

33711

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

ÇİNKO-ALÜMİNYUM ESASLI ALAŞIMLARDA MUKAVEMET

ARTIRMA YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ

Mak.Müh. M. Şebnem ERDÖL

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"Makina Yüksek Mühendisi"
Ünvanı Verilmesi için Kabul Edilen Tezdir

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 19.08.1994

Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 08.09.1994

Tezin Danışmanı : Prof.Dr. Temel SAVAŞKAN

T. Savaşkan

Jüri Üyesi : Prof.Dr. Ahmet ARAN

A. Aran

Jüri Üyesi : Prof.Dr. Fazlı ARSLAN

F. Arslan

Enstitü Müdürü : Prof.Dr. Temel SAVAŞKAN

T. Savaşkan

Ağustos 1994

TRABZON

YÜKSEK MÜHENDİSLİK ENSTİTÜSÜ
DOKÜMANTASYON BİRİMİ

ÖNSÖZ

Mühendislik uygulamalarında, malzemelerin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi ile bu malzemelerden imâl edilecek parçaların kullanım ömürlerini uzatmak ve böylece, bazı ekonomik ve teknolojik yararlar sağlamak mümkündür. Bu bağlamda, yapılan çalışmada kullanım alanı gittikçe yaygınlaşan çinko-alüminyum alaşımlarının mekanik özelliklerini geliştirmek için en uygun mukavemet artırma yönteminin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Yapılan çalışmalar sonucunda, alaşım elementi katkısının, söz konusu alaşımların mekanik özelliklerini artırmada en uygun yöntem olduğu belirlenmiştir. Çökelme sertleştirme yönteminin, çinko-alüminyum alaşımlarının sertlik ve mukavemet değerlerini belirli bir süre için artırdığı görülmüş, deformasyon sertleştirme yönteminin ise, bu alaşımların deformasyon yumuşaması göstermesi nedeniyle, söz konusu alaşımlar için bir mukavemet artırma yöntemi olarak kullanılamayacağı sonucuna varılmıştır.

Bu tez çalışmasında yardımları ile yol gösteren değerli hocam Sayın Prof. Dr. Temel SAVAŞKAN'a teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca bu çalışmada emeği geçen mesai arkadaşlarıma ve tüm görevlilere teşekkür ederim.

Trabzon, Ağustos 1994

Şebnem Erdöl

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
TÜRKÇE ÖZET	IV
İNGİLİZCE ÖZET	V
ŞEKİL LİSTESİ	VI-VII
TABLO LİSTESİ	VIII
1. ÇİNKO-ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Çinko-Alüminyum Alaşımlarının Tarihsel Gelişimi	1
1.3. Çinko-Alüminyum Alaşımlarının Faz Diyagramı	2
1.4. Çinko-Alüminyum Alaşımlarının Özellikleri	4
1.4.1. Yapısal Özellikler	4
1.4.2. Fiziksel Özellikler	5
1.4.3. Mekanik Özellikler	7
1.5. Çinko-Alüminyum Alaşımlarının Uygulama Alanları	9
1.6. Çinko-Alüminyum Alaşımları İçin Mukavemet Artırma Yöntemleri ...	9
1.6.1. Katı Çözelti Sertleştirilmesi	9
1.6.2. Çökeltme Sertleştirilmesi	10
1.6.3. Deformasyon Sertleştirilmesi	12
1.7. Literatür Özeti ve Çalışmanın Amacı	13
2. DENEYSEL ÇALIŞMA	14
2.1. Alaşımların Üretimi ve Mukavemet Artırma İşlemleri	14
2.2. Metalografik İncelemeler	14
2.3. Mekanik Deneyler	15
2.3.1. Çekme Deneyi	15
2.3.2. Sertlik Deneyi	15
3. DENEY SONUÇLARI	15
3.1. Kimyasal Analiz Sonuçları	15
3.2. Alaşımların İç Yapıları	16
3.3. Mekanik Deney Sonuçları	23
3.4. Çökeltme Sertleştirilmesi Deneyi Sonuçları	25
3.5. Deformasyon Sertleştirilmesi Deneyi Sonuçları	32
4. İRDELEME	36
5. SONUÇLAR	38
6. KAYNAKLAR	40
7. ÖZGEÇMİŞ	42

