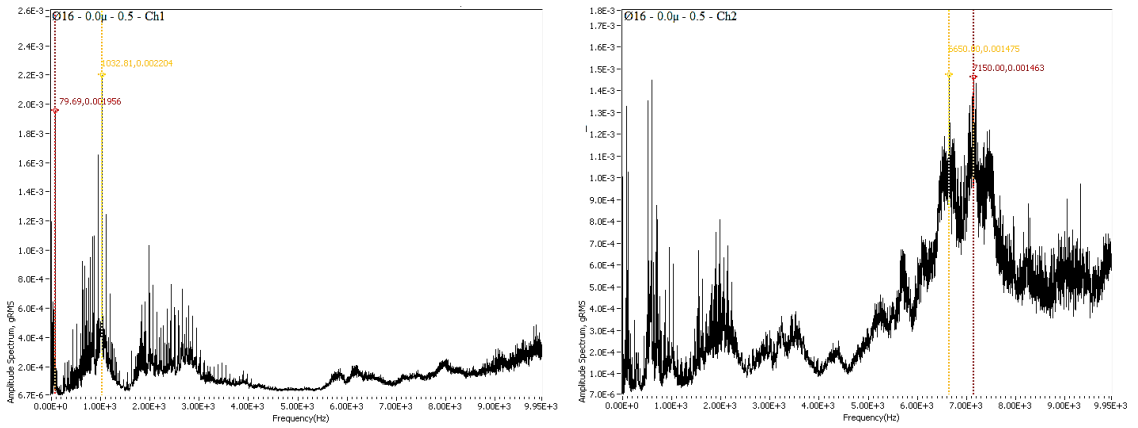
Şekil 4.86. Ø12 mm 5.0 µ kaplama 4.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



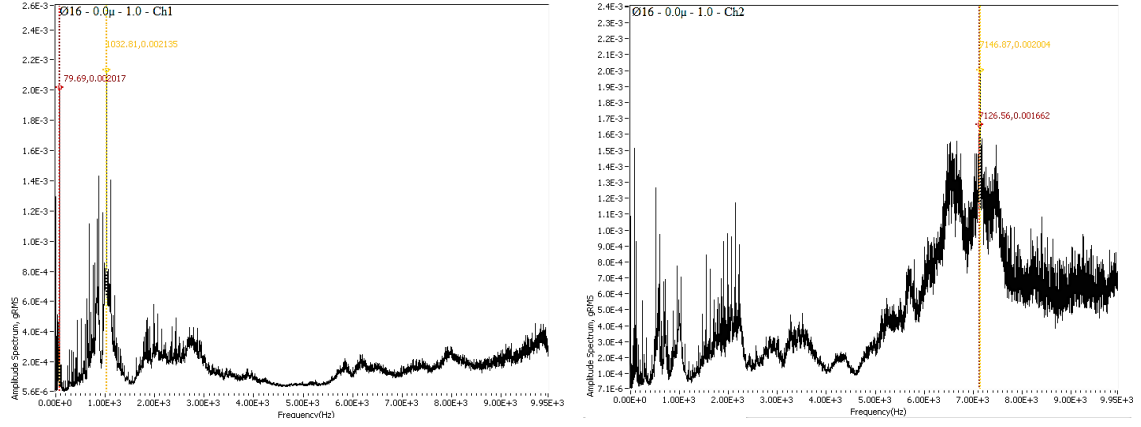
Şekil 4.87. Ø12 mm 5.0 µ kaplama 4.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



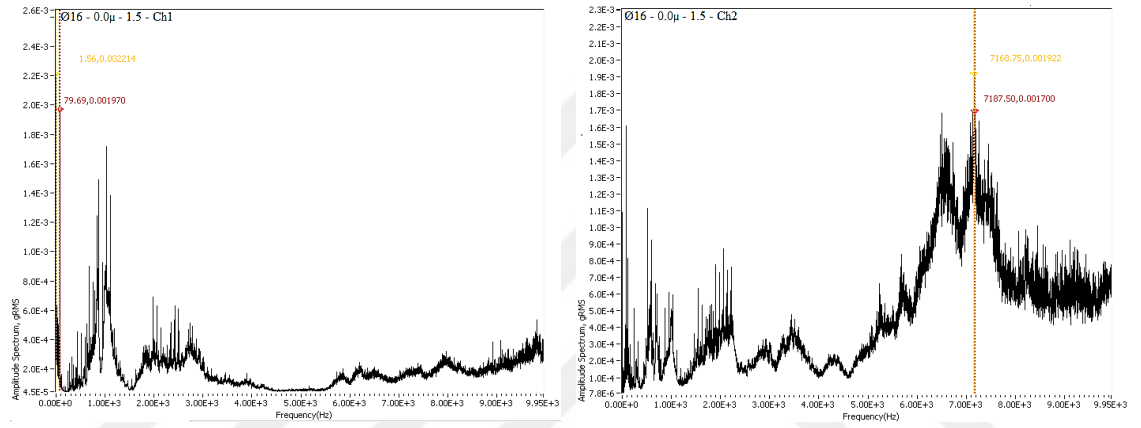
Şekil 4.88. Ø12 mm 5.0 µ kaplama 5.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



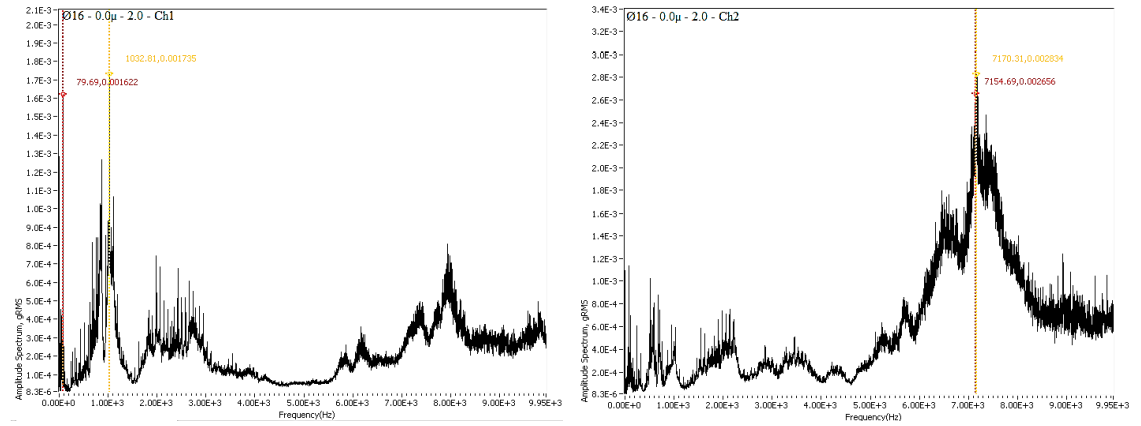
Şekil 4.89. Ø16 mm 0.0 µ kaplama 0.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



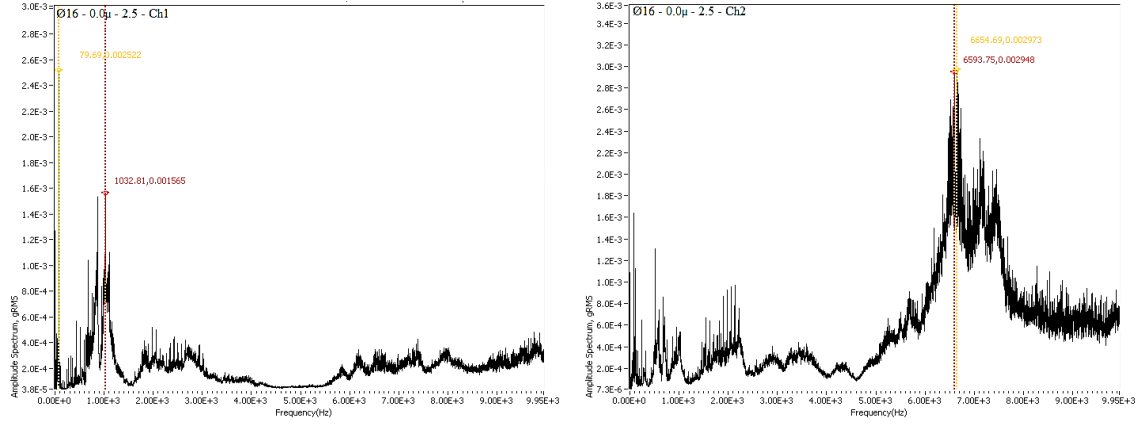
Şekil 4.90. Ø16 mm 0.0 µ kaplama 1.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



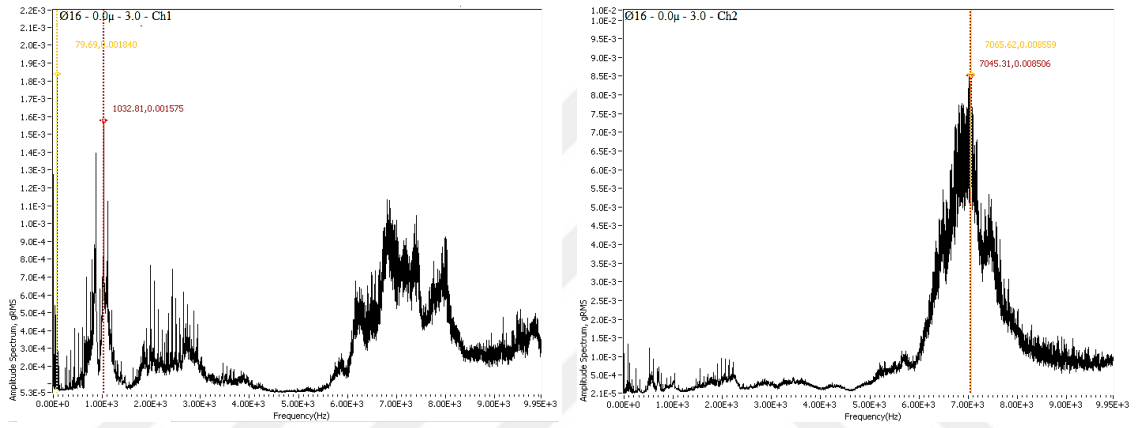
Şekil 4.91. Ø16 mm 0.0 µ kaplama 1.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



