

AA1050 ALÜMİNYUM A SiO₂ İLAVESİNİN MEKANİK DAVRANIŞLARA ETKİSİ

Serkan Doğan ÖNAL¹, Ömer Sinan ŞAHİN²

¹Konya Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği ABD, Konya Türkiye

²Konya Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Konya Türkiye

serkandoganonan1@gmail.com, ossahin@ktun.edu.tr

Özet

Modern mühendislik alanlarında kaydedilen yeni gelişmeler, geleneksel metal ve alaşımlarının yeni hizmet alanlarının ihtiyaçlarını karşılayamadığı için, yeni malzemelere olan talepleri de arttırmaktadır. Metal matrisli kompozitlerin üretiminde en yoğun kullanılan metal alaşımları, düşük yoğunlukları ve kolay üretilebilirlikleri nedeniyle alüminyum alaşımlarıdır. Alüminyum ve alaşımlarının iyi özelliklerinin yanı sıra mekanik özelliklerinin düşük olması gibi bazı önemli dezavantajlarının olması bu malzemelerin kullanımlarını sınırlandırmaktadır. Ticari alüminyum ve alaşımlarının bu olumsuz özelliklerinin giderilmesinde kullanılan en yaygın yöntemlerden birisi de bu malzemelere sert takviye elemanları ilave etmektir. Bu şekilde bu malzemelerin dayanım ve sertlikleri önemli derecede artırılmaktadır. Bu çalışmada alüminyum matrisli nano SiO₂ takviyeli kompozit malzeme üretimi yapılmıştır. Nano SiO₂ oranı olarak ağırlıkça %3 ve %1,5 oranlarında karıştırılarak AA1050 malzeme referansı üzerinden çekme testi ile meydana gelen mekanik davranışlardaki değişimler incelenmiştir. Kompozit malzemenin çekme mukavemet değerlerinde artış %3 nano SiO₂ karışımında tavsız haddelenmiş değişik kalınlıklarda alınan numunelerin çekme analizi sonucunda ortalama %8,61 artış tespit edilmiştir. Malzemenin mukavemet değerlerinde artış %1,5 nano SiO₂ karışımında tavsız haddelenmiş değişik kalınlıklarda alınan numunelerin çekme analizi sonucunda ortalama %4,42 artış tespit edilmiştir. Malzemenin çekme mukavemet değerlerinde artış %3 nano SiO₂ karışımında tavsız haddelenmiş daha sonrasında tavlanyl H0 yapılmış değişik kalınlıklarda alınan numunelerin çekme analizi sonucunda ortalama %4,37 artış görülmüştür. Malzemenin mukavemet değerlerinde artış %1,5 nano SiO₂ karışımında tavsız haddelenmiş daha sonrasında tavlanyl H0 yapılmış değişik kalınlıklarda alınan numunelerin çekme analizi

sonucunda ortalama %3,99 artış sağlamıştır. Yapılan çalışmada optimum %1,5 SiO₂ miktarının alüminyum malzemenin mukavemet değerlerini önemli ölçüde arttırdığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum matrisli nano SiO₂ takviyeli kompozit malzeme, Nano SiO₂ nano kompozit malzeme, Alüminyum kompozit

THE EFFECT OF SiO₂ ADDITION TO AA1050 ALUMINUM ON MECHANICAL BEHAVIOR

Abstract

New developments in the field of modern engineering increase the demand for new materials as traditional metals and alloys cannot meet the needs of new service areas. The most commonly used metal alloys in the production of metal matrix composites are aluminum alloys due to their low density and easy productionability. The good properties of aluminum and their alloys, as well as their low mechanical properties, have some important disadvantages that limit their use. One of the most common methods used to eliminate these negative properties of commercial aluminum and its alloys is to add rigid reinforcing elements to these materials. In this way, the strength and hardness of these materials are significantly increased. In this study, aluminum matrix nano SiO₂ reinforced composite material was produced. Nano SiO₂ ratio of 3% by weight and 1.5% by mixing the AA1050 material reference to the changes in the mechanical behavior of the tensile test is examined. Increase in tensile strength values of composite material was obtained by an average increase of 8.61% as a result of tensile analysis of samples taken at 3% nano SiO₂ mixture without annealed rolled. The increase in the strength values of the material was found to be 4.42% increase as a result of tensile analysis of the samples taken at different thicknesses without annealing in 1.5% nano SiO₂ mixture. The tensile strength values of the material increased by 3% nano SiO₂ mixture without annealed and then annealed and made of H0 made of different thicknesses of samples taken as a result of the tensile analysis showed an average increase of 4.37%. The increase in the strength values of the material was obtained by an average of 3.99% as a result of the tensile analysis of the samples taken at different thicknesses of 1.5% nano SiO₂ mixture and

then annealed and made of H0. In the study, it was found that the optimum amount of SiO₂ 1.5% significantly increased the strength values of aluminum material.

Keywords: Aluminum matrix nano SiO₂ reinforced composite material, Nano SiO₂, Nano composite material, Aluminum composite

1. Giriş

Modern mühendislik alanlarında kaydedilen yeni gelişmeler, geleneksel metal ve alaşımlarının yeni hizmet alanlarının ihtiyaçlarını karşılayamadığı için, yeni malzemelere olan talepleri de arttırmaktadır. Son yıllarda, bu boşluğun kapatılmasında tercih edilen en önemli malzeme grubu, metal matrisli kompozit malzemelerdir. Metal matrisli kompozitlerin üretiminde en yoğun kullanılan metal alaşımları, düşük yoğunlukları ve kolay üretilebilirlikleri nedeniyle alüminyum alaşımlarıdır. Alüminyum ve alaşımlarının iyi özelliklerinin yanı sıra mekanik özelliklerinin düşük olması gibi bazı önemli dezavantajlarının olması bu malzemelerin kullanımlarını sınırlandırmaktadır. Ticari alüminyum ve alaşımlarının bu olumsuz özelliklerinin giderilmesinde kullanılan en yaygın yöntemlerden birisi de bu malzemelere sert takviye elemanları ilave etmektir.

Alüminyumun diğer metallere göre birçok alanda avantajlı kılan en önemli ana özelliklerini; hafifliği, hafifliğine karşın alaşımlandırıldığında yeterli mukavemeti, tekraren defalarca kullanılabilirliği, yüksek korozyon direnci, çekilebilirliği, şekillendirilebilirliği, dövülebilirliği, işlenebilirliği, yüksek ısı ve elektriksel iletkenliği, ışık ve ısı yansıtıcılığı olarak sıralayabiliriz.