ÖZET

Değişik kimyasal bileşimlerde bir adet ikili çinko-alüminyum, iki adet üçlü çinko-alüminyum-bakır ve bir adet de çinko-alüminyum-silisyum alaşımı kokil döküm yöntemi ile üretildi. Alaşımların yapısal ve mekanik özellikleri gerek dökülmüş, gerekse ısı işlem görmüş durumda incelendi. En uygun mukavemet artırma yöntemini belirlenmesi için, söz konusu alaşımlar mekanik ve ısı işlemlere tabi tutuldu.

Yapılan çalışmalar sonucunda, çinko-alüminyum alaşımlarının mukavemetini artırmak için, en uygun yöntemin alaşım elementi katkısı olduğu belirlendi. Bakır katkısı, bu alaşımların sertlik ve mukavemetini büyük ölçüde artırırken, silisyum katkısının bu değerleri fazla etkilemediği görüldü.

Söz konusu alaşımların, sertlik ve mukavemet değerlerinin su verme-yaşlandırma işlemi ile artırılabilirliği görüldü. Ancak, bu değerlerin aşırı yaşlanma döneminde büyük ölçüde azaldığı gözlemlendi. Özellikle ikili ZnAl22 alaşımındaki hızlı dönüşüm nedeniyle sertlik ve mukavemet değerleri çok kısa bir yaşlanma süresi sonunda aniden bir düşme gösterdi. Bu durum, çökeltme sertleştirme yönteminin, söz konusu alaşımlar için uygun bir mukavemet artırma yöntemi olmadığını ortaya çıkardı.

Soğuk deformasyonla alaşımların mukavemet değerleri artmadığı gibi, özellikle ısı işlem görmüş durumdaki alaşımların bu işlem sonunda sertlik ve mukavemetlerinin azaldığı gözlemlendi. Söz konusu alaşımlarda soğuk işlem sırasında deformasyon yumuşaması meydana geldiğinden, deformasyon sertleştirme yönteminin bu alaşımlar için bir mukavemet artırma yöntemi olarak uygulanamayacağı sonucuna varıldı.

Diğer taraftan, söz konusu alaşımların mekanik özelliklerinin, çözündürme işleminden sonraki soğuma hızına göre de önemli ölçüde değiştirilebileceği gözlemlendi.

Anahtar Kelimeler: Zn-Al Alaşımları, Mukavemet Artırma Yöntemleri, Çökeltme Sertleşmesi, Deformasyon Sertleşmesi

SUMMARY

An investigation of the Strengthening Methods of Zinc-Aluminum Alloys

A series of binary zinc-aluminum, ternary zinc-aluminum-copper and zinc-aluminum-silicon alloys were produced by permanent mould casting. Microstructures and some mechanical properties of these alloys were examined in as-cast and heat-treated conditions. In order to determine the most suitable strengthening method for the alloys, they were subjected to cold working and a series of heat-treatment process.

Addition of alloying elements was found to be the best strengthening method for these alloys. Copper was found to be much more effective than silicon, in increasing the hardness and the strength of these alloys.

It was also found that, the hardness and strength of these alloys may be increased by preprecipitation hardening during aging. However, these values showed considerably amount of decrease during overaging. In addition, due to fast diffusion, the binary eutectoid alloy decomposed very quickly. This resulted in a sudden decrease in hardness and strength values. Therefore, it was concluded that, the preprecipitation hardening method may not be a very suitable strengthening mechanism for these alloys.

The Zn-Al based alloys, especially in the heat-treated condition, showed work softening during cold working. This resulted in a small decrease in hardness and strength of these alloys. Hence, it was concluded that, work hardening method cannot be used as a strengthening mechanism for these alloys.

