



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

SİO₂ NANOPARTİKÜL TAKVİYELİ ALÜMİNYUM
MATRİS KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ, MEKANİK VE
ŞEKİLLENDİRİLEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ

Serkan Doğan ÖNAL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

EYLÜL-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Serkan Doğan ÖNAL tarafından hazırlanan “SiO₂ Nanopartikül Takviyeli Alüminyum Matris Kompozitlerin Üretimi, Mekanik ve Şekillendirilebilirlik Özelliklerinin İncelenmesi” adlı tez çalışması 09/09/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Dr.Öğr. Üyesi Mürsel EKREM

Danışman

Prof. Dr. Ömer Sinan ŞAHİN

Üye

Dr.Öğr. Üyesi Ali Serhat ERSOYOĞLU

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Hakan KARABÖRK
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

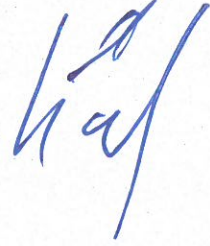
DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Serkan Doğan ÖNAL

Tarih:09.09.2019



ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SiO₂ NANOPARTİKÜL TAKVİYELİ ALÜMİNYUM MATRİS KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ, MEKANİK VE ŞEKİLLENDİRİLEBİLİRLİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Serkan Doğan ÖNAL

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği, Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ömer Sinan ŞAHİN

2019, 74 Sayfa

Jüri

Danışmanın Prof. Dr. Ömer Sinan ŞAHİN
Dr. Öğr. Üyesi Mürsel EKREM
Dr. Öğr. Üyesi Ali Serhat ERSOYOĞLU

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 rekristalizasyon rekristalizasyon tavsız haddelenmiş değişik kalınlıklarda alınan numunelerin çekme testi deneyi sonucunda en fazla % 13 artış tespit edilmiştir. Malzemenin mukavemet değerlerinde artış % 1,5 nano SiO₂ karışımında rekristalizasyon tavsız haddelenmiş değişik kalınlıklarda alınan numunelerin çekme analizi sonucunda en fazla % 14,4 artış tespit edilmiştir. Malzemenin çekme mukavemet değerlerinde artış % 3 nano SiO₂ karışımında rekristalizasyon tavsız haddelenmiş daha sonrasında tavlanyl H0 yapılmış değişik kalınlıklarda alınan numunelerin çekme analizi sonucunda en fazla % 10,5 artış görülmüştür. Malzemenin mukavemet değerlerinde artış % 1,5 nano SiO₂ karışımında rekristalizasyon tavsız haddelenmiş daha sonrasında tavlanyl H0 yapılmış değişik kalınlıklarda alınan numunelerin çekme analizi sonucunda en fazla % 10,7 artış sağlamıştır. Yapılan çalışmada optimum % 1,5 nano SiO₂ miktarının alüminyum malzemenin mukavemet değerlerini önemli ölçüde arttırdığı tespit edilmiştir.

Malzemelerin tavlansından dolayı H-0 kondüsyonundaki malzemelerin iç gerilmelerinin giderildiği için nano SiO₂ ilavesi yapılan malzemelerde kuvvetler sıvamada genel olarak AA1050 malzemedden ortalama 1000 N fazla kuvvet harcanmıştır. Nano SiO₂ malzemesinin sertliğinden kaynaklanan bu kuvvet artışı sıvanan malzemelere dayanım ve direnç kazandırdığı görüşüne varılmıştır. Sıvama yapılan numunelerde nano SiO₂ ilave edilen malzemelerde sıvama kuvvetinde artış görülmüştür.

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

ABSTRACT

MS THESIS

PRODUCTION AND INVESTIGATION OF MECHANICAL AND FORMABILITY PROPERTIES OF SiO₂ NANOPARTICLE REINFORCED ALUMINUM MATRIX COMPOSITES

Serkan Doğan ÖNAL

Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Mechanical Engineering
Advisor: Prof Dr.Ömer Sinan ŞAHİN

2019, 74 Pages

Jury
Advisor Prof. Dr.Ömer Sinan ŞAHİN
Asist. Prof. Dr. Mürsel EKREM
Asist. Prof. Dr. Ali Serhat ERSOYOĞLU

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 most increase of 13 % 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 14,4 % 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 most increase of 10,5 %. The increase in the strength values of the material was obtained by most of 10,7 % 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

Since the internal stresses of the materials in H0 condition are removed due to the annealing of the materials, the forces in SiO₂ added materials are generally spent 100kg more than the AA1050 material on average. It was concluded that this increase in strength caused by the hardness of nano SiO₂ material gives strength and resistance to plastered materials. There was an increase in the plastering strength of nano SiO₂ added materials.

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

ÖNSÖZ

Tezimin hazırlanmasında bilgi birikimimin oluşmasında emeği geçen ve yardımlarından dolayı Selçuklu Konalsan Alüminyum Metal SAN. ve TİC. LTD. ŞTİ. yetkililerine ve danışmanım Prof. Dr. Ömer Sinan ŞAHİN'e teşekkürlerimi sunarım.

Serkan Doğan ÖNAL
KONYA-2019



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
1. GİRİŞ	10
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	12
3. KOMPOZİT MALZEMELER.....	19
4. METAL MATRİS KOMPOZİT MALZEMELER.....	22
4.1. Alüminyum ve Alaşımları	22
4.2. Magnezyum ve Alaşımları.....	23
4.3. Titanyum ve Alaşımları	23
4.4. Bakır ve Alaşımları	24
4.5. Metal Matrisli Kompozit Malzemelerde Kullanılan Takviye Elemanları	24
4.5.1. Alümina (Al ₂ O ₃)	25
4.5.2. Silisyum karbür.....	25
4.5.3. Bor	26
4.5.4. Karbon	26
4.5.5. Titanyum karbür (TiC).....	27
5. MMK MALZEMELERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ.....	28
6. MATERYAL VE YÖNTEM.....	30
6.1. Bileşenler	30
6.1.1. Alaşım.....	30
6.1.2 Nano Silisyum Dioksit (SiO ₂).....	30
6.1.3 Üretim Aşamaları.....	32
6.2. Numunelerin Hazırlanması	35
7. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	39
7.1. Kimyasal Analizlerin İncelenmesi	39
7.2. İç Yapının incelenmesi	40
7.3. Mekanik Özelliklerin İncelenmesi	40
7.4. Şekil Verilebilirlik Özelliklerin İncelenmesi.....	54
8. SONUÇLAR.....	68
9. ÖNERİLER	71
KAYNAKLAR	72
ÖZGEÇMİŞ	74

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Al	: Alüminyum
Ti	: Titanyum
Mg	: Magnezyum
Ni	: Nikel
Cu	: Bakır
Zn	: Çinko
Ni	: Nikel
Cr	: Krom
Mn	: Mangan
Fe	: Demir
Ti	: Titanyum
TiB	: Tibor
Si	: Silisyum
SiC	: Silisyum Karbür
SiO ₂	: Silisyumdioksit
Al ₂ O ₃	: Alüminyum oksit
μ	: Mikron
μm	: Mikronmetre
nm	: Nanometre
T	: Sıcaklık
K	: Kelvin
°C	: Celsius
MPa	: MegaPaskal

Kısaltmalar

MMK	: Metal Matrisli Kompozit
HV	: Vickers Sertliği
HB	: Brinell Sertlik Değeri
MMC	: Metal Matris Kompozit
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
XRD	: X-Işımları Difraktometresi
OM	: Optik Mikroskop
FSP	:Friction stir process (sürtünme karıştırma yöntemi)



1. GİRİŞ

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 üretilmesi 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.

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 artırmaktır.

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 ve şekillendirilebilme özelliklerinin deneysel olarak araştırılmasını amaçlandı.

Çalışmamızda SiO₂ nano partiküller (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 umulmaktadır. Literatürde nano SiO₂ eklenen alüminyum malzemeler de mukavemet, aşınma direnci, yüzey sertliği özelliklerinde artış gözlenmiştir.

Çalışmamızda AA150 malzeme seçmemizin temel nedeni kolay işlenebilir özelliğine sahip olmasıdır. AA4XXX serisi alüminyumların işlenebilirlik ve şekil verilebilirlik özellikleri düşüktür, bu serideki malzemelere genel olarak ısıl işlem uygulanmaz %13 den fazla Si içeren alaşımların işlenmesi de oldukça zordur. Esnek ve

dekoratif görünüm bu serinin en önemli özelliğidir. Genel de kullanım alanı dekorasyon malzemeleri, mimari uygulamaları radyatör peteklerinin dilimleri imalatında kullanılır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Alüminyum Radyatör paneli kesit görünümü

Nikel ilavesi ile otomotiv sektöründe vites kutuları, silindir ve karterlerde, piston imalatında, motor gövdelerinde kullanılmaktadır. AA1050 malzemenin kolay üretilirlik özelliği ile AA4XXX serisi alüminyumlar gibi yüksek mukavemet özelliğinde olmasının yanısıra şekil verilebilir sıvamaya uygun bir malzeme üretimi için kompozit malzemedeki takviye elemanı olarak Nano SiO₂ seçilmiştir. Nano SiO₂ takviyeli alüminyum matrisli kompozit malzemelerde genel olarak literatürdeki çalışmalar aşınma direnci, mukavemet özelliklerinin artması v.s. gibi olduğu görülmüştür. Bu özelliklerin iyileştiği görülürken şekil verilebilirlik özelliği hakkında araştırma bulunmamıştır. Bu alandaki boşluk fark edilip çalışmamız bu yönde gerçekleştirildi.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Woo (1964) eksende simetrik sac metal parçaların şekillendirilmesini analiz etti ve plastisite teorisinin izotropik malzemede gerilme-gerinim karakterine uygun olarak uygulamasıyla malzeme üzerinde herhangi bir nokta da gerilme ve gerinimi hesapladı. Bu uygulamayı yaparken kalınlıktan kaynaklı gerilmeler yok saymıştır. 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.

Budiansky ve Wang (1966) silindirik derin çekme testini incelemişlerdir. Çalışmalarının amacı Swift silindirik derin çekme testinin analitik olarak incelenmesi ve teorik olarak derin çekme sınırının, gerinme oranına ve gerinme sertleşmesine bağlı olduğunu göstermektir.

Mellor (1970) sac metal şekillendirmede plastik deformasyon sırasında anizotropinin etkisini gözden geçirmiştir. Bunun sonucunda anizotropik şekil değiştirme etkisini ihmal etmiştir.

Chakrabarty (1970) daire malzemenin sadece küre şeklinde punçlar üzerinde gerdirerek şekillendirmesi sonucu oluşan stresleri teorik olarak incelemiştir. Çalışması sırasında kullandığı malzemenin izotropik, mukavemetli bir yapı olmasına, punç kafasının çok iyi yağlanmış olduğu dolayısıyla sürtünme etkisini ihmal etmiştir.

Kaftanoğlu, ve Alexander Duncan (1970), Duncan ve Altan, (1980) eksene göre simetrik parçaların deformasyonları üzerinde yaptıkları çalışmalarda plastik anizotropinin kalınlık yönündeki davranışının deformasyona olan etkisi araştırılmıştır.

Mizuno ve Kataoka (1980) çalışmalarında silindirik derin çekme sırasında malzeme, punç, pot çemberi arasında kalan yağ kalınlığının değişimini analitik olarak incelenmiştir. Ayrıca yüzey pürüzlüğü ile yağ kalınlığı arasında temas oranı kalıp ve malzeme arasında deneylerle gösterilmiştir.

Yung-Chang Kang ve arkadaşları (2004) 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 yumuşaklığı azalma olduğu bulunmuştur. Geleneksel bir toz metalurji teknikleri kullanılarak nano-metrik parçacık alüminyum matris oluşturduğu rapor edilmiştir.

Dinesh Kumar ve arkadaşlarının (2013) çalışmasında alüminyum matris kompozitler üstün mekanik ve fiziksel özellikleri incelenmiştir. Ultra-sonik destekli döküm, komponent döküm, toz metalurjisi, sıvı infiltrasyon kullanılmaktadır. Bu kompozit malzemeler, geliştirilmiş fiziksel ve mekanik özelliklere sahiptir, örn. düşük yoğunluklu, düşük termal genleşme katsayısı, iyi korozyon direnci, yüksek mukavemet, yüksek sertlik, yüksek sertlik ve aşınma direnci. Bu çalışmada, alüminyum matris- Al_2O_3 kompozitleri için toz metalurjisi ve döküm parçalarının üretim özellikleri ile mekanik özelliklerin karakterizasyonu gözden geçirilmiştir. Çok daha küçük parçacıklarla, mikron altı veya nano boyutlu aralıklarla güçlendirilmiş alüminyum matris, yüksek performanslı kompozitlerin üretilmesindeki en önemli faktörlerden biridir ve bu da geliştirilmiş mekanik özellikler sağladığı rapor edilmiştir.

Metal matris nanokompozitler, düşük sürtünme katsayıları, yüksek aşınma direnci, düşük termal genleşme katsayısı ve hafif ağırlık sergileyen ultra-güçlü malzemelerin kullanımıyla malzeme ve enerjide önemli ölçüde tasarruf sağlayıp kirliliği azaltır.

Hai Su ve arkadaşları (2012) çalışmasında geleneksel karıştırma döküm tekniği kullanılarak nano boyutlu seramik parçacık takviyeli alüminyum matris kompozitleri imal etmişler. Üretilen kompozit malzeme genellikle matris içinde yüksek oranda nanopartikül dağılımı ve yüksek gözeneklilik göstermiştir. Bu çalışmada, nano kompozitleri, ultrasonik işleme birleştirmiş katı-sıvı karışık döküm ile hazırlanmıştır. Elde edilen kompozit, tane mikroyapısı, matriste makul nanopartiküller dağılımı ve düşük gözeneklilik özellikleri sergilemiştir. Katı-sıvı karışık döküm tekniği, matris içindeki nanopartiküllerin aglomerasyonunu önlemede etkili olmuştur. Çözelti sırasında kompozit eriyiğin üzerine ultrasonik titreşimin uygulanması sadece matrisin tane mikro yapısını değil, aynı zamanda nano boyutlu donatının dağılımını da iyileştirmiş. Matris ile karşılaştırıldığında, ağırlıkça% 1'lik nano- Al_2O_3 / 2024 kompozitin nihai Çekme Dayanımı ve akma dayanımı sırasıyla% 37 ve% 81 oranında artmıştır. Daha iyi gerilme özellikleri, takviye ve alüminyum matrisin tane dağılımının düzgün ve homojen dağılımına bağlanmıştır.

Katı-sıvı karışık döküm prosesi, 2001 yılında Yung-Chang tarafından Kang ve ark., (2004) ortaya atılmıştır. Bu işlem sırasında, erimiş metalin içine iyi bir ıslatılabilirliğe

sahip belli miktarda metal tozu eklenir. Daha sonra sıvı metal eriyik içinde toz halinde dağılıncaya kadar yoğun şekilde karıştırılır. Daha sonra, bulamaç döküm veya diğer sıcak işlemlere tabi tutulur. Bu makalede, döküm nanoparçacık takviyeli alüminyum matris kompozitin hazırlanması için yeni bir yöntem tasarlanmıştır: birinci adım, nanoparçacıkların, metal tozun (Al tozu) yüzeyine önceden dağıtılmasıdır. İlk nanopartikül kümelenmeyi kırmaktır; ikinci adım katı-sıvı karışık döküm prosesi ile nano kompozit bulamacın üretilmesidir; üçüncü adım, kompozit bulamacın ultrasonik muamelesidir. Kompozitlerin mikroyapı ve gerilme özellikleri de rapor edilmiştir.

Mevcut çalışmada; Nano kompozit, ultrasonik işlem ile kombine edilmiş katı-sıvı karışık döküm ile başarıyla hazırlanmış, bu süreç, diğer nanopartikül takviyeli metal matris kompozitlerin de üretimi için de uygun görülmüştür. Öğütülmüş nano Al kompozit tozun eklenmesi, eriyik içindeki zayıf yüzeye tutunabilirlik ve nanoparçacık dağılımı ile ilgili problemleri hafifletmeye yardımcı olmuştur. Katılma sırasında kompozit bulamaç üzerinde ultrasonik titreşim, tane mikro yapısını yeniden oluşturmak ve matriste nanoparçacıklarının ortaya çıkan dağılımını iyileştirmek için yararlı olmuştur. Ultrasonik alandaki solidilasyon sırasında mikroyapı analizine dayanarak, kompozit eriyiğin mikroyapı evrimi ile ilgili bir model önerilmiştir.

Bharath V. ve arkadaşları (2014) çalışmalarında, metal matris kompozitin sentezlenmesi için özellikle karıştırma tekniği için bir çalışma yapmıştır. Sıvı metalurji rotası kullanılarak özellikle Al_2O_3 partikülleri ile takviye edilmiş matris malzemesi olarak 6061Al kullanılmış ve takviye oranları ağırlıkça % 3 ile % 12 arasında değiştirilmiştir. Her bir kompozit için, takviye partikülleri, $2000\text{ }^\circ\text{C}$ 'lik bir sıcaklığa önceden ısıtılmış ve daha sonra ıslatılabilirliği ve dağıtımını geliştirmek için erimiş Al6061 alaşımının girdabına üç adımda dağıtılmıştır. Partiküllerin homojen dağılımını sağlamak için dökümün merkezi kısmından örnekler alınarak, yukarıda hazırlanan kompozitler için mikroyapısal karakterizasyonlar gerçekleştirilmiştir. Al_2O_3 partiküllerinin, hazırlanan kompozitin sertlik ve gerilme özelliklerine etkisi incelenmiştir. Kompozitlerin mikroyapısal karakterizasyonu, örneklerde oldukça muntazam bir dağılım ve bir miktar tane arıtma olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, sertliği ve gerilme özelliklerini, takviye edilmemiş 6061Al matrisine kıyasla kompozitlerde daha yüksek bulunmuştur. Takviye ekleme seviyesinin artması hem sertlik hem de gerilme mukavemetinde daha fazla artışa neden olmuştur. Bu çalışmada 6061Al- Al_2O_3 partikül MMC karıştırma döküm yöntemiyle üretilmiştir. Takviye edici partiküllerin yüzeyde tutunabilirlik ve dağılımını geliştirmek için, güçlendirici

partiküllerin ön ısıtılması ile birleştirme yapılmış, bu yeni yöntemde üç aşamalı karıştırma gerçekleştirilmiştir. 6061Al-Al₂O₃ metal matris kompozitin, stirr döküm ile hazırlanması, mekanik ve yıpranma özelliklerinin değerlendirilmesi üzerine çalışma yapılmış ve aşağıdaki sonuçlar rapor edilmiştir.

6, 9 ve 12 ağırlık oranında Al₂O₃ partiküllerine sahip 6061Al içeren kompozitler, güçlendirici partikülleri ön ısıtılması ile birleştirilmiş üç kademeli karıştırma kullanılarak eriyik karıştırma yöntemiyle başarılı bir şekilde sentezlenmiş. Karıştırma döküm yöntemiyle üretilen kompozitlerin optik mikrograflarında, 6061Al metal matrisinde Al₂O₃ parçacıklarının oldukça düzgün dağılım görülmüş. Kompozitlerin mikroyapıları birincil Al dendritleri ve ötektik silikon içerdiği görülmüş, Al₂O₃ partikülleri, inter-dendritik bölgelerden ve ötektik silikondan ayrılmış olarak görülmüş. Hazırlanan kompozitlerin sertliği, ağırlıkça % 2.2 oranında artmış, çekme ve verim daha yüksek iken, kompozitlerin sünekliliği, döküm 6061Al ile karşılaştırıldığında daha az bulunmuştur. Al₂O₃ ün ağırlıkça % artmasıyla, gerilme mukavemeti artan bir eğilim göstermiştir. Döküm 6061Al alaşımında maksimum aşınma kaybı gözlenmiş ve 60.6Al + % 12 Al₂O₃ kompozitlerde 19.62 N'lik sabit yükte ve 300 rpm'lik hızda deney yapılmış minimum aşınma kaybı rapor edilmiştir.

M. Tabandeh Khorshid ve arkadaşları (2010) çalışmalarında, iki boyutlu alumina partikülleri (nanometrik ve mikron altı büyüklükler) ile takviye edilmiş alüminyum matris kompozitleri, ıslak yıpranma ve sıcak ekstrüzyon işlemleri ile hazırlamıştır. Nano, mikron altı boyutlu partiküllerin oranının arttırılmasıyla, nispi yoğunluğun ilk önce arttığı ve daha sonra azaldığı bulunmuştur. Kompozitlerin mikro sertliği ve kuvvetlerinin miktarı ilk önce arttığı ve daha sonra nanopartikül içeriğine bağlı olarak azaldığı tesbit edilmiştir. Mekanik özelliklerdeki artışın Orowan eğme mekanizması ve matris ile donatı parçacıkları arasındaki termal uyumsuzluğu ile açıklanmıştır. Nanopartiküllerin ağırlıkça % 4'ten fazla olduğu numuneler için, nanopartiküllerin aglomerasyonuna ve tane sınırları boyunca sürekli bir kırılma fazın oluşmasına atfedilen güçlü bir azalma gözlenmiştir. Ek olarak, kırık yüzeylerde oluşan çukurların boyutu, nano boyutlu partikülleri artırarak azaldığı rapor edilmiştir.

Pasquale Cavaliere ve arkadaşları (2018) çalışmasında Al-SiO₂ nanokompoziti, mekanik frezeleme ve kıvılcım plazma sinterleme (SPS) süreçleri kullanılarak üretilmişler, seramik nano boyutlu donatının, Al-SiO₂ nanokompozitinin mikroyapısı ve mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Elektron mikroskobu kullanılarak, birincil tozun mikroyapıları ve üretilen kompozitleri incelemiştir.

Kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemek için mikro sertlik ve çekme testleri de yapılmış, sonuçlar, nanopartiküller yüzdesini % 3'e kadar arttırırken gözeneklilikte bir azalma olduğunu ortaya konmuştur, daha yüksek takviye yüzdeleri için malzemenin yoğunluğu asgari seviyeye ulaştığı rapor edilmiştir.

