



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://www.politeknik.gazi.edu.tr/index.php/PLT/index>

Sıcak ekstrüze edilmiş AA7075-Sicp kompozitlerin tribolojik karakteristiklerine ısıl işlemin etkisi

Effect of heat treatments on tribological characteristics of hot-extruded AA7075-Sicp composites

Yazar(lar) (Author(s)): Ulaş MATİK, Kübra TANATTI

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Matik U. ve Tanattı K., “Sıcak ekstrüze edilmiş AA7075-sic_p kompozitlerin tribolojik karakteristiklerine ısıl işlemin etkisi”, *Politeknik Dergisi*, 20(4): 807-814, (2017).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.368999

Sıcak Ekstrüze Edilmiş AA7075-SiC_p Kompozitlerin Tribolojik Karakteristiklerine Isıl İşlemin Etkisi

Araştırma Makalesi / Research Article

Ulaş MATİK^{1*}, Kübra TANATTI²

¹Karabük Üniversitesi, TOBB Teknik Bilimler MYO, 78050, Karabük, TURKEY

²Karabük Üniversitesi, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, 78050, Karabük, TURKEY

(Geliş/Received : 08.03.2017 ; Kabul/Accepted : 14.04.2017)

ÖZ

Toz metal kompaktların sıcak ekstrüzyonu ile üretilen ve farklı oranlarda 32 µm boyutlu SiC partiküller ile takviye edilen AA7075 Al matrisli kompozitlerin mikroyapı, sertlik ve tribolojik performansına T6 ve T73 ısıl işlemlerinin etkisi incelendi. Bu amaçla, soğuk olarak preslenmiş farklı SiC partikül içeriğine sahip AA7075 toz metal kompaktlar 480 °C’de, 12 mm çaplı çubuklar halinde ekstrüze edildi. T6 ve T73 ısıl işlemlerinin uygulandığı ekstrüze edilmiş numunelerin mikroyapı, sertlik ve tribolojik karakteristikleri tarama elektron mikroskobu (SEM), enerji dağınmımlı x-ray analizör (EDX), brinell sertlik ve adhesif aşınma test ve analizleri ile incelendi. Deneysel sonuçlar, SiC partikül içeriğinin artmasına bağlı olarak kompozitin sertlik ve aşınma direncinin de arttığını göstermektedir. Ayrıca, T6 ısıl işlemlenmiş numunelerin T73 ısıl işlemlenmiş numunelere göre daha iyi sertlik, sürtünme ve aşınma performansı gösterdiği tespit edildi.

Anahtar Kelimeler: AA7075, kompozit, ekstrüzyon, aşınma, sertlik.

Effect of Heat Treatments on Tribological Characteristics of Hot-Extruded AA7075-SiC_p Composites

ABSTRACT

The effect of T6 and T73 tempers on microstructure, hardness and tribological performance of hot-extruded reinforced with 32 µm sized SiC particles reinforced AA7075 Al matrix composites produced by hot-extrusion of powder metal compacts was investigated. For this purpose, the cold pressed AA7075 powder metal compacts with various SiC contents were extruded into 12 mm rod bars at 480 °C. The microstructure, hardness and tribological characteristics of T6 and T73 tempered samples were examined with scanning electron microscopy (SEM), energy dispersive x-ray analyzer (EDX), brinell hardness and adhesive wear tests. The results showed that the hardness and wear resistance of composites increases depending on the increase of SiC particle content. It was also determined that T6 tempered samples showed better hardness, friction and wear performance compared to T73 tempered samples.

Keywords: AA7075, composite, extrusion, wear, hardness.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

AA7XXX serisi alüminyum alaşımları düşük yoğunluk, yüksek dayanım, tokluk ve yorulma dayanımı gibi üstün özellikleri nedeniyle yüksek gerilim altında çalışan uçak bağlantı elemanları, dişli çark ve şaft gibi yapısal parçaların üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır [1–3]. AA7XXX serisi alaşımlar bu üstün özellikleri nedeniyle kompozit malzeme üretiminde matris malzemesi olarak tercih edilmektedir [4–10]. Bu amaçla üretilen kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak SiC, TiC, Al₂O₃, TiO₂, B₄C ve TiB₂ gibi seramik partiküller yaygın olarak kullanılmaktadır [4,8,11–14]. Al alaşımlarının sertlik ve dayanım özelliklerini geliştirmek amacıyla uygulanan en yaygın yöntem ise çökeltme sertleştirilmesi işlemleridir [15]. Ancak bu

amaçla uygulanan T6 tipi ısıl işlemlerin neden olduğu mikroyapısal değişimler ve matris yapıda oluşan intermetalik bileşikler yüksek mekanik özellikler sağlarken, alaşımın korozyon dayanımını azaltmaktadır. Özellikle AA7075 alaşımında ısıl işlemler sonucu matris yapıda oluşan intermetalikler ile matris arasında meydana gelen güçlü galvanik eşleşmeler alaşımın lokal korozyon türlerine olan duyarlılığını arttırmaktadır [16]. T6 ısıl işlemi bu alaşımları korozyona karşı oldukça duyarlı hale getirdiğinden, optimum mekanik ve korozyon dayanım özelliklerini elde etmek amacıyla, T73 olarak bilinen aşırı yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmaktadır [16]. Ancak, T73 ısıl işlemi alaşımın korozyon dayanımını arttırırken, mekanik özelliklerini azaltmaktadır [17]. Abreu vd. [18] T6 ve T73 ısıl işlemlerinin AA7075 alaşımının sertlik, aşınma ve korozyon dayanım özelliklerine etkisini inceledikleri çalışmada, T73 ısıl işleminin korozyon direncini arttırırken sertlik ve aşınma dayanımlarında sırasıyla

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : matik@karabuk.edu.tr

%40 ve %15 oranlarında düşüş meydana getirdiğini rapor etmişlerdir. Holt vd. [19] T73 ısıtılmasının T6 ısıtılmasına göre AA7075 alaşımının dayanımını %10-15 azalttığını belirtmektedir. Benzer şekilde, Ranganatha vd. [20] T73 ısıtılmasının T6 ısıtılması uygulanmış numunelere göre AA7049 alaşımının çekme dayanımını %15 oranında azalttığını rapor etmişlerdir.

