



Araştırma Makalesi / Research Article

SİNERLEME SICAKLIĞININ MEKANİK ALAŞIMLAMA İLE ÜRETİLMİŞ OKSİT TAKVİYELİ A360 KOMPOZİTLERİNİN MİKROYAPI VE SERTLİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ*

THE EFFECT OF SINTERING TEMPERATURE ON THE MICROSTRUCTURE AND HARDNESS PROPERTIES OF OXIDE-REINFORCED A360 COMPOSITES PRODUCED BY MECHANICAL ALLOYING

Salih Bilal ÇETİNKAL¹

Mustafa ACARER²

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbid.1444821>

Sorumlu Yazar / Corresponding Author
bilal.cetinkal@selcuk.edu.tr

Geliş Tarihi / Received
03.03.2024

Kabul Tarihi / Accepted
14.03.2024

Öz

Bu çalışmada, Toz metalurjisi yöntemi ile üretilen nano boyutta Y_2O_3 takviyeli A360 kompozitlerinin mikroyapı ve mekanik özellikleri üzerine sinterleme sıcaklığının etkisi karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Mekanik alaşımlama yöntemi ile 1 saat öğütülen tozların mikroyapıları taramalı elektron mikroskopuyla (SEM) incelenmiştir. Daha sonrasında bu tozlar beş farklı sinterleme sıcaklığı (550, 575, 600, 625, ve 650 °C) altında preslenerek kompozit numuneler üretilmiştir. Elde edilen numunelerin mikroyapısal değişimleri ise optik mikroskop ile değerlendirilmiştir. Farklı sinterleme sıcaklıklarında üretilen numunelerin mekanik özelliklerini karakterize etmek için yoğunluk ve Brinell sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Hem yoğunluk hem de sertlik değerleri 625 °C sıcaklığına kadar düzenli olarak artarken bu sıcaklıktan sonraki son sıcaklık olan 650 °C' de azalma eğilimine girmiştir. Sonuç olarak, 625 °C'de sinterlenen numuneler, 550 °C'de sinterlenenlere kıyasla %100'den fazla sertlik artışı gösterdi.

Anahtar Kelimeler: A360, mekanik alaşımlama, mikroyapı, sertlik, sinterleme sıcaklığı.

Abstract

In this study, the effect of sintering temperature on the microstructure and mechanical properties of A360 composites reinforced with nano-sized Y_2O_3 produced by powder metallurgy method has been comparatively examined. The microstructures of the powders, subjected to 1 hour of milling using the mechanical alloying method, were scrutinized through scanning electron microscopy (SEM). Subsequently, these powders were pressed under five different sintering temperatures (550, 575, 600, 625, and 650 °C) to produce composite samples. The microstructural alterations in the obtained samples were assessed using an optical microscope. Density and Brinell hardness measurements were conducted to define the mechanical properties of samples produced under varying sintering temperatures. Both density and hardness values consistently increased until the temperature reached 625 °C, beyond which, at the final temperature of 650 °C, a declining trend was observed. Consequently, samples sintered at 625 °C exhibited a hardness increase of more than 100% compared to those sintered at 550 °C.

Keywords: A360, hardness, mechanical alloying, microstructure, sintering temperature.

*Bu yayın Salih Bilal ÇETİNKAL isimli öğrencinin Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Programındaki doktora tezinden üretilmiştir. Çalışma S.Ü. BAP 23111009 nolu tez projesi ile desteklenmiştir.

¹Selçuk Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Konya, Türkiye.
bilal.cetinkal@selcuk.edu.tr Orcid.org/0000-0001-6212-7670.

²Selçuk Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Konya, Türkiye.
macarer@selcuk.edu.tr Orcid.org/0000-0003-2876-4881.

1. GİRİŞ

A360 (Al-10Si-0.5Mg) alaşımı mukavemet/ağırlık oranının yüksek olması, çok iyi korozyon direnci, iyi iletkenlik, aşınma direnci ve mükemmel dökülebilirlik gibi özelliklerinden dolayı otomotiv ve havacılık endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Guo ve ark., 2022; Lin ve ark., 1999). Bu alaşımın ana alaşım elementleri Si ve Mg'dur. Si oranına bağlı olarak alaşımın ergime sıcaklığı ötektik sıcaklığa yakındır, bu da alaşımın sıcak yırtılma direncini arttırmaktadır. Mg da, Mg₂Si fazı oluşturarak yaşlandırma ile mukavemetin artmasına katkı sağlamaktadır (Bharath ve ark., 2021; Vončina ve ark., 2011).

