

## **Soğuk Dövme Yöntemi İle Üretilen Bağlantı Elemanındaki Kılcal Kafa – Kılcal Vida Dış Yüzey Çatlaklarının Girdap Akımları Metodu İle Analizi**

*Alper Baygut<sup>a</sup>, Hülya Durmuş<sup>b\*</sup>*

<sup>a</sup> *BOLT Ar-Ge (BOLT Bağlantı Elemanları San. Tic.A.Ş), Bursa, Türkiye*

<sup>b</sup> *Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye*

### **Öz**

Bu çalışmada, soğuk dövme yöntemi kullanılarak üretilmiş olan bağlantı elemanına ait kılcal çatlakların Girdap akımları sistemi ile analiz edilerek, verilerin mikroyapı sonuçları ile karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir. Soğuk Dövme yöntemi, malzemeyi plastik deforme ederek istenilen şekli verme işlemidir. Bu yöntem ile üretilen bağlantı elemanlarında seri üretim öncesi ön kontrol yapılmadığı takdirde hammadde kaynaklı, soğuk deformasyon kaynaklı, süreç ve işlem tasarımı kaynaklı iç - dış yüzeylerde çatlak oluşumu kaçınılmazdır. Mamul kafa ve vida dişlerinde olabilecek çatlakların varlığı, tahribatsız muayene yöntemlerinden biri olan Girdap akımları yöntemi ile araştırılmıştır. Yapılan Girdap akımları tahribatsız muayene deneylerinde mamül şekli ve dış şekline göre uygun olan özel proplar kullanılmış, bu proplardan gelen sinyaller değerlendirilmiştir. Çatlak sinyali veren parçaların mikroyapı ve göz ile incelemesi neticesinde; parçaların, gelen uyarı sinyallerine uygun olarak yapılarında çatlak olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Soğuk Dövme, Girdap akımları, Yüzey Çatlakları, Dış Çatlakları

## **Eddy Current Method Analysis Of Head Cracks – Surface Cracks On Screw Thread Of Fasteners Produced By Cold Forming Process**

### **Abstract**

In this study, the microcrack formation of the fasteners are produced by cold forging process were analyzed by Eddy Current Method and the results of the analysis compared with the microstructure datas. Cold Forming Method is a process of shaping by the plastic deformation. If there is no precursory check before the mass production of the fasteners which are produced by cold forming method, crack formation is inevitable on the inner and outer surfaces of thread by reason of raw material, cold deformation, process design. The existence of cracks on the product's head and the finished product's threads have been investigated with the Eddy Current Method which is one of the non-destructive testing methods. In the experiments performed, the special probes that suitable for the thread form have been used and evaluated signal of this probes. In the result of microstructure and visual control of the parts which give crack signal; the parts were found to be cracked in accordance with the incoming warning signals.

**Keywords:** Cold Forming, Eddy Current, Surface Cracks, Thread Cracks

### **Giriş**

Girdap Akımı testinin kökenleri

\* Sorumlu Yazar: ORCID ID: [orcid.org/0000-0002-7270-562X](https://orcid.org/0000-0002-7270-562X)  
e-mail: [hulya.durmus@cbu.edu.tr](mailto:hulya.durmus@cbu.edu.tr)

**Received:** 22.11.2018  
**Accepted:** 17.01.2019

Michael Faraday 'ın elektromanyetik indüksiyonu keşfiyle başlamıştır. Faraday, 1800 'lerin başında İngiltere 'de elektromanyetik indüksiyon, elektromanyetik rotasyonlar, manyeto-optik etki, diamanyetizma ve diğer fenomenlerin keşfiyle anılmaktadır. 1879 'da Bilim adamı Hughes ise farklı iletkenlik ve geçirgenlikteki metallerle temas ettiğinde bir bobinin özelliklerinde değişiklikler olduğunu gözlemlemiştir. Bununla birlikte, İkinci Dünya Savaşı 'na kadar, bu etkilerin test materyalleri için pratik kullanıma sokulduğu görülmemiştir. 1950 ve sonrasında, özellikle uçak ve nükleer endüstrilerinde çalışmalar yapılmıştır [1].

