EKAP İLE İŞLENMİŞ AA6082 ALAŞIMININ SERTLİK, AŞINMA DİRENCİ VE MİKROYAPISININ İNCELENMESİ

Arş. Gör. Kerim ÖZBEYAZ
Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi
kerim.ozbeyaz@marmara.edu.tr

Dr. Öğr. Üyesi Hasan KAYA
Kocaeli Üniversitesi, Asım Kocabıyık MYO, Makine Programı
hasan.kaya@kocaeli.edu.tr

Doç. Dr. Aykut KENTLİ
Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi
akentli@marmara.edu.tr

Özet

Hızla gelişen teknolojik ürünler yeryüzünde ki malzemelerin olduğu gibi kullanımları yerine özelliklerinde iyileştirmeler yapılarak kullanılması gereği oluşturmuştur. Geçen yarım asır boyunca alaşımlar ve kompozit malzemeler üretilmiş böylece sanayide malzeme ihtiyacı giderilmeye çalışılmıştır. Ancak özellikle son 20 yıllık gelişmeler bu alaşımların da özelliklerinde iyileştirme gereğini ortaya koymuş bu amaçla da birçok çalışma alanına ilham kaynağı olmuştur. Aşırı plastik deformasyon (APD) yöntemi malzemelerin mekanik özelliklerinde iyileştirmek amacıyla geliştirilen işlemlerden dikkat çekenlerindendir. Aşırı plastik deformasyon (APD) işlemleri ultra ince taneler oluşturmak için bir metal kütlesine ultra büyüklükte bir plastik gerilmenin uygulandığı metal oluşturma sürecidir. APD sürecinin temel amacı çevreye uyumlu, yüksek mukavemetli ve hafif parçalar üretmektir. Birçok APD yöntemi arasında Eş Kanallı Açısal Presleme (EKAP) özellikle malzemeye sertlik kazandırırken malzemenin sünekliliğinde değişim göstermemesi ile diğer yöntemlerden daha da avantajlı bir yöntem olmuştur. Alüminyum alaşımları özellikle de AA6082 alaşımları da hafif olması ve içeriğinde ki Mg ve Si sayesinde yüksek korozyon dayanımına sahiptir. Bu özellikleri sayesinde otomotiv, inşaat ve demir yolu vagonları gibi alanlarda tercih edilmektedir. Bu çalışmada EKAP yöntemi ile işlenmiş AA6082 alaşımının Sertlik, Aşınma direnci ve işlem sonrasında ki mikro-yapılarında değişimlerin incelenmesi hedeflenmektedir. Bu kapsamda Tavlanmış, EKAP ile 1 paso, 2 paso ve 4 paso işlenmiş malzemelerin aşınma direnci ve sertlikleri incelenmiş olunacaktır.

Anahtar Kelimeler: APD, EKAP, AA6082, Aşınma Direnci

INVESTIGATION of HARDNESS, WEAR RESISTANCE and MICROSTRUCTURAL ANALYSIS of AA6082 ALLOY PROCESSED BY ECAP

Abstract

Technological products that are rapidly developing have created the necessity to use their properties instead of using the materials in the nature. Alloys and composite materials have been produced during the last half a century so that the material requirement in the industry has been supplied. However, the developments in the last two decades have revealed the need for improvement in the properties of these alloys. The Severe Plastic Deformation (SPD) method is one of the notable improvements in the mechanical properties of materials. SPD processes are the process of forming metal in which an ultra-large plastic stress is applied to a mass of metal to form ultra-fine grains. The main objective of the SPD process is to produce environmentally friendly, high strength and lightweight parts. Among the many SPD methods, Equal Channel Angular Pressing (ECAP) was an advantageous method compared to other methods, especially when the material did not change its ductility. Aluminum alloys, especially AA6082 alloys are lightweight and have high corrosion resistance due to Mg and Si content. Thanks to these features, it is preferred in areas such as automotive, construction and railway wagons etc.. In this study,

it is aimed to examine the hardness, wear resistance and micro-structure changes of AA6082 alloy processed by ECAP method. Fort his purpose, the wear resistance and hardness of annealed, EKAP'ed 1 pass, 2 pass and 4 pass materials will be examined.