It was also shown that, mechanical properties of these alloys may be changed considerably by changing cooling rate of the alloys after the solution treatment.

Key Words: Zn-Al Alloys, Strengthening of Zn-Al Alloys, Preprecipitation Hardening, Deformation Hardening

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Çinko-Alüminyum Faz Diyagramı.....	2
Şekil 2. Çinko Katkısının, Bakırın Akma Mukavemetine Etkisi.....	10
Şekil 3. Çökelme Sertleşmesi İşleminin Safhalarını Gösteren Şematik Diyagram.....	11
Şekil 4. Zn-Al İkili Ötektoid Alaşımın Dökülmüş Durumdaki İç Yapısı.....	16
Şekil 5. ZnAl ₂₂ Cu ₃ Alaşımının Dökülmüş Durumdaki İç Yapısı.....	17
Şekil 6. ZnAl ₄₀ Cu ₂ Alaşımının Dökülmüş Durumdaki İç Yapısı.....	17
Şekil 7. ZnAl ₄₀ Si ₂ Alaşımının Dökülmüş Durumdaki İç Yapısı.....	18
Şekil 8. Çözündürme İşlemi Sonunda, Fırında Soğutulmuş Durumdaki ZnAl ₂₂ Alaşımının İç Yapısı.....	19
Şekil 9. Çözündürme İşlemi Sonunda, Fırında Soğutulmuş Durumdaki ZnAl ₄₀ Cu ₂ Alaşımının İç Yapısı.....	19
Şekil 10. Çözündürme İşlemi Sonunda, Fırında Soğutulmuş Durumdaki ZnAl ₄₀ Si ₂ Alaşımının İç Yapısı.....	20
Şekil 11. Su Verme İşlemi Sonrası 100°C Sıcaklıkta 3 Saatlik Süre Yaşlandırılan ZnAl ₂₂ Alaşımının İç Yapısı.....	21
Şekil 12. Su Verme İşlemi Sonrası 100°C Sıcaklıkta 3 Saatlik Süre Yaşlandırılan ZnAl ₂₂ Cu ₃ Alaşımının İç Yapısı.....	21
Şekil 13. ZnAl ₄₀ Cu ₂ Alaşımında Su Verme İşlemi Sonrası Oluşan Aşırı Doymuş α/α' Katı Çözeltilisi.....	22
Şekil 14. Su Verme İşlemi Sonrası 100°C Sıcaklıkta 3 Saatlik Süre Yaşlandırılan ZnAl ₄₀ Cu ₂ Alaşımının İç Yapısı.....	22
Şekil 15. Su Verme İşlemi Sonrası 100°C Sıcaklıkta 3 Saatlik Süre Yaşlandırılan ZnAl ₄₀ Si ₂ Alaşımının İç Yapısı.....	23

Şekil 16. ZnAl ₂₂ Alaşımının Sertliğinin 20°C, 100°C ve 150°C Sıcaklıklardaki Yaşlanma Süresine Göre Değişimini Gösteren Eğriler.....	26
Şekil 17. ZnAl ₂₂ Cu ₃ Alaşımının Sertliğinin 20°C, 100°C ve 150°C Sıcaklıklardaki Yaşlanma Süresine Göre Değişimini Gösteren Eğriler.....	27
Şekil 18. ZnAl ₄₀ Cu ₂ Alaşımının Sertliğinin 100°C ve 150°C Sıcaklıklardaki Yaşlanma Süresine Göre Değişimini Gösteren Eğriler.....	28
Şekil 19. ZnAl ₄₀ Si ₂ Alaşımının Sertliğinin 100°C ve 150°C Sıcaklıklardaki Yaşlanma Süresine Göre Değişimini Gösteren Eğriler.....	29
Şekil 20. 100°C Sıcaklıkta, 373 Saatlik Süre Yaşlandırılan Alaşımların Çekme Mukavemeti Değerlerinin Yaşlandırma Süresine Göre Değişimi.....	30
Şekil 21. 100°C Sıcaklıkta, 373 Saatlik Süre Yaşlandırılan Alaşımların Darbe Dayanımı Değerlerinin Yaşlandırma Süresine Göre Değişimi.....	31
Şekil 22. Dökülmüş Durumdaki Zn-Al Alaşımlarının Sertliğinin Deformasyon Oranına Göre Değişimi.....	34
Şekil 23. Isıl İşlem Görmüş Durumdaki Zn-Al Alaşımların Sertliğinin Deformasyon Oranına Göre Değişimi.....	35