Demirden üç kat daha hafif olan alüminyum alaşımlandırılmak suretiyle demire yakın mukavemette bir malzemeye dönüşebilmektedir. Böylece, örneğin alüminyumun otomotiv sanayinde kullanımı, aracın ağırlığını azaltarak yakıt tüketimini düşürmekte, buna karşılık yük kapasitesini arttırmaktadır. Mükemmel elektrik iletkenliği nedeniyle alüminyum, elektrik enerjisi iletim ve dağıtımının başlıca elemanları olan yalıtılmış hava hattı ve yeraltı güç kabloları ve ek malzemelerde, yakın zamana kadar bu alanlarda kullanılan bakır'ın yerini almıştır. Alüminyumun önemli diğer bir özelliği mükemmel bir ısı ve ışık yansıtıcısı olmasıdır. Bu özelliği sayesinde aydınlatma aksamalarında ve ısı yataklarında yaygın olarak alüminyum kullanılmaktadır [1].

Diğer metallere göre neredeyse %100 geri dönüşümlü olan alüminyumun geleceğin metali olmasını sağlayacak en önemli ana unsurlardan birisi de ekolojik özelliğidir. Dünyada, özellikle gelişmiş ülkelerde, kamuoylarının 1980'lerde doruğa ulaşan çevre korumacılığı baskısıyla ve 1973 ile 1979 yıllarındaki petrol krizleriyle hızlanan sınırlı kaynakların en ekonomik, çevreyi en az kirletecek ve daha az enerji tüketecek şekilde kullanımı gibi kriterler, alüminyumun alternatif malzemelere göre avantajlı hale getirmektedir. Çünkü sahip olduğu birçok özellikler nedeniyle sanayide bu gelişmelere uygun bir ortam sağlamaktadır.

Pasquale Cavaliere ve arkadaşları çalışmalarında Al-SiO₂ seramik nano boyutlu donatının, Al-SiO₂ nanokompozitinin mikroyapısı ve mekanik özellikleri üzerindeki etkileri araştırmıştır. Sonuçlar nanopartiküller yüzdesini %3'e kadar arttırırken gözeneklilikte bir azalma olduğunu ortaya çıkarmıştır. Daha yüksek takviye yüzdeleri için malzemenin yoğunluğu asgari seviyeye ulaşmış (kompozitin yoğunluğunun %3'ü güçlendirilmiş parçacıkların% 3'ü ile). Nanokompozitin çekme mukavemeti, ağırlıkça% 3 SiO₂ nanoparçacık ilavesiyle % 25'ten daha fazla artmıştır. Bununla birlikte, kompozitin gerilme özellikleri, daha fazla miktarda SiO₂ nanoparçacık için üretilen kompozitlerin mikroyapı kalitesinde azalma nedeniyle önemli ölçüde zayıflamıştır. SiO₂ nanopartiküllerinin içeriğinin arttırılmasıyla, nanokompozitin mikro sertlik değerlerinin ilk önce arttığı ve daha sonra azaldığı bulunmuştur. Nanopartiküllerin miktarı ağırlıkça% 3'ü geçmektedir. Ayrıca örneklerde kırılma ve taneler arası kırık şekli görülmüştür [2].

Woo eksende simetrik sac metal parçaların şekillendirilmesini analiz etmiş ve plastisite teorisinin izotropik malzemede gerilme-gerinim karakterine uygun olarak uygulamasıyla malzeme üzerinde herhangi bir nokta da gerilme ve şekil değişimini hesapladı. Bu uygulamayı yaparken kalınlıktan kaynaklı gerilmeler yok sayılmış. Woo, daha sonra analizlerini geliştirerek silindirik derin çekme prosesi üzerinde dişi kalıp üzerinde radyal derin çekim yapılırken punç üzerinde de gerdirme yapmıştır. Radyal derin çekme üç bölümden oluşur. Baskı plakasının kuvveti altında düzlemsel olarak kıvrılma bölgesinin içinde kalarak, baskı plakası olmaksızın dişi kalıp içerisinde düzlemsel olarak şekillenmesi ve dişi kalıp içerisinde şekillenmesidir. Bu çalışmada büküm etkileri ihmal edilmiştir. Elde edilen analitik çözümler deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır [3,4].

Kaftanoğlu ve Alexander'ın eksene göre simetrik parçaların deformasyonları üzerinde yaptıkları çalışmalarda plastik anizotropinin kalınlık yönündeki davranışının deformasyona olan etkisi araştırılmıştır. [5-6].

Yung-Chang Kang ve arkadaşlarının çalışmasında karbürler, boratlar, nitrit ve oksit ile güçlendirilen kompozitler, başarılı bir şekilde ya da toz metalurjisi (T/M) tekniği veya döküm yöntemleri ile imal edilmiştir. Aynı zamanda, genel olarak % 0.2 dayanıklı gerilme ve gerilme mukavemeti arttırmak eğilimi ve parçacık hacmi fraksiyonu artan ya da azalan parçacık boyutu ile tokluğu ve yumuşaklığında azalma olduğunu bulmuştur [7,8].

Çalışmamızda yer ocaklarında pota içerisinde ergitilen AA1050 alüminyum içerisine azot gazı ile karıştırılarak %1,5 ve 3 oranında nano SiO₂ ilave ettik. Stir döküm ile hazırlanan alüminyum alaşımı içerisine toz halinde Nano SiO₂ ilavesi ile oluşan nano kompozit malzemenin mekanik özelliklerindeki değişim deneysel olarak araştırılmasını amaçlanmıştır.

Çalışmamızda SiO₂ nanopartiküller (Nano- SiO₂), 100 nm'den daha küçük bir çapa sahip, inorganik bir metal oksit olan silika dioksitin tek parçacıklarıdır. AA4XXX serisi alüminyumdaki mekanik davranışların nano SiO₂ AA1050 alüminyum içerisine eklenince bu alaşımda aynı özellikleri sağlaması araştırılmıştır. Literatürde nano SiO₂ eklenen alüminyum malzemeler de mukavemet, aşınma direnci, yüzey sertliği özelliklerinde artış gözlenmiştir.

Günümüzde alüminyum hafiflik ve geri dönüşümü mümkün olduğundan dolayı çelik malzemelerin yerini almaktadır. Elde edilen nano-kompozit malzemenin mekanik özellikleri (çekme, eğilme, yüzey sertliği v.b.) araştırılması, mikro ve makro yapılarının incelenmesi ve ilave edilen nano malzemenin yapıda meydana getirdiği farklılık kullanım alanlarını artırmaktadır.

2. Materyal veMetot

Bu çalışmada yer ocağı potası içinde ergitilen AA1050 alüminyum içerisine %0,015-0,025 arasında TiB ilave edilerek tanelerin rekristalizasyon tavı ve gerilme giderme tavı ile terbiye edilmesi sağlanmıştır (Şekil 1).