Key Words: APD, EKAP, AA6082, Wear Resistance

1. GİRİŞ

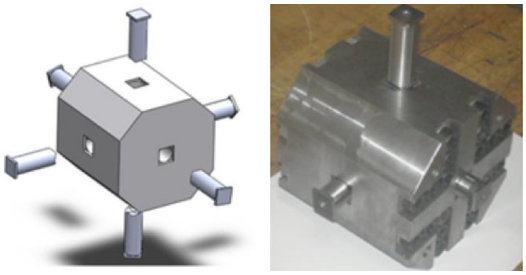
APD yöntemi malzemelerin mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla 1970'li yıllarda Rusya'daki bilim adamları tarafından literatüre sunulan önemli bir yöntemdir. Bu yöntemin asıl amacı malzemeyi oluşturan taneciklerin boyutlarında küçültmeler yapmak, aynı zamanda bu taneciklere yönelmeler vererek malzemeyi olduğundan daha iyi özelliklere getirebilmektir (Valiev et al. 2016). Nitekim malzemelerin çalışma ortamlarına göre gelen yüklerin yönleri bilindiğinden taneciklerin de eksenel olarak bu yönlere yönlendirilmiş olmaları ve bu yönlerdeki tanecikler arası boşlukların giderilmesiyle özellikle mukavemetlerinde önemli ölçülerde iyileştirmeler netice verecektir. Bu amaçla bir metal kütlesine ultra büyüklükte bir plastik gerilmenin uygulanmış, bu gerilme ile ultra ince taneler oluşturulmaya çalışılmıştır. Zamanla ondan fazla APD yöntemi denenmiş ve hepsinden başarılı sonuçlar elde edilmiştir. (Sepahi- et al., 2015), (Kocich et al., 2010), (Shahbaz et al. 2011), (Shamsborhan a et al., 2014) Bu yöntemlerden uygun olanı seçmek ise öncelikle malzemenin kullanım alanına sonrasında ise ekonomik kriterlere göre belirlenip, sanayide kullanılmaya başlanmıştır. Bu yöntemler arasında diğerlerine göre daha sık tercih edilen ve kullanılan yöntem ise Eş Kanallı Açısal Presleme (EKAP) yöntemidir (Segal 1999). Segal ve arkadaşları tarafından 1977'de geliştirilen bu metot malzemenin katı halde iken eş kesit alanına sahip bir kanaldan, genelde 90^{o} kavis açısı ile ektrüze edilmesidir. Yapılan denemeler sonrasında taneciklerin boyutlarında küçülmeler gözlemlenmiş, özellikle ikincil fazların daha homojen olarak dağıldığı tespit edilmiş ve ilk presleme işlemi sonrasında 45^{o} açıyla yönelmeler sağlanabilmiştir. EKAP işleminden daha fazla verim alabilmek amacıyla bu presleme işlemi tekrarlanarak yapılmış ve bu tekrarlara "paso" adı verilmiştir. Bu pasolar tekrarlanırken bir önceki presleme işleminden çıkan numunenin kanala yerleşme açıları büyük önem arz etmiştir. Rota olarak adlandırılan bu konumlama işlemi taneciklerin yönelmesinde ve şekil almasında, işlem esnasında kayma sistemlerinin oluşma açısına dolayısıyla malzemenin mekanik özelliğine doğrudan etki etmektedir. EKAP işleminde A rotası, BA rotası, BC rotası ve C rotası olmak üzere 4 temel işlem rotası bulunmaktadır ve. (Valiev and Langdon 2006) (Hasan Kaya 2013), (Horita et al. 2011)(Furukawa et al. 2009) Bu yöntemin ile malzemelerin kesit alanlarında değişim olmaması, lokalize ve homojen dağılımlar elde edilebilmesi, diğer metal işleme işlemlerine elverişli olması gibi avantajlarının yanı sıra en büyük avantajı ise geleneksel sertleştirme yöntemlerinin aksine, malzemenin sertlik vb mekanik özelliklerinde iyileşmeler elde edilirken malzemenin gevrekleşmemesidir. Özellikle küçük ölçekli, şekillendirilebilme özelliği yüksek malzemeler için elverişli bir yöntemdir. (Segal 1995)

Alüminyum alaşımları özellikle de AA6082 alaşımları; hafif olması, şekillendirilebilme özelliğinin yüksek olması ve diğer alaşımlara kıyasla daha sünek olması nedeniyle EKAP işlemine uygun olup, içeriğinde ki Mg ve Si sayesinde yüksek korozyon dayanımına sahiptir. Bu özellikleri sayesinde otomotiv, inşaat ve demir yolu vagonları gibi alanlarda tercih edilmektedir (Develİoğlu n.d., 2017). Bu çalışma kapsamında APD deformasyon yöntemlerinden EKAP yöntemi ile 1 paso, 2 paso ve 4 paso işlenmiş AA6082 alaşımı ile tavlanmış AA6082 alaşımının sertlik ve aşınma direnci özelliklerinin karşılaştırılarak, mikro-yapılarında ki değişimlerin incelenmesi hedeflenmektedir.