Girdap Akımları, Faraday 'ın indüksiyon yasasına göre, iletkenler içinde zamanla değişen bir manyetik alan tarafından indüklenen elektriksel akımlar şeklinde dolaşımıdır. Kusurlar ana malzemedan başka elektriksel iletkenliğe ve manyetik özelliklere sahiplerdir [2]. Lenz yasasına göre girdap akımları, orijinal manyetik alanın kaynağını onları yaratan değişime karşı çıkan bir manyetik alan üreterek geri beslemektedir. Bu indüksiyon yapısı birçok uygulamada kullanılabilimektedir. Girdap akımları, enerjiyi dağıtmak ve dönen şaftları yavaşlatmak veya durdurmak için frenlerde

kullanılmaktadır. Isı kaynağı olarak da kullanılabilirler. Girdap akımlarının ayrıca transformatörlerde ve elektrik motorlarında enerji kaybının ana nedeni olduğu bilinmektedir. Girdap akımlarının bu dirençli karakterinin yanı sıra, özel propların entegre edildiği uygun test aletleri vasıtasıyla metal parçalardaki çatlak ve kusurları tahribatsız muayenede test yöntemi olarak tespit etmek için kullanılabilimektedirler [3].

Sanayi gelişmelerinde “Tahribatsız Muayene Teknikleri” son derece önem arz etmeye başlamış ve özel yerlerde kullanılan sistemler için kısa periyotlarda muayene yapma olanağı sağlanmıştır. Bu teknikler içinde Girdap Akımı testi yaygın olarak kullanılan ve iyi anlaşılmiş bir muayene tekniğidir.

Bu çalışma içeriğine benzer şekilde Girdap akımı kullanılarak; Gonzáleza ve arkadaşları [4], motor pistonlarında kullanılan bağlantı elemanlarını incelemiştir. Üretilmiş bağlantı elemanı kullanım öncesi uygunluğu Girdap Akımı ile kontrol edilmiş ve motor hasarı sonrası kırılmanın nedenleri araştırılmıştır.

Egorov ve arkadaşları [5] çalışmalarında, Alüminyum alaşımlarının çatlak kontrol yöntemi olarak çok frekanslı Girdap Akım yöntemi ile incelenebileceği sonucuna varmışlardır.

Angelo ve arkadaşları [6], uygun akım şiddeti kullanılarak paslanmaz çelik ile üretilen eşanjörlerin Girdap Akımı ile kontrol edilebileceği üzerine araştırma yapmışlardır.

Kai ve arkadaşları [7], Çatlak genişliğinin girdap akımları sinyali üzerine etkisi ile ilgili yaptığı çalışmada, genişliğin frekansı etkilediği bunun için ise ilgili yüzeye uygun prop değişikliğine gidilmesi gerektiği sonucuna varmışlardır.

Grieb ve arkadaşları [8], yaptığı dökme alüminyum ile ilgili çalışmasında, ürün çatlak kontrolü için Girdap akımları kullanmış ve çıkan sonuçların beklenen değerlerde olduğu ve doğru verilere ulaşıldığı sonucuna varmışlardır.

Özellikle otomotiv parçalarının üretiminde, ilerleyen otomasyon ve tutarlı rasyonelasyon ile yeni tür malzemelerin yanı sıra imalat ve alet teknolojilerindeki yeniliklerin de kullanılması gerekmektedir. Dövme ürünü parçalarda kesit daralması, çatlaklar gibi birçok yapısal kusur meydana gelebilir. Aynı zamanda tüketici talepleri, ürün kalitesi ve maliyet artmaktadır. Bu nedenle optimize edilmiş süreçler ve verimli kalite kontrol yöntemleri gerekmektedir. Ulaşılması gereken hedef olarak, son üründe % 100 kontrol talep edilmektedir [9].