Cavaliere Pasquale ve ark. (2018) Kıvılcım plazma sinterlemesi ile Al-SiO₂ nanokompozitleri 550 ° C sıcaklıkta üretilmiş, 550° C ve 50 MPa dikey basınç altında SiO₂ nanopartiküllerinin kompozitlerin mikroyapısı ve mekanik özellikleri üzerine etkisinin nasıl olduğu araştırılmıştır. Sonuçlar, SiO₂ nanoparçacık miktarının ağırlıkça% 3'ten daha fazla artmasıyla, parçacıkların birikmesine, alüminyumun tane büyümesine, gözeneklilikte artışa ve kompozitin teorik yoğunluğundaki azalmaya yol açtığı ortaya çıkarmıştır. Nanokompozitin Çekme Dayanımı, 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 azalmaya sebebiyet vermiş ve önemli ölçüde zayıflamıştır. SiO₂ nanopartiküllerinin içeriğinin arttırılmasıyla, nanokompozitin mikro sertlik değerlerinin ilk önce arttığı ve daha sonra azaldığı rapor edilmiştir.

M. Karbalaei Akbari ve arkadaşları (2013) çalışmalarında genel olarak, Al₂O₃ nanopartikülleri alüminyum ve bakır tozları ile öğütülmüş, karıştırma yapılarak döküm yöntemi ile A356 /1.5 hacim %Al₂O₃ nanokompozitler için alüminyum matrise dahil edilmiş. SEM mikrograflarında matris boyunca eşit dağılım, nanopartiküller gözlemlenmiştir. Tane boyutu ölçümleri, Al₂O₃ karışık tozla güçlendirilmiş kompozitlerin tane büyüklüğünün, saf Al₂O₃ takviyeli numuneninkinden daha küçük olduğunu göstermiştir. Öğütme işlemi, karışık tozlar ile takviye edilmiş numunelerdeki uygun partikül dağılımı üzerinde etkili olmaktadır. Ayrıca bu kompozitlerin gelişmiş Al₂O₃ parçacık takviyeli numunesi ile karşılaştırıldığında performanslarının arttığı görülmüştür. Öğütme süresinde artış ile gözeneklilik seviyesi biraz artmış sertlik, çekme ve basınç dayanımı azalmış. Bu azalma öğütme işlemi sırasında metalik tozların kademeli olarak oksidasyonu ve matrikste metalik oksit inklüzyonlarının varlığı ile ilişkili olabilir. Frakografide Al₂O₃-Al takviye örneklerinin kırık yüzeyinde dendritlerde aglomerasyonlu nanopartiküller görülmüş. Al₂O₃ – Cu takviyeli numunelerin mekanik ve mikroyapısal özellikleri bakımından, saf Al₂O₃ ve Al₂O₃-Al ile güçlendirilmiş kompozitleriyle karşılaştırıldığında, metalik tozların alaşım etkileri de göz önünde bulundurulmalıdır. Metalik tozların matriks üzerindeki muhtemel alaşım etkileri nedeniyle, öğütme işleminde metalik tozların türü ve miktarı optimize edilmelidir.

Seramik-metalik tozların pratik ve uygun bir hibrid veya çekirdek-kabuk yapısını elde etmek için bu yaklaşımı optimize etmek ve geliştirmek için daha fazla deneysel ve mikroyapısal çalışmalara ihtiyaç duyulmakta olduğu rapor edilmiştir.

H. S. Arora ve arkadaşları (2012) çalışmasında friction stir process (FSP), kompozit bir üretim süreci olarak başarıyla geliştirilmiştir. Takviye parçacıklarının malzemeye harici olarak eklendiği, ex situ kompozitlerin oluşturulmasındaki ana zorluk, son derece ince takviye edici partiküllerin aglomerasyonudur. FSP'deki büyük plastik suş, metal tozlarını kesebilir ve takviye parçacıklarını çevreleyen oksit tabakasını kırabilir ve bu da matriks ile takviye arasındaki yakın temasa neden olur ve reaksiyonu destekler. Parçacık aglomerasyonunun eğilimi, esas olarak sürtünme ve kesme kuvvetinin oluşturulmasından sorumlu olan bir FSP takım omuz çapının uygun seçimi ile önemli ölçüde azaltılabilir. Islaklığı arttırmak için güçlendiricilerin, çok gövdeli FSP ile birlikte ön işleme, FSP nugget bölgesindeki çok ince güçlendirici parçacıkların homojen dağılımı için başka bir alternatif sunmakta. Optimum FSP parametrelerinin seçimi, bu teknolojiyi kullanarak bir sağlam kompozit bölgenin üretimi için çok önemlidir. FSP sırasında ısı oluşumu, hatasız bir FSP bölgesi üretmek için belirleyici bir konudur. Takım omzu ve iş parçası yüzeyi arasındaki küçük sürtünme katsayısı, malzemeyi yeterince yumuşak yapmak için yeterli ısı üretmek için yeterli değildir ve sonuç olarak, gevrek kırılma meydana gelebilir. Öte yandan, sürtünme katsayısındaki aşırı artış, iş parçasının alete yapışmasına ve kusurları oluşturmaya neden olabilir. Son derece ince takviyeler, sabitleme alanları olarak işlev görür ve tane yapısını takviye edilmeden FSP'de bölgeden bile daha fazla arındırır ve böylece malzemenin genel özellikleri geliştirilmiş mikro sertlik, daha büyük Young modülleri ve mukavemeti önemli ölçüde geliştirir. Ayrıca, FSP sırasında iş parçasına uygulanan yüksek plastik leke sadece karıştırmayı desteklemekle kalmaz, aynı zamanda elementlerin difüzyon hızını artırır, böylece malzeme kontrol elemanları arasındaki reaksiyonu hızlandırır. Aksi halde, FSP, in-situ in situ metalik fazın oluşumunu kolaylaştırmak için yüksek sıcaklık sağlayabilir ve malzeme oluşturan elemanlar arasındaki reaksiyonu hızlandırabilir olduğu rapor edilmiştir.

Böylece, FSP tekniğinin yüzey ve hacim kompozitlerinin üretilmesinde başarılı bir şekilde uygulanması, onu kompozit üretim alanında sıkı bir şekilde kurar. Bu alandaki ileri araştırma çabaları ve süreç özelliklerinin daha iyi anlaşılması, bu teknolojinin ticari başarısının da önünü açabilir.

Kaftanođlu B. (1970) sűrtűnme katsayısını hesaplamak için iki farklı metot geliřtirmiř. Bu metottan ilki radyal bűlgede derin çekme sırasında, diđeri ise malzeme ve kalıp arasında oluřan sűrtűnme faktűrűnű gűsteren metotlardır. Bu metotlarla sűrtűnme faktűrűnűn plastik deformasyon fonksiyonuna gűre deđiřimi rapor edilmiřtir.



3. KOMPOZİT MALZEMELER

Kompozit malzeme bir veya daha fazla farklı özellikteki malzemelerin daha iyi özelliklerde bir araya getirmek için birleştirilmesidir. Bu birleştirme yapılırken istenilen özelliklere yönelik malzemeler incelenip sonuç odaklı olarak nasıl özellikler isteniyor ise buna yönelik malzemeler seçilmelidir. Kısacası malzemelerin üstün özelliklerini bir araya getirerek daha iyi özelliklerde malzemeler oluşturmaktır. Kompozit malzemeleri, şu şekilde sınıflandıra biliriz;

- Yapılarına göre malzemeler.
- Yapılarını oluşturan bileşenlere göre malzemeler.

Matris malzemesinin çeşidine göre kompozit malzemeler;

- Plastik esaslı kompozitler,
- Metal esaslı kompozitler,
- Seramik esaslı kompozitler,

Yapısının türüne göre kompozitler;

- Partikül ilaveli kompozitleri
- Elyaf ilaveli kompozitler,
- Tabakalı kompozitler,
- Dolgu yapıli kompozitler,

şeklinde sınıflandırabiliriz.

Nano kompozit malzemelerin özelliklerini inceleyecek olursak Kompozit malzemeyi oluşturan malzemelerin en az birinin nano boyutta olduğu kompozitlerdir. Metal matrisli kompozitlerde geniş kullanım alanı olduğu görülmüştür. Bu kompozit malzemelede üretim esnasında takviye elemanın matris malzemesi içerisinde ısınabilmesi gerekmekte, kompozit malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerini bu belirler.

Bu nedenle seçilen malzemelerin ve birbirleriyle olan ilişkilerinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Kullanılacak yere göre istenilen temel özellikler iyi incelenmeli ve MMK malzemelede üretim prosesi, malzemelerin termin süreleri, matris ve takviye malzemesinin elastisite modülü, Çekme Dayanımı, ergime sıcaklığı,şekil analizi, kimyasal özellikleri makro ve mikro yapıları, iyi incelenmelidir (Çizelge 2.1) (Kerti, 1998).

Çizelge 2.1 MMK'lerde kullanılan bazı takviye malzemelerinin özellikleri (Toptan, 2006)

Takviye Malzemesi	Yoğunluk ($\times 10^3 \text{ kgm}^{-3}$)	Isıl Genleşme Katsayısı (10^{-6}C^{-1})	Ergime Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	Mukavemet (MPa)	Elastiklik Modülü (GPa)
Al_2O_3	3,98	7,92	2100	221(1090 $^{\circ}\text{C}$)	379 (1090 $^{\circ}\text{C}$)
SiC	3,21	5,40	2750	-	324(1090 $^{\circ}\text{C}$)
C	2,18	-1,44	-	-	690
SiO_2	2,66	<1,08	1710	-	73
AlN	3,26	4,84	2375	2069 (24 $^{\circ}\text{C}$)	310 (1090 $^{\circ}\text{C}$)
B_4C	2,52	6,08	2420	2759 (24 $^{\circ}\text{C}$)	448 (24 $^{\circ}\text{C}$)

Kompozit malzemelerde takviye elemanından istenilen özellikler iyi bir dayanım, ucuz, güvenilir, iyi bir sıcaklık dayanımı, mukavemetin iyi olması, tokluk, üretimde kolaylık olması istenir.

Nano kompozitlerde en çok kullanılan takviye malzemeleri Al_2O_3 , SiC, Bor ve grafen şeklindedir. Bunun dışında literatürde bu malzemelerin kararlı oksitleri, karbürleri, nitrürleri, borürleri v.b. takviye malzemelerinin önde geldiği görülmektedir.

Genelde kullanılan malzemelerin çoğu elyaf şeklindedir (cam, karbon, bazalt vb.). Bunun asıl nedeni fiber şeklindeki malzemelerin dayanımının yüksek olması ve rijit olmalarıdır. Fiber şeklinde iken makro düzeye göre 50 kata kadar daha dayanıklı ve daha fazla rijit oldukları görülmüştür. Katı fazındaki hallerine göre daha üstün özellikler gösterdikleri görülmektedir. Elyaf çapları şekilleri ve boyutları malzeme özelliklerini direkt etkileyen unsurlardır.

Havacılık ve uzay sanayinde mukavemet değerlerinin yüksek olmasından, hafif olmalarından dolayı nano kompozitler geniş kullanım alanı bulmaktadır. Bunun dışında havacılık sektöründe genellikle alaşımlı alüminyumların matris malzemesi olarak seçilerek yorulma, esneklik, yüksek mukavemet gibi özellikler seçilen takviye malzemesinin çeşidine göre belirlenmektedir (Cayron, 2000).

1900' lü yılların ortalarında metal matrisli kompozitler için daha özgül dayanıma ve elastikliğe sahip malzemeler üzerinde yoğun olarak çalışılmıştır. Bu malzemelerde genel olarak takviye malzemesi SiC ve B_4C benzeri malzemeler kullanılmıştır ve deneysel çalışmalar bu takviye malzemeler dışında boron üzerinde de oldukça yoğun olmuştur.

Boron elyafının mukavemet değerleri, yoğunluğunun dūşük olması, buhar biriktirme yönetemi ile kullanılmasını kolaylaştırmış fakat metal matrisli kompozitlerde dez avantajları görülmüş ve SiC elyafa geçiş süreci başlamıştır (Kang ve ark.).

Nano silikon dioksit genelde kaplamalarda kullanım alanı bulmaktadır. Bunun asıl nedeni aşınma dirençlerinin, sertlik değerinin lekelenme dirençlerinin çok iyi olmasından dolayıdır. Antibakteriyel özelliğe sahip olduğu ve kendi kendini temizleme özelliğinden dolayı tekstil sektöründe de kullanılmaktadır.

Kaplamalarda kullanıldığında ovma direncinin arttığı mukavemet değerlerinin yüksek olduğundan dolayı kesici takımlarda da kullanılmaktadır.

Nano SiO₂ `in rengi beyaz pudra gibidir, genellikle piyasada 15-50 nm arasındaki boyutlarda toz olarak satılmaktadır. Kırılmaz telefon camlarında, çizilmez ekranlarda, biyomedikal alanlarda kullanım alanı olduğu görülmüştür.



4. METAL MATRİS KOMPOZİT MALZEMELER

Metallerin çoğunluğu yüksek sıcaklıklarda ergimektedir ve özelliklerinin iyi olmasına rağmen kırılğan yapıda olabilmektedirler. Fakat fiber ile takviyelenen kompozitler iki malzemenin uyumlu bir şekilde imalatı ile yüksek mukavemet özellikleri elde edilmektedir. Bakır, alüminyum v.s. matrisli kompozitler için en iyi örnek alüminyum bakır kompozitleridir.

Bu türdeki kompozit malzemeler daha ekonomik olarak üretilmektedir ve matris malzemesi içindeki takviye elemanları içinde ikinci faz oluşumu küçük parçalar halinde olmaktadır. Bu olay sırasında oluşan parçacıklar gelişi güzel olarak dağılmış olur. Metal ve metal olmayan seramik takviyeli kompozitler de yüksek sıcaklıklarda daha iyi dayanım özellikleri görülür, bunun dışında daha rijit ve daha tok malzemeler üretilmesine karşın gevrek yapılar görülebilir.

4. 1. Alüminyum ve Alaşımları

Metal malzemelerde en çok kullanılan malzeme alüminyum ve alüminyum alaşımlarıdır. Yaygın olarak kullanılmasının en önemli sebebi hafifliği ve alaşımlama ile yüksek mukavemet, kolay şekillendirilebilirlik v.s. özellikler bunun başındadır. Saf alüminyum doğada oksitleri olarak bulunmaktadır, bu sebepten dolayı döküm esnasında krounulması gereken en önemli düşman oksijendir. Malzeme içine nüfuz eden oksijen döküm boşluklarına oksti tabaklarına neden olarak mekanik özelliklerin düşmesine ve istenmeyen sonuçların görülmesine neden olmaktadır. Alaşımlanmış alüminyumlar ile havacılık, otomotiv, savunma sanayi gibi sektörlerde yoğun olarak kullanılmaktadır. Çizelge 3.1’de saf alüminyumun temel özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 Saf alüminyumun önemli fiziksel özellikleri.

Isıl genişleme katsayısı (1/K)	24.10 ⁻⁶
Elastik modülü (GPa)	66
Ergime ısısı (KJ/kg)	390
Isı iletim katsayısı (W/mK)	230
Elektrik iletim kts. (m/Ωmm ²)	40
Özgül ağırlığı(gr/cm ³)	2.78
Ergime sıcaklığı (°C)	660

4.2. Magnezyum ve Alaşımları

Endüstriyel uygulamalarda hafiflik istenen malzemere olan talebin her geçen gün artması hafif metaller ve alaşımlarından olan magnezyumun üretim uygulamalarındaki kullanılan alanlarını arttırmış ve gelecekte de kompozit malzemelerde geniş kullanım olanı olacak bir malzemedir.

Magnezyumun yoğunluğu $1,74 \text{ gr/cm}^3$ dir. Birçok uygulamada kullanılan magnezyum hafif bir metaldir. Ağrılığı alüminyumdan azdır. Alüminyumun yoğunluğu $2,7 \text{ gr/cm}^3$ olduğu düşünülürse yaklaşık $2/3$ kat daha az, demirden ise $1/4$ daha azdır.

Alaşımlarında mekanik özelliklerinin iyi olduğu görölmektedir. Alaşımlarında yüksek dayanım, kolay dökülebilirlik özelliklerine sahiptir.

Ergime noktası $650 \text{ }^\circ\text{C}$ olduğundan kaynak kabiliyeti oldukça iyidir. Kolay bulunabilir bir metaldir.

Alüminyum kadar iyi mukavemet özellikleri yoktur. Uzay sanayinde, yüksek hızlı makinelerde kullanılır. Oksijen ile kolay etkileşime girebilmektedir. Elastisite modülü düşüktür. Bu nedenlerden dolayı daha az tercih edilir.

Alaşımlarında en çok alüminyum ve çinko kullanılmaktadır. Bu nedenle dayanım değerleri artırılabilir. Magnezyum kolay dökülebilirlik özelliğine sahiptir fakat hızla sertleşebilir veya bazı türleri ise kolay sertleşmemektedir.

Aşınmaya karşı direnci oldukça düşüktür. Aşınma direnci çeşitli katkıları ile artırılmaktadır (Cöcen ve Önel, 1996).

4.3. Titanyum ve Alaşımları

Titanyum matris malzemesi olarak MMK olarak yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Korozyon direnci çok iyidir. Yüzeyinde TiO_2 tabakası ince bir şekilde oluşarak korozyon direncinin yüksek olmasını sağlar.

Sağlık sektöründe vücut içerisine koyulan parçalarda uzay sanayinde aşınma direncinden ve korozyon direncinden dolayı yaygın olarak tercih edilmektedir.

Titanyum oldukça dayanıklı ve rijit özelliğe sahiptir. Mukavemet özelliklerinin özgül ağrılığa oranı oldukça iyi olması uçak sanayinde kullanım alanı bulmasını sağlamıştır.

Dezavantajlarının başlıcası pahalı olmasıdır. Titanyum'un genleşme kat sayısı düşük olmakla birlikte, alaşımları oldukça iyi özellikler gösterir. Çizelge 3.1'de Ti-6Al-4V alaşımının önemli olanlarından bir kaç tanesinin özellikleri ve alaşımları verilmiştir (Altun ve diğer., 2006).

Titanyum alaşımlarının takviye malzemeleri ile iyi bir kaynaşma sağladığı bilinmektedir. Yüzeydeki mukavemet özellikleri bu nedenden dolayı artmaktadır. En yaygın takviye malzemesi olarak SiC kullanılmaktadır (Cöcen ve ark., 1997).

4.4. Bakır ve Alaşımları

MMK malzemelerde bakır ve alaşımları özellikle en çok elektrik elektronik alanında kullanılmaktadır. Bakırın elektrik iletkenlik özelliklerinin iyi olması özelliği bakırı ön plana çıkarmaktadır. Bakır genelde takviye malzemesi olarak grafit tozu ile düşük termal genleşme özelliğine ve daha iyi elektrik iletkenliğine sahip olduğu için endüstride elektrikle ilgili bir çok cihazda kullanılmaktadır. Bakırın dez avantajlarının başlıcası kendinden sonra en iyi iletken olan alüminyumdan daha pahalı bir malzeme olmasıdır.

Alüminyum-Bakır alaşımları sönümlenme özelliği grafit ilavesi ile büyük oranda arttığı için japon firması Hitachi tarafından titreşim sönümlenmek için kompozit olarak üretimi yapılmaktadır.(Cöcen ve Önel, 1996).

4.5. Metal Matrisli Kompozit Malzemelerde Kullanılan Takviye Elemanları

MMK malzemelerde üretim yapılmadan önce kullanım alanı ve yapısal olarak kullanılacak şekil belirlenir. Belirlenen malzemeye göre takviye malzemesi seçilirken kullanım alanında maruz kalacağı fizksel ve mekanik koşullar göz önünde bulundurulur.

Bu nedenden dolayı takviye malzemesi seçilirken koşulların önemli ölçüde belirlenip malzeme seçiminin iyi bir şekilde yapılması gerekmektedir.

MMK malzemelerden genel olarak beklenen özellikler;

- Yüksek mukavemet ve dayanım,
- Düşük ağırlık,
- Matris malzemeleri ile optimum uyum,
- Kolay üretilebilirlik,

- Yüksek sıcaklık dayanımı
- Ucuza maliyet olması beklenmektedir.

Üretimi yapılacak olan malzemenin kullanılacağı yere göre istenilen kompleks özellikler vardır. MMK malzemelerde en çok kullanılan takviye malzemeleri Al_2O_3 , SiC, Bor, TiC ve karbondur ((Şahin, 2000); ASM Composite Handbook, 2002)(Handbook, 2002).

MMK malzemelerin avantajlarının bazıları yüksek dayanım, ısıl direnç, kolay şekil verilebilirlik ve kolay üretim prosesleridir, en çok partikül takviyeli kompozit olarak karşımıza çıkmasının temel nedeni üretim kolaylığıdır.

MMK malzemelerde kullanılan başlıca takviye malzemeleri şu şekildedir.

4.5.1. Alümina (Al_2O_3)

MMK malzemelerde istenilen özellik yoğunluğun düşük, dayanımın yüksek olması ise bu özelliği yapısal olarak seramik malzemelerden olan Al_2O_3 sağlar.

Alümina düşük ağırlıkta yüksek dayanım ve rijitlik özelliği gösterir. Bu nedenden dolayı geniş kullanım alanı görmektedir.

Alümina için en uygun katkı elemanı alüminyumdur. Alüminyum içerisine Alümina veya silisyum karbür ilavesi daha düşük elastisite modülü ve daha yüksek dayanım özelliklerine sahip olmasına sağlar. Bu malzemeler ekonomik olarak oldukça yüksek maliyetlere sahiptir fakat SiC'e göre daha fazla avantajı olduğu görülmektedir. (Handbook, 2002). (Kang ve ark.)

4.5.2. Silisyum karbür

MMK malzemelerde kullanılan bir diğer katkı malzemesi SiC'dür. SiC yüksek ergüme noktasına sahiptir yaklaşık olarak 1400 °C'de eriyen bu seramik takviye malzemesinin en önemli özelliklerinden birisi yüksek ısı direncidir.

Oksidasyona karşı direnci oldukça iyidir, yükselen sıcaklıklara rağmen mukavemet özelliklerini korur. Eriyen alüminyum içerisine katkı olarak kullanıldığında bor elyaftan daha iyi özellikler gösterir.

Bor elyaf oldukça pahalı bir malzemedir. Silisyum karbürün termal özelliklerinin alüminyumdan daha iyi olmasından dolayı birlikte yapılan kompozit

malzemelerde şekil verilebilirlik bakımından plastik deformasyon ile şekillendirilmesinde önemli bir avantaj sağlar (Sınmazçelik, 2003).