2. MATERYAL VE METOD

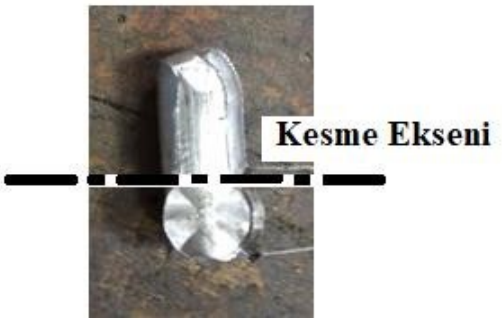
Bu çalışma kapsamında 4 adet AA6082-T6 alaşımı firmadan alındıktan sonra Şekil 1a'da görüldüğü gibi 20mm çapında ve 60mm uzunluğunda torna tezgahında hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelere ilk olarak 460 ^{o}C sıcaklıkta 2 saat boyunca gerilim giderme tavlaması yapılmıştır. Tavlanan numuneler daha sonra Şekil 1b'de görülen Hexa-EKAP (Hasan Kaya 2013) kalıbında sırasıyla 1 paso, 2 paso ve dört paso olarak BC rotasında preslenmiştir.





Şekil 1 (a) AA6082 Numune **(b)** Hexa-EKAP çizim ve kalıbı(Hasan Kaya 2013)

Sonraki aşamada Şekil 2a'da görülen Hexa-EKAP kalıbından çıkan numuneler ve tavlanmış numune hassas kesme ile kesilip Şekil2b'de gösterildiği gibi bakalit ile kaplanmıştır. Numunelerin karışmaması amacıyla bakalit üzerine kazıma ile kodlamalar yapılmıştır.





Şekil 2 (a) EKAP'lanmış AA6082 Numunesi **(b)** Hassas kesme işlemi sonrasında bakalit ile kaplanmış numuneler

2.1 Sertlik Analizi

Sertlik analizi yapabilmek amacıyla numunelerin merkezinden köşesine kadar 8 adet ölçüm alınmış ve en büyük değer ile en küçük değer atıldıktan sonra kalan 6 ölçümün aritmetik ortalaması alınmıştır. Ölçümlerin yapılabilmesi için "Microhardness Tester Future-Tech FM-700" cihazı kullanılmıştır. Deney esnasında numunelere 9 saniye boyunca 1000gf kuvvet uygulanmış, sonuçlar Hardness Vickers olarak hesaplanmıştır.

2.2. Aşınma Direnci

Aşınma Direnci testinin yapılabilmesi amacıyla CSM Instrument Tribometer cihazı kullanılmıştır. Ball-on-disk mekanizması ile kuru kayma aşınma testi; numunelere 6mm çapındaki çelik bilye ile 500m boyunca, oda sıcaklığında, 18 cm/s sabit hızda, 2N kuvvet uygulanarak yapılmıştır. Yapılan bu aşındırma işlemi sonucunda numune yüzeyi ile meydana gelen sürtünme katsayısı elde edilmiştir. Hacimsel kaybın hesaplanabilmesi amacıyla aşınan yüzeylerin Veeco Dektak 8 profilometre cihazı ile yüzey pürüzlülüğüne bakılmış ve kendi yazılımı aracılığıyla da malzemede meydana gelen hacimsel kayıp hesaplanmıştır.

$$K = \frac{V}{l\,N} \qquad (1)$$

Yukarıda (1) numaralı denklemde belirtildiği üzere, Aşınma direnci (K) miktarı, Hacimsel kaybın (V), uzunluk (ℓ) ile uygulanan kuvvetin (N) çarpımına bölümüyle elde edilmektedir. (Avcu, 2017)

