

# TÜBAV BİLİM DERGİSİ

## JOURNAL OF TUBAV SCIENCE



TURKISH SCIENCE RESEARCH FOUNDATION

# TÜBAV BİLİM DERGİSİ

Türk Bilim Araştırma Vakfı (TÜBAV) desteğiyle TÜBAV BİLİM DERGİSİ adıyla Fen Bilimleri, Sağlık Bilimleri ve Sosyal Bilimler alanlarını kapsayan yılda 4 sayı olarak 2008 yılından itibaren yayın hayatını sürdüren, hakemli, uluslar arası Türkçe yayın yapmayı hedeflemiş bilimsel bir dergidir. 2013 yılında TÜBİTAK ULAKBİM Dergi PARK sistemine dahil edilmiştir. Yazarlarca, bu sistemimizi kullanarak gönderilen çalışmalar değerlendirilmektedir.

2023 • CİLT / VOLUME 16 • SAYI / NUMBER 2

**Baş Editör / Editor in Chief**

Prof. Dr. Halil İbrahim BÜLBÜL

**Yönetim Adresi / Address of Directors**

Türk Bilim Araştırma Vakfı (TÜBAV)  
Taşkent Caddesi (1. Cadde)  
No: 19/1, Bahçelievler 06500  
ANKARA-TÜRKİYE

**Yerel Süreli Yayın / Local Periodical**

ISSN 1308-4933

**Yayıncı / Publishers**

TÜRK BİLİM ARAŞTIRMA VAKFI (TÜBAV)

## **Baş Editör**

Prof. Dr. Halil İbrahim BÜLBÜL

## **Alan Editörleri**

Prof. Dr. İlhami ÇOLAK, Nişantaşı Üniversitesi, TÜRKİYE, Mühendislik Alanı  
Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU, Gazi Üniversitesi, TÜRKİYE, Mühendislik Alanı  
Prof. Dr. Harun ÜLGER, Erciyes Üniversitesi, TÜRKİYE, Tıp Alanı  
Prof. Dr. Bekir BULUÇ, Gazi Üniversitesi, TÜRKİYE, Eğitim Bilimleri Alanı  
Prof. Dr. Yoshitaka NAKANISHI, Kumamoto Üniversitesi, JAPONYA, Mühendislik alanları  
Prof. Dr. Vladyslav Pliuhin, O.O. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine, Mühendislik Alanları  
Dr. Irshad Hussain, The Islamic University of Bahawalpur Pakistan, Pakistan, Bilgi ve İletişim Teknolojileri alanı

## **Yayın Kurulu**

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU, Gazi Üniversitesi  
Prof. Dr. Kamil AYDIN, Atatürk Üniversitesi  
Prof. Dr. Ahmet AKSOY, Erciyes Üniversitesi  
Prof. Dr. Ömer Faruk BAY, Gazi Üniversitesi  
Prof. Dr. İlhami ÇOLAK, Gazi Üniversitesi  
Prof. Dr. H. İbrahim ÜNAL, Gazi Üniversitesi  
Prof. Dr. Fatma ÜNAL, Gazi Üniversitesi  
Prof. Dr. Hüseyin DEMİR, Ondokuz Mayıs Üniversitesi  
Prof. Dr. Ömer EYERCİOĞLU, Gaziantep Üniversitesi  
Prof. Dr. Ahmet ÖZDEMİR, Gazi Üniversitesi  
Prof. Dr. İhsan KELEŞ, Yüzüncü Yıl Üniversitesi  
Prof. Dr. H. Serdar YÜCESU, Gazi Üniversitesi  
Prof. Dr. B. Kemal YEŞİLBURSA, Abant İ. B. Üniversitesi  
Prof. Dr. Güngör BAL, Gazi Üniversitesi  
Prof. Dr. Ziya ARGÜN, Gazi Üniversitesi  
Prof. Dr. Ertuğrul BALTACIOĞLU, M. Kemal Üniversitesi  
Prof. Dr. Hüseyin Rıza BÖRKLÜ, Gazi Üniversitesi  
Prof. Dr. Recai COŞKUN, Sakarya Üniversitesi  
Prof. Dr. Seyhan FIRAT, Gazi Üniversitesi  
Prof. Dr. H. Yılmaz ARUNTAŞ, Gazi Üniversitesi  
Prof. Dr. Mustafa KURT, Ahi Evran Üniversitesi  
Prof. Dr. Kemal ERŞAN, Gazi Üniversitesi  
Prof. Dr. O. Ayhan ERDEM, Gazi Üniversitesi  
Prof. Dr. Erol KURT, Gazi Üniversitesi  
Prof. Dr. Dr. Mustafa ÜNAL, Erciyes Üniversitesi  
Prof. Dr. Halil İbrahim BÜLBÜL, Gazi Üniversitesi  
Prof. Dr. Fatma AYZAZ, Gazi Üniversitesi  
Prof. Dr. A. Fuat BOZ  
Prof. Dr. Bekir BULUÇ  
Prof. Dr. Erdal BEKİROĞLU, Abant İ. B. Üniversitesi  
Prof. Dr. İbrahim SEFA, Gazi Üniversitesi  
Prof. Dr. Mustafa BÖYÜKATA, Bozok Üniversitesi  
Prof. Dr. Dr. Şevki DEMİRBAŞ, Gazi Üniversitesi  
Prof. Dr. Hakan ATEŞ, Gazi Üniversitesi  
Prof. Dr. Erdal IRMAK, Gazi Üniversitesi  
Prof. Dr. Ahmet DURGUTLU, Gazi Üniversitesi  
Prof. Dr. Çetin GENÇER, Fırat Üniversitesi  
Prof. Dr. İlyas ÇANKAYA, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi  
Prof. Dr. Necmi ALTIN, Gazi Üniversitesi  
Doç. Dr. Mehmet DEMİRTAŞ, Gazi Üniversitesi  
Yrd. Doç. Dr. Süleyman ÜSTÜN, Manisa Celal Bayar Üniversitesi

# TÜBAV BİLİM DERGİSİ

2023 • CİLT / VOLUME 16 • SAYI / NUMBER 2

## İÇİNDEKİLER / CONTENTS

FARKLI DÖŞEME TEKNİKLERİYLE ÜRETİLEN OTURMA ELEMANLARININ PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ Murat Deveci & Nihat Döngel.....	1-8
SOĞUK DEFORMASYON ORANI VE YENİDEN ISITMA SICAKLIKLARININ SIMA İŞLEMİ İLE ÜRETİLEN AA7075 ALAŞIMININ MİKROYAPISI ÜZERİNE ETKİSİ Volkan Kılıçlı & Neşet Akar .....	9-21

## FARKLI DÖŞEME TEKNİKLERİYLE ÜRETİLEN OTURMA ELEMANLARININ PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ

Murat DEVECİ<sup>a</sup>, Nihat DÖNGEL<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Ağaçşileri Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye,  
murat.deveci@doqu.com.tr, ndongel@gazi.edu.tr

### Özet

Klasik döşeme dolgu gereçleri döşemecilikte zaman, işçilik ve ekonomi bakımından masraflıdır. Bu nedenle klasik döşeme malzemelerinin yerini kauçuk ve kauçuklu dolgu gereçleri almaya başlamıştır. Bunun başlıca amacı; zaman ve işçilikten tasarruf etmek, daha kaliteli, rahat ve kullanışlı mobilyalar üretmektir. Literatür taramalarında geleneksel ve modern döşeme gereçleri ile üretilen döşeme tekniklerinin performans özelliklerinin belirlenmesi konusunda sınırlı sayıda çalışmaya rastlanmıştır. Daha çok sektörel durumun belirlenmesi, sorunların tespiti ve kullanılan döşeme malzemelerinin yanma, renk değişimi vb. gibi dış etkilere karşı performanslarının belirlenmesi amacıyla çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada, farklı döşeme teknikleriyle üretilen oturma elemanlarının performanslarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu maksatla; standart döşeme çerçeveleri üzerine, yaylı ve yaysız döşeme teknikleri ile oturma elemanları üretilmiştir. Hazırlanan deney örnekleri FNAE 80-214 standardında belirtilen esaslara göre oturma yeri sağlamlık deneyi uygulanarak test edilmiş ve çökme miktarları (deformasyon) belirlenmiştir. Deneye oturma yüzeyine arka taraftan 445 N yük, ön tarafına ise 222 N yük uygulanarak başlanmıştır. Her 25000 devir sonunda arka kısımdan yapılan yükleme 111 N, ön kısımdan yapılan yükleme ise 55,5 N yükseltilecek devam edilmiştir. En küçük kareler yöntemiyle regresyon analizleri yapılarak yük-deformasyon ilişkileri tanımlanmış ve katsayılar belirlenmiştir. Sonuç olarak deformasyon miktarı; en az yaysız döşemelerde elde edilmiştir. Buna göre yaysız döşemelerin, yaylı döşemelere göre daha iyi performans gösterdiği söylenebilir.

**Anahtar kelimeler:** Döşeme teknikleri, Oturma elemanları, Mobilya performans testleri

## DETERMINATION OF PERFORMANCE OF SEATING ELEMENTS PREPARED WITH DIFFERENT UPHOLSTERY TECHNIQUES

### Abstract

Classical filling equipment in upholstery is costly in terms of time, labor and economy. For this reason, rubber and rubber filling materials supplanted of classical upholstery materials. The main purposes of that are both saving time and labor and also producing useful furniture. In literature search, limited number of studies was encountered about determination of performance features of upholstery techniques produced by traditional and modern materials. It was specified that studies were done by the aim of determination of sectoral situation and the problems and material's attitudes towards external factors such as burning, discoloration, etc. In this study, determination of performance of seating elements prepared with different upholstery techniques was aimed. For this aim, seating elements prepared with spring and without spring on the standard test frames. With the application of solidity test for seating place was tested and the collapse value was determined on the samples, prepared according to FNAE 80-214 standards. The experiment started with 445 N forces from back side and 222 N forces to the front side on seating surface. At the end of each 25000 cyclic the forces applied from the back side increased to 111 N, from front side to 55.5 N. The coefficient values of force-deformation relations were defined with the application of the smallest square method of regression analysis. As a result, the lowest value of deformation was found on the without spring upholstery. It is possible to say that without spring upholstery gave better performance than with spring upholstery.

**Keywords:** Upholstery techniques, Seating elements, Furniture performance tests

## 1. Giriş

Mobilya döşeme teknikleri ve malzemeleri, taşıdıkları özelliklerinden çok az kayıplara uğrayarak günümüze kadar ulaşmışlardır. Teknolojinin ilerlemesi ile döşeme malzeme ve tekniklerinde de değişiklikler meydana gelmiştir. Kullanılan dolgu gereçlerinin artması, yapılan mobilya iskeletlerindeki formların değişmesi ile döşemecilikte değişik formlarda ürünlerin üretilmesine olanak sağlanmıştır. Ayrıca dolgu gereci çeşitlerinin artması, mobilyaların ergonomik kriterlere uygun olarak yapılmasını sağlamıştır [1].