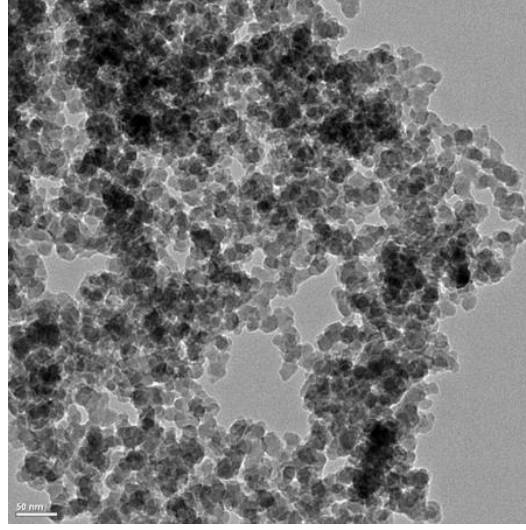


Şekil 1. Döküm esnasında ergitilen alüminyum

Döküm esnasında AA 1050 malzeme için istenilen oranlar ayarlandıktan sonra içine nano %3 SiO₂ ve %1,5 SiO₂ için tekrarlanarak eklenmiş ve azot gazı kullanılarak karıştırılmıştır. Bu işlemle hem alüminyum içindeki biriken gazlar alınmış hem de SiO₂ nin de homojen olarak yayılması sağlanmıştır. Sonrasında alüminyum cürufu almak için özel olarak temrin edilmiş toz kullanılmış, Al₂O₃ yüzeye çıkartılarak temizlenmiştir. Bu esnada ocak sıcaklığı 700 °C civarında tutulmuş daha sonra yolluk bulunduran pik kalıplar içerisine dökümü yapılmıştır.

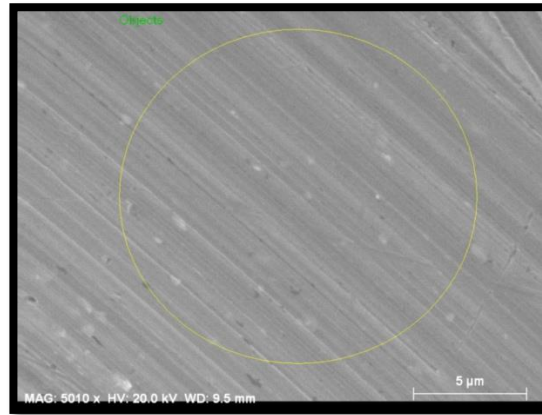
Çalışmada kullanılan nano SiO₂ nin özellikleri, saflık %99.5, boyut 15-35 nm dir (Şekil 2). Nano SiO₂ kaplamaya ilave edildiğinde, ovma direncini, kaplamanın mukavemetini ve sertliğini artırabilir. Kaplama özelliği hiyerarşik olmayan, anti-sarkma, iyi işlenebilirlik ve leke direnci çok iyi geliştirilmiş ve mükemmel kendi kendini temizleyen ve yapışma özelliği olan ayrıca önemli antibakteriyel etki gösterir. Aşınma direnci on bin kat artar. Hava koşullarına dayanıklılık yaklaşık üç kat artırılabilir. Leke tutmaz ve kendi kendini temizler. Nano-gözenekli yapının kullanımı silikon dioksit nanometre ölçeğinde geometri tamamlayıcı (örn.içbükey ve dışbükey beyaz) arayüz yapısı birkaplama yüzeyinde belirli bir işlem, böylece adsorpsiyon havasıyüzeyde filmin kararlı bir gaz bariyeri tabakası oluşturur; ikinciyüzeye yüzey işleminden geçirilmiş nano-silis parçacıkları ebeveynleri sergiler veya çift inceltme, böylece yüzeyde yağmur suyu akışını etkili bir şekilde geliştirir kaplama mimari kaplama toz ve ıslak yapışma, geliştirilmiş film leke direnci ve kendini temizleme özelliği kazandırır. Antimikrobiyal direnç, kaplamalarda, önemli

antimikrobiyal etki göstermiştir. Hidrofobik korozyon direnci, sadece mükemmel yapışma özelliğine sahip değildir, korozyon direnci ve yüksek yoğunluklu ve anti alt geçirgenlik özelliğine sahiptir. Şeffaflık, nano modifiye kaplamalar, şeffaflığı, orijinal 10 kattan daha fazla aşınma direncini sağlar. Sertlik: 2,5 kattan fazla, film sertliğini iyileştirmek için uv-curable kaplamalar. Termal kararlılık, UV ile kürlenmiş kaplamalarda, kaplama cam geçiş sıcaklığını artırabilir. Viskozite, kaplamanın viskozitesini önemli ölçüde artırabilir.



Şekil2. Nano boyuttaki SiO₂ 50nm birim boyuttaki görüntüsü

Bu işlemle hem alüminyum içindeki biriken gazlar alınmış hem de SiO₂ nin de homojen olarak yayılması sağlanmıştır (Şekil 3). Sonrasında alüminyum cürufu almak için özel olarak temrin edilmiş toz kullanılmış, Al₂O₃ yüzeye çıkartılarak temizlenmiştir. Bu esnada ocak sıcaklığı 700 °C civarında tutulmuş daha sonra yolluk bulunduran pik kalıplar içerisine dökümü yapılmıştır.



Şekil 3. %1,5 SiO₂ Takviyeli Malzemenin SEM Görüntüsü (MAG:5010-x HV:20 kV
WD:9,5mm)

Dökümü yapılan numuneler el hadde makinelerinde tek yönlü ve çift yönlü olarak haddelenmiştir, çift yönlü haddelenen külçeler de % deformasyon x ve y yönüne eşit olacak şekilde ayarlanmıştır (Şekil 3). Farklı kalınlıklarda elde edilen numuneler (3,20-3,00-2,70-2,50-2,00-1,50-1,00 mm) hem tek yönlü haddeleme ile hem de çift yönlü haddeleme ile karşılaştırılmak üzere ayrılarak isimlendirilmiştir. Buna ek olarak AA1050 ile karşılaştırılmak üzere içinde takviye malzemesi bulunmayan numuneler de aynı şekilde işleme tabi tutulmuştur. Üretim planı ve parametre analizleri sonucunda numunelerin istenilen özelliklerinin standart bir şekilde incelenmesi için bir sınıflandırma yapılmıştır. Üretimi Yapılan numuneler Tablo 1 ve Şekil 5 de sınıflandırılmıştır. Tablo 1 de %100x sadece tek yönlü haddelemeyi, % 50 X %50 Y eşit miktarlarda iki yönlü haddelemeyi temsil etmektedir.