A360 alaşımında her ne kadar yaşlandırma ile mukavemetin artması sağlanabilse de yaşlandırma ile ulaşılabilecek mukavemeti sınırlı kalmaktadır. Daha yüksek sertlik ve mukavemet değerlerine ulaşılabilmeyen yollarından birisi alaşıma ekstra ikinci faz partiküllerinin ilavesi edilmesidir (Sunar & Cetin, 2021; Sübütay & Şavklıyıldız, 2023). SiC, TiC, Al₂O₃ ve B₄C gibi takviyeler ikinci faz partikülü olarak yaygın olarak kullanılmaktadır (Kumdalı, 2008). Yapılan çalışmalar, Al356 alaşımına ilave edilen oksitli ve karbürü seramik esaslı takviyelerin alaşımın sertliğini ve çekme mukavemetini arttırdığını göstermektedir (Mazahery ve ark., 2012; Sajjadi ve ark., 2012). Yapılan başka bir çalışmada toz metalurji ile üretilen AA7075 alaşımına Y₂O₃ nano partikül ilavesi yapılmış ve belirli öğütme sürelerinde mukavemetin arttığı gözlemlenmiştir (Salur ve ark., 2021). Cambroner ve ark., (2003) yaptıkları çalışmada, AA7015 alüminyum alaşımına Si₃N₄, TiB₂ ve B₄C gibi seramik partikül ilaveleri yapmış ve yapılan ilavelerin sertliği arttırdığını ifade etmiştir. Dobrzański ve ark., (2006) yaptıkları çalışmada, alüminyum 2024 alaşımına yaptıkları BN ve Al₂O₃ partikül ilavelerinin alaşımın sertliğini ve mukavemetini arttırdığını ifade etmişlerdir. Orhan ve ark., (2007) yaptıkları çalışmada, Al matrisli B₄C takviyeli kompozitleri sıcak pres yöntemi ile üretmişlerdir. Takviye oranını ağırlıkça %10, 20 ve 30 olarak kullanmışlar ve takviyenin oranının artmasıyla kompozitin sertliğinin arttığını ifade etmişlerdir. Y₂O₃ de yeni yeni kullanılmaya başlayan takviye elemanlarından birisidir ancak halihazırda kullanımı oldukça azdır (Salur, 2021).

Alüminyum alaşımları için en çok kullanılan üretim yöntemlerinden birisi dökümdür (Otarawanna & Dahle, 2011). Ancak döküm yönteminin bazı dezavantajları vardır. Takviye elemanının alüminyum tarafından ıslatılabilir olması gerekmektedir. Çekme, gaz boşluğu gibi sıvı metalin katılması sırasında da bazı olumsuzluklar oluşabilmektedir (Haydar, 2012). Takviye edilen partiküllerin sıvıda homojen dağılmasındaki güçlükler de sayılabilecek olumsuzluklar arasındadır (Yürüker, 2010). Bu olumsuzluklar diğer bir üretim yöntemi olan toz metalurjisi yönteminde daha çok kontrol edilebilir şekildedir (Orhan ve ark., 2007). Toz metalurjisi yöntemi özellikle döküm yöntemi ile üretimi zor olan parçaların üretiminde, kompleks şekilli parçaların üretiminde ekonomik olarak ön plana çıkmaktadır. Son zamanlarda oldukça yaygın hale gelen toz metalurjisi yönteminde, parçalar belirli şekilde soğuk pres ve ardından sinterleme ve sıcak pres gibi yöntemler kullanılarak üretilmektedir (Angelo ve ark., 2022; Kaufman & Rooy, 2004; Topcu, 2023). Sıcak pres, soğuk presene nazaran daha yüksek yoğunlukta numuneler elde edilmesine imkan sağlamaktadır (Rahmani ve ark., 2020). Sıcak presleme yönteminde sıcaklık ve basınç gibi değişken parametreler kullanılarak üretilen parçaların mikroyapı ve mekanik özelliklerinin değiştirilmesi mümkündür (Yıldız ve ark., 2018).

Bu çalışmada, geri dönüştürülen talaşlardan imal edilen A360 tozuna Y₂O₃ seramik partikül katkısı yapılarak mekanik alaşımlanan tozlar, toz metalurjisi yöntemi ile sıcak pres yapılarak üretilmişlerdir. Üretim sırasında sıcak presleme sıcaklıkları değiştirilerek, sıcaklığın mikroyapı ve mekanik özelliklere (sertlik, yoğunluk) etkisi incelenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, matris malzemesi olarak talaşlı imalat sonrasında çıkan A360 talaşları, takviye malzemesi olarak da %99,99 saflıkta Y_2O_3 nano partikül tozları kullanılmıştır. A360' a ait kimyasal kompozisyonu gösteren X-ışınları Floresans (XRF) sonuçları Tablo 1' de verilmiştir. A360 alaşımının ve Y_2O_3 tozlarının fiziksel özellikleri ise sırasıyla Tablo 2 ve Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 1. A360 Alaşımının Ağırlıkça Kimyasal Bileşenleri

	Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Ni	Ti	Pb	Sn
A360	0,50	9,86	0,04	0,53	0,37	0,04	0,009	0,05	0,005	0,04

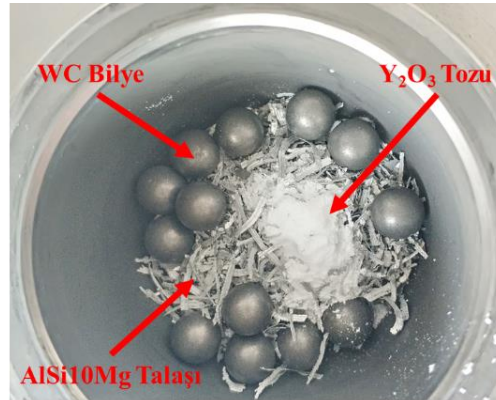
Tablo 2. A360 Alaşımının Fiziksel Özellikleri

Özellik	A360
Form	Talaş
Boyutu	2-20 mm
Teorik yoğunluk (g/cm^3)	2,64

Tablo 3. Y_2O_3 Tozların Fiziksel Özellikleri

Özellik	Y_2O_3
Toz şekli	Küresel
Toz boyutu	50 nm
Teorik yoğunluk (g/cm^3)	5,01

Matris malzemesi ağırlıkça %95 ve takviye malzemesi ise ağırlıkça %5 olarak belirlenmiştir. A360 talaşından 9,5 gr ve Y_2O_3 tozundan 0,5 gr tartılarak Şekil 1' de görüldüğü gibi tungsten karbür (WC) öğütme haznesi içerisine konulmuştur. Mekanik öğütme işlemi için, 10 mm çapında WC bilyeler, bilye/toz oranı 10:1 olacak şekilde hazne içerisine konulmuştur.