Mobilyacılık alanında döşemecilik, insanların; oturma, yemek yeme, çalışma, dinlenme, yatma gibi çeşitli yaşamsal eylemlerini konfor içinde yapabilmelerine olanak sağlamaktadır. Döşemecilik oturma, yatma ve dinlenme mobilyaları olarak isimlendirilen koltuk kanepeler, divanlar, sandalyeler, puf ve yataklarda mobilyanın kullanım amacına bağlı olarak yapılan dolgu ve yüzey kaplama işlemleri ile bu tür mobilyaların rahat bir yapıya kavuşturulmaları ve günün yorgunluğunu atmak ve zinde bir güne başlamak için yapılan çalışmalarıdır [1].

Klasik döşeme dolgu gereçlerinin döşemecilikte zaman, işçilik ve ekonomi bakımından masraflı olduğu acı bir gerçektir. Bu nedenle klasik döşeme malzemelerinin yerini, özellikle II. Dünya Savaşı'ndan sonra kauçuk ve kauçuklu dolgu gereçleri almaya başlamıştır. Bunun başlıca amacı; zaman ve işçilikten tasarruf etmek, daha kaliteli, rahat ve kullanışlı mobilyalar üretmektir [2].

Verimli bir üretimin gereği olarak, mobilya ve döşemecilik tekniği de gelişme göstermiş seri ve fabrikasyon üretim yapan büyük fabrikalar kurulmuştur. Geçen kısa sürede AB ülkelerinde mobilya döşemeciliği, en fazla talep gören mobilya sektörü olmuştur.

Dünya döşemeli mobilya üretimi yaklaşık 40 milyar Euro'dur. Amerika Birleşik Devletleri, Çin ve İtalya pazarın en büyük üretim yapan ülkeleridir. Döşemeli mobilya üretiminin yaklaşık üçte biri Batı Avrupa'da yapılırken, Ortadoğu Avrupa'da sadece % 10 oranında üretim gerçekleştirilmiştir [3].

Mobilya ihracatında üst sıralarda yer alan Türkiye'de küçük, büyük ve orta ölçekli çok sayıda işletme vardır. AB ve diğer ülkelere ihraç yapabilmek için istikrarlı, kaliteli ve sağlam ürünlerin üretilmesine ihtiyaç vardır. Bu durumda performansı yüksek ürünlerin üretilmesi ve ürünlerin uluslararası standartlara sahip olması gerekmektedir.

Türkiye'de üretilen oturma elemanlarında belli bir standartta üretimin olduğunu söylemek zordur. Belli ergonomik şartlar yerine getirilse de ürün firmaların kendi yapım şartlarına veya yapan ustaların bilgi ve becerisine bağlı olarak değişiklikler göstermektedir. Geleneksel malzeme ve yöntemlerle hazırlanan klasik döşemeler işçilik ve maliyet faktörlerinin zorlamasıyla azalırken, modern malzeme ve yöntemler daha çok tercih edilir duruma gelmiştir. Fakat klasik mobilya tercihi belirli bir oranda devam ettiğinden bu döneme tekniğinin tamamen ortadan kalması mümkün değildir.

Döşemeli mobilyalar sektörün çok önemli bir alanını oluşturmasına rağmen döşeme tekniklerinin değişik yükler karşısında performanslarının belirlenmesine yönelik çalışmalar yok denecek kadar azdır.

Çalışmanın temel amacı, klasik ve modern döşeme tekniklerinin performanslarını karşılaştırarak sektör için kullanılabilir bir standart oluşturmak, çeşitli yükler altında oluşan deformasyonları belirlemek, farklı döşeme gereçleri ile üretilmiş oturma elemanlarının performans özelliklerine ilişkin sayısal veriler elde etmektir.

## 2. Malzeme ve Yöntem

### 2.1. Malzeme

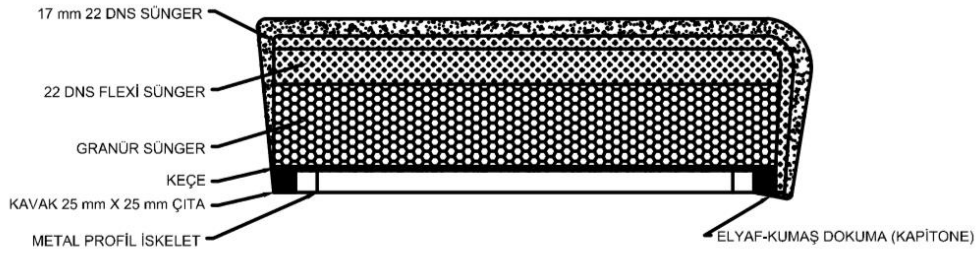
Ülkemizde üretilen ve yaygın olarak kullanılan döşeme gereçleri ve malzemeleri deney materyalleri olarak kullanılmıştır. Yaysız ve yaylı olarak farklı malzemelerle oluşturulan 2 tip oturma yeri elemanı deney örneği olarak seçilmiştir. Her bir döşeme tipinden 3'er adet olmak üzere toplam 2x3=6 adet örnek hazırlanmıştır.

### 2.2. Deney Örneklerinin Hazırlanması

Deney örneklerinin tamamında aynı tip döşeme iskeleti kullanılmıştır. İskelet ölçüsü 60 cm x 58 cm olup, 25 mm x 25 mm x 0,90 mm boyutlarında metal profil ile hazırlanıp, etrafı kavak çıta ile çerçevelenmiştir. Numunelerin tamamında, aynı tip çözümlü örme kumaş kullanılmıştır. Kumaşlar 200 gr/m<sup>2</sup> elyaf ile kapitone haline getirilerek her numuneye bir adet kök çektirme uygulanarak iskeletler kaplanmıştır.

### 2.2.1. Kolan üzerine granür süngerli döşeme (yaysız)

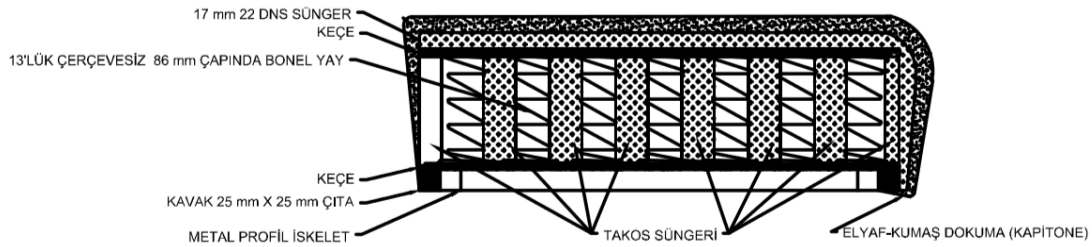
Metal iskelet üzerine elastik kolanlar 50 mm aralıklarla tel zımba ile çakılmıştır. Elastik kolan üzerine sert keçe çakılarak font üzerindeki yükün elastik kolanlara homojen olarak dağılımı sağlanmıştır. Keçe üzerine 100 mm kalınlığındaki 50 dansite granür sünger, sünger tutkalı ile yapıştırılmıştır. Daha sonra granür sünger üzerinde 22 dansite 50 mm kalınlığındaki flexi sünger yapıştırılmıştır. En üst katmana 17 mm kalınlığındaki 22 dansite flexi sünger, hazırlanan numuneyi arkadan öne doğru çevreleyecek şekilde yapıştırılmıştır. Daha sonra 200 gr/m<sup>2</sup> elyaf ile dokunan kumaş kapitone ile numune kaplanarak ortasından kök çektirme işlemi yapılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Kolan üzerine granür süngerli döşeme

### 2.2.2. Helezoni yaylı döşeme

Metal iskelet üzerine elastik kolanlar 50 mm aralıklarla tel zımba ile çakılmıştır. Elastik kolan üzerine sert keçe çakılarak font üzerindeki yükün elastik kolanlara homojen olarak dağılımı sağlanmıştır. Keçe üzerine 86 mm çapındaki helezonlarla dizgilenmiş çerçevesiz herkül yay zımba ile çakılmış, yay araları 28 dansite flexi sünger takozlarla desteklenerek elastikiyeti ve mukavemeti artırılmış, yay çevresi metal iskelet ile yüzbeyüz olacak şekilde 28 dansite flexi süngerlerle çevrelenerek sünger tutkalı ile yapıştırılmıştır. Daha sonra havuzlama tekniği uygulanan çerçevesiz yay ve çerçeve süngerlerinin üzerine sünger tutkalı ile sert keçe yapıştırılmıştır. En üst katmana 17 mm kalınlığındaki 22 dansite flexi sünger, hazırlanan numuneyi arkadan öne doğru çevreleyecek şekilde yapıştırılmıştır. Daha sonra 200 gr/m<sup>2</sup> elyaf ile dokunan kumaş kapitone ile numune kaplanarak ortasından kök çektirme işlemi yapılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Helezoni yaylı döşeme

## 2.3. Yöntem

Deney örneklerine FNAE 80-214 [4,5] test metodunda belirtilen esaslara göre yüklemeler yapılmıştır. Deneyler Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Ağaççileri Endüstri Mühendisliği Bölümü Mekanik Test Laboratuvarındaki Mobilya Performansı Test Cihazında yapılmıştır.

### 2.3.1. General service administration (GSA) deney yöntemi

Bu deney yöntemi 1977 yılında Purdue University'nin Orman ve Doğal Kaynaklar Bölümü (Forestry and Natural Resources)'ne ait olan Ahşap Araştırma Laboratuvarı (Wood Research Laboratory)'nda Carl Eckelman tarafından geliştirilmiştir ve 1980 yılında FNAE 80-214 kodu ile Federal standart olarak kabul edilmiştir. Bu standart 1980 yılından itibaren çeşitli tiplerdeki mobilyaların performans deneylerinde kullanılmaktadır [6].