Bu çalışmada, soğuk dövme yöntemi kullanılarak üretilmiş bağlantı elemanına ait kılcal çatlakların Girdap akımları sistemi ile analiz edilerek verilerin mikroyapı sonuçları ile karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir.

## **Yöntem**

### **Tahribatsız Muayene Yöntemleri**

Tahribatsız malzeme muayenesi; kalite kontrol işleminin bir bölümü olup, üretimin tamamlayıcı bir parçasıdır. Tanım olarak, malzemenin herhangi bir şekilde bütünlüğünü ve kullanılabilirliğini bozmadan yüzeyinde ve iç kısımlarında bulunan hataların ve metalurjik durumunun test edilmesidir. Bu yöntemler örnekleme yapılarak ya da üretimin kalitesinin %100 kontrolü olarak sıfır hata şeklinde kullanılabilir. Yüksek teknoloji ile birlikte, üretimin her safhasında ve kullanım esnasında uygulanabilmektedir. Kontrolün verimli olabilmesinin, test edilen malzeme hakkında bilgi sahibi olmak ve bulgular sonucunda üretim ile gerekli iletişimi sağlayabilmek için testi gerçekleştiren kişinin gerekli sertifikalara sahip olması gerekmektedir. Tahribatsız malzeme muayenesi sadece standardın altında olan malzemeleri reddeden bir yöntem değil, aynı zamanda iyi olan malzemenin güvencesi olan bir yöntemdir. Bu

yöntemde birçok prensibin kombinasyonu kullanılmakta olup, tüm istekleri karşılayan tek bir metot bulunmamaktadır.

Tahribatsız Muayene Yöntemleri:

- Göz ile Muayene
- Radyografi Yöntemi
- Magnetik Partikül Yöntemi
- Penetrant Yöntemi
- Ultrasonik Yöntemi- Girdap akımları (Girdap Akımları) Yöntemi şeklinde sıralanmıştır.

### **Girdap akımları (Eddy Current) Yöntemi**

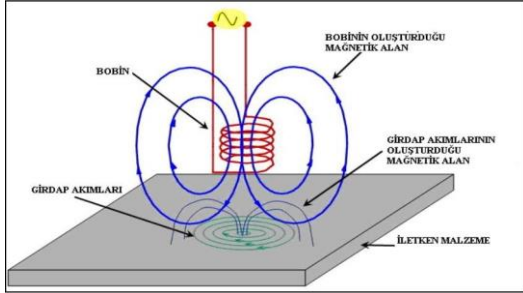
Bu çalışmada tahribatsız muayene çeşitlerinden biri olan girdap akımları yöntemi kullanılarak çatlak kontrolü yapılmıştır. Girdap akımları kontrolünün prensibi, bir alternatif akım bobini tarafından oluşturulan değişken manyetik alanın malzeme yüzeyinde dairesel girdap akımlarını endüklemesine dayanmaktadır. İndüklenen bu girdap akımlarının olduğu bölgede bir süreksizlik var ise test malzemesi ve süreksizlik arasındaki elektrik direnci farkından dolayı akımlar farklı bir yörünge izleyeceklerdir. Bu farklılık, bobin tarafından Şekil 1 'de gösterildiği gibi algılanır.