4.5.3. Bor

Bor yeryüzündeki en hafif malzemelerden biridir. Bor fiber, borun genelde CVD yöntemi ile tungsten veya karbon altlık üzerine kaplanması yolu ile üretilir. Kalın bir fiber elde edilir. Oluşan hibrit yapıya, ısıl işlem yapılarak kalıntı gerilmeler azaltılır. Fiberin dayanımını azaltacak aşırı tane büyümesini önlemek için, sıcaklık dikkatlice kontrol edilmelidir. Bor fiberler çok yüksek elastiklik modülü değerine sahiptir, fakat oldukça pahalıdır. Avantajlarına rağmen metal matrisli kompozit üretimi sırasında bor fiberin, Al ve Ti gibi metallerle hızla reaksiyona girmesi, tungsten tel ile bor kaplama sırasında reaksiyon oluşması, difüzyonla tungsten boridiğe dönüşmesi ve dolayısıyla borun dış yüzeyine yakın yerde eksenine dik şekilde basma gerilmesi oluşturur ve bu da bor fiberi kırılğan yapar. Bunu önlemek için borun üzerine kimyasal buharlaştırma metoduyla SiC veya B₄C kaplanır ve kaplama kalınlığı 25-45 µm kadardır (Handbook, 2002).

4.5.4. Karbon

Karbon 20. yüzyılın yarısından sonra kullanılmaya başlanmıştır. Karbon fiber kompozit malzemelerin üretiminde oldukça geniş bir yer tutmaktadır. Bunun en temel nedneleri;

- Düşük yoğunluk,
- Yüksek çekme dayanımı,
- Yüksek Elastisite modülü bu özelliklerden bazılarıdır.

Karbon fiber malzemeler 1500 °C 'ye kadar mekanik olarak özelliklerini korur ve 2000 °C'den sonra sürünme davranışı başlar. Karbon fiber malzemeler atmosferimizde kararlı olmasına rağmen 450 °C den fazla sıcaklıklarda oksitlenebilirler. Karbon elyaf üzerine yapılan çeşitli kaplamalar oksidasyon direncini artırır bu kaplamalardan bazıları SiC ve B₄C dür (Aran, 1997).

4.5.5. Titanyum karbür (TiC)

Titanyum karbür malzeme olarak yüksek sıcaklıklarda özelliklerinin değişmemesi nedeni ile katkı elemanı olarak geniş kullanım alanı bulmaktadır. Önemli avantajlarından bazıları, elastisite modülünün yüksek olması, yüksek sıcaklıklarda yüksek performans, iyi mukavemet özellikleri, yüksek sürenme direncidir.

Dez avantajlarının başlıcası yoğunluğunun yüksek olmasından dolayı fazla kullanım alanı bulamamıştır. ($\rho= 4,93 \text{ gr/cm}^3$)

Ti ve Ni ile oluşan alaşımlarda TiC powder takviyesi edildiğinde çalışma sıcaklığı 1100 °C'den fazla olduğu görülmüştür. Alüminyuma yapılan partikül takviyesi ile piston, biyel gibi otomotiv sektöründe kullanılmıştır bunun temel nedeni ise yüksek aşınma direncine sahip olmasıdır (Sınmazçelik, 2003).

5. MMK MALZEMELERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ

MMK malzemeler geleneksel malzemelere göre daha üstün özelliklerle karşımıza gelmektedir. Son yıllarda üretim tekniklerinin üzerindeki çalışmalar sonucunda çok fazla yol kat edilmiştir, buna rağmen üretim yöntemleri halen zorlu ve maliyetleri yüksektir.

MMK malzemelerinin üretimi yapılacak olan malzemenin boyut ve şekline bağlı olarak proses belirlenir ve kompozit malzemelerde katkı malzemesi bu yöntemin belirlenmesinde önemli rol alır. Üretim yöntemleri geleneksel metal üretimi ile benzerdir, fakat bu yöntemleri istenilen özelliğe ve nihai şekile göre katkı malzemesinin toz veya fiber olması gibi durumlara göre değişmektedir. Bu yöntemler genelde katı halde üretim, sıvı halde üretim gibi yöntemlerdir. Bu yöntemleri şu şekilde sıralayabiliriz.

1. Katı Hal Üretim Yöntemleri

- Toz Metalurjisi ile Üretim
- Difüzyon Bağı ile Üretim

2. Sıvı Hal Üretim Yöntemleri

- Metal İnfiltrasyon Yöntemi
- Sıkıştırma Dökümü Yöntemi
- Metal Karıştırma Pota içerisinde
- Plazma Püskürtme yöntemi

3. Diğerleri

- Rheocasting ve Compocasting Yöntemi ile Döküm Teknikleri
- Vidalı Ekstrüzyon Yöntemi
- İn-Situ Yöntemi
- XD Yöntemi

Metal Matrsili kompozitlerde en çok kullanılan üretim yöntemi toz metalurji yöntemidir. Bunun dışında bahsettiğimiz bir çok yöntem olmasına rağmen en yaygın ve üretim kolaylığı gibi sebeplerden ve daha homojen yayılım sağlanan yöntem toz metalurji döküm yöntemidir.

Bunun dışında döküm işlemi sırasında takviye malzemesinin yayılımını ve malzemeye nüfuzunu kolaylaştırmaktadır. Dez avantajları arasında üretim gerekli özen

gösterilmeden yapılırsa topaklanma, homojen yayılmama, parçalanma erime sıcaklıklarına dikkat edilmez ise takviye malzemesinin erimesi gibi sorunlara yol açabilir. Uzun süreli karıştırma ve asal gaz ortamında yapılması gereklidir.

Toz metalurijisi yöntemi pahalı bir üretim yöntemi olması bakımından dezavantajlı gibi olsada bu yöntemle üretilen malzemeler çeşitli şekillerin ve boyutların işlenmesinde kolaylık sağlar. Bu yöntem gelişmekte olan bir yöntemdir. Halen seri üretimde endüstride yer alamamaktadır.

Tezimizde kullandığımız yöntem döküm yöntemidir. Bu teknikle üretim metodu rheocasting ve compocasting döküm tekniği metodudur. Bu tekniğin seçilmesinin temel nedeni kolay bir üretim yöntemi olması ve fabrikamızda hazırda üretim yapan bir sistem mevcut olduğu için tercih edilmiştir.

Rheocasting ve Compocasting döküm yöntemi en eski üretim metodlarından biridir. Üretim yöntemi olarak maliyeti yüksektir fakat istenilen sonuçlara daha kolay bir şekilde ulaşılmaktadır. Bu yöntemde matris malzemesi bir pota içerisinde ergitilerek ergime sıcaklığının ortalama 50°C üzerinde tutulur bu işlem PLC sistemlerle yapılarak sıcaklığın anlık kontrolü sağlanır. Alaşımlama yaklaşık % 50 oranında katı fazındayken ayarlanır matris malzemesi ergitildikten sonra analiz yapılarak sonuçlar gözden geçirilir. İstenilen alaşım sağlanmış ise sıcaklık kontrol edilip takviye malzemesi eklenmeye başlanır bu esnada sıcaklık arttırılmaktadır. Bunun başlıca nedeni ise topaklanma ve istenmeyen hal değişimlerinin önüne geçmektir. Bu işlem esnasında karıştırılmaya devam edilir, uzun soluklu bir karıştırma işlemi gerektirir. Ardından ergitilen metalin özelliğine göre asal gaz ile gaz alma işlemi, oksitlenen malzemelerin temizliği yapılır. İstenilen karışıma ulaşıncaya döküm sıcaklığına gelen malzeme istenilen kalıp içine dökülerek üretim tamamlanır.

Ergime sıcaklığında karıştırılırsa "Rheocasting" olarak adlandırılır eğer ergime sıcaklığının üstünde karıştırma işlemi yapıp dökülür ise bu yöntem "Compocasting" yöntemi denilir.

6. MATERYAL VE YÖNTEM

6.1. Bileşenler

Bileşenler üretimi yapılacak olan numunelerin özelliklerine göre belirlendi. Alüminyum seçimi AA1050 ve takviye malzemesi olarak Nano SiO₂ seçildi. Üretim yöntemi olarak hazır olarak firma bünyesinde üretim yapılan döküm yöntemi seçildi. Test parametreleri mekanik özelliklerin ve şekil verilebilirlik özelliğinin incelenmesi için çekme ve sıvama testi için uygun standartta firmada kalite kontrol amacı ile yapılan standartta uygun olarak yöntemler kullanıldı.

6.1.1. Alaşım

Tezimizde kullanılan AA1050 alaşımı piyasada genel amaçlı olarak en yaygın kullanılan alüminyum alaşımı olmakla birlikte geniş bir kullanım alanı bulunmaktadır. Kullanım alanı olarak genel bakılacak olursa mutfak eşyalarının üretimi, yüzey kaplama da geniş olarak kullanılmaktadır. AA4xxx serisi alüminyumlar incelenirse, CC Caster sürekli döküm hattı ile veya külçe üretimi ile üretimleri oldukça zor ve meşakatlidir. Üretim esnasında Si elementi homojen yayılmamakta ve alüminyumda heterojen bir sertlik yayılımı göstermektedir. Bu alaşımın üretimi yerine AA1050 alüminyum içerisine Nano SiO₂ eklenerek aynı mukavemet oranlarının sağlanıp şekil verilebilir bir malzeme elde edilmiştir. AA 1050 malzemenin kimyasal kompozisyonu Çizelge 6.1. de gösterilmiştir.

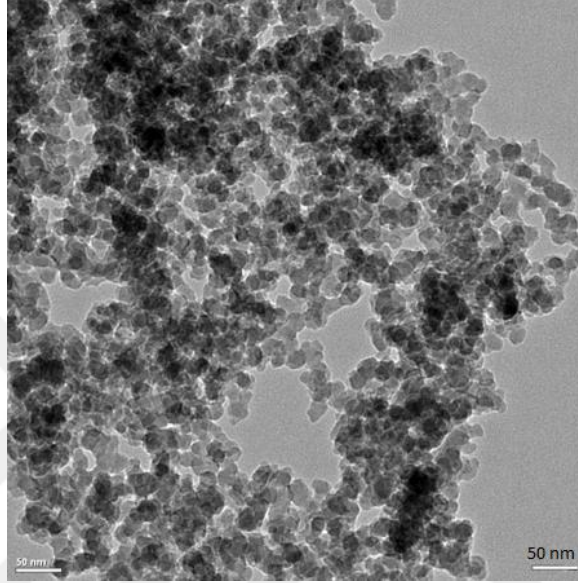
Çizelge 6.1. Dökümü yapılan AA1050 malzemelerin kimyasal yapısı

Malzeme	%Al	%Si	%Fe	%Zn	%Cu	%Mn	%Mg	Diğer
AA1050	99,505	0,157	0,253	0,02	0,006	0,005	0,002	Kalan

6.1.2 Nano Silisyum Dioksit (SiO₂)

Nano silisyum dioksit günümüzde aşınma direnci, yüksek sertlik değeri, yüksek mukavemet gibi özelliklerin istenildiği birçok alanda kullanılmaktadır. Bunlardan başlıcaları çimento içerisine katkı yapılarak basma dayanımını arttırmak, kırılmaz cam teknolojisinde hem yüzeyde aşınmayı hemde elastiklik özelliğinden darbe sönümlemek

amacı ile kullanılmaktadır. Literatür de alüminyum matris içerisinde oldukça az kullanılmış olan Nano SiO₂ genelde mekanik özellikleri incelenmiş olup alüminyum içerisinde sıvama özellikleri incelenmemiş olduğundan dolayı bu boşluğu değerlendirmek amacı ile tezimizde kullanılmıştır. Kullanmış olduğumuz Nano SiO₂'nin tane boyutu 15-35 nm arasındadır. Sem görüntülerindeki mikro yapısı Şekil 6.1. de verilmiştir.



Şekil 6.1. Nano boyuttaki SiO₂ mikro yapısı.

Kullanılan Nano SiO₂ nin genel özellikleri ve kimyasal yapısı Çizelge 6.1. de tablo halinde gösterilmiştir.

Çizelge 6.1. Dökümü yapılan AA1050 malzemenin özellikleri ve kimyasal yapısı

Safılık (%)	99,5
Renk	beyaz
Ortalama Parçacık Boyutu (nm)	15-35
Özgül Yüzey Alanı (m ² /g)	150-550
Kitle Yoğunluğu (g/cm ³)	<0,1
Gerçek Yoğunluk (g/cm ³)	2,2

Element Analizi (%)

Fe	Ca	Ti	Na
0,002	0,007	0,012	0,003

6.1.3 Üretim Aşamaları

Üretim yapılmadan önce inceleyeceğimiz özelliklerin doğrultusunda TiB ilavesine karar verilmiştir. TiB ilavesinin temel nedeni iyi bir tane inceltici olması ve piyasada kolay bulunabilirliğidir. Üretim aşamalarında takviye edilen nano malzemenin homojen olarak nüfuz etmesini sağlamak için asal gaz olarak azot gazı seçilmiştir. Azot gazı oksijen için iyi bir bağlayıcıdır ve alüminyum içerisindeki hava boşluklarının oluşmasını engellemekte ve ayrıca alüminyum içerisinde iyi bir karışımın sağlanmasına yardımcı olmaktadır. (Şekil 6.2, Şekil 6.3).



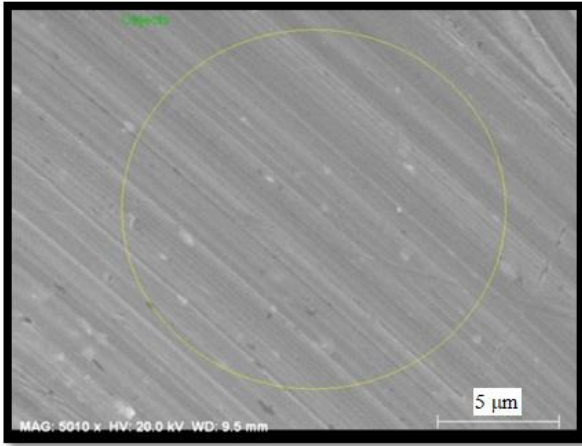
Şekil 6.2. Döküm esnasında azot gazı ile karıştırma



Şekil 6.3. Döküm esnasında ergitilen alüminyum

Bu çalışmada yer ocağı potası içinde pota sıcaklığı 700 °C ye kadar ısıtılarak ergitilen AA1050 alüminyum içerisinde %0,015-0,025 arasında TiB ilave edilerek tanelerin rekristalizasyon tava ve gerilme giderme tava ile terbiye edilmesi amaçlanmıştır.

Döküm esnasında AA 1050 malzeme için istenilen oranlar ayarlandıktan sonra içine nano %3 SiO₂ ve %1,5 SiO₂ azot gazı kullanılarak karıştırılmıştır. Bu işlemle hem alüminyum içindeki biriken gazlar alınmış hem de SiO₂ nin de homojen olarak yayılması sağlanmıştır (Şekil 6.4.). 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 içerisinde dökümü yapılmıştır (Şekil 6.5.).



Şekil 6.4. SEM Görüntüsü (%1,5 SiO₂ Takviyeli).



Şekil 6.5. Pik kalıp içerisinde alüminyum dökümü

Dökümü yapılan numuneler el hadde makinelerinde tek yönlü ve çift yönlü olarak haddelenmiştir, çift yönlü haddelenen külçeler de % deformasyon yönünde "x" ve dik yönde "y" yönüne eşit olacak şekilde ayarlanmıştır (Şekil 6.5). 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 ayrı ayrı 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 3'er adet olmak üzere test yapmak için (Çizelge 6.1, Şekil 6.6) sınıflandırılmıştır. Çizelge 6.6. de %100x sadece tek yönlü haddelemeyi, % 50 X %50 Y eşit miktarlarda

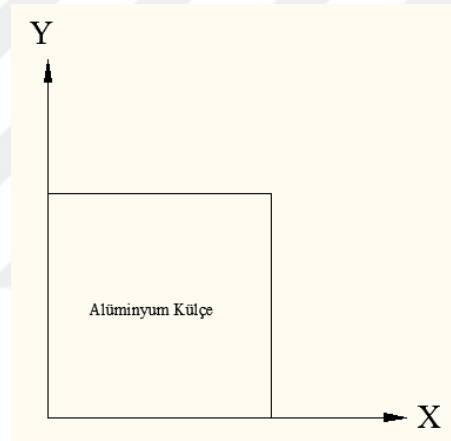
iki yönlü haddemeyi temsil etmektedir (Şekil 6.7). Haddeme yönleri ile ilgili gösterim Şekil 6.8. de gösterilmiştir.



Şekil 6.6. Haddede kalınlığı azaltılan alüminyum



Şekil 6.7. Hazırlanan Numuneler

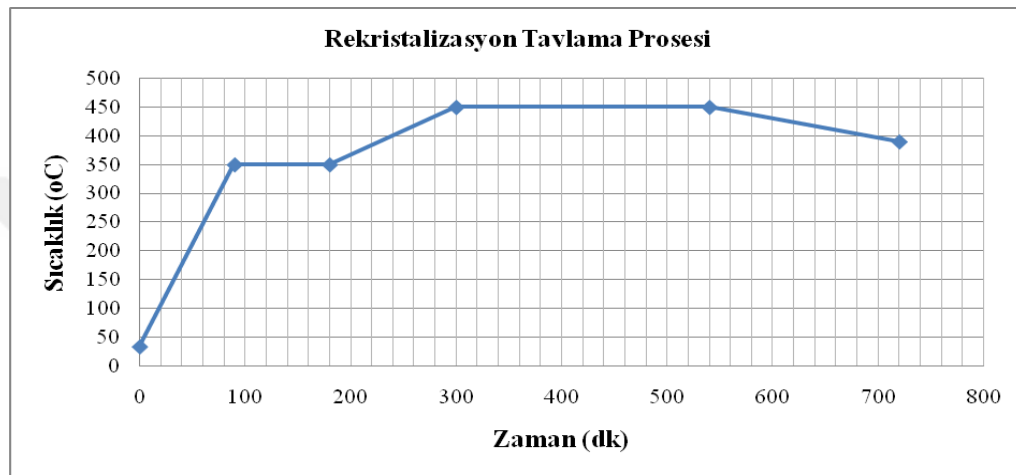


Şekil 6.8. Alüminyum külçe haddeme yönleri

Çizelge 6.1. Üretilen Numunelerin Sınıflandırılması.

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

Elde edilen farklı kalınlıklardaki ve farklı haddeleme proseslerindeki numuneler malzeme sıcaklığı 350 °C getirilip 90 dk tutulup homojenleştirildikten sonra 460 °C de 240 dk gerilme giderme işlemi yapıp, kondüsyon özelliklerini H0 olarak ayarlanıp sıvama için uygun hale getirilmiştir. Hazırlanan numuneler rekristalizasyon tavlı, rekristalizasyon tavsız ve takviyeli, takviyesiz ve haddeleme yönüne bağlı olarak sınıflandırılıp mekanik özellikleri, mikro yapıları incelenmiştir. Bu amaçla ters metal mikroskobu ile görüntüler alınarak karşılaştırma ve iç yapı özelliklerinde inceleme yapılmıştır (Şekil 6.9).



Şekil 6.9. Rekristalizasyon tavlama proses şeması

6.2. Numunelerin Hazırlanması

Spektral ölçümler için döküm esnasında katkısız, %1,5 katkılı ve %3 katkılı malzemeler için ayrı ayrı spektral analiz için bulunan alıba döküm yapılarak analiz numuneleri alınmıştır (Şekil 6.10.). Ardından standarta uygun olarak yüzeyi tornalanmıştır (Şekil 6.11.).



Şekil 6.10. Spektral analiz için kalıba döküm yapılması işlemi..



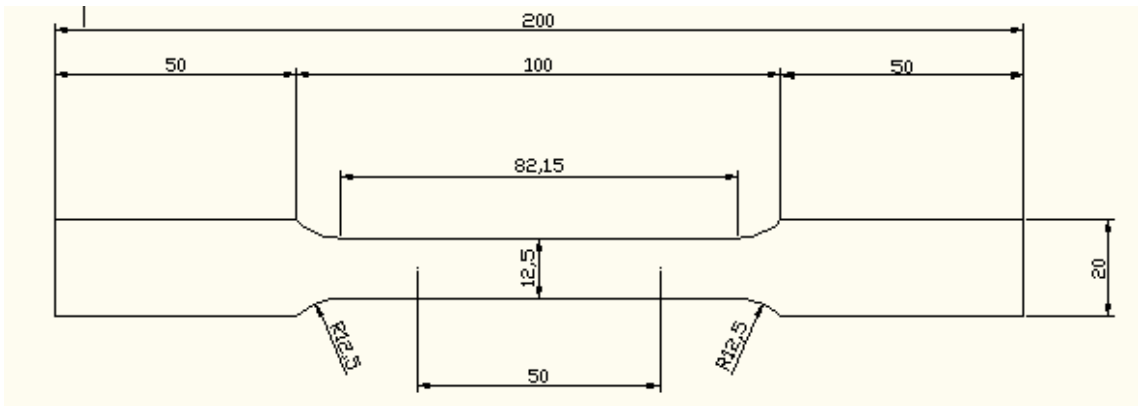
Şekil 6.11. Analiz numunesinin tornalanması işlemi.

Saç levha olarak üretilen malzemeler sıvama ve çekme numuneleri hazırlanmak için preste kalıp vasıtası ile numuneler basılmıştır. Numune hazırlanması için presleme yönteminin seçilmesinin temel nedeni firmada bulunması ve kolay numune hazırlama yöntemi olmasıdır.(Şekil 6.12.)



Şekil 6.12. Eksantrik preste numune hazırlanması işlemi.

Numuneler TSE 485-1-2-3 standartlarına uygun olarak hazırlanmıştır çekme numunesi (Şekil 6.13.) deki ölçülerde sac numune olarak hazırlanmıştır. Sıvama numuneleri ise çap olarak 55mm olarak disk şeklinde preste basılmıştır.(Şekil 6.14)



Şekil 6.13. TSE 485-2 de belirtilen sac çekme numunesi ölçüleri.



Şekil 6.14. TSE 485-2 ye uygun preslenen numunelerin görüntüsü.

7. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Hazırlanan numunelerin kimyasal analizleri, rekristalizasyon tavlı ve rekristalizasyon tavsız çekme tetstleri yapılarak mekanik özelliklerinin incelenmesi yapılmıştır.