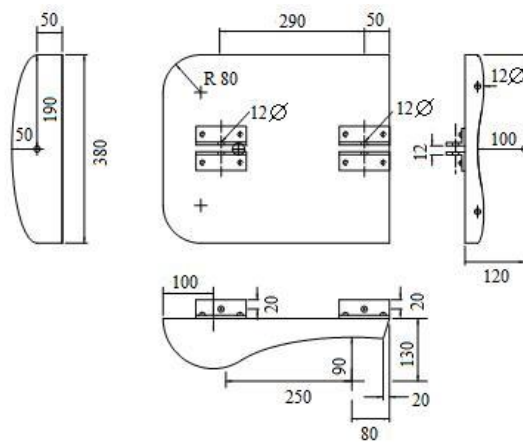
Standartta, devirli basamaklı artan yük (Cyclic stepped increasing load) metodu kullanılmaktadır. Deney yönteminde, önceden belirlenmiş olan bir yük değeri belli devir sayısında ve oranında mobilya sitemine uygulanır. Bu aşama tamamlandığında, yük değeri yine önceden belirlenmiş bir oranda artırılarak birinci aşamadaki işlemler tekrarlanır. Bu işlemler, kabul edilebilir yük değerlerine ulaşıncaya veya mobilyada herhangi bir açılma, kırılma vb. gibi yer değiştirmeler meydana gelinceye kadar devam ettirilir. Her aşamada 25000 devir yük uygulanmakta ve devir oranı 20 dev/dak alınmaktadır. Test edilen bir mobilyanın performansı, 25000 devri başarıyla tamamlayan en büyük yük değeri olarak kabul edilir. Daha sonra da bu performans değeri, standartta hafif, orta ve ağır hizmet kullanımları için belirlenmiş olan kabul edilebilir yük değerleri ile karşılaştırılarak dayanıklılık konusunda yorumlar yapılır [6].

Bu çalışmada, metoda uygun olarak oturma yüzeylerine 20 devir/dakika yükler uygulanmıştır. Deneye oturma yüzeyine arka taraftan 445 N yük, ön tarafına ise 222 N yük uygulanarak başlanmıştır. Her 25000 devir sonunda arka kısımdan yapılan yükleme 111 N, ön kısımdan yapılan yükleme ise 55,5 N yükseltilecek devam edilmiştir. Deney yüklerine ait değerler Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Devir sayısına göre piston yükleri (N)

Pistonlar	Devir Sayısı		
	25000	50000	75000
Arka Piston	445	556	667
Ön Piston	222	278	334

Deneyde kullanılan yükleme aparatı Şekil 3’de gösterilmiştir.

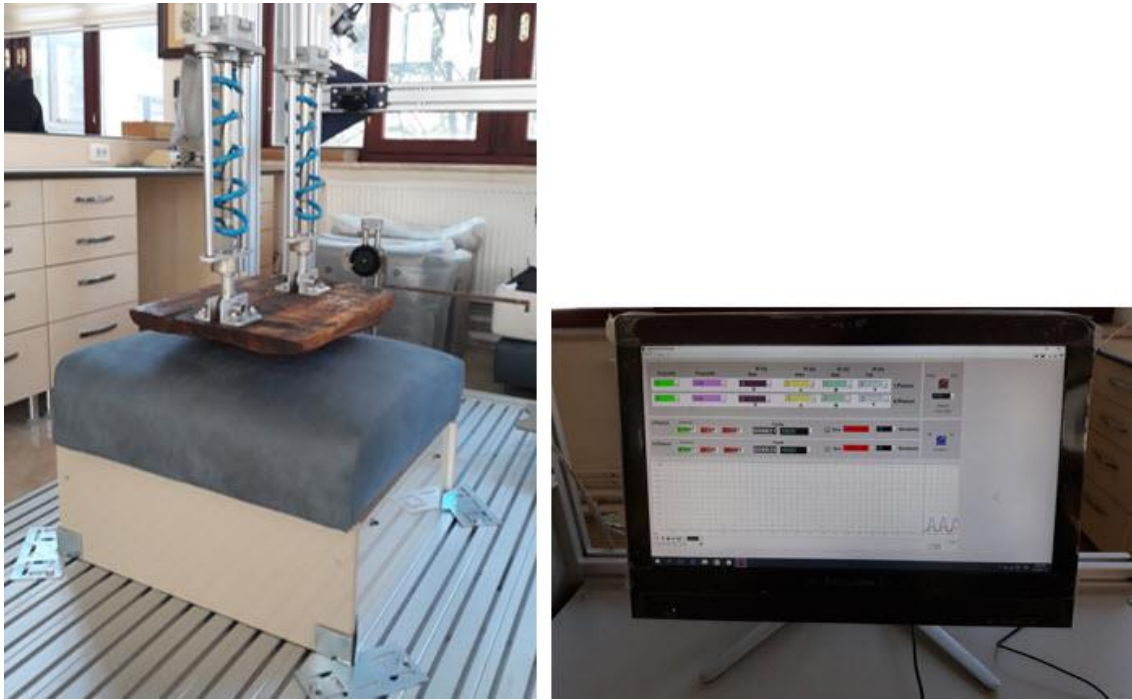


Şekil 3. Yükleme aparatı (ölçüler mm)

Deney esnasında her 5000 devir sonunda yükleme durdurularak arka piston merkezinden 0,01 hassasiyette ölçüm yapabilen ayaklı komperatör ile çökme miktarı ölçülmüştür.

Deney örnekleri dikkatli bir şekilde gözlemlenmiştir. Bu gözlem ilk 25000 devirde her 5000’de, sonraki yük artırımlarında her 2500 devirde kontrol edilerek devam edilmiştir. Bu süreçte deney örneğinin herhangi bir parçasında kırılma, yırtılma, çatlama, yaylarda kırılma vb. başarısızlık olup olmadığına bakılmış, 75000 devire ulaşıncaya deney sonlandırılmıştır. Deney düzeneği Şekil 4’de verilmiştir.





Şekil 4. Deney düzeneği

### 3. Bulgular

#### 3.1. Çökme Miktarı

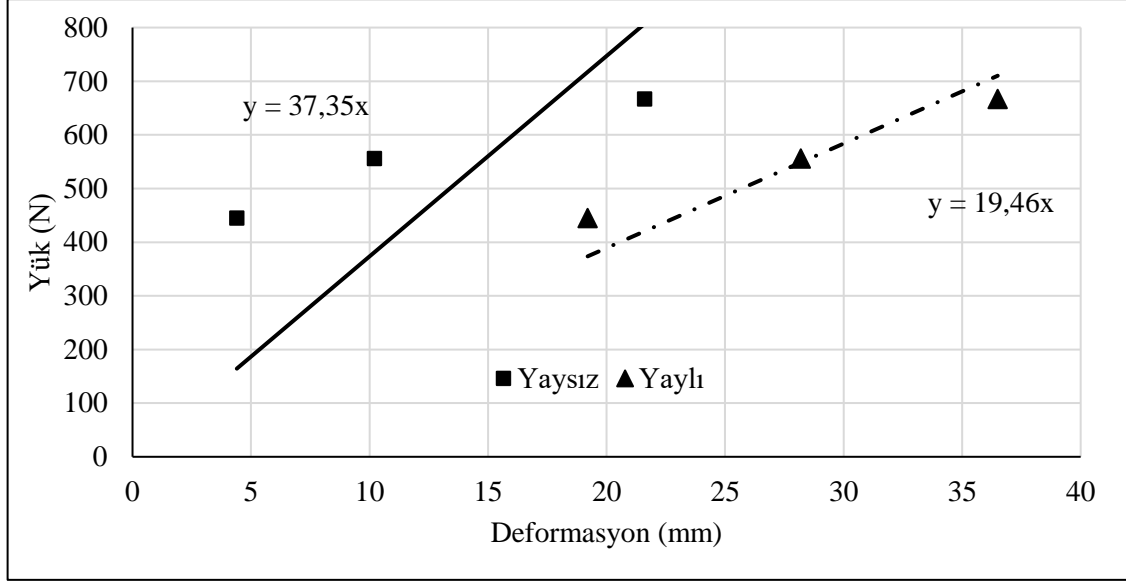
Deney örneklerindeki yüklemeler sonucunda elde edilen çökme miktarlarına ait sonuçlar Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Çökme miktarları (mm)

		YÜK (N)							
		Arka Piston			Ön Piston				
		445	556	667	222	278	334		
Döşeme Tipi	Devir Sayısı								
	5000	15000	25000	30000	40000	50000	55000	65000	75000
Yaysız Döşeme	0,7	1,4	4,4	7,8	8,2	10,2	17,1	18,2	21,6
Yaylı Döşeme	10,7	16,7	19,2	22,2	26,4	28,2	30,1	32,3	36,5

### 3.2. Yük-Deformasyon Katsayısı

Deneyleerde; yük-deformasyon ilişkilerinin tanımlanmasında ( $y=ax$ ) eşitliği elde edilmiştir. Burada;  $y$ : kuvvet (N),  $x$ : deformasyon miktarı (mm)'dir. Buna göre iki değişken arasındaki ilişki tüm gruplar için doğrusaldır. Yaysız ve yaylı döşeme tipindeki ilişkiyi gösteren regresyon grafiği Şekil 5'de gösterilmiştir.



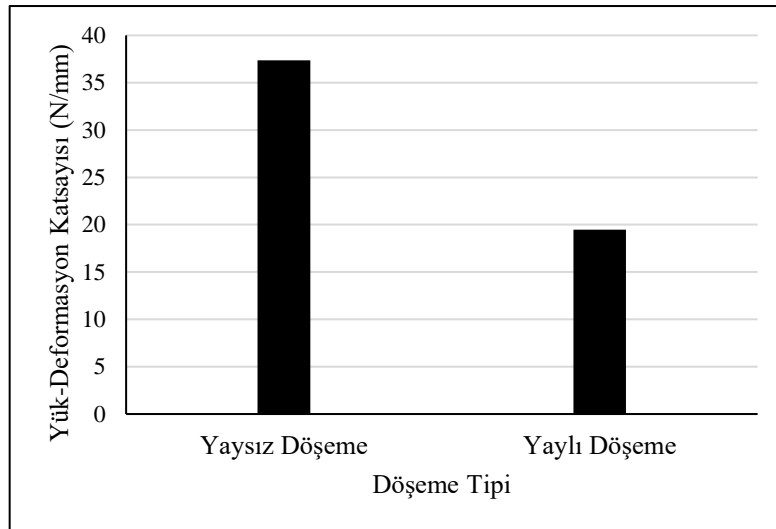
Şekil 5. Döşeme tipine göre yük-deformasyon ilişkisi

Döşeme tiplerinin yük-deformasyon katsayılarının elde edilmesi için genel bir ifade olan ;

$$ks = F/d \quad (1)$$

eşitliğinden yararlanılmıştır. Burada;  $ks$  : yük-deformasyon katsayısı (N/mm),  $F$ : kuvvet (N),  $d$ : deformasyon miktarı (mm)'dir. Buradan elde edilen yük-deformasyon katsayısı ( $ks$ ), yük-deformasyon ilişkisini tanımlayan doğrunun ( $y=ax$ ) eğimini göstermektedir. Dolayısıyla, denklemdaki regresyon katsayısı ( $a$ ) aynı zamanda yük-deformasyon katsayısıdır. Yani,  $ks=a$ 'dır.

Yük-deformasyon katsayısı; yaysız döşemelerde 37,35 N/mm, yaylı döşemelerde ise 19,46 N/mm elde edilmiştir. Bunlara ait grafik Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Döşeme tipine göre yük-deformasyon katsayısı değerleri

## 4. Sonuç ve Öneriler

### 4.1. Çökme Miktarı

Farklı döşeme teknikleriyle üretilen oturma elemanlarının performans özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan deneyler sonucunda çökme miktarı; yaysız döşemelerde 21,26 mm, yaylı döşemelerde ise 36,5 mm elde edilmiştir.