İçerisinden akım geçen bir iletkenin etrafı bir magnetik alanla çevrilidir. Bu magnetik alanın gücü,

kendini oluşturan bu akımla direkt olarak ilişkilidir. Büyüklüğü değişen bu akım, örneğin zamana bağlı olarak değişen bir alternatif akım, farklı bir magnetik alan yaratmaktadır. Şayet elektrik iletkenliğine sahip bir malzeme bu magnetik alan içerisinde bırakılırsa, malzemenin içerisinde bir gerilim indüklenmektedir. Malzeme iletken olduğunda bu gerilim malzemenin içerisinde bir akım indükler. Bu akım "Girdap akımları" (Eddy Akımı) olarak bilinir. Girdap akımı kendini oluşturan akımın özelliklerini taşır, fakat doğrultusu terstir. Malzeme yüzeyindeki girdap akımı doğrudan doğruya kendini oluşturan akımın frekansı ile ilgilidir. Bu açıdan, Girdap akımının etkilediği derinlik bu frekansın artmasıyla azalmaktadır. Malzeme yüzeyinden içerideki oluşan Girdap akımları, yüzeyde oluşan akımların faz değişimleri ile ilişkilidir. Girdap akımları şayet çatlak, boşluk, yüzey hasarları veya hatalı kaynak birleştirmeleri gibi malzeme kusurları ile karşılaşır, akışın olması gerektiği doğrultuda yayınamazlar. Bunun sonucunda magnetik alanda bir değişiklik oluşur, ve buna bağlı olarak test bobini de reaksiyon verir. Girdap akımları test prosedüründe bu

kavram malzeme hatalarının tespitinde kullanılmaktadır [9].

**Şekil 1.** Girdap akımlarının çalışma prensibi [10]



Avantajları:

- Küçük çatlaklara ve diğer hatalara karşı duyarlıdır.
- Yüzey ve yüzeye yakın hataları tespit eder.
- Kontrol hemen sonuç verir.
- Ekipmanlar taşınabilir.
- Metot kusur tespitinden çok daha fazlası için kullanılabilir.
- Minimum parça hazırlığı gereklidir.
- Test proplarının parçaya değmesi gerekmez.
- Kompleks şekillerde ve sayı da iletken malzeme kontrolünde kullanılabilir.

Dezavantajları:

- Sadece iletken malzemeler test edilebilir.
- Diğer yöntemlerden daha kapsamlı beceri ve eğitim gerektirir.

- Yüzey temizliği ve pürüzsüzlük gereklidir.
- Limitli penetrasyon derinliği vardır.
- Ayar için standart referanslar gereklidir.
- Prop bobin sarımına ve tarama yönüne paralel olan tabakalar halinde dizilmiş hatalar tespit edilemezler [11].

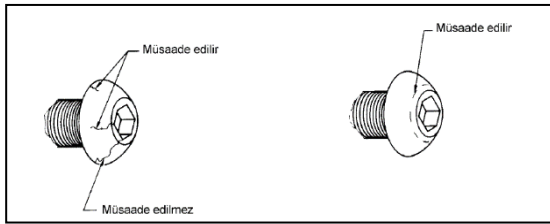
Kontrolü yapılacak mamulün hammadde seçimi plastik şekil verilebilir, dövülebilir ve ısı işlem yapılabilir çelikleri içeren hammadde standardı olan EN 10263-4 kullanılarak yapılmıştır. Kullanılacak olan 20MnB4 hammaddesinin standarttaki ve kullanılan kimyasal kompozisyonu Tablo 1 'de verilmiştir.

20MnB4 (EN ISO 10263-4) hammadde kullanılarak, soğuk deformasyon – plastik şekil değişikliği prosesi ile üretilen bağlantı elemanının plastik şekil verilme aşamasında oluşan kılcal çatlaklar incelenmiştir.