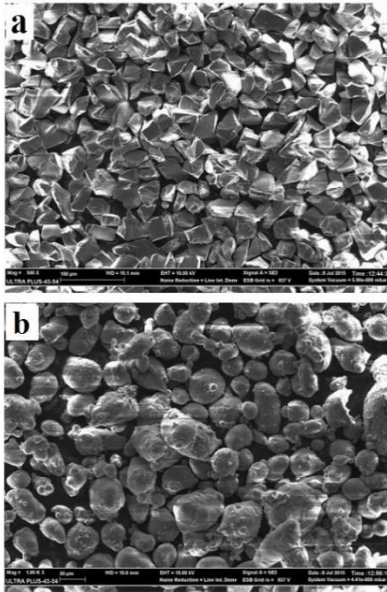
Bu çalışmada, toz metal kompaktların sıcak ekstrüzyonu ile üretilen ve farklı miktarlarda SiC partikül içeriğine sahip AA7075-SiC metal matrisli kompozitlerin mikroyapı, sertlik, sürtünme ve aşınma davranışlarına T6 ve T73 ısıtılmasının etkisi incelendi

2. DENEYSEL METOT (EXPERIMENTAL METHOD)

Ortalama boyutu 32 µm olan SiC partikül takviyeli AA7075 metal matrisli kompozitlerin üretiminde, matris malzemesi olarak kimyasal kompozisyonu Çizelge 1'de verilen ve ortalama partikül boyutu 54 µm olan ön alaşımlı AA7075 alüminyum tozu kullanıldı (Şekil 1).

Çizelge 1. AA7075 alaşımının kimyasal kompozisyonu (Chemical composition of AA7075 alloy).

| Zn | Mg | Cu | Si | Cr | Mn | Fe | Al |
|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 4,78 | 1,84 | 1,45 | 0,24 | 0,25 | 0,26 | 0,23 | Kalan |



Şekil 1. Kompozit üretimi için kullanılan tozlar a) SiC b) AA7075 (Powders used to composite production a) SiC b) AA7075).

AA7075 alaşım tozlarına ağırlıkça farklı oranlarda (%5, 10, 15 ve 20) SiC partikül ilave edilerek elde edilen toz karışımları üç eksenli karıştırıcıda (Turbula T2F) 45 dakika süreyle karıştırıldı. Toz karışımları 350 MPa basınç altında 35 mm çaplı silindirik bloklar halinde tek eksenli olarak preslendi. Presleme işleminin ardından sıcak iş takım çeliğinden imal edilen kalıp düzeneği içerisinde 480 °C'de 1 saat süreyle ısıtılan kompaktlar, direkt ekstrüzyon tekniği ile 12 mm çaplı çubuklar

halinde ekstrüze edildi (Şekil 2). Ekstrüzyon işleminde malzemenin akışını kolaylaştırmak ve daha iyi yüzey kalitesi elde etmek amacıyla kalıp iç yüzeyleri, kalıp ayırıcı yağ ile yağlandı.



Şekil 2. Ekstrüze edilmiş çubuk (Extruded bar).

Ekstrüzyon işleminin ardından numunelere T6 ve T73 yaşlandırma ısıtılma işlemleri uygulandı. Bu amaçla, 480 °C'de 2 saat süreyle solüsyona alınıp suda soğutulan numunelere, T6 işlemi için 120 °C'de 24 saat, T73 işlemi için önce 110 °C'de 8 saat ardından 175 °C'de 8 saat olmak üzere iki kademeli yaşlandırma ısıtılma işlemi uygulandı.

Numunelerin deneysel yoğunluğu yüksek hassasiyetli ($\pm 0,1$ mg) terazi ve yoğunluk kiti kullanılarak Arşimet prensibine göre belirlenirken, teorik yoğunlukları ve gözenek oranları Eş.1 ve Eş.2'ye göre hesaplandı.

$$\rho = \frac{(M_{AA7075} + M_{SiC})}{(V_{AA7075} + V_{SiC})} \quad (1)$$

ρ : Yoğunluk, M : Kütle, V : Hacim

$$\% \phi = \left(1 - \frac{\rho_{Deneysel}}{\rho_{Teorik}} \right) \cdot 100 \quad (2)$$