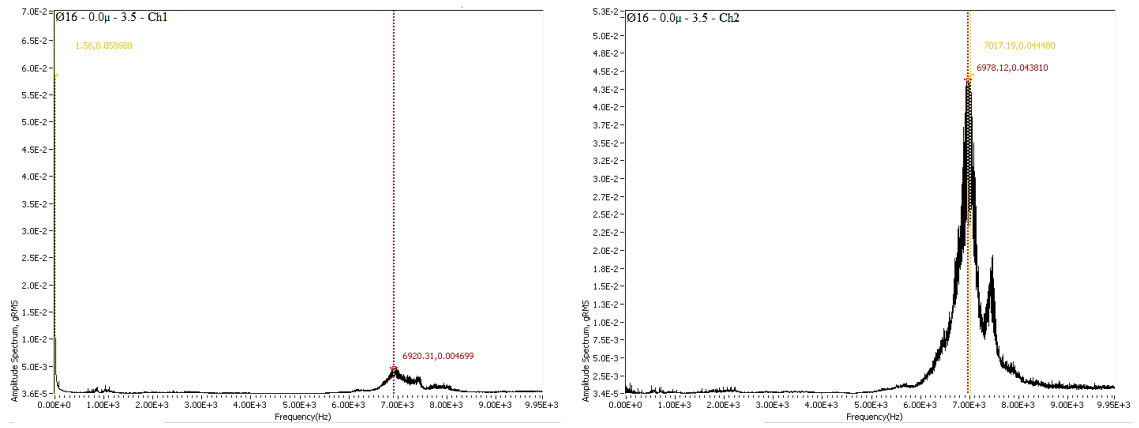
Şekil 4.92. Ø16 mm 0.0 µ kaplama 2.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



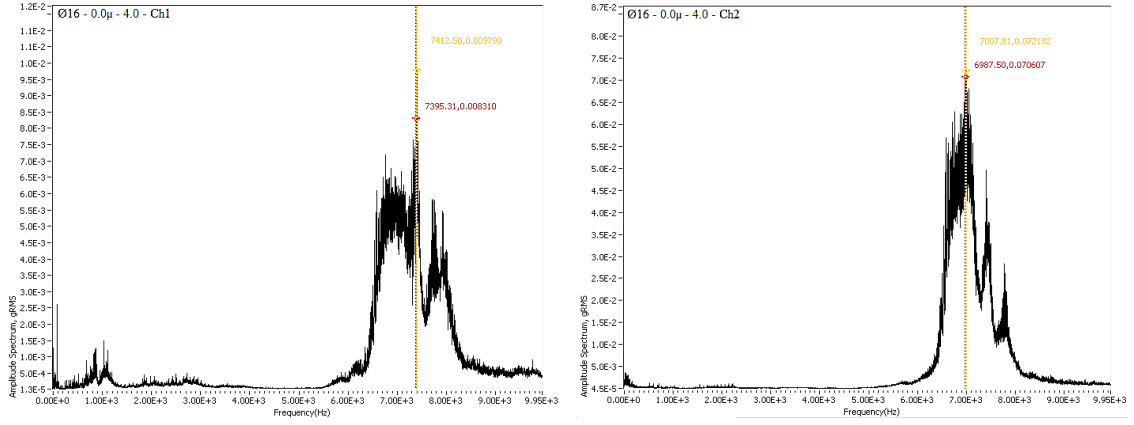
Şekil 4.93. Ø16 mm 0.0 µ kaplama 2.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



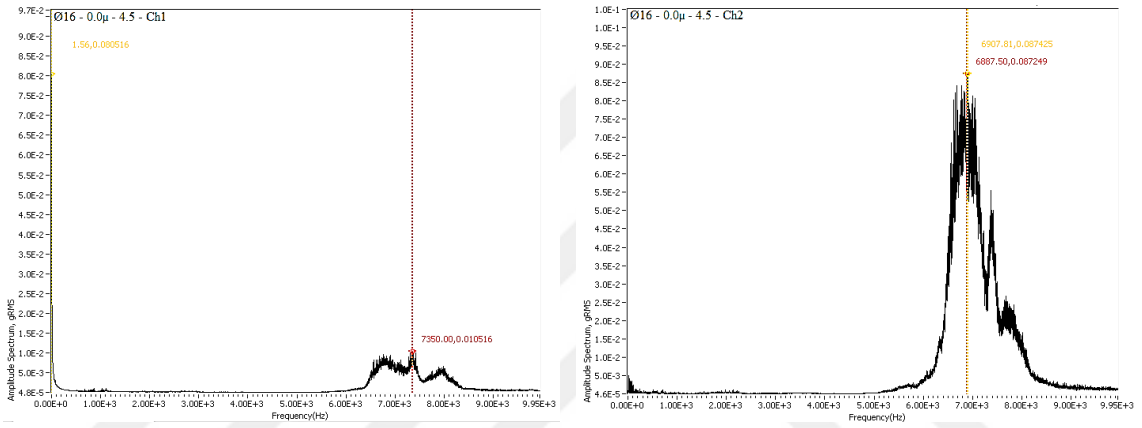
Şekil 4.94. Ø16 mm 0.0 µ kaplama 3.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



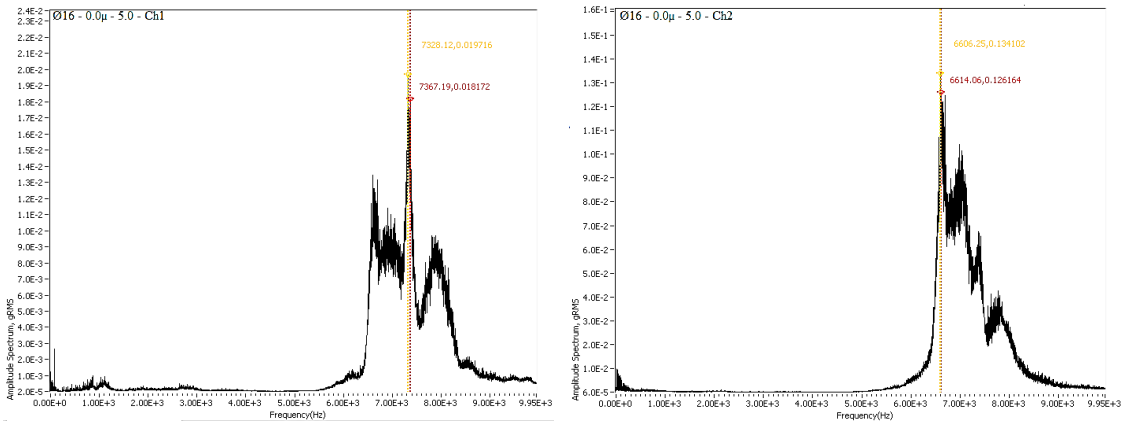
Şekil 4.95. Ø16 mm 0.0 µ kaplama 3.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



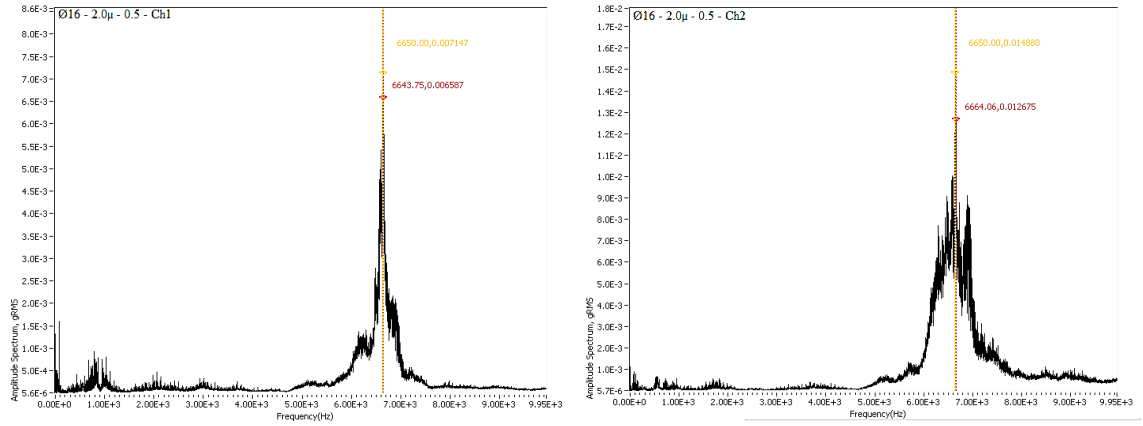
Şekil 4.96. Ø16 mm 0.0 μ kaplama 4.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



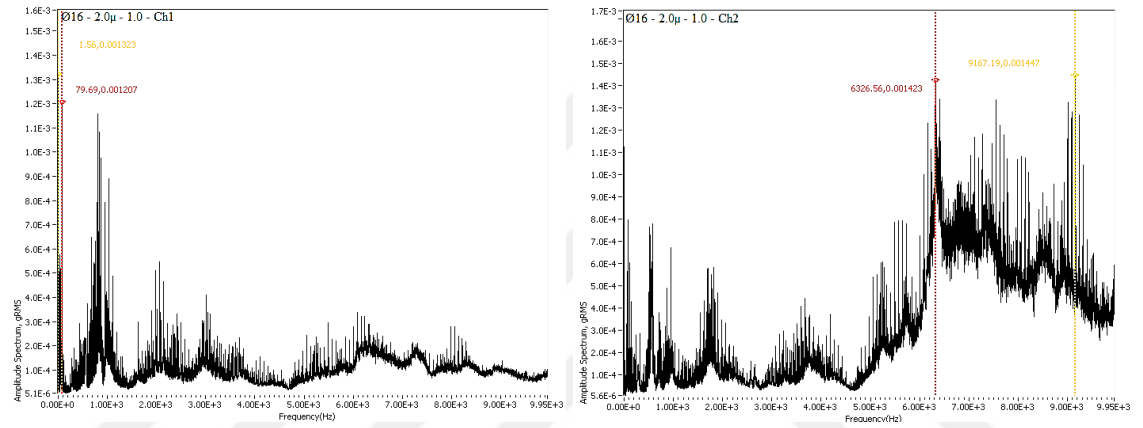
Şekil 4.97. Ø16 mm 0.0 μ kaplama 4.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