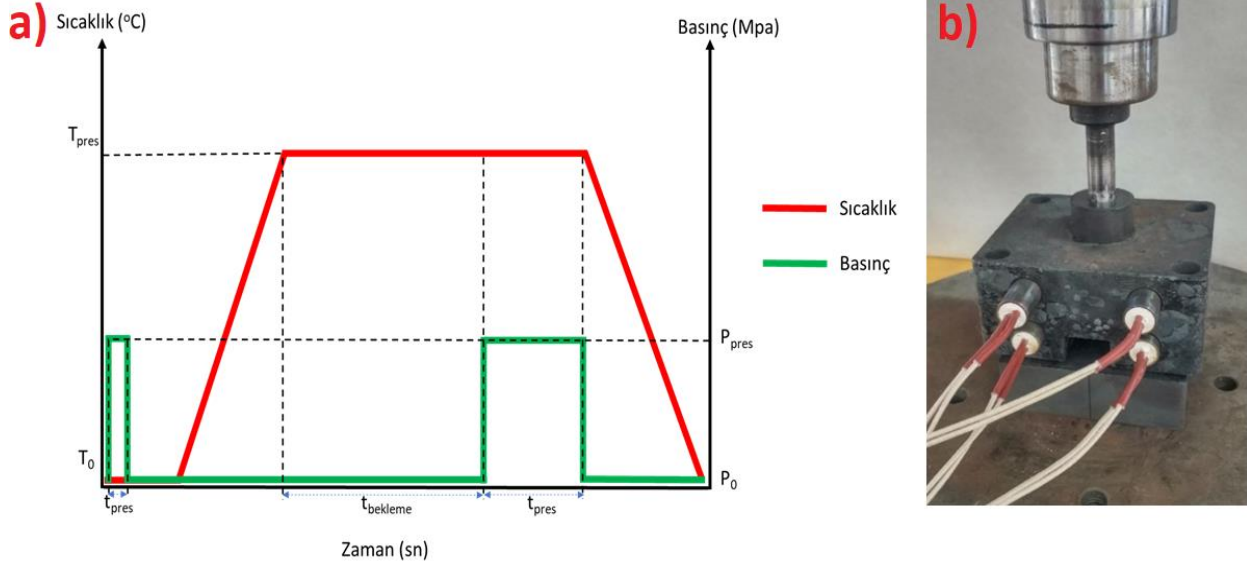


Şekil 1. Öğütme Öncesi Hazne İçerişi

Öğütme esnasında hem soğuk kaynağı engellemek hem de öğütmeyi hızlandırmak için işlem kontrol katkısı (İKK) olarak %2 hekzan ilave edilmiştir. A360/ Y_2O_3 karışımı 350 rpm dönme hızında 1 saat süre ile mekanik öğütme işlemine tabi tutulmuştur.

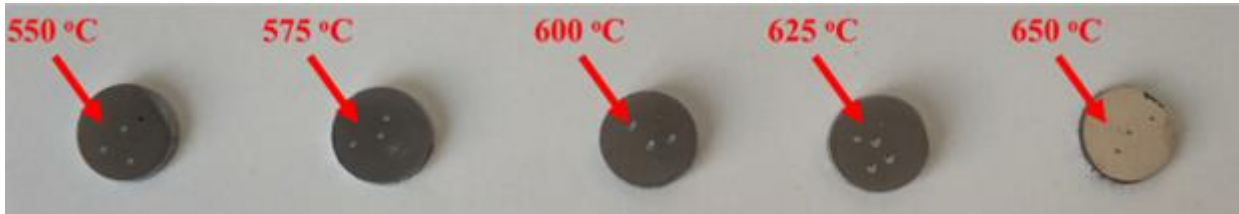
Sıcak pres üretiminden önce tozların bulk hale getirilmesi için, mekanik öğütülmüş 1 gr. kompozit tozları 180 MPa basınç altında 1 dk süre ile soğuk preslenmiştir. Soğuk preslenen tozlar, Şekil

2.a' da gösterilen sıcak presleme işlem adımlarına uygun şekilde sıcak olarak preslenmiştir. Şekil 2.b' de gösterilen özel olarak tasarlanmış kalıp içerisinde belirlenen 5 farklı sıcaklıkta (550, 575, 600, 625, 650 °C) 180 MPa basınç altında 5 dk süreyle sıcak presleme işlemine tabi tutulmuştur.



Şekil 2. a) Sıcak Pres İşlem Aşamaları, b) Sıcak Pres Görşeli

Çalışmada üretilen numunelere metalografik numune hazırlama işlemi uygulanmıştır. Numuneler ilk olarak 800-2000 grid zımpara ile zımparalanmıştır. Daha sonra numuneler sırasıyla 6 µm ve 0,5 µm alümina pasta ile parlatılmıştır (Şekil 3). Parlatılan numuneler mikroyapının açık bir şekilde ortaya çıkarılması için Modifiye Keller solüsyonu ile dağlanmıştır.