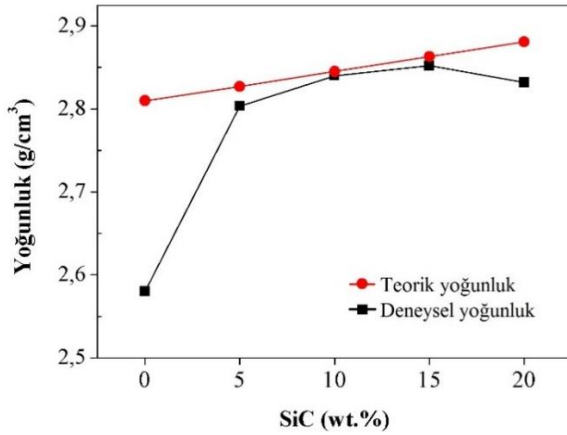
ϕ : Gözenek oranı, ρ : Yoğunluk

Sertlik değerleri Brinell HBW 2,5x31,25 standardında QNESS Q250M makro sertlik cihazı kullanılarak tespit edildi. Aşınma deneyleri standart pin-on-disk tipi aşınma cihazı kullanılarak 40 N yük altında, 1000 metre mesafede ve 1 m/s'lik kayma hızında gerçekleştirildi. Aşınma testinde AISI 52100 çeliğinden imal edilmiş 58-60 HRc sertliğine sahip aşındırıcı disk kullanıldı. Aşınma dayanımı aşınma öncesi ve sonrası $\pm 0,1$ mg hassasiyetinde yapılan ağırlık ölçümleri ile geleneksel ağırlık değişim metoduna göre belirlendi. Mikroyapı, kimyasal kompozisyon ve aşınma yüzeyleri, enerji dağılımlı x-ray analizör destekli Carl Zeiss Ultra Plus Gemini Fesem tarama elektron mikroskobu (SEM/EDX) kullanılarak incelendi.

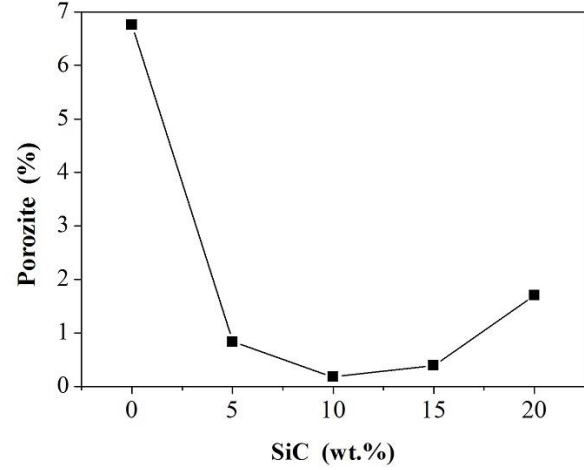
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Alaşım ve kompozit numunelerin partikül içeriğine bağlı teorik ve deneysel yoğunluk değerleri ile buna bağlı gözenek oranları sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4'te verilmiştir. SiC partikül içermeyen alaşım numunenin

yoğunluğu $2,6 \text{ g/cm}^3$ seviyesinde iken, matris yapıya ilave edilen partiküller yoğunlukta ani bir artış meydana getirmiş ve % 10 partikül ilaveli kompozitlerde teorik yoğunluğa oldukça yaklaşmıştır. Yoğunluk artışı ile birlikte gözenek oranlarında azalma meydana gelmiş, %5, 10 ve 15 partikül takviyeli kompozitlerde %1'in altına düşmüştür. Ancak partikül miktarının %10'un üzerine çıkması ile birlikte gözenek oranında artış eğilimi başlamıştır (Şekil 4). Alaşım ve kompozit numunelerde gözenek morfolojisi küresel ya da küresele yakın olup, gözenek boyutu genel olarak $10 \mu\text{m}$ altı seviyelerde ölçülmüştür. Ancak düşük yoğunluğa bağlı olarak gözeneklerin daha yoğun gözlemlendiği alaşım numunelerinde $15 \mu\text{m}$ boyutlu gözeneklerin varlığı da tespit edilmiştir.

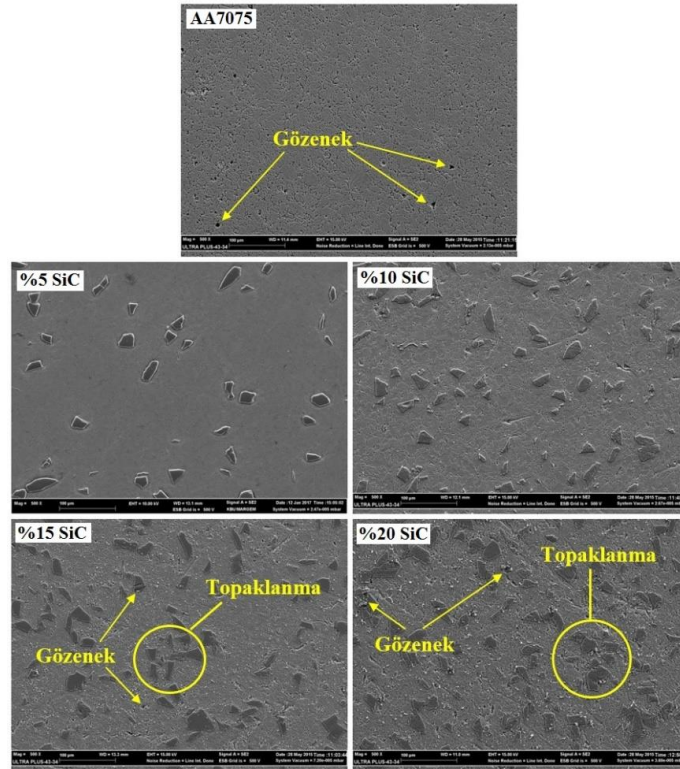


Şekil 3. SiC partikül içeriği ile teorik ve deneysel yoğunluğun değişimi (Variation of theoretical and experimental density with SiC particle content).



Şekil 4. Porozitenin SiC partikül içeriği ile değişimi (Variation of porosity with the SiC particle content).