Kimyasal analizler sırasında SiO_2 katkı oranlarının ağırlıkça ayarlanmasına rağmen istenilen şekilde olup olmadığı konusunda anlaşılmamış ve SEM-XRD görüntüleri alınarak nano SiO_2 'nin boyutları göz önünde bulundurularak boyutlar incelenmiş ve malzeme içerisindeki yayınımları görüntülenmiştir.

7.1. Kimyasal Analizlerin İncelenmesi

Üretim esnasında dökülen malzemenin içine nano SiO_2 nin %1,5 ve %3 oranında katkı ilave edilen numunelerin içyapıları incelenmiştir. Dökümü yapılan malzemelerden katkı oranlarına göre analiz numuneleri alınmıştır (Şekil 7.1.).



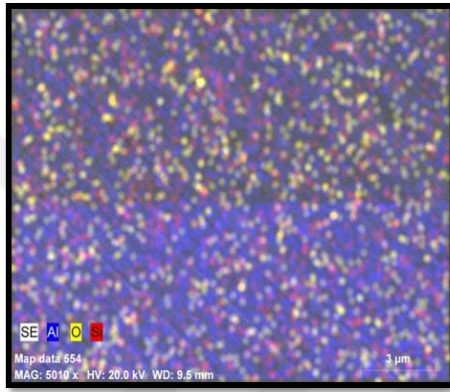
Şekil 7.1. Spektral analizi yapılan nano katkılı alüminyum

Çizelge 7.1. Dökümü yapılan AA1050 ve ağırlıkça % 1,5, %3 SiO_2 katkılı kompozit malzemelerin kimyasal yapısı

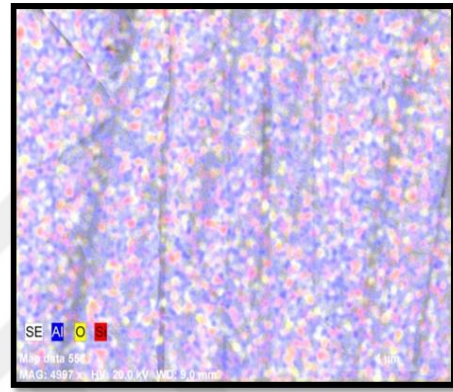
Malzeme	%Al	%Si	%Fe	%Zn	%Cu	%Mn	%Mg	Diğer
AA1050+saf	99,505	0,157	0,253	0,02	0,006	0,005	0,002	Kalan
AA1050+ % 1,5 SiO_2	99,408	0,163	0,266	0,02	0,005	0,005	0,003	Kalan
AA1050+ % 3,0 SiO_2	99,427	0,180	0,304	0,02	0,005	0,006	0,003	Kalan

7.2. İç Yapının incelenmesi

AA1050 alüminyum içerisine SiO_2 ilave edilmiş döküm malzemedan alınan numunelerin SEM-EDX görüntüleri Şekil 7.2, 7.3`de verilmiştir. %1,5 katkı oranında homojen bir dağılım elde edilmişken, %3 katkı oranında topaklanma ve tam homojen olmayan bir yapı elde edilmiştir. 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 7.2. SEM EDX Görüntüsü (%1,5 SiO_2 Takviyeli).

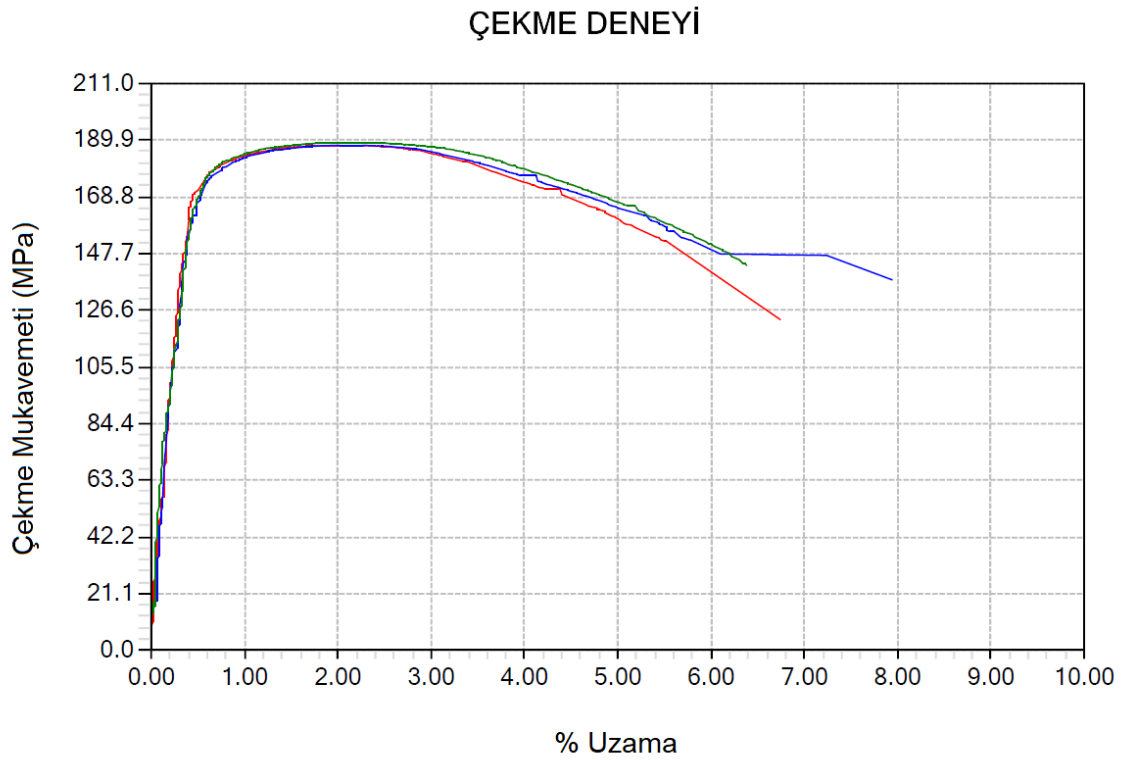


Şekil 7.3. SEM EDX Görüntüsü (%3 SiO_2 Takviyeli).

7.3. Mekanik Özelliklerin İncelenmesi

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 rekristalizasyon tavlı ve rekristalizasyon tavsız %1,5 ve %3 SiO_2 içeren numuneler için çekme testleri yapılmıştır. Örnek X ve Y yönünde haddelenmiş AA1050 katkısız malzemenin Çekme Dayanımı, % uzama diagramı 3 numune üzerinde yapılmış, Şekil 7.4. de verilmiştir. Diğer numuneler içinde 3 er tekrarlı olarak çekme testleri yapılmış ve grafikler elde edilmiştir. Grafiklerden elde edilen çekme mukavemet ve % uzama değerleri Çizelge 7.2-13 de verilmiştir. Şekil 7.5 ve 7.7 da sırası ile rekristalizasyon tavlı ve rekristalizasyon tavsız olarak testi yapılan malzemelerin max. gerilme grafikleri, Şekil 7.6 ve 7.8 de sırası ile rekristalizasyon tavlı

ve rekristalizasyon tavsız olarak çekme testi yapılan malzemelerin % uzama grafikleri verilmiştir.



Şekil 7.4. Katkısız rekristalizasyon tavsız çift yönlü haddelenmiş numunenin Çekme Dayanımı - % uzama diagramı

Çizelge 7.2. AA1050 Malzemeden üretilen 7 farklı kalınlıkta tek yönlü haddelenen rekristalizasyon tavsız SiO₂ içermeyen numunelerin çekme test sonuçları

A (AA1050 %100X %0 SiO ₂)					
Kalınlık(mm)	Max. Kuvvet(N)	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	% Uzama	Test Süresi
3,2	7715,9	187,053	184,1	2,86	34,9
3,0	7221,8	183,411	178,4	5,15	37
2,7	6532,1	190,026	184,867	5,45	37
2,5	5950,8	190,425	185	3,54	32,9
2,0	4904,5	196,181	121,9	4,49	33,4
1,5	4136,9	194,679	187,167	5,93	32,4
1,0	3810,7	196,682	192,1	5,4	35
Ortalama Değerler	5753,24	191,20	176,21	4,68	34,65

Çizelge 7.3. AA1050 Malzemeden üretilen 7 farklı kalınlıkta çift yönlü haddelenen rekristalizasyon tavsız SiO₂ içermeyen numunelerin çekme test sonuçları

B (AA1050 %50X %50Y %0 SiO ₂)					
Kalınlık(mm)	Max. Kuvvet(N)	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	% Uzama	Test Süresi
3,2	7698,4	188,34	184,267	7,07	36,4
3,0	7362,2	186,977	181,767	5,64	36,5
2,7	6574,1	191,246	187,133	4,65	35
2,5	6122,6	195,923	188,667	7,79	38
2,0	5076	203,04	198,2	1,73	28,9
1,5	3859,7	205,852	197,74	3,13	30,2
1,0	4060,1	203,007	198,3	2,85	32,2
Ortalama Değerler	5821,87	196,34	190,86	4,69	33,88

Çizelge 7.4. AA1050 Malzemeden üretilen 7 farklı kalınlıkta tek yönlü haddelenen rekristalizasyon tavsız %1,5 SiO₂ içeren numunelerin çekme test sonuçları

C (AA1050 %100X %1,5 SiO ₂)					
Kalınlık(mm)	Max. Kuvvet(N)	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	% Uzama	Test Süresi
3,2	7992,9	193,768	189,8	6,07	37
3,0	7296,9	188,306	182,967	4,11	37
2,7	6776,3	197,13	191,833	3,46	37,1
2,5	6122,6	195,923	188,667	7,79	38,1
2,0	5518	205,321	199,467	3,23	33,6
1,5	2274,2	227,42	218,2	4,93	35,5
1,0	3898,8	207,936	198,5	2,92	28,9
Ortalama Değerler	5697,1	202,25	195,63	4,64	35,31

Çizelge 7.5. AA1050 Malzemeden üretilen 7 farklı kalınlıkta çift yönlü haddelenen rekristalizasyon tavsız %1,5 SiO₂ içeren numunelerin çekme test sonuçları

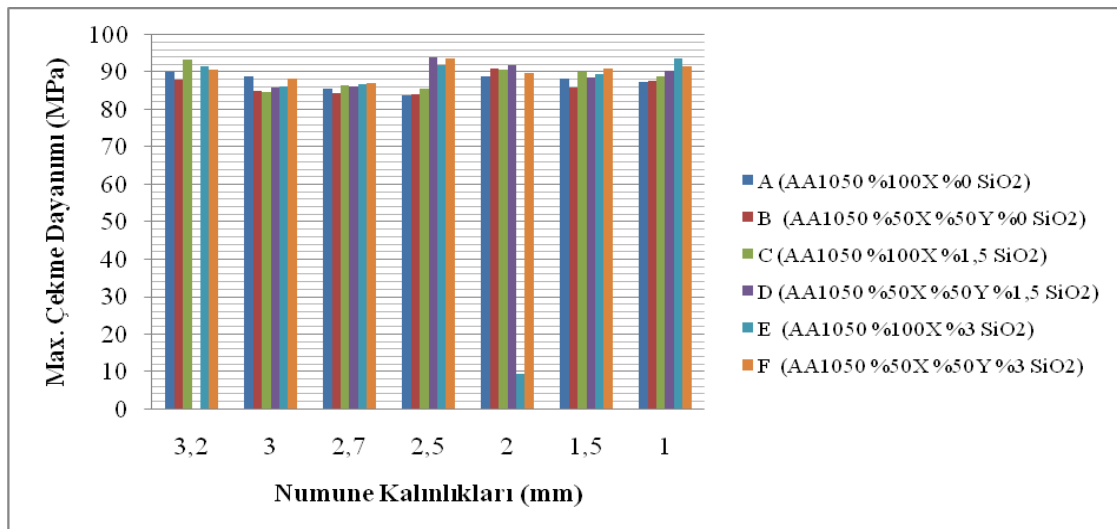
D (AA1050 %50X %50Y %1,5 SiO ₂)					
Kalınlık(mm)	Max. Kuvvet(N)	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	% Uzama	Test Süresi
3,2	8236,1	192,099	188,7	2,37	34,2
3,0	7396,7	190,883	185,433	2,75	36,9
2,7	6914,8	201,158	195,833	2,62	37,7
2,5	6212,9	198,814	191,3	3,41	38,1
2,0	5058,2	212,977	205,933	5,01	32,3
1,5	4046,9	215,833	206,1	2,35	28,6
1,0	4187,2	223,317	195,8	2,78	29,7
Ortalama Değerler	6007,5	205,01	195,58	3,04	33,92

Çizelge 7.6. AA1050 Malzemedden Üretilen 7 farklı kalınlıkta tek yönlü haddelenen rekristalizasyon tavsız %3 SiO₂ içeren numunelerin çekme test sonuçları

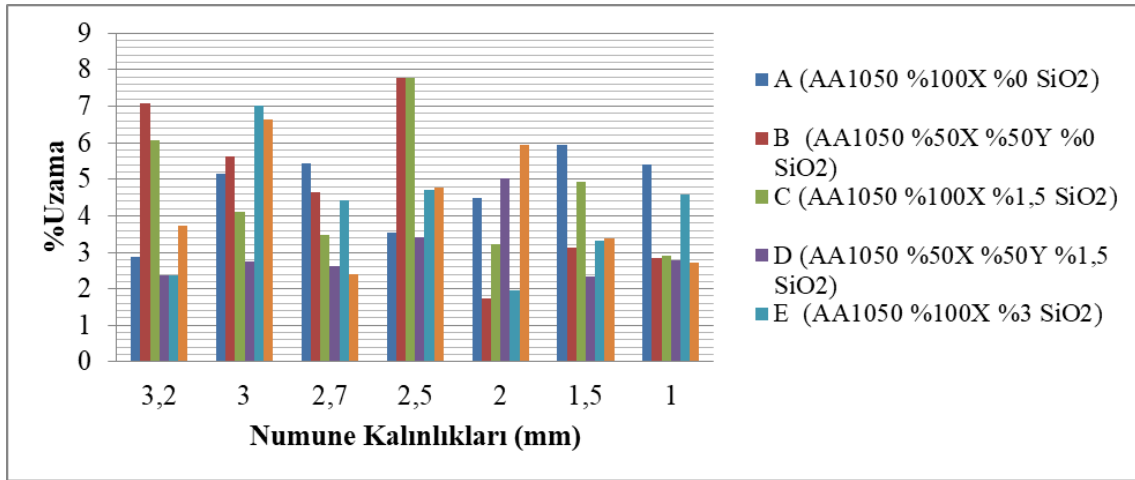
E (AA1050 %100X %3 SiO ₂)					
Kalınlık(mm)	Max. Kuvvet(N)	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	% Uzama	Test Süresi
3,2	7855,9	193,627	187,8	2,37	40,6
3,0	7307,9	194,877	188,333	7,01	39
2,7	6881,6	203,899	200,2	4,41	35,8
2,5	6231,9	199,422	193,1	4,72	34,5
2,0	5562,4	217,069	212,633	1,97	28,8
1,5	4054,6	223,702	215,267	3,33	32,2
1,0	3890,2	210,282	104,55	4,59	32
Ortalama Değerler	5969,2	206,12	185,98	4,05	34,7

Çizelge 7.7. AA1050 Malzemedden Üretilen 7 farklı kalınlıkta çift yönlü haddelenen rekristalizasyon tavsız %3 SiO₂ içeren numunelerin çekme test sonuçları

F (AA1050 %50X %50Y %3 SiO ₂)					
Kalınlık(mm)	Max. Kuvvet(N)	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	% Uzama	Test Süresi
3,2	8189,3	204,732	197,6	3,74	40,6
3,0	7566,5	201,774	131,233	6,65	36,6
2,7	6978,1	206,76	201,733	2,39	34,9
2,5	6314,5	206,187	199,067	4,76	36,1
2,0	4136,9	220,4	198	5,93	32,4
1,5	4016,5	223,141	214,867	3,37	32,9
1,0	4251	229,784	221,1	2,72	29,4
Ortalama Değerler	5921,8	213,25	194,8	4,2	34,7



Şekil 7.5. Rekristalizasyon tavsız olarak testi yapılan malzemelerin Çekme dayanımı grafikleri



Şekil 7.6. Rekristalizasyon tavsız olarak çekme testi yapılan malzemelerin % uzama grafikleri

Çizelge 7.8. AA1050 Malzemeden üretilen 7 farklı kalınlıkta tek yönlü haddelenen rekristalizasyon tavlı SiO₂ içermeyen numunelerin çekme test sonuçları

A (AA1050 %100X %0 SiO ₂)					
Kalınlık(mm)	Max. Kuvvet(N)	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	% Uzama	Test Süresi
3,2	3713,3	90	40,5	45,06	225,3
3,0	3392,4	88,981	39,6	30,42	201,4
2,7	2945,2	85,679	34,7	39,42	235,2
2,5	2677,2	83,991	32,8	42,42	218,3
2,0	2233,6	88,9	39,5	29,98	195,6
1,5	1834,4	88,405	39,5	36,2	217,7
1,0	1664,4	87,6	37,8	36,8	225,6
Ortalama Değerler	2637,2	87,6	37,7	37,1	217,0

Çizelge 7.9. AA1050 Malzemeden üretilen 7 farklı kalınlıkta çift yönlü haddelenen rekristalizasyon tavlı SiO₂ içermeyen numunelerin çekme test sonuçları

B (AA1050 %50X %50Y %0 SiO ₂)					
Kalınlık(mm)	Max. Kuvvet (N)	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	% Uzama	Test Süresi
3,2	3636,5	88,158	38,95	36,29	224,3
3,0	3344,4	85,208	35,1	30,52	196,8
2,7	3038,2	84,394	34,5	44,8	233,9
2,5	2605,2	84,039	32,3	42,2	221,7
2,0	2500	90,909	43,1	38,78	230,8
1,5	1685,4	85,88	37,9	44,86	215,3
1,0	1764,4	87,672	38	38	219,7
Ortalama Değerler	2653,4	86,6	37,1	39,35	220,3

Çizelge 7.10. AA1050 Malzemededen üretilen 7 farklı kalınlıkta tek yönlü haddelenen rekristalizasyon tavlı %1,5 SiO₂ içeren numunelerin çekme test sonuçları

C (AA1050 %100X %1,5 SiO ₂)					
Kalınlık(mm)	Max. Kuvvet(N)	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	% Uzama	Test Süresi
3,2	3815,4	93,343	40,6	36,98	227,5
3,0	3318	84,805	35,5	34,86	217,1
2,7	3023,2	86,687	40,5	38,2	190,9
2,5	2788,6	85,803	33,9	45,5	221,7
2,0	2419,6	90,877	38	34,38	212,3
1,5	1858	90,085	38,5	33,9	206
1,0	1778,4	88,92	38,8	37,04	202,7
Ortalama Değerler	2714,4	88,6	37,9	37,2	211,1

Çizelge 7.11. AA1050 Malzemededen üretilen 7 farklı kalınlıkta çift yönlü haddelenen rekristalizasyon tavlı %1,5 SiO₂ içeren numunelerin çekme test sonuçları

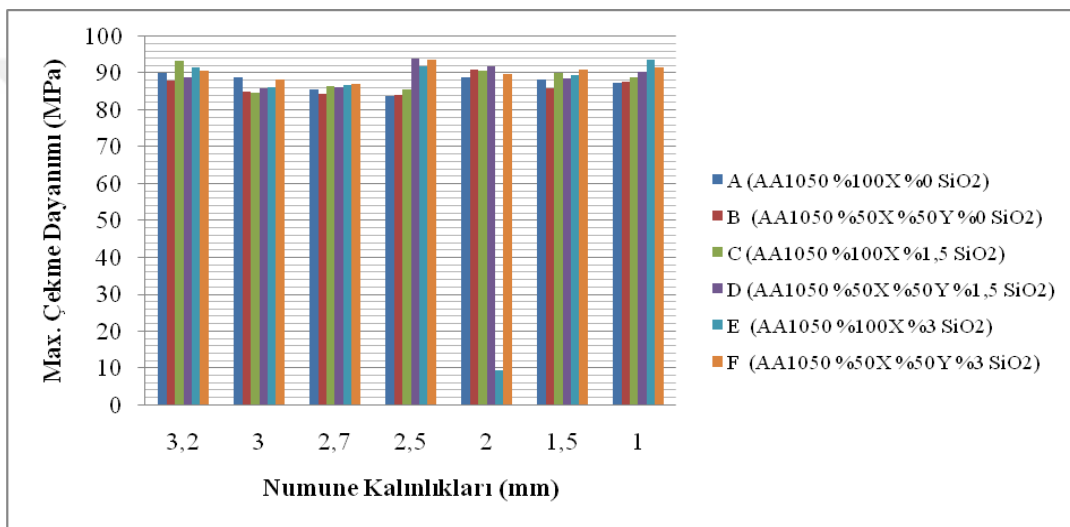
D (AA1050 %50X %50Y %1,5 SiO ₂)					
Kalınlık(mm)	Max. Kuvvet(N)	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	% Uzama	Test Süresi
3,2	3926,2	92,71	61	35,77	195,3
3,0	3378,4	86,074	35,6	46,1	230,1
2,7	3033,2	86,354	35,6	40,34	231
2,5	3001	94,149	44,1	38,36	218,3
2,0	2539,6	91,931	42	45,24	222,9
1,5	1684,6	88,663	36,9	33,54	208,6
1,0	1857,2	90,595	37,8	35,68	210,6
Ortalama Değerler	2774,3	97,2	41,8	38,1	216,6

Çizelge 7.12. AA1050 Malzemededen üretilen 7 farklı kalınlıkta tek yönlü haddelenen rekristalizasyon tavlı %3 SiO₂ içeren numunelerin çekme test sonuçları

