



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

**SICAK DÖVME İŞLEMİ GÖRMÜŞ ISLAH ÇELİK MİLLERİN
DİNAMİK DAVRANIŞLARININ DENEYSEL ANALİZİ**

TOLGA GÜNEY

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. HAMİT SARUHAN**

DÜZCE, 2018

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SICAK DÖVME İŞLEMİ GÖRMÜŞ ISLAH ÇELİK MİLLERİN
DİNAMİK DAVRANIŞLARININ DENEYSEL ANALİZİ

Tolga Güney 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

Doç. Dr. Suat Sarıdemir
Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Birol Akyüz
Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 30/01/2018

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.

30 Ocak 2018

Tolga Güney

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 yardımlarını esirgemeyen Öğretim Görevlisi Dr. Menderes Kam'a teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme, Dr. Merve Güney Duman'a, araştırma görevlisi Mehmet Duman'a teşekkürü bir borç bilirim.

30 Ocak 2018

Tolga Güney

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|------|
| ŞEKİL LİSTESİ..... | V |
| ÇİZELGELER | VIII |
| KISALTMALAR..... | IX |
| SİMGELER | X |
| ÖZET | XI |
| ABSTRACT | XII |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 1.1. LİTERATÜR..... | 2 |
| 1.1.1. Mil Yatak Sistemlerinde Titreşim Davranışları İle İlgili Çalışmalar | 3 |
| 1.1.2. Isıl İşlem Ve Dövme İşlemi İle İlgili Çalışmalar | 6 |
| 1.1.3. Literatür Araştırmasının Değerlendirilmesi | 7 |
| 2. MİLLERİN MALZEMESİ | 8 |
| 2.1. ÇELİK..... | 8 |
| 2.1.1. Genel Yapı Çelikleri | 9 |
| 2.1.2. Sementasyon Çelikleri | 9 |
| 2.1.3. Otomat Çelikleri | 10 |
| 2.1.4. Paslanmaz Çelikler | 10 |
| 2.1.5. Takım Çelikleri | 11 |
| 2.1.6. Islah Çelikleri | 11 |
| 2.2. HADDE İŞLEMİ..... | 12 |
| 2.3. ISLAH İŞLEMİ VE UYGULAMASI | 12 |
| 2.4. DÖVME İŞLEMİ VE UYGULANMASI | 13 |
| 2.4.1. Millerde Dövme İşlemi | 14 |
| 2.5. AISI 4140 | 15 |
| 2.6. AISI 4340 | 18 |
| 2.7. AISI 5140 | 19 |
| 3. TİTREŞİM ANALİZİ..... | 21 |

| | |
|---|----|
| 3.1. TİTREŞİMİN NEDENLERİ | 22 |
| 4. DENEY SETİ..... | 23 |
| 5. BULGULAR VE TARTIŞMA | 27 |
| 5.1. BODE EĞRİLERİ GRAFİKLERİ | 27 |
| 5.2. SPEKTRUM TİTREŞİM GRAFİKLERİ | 52 |
| 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER | 91 |
| 6.1. SONUÇLAR..... | 91 |
| 6.2. ÖNERİLER | 91 |
| 7. KAYNAKLAR..... | 92 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 96 |



ŞEKİL LİSTESİ

| | <u>Sayfa No</u> |
|--|------------------------|
| Şekil 2.1. Hadde yoluyla üretilen imalat..... | 12 |
| Şekil 2.2. Dövme işlemi..... | 14 |
| Şekil 2.3. Dövme işlemi süreci..... | 15 |
| Şekil 2.4. Sertlik ölçme cihazı..... | 17 |
| Şekil 3.1. Mekanik titreşim ölçüm..... | 21 |
| Şekil 4.1. Deney malzemeleri işlem süreci..... | 24 |
| Şekil 4.2. Deney seti teknik resmi..... | 25 |
| Şekil 5.1. Haddelenmiş 4140 mil için Ch1 Bode Eğrisi..... | 29 |
| Şekil 5.2. Haddelenmiş 4140 mil için Ch2 Bode Eğrisi..... | 30 |
| Şekil 5.3. Islahlı 4140 mil için Ch1 Bode Eğrisi..... | 31 |
| Şekil 5.4. Islahlı 4140 mil için Ch2 Bode Eğrisi..... | 32 |
| Şekil 5.5. Dövme 4140 mil için Ch1 Bode Eğrisi..... | 33 |
| Şekil 5.6. Dövme 4140 mil için Ch2 Bode Eğrisi..... | 34 |
| Şekil 5.7. Islahlı dövme 4140 mil için Ch1 Bode Eğrisi..... | 35 |
| Şekil 5.8. Islahlı dövme 4140 mil için Ch2 Bode Eğrisi..... | 36 |
| Şekil 5.9. Haddelenmiş 4340 mil için Ch1 Bode Eğrisi..... | 37 |
| Şekil 5.10. Haddelenmiş 4340 mil için Ch2 Bode Eğrisi..... | 38 |
| Şekil 5.11. Islahlı 4340 mil için Ch1 Bode Eğrisi..... | 39 |
| Şekil 5.12. Islahlı 4340 mil için Ch2 Bode Eğrisi..... | 40 |
| Şekil 5.13. Dövme 4340 mil için Ch1 Bode Eğrisi..... | 41 |
| Şekil 5.14. Dövme 4340 mil için Ch2 Bode Eğrisi..... | 42 |
| Şekil 5.15. Islahlı dövme 4340 mil için Ch1 Bode Eğrisi..... | 43 |
| Şekil 5.16. Islahlı dövme 4340 mil için Ch2 Bode Eğrisi..... | 44 |
| Şekil 5.17. Haddelenmiş 5140 mil için Ch1 Bode Eğrisi..... | 45 |
| Şekil 5.18. Haddelenmiş 5140 mil için Ch2 Bode Eğrisi..... | 46 |
| Şekil 5.19. Islahlı 5140 mil için Ch1 Bode Eğrisi..... | 47 |
| Şekil 5.20. Islahlı 5140 mil için Ch2 Bode Eğrisi..... | 48 |
| Şekil 5.21. Dövme 5140 mil için Ch1 Bode Eğrisi..... | 49 |
| Şekil 5.22. Islahlı dövme 5140 mil için Ch1 Bode Eğrisi..... | 50 |

| | |
|---|----|
| Şekil 5.23. Islahlı dövme 5140 mil için Ch2 Bode Eğrisi..... | 51 |
| Şekil 5.24. Haddelenmiş 4140 mil için spektrum titreşim grafiği (30 Hz)..... | 53 |
| Şekil 5.25. Islahlı 4140 mil için spektrum titreşim grafiği (30 Hz)..... | 54 |
| Şekil 5.26. Dövme 4140 mil için spektrum titreşim grafiği (30 Hz)..... | 55 |
| Şekil 5.27. Islahlı dövme 4140 mil için spektrum titreşim grafiği (30 Hz) | 56 |
| Şekil 5.28. Haddelenmiş 4340 mil için spektrum titreşim grafiği (30 Hz)..... | 57 |
| Şekil 5.29. Islahlı 4340 mil için spektrum titreşim grafiği (30 Hz)..... | 58 |
| Şekil 5.30. Dövme 4340 mil için spektrum titreşim grafiği (30 Hz)..... | 59 |
| Şekil 5.31. Islahlı dövme 4340 mil için spektrum titreşim grafiği (30 Hz)..... | 60 |
| Şekil 5.32. Haddelenmiş 5140 mil için spektrum titreşim grafiği (30 Hz)..... | 61 |
| Şekil 5.33. Islahlı 5140 mil için spektrum titreşim grafiği (30 Hz)..... | 62 |
| Şekil 5.34. Dövme 5140 mil için spektrum titreşim grafiği (30 Hz)..... | 63 |
| Şekil 5.35. Islahlı dövme 5140 mil için spektrum titreşim grafiği (30 Hz)..... | 64 |
| Şekil 5.36. Haddelenmiş 4140 mil için spektrum titreşim grafiği (40 Hz)..... | 65 |
| Şekil 5.37. Islahlı 4140 mil için spektrum titreşim grafiği (40 Hz)..... | 66 |
| Şekil 5.38. Dövme 4140 mil için spektrum titreşim grafiği (40 Hz)..... | 67 |
| Şekil 5.39. Islahlı dövme 4140 mil için spektrum titreşim grafiği (40 Hz)..... | 68 |
| Şekil 5.40. Haddelenmiş 4340 mil için spektrum titreşim grafiği (40 Hz)..... | 69 |
| Şekil 5.41. Islahlı 4340 mil için spektrum titreşim grafiği (40 Hz)..... | 70 |
| Şekil 5.42. Dövme 4340 mil için spektrum titreşim grafiği (40 Hz)..... | 71 |
| Şekil 5.43. Islahlı dövme 4340 mil için spektrum titreşim grafiği (40 Hz)..... | 72 |
| Şekil 5.44. Haddelenmiş 5140 mil için spektrum titreşim grafiği (40 Hz)..... | 73 |
| Şekil 5.45. Islahlı 5140 mil için spektrum titreşim grafiği (40 Hz)..... | 74 |
| Şekil 5.46. Dövme 5140 mil için spektrum titreşim grafiği (40 Hz)..... | 75 |
| Şekil 5.47. Islahlı dövme 5140 mil için spektrum titreşim grafiği (40 Hz)..... | 76 |
| Şekil 5.48. Haddelenmiş 4140 mil için spektrum titreşim grafiği (50 Hz)..... | 77 |
| Şekil 5.49. Islahlı 4140 mil için spektrum titreşim grafiği (50 Hz)..... | 78 |
| Şekil 5.50. Dövme 4140 mil için spektrum titreşim grafiği (50 Hz)..... | 79 |
| Şekil 5.51. Islahlı dövme 4140 mil için spektrum titreşim grafiği (50 Hz)..... | 80 |
| Şekil 5.52. Haddelenmiş 4340 mil için spektrum titreşim grafiği (50 Hz)..... | 81 |
| Şekil 5.53. Islahlı 4340 mil için spektrum titreşim grafiği (50 Hz)..... | 82 |
| Şekil 5.54. Dövme 4340 mil için spektrum titreşim grafiği (50 Hz)..... | 83 |
| Şekil 5.55. Islahlı dövme 4340 mil için spektrum titreşim grafiği (50 Hz)..... | 84 |
| Şekil 5.56. Haddelenmiş 5140 mil için spektrum titreşim grafiği (50 Hz)..... | 85 |

| | |
|--|----|
| Şekil 5.57. Islahlı 5140 mil için spektrum titreşim grafiği (50 Hz)..... | 86 |
| Şekil 5.58. Dövme 5140 mil için spektrum titreşim grafiği (50 Hz) | 87 |
| Şekil 5.59. Islahlı dövme 5140 mil için spektrum titreşim grafiği (50 Hz)..... | 88 |
| Şekil 5.60. Ch1 için yerdeğiştirme değerleri (40 Hz)..... | 89 |
| Şekil 5.61. Ch2 için yerdeğiştirme değerleri (40 Hz)..... | 90 |



ÇİZELGELER

| | <u>Sayfa No</u> |
|--|------------------------|
| Çizelge 2.1. AISI 4140 çeliği kimyasal bileşimi..... | 16 |
| Çizelge 2.2. AISI 4140 sıcak şekillendirme ve ısıl işlem sıcaklıkları..... | 16 |
| Çizelge 2.3. AISI 4140 sertlik tablosu..... | 17 |
| Çizelge 2.4. AISI 4340 çeliği kimyasal bileşimi..... | 18 |
| Çizelge 2.5. AISI 4340 sıcak şekillendirme ve ısıl işlem sıcaklıkları..... | 18 |
| Çizelge 2.6. AISI 4340 sertlik tablosu..... | 19 |
| Çizelge 2.7. AISI 5140 çeliği kimyasal bileşimi..... | 19 |
| Çizelge 2.8. AISI 5140 sıcak şekillendirme ve ısıl işlem sıcaklıkları..... | 20 |
| Çizelge 2.9. AISI 5140 sertlik tablosu..... | 20 |
| Çizelge 4.1. Deneysel çalışmada kullanılan malzemelerin kodlanması..... | 25 |
| Çizelge 4.2. Deney seti elemanları..... | 26 |
| Çizelge 5.1. Bode eğrileri için hız - amplitud (genlik) değerleri (40 Hz)..... | 89 |

KISALTMALAR

| | |
|------|---|
| AISI | American iron and steel institute (Amerikan demir ve elik enstitüsü) |
| D | Dövme |
| DI | Islahlı dövme |
| DIN | Deutsches institut für normung (Alman standartlar enstitüsü) |
| H | Hadde |
| I | Islah |
| RPM | Revolution per minute (Dakikadaki dönme sayısı) |
| SAE | Society of automotive engineers (Otomotiv mühendisleri derneği) |

SİMGELER

| | |
|-----------------|--|
| Al | Alüminyum |
| C | Karbon |
| °C | Sıcaklık (santigrat – celcius) |
| Cu | Bakır |
| Cr | Krom |
| Fe | Demir |
| HP | Güç (Beygir gücü – Horse power) |
| HB | Sertlik değeri (brinell sertliği – hardness değeri) |
| HR _c | Sertlik Değeri (rockwell sertliği – hardness değeri) |
| gr | Kütle (gram) |
| kHz | Frekans birimi (KiloHertz) |
| kw | Kilowatt |
| mil | 0,0254 <i>mm</i> |
| mm | Uzunluk birimi (milimetre) |
| m | Uzunluk birimi (metre) |
| Mn | Mangan |
| Mo | Molibden |
| N | Azot |
| Ni | Nikel |
| P | Fosfor |
| S | Kükürt |
| Si | Silisyum |
| V | Vanadyum |
| Ø | Çap |
| % | Yüzde |

ÖZET

SICAK DÖVME İŞLEMİ GÖRMÜŞ ISLAH ÇELİK MİLLERİN DİNAMİK DAVRANIŞLARININ DENEYSEL ANALİZİ

Tolga GÜNEY

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof.Dr. Hamit SARUHAN

Ocak 2018, 95 sayfa

Endüstride dönen makine sistemlerinde istenilen yüksek hız ve ağır yük şartları altında güvenli ve kararlı çalışma ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Bu sistemler miller, yuvarlanmalı yataklar ve diskler olmak üzere çeşitli mekanik bileşenlerden oluşmaktadır. Miller, dönen makine sistemlerinin dinamik davranışları için hayati fonksiyona sahiptir. Makinelerin dinamik davranışlarının tespit edilmesinde en önemli ve ayrıntılı bilgiler verebilen titreşim analizidir. Titreşim analizi, makine sistemlerinin işletme şartlarındaki performansının belirlenmesi ve mekanik sorunların ortaya çıkarılmasında en önemli yöntemlerden biridir. Dönen makine sistemlerinde titreşimlerin azaltılması millerin imalatında uygun malzeme seçimi ve bu malzemelerin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi ile mümkündür. Millere ıslah işlemi ve dövme işlemi uygulayarak iyileştirme yapılabilir. Bu çalışmada, özellikle otomotiv endüstrisinde kullanılan krank mili, aks mili, yivli mil ve demiryolu araçlarının milleri gibi sünekliği yüksek makine parçalarının imalatında yaygın kullanım alanına sahip AISI 4140, AISI 4340 ve AISI 5140 çeliğinden imal edilmiş miller kullanılmıştır. Bu miller; biri normal ve üçü farklı işlem (ıslah, dövme ve dövme işlemi sonrası ıslah) görmüş ve yuvarlanmalı yataklarla desteklenmiş ayrıca uç kısmına fan takılmış aynı yükleme şartlarında ve 3 farklı mil dönme hızı altında test edilmiştir. Millerden deplasman ölçer ve yuvarlanmalı yataklardan ivme ölçer aracılığıyla ulaşılan veriler ayrıntılı olarak analiz edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak; Hadde işlemi uygulanmış AISI 5140 çeliği hem dövme, ıslah işlemi görmüş durumundan hemde hadde, dövme, ıslah ve dövme ıslah uygulanmış AISI 4140 ve AISI 4340 çeliklerden daha düşük titreşim genliğine sahip olduğu görülmüştür.

Anahtar sözcükler: Dinamik davranış, Dövülmüş mil, Islah çelikleri, Mil, Titreşim anali

ABSTRACT

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF DYNAMIC BEHAVIOR OF HOT FORGING PROCESSED SHAFTS

Student Tolga GÜNEY

Düzce University

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

Master Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Hamit SARUHAN

January 2018, 95 pages

Rotating shaft system is employed in a wide variety of industrial applications including automobiles, machine tools, and machinery. The dynamic behaviors of a rotating shaft system are influenced by a number of parameters which include shaft material, the system geometry, inertial properties, and the mass and stiffness distribution of the rotating assemblies. The selection of the shaft material is crucial to meet the enormous demand of industrial users on the capability of vibration resistance of the rotating shaft system. Incorrect shaft material selection can lead to system failure. Treatment of material has received much attention over the last few decades. The studies to date have headed to focus on material properties for resistance and strength rather than dynamic behavior. On the other hand a substantial amount of extant literatures have reported on dynamics behavior of rotating shaft system regardless shaft material. Because of its fundamental importance in the rotating shaft systems, rotating shaft dynamics will persists as an active area of study for foreseeable future. The main objective of this study is to experimentally show that the material properties of shaft have a significant influence on the vibration response within operating range of the rotating shaft system. The role of rolling, forging, and tempering treatments to AISI 4140, AISI 4340, and AISI 5140 steel shaft effects on the rotating shaft system dynamic behavior is investigated. Treatable AISI 4140, AISI 4340, and AISI 5140 steel are among the most widely used in industrial applications requiring more resistance and strength. Rolling, rolling and forging, rolling and tempering, and rolling, forging, and tempering treatments are utilized to sustain the service life by increasing vibration reliability for each of AISI 4140, AISI 4340, and AISI 5140 steel shaft materials. Since treatments of shaft material play a very important part in stability of rotating shaft, four different treatments are employed. The results showed that rolling treatment surprisingly and positively affects the dynamic behavior of AISI 5140 steel shaft compare to AISI 4140 and AISI 4340 steel shaft with rolling, rolling and forging, rolling and tempering, and rolling, forging, and tempering treatments. It can be concluded that the performance of the rotating shaft system is very dependent on vibrations generated by the rotating shaft subject to properties of its material.

Keywords: Dynamic behavior, Forged shaft, Tempered shaft, Shaft, Vibration analysis.

1. GİRİŞ

Endüstride yaygın olarak kullanılan dönen mekanik sistemlerde (turbo makineler, jeneratörler, kompresörler, pompalar, buhar ve gaz türbinleri) aşırı yük ve yüksek hız gibi pekçok ağır koşul oluşmaktadır. Oluşan durumlara rağmen sistemlerin sorunsuz bir şekilde çalışması için uygun malzeme seçimi ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi doğrudan etkilidir.

Döner makine sistemleri; miller, yuvarlanmalı yataklar (rulmanlar) ve diskler(dişli çark, kasnak, fan gibi) olmak üzere çeşitli mekanik bileşenlerden oluşmaktadır. Endüstride hareket ve güç iletimi için kullanılan millere duyulan ihtiyaç; yüksek hız isteyen durumlarda, istenen yüksek hızın yanı sıra güvenli, kararlı ve ekonomik çalışma gereksinimi için gün geçtikçe artmaktadır. Her milin işletmedeki çalışma frekansının kendi frekansına eşit olması veya çok yakın olması istenmeyen titreşim durumunu rezonansı ortaya çıkarır. Bu durumda millerin mekanik enerjisi giderek artar ve bu enerjiyi dengeleyecek önlemler bulunmuyorsa milde hasar oluşabilir [1]. Bu nedenle yüksek hızda çalışan millerin bulunduğu sistemlerde dinamik performanslarının ve olası sorunların takibi için, sistemin dinamik davranışını karakterize eden çeşitli parametrelerden faydalanılmaktadır. Bu sistemlerin çalışma durumlarının belirlenmesinde en önemli ve ayrıntılı veriler sunan titreşim karakteristikleridir. Titreşim analizi, izleme yöntemleri arasında en etkin olanı olarak kabul edilmekte ve bu yöntemle işletme koşullarında sistemleri daha doğru ve ekonomik şekilde takip edilebilmektedir. Bu sistemlerde titreşimlerin tamamen giderilebilmesi mümkün olmamakla birlikte, tasarım ve geliştirme aşamasında alınacak tedbirlerle azaltılması mümkündür.

Sistemlerde kullanılan makine elemanlarının malzemelerine üstün mekanik özellikler dövme işlemi ve ıslah işlemi ile sağlanabilmektedir. Dövme işlemi ile daha küçük tane yapısı elde edilerek malzemenin mikro yapısında daha düzenli bir yapı oluşmakta; malzemenin mekanik özelliklerinde iyileşmeler sağlanmaktadır. Islah işlemi, yapılan malzemeye yüksek dayanım, yüksek akma sınırı, süneklik ve plastiklik özellikleri kazandırmaktadır [2]. Islah işlemi, ıslah çelikleri ve bazı takım çeliklerine uygulanan bir işlemdir. Islah çeliklerinin kullanım alanları, makine ve motor parçaları, krank milleri,

akslar, tahrik parçaları, piston kolları, dişli yapımı ve bunların yanı sıra türbinler, jeneratörler, pompalar, kompresörler, redüktörler, uçak, otomotiv ve raylı sistemlerde kullanılan millerdir [2], [3]. Bu geniş kullanım ıslah çeliklerinin daha güvenilir malzeme haline gelmesi için çalışmaların daha yoğun olarak yapılması ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır.

Dönerek çalışan makinelerin çalışma şartlarının ve performanslarının incelenmesi ve analiz edilmesi için sistemin dinamik davranışını karakterize eden çeşitli değişkenlerden faydalanılmaktadır. Performansı gözlenecek makinede; çalışma şartları ve ölçüm yapılacak noktaların özelliklerine bağlı olarak; çeşitli fiziksel büyüklükler yardımıyla makinenin performansı, belirli bir zaman aralığında gözlemlenebilmektedir. Makinelerin çalışma koşullarında belirlenmesinde önemli bilgileri veren nitelik titreşim karakteristikleridir. Titreşim karakteristikleri, makinenin işletme şartlarındaki performansını ve mekanik problemlerinin ortaya çıkarılmasında önemli faktörleri teşkil eder.

Bu faktörler titreşim frekansı, genliği, hızı ve ivmesidir. Her bir hareketin hız ve ivmesinin birbirine bağımlı olmasından kaynaklanan ilgili kuvvet değişikliklerinin kayıt altına alınması ve düzenli yapılacak ölçümler ile döner tüm makinelerin titreşim durum tespiti yapılır. Böylece; sistemdeki büyük mekanik kayıplar minimuma indirilebilmektedir [4].

Bu çalışmada; döner makine parçası olarak en çok kullanılan miller ve endüstride kullanımı yüksek olan ıslah çeliklerinin dinamik davranışları konusunda çalışma yapılmıştır. Islah çelikleri olarak AISI 4140, AISI 4340 ve AISI 5140 malzemeleri; haddelenmiş, hadde işlemi sonrası ıslah işlemi görmüş, dövme ve dövme işlemi sonrası ıslah görmüş olarak her biri 4 adet farklı işlem sürecinden geçmiş malzemelerden yapılmış miller deney numunesi olarak kullanılmıştır. Deney numuneleri 3 farklı mil dönme hızı altında test edilmiştir. Millerden deplasman ölçer ve yuvarlanmalı yataklardan ivme ölçerler aracılığıyla elde edilen veriler ayrıntılı olarak analiz edilerek ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Böylece millerin hangi işleme tabi tutulduğunda daha kararlı çalışabileceği görülmüştür.

1.1. LİTERATÜR

Bu bölümde; mil yatak sistemlerinde oluşan titreşimler ayrıca ısıtım işlem ve dövme ile ilgili yapılan çalışmalardan özetler yer almaktadır.

1.1.1. Mil Yatak Sistemlerinde Titreşim Davranışları İle İlgili Çalışmalar

Kam ve Saruhan, ısıtım işlem görmüş millerin dinamik davranışları konusunda inceleme yapmışlardır. Yapılan çalışmada ısıtım işlem görmüş millerin titreşim genlikleri kurulan deneysel düzenek ile alınmıştır. Kurulan deneysel düzenekte rulmanlı yatak kullanılmış ve AISI 4140 malzemede ısıtım işlem uygulanmış miller ve ısıtım işlem uygulanmamış miller için titreşim ölçümü yapılmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda ısıtım işlem uygulanmış milde uygulanmamış mile göre daha az rezonans görülmüştür [1].

Kılıncı ve Saruhan, kaymalı ve yuvarlanmalı yataklarda mil kritik hız analizi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışmada üç farklı yükte kaymalı ve yuvarlanmalı yatak kullanılıp 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 ve 50 Hz frekanslarında titreşim sinyalleri ivme ölçer ile ölçülmüştür. Yapılan farklı frekanslardaki ölçümler sonucunda yuvarlanmalı yataklarda kaymalı yataklara göre “titreşim daha yüksek olduğu” sonucuna ulaşılmıştır [4].

Saruhan ve arkadaşları, sönümlü yuvarlanmalı yatak tarafından desteklenmiş milin dinamik davranışının deneysel analizi çalışmasını yapmışlardır. Deneysel çalışmada farklı çalışma hızları ve yük seviyeleri için sönümlü yuvarlanmalı yatakla desteklenen mil, dinamik davranışları yönünden ve yer değiştirmesi yönünden incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Yük konumu diske tutturulmuş dengesizlik vidasının konumunun titreşim tepkisini önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. Sönümlü yatak muhafazasının, kütle kullanılmadığı yerde mil rezonans genliğinde azalma için kullanılabilir sonucuna ulaşılmıştır [5].

Kam ve arkadaşları, kriyojenik işlem görmüş ve indüksiyonla sertleştirme uygulanmış millerin dinamik davranışlarının deneysel analizi çalışmasında, otomotiv ve imalat sanayisinde kullanımı olan AISI 4140 ıslah çeliği kullanmışlardır. Yüzeyinde 0,5; 1,00; 1,50 mm indüksiyonla sertleştirme yapılmış 3 numune ve farklı sıcaklık ve bekleme sürelerinde kriyojenik işlem görmüş (Geleneksel ısıtım işlem, 36 saat süreli derin kriyojenik işlem görmüş ve 36 saat bekletme süreli derin kriyojenik işlem ve temperleme işlemi görmüş) 4 adet deney numunesi kullanılmıştır. Deneylerde 36 saat süreli derin

kriyojenik işlem görmüş mil ve yüzeyinde 1,50 mm indüksiyonla sertleştirilmiş millerinin daha düşük yer değiştirme genlik değerlerine sahip olduğu ve diğer millere kıyasla daha düşük olduğu sonucuna ulaşmışlardır [6].

Kam ve arkadaşları, kriyojenik işlem ve sıcak dövme işlemi uygulanmış millerin deneysel titreşim analizini incelemişlerdir. Endüstride yaygın kullanım alanına sahip AISI 4140 çeliğinden imal edilen millerin ıslahsız, ıslahlı, geleneksel ısıtma işlemi uygulanmış, geleneksel ısıtma işlemi tamamlayıcı bir işlem olan derin kriyojenik işlem uygulanmış, temperleme işlemi uygulanmış, ıslahsız mile sıcak dövme işlemi uygulanmış ve ıslahlı mile sıcak dövme işlemi uygulanmış durumlarda titreşim analizleri deneysel olarak incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmada yuvarlanmalı yataklar kullanılmıştır ve uç kısmına fan koyulmuştur. Millerden deplasman ölçer ve yuvarlanmalı yataklardan ivme ölçer aracılığıyla elde edilen veriler ayrıntılı olarak analiz edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuçlardan kriyojenik ve sıcak dövme işlemi uygulanmış millerin dinamik davranışlarında anlamlı farklılıklar olduğu gösterilmiştir. Derin kriyojenik işlem sonrası temperleme işlemi uygulanmış milin, diğer işlemliler millere göre daha az yer değiştirme yaptığı, daha az rezonansa girdiği ve daha kararlı olduğu gözlemlenmiştir [7].

Kam, kriyojenik işlem görmüş millerin dinamik davranışlarının deneysel analizi çalışmasında AISI 4140 çeliğinden imal edilmiş milleri kullanmıştır. Bu millere geleneksel ısıtma işlemi, tamamlayıcısı olan derin kriyojenik işlem ($-140\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de 12, 24, 36, 48 saat) ve derin kriyojenik işlem sonrası temperleme işlemi ($200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de 2 saat) uygulanmıştır. Bu miller bir normal ve dört farklı kusurlu (iç bilezik, dış bilezik, bilye ve hepsi kusurlu) yuvarlanmalı yataklarla desteklenmiş, uç kısmına fan takılmış aynı yükleme şartlarında ve 5 farklı mil dönme hızı altında test edilmiştir. Millerden deplasman ölçer ve yuvarlanmalı yataklardan ivme ölçer aracılığıyla elde edilen veriler ayrıntılı olarak analiz edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, derin kriyojenik işlem ve sonrasında temperleme işlemi uygulanmış millerin dinamik davranışlarında önemli farklılıklar olduğunu göstermiştir. Dolayısıyla, millerin daha az yer değiştirme yaptığı, daha az rezonansa girdiği ve sonuç olarak daha kararlı olduğu gözlemlenmiştir [8].

Arias-Montiel ve arkadaşları, iki diskli bir mil sistemi dengesizliği sorununu analiz etmiştir. Sonlu Elemanlar Metodu ile elde edilen model deneysel çalışma ile doğrulamak için kullanılmıştır. Mil dinamik analizi, doğal frekans ve mil sisteminin sonlu eleman

modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir [9].

Nembhard ve arkadaşları, mil ile ilgili hatalar için mil yörünge (orbit) üzerinde deneysel çalışma yapmıştır. Bu çalışma ile pratik mil arıza teşhisi için yararlı sonuçların yanı sıra, görülen mil arızaları ile ilgili analitik çalışmalara katkı sağlamıştır [10].

Taplak ve Uzmay, titreşim parametrelerinin dönen mekanik sistem dinamiğine etkilerinin araştırılması çalışmasında, düz bağlantılı rotor düzeneği kurup yataklar üzerinden titreşim verilerini yüklü ve yüksüz olarak almıştır. Alınan veriler sonucunda, milin yüksüz çalışması durumunda yüklü duruma göre daha düşük titreşim genlikleri elde edildiği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca milin tahrik edilen noktaya uzak olan uçta genlik miktarının az da olsa arttığı gözlenmiştir [11].

Köse, makine arızalarının belirlenmesi konusunda titreşim analizi çalışması yaparak titreşim oluşumunun öneminden bahsetmiş ve titreşim analizinin her makina için yapılması gerektiğini söylemiştir. Titreşimin oluşum nedenlerine de ayrıca değinmiştir. Titreşim oluşumunun balanssızlık, kaplin ayarsızlığı; mekanik çözülme, dişli arızaları, kayış arızaları, AC motor arızaları ve yatak arızalarından oluşabileceğini açıklamıştır [12].

Arslan, titreşim analizi yöntemini kullanarak radyal bilyeli yatak yuvarlanma elemanındaki bölgesel bir yüzey kusurunun etkisini analitik ve deneysel olarak incelemiştir. Bilyeli yatak yuvarlanma elemanı çalışma yüzeyinde yapay bir bölgesel kusur oluşturmuş ve radyal yöndeki mil titreşimlerini kaydetmiştir. Analitik inceleme için ise teorik bir model oluşturmuş ve bu modele göre sağlam ve kusurlu durumdaki yatakları analiz edebilen bir simülasyon programı geliştirmiştir. Deney setinde kullanılan mil ve yatak boyutlarını ve farklı mil dönme hızları için milin titreşim verilerini almıştır. Analitik ve deneysel olarak titreşim verilerini karşılaştırdığında iki durumda da benzer sonuçlarla karşılaşmıştır [13].

Gündüz ve arkadaşları, mil-yatak sisteminin özelliklerine göre ön yük taşıyan rolünü incelemiştir. Analitik bir modeli aksel yatak ön kuvvetlerinin etkilerini değerlendirmek için geliştirmiştir. Titreşim davranışını etkileyen doğal frekansların rezonans genliklerini önemli ölçüde etkilediğini görmüşlerdir [14].

Öztürk ve Karabulut, tek silindirli dört zamanlı bir dizel motorun piston, biyel, krank ve bloğunun dinamik modelini oluşturarak krank milinin çevrimlik açısal hız değişimleri ve bloğun titreşimlerini incelemiştir. Krank milinin açısal hızındaki değişimlerin motor

yüküyle arttığını gözlemiştir. Motor bloğunun krank mili eksenine etrafındaki açısal titreşimlerinin gaz kuvvetlerinden, düşey ve yatay doğrultudaki doğrusal titreşimlerinin ise piston kütlesi ve krank milinin dengesizliğinden kaynaklandığını tespit etmiştir [15].

Uysal ve arkadaşları, dönen makinelerdeki dengesizlik arızalarının genel özelliklerini incelemiştir. Dengesizlik arızası tiplerini inceleyerek hangi sınıf dengesizlik arızası olduğunu titreşim analizi ile spektrum grafikleri ve faz açıları yardımıyla tespit etmiştir. Elde ettiği sonuçlardan titreşim analizinin dengesizlik arızasının belirlenmesinde etkili olarak kullanılabileceğini görmüşlerdir [16].

1.1.2. Isıl İşlem Ve Dövme İşlemi İle İlgili Çalışmalar

Höke ve arkadaşları, kriyojenik işlemin SAE 4140 çeliğinin mekanik özelliklerine etkisi üzerine çalışmış ve kriyojenik işlem, ıslah işlem ve menevişleme uygulanmış malzemelerin tokluklarında artma olduğu ve kriyojenik işlemin mikro sertliğe pozitif yönde etki ettiği sonucuna ulaşmıştır. Ancak malzemelerin mekanik özelliklerinin artışında sadece kriyojenik işlemin yeterli olmadığı ıslah ve menevişleme işlemlerinin de uygulanmasının gerekli olduğu sonucu ortaya çıkmıştır [17].

Demirezen ve arkadaşları, DIN 41Cr4 ve DIN 42CrMo4 çeliklerde ısıl işleminin mekanik özelliklere etkisinin araştırılması çalışmasında 42CrMo4'ün maliyet olarak 41Cr4'e göre daha maliyetli olmasına rağmen mekanik özellikleri açısından daha iyi olduğu ve otomotiv rot endüstrisinde tercih sebebi olduğu, daha çok kullanıldığı ve uygulanacak ısıl işlemler ile maliyeti daha az olan 41Cr4'ün mekanik özellikler bakımından 42CrMo4'e alternatif olabileceği sonucuna ulaşmışlardır [18].

Adalı ve Kurnaz, AISI 5140 ıslah çeliğinin küreselleştirme ısıl işlemi ve mekanik özelliklere etkisi üzerine bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada uygun şartlarda 2, 4, 8, 16, 24 saat küreselleştirme işlemi uygulanmıştır. Mikroyapı ve mekanik özelliklerden sertlik, burulma ve çekme değerlerindeki değişimler irdelenmiştir. Sonuçlara göre küreselleştirme işlemi uygulanmamış malzemenin değerlerinin daha iyi olduğu sonucuna ulaşılmıştır [19].

Yiğitarıslan, sıcak dövme işleminde karşılaşılan hatalar ve önlenmesi üzerine bir çalışma yapmıştır. Kalıpların yeterli sıcaklıkta olması, fırın sıcaklıklarının kontrol edilmesi, dövme işlemi sonrası malzemedeki kalite kontrol yapılması gibi öneriler sunmuş ve bu önerilerin maliyete etkisini araştırmıştır [20].

Civelekoğlu, ıslah eliği AISI 4140, X100Cr6, C45, X20Cr13 malzemelerin dövme parametreleri üzerine bir çalışma yapmıştır. Malzemenin akışı, gerilme dağılımı, kalıpların malzeme ile dolması ile ilgili işlem parametreleri incelemiştir [21].

akır, orta karbonlu AISI 1040 eliğine uygulanan sıcak dövme işleminin mekanik özelliklere etkisi üzerine bir çalışma yapmıştır ve bu çalışma sonucunda sıcak dövme işlemi ardından malzemenin mekanik özelliklerinde ve sertliğinde iyileşmeler olduğunu tespit etmiştir [22].

1.1.3. Literatür Araştırmasının Değerlendirilmesi

Literatürde yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde mil-yatak sistemlerinde ve dönerek çalışan makine sistemlerinde her araştırmacı farklı amaçlar doğrultusunda çalışmalar yaptığından kendi deney düzeneklerini kurmuş ve dönen makine sistemlerinin dinamik davranış analizlerini gerçekleştirmiştir. Millerin dinamik davranışlarının deneysel olarak incelenmesi için herkes tarafından kabul görmüş bir deney metodu yoktur.

Literatürde ıslah işlemi genel olarak, malzemelerin mekanik özelliklerini iyileştirmek için kullanılan bir işlem olarak tanımlanmıştır ve uygulanacak ısıl işlem sonucunda malzemelerin mikroyapı, sertlik, tokluk [17], burulma ve çekme gerilmesi [19] davranışlarında daha iyi sonuçlar grlmştir [18].

Dövme işlemi uygulamasında malzemelerin mekanik özelliklerinin ve sertliklerinin [22] iyileştiği ancak dövme işlemi uygulamasında kalıp sıcaklığı [20], malzemenin kalıba dolması ve gerilme dağılımı [21] gibi birçok faktörün mekanik özelliklere etki ettiği grlmştir.

Sonuç olarak; literatür çalışması değerlendirildiğinde AISI 4140, AISI 4340 ve AISI 5140 malzemelerine uygulanan ısıl işlemler ve dövme işlemi ile ilgili çalışmalar yapılmasına rağmen yukarıda bahsedilen ıslah çeliklerine uygulanan dövme işleminin dinamik davranışa etkisi ile ilgili bir çalışma yapılmadığı görülmektedir. Bu alışma ile hem dövme işlemi uygulanmış AISI 4140, AISI 4340 ve AISI 5140 çeliğinden imal edilen millerin dinamik davranışları üzerinde dövme işleminin etkileri deneysel olarak incelenmiş hem de bundan sonraki yapılacak çalışmalar için bir temel teşkil etmiş olacaktır. Ayrıca, literatüre katkı sağlamak amacıyla AISI 4140, AISI 4340, AISI 5140 çeliğinden imal edilmiş ve hadde, ıslah, dövme ve dövme sonrasında ıslah işlemi uygulanmış millerin dinamik davranışları deneysel olarak incelenmiş ve karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

2. MİLLERİN MALZEMESİ

2.1. ÇELİK

Endüstride kullanılan malzemelerin çoğu çelik malzemeden yapılmaktadır. Çelik, bir Demir (Fe) ve Karbon (C) alaşımıdır. Karbon'dan başka değişik oranlarda alaşım elementleri ve deoksidasyon elementleri bulunur. Çeliğe değişik oranlarda alaşım elementleri katılabileceği gibi, çeşitli işlemler (ıslah, normalizasyon vs.) ile içyapı da kontrol edilerek kullanım amacına göre farklı özelliklerde çelik elde edilebilir.

Çelik, içindeki karbon ve alaşım elementleri değişimi ile çok çeşitli özellikler kazanır. Örneğin; karbon yüzdesi arttıkça sertlik ve mukavemet artar. Kaynak kabiliyeti, dövülebilme ve talaşlı işlenebilme kabiliyetleri zayıflar [17]-[19].