Ekstrüze edilen toz metal kompaktların yoğunluğu ön presleme basıncı, partikül şekli ve boyutu, ekstrüzyon sıcaklığı ve oranı gibi birçok parametreden etkilenmektedir. Elde edilen sonuçlar üretim parametrelerinin yüksek yoğunluklu alaşım numuneleri elde edecek şartları oluşturmadığını ortaya koymaktadır. Alaşım numunelerinde daha yüksek yoğunluk elde edilmesi beklentisine karşın, bunun gerçekleşmemesinin en önemli nedeninin AA7075 alaşımının kolay ekstrüze edilebilirliğinden dolayı ekstrüzyon itici basıncının düşük seviyelerde kalması ve oluşan basıncın da toz metal biyetlerde yüksek

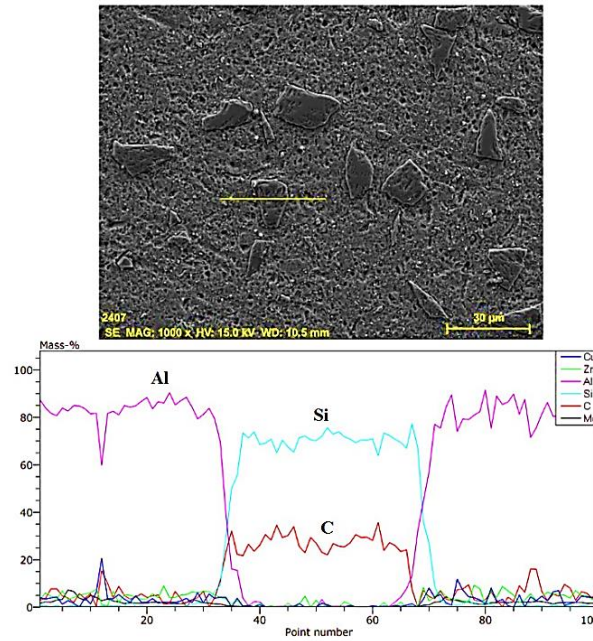


Şekil 5. Alaşım ve kompozit numunelerin SEM görüntüleri (SEM images of the alloy and composite samples).

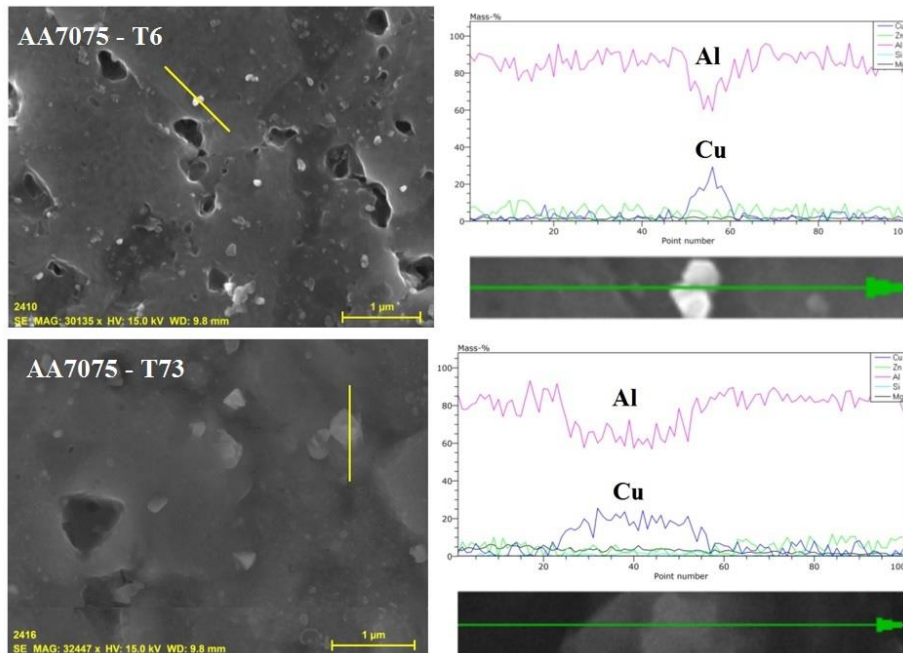
deformasyon meydana getirecek düzeye ulaşmaması olarak değerlendirilmektedir. Buna karşın aynı koşullarda ekstrüze edilen kompozitlerde, takviye partiküllerin ekstrüzyon akışını zorlaştırması biyetler üzerindeki ekstrüzyon itici basıncının artmasına ve artan basınçla birlikte ikincil sert fazın yük transferi sağlayarak matrisin deformasyonunu kolaylaştırması yoğunluk artışında etkili olmuş olabilir. Ancak ikincil sert faz miktarındaki artışın kritik sınırı (% 10) aşması topaklanma, gözenek ve çatlak oluşumu gibi problemlere yol açmış ve yoğunluk değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Alaşım ve kompozit numunelerin mikroyapı

görüntülerde çatlak oluşumuna rastlanmazken gözenek ve topaklanmalar tespit edilmiştir (Şekil 5). Kompozitlerde tespit edilen bu gözenek ve topaklanmalar mekanik özellikleri zayıflatmaktadır [7,21–23]. Kompozit numuneye ait SEM imajı ve çizgisel EDX analizi Şekil 6’da verilmiştir.