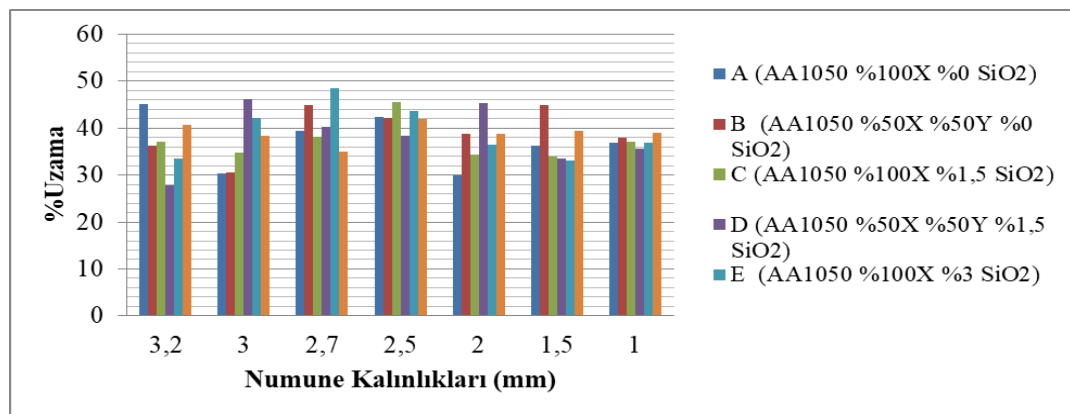
E (AA1050 %100X %3 SiO ₂)					
Kalınlık(mm)	Max. Kuvvet (N)	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	% Uzama	Test Süresi
3,2	3717,2	91,5	40,6	33,42	209,8
3,0	3386	86,268	36,2	42,1	216
2,7	3032,2	86,945	35,4	48,4	239,4
2,5	2899,6	92,051	41,5	43,58	22,4
2,0	2588	96,83	40,8	36,4	207,6
1,5	1903,2	89,562	38,3	33,06	206,3
1,0	1782,6	93,821	39	36,88	206,5
Ortalama Değerler	2758,4	78,54	38,82	39,12	186,85

Çizelge 7.13. AA1050 Malzemeden üretilen 7 farklı kalınlıkta çift yönlü haddelenen rekristalizasyon tavlı %3 SiO₂ içeren numunelerin çekme test sonuçları

F (AA1050 %50X %50Y %3 SiO ₂)					
Kalınlık(mm)	Max. Kuvvet(N)	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	% Uzama	Test Süresi
3,2	3805,4	90,875	40,6	36,1	221,8
3,0	3471,2	88,438	38,3	37,14	196,3
2,7	3106,4	87,197	35	38,2	219,3
2,5	2932,8	93,85	42	39,08	217,1
2,0	2338	89,923	38,8	43,98	226,2
1,5	1727,6	90,926	39,3	32,32	186,9
1,0	1911,4	91,564	38,9	40,24	206
Ortalama Değerler	2756,11	90,39	38,98	38,15	210,51



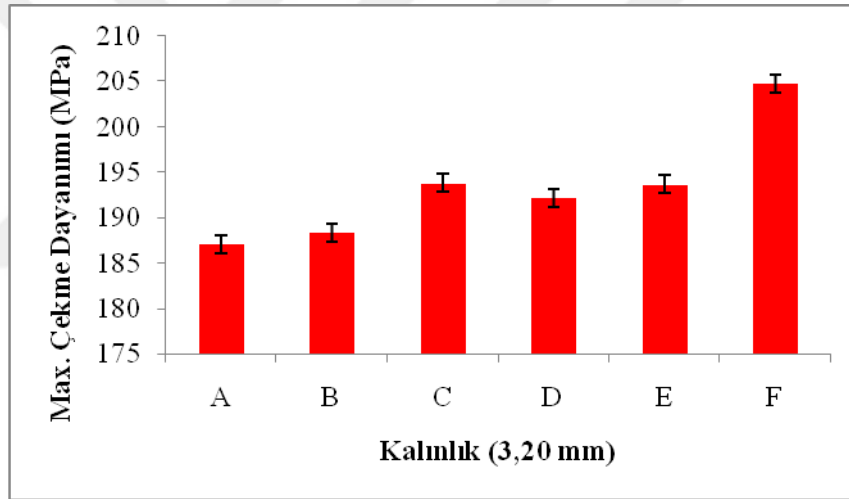
Şekil 7.7. Rekristalizasyon tavlı olarak testi yapılan malzemelerin Çekme dayanımı grafiği



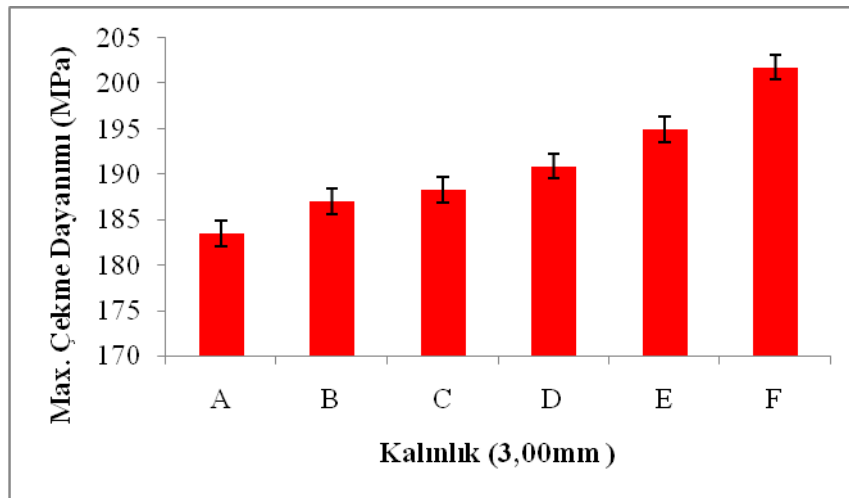
Şekil 7.8. Rekristalizasyon tavlı olarak testi yapılan malzemelerin % uzama grafiği

Genel olarak tablolar incelendiğinde maksimum çekme dayanımına tavlı malzemelerde boyut etkisinin olduğu görülmüştür ve bunun sonucunda kalınlıkların ayrı ayrı incelenmesi gerekmiştir (Şekil 7.9.-7.29).

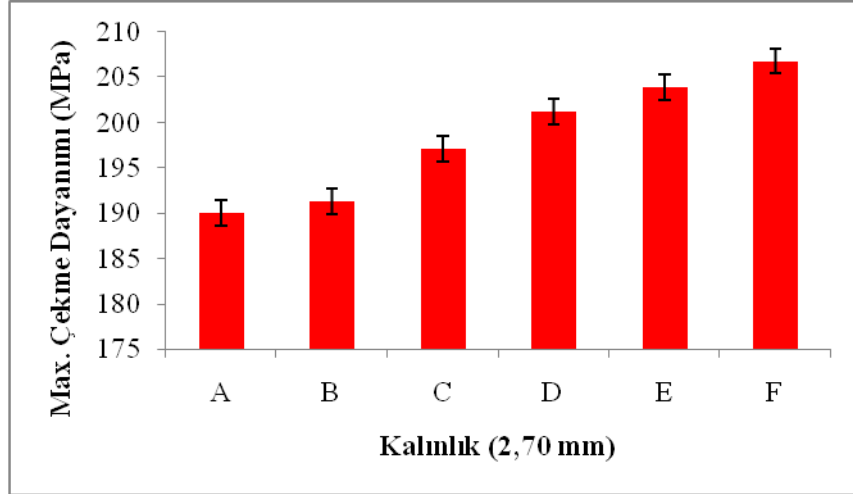
Yapılan incelemeler sonucunda Nano SiO₂ katkısının %1,5 oranında ilavesinin genel olarak bakıldığında rekristalizasyon tavsız malzemelerde mukavemeti %4,42 arttırdığı, %3 katkı oranının ise %8,61 oranında arttırdığı görülmüştür. Uzama miktarları incelenir ise boyut etkisinden dolayı rekristalizasyon tavlı malzemelerde yapılan çekme testi sonucunda bazı kalınlıklarda katkının uzama miktarını düşürmesi ve bazı kalınlıklarda ise arttırdığı görülmüştür. Rekristalizasyon tavlı malzemelerin çekme testlerinde hemen hemen aynı mukavemet görülmüştür, bunun sonucunda alüminyumun H-0 olarak tavlendiğinde katkının şekil verilebilirlik üzerinde herhangi bir dezavantaja yol açmadığını göstermiştir. Çizelge 7.20. de görüldüğü üzere kuvvetler incelenirse sıvama kuvvetinde değişiklik görülmemiştir.



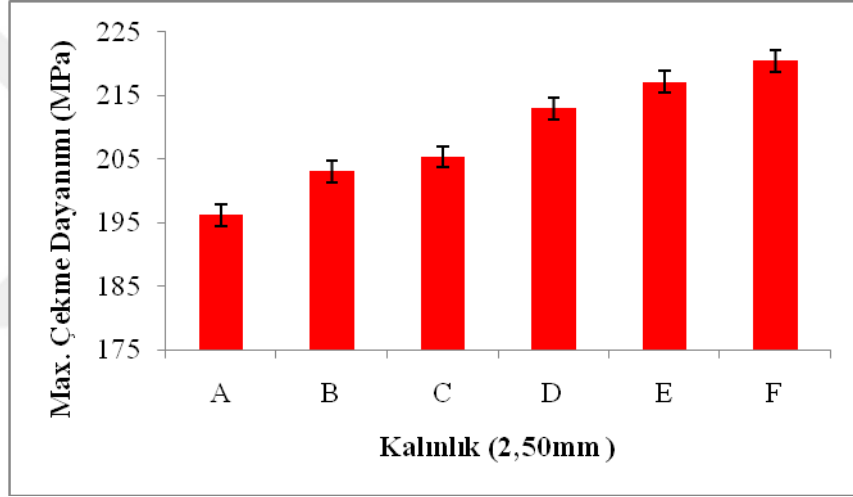
Şekil 7.9. Rekristalizasyon tavsız olarak testi yapılan 3,20 mm malzemelerin çekme dayanımı grafiği



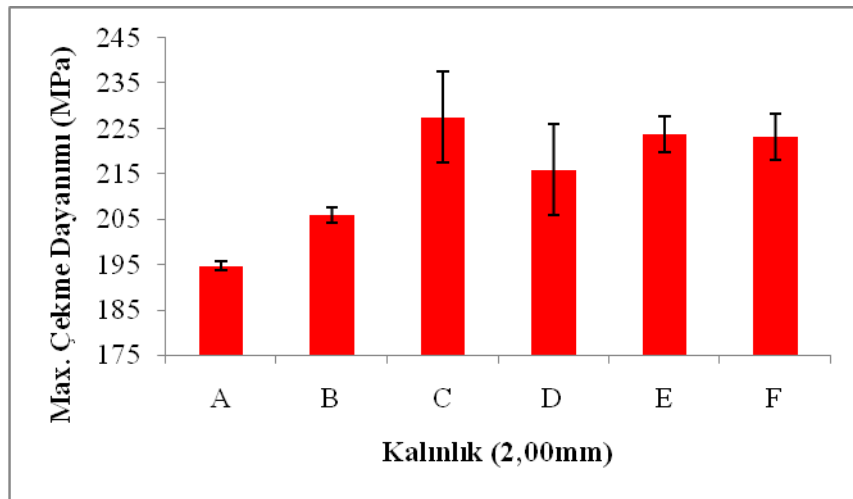
Şekil 7.10. Rekristalizasyon tavsız olarak testi yapılan 3,00 mm malzemelerin çekme dayanımı grafiği



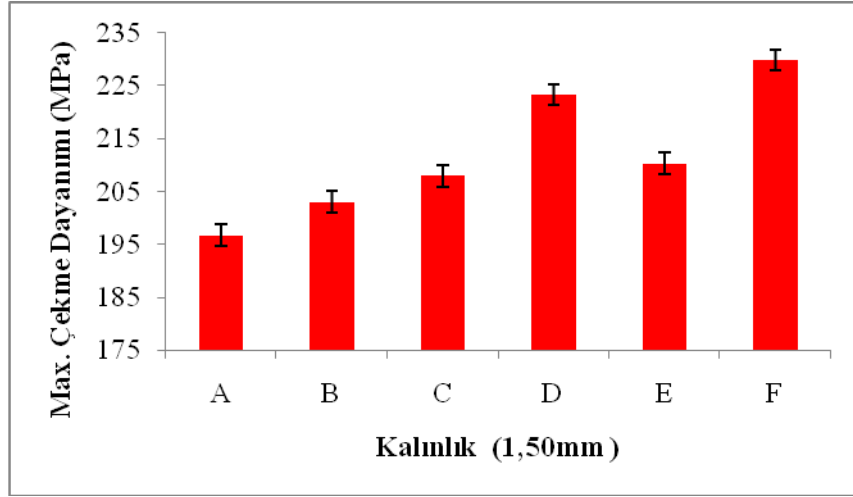
Şekil 7.11. Rekristalizasyon tavsız olarak testi yapılan 2,70 mm malzemelerin çekme dayanımı grafiği



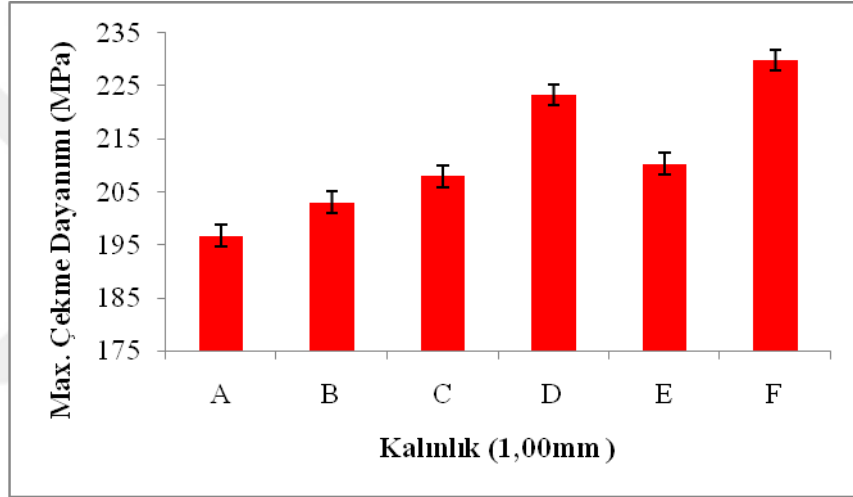
Şekil 7.12. Rekristalizasyon tavsız olarak testi yapılan 2,50 mm malzemelerin çekme dayanımı grafiği



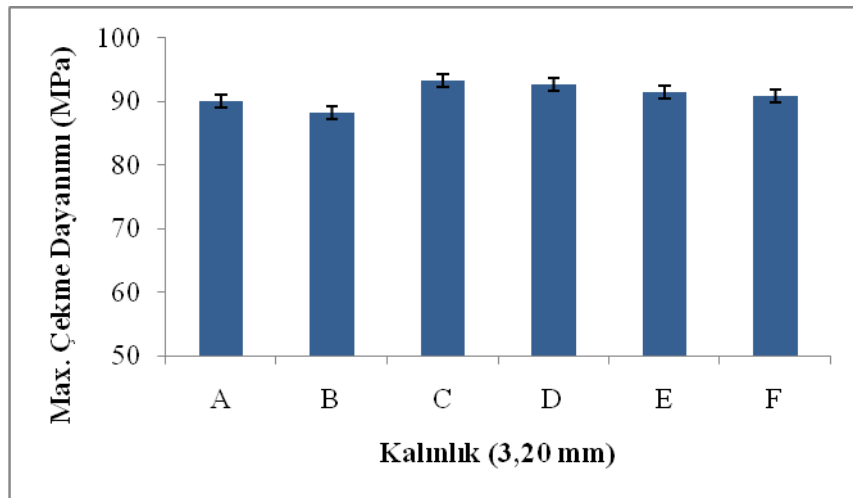
Şekil 7.13. Rekristalizasyon tavsız olarak testi yapılan 2,00 mm malzemelerin çekme dayanımı grafiği



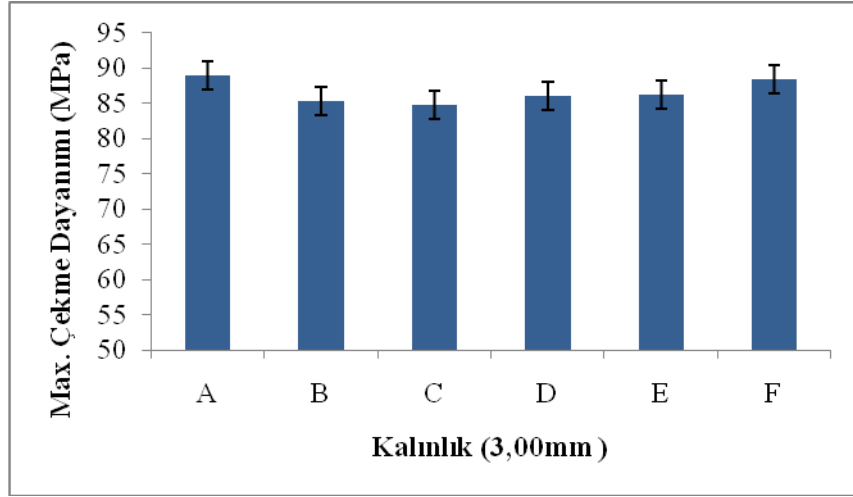
Şekil 7.14. Rekristalizasyon tavsız olarak testi yapılan 1,50 mm malzemelerin çekme dayanımı grafiği



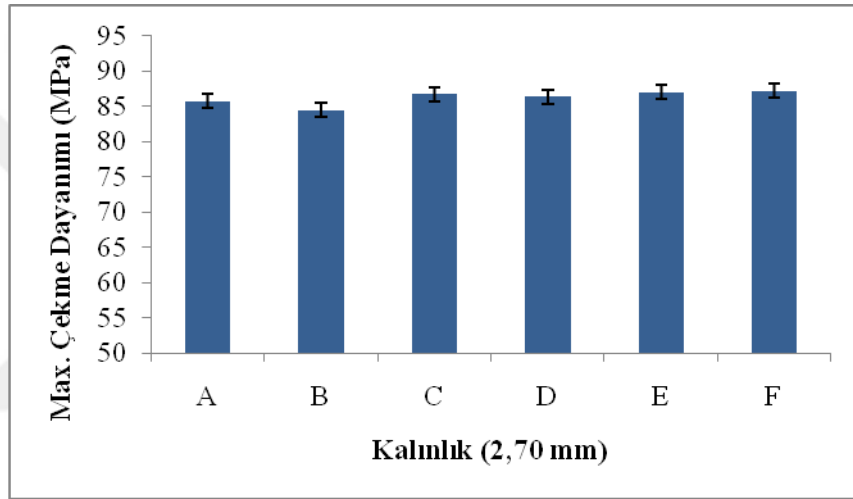
Şekil 7.15. Rekristalizasyon tavsız olarak testi yapılan 1,00 mm malzemelerin çekme dayanımı grafiği



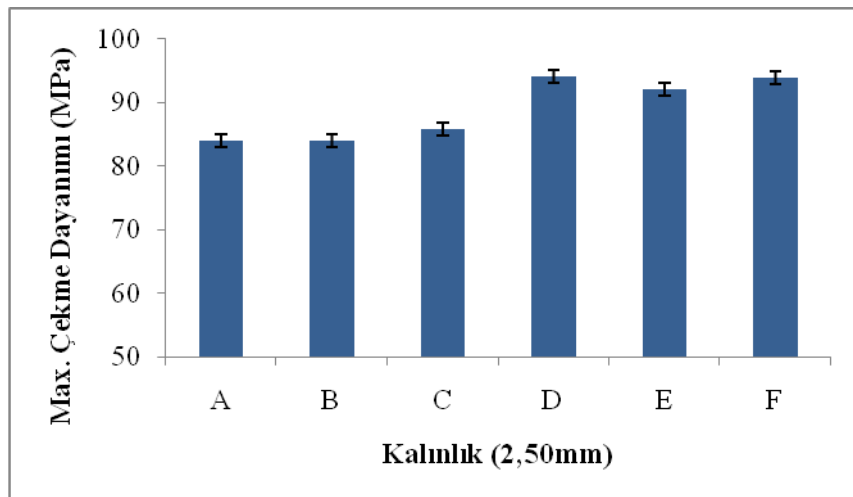
Şekil 7.16. Rekristalizasyon tavlı olarak testi yapılan 3,20 mm malzemelerin çekme dayanımı grafiği



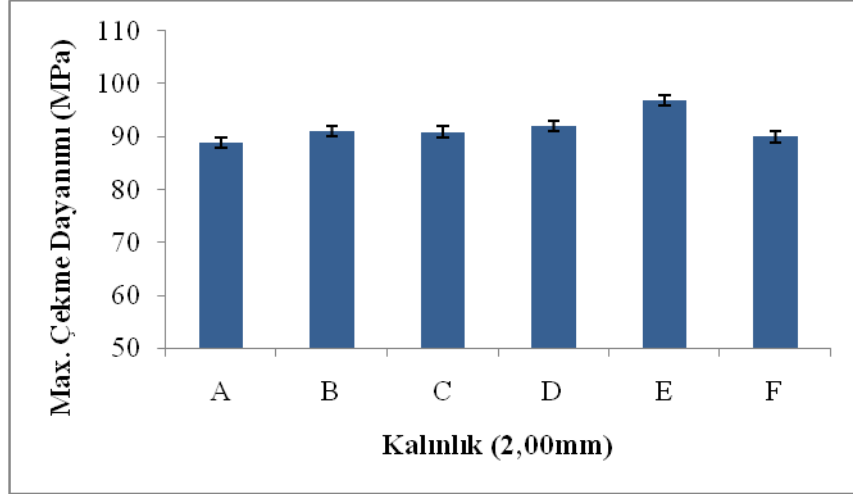
Şekil 7.17. Rekristalizasyon tavlı olarak testi yapılan 3,00 mm malzemelerin çekme dayanımı grafiği



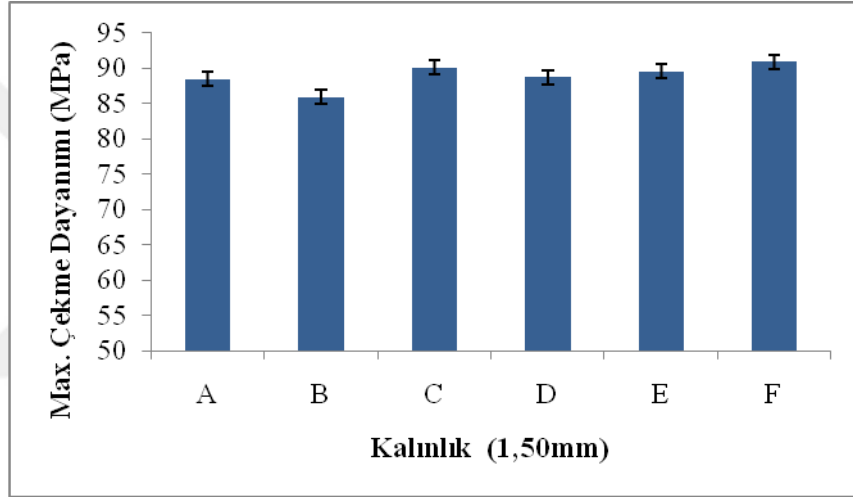
Şekil 7.18. Rekristalizasyon tavlı olarak testi yapılan 2,70 mm malzemelerin çekme dayanımı grafiği