Şekil 4. Haddede kalınlığı azaltılan alüminyum



Şekil 5. Hazırlanan Numuneler

Tablo 1. Üretilen Numunelerin Sınıflandırılması

Numune adı	Katkısız	İzotropik A	Anizotropik B	% 1,5 SiO ₂	İzotropik C	Anizotropik D	% 3 SiO ₂	İzotropik E	Anizotropik F	Kalınlık (mm)
1	AA1050	% 100 X	% 50X % 50 Y	% SiO ₂ (1,5)	% 100 X	% 50X % 50 Y	% SiO ₂ (3)	% 100 X	% 50X % 50 Y	3,2
2	AA1050	% 100 X	% 50X % 50 Y	% SiO ₂ (1,5)	% 100 X	% 50X % 50 Y	% SiO ₂ (3)	% 100 X	% 50X % 50 Y	3
3	AA1050	% 100 X	% 50X % 50 Y	% SiO ₂ (1,5)	% 100 X	% 50X % 50 Y	% SiO ₂ (3)	% 100 X	% 50X % 50 Y	2,7
4	AA1050	% 100 X	% 50X % 50 Y	% SiO ₂ (1,5)	% 100 X	% 50X % 50 Y	% SiO ₂ (3)	% 100 X	% 50X % 50 Y	2,5
5	AA1050	% 100 X	% 50X % 50 Y	% SiO ₂ (1,5)	% 100 X	% 50X % 50 Y	% SiO ₂ (3)	% 100 X	% 50X % 50 Y	2
6	AA1050	% 100 X	% 50X % 50 Y	% SiO ₂ (1,5)	% 100 X	% 50X % 50 Y	% SiO ₂ (3)	% 100 X	% 50X % 50 Y	1,5
7	AA1050	% 100 X	% 50X % 50 Y	% SiO ₂ (1,5)	% 100 X	% 50X % 50 Y	% SiO ₂ (3)	% 100 X	% 50X % 50 Y	1

Elde edilen farklı kalınlıklardaki ve farklı haddeleme proseslerindeki numuneler malzeme 350 °C `ye getirilip 90 dakika tutulup homojenleştirildikten sonra 460 °C de 240 dakika gerilme giderme işlemi yapıлып, kondüsyon özelliklerini H0 özelliğine uygun hale getirilmiştir. Hazırlanan numuneler tavlı, tavsız ve takviyeli, takviyesiz ve haddeleme yönüne bağlı olarak sınıflandırılıp mekanik özellikleri, mikro yapıları incelenmiştir. Numunelerin farklı aşamalarda iç yapı görüntüleri alınıp SiO₂ nin alüminyum iç yapısı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaçla ters metal mikroskobu ile görüntüler alınarak karşılaştırma ve iç yapı özelliklerinde inceleme yapılmıştır.

3. Test ve Analizler

Literatürde yapılan araştırmalara istinaden %3 oranının üzerinde mukavemette herhangi bir değişimin olmadığı, bu oranın üzerinde topaklanmanın olduğu görülmüştür. Buna istinaden literatürde bir eşik olarak belirtilen %3 ile bunun altında kalan %1,5 oranın davranışlarını incelemek için üretim esnasında dökülen malzemenin içine nano SiO₂ nin %1,5 ve %3 oranında katkı ilave edilerek numunelerin içyapıları incelenmiştir. Dökümü yapılan malzemelerden katkı oranlarına göre analiz numuneleri alınmıştır.



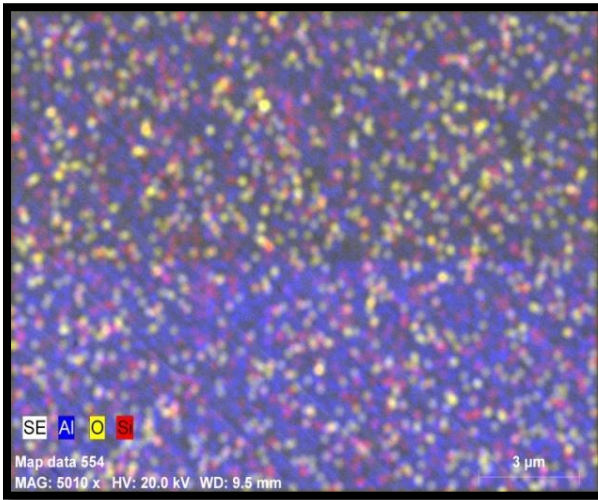
Şekil 6. Spektral analizi yapılan nano katkılı alüminyum

Tablo 2. Dökümü yapılan AA1050 ve %1,5, %3 SiO₂ katkıli kompozit malzemelerin kimyasal yapısı

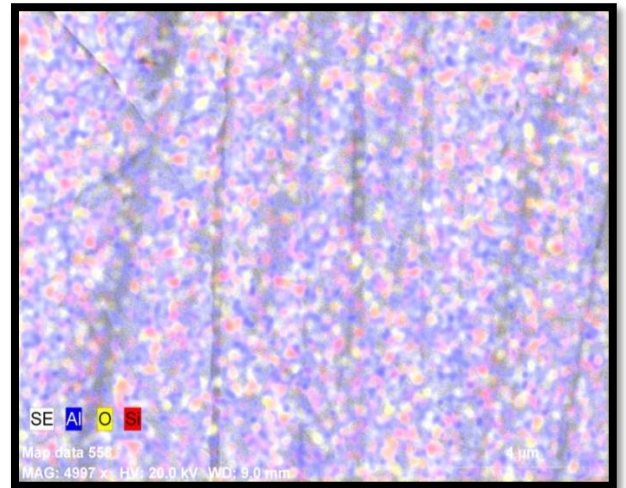
Malzeme	%Al	%Si	%Fe	%Zn	%Cu	%Mn	%Mg	Diğer
AA1050+saf	99,505	0,157	0,253	0,02	0,006	0,005	0,002	Kalan
AA1050+ %1,5 SiO ₂	99,408	0,163	0,266	0,02	0,005	0,005	0,003	Kalan
AA1050+ %3,0 SiO ₂	99,427	0,180	0,304	0,02	0,005	0,006	0,003	Kalan

Alınan numunelerin SEM-EDX görüntüleri alınmıştır. %1,5 katkı oranında homojen bir dağılım elde edilmişken, %3 katkı oranında topaklanma ve tam homojen olmayan bir yapı elde edilmiştir (Şekil 7,8). Karıştırma döküm yönteminde azot gazı altında yapılan dökümün %1,5 oranında başarılı olduğu gözlemlenmiştir. SEM görüntüsünde de %1,5 takviye de homojen bir dağılım elde edildiği gözlemlenmiştir (Şekil 7).