**Tablo1.** EN 10263-4'e göre hammadde kimyasal kompozisyon karşılaştırılması

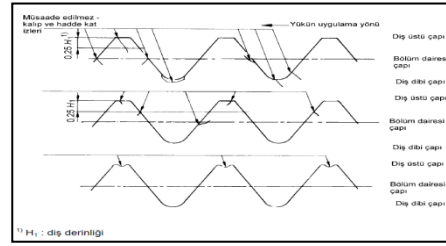
<b>Çelik Adı</b>	20MnB4	
<b>Çelik Numarası</b>	1.5525	
<b>C</b>	0,20	0,18- 0,23
<b>Si</b>	0,09	0,3
<b>Mn</b>	0,97	0,90- 1,20
<b>P</b>	0,006	0,025
<b>Si</b>	0,008	0,025
<b>Cr</b>	0,2	0,3
<b>Cu</b>	0,04	0,25
<b>B</b>	0,0035	0,0008-0,005
<b>Not</b>	<b>Kullanılan</b>	<b>10263-4 Standardı</b>

Çalışması yapılan ürün için üretim esnasında izin verilen yüzey çatlak özellikleri Şekil 2 ve diş çatlak özellikleri Şekil 3 'de gösterildiği gibi ISO 6157 standardına göre değerlendirilmektedir.



**Şekil 2.** ISO 6157 Standardına göre Yüzey Çatlağı Limitleri

ISO 6157 standardının vida dişi ile ilgili bölümü incelendiğinde diş diplerinde çatlak olmaması gerektiği görülmüştür. Diş dibi çatlağı zaman içinde büyüyerek mamülün diş dibinden kopmasına sebebiyet verebilmektedir.



**Şekil 3.** ISO 6157 Standardına göre Diş Çatlağı Limitleri

### Deneyisel Çalışmalar

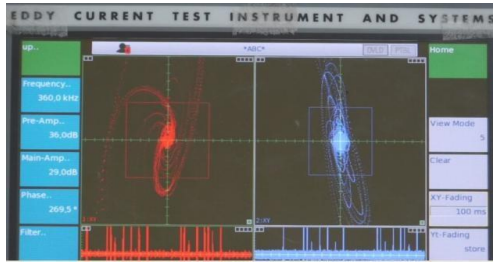
Yapılan deneysel çalışmalarda, soğuk dövme prosesi kullanılarak üretilmiş ve ovalama yöntemi kullanılarak diş çekilmiş ürünlerin; dövme prosesinde ve ovalama prosesinde meydana gelen çatlaklar Girdap akımları ile kontrol edilmiştir. Girdap akımları ile incelemede uyarı veren - vermeyen ürünler bakalite alınarak yapılan kontrolün doğruluğu için çaprazlama yapılmıştır.

### Kafa Çatlağı Analizi

Girdap akımları muayenesi sonucunda hata sinyali veren - vermeyen parçalar stereo mikroskop ve mikroskop kullanılarak incelenmiştir.



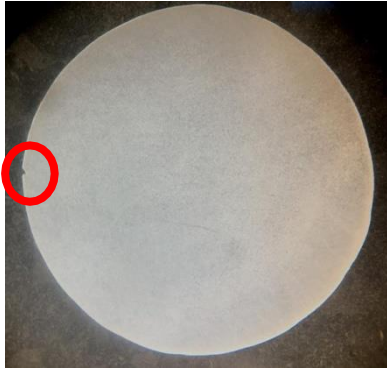
(a)



(b)

**Şekil 4.** Kafa Çatlağı (a) ve Çatlak Sinyali (b)

Kontrol esnasında kafa çatlağı olan ürüne ait uyarı sinyali Şekil 4 'de gösterilmektedir. Çatlak tespit edilmiş bu parça bakalite alınarak çatlak yapısı incelenmiştir.



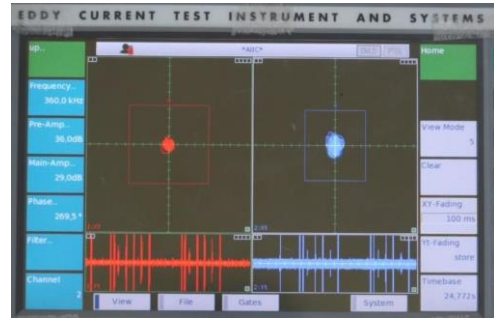
(a)



(b)

