

ALUMİX 431 TOZUNUN (AL7XXX) SOĞUK ve ILIK PRESLENMESİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA

A. Kadir EKŞİ*, **D. Ali BİRCAN*** ve **C.M. SONSINO****

* Makina Müh. Bölümü., Müh. Mim. Fakültesi, Çukurova Üniversitesi, 01330-Adana

** Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit (LBF) Bartningstr. 47, 64289

Darmstadt/Germany

akeksi@cu.edu.tr, c.m.sonsino@lbf.fraunhofer.de

(Geliş/Received: 15.03.2006; Kabul/Accepted: 19.06.2006)

ÖZET

Bu çalışmada soğuk (oda sıcaklığı) ve ılık (50 ve 80°C) olarak preslenmiş Alumix 431 (Al7xxx) tozunun ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Deneyler iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada, silindirik numuneler (Ø=15 mm, h=15 mm) soğuk ve sıcak olarak 300-500 MPa basınç altında 50 MPa aralıklarla preslenmiş ve farklı durumda sinterlenerek optimum yoğunluğu veren sinterleme şartları tespit edilmiştir. İkinci aşamada, tespit edilen bu sinterleme şartına göre çekme ve yorulma numuneleri üretilmiş ve bu testler yapılmıştır. Aynı yoğunluğa sahip olmaları nedeniyle soğuk ve sıcak preslenen çekme ve yorulma test sonuçları denk olarak elde edilmişlerdir. Ayrıca, numunelerin Işık ve Taramalı Elektron Mikroskopunda mikroyapıları ve morfolojileri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sinterleme, alüminyum alaşımı, çekme, yorulma, soğuk presleme, ılık presleme.

A STUDY OF COLD AND WARM COMPACTED ALUMIX 431 (AL7XXX) POWDERS

ABSTRACT

In this work, Alumix 431 (Al7xxx) powder was pressed cold (room temperature) and warm (80°C) and its static and dynamic mechanical properties were investigated. Experiments were performed in two stages. In the first stage, cylindrical samples (Ø=15 mm, h=15 mm) were pressed warm and cold under 300-500 MPa pressure with 50 MPa intervals and sintering conditions that give optimum density were determined by sintering under three different sintering medium. In the second stage, tensile and fatigue samples that give the same density with this determined sintering condition were produced and these tests were conducted. In order to obtain the same density with cold and warm pressing in tensile and fatigue samples, 230 and 180 MPa pressure, respectively, was used. Since they have the same density, tensile and fatigue test results that were pressed cold and warm were equal. In addition, microstructures and morphologies of samples were investigated with Light and Scanning Electron Microscope.

Keywords: Sintering, aluminum alloy, tensile, fatigue, cold compaction, warm compaction.

1. GİRİŞ

Toz metalürjisi (T/M), metal işleme teknolojileri arasında çok büyük farklılık gösteren bir üretim tekniğidir. Çok eskilerden beri bilinen, bir yöntem olmasına rağmen endüstriyel olarak yeni sayılabilecek bir üretim tekniğidir. Toz metalürjisini ekonomik açıdan cazip kılan, , çok yüksek hassasiyette karmaşık şekilli, yüksek kalitede parça üretiminin mümkün olmasıdır. Metal tozlarının boyutları mikron mertebesindedir. Presleme işlemi oda sıcaklığında ve bazen de yüksek sıcaklıklarda yapılır. Toz metalürjisi ile üretilen parçaların büyük bir kısmında elde edilen boyutsal hassasiyet ve yüzey kalitesi, talaşlı işlem gibi ekstra operasyonlara olan gereksinimi ortadan kaldırmaktadır. T/M parçaların üstünlüklerinden biri de, diğer üretim tekniklerinden daha kısa imalat çevrim süresidir. Bazı işlem kademeleri uygulanmaksızın nihai ölçülerde, doğrudan yerine takılarak kullanmaya müsait parça üretimi mümkündür [1-5].

Son yirmi yılda yüksek performanslı toz metal alüminyum alaşımları (Al alaşımları) için talep giderek artmıştır. Alüminyum alaşımları sunduğu yüksek mekanik özellikler nedeniyle gittikçe demir esaslı malzemelerin yerini almaktadır. Çeşitli alüminyum alaşımlarının mukavemeti, normal yapı çeliğinin mukavemetine denk veya daha yüksektir. Alüminyum alaşımları sünek bir davranış gösterir ani darbelere karşı dayanıklıdır. Ayrıca, dayanıklılığı düşük sıcaklıklarda azalmaz (çeliklerin, düşük sıcaklıklarda ani darbelere karşı mukavemeti azalır). Alüminyuma şekil vermek için döküm, dövme, haddeleme, presleme, ekstrüzyon, çekme gibi tüm metotlar uygulanabilir. Alüminyum alaşımlarının hafif olmaları nedeniyle otomotiv ve diğer endüstri dallarında yakıt ve enerji tasarrufu sunmaları da önemli bir özelliktir [6-8].

T/M Al alaşımlarının mekanik özellikleri mikro yapılarına ve gözenek miktarına bağlıdır. Malzemelerin yorulması çok karmaşık bir olaydır. Bu olay pek çok faktörden etkilenir. Dinamik yük altında çalışan makina elemanları önemli oranda yorulma kırılmasına maruzdur. Bu dinamik yük altında çalışan makina parçalarının yorulma özellikleri, diğer mekanik özelliklerden daha önemlidir. Yorulma ömrü, aşınma dayanımını artırmak için yapılan bazı termokimyasal yüzey işlemleriyle biraz daha artırılabilir. Ayrıca, mikroyapının homojen ya da heterojen olması, kimyasal bileşim, yüzey kalitesi ve kalıcı gerilmeler yorulma olayına etki eder.