Sınıflandırılan numuneler çekme testine tabi tutulmuştur ve her numune için 3 kez olmak üzere çekme testleri yapılmıştır. Çekme testleri TSE-EN485-1-2-3 Standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Tavlama işlemi sonrasında test işlemi yine aynı şekilde gerçekleştirilmiştir ve sonuçlar AA1050 Malzemedan Üretilen 7 farklı kalınlıkta tek ve çift yönlü haddelenen tavlı ve tavsız %1,5 ve %3 SiO₂ içeren numuneler için çekme test sonuçları Tablo 3-14 de görüldüğü gibi elde edilmiştir.



Şekil 7. SEM EDX Görüntüsü
(%1,5 SiO₂ Takviyeli)



Şekil 8. SEM EDX Görüntüsü
(%3 SiO₂ Takviyeli)

Tablo 3. AA1050 Malzemededen üretilen 7 farklı kalınlıkta tek yönlü haddelenen tavsız SiO₂ içermeyen numunelerin çekme test sonuçları

Tavsız numuneler					
A (AA1050 %100X %0 SiO ₂)					
Numune No	Max. Kuvve (N)	Kopma (MPa)	Akma Sınırı(MPa)	% Uzama	Test Süresi(sn)
1	7715,9	187,0	184,1	2,86	34,9
2	7221,8	183,4	178,4	5,15	37,0
3	6532,1	190,0	184,8	5,45	37,0
4	5950,8	190,4	185	3,54	32,9
5	4904,5	196,1	121,9	4,49	33,4
6	4136,9	194,6	187,1	5,93	32,4
7	3810,7	196,6	192,1	5,40	35,0
Ortalama Değerler	5753,2	191,2	176,2	4,68	34,6

Tablo 4. AA1050 Malzemededen üretilen 7 farklı kalınlıkta çift yönlü haddelenen tavsız SiO₂ içermeyen numunelerin çekme test sonuçları

B (AA1050 %50X %50Y %0 SiO ₂)					
Numune No	Max. Kuvve (N)	Kopma (MPa)	Akma Sınırı(MPa)	% Uzama	Test Süresi
1	7698,4	188,34	184,2	7,07	36,4
2	7362,2	186,9	181,7	5,64	36,5
3	6574,1	191,2	187,1	4,65	35,0
4	6122,6	195,9	188,6	7,79	38,0
5	5076,0	203,0	198,2	1,73	28,9
6	3859,7	205,852	197,74	3,13	30,2
7	4060,1	203,007	198,3	2,85	32,2
Ortalama Değerler	5821,8	196,3	190,8	4,69	33,8

Tablo 5. AA1050 Malzemededen üretilen 7 farklı kalınlıkta tek yönlü haddelenen tavsız %1,5 SiO₂ içeren numunelerin çekme test sonuçları

C (AA1050 %100X %1,5 SiO ₂)					
Numune No	Max. Kuvve (N)	Kopma (MPa)	Akma Sınırı(MPa)	% Uzama	Test Süresi
1	7992,9	193,7	189,8	6,07	37,0
2	7296,9	188,3	182,9	4,11	37,0
3	6776,3	197,1	191,8	3,46	37,1
4	6122,6	195,9	188,6	7,79	38,1
5	5518,0	205,3	199,4	3,23	33,6
6	2274,2	227,4	218,2	4,93	35,5
7	3898,8	207,9	198,5	2,92	28,9
Ortalama Değerler	5697,1	202,2	195,6	4,64	35,3

Tablo 6. AA1050 Malzemedden üretilen 7 farklı kalınlıkta çift yönlü haddelenen Tavsız %1,5 SiO₂ içeren numunelerin çekme test sonuçları

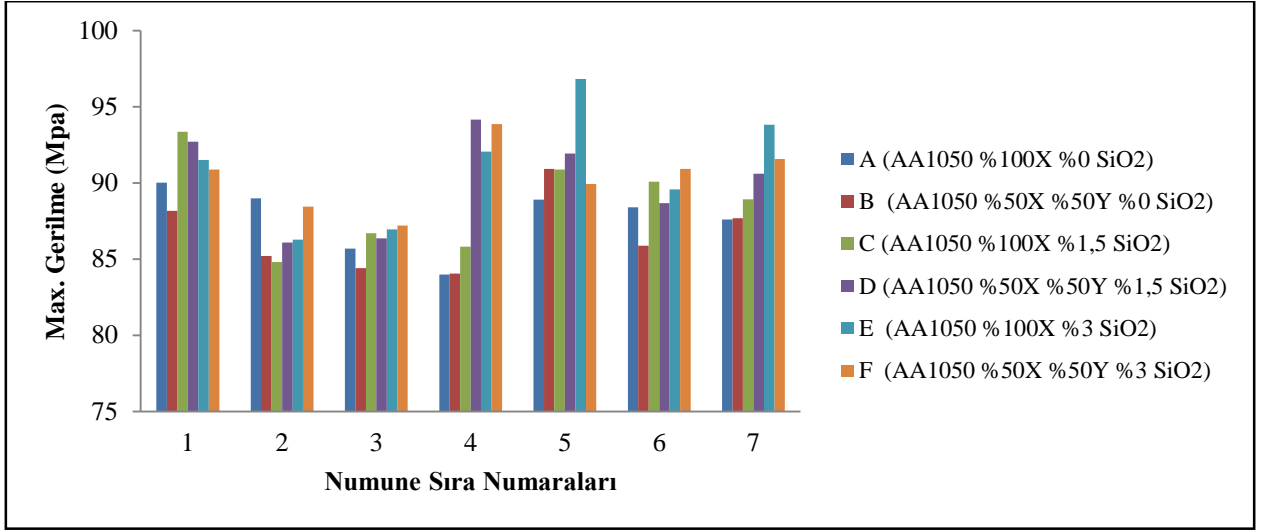
D (AA1050 %50X %50Y %1,5 SiO ₂)					
Numune No	Max. Kuvve (N)	Kopma (MPa)	Akma Sınırı(MPa)	% Uzama	Test Süresi
1	8236,1	192,0	188,7	2,37	34,2
2	7396,7	190,8	185,4	2,75	36,9
3	6914,8	201,1	195,8	2,62	37,7
4	6212,9	198,8	191,3	3,41	38,1
5	5058,2	212,9	205,9	5,01	32,3
6	4046,9	215,8	206,1	2,35	28,6
7	4187,2	223,3	195,8	2,78	29,7
Ortalama Değerler	6007,5	205,0	195,5	3,04	33,9