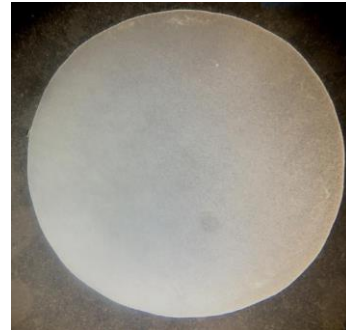
**Şekil 5.** Kafa çatlağının stereo mikroskop (8X) görüntüsü (a) ve mikroyapı görseli (b)

Kafa kenarında oluşan çatlak boyunun yaklaşık 200 µm derinliğinde olduğu Şekil 5 'de gösterildiği gibi tespit edilmiştir. Girdap akımları muayenesinde uyarı sinyali vermeyen aynı özellikte diğer parça incelenmiştir.



**Şekil 6.** Kafa çatlağı olmayan ürünün Girdap akımları test sırasındaki sinyal görüntüsü

Şekil 6 'da görüldüğü gibi parça üzerinde çatlak olmadığında cihaz sinyal vermemektedir. Aynı sistem ile bu parçaya da diğer parça gibi makro ve mikro inceleme Şekil 7 'de görüldüğü gibi yapılmıştır.



(a)

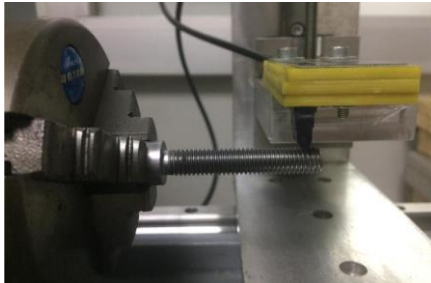


(b)

**Şekil 7.** Kafa Çatlağı Olmayan Ürünün Stereo Mikroskop (8X) (a) ve Mikroyapı Görseli (b)

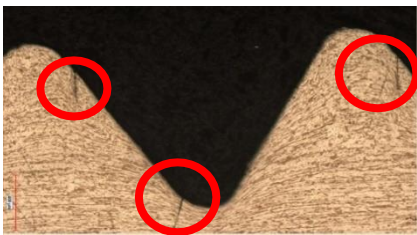
### Diş Çatlağı Analizi

Diş Çatlağı kontrolü Şekil 8 'de görüldüğü gibi özel prop ve özel sistemle gerçekleştirilmiştir. Civata özel sistem sayesinde diş boyunca tam tur atarak tüm alan prop ile taranmıştır.

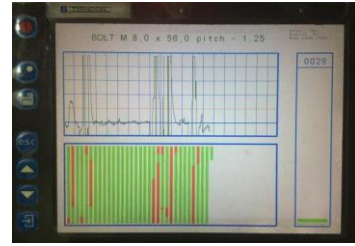


**Şekil 8.** Diş Çatlağı Kontrolü

Kafa çatlağı analizinde olduğu gibi diş çatlağı da Şekil 9 'da görüldüğü gibi girdap akımları sisteminden gelen sinyallere göre yapılmıştır.



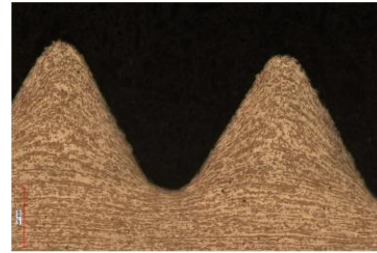
(a)



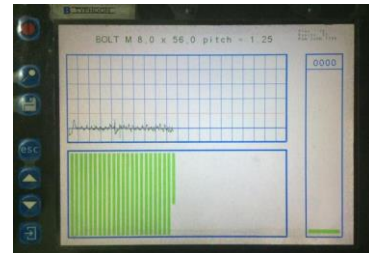
(b)

**Şekil 9.** Diş çatlağı görüntüsü (a) ve Girdap akımları testi sırasındaki çatlak sinyali (b)

Şekil 8 'de görüldüğü gibi özel sistem analizi yapılan bir başka civatanın çıkan sonuçları Şekil 10 'da gösterilmiştir.