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1. İkili Çinko-Alüminyum Alaşım Sistemindeki Önemli Dönüşümler	3
Tablo 2. Ticari Zn-Al ve Bazı Döküm Alaşımalarının Fiziksel Özellikleri ...	6
Tablo 3. Çinko-Alüminyum Alaşımalarının Bazı Mekanik Özellikleri	7
Tablo 4. Alaşımalarının Kimyasal Bileşimleri.....	15
Tablo 5. Mekanik deney sonuçları.....	24
Tablo 6. Deformasyon sertleşmesi deneyi sonuçları	33

1. ÇİNKO-ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Çinko-alüminyum alaşımları, üstün fiziksel, mekanik, sertlik, mukavemet ve tribolojik özelliklere sahip olmaları nedeniyle, pek çok uygulamada geleneksel malzemelerin yerini almaktadır .

Düşük hız ve yüksek yük altında çalışan kaymalı yatakların imalâtında kullanılan çinko-alüminyum alaşımlarının, pek çok bakımdan geleneksel yatak malzemelerinden daha üstün özelliklere sahip olduğu bilinmektedir [1]. Bunların başında, düşük ergime noktasına sahip olmaları, döküm esnasındaki akıcılık ve kolayca şekil alma kabiliyetleri ve dolayısıyla döküm sonrası az bir ilave işlem gerektirmesi, ısıl işleme çok elverişli olması, özgül mukavemetlerinin (mukavemet/yoğunluk) yüksek olması, çok ekonomik olmaları ve alaşım elementlerinin kolay ve ucuza temini gelmektedir [1]. Çinko-alüminyum alaşımları yalnız yatak uygulamalarında değil, tekstil ve otomobil sanayii başta olmak üzere birçok sanayii dalında da başarı ile kullanılmaktadır.

1.2. Çinko-Alüminyum Alaşımlarının Tarihsel Gelişimi

İlk defa 1920'li yıllarda basınçlı döküm yöntemiyle üretilen ötektoid bileşime sahip çinko-alüminyum alaşımlarının üstün mekanik ve döküm özelliklerine sahip oldukları görülmüştür [2]. Son yüzyıldaki gelişmeler, bu alaşımlardan karmaşık şekilli parçaların döküm yoluyla imal edilmesine imkan vermiştir.