Statik çekme dayanımını arttıran menevişleme ısıl işlemleri ve alaşım elementleri de yorulma dayanımını artırır [9-15].

T/M yöntemleri ile presleme genellikle oda sıcaklığında yapılmaktadır. Son yıllarda oda sıcaklığı üzerindeki (sinterleme sıcaklığı derecesi altında) ortamlarda da parça üretimi yapılmaktadır. Yapılan bu çalışmalarda, daha düşük presleme basınçlarında oda sıcaklığına göre daha yüksek ham yoğunluğun daha az sürtünme (kalıp duvarı sürtünmesi) ile elde edildiği görülmüştür. Büyük boyutlu parça üretiminde burkulma gibi olumsuzluklar ile daha az karşılaşılabileceğinden, ılık presleme önemlidir [7, 10].

Sinterleme sıkıştırılmış parçaların mukavemet kazandığı bir ısıl işlemdir. Alüminyum ve alaşımlarının sinterleme sıcaklık aralığı 600-650 °C arasındadır. Sinterleme işleminin süresi uygulamanın (alüminyum alaşımlarının sinterlenme şartları) çeşidine göre 10 ila 30 dakika arasında değişebilmektedir ve bu parametreler (sinterleme esnasında artış hızı, atmosfer ve varılan sıcaklık noktaları gibi) alüminyum alaşımlarının yoğunlaşma davranışları üzerinde özellikle alaşım elementlerinden dolayı çok önemlidir [10, 16].

Bu çalışmada, Ecka firmasından (Almanya) sağlanan Alumix 431 tozu (Al7xxx) kullanılarak soğuk ve ılık preslenen numunelerin statik ile yorulma özellikleri araştırılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. Malzeme

Bu çalışmada, Alumix 431 tozu 15 mm çapında bir tek eksenli kalıp kullanılarak preslenmiştir. Alumix 431 tozu, alüminyum alaşımlarının 7xxx serisinde yer alan bir tozdur. Bu çalışmada kullanılan tozun kimyasal ve tanecik boyut karakteristikleri Tablo'1 de verilmiştir. Birinci aşamada, numuneler statik özellikler için 15 mm çapındaki bir kalıpla, 0.001 g hassasiyetinde bir terazide tartılarak 3,5 g ağırlığında 15 mm yüksekliği verecek şekilde preslenmişlerdir. Bu durum (çap, yükseklik boyutu), ayrı ayrı yağlama kullanılmamasına rağmen az bir kalıp duvarı sürtünmesi ve iyi yoğunluk dağılımı vermesini sağlamıştır. Numuneler 300-500 MPa basınç arasında 50 MPa basınç aralıkları ile preslenmişlerdir.

Tablo 1. Alumix 431 tozunun kimyasal ve tanecik boyut karakteristikleri.

Kimyasal kompozisyon, % (yoğunluk: 2.786 g/cm ³)				Tanecik boyut karakteristiği*				
Al	Cu	Zn	Mg	D ₁₀	D ₅₀	D ₉₀	S _w **	Ortalama
90.5	1.5	5.5	2.5	54.8	107.2	193.1	4.7	118.7

*Boyutlar µm dir, ** S_w: Tanecik boyut dağılım eğimi.

2.2. Test Numunelerinin Hazırlanması

Bu çalışma oda sıcaklığında ve 80 °C sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Ilık presleme, Heraeus UT 12P tipi bir fırın kullanılarak yapılmıştır. Sıcak presleme için kalıba doldurulan tozlar bu fırında ilk numune için 30 dakika, takip eden numuneler için de 15 dakika bekletildikten sonra preslenmişlerdir. Numuneler Tablo 2 de görüldüğü gibi üç farklı durumda sinterlenmiştir. Ham ve sinterlenmiş yoğunluklar Arşimet metodu ile bir PG 503; Mettler Toledo cihazı kullanılarak etanol içerisinde ölçülmüştür.

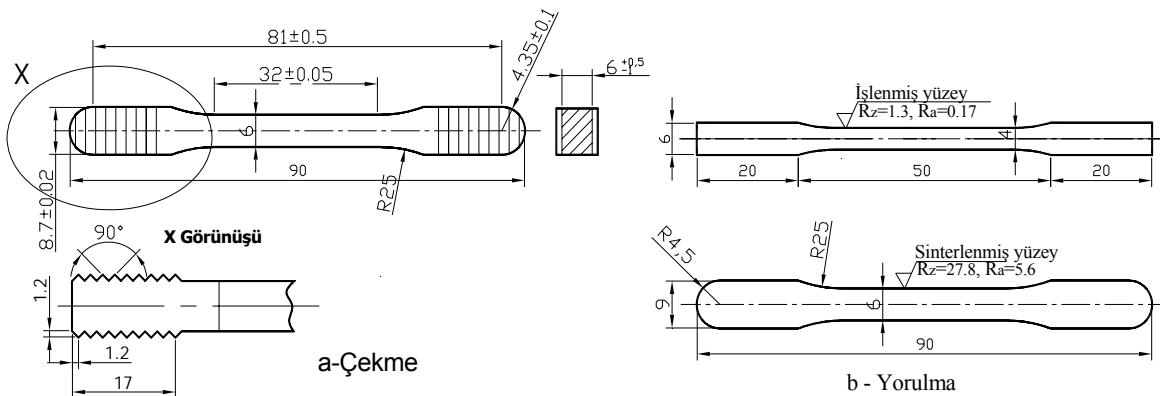
Çekme ve yorulma test numuneleri bilgisayar kontrollü otomatik (Dorst TPA 125 H) pres cihazında ılık ve soğuk olarak preslenmiştir. Bu numuneler DIN EN 10 002-1'e göre hazırlanmışlardır. Yorulma testi için hazırlanan numunelerin yüzey kalitelerini arttırmak için yüzeyleri işlenmiş ve parlatılmıştır.