(a)



(b)

**Şekil 10.** Çatlaksız diş ve dişe ait girdap akımları Sinyali

### Sonuç

Girdap akımları muayenesi ile tahribatsız muayeneleri yapılan bağlantı elemanlarında, sistemin verdiği uyarılar gözönüne alınarak mikroyapı incelemeleri yapılmış ve sonuçların uyarılara paralel



olduğu tespit edilmiştir. Fakat bu sistemin kullanılması esnasında prop seçiminin önemli olduğu görülmüştür. Kontrol edilecek bölgenin şekli, çatlak büyüklüğü, çatlak derinliği prop özelliklerinin belirlemede önemli rol oynamaktadır.

Yapılan çalışmalar sonucunda, soğuk dövme ile üretilen vidaların kafa ve dış kısımlarının tahribatsız muayeneleri yapılmıştır. Bazı numunelerde çatlak gözlemlenmiştir. Uygun prop ve ekipman seçildiğinde tahribatsız muayene için girdap akımları yöntemi, plastik şekil verme ile üretilen özellikle dövme ürünü küçük bağlantı elemanlarının kontrolü için çatlak tespitinde kullanılabilir güvenilir bir yöntemdir.

### **Kaynaklar**

- [1] URL1:NDT Resource Center, <https://www.ndeed.org/EducationResources/CommunityCollege/EddyCurrents/Introduction/historyofET.htm>, 16.04.2018
- [2] Chauveau, D. 2018. Review of NDT and process monitoring techniques usable to produce high-quality parts by welding or additive manufacturing. *Weld World*. 62: 1097.
- [3] Aoukili, A., Khamlichi, A., 2018. Damage detection of surface crack in metallic parts by pulsed Eddy Current Probe. *Procedia Manufacturing*, 22, 209-214
- [4] González, J.L., Rivasa, D., Beltrán M.A., 2016. Failure analysis of a diesel engine. *Structural Integrity Procedia*, 3, 41-47.

[5] Egorov, A.V., Polyakov, V.V, Salita D.S, Kolubaev, E.A, Psakhie, S.G, Chernyavskii, A.G, Vorobei, I.V, 2015. Inspection Of Aluminum Alloys By A Multi-frequency girdap akımları method. *Defence Technology*, 11, 99-103.

[6] Angelo, J.D., Bennecer, A., Picton, P., Kaczmarczyk, S., Soares, A. 2016. Eddy Current analysis of shipped stainless steel heat exchanger bundle. *Nondestructive Testing and Evaluation*, 6, 89-93.

[7] Song K., Wan, B., Zhang, L., Li, J. 2011. Simulation Study on the Effect of Crack Width on ECT Signal. *Procedia Engineering*, 15, 5227-5231.

[8] Griebl, M.B, Christb, H.J, Plegec, B. 2010. Thermomechanical fatigue of cast aluminium alloys for cylinder head applications – experimental characterization and life prediction, *Procedia Engineering*, 2, 1767-1776.

[9] Zoescha, A., Wiener, T., Kuhl, M., 2015. Zero Defect Manufacturing: Detection of Cracks and Thinning of Material during Deep Drawing Processes”, *Procedia CIRP*, 33, 179-184.

[10] URL2: Has Çelik,

[11] <http://demo.hascelik.com/tr/celik-hakkinda/girdap-akimlari-eddy-current-yontemi/87>, 17.04.2018

[12] URL3: Mühendis Beyinler, <https://www.muhendisbeyinler.net/tahribatsiz-muayene-yontemleri/>, 17.04.2018

[13] URL4 : TMM LTD., <http://www.tmmndt.com/yuklenenler/Tahribatsiz-Malzeme-Muayene-Yontemleri.pdf>, 17.04.2018