### 4.2. Yük-Deformasyon Katsayısı

Yük-deformasyon ilişkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan regresyon analizleri sonucunda ilişkinin tanımlanmasında ( $y=ax$ ) eşitliği elde edilmiştir. Buna göre; döşeme tiplerinde yük ile deformasyon arasında doğrusal bir ilişki tespit edilmiştir.

Yük-deformasyon katsayısı; yaysız döşemelerde 37,35 N/mm, yaylı döşemelerde ise 19,46 N/mm elde edilmiştir.

Bu sonuçlara göre; kolan üzerine granür süngerli yaysız döşemeler, helezoni yaylı döşemelere göre daha yüksek performans göstermiştir. Yapımı daha kolay, işçiliği daha az ve maliyeti daha düşük olduğundan helezoni yaylı döşemeler yerine, kolan üzerine granür süngerli yaysız döşemelerin tercih edilmesi önerilebilir.

Ortalama olarak bir insanın günde bir oturma elemanına 20 defa oturduğu kabul edilirse, 75000'lik devir yaklaşık olarak 10 yıla tekâmül etmektedir. Bu süre dikkate alındığında örneklerin tamamının iyi performans gösterdikleri söylenebilir.

### 4.3. Gözlemsel Değerlendirme

Deneyler sonunda; döşeme tiplerinin tamamında oturma yerlerinde ve diğer elemanlarında yırtılma, çatlama, kırılma ve eğilme gibi hasarlar meydana gelmediği gözlenmiştir.

Sonuç olarak; döşeme tekniklerinin performans özelliklerine etki eden faktörlerin belirlenmesine yönelik az sayıda çalışma yapılmıştır. Bu eksikliğin giderilmesine yönelik olarak; farklı malzeme ve birleştirme teknikleriyle hazırlanmış olan döşeme çerçevelerinin performans özellikleri, yay ve kolanların döşeme çerçevesine bağlantı yöntemleri ve döşeme çerçevelerinin mobilya sistemine bağlantı yöntemleri gibi konularda çalışmalar yapılmalıdır.

**Not:** Bu çalışma "2nd International Turkish World Engineering and Science Congress" adlı kongrede bildiri olarak sunulmuştur (7-10 Kasım 2019, Türkiye).

**Kaynaklar**

1. Yılmaz, B., “Klasik ve modern döşeme tekniklerinin performans özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2008).
2. İltter, R., N., Mobilya Döşemeciliği, Milli Eğitim Basımevi, İstanbul, 11-214 (1990).
3. Uluslararası Döşemelik Mobilya Piyasasına Bir Bakış, Mobilya ve Dekorasyon Dergisi, 80: 201-205 (2007).
4. Eckelman, C., A., Zhang, J., L., “Uses of the General Services Administration Performance Test Method for Upholstered Furniture in the Engineering of Upholstered Furniture Frames”, Holz als Roh-und Werkstoff, 53 (4) : 261–267 (1995).
5. Eckelman, C., A., Erdil, Y., Z., “General Services Administration Upholstered Furniture Test Method – FNAE 80-214, A Description of the Method with Drawings”, Purdue University, Department of Forestry and Natural Resources, Extension Publication Fnr –USA, Indiana, FNAE 80-214 (2001).
6. Kasal, A., “Masif ve Kompozit Ağaç Malzemelerden Üretilmiş Çerçeve Konstrüksiyonlu Koltukların Performansları”, Doktora Tezi, G.Ü. Fen Bil. Ens. Ankara, 1-4 (2004).

# SOĞUK DEFORMASYON ORANI VE YENİDEN ISITMA SICAKLIKLARININ SIMA İŞLEMİ İLE ÜRETİLEN AA7075 ALAŞIMININ MİKROYAPISI ÜZERİNE ETKİSİ

Volkan Kılıçlı<sup>1</sup>, Neşet Akar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Metallurgical and Materials Engineering, Faculty of Technology, Gazi University, 06560, Teknikokullar/Ankara Turkey, vkilicli@gazi.edu.tr

<sup>2</sup>Department of Manufacturing Engineering, Faculty of Technology, Karabuk University, 78050, Karabuk, Turkey, E-mail: nesetakar@karabuk.edu.tr

## Özet

Gerininin neden olduğu ergiyik/sıvı aktivasyonu (SIMA) işlemi ile üretilen AA7075 alaşımının mikroyapısı üzerine soğuk deformasyon oranı ve yeniden ısıtma sıcaklıklarının etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, farklı oranlarda (%10, %20 ve %30) soğuk deforme edilen kütükler 600 °C, 606 °C ve 611 °C sıcaklıktan hızla suda soğutulularak mikroyapı değişimleri incelendi. Artan soğuk deformasyon oranı ile tane büyüklüğünün azaldığı ve şekil faktörünün arttığı, artan yeniden ısıtma sıcaklıklarında da tane büyüklüğü ve şekil faktörünün arttığı gözlemlenmiştir. Homojen küresel yapıya sahip bir tiksotropik yapı oluşturmak için minimum %20 soğuk deformasyonun gerekli olduğu belirlenmiştir. Artan yeniden ısıtma sıcaklığıyla şekil faktörünün değişiminin anlamlı olmadığı belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** AA7075 alaşımı, SIMA işlemi, Tiksotropik yapı, Yeniden ısıtma sıcaklığı, Soğuk deformasyon oranı, Yarı katı işlem.

## EFFECT OF COLD DEFORMATION RATIO AND REHEATING TEMPERATURES ON MICROSTRUCTURE OF AA7075 ALLOY PRODUCED BY SIMA PROCESS

### Abstract

The effect of cold deformation ratio and reheating temperatures was investigated on the microstructure of AA7075 alloy produced by the strain-induced melt activation (SIMA) process. For this aim, cold deformed billets with different ratios (10%, 20%, and 30%) were quenched in water from 600 °C, 606 °C, and 611 °C, and microstructural evolution was studied. It was observed that grain size reduced, shape factor increased with the increasing cold deformation ratio, and grain size and shape factor increased with the rising reheating temperatures. It was determined that a minimum of 20% cold deformation is required to produce a thixotropic structure with a homogeneous globular microstructure. It was also observed that the change in shape factor was insignificant with increasing temperature.

**Keywords:** AA7075 alloy, SIMA process, Thixotropic structure, Reheating temperature, Cold deformation ratio, Semi-solid Processing.

## 1. INTRODUCTION

Semi-solid processing (SSP), which is a near-net shape metal forming process, is performed by thixotropic properties of metal alloys (mainly Al and Mg alloys)(Helen V Atkinson, 2005; Fan, 2002; Flemings, 1991; Kirkwood, 1994). The SSP methods required that the alloys with nondendritic, fine, equiaxial, and globular grain structures for forming in the mushy zone (Helen V Atkinson, 2005; de Figueredo, 2001; Fan, 2002; Flemings, 1991; Flemings & Martinez, 2006; Kenney et al., 1988; Kirkwood, 1994; Martinez & Flemings, 2005; Nafisi & Ghomashchi, 2005; Xia & Tausig, 1998).

There are many methods, such as mechanical or electromagnetic stirring, the addition of grain refiners, and the cooling slope used to obtain globular structures (Helen V Atkinson, 2005; Fan, 2002; Flemings, 1991; Kirkwood, 1994). Among these production methods, SIMA is an ideal candidate with significant commercial advantages of simplicity and low equipment costs to produce fine and globular structures (Dışpınar & Türkeli, 2006; Saklakoğlu, Çolakoğlu, & Gençalp, 2009; Türkeli & Akbaş, 1996).

In this route, the alloy is deformed by extrusion or other processes and then reheated to a semi-solid state where recrystallization occurs. Liquid metal penetrates the recrystallized grain boundaries, thus resulting in solid globular particles surrounded by liquid (de Figueredo, 2001; Fan, 2002; Flemings & Martinez, 2006; Martinez & Flemings, 2005). Parameters such as heating time, temperature, and the degree of cold working are critical factors in controlling the semi-solid microstructures in the SIMA process (Dışpınar & Türkeli, 2006; Saklakoğlu et al., 2009; Türkeli, 1993; Türkeli & Akbaş, 1996; Young, Curtis, & James, 1983).

SIMA method, the most common feedstock preparation method in thixoforming of especially wrought Al alloys, includes cold deformation and reheating stages under recrystallization temperature following melting and casting process after hot working processes such as extrusion, rolling, etc. (Young et al., 1983). Dislocation density increases depending on the cold deformation rate applied to material produced by extrusion or cold forming method. With the increase of dislocation density, potential nucleation sites increase for recrystallized grains, and as a result, grain size reduces (Dışpınar & Türkeli, 2006).

The SIMA method is more economical than other feedstock methods (such as magnetic stirring) to produce globular microstructure, enabling better thixotropic properties. SIMA method has been used commercially in feedstock production for semi-solid processing (Kirkwood, 1994; Nafisi & Ghomashchi, 2005; Türkeli, 1993; Türkeli & Akbaş, 1996).

In the SIMA method, obtaining globular grains depends on recrystallization temperature. In addition to this, the cold deformation ratio influenced recrystallization temperature. As the cold deformation ratio increase, globular grains can be obtained at lower temperatures (Akar, 2011; Akar & Mutlu, 2010; Erzi, Gursoy, Yüksel, Kirtay, & Dispınar, 2018; Guner, Dispınar, & Tan, 2019; Saklakoglu, Saklakoglu, Tanoglu, Oztas, & Cubukcuoglu, 2004; Saklakoğlu et al., 2009; Taneroglu, Akar, & Kilicli, 2013).

The present study investigates the influence of cold deformation ratio and reheating temperatures on the microstructural evolution of AA7075 alloy, which was produced by the SIMA process.

## 2. EXPERIMENTAL STUDIES

### 2.1. Material

The AA7075 alloy used in experimental studies was obtained in 40 mm diameter and 3000 mm length, and its chemical composition is given in Table 1. ARL 3460 model optical emission spectrometry was used for the determination of the chemical composition of the alloy.