Şekil 3. Sıcak Pres Yöntemi ile Üretilen Numuneler

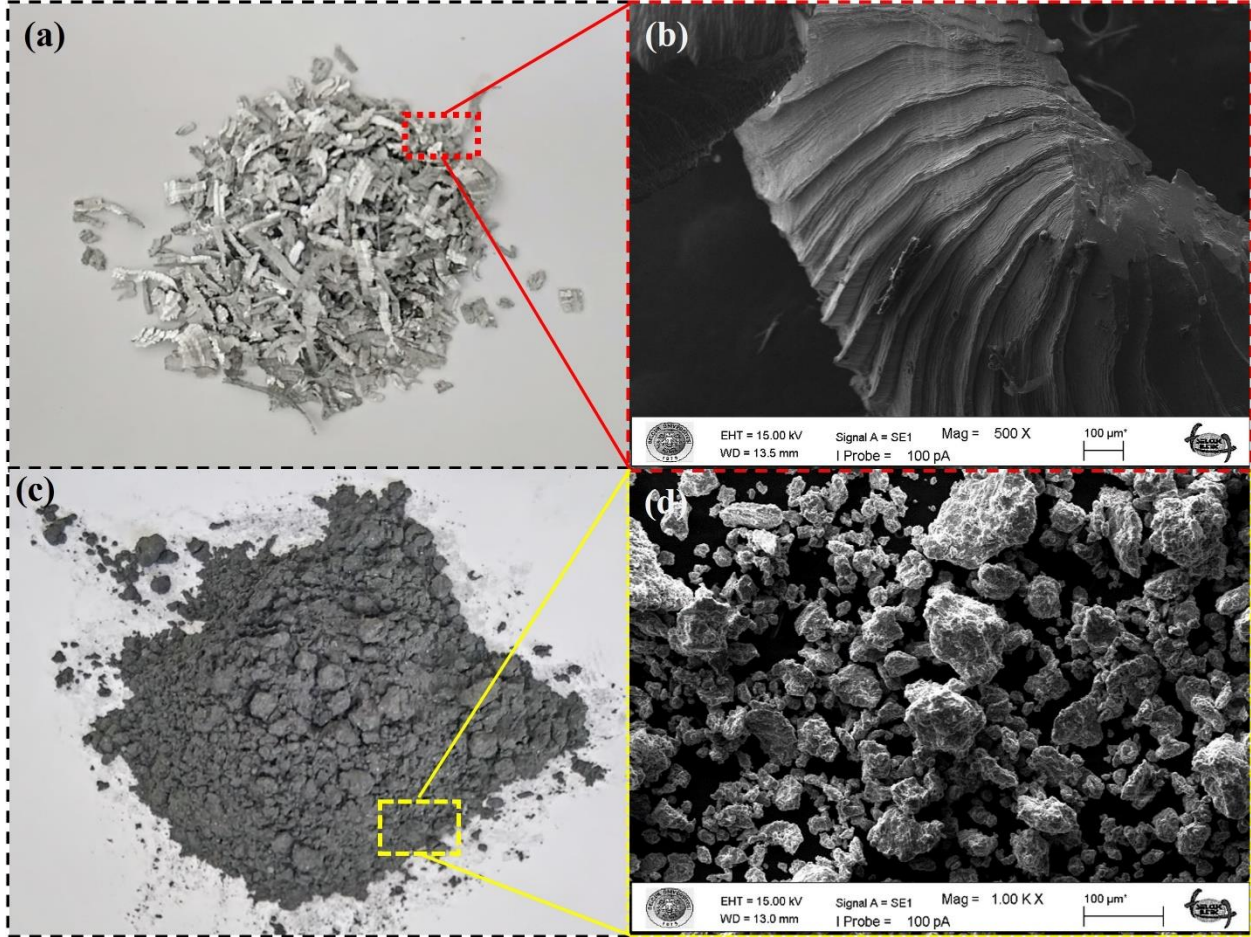
Numunelere sırayla mikroyapı analizi, sertlik ve yoğunluk ölçümü yapılmıştır. Mikroyapı analizinde Nikon Eclipse MA100 mikroskop kullanılmıştır. Sertlik ölçümünde DIGIROCK-LC-RBOV sertlik ölçüm cihazı kullanılmış ve ölçümler Brinell sertlik metoduna göre 62,5 kgf yük altında ile yapılmıştır. Yoğunluk ölçümünde Precisa XB220A cihazı kullanılmış ve ASTM B595-11 standardında yer alan Arşimed prensibine göre yapılmıştır. Sertlik ve yoğunluk ölçüm sonuçları 5 tekrarın ortalaması alınarak sunulmuştur.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

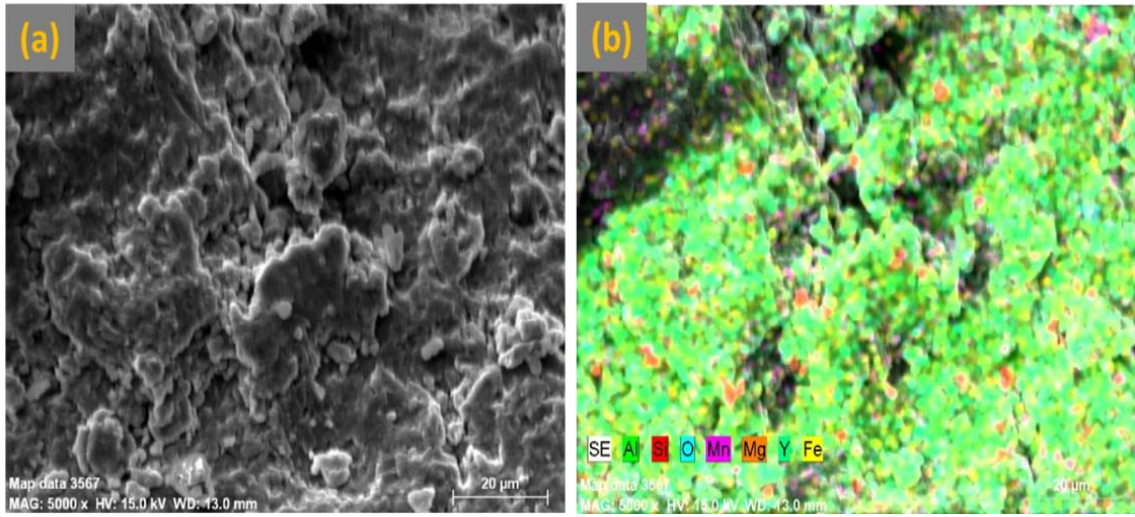
3.1. Sinterleme Sıcaklığının Mikroyapı Morfolojisine Etkisi