Çeliklerin temel özellikleri;

- Çelikler yüksek mukavemet (Çekme, Kopma, Akma), tokluk (sünelilik), sertlik ve aşınma mukavemeti değerlerine sahiptir [17].
- Çeliklerin dövülebilirlikleri ve işlenebilirlikleri iyidir [19].
- Paslanmazlık ve korozyona mukavemet özelliklerine sahiptir [38].
- Çeliklerin büyük çoğunluğu ısıl işlemlere karşı duyarlıdır. Kimyasal bileşimin yanı sıra uygulanan ısıl işlemler sonucunda istenen sertlik, mekanik ve fiziksel özellik, elektriksel özellik, korozyona ve yüksek sıcaklığa dayanım özelliklerine tam olarak kavuşturulabilir [23].
- Çelikler yapılarının gerektirdiği sıcaklıklara kadar ısıtıldıklarında şekillenme özelliğine kavuşur (Haddeme, presleme, dövme) [23].
- Ayrıca kimyasal bileşim ve iç yapı olarak uygun olan çelikler haddeme, presleme gibi metotlarla soğuk olarak da şekil verilebilir [13].
- Kimyasal bileşim olarak uygun olan çelikler kaynak işlemi ile birleştirilebilir. Çeliklerin çoğunluğu çeşitli yöntemler sayesinde metal ile kaplanmaya, emaye yapılmaya, boyanmaya ve plastik maddeler ile kaplanmaya elverişlidir [23].

Çeliklerin sınıflandırılması şu şekildedir [2];

- Genel yapı çelikleri
- Sementasyon çelikleri
- Otomat çelikleri
- Paslanmaz çelikler
- Takım çelikleri
- Islah çelikleri

2.1.1. Genel Yapı Çelikleri

Çekme dayanımına göre ifade edilen yapı çelikleri, öncelikli olarak çekme gerilmeleri ve akma sınırı değerleri dikkate alınan, çelik konstrüksiyon, köprü yapımı, basınçlı kap ve donanımları, taşıt imalatı ve makine konstrüksiyonlarında kullanılmak üzere tercih edilir.

Bu çelikler genellikle alaşımsız çelik olarak tanımlanır, mekanik özellikler daha çok karbon miktarına bağlıdır ancak başta azot ve fosfor olmak üzere, üretim hammaddelerinden ve üretim şekillerinden kaynaklanan mangan, silisyum, bakır ve kükürt elementleri de oldukça etkilidir [2].

2.1.2. Sementasyon Çelikleri

Sementasyon çelikleri, yüzeyde sert ve aşınmaya dayanıklı, çekirdekte ise daha yumuşak ve tokluk özelliği istenilen, değişken ve darbeli zorlamalara dayanıklı parçaların üretiminde kullanılan alaşımlı veya alaşımsız çeliklerdir [24], [25].

Sementasyon çelikleri; dişli, mil, zincir dişli, zincir baklası, disk, kılavuz yatakları, kesici takımlar ve makaralar gibi makine elemanlarının imalinde kullanılırlar.

Avantajları; parçanın işlenmesi kolay olup özel pasta veya elektrolitik bakır ile kaplanarak kısmi sertleştirme de yapılabilir. Çarpılmalar oldukça azdır ve çeliğin iç kısımları kolayca işlenebilir. Yüksek karbonlu çeliklere göre daha ucuzdur.

Dezavantajları; çelik homojen olmayıp yapısında değişik Fe - C alaşımları mevcuttur. Uygun ısıl işlem tecrübe ister ve pahalıdır. Semente edilmiş parçalar taşlamadan önce dikkatli olarak düzeltilmelidirler [24].

2.1.3. Otomat elikleri

Otomat elikleri yüksek oranda Kükürt (S) ve Mangan (Mn) içeren alaşımsız çeliklerdir. Mangan ve Kükürt'n oluşturduğu Mangan-Sülfür (MnS) sayesinde küçük ve kırılğan talaş oluşumu nedeni ile seri üretime yönelik çalışan hızlı takım tezghlerinde (tek veya çok milli) işlenirler. Bu çeliklere % 0,15 – 0,35 oranında ilave edilen kurşun (Pb) sayesinde kesme hızları arttırılabilmektedir.

Bazen kurşun (Pb) yerine Tellür (Te), Bizmut (Bi) ve Selenyum (Se) da aynı amaçla kullanılmaktadır. Diğer çeliklere oranla daha yüksek Fosfor (P) içermeleri talaş kırılğanlığı ve kesme yüzeyi kalitesini iyileştirir. Karbon oranı az alaşımlı çeliklerde olduğu gibi ifade edilir. Çelikte S, Mn, Pb ve P elementlerinden hangileri var ise bu sırayla gösterilir ve yalnız kükürdün ortalama yüzde oranı yüz ile çarpılarak belirtilir. Örneğin; bileşiminde % 0,45 C, % 0,20 S ve % 0,15 Pb bulunan otomat eliği 45SPb20, bileşiminde % 0,09 C, % 0,15 – 0,30 S, % 0,90 – 1,30 Mn ve % 0,15 – 0,30 Pb bulunan otomat çeliği ise 9SMnPb23 şeklinde ifade edilir [26].

2.1.4. Paslanmaz elikler

Paslanmaz elikler en basit tanımıyla en az % 12 krom içeren demir-krom alaşımlarıdır. Başlangıçta kimyasal endüstrideki boruları ve mutfak eşyalarını çevrenin olumsuz etkilerinden korumak için kullanılmaya başlanan paslanmaz çelikler günümüzde havacılık, tıp nükleer ve savunma sanayi gibi fazla kullanım alanı bulmaktadır [27], [28].

Paslanmaz eliklerin korozyon dirençleri, bünyesindeki krom elementinin yükseltilmesi veya diğer alaşım elementlerinin katkısıyla önemli ölçüde arttırılabılır. Ayrıca martenzitik dönüşüm, çökelme sertleşmesi ve soğuk işleme ile bu çeliklerin mukavemetleri oldukça yükseltilebilmektedir.

Paslanmaz elikleri herhangi bir uygulama alanında kullanmak için göz önünde tutulması gereken faktörler alaşımın korozyon direnci, mekanik özellikler, işlenebilirlik ve ısıl iletkenliktir [28].

Paslanmaz elikler, zayıf aşınma ve oyulma özellikleri ile karakterize edilmiş olmalarına rağmen; sahip oldukları yüksek korozyon dirençlerinden dolayı, üretim mühendisleri tarafından sıkça kullanımına başvurduğu malzemeler arasında yer almaktadırlar [27].

2.1.5. Takım Çelikleri

Takım çelikleri, çelik sınıflandırılmasında ayrı bir grup olarak ele alınmakta ve incelenmektedir. Bunun da nedeni diğer sınıflardaki çeliklere nazaran özellikle çalışma koşulları bakımından farklılık göstermeleridir. Takım çelikleri, toplam çelik üretiminin nispeten küçük bir yüzdesini oluşturmakla beraber diğer çelik mamullerinin ve mühendislik malzemelerinin üretiminde kullanıldıkları için stratejik bir öneme sahiptirler. Takım çelikleri sıcak ya da soğuk haldeki iş parçasını kesme, dövme, delme, eğme, bükme, form verme, ekstürüzyon ve benzeri yöntemlerle şekillendiren takım ve kalıpların yapımında kullanılan çelik grubudur. Yüksek nitelikte üretilen takım çelikleri, takım ve kalıp yapımı dışında spesifik özellik istenen makine parçalarının imalatında da kullanılmaktadır. Takım çeliklerinin arzu edilen özelliklerinden bazıları yüksek aşınma direnci, yüksek sertlik, yüksek tokluk, yüksek sıcaklık mukavemeti, yüksek işlenebilirlik, yüksek sertleşebilirlik ve homojen mikroyapıdır [2], [29].

Diğer sınıflardaki çeliklere göre daha ağır çalışma koşullarında kullanılan takım çeliklerinden, düşük veya yüksek sıcaklıklardaki kullanımları sırasında, yüksek hızlarda ve yüksek gerilmelerde deforme olmaksızın, kırılmaksızın ve aşınmaksızın sürekli aynı performansı göstermeleri istenir. Çalışma koşullarının gerektirdiği özellikler, karbonun yanı sıra bileşiminde bulunan alaşım elementleri ile sağlanır. Bu çeliklere üstün özellikler kazandıran başlıca alaşım elementleri; krom, molibden, vanadyum, volfram ve kobalttır. Bileşiminde mangan, nikel ve silisyumun yanı sıra alüminyum, titanyum ve zirkonyum gibi tane küçültücü elementlerde bulunabilmektedir. Empürite elementleri olan fosfor ve kükürdün en çok %0,03 düzeyinde bulunması tercih edilir [29].

2.1.6. Islah Çelikleri

Islah çelikleri için sertleşebilirlik özelliklerinden başka, yüksek dayanım ve süneklik özellikleri de istenir. Gerekli seviyede sertlik elde edilebilmesi için, ıslah çelikleri diğerlerine göre fazla karbon içermektedir. Kalın kesitli parçalar için sertlik derinliğinin en önemli ölçüt olması nedeniyle, bu parçalar alaşımli ıslah çeliklerinden üretilebilirler [2].

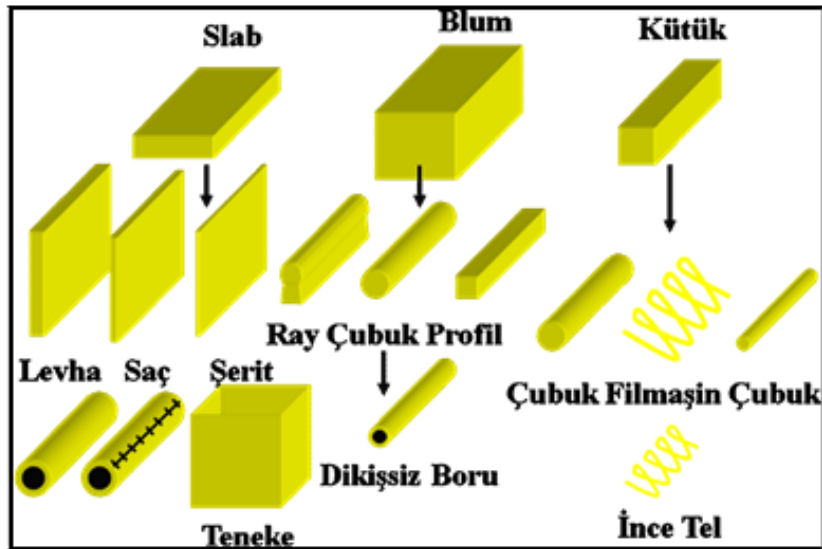
Islah çeliklerinin seçiminde, parça boyutları ve dayanım değerleri ön plandadır. Alaşımli ıslah çelikleri ancak küçük kesitli parçalarda verimli olabilir. Kalın kesitli parçalar için, sertlik dağılımının homojen olması, çeliğin alaşımli olmasına bağlıdır. Islah çelikleri alevle ve indüksiyonla sertleştirilebileceği gibi, ıslah edildikten sonra da alev ve

indüksiyonla sertleştirilebilirler. Bu şekilde ısı işlem görece malzemenin seçiminde, kimyasal bileşimin yanı sıra, yüzeyde elde edilecek sertlik değeri ve sertleşme derinliği göz önünde bulundurulur [13].

İslah çelikleri kullanım alanları, makine ve motor parçaları, krank milleri, akslar, tahrik parçaları, piston kolları, dişli yapımı yanı sıra türbinler, jeneratörler, pompalar, kompresörler, redüktör, uçak, otomotiv ve raylı sistemlerdir [3].

2.2. HADDE İŞLEMİ

İki tane döner merdanenin basma kuvvetinin etkisiyle araya giren malzemeye soğuk ya da sıcak olarak plastik şekil verme işlemine haddeleme denir. Haddeleme ile kare, yuvarlak, yassı, çokgen, kesit, köşebent, T demiri, I demiri, U demiri, ray gibi mamuller üretilir. Haddelemenin en temel hammaddesi $1 \times 1 \times 1,5$ m ebatlarında çok büyük ingotlardır [30].



Şekil 2.1. Hadde yoluyla üretilen profil çeşitleri.

2.3. ISLAH İŞLEMİ VE UYGULAMASI

İslah işlemi, iş parçalarına ve yapı elemanlarına yüksek dayanım, yüksek bir akma sınırı, yüksek süneklik ve plastiklik kazandıran bir yöntemdir. Önce bir sertleştirme ve arkasından meneviş (genellikle yüksek sıcaklıktaki meneviş) olayları, ard arda uygulandığında ıslah işlemi olarak isimlendirilir. İslahta seçilen meneviş sıcaklıkları, sertleştirilmiş duruma göre sertlikte önemli ölçüde düşme yapar. Meneviş sonrası yapı

temperlenmiş martenzit olur. Malzeme kopmaya ve uzamaya karşı dayanıklı hale gelir [19].

Uygun ıslah işlemi yapabilmek için sertleştirme sıcaklığının doğru seçilmesi gerektiğinden, çeliğin karbon miktarı ve alaşım durumu tam olarak bilinmelidir. Sertleştirme öncesi gerilim giderme veya normalizasyon yapılması yararlıdır [19], [31], [32].

Uygun ıslah işlemi yapabilmek için, sertleştirme sıcaklığının doğru seçilmesi gerektiğinden, çeliğin karbon miktarı ve alaşım durumu tam bilinmelidir [31], [32].

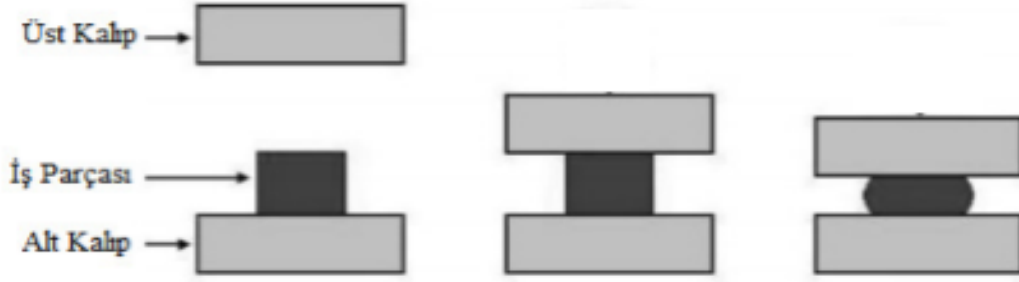
Malzemede mevcut iç gerilmelerin ısınmada sakınca oluşturmaması için, çeliğin ostenitleştirme sıcaklığına ısıtılması dikkatlice yapılmalıdır. Sertleştirme öncesi gerilim giderme ya da normal tavlama yapılması yararlıdır. Ayrıca özellikle alaşımlı çeliklerde ön ısıtma yapılması da gerekebilir. Ön ısıtma işlemi 400 – 650 °C arasındaki sıcaklıklarda tuz banyosunda uygulanabilir [31].

Menevişleme sertleştirmenin hemen ardından yapılmalıdır. Sertleştirilmiş parçalar, çok büyük gerilmelere sahiptir. Küçük darbeler, sıcaklık değişimleri sonucu pek az gerilme artırıcı faktörlerden ve sertleştirilmiş halde plastik şekil değiştirme kabiliyeti çok küçük olduğundan, kolayca çatlama olabilir.

En iyi uygulama, parçaların elle tutulabilecek sıcaklığa (40 – 50 °C) ulaştığında meneviş fırınına ya da banyosuna alınmasıdır. Çatlamaya karşı hassas olan parçalar, soğuk fırına alınmalı ve fırın parçalarla birlikte ısıtılmalıdır. Böylece daha homojen ısıtma sağlanabilir [21]. Islah işlemi ile iş parçalarına ve yapı elemanlarına dayanım, yüksek akma sınırı, süneklik, tokluk ve plastiklik özellikleri kazandırılmaktadır [32].

2.4. DÖVME İŞLEMİ VE UYGULANMASI

Dövme işlemi, darbe veya basınç altında kontrollü bir plastik deformasyon sağlanarak, metale istenen şekli verme, tane boyutunu küçültme ve mekanik özelliklerini iyileştirme amacıyla uygulanan bir plastik şekil verme yöntemidir [33].



Şekil 2.2. Dövme işlemi (Işık Çetintav [36] - Kısmen alınmıştır.).

Dövme, bilinen en eski metal işleme yöntemidir. İnsanların gözenekli demiri ısıtıp bir taş ile çekiçleyerek faydalı bir alet şekline dönüştürmek için dövdükleri zamanlardan beri, birçok faydalı mamullerin etkili bir imalat yöntemidir. Modern dövme yöntemi, silah üreticileri tarafından uygulanan en eski dövme yönteminden yola çıkılarak günümüzdeki haline getirilmiştir. Büyük güçlü çekiçler ve mekanik presler, kuvvetli bir kolun, çekicinin ve örsün yerini almıştır [32].

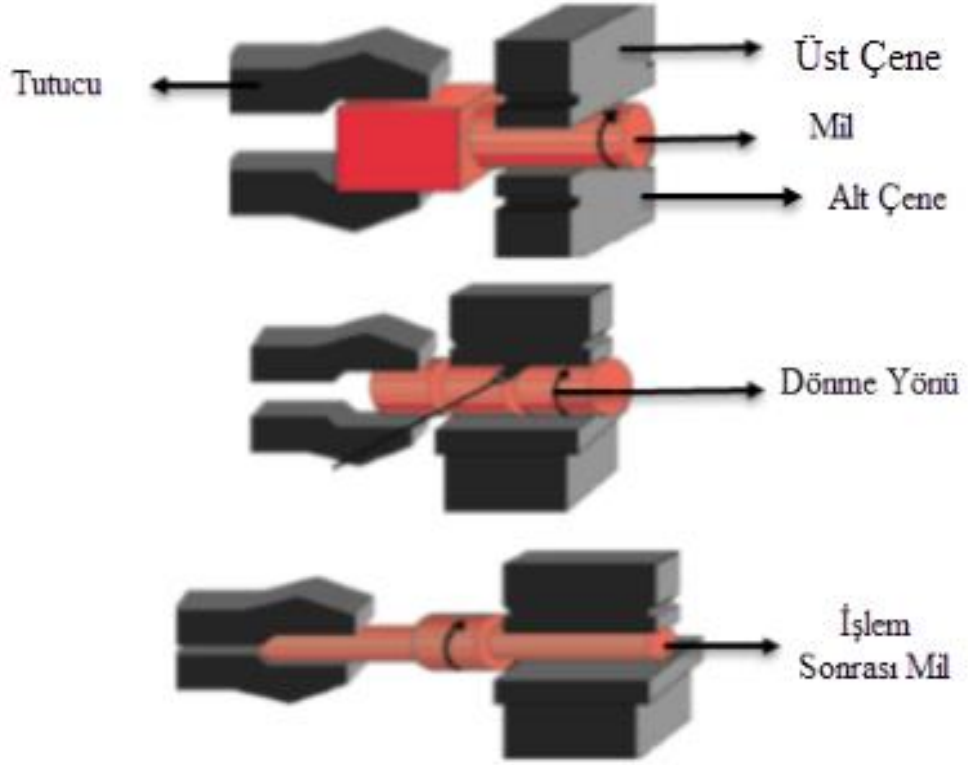
Kullanım alanları; türbin milleri, dişliler, hava taşıt parçaları ve ağır vasıtaların aks ve milleri için bu yöntem kullanılmaktadır.

Dövme işlemi için sıcak ve soğuk dövme yöntemleri mevcuttur. Bu yöntemler kapalı ve açık kalıpta yapılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan millere açık kalıpta sıcak dövme işlemi uygulanmıştır.

Sıcak dövme işlemi malzemeye birçok avantaj sağlamaktadır. Yüksek mukavemet, yüksek tokluk, tane boyutu küçültme ve üstün mekanik özellikler elde edilmektedir. Sıcak dövme işleminin dezavantajları ise daha az kuvvete ihtiyaç duymasına rağmen parça ölçüleri yeteri kadar hassas olmamaktadır. İşleme esnasında daha düşük takım ömrü ve yüzeylerinde içerdikleri oksitten dolayı yüzey kaliteleri yeteri kadar iyi olmamaktadır [34], [35].

2.4.1. Millerde Dövme İşlemi

Sıcak olarak dövülen miller, plastik özellik kazanıncaya kadar ısıtılır. Plastik durumdaki metal, sıcak dövme işlemine karşı direnç göstermez. Sıcak olarak dövme işlemi yapılan millerin dövme işlemi açık kalıpta yapılır. Sıcak dövme işlemi sırasında metalin tane yapısı, imal edilen malzemenin daha dayanıklı olmasını sağlayacak şekilde tekrar düzenlenir [34].



Şekil 2.3. Mil Dövme İşlemi Süreci [20- Kısmen alınmıştır.].

Bu çalışmada, dövme işlemi yapılacak malzeme 1150 – 1200 °C sıcaklığa varıncaya kadar fırında ısıtma uygulandıktan sonra açık kalıpta uniform olarak dövme işlemi yapılmıştır. Dövme işleminden sonra malzeme soğuması için hava ortamında bırakılarak yavaş bir şekilde soğutulmuştur.

2.5. AISI 4140

Bu çalışmada kullanılan AISI 4140 malzemesinin kimyasal bileşimine ait bilgiler Çizelge 3.1’de yer almaktadır. Kimyasal bileşimleri ile ilgili doğrulama testleri Gedik Döküm Vana A.Ş. laboratuvarlarında bulunan “OBLF” Markalı spektrometre kullanılarak yapılmıştır ve yapılan testler sonucunda element değerleri çizelgede yer alan aralıklar dahilinde olduğu görülmüştür.

Çizelge 2.1. AISI 4140 Çeliği Kimyasal Bileşimi [2].

| AISI 4140 Çeliği Kimyasal Bileşimi | |
|------------------------------------|-------------|
| Element | % Ağırlık |
| C | 0,38 – 0,45 |
| Mn | 0,50 – 0,80 |
| Mo | 0,15 – 0,30 |
| P | 0,035 |
| S | 0,035 |
| Si | 0,40 |
| Cr | 0,90 – 1,20 |

Kullanım alanları, otomobil ve uçak yapımında, krank mili, aks mili ve kovani, yivli mil ve benzeri sünekliği yüksek parçalar, dişli çark, yaylar, türbin motorları, turbo jenaratörlerin fren halka ve kolları, gemi zincir ve demirleri, demir yol tekerlekleri ve milleri gibi birçok yerde kullanılmaktadır [2], [3], [19].

Çizelge 2.2. AISI 4140 Sıcak Şekillendirme ve Isıl İşlem Sıcaklıkları [3].

| | |
|--|--|
| Sıcak şekillendirme sıcaklığı (Dövme sıcaklığı) | 1050 °C (Başlangıç) max 850 °C (Bitiş) |
| Normalizasyon Tavlama Sıcaklığı | 840 – 880 °C (Havada soğutma) |
| Yumuşak Tavlama Sıcaklığı | 720 °C'ye ısıtılır ve bunu takiben 680 °C'ye ani soğutularak 8 saat bekletilir |
| Yumuşak Tavlama | 845 °C'ye ısıtılır ve bunu takiben 755 °C'ye ani soğutulur. |
| Sertleştirme oranı ve soğuma sıcaklığı | Suda: 820 – 850 °C Yağda: 830 – 860 °C |
| Temperleme (Menevişleme) | 540 – 680 °C |
| Gerilim Giderme | 120 – 200 °C |

Deneylerde kullanılan malzemelerin sertlikleri ile ilgili bilgiler yer verilmiştir. Sertliklerin ölçümünde Gedik Döküm Vana A.Ş. laboratuvarında yer alan “BULUT MAKİNA” markalı sertlik ölçme cihazı kullanılmıştır.

Deneysel çalışmada kullanılan AISI 4140, 4340 ve 5140 malzemelerin hadde, ıslahlı, dövme ve ıslahlı dövme için sertlik ölçme işlemi yapılmıştır. Yapılan işlemler sonucunda HB sertliği olarak makineden sonuçlar alınmıştır ve dönüştürücü tablolar yardımıyla HRC'ye dönüştürülerek Çizelge 2.3, Çizelge 2.6, ve Çizelge 2.9'da verilmiştir.



Şekil 2.4. Sertlik Ölçme Cihazı.

Çizelge 2.3. AISI 4140 Sertlik Tablosu.

| AISI 4140 Sertlik Tablosu | | | | | |
|---------------------------|-----------|---------|---------|--------------|---------------|
| Sıra No | Malzeme | İşlem-1 | İşlem-2 | Sertlik (Hb) | Sertlik (HRc) |
| 1.1 | AISI 4140 | Hadde | | 231 | 20 |
| 1.2 | AISI 4140 | Hadde | Islah | 321 | 32 |
| 1.3 | AISI 4140 | Dövme | | 321 | 32 |
| 1.4 | AISI 4140 | Dövme | Islah | 337 | 34 |

2.6. AISI 4340

Deneylerde kullanılan AISI 4340 malzemesine ait bilgiler Çizelge 2.4, Çizelge 2.5 ve Çizelge 2.6’da verilmiştir.

Çizelge 2.4. AISI 4340 Çeliği Kimyasal Bileşimi [2].

| AISI 4340 Çeliği Kimyasal Bileşimi | |
|------------------------------------|-------------|
| Element | % Ağırlık |
| C | 0,30 – 0,38 |
| Mn | 0,30 – 0,60 |
| P | 0,035 |
| S | 0,035 |
| Si | 0,40 |
| Cr | 1,80 – 2,20 |
| Mo | 0,15 – 0,30 |
| Ni | 1,40 – 1,70 |

Kullanım alanları, hava araçları, otomobiller, büyük taşıtlar, yüksek gerilmeye maruz kalan makine parçaları, dişliler, miller, krank milleri, pistonlar, bağlantı rotları ön aks, aks kovani, direksiyon parçaları, eksantrik miller, tarak pimi, turbo jenaratörlerde, uçak boru takımları, demir yolu tekerlekleri gibi birçok yerde kullanılmaktadır [1], [2].

Çizelge 2.5. AISI 4340 Sıcak Şekillendirme ve Isıl İşlem Sıcaklıkları [3].

| | |
|--|--|
| Sıcak şekillendirme sıcaklığı (Dövme sıcaklığı) | 1050 °C (Başlangıç) max |
| | 850 °C (Bitiş) |
| Normalizasyon Tavlama Sıcaklığı | 850 – 880 °C (Havada soğutma) |
| Yumuşak Tavlama Sıcaklığı | 700 °C ye ısıtılır ve bunu takiben 650 °C ye ani soğutulur 8 saat bekletilir |
| Yumuşak Tavlama | 830 °C’ye ısıtılır ve bunu takiben 705 °C ye ani soğutulur. |
| Sertleştirme oranı ve soğuma sıcaklığı | Suda: - |
| | Yağda: 830 – 860 °C |
| Temperleme (Menevişleme) | 540 – 680 °C |
| Gerilim Giderme | 120 – 200 °C |

Çizelge 2.6. AISI 4340 Sertlik Tablosu.

| AISI 4340 Sertlik Tablosu | | | | | |
|---------------------------|-----------|---------|---------|--------------|---------------|
| Sıra No | Malzeme | İşlem-1 | İşlem-2 | Sertlik (Hb) | Sertlik (HRc) |
| 2.1 | AISI 4340 | Hadde | | 239 | 20 |
| 2.2 | AISI 4340 | Hadde | İslah | 329 | 33 |
| 2.3 | AISI 4340 | Dövme | | 321 | 32 |
| 2.4 | AISI 4340 | Dövme | İslah | 346 | 35 |

2.7. AISI 5140

Deneylerde kullanılan AISI 5140 malzemesine ait bilgiler Çizelge 2.7, Çizelge 2.8 ve Çizelge 2.9’da verilmiştir.

Çizelge 2.7. AISI 5140 Çeliği Kimyasal Bileşimi [2].

| AISI 5140 Çeliği Kimyasal Bileşimi | |
|------------------------------------|-------------|
| Element | % Ağırlık |
| C | 0,38 – 0,45 |
| Mn | 0,60 – 0,90 |
| P | 0,035 |
| S | 0,035 |
| Si | 0,40 |
| Cr | 0,90 – 1,20 |

Kullanım alanları, motorlu araçlarda yüksek gerilime maruz kalan parçalarda, dişliler, miller, krank milleri, pistonlar, piston rotaları, ön aks, aks kovanı, direksiyon mili, burçlar, civatalar, inşaat ekipmanları, aşınma direnci yüksek parçalarda günümüz yarış arabaları yüksek gerilime maruz kalan parçalarında (bağlantı rodları güçlendirilmiş krank milleri) [2], [3].

Çizelge 2.8. AISI 5140 Sıcak Şekillendirme ve Isıl İşlem Sıcaklıkları [3].

| | |
|--|---|
| Sıcak şekillendirme sıcaklığı (Dövme sıcaklığı) | 1230 °C (Başlangıç) max |
| | 870 °C (Bitiş) |
| Normalizasyon Tavlama Sıcaklığı | 840 – 880 °C (Havada soğutma) |
| Yumuşak Tavlama Sıcaklığı | 740 °C'ye ısıtılır ve bunu takiben 670 °C'ye ani soğutularak 8 <i>saat</i> bekletilir |
| Yumuşak Tavlama | 830 °C'ye ısıtılır ve bunu takiben 740 °C'ye ani soğutulur. |
| Sertleştirme oranı ve soğuma sıcaklığı | Suda: 820 – 850 °C |
| | Yağda: 830 – 860 °C |
| Temperleme (Menevişleme) | 550 – 700 °C |
| Gerilim Giderme | 120 – 200 °C |

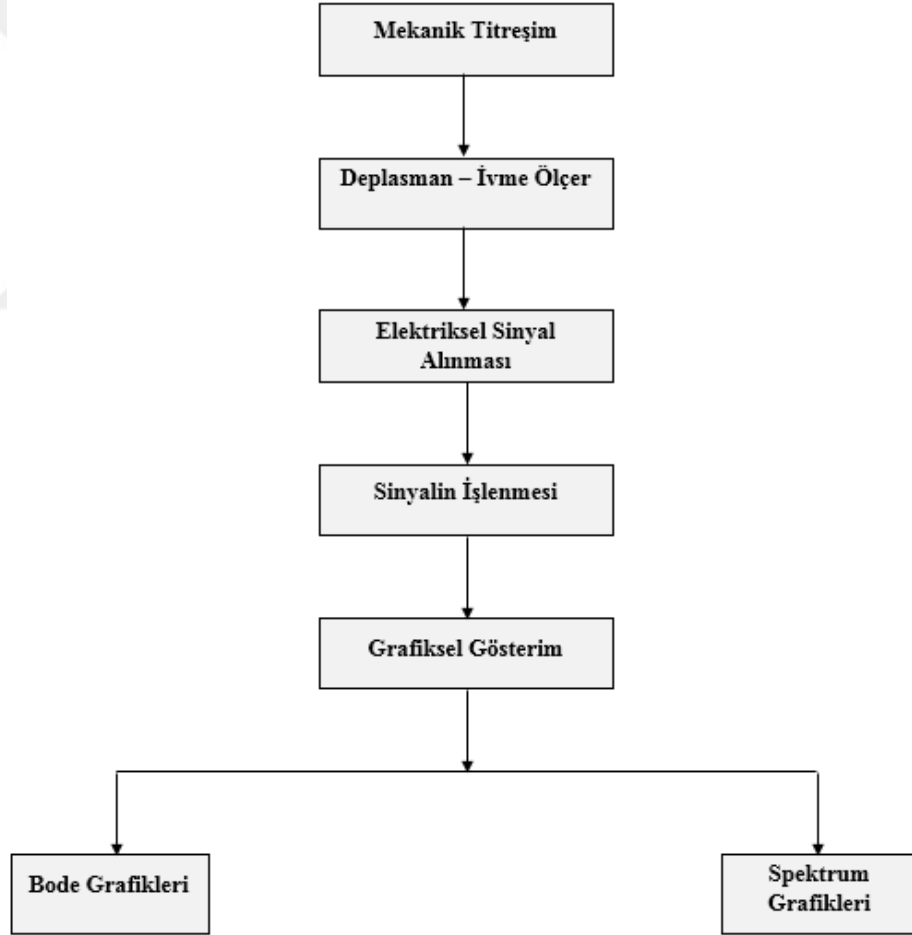
Çizelge 2.9. AISI 5140 Sertlik Tablosu.

| AISI 5140 Sertlik Tablosu | | | | | |
|---------------------------|-----------|---------|---------|--------------|---------------|
| Sıra No | Malzeme | İşlem-1 | İşlem-2 | Sertlik (Hb) | Sertlik (HRC) |
| 3.1 | AISI 5140 | Hadde | | 244 | 21 |
| 3.2 | AISI 5140 | Hadde | İslah | 299 | 29 |
| 3.3 | AISI 5140 | Dövme | | 261 | 24 |
| 3.4 | AISI 5140 | Dövme | İslah | 279 | 27 |

3. TİTREŞİM ANALİZİ

Titreşim ölçümü ve analizi, dönen sistemlerin dinamik davranış durumlarını inceleme ve kontrol etme için kullanılan en etkili metotlardan birisidir. Titreşim analizi, makineler üzerinde titreşim ölçümü yaparak makinenin titreşim özelliklerine ait veri toplamak ve daha sonra toplanan bu verileri analiz ederek makinelerin mekanik problemlerini tespit etmektir [35]. Analiz işlemi için Şekil 4.1’de verilen işlem sırası takip edilmiştir.

Titreşim analizinde veri toplayıcılar olarak deplasman, hız ve ivme ölçerler kullanılmaktadır.



Şekil 3.1. Mekanik titreşim ölçümü.

3.1. TİTREŞİMİN NEDENLERİ

Titreşim oluşumunu etkileyen bir çok neden vardır. Sistemlerdeki titreşimler, dış kuvvetler ve sistemin bu dış kuvvetlere cevap verme özelliği neden olur. Ayrıca meydana gelen titreşimler yüksek gerilmeler, aşınma, malzeme yorulması ve çevreye etkileride olmaktadır [12], [36].

Meydana gelen titreşimler diğer makine elemanlarında etki ederek hasara sebep olabilmektedir. Bunun için düzenli olarak yapılacak titreşim ölçümleri ile hasarın oluşumu önceden tespit edilerek engellenebilir.

Titreşim ölçümleri çok farklı konulara yönelik olarak yapılmaktadır. Yapılan bu ölçümler sonucu farklı makine elemanlarında oluşan hasarların tespiti sağlanabilmektedir. Yapılan bu ölçümler ile makinelerin normal çalışma şartlarında elde edilen frekanslar bilinerek, düzenli olarak yapılacak ölçümler sonucunda elde edilecek frekans değerleri ile değişimler analiz edilerek yapılabilmektedir [12], [13], [36], [37].

Titreşim analizi ile balans bozukluğu, mil eğriliği, şase zayıflığı, civata gevşekliği, kaplin ayarsızlığı, rulman boşluğu, sürtünme, rezonans, yatak aşınması, rulman arızası, rulman ömrü, dişli arızaları, elektriksel arızalar, hidrodinamik titreşimlerin tespiti mümkündür [12], [13], [36], [38]

4. DENEY SETİ

Bu çalışmada, makina, otomotiv ve imalat sanayisinde kullanım alanı geniş olan AISI 4140, AISI 4340 ve AISI 5140 ıslah çelikleri kullanılmıştır. Numunelere hadde, ıslah ve dövme işlemi uygulanmıştır. Numunelere uygulanan süreç Şekil.4.1’de yer almaktadır. Numunelerin deneysel çalışmada kullanılan kodlamaları ve görmüş olduğu işlemler Çizelge.5.1’de yer almaktadır.

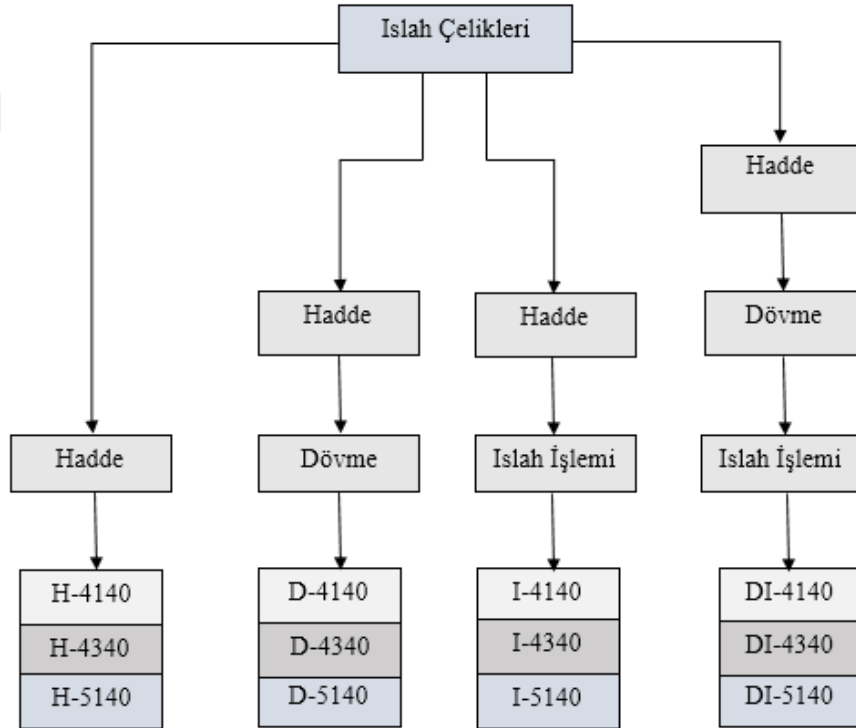
Deneysel çalışmada kullanılan 3 farklı özellikteki ıslah çeliği ve 4 farklı işlem görmüş numunelerin çapı $\varnothing 25,4 \text{ mm}$ ve uzunluğu 320 mm ’dir.

Deneysel çalışma için 12 farklı mil kullanılarak deney serisi oluşturulmuştur. Sırasıyla dört adet seri; Haddelenmiş mil için H-serisi (H-4140, H-4340, H-5140), ıslah görmüş miller için I-serisi (I-4140, I-4340, I-5140), dövme görmüş miller için D-serisi (D-4140, D-4340, D-5140), dövme işlemi sonrası ıslah görmüş miller için DI- serisi (DI-4140, DI-4340, DI-5140) oluşturulmuştur. Millerin performansını belirlemek için deplasman ve ivme ölçer kullanılarak 12 adet deney yapılmıştır. Veri toplama sistemi ile elde edilen veriler kaydedilerek bilgisayara aktarılmış ve karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Deneylerin gerçekleştirilmesi için oluşturulan deney seti Şekil.5.2’de gösterilmiştir. Mil, $\frac{1}{2}$ Beygir Gücüne sahip bir motora, motor tarafından üretilen yüksek frekanslı titreşim etkisini en aza indirmek için bir esnek kaplin ile bağlanmıştır. Üç fazlı alternatif akım (AC) indüksiyon motoru değişik hızların elde edilmesi için bir değişken hız kontrol ünitesine bağlanmıştır. Motor 0 – 3600 *rpm* (revolution per minute - dakikadaki dönme sayısı) hız aralığında çalıştırılabilir özelliktedir. Dönen milin devir sayısını kontrol etmek için foto-optik tipi bir dijital takometre kullanılmıştır. Titreşim genliğini artırmak için 65 *mm* çapında 684 *gr* ağırlığında bir disk yük olarak ve bir adet fan kullanılmıştır. Deneylerde veriler, “VibraQuest TM” yazılım ve donanım sistemi kullanılarak alınmıştır. Veri toplama sistemi titreşim sinyalleri için tasarlanmış bir yüksek bant genişliği amplifikatörüne sahiptir. Aynı yükleme ve çalışma şartlarında haddelenmiş, ıslah görmüş, dövme görmüş ve dövme işlemi sonrası ıslah görmüş yuvarlanmalı yataklarla desteklenmiş uç kısmına fan takılmış miller kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Deney setinde yuvarlanmalı yatakların dikey ve yatay yönde titreşimlerini ölçmek için

dört adet ivme ölçer (Ch1, Ch2, Ch3 ve Ch4) kullanılmış ve yuvarlanmalı yatakların yuvasına 90 derece açı ile monte edilmişlerdir. İvme ölçümleri PCB Piezotronics 608A11 model ivme ölçer ile kayıt edilip bilgisayara aktarılmıştır. Kullanılan ivme ölçerler maksimum 10 kHz frekans duyarlılığına sahiptir.