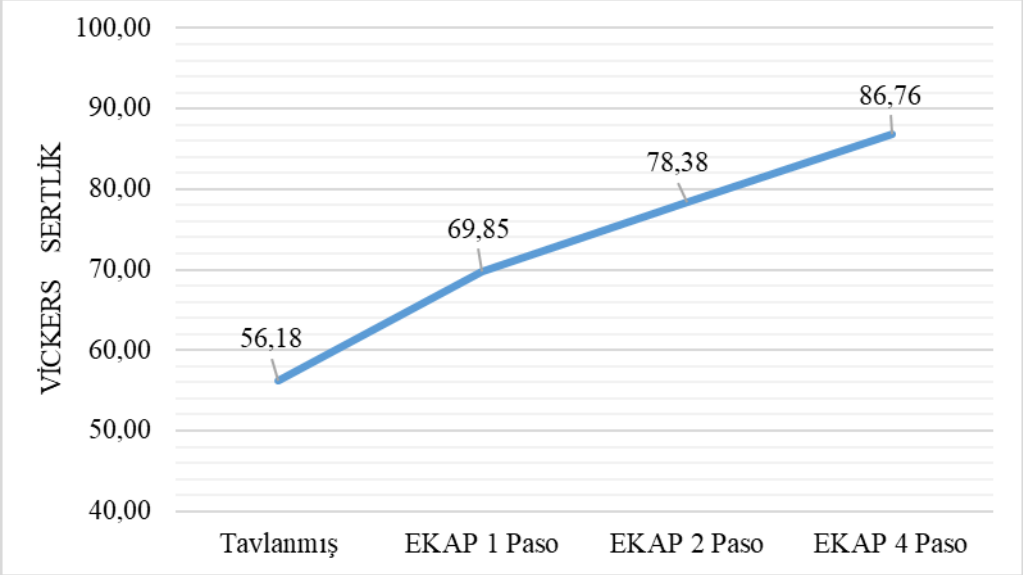
2.3. Optik Mikroskop Görüntüleri

Yapılan mekanik testler sonrasında sonuçların yorumlanabilmesi ve tanecik yapılarında ki değişimlerin gözlemlenebilmesi amacıyla optik mikroskop görüntüleri alınmıştır. Bu kapsamda bakalit ile kaplanan numuneler öncelikle sırası ile 240 – 320 – 400 –600 – 800 – 1000 SiC zımpara ile zımparalama işlemi yapılıp, ardından 1µm elmas pasta ile parlatma işlemi tamamlanmıştır. Parlatılan numuneler elektrolit dağlayıcı ile dağlandıktan sonra merkez ile kenar arasındaki yüzeyden optik mikroskop ile görüntüleri alınmıştır.

3. SONUÇ

3.1 Sertlik Analizi

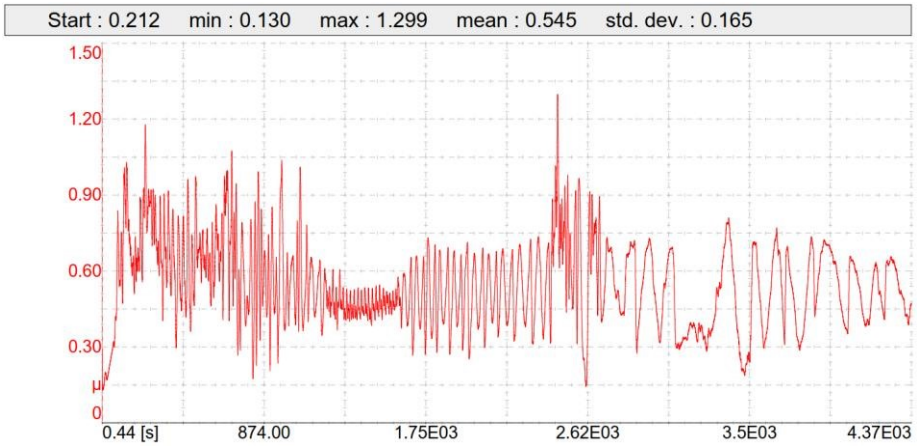
Şekil 3'te elde edilen Vicker Sertlik değerleri verilmiştir. Yapılan diğer çalışmalarda olduğu gibi (Özbeyaz et al. 2019), (Esgin, et al., 2016), Tavlanmış malzemeye göre EKAP işlemi malzemenin sertliğini arttırmaktadır. Paso sayısı arttıkça sertlik değerlerinde de artış gözlenmiş olsa bu artışların orantılı olduğu söylenemez. İlk paso sonrası keskin bir artış dikkat çekerken diğer pasolarda bu artış meyli azalmıştır. Bu da paso sayısındaki artış ile kazanımların belirli bir noktadan sonra doyuma ulaşacağının göstergesidir. Nitekim (Zhu, et al., 2004) yaptıkları çalışmada 8 paso sonrasında kazanımların doyuma ulaştığını göstermiştir. EKAP işlemi sonrasında sertliğin artması ikincil fazlarda ki partiküllerin çökelmesinden ve taneciklerin boyutlarında ki küçülmelerden kaynaklanmaktadır (Özbeyaz et al. 2019). Şekil 7a-d' de görüldüğü gibi paso sayısı taneciklerin daha homojen ve ince olarak dağıldığını göstermektedir.