Bu çalışma kapsamında kullanılan matris ve takviye malzemelerinin başlangıç şekil ve morfolojilerini ifade eden makro ve mikro yapıları Şekil.4' de yer almaktadır. Çalışmada kullanılan mekanik alaşımlanmış ağ.%5 nano Y₂O₃ partikül takviyeli A360 alaşımına ait taramalı elektron görüntüsü (SEM) ve elementlerin yapı içerisinde dağılımını gösteren SEM- haritalama

görüntüsü sırası ile Şekil.5 (a) ve (b)' de verilmiştir. Şekilden nano Y_2O_3 partikül takviye edilmiş A360 geri dönüşüm talaşına uygulanan mekanik alaşımlama işlemi neticesinde, hem talaşların boyutlarının mm seviyesinden mikron (μm) seviyelerine indiği hem de takviye malzemesinin matris içerisinde homojen bir dağılım sergilediği göstermektedir(Salur ve ark., 2021). Mekanik alaşımlamada tozlar yüksek enerjili öğütme nedeniyle düzleşme eğilimi gösterir. Düzleşen morfoloji, bilyalı öğütme işleminin etkisi ile ilk toz boyutundan daha küçük boyuttaki parçacıklara dönüşür (Sübütay & Şavklıyıldız 2023).

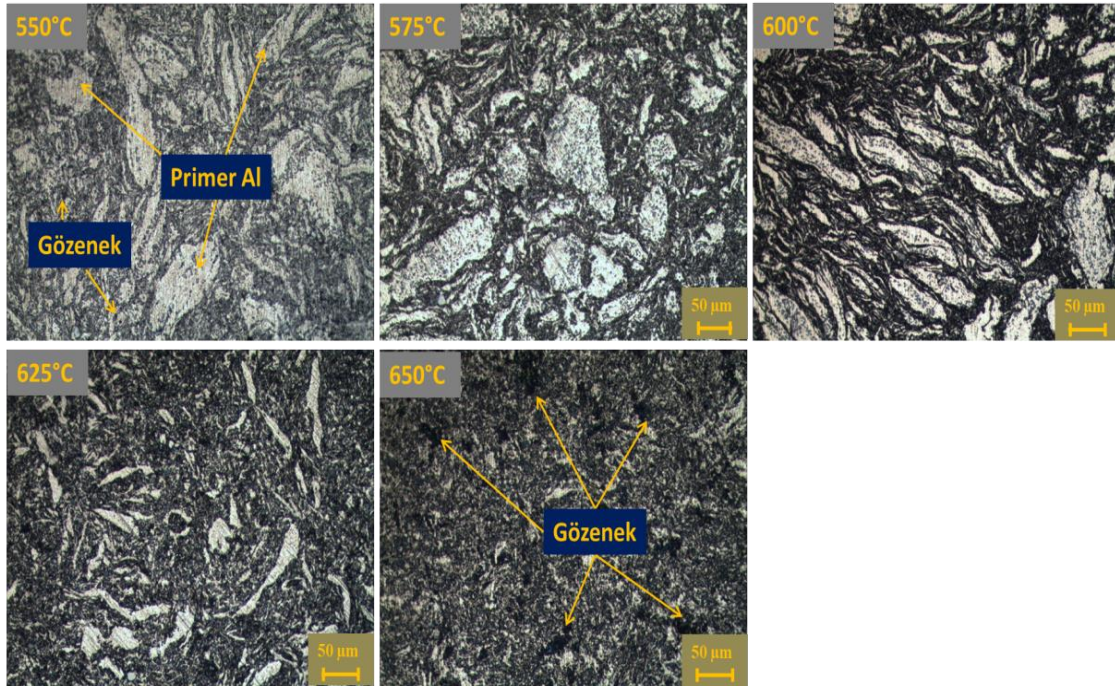


Şekil 4. Matris ve Takviye Elemanı Olarak Kullanılan Malzemelerin Şekil ve Boyutunu Gösteren Makro ve Mikro Yapıları (a) A306 Metal Talaşı, (b) A360 Talaşının SEM Görüntüsü, (c) Öğütülmüş Tozların Makro Görüntüsü, (d) Öğütülmüş Tozların SEM Görüntüsü



Şekil 5. Mekanik Alaşımlanmış A360/Y₂O₃ Alaşımlımının (a) SEM Görüntüsü ve (b) SEM-Haritalama Görüntüsü