Sistemde kullanılan DAQ (Data Acquisition) kartı titreşim algısı için dört kanal ve dönme hızı kaydı için bir kanala sahiptir. DAQ kanalları, motora yakın taraftaki yuvarlanmalı yatak için Ch1, Ch2 olarak sırasıyla dikey ve yatay yönde yuvaya takılmış iken motordan uzak taraftaki yuvaya yatakların titreşimini algılamak için Ch3, Ch4 olarak sırasıyla dikey ve yatay yönde monte edilmiştir. Tüm kanallardan eş zamanlı olarak veri toplanabilmektedir.

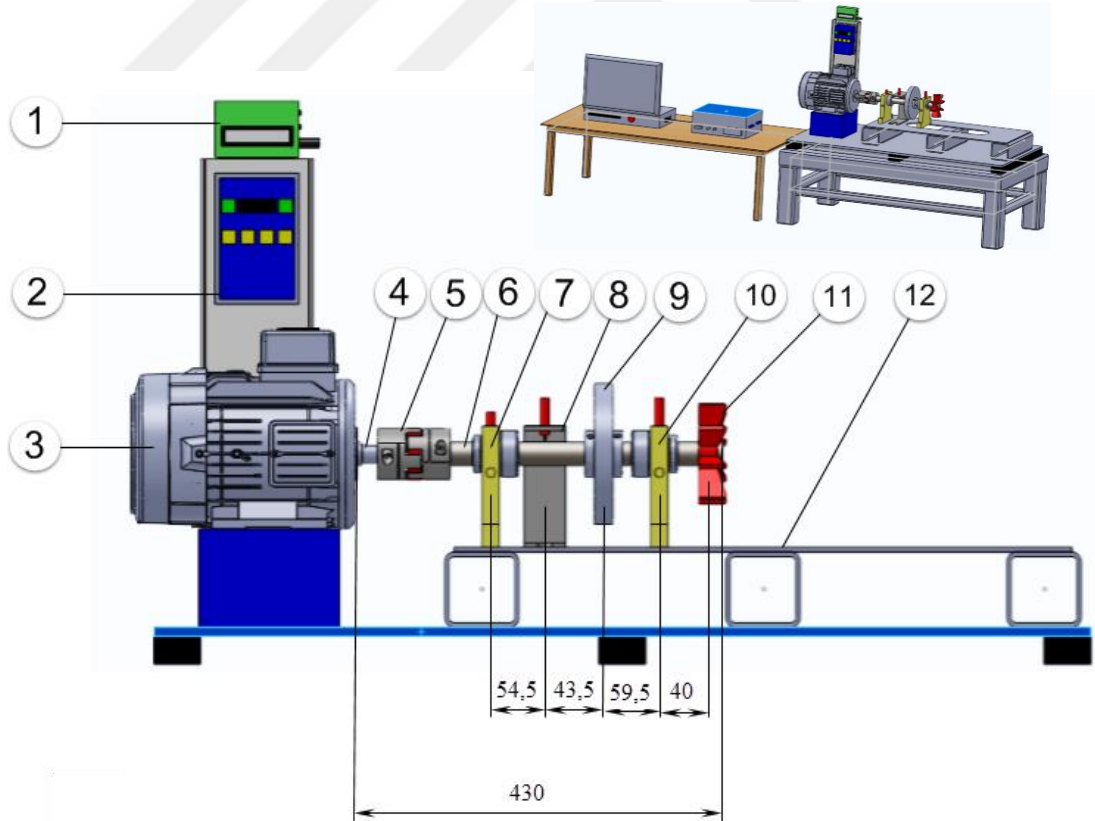
Mil çalışma hızı 30 Hz (1800 dev/dak), 40 Hz (2400 dev/dak), 50 Hz (3000 dev/dak) için veriler toplanmış ve bilgisayara aktarılmıştır. Millerin yer değiştirme verilerini ölçmek için ise dikey (Ch1) ve yatay (Ch2) yönde olmak üzere 2 adet deplasman ölçer ($-3,95 V/mm$ hassasiyetinde) kullanılmıştır.



Şekil 4.1. Deney malzemeleri işlem süreci.

Çizelge 4.1. Deneysel çalışmada kullanılan malzemelerin kodlanması.

| Malzeme İsmi | Gördüğü İşlem | Kodu |
|--------------|---------------|---------|
| AISI 4140 | Hadde | H-4140 |
| AISI 4140 | Islah | I-4140 |
| AISI 4140 | Dövme | D-4140 |
| AISI 4140 | Dövme + Islah | DI-4140 |
| AISI 4340 | Hadde | H-4340 |
| AISI 4340 | Islah | I-4340 |
| AISI 4340 | Dövme | D-4340 |
| AISI 4340 | Dövme + Islah | DI-4340 |
| AISI 5140 | Hadde | H-5140 |
| AISI 5140 | Islah | I-5140 |
| AISI 5140 | Dövme | D-5140 |
| AISI 5140 | Dövme + Islah | DI-5140 |



Şekil 4.2. Deney seti teknik resmi.

Çizelge 4.2. Deney seti elemanları.

| | | | |
|---|---------------------|----|-------------------------|
| 1 | Takometre | 7 | Yatak yuvası 1 |
| 2 | Hız kontrol ünitesi | 8 | Deplasman ölçme aparatı |
| 3 | ½ HP Motor | 9 | Disk |
| 4 | Motor mili | 10 | Yatak yuvası 2 |
| 5 | Esnek kaplin | 11 | Fan |
| 6 | Deney mili | 12 | Yatak desteği |

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde tez çalışmasının deneysel çalışmalarda elde edilen deneysel sonuçlarına yer verilmiştir. Ayrıca deneysel sonuçlar karşılaştırılmış ve tartışılmıştır.

Çalışmalarda ivme ölçerler (Ch1, Ch2, Ch3 ve Ch4) ve deplasman ölçerler (Ch1, Ch2) aracılığıyla mil dönme hızı 30 Hz (1800 d/dk), 40 Hz (2400 d/dk), 50 Hz (3000 d/dk) için veriler toplanmıştır. En kritik verilerin toplandığı mil dönme hızı 40 Hz olduğu için karşılaştırma referansı olarak alınmıştır.

Spektrum grafikleri; Dikey (Ch1, Ch3) ve yatay (Ch2, Ch4) yönde olmak üzere bir grafikte dört kanal olarak alttan yukarıya doğru sırasıyla Ch1, Ch2, Ch3 ve Ch4 olmak üzere mil çalışma hızı 30,40 ve 50 Hz için toplanan titreşim verileri sunulmuştur. Dikey (Ch1, Ch3) ve yatay (Ch2, Ch4) yönde olmak üzere

Ayrıca, miller için düşey (Ch1) ve yatay (Ch2) doğrultuda çalışma hızlarının durma 0 rpm durumundan 3000 rpm (50 Hz)'e yükselerek tekrar durma noktasına gelmesi sırasında toplanan titreşim spektrumları deplasman ölçer (proxy probe) yardımıyla alınmıştır. Millerin kritik devirlerinin belirlenmesi için Bode eğrisi şeklinde sunulmuştur.

5.1. BODE EĞRİLERİ GRAFİKLERİ

Miller için kritik devrinin belirlenmesi için bode eğrileri grafikleri verilmiştir. Miller için düşey (Ch1) ve yatay (Ch2) doğrultuda çalışma hızlarının durma durumundan 3000 rpm'e yükselerek tekrar durma noktasına gelmesi sırasında yakalanan titreşim spektrumları alınmıştır.

Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3, Şekil 5.4, Şekil 5.6, Şekil 5.7 ve Şekil 5.8'de görüldüğü gibi AISI 4140 deney numuneleri için düşey doğrultuda (Ch1) H-4140 mili için maksimum titreşim genliği 2105,98 rpm (dakikadaki devir sayısı) 0,033584 mil (1 mil = 0,0254 mm), I-4140 mili için 2295,45 rpm'de 0,047725 mil, D-4140 mili için 2637,96 rpm'de 0,066251 mil ve DI-4140 mili için 2363,09 rpm'de 0,069329 mil olarak bulunmuştur.

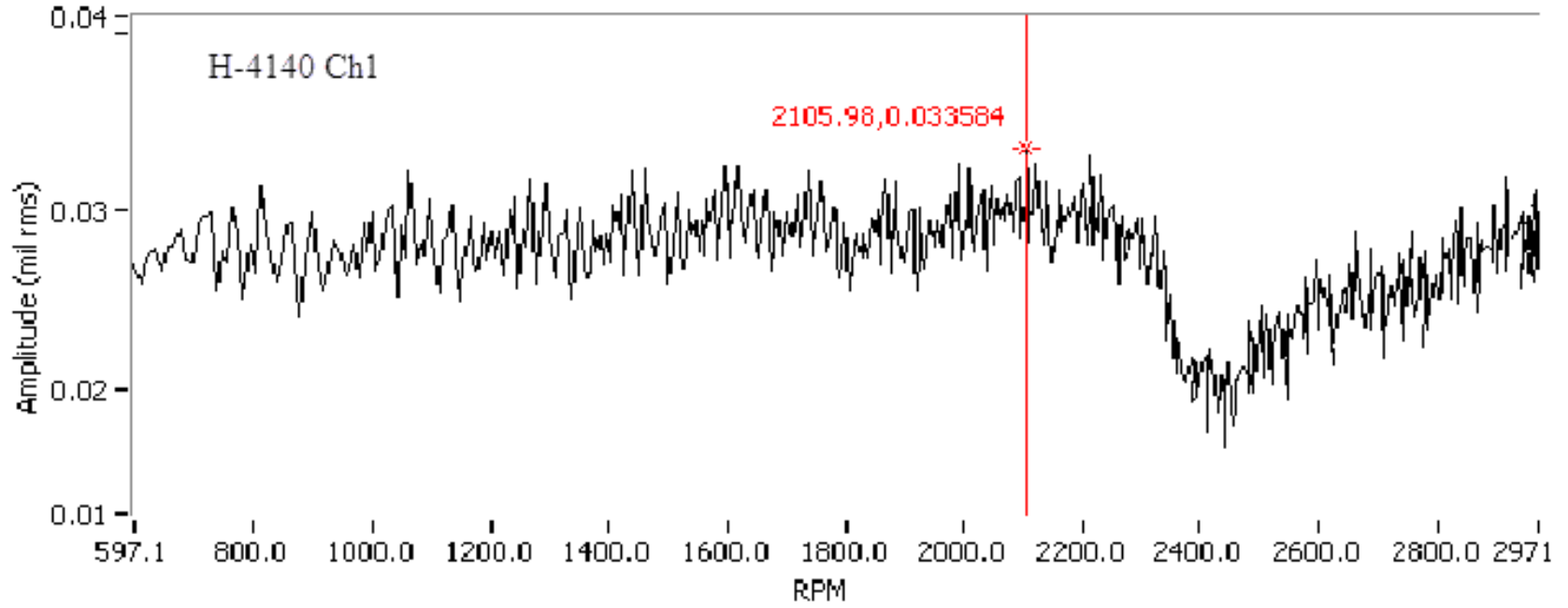
Yatay doğrultuda (Ch2) ise H-4140 mili için maksimum titreşim genliği 2347,93 *rpm*'de 0,030865 *mil*, I-4140 mili için 2510,95 *rpm*'de 0,053077 *mil*, D-4140 mili için 1048,63 *rpm*'de 0,056664 *mil* ve DI-4140 mili için 2577,99 *rpm*'de 0,071865 *mil* olarak bulunmuştur.

Şekil 5.9, Şekil 5.10, Şekil 5.11, Şekil 5.12, Şekil 5.13, Şekil 5.14, Şekil 5.15 ve Şekil 5.16'da görüldüğü gibi AISI 4340 deney numuneleri için düşey doğrultuda (Ch1) H-4340 mili için maksimum titreşim genliği 2019,53 *rpm*'de 0,069266 *mil*, I-4340 mili için 2966,94 *rpm*'de 0,037158 *mil*, D-4340 mili için 2631,10 *rpm*'de 0,086453 *mil* ve DI-4340 mili için 2961,34 *rpm*'de 0,091746 *mil* olarak bulunmuştur.

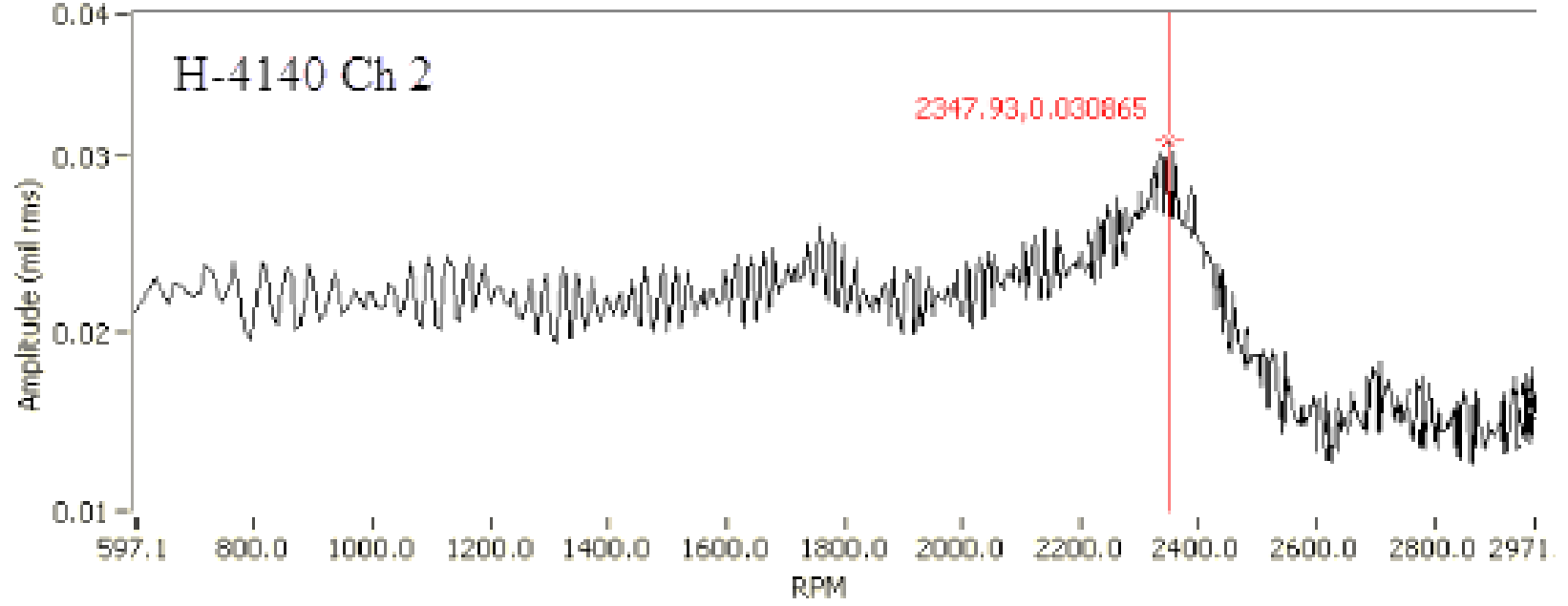
Yatay doğrultuda (Ch2) ise H-4340 mili için maksimum titreşim genliği 999,65 *rpm*'de 0,070126 *mil*, I-4340 mili için 793,92 *rpm*'de 0,049458 *mil*, D-4340 mili için 617,42 *rpm*'de 0,086051 *mil* ve DI-4340 mili için 661,33 *rpm*'de 0,086752 *mil* olarak bulunmuştur.

Şekil 5.17, Şekil 5.18, Şekil 5.19, Şekil 5.20, Şekil 5.21, Şekil 5.22 ve Şekil 5.23'te görüldüğü gibi AISI 5140 deney numuneleri için düşey doğrultuda (Ch1) H-5140 mili için maksimum titreşim genliği 2935,27 *rpm*'de 0,025960 *mil*, I-5140 mili için 2117,84 *rpm* 'de 0,070150 *mil*, D-5140 mili için 2946,70 *rpm*'de 0,064955 *mil* ve DI-5140 mili için 2137,39 *rpm*'de 0,057173 *mil* olarak bulunmuştur.

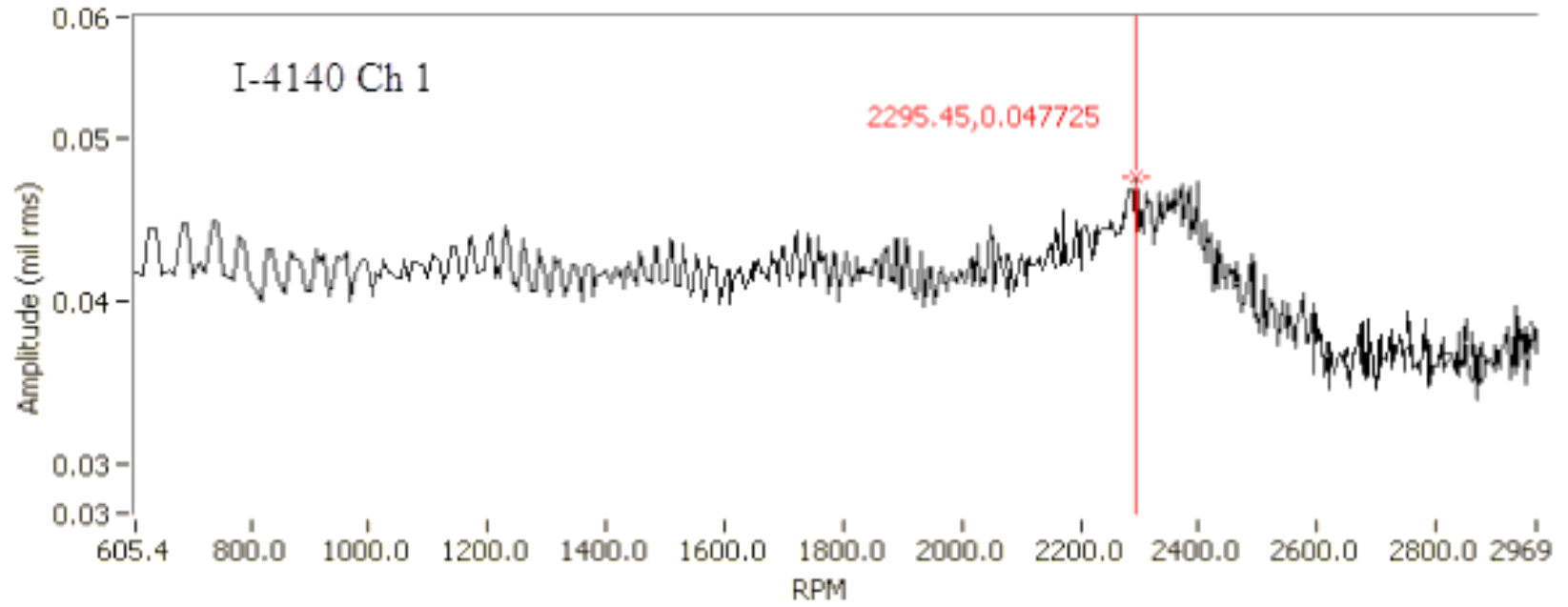
Yatay doğrultuda (Ch2) ise H-5140 mili için maksimum titreşim genliği 2339,72 *rpm*'de 0,021737 *mil*, I-5140 mili için 2620,02 *rpm*'de 0,074200 *mil* ve DI-5140 mili için 2332,81 *rpm*'de 0,059121 *mil* olarak bulunmuştur.



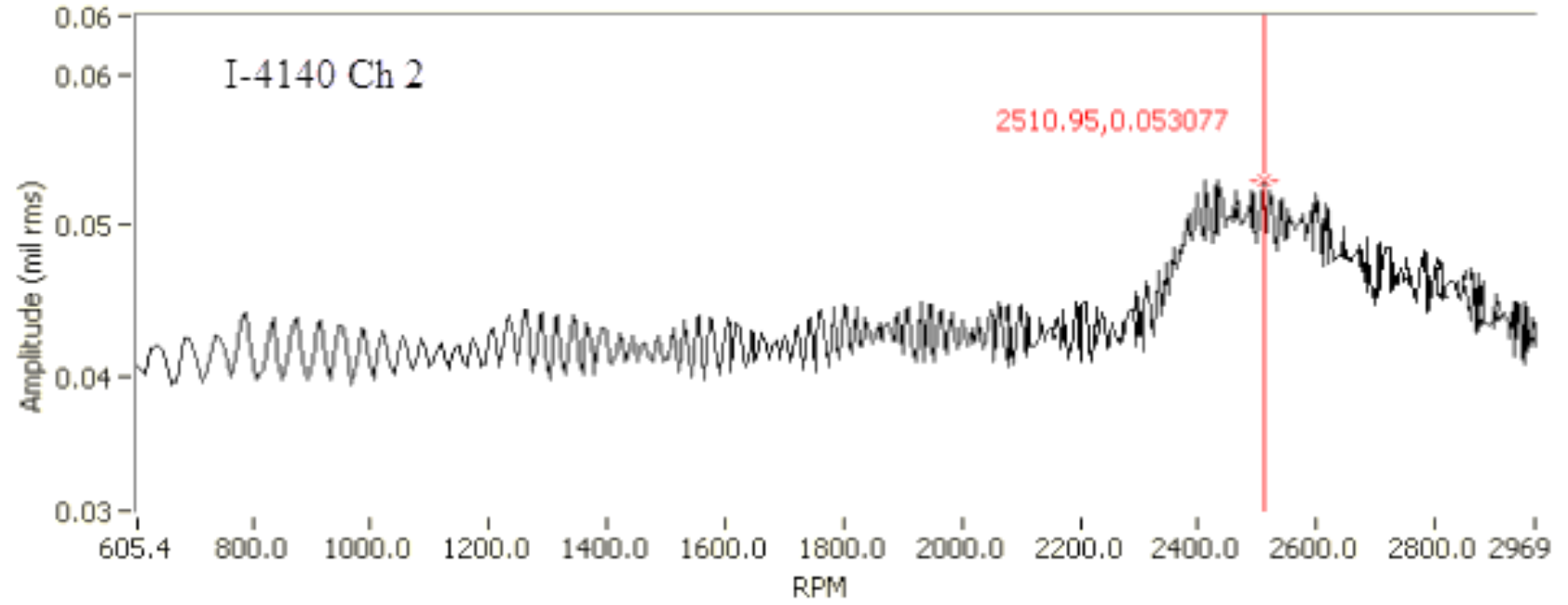
Şekil 5.1. Haddelenmiş 4140 mil için Ch1 Bode eğrisi.



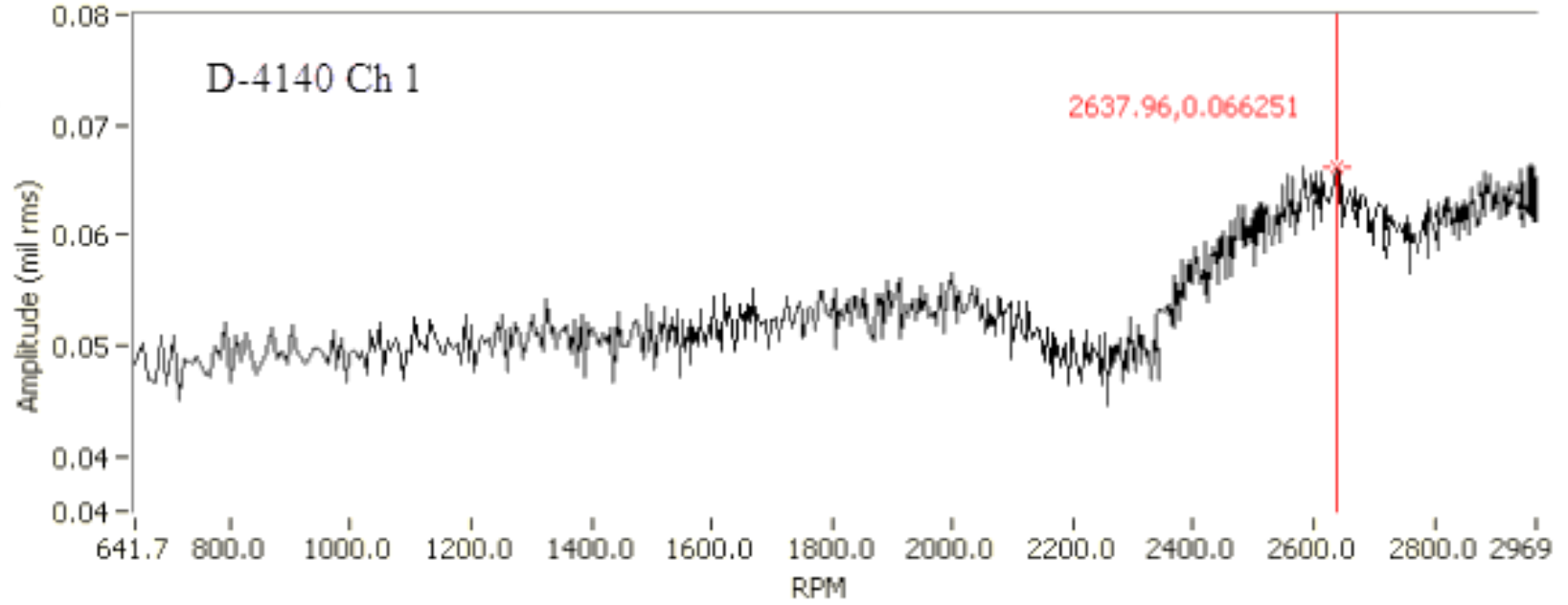
Şekil 5.2. Haddelenmiş 4140 mil için Ch2 Bode eğrisi.



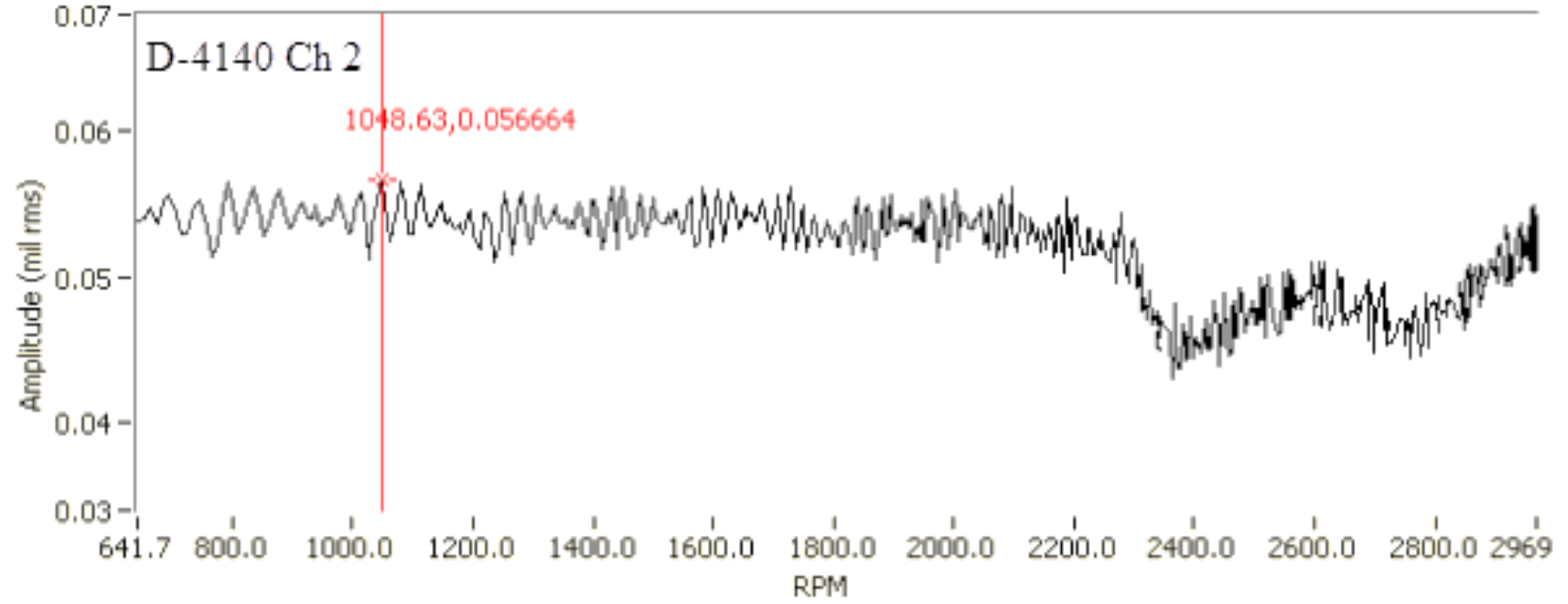
Şekil 5.3. Islahlı 4140 mil için Ch1 Bode eğrisi.



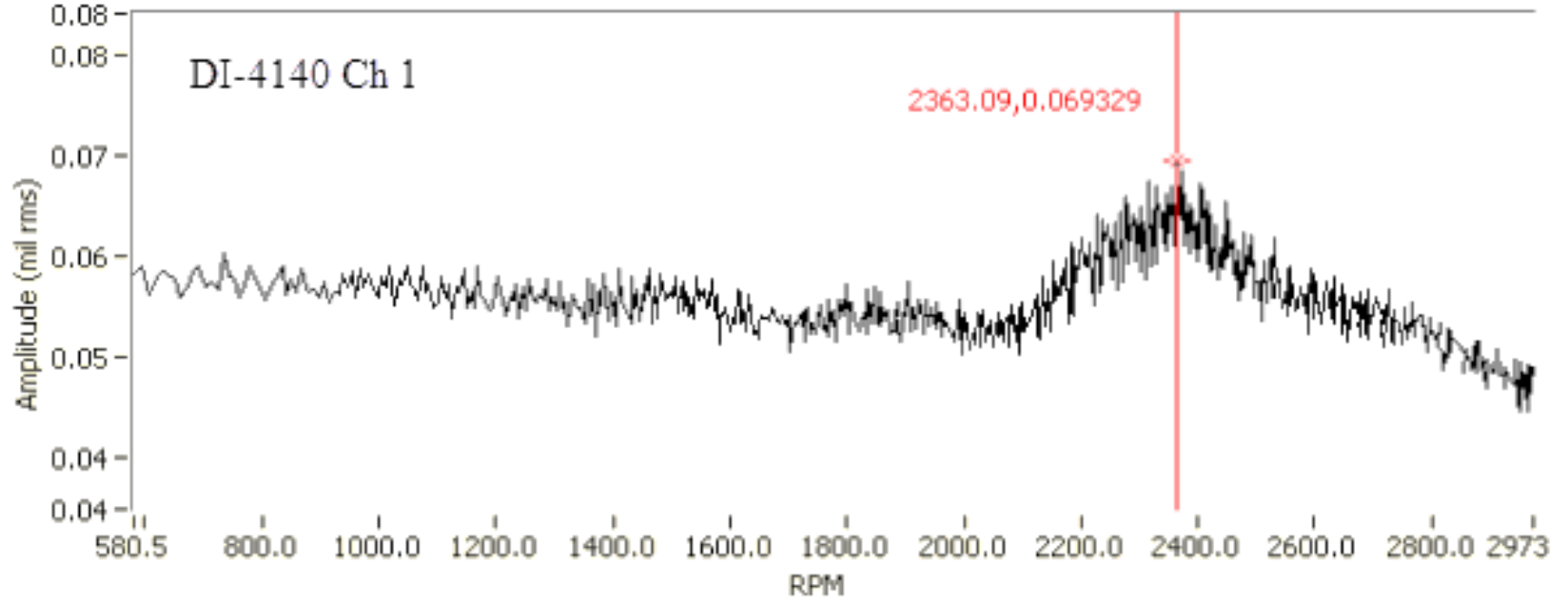
Şekil 5.4. Islahlı 4140 mil için Ch2 Bode eğrisi.



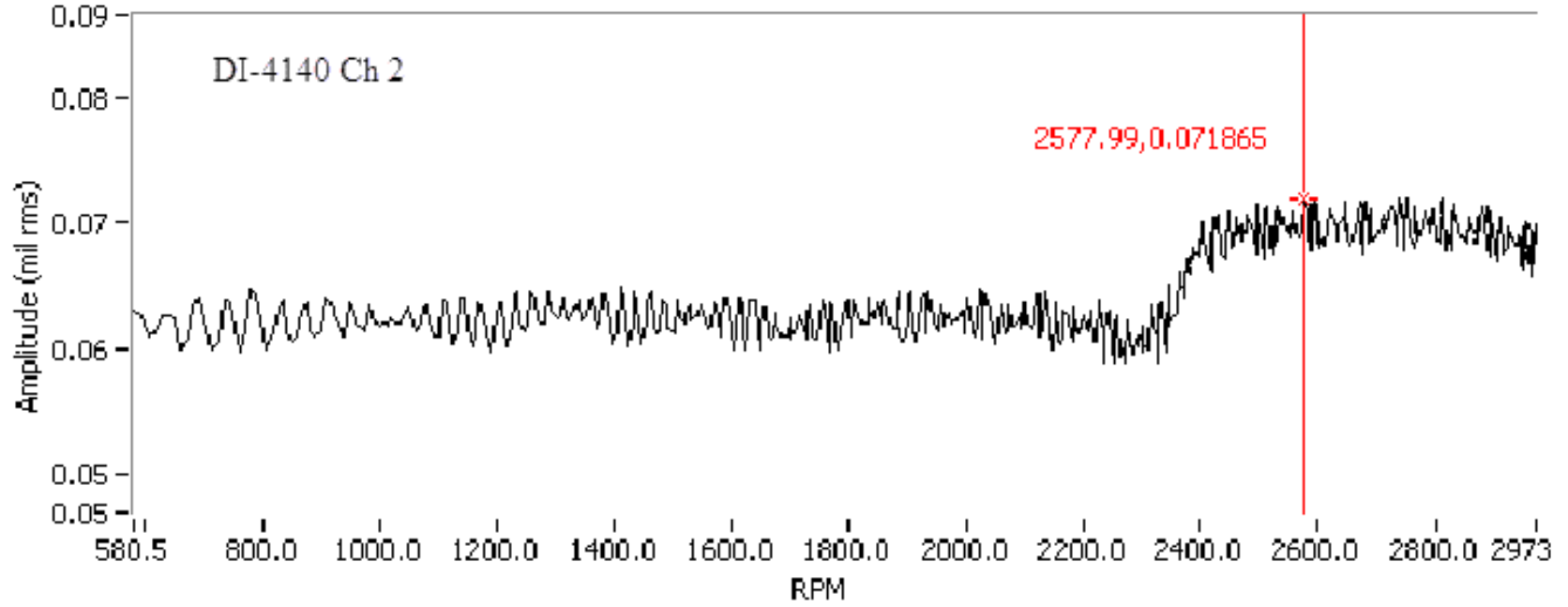
Şekil 5.5. Dövme 4140 mil için Ch1 Bode eğrisi.



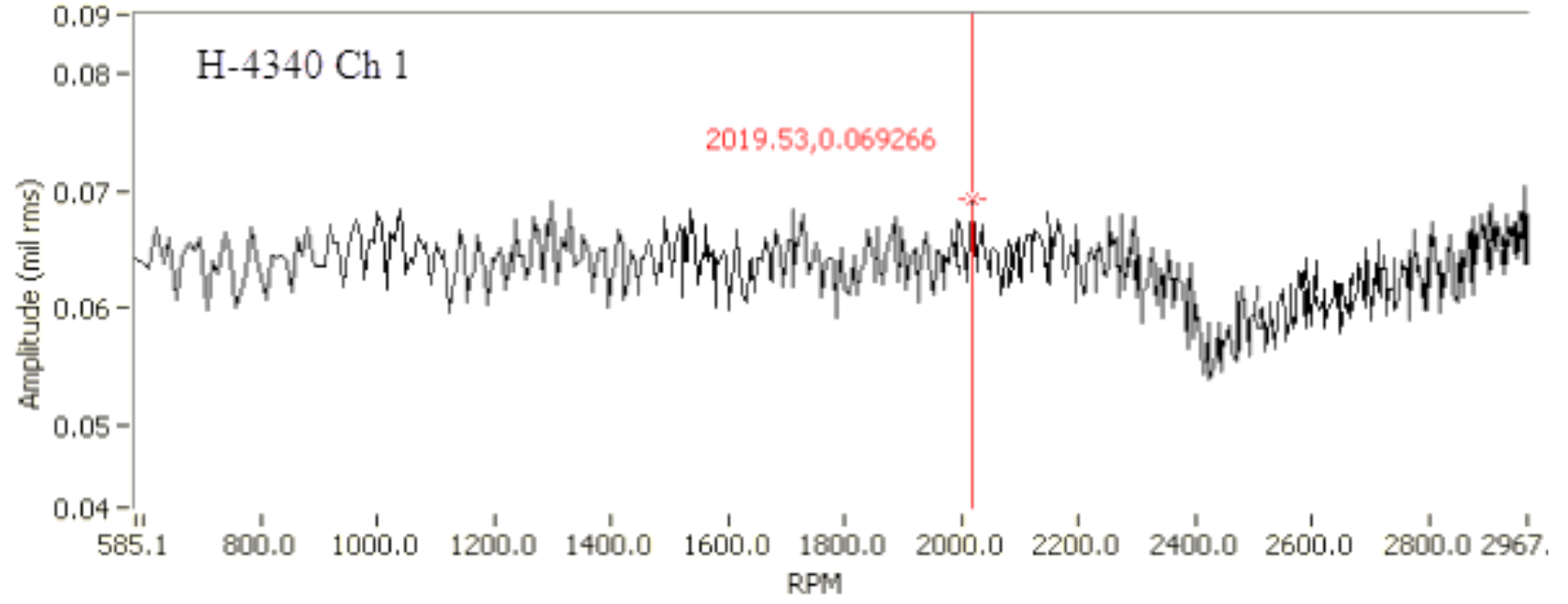
Şekil 5.6. Dövme 4140 mil için Ch2 Bode eğrisi.