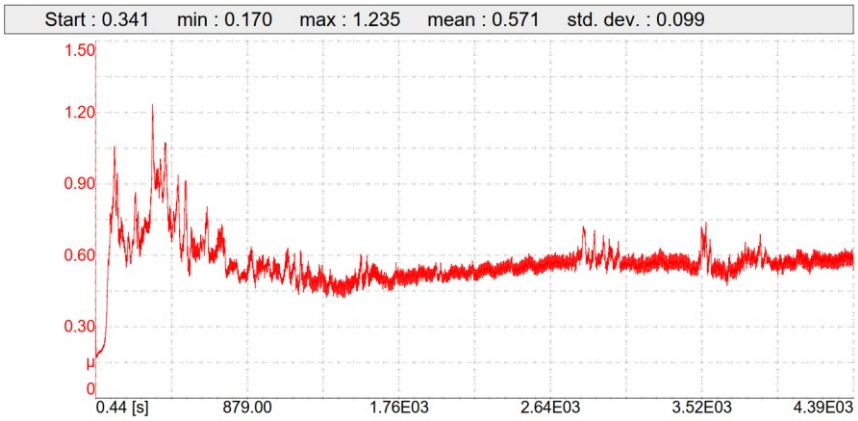
Şekil 3 Vicker Sertlik Sonuçları

3.2. Aşınma Direnci

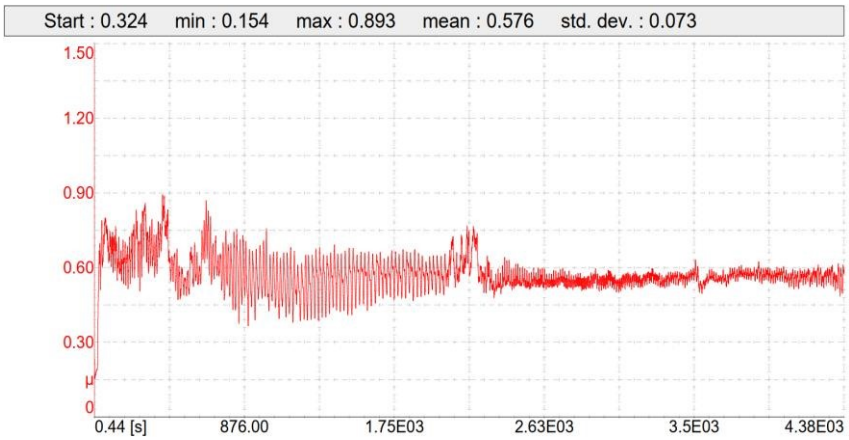
Yapılan aşınma direnci testi sonucunda elde edilen sürtünme katsayıları Şekil 4a-d' de verilmiştir. Buna göre; paso sayısı arttıkça numunelerin yüzeyinde ölçülen ortalama (mean) sürtünme katsayısı değerlerinde artış olmuştur. Avcu yaptığı çalışmada tavlanmış, 2 paso ve 4 paso numuneleri için benzer sonuçları bulmuştur. (Avcu 2017) Sürtünme katsayısında ki artış malzemenin sertleşmesi ile doğrudan alakalı olup paso sayısının artışı sertlik artış miktarları da benzerlik göstermiştir.