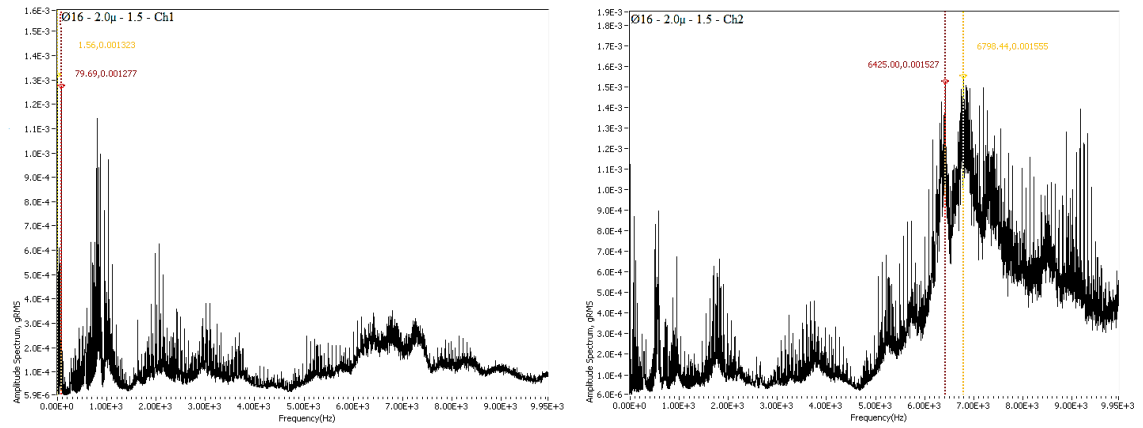
Şekil 4.98. Ø16 mm 0.0 μ kaplama 5.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



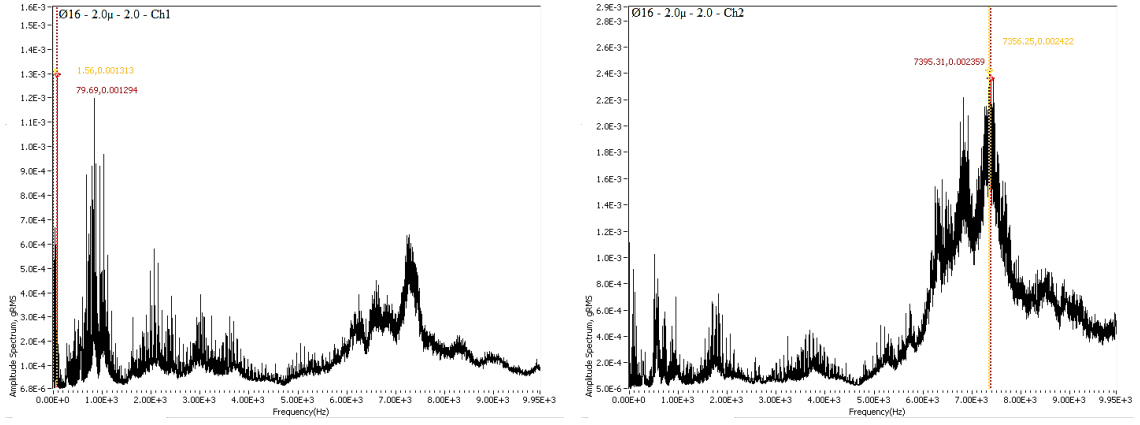
Şekil 4.99. Ø16 mm 2.0 µ kaplama 0.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



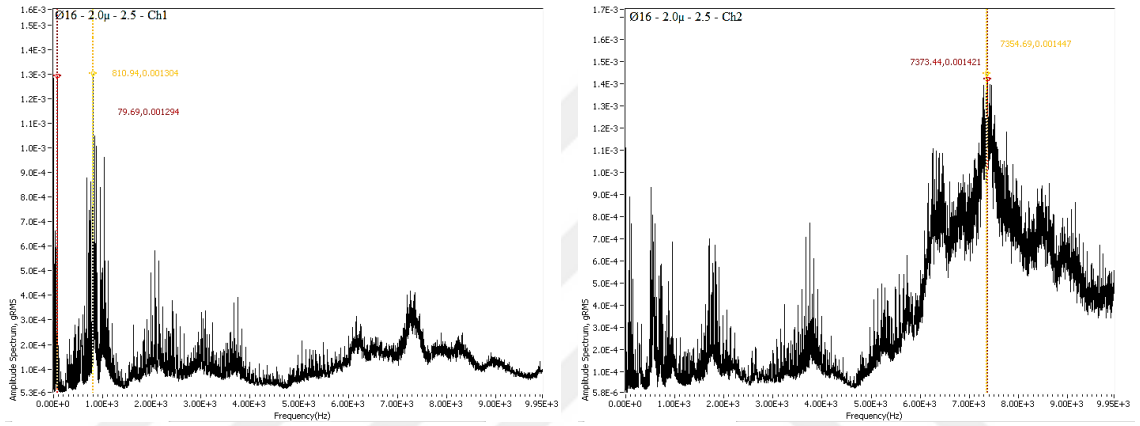
Şekil 4.100. Ø16 mm 2.0 µ kaplama 1.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



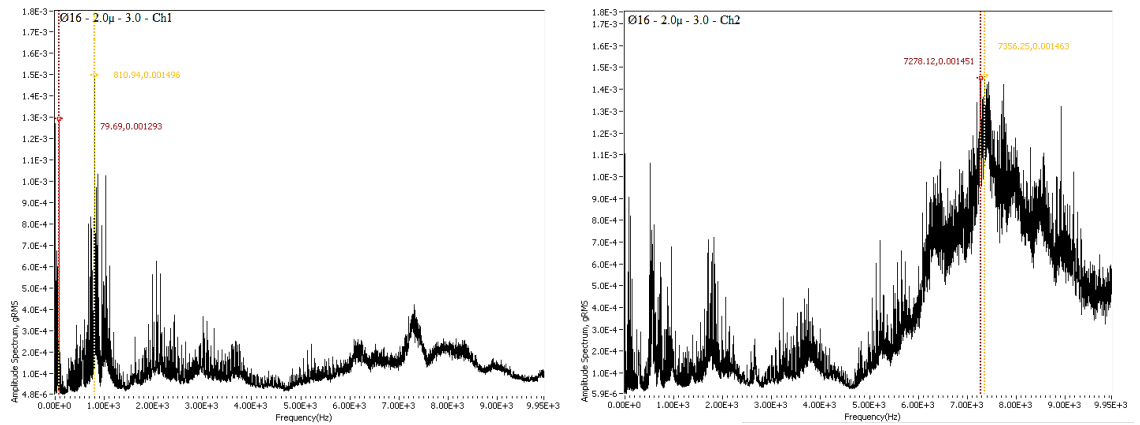
Şekil 4.101. Ø16 mm 2.0 µ kaplama 1.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



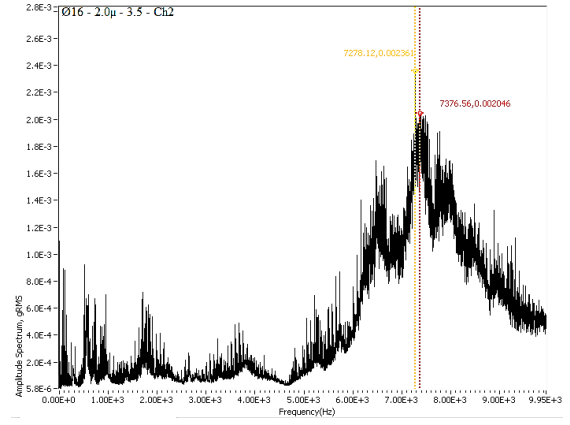
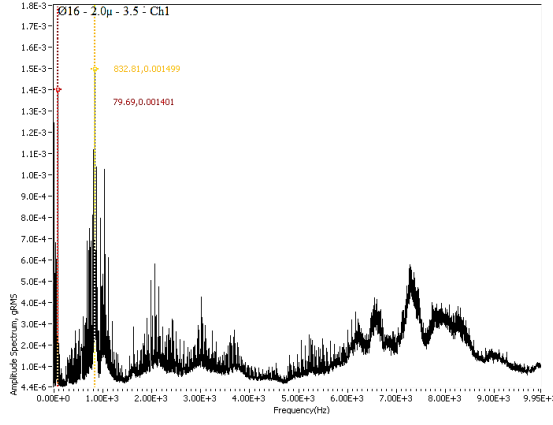
Şekil 4.102. Ø16 mm 2.0 µ kaplama 2.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



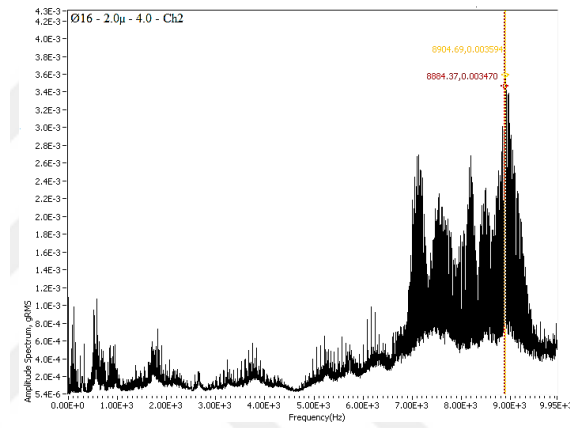
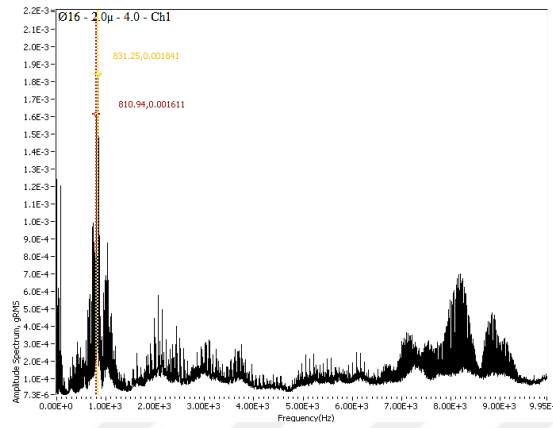
Şekil 4.103. Ø16 mm 2.0 µ kaplama 2.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