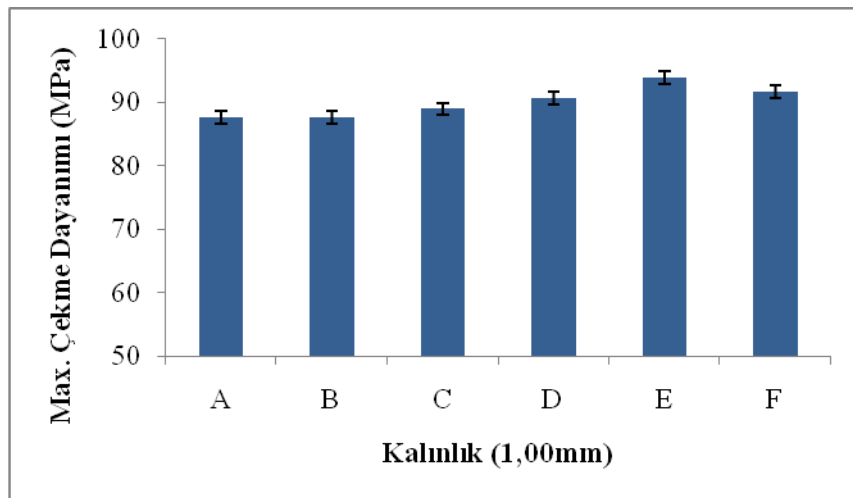
Şekil 7.19. Rekristalizasyon tavlı olarak testi yapılan 2,50 mm malzemelerin çekme dayanımı grafiği



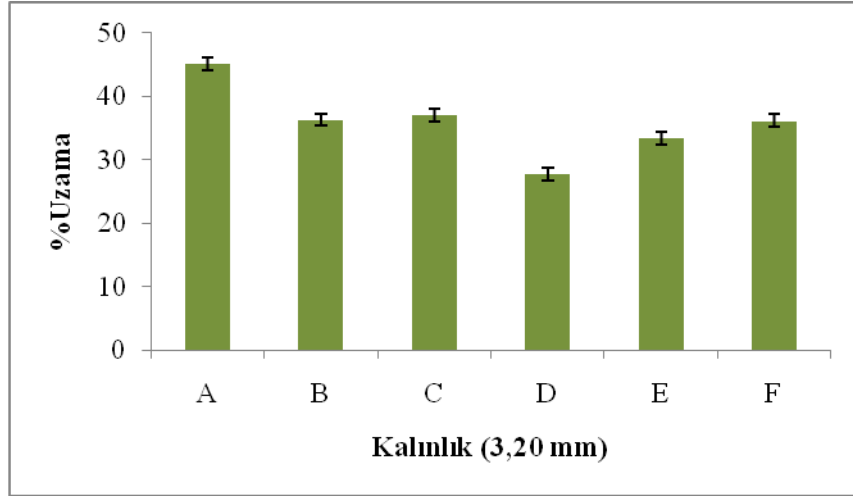
Şekil 7.20. Rekristalizasyon tavlı olarak testi yapılan 2,00 mm malzemelerin çekme dayanımı grafiği



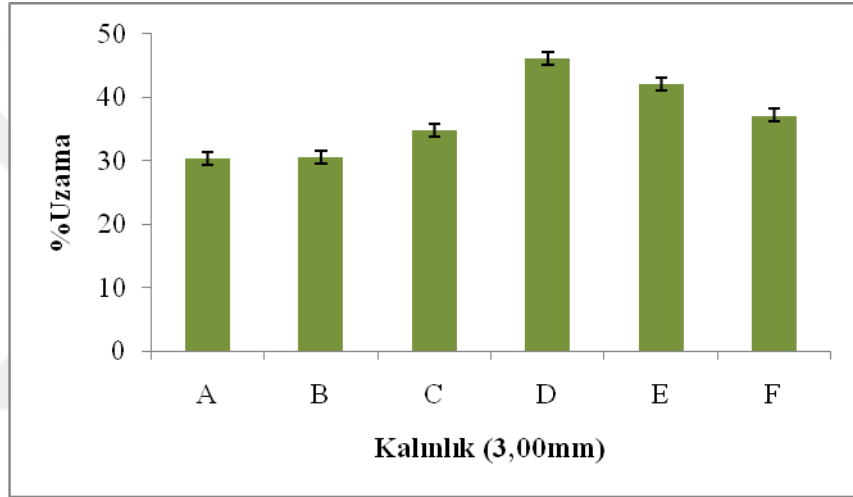
Şekil 7.21. Rekristalizasyon tavsız olarak testi yapılan 1,50 mm malzemelerin çekme dayanımı grafiği



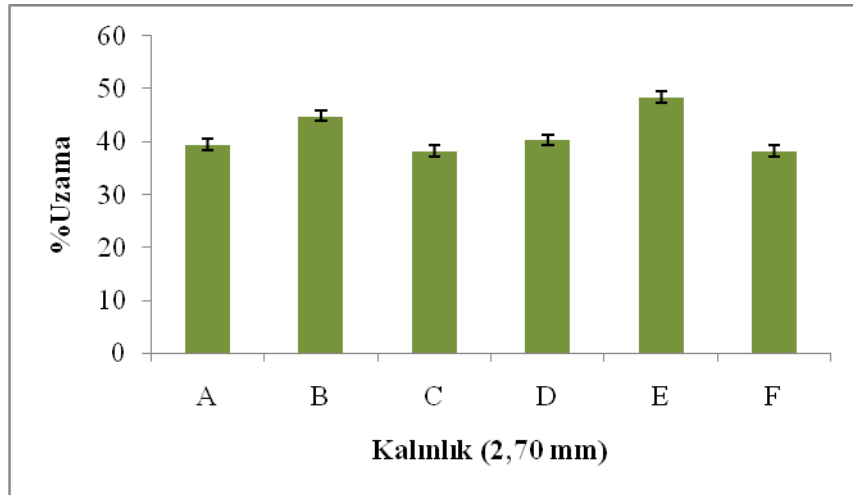
Şekil 7.22. Rekristalizasyon tavlı olarak testi yapılan 1,00 mm malzemelerin çekme dayanımı grafiği



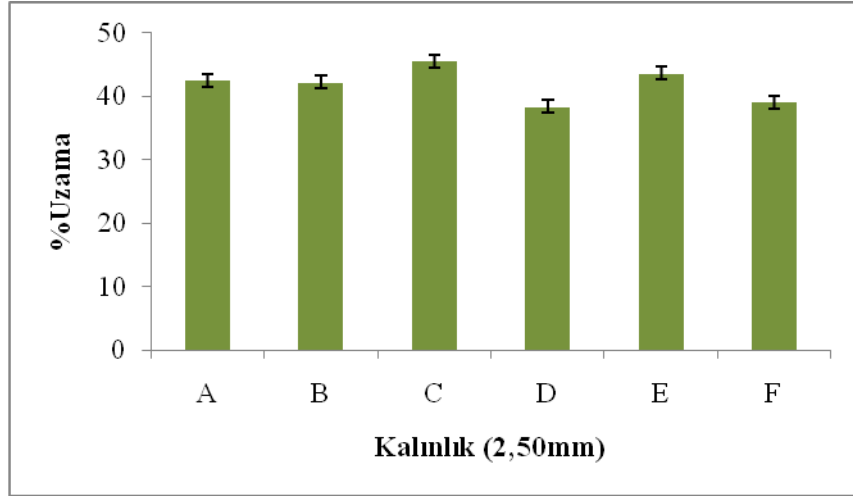
Şekil 7.23. Rekristalizasyon tavlı olarak testi yapılan 3,20 mm malzemelerin % uzama grafiği



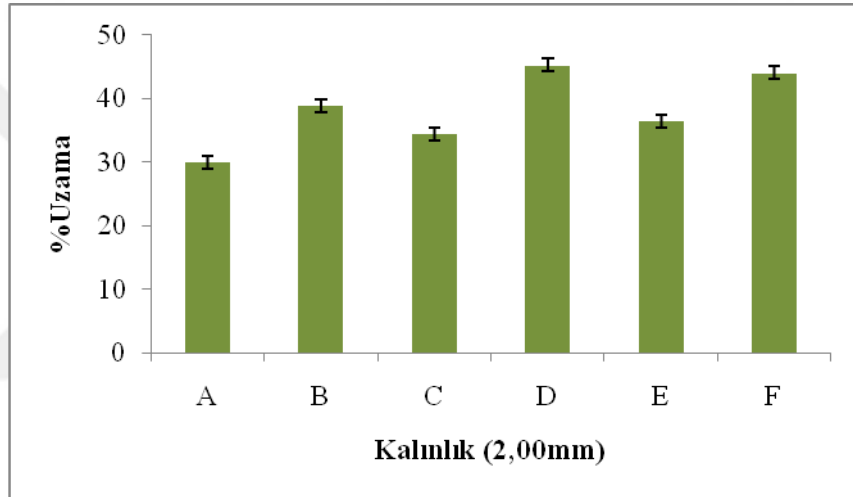
Şekil 7.24. Rekristalizasyon tavlı olarak testi yapılan 3,00 mm malzemelerin % uzama grafiği.



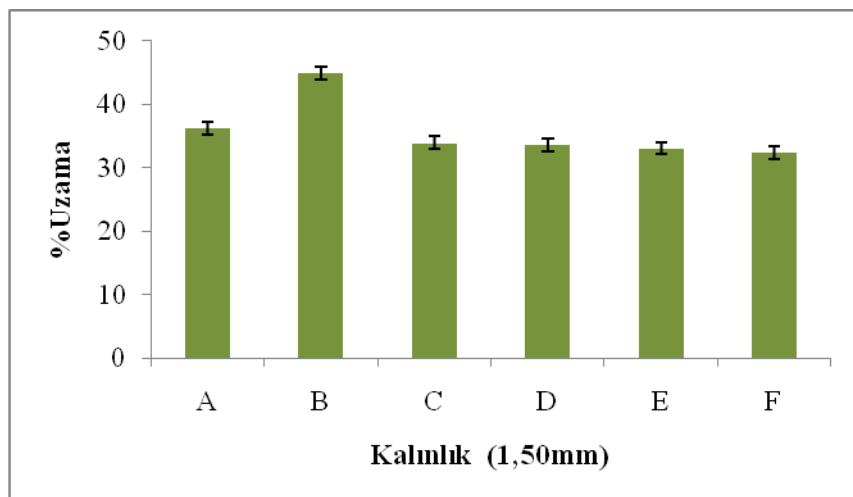
Şekil 7.25. Rekristalizasyon tavlı olarak testi yapılan 2,70 mm malzemelerin % uzama grafiği.



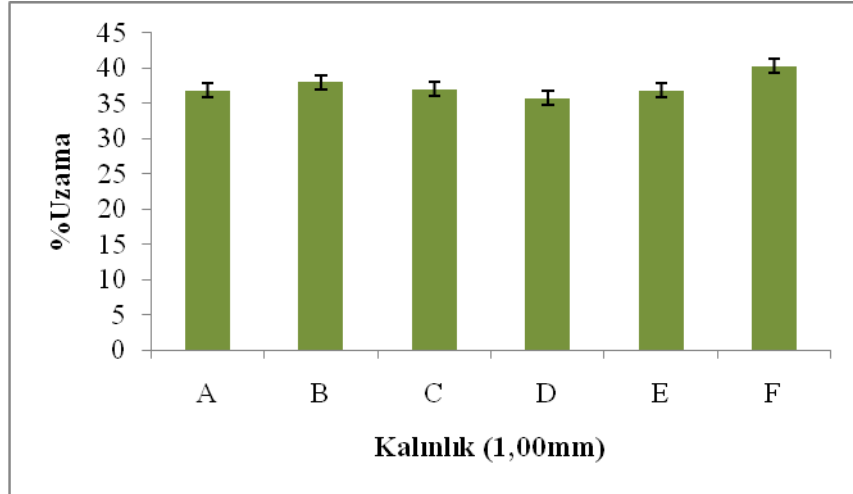
Şekil 7.26. Rekristalizasyon tavlı olarak testi 2,50 mm malzemelerin % uzama grafiği.



Şekil 7.27. Rekristalizasyon tavlı olarak testi yapılan 2,00 mm malzemelerin % uzama grafiği.



Şekil 7.28. Rekristalizasyon tavlı olarak testi yapılan 1,50 mm malzemelerin % uzama grafiği.



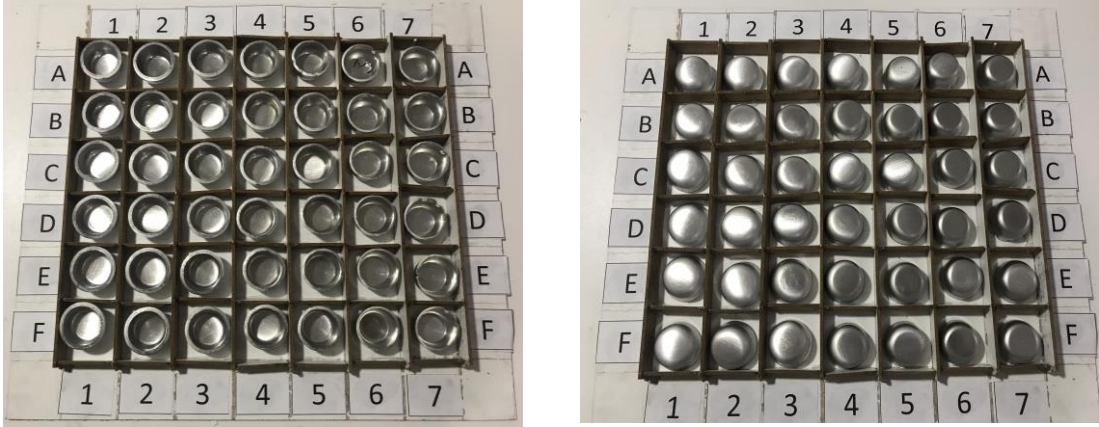
Şekil 7.29. Rekristalizasyon tavlı olarak testi yapılan 1,00 mm malzemelerin % uzama grafiği.

7.4. Şekil Verilebilirlik Özelliklerin İncelenmesi

Şekil verilebilirlik özelliklerinin incelenmesinde erichsen deep drawing testi yapılmıştır. Yapılan test sonuçları sınıflandırılan numuneler her numune için 3 kez olmak üzere 30 mm zımba çaplı erichsen deep drawing testi yapılmıştır. Erichsen deep drawing testleri EN-1669 Standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Tavlama işlemi sonrasında test işlemi gerçekleştirilmiştir ve sonuçlar AA1050 Malzemenin Üretilen 7 farklı kalınlıkta tek ve çift yönlü haddelenen rekristalizasyon tavlı ve rekristalizasyon tavsız %1,5 ve %3 SiO₂ içeren numuneler için Erichsen Deep Drawing Testi (Şekil 7.30.) sonuçları Çizelge 7.34.-7.40. de görüldüğü gibi elde edilmiştir.



Şekil 7.30. Erichsen derin çekme testi esnasında alınan görüntü



Şekil 7.31. Erichsen derin çekme testi sonucunda elde edilen malzemelerin **a-** üstten **b-** alttan görünüşü

Yapılan sıvama testleri sonucunda numune resimleri Şekil 7.31.a-b.`de verilmiştir. SiO₂ takviyesinin AA1050 malzemeyi sıvamaya daha uygun hale getirmiş ve sıvama özelliklerinin daha iyi olduğu test sonucunda görülmüştür.

Test numunelerinin tek yönlü olarak haddelendiği numunelerde Şekil 7.32.a uzama kenarlarının eşit olmadığı ve çift yönlü haddelenenlerin Şekil 7.32.b. genelinde uzama kenarlarının eşit olduğu görülmüştür.



a



b

Şekil 7.32. Erichsen derin çekme testi sonucunda elde edilen numunenin yandan görünüşü
a- Tek yönlü haddelenen b-Çift yönlü haddelenen

Malzemelerin alt yüzeylerinde herhangi bir portakallanma v.s. malzeme kusuruna rastlanmamıştır, çoğunlukla 1,00 mm ve 1,50 mm malzemelerde sıvama esnasında incelikten kaynaklanan marullama sonrası sıvama işleminden sonra yırtılmalar mevcuttur (Şekil 7.33.).



Şekil 7.33. 1,0 mm kalınlıktaki malzemenin erichsen derin çekme testi sonucunda görülen yırtılmanın üstten görünüşü **a**-Çift yönlü haddelenen **b**-Tek yönlü haddelenen

Sıvama testi gerçekleştirilen, A1050 Malzemedden üretilen 7 farklı kalınlıkta haddelenen numunelerin test sonuçları Çizelge 7.14-7.20. arasında görülmektedir.

Çizelge 7.14. SiO₂ içermeyen Erichsen derin çekme test sonuçları

A (AA1050 %100X %0 SiO₂)				
Kalınlık	Numune No	Max. Kuvvet (N)	Akma Mukavemeti (MPa)	Max. Kuvvet sıvama derinliği (mm)
3,2	1	19130,2	40,5	14,259
3	2	15130,4	39,6	14,318
2,7	3	14722	34,7	14,207
2,5	4	14530,8	32,8	13,737
2	5	12315,2	39,5	13,329
1,5	6	8171	39,5	13,005
1	7	7135,6	37,8	12,721

Çizelge 7.15. Rekristalizasyon tavlı SiO₂ içermeyen numunelerin erichsen derin çekme test sonuçları

B (AA1050 %50X %50Y %0 SiO₂)				
Kalınlık	Numune No	Max. Kuvvet (N)	Akma Mukavemeti (MPa)	Max. Kuvvet sıvama derinliği (mm)
3,2	1	18188,2	38,95	14,231
3	2	15611	35,1	14,423
2,7	3	15038,6	34,5	14,025
2,5	4	14475,8	32,3	13,688
2	5	12327,4	43,1	13,522
1,5	6	7508,2	37,9	12,875
1	7	7534,6	38	12,868

Çizelge 7.16. Rekristalizasyon tavlı % 1,5 SiO₂ içeren numunelerin erichsen derin çekme test sonuçları

C (AA1050 %100X %1,5 SiO₂)				
Kalınlık	Numune No	Max. Kuvvet (N)	Akma Mukavemeti (MPa)	Max. Kuvvet sıvama derinliği (mm)
3,2	1	17288	40,6	14,508
3	2	15900,8	35,5	14,528
2,7	3	14694,6	40,5	14,341
2,5	4	15208	33,9	13,776
2	5	12097,2	38	13,507
1,5	6	8029,6	38,5	12,769
1	7	7215,6	38,8	13,154

Çizelge 7.17. Rekristalizasyon tavlı % 1,5 SiO₂ içeren numunelerin erichsen derin çekme test sonuçları

D (AA1050 %50X %50Y %1,5 SiO₂)				
Kalınlık	Numune No	Max. Kuvvet (N)	Akma Mukavemeti (MPa)	Max. Kuvvet sıvama derinliği (mm)
3,2	1	16940,6	61	14,088
3	2	14964	35,6	14,466
2,7	3	15166,4	35,6	13,94
2,5	4	14773,2	44,1	13,874
2	5	12752,4	42	13,547
1,5	6	7334,8	36,9	12,863
1	7	7759	37,8	12,764

Çizelge 7.18. Rekristalizasyon tavlı %3 SiO₂ içeren numunelerin erichsen derin çekme test sonuçları

E (AA1050 %100X %3 SiO₂)				
Kalınlık	Numune No	Max. Kuvvet (N)	Akma Mukavemeti (MPa)	Max. Kuvvet sıvama derinliği (mm)
3,2	1	16783	40,6	14,436
3	2	15283	36,2	14,363
2,7	3	15298,6	35,4	14,156
2,5	4	14705	41,5	13,939
2	5	11387	40,8	13,471
1,5	6	7524,2	38,3	12,987
1	7	7472,8	39	13,126

Çizelge 7.19 Rekrizalizasyon tavlı %3 SiO₂ içeren numunelerin erichsen derin çekme test sonuçları

F (AA1050 %50X %50Y %3 SiO₂)				
Kalınlık	Numune No	Max. Kuvvet (N)	Akma Mukavemeti (MPa)	Max. Kuvvet sıvama derinliği (mm)
3,2	1	17427	40,6	14,374
3	2	15866,4	38,3	14,383
2,7	3	15628	35	14,426
2,5	4	15349,4	42	13,813
2	5	13306,6	38,8	13,675
1,5	6	7724,2	39,3	12,918
1	7	8060,4	38,9	12,937

Test sonuçları toplu olarak Çizelge 7.20. – Çizelge 7.22. de de verilmiştir. Bunun sonucunda maksimum kuvvette oluşan sıvama derinliği 3,20 -3,00 - 2,70 mm numunelerde 15 mm civarında iken 2,50 - 2,00 - 1,50 - 1,00 mm numunelerde 13 mm civarında görülmektedir. Malzeme kalınlığı 2,70-3,00-3,20 mm iken maksimum kuvvetin 14 mm çökmede görülürken, 3,00 mm de malzemede 13 mm çökmede görülmüştür. 1,5 mm ve 1,00 mm kalınlıklarda 12,9mm çökmede görülmüştür. Akma mukavemetleri incelendiğinde genel olarak SiO₂ ilavesi yapılan malzemelerde akma sınırının arttığı gözlemlenmiştir. Maksimum kuvvetler incelendiği zaman malzeme kalınlığına göre kalınlık arttıkça yüzey alanının artmasından dolayı kuvvetlerde doğru orantılı olarak bir artış mevcuttur.

Malzemelerin tavlınmasından dolayı H0 kondüsyonundaki malzemelerin iç gerilmelerinin giderildiği için SiO₂ ilavesi yapılan malzemelerde kuvvetler genel olarak AA1050 malzemedden ortalama 1000 N fazla kuvvet harcanmıştır. Nano SiO₂ malzemesinin sertliğinden kaynaklanan bu kuvvet artışı sıvanan malzemelere dayanım ve direnç kazandırdığı görüşüne varılmıştır.