**Table 1.** Chemical composition of AA7075 alloy used in experimental studies (weight-%)

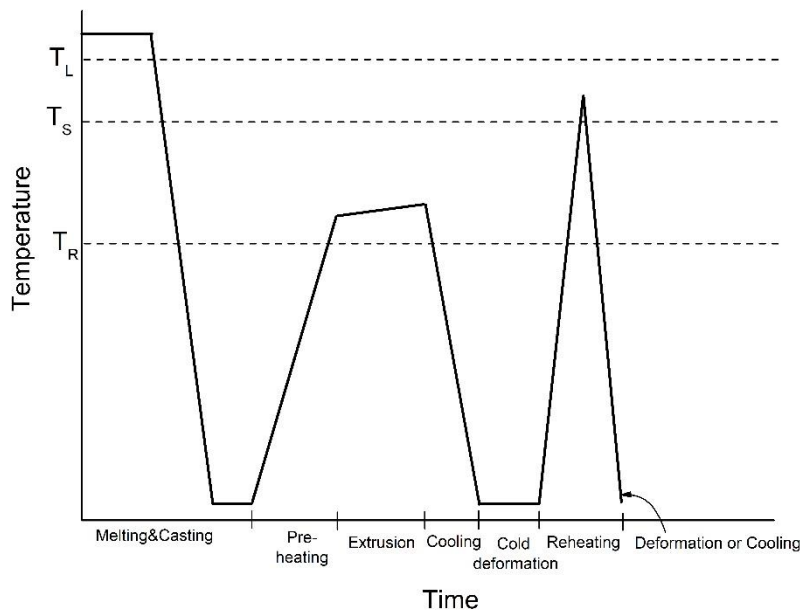
Zn	Mg	Cu	Mn	Si	Cr	Ti	Fe
5.599	2.033	1.329	0.183	0.383	0.157	0.007	0.741
Ni	Pb	Sn	Zr	V	Ga	Se	Al
0.008	0.043	0.012	0.001	0.006	0.014	0.001	Remain

## 2.2. SIMA method

SIMA method includes the process of cold deformation of the cast and hot-extruded alloys and reheating to semi-solid temperature and rapid cooling (Figure 1). In this study, for feedstock production with the SIMA method, cold deformation was applied at a different ratio on AA7075 alloy samples in 40 mm diameter and hot extruded. Then, they were cooled rapidly in water at different reheating temperatures. The deformation ratio was calculated with Equation 1.

$$\% \varepsilon = \frac{l_o - l_s}{l_o} \times 100 \quad (\text{Equation 1})$$

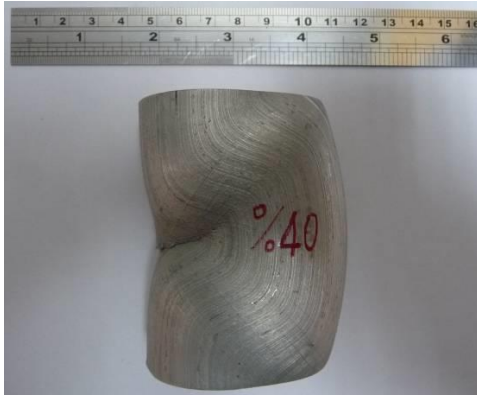
Here, %  $\varepsilon$  is the total deformation ratio, and  $l_o$  and  $l_s$  are the first and last length of material, respectively.



**Figure 1.** Schematically representation of the SIMA process in the time-temperature diagram (Young et al., 1983)

In order to apply deformation at different rates (10%, 20%, 30%, and 40%), samples cut according to height calculated in Eq. 1 were compressed vertically in a 250-ton hydraulic press at room temperature in 2 mm/min speed until the last height is 75 mm. 40% of deformed samples cracked in the middle by forming buckling (Figure 2). In the studies, 30% deformation could be conducted at most at samples in 40 mm without buckling.

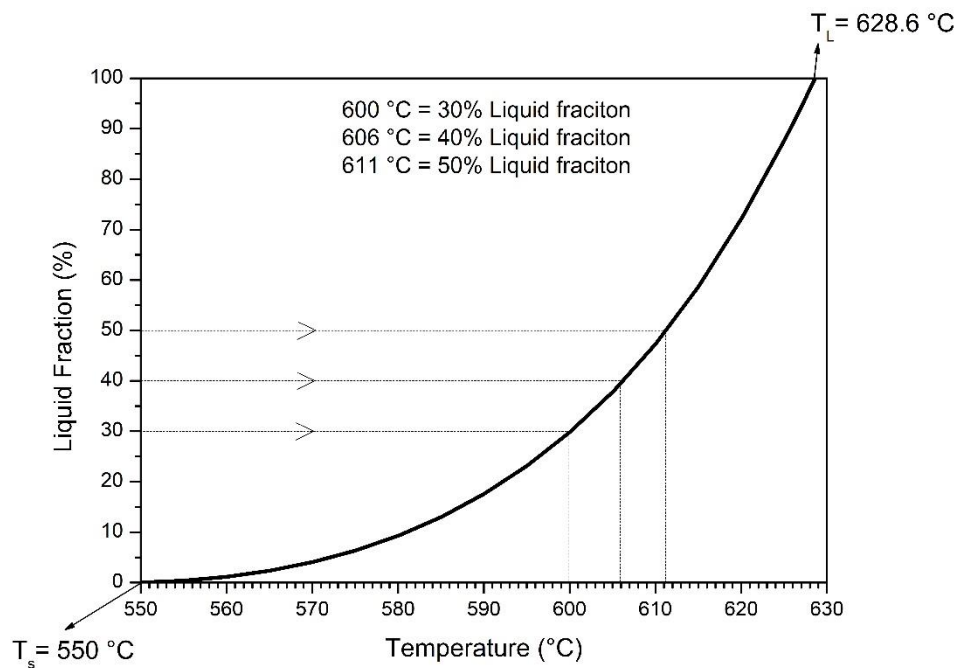
The diameter of samples which were 40 mm before deformation, increased between 45-48 mm after deformation, depending on the deformation ratio. Before samples were heated to a semi-solid temperature with the SIMA method, they were turned and brought into 40 mm and 55 mm.



**Figure 2.** 40% cold deformed sample

### 2.3. Determination of Semi-solid Temperature Interval

Semi-solid processing is generally carried out at temperatures corresponding to a 30%-50% liquid ratio [1, 16]. In determining the liquid ratio, which changes according to the temperature of the AA7075 alloy, the DTA curve, and “partial area” method was used [17]. Liquid ratios according to a temperature calculated with this method are given in Figure 3. Temperatures that provide 30%, 40%, and 50% liquid ratios were determined as 600°C, 606°C, and 611°C, respectively.

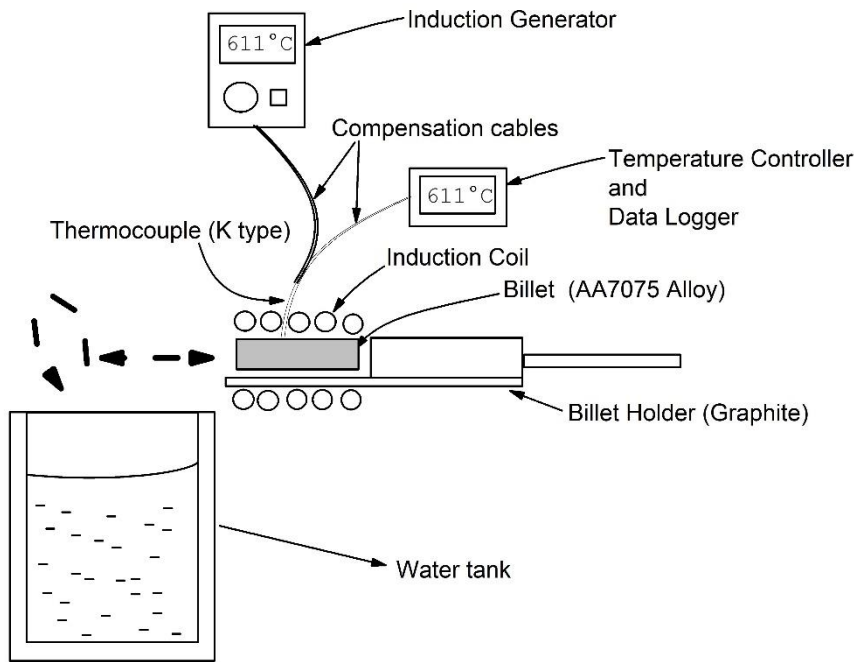


**Figure 3.** The changes in the liquid fraction depend on the temperature.

### 2.4. Reheating Experiments

A schematic view of the experiment set used in reheating and cooling the water process is given in Figure 4. In the semi-solid heating process, the sample placed in the coil is dropped in a container full of water with the help of a pneumatic system very rapidly when it reaches the semi-solid structure. The time for semi-solid temperature included within the coil falling into the container is around 2 sec.

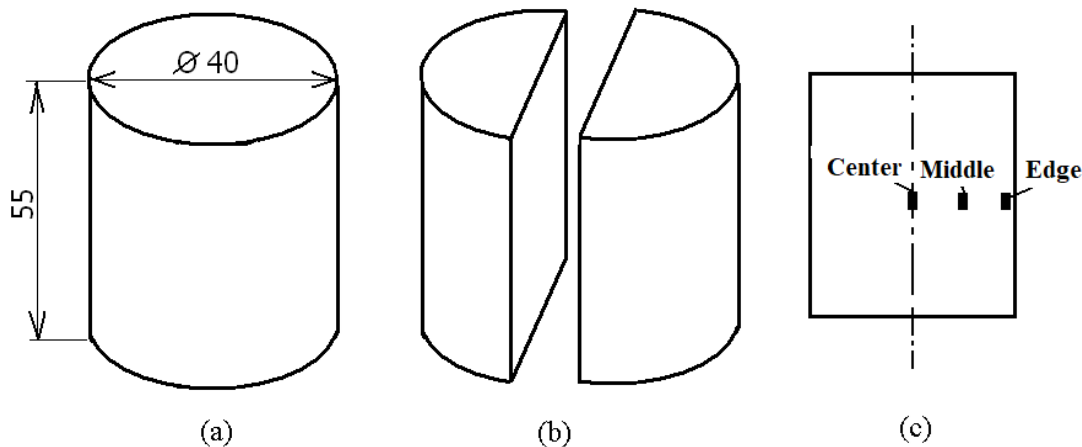




**Figure 4.** Schematically representation of the set-up used in the SIMA process to heat semi-solid temperature and quenching of the sample

## 2.5. Metallographic Studies

Microstructural characterization studies were carried out through an optical microscope. Samples that were cold deformed at different ratios and rapidly cooled from a reheating (semi-solid) temperature to produce pre-material with globular microstructure were cut vertically, as seen in Figure 5.b. Later on, three microstructure samples were excluded from the edge, middle, and center of the middle part of the samples (Figure 5.c).



**Figure 5.** Metallographic examination of the sample produced by the SIMA process; a) sample, b) longitudinally cut a sample, and c) examined regions

Following sanding with Sic sanding material no 220, 400, 800, and 1200 respectively, metallographic samples were cut with the abrasive cut device; they were polished with 6  $\mu\text{m}$  and 3  $\mu\text{m}$  diamond paste and 5  $\mu\text{m}$  silica. The solution was used as an etchant for the Keller (190 ml H<sub>2</sub>O + 5 ml HNO<sub>3</sub> + 3 ml HCl + 2 ml HF).