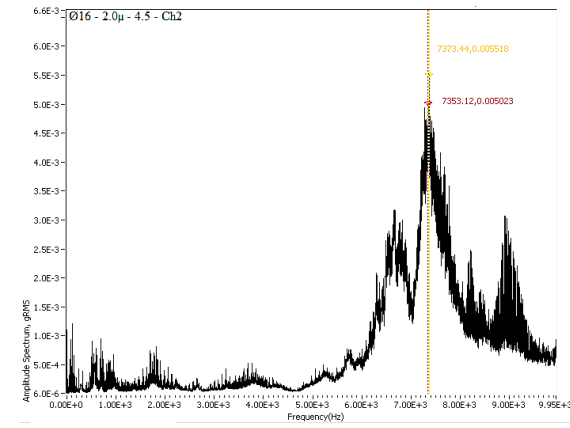
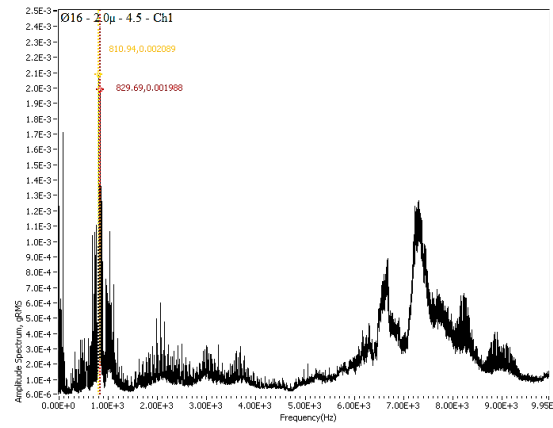
Şekil 4.104. Ø16 mm 2.0 µ kaplama 3.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



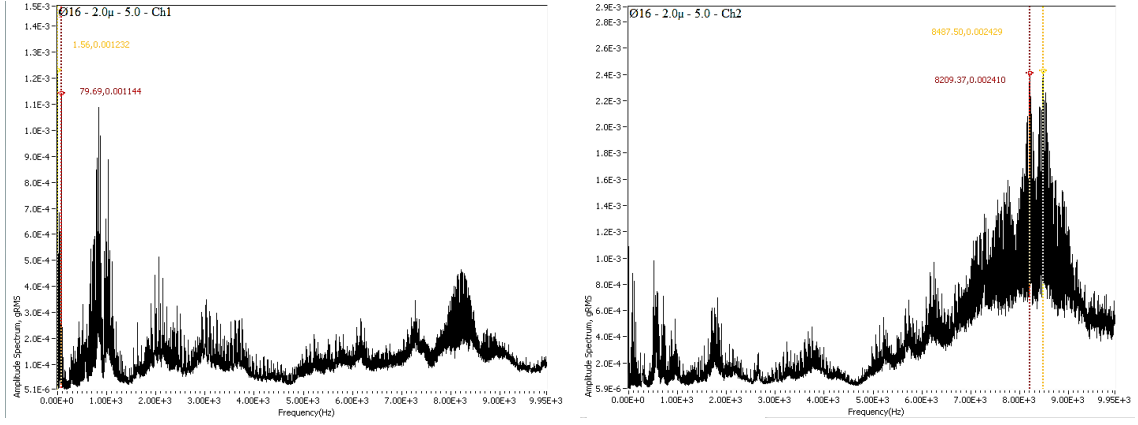
Şekil 4.105. Ø16 mm 2.0 µ kaplama 3.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



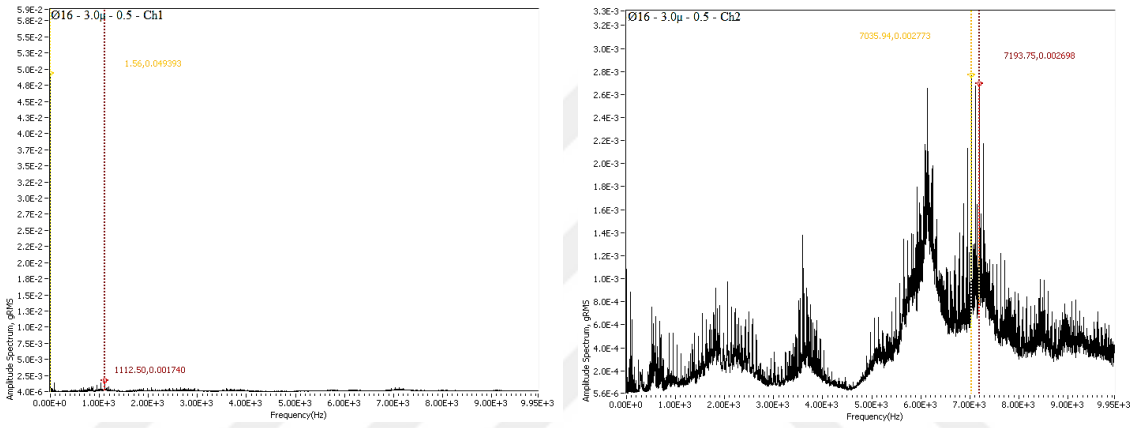
Şekil 4.106. Ø16 mm 2.0 µ kaplama 4.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



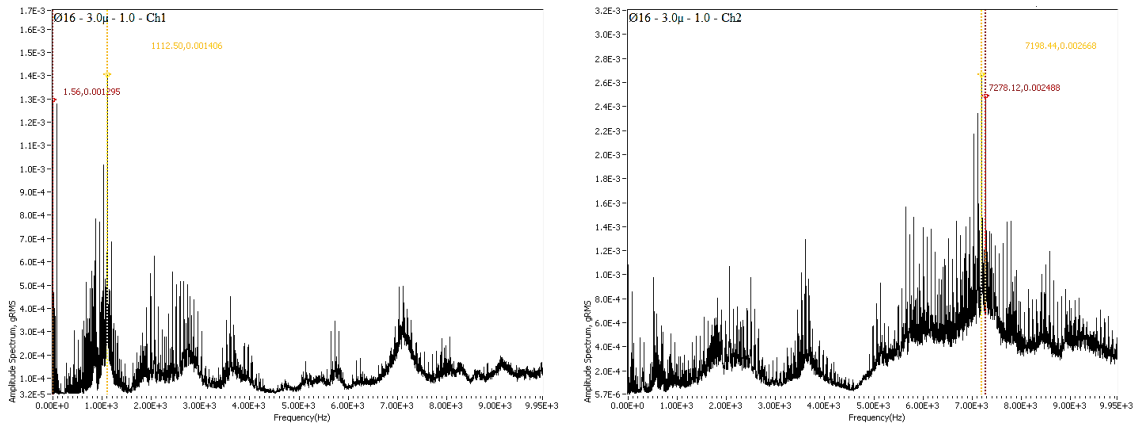
Şekil 4.107. Ø16 mm 2.0 µ kaplama 4.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



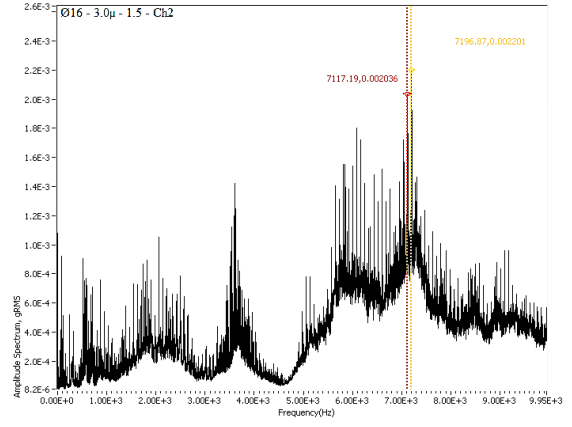
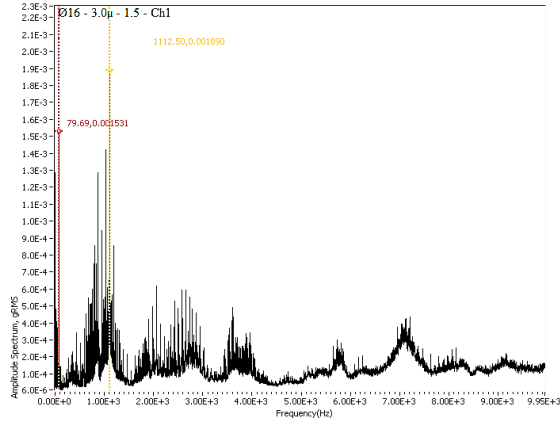
Şekil 4.108. Ø16 mm 2.0 µ kaplama 5.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



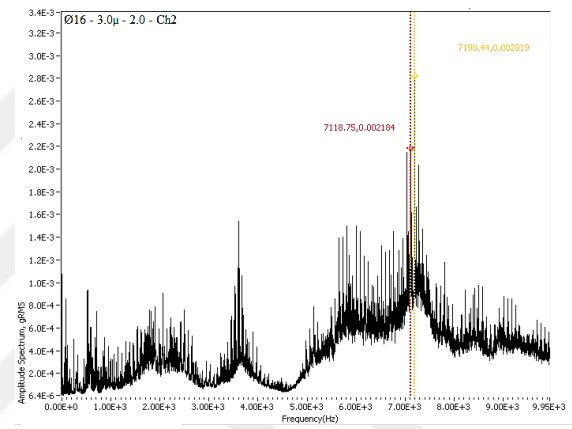
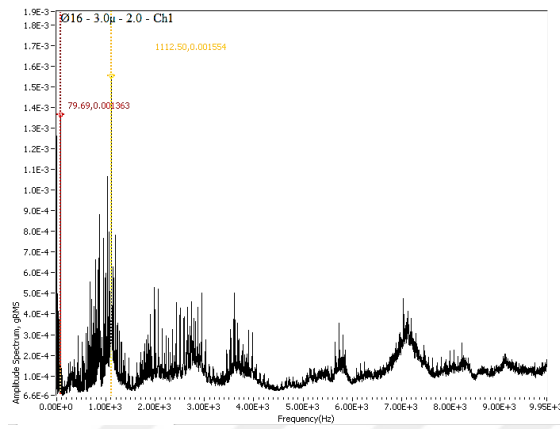
Şekil 4.109. Ø16 mm 3.0 µ kaplama 0.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