AA1050 Malzemedden üretilen 7 farklı kalınlıkta haddelenen numunelerin erichsen deep drawing testi max kuvvet sonuçları Çizelge 7.20-22 de verilmiştir.

Çizelge 7.20. Rekristalizasyon tavlı numunelerin erichsen derin çekme testi max kuvvet sonuçları

Max. Kuvvet (N)	A	B	C	D	E	F
3,2	19130,2	18188,2	17288	16940,6	16783	17427
3	15130,4	15611	15900,8	14964	15283	15866,4
2,7	14722	15038,6	14694,6	15166,4	15298,6	15628
2,5	14530,8	14475,8	15208	14773,2	15349,4	14705
2	12315,2	12327,4	12097,2	12752,4	11387	13306,6
1,5	8171	7508,2	8029,6	7334,8	7524,2	7724,2
1	7135,6	7534,6	7215,6	7759	7472,8	8060,4

Çizelge 7.21 Rekristalizasyon tavlı numunelerin erichsen derin çekme testi max kuvvette çökme miktarı sonuçları

Max. kuvvetteki sıvama derinlikleri (mm)	A	B	C	D	E	F
3,2	14,231	14,508	14,508	14,088	14,436	14,374
3	14,423	14,528	14,528	14,466	14,363	14,383
2,7	14,025	14,341	14,341	13,94	14,156	14,426
2,5	13,688	13,776	13,776	13,874	13,939	13,813
2	13,522	13,507	13,507	13,547	13,471	13,675
1,5	12,875	12,769	12,769	12,863	12,987	12,918
1	12,868	13,154	13,154	12,764	13,126	12,937

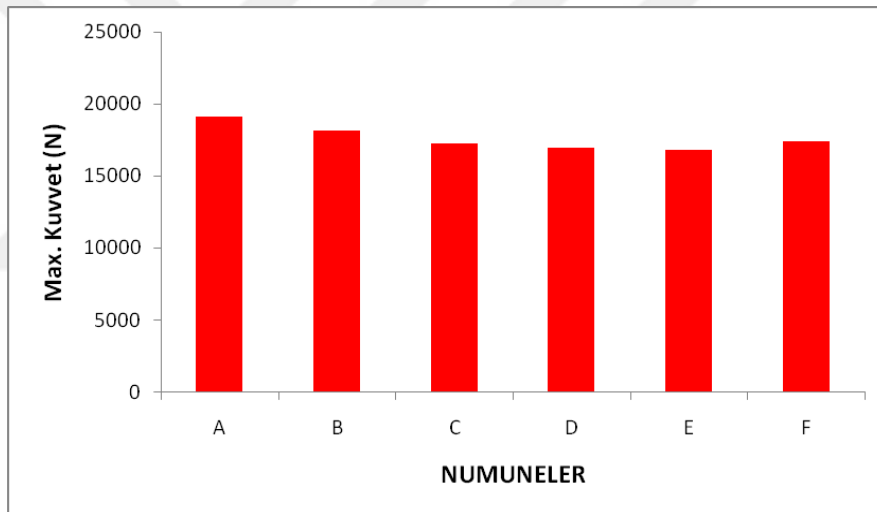
Çizelge 7.22 Rekristalizasyon tavlı numunelerin çekme testi akma mukavemeti sonuçları

Akma Mukavemeti (MPa)	A	B	C	D	E	F
3,2	40,5	38,95	40,6	61	40,6	40,6
3	39,6	35,1	35,5	35,6	36,2	38,3
2,7	34,7	34,5	40,5	35,6	35,4	35
2,5	32,8	32,3	33,9	44,1	41,5	42
2	39,5	43,1	38	42	40,8	38,8
1,5	39,5	37,9	38,5	36,9	38,3	39,3
1	37,8	38	38,8	37,8	39	38,9

Erichsen deep drawing testi yapılan numuneler farklı kalınlıklardaki özellikleri incelenmesi için ayrı ayrı grafiklendirilmiştir.

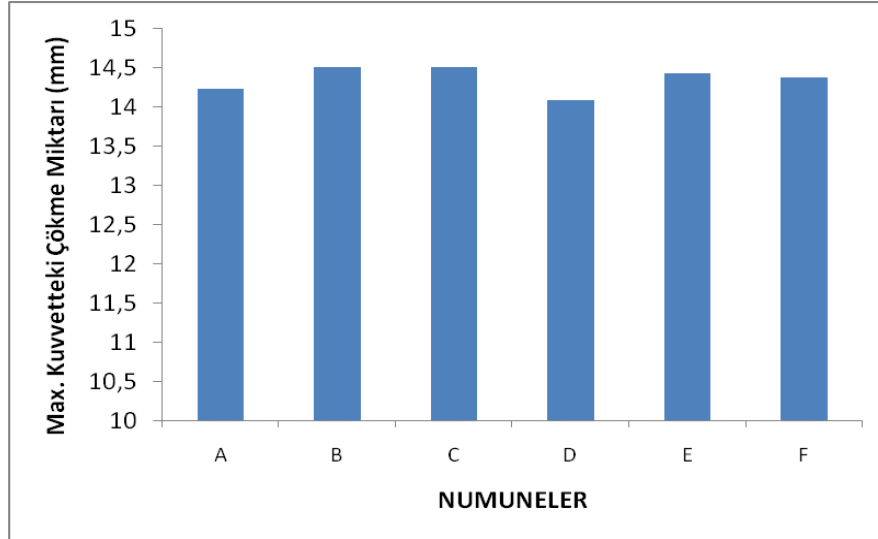
Erichsen deep drawing testi sonucunda 3,20 mm numunenin incelenmesi sonucunda;

A, C ve E numuneleri tek yönlü ("x") haddelenmiş olup 3,2 mm kalınlıkta numunelerdir. SiO₂ artışına bağlı olarak max. kuvvet miktarında bir azalma söz konusudur. Bunun temel nedeni malzemenin şekil verilebilirlik kabiliyetinin daha az bir kuvvet ile mümkün olmasıdır. B, D ve F numuneleri çift yönlü haddelenen 3,2 mm kalınlıkta numuneler olup % 1,5 SiO₂ ilavesinde kuvvette azalma olurken % 3,0 SiO₂ ilavesinde daha fazla kuvvetle sıvanmıştır. % 3,0 SiO₂ ilavesinde E ve F numunelerdeki maksimum sıvama kuvveti, E numunesinde çift yönlü haddelenen F numunesine göre daha düşük olduğu görülmüştür (Şekil 7.34.). Bunun nedeni anizotropik yapı nedeni biraz fazla SiO₂ ilavesi ile yapının mukavemet kazandığı şeklinde yorumlanabilir.



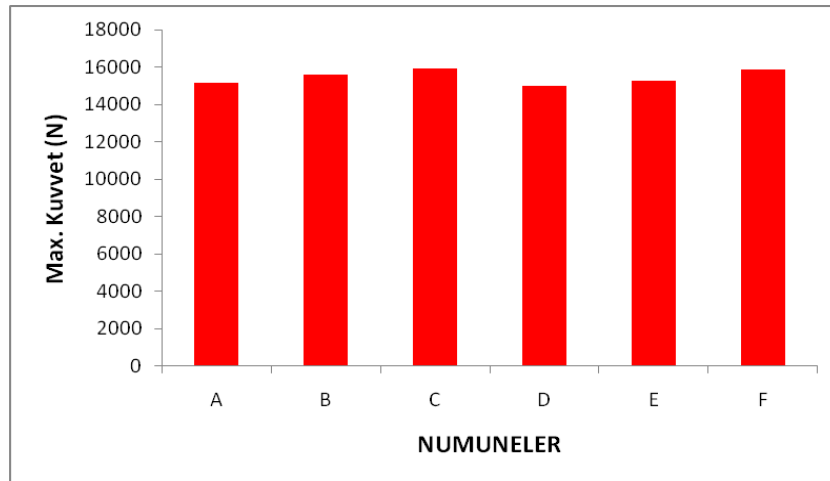
Şekil 7.34. Rekristalizasyon tavlı 3,2 mm kalınlıkta erichsen derin çekme testi yapılan numunelerin max. kuvvet grafikleri

AA1050 numunelerinde tek yönlü haddelenen A numunesinde çift yönlü haddelenen B numunesine göre maksimum sıvama kuvvetinde daha az çökme görülürken, %1,5 ve %3 SiO₂ ilave olan tek yönlü haddelenen C-E numunesinde çift yönlü haddelenen D-F numunesinde maksimum sıvama kuvvetinde daha fazla çökme görülmüştür (Şekil 7.35.). Bunun nedeni tek yönde yönlenmiş olan tanelerin daha yüksek kuvvetlerde sıvanması ve çift yönde haddelenip tanelerin geometrisinin çift yönlü şekil değiştirmeye daha uygun olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 7.35. Rekristalizasyon tavlı 3,2 mm kalınlıkta erichsen derin çekme testi yapılan numunelerin max. kuvvet sıvama derinliği grafikleri

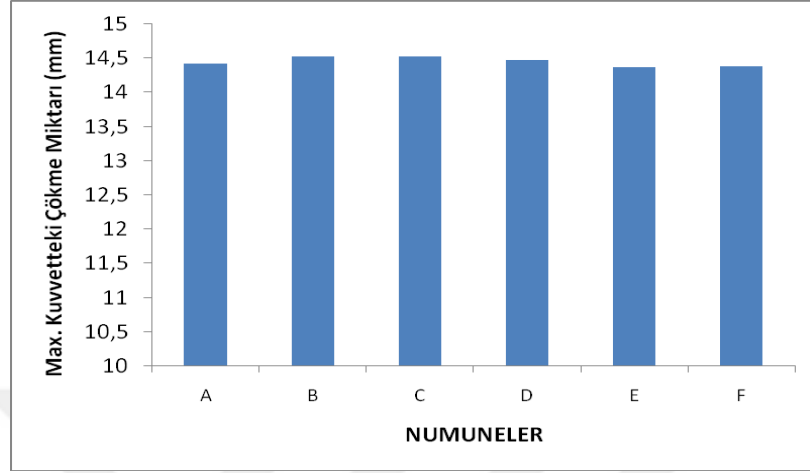
AA1050 numunelerinde tek yönlü haddelenen 3,00 mm kalınlıktaki numunelerin Erichsen deep drawing testi sonucunda A numunesinde çift yönlü haddelenen B numunesine göre, maksimum sıvama kuvvetinin daha fazla olduğu %1,5 katkılı tek yönlü haddelenen C numunesinin, çift yönlü haddelenen D numunesine göre daha fazla kuvvetle sıvandığı, %3 katkı oranındaki tek yönlü haddelenen E numunesinin çift yönlü haddelenen F numunesinden daha az kuvvette sıvandığı görülmüştür (Şekil 7.36.).



Şekil 7.36. Rekristalizasyon tavlı 3,0 mm kalınlıkta erichsen derin çekme testi yapılan numunelerin max. kuvvet grafikleri

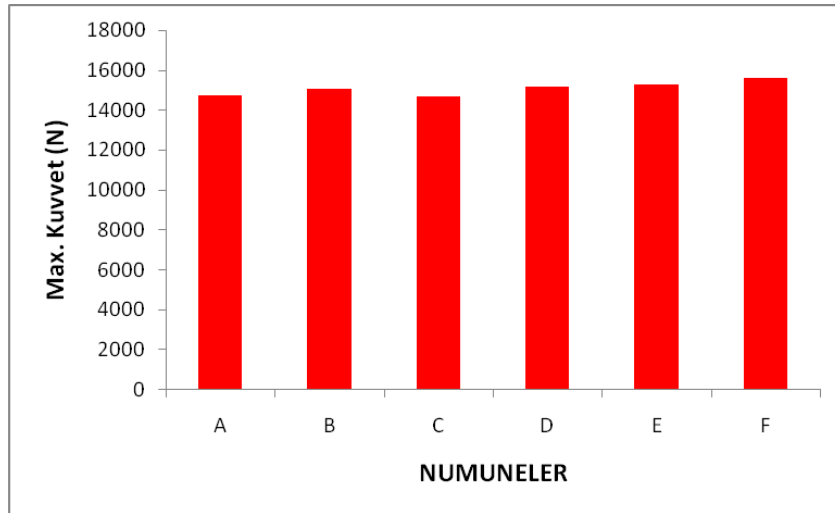
AA1050 numunelerinde tek yönlü haddelenen A numunesinde çift yönlü haddelenen B numunesine göre maksimum kuvvette daha derin sıvandığı, %1,5 katkılı tek yönlü haddelenen C numunesinin çift yönlü haddelenen D numunesine göre

maksimum kuvvette daha fazla sıvandığı,%3 katkı oranındaki tek yönlü haddelenen E numunesinin çift yönlü haddelenen F numunesinden maksimum kuvvette daha az sıvandığı görülmüştür (Şekil7.37).



Şekil 7.37. Rekristalizasyon tavlı 3,0 mm kalınlıkta erichsen derin çekme testi yapılan numunelerin max. kuvvet sıvama derinliği grafikleri

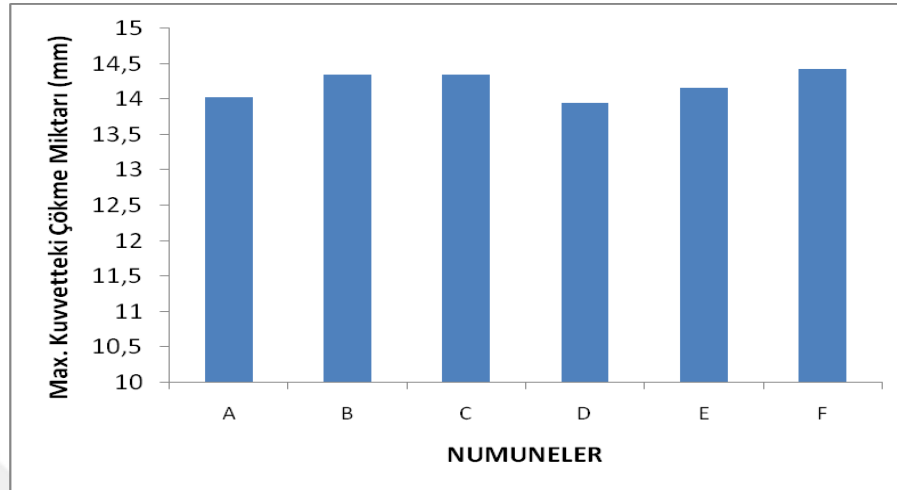
Erichsen deep drawing testi sonucunda 2,70 mm kalınlıktaki numunenin incelenmesi sonucunda; A, C ve E numuneleri tek yönlü haddelenmiş olup çift yönlü haddelenen B, D ve F numunelerinden daha az kuvvette sıvama gerçekleşmiştir (Şekil 7.38.).



Şekil 7.38. Rekristalizasyon tavlı 2,7 mm kalınlıkta erichsen derin çekme testi yapılan numunelerin max. kuvvet grafikleri

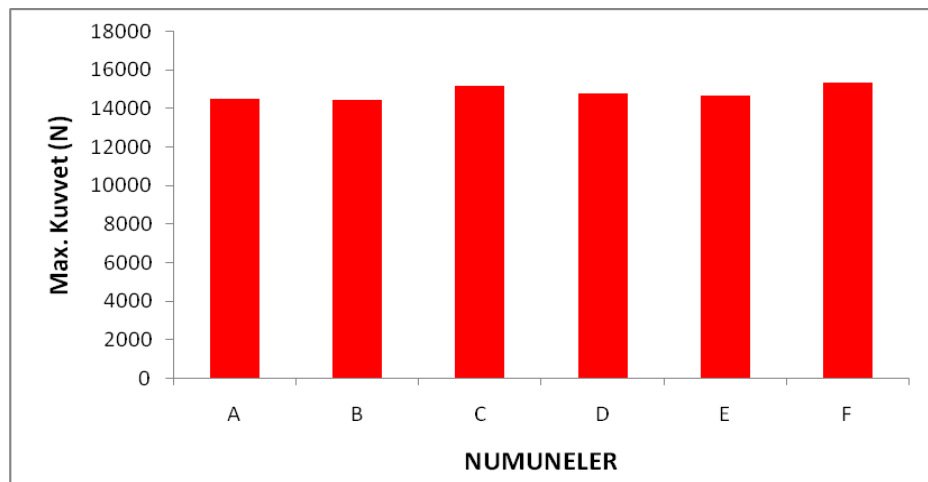
AA1050 numunelerinde tek yönlü haddelenen A numunesinde çift yönlü haddelenen B numunesine göre maksimum kuvvette daha az sıvandığı , %1,5 katkılı tek yönlü haddelenen C numunesinin çift yönlü haddelenen D numunesine göre maksimum

kuvvette daha fazla sıvandığı, %3 katkı oranındaki tek yönlü haddelenen E numunesinin çift yönlü haddelenen F numunesinden maksimum kuvvette daha az kuvvetle sıvandığı görülmüştür (Şekil 7.39.).



Şekil 7.39. Rekristalizasyon tavlı 2,7 mm kalınlıkta erichsen derin çekme testi yapılan numunelerin max. kuvvet sıvama derinliği grafikleri

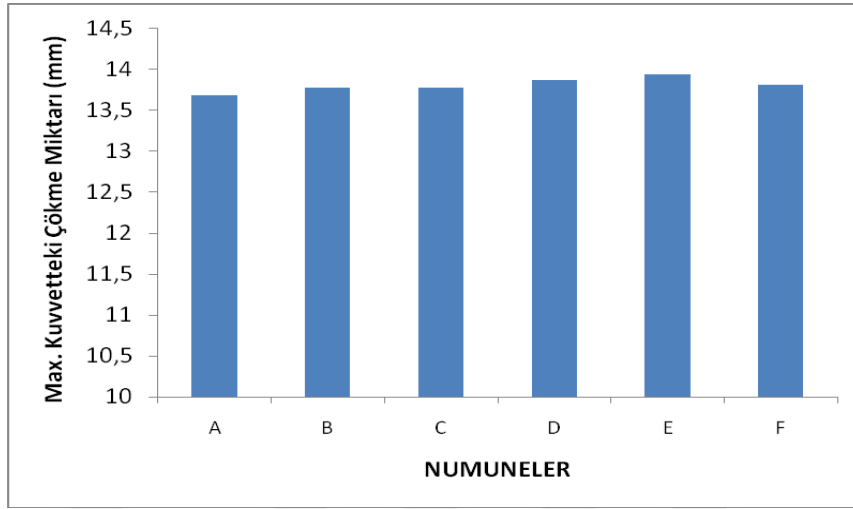
Erichsen deep drawing testi sonucunda 2,50 mm kalınlıktaki numunenin incelenmesi sonucunda; A, C ve E numuneleri tek yönlü haddelenmiş olup çift yönlü haddelenen B, D ve F numunelerinden daha fazla kuvvetle sıvanmıştır (Şekil7.40.).



Şekil 7.40. Rekristalizasyon tavlı 2,5 mm kalınlıkta erichsen derin çekme testi yapılan numunelerin max. kuvvet grafikleri

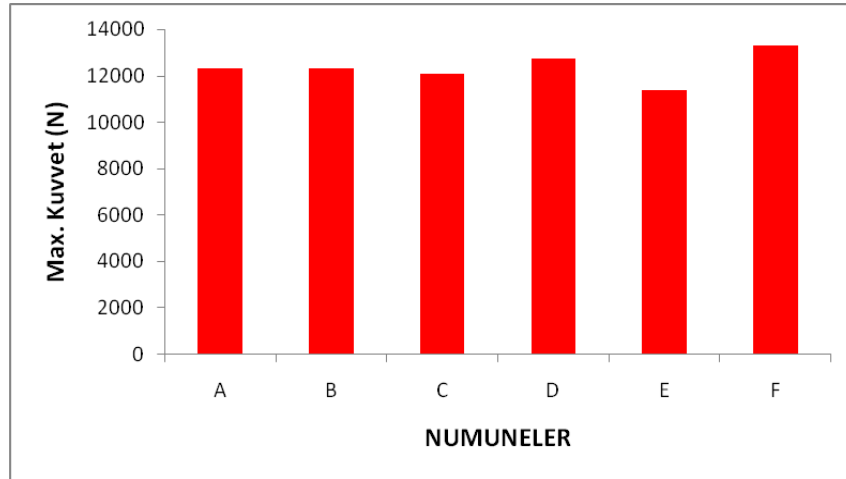
AA1050 numunelerinde tek yönlü haddelenen A numunesinde çift yönlü haddelenen B numunesine göre maksimum sıvama kuvvetinden daha az kuvvetle sıvandığı , %1,5 katkılı tek yönlü haddelenen C numunesinin çift yönlü haddelenen D numunesine göre maksimum kuvvette daha az sıvandığı,%3 katkı oranındaki tek yönlü

haddelenen E numunesinin çift yönlü haddelenen F numunesinden maksimum sıvama kuvvetinin daha fazla olduğu görülmüştür (Şekil 7.41.).



Şekil 7.41. Rekristalizasyon tavlı 2,5 mm kalınlıkta erichsen deep drawing testi yapılan numunelerin max. kuvvet sıvama derinliği grafikleri

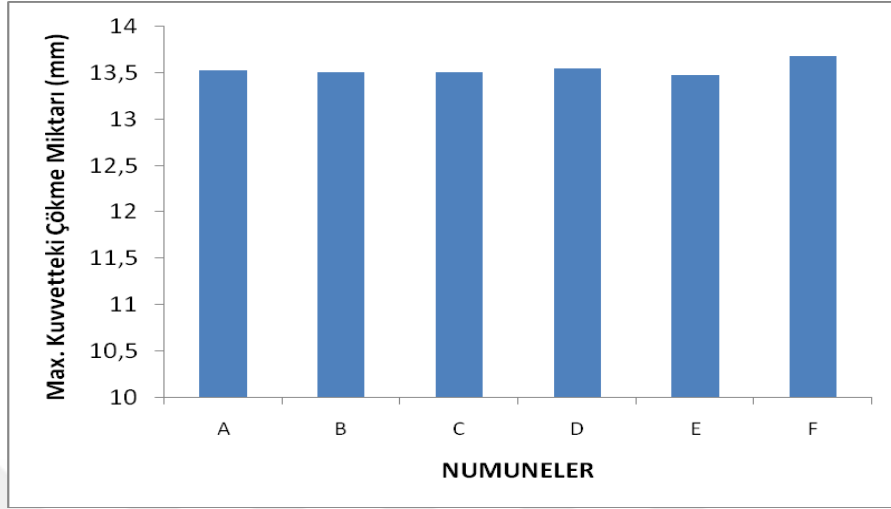
Erichsen deep drawing testi sonucunda 2,00 mm kalınlıktaki numunenin deney sonucunun incelenmesi sonucunda; A, C ve E numuneleri tek yönlü haddelenmiş olup çift yönlü haddelenen B, D ve F numunelerinden daha az kuvvetle sıvama yapılmıştır (Şekil7.42.).