Tablo 2. Silindirik numunelerin yoğunluk değerleri.

Basınç (MPa)	Ham yoğunluklar, g/cm ³		Sinterleme şartları ve sinterlenmiş yoğunluklar, g/cm ³					
	Oda Sıc.	80 °C	N ₂ , 5 K/dak.- 610 °C, 30 dak.- 610 °C, (No. 1)		N ₂ , 5 K/dak.- 620 °C, 30 dak.- 620 °C, (No. 2)		N ₂ , 10 K/dak.- 620 °C, 30 dak.- 620 °C, (No. 3)	
			Oda Sıc.	80 °C	Oda Sıc.	80 °C	Oda Sıc.	80 °C
300	2.53	2.49	2.52	2.59	2.64	2.58	2.63	2.56
350	2.55	2.53	2.50	2.55	2.62	2.64	2.55	2.62
400	2.61	2.56	2.60	2.52	2.64	2.60	2.62	2.49
450	2.63	2.58	2.56	2.48	2.57	2.54	2.53	2.43
500	2.62	2.61	2.50	2.47	2.58	2.46	2.46	2.46

Tablo 2'de görüldüğü gibi, sinterleme sonrası en büyük yoğunluk 2 nolu sinterleme koşullarında elde edilmiştir ve bu sinterleme koşullarına göre optimum sonuçları elde etmek için çekme ve yorulma test numuneleri hazırlanmıştır. Çekme ve yorulma test numunelerinin farklı geometriye sahip olmaları nedeni ile, silindirik numunelerin 2 nolu sinterleme koşullarındaki yoğunluğuna, sırasıyla soğuk presleme için 230 ve ılık presleme için 180 MPa basınçta kavuşulmuştur. Şekil 1'de çekme ve yorulma test numunelerinin resimleri görülmektedir.

Hazırlanan çekme ve yorulma test numunelerinin mikroyapıları ve morfolojisi Leica DMRX marka Işık ve LEO 1530 GEMINI marka Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Ayrıca ılık ve soğuk preslenmiş numunelerin dilatometrik analizi TMA 801 tipi bir termo-analiz cihazı kullanılarak azot içerisinde yapılmıştır.



Şekil 1. Çekme (a) ve yorulma (b) test numuneleri.

3. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

3.1. Silindirik Numunelerin Presleme ve Sinterleme Davranışları

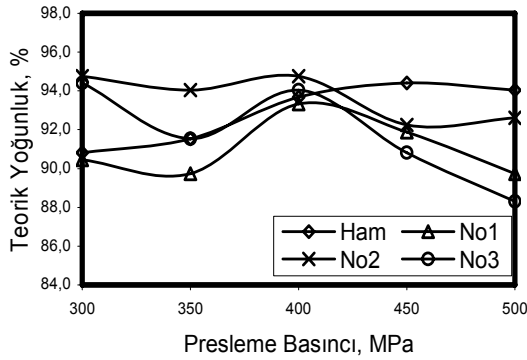
Silindirik numuneler 300-500 MPa basınç arasında ve 50 MPa aralıklarla soğuk (oda sıcaklığında) ve sıcak (80 °C) olarak 15 mm çapındaki bir kalıp ile preslendi ve 3 farklı koşulda sinterlendi. Sinterleme öncesi ve sonrası toplu değerler Tablo'3 de verilmiştir. Bu değerlerin % teorik yoğunlukları da Şekil 2 ve 3' te gösterilmiştir. Burada en büyük yoğunlaşma No.2'deki sinterleme koşullarına göre oda sıcaklığında 300 MPa basınçta, 80°C'de preslenen numune de ise 350 MPa basınçta görülmektedir.

Sinterleme, farklı sıcaklık ve ısıtma hızlarında, azot ortamında yapılmıştır (Tablo 2). Şekil 2 ve 3'teki grafiklerde görüldüğü gibi yoğunlaşma eğrisi, Alumix tozunun alaşım elementlerinden dolayı düzenli artan veya azalan eğimler göstermemiştir. Sinterlenmiş numunelerin yoğunlaşma dağılımlarının düzensizlik göstermesi alaşım elementlerinin (Al-Cu-Zn-Mg) kimyasal kompozisyon üzerinde sıvı faz mekanizmasına güçlü bir şekilde bağlı olmasından dolayıdır [7].

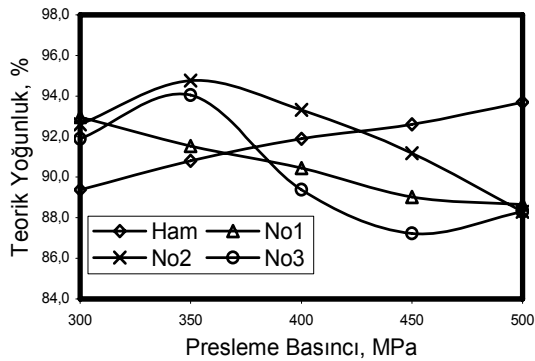
Şekil 4'te presleme sıcaklığına göre numunelerin ham

Tablo 3. Oda sıcaklığında ve sıcak preslenmiş numunelerin çekme test sonuçları arasındaki ilişki.