T6 ve T73 ısı işlemleri numunelerin mikroyapısı yakından incelendiğinde ise Al-Cu intermetalik bileşiklere ait küresel taneciklere rastlanmıştır. Al-Cu intermetalik bileşiklere ait taneciklerin SEM görüntüleri ve çizgisel EDX analizleri Şekil 7’de görülmektedir. T6 ısı işlem uygulanmış numunelerde, bu intermetalik taneciklerin



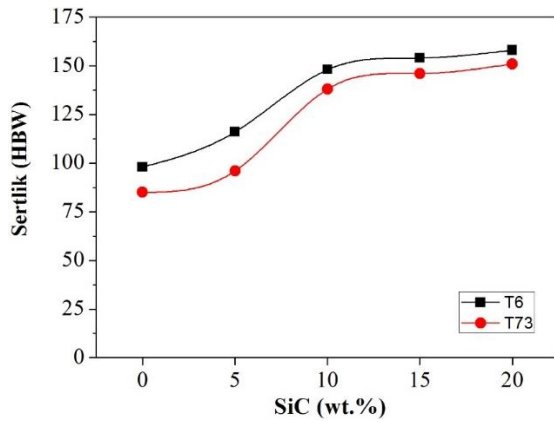
Şekil 6. Kompozit numunenin çizgisel EDX analizi (SEM image and line scan EDX analysis of the composite sample).



Şekil 7. T6 and T73 ısı işlemleri numunelerin SEM görüntüleri ve çizgisel EDX analizleri (SEM images and line scan EDX analyses of T6 and T73 tempered samples).

küçük boyutlu ve iyi bir dağılım gösterdiği tespit edilmiştir. T73 ısıtılmalı numunelerde ise aşırı yaşlanmaya bağlı olarak tane irileşmesi meydana geldiği görülmüştür. Çökeltilerin irileşmesinde aşırı yaşlandırmanın etkili olduğu çeşitli çalışmalarda da rapor edilmiştir [17,24].

Isıl işlem türü ve SiC içeriğine bağlı sertlik değişimi Şekil 8'de görülmektedir. Her iki yaşlandırma işleminde de, matris yapıya ilave edilen partikül miktarının artışı, dağılım sertleşmesi mekanizması ile kompozitin sertlik değerlerinde artışa neden olmuştur. Kompozit malzemelerde artan sert faz içeriği kompozitin sertliğinde artış meydana getirdiği çeşitli çalışmalarda da rapor edilmiştir [13,25–30]. Ancak, kompozitlerin sertliği yalnızca partikül içeriğine bağlı olmayıp, gözenek miktarı, şekli ve boyutu ile takviye elemanı boyutu, matristeki dağılımı ve topaklanması gibi birçok faktöre de bağlıdır [26]. Matris yapıya ilave edilen partikül miktarı kritik sınır üzerine çıktığında ise takviye elemanlarında meydana gelen topaklanmalar kompozitin sertliğinin düşmesine neden olmaktadır [7]. Şekil 8'de görüldüğü gibi %5 ve %10'luk partikül ilavesi kompozitin sertliğinde kayda değer bir artış meydana getirirken, %15 ve %20 partikül ilaveli kompozitlerde artış eğilimi aynı şekilde devam etmeyip yataya yakın bir seyir göstermiştir. Bu durum, %15 ve %20'lik partikül ilavesinin yoğunluğu azaltması ve buna bağlı gözenek artışıyla açıklanabilir [31].

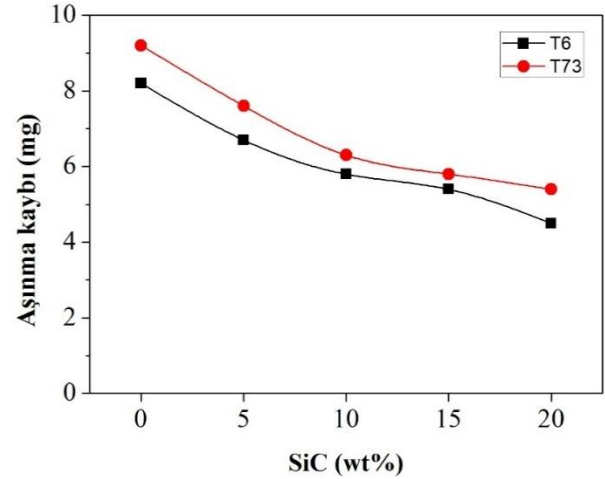


Şekil 8. Isıl işlem ve partikül içeriğine bağlı sertlik değişimi (Variation of hardness with the tempers and SiC particle content).

Isıl işlem sıcaklığı dikkate alındığında en yüksek sertlik değerleri T6 ısıtılmalı numunelerde elde edilmiştir. T73 ısıtılmalı işlemi ile elde edilen sertlik değerleri T6 ısıtılmalı işlemine göre nispeten %15-20 daha düşük değerlerde kalmıştır. Sertlik değerlerinin düşük seviyelerde kalması T73 yaşlandırma işleminin ikinci kademesinde uygulanan yüksek sıcaklığın neden olduğu aşırı yaşlanma ile tane içi ve sınırlarındaki çökeltilerin kabalaşması ile açıklanabilir [32,33].