Şekil 7.42. Rekristalizasyon tavlı 2,0 mm kalınlıkta erichsen derin çekme testi yapılan numunelerin max. kuvvet grafikleri

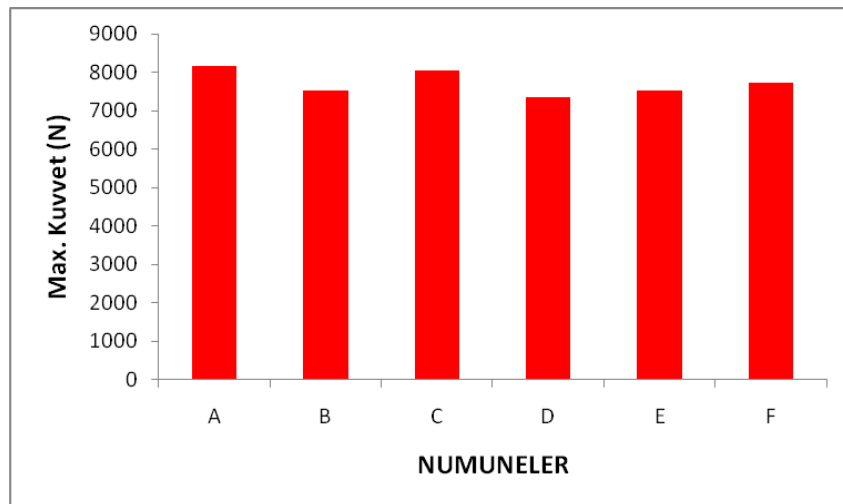
AA1050 numunelerinde tek yönlü haddelenen A numunesinde çift yönlü haddelenen B numunesine göre maksimum kuvvette daha fazla sıvandığı, %1,5 katkılı tek yönlü haddelenen C numunesinin çift yönlü haddelenen D numunesine göre

maksimum kuvvette daha az sıvandığı,%3 katkı oranındaki tek yönlü haddelenen E numunesinin çift yönlü haddelenen F numunesinden maksimum kuvvette daha az sıvandığı görölmüştür (Şekil 7.43.).



Şekil 7.43. Rekristalizasyon tavlı 2,0 mm kalınlıkta erichsen derin çekme testi yapılan numunelerin max. kuvvet sıvama derinliği grafikleri

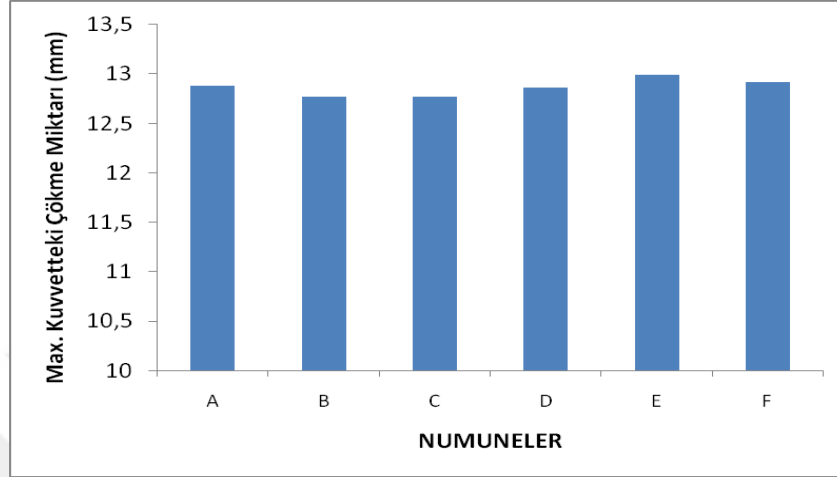
Erichsen deep drawing testi sonucunda 1,50 mm numunenin incelenmesi sonucunda; A ve C numuneleri tek yönlü haddelenmiş olup çift yönlü haddelenen B ve D numunelerinden daha fazla kuvvette sıvanmış olup %3 katkı oranı olan tek yönlü haddelenen E numunesindeki maksimum sıvama kuvveti, çift yönlü haddelenen F numunesine göre daha düşük sıvama kuvvetinde olduğu görölmüştür (Şekil 7.44.).



Şekil 7.44. Rekristalizasyon tavlı 1,5 mm kalınlıkta erichsen derin çekme testi yapılan numunelerin max. kuvvet grafikleri

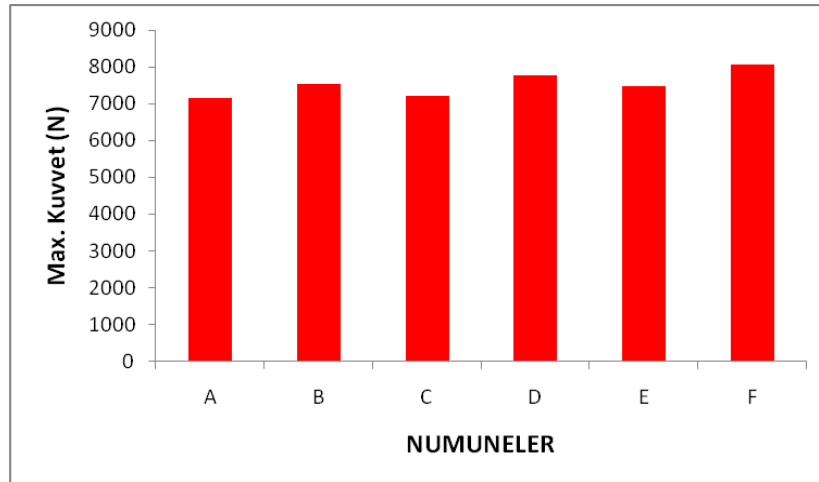
AA1050 numunelerinde tek yönlü haddelenen A numunesinde çift yönlü haddelenen B numunesine göre maksimum kuvvette daha fazla sıvandığı , %1,5 katkı

tek yönlü haddelenen C numunesinin çift yönlü haddelenen D numunesine göre maksimum kuvvette daha az sıvandığı, %3 katkı oranındaki tek yönlü haddelenen E numunesinin çift yönlü haddelenen F numunesinden maksimum kuvvette daha fazla sıvandığı görülmüştür (Şekil 7.45.).



Şekil 7.45. Rekristalizasyon tavlı 1,5 mm kalınlıkta erichsen derin çekme testi yapılan numunelerin max. kuvvet sıvama derinliği grafikleri

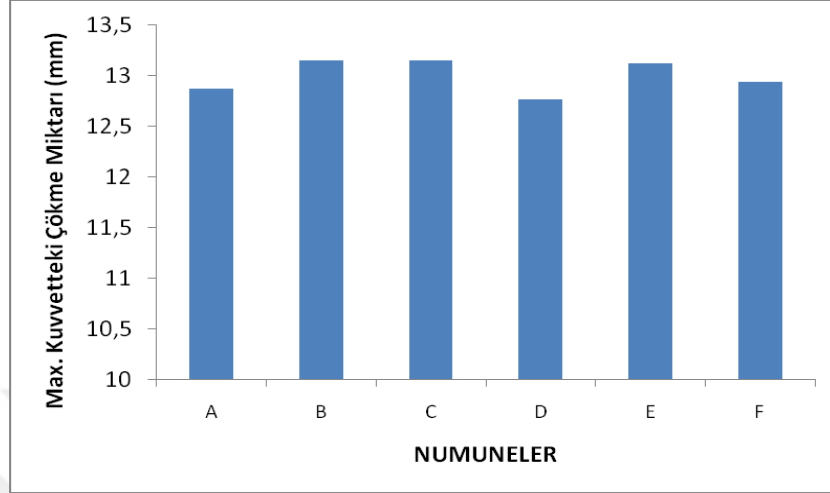
Erichsen deep drawing testi sonucunda 1,00 mm numunenin incelenmesi sonucunda; A,C ve E numuneleri tek yönlü haddelenmiş olup çift yönlü haddelenen B,D ve F numunelerinden daha az kuvvette sıvanmış olduğu görülmüştür (Şekil 7.46.).



Şekil 7.46. Rekristalizasyon tavlı 1,0 mm kalınlıkta erichsen derin çekme testi yapılan numunelerin max. kuvvet grafikleri

AA1050 numunelerinde tek yönlü haddelenen A numunesinde çift yönlü haddelenen B numunesine göre maksimum kuvvette daha az sıvandığı , %1,5 katkılı tek yönlü haddelenen C numunesinin çift yönlü haddelenen D numunesine göre

maksimum kuvvette daha fazla sıvandığı,%3 katkı oranındaki tek yönlü haddelenen E numunesinin çift yönlü haddelenen F numunesinden daha fazla kuvvette sıvandığı görülmüştür. (Şekil 7.47.)



Şekil 7.47. Rekristalizasyon tavlı 1,0 mm kalınlıkta erichsen derin çekme testi yapılan numunelerin max. kuvvet sıvama derinliği grafikleri

Erichsen derin çekme testleri sonucunda sıvama kuvvetleri ve sıvama derinlikleri kalınlıkdaki artışla doğru orantılı olarak artmıştır. SiO₂ ilavesinin sıvamaya olumlu etkilerinin olduğu görülmüştür.

8. SONUÇLAR

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 aksenal Çekme Dayanımının artmasını sağlamıştır, %1,5 SiO₂ ilave edilmesi homojen bir yapı gösterirken %3 ilave edildiğinde kısmen topaklanma görülmüştür.

- AA1050 Alüminyum malzemeye kıyasla kompozit malzemenin mukavemet değerlerinde artış %3 nano SiO₂ karışımında rekristalizasyon tavsız tek yönlü haddelenmiş değişik kalınlıklarda alınan numunelerin çekme analizi sonucunda maksimum Çekme Dayanımında % 13 artış ile 1,50 mm kalınlıkta elde edilmiştir. %1,5 nano SiO₂ karışımında rekristalizasyon tavsız tek yönde haddelenmiş (H19 haddelendiği gibi ısıtıl işlem yapılmamış) değişik kalınlıklarda alınan numunelerin çekme analizi sonucunda maksimum Çekme Dayanımında 1,50 mm kalınlıkta en fazla % 14,4 artış tespit edilmiştir.

- AA1050 Alüminyum malzemeye kıyasla kompozit malzemenin mukavemet değerlerinde artış %3 nano SiO₂ karışımında rekristalizasyon tavsız çift yönlü haddelenmiş değişik kalınlıklarda alınan numunelerin çekme analizi sonucunda maksimum Çekme Dayanımında % 9,1 artış ile 1,00 mm kalınlıkta elde edilmiştir. %1,5 nano SiO₂ karışımında rekristalizasyon tavsız çift yönde haddelenmiş (H19 haddelendiği gibi ısıtıl işlem yapılmamış) değişik kalınlıklarda alınan numunelerin çekme analizi sonucunda maksimum Çekme Dayanımında 1,00 mm kalınlıkta en fazla % 11,7 artış tespit edilmiştir.

- %3 Nano SiO₂ karışımında rekristalizasyon tavsız haddelenmiş daha sonrasında tavlanıp H0 yapılmış değişik kalınlıklarda alınan numunelerin çekme analizi sonucunda ortalama Çekme Dayanımında 2,50 mm kalınlıkta tek yönlü haddelemede % 8,8 artış görülürken çift yönlü haddelemede mukavemet artışı %10,5 olarak tespit edilmiştir. kompozit malzemenin mukavemet değerlerinde artış %1,5 nano SiO₂ karışımında rekristalizasyon tavsız haddelenmiş daha sonrasında tavlanıp (H0 haddeleme sonrası gerilme giderme ve rekristalizasyon tavi yapılmış plastik şekil değiştirmeye uygun malzeme) değişik kalınlıklarda alınan numunelerin çekme testi sonucunda tek yönlü

haddelemede 3,20 mm kalınlıkta % 3,60 artış görülürken çift yönlü haddelemede 2,50 mm kalınlıkta %10,7 artış tespit edilmiştir.

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

- Uzama miktarı açısından incelendiğinde rekristalasyon tavlaması yapılan numunelerde fazla bir fark görülmemektedir. Malzemeler daha ince kalınlığa haddelendiğinde deformasyon sertleşmesi görülmüştür. Anizotropik haddelemenin mukavemet açısından bir etkisinin olmadığı ve % uzama miktarında büyük bir değişiklik göstermediği sonucu görülmüştür.

- Yapılan sıvama testleri sonucunda Şekil 7.7-7.8.`de görüldüğü gibi SiO₂ takviyesinin sıvamaya uygun olduğu AA1050 malzeme ile sıvama özelliklerinin aynı olduğu görülmüştür.

- Yapılan sıvama test numunelerinin tek yönlü olarak haddelendiği numunelerde uzama kenarlarının eşit olmadığı ve çift yönlü haddelenenlerin genelinde uzama kenarlarının eşit olduğu görülmektedir.

- Malzemelerin alt yüzeylerinde herhangi bir portakallanma v.s. malzeme kusuruna rastlanmamış, çoğunlukla 1,00 mm ve 1,50 mm malzemelerde sıvama esnasında incelikten kaynaklanan marullama sonrası sıvama işleminden sonra yırtılmalar görülmüştür.

- Yapılan sıvama test sonuçları toplu olarak Çizelge 7.20. - Çizelge 7.22. de derlenmiştir. Maksimum kuvvette oluşan sıvama derinliği 3,20-3,00-2,70 mm numunelerde 14 mm civarında iken 2,50-2,00-1,50-1,00 mm numunelerde 13mm civarında görülmektedir. Bu da malzeme kalınlığı 3,00 mm üzerinde iken maksimum kuvvetin 14 mm çökmede görüldüğünü ve 3,00 mm den aşağı malzemelerde 13mm çökmede görüldüğünü göstermektedir. Akma mukavemeti incelendiğinde genel olarak SiO₂ ilavesi yapılan malzemelerde akma mukavemetinin arttığı gözlemlenmiştir. Maksimum kuvvetler incelendiği zaman malzeme kalınlığına göre kalınlık arttıkça yüzey alanının artmasından dolayı kuvvetlerde doğru orantılı olarak bir artış mevcuttur.

- Malzemelerin tavlansından dolayı H-0 kondüsyonundaki malzemelerin iç gerilmelerinin giderildiği için SiO₂ ilavesi yapılan malzemelerde kuvvetler genel olarak AA1050 malzemedan ortalama 1000 N fazla kuvvet harcanmıştır. Nano SiO₂

malzemesinin sertliğinden kaynaklanan bu kuvvet artışı sıvanan malzemelere dayanım ve direnç kazandırdığı görüşüne varılmıştır.

- Sıvama yapılan numunelerde nano SiO₂ ilave edilen malzemelerde sıvama kuvvetinde artış görülmüştür.
- Haddede tek yönlü haddeleme sonucunda sıvama yapılan numunelerde eşit uzamama problemi görülürken, çift yönlü haddelenen numunelerde daha düzgün bir sıvama yüzeyi görülmüştür.
- Haddeleme esnasında oluşan tane boyut etkisi görülmüştür ve bunun sonucunda her farklı kalınlıkta malzemelerin farklı özellik gösterdiği görülmüştür.
- AA4000 serisi alüminyum malzeme Çekme Dayanımı 200-250 MPa civarındadır. Üretimi gerçekleştirilen AA 1050 malzemenin SiO₂ ilavesi ile Çekme Dayanımı 220 MPa civarına gelmiştir. Maliyet analizi yapıldığında AA4000 serisi alüminyumun kilosu 2.6 dolar iken, üretimi gerçekleştirilen malzemenin % 1,5 SiO₂ için 2,9 dolar ve % 3 SiO₂ için 3 dolar civarındadır. Şekillendirilebilirlik özelliği 4000 serisinden daha iyi olması ve üretim kolaylığı göz önünde tutulduğunda alternatif bir malzeme olarak tercih edilebilir.

9. ÖNERİLER

Yapılan test ve analizler sonucunda derin sıvama yapılacak olan malzemelerde mukavemet artışı isteniyor ise nano SiO₂ ilavesi bu istenilen özelliği sağlamaktadır, rekristalizasyon tavsız malzemelerde katkı miktarına göre mukavemet artışı sağlanmıştır. Karışım için en iyi sonuçları %1,5 oranı vermektedir.

Bu konu üzerinde sıvama sonrası mekanik özelliklerde ki değişim, sıvama sonrası mekanik özellikler ve içyapı, tane şekilleri incelenebilir. Bunun dışında SiO₂ nin üretilen malzemelerde aşınma özelliklerinin incelenmesi konusunda birçok farklı araştırma yapılması literatürde bir eksik olarak görülmüştür.



KAYNAKLAR

- Akbari, M. K., Baharvandi, H. ve Mirzaee, 2013, Fabrication of nano-sized Al₂O₃ reinforced casting aluminum composite focusing on preparation process of reinforcement powders and evaluation of its properties, *J Composites Part B: Engineering*, 55, 426-432.
- Aran, A., 1997, Metal Matrisli Kompozit Malzemeler Alanında Yeni Gelişmeler.
- Arora, H., Singh, H. ve Dhindaw, B. J. T. I. J. o. A. M. T., 2012, Composite fabrication using friction stir processing—a review, 61 (9-12), 1043-1055.
- Bharath, V., Nagaral, M., Auradi, V. ve Kori, S. J. P. m. s., 2014, Preparation of 6061Al-Al₂O₃ MMC's by stir casting and evaluation of mechanical and wear properties, 6, 1658-1667.
- Budiansky, B. ve Wang, N. M., 1966, On the Swift cup test, *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 14 (6), 357-374.
- 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.
- Cayron, C., 2000. TEM study of interfacial reactions and precipitation mechanisms in Al₂O₃ short fiber or high volume fraction SiC particle reinforced Al-4Cu-1Mg-0.5Ag squeeze-cast composites. viii-ix+1-163-viii-ix+161-163. Erişim Adresi.
- Chakrabarty, J. J. I. J. o. M. S., 1970, A theory of stretch forming over hemispherical punch heads, 12 (4), 315-325.
- Cöcen, Ü. ve Önel, K., 1996, Metal Matrisli Kompozitler: Özellikleri ve Uygulamaları, *Metalurji Dergisi*, 20 (104), 18.
- Cöcen, Ü., Önel, K. ve Özdemir, I., 1997, Microstructures and age hardenability of AL-5%si-0.2%Mg based composites reinforced with particulate SiC, *Composites Science and Technology*, 57 (7), 801-808.
- Duncan, J. ve Altan, T. J. C. A., 1980, New directions in sheet metal forming research, 29 (1), 153-156.
- Handbook, A. I., 2002, Composites. ASM Handbook
- Kaftanoglu, B. A., 1970, On quasistatic axisymmetrical stretch forming, *JM J International Journal of Mechanical Sciences*, 12 (12), 1065-1084.
- Kang, Y.-C., Chan, S. L.-I. J. M. c. ve physics, 2004, Tensile properties of nanometric Al₂O₃ particulate-reinforced aluminum matrix composites, 85 (2-3), 438-443.

- Kerti, I. Ç., 1998, Gaz Enjeksiyon ve Elementel Karbon İlavesi Yöntemleri ile TiC Takviyeli Alüminyum Matrisli Kompozit Üretimi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Khorshid, M. T., Jahromi, S. J., Moshksar, M. J. M. ve Design, 2010, Mechanical properties of tri-modal Al matrix composites reinforced by nano-and submicron-sized Al₂O₃ particulates developed by wet attrition milling and hot extrusion, 31 (8), 3880-3884.
- Koli, D. K., Agnihotri, G., Purohit, R. J. I. J. o. L. T. i. E. ve Technology, 2013, Properties and characterization of Al-Al₂O₃ composites processed by casting and powder metallurgy routes, 2 (4), 486-496.
- Mellor, P. A. C., 1970, The role of plastic anisotropy in sheet metal forming, 18, 133.
- Sınmazçelik, T., 2003, Kompozit Malzemeler Ders Notları.
- Su, H., Gao, W., Feng, Z., Lu, Z. J. M. ve Design, 2012, Processing, microstructure and tensile properties of nano-sized Al₂O₃ particle reinforced aluminum matrix composites, 36, 590-596.
- Şahin, Y., 2000, Kompozit Malzemelere Giriş 1, p. 134.
- Woo, D., 1964, International Journal of Mechanical Sciences, The analysis of axisymmetric forming of sheet metal and the hydrostatic bulging process, 6 (4), 303-317.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Serkan Doğan ÖNAL
Uyruğu : TÜRK
Doğum Yeri ve Tarihi : SELÇUKLU /1993
Telefon : 0507 835 1083
Faks :
e-mail : Serkandoganonal1@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: SELÇUKLU GAZİ LİSESİ	2011
Üniversite	: PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ	2015
Yüksek Lisans	: SELÇUK ÜNİVERSİTESİ	Devam ediyor
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2015	SELÇUKLU KONALSAN ALÜMİNYUM METAL SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ.	MAKİNE MÜHENDİSİ PROJE SORUMLUSU
2017	SELÇUKLU KONALSAN ALÜMİNYUM METAL SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ.	MAKİNE MÜHENDİSİ ÜRETİM SORUMLUSU
2018	SELÇUKLU KONALSAN ALÜMİNYUM METAL SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ.	MAKİNE MÜHENDİSİ ÜRETİM SORUMLUSU VE FABRİKA İDARİ İŞLER MÜDÜRÜ

UZMANLIK ALANI

ALÜMİNYUM DÖKÜM YÖNTEMLERİ, ALÜMİNYUM SOĞUK HADDELEME, DERİN SIVAMAYA UYGUN ALÜMİNYUM ÜRETİMİ, KALİTE YÖNETİMİ, ÜRETİM PLANLAMA VE KOORDİNASYON

YABANCI DİLLER

İNGİLİZCE