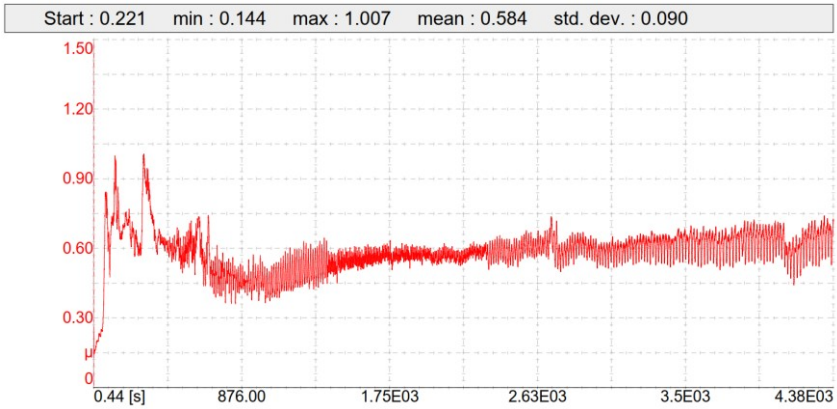
Şekil 4(a) Tavlanmış AA6082 Numunesi Sürtünme Katsayısı



Şekil 4(b) 1.paso EKAP ile işlenmiş AA6082 Numunesi Sürtünme Katsayısı

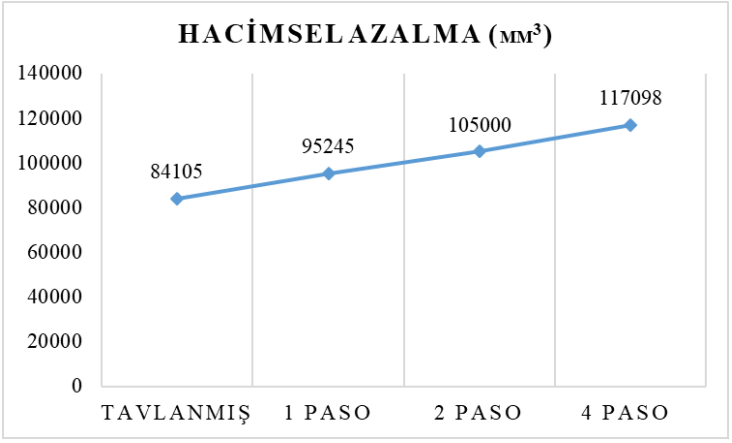


Şekil 4(c) 2.paso EKAP ile işlenmiş AA6082 Numunesi Sürtünme Katsayısı



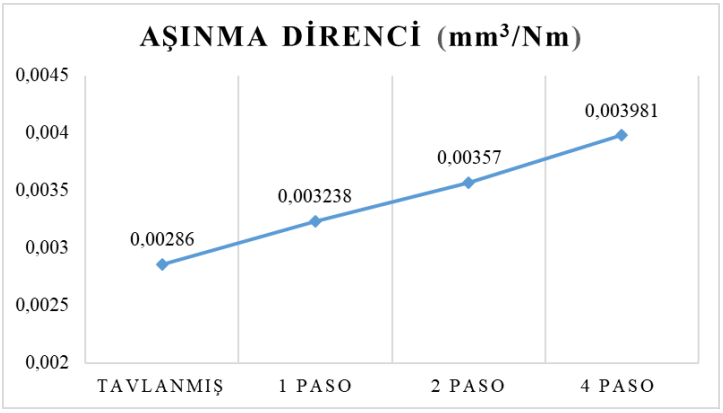
Şekil 4(d) 4.paso EKAP ile işlenmiş AA6082 Numunesi Sürtünme Katsayısı

Aşınma direncinin karşılaştırılabilmesi için öncelikle profilometre ile numunelerde meydana gelen hacimsel kaybın hesaplanması gerekmektedir. Test cihazının yazılımından elde edilen değerler Şekil 5'de verilmiştir. Ortalama sürtünme katsayısı ile orantılı olarak en fazla hacimsel azalma 4 paso işlenmiş numunede gözlemlenmiştir.



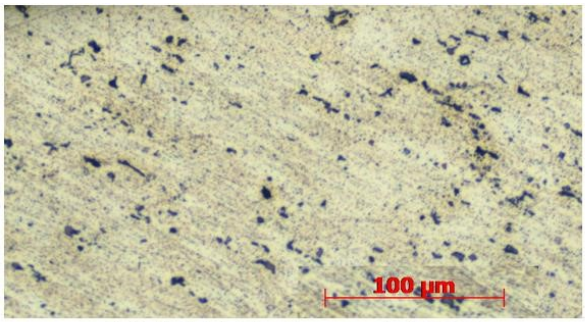
Şekil 5 Hacimsel azalma miktarı

Elde edilen ortalama sürtünme katsayıları değerleri ile de hacimsel kayıp değerleri denklem (1)'de yerine konulup numunelerin aşınma dirençleri hesaplanmıştır. Yine Paso sayısı arttıkça numunelerde Şekil 6'da gösterildiği gibi aşınma direncinde artış gözlemlenmiştir.