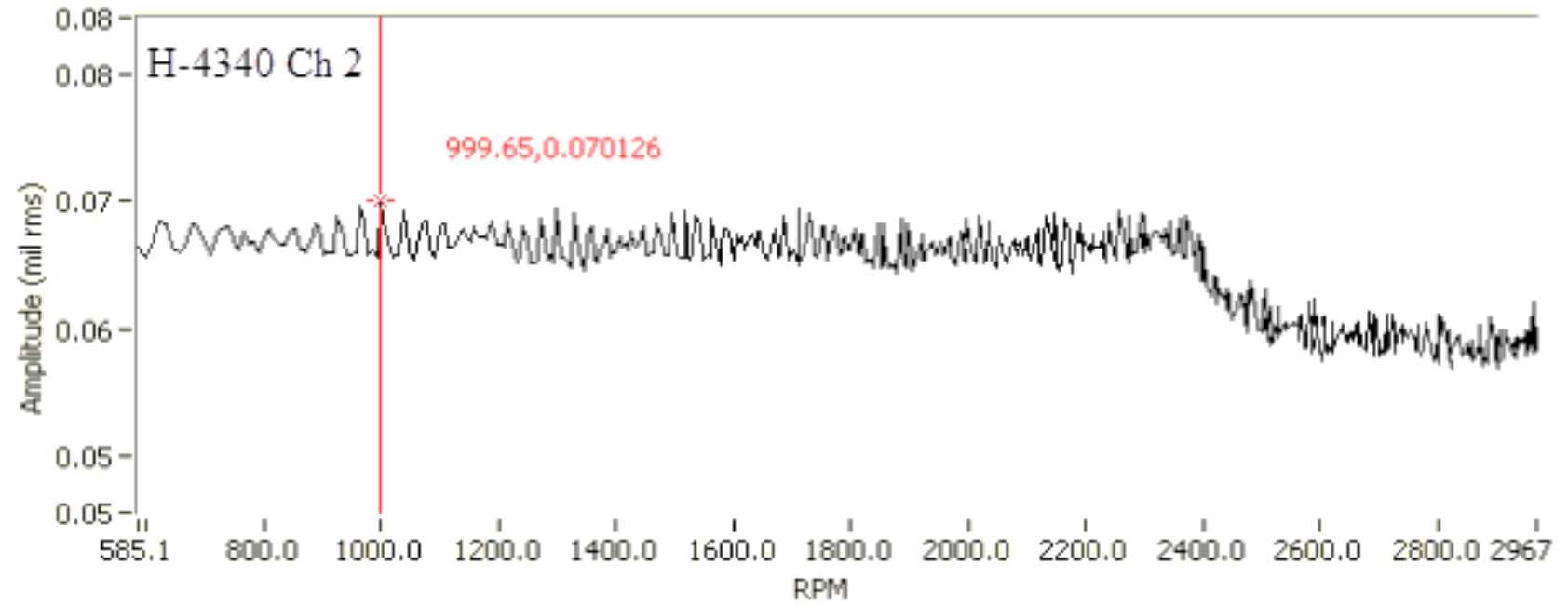
Şekil 5.7. Islahlı dövme 4140 mil için Ch1 Bode eğrisi.



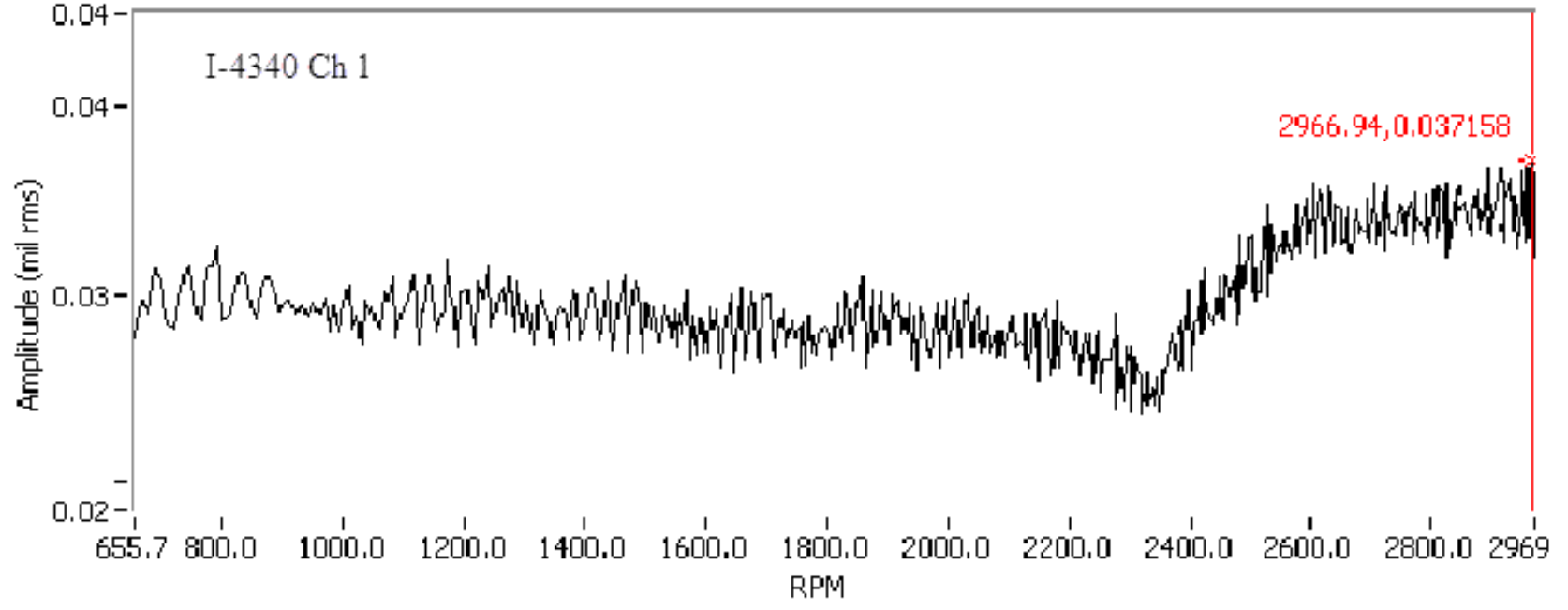
Şekil 5.8. Islahlı dövme 4140 mil için Ch2 Bode eğrisi.



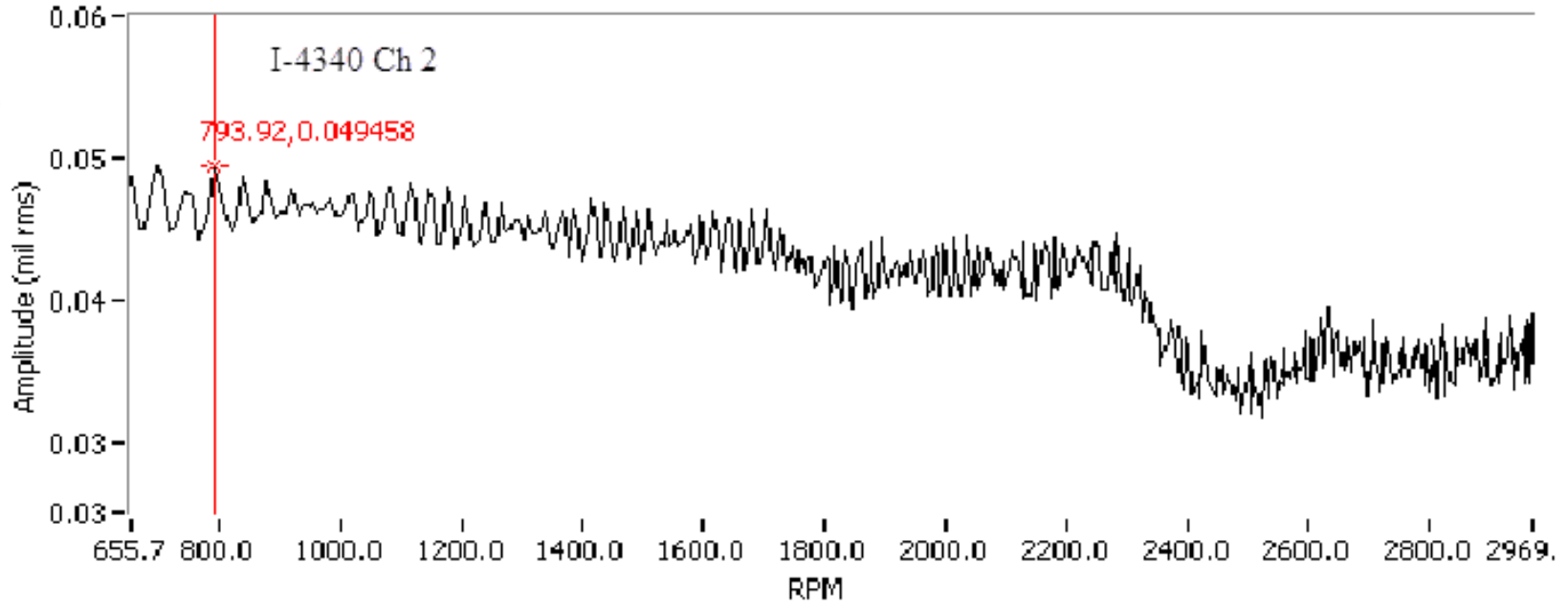
Şekil.5.9. Haddelenmiş 4340 mil için Ch1 Bode eğrisi.



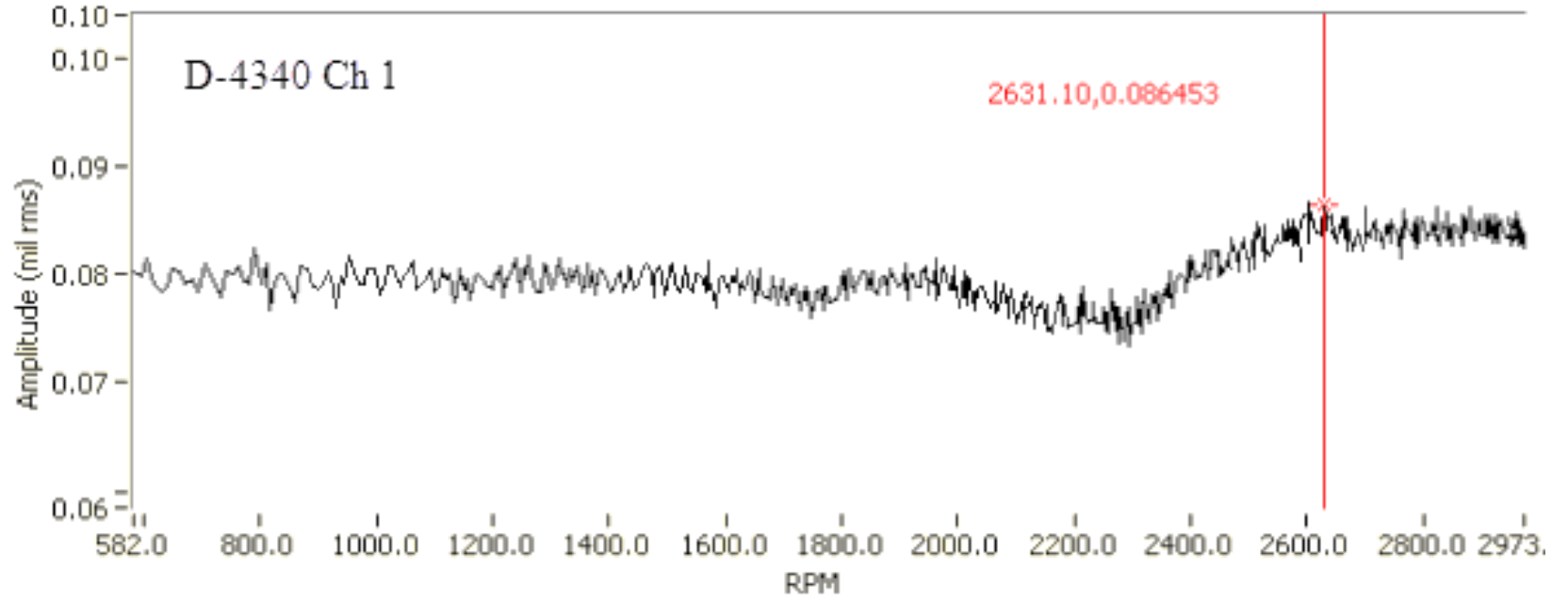
Şekil.5.10. Haddelenmiş 4340 mil için Ch2 Bode eğrisi.



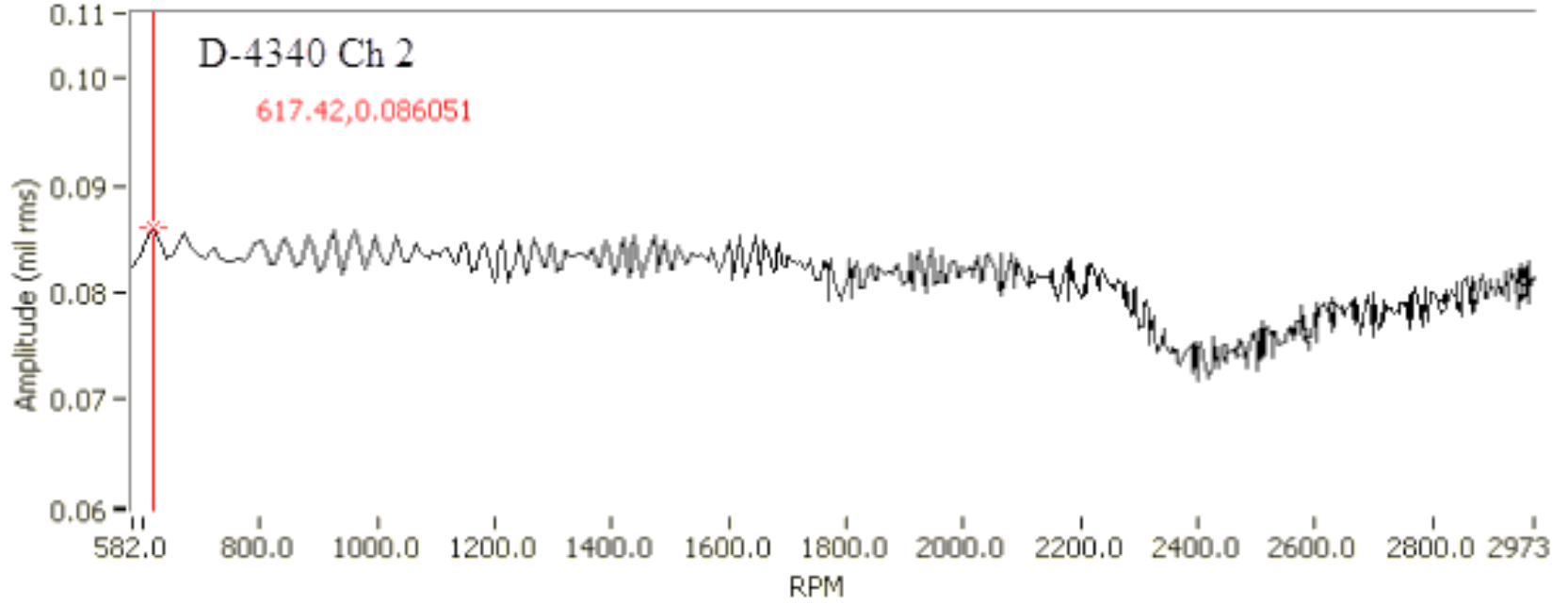
Şekil.5.11. Islahlı 4340 mil için Ch1 Bode eğrisi.



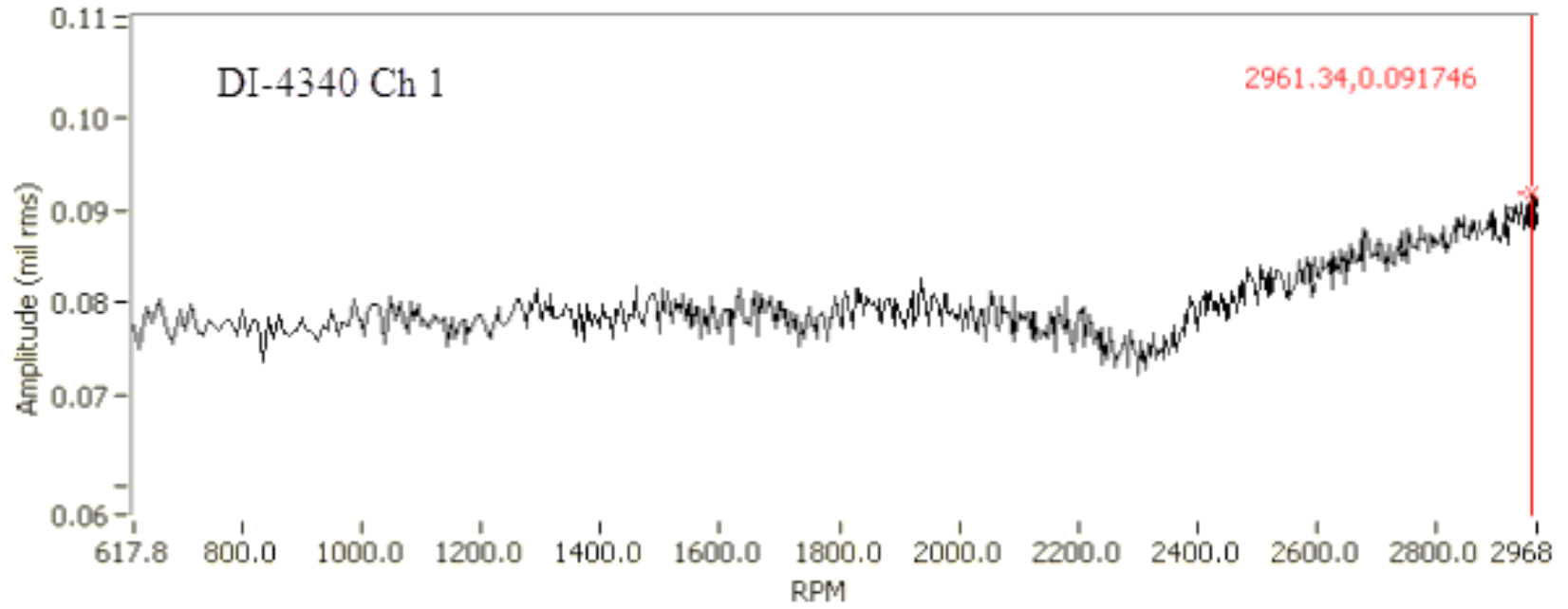
Şekil.5.12. Islahlı 4340 mil için Ch2 Bode eğrisi.



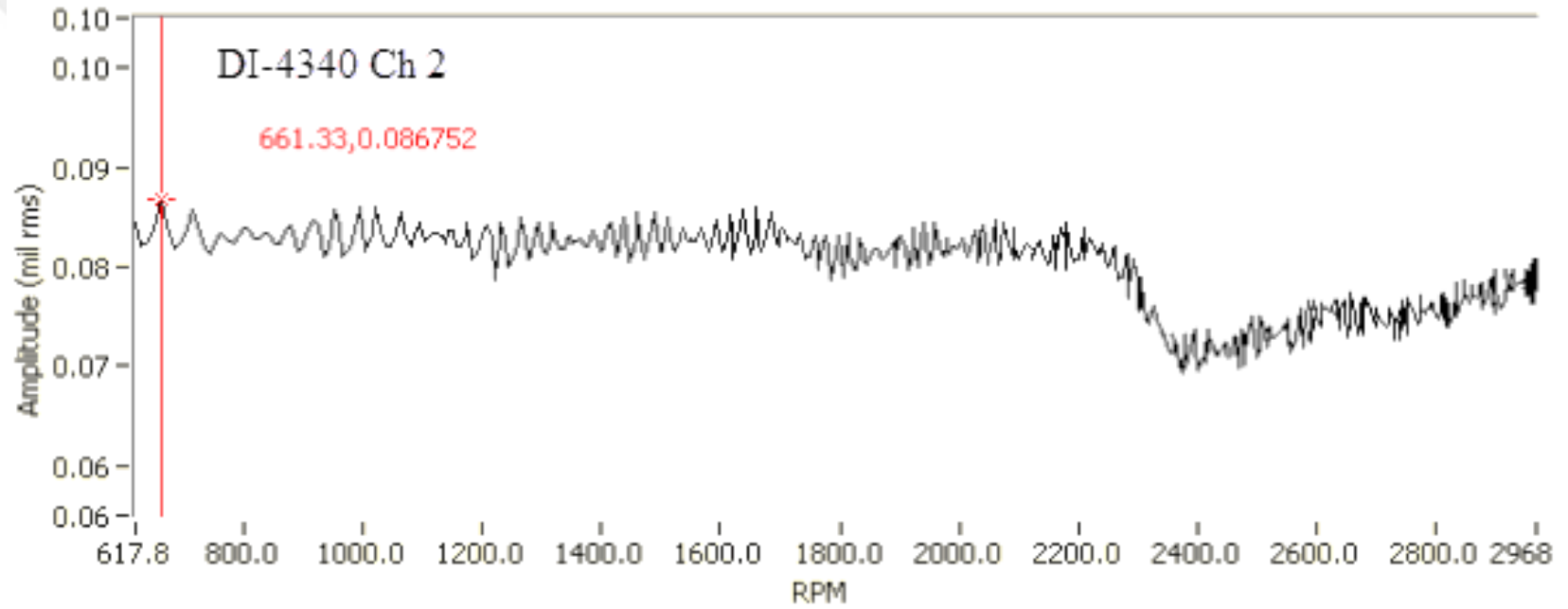
Şekil.5.13. Dövme 4340 mil için Ch1 Bode eğrisi.



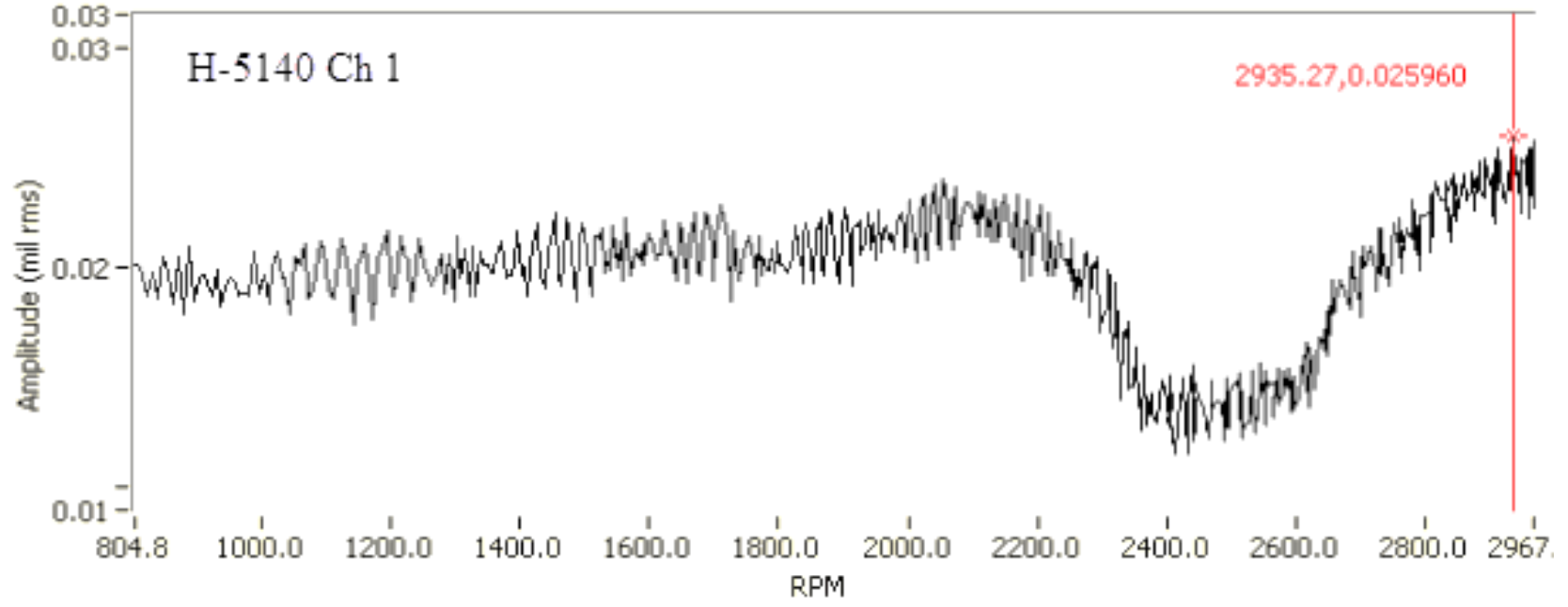
Şekil.5.14. Dövme 4340 mil için Ch2 Bode eğrisi.



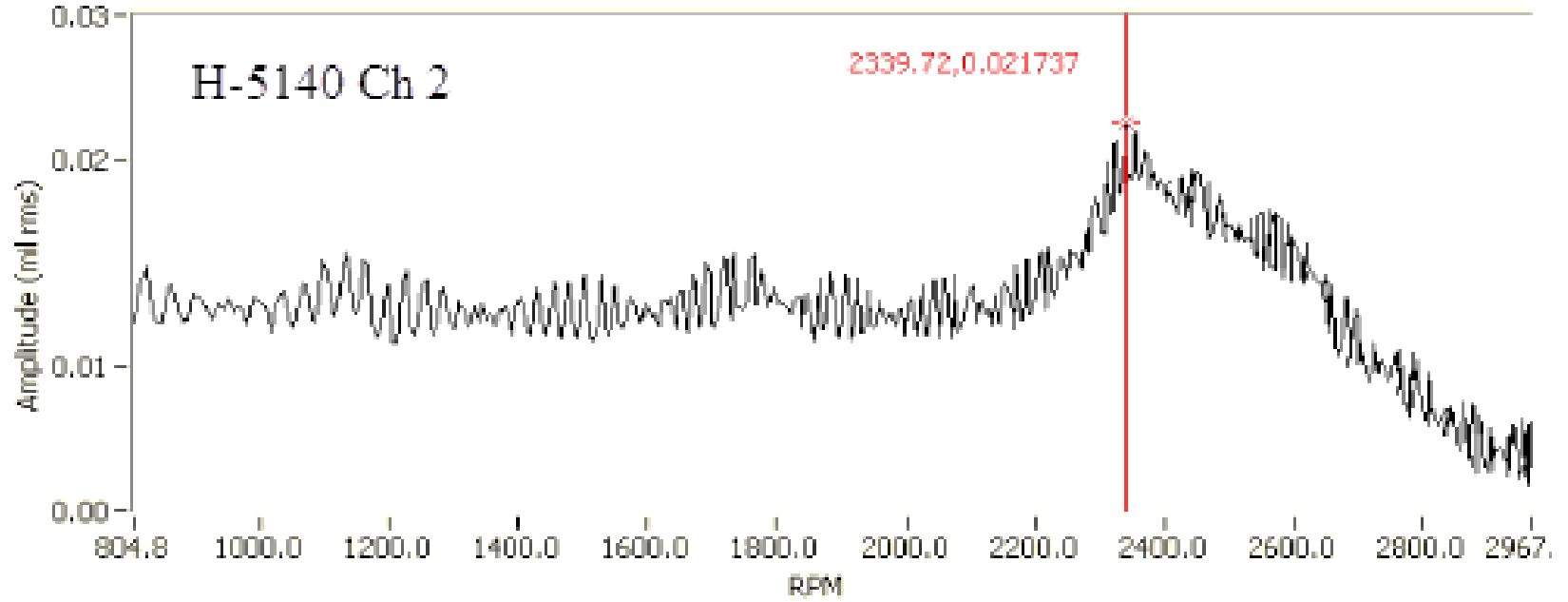
Şekil.5.15. Islahlı Dövme 4340 mil için Ch1 Bode eğrisi.



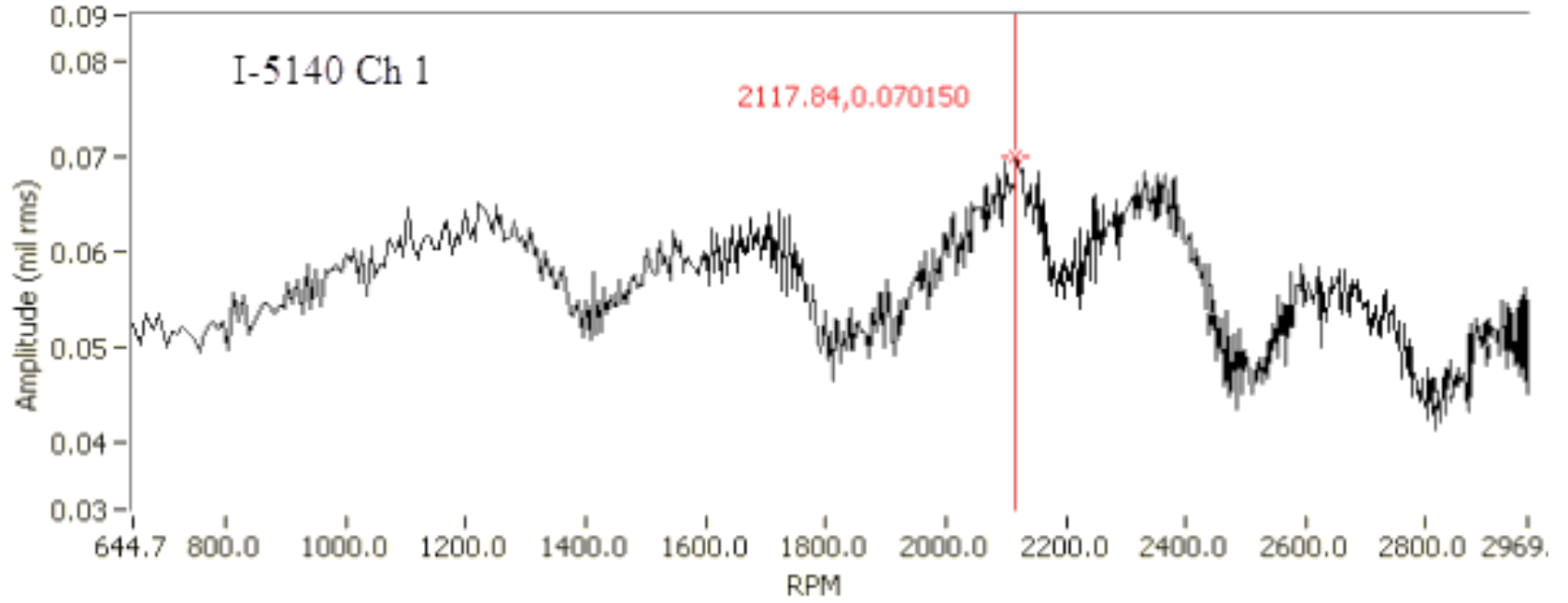
Şekil.5.16. Islahlı dövme 4340 mil için Ch2 Bode eğrisi.



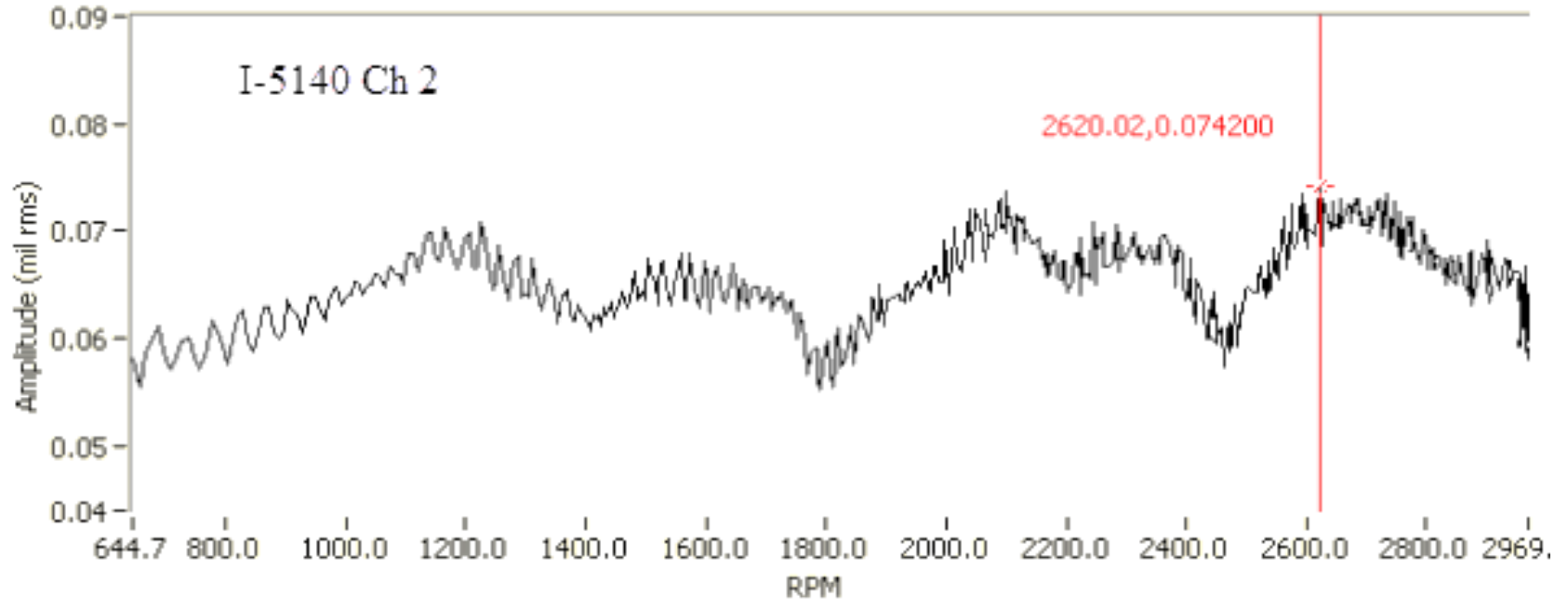
Şekil 5.17. Haddelenmiş 5140 mil için Ch1 Bode eğrisi.



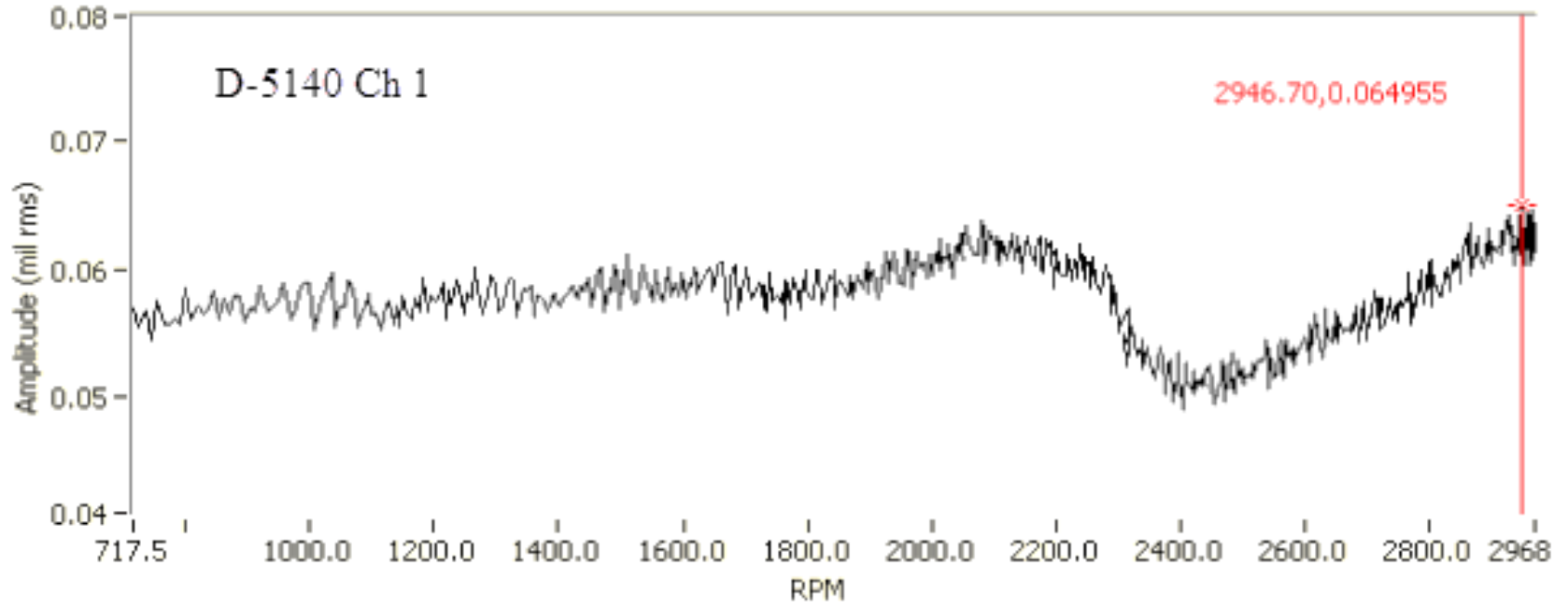
Şekil 5.18. Haddelenmiş 5140 mil için Ch2 Bode eğrisi.



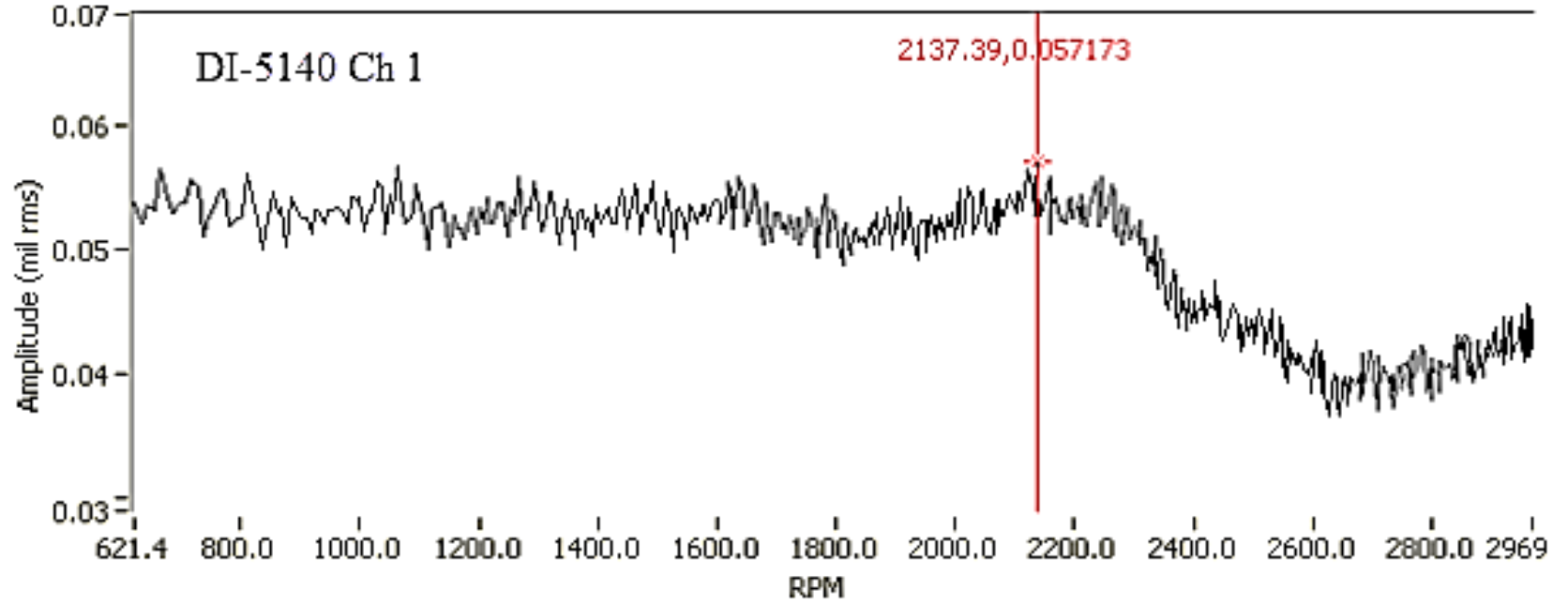
Şekil 5.19. Islahlı 5140 mil için Ch1 Bode eğrisi.