Numuneler	Ham yoğunluk, g/cm ³	Sinterlenmiş yoğunluk, g/cm ³	E-Modul, GPa	R _{p0.2} , MPa	R _m , MPa	A, %	HBW, kg/mm ²
Oda Sic./230 MPa	2.64	2.44	50.7	98.5	129.5	1.73	2.5/31.25
80°C/180 MPa	2.60	2.43	48.5	102.7	129.7	1.42	2.5/31.25

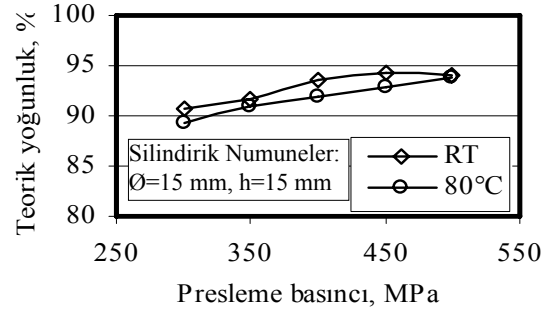


Şekil 2. Oda sıcaklığında preslenen silindirik numunelerin ham ve sinterlenmiş yoğunluk eğrileri



Şekil 3. 80°C sıcaklıkta preslenen silindirik numunelerin ham ve sinterlenmiş yoğunluk eğrileri

yoğunlukları görülmektedir. Oda sıcaklığında presleme sonrası yoğunluk miktarları çok az miktarda sıcak preslemedeki numunelerin yoğunluk değerlerinden biraz daha fazladır. Bunu da ısıtma ile tozun içerisindeki yağ miktarının azalmasına bağlamak mümkündür.

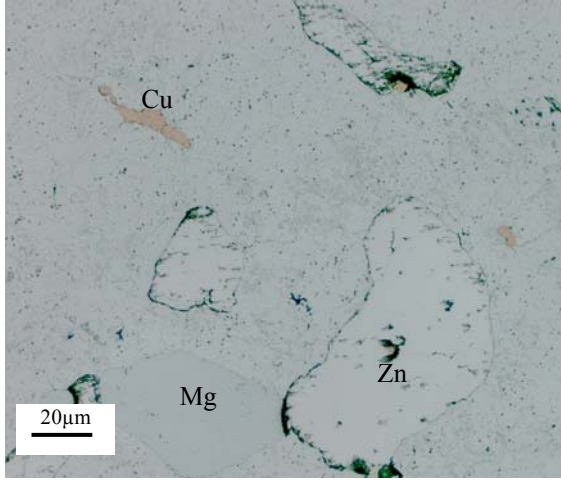


Şekil 4. Soğuk ve sıcak numunelerin ham yoğunluklarının değişimi

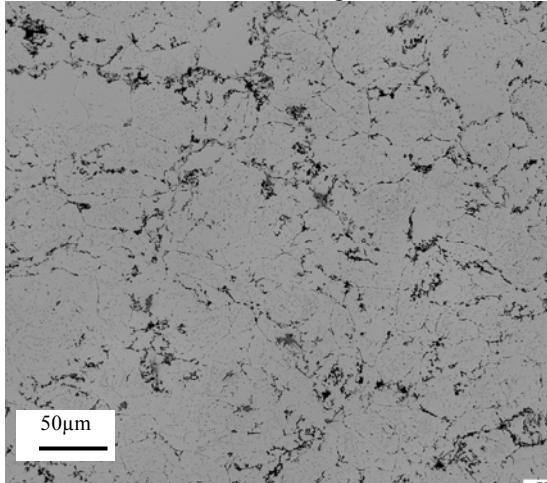
Silindirik numuneye ait ham ve sinterlenmiş mikroyapılar Şekil 5'te görülmektedir. Ham ve sinterlenmiş numunelerin alaşım elementleri, tanecik sınırları ve gözenekler açıkça görülmektedir. Sinterlenmiş numunede (Şekil 5 b) geniş miktarda sınır fazları görülmektedir. Oda sıcaklığında 400 MPa ve 80 °C de 350 MPa basınçlarda preslenmiş ve 2 no lu sinterleme şartlarında sinterlenmiş numunelerin dilatometrik analizi Şekil 6'da görülmektedir.

Şekil 6'dan görüldüğü gibi, oda sıcaklığında preslenen numunenin genişlemesi sıcak preslemeye göre daha fazladır. Maksimum genişleme 480-580°C arasında görülmektedir. Bunun anlamı, sıcak

preslenmiş numunenin boyutsal değişiminin oda sıcaklığında preslenen numuneye göre daha az oluşudur. Bu da sıcak preslenmiş numunenin daha homojen yapıya ve dolayısı ile daha iyi bir mekanik özelliğe sahip olmasına neden olacaktır.



a: 400 MPa/Soğuk.



b: 400 MPa/RT (Sinterleme No.3)

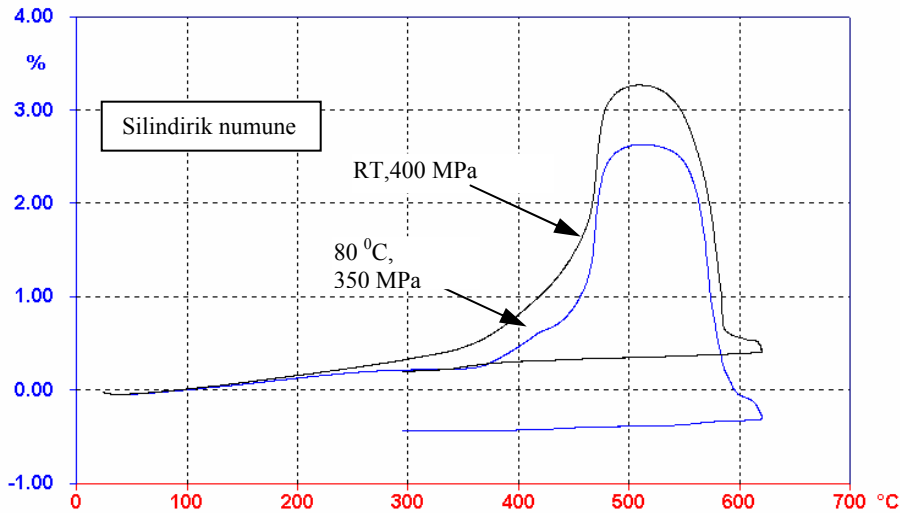
Şekil 5. Soğuk preslenen (RT) numunelerin sinterleme öncesi (a) ve sonrası (b) Işık Mikroskobu resimleri