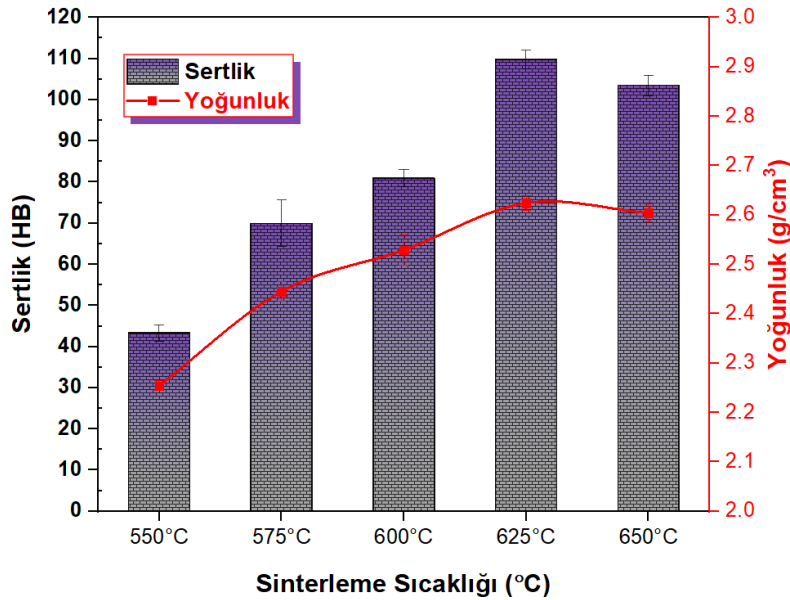
Şekil 6' da mekanik alaşımlanmış Y₂O₃ partikül takviyeli A360 alaşımlımının mikroyapı sinterleme sıcaklığının etkisini açık bir şekilde ortaya koyan optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Çalışmada hem üretim yöntemi olarak seçilen toz metalurjisi proseslerinden olan sıcak pres yönteminden dolayı hem de takviye elemanı olarak seçilen nano Y₂O₃ ile Al tozları arasındaki değişken fiziksel ve mekanik özelliklerden dolayı bütün numunelerin iç yapılarında gözeneklerin varlığı açık bir şekilde görülmektedir. Şekil 6' da sinterlenmiş numunenin iç yapısındaki beyaz kısımlar primer-Al fazına aittir (Ferhat, 2014). 550 °C' de sinterlenmiş numunede sıcaklığa bağlı olarak primer-Al taneleri diğer numunelere nazaran daha büyüktür. Ayrıca oluşan intermetaliklerin yapıya homojen dağılma eğiliminden ziyade aglomere olup kümelendiği açıkça görülmektedir. 575°C' de sinterlenmiş numuneye bakıldığında, primer-Al tanelerinde yer yer küçülmeler meydana geldiği açıkça görülmektedir. Al-Si faz diyagramında (Miao ve ark., 2020) 600°C' de sıvı+αAl ikili faz bölgesinde yarı katı halde bulunan numunede, uygulanan basıncında etkisi ile, taneler pulsu hale gelerek sarmal yapının meydana geldiği görülmektedir. 625°C' de ise pulsu tanelerin küçüldüğü primer-Al fazının azaldığı ve intermetalik fazların yapıda homojen dağıldığı görülmektedir. Ayrıca 550°C den 625°C' ye kadar artan sıcaklıkta numunelerdeki gözenek miktarının artan sıcaklık ile beraber azaldığı şekilden anlaşılmaktadır. 650°C' de sinterlenmiş numunenin mikro yapısı incelendiğinde tane boyunun küçüldüğü, primer-Al fazının (beyaz kısımların) azaldığı ve gözeneklerin düzensiz bir şekilde yapıya dağılarak miktarlarının arttığı anlaşılmaktadır.



Şekil 6. Sinterleme Sıcaklığına Bağlı Olarak $Y_2O_3/A360$ Alaşımının İç Yapısında Meydana Gelen Değişim

3.2. Sinterleme Sıcaklığının Yoğunluk ve Sertlik Değişimine Etkisi

Sinterleme sıcaklığının mekanik alaşımlanmış nano Y_2O_3 takviyeli A360 matrisli alaşımların yoğunluk ve sertlik değerleri üzerine etkisi Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 7. Sinterleme Sıcaklığının Üretilen Alaşımın Yoğunluk ve Sertlik Değerlerine Etkisi

Toz metalurjisi yöntemi ile üretilen numunelerin fiziksel (yoğunluk) ve mekanik (sertlik vb.) özellikleri gözenek (boşluk) miktarı ve dağılımı ile ilişkilidir. Yapı içerisindeki boşlukların parçanın yük taşıma kapasitesini azaltarak daha düşük yüklerde yapının hasara uğramasına sebebiyet verdiği bilinen bir olgudur. Ayrıca boşluklar yapıda gerilimlerin biriktiği merkez olarak görev yapmakta ve oluşan çatlakların rahat bir şekilde ilerlemesine olanak sağlamaktadırlar

(Gökmeşe & Bostan, 2013). Değişen sıcaklıklarda yapılan sinterleme işlemi sonrasında elde edilen numunelerin yoğunluk sonuçları irdelendiğinde 550°C-625°C arasında sıcak pres ile üretilen dört numunenin yoğunluklarında kademeli olarak her adımda artış meydana geldiği fakat 650°C sıcaklıkta sıcak pres ile üretilen numunenin yoğunluk değerinde bir düşüş meydana geldiği Şekil 7' den anlaşılmaktadır. Sıcak pres ile malzeme üretiminde sinterleme sıcaklığı atomik düzeyde difüzyon hızını yükselterek Y₂O₃/A360 arasındaki ıslatabilirliği ve sinterlenebilirliğini geliştirmektedir (Yuan & Lee, 2013; Salur ve ark., 2021). 550°C-575°C-600°C-625°C sıcaklıklarda sıcak pres ile üretilen numunelerin mikroyapısındaki gözeneklerin artan sıcaklık ile azalması sonucunda yapının yoğunluğunun kademeli olarak artmıştır. 650°C sıcaklıkta üretilen numunede ise Şekil 6'da verilen mikroyapı görüntüsünden de anlaşılacağı üzere yapıdaki gözenek miktarının artması ve düzensiz biçimde olması yoğunluk değerinde azaltıcı bir etki sergilemiş olabilir. Ayrıca bu sıcaklıkta yapı tamamen sıvı faz bölgesinde var olduğu için soğuma esnasında soğuk çekinti hatasından kaynaklı yoğunlukta bir düşüş meydana gelmiş olabilir. Sıcak pres sonrasında en yüksek yoğunluk değeri 625°C de üretilen parçada (2,62 g/cm³) elde edilmiştir.