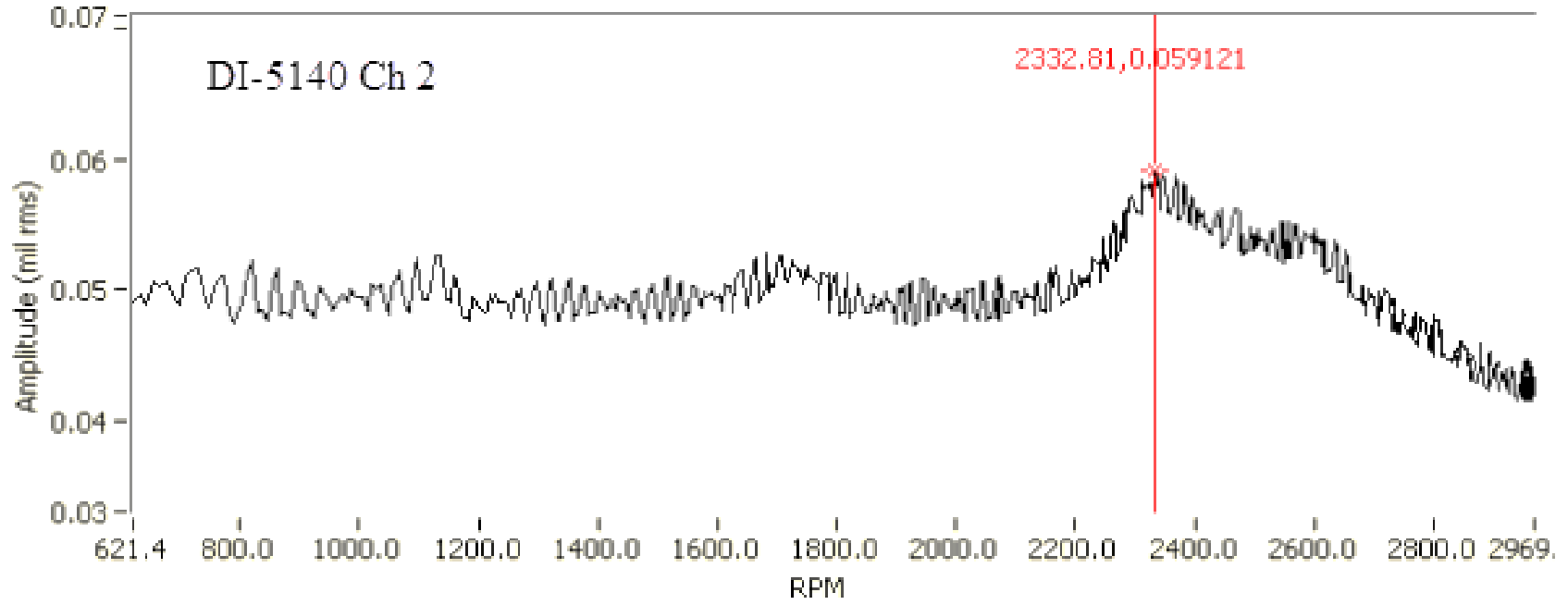
Şekil 5.20. Islahlı 5140 mil için Ch2 Bode eğrisi.



Şekil 5.21. Dövme 5140 mil için Ch1 Bode eğrisi.



Şekil 5.22. Islahlı dövme 5140 mil için Ch1 Bode eğrisi.

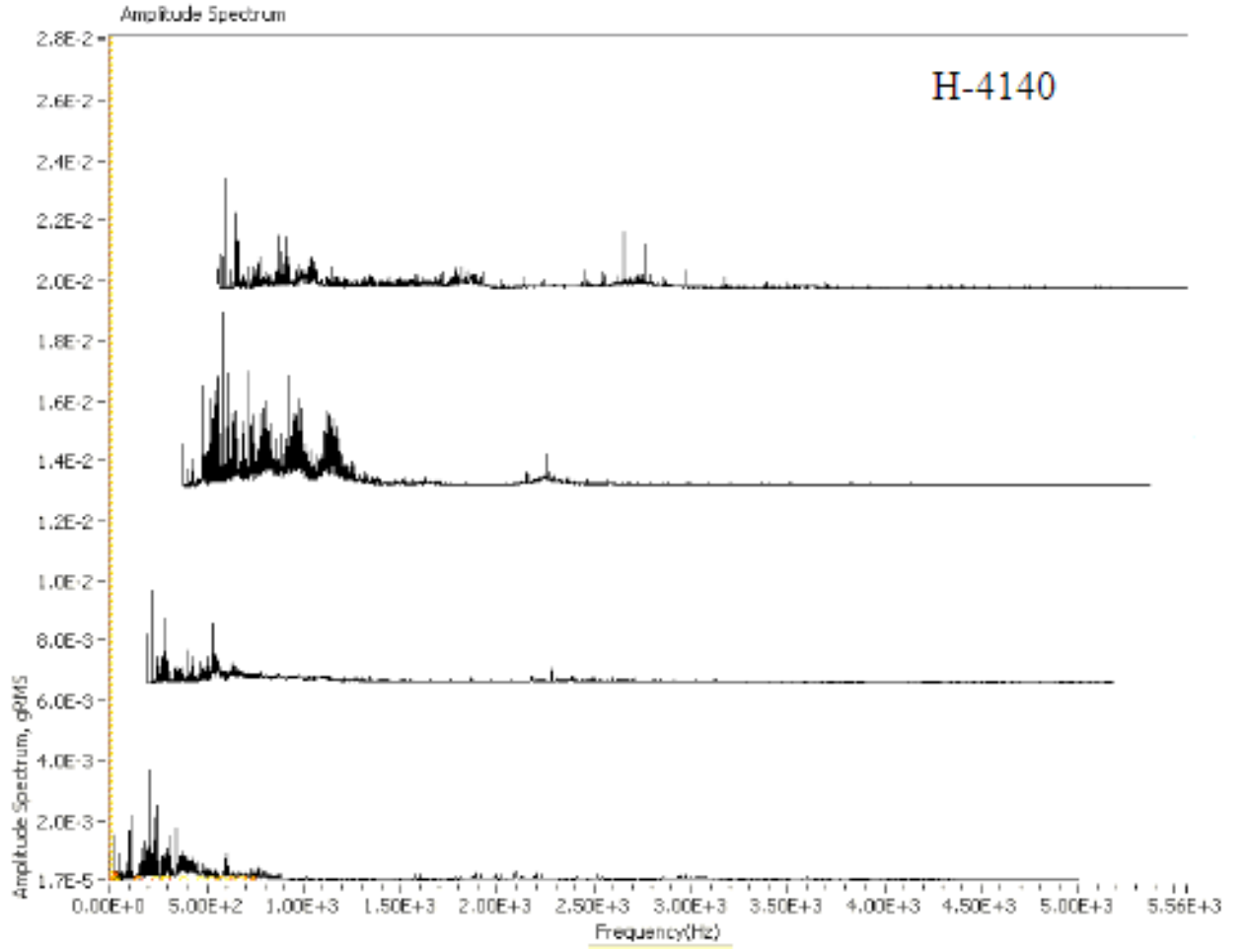


Şekil 5.23. Dövme ıslahlı 5140 mil için Ch2 Bode eğrisi.

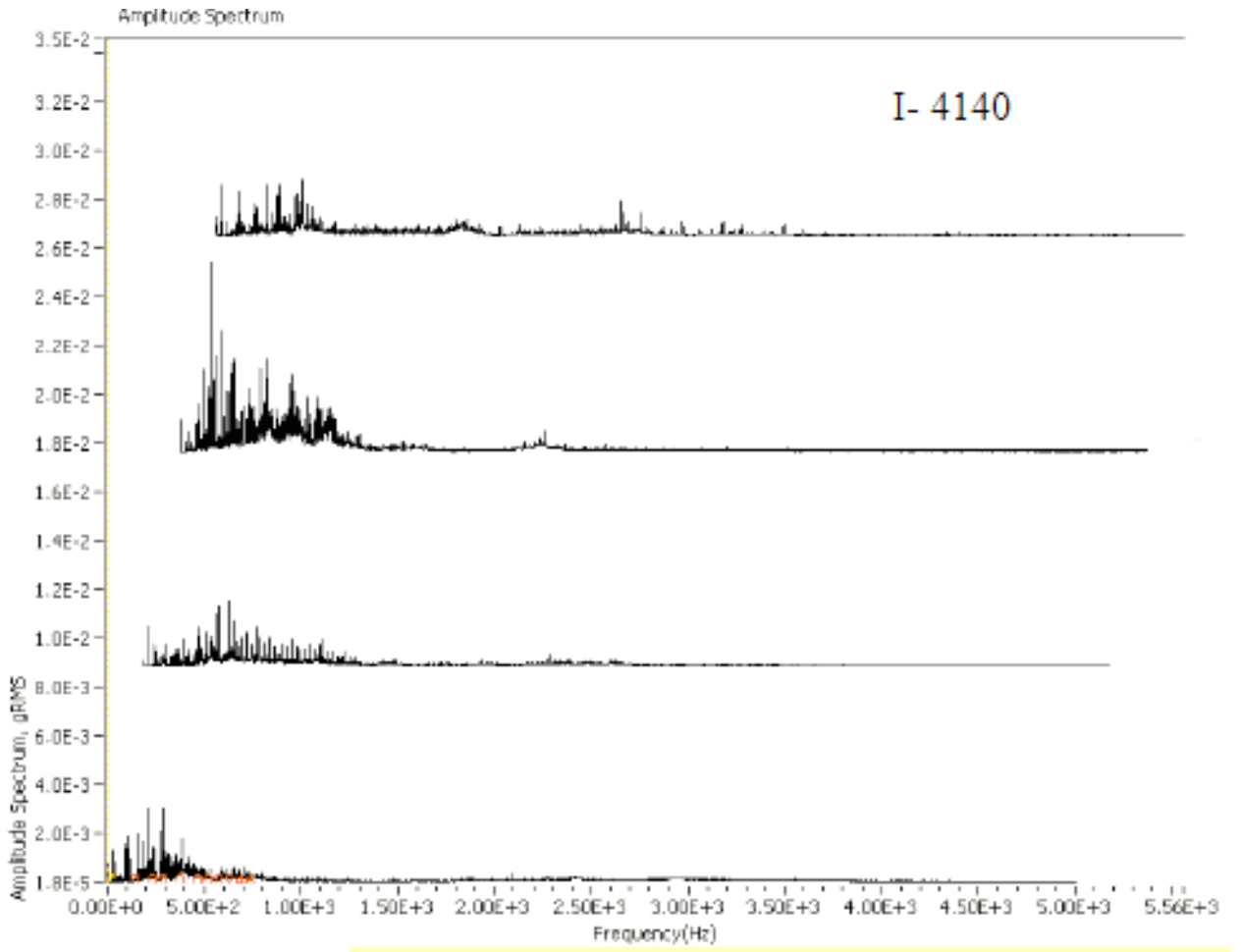
5.2. SPEKTRUM TİTREŞİM GRAFİKLERİ

Motora yakın yatak yuvası için düşey doğrultuda (Ch1) ve yatay doğrultuda (Ch2) kullanılırken motordan uzak yatak yuvası için düşey doğrultuda (Ch3) ve yatay doğrultuda (Ch4) ivme ölçerler kullanılmıştır. Kanallara bağlı ivme ölçerler aracılığıyla mil çalışma hızı 30, 40 ve 50 Hz için veriler toplanmıştır. En kritik verilerin toplandığı 40 Hz olduğu için kıyaslama referansı olarak alınmıştır.

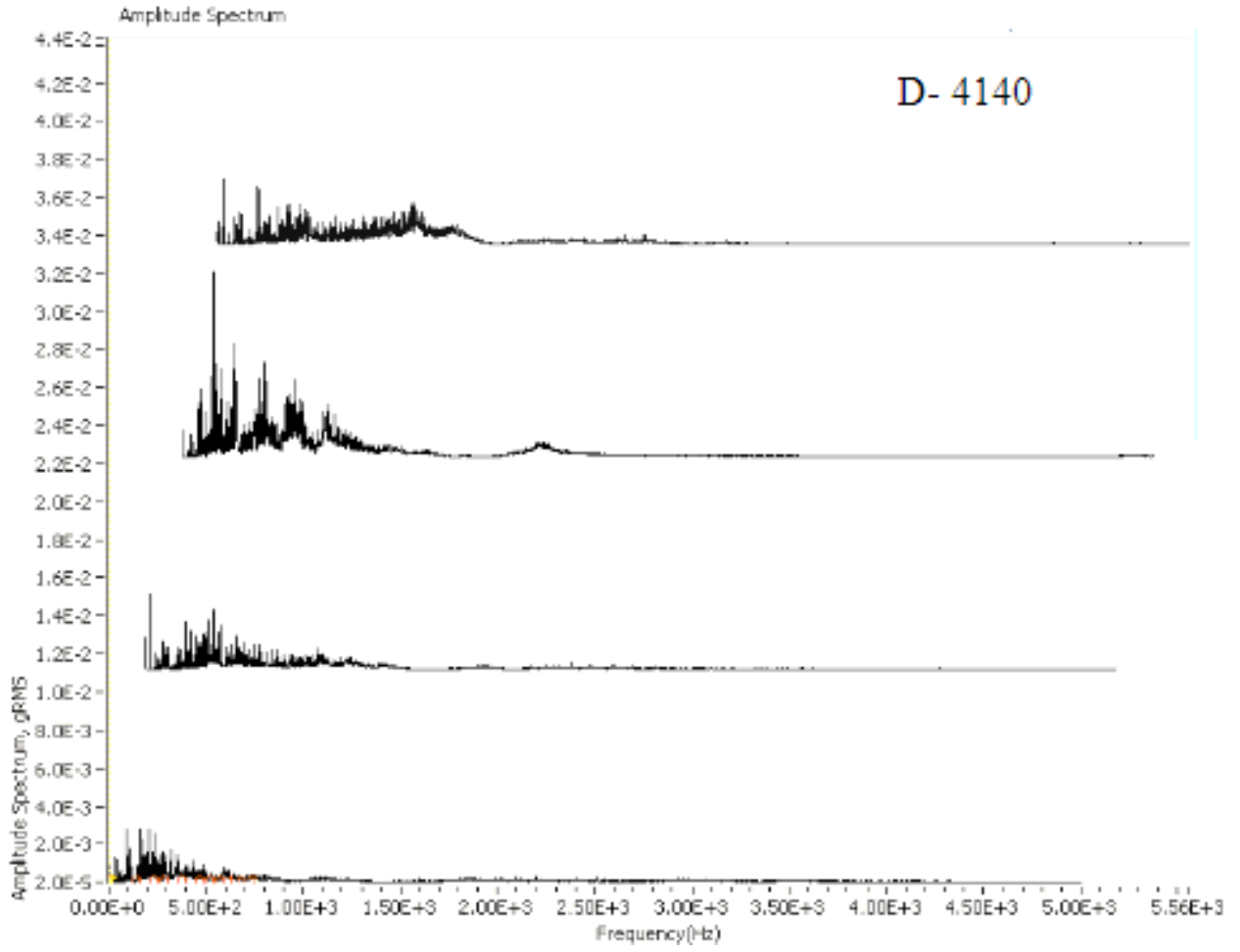
Şekil 5.24, Şekil 5.25, Şekil 5.26, Şekil 5.27, Şekil 5.28, Şekil 5.29, Şekil 5.30, Şekil 5.31, Şekil 5.32, Şekil 5.33, Şekil 5.34, Şekil 5.35, Şekil 5.36, Şekil 5.37, Şekil 5.38, Şekil 5.39, Şekil 5.40, Şekil 5.41, Şekil 5.42, Şekil 5.43, Şekil 5.44, Şekil 5.45, Şekil 5.46, Şekil 5.47, Şekil 5.48, Şekil 5.49, Şekil 5.50, Şekil 5.51, Şekil 5.52, Şekil 5.53, Şekil 5.54, Şekil 5.55, Şekil 5.56, Şekil 5.57, Şekil 5.58 ve Şekil 5.59'daki grafiklerde, bir grafikte dört kanal verilmiş ve kanallar alttan sırasıyla Ch1, Ch2, Ch3 ve Ch4 olmak üzere mil çalışma hızı 30, 40, 50 Hz için toplanan titreşim verileri sunulmuştur.



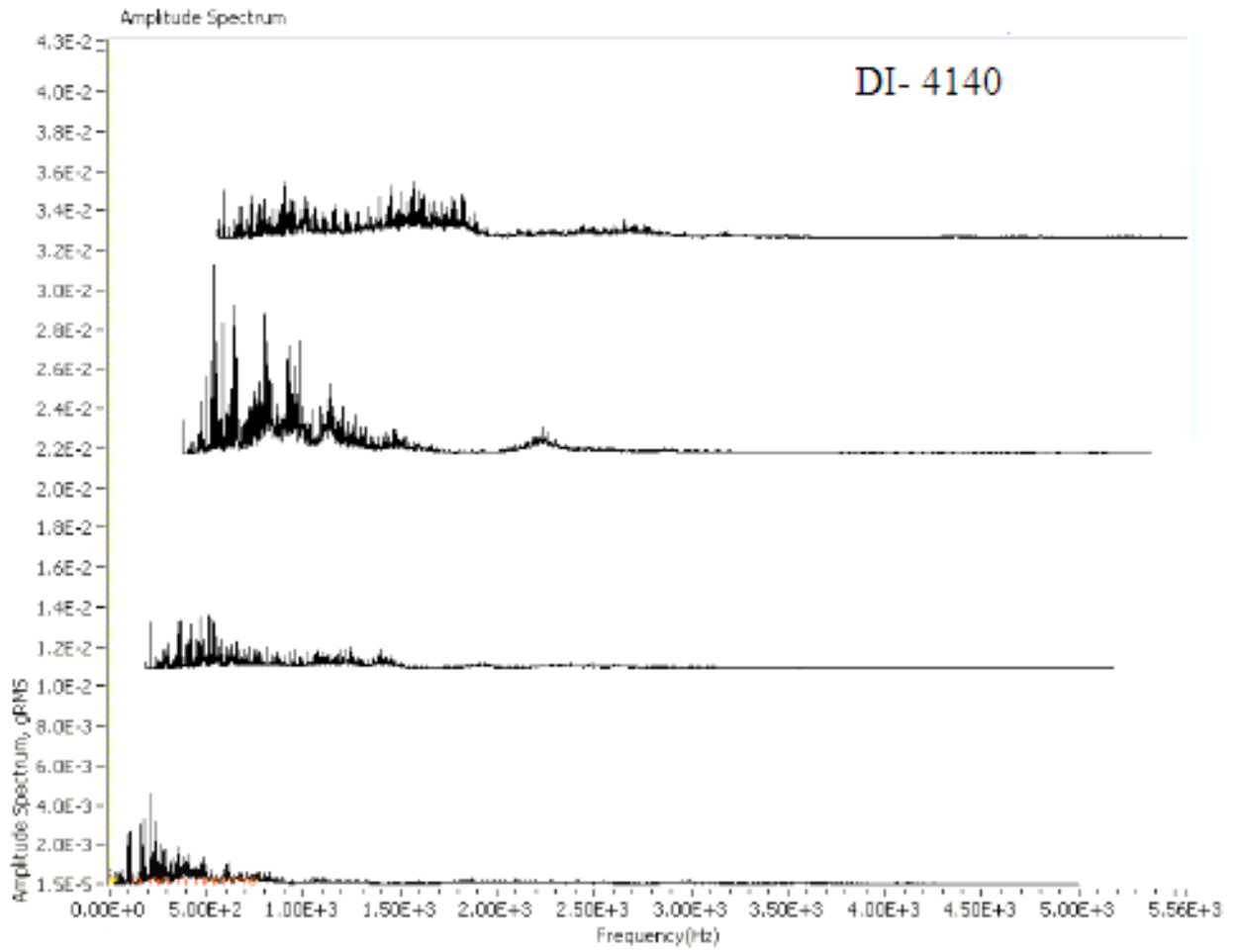
Şekil 5.24. Haddelenmiş 4140 mil için spektrum titreşim grafiği (30 Hz).



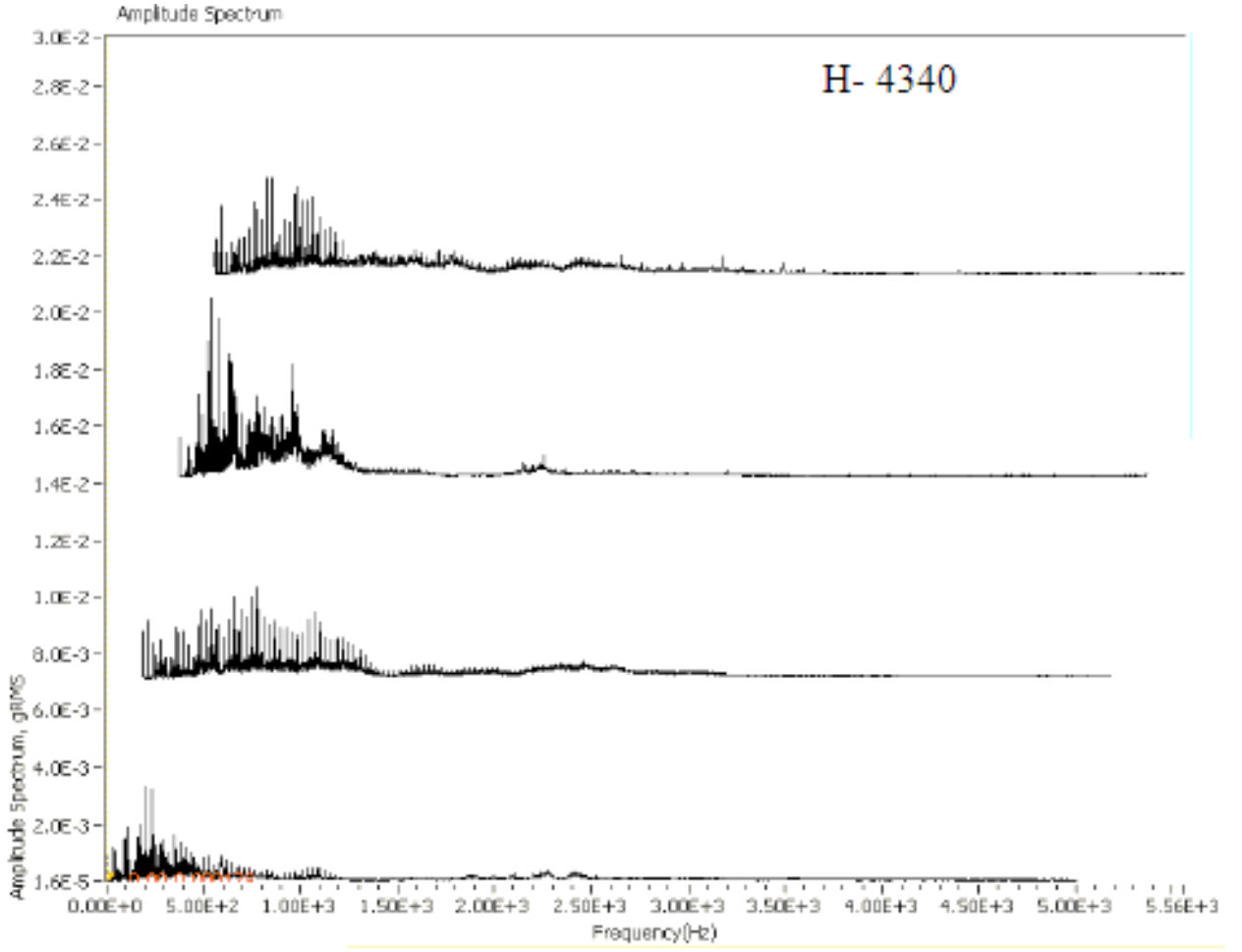
Şekil 5.25. Islahlı 4140 mili için spektrum titreşim grafiği (30 Hz).



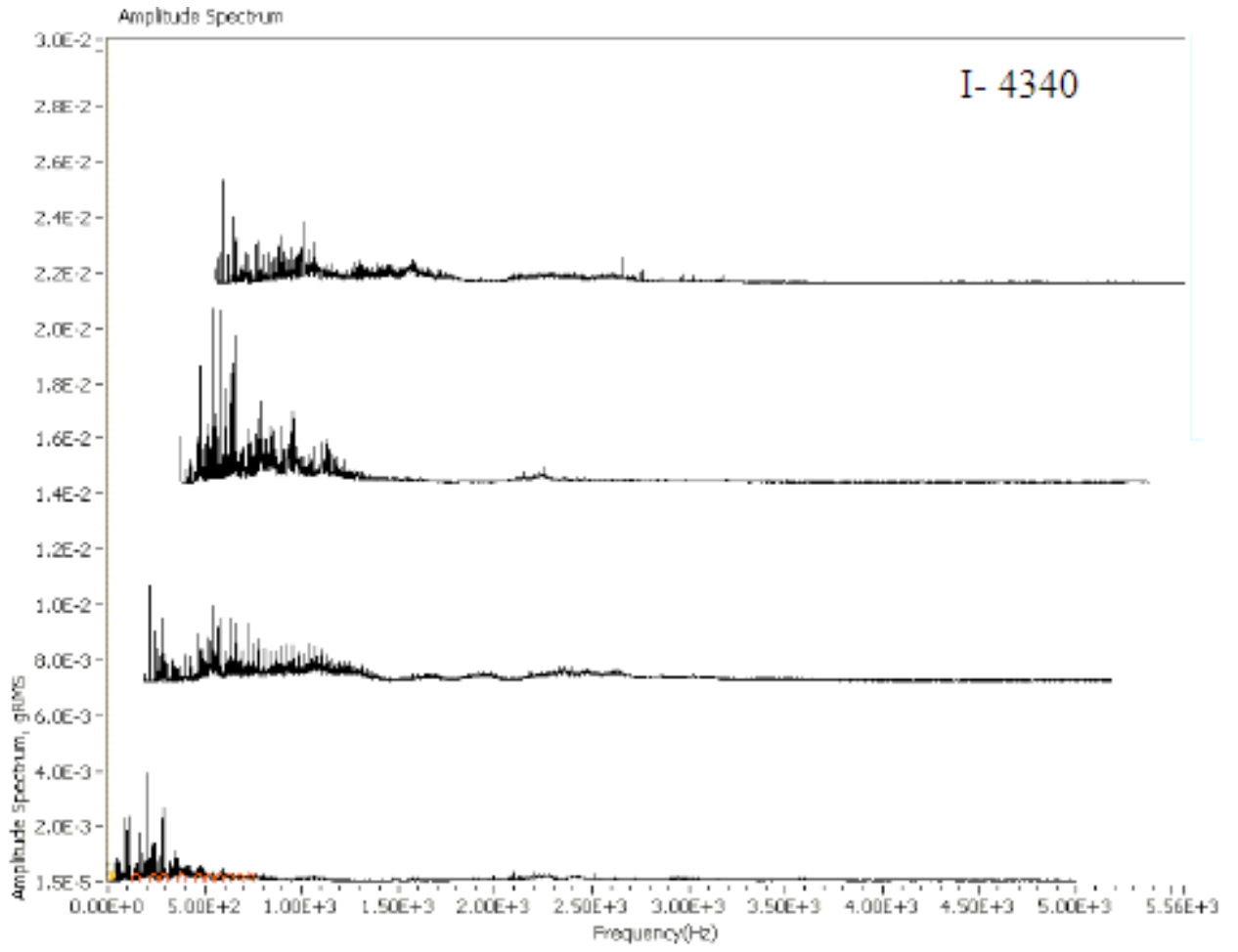
Şekil 5.26. Dövme 4140 mili için spektrum titreşim grafiği (30 Hz).



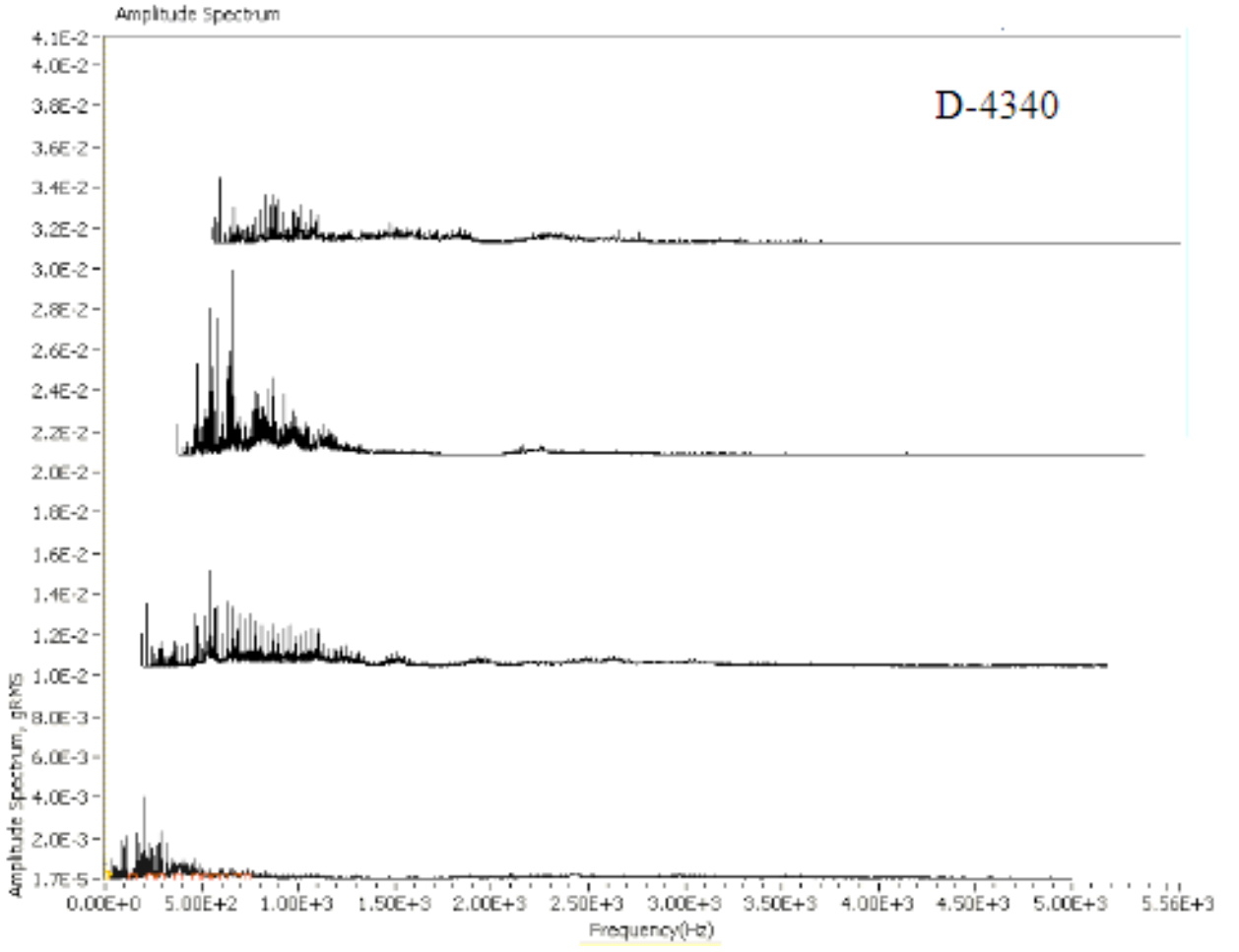
Şekil 5.27. Islahlı dövme 4140 mili için spektrum titreşim grafiği (30 Hz).



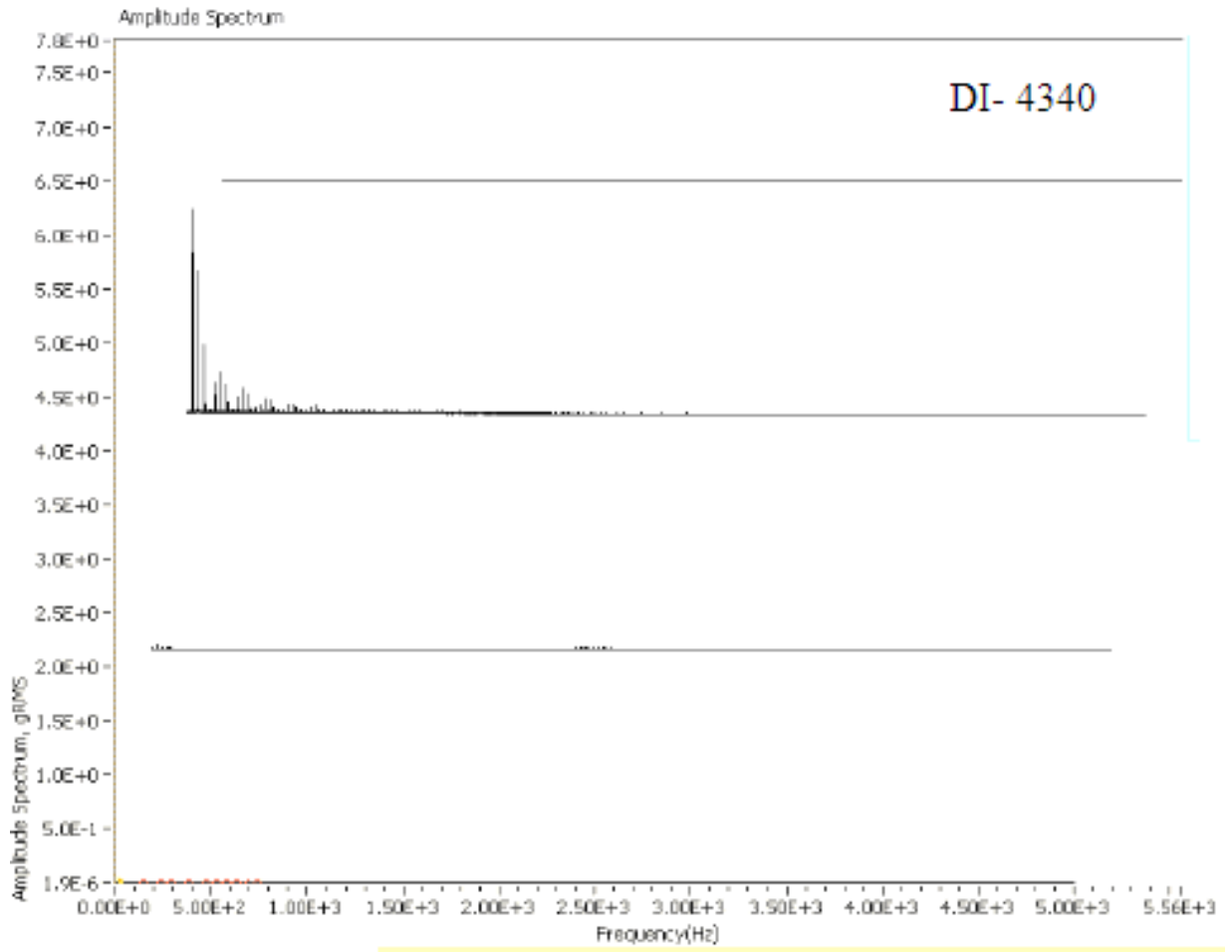
Şekil 5.28. Haddelenmiş 4340 mili için spektrum titreşim grafiği (30 Hz).



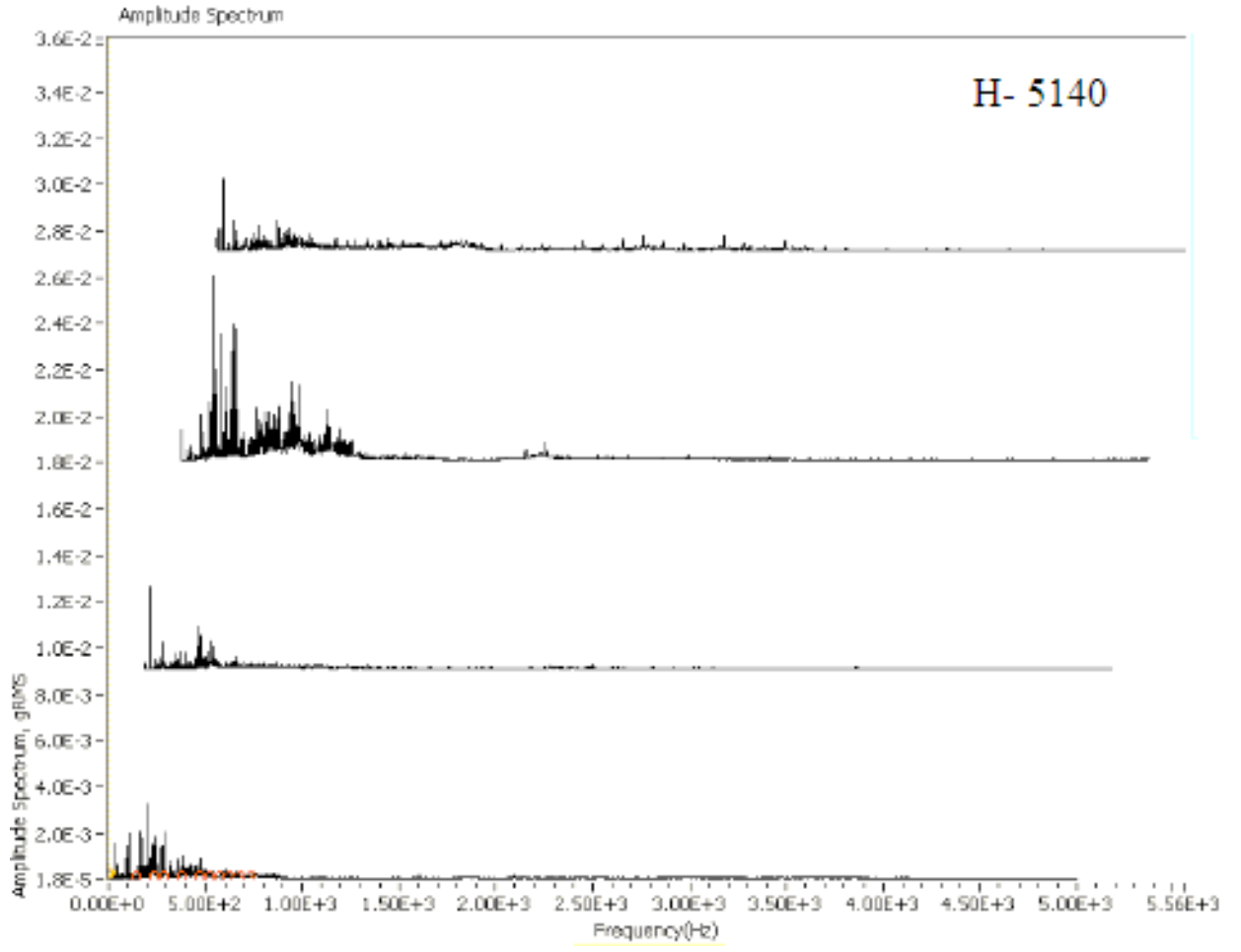
Şekil 5.29. Islahlı 4340 mili için spektrum titreşim grafiği (30 Hz).



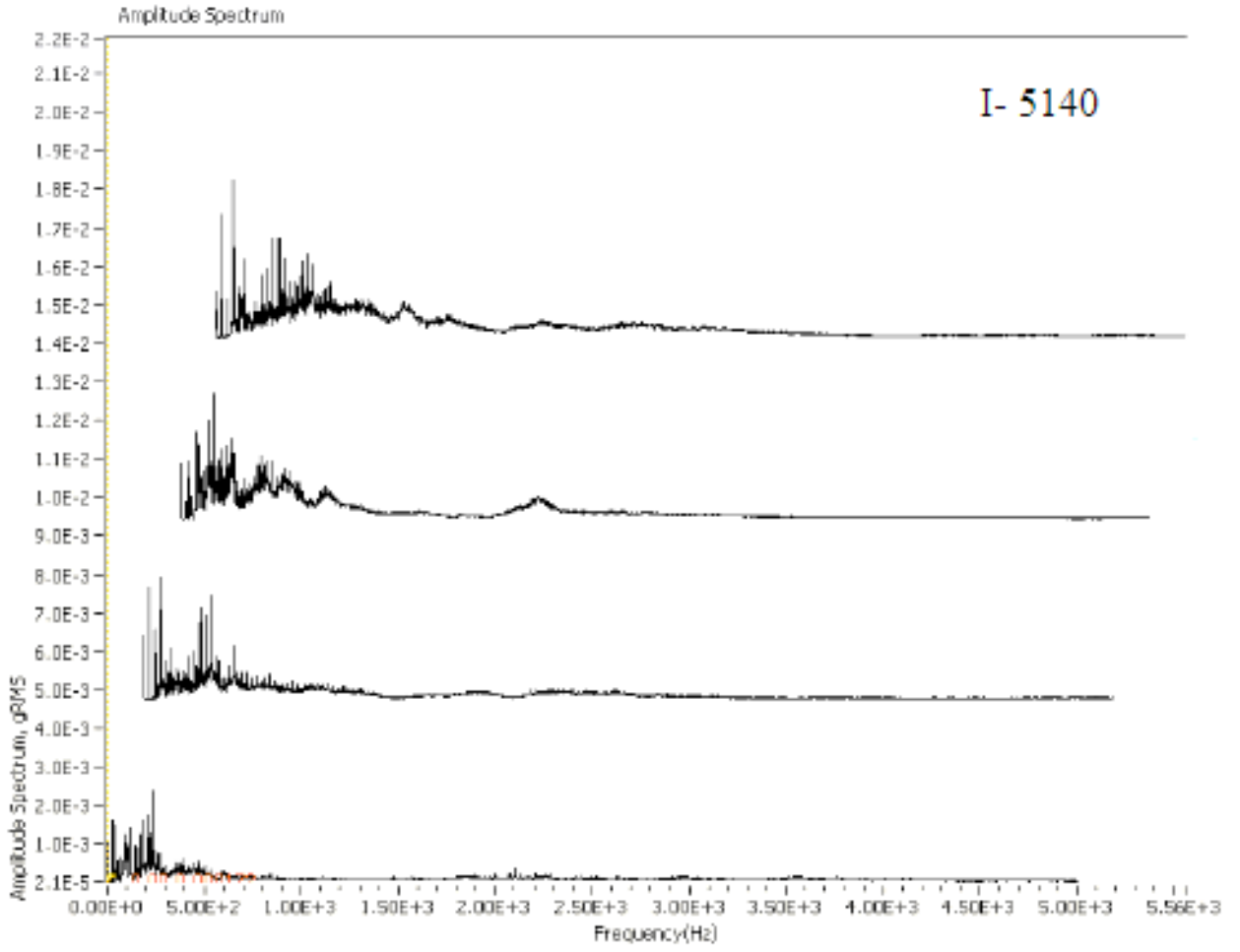
Şekil 5.30. Dövme 4340 mili için spektrum titreşim grafiği (30 Hz).