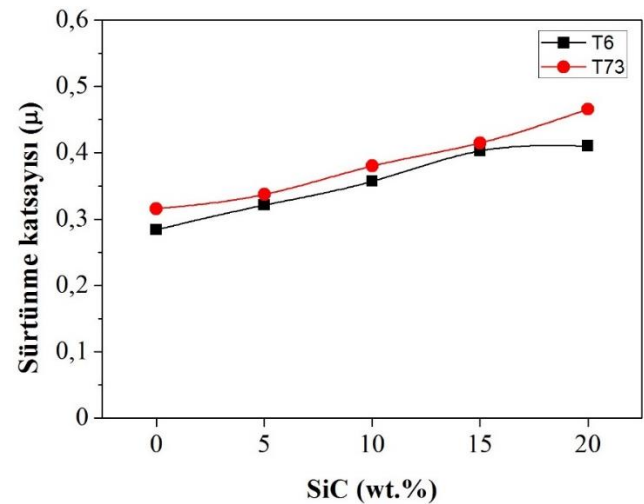
Alaşım ve kompozit numunelerin partikül içeriği ve ısıtılmalı işlem türüne bağlı aşınma kayıpları Şekil 9'da görülmektedir. Genel aşınma prensibi olarak matris yapıya eklenen partiküllerin neden olduğu sertlik artışı,

kompozitlerin aşınma dayanımını arttırırken aşınma kayıplarını azaltmıştır. Alüminyum matrisli kompozitlerin aşınma direnciyle ilgili benzer sonuçları ortaya koyan çeşitli çalışmalar mevcuttur [23,32,33]. Ayrıca, yaşlandırma işlemleri sonrası ulaşılan sertlik değerleri dikkate alındığında, T6 ısıtılmalı numuneler T73 ısıtılmalı numunelere göre daha iyi aşınma performansı göstermiştir.



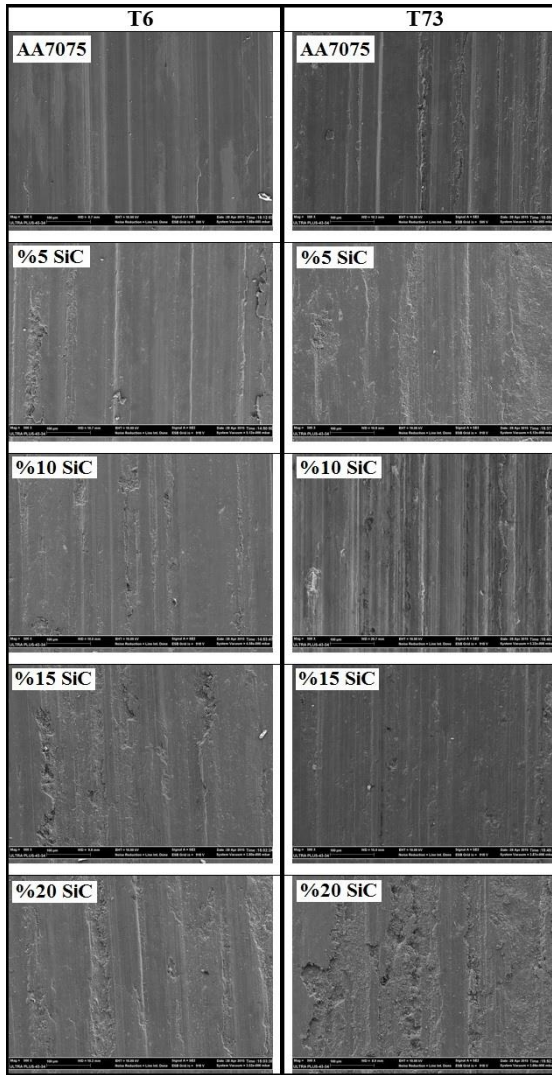
Şekil 9. Isıl işlem ve partikül içeriğine bağlı aşınma kaybı değişimi (Variation of weight loss with the tempers and SiC particle content).

Aşınma testlerinden elde edilen anlık sürtünme kuvvet değerleri incelendiğinde, her iki ısıtılmalı işlem türünde de en düşük sürtünme katsayıları alaşım numunelerde elde edilirken, matris yapıya ilave edilen partikül miktarının artışıyla birlikte sürtünme kuvvet değerlerinin arttığı tespit edilmiştir (Şekil 10). Ayrıca ortalama sürtünme kuvvet değerleri birbirine çok yakın olmakla birlikte, T6 ısıtılmalı işleminin alaşım ve kompozit numunelerin sürtünme özelliklerini iyileştirdiği söylenebilir. Alüminyum alaşımalarında artan sertliğe bağlı olarak sürtünme katsayısının azaldığı çeşitli çalışmalarda da rapor edilmiştir [33,36].



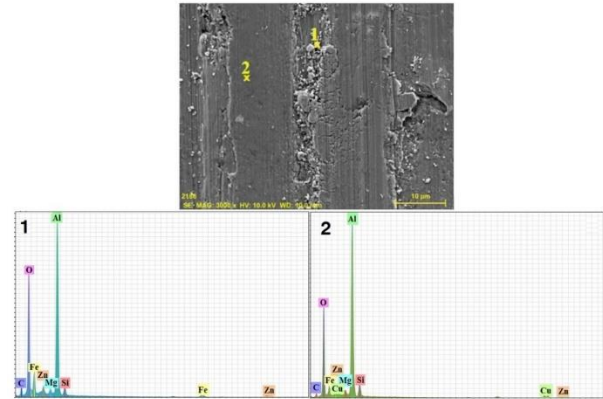
Şekil 10. Isıl işlem ve partikül içeriğine bağlı sürtünme katsayısı değişimi (Variation of friction coefficient with the tempers and SiC particle content).

Şekil 11’de T6 ve T73 ısıt işlemleri uygulanan AA7075 alaşım ve kompozit numunelerin 40N yük altında ve 1 ms^{-1} kayma hızında elde edilen aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri verilmektedir. Aşınma yüzeyleri incelendiğinde adhesif ve abrasif aşınma mekanizmalarının meydana geldiği anlaşılmaktadır. Aşınma yüzeylerinde adhesif aşınmaya bağlı plastik deformasyon ve kopma şeklinde malzeme transferlerinin yanı sıra, kayma yönünde dar ve derin yırtıklarla birlikte oldukça geniş oluk şeklinde aşınma bölgelerinin olduğu da görülmektedir. Özellikle takviye oranının artmasına bağlı olarak takviye elemanlarının toplanması sonu düşük bağ kuvvetinin olduğu belgelerde meydana gelen kopmalar daha çok %15 ve %20 partikül içeren kompozit numunelerde tespit edilmiştir. Meydana gelen bu kopmaların aşınma şiddetini arttırdığı, yüzey görünümünden de anlaşılmaktadır. Ayrıca ısıt işlem türüne bağlı olarak aşınma mekanizmaları arasında ayırt edilir bir farklılık tespit edilememiştir.