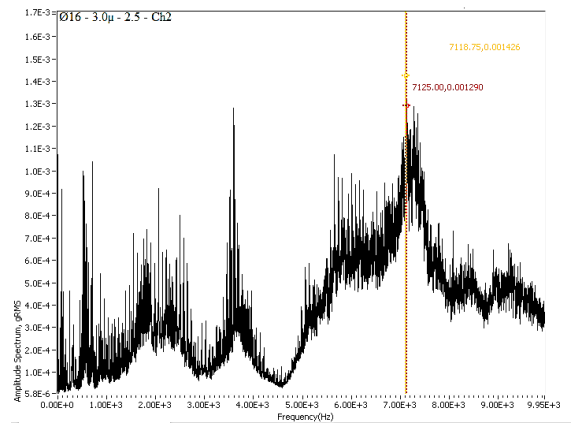
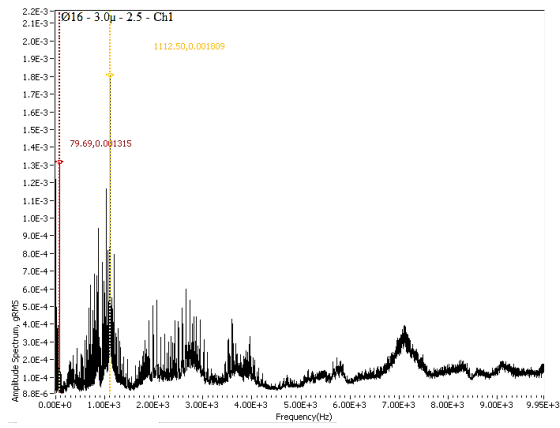
Şekil 4.110. Ø16 mm 3.0 µ kaplama 1.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



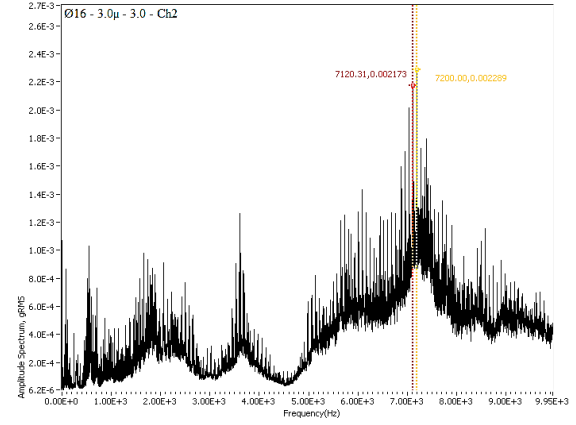
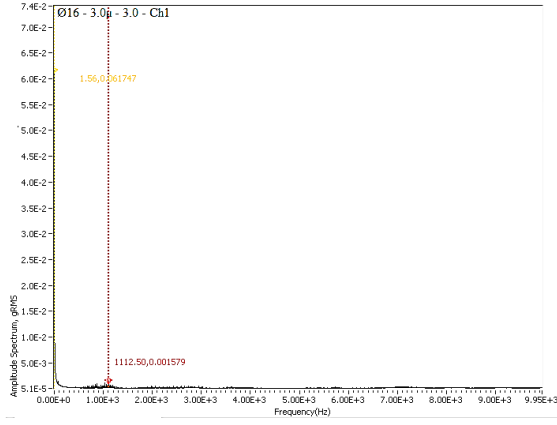
Şekil 4.111. Ø16 mm 3.0 µ kaplama 1.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



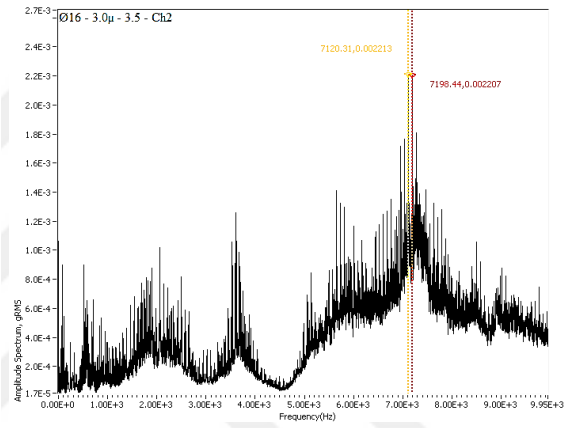
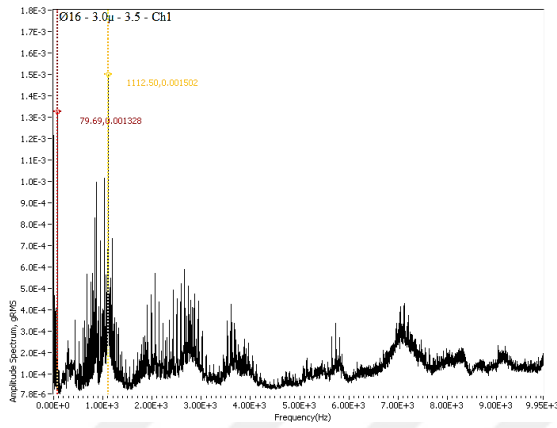
Şekil 4.112. Ø16 mm 3.0 µ kaplama 2.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



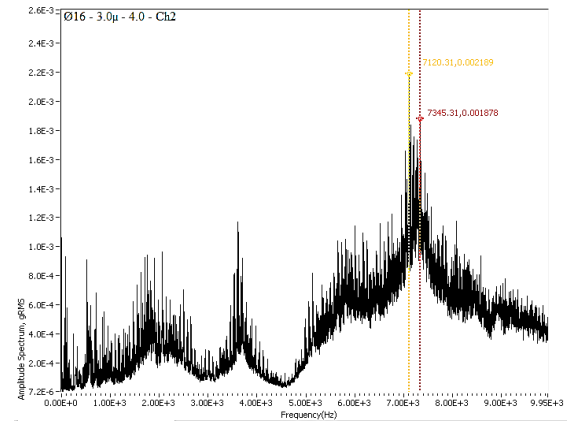
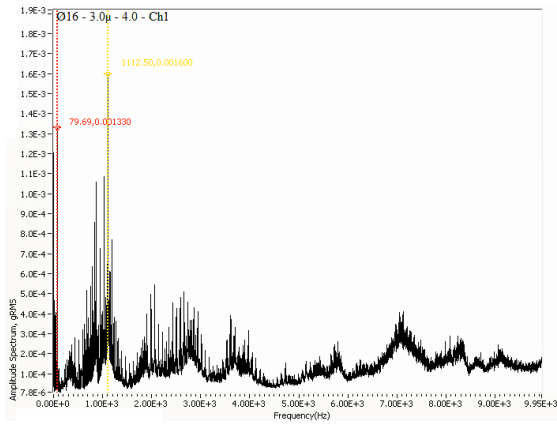
Şekil 4.113. Ø16 mm 3.0 µ kaplama 2.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



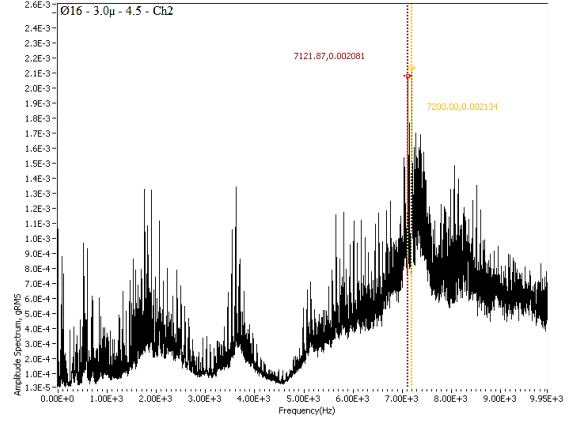
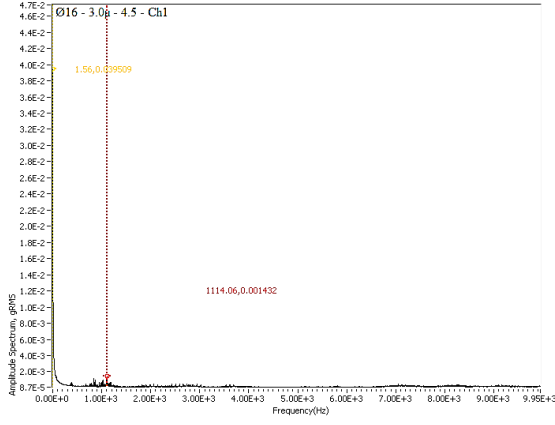
Şekil 4.114. Ø16 mm 3.0 µ kaplama 3.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



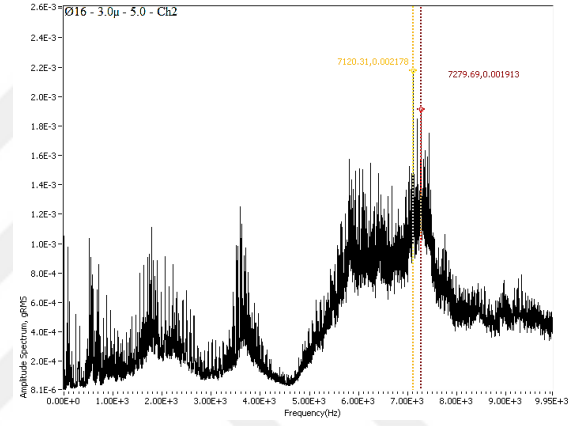
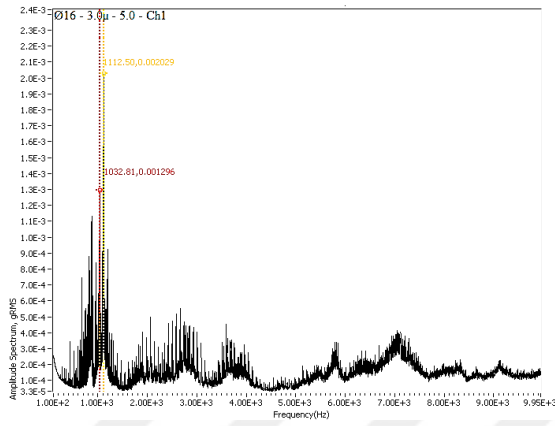
Şekil 4.115. Ø16 mm 3.0 µ kaplama 3.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