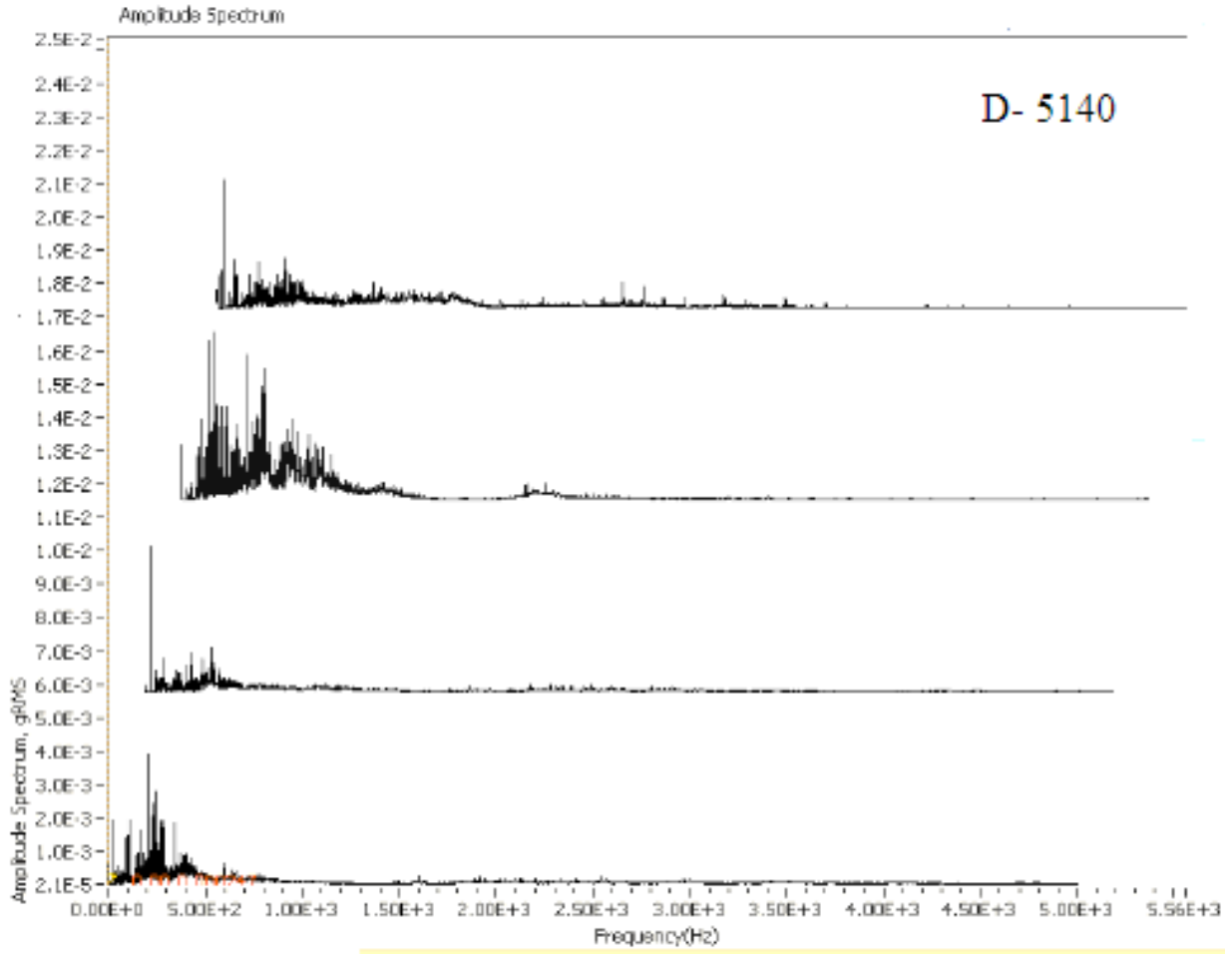
Şekil 5.31. Islahlı 4340 mili için spektrum titreşim grafiği (30 Hz).



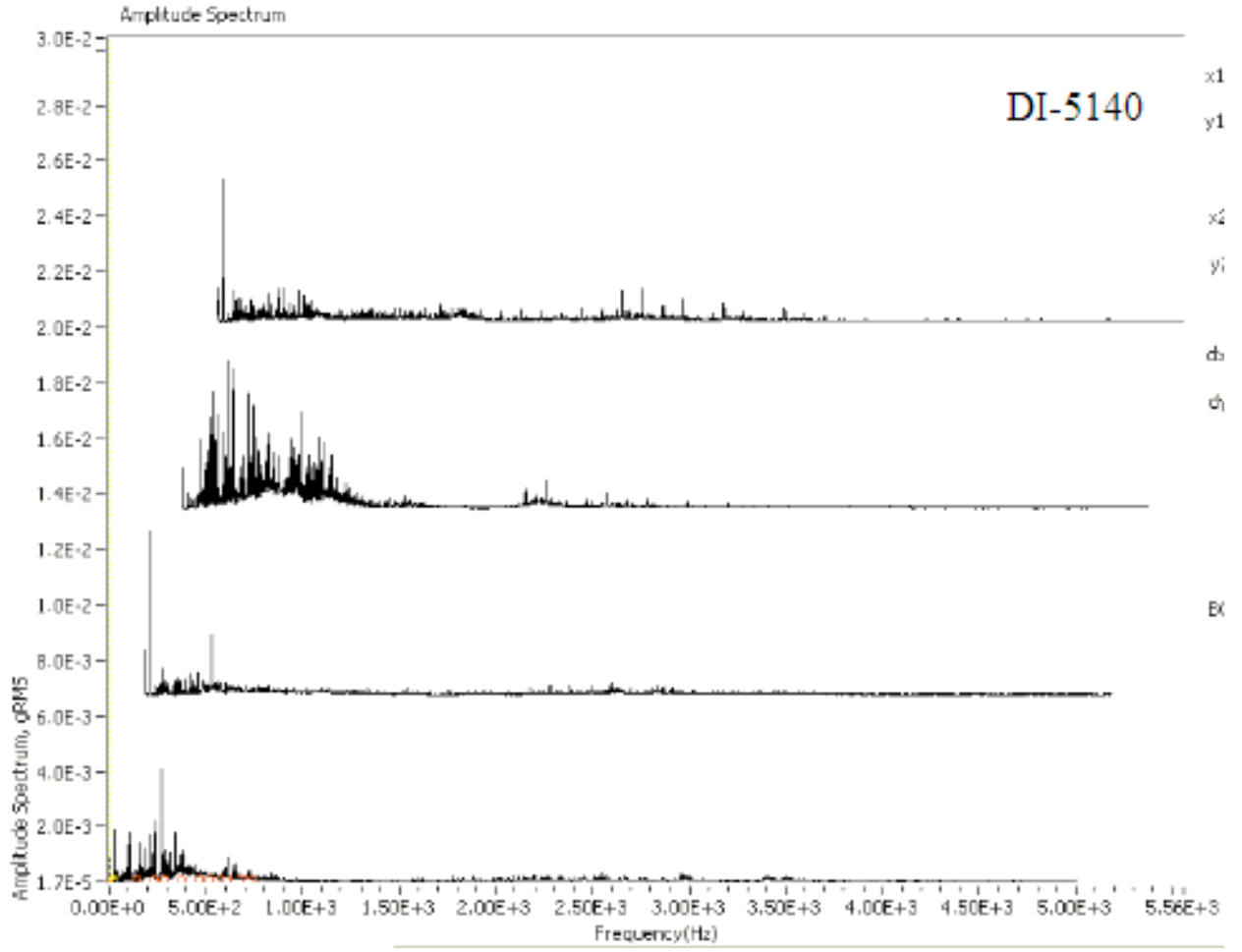
Şekil 5.32. Haddelenmiş 5140 mili için spektrum titreşim grafiği (30 Hz).



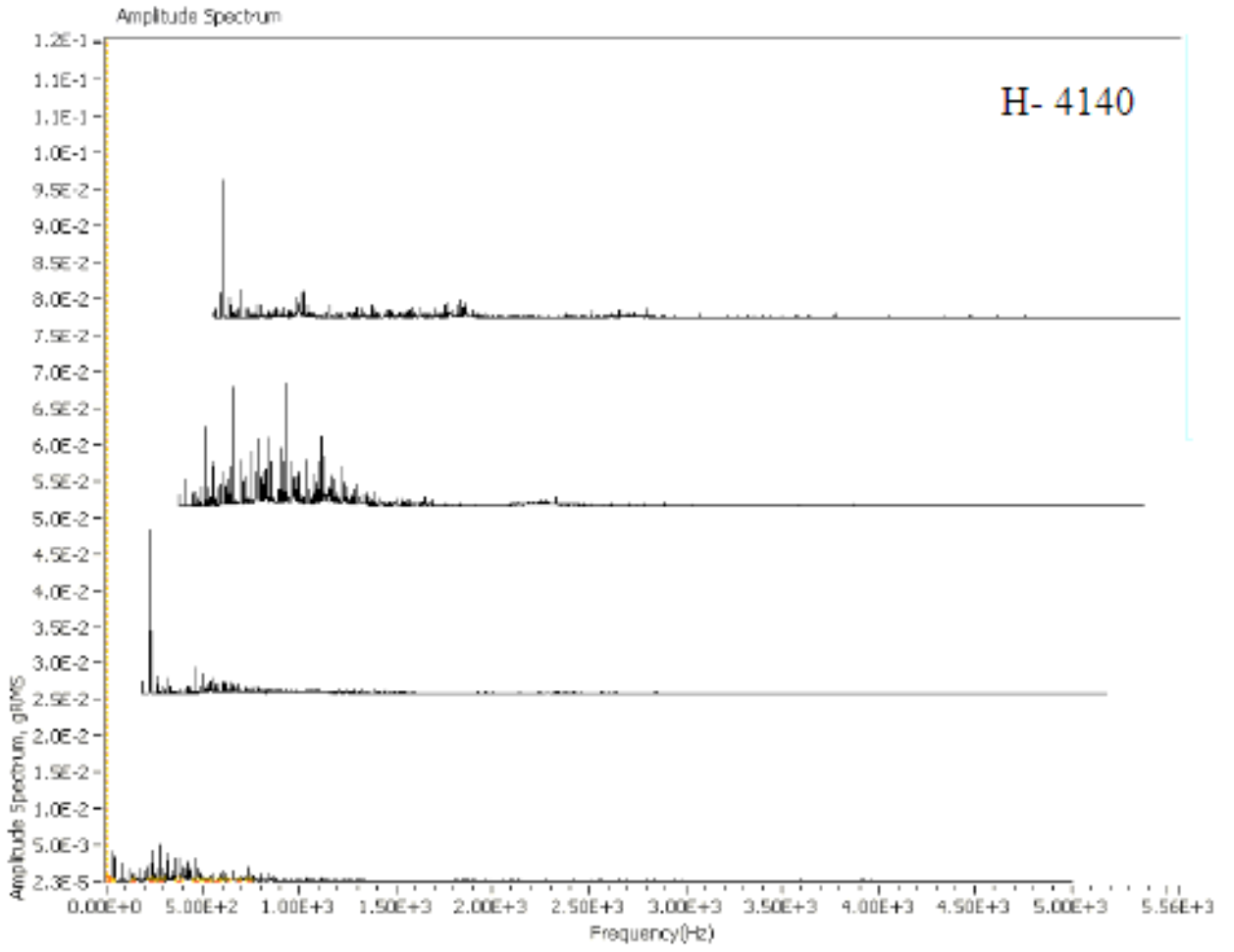
Şekil 5.33. Islahlı 5140 mili için spektrum titreşim grafiği (30 Hz).



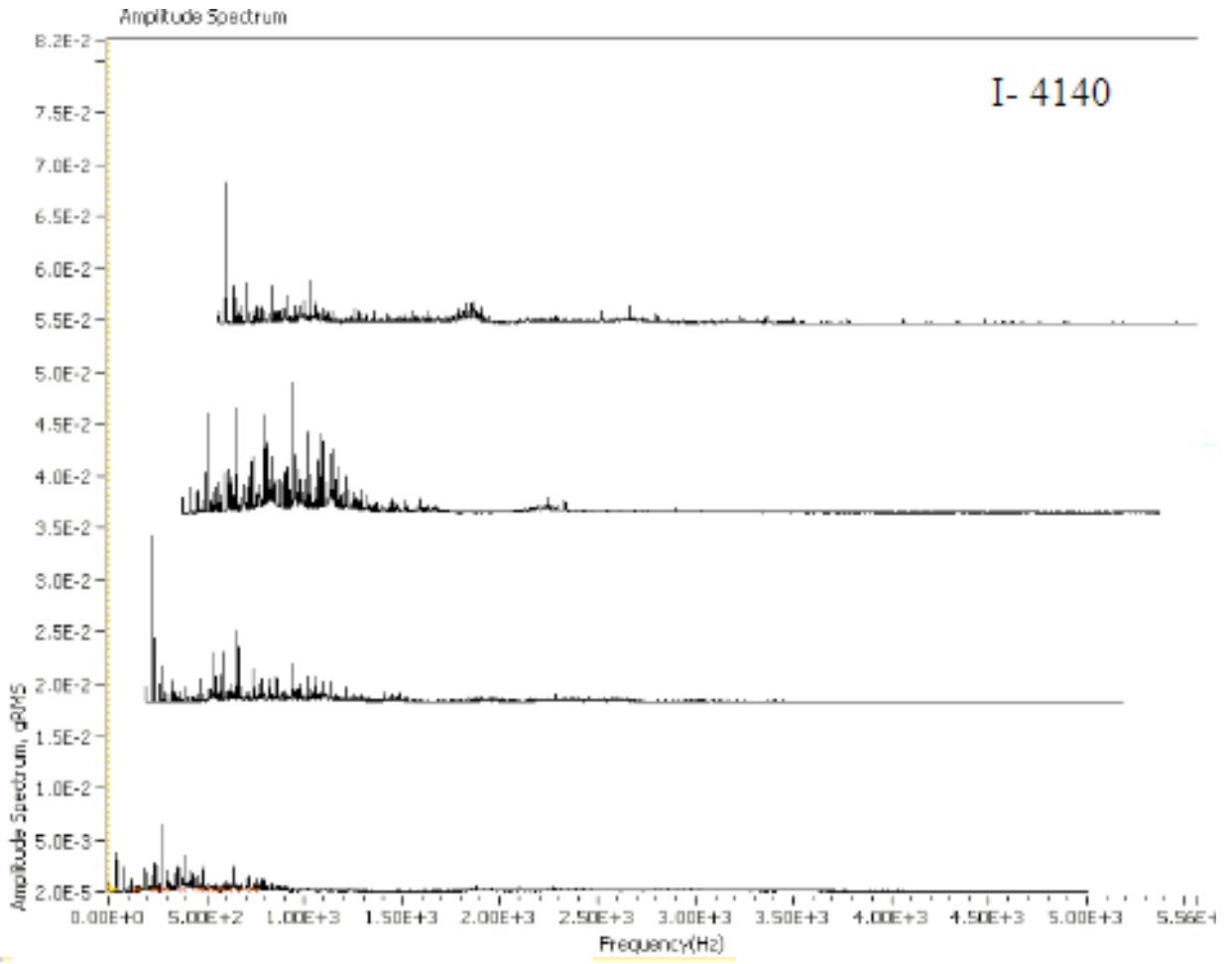
Şekil 5.34. Dövme 5140 mili için spektrum titreşim grafiği (30 Hz).



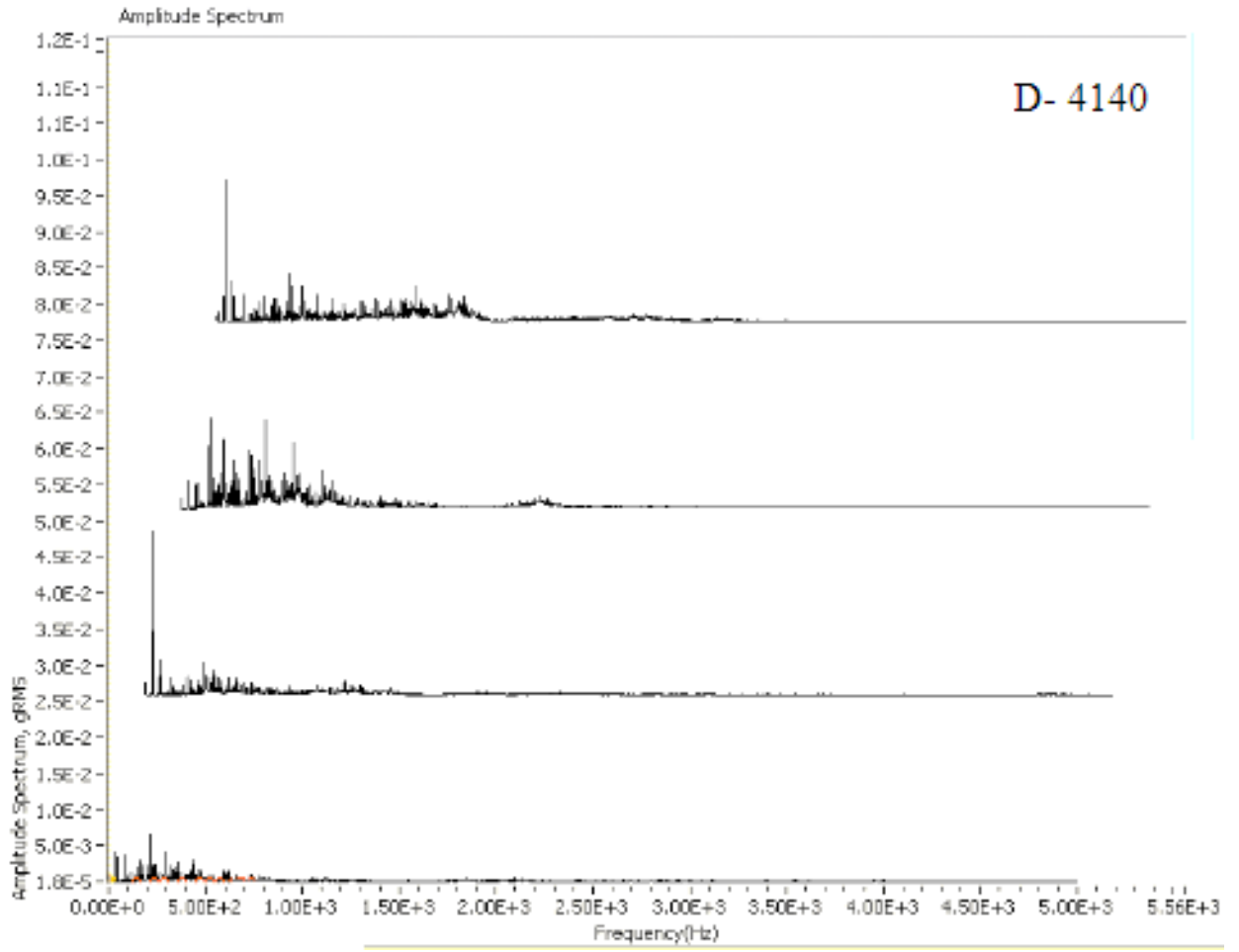
Şekil 5.35. Islahlı dövme 5140 mili için spektrum titreşim grafiği (30 Hz).



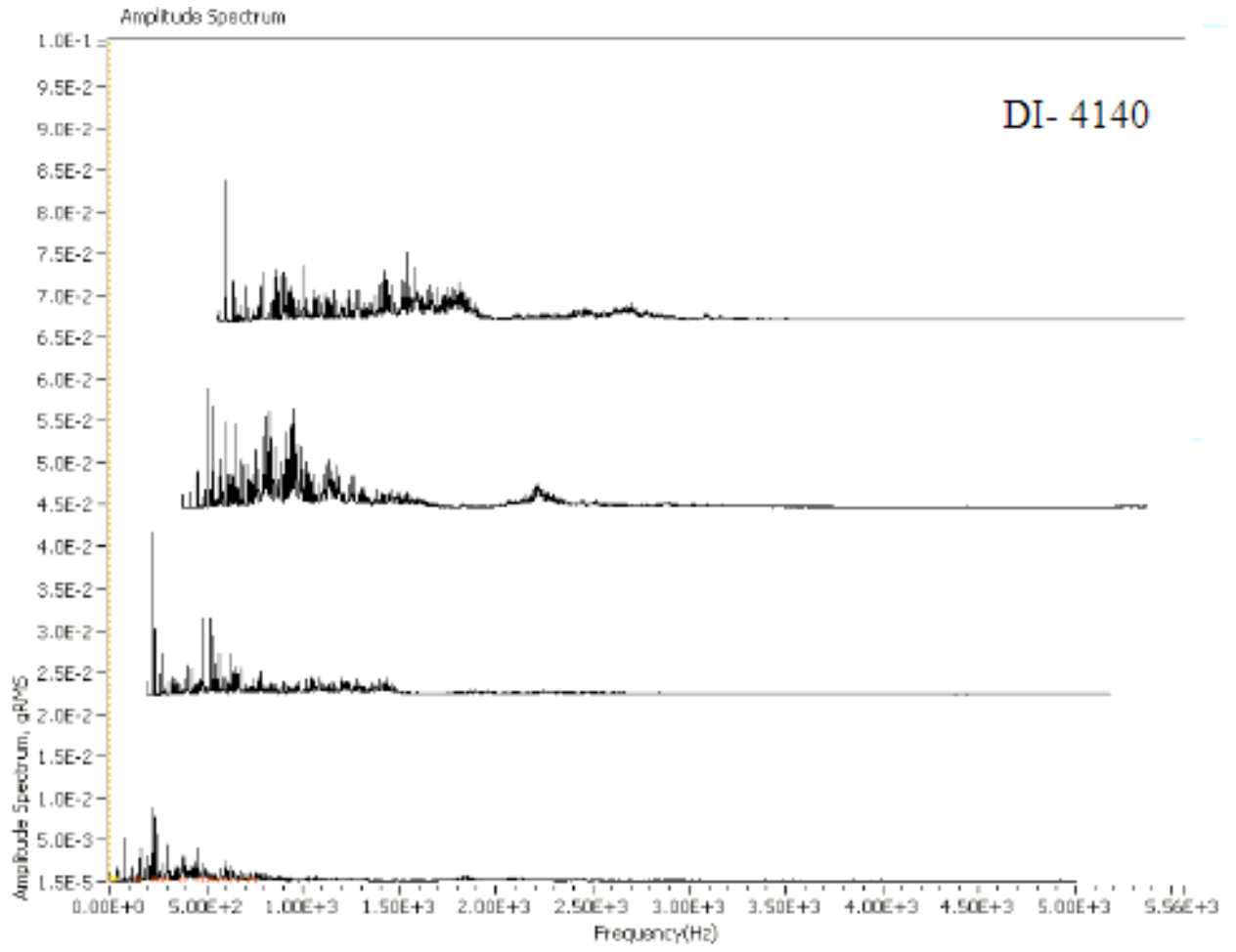
Şekil 5.36. Haddelenmiş 4140 mili için spektrum titreşim grafiği (40 Hz).



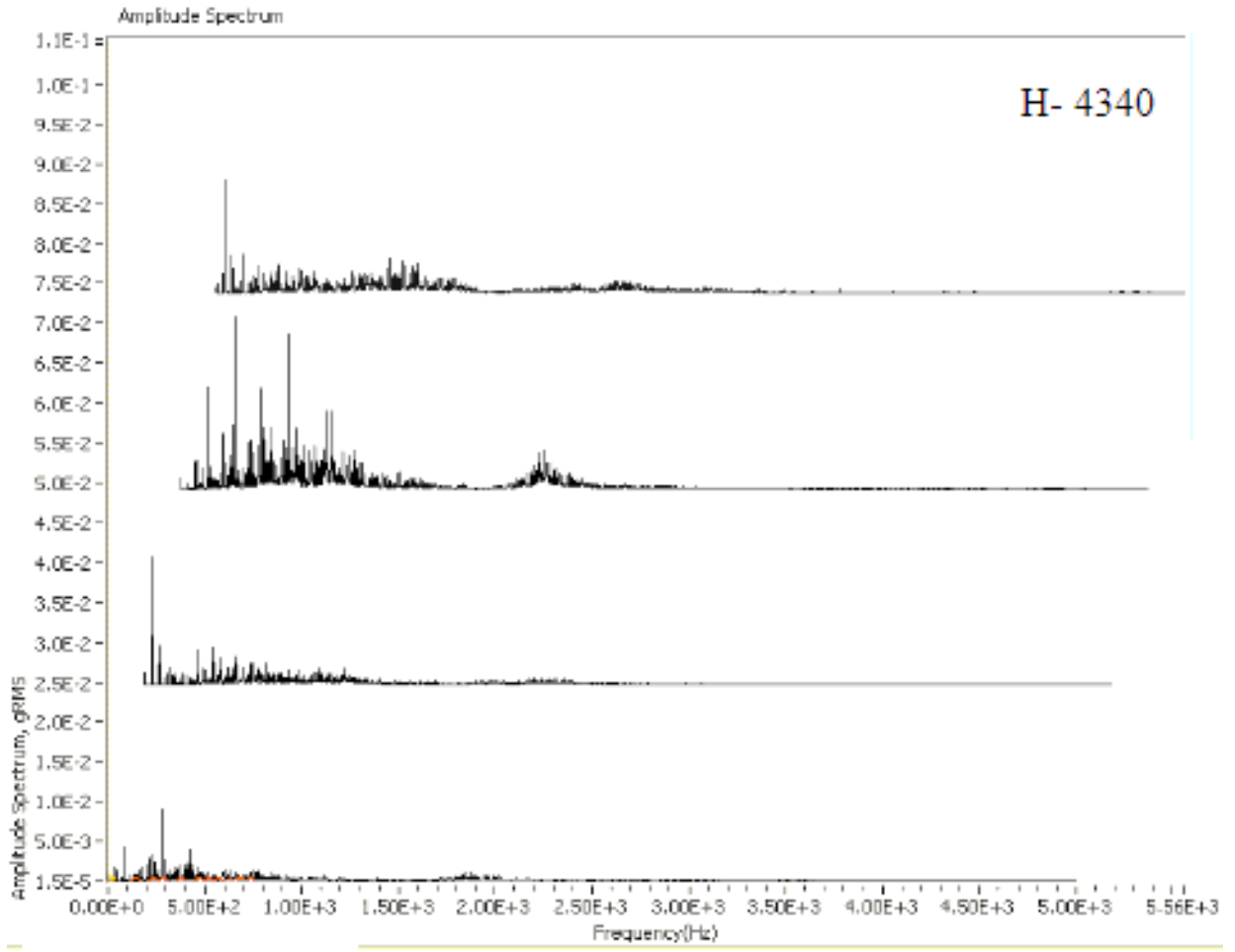
Şekil 5.37. Islahlı 4140 mili için spektrum titreşim grafiği (40 Hz).



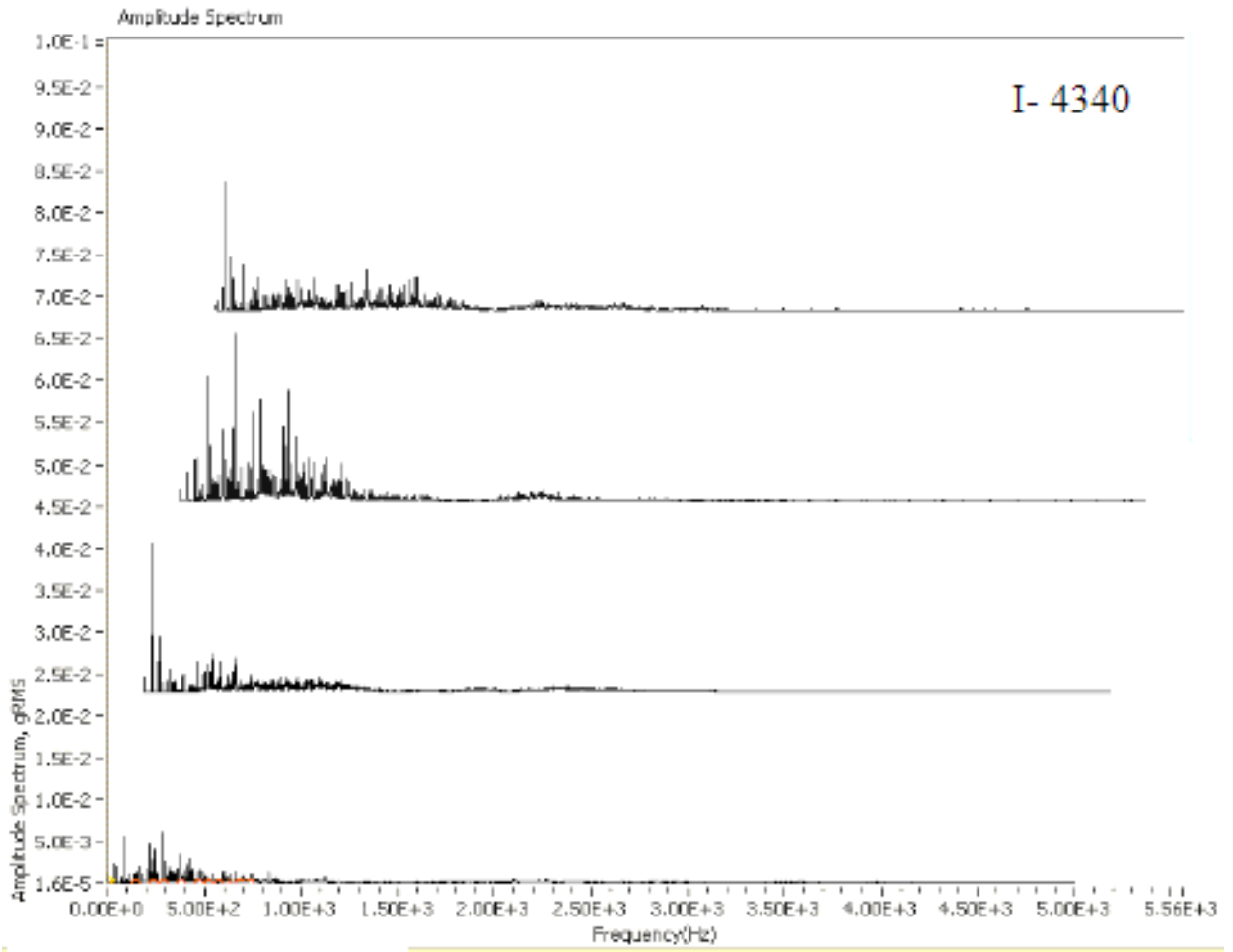
Şekil 5.38. Dövme 4140 mili için spektrum titreşim grafiği (40 Hz).



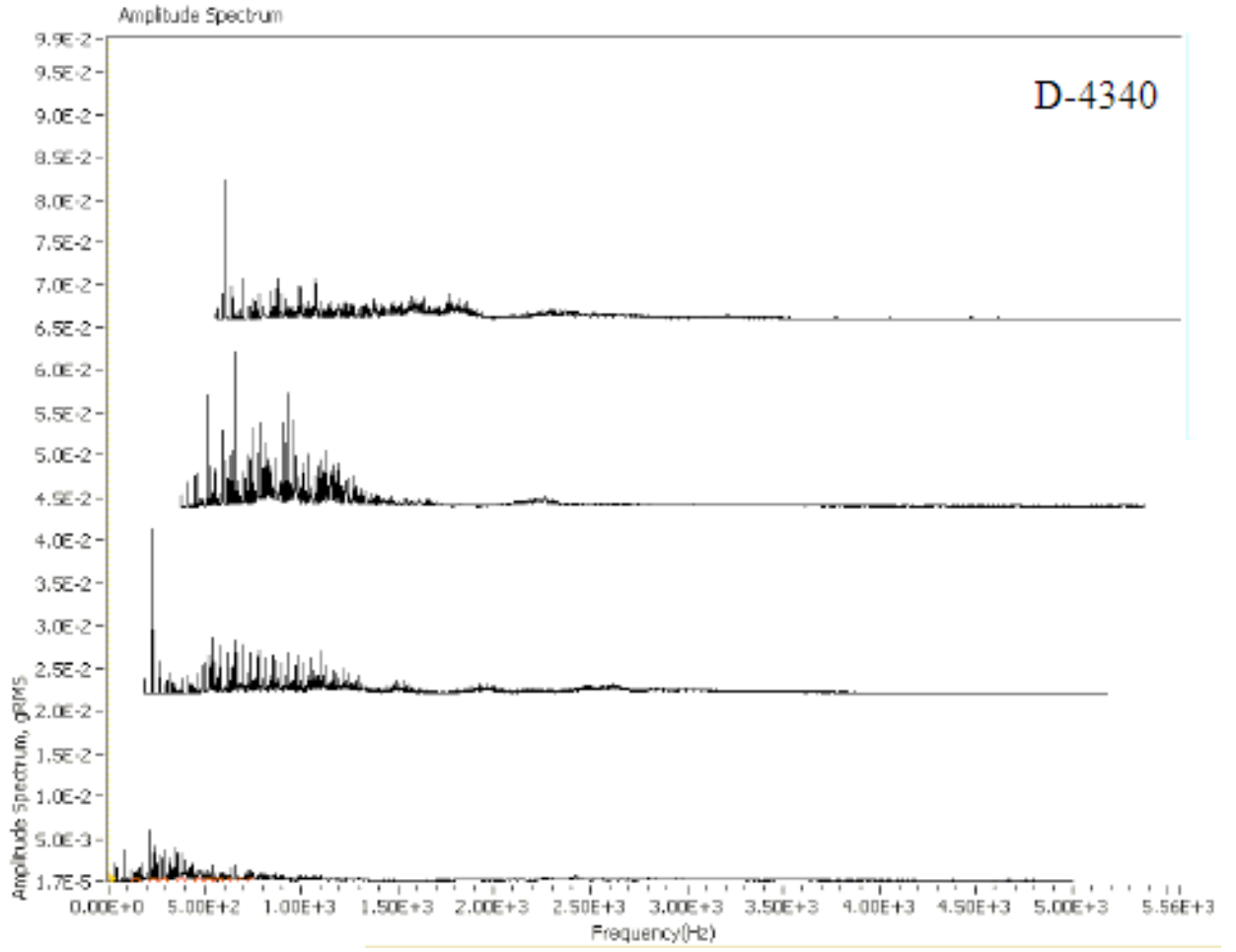
Şekil 5.39. Islahlı dövme 4140 mili için spektrum titreşim grafiği (40 Hz).



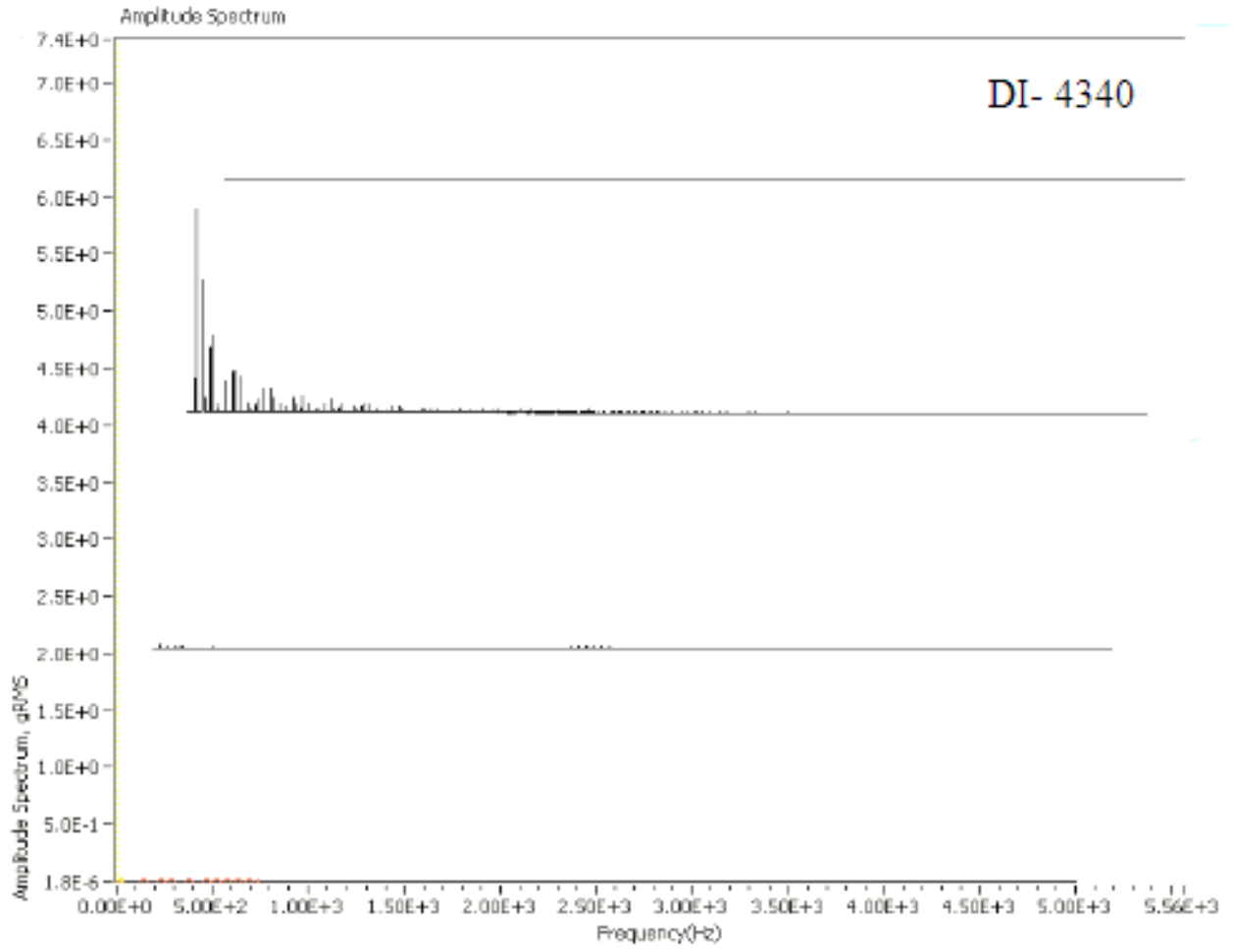
Şekil 5.40. Haddelenmiş 4340 mili için spektrum titreşim grafiği (40 Hz).