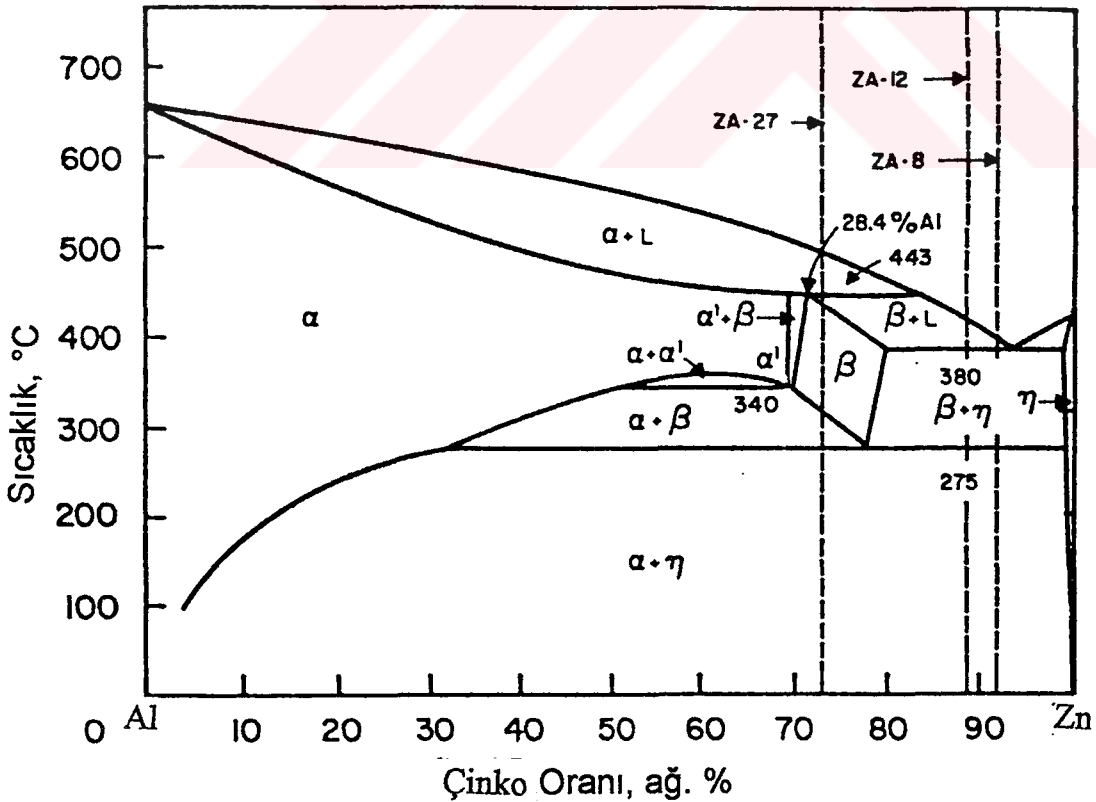
Son zamanlara kadar, dökümle üretilen çinko alaşımlarının kullanımı oldukça sınırlı kalmıştır. İkinci Dünya savaşı boyunca, ALZEN adı verilen $ZnAl_{13}Cu_5$ alaşımı geliştirilmiş ve bu alaşımın üstün tribolojik özelliklere sahip olduğu görülmüştür [3]. 1962 yılında, Lead Zinc Research Organization (ILZRO), ILZRO-12 (ZA-12) ve ILZRO-16 (ZA-16) alaşımlarını geliştirmiştir. ZA-12 alaşımının kum ve kokil döküm alaşımı olarak çekme ve darbe dayanımlarının yüksek olduğu belirlenmiştir [4]. Ardından, sırayı 1970'li yıllarda Noranda Araştırma Merkezi tarafından geliştirilen ZA-8 ve ZA-27 olarak adlandırılan ticari çinko-alüminyum alaşımları almıştır. ZA-12 ve ZA-27 alaşımlarının, özellikle ZA-27 alaşımının,

yatak uygulamalarında yaygın olarak kullanılan SAE 660 bronzundan daha üstün tribolojik özelliklere sahip oldukları görülmüştür [4].

Yine bu yıllarda, Avusturya'daki Vöest-Alpina firması tarafından % 27-70 Al, % 0-5 Cu ve % 0-5 Si içeren ALZEN alaşımları geliştirilmiştir [4]. Bu alaşımlardan ALZEN-305 ($ZnAl_{30}Cu_5$) adıyla tanınan ticari alaşım halen İngiltere'de Fry's Metals firması tarafından yatak uygulamaları için üretilmektedir. Zn-Al alaşımlarının iyileştirilmesi ve geliştirilmesi amacıyla yürütülen çalışmalar günümüzde de büyük bir hızla sürdürülmektedir.