Tablo 7. AA1050 Malzemedden Üretilen 7 farklı kalınlıkta tek yönlü haddelenen Tavsız %3 SiO₂ içeren numunelerin çekme test sonuçları

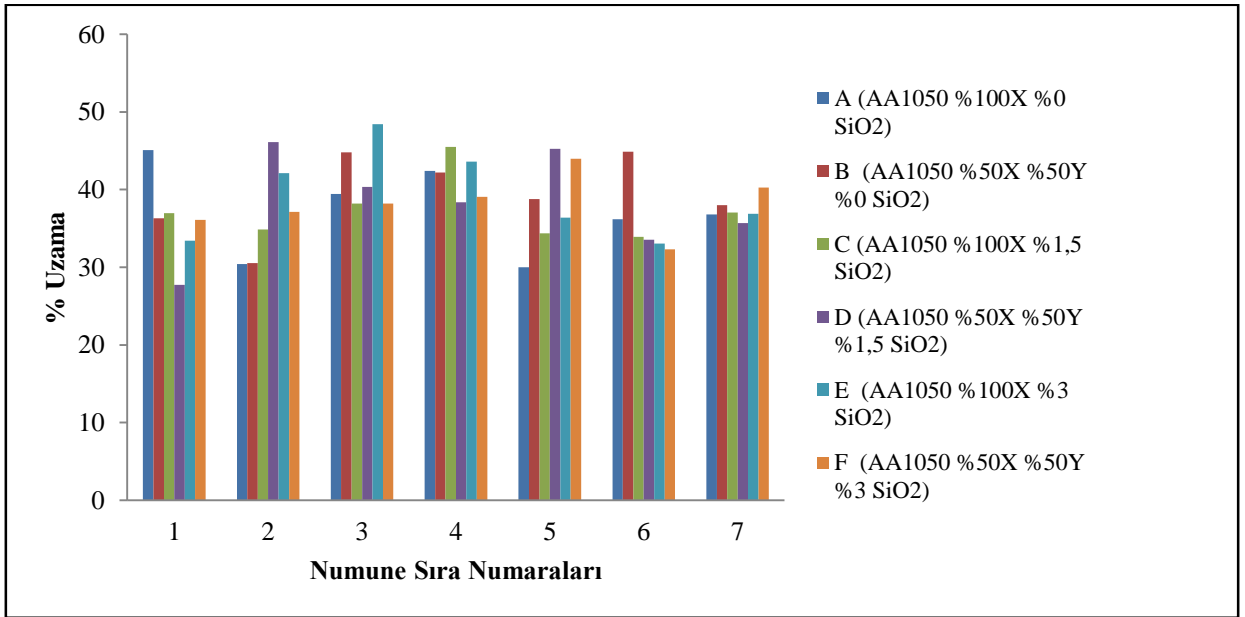
E (AA1050 %100X %3 SiO ₂)					
Numune No	Max. Kuvve (N)	Kopma (MPa)	Akma Sınırı(MPa)	% Uzama	Test Süresi
1	7855,9	193,6	187,8	2,37	40,6
2	7307,9	194,8	188,3	7,01	39,0
3	6881,6	203,8	200,2	4,41	35,8
4	6231,9	199,4	193,1	4,72	34,5
5	5562,4	217,0	212,6	1,97	28,8
6	4054,6	223,7	215,2	3,33	32,2
7	3890,2	210,2	104,5	4,59	32,0
Ortalama Değerler	5969,2	206,1	185,9	4,05	34,7

Tablo 8. AA1050 Malzemedden Üretilen 7 farklı kalınlıkta çift yönlü haddelenen Tavsız %3 SiO₂ içeren numunelerin çekme test sonuçları

F (AA1050 %50X %50Y %3 SiO ₂)					
Numune No	Max. Kuvve (N)	Kopma (MPa)	Akma Sınırı(MPa)	% Uzama	Test Süresi
1	8189,3	204,7	197,6	3,74	40,6
2	7566,5	201,7	131,2	6,65	36,6
3	6978,1	206,7	201,7	2,39	34,9
4	6314,5	206,1	199,0	4,76	36,1
5	4136,9	220,4	198,0	5,93	32,4
6	4016,5	223,1	214,8	3,37	32,9
7	4251,0	229,7	221,1	2,72	29,4
Ortalama Değerler	5921,8	213,254	194,8	4,22	34,7



Şekil 9. Tavsız olarak testi yapılan malzemelerin max. gerilme grafiği



Şekil 10. Tavsız olarak çekme testi yapılan malzemelerin % uzama grafikleri

Tablo 9. AA1050 Malzemedden üretilen 7 farklı kalınlıkta tek yönlü haddelenen tavlı SiO₂ içermeyen numunelerin çekme test sonuçları

Tavlı numuneler					
A (AA1050 %100X %0 SiO ₂)					
Numune No	Max. Kuvve (N)	Kopma (MPa)	Akma Sınırı(MPa)	% Uzama	Test Süresi
1	3713,3	90,0	40,5	45,06	225,3
2	3392,4	88,9	39,6	30,42	201,4
3	2945,2	85,6	34,7	39,42	235,2
4	2677,2	83,9	32,8	42,42	218,3
5	2233,6	88,9	39,5	29,98	195,6
6	1834,4	88,4	39,5	36,20	217,7
7	1664,4	87,6	37,8	36,80	225,6
Ortalama Değerler	2637,2	87,6	37,7	37,18	217,0

Tablo 10. AA1050 Malzemedden üretilen 7 farklı kalınlıkta çift yönlü haddelenen tavlı SiO₂ içermeyen numunelerin çekme test sonuçları

B (AA1050 %50X %50Y %0 SiO ₂)					
Numune No	Max. Kuvve (N)	Kopma (MPa)	Akma Sınırı(MPa)	% Uzama	Test Süresi
1	3636,5	88,1	38,95	36,29	224,3
2	3344,4	85,2	35,1	30,52	196,8
3	3038,2	84,3	34,5	44,80	233,9
4	2605,2	84,0	32,3	42,20	221,7
5	2500,0	90,9	43,1	38,78	230,8
6	1685,4	85,8	37,9	44,86	215,3
7	1764,4	87,6	38,0	38,00	219,7
Ortalama Değerler	2653,4	86,6	37,1	39,35	220,3

Tablo 11. AA1050 Malzemedden üretilen 7 farklı kalınlıkta tek yönlü haddelenen tavlı %1,5 SiO₂ içeren numunelerin çekme test sonuçları