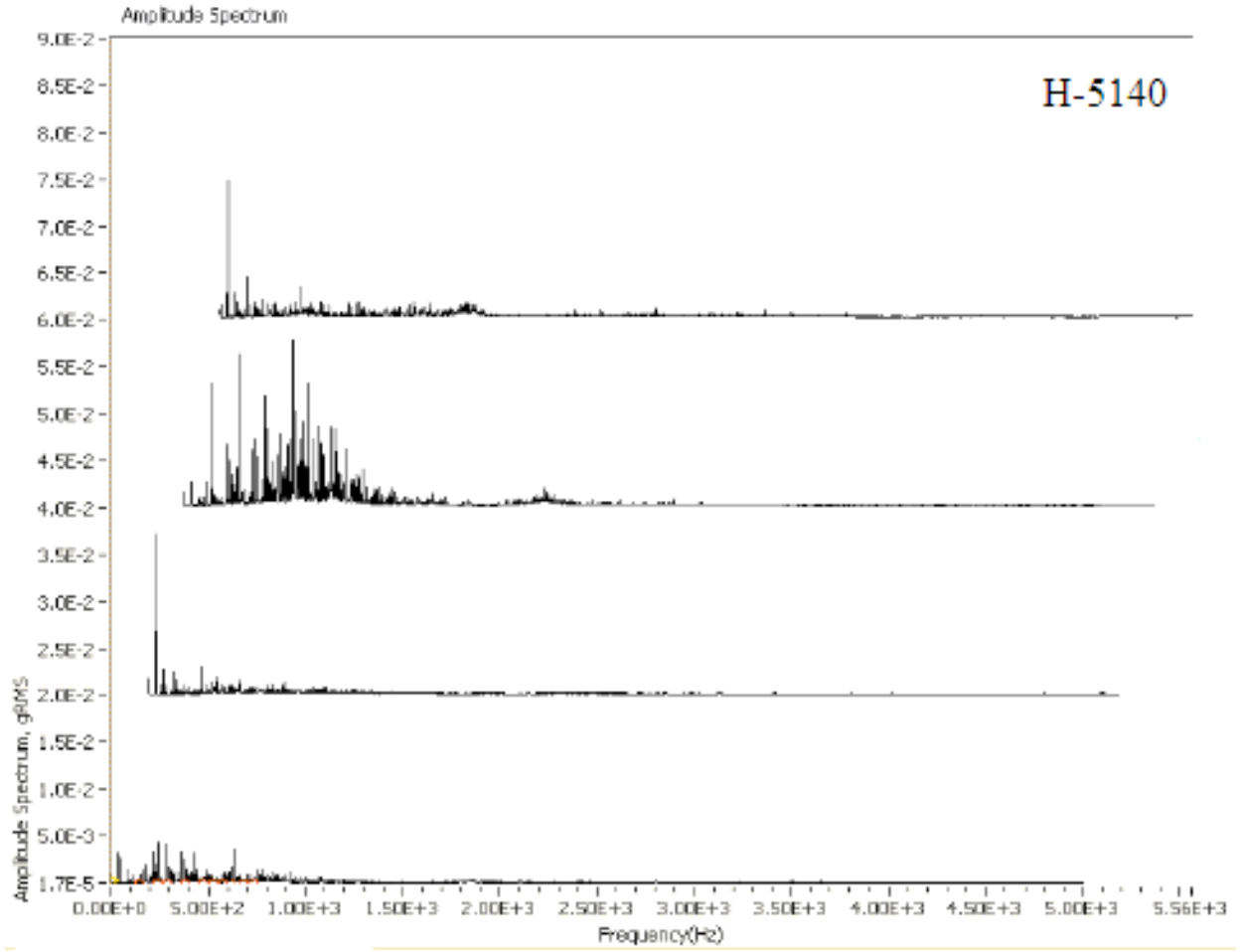
Şekil 5.41. Islahlı 4340 mili için spektrum titreşim grafiği (40 Hz).



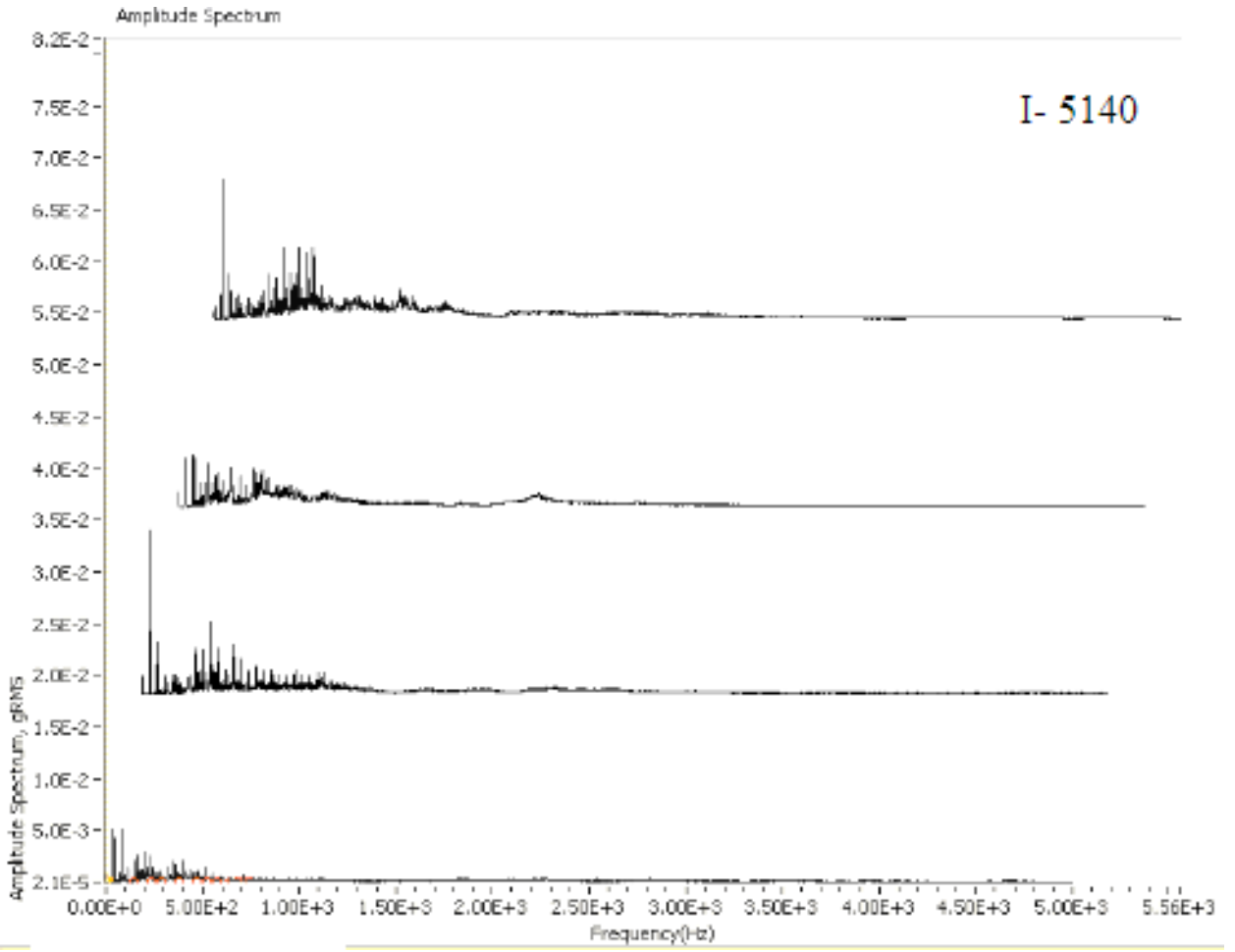
Şekil 5.42. Dövme 4340 mili için spektrum titreşim grafiği (40 Hz).



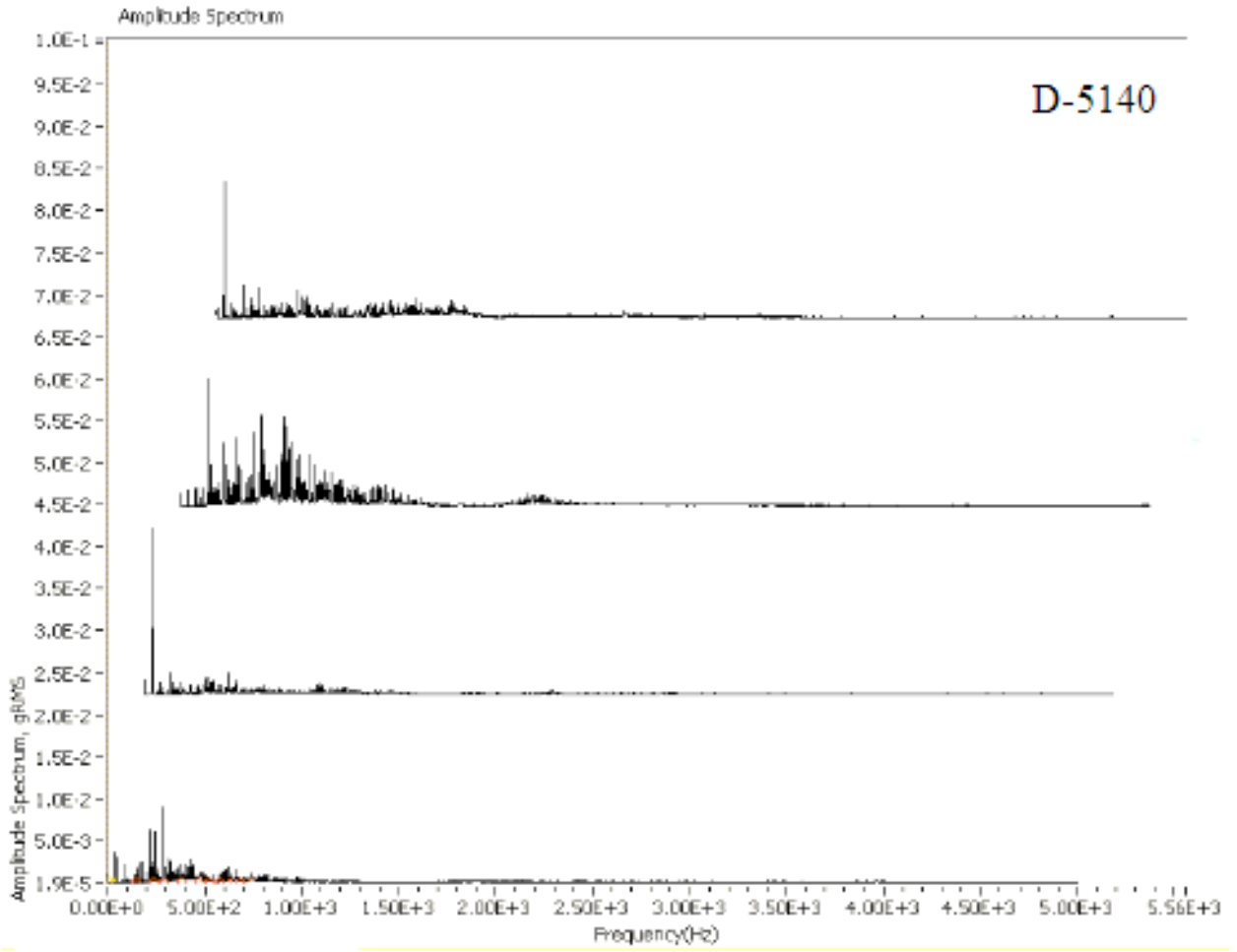
Şekil 5.43. Islahlı dövme 4340 mili için spektrum titreşim grafiği (40 Hz).



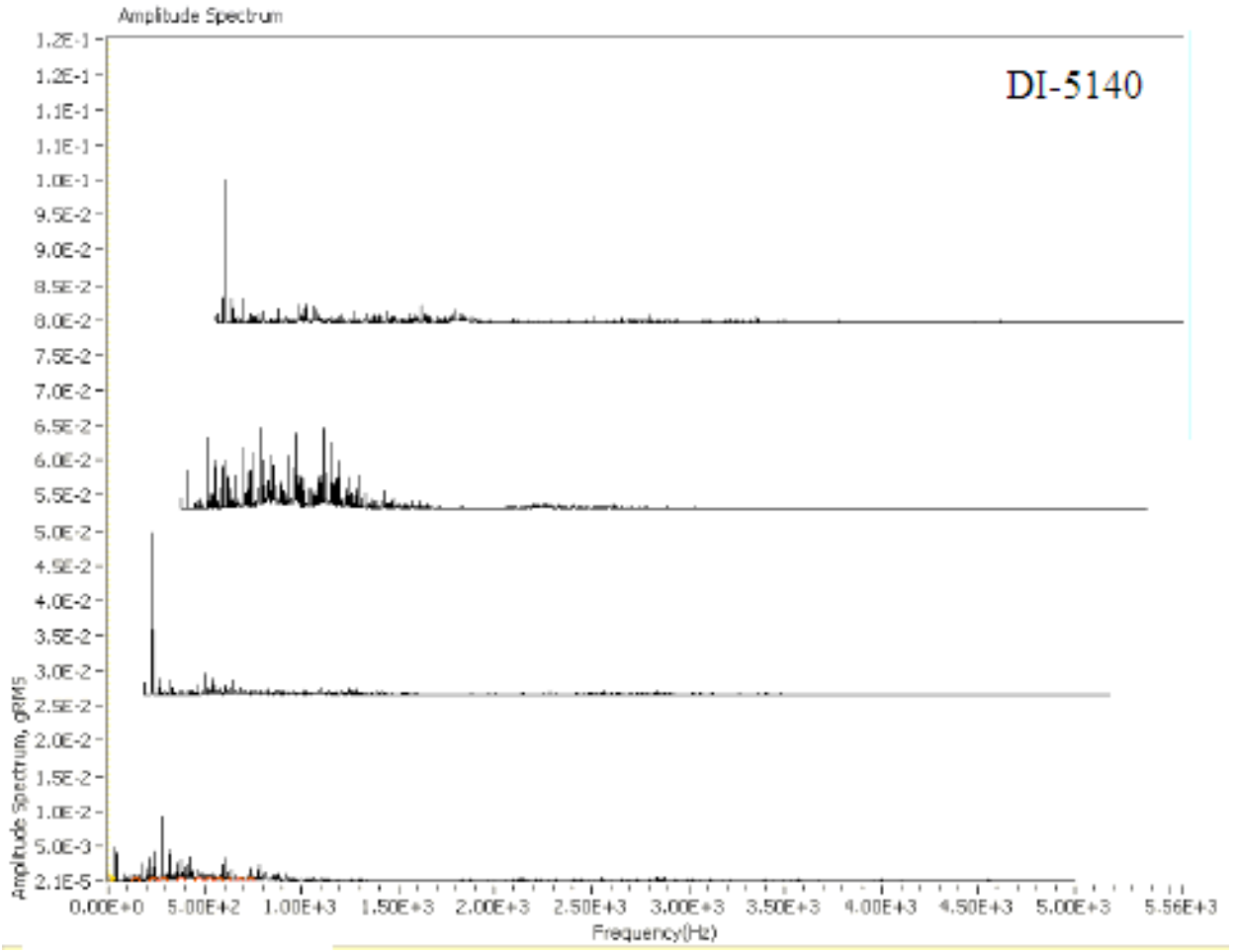
Şekil 5.44. Haddelenmiş 5140 mili için spektrum titreşim grafiği (40 Hz).



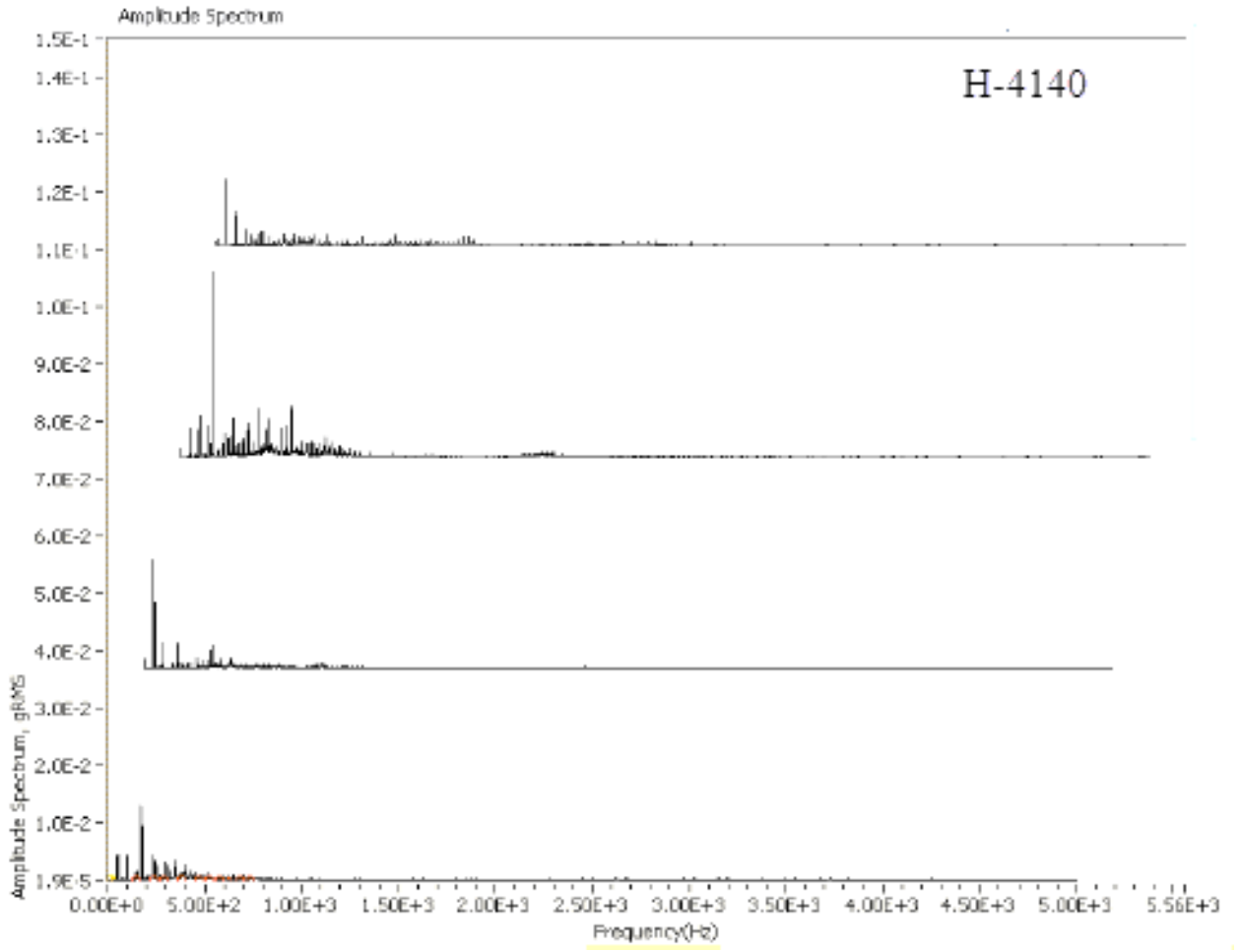
Şekil 5.45. Islahlı 5140 mili için spektrum titreşim grafiği (40 Hz).



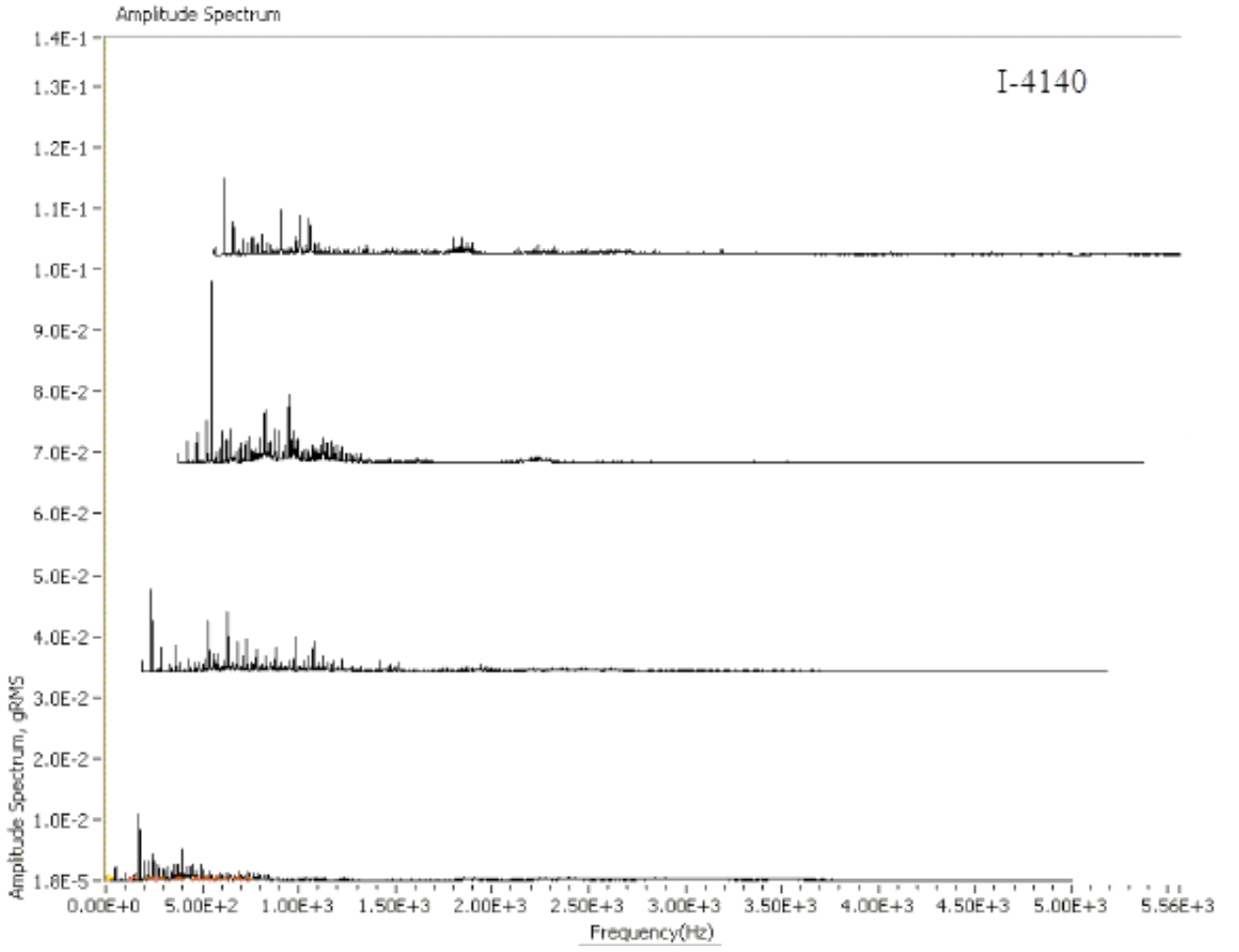
Şekil 5.46. Dövme 5140 mili için spektrum titreşim grafiği (40 Hz).



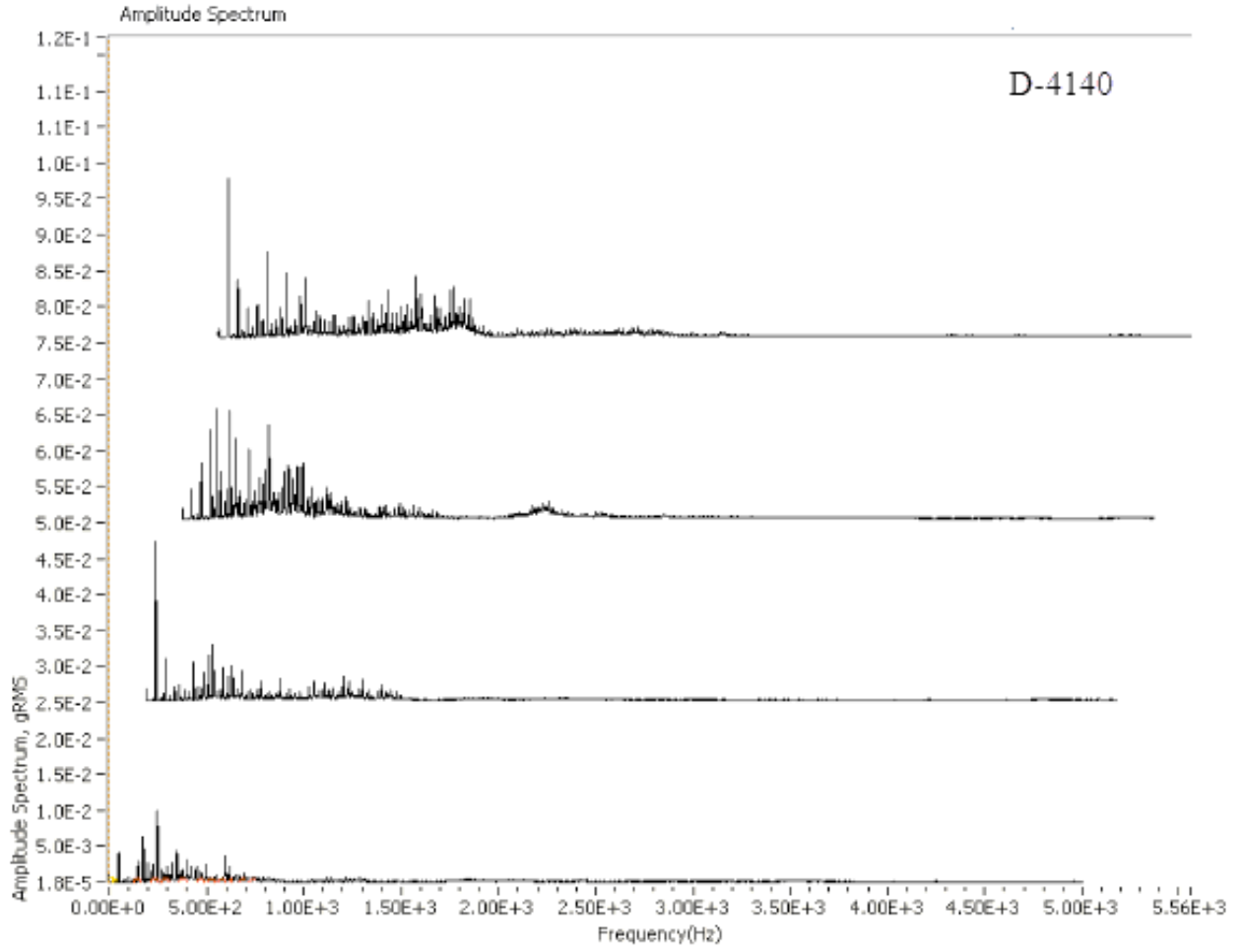
Şekil 5.47. Islahlı dövme 5140 mili için spektrum titreşim grafiği (40 Hz).



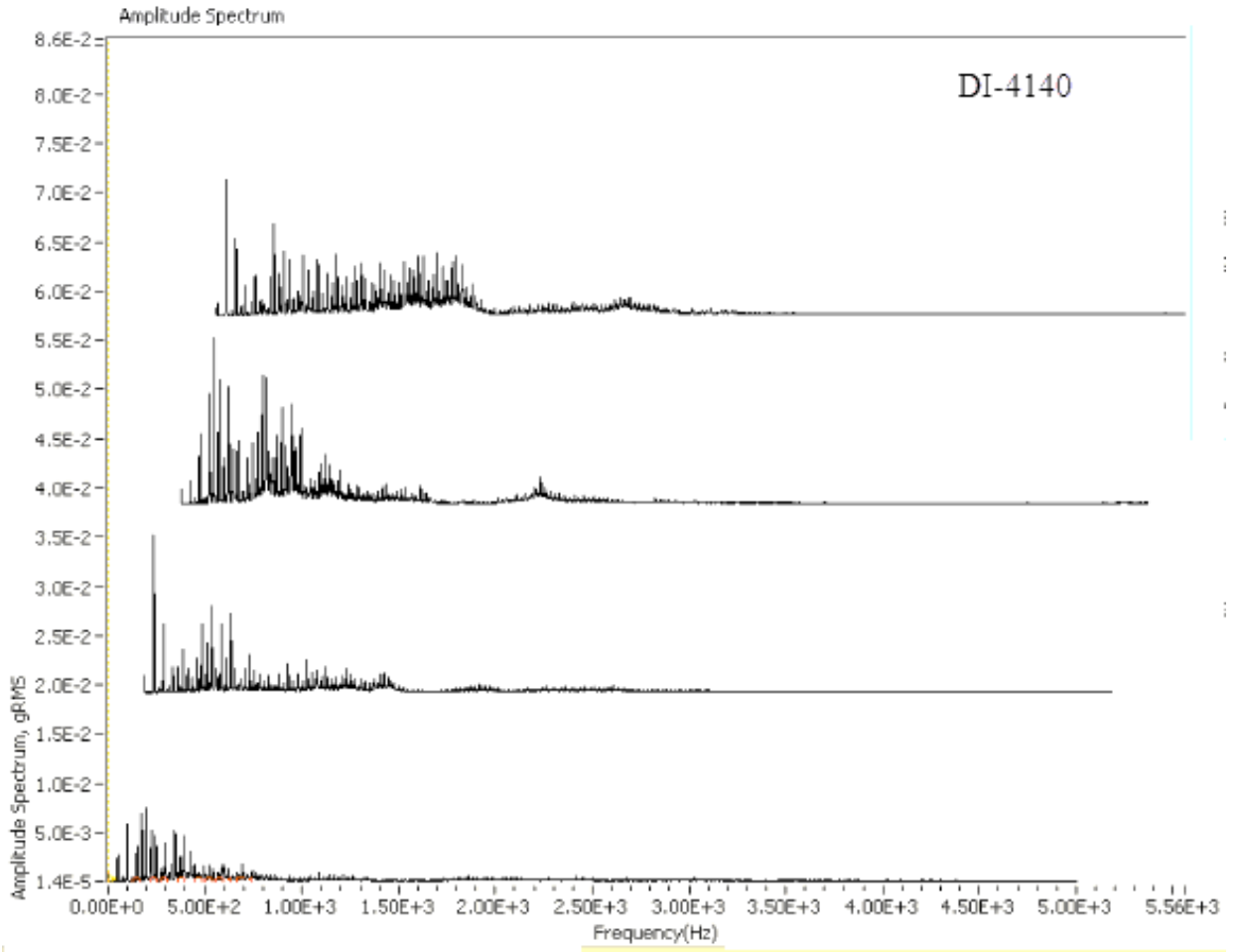
Şekil 5.48. Haddelenmiş 4140 mili için spektrum titreşim grafiği (50 Hz).



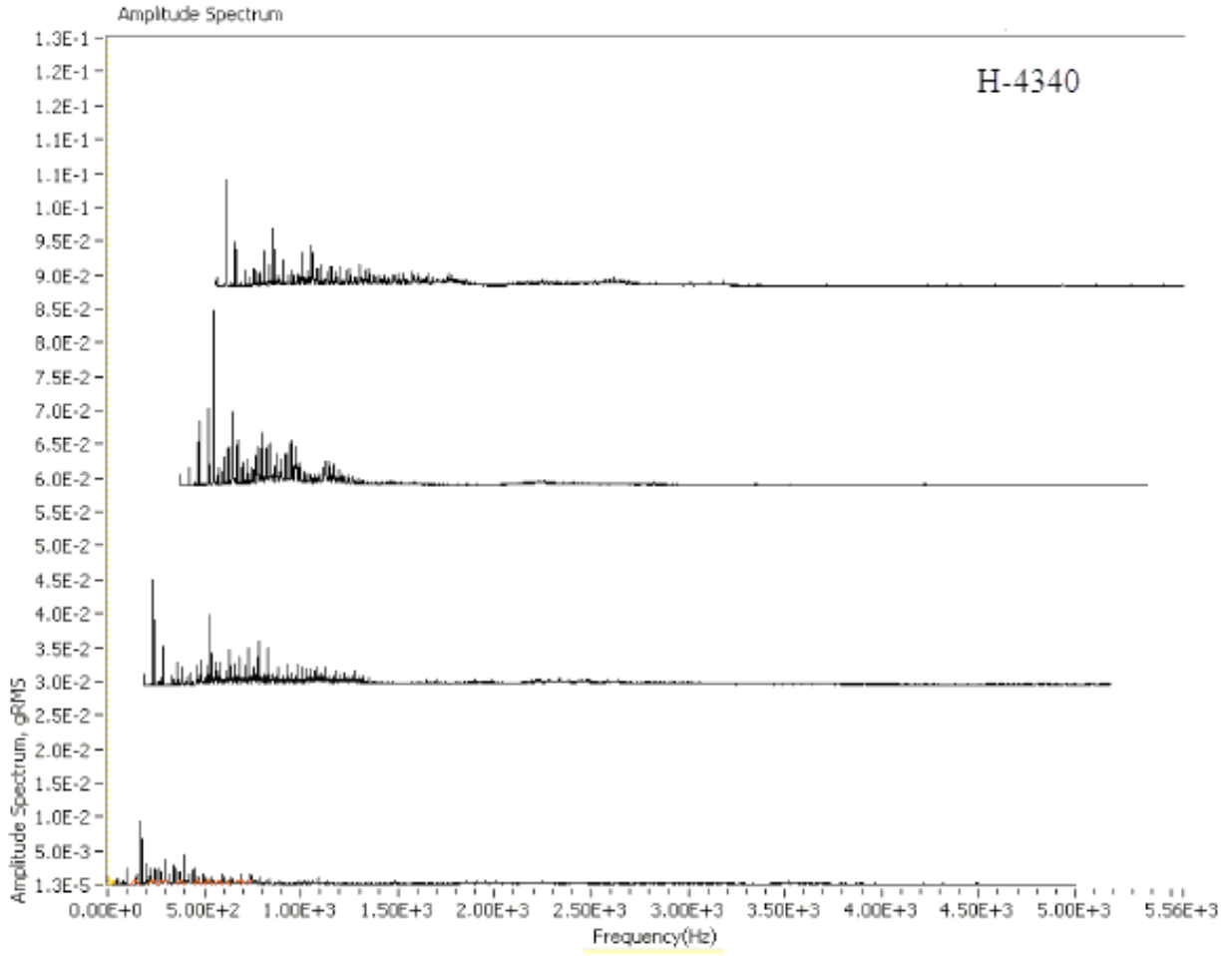
Şekil 5.49. Islahlı 4140 mili için spektrum titreşim grafiği (50 Hz).



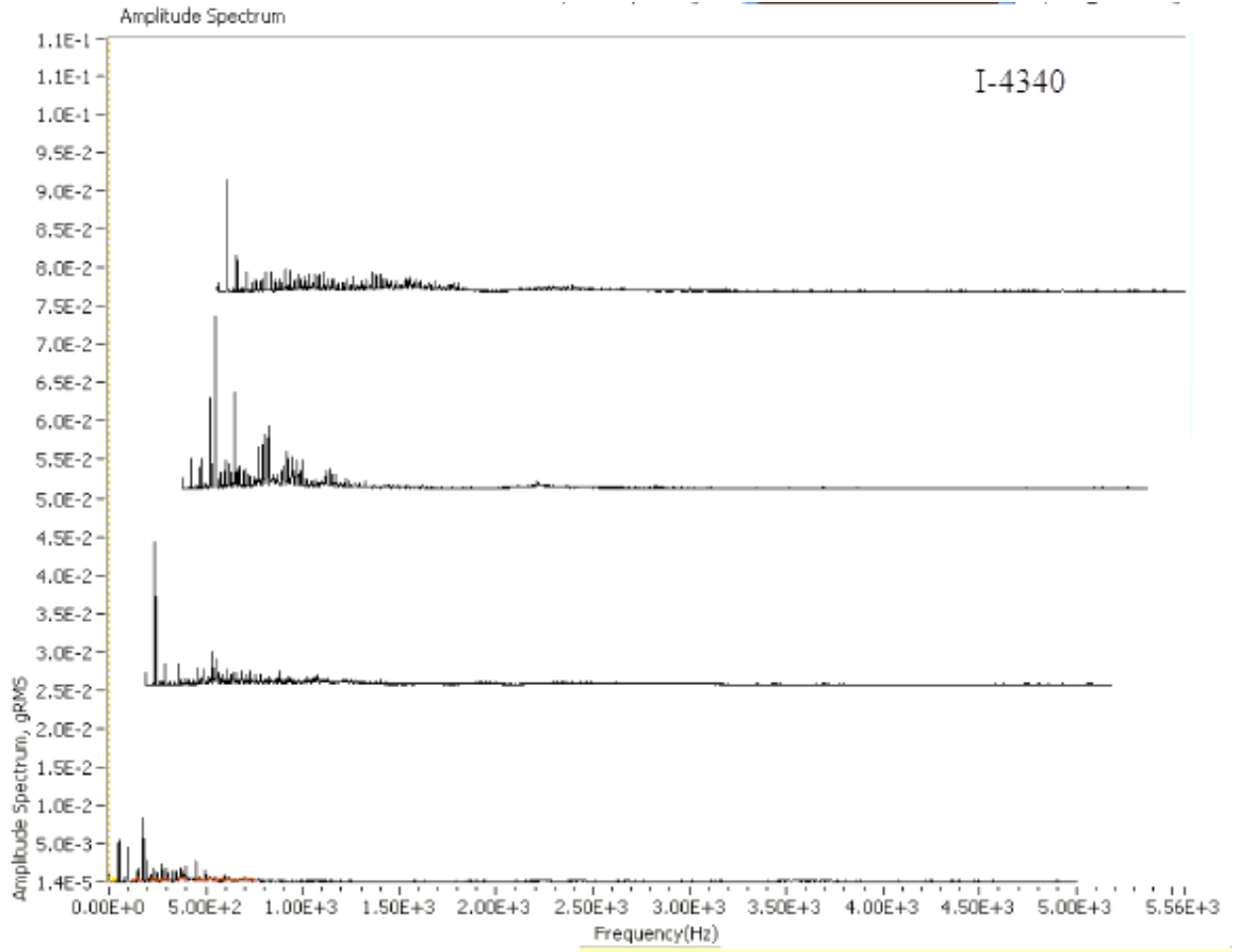
Şekil 5.50. Dövme 4140 mili için spektrum titreşim grafiği (50 Hz).