Farklı sıcaklıklarda üretimi gerçekleştirilen numunelerin sertlik değerleri incelendiğinde (Şekil 7), en yüksek sertlik değeri 625°C' de sinterlenmiş numunede (110 HB) tespit edilmiştir. Sıvı faz sinterlemesinde, meydana gelen sıvı haldeki fazın kapiler kuvvet etkisi ile yapı içerisindeki gözenekleri doldurmasından dolayı daha düşük oranlarda ve düzenli halde gözenekler görülmektedir (German ve ark., 2009). Düşük miktarda gözenek içeren yapıların mekanik özelliklerinin yüksek olması bilinen bir olgudur (Karamış ve ark., 2012). Bu sebeple, 550°C' den 625°C ye kadar üretilen dört numunede de sertlik değerleri yükselme eğilimindedir. Sıcaklığın Al'nin ergime derecesinin üzerinde olduğu 650°C' de ise sertlik değerinde düşüş meydana gelmiştir. Sıcak preste yüzde yüz sıvı fazın bulunması numuneye basınç uygulandığı esnada hem kalıba sıvanma olayını gerçekleştirmekte hem de katılma esnasında çekinti olayından dolayı oluşan gözeneklerin düzensiz bir şekilde oluşmasına sebebiyet vermektedir. Bu sebep ile, 650°C de üretilen numunenin iç yapısında gözeneklerin düzensiz bir şekilde dağıldığı bunun da yoğunluk ve sertlik özelliklerini olumsuz etkilediği sonuçlardan görülmektedir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, geri dönüştürülen talaşlardan imal edilen A360 tozuna nano Y₂O₃ takviyesi yapılarak mekanik alaşımlanan tozların, beş farklı sıcaklıkta toz metalurjisi yöntemi olan sıcak pres prosesi ile üretilebilirliği araştırılmış ve ayrıca sıcak pres işlem sıcaklığının üretilen numunelerin mikro yapı, yoğunluk ve sertlik özelliklerine etkisi incelenerek sonuçlar maddeler halinde aşağıda sunulmuştur.

- Çalışma için seçilen bütün sıcaklıklarda numuneler sıcak pres yöntemi ile başarılı bir şekilde üretilmiştir.
- 625°C' ye kadar artan sıcaklıklarda gözeneklerin gittikçe azaldığı ve oluşan intermetaliklerin yapıda homojen bir şekilde dağıldığı belirlenmiştir.
- En yüksek sertlik dayanımı 625°C' de sinterlenmiş numune de 110 HB olarak tespit edilmiştir.
- En yüksek yoğunluk değeri 2,62 g/cm³ ile 625°C' de sinterlenmiş numunede elde edilmiştir.
- 625 °C sıcaklığında sinterlenen numuneler, daha iyi paketlenebilirlik ve sinterlenebilirlik özelliklerinin sağladığı artan yapısal bütünlük nedeniyle 550 °C de sinterlenen numuneye göre sertlik değerlerinde %100'den fazla artış göstermiştir. Meydana gelen bu değişimler malzeme biliminin temelini oluşturan işlem-özellik ilişkisi içerisinde değerlendirilmiştir.

Yazarların Katkısı

Bu çalışmada 1. yazar veri toplama, deney düzeneğinin kurulması, analiz, yorum, kaynak taraması ve makalenin yazımı konusunda katkı sağlamıştır. 2. yazar fikir, eleştiri ve yorum konusunda katkıda bulunmuştur.

Teşekkür

Yazarlar çalışmada analizlerdeki yardımlarından dolayı Dr. Öğr. Üyesi Gökhan ARICI 'ya ve yorumlardaki özgün bakış açısından dolayı Dr. Öğr. Üyesi Halit SÜBÜTAY 'a teşekkür eder.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

- Angelo, P., Subramanian, R., & Ravisankar, B. (2022). Powder metallurgy: science, technology and applications. PHI Learning Pvt. Ltd.
- Bharath, C., Shamanth, V., & Hemanth, K. (2021). Studies on mechanical behaviour of AlSi10Mg alloy produced by selective laser melting and A360 alloy by die casting. *Materials Today: Proceedings*, 45, 78-81.
- Cambronero, L., Sánchez, E., Ruiz-Roman, J., & Ruiz-Prieto, J. (2003). Mechanical characterisation of AA7015 aluminium alloy reinforced with ceramics. *Journal of Materials Processing Technology*, 143, 378-383.
- Dobrzański, L. A., Włodarczyk, A., & Adamiak, M. (2006). The structure and properties of PM composite materials based on EN AW-2124 aluminum alloy reinforced with the BN or Al₂O₃ ceramic particles. *Journal of Materials Processing Technology*, 175(1-3), 186-191.
- Ferhat, G. (2014). AlSi10Mg Döküm Alaşımlarının Bazı Mekanik Özellikleri Üzerine İkincil Yaşlandırma İşleminin Etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 18(1), 30-37.
- German, R. M., Suri, P., & Park, S. J. (2009). Liquid phase sintering. *Journal of materials science*, 44, 1-39.
- Gökçe, A. (2020). Toz metalurjisi yöntemiyle Mg-Sn alaşımı üretimi ve karakterizasyonu. *Academic Platform-Journal of Engineering and Science*, 8(1), 112-119.
- Gökmeşe, H., & Bostan, B. (2013). AA 2014 alaşımında presleme ve sinterlemenin gözenek morfolojisi ve mikroyapısal özelliklere etkileri. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 1(1), 1-8.
- Guo, M., Sun, M., Huang, J., & Pang, S. (2022). A comparative study on the microstructures and mechanical properties of Al-10Si-0.5 Mg alloys prepared under different conditions. *Metals*, 12(1), 142.