C (AA1050 %100X %1,5 SiO ₂)					
Numune No	Max. Kuvve (N)	Kopma (MPa)	Akma Sınırı(MPa)	% Uzama	Test Süresi
1	3815,4	93,3	40,6	36,98	227,5
2	3318,0	84,8	35,5	34,86	217,1
3	3023,2	86,6	40,5	38,20	190,9
4	2788,6	85,8	33,9	45,50	221,7
5	2419,6	90,8	38	34,38	212,3
6	1858,0	90,0	38,5	33,90	206,0
7	1778,4	88,9	38,8	37,04	202,7
Ortalama Değerler	2714,4	88,6	37,9	37,26	211,1

Tablo 12. AA1050 Malzemeden üretilen 7 farklı kalınlıkta çift yönlü haddelenen tavlı %1,5 SiO₂ içeren numunelerin çekme test sonuçları

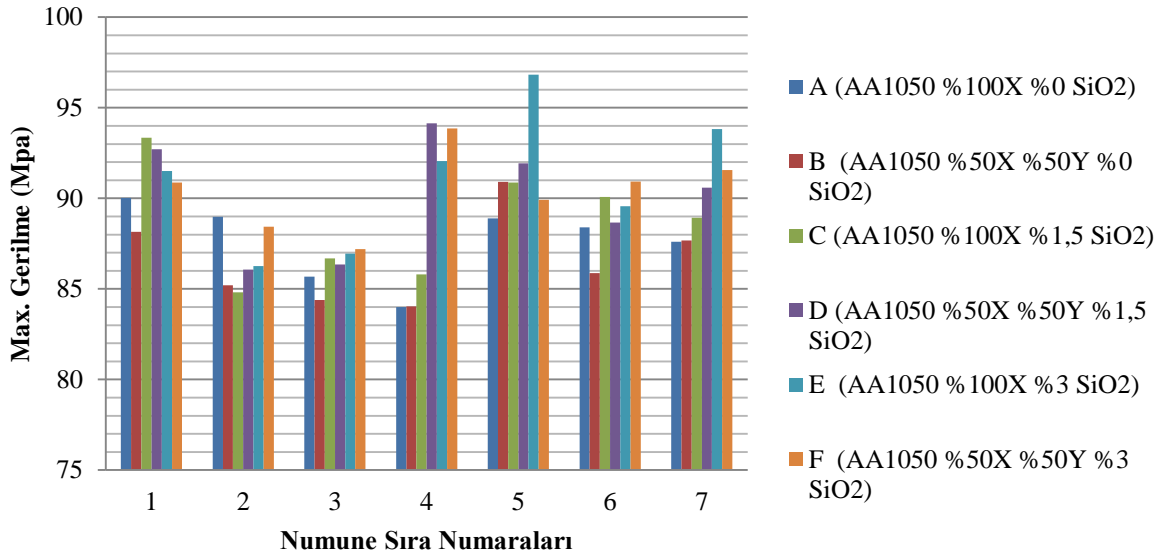
D (AA1050 %50X %50Y %1,5 SiO ₂)					
Numune No	Max. Kuvve (N)	Kopma (MPa)	Akma Sınırı(MPa)	% Uzama	Test Süresi
1	3926,2	92,7	61,0	35,77	195,3
2	3378,4	86,0	35,6	46,10	230,1
3	3033,2	86,3	35,6	40,34	231,0
4	3001,0	94,1	44,1	38,36	218,3
5	2539,6	91,9	42,0	45,24	222,9
6	1684,6	88,6	36,9	33,54	208,6
7	1857,2	90,5	37,8	35,68	210,6
Ortalama Değerler	2774,3	97,2	41,8	38,14	216,6

Tablo 13. AA1050 Malzemeden üretilen 7 farklı kalınlıkta tek yönlü haddelenen tavlı %1,5 SiO₂ içeren numunelerin çekme test sonuçları

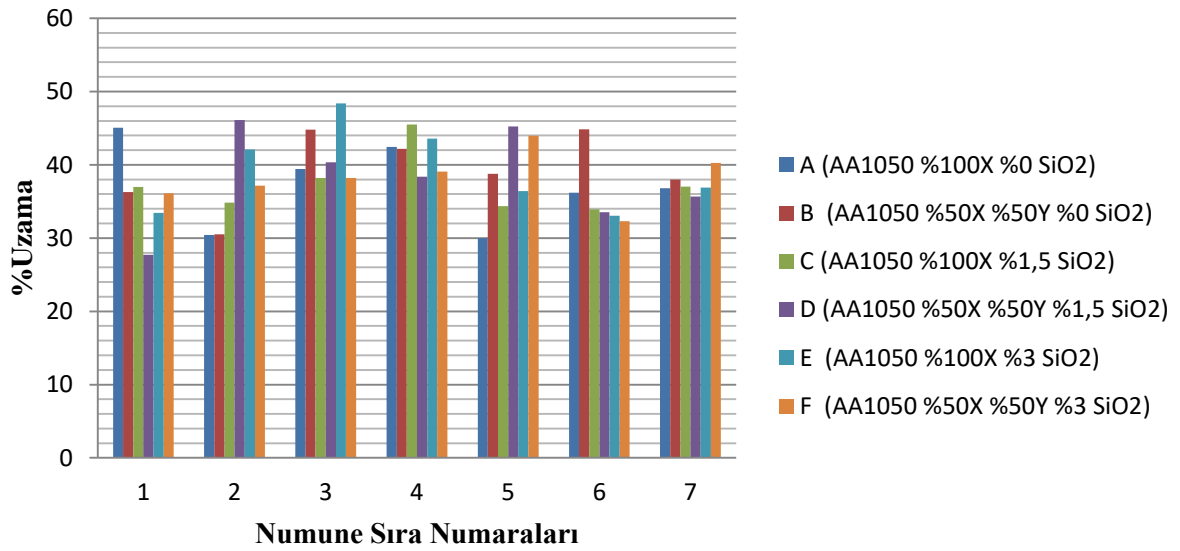
E (AA1050 %100X %3 SiO ₂)					
Numune No	Max. Kuvve (N)	Kopma (MPa)	Akma Sınırı(MPa)	% Uzama	Test Süresi
1	3717,2	91,5	40,6	33,42	209,8
2	3386	86,2	36,2	42,10	216,0
3	3032,2	86,9	35,4	48,40	239,4
4	2899,6	92,0	41,5	43,58	22,4
5	2588	96,8	40,8	36,40	207,6
6	1903,2	89,5	38,3	33,06	206,3
7	1782,6	93,821	39,0	36,88	206,5
Ortalama Değerler	2758,4	78,5	38,8	39,12	186,8

Tablo 14. AA1050 Malzemeden üretilen 7 farklı kalınlıkta çift yönlü haddelenen tavlı %1,5 SiO₂ içeren numunelerin çekme test sonuçları