Şekil 11. Alaşım ve kompozit numunelerin aşınma yüzey SEM görüntüleri (SEM images of the worn surface of the alloy and composite samples).

Şekil 12’de T6 ısıt işlem uygulanmış %10 SiC takviyeli kompozit numuneye ait aşınma yüzeyi SEM görüntüsü ve EDX analizleri verilmektedir. Analizlerde Fe ve O değerlerinin mevcudiyeti dikkat çekmektedir. Aşınma sırasında sürtünme yüzeyinde artan sıcaklığa bağlı olarak oksit tabakası oluşmaktadır. Ayrıca, aşındırıcı diskten yüzeyinde meydana gelen aşınmalar nedeniyle disk yüzeyinden kopan parçacıkların numune yüzeyine yapıştığı EDX analiz sonucundaki Fe elementinin varlığıyla anlaşılmaktadır.



Şekil 12. Kompozit numunenin aşınma yüzey görüntüsü ve EDX analizleri (Worn surface image and EDX analyzes of the composite sample).

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada toz metal kompaktların sıcak ekstrüzyonu ile farklı SiC partikül içeriğine sahip AA7075 Al matrisli kompozitlerin mikroyapı, sertlik ve tribolojik özelliklerine T6 ve T73 ısıt işlemlerinin etkisi incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda ulaşılan sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

1. Toz metal kompaktların sıcak ekstrüzyonu ile AA7075/SiC_p Al matrisli kompozitler başarılı bir şekilde üretilmektedir.
2. SiC partikül ilavesi yoğunluk artışı ile birlikte kompozitlerin sertlik ve aşınma dayanımlarını arttırmıştır.
3. T6 ısıt işlemi sertlik artışı ile birlikte alaşım ve kompozit numunelerin sürtünme ve aşınma özelliklerini iyileştirmiştir.
4. Her iki ısıt işlem türünde de baskın aşınma mekanizması abrasiftir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Bu çalışma Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri programı ile desteklenmiştir (Proje No: KBÜ-BAP-14/2-YL-019).

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Ezatpour H. R., Torabi Parizi M., Sajjadi S. A., Ebrahimi G. R. and Chaichi A., "Microstructure, mechanical analysis and optimal selection of 7075 aluminum alloy