3.2. Çekme ve Yorulma Özellikleri

Tablo 3'te soğuk ve sıcak preslenen ve 2 nolu sinterleme şartlarına göre sinterlenmiş numunelerin çekme test sonuçları görülmektedir. Soğuk ve ılık (80°C) preslenmiş çekme ve yorulma numuneleri sırasıyla 230 ve 180 MPa basınçlarda bilgisayar kontrollü çift etkili otomatik pres tezgahında preslenmiştir. Silindirik numunelerin 350 ve 400 MPa basınçtaki yoğunluklarına bu tezgâhta 180 ve 230 MPa basınçta kavuşulmuştur (silindirik ve test numuneleri farklı boyutlara sahip olmaları nedeniyle ayrı preslerde üretilmişlerdir).

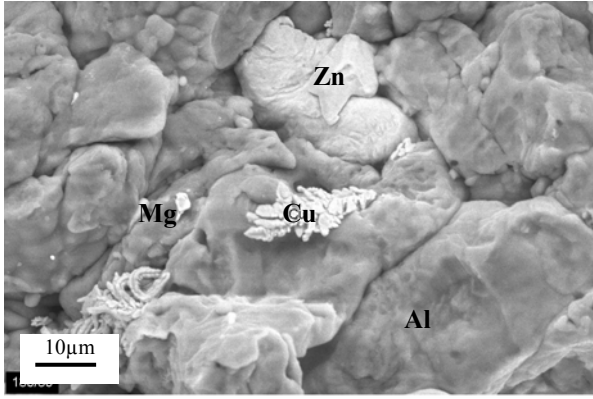
Çekme test sonuçları birbirleriyle karşılaştırıldığında çok yakın değerlerin elde edildiği görülmektedir. Bu davranış numunelerin sinterlenmiş yoğunluklarının hemen hemen birbirlerine çok yakın olmasından kaynaklanmaktadır. Basınçların farklı olmasına rağmen (Sıcak: 180 ve soğuk: 230 MPa) numunelerin sinterlenmiş yoğunlukları sıcak numune için 2.43 ve soğuk numune için ise 2.44 g/cm³'tür. Bu değerler yaklaşık olarak % 87'lik bir teorik yoğunluğa denk gelmektedir. Bu sebeple çekme test sonuçlarının beklenen değerden düşük çıktığı görülmüştür. Bilindiği gibi gözenek miktarının mekanik özellikler üzerindeki etkisi anlamlı bir şekilde büyüktür [10, 13].

Şekil 7'de çekme ve yorulma test numunelerinin (teste tabi tutmadan önce kırılmış) sinterleme öncesi 180 MPa ile 80 °C ve 230 MPa ile oda sıcaklığında preslenen numunelerin Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) resimleri görülmektedir. Şekil 8'de ise 2 nolu sinterleme şartlarına göre sinterlenmiş numunelerin çekme testi sonrası kırılma yüzeyleri verilmiştir.

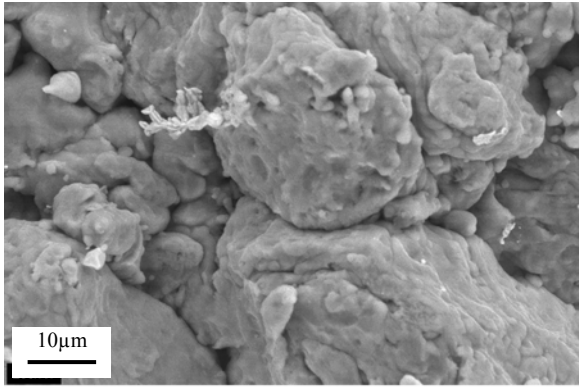


Şekil 6. Oda sıcaklığında sıcak preslenen numunelerin dilatometrik eğrileri (620°C'ye kadar 5 K/dk. ısıtma oranı ile kuru azot içerisinde ısıtıldı)

Yorulma testleri, aksel yüklemeye ile çentiksiz ($K_t = 1.0$) numune kullanılarak $f = 35 \text{ s}^{-1}$ frekansında çekme basma yüklemesi ($R = -1$) uygulanarak gerilme oranları hesaplanmıştır. Bu çalışmada ortalama 15 numune test edilerek S-N eğrileri çizilmiştir [Şekil 9-10].

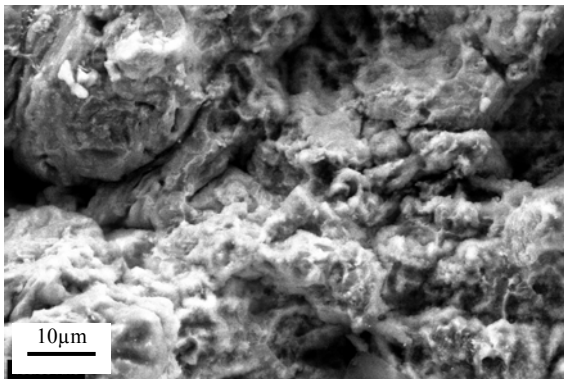


a: 180 MPa/80 °C.

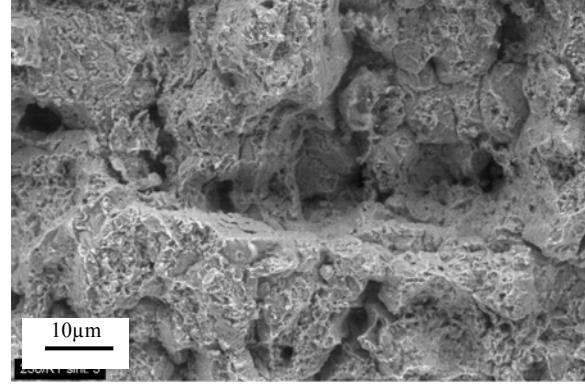


b: 230 MPa/RT.