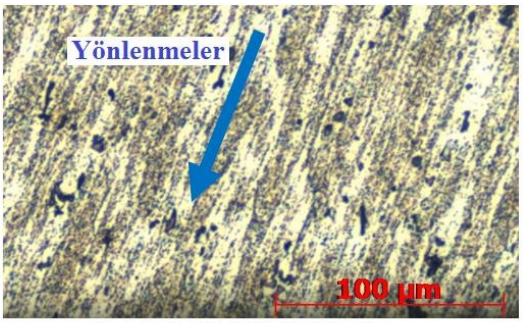


Şekil 6 Hacimsel azalma miktarı

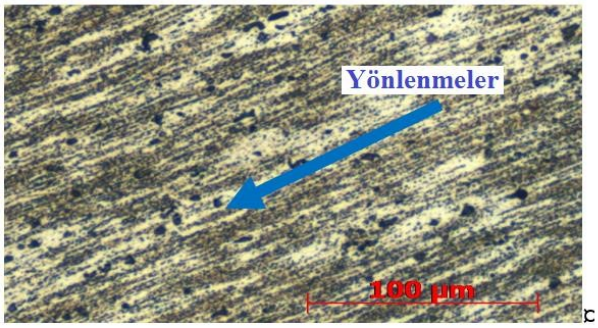
3.3. Optik Mikroskop Görüntüleri



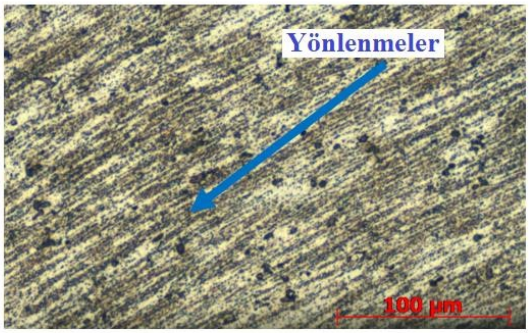
Şekil·7·(a)·Tavlanmış·AA6082



Şekil·7·(b)·EKAP·ile·1·Paso



Şekil·7·(c)·EKAP·ile·3·Paso



Şekil·7·(d)·EKAP·ile·4·Paso

Şekil 7a-d'de bu çalışmada kullanılan numuneler için optik mikroskop görüntüleri yer almaktadır. Şekil 7a'da görüldüğü üzere tanecikler arası boşluklar fazla ve ikincil fazlarda daha az homojen dağılımlar görülmektedir. EKAP ile bir paso işlendikten sonra taneciklerin birbirlerine yaklaştıkları ve yönlenmeler olduğu görülmektedir. Bu incelmeler paso sayısı arttıkça daha fazla görünmektedir. Ayrıca paso sayısının artışı ile malzeme daha homojen yapıya dönüşmektedir. Taneciklerde gözlemlenen bu incelmeler ve boşlukların azalması sertliğin artmasındaki sebebi göstermektedir. (Hasan Kaya 2013)

4. TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında EKAP işleminin 1 paso, 2 paso ve 4 paso işlenmiş halleri ile numunenin tavlanmış halinin mekanik özelliklerinin karşılaştırılması ve mikro-yapılarının incelemesi yapılmıştır. AA6082 alaşımı da sanayide sıklıkla kullanılan bir malzeme olması sebebiyle; direk kullanmak yerine basit ve ekonomik bir süreç olan EKAP işlemi sonrası kullanılırsa malzemenin kazanmış olacağı mekanik özelliklerin üzerinde durulmuştur. Özellikle kalıp kanalından geçebilecek küçüklükte ki tüm parçalar için yenileme ve bakım sürelerinde ortalama yüzde 20 civarında kazanımlara sebep olduğu vurgulanmıştır. Böylelikle daha uzun ömürlü olan parçalar üretilebilecek hem ekonomik hem de kullanışlı üretim yapmaya öncülük etmesi hedeflenmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yapılmasında Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü Başkanı Prof. Dr. Mehmet Uçar'a laboratuvar imkânlarını sunması ve EKAP işlemlerinin tamamlanmasındaki katkılarından dolayı teşekkürü borç bilirim. Ayrıca Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği bölümüne Sertlik analizi, numune hazırlama ve Optik mikroskop görüntülerini alabilmemizde katkılarından dolayı şükranlarımızı sunarız. Son olarak Gebze Teknik Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Öğretim Görevlisi Ömer Faruk Deniz'e aşınma testi esnasında ki yardımları ve katkılarından dolayı teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