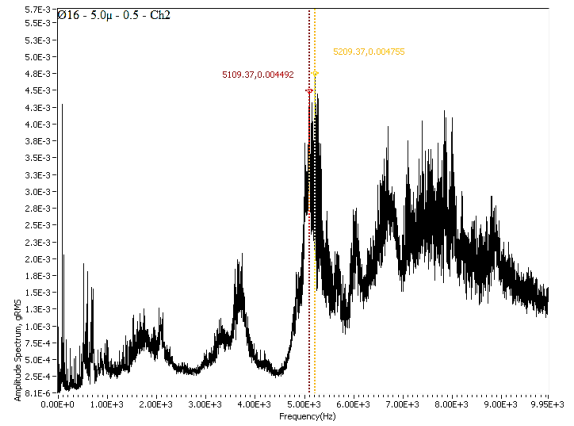
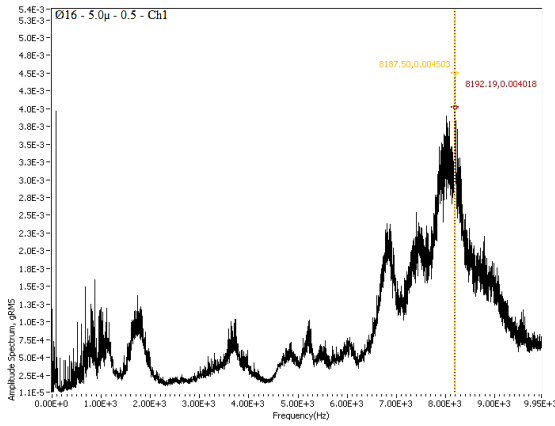
Şekil 4.116. Ø16 mm 3.0 µ kaplama 4.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



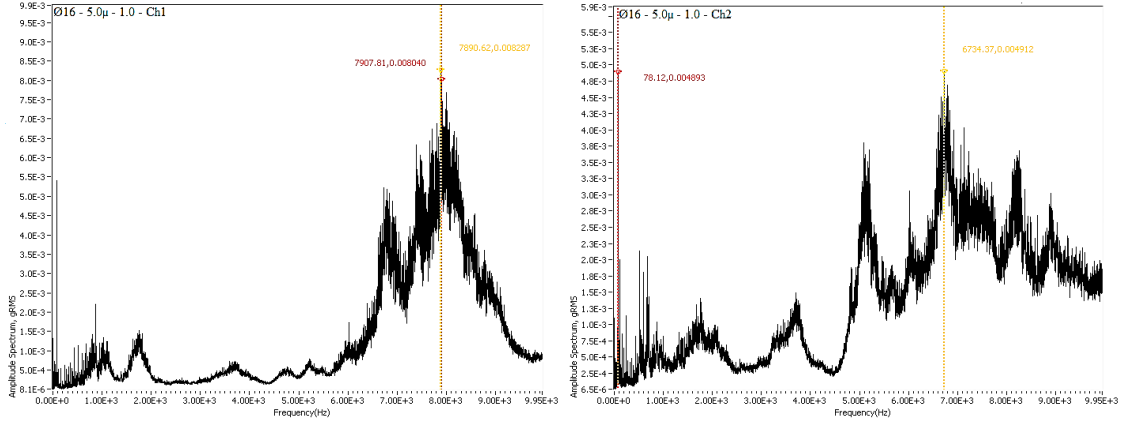
Şekil 4.117. Ø16 mm 3.0 µ kaplama 4.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



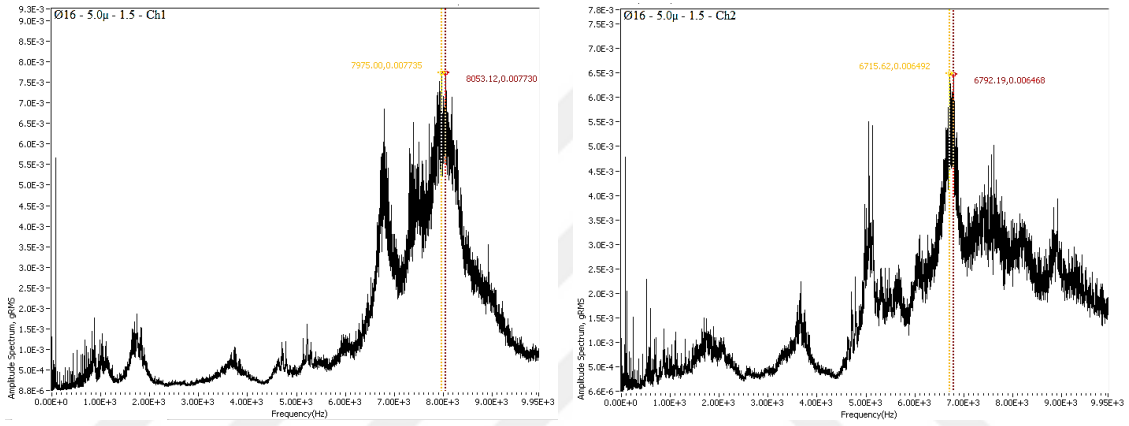
Şekil 4.118. Ø16 mm 3.0 µ kaplama 5.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



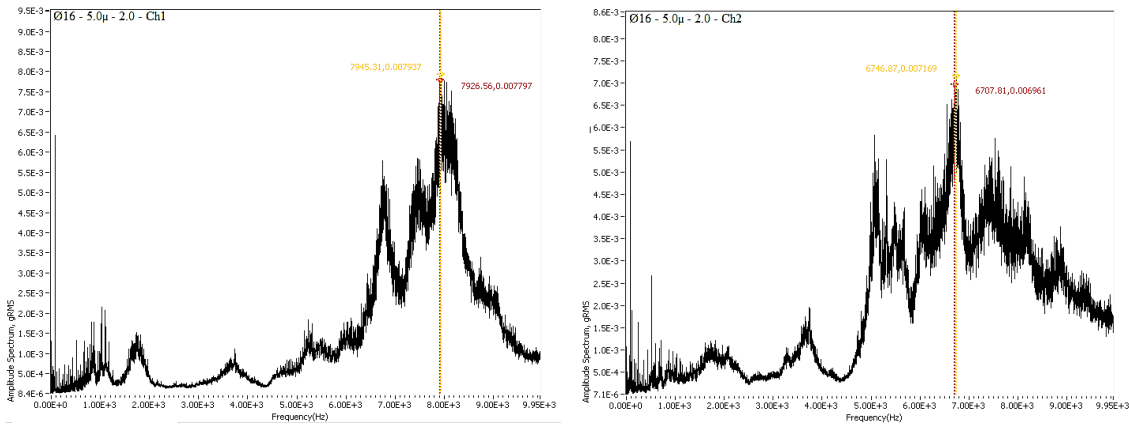
Şekil 4.119. Ø16 mm 5.0 µ kaplama 0.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



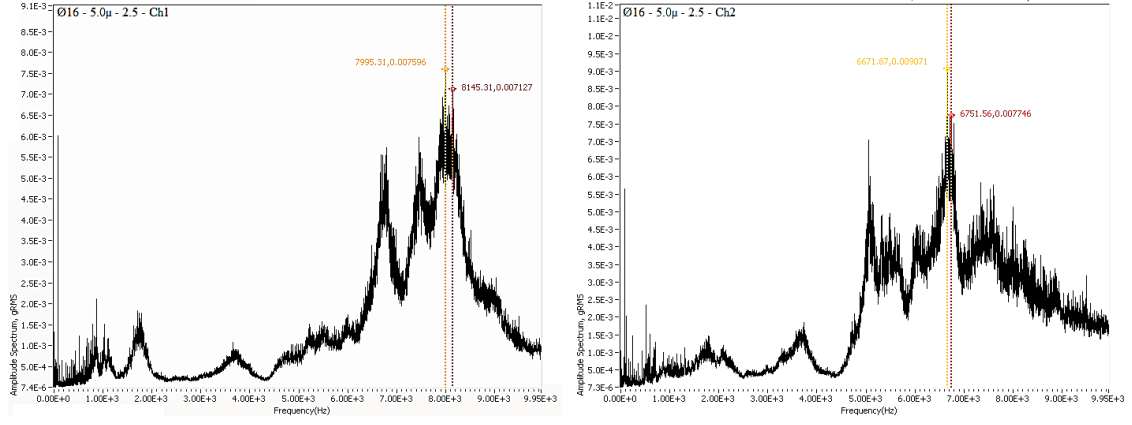
Şekil 4.120. Ø16 mm 5.0 µ kaplama 1.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



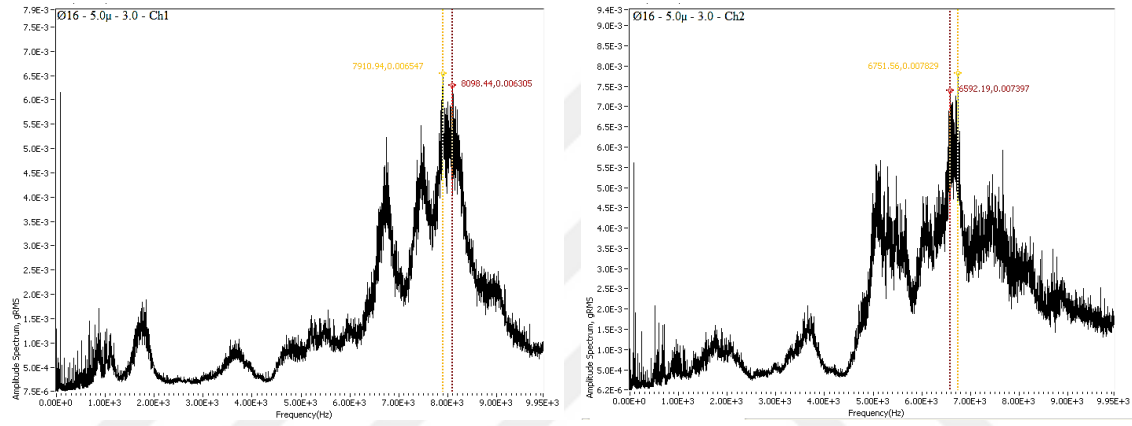
Şekil 4.121. Ø16 mm 5.0 µ kaplama 1.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