Şekil 7. Sinterleme öncesi numunelerin kırılma yüzeylerinin SEM fotoğrafları



a: 180 MPa/80 °C.



b: 230 MPa/RT.

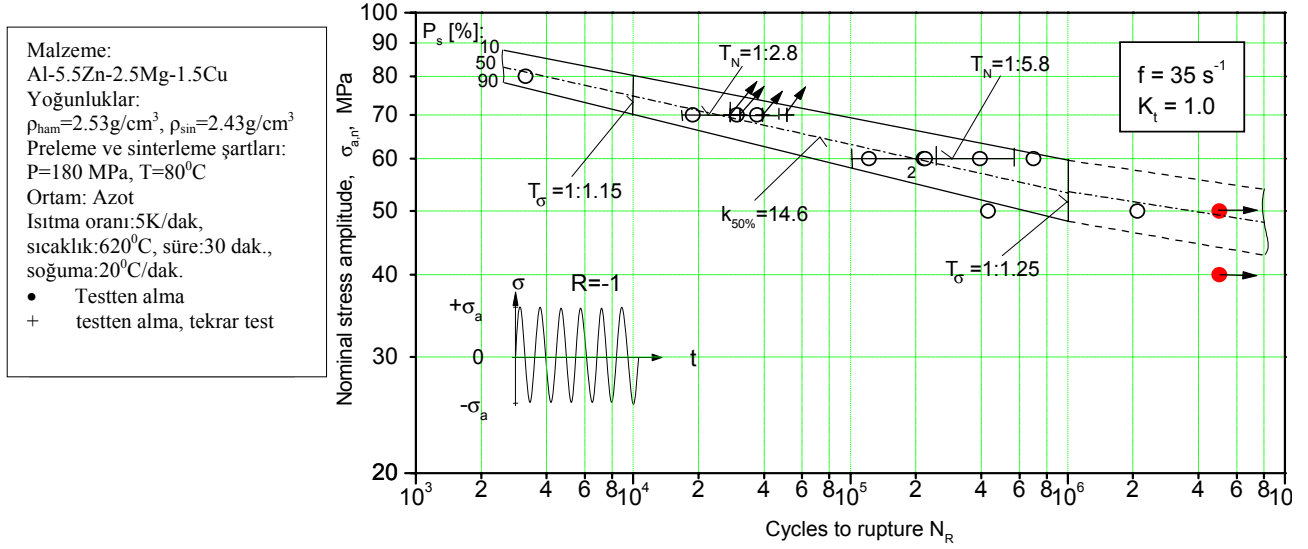
Şekil 8. Çekme testi sonrası numunelerin kırılma yüzeyi fotoğrafları

Wöhler eğrileri, yaklaşık gerilme açıklığı bakımından σ_{an} ve kırılma devri N_R , numunelerin istatistikî ömrü P_s , logaritmik olarak % 10, 50 ve 90 olarak hesaplandı. S-N eğrilerinden yaklaşık gerilme açıklığı $P_s = 50\%$ ömür ihtimali 10^5 ve 10^6 devirler için Şekil 11' de karşılaştırılmıştır. Bu devirlerde soğuk ve sıcak preslenmiş numunelerin yorulma mukavemetleri, aynı yoğunluklara sahip olmaları nedeniyle eşittir [Şekil 11].

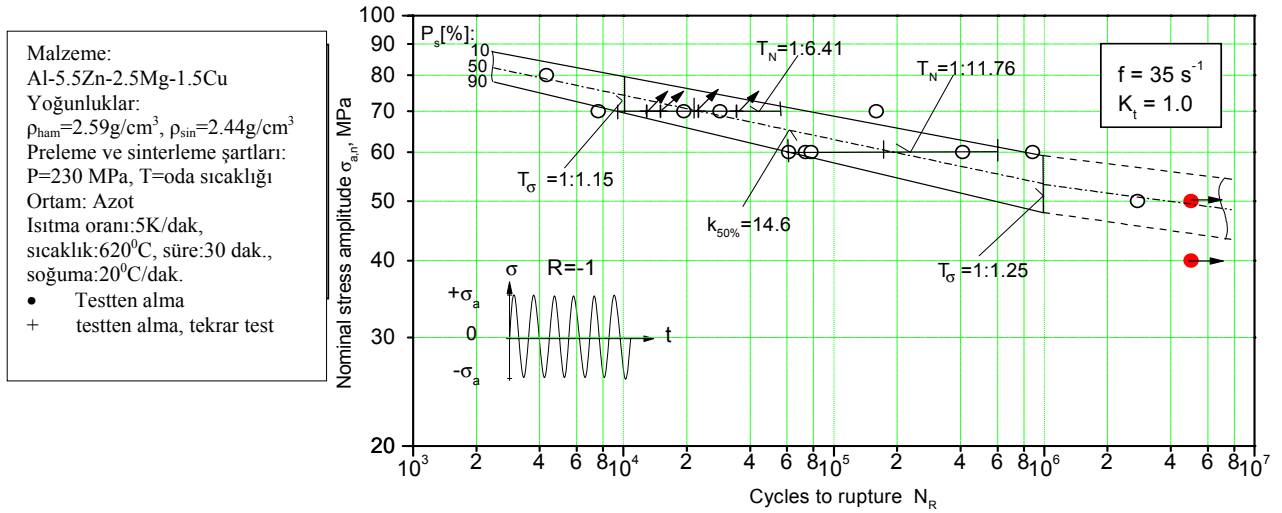
Yorulma kırılma yüzeyleri SEM kullanılarak incelenmiştir. Burada kırılmanın büyük gözeneklerin bulunduğu alanda başladığı görülmektedir [Şekil 12 a, b]. Yine kırılmanın işlenmiş (talaşlı işlem yapılmış) yüzeyden veya sinterlenmiş (sinterleme sonrası talaşlı işleme tabi tutulmamış) yüzeyden başladığı görülmektedir. SEM resimleri [Şekil 12 a, b] dikkatlice incelendiğinde son kırılma noktasında pürüzlülük değerinin arttığı görülmektedir. Bu nedenle sünek bir kırılmanın meydana geldiği anlaşılmaktadır.