Avcu, Egemen. 2017. “The Influences of ECAP on the Dry Sliding Wear Behaviour of AA7075 Aluminium Alloy.” *Tribology International* 110: 173–84. http://dx.doi.org/10.1016/j.triboint.2017.02.023.

Develİoğlu, Şehmuz. “Eş Kanalli Açisal Presleme (Ekap) Yönteminin 6063 Alüminyum Alaşiminin Mekanik Özelliklerine Etkisinin Araştirilmasi.” (2017): 41–50.

Esgin, U., D. Özyürek, and H. Kaya. 2016. “Investigation of Wear Behavior of Precipitation-Strengthened Nickel-Copper Based K-500 Alloy Produced by Powder Metallurgy.” *Acta Physica Polonica A* 129(4): 544–47.

Furukawa, M. et al. 2009. “Structural Evolution and Validity of Hall-Petch Relationship in an Al-3% Mg Alloy with Submicron Grain Size.” *Materials Science Forum* 204–206: 431–36.

Hasan Kaya. 2013. “EŞİT KANAL AÇISAL PRESLEME (EKAP) VE YARI KATI İŞLEMLE ÜRETİLEN AA7075 ALAŞIMININ MİKROYAPI, SERTLİK VE YORULMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ.” KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ FEN.

Horita, Zenji, Minoru Furukawa, T. G. Langdon, and Minoru Nemoto. 2011. “Equal-Channel Angular Pressing(ECAP): A Novel Method for Microstructural Control.” *Materia Japan* 37(9): 767–74.

Kocich, Radim et al. 2010. “Twist Channel Angular Pressing (TCAP) as a Method for Increasing the Efficiency of SPD.” *Materials Science and Engineering A* 527(23): 6386–92.

Özbeyaz, Kerim et al. 2019. “Mechanical Properties and Electrical Conductivity Performance of ECAP Processed AA2024 Alloy.” *Indian Journal of Chemical Technology (IJCT)* 26: 266–69. http://nopr.niscair.res.in/bitstream/123456789/48458/1/IJCT 26%283%29 266-269.pdf.

Segal, V. M. 1995. “Materials Processing by Simple Shear.” *Materials Science and Engineering A* 197(2): 157–64.

Segal, V.M. 1999. “Equal Channel Angular Extrusion: From Macromechanics to Structure Formation.” *Materials Science and Engineering: A* 271(1–2): 322–33.

Sepahi-Boroujeni, S., and F. Fereshteh-Saniee. 2015. “Expansion Equal Channel Angular Extrusion, as a Novel Severe Plastic Deformation Technique.” *Journal of Materials Science* 50(11): 3908–19.

Shahbaz, M., N. Pardis, R. Ebrahimi, and B. Talebanpour. 2011. “A Novel Single Pass Severe Plastic Deformation Technique: Vortex Extrusion.” *Materials Science and Engineering A* 530(1): 469–72. http://dx.doi.org/10.1016/j.msea.2011.09.114.

Shamsborhan, Mahmoud, and Ali Shokuhfar. 2014. “A Planar Twist Channel Angular Extrusion (PTCAE) as a Novel Severe Plastic Deformation Method Based on Equal Channel Angular Extrusion (ECAE) Method.” *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science* 228(12): 2246–50.

Valiev, Ruslan Z. et al. 2016. “Producing Bulk Ultrafine-Grained Materials by Severe Plastic Deformation: Ten Years Later.” *Jom* 68(4): 1216–26.

Valiev, Ruslan Z., and Terence G. Langdon. 2006. “Principles of Equal-Channel Angular Pressing as a Processing Tool for Grain Refinement.” *Progress in Materials Science* 51(7): 881–981.

Zhu, Yuntian T., Terry C. Lowe, and Terence G. Langdon. 2004. “Performance and Applications of Nanostructured Materials Produced by Severe Plastic Deformation.” *Scripta Materialia* 51(8 SPEC. ISS.): 825–30.