Leica DFC 320 model digital camera connected Lecia DM 4000 M Model optic microscope was used to observe microstructures. In grain size measurement, the linear intersection method was used with the help of Leica Q550 MW image analysis software.

The globularity index of the feedstocks was determined with the help of the shape factor formula (Witulski, Morjan, Niedick, & Hirt, 1998) given in Equation 2.

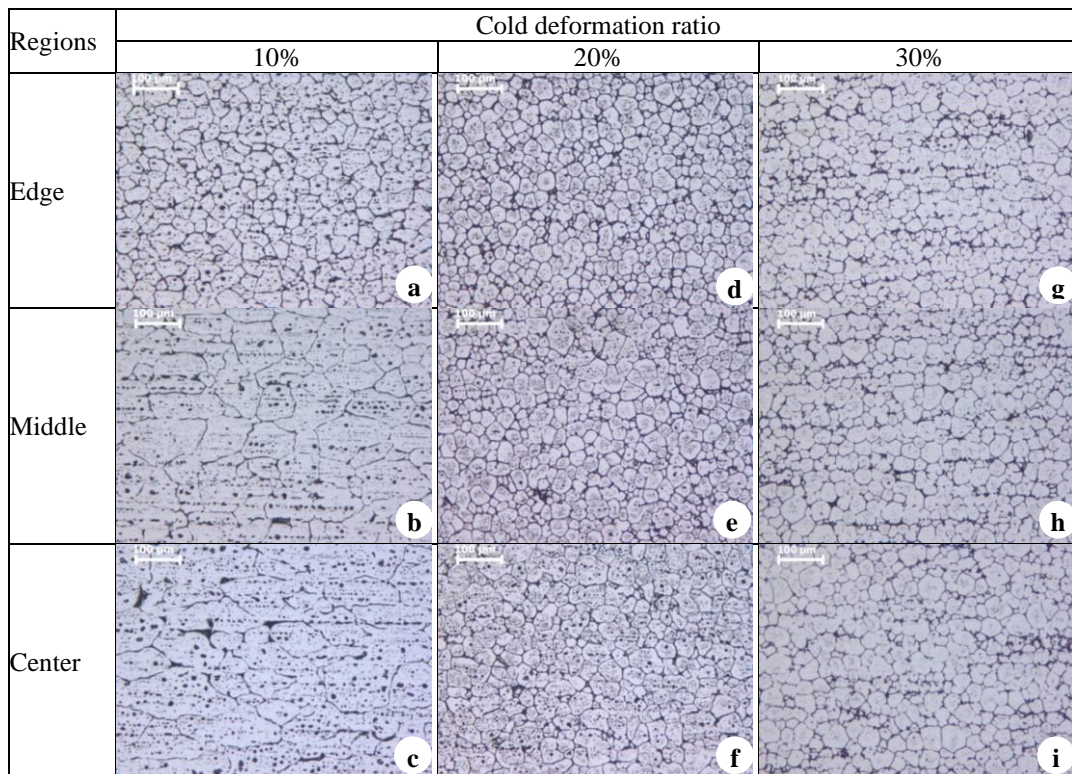
$$\text{Shape factor} = \frac{4\pi A}{P^2} \quad (\text{Equation 2})$$

Here, A is the area of grain that is measured, and P is the perimeter of the grain. Measurements were taken from regions corresponding to 9 mm<sup>2</sup> (3x3 mm) of edge, middle, and center regions shown in Figure 5. Five hundred measurements were made from each sample to determine grain size, and the shape factor and average values were determined.

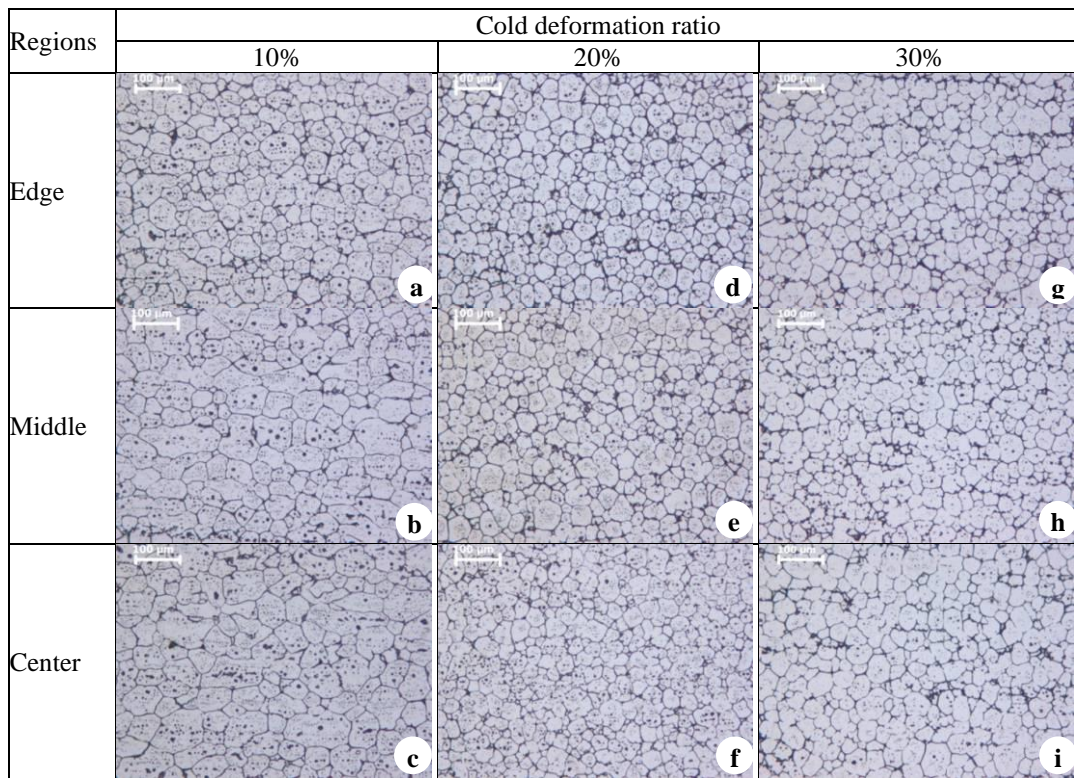
### 3. RESULTS AND DISCUSSIONS

#### 3.1. The Effect of Cold Deformation Ratio and Temperature on Microstructure

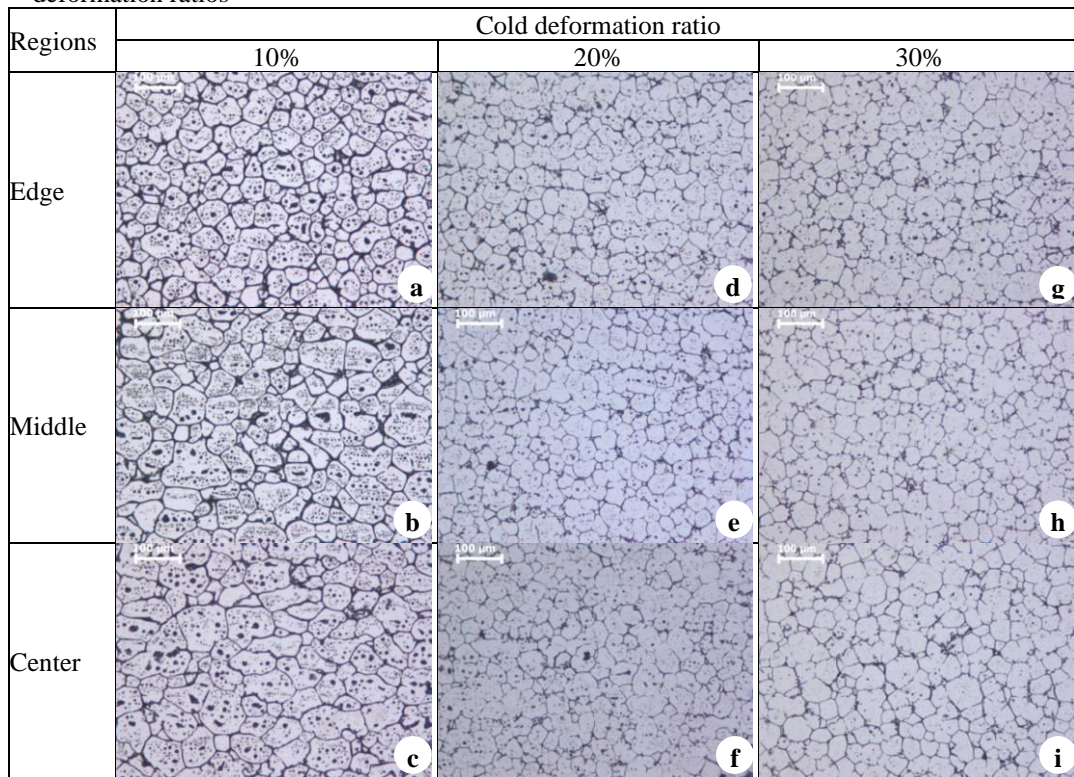
In Figure 6 to Figure 8, microstructure changes in different parts of samples applied to different deformation ratios and cooled from different reheating (semi-solid) temperatures are observed. With increasing reheating (semi-solid) temperature and cold deformation amount, globular structure formation has become more distinctive.



**Figure 6.** Microstructures of the AA7075 alloy water quenched from 600°C after deformed at various cold deformation ratios



**Figure 7.** Microstructures of the AA7075 alloy water quenched from 606°C after deformed at various cold deformation ratios



**Figure 8.** Microstructures of the AA7075 alloy water quenched from 611°C after deformed at various cold deformation ratios

Cold deformation and reheating produced different grain sizes nearly the same from the edge, middle and central area for each cold deformation ratio of samples (Figure 6.g-6.i, Figure 7.g-7.i, and Figure 8.g-8.i). These results show that cold deformation spreads throughout the sample, and the induction coil and heating are homogeneous.

While there is a grain structure with coarse and low shape factor in 10% cold deformed sample (Figure 6.a-6.c, Figure 7.a-7.c and Figure 8.a-8.c), fine and more globular grain structure is obtained in 20% and 30% cold deformation ratio (Figure 6.d-i, Figure 6.d-i and Figure 8.d-i).