4. SONUÇLAR

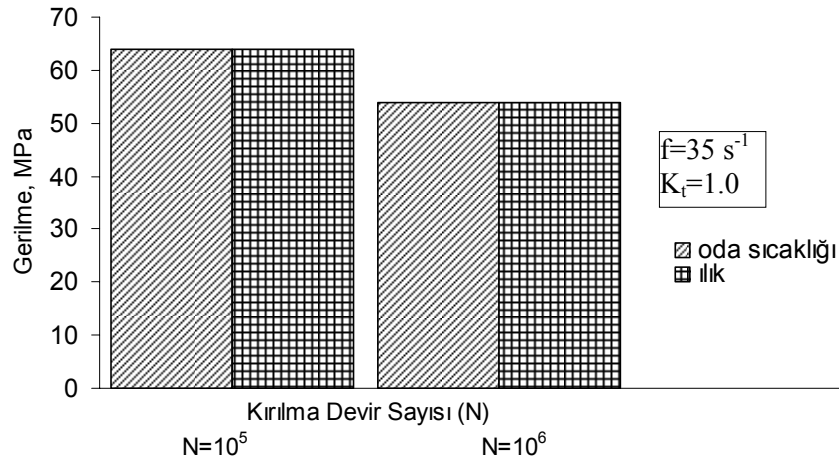
- Bu çalışmada soğuk preslemeyle elde edilen yoğunluk değerine, ılık presleme ile daha düşük basınçlarda ulaşılmıştır. Soğuk ve ılık presleme ile elde edilen numunelerin yoğunlaşma davranışlarının doğrudan sinterleme esnasında ısıtma hızına, bekleme süresine ve sıcaklık değerlerine bağlı olduğu görülmüştür.
- Dilatometrik analizde ılık presleme ile elde edilen numunelerdeki genişlemenin daha az olduğu Şekil 6'dan açıkça görülmektedir. Bu da daha büyük ebatları parçalarda sıcak preslemenin daha homojen olduğunu ve çarpılma, burkulma gibi durumların soğuk preslemeye göre daha az olacağını göstermiştir.
- Şekil 9 ve 10, numunelerin yorulma eğrilerini göstermektedir. Burada da yoğunlukların eşit olması nedeni ile ılık ve soğuk numunelerin yorulma davranışları



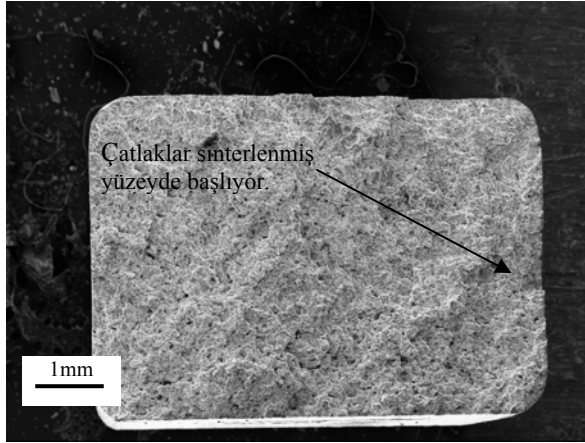
Şekil 9. Sıcak preslenmiş (180 MPa/80°C) numunelerin çekme-basma yüklemeye altındaki (R=-1) S-N eğrisi.



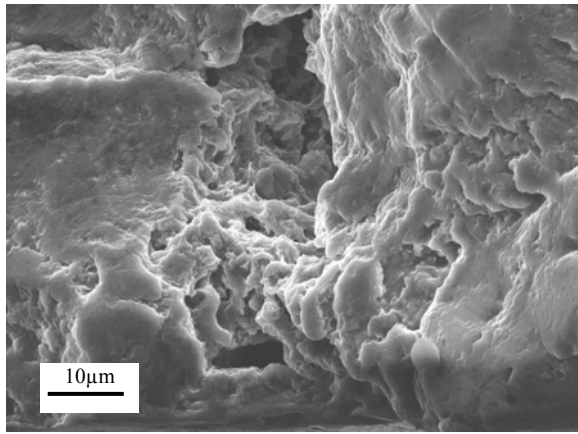
Şekil 10. Soğuk preslenmiş (230 MPa/RT) numunelerin çekme-basma yüklemeye altındaki (R=-1) S-N eğrisi



Şekil 11. Dayanabilir gerilme açıklığının karşılaştırılması (R=-1)



a: $\sigma_a=180\text{MPa}/80^\circ\text{C}$, $\rho_{\text{ham}}=2,53\text{g}/\text{cm}^3$, $\rho_{\text{sinter}}=2,43\text{g}/\text{cm}^3$, $\sigma_a=50\text{MPa}$, $N_R=4,298 \times 10^5$, $R=-1$



b: $230\text{MPa}/\text{Soğuk}$, $\rho_{\text{ham}}=2,59\text{g}/\text{cm}^3$, $\rho_{\text{sinter}}=2,44\text{g}/\text{cm}^3$, $\sigma_a=60\text{MPa}$, $N_R=4,1 \times 10^5$, $R=-1$

Şekil 12. Kırılma yüzeylerinin SEM resimleri

aynıdır. Buradan yoğunluk miktarının yorulma özellikleri üzerinde en önemli faktör olduğunu söylemek mümkündür. Ilık ve oda sıcaklığında preslenmiş numuneler için sinterlenmiş teorik yoğunluk yaklaşık % 87'ye denk gelmektedir. Şekil 11'deki karşılaştırmaya bakıldığında yaklaşık olarak dayanabilir gerilmeler 10^5 devirde $\sigma_{an}=64$ ve 10^6 devirde ise $\sigma_{an}=54$ MPa dır.