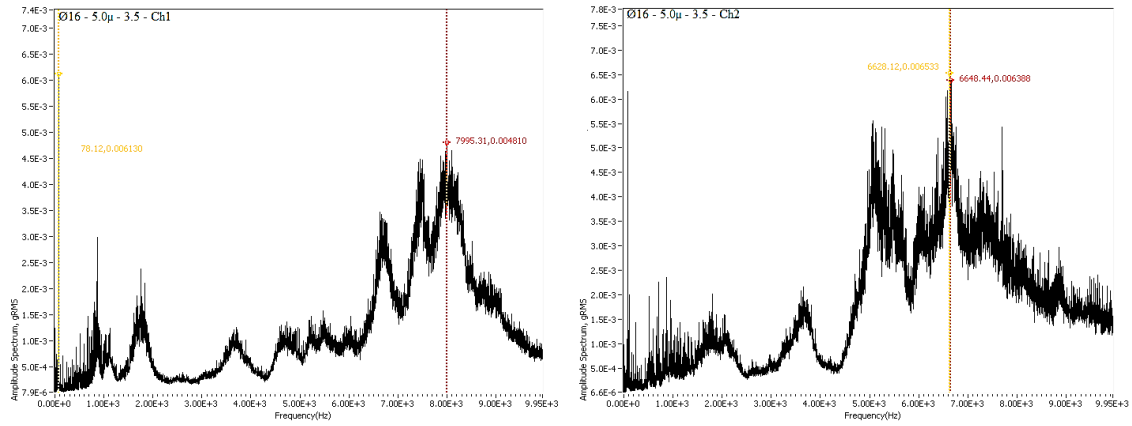
Şekil 4.122. Ø16 mm 5.0 µ kaplama 2.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



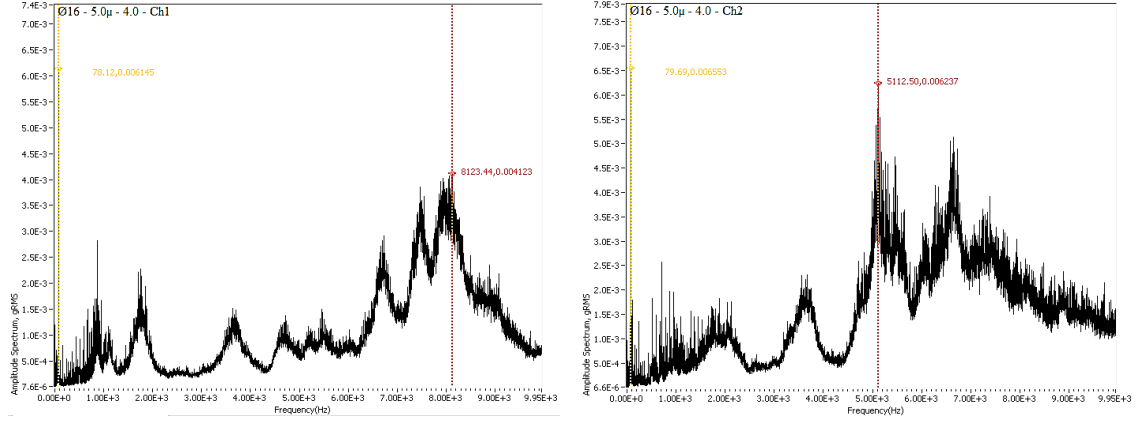
Şekil 4.123. Ø16 mm 5.0 µ kaplama 2.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



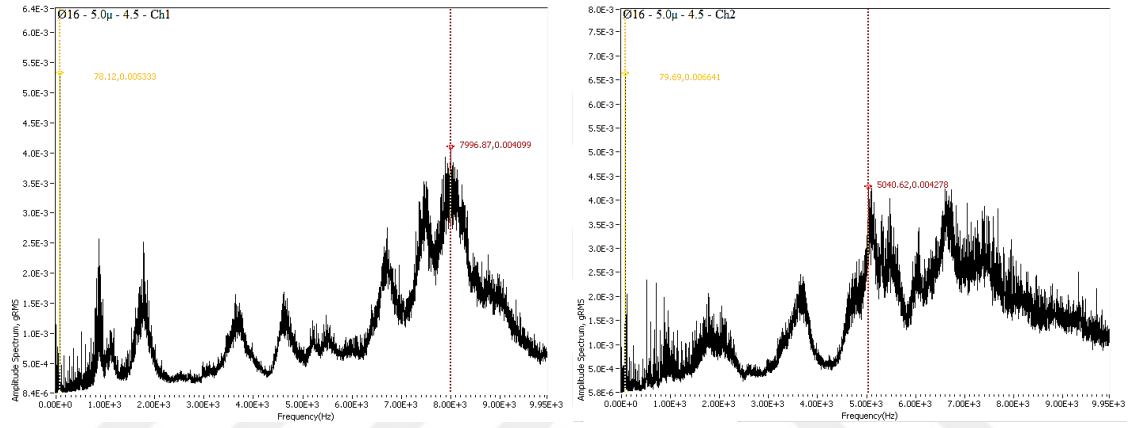
Şekil 4.124. Ø16 mm 5.0 µ kaplama 3.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



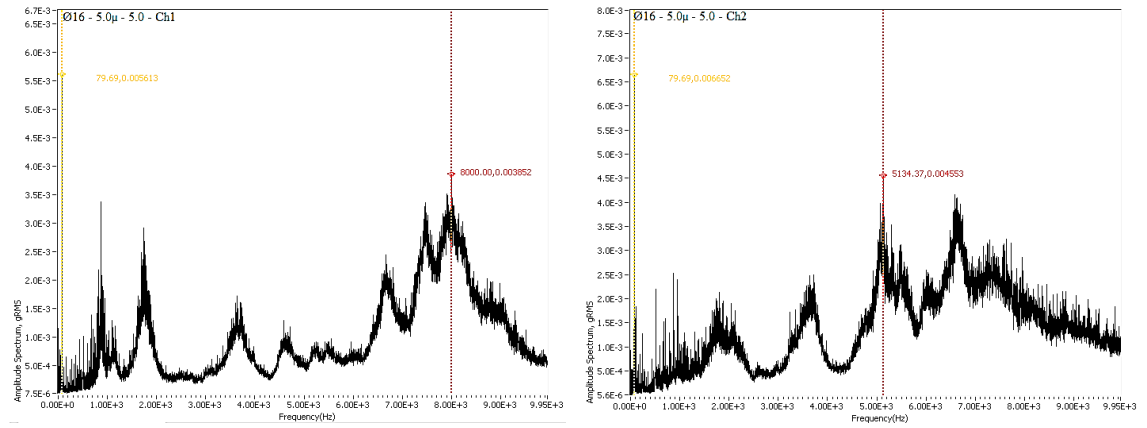
Şekil 4.125. Ø16 mm 5.0 µ kaplama 3.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



Şekil 4.126. Ø16 mm 5.0 µ kaplama 4.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



Şekil 4.127. Ø16 mm 5.0 µ kaplama 4.5 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.



Şekil 4.128. Ø16 mm 5.0 µ kaplama 5.0 mm'deki Ch1 - Ch2 titreşim grafikleri.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. SONUÇLAR

Bu çalışmada endüstride yaygın olarak kullanılan 4140 çeliğinin kuru işleme prosesinde, TiAlN kaplı freze takımlarının titreşiminin yüzey pürüzlülüğü üzerine olan etkisinin deneysel olarak incelenmesidir. Sonuçlar, talaşlı imalat sırasında düşük titreşimin muhafaza edilmesi için kaplama tipi ve kalınlığının seçilirken dikkat edilmesi gerektiğini göstermiştir. Düşük titreşim, kesici takımın alın yüzeyinde ve iş parçası yüzeyinde mikro çatlak oluşumunu önler. Minimum yüzey pürüzlülüğünün, düşük ilerleme hızı ve yüksek devir kombinasyonu ile elde edildiği görülmüştür. Yüzey pürüzlülüğünün, uygun kesici takım, kaplama tipi ve kaplama kalınlığının belirlenerek titreşim kaynaklarının yoğunluğunun azaltılabileceği sonucuna varılabilir.

Sonuç olarak kaplama kalınlığı yüzey pürüzlülüğü, kesici takım ömrü ve sürdürülebilir kaliteyi doğrudan etkilediği görülmüştür. Talaşlı imalat sürecinde doğru takımlandırma, doğru kesme şartları ve doğru kaplama tipinin belirlenmesi kesici takımın kullanım süresini artırtabileceği gibi yüzey kalitesini, takım titreşimlerini ve buna bağlı olarak takım ömrünü doğrudan etkilemektedir. Deneyler sırasında 3.0 µ kaplama kalınlığının, kaplamasız, 2.0 µ ve 5.0 µ kaplama kalınlığındaki takımlara göre 4140 ıslah çeliğinde kuru kesmede daha başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür.

5.2. ÖNERİLER

Bu çalışmanın sonuçlarına göre; TiAlN kaplanmış kesici takımlardan 3.0 µ kaplama kalınlığına sahip kesici takımların 0.0 µ, 2.0 µ ve 5.0 µ kaplamalı kesici takımlara göre AISI 4140 ıslah çeliğinde daha olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu alanda çalışma yapmak isteyen araştırmacılara yapılan öneriler aşağıda verilmiştir.