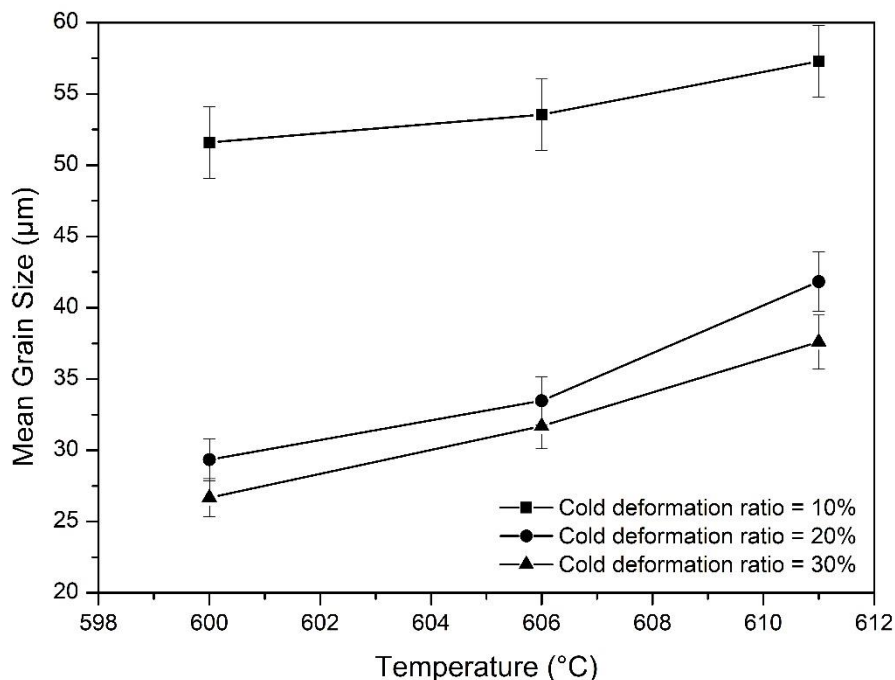
Recrystallization was partly attained at 10% cold deformed sample due to insufficient internal strain. Recrystallization occurred in 20% and 30% cold deformation applied samples during heat treatment at the semi-solid state, and globular grains were formed. Akar and Mutlu (Akar & Mutlu, 2010) stated that the SIMA method's 10% cold deformation ratio does not produce a globular structure for AA2024 alloy.

In Figure 6.a-6.c, Figure 7.a-7.c, and Figure 8.a-8.c, a microstructure shows a low shape factor after 10% cold deformation. This is considered insufficient internal energy due to low deformation and few nucleations for recrystallization.

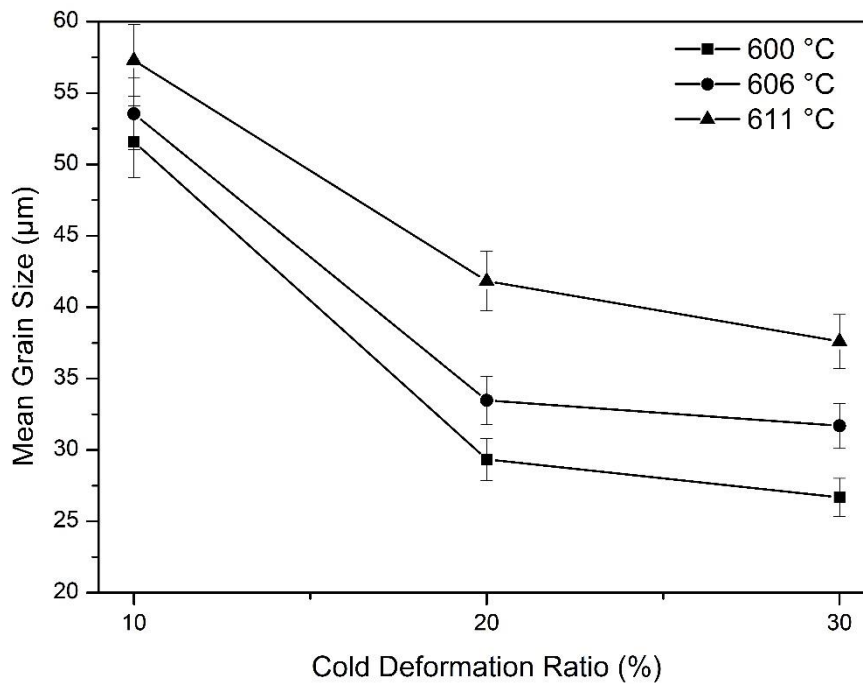
### 3.2. The Effect of Cold Deformation Ratio and Temperature on Grain Size

The change in the mean grain size due to the cold deformation ratio and reheating to the reheating (semi-solid) temperature is given in Figure 9 and Figure 10. In contrast, average grain size decreased with the increasing cold deformation ratio (Figure 9), and average grain size increased with the increasing reheating temperatures (Figure 10). It is stated through different studies that these two parameters are effective on grain size (Helen Victoria Atkinson, Burke, & Vaneetveld, 2008; Sang-Yong, Jung-Hwan, & Young-Seon, 2001; Türkeli, 1993).

Similar to this study, Sang-Yong et al. (Sang-Yong et al., 2001) reported that in 7075 alloy, grain size decreased with increasing cold deformation, and grain size increased with increasing reheating (semi-solid) temperature and holding at a reheating (semi-solid) temperature in feedstock production with the SIMA process.



**Figure 9.** The relationship between reheating temperature and grain size



**Figure 10.** The relationship between cold deformation ratio and grain size

The increase in grain size with increasing temperature is explained through the “coarsening” mechanism in which surface energy is the driving force (Verhoeven, 1975). When the holding duration at reheating (semi-solid) temperature is as long as to allow solid diffusion, the “Ostwald ripening” mechanism begins to be effective in grain growth (Porter & Easterling, 2009; Verhoeven, 1975). However, the Ostwald ripening mechanism was ineffective since there is no process of holding at a reheating (semi-solid) temperature.

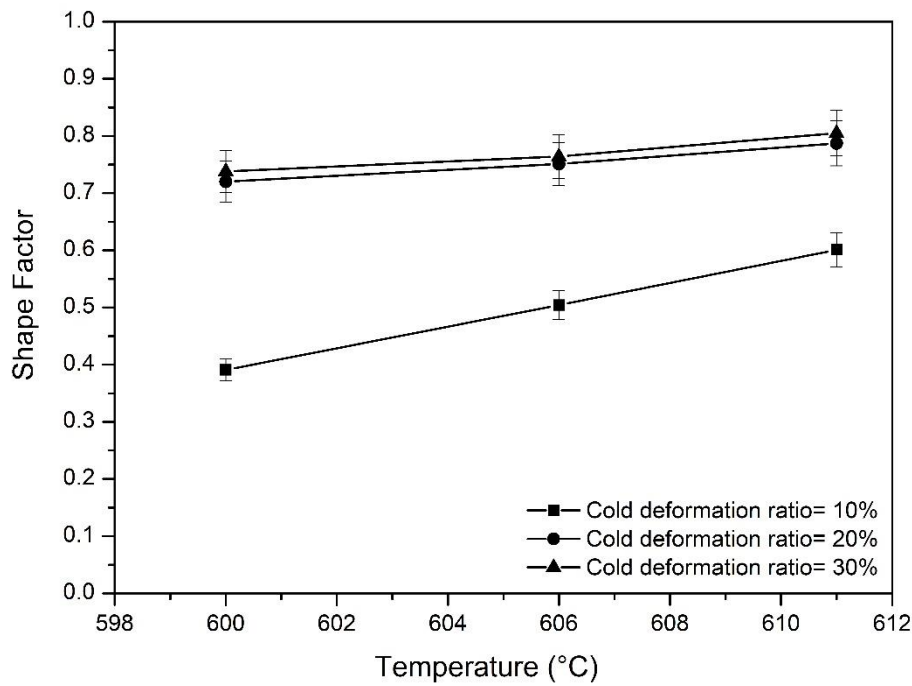
Another mechanism can explain grain coarsening with increasing temperature. With increasing temperature, grains minimize their potential interface thermodynamically and make them more stable; grains grow when their surface free energy increases when the total grain boundary (interface) is decreased, and total surface free energy decreases (Porter & Easterling, 2009; Verhoeven, 1975).

The decrease in average grain size with increasing cold deformation ratio is attributed to the high nucleation amount caused by the high-strain ratio in recrystallization (Porter & Easterling, 2009; Verhoeven, 1975), as a result of internal strain increased by cold deformation in recrystallization, while the growth rate of grains slows down nucleation speed increases. Finer structures can be obtained in higher nucleation amounts (at high cold deformation ratios) (Porter & Easterling, 2009).

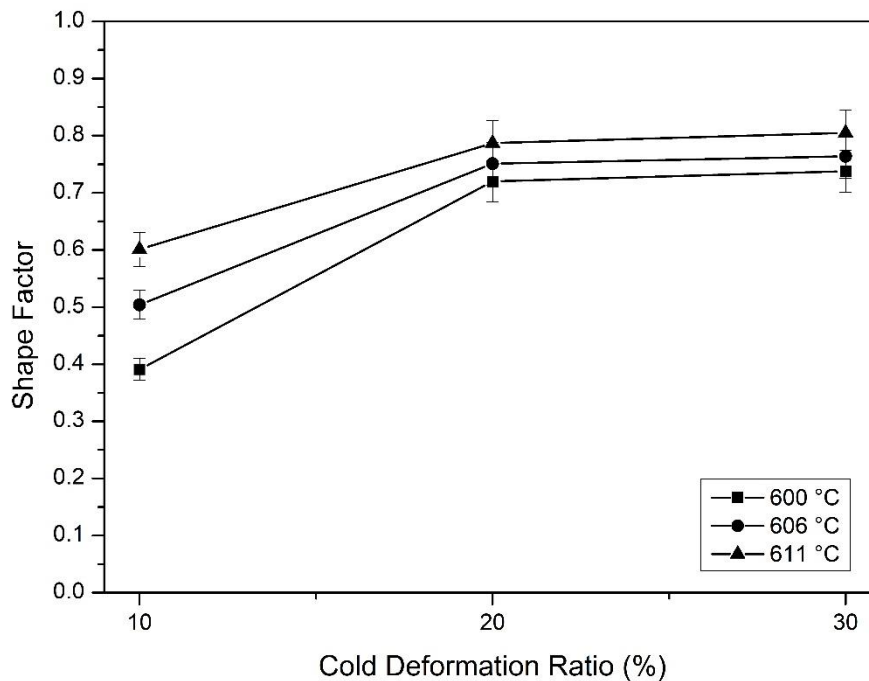
Average grain size at reheating (semi-solid) temperature should be below 100 µm; homogeneous material flow should be enabled, and fine sections and mold gaps should be filled entirely for thixoforming (H. Atkinson, Kapranos, Liu, Chayong, & Kirkwood, 2002; Helen V Atkinson, 2005; Birol, 2007; Chayong, Atkinson, & Kapranos, 2004; Garat, 1998; Jung & Kang, 2000; Kim & Kang, 2000; Witulski et al., 1998). Since the average grain size of samples produced with the SIMA process using 20% and 30% cold deformed billets are between 25–45 µm, it was determined that they are suitable for semi-solid metal forming.