- Yapılan SEM incelemelerinde kırılmaların işlenmiş ve sinterlenmiş yüzeylerin her ikisinde de meydana geldiği ve büyük gözeneklerden başladığı görülmüştür (Şekil 12). Son kırılmanın özellikle ise sünek olduğu yine SEM incelemelerinden anlaşılmıştır.
- Alumix 431 tozlarının sinterleme davranışı sinterleme sıcaklığına, hız oranına ve sinterleme zamanına bağlı olarak çok

değiştirdiği görülmüştür. Bununda alaşım elementleri arasında faz farklılığından meydana geldiği ve mekanik özellikler üzerinde bir etkiye sahip açıktır. Bundan dolayı Alumix 431 tozu her iki sıcak ve sinterleme işlem proseslerine duyarlıdır.

- Bu çalışmada, soğuk presleme ile aynı yoğunluğa ulaşmak için ılık preslemede daha az basıncın gerektiği görülmüştür.

Teşekkür

- Bu çalışmada kullanılan statik, çekme ve yorulma numunelerinin üretimi ve statik testler IFAM'da (Bremen-Almanya), yorulma testleri ise LBF'de (Darmstadt/Almanya) yapılmıştır.
- Bu çalışma Çukurova Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından desteklenmiştir (MMF2004BAP10).

KAYNAKLAR

1. German, R. M., **Powder Metallurgy Science**, MPIF, A. B. D., 1994.
2. Varol, R., Selver, R., Boylu, K. S., "Demir Esaslı T/M Yatak Malzemelerinde Alaşım Elemanlarının Fiziksel Özellikler Üzerine Etkisi", **4th Int. Powder Metallurgy Conference**, Sakarya University, 926-936, May 18-22, 2005.
3. Akaslan, Ş., Sarıtaş, S., James, W. B. ve Lawley, A. "Gözenek Miktarı ve Mikroyapının Pişirme Sertleştirme Davranışlı Bir Melez Toz Metal Çelikte Yorulma Çatlağı İlerlemesine Etkisi", **4th Int. Powder Metallurgy Conference**, Sakarya University, sayfa, 689-703, May 18-22, 2005.
4. Karataş, Ç. "Toz Metal Çeliklerin Tel Erozyonda İşleme Parametrelerinin Araştırılması", **3rd Int. Powder Metallurgy Conference**, Gazi Üniversitesi, Ankara, 1110-1120, September 4-8, 2002.
5. Ekici, A. A., Uslan, İ. ve Sarıtaş, S. "Püskürtme Şekillendirme Alüminyum Parçaların Mikroyapısal İncelenmesi", **3rd Int. Powder Metallurgy Conference**, Gazi University, Ankara, 1356-1361. September 4-8, 2002.
6. Varol, R. "2024 Alüminyum Alaşımının Yorulma Ömrü Üzerine Farklı Bilyalı Dövme Parametrelerinin Etkisi" Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi F. B. E., 1990.
7. Schaffer, G. B. ve Huo, S. H., "On development of sintered 7xxx series aluminium alloys", **Powder Metallurgy**, Vol. 42, No. 3, 219-226, 1999.
8. Danninger, H., Neubing, H.C. ve Gradl, J., "Sintering of High Strength Al-Zn-Mg-Cu Alloys to Controlled Dimensions", **PM World Congress**, Light Alloys, V. 5, 272-277, 1998.

9. Sonsino, C.M., "Fatigue Design for Powder Metallurgy", **Powder Metallurgy**, Vol.33, No.3, 235-245., 1990.
10. Eksi, A., Veltl, G., Petzoldt, F., Lipp G. K., ve Sonsino, C.M., "Tensile and Fatigue properties of Cold and Warm Compacted Alumix 431 Alloy" **Powder Metallurgy**, pp.60-64. Vol.47. No.1, 2004.
11. Sarıtaş, S., James, W. B., ve Lawley, A., "Bir Önceden-Alaşımli ve İki Melez Toz Metal Çeliklerin Mekanik Özellikleri", **3rd Int. Powder Metallurgy Conference**, Gazi Üniversitesi, Ankara, 1168-1178, September 4-8, 2002.
12. Sonsino, C.M., Schlieper, G., ve Huppmann, W.J., "Influence of Homogeneity on The Fatigue Properties of Sintered Steels", **Int. J. Pow. Met.** V.20, no.1, 45-50, 1984.
13. Sarıtaş, S., "Toz Metal Çeliklerin Yorulma Özellikleri", **3rd Int. Powder Metallurgy Conference**, Gazi University, Ankara, Turkey, 1207-1220. September 4-8, 2002.
14. Yılmaz, S. S., Varol, R. Ve Kurgan, N., "Yüzey Sertleştirme İşlemlerinin Demir Esaslı T/M Numunelerin Mekanik Özelliklerine Etkisi", **4th International Powder Metallurgy Conference**, Sakarya University, Sakarya, 832-847 May 18-22, 2005.
15. Bocchini, G.F., "The Influence of Porosity on the Characteristics of Sintered Materials, Rev. **Powder Met. Phys. Ceram.**, Vol. 2, 313-359. 1985.
16. Sonsino, C.M., ve Ratzi, R., "Warm powder compaction substitutes conventionally double pressed and double sintered synchroniser hubs", **Powder Metallurgy**, 352-357, Vol.47. No.4, 2004.