- Haydar, H. (2012). *Alüminyum alaşımlarının dökümünde kullanılan tane küçültücüler* [Yüksek lisans Tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Karamış, M. B., Sarı, F. N., & Erturun, V. (2012). Friction and wear behaviors of reciprocatingly extruded Al-SiC composite. *Journal of Materials Processing Technology*, 212(12), 2578-2585.
- Kaufman, J. G., & Rooy, E. L. (2004). *Aluminum alloy castings. Properties, Processes and Applications*. ASM International, 10.
- Kumdalı, F. (2008). Alüminyum matrisli B₄C takviyeli kompozitlerin toz metalurjisi yöntemi ile üretimi.
- Lin, C., Mu, C., Wu, W., & Hung, C. (1999). The effect of joint design and volume fraction on friction welding properties of A360/SiC (p) composites. *Welding Journal-New York-*, 78, 100-s.
- Mazahery, A., Shabani, M., Salahi, E., Rahimpour, M., Tofigh, A., & Razavi, M. (2012). Hardness and tensile strength study on Al356-B₄C composites. *Materials Science and Technology*, 28(5), 634-638.
- Miao, Q., Wu, D., Chai, D., Zhan, Y., Bi, G., Niu, F., & Ma, G. (2020). Comparative study of microstructure evaluation and mechanical properties of 4043 aluminum alloy fabricated by wire-based additive manufacturing. *Materials & Design*, 186, 108205.
- Orhan, A., Gür, A., & Çalgülü, U. (2007). Al matrisli B₄C takviyeli kompozitlerin sıcak presleme yöntemiyle üretimi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4, 8-13.
- Otarawanna, S., & Dahle, A. (2011). Casting of aluminium alloys. In *Fundamentals of aluminium metallurgy* (141-154). Elsevier.
- Rahmani, K., Sadooghi, A., & Hashemi, S. J. (2020). The effect of cold and hot pressing on mechanical properties and tribological behavior of Mg-Al₂O₃ nanocomposites. *Materials Research Express*, 7(8), 085012.
- Sajjadi, S. A., Parizi, M. T., Ezatpour, H., & Sedghi, A. (2012). Fabrication of A356 composite reinforced with micro and nano Al₂O₃ particles by a developed compocasting method and study of its properties. *Journal of Alloys and Compounds*, 511(1), 226-231.
- Salur, E., Acarer, M., & Şavklıyıldız, İ. (2021). Improving mechanical properties of nano-sized TiC particle reinforced AA7075 Al alloy composites produced by ball milling and hot pressing. *Materials Today Communications*, 27, 102202.
- Salur, E., Aslan, A., Kuntoğlu, M., & Acarer, M. (2021). Effect of ball milling time on the structural characteristics and mechanical properties of nano-sized Y₂O₃ particle reinforced aluminum matrix composites produced by powder metallurgy route. *Advanced Powder Technology*, 32(10), 3826-3844.
- Salur, E. (2021). Mekanik alaşımlanmış TiC ve Y₂O₃ partikül takviyeli AA7075 metal matrisli nanokompozitlerin üretimi ve karakterizasyonu.

- Salur, E., Nazik, C., Acarer, M., Şavklıyıldız, İ., & Akdoğan, E. K. (2021). Ultrahigh hardness in Y₂O₃ dispersed ferrous multicomponent nanocomposites. *Materials Today Communications*, 28, 102637.
- Sunar, T., & Cetin, M. (2021). Manufacturing of B₄C particle reinforced A360 aluminium cellular composite materials by the integration of stir casting and space holder methods. *Journal of Composite Materials*, 55(25), 3763-3773.
- Sübütay, H., & Şavklıyıldız, İ. (2023). Effect of High-Energy Ball Milling in Ternary Material System of (Mg-Sn-Na). *Crystals*, 13(8), 1230.
- Sübütay, H., & Şavklıyıldız, İ. (2023). The relationship between structural evolution and high energy ball milling duration in tin reinforced Mg alloys. *Materials Today Communications*, 35, 105868.
- Topcu, İ. (2023). h-Bor Nitrür takviyesi ile güçlendirilmiş titanyum metal matrisli kompozitlerin mekanik davranışlarının incelenmesi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 22(44), 248-257.
- Vončina, M., Kores, S., Mrvar, P., & Medved, J. (2011). Effect of Ce on solidification and mechanical properties of A360 alloy. *Journal of Alloys and Compounds*, 509(27), 7349-7355.
- Yildiz, T., Kati, N., & Gür, A. K. (2018). The effect of sintering temperature on microstructure and mechanical properties of alloys produced by using hot isostatic pressing method. *Journal of Alloys and Compounds*, 737, 8-13.
- Yuan, Y., & Lee, T. R. (2013). Contact angle and wetting properties. In *Surface science techniques* (pp. 3-34). Springer.
- Yürüker, E. (2010). Aşındırıcı partikül boyut dağılımının erozif aşınmaya etkisi, [Yüksek Lisans Tezi]. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.