### 3.3. The Effect of Cold Deformation Ratio and Temperature on Shape Factor

The change in shape factor due to the cold deformation ratio and the reheating (semi-solid) temperature is given in Figure 11 and Figure 12. The shape factor increases due to increasing reheating (semi-solid) temperature (Figure 11) and the cold-deformation ratio (Figure 12).



**Figure 11.** The relationship between reheating (semi-solid) temperature and shape factor



**Figure 12.** The relationship between cold deformation ratio and shape factor

The increase of shape factor due to increasing reheating (semi-solid) temperature can be explained through increasing liquid phase ratio. Since the heating temperature at the semi-solid area is above eutectic temperature, partial melting begins. Melting occurs at grain boundaries with high-energy deformation and phase areas with a low melting point. In order to reduce energy at the grain boundary, recrystallized equiaxial grains melt and depart from each other at the end where they contact. At the same time, a eutectic phase that has a low melting temperature above the solidification

temperature also melts. The melted eutectic liquid phase penetrates grain boundaries with energy and enhances equiaxial grains separation. Equiaxial grains are surrounded by liquid-convex areas on the solid-phase surface, surrounded by liquid melt (Guner et al., 2019). The existence of high amounts of liquid phase causes grains to become more globular. Similarly, Dong et al. (Dong, Cui, Le, & Lu, 2003) state that increasing reheating (semi-solid) temperature increases the globularity index degree in the same alloy.

The low shape factor ratio (0.4-0.6) at 10% cold deformed sample can be attributed to recrystallization due to the insufficient internal energy of this sample. Polygonal coarse grains were obtained from this sample due to insufficient internal energy (Figure 6.a-6.c, Figure 7.a-7.c, and Figure 8.a-8.c). As is seen in Figure 12, the shape factor increases with the increasing cold deformation ratio (0.7-0.8). Recrystallization occurs at 20%, and 30% cold deformed samples result from fine, globular structure (Figure 6.d-6.i, Figure 7.d-7.i and Figure 8.d-8.i). for a successful thixoforming at industrial practices, samples (feedstocks) are desired to have shape factor above 0,6 (Friedrich, Arnold, Sauermann, & Noll, 2009; Guner et al., 2019; Kapranos, Liu, Atkinson, & Kirkwood, 2001).

The increase of cold deformation from 20% to 30% significantly increases the shape factor. Liu et al. (Liu, Atkinson, Kapranos, Jirattiticharoean, & Jones, 2003) stated in a thixoforming study of high-resistance wrought Al alloys that 0-5 min. Holding duration at reheating (semi-solid) temperature increases shape factor, but longer holding durations (5-30 min.) cause a decrease in shape factor. According to these results, it is understood that holding duration at reheating (semi-solid) temperature is more effective on the shape factor. However, Önsel (Önsel, 2005) emphasizes that in feedstock production with the SIMA method, the reheating (semi-solid) temperature is more effective than holding duration in thixotropic structure formation with a globular structure (Önsel, 2005). This study determined that increase in shape factor is more distinctive with increasing reheating (semi-solid) temperature (Figure 11). Liu et al. (Liu et al., 2003) state that long holding duration at reheating (semi-solid) temperature cause macro-segregation at the center and edge of the sample.

#### 4. CONCLUSIONS

The influence of cold deformation ratio and reheating temperatures were investigated on the microstructure of AA7075 alloy, which was produced by the strain-induced melt activation (SIMA) process. The following conclusions can be drawn from the presented study;

1. The grain size decreased while the shape factor increased with an increasing cold deformation ratio in feedstock production.
2. While grain size increases with increasing reheating temperature, it was determined that the change in shape factor is not significant at a 20% cold deformation ratio.
3. It was determined that at least 20% cold deformation is required for obtaining homogeneous thixotropic structure production by the SIMA method in the AA7075 alloy.
4. There is no need to soak at a reheating (semi-solid) temperature to obtain globular structure production in the AA7075 alloy, which is applied with 20% and above cold deformation

#### REFERENCES

- Akar, N. (2011). The effect of reheating temperature on the production of thixotropic structure with SIMA process in AA2024 alloy. *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 26(2).
- Akar, N., & Mutlu, I. (2010). Effect of predeformation rate in SIMA process on thixotropic structure of AA2024 aluminium alloy. *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 25(4).
- Atkinson, H., Kapranos, P., Liu, D., Chayong, S., & Kirkwood, D. H. (2002). Thixoforming of normally wrought aluminium alloys. *Materials Science Forum*, 396, 131-136.
- Atkinson, H. V. (2005). Modelling the semisolid processing of metallic alloys. *Progress in materials science*, 50(3), 341-412.

- Atkinson, H. V., Burke, K., & Vaneetveld, G. (2008). Recrystallisation in the semi-solid state in 7075 aluminium alloy. *Materials Science and Engineering: A*, 490(1-2), 266-276.
- Biröl, Y. (2007). Thermomechanical processing of AA6061 billets for semi-solid forming. *International journal of materials research*, 98(1), 53-59.
- Chayong, S., Atkinson, H., & Kapranos, P. (2004). Multistep induction heating regimes for thixoforming 7075 aluminium alloy. *Materials Science and Technology*, 20(4), 490-496.
- de Figueredo, A. (2001). *Science and technology of semi-solid metal processing*: North American Die Casting Assoc.
- Dışpınar, D., & Türkeli, A. (2006). *SIMA ile üretilmiş yarı-katı 2024 ve 7075 alüminyum alaşımlarının çözeltiye alma ısıl işlemi*. Paper presented at the 11. Uluslararası Malzeme Sempozyumu, Denizli, Türkiye.
- Dong, J., Cui, J., Le, Q., & Lu, G. (2003). Liquidus semi-continuous casting, reheating and thixoforming of a wrought aluminum alloy 7075. *Materials Science and Engineering: A*, 345(1-2), 234-242.
- Erzi, E., GURSOY, O., YÜKSEL, Ç., KIRTAŞ, S., & DİSPINAR, D. (2018). Challenges in Producing Reliable Tensile Properties by SIMA 7075. *Archives of Foundry Engineering*, 18.
- Fan, Z. (2002). Semisolid metal processing. *International materials reviews*, 47(2), 49-85.
- Flemings, M. C. (1991). Behavior of metal alloys in the semisolid state. *Metallurgical transactions A*, 22(5), 957-981.
- Flemings, M. C., & Martinez, R. A. (2006). Principles of microstructural formation in semi-solid metal processing. *Solid State Phenomena*, 116, 1-8.
- Friedrich, B., Arnold, A., Sauermann, R., & Noll, T. (2009). Design of Al and Al-Li Alloys for Thixoforming. In G. Hirt & R. Kopp (Eds.), *Thixoforming* (pp. 105-145). Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH&Co.
- Garat, M. (1998). Aluminum semi-solid processing: from the billet to the finished part. *Ref.*, 1, 199-213.
- Guner, A. T., Dispınar, D., & Tan, E. (2019). Microstructural and mechanical evolution of semisolid 7075 Al alloy produced by SIMA process at various heat treatment parameters. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 44(2), 1243-1253.
- Jung, H., & Kang, C. (2000). Reheating process of cast and wrought aluminum alloys for thixoforging and their globularization mechanism. *Journal of materials processing technology*, 104(3), 244-253.
- Kapranos, P., Liu, T., Atkinson, H., & Kirkwood, D. (2001). Investigation into the rapid compression of semi-solid alloy slugs. *Journal of materials processing technology*, 111(1-3), 31-36.
- Kenney, M., Courtois, J., Evans, R., Farrior, G., Kyonka, C., Koch, A., & Yong, K. (1988). Semi-solid metal casting and forging metals handbook. *American Soc. for Metals (ASM) and Metals Park, Ohio*(15), 331.
- Kim, N., & Kang, C. (2000). An investigation of flow characteristics considering the effect of viscosity variation in the thixoforming process. *Journal of materials processing technology*, 103(2), 237-246.
- Kirkwood, D. (1994). Semisolid Metal Processing. *International materials reviews*, 39(5), 173-189.
- Liu, D., Atkinson, H., Kapranos, P., Jirattiticharoean, W., & Jones, H. (2003). Microstructural evolution and tensile mechanical properties of thixoformed high performance aluminium alloys. *Materials Science and Engineering: A*, 361(1-2), 213-224.
- Martinez, R. A., & Flemings, M. C. (2005). Evolution of particle morphology in semisolid processing. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 36(8), 2205-2210.
- Nafisi, S., & Ghomashchi, R. (2005). Semi-solid metal processing routes: an overview. *Canadian metallurgical quarterly*, 44(3), 289-304.



- Önsel, M. (2005). *The influence of heating conditions on semi-solid forming of aluminum alloys*. Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,
- Porter, D. A., & Easterling, K. E. (2009). *Phase transformations in metals and alloys (revised reprint)*: CRC press.
- Saklakoglu, N., Saklakoglu, I. E., Tanoglu, M., Oztas, O., & Cubukcuoglu, O. (2004). Mechanical properties and microstructural evaluation of AA5013 aluminum alloy treated in the semi-solid state by SIMA process. *Journal of materials processing technology*, 148(1), 103-107.
- Saklakoğlu, N., Çolakoğlu, H., & Gençalp, S. (2009). SIMA prosesi ile üretilmiş Al-4Zn-3Mg alaşımında mikroyapı gelişimi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(3), 89-100.
- Sang-Yong, L., Jung-Hwan, L., & Young-Seon, L. (2001). Characterization of Al 7075 alloys after cold working and heating in the semi-solid temperature range. *Journal of materials processing technology*, 111(1-3), 42-47.
- Taneroglu, H., Akar, N., & Kilicli, V. (2013). Examination of microstructure and mechanical properties of Al2024 alloy produced by thixocasting. *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 28(4).
- Türkeli, A. (1993). *7001 dövme alüminyum alaşımından SIMA yöntemiyle tiksotropik malzeme üretimi*. Paper presented at the 5. Denizli Malzeme Sempozyumu, Denizli, Türkiye.
- Türkeli, A., & Akbaş, N. (1996). *Formation of non-dendritic structure in 7075 wrought aluminum alloy by SIMA process and effect of heat treatment*. Paper presented at the 4th International Conference on the Semi-Solid Processing of Alloys and Composites, Sheffield, UK.
- Verhoeven, J. D. (1975). *Fundamentals of Physical Metallurgy*: John Wiley & Sons Incorporated.
- Witulski, T., Morjan, U., Niedick, I., & Hirt, G. (1998). *The thixoformability of aluminium alloys*. Paper presented at the 5th International Conference on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites, Colorado, USA.
- Xia, K., & Tausig, G. (1998). Liquidus casting of a wrought aluminum alloy 2618 for thixoforming. *Materials Science and Engineering: A*, 246(1-2), 1-10.
- Young, K. P., Curtis, P. K., & James, C. Fine grained metal composition,(1983). U. S. Patent.