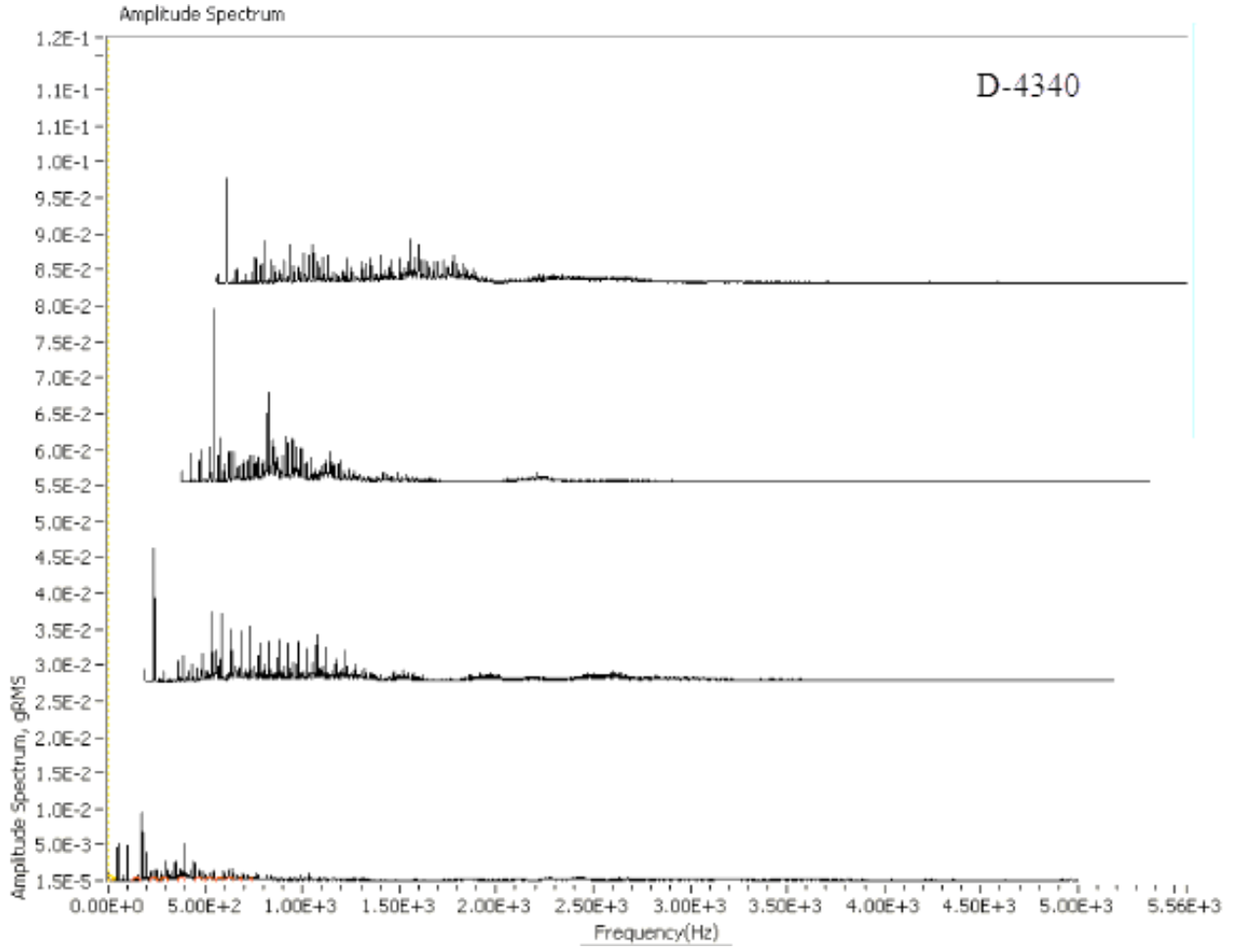
Şekil 5.51. Islahlı dövme 4140 mili için spektrum titreşim grafiği (50 Hz).



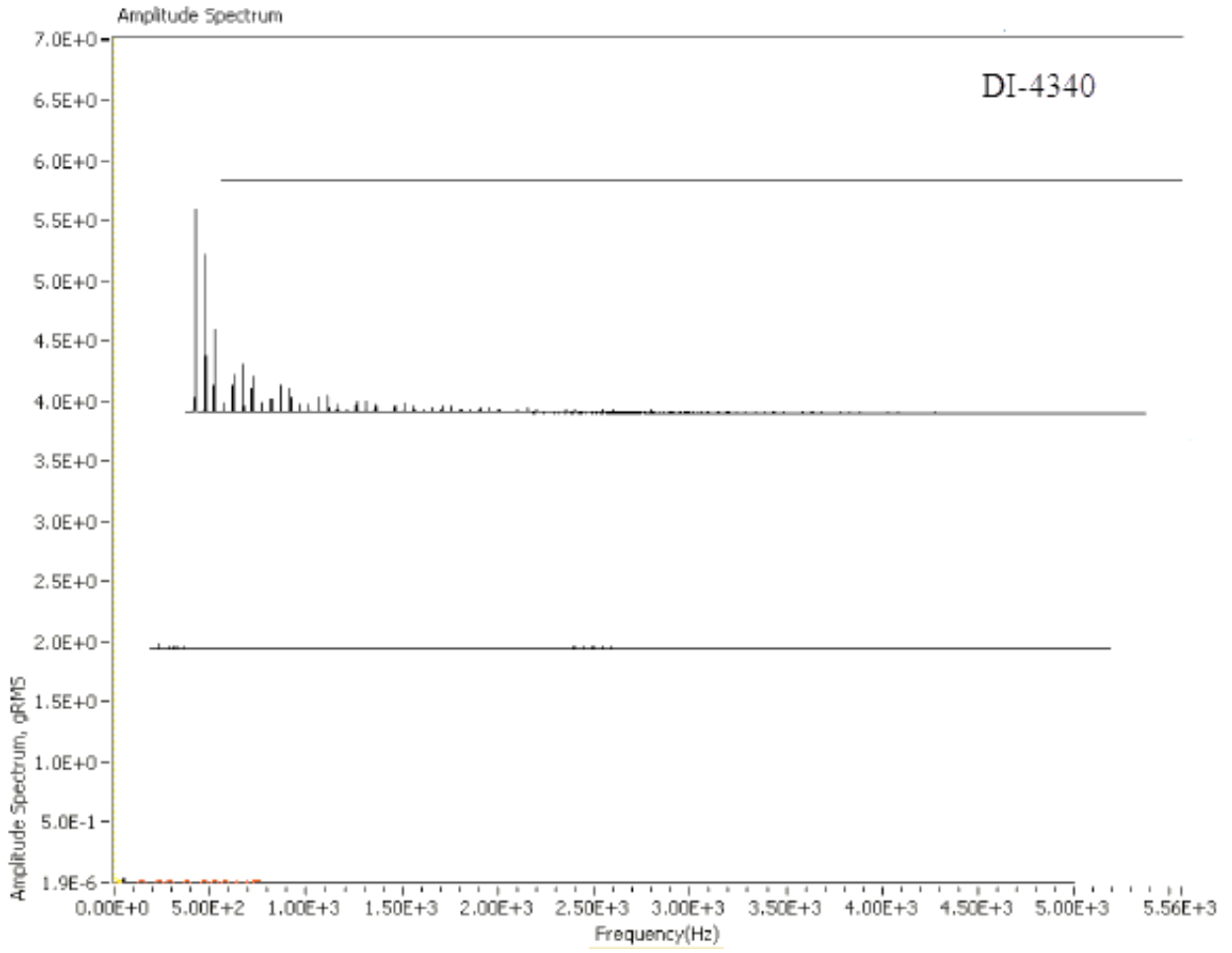
Şekil 5.52. Haddelenmiş 4340 mili için spektrum titreşim grafiği (50 Hz).



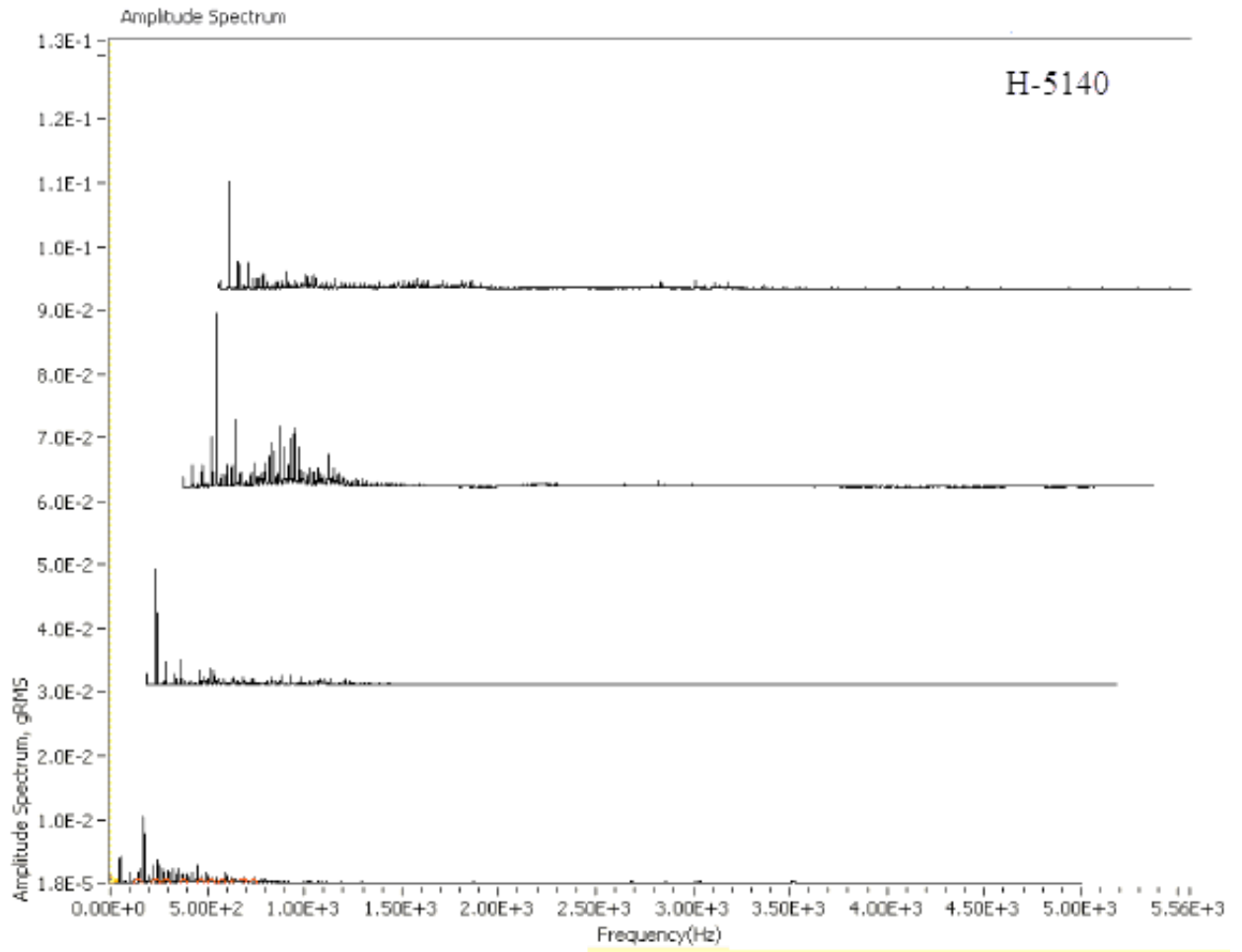
Şekil 5.53. Islahlı 4340 mili için spektrum titreşim grafiği (50 Hz).



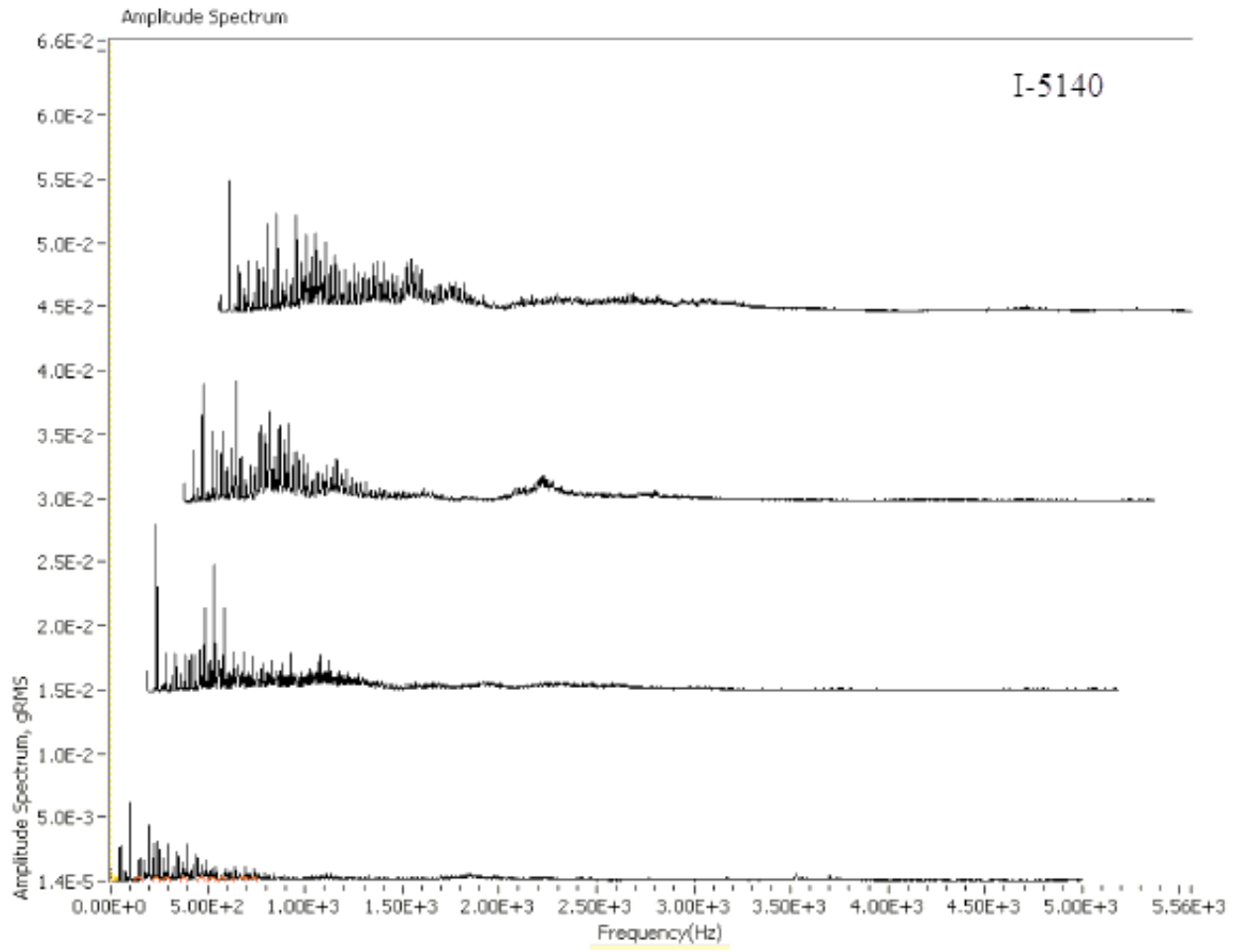
Şekil 5.54. Dövme 4340 mili için spektrum titreşim grafiği (50 Hz).



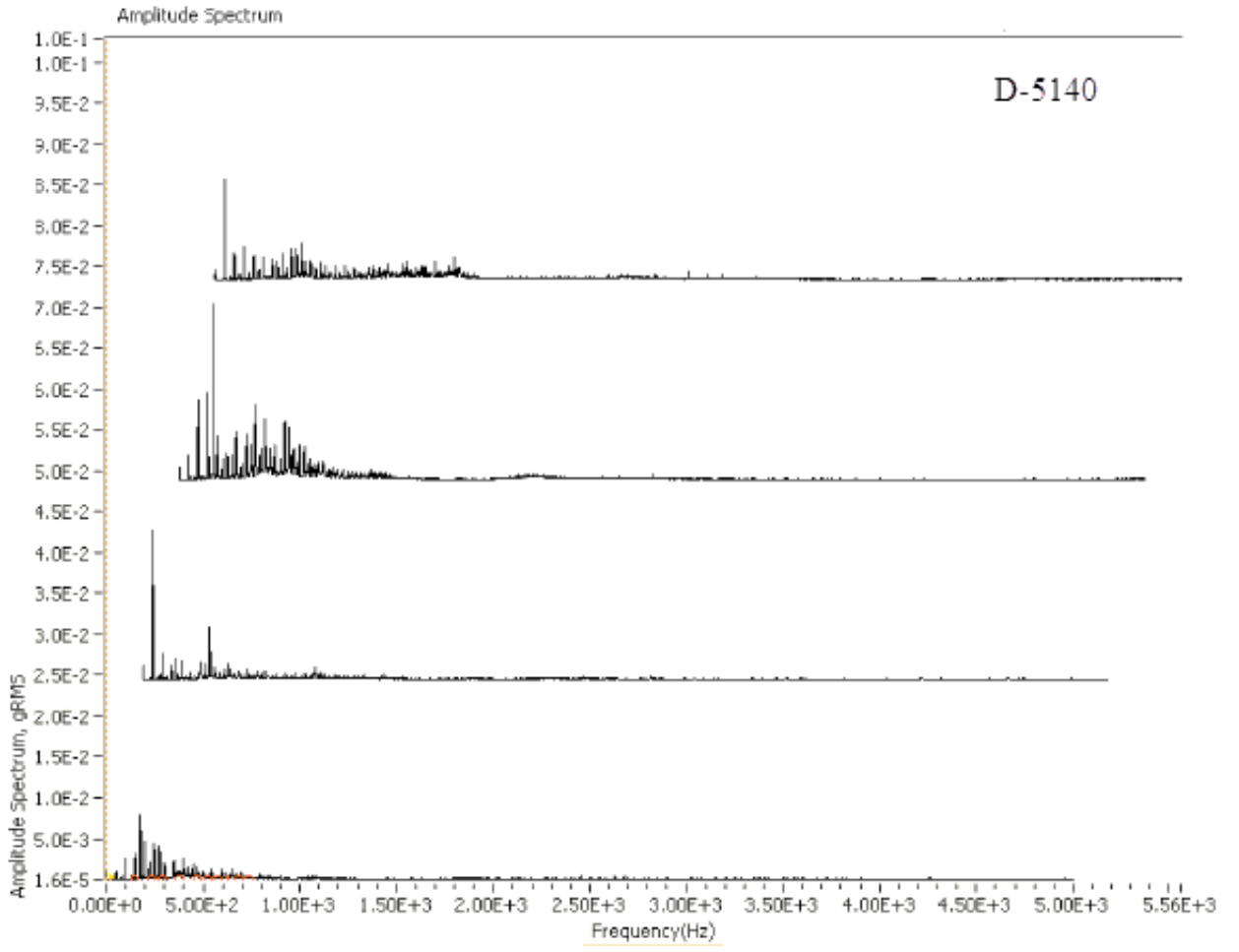
Şekil 5.55. Islahlı dövme 4340 mili için spektrum titreşim grafiği (50 Hz).



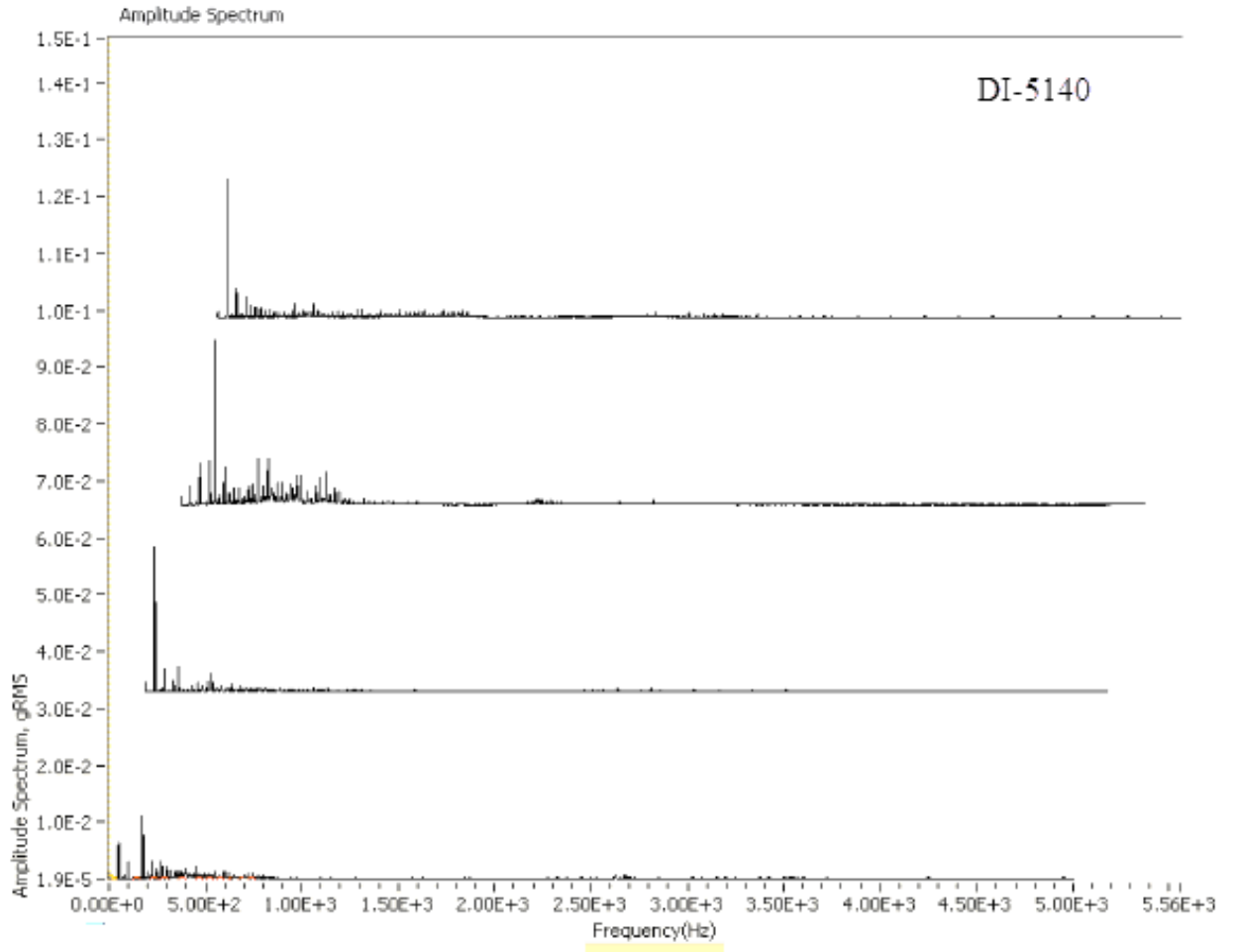
Şekil 5.56. Haddelenmiş 5140 mili için spektrum titreşim grafiği (50 Hz).



Şekil 5.57. Islahlı 5140 mili için spektrum titreşim grafiği (50 Hz).



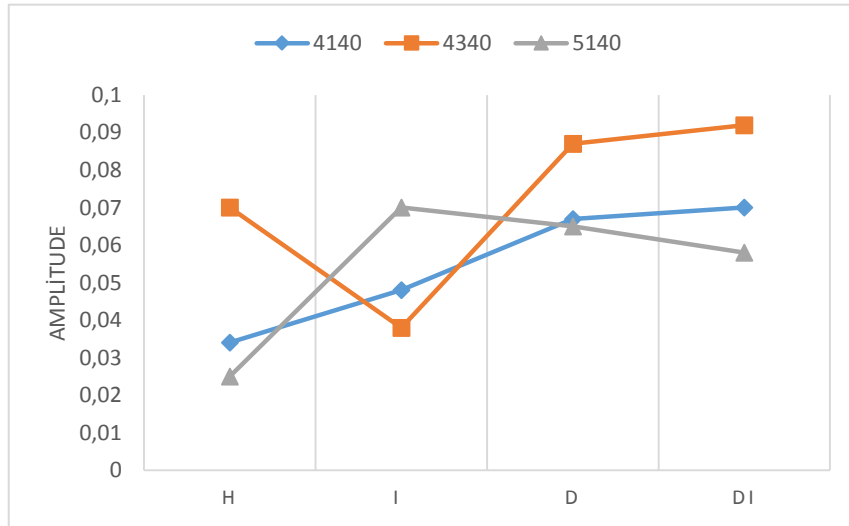
Şekil 5.58. Dövme 5140 mili için spektrum titreşim grafiği (50 Hz).



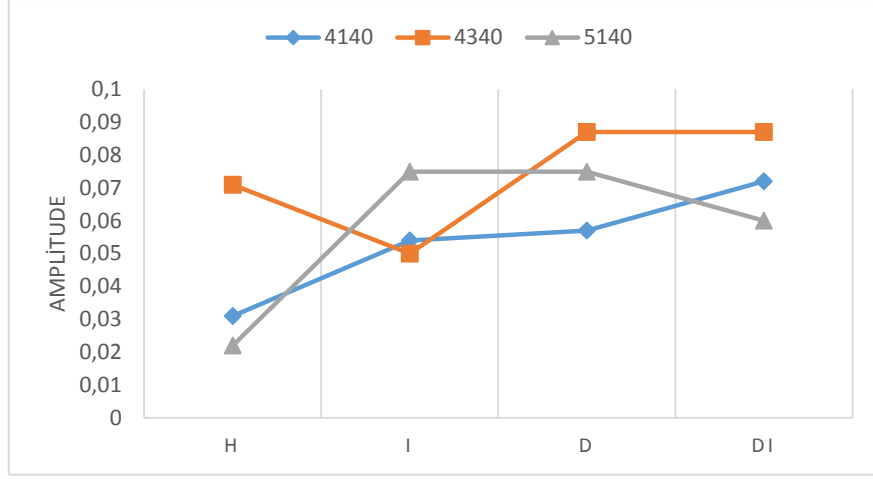
Şekil 5.59. Islahlı dövme 5140 mili için spektrum titreşim grafiği (50 Hz).

Çizelge 5.1. Bode eğrileri için hız - amplitude (genlik) değerleri (40 Hz).

| | Ch1 | | Ch2 | |
|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|
| | Devir (rpm) | Genlik (mil) | Devir (rpm) | Genlik (mil) |
| 4140 | | | | |
| Hadde | 2105,98 | 0,033584 | 2347,93 | 0,030865 |
| Islah | 2295,45 | 0,047725 | 2510,95 | 0,053077 |
| Dövme | 2637,96 | 0,066251 | 1048,63 | 0,056664 |
| Islah+ Dövme | 2363,09 | 0,069329 | 2577,99 | 0,071865 |
| 4340 | | | | |
| Hadde | 2019,53 | 0,069266 | 999,65 | 0,070126 |
| Islah | 2966,94 | 0,037158 | 793,92 | 0,049458 |
| Dövme | 2631,10 | 0,086453 | 617,42 | 0,086051 |
| Islah+ Dövme | 2961,34 | 0,091746 | 661,33 | 0,086752 |
| 5140 | | | | |
| Hadde | 2935,27 | 0,025960 | 2339,72 | 0,021737 |
| Islah | 2117,84 | 0,070150 | 2620,02 | 0,074200 |
| Dövme | 2946,70 | 0,064955 | | |
| Islah+ Dövme | 2137,39 | 0,057173 | 2332,81 | 0,059121 |



Şekil 5.60. Ch1 için millerin genlik değerleri (40 Hz).



Şekil 5.61. Ch2 için millerin genlik değerleri (40 Hz).

Çizelge 5.1’de bode eğrileri grafikleri sayısal verileri çizelge olarak verilmiştir. Ayrıca Şekil 5.60 ve Şekil 5.61’de Ch1 ve Ch2 grafiksel gösterimleri deplasman ölçer yardımıyla bütün testler için düşey ve yatay doğrultuda maksimum titreşim genlik değerleri verilmiştir. Şekilde haddelenmiş AISI 5140 çeliği malzemeden milin dövülmüş, ıslah edilmiş ve dövülmüş ve ıslah edilmiş durumundan ayrıca AISI 4140 ve AISI 4340 çeliklerinin işlem görmüş tüm durumlarından daha düşük titreşim genliği değerine sahip olduğu görülmektedir. Spektrum titreşim grafikleri için en kritik verilerin toplandığı mil dönme hızı 40 Hz olduğu için kıyaslama referansı olarak alınmıştır. Bir grafikte dört kanal alttan sırasıyla Ch1, Ch2, Ch3 ve Ch4 olmak üzere mil çalışma hızı 40 Hz için toplanan titreşim verileri incelendiğinde Şekil 5.46’daki haddelenmiş AISI 5140 çeliği milde oluşan titreşim diğer dövülmüş, ıslah edilmiş ve dövülmüş ve ıslah edilmiş durumundan ayrıca diğer AISI 4140 ve AISI 4340 çeliği millerin işlem görmüş bütün durumlarından belirgin bir şekilde daha kararlı olduğu görülmektedir

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. SONUÇLAR

Dönen makine sistemlerinde yaygın olarak kullanılan ve makinelerin en önemli elemanlarından biri olan millerin dinamik davranışı hayati bir öneme sahiptir. Millerin dinamik davranışlarını ve durumunu izlemek için kullanılan en etkili yöntemlerden biri titreşim analizidir. Millerin imalatında kullanılan malzeme seçimleri ve bu malzemeye uygulanan ısıl işlemler millerin davranışı açısından büyük önem taşır.

Bu çalışmada mil malzemesi olarak; ısıl işlem sonrasında kazandıkları mekanik özelliklerinden dolayı endüstride krank mili, aks mili, yivli mil, demir yol milleri gibi sünegliği yüksek parçaların imalatında olmak üzere geniş bir kullanım alanına sahip AISI 4140, AISI 4340 ve AISI 5140 çelikleri seçilmiştir. Millerin mekanik özelliklerini iyileştirmeler için millere hadde, hadde ve dövme, hadde ve ıslah ve hadde, dövme ve ıslah işlemi uygulanmıştır.

Deney sonuçlarından haddelenmiş AISI 5140 çelik malzemedeki milin değer millere göre titreşim genliği daha düşük değerde olduğu ve daha az salınım yaptığı görülmüştür. Bunun nedeninin AISI 5140 malzemesinin sönümleme katılığının etkisi olduğu tahmin edilmektedir.

Genel olarak bütün işlemler göz önüne alındığında AISI 5140 milindeki titreşimlerin AISI 4140 ve AISI 4340 millerindeki titreşimlere göre belirgin şekilde daha az değişken olduğu gözlemlenmiştir.

VibraQuest *TM* yazılım sistemi aracılığı ile farklı bilgi sunan titreşim grafiklerinden (Bode, spektrum) elde edilen veriler birbirini doğrular nitelikte olduğu görülmüştür.

6.2. ÖNERİLER

Bu çalışmanın sonuçlarına göre; hadde, ıslah ve dövme işlemi uygulanmış AISI 4140, AISI 4340 ve AISI 5140 çeliğinden imal edilen millerin dinamik davranışlarına ve çalışma kararlıklarına olumlu etkiler yaptığını göstermiştir. Bu alanda çalışma yapmak

isteyen araştırmacılara yapılan öneriler aşağıda verilmiştir.

- Yapılacak çalışmalarda hadde işlemi sonrası kriyojenik işlem uygulanmış miller için deneyler yapılabilir ve sonuçlar karşılaştırılabilir.
- AISI 4140, AISI 4340 ve AISI 5140 çeliğinden imal edilen millerin yüzey sertleştirme yöntemleri (indüksiyon, alevle yüzey sertleştirme, sementasyon vb.) ile sadece yüzeylerine işlem yapılarak hadde, ışlah ve dövme ile karşılaştırma yapılabilir.
- Yüksek mil çalışma hızlarında ve farklı yükleme şartlarında deneyler yapılabilir.
- Yuvarlanmalı yataklarla desteklenmiş AISI 4140, AISI 4340 ve AISI 4340 çeliğinden imal edilen millerin dinamik davranışları karşılaştırılmış olup, bundan sonra yapılacak çalışmalarda kaymalı yataklarda çalışma kararlılıkları incelenebilir.
- Makine ve otomotiv sektöründe AISI 4140, AISI 4340 ve AISI 5140 eliğinin yanı sıra farklı kimyasal bileşime sahip AISI 1040, AISI 1060, AISI 4150 ve AISI 6150 vb. gibi ışlah çeliği olan aynı gruptaki farklı malzemelerden imal edilen millere uygulanan hadde, ışlah ve dövme işlemlerinin dinamik davranışlara ve çalışma kararlılıklarına etkileri incelenebilir

7. KAYNAKLAR

- [1] M. Kam ve H. Saruhan, “ Isıl işlem görmüş millerin dinamik davranışlarının deneysel analizi,” *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, c. 5 s. 1 ss. 2147-3455.
- [2] Hascelik Teknik Katalog, (2016, 12 Ağustos) [Online].
Erişim: <http://www.hascelik.com.tr>.
- [3] C. Şenocak, (2016, 12 Ağustos) [Online]. Erişim: <http://www.cemilsenocak.com>.
- [4] S. Kılınç ve H. Saruhan, “Kaymalı ve yuvarlanmalı yataklarda mil kritik hız analizi,” *6. Bakım Teknolojileri Kongresi ve Sergisi*, 2013, ss. 209-218.
- [5] M. Kam, H. Saruhan and F. Kara, “Dynamic behavior analysis of rotor supported by damped rolling element bearing housing,” *Gazi Üniversitesi Politeknik Dergisi*, 2017.
- [6] M. Kam, H. Saruhan and U. Kabasakaloglu, “Experimental investigation of vibration generated from the cryogenic treated and induction surface hardened rotating shafts,” *3th International Symposium on Railway Systems Engineering (ISERSE'16)*, Karabük, Türkiye, 2016, pp. 140-146.
- [7] M.Kam, H. Saruhan ve T. Guney, “ Kriyojenik işlem ve dövme işlemi uygulanmış millerin deneysel titreşim analizi ” *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi* c. 5 No. 1 pp. 2147-3455.
- [8] M. Kam, “ Kriyojenik işlem görmüş millerin dinamik davranışlarının deneysel analizi” Doktora tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, 2016.
- [9] M. Arias-Montiel, G. Silva-Navarro and A. Antonio-Garcia, “Active vibration control in a rotor system by an active suspension with linear actuators,” *Journal of applied research and technology*, vol. 12, no. 5, pp. 898-907, 2014.
- [10]A. D. Nembhard, J. K. Sinha and A. Yunusa-Kaltungo, “Experimental observations in the shaft orbits of relatively flexible machines with different rotor related faults,” *Measurement*, vol. 75, pp. 320-337, 2015.
- [11]H. Taplak ve İ. Uzman, “Titreşim parametrelerinin dönen mekanik sistem dinamiğine etkilerinin araştırılması,” *Teknoloji Dergisi*, c. 7 s. 3, 2004.
- [12]R. K. Köse, “ Makina arızalarının belirlenmesinde titreşim analizi,” *Mühendis ve Makina Dergisi*, ss. 45-538.
- [13]Hakan Arslan, “Bilyalı rulman yuvarlanma elemanı kusurunun titreşim analizi yöntemiyle incelenmesi,” *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 13 s. 2, 2007.
- [14]A. Gunduz, J. T. Dreyer and R. Singh, “Effect of bearing preloads on the modal characteristics of a shaft-bearing assembly: Experiments on double row angular contact ball bearings,” *Mechanical Systems and Signal Processing*, vol. 31, pp. 176-195, 2012.

- [15]E. Öztürk ve H. Karabulut, “Tek silindirli bir dizel motorunun dinamik ve titreşim analizleri,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 27, s. 3, 2012.
- [16]V. Uysal ve Ö. K. Morgül, “Dönen makinelerdeki dengesizlik (balanssızlık) arızasının titreşim analizi ve faz açısı yardımıyla teşhisi,” *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 19, s. 3, ss. 245-256, 2015.
- [17]G. Höke, İ. Sahin, H. Çinici ve T. Fındık, “Kriyojenik işlemin SAE 4140 çeliğin mekanik özelliklere etkisi,” *Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Teknik-Online Dergi*, c. 13 s. 2, 2014.
- [18]M. Demirezen, M. Bayrak ve F. Öztürk, “DIN 41Cr4 ve DIN 42CrMo4 çeliklerde ısıtıl işlemin mekanik özelliklere etkisi araştırılması,” *Teknoloji Dergisi*, c. 9 s. 2, 2006.
- [19]Y. Adalı ve C. Kurnaz, “5140 çeliğinin küreselleştirme ısıtıl işleminin mekanik özelliklerinin incelenmesi,” *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 7 s. 1, 2013.
- [20]E. Yiğitarıslan, “Sıcak dövme işleminde karşılaşılan hatalar, önlenmesi ve maliyete etkisi,” Yüksek lisans tezi, Metal Eğitimi Bölümü, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2009.
- [21]B. Civelekoğlu, “Üç farklı alaşımlı çelik için dövme analizi,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2003.
- [22]G. Çakır ve E. Nas, “Orta karbonlu AISI 1040 imalat çeliğine uygulanan sıcak dövme işleminin malzemenin mekanik özelliklerine etkisi,” *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, c. 5 s.1 pp. 2147-3455, 2015.
- [23]A.Şahin, (2016, 12 Ağustos) [Online]. Erişim: <http://www.malzembilimi.net>.
- [24]M. Kayabaşı, “SAE 8620 Sementasyon çeliklerinde sertlik derinliğinin abrasif aşınma davranışına etkisinin incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak, Türkiye, 2011.
- [25]M. M. Özcan, “Mikroalaşımlı ve sementasyon çeliklerinin yorulma davranışlarının incelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Metalurji Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2005.
- [26]-A. Ulusoy, “Orta karbonlu ve otomat çeliklerinde kesme hızının işlenebilirlik üzerine etkisi,” Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi Bölümü, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, Türkiye, 2008.
- [27]M. S. Gök, “Düşük ve orta karbonlu çeliklerin yüzeyine tig kaynak metoduyla kaplanan ostenitik paslanmaz çelik tozunun aşınma direncine karbür içeriğinin etkisinin araştırılması,” Doktora tezi, Metalurji Eğitimi Bölümü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2008.
- [28]Ö. Tekaslan, N. Gerger ve U. Şeker “AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerde kesme parametrelerine bağlı olarak yüzey pürüzlülüklerinin araştırılması,” *BAU FBE Dergisi*, c. 10 s. 2, 2008.

- [29]Y. Arslan,“ Kriyojenik işlemin AISI D3 soğuk iş takım çeliğinin performansına etkilerinin incelenmesi,” Doktora tezi, Makine Eğitimi Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2014.
- [30]İrfan Ay, *Hadde Yoluyla İmalat Ders Notları*, Balıkesir, 2018.
- [31](2017, 4 Temmuz) [Online]. Erişim: <http://www.sutav.com/tr>.
- [32](2017, 4 Temmuz) [Online]. Erişim: <http://www.teknikisilislem.com.tr>.
- [33]E.S. Kayalı, C.Ensari, *Metallere plastik Şekil Verme İlke ve Uygulamaları*, İTÜ Kimya Metalurji Fakültesi Ofset Baskı Atölyesi, İstanbul, Türkiye, 1986.
- [34]İrfan Ay, *Dövme(Forging) Ders Notları*, Balıkesir, 2016.
- [35]S. Orhan,“ Dönen makinelerde oluşan arızalar ve titreşim ilişkisi” *Teknoloji Dergisi*, s. 3-4, ss. 41-48, 2003.
- [36]A. İ. Engür, “Titreşim analizi ile kestirimci bakım,” *Mühendis ve Makina* pp.48-570
- [37]S. Orhan, H. Arslan ve N. Aktürk, “Titreşim analiziyle rulman arızalarının belirlenmesi,” *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Dergisi*, c. 18 s. 2, 2013.
- [38]*TMMOB Fizik Mühendisleri Odası Titreşim Ders Notları*, Ankara, 2016.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı, Soyadı : Tolga GÜNEY
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 04.04.1990- SAKARYA
Telefon : 05068745540
E-posta : tolgaguney.makine@gmail.com

Eğitim

| Derece | Alan | Okul/Üniversite | Mezuniyet Yılı |
|---------------|-------------------------------|-----------------------------------|----------------|
| Yüksek Lisans | Makine Mühendisliği | Düzce Üniversitesi | 2018 |
| Lisans | Makine ve İmalat Mühendisliği | Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi | 2015 |
| Önlisans | Makine Programı | Düzce Üniversitesi | 2010 |
| Lise | Fen Bilimleri | Mithatpaşa Şükrü Ayna Lisesi | 2007 |

İş Deneyimi

| Yıl | Yer | Görev |
|------------|--------------------------------|-------------------|
| 2017-Halen | Yektamak Makina ve Mühendislik | İmalat Yöneticisi |
| 2014-2016 | Gerd Wolff Makina | Proje Mühendisi |