- Yapılacak çalışmalarda AISI 4140 dövme yöntemi ile şekillendirilmiş iş parçaları üzerinde deneyler yapılabilir ve sonuçlar karşılaştırılabilir.
- Yapılacak çalışmalarda AISI 4140 döküm yöntemi ile şekillendirilmiş iş parçaları üzerinde deneyler yapılabilir ve sonuçlar karşılaştırılabilir.

- Form yüzey işlemelerinde aynı şartlarda kre uçlu takımlar ile dövme ve döküm yöntemi ile şekillendirilmiş iş parçalarına talaşlı imalat yapılarak sonuçlar karşılaştırılabilir.
- Talaşlı imalat endüstrisinde kullanılan farklı kimyasal bileşenlere sahip çeliklerinin talaşlı imalatında aynı şartlar kullanılarak sonuçlar incelenebilir.
- Deneylerin gerçekleştirildiği şartlarında kesici takım çapları küçültülerek kaplama kalınlığının çap değişkenine bağlı olup olmadığı incelenebilir.
- AISI 4140 ıslah eliğinde TiN, CBN, TiCN vb. kaplamalar kullanılarak sonuçlar karşılaştırılabilir.
- TiAlN kaplama silindirik (torna) parçalarda kullanılarak sonuçlar incelenebilir.



6. KAYNAKÇA

- [1] M. Erdoğan, *Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri*, 2. Baskı, Ankara: Türkiye, Nobel Yayın Dağıtım, 1998, böl. 1- 4.
- [2] Anonim, (2017,10 Şubat) [Online]. Erişim: <http://www.ayhandemir.com.tr>.
- [3] C. Şenocak, (2016, 22 Eylül) [Online]. Erişim: <http://www.cemilsenocak.com>.
- [4] E. Kesti “Ç-4140 çeliğinin mikro yapı ve mekanik özelliklerine su verme ortamının etkilerinin araştırılması,” Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği bölümü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2009.
- [5] U. Şen, C. Bindal, , F. Yılmaz, “Çeşitli Yenileme İşlemlerine Uğratılan SAE 4140 Tank Palet Çeliklerinin Özellikleri,” 6. *Denizli Malzeme Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Denizli, Türkiye, 1995, ss. 70-75.
- [6] S.H. Avner, *Introduction to Physical Metallurgy*, McGraw Hill Book Company, 2nd ed, New York: ABD, 1986, ss. 315-336.
- [7] M.C. Çakır, *Modern Talaşlı İmalatın Esasları*, 2. Baskı, Bursa: Türkiye, Ceylan Matbaacılık, 1999, böl. 32-36.
- [8] A. Can, “AISI 5140 çeliğinin sermet, PVD İle TiAlN - CVD ile TiN kaplanmış kesici uçlarla tornalamasın da kesme değişkenleri, kaplama cinsi ve takım aşınmasının yüzey pürüzlülüğüne etkisinin deneysel incelenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Makine Eğitim Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2003.
- [9] C. Ertek, A. Akdoğan Ekler, “ Kesici takımların fonksiyonel derecelendirilmiş TiCN ve TiBCN ile kaplanmasının karakterizasyonu,” *Journal of Engineering and Natural Sciences*, vol. 31, pp. 376-384, 2013.
- [10] E.M. Trent, *Metarial Cuting*, 2nd ed, London: England, Butterwoths, 1977.
- [11] J.A. Schey, *Introduction to manufacturing processes*, 2nd ed, New York: ABD, M. Graw Hill Book Comp, 1987, pp. 472-477.
- [12] L. Edwards and M. Endean, “Manufacturing with metarials”, *Metarial in Action Series*, pp. 250-261, 1990.
- [13] N.J. Culp, et al., *Metals Handbook, Desk Edition*, ASM, Ohio: ABD, 1997.
- [14] Ö. Özdemir, M. İpek, S. Zeytin, *Kesici takım malzemeleri*, TBMMO, Sakarya: Türkiye, 2000.
- [15] J.R. Dawis, et. al., *Tool Metarials, ASM Specialty Handbook*, Ohio: ABD, 1995, pp. 32-76, 85 - 99.
- [16] Anonim, (2017, 10 Temmuz) [Online]. Erişim <http://www.sandvik.coromant.com>.
- [17] S. Savaş “Manyetik alanda sıçratma metodu ile üretilen tialn kaplamaların yapısal, mekanik ve tribolojik özelliklerinin incelenmesi” Doktora Tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye, 2010.
- [18] Anonim, (2017, 5 Şubat) [Online]. Erişim: <https://tr.wikipedia.org/wiki/TiAlN>.

- [19] N. Fukumoto, et al., "Effects of bilayer thickness and post-deposition annealing on the mechanical and structural properties of (Ti, Cr, Al)N/(Al, Si)N multilayer coatings," *Surface and Coatings Technology*, vol. 203, pp. 1343-1348, 2009.
- [20] Y. Xiang, et al., "Investigation of Ti / TiN multilayered films in a reactive mid-frequency dual-magnetron Sputtering," *Applied Surface Science*, vol. 253, pp. 3705-3711, 2007.
- [21] Sandvik Coromant, *Talaşlı İmalat Teknik kılavuzu*, SE-81181, İsveç, 2005.
- [22] S. PalDey, S.C. Deevi, "Single layer and multilayer wear resistant coatings of (Ti, Al)N: A Review," *Materials Science and Engineering*, vol. 342, pp. 58-79, 2003.
- [23] J.H. Hsieh, et al., "Deposition and characterization of TiAlN and multi-layered TiN/TiAlN coatings using unbalanced magnetron sputtering," *Surface and Coatings Technology*, vol. 108-109, pp.132-137, 1998.
- [24] Anonim, (2017, 25 Aralık) [Online]. Erişim: <http://www.ionbond.com.tr>.
- [25] O. Salas, et al., "Tribological behavior of candidate coatings for Al die casting dies," *Surface and Coatings Technology*, vol. 172, pp. 117-127, 2003.
- [26] F. Quesada, A. Mariño, E. Restrepo, "TiAlN coatings deposited by r.f. magnetron sputtering on previously treated ASTM A36 steel," *Surface and Coatings Technology*, vol. 201, pp. 2925-2929, 2006.
- [27] M.A. Auger, et al., "Deposition of TiN/AlN bilayers on a rotating substrate by reactive sputtering," *Surface and Coatings Technology*, vol. 157, pp. 26-33, 2002.
- [28] V.P. Godbole, et al., "Thermal reactions and micro - structure of TiN-AlN layered nano - composites," *Materials Science and Engineering*, vol. 68, pp. 85-90, 1999.
- [29] M. Cekada and P. Panjan, "Evaluation of Microhardness and Elastic Properties of Multilayer Hard Coatings" by *Microindentation*, vol. 61, pp. 235-240, 2001.
- [30] A. Thobor, et al., "Enhancement of mechanical properties of TiN/AlN multilayers by modifying the number and the quality of interfaces," *Surface and Coatings Technology*, vol. 124, pp. 210-221, 2000.
- [31] E. Keleşoğlu *Sert Kaplamalar Üretim Teknikleri ve Özellikleri*, 1. Baskı, İstanbul: Türkiye, 2011, böl. 1-3-4, ss. 1-4, 21-29, 31-43.
- [32] A. Hara, T.S. Sudarhan, K. Ishizaki, M.Takata, K. Kamata, "Surface Modification" *Chnologies VII*, pp. 266, 1994
- [33] P. Panjan, ed al., "PVD hard coatings applied for the wear protection of drawing dies," *Surface and Coatings Technology*, vol. 200, pp. 133-136, 2005.
- [34] Anonim, (2017, 05 Ocak) [Online]. Erişim: <http://www.kapco.com.tr>.
- [35] A. Oral, *Ders Notları*, Balıkesir Üniversitesi, Türkiye 2012.
- [36] D. L. Chapra, I. Kaur, *Thin Film Device Applications*, Plenum Pres, 1983.
- [37] A. Özkan, F. Baba, S. Ayan "Seramiklerin makine elemanları ve mekanizmaları üzerine uygulanabilirliği ve imalat yöntemlerinin irdelenmesi" *Tarım İmalat ve Analiz Kongresi*, Balıkesir, Türkiye, 2006.
- [38] M. Bilginoğlu, N. Dökmetaş "Kübik bor- nitrür (c-BN) kaplamalar," 3. *Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu*, Ankara, Türkiye, 2012.

- [39] W. Grips, V.K. et al., "Effect of Electroless Nickel Interlayer on the Electrochemical Behavior of Single Layer CrN, TiN, TiAlN Coatings and Nanolayered TiAlN/CrN Multilayer Coatings Prepared by Reactive Dc Magnetron Sputtering," *Electrochimica Acta*, vol. 51, pp. 3461-3468, 2006.
- [40] K. Tönshoff, et al., "Performance of oxygen-rich TiALON coatings in dry cutting applications," *Surface and Coatings Technology*, vol. 108-109, pp. 535-542, 1998.
- [41] Q. Luo, et al., "Tribological investigation of TiAlCrN and TiAlN/CrN coatings grown by combined" *Steered-arc/Unbalanced Magnetron Deposition*, vol. 53, pp. 123-126, 1999.
- [42] I.S. Choi, J.C. Park, "The corrosion behavior of TiAlN coatings prepared by PVD in a hydrofluoric gas atmosphere", *Surface and Coatings Technology*, vol. 131, pp. 383-385, 2000.
- [43] O. Durand - Drouhin, "Mechanical properties and failure modes of TiAl (Si)N single and multilayer thin films," *Surface and Coatings Technology*, vol. 163-164, pp. 260-266, 2003.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mehmet YILDIZ
Doğum Tarihi ve Yeri : 12.05.1991 - Akçadağ / MALATYA
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : mehmet_yldz44@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Makine Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2018
Lisans	Makine Mühendisliği	Süleyman Demirel Üniv.	2013
Lise	Matematik - Fen	Kozluca Ahmet Yesevi Lisesi	2009

İŞ DENEYİMİ

Yıl	Yer	Görev
2014 - Halen	Sarsılmaz Silah San. A.Ş - Düzce	Cad / Cam Mühendisi
2013 - 2014	3B – Dizayn San. Tic. Şti. - İstanbul	Cad / Cam Eğitim Uzmanı