F (AA1050 %50X %50Y %3 SiO ₂)					
Numune No	Max. Kuvve (N)	Kopma (MPa)	Akma Sınırı(MPa)	% Uzama	Test Süresi
1	3805,4	90,8	40,6	36,10	221,8
2	3471,2	88,4	38,3	37,14	196,3
3	3106,4	87,1	35,0	38,20	219,3
4	2932,8	93,8	42,0	39,08	217,1
5	2338	89,9	38,8	43,98	226,2
6	1727,6	90,9	39,3	32,32	186,9
7	1911,4	91,5	38,9	40,24	206
Ortalama Değerler	2756,1	90,3	38,9	38,15	210,5



Şekil 11. Tavlı olarak testi yapılan malzemelerin max. gerilme grafiği



Şekil 12. Tavlı olarak testi yapılan malzemelerin % uzama grafiği

4. Sonuçlar ve Tartışma

Alüminyum matrisli nano SiO₂ takviyeli kompozit malzeme üretimi yapılmıştır. Nano SiO₂ oranı olarak ağırlıkça%3 ve%1,5 oranlarında karıştırılarak AA1050 malzeme referansı üzerinden çekme testi ile meydana gelen mekanik davranışlardaki değişimler incelenmiştir. Yapılan test ve analizler sonucunda;

- Nano SiO₂ nin alüminyum matrisine ilavesi çekme mukavemetinin artmasını sağlamıştır, %1,5 SiO₂ ilave edilmesi homojen bir yapı gösterirken %3 ilave edildiğinde

topaklanma görülmüştür, %1,5 oranında daha homejen bir yapı görülürken %3 oranında daha yüksek mukavemet değerlerine ulaşmak mümkün olmuştur.

- AA1050 Alüminyum malzeme ye kıyasla kompozit malzemenin mukavemet değerlerinde artış %3 Nano SiO₂ karışımında tavsız haddelenmiş değişik kalınlıklarda alınan numunelerin çekme analizi sonucunda ortalama % 8,61 artış , %1,5 Nano SiO₂ karışımında tavsız haddelenmiş (H19 haddelendiği gibi ısıl işlem yapılmamış) değişik kalınlıklarda alınan numunelerin çekme analizi sonucunda ortalama % 4,42 artış tespit edilmiştir. Test sonuçlarında elde edilen maksimum mukavemet miktarı AA4xxx serisi alüminyuma benzer özellikleri göstermiştir.

- %3 Nano SiO₂ karışımında tavsız haddelenmiş daha sonrasında tavlanıp H0 yapılmış değişik kalınlıklarda alınan numunelerin çekme analizi sonucunda ortalama % 4,37 artış tespit edilmiştir. kompozit malzemenin mukavemet değerlerinde artış %1,5 Nano SiO₂ karışımında tavsız haddelenmiş daha sonrasında tavlanıp (H0 haddeleme sonrası gerilme giderme ve rekristalizasyon tavı yapılmış plastik şekil değiştirmeye uygun malzeme) değişik kalınlıklarda alınan numunelerin çekme testi analizi sonucunda ortalama % 3,99 artış tespit edilmiştir. Tavlanmış olan malzemede iç gerilmelerin giderilip, malzeme iç yapısı terbiyelenip şekil verilmeye uygun hale getirildiği için tavsız numunelere kıyasla bir düşüş görülmüştür.

- Nano SiO₂ alüminyum malzemenin mukavemet değerlerini arttırdığı ve tavlandığı zaman %3 karıştırma oranının daha yüksek mukavemet değerleri gösterdiği fakat malzeme içindeki yayılımı istenilen şekilde sağlanamadığı sonucuna varılmıştır. %1,5 SiO₂ ilavesinin daha homojen yayıldığı görülmüştür.

- Uzama miktarı açısından incelendiğinde bir fark görülmemektedir. Malzemeler daha ince kalınlığa haddelendiğinde deformasyon sertleşmesi görülmüştür. Anizotropik haddelemenin mukavemet açısından bir etkisinin olmadığı ve %uzama miktarında bir değişiklik göstermediği sonucu görülmüştür fakat şekil verilebilirlik açısından bakıldığında anizotropik haddeleme daha iyi bir sıvama özelliği göstermesi umulmaktadır.

- Maliyet açısından sonuçları ele alırsak 1kg alüminyum 2019 verilerine göre AA1050 alaşımı için ortalama 15,50 TL olarak yarı mamül olarak satılmaktadır. Nano SiO₂ nin 1kg fiyatı ortalama 700 TL civarındadır. Üretilen AA1050 alüminyum matrisli Nano SiO₂ takviyeli kompozit malzemenin 1kg maliyeti 36,03 TL olarak

hesaplanmıştır. Maliyet hesabının sonucunda hafifliğin istenilip mukavemet değerlerinin yüksek olması gereken yerlerde kullanım alanı görebileceği umulmaktadır.

Teşekkür

Selçuklu Konalsan Alüminyum Metal SAN. ve TİC. LTD. ŞTİ.'ye çalışmaya vermiş olduğu destek üretim ve test ,analizler için teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Alüminyum Raporu TMMOB Metalurji Mühendisler Odası Alüminyum Komisyonu, (2018)
- [2] Cavaliere Pasquale, Jahantigh, Farhad, Shabani, Ali, Sadeghi. ve 2018, Influence of SiO₂ nanoparticles on the microstructure and mechanical properties of Al matrix nanocomposites fabricated by spark plasma sintering, Behzad J Composites Part B: Engineering, 146, 60-68
- [3] Woo, D.M, The Analysis of Axisymmetric Forming of Sheet Metal and theHydrostatic Bulding Process, Int. J. Mech. Sci., 1964; 6: 303-317.
- [4] Woo, D.M, “Analysis of The Cup Drawing Process”, J.Mech.Sci., 1964; 6: 116-131.
- [5] Chakrabarty, J, A Theory of Stretch Forming over Hemispherical Punch Heads, int. J. Mech. Sci., 1970; 12: 315-325.
- [6] Kaftanoglu, B. Alexander, J.M, On Quastatic Axisymmetrical StretchForming, Int. J. Mech. Sci. 1970; 12: 1065-1084.
- [7] Duncan, J.L, Altan, T, New Directions in Sheet Metal Forming Research, Annals of the C.I.R.P . 1980; 29: 153-156.
- [8] Yung-Chang Kang, Sammy Lap-Ip Chan. Tensile properties of nanometric Al₂O₃ particulate-reinforced aluminum matrix composites Received 3 November 2003; received in revised form 7 January 2004; accepted 3 February 2004 Materials Chemistry and Physics 2004; 85: 438–443.