- based composite reinforced with alumina nanoparticles", *Materials Chemistry and Physics*, 178: 119–127, (2016).
2. Mohammed K. S. and Naeem H. T. "Corrosion Behaviour of Al 2 O 3p Reinforced Al-Zn-Mg-Cu-Ni-Co Alloy Fabricated via PM", *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 4: 2–6 (2015).
 3. Çevik B., Özçatalbaş Y. and Gülenç B. "Effect of welding speed on the mechanical properties and weld defects of 7075 Al alloy joined by FSW", *Kovove Materialy*, 54: 241-247, (2016).
 4. Übeyli M., Balci E., Sarikan B., Öztas M. K., Camuşcu N., Yildirim R. O. and Keleş Ö., "The ballistic performance of SiC-AA7075 functionally graded composite produced by powder metallurgy", *Materials and Design*, 56: 31–36, (2014).
 5. Cruz S., Rey P., Román M. and Merino P. "Influence of Content and Particle Size on Properties of Tic Reinforced 7075 Aluminum Matrix Composite", *15th European Conference on Composite Materials*, 1–8, (2012).
 6. Hernández-Martínez S.E., Cruz-Rivera J.J., Garay-Reyes C.G. Martínez-Sánchez and R. Estrada-Guel, I., "Comparative study of synthesis of AA 7075-ZrO₂metal matrix composite by different mills", *Journal of Alloys and Compounds*, 643: S107–S113, (2015).
 7. Shen, Q., Wu, C., Luo, G., Fang, P., Li, C., Wang, Y. and Zhang, L. "Microstructure and mechanical properties of Al-7075/B₄C composites fabricated by plasma activated sintering", *Journal of Alloys and Compounds*, 588: 265–270, (2014).
 8. Karunanithi R., Bera S. and Ghosh K.S., " Electrochemical behaviour of TiO₂ reinforced Al 7075 composite", *Materials Science and Engineering B*, 190: 133–143, (2014).
 9. Shanbhag V. V., Yalamoori N. N., Karthikeyan S., Ramanujam R. and Venkatesan K., "Fabrication, surface morphology and corrosion investigation of Al 7075-Al 2O₃ matrix composite in sea water and industrial", *Procedia Engineering*, 97: 607–613, (2014).
 10. Ramakoteswara V., Ramanaiyah N., Moulana M. and Sarcar M., "Mechanical and tribological properties of AA7075 – TiC metal matrix composites under heat treated (T 6) and cast conditions", *Integrative Medicine Research*, 5: 377–383, (2016).
 11. Kennedy A. R. and Wyatt S. M. "Characterizing particle-matrix interfacial bonding in particulate Al-TiC MMCs produced by different methods", *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 32: 555–559 (2001).
 12. Daoud A. and Reif W. "Influence of Al₂O₃ particulate on the aging response of A356 Al-based composites", *Journal of Materials Processing Technology*, 123: 313–318, (2002).
 13. Hasırcı H. and Gül F. "Investigation of abrasive wear behaviours in B₄c /Al composites depending on reinforcement volume fraction", *SDU International Technologic Science*, 2: 15–21, (2010).
 14. Kumar S., Chakraborty M., Sarma V. S. and Murty B. S. "Tensile and wear behaviour of in situ Al–7Si/TiB₂ particulate composites", *Wear*, 265: 134–142, (2008).
 15. Çevik B., Özçatalbaş Y. and Gülenç B. " Friction stir welding of 7075-T651 aluminium alloy", *Practical Metallography*, 53: 6-23 (2016).
 16. Li J. F., Peng Z. W., Li C. X., Jia Z. Q., Chen W. J. and Zheng Z. Q., "Mechanical properties, corrosion behaviors and microstructures of 7075 aluminium alloy with various aging treatments", *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*, 18: 755–762, (2008).
 17. Baydoğan M., Çimenoglu H. ve Kayalı E. S. "RRA işleminin 7075 alaşımının mekanik özelliklerine etkisi", *İTÜ Dergisi*, 108–116, (2004).
 18. Abreu, C. M., Cristóbal, M. J., Figueroa, R. and Pena, G. "Wear and corrosion performance of two different tempers (T6 and T73) of AA7075 aluminium alloy after nitrogen implantation", *Applied Surface Science*, 327: 51–61, (2015).
 19. Holt, R. T., Raizenne, M. D., Wallace, W. and DuQuesnay, D. L. "RRA Heat Treatment of Large Al 7075-T6 Components", *RTO AVT Workshop on "New Metallic Materials for the Structure of Aging Aircraft"*, 7.1-7.11, (1999).
 20. Ranganatha R., Anil Kumar V., Nandi V. S., Bhat R. R. and Muralidhara B. K., "Multi-stage heat treatment of aluminum alloy AA7049", *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*, 23: 1570–1575, (2013).
 21. Taleghani M. A. J., Navas E. M. R. and Torralba J. M. "Microstructural and mechanical characterisation of 7075 aluminium alloy consolidated from a premixed powder by cold compaction and hot extrusion", *Journal of Materials and Design*, 55: 674–682, (2014).
 22. Kaczmar J. W. and Pietrzak K. "The production and application of metal matrix composite materials", *Journals of Materials Processing Technology*, 106: 58–67, (2000).
 23. Wang Z., Song M., Sun C. and He Y. "Effects of particle size and distribution on the mechanical properties of SiC reinforced Al-Cu alloy composites", *Materials Science and Engineering A*, 528: 1131–1137, (2011).
 24. Danh N. C., Rajan K. and Wallace W., "A TEM study of microstructural changes during retrogression and reaging in 7075 aluminum", *Metallurgical Transactions A*, 14: 1843–1850, (1983).
 25. Rahimian M., Parvin N. and Ehsani N. "Investigation of particle size and amount of alumina on microstructure and mechanical properties of Al matrix composite made by powder metallurgy", *Materials Science and Engineering A*, 527: 1031–1038, (2010).
 26. Mahajan G., Karve N., Patil U., Kuppan P. and Venkatesan K. "analysis of microstructure , hardness and wear of Al-SiC-TiB₂ hybrid metal matrix composite", *Indian Journal of Science and Technology*, 8: 101–105, (2015).
 27. Mazahery A., Abdizadeh H. and Baharvandi H. R., "Development of high-performance A356/nano-Al₂O₃ composites", *Materials Science and Engineering A*: 518, 61–64, (2009).
 28. Mazahery A. and Shabani M. O. "Characterization of cast A356 alloy reinforced with nano SiC composites", *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*, 22: 275–280, (2012).
 29. Reddy M. S., Chetty S. V., Premkumar S. and Reddappa H. N., "Influence of reinforcements and heat treatment on

- mechanical and wear properties of Al 7075 based hybrid composites" *Procedia Materials Science*: 5: 508–516, (2014).
30. Karabulut Ş., Karakoç H. and Çıtak R. "Influence of B 4 C particle reinforcement on mechanical and machining properties of Al6061/B4C composites", *Composites Part B*, 101, (2016).
 31. El-kady O. and Fathy A. "Effect of SiC particle size on the physical and mechanical properties of extruded Al matrix nanocomposites", *Materials and Design*, 54: 348–353, (2014).
 32. Ateş E. A. and Güral A., "A Study on ageing of AA2014-Al4C3 composite materials produced by P/M", *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31: 65–71, (2016).
 33. Yılmaz R., Özyürek D. and Kibar E. "The Effects of retrogression parameters on hardness and wear behaviours of 7075 aluminum alloys" *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 27: 429–438, (2012).
 34. Diler E. A. and Ipek R. "An experimental and statistical study of interaction effects of matrix particle size, reinforcement particle size and volume fraction on the flexural strength of Al–SiCp composites by P/M using central composite design", *Materials Science and Engineering: A*, 548: 43–55, (2012).
 35. Akhlaghi F., Lajevardi A. and Maghanaki H. M. "Effects of casting temperature on the microstructure and wear resistance of compocast A356/SiCp composites: a comparison between SS and SL routes", *Journal of Materials Processing Technology*, 155–156: 1874–1880, 2004).
 36. Özyürek D., Tunçay T. and Kaya H. "The effects of T5 and T6 heat treatments on wear behaviour of AA6063 alloy". *High Temperature Materials and Processes*, 33: 231–237, (2014).