1.3. Çinko-Alüminyum Alaşımlarının Faz Diyagramı

İkili çinko-alüminyum faz diyagramı birçok araştırmacı tarafından incelenmesine rağmen, Presnyakov ve arkadaşları [5] tarafından belirlenen faz diyagramının, bu sistemi en doğru bir şekilde temsil ettiği kabul edilmiştir. İkili çinko-alüminyum alaşımının faz diyagramı Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Çinko-Alüminyum Faz Diyagramı

Diyagramdan görüldüğü gibi, alaşımların ergime noktaları ve katılma aralıkları alüminyum oranına göre değişmektedir. Çinko ve alüminyum, sıvı durumda birbiri içerisinde tamamen çözünmekte ve sistemde metallerarası bileşik oluşmamaktadır. Çinko, alüminyum içerisinde % 83 oranına kadar çözünerek, yüzey merkezli kübik (YMK) yapıya sahip, α , α' ve β olarak adlandırılan üç değişik faz bölgesi oluşturmaktadır.

α , α' ve β fazlarının her biri yavaş soğutma işlemi sonunda kararlı çinko ve alüminyum fazlarını oluştururlar. Hızlı soğutma işlemi, çinkonun aşırı doymuş katı çözelti içerisinde tutulmasına neden olmakta ve daha sonra uygulanan yaşlandırma işlemi sırasında ortaya çıkan faz dönüşümleri, bir takım geçiş fazlarını oluşturmaktadır. α ve α' fazlarının kafes parametrelerinin birbirine çok yakın olması sebebiyle, bu iki faz arasındaki sınır tam olarak belirlenememiştir [6]. % 52-68 Zn oranları arasında $\alpha+\alpha'$ olarak gösterilen bir karışmazlık bölgesi oluşmaktadır. İkili çinko-alüminyum alaşım diyagramında meydana gelen faz dönüşümleri Tablo 1'de verilmiştir:

Tablo 1. İkili Çinko-Alüminyum Alaşım Sistemindeki Önemli Dönüşümler

Dönüşüm	Çinko Oranı(%)	Sıcaklık(°C)
Ötektik $S \rightleftharpoons \beta+\eta$	95	382
Ötektoid (i) $\beta \rightleftharpoons \alpha+\eta$ (ii) $\alpha/\alpha' \rightleftharpoons \alpha+\beta$	78 52	276 340
Peritektik $\alpha+S \rightleftharpoons \beta$	71.6	443

Üçlü çinko-alüminyum-bakır sistemine ait faz diyagramı henüz tam olarak belirlenememiştir. Ancak, sistemin düşük oranlarda bakır içeren bölümü Murphy [7] tarafından ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Çinko-alüminyum-bakır alaşımlarında, ϵ (CuZn_4), Θ (CuAl_2) ve T' ($\text{Al}_4\text{Cu}_3\text{Zn}$) gibi metallerarası bileşiklerin oluşması sebebiyle, faz dönüşümleri ikili sisteme göre daha karmaşık olup, tamamlanması uzun süre almaktadır.

Düşük oranlarda bakır içeren çinko-alüminyum alaşımları, sanayide önemli yatak malzemeleri arasında yer almaktadır. Ancak, bu alaşımların kullanılmasında karşılaşılan en ciddi sorun, ortam sıcaklığı veya bunun hemen üzerindeki

sıcaklıklarda, uzun bir süre içinde yavaş bir değişimle ortaya çıkan kalıcı hacimsal büyüme olayıdır [8].

Çinko-alüminyum-silisyum alaşım sistemine ait faz diyagramı da henüz tam olarak belirlenememiştir. Ancak, Savaşkan ve arkadaşları [9] tarafından bu sistemdeki faz dönüşümleri elektron mikroskobu ve X-ışınları difraksiyonu yardımı ile incelenerek önemli faz dönüşümleri belirlenmiştir. Yapılan çalışmalar sonunda, silisyumun çinko-alüminyum alaşımları içerisindeki katı çözünebilirliğünün düşük olduğu ve bu nedenle faz dönüşümlerini pek fazla etkilemediği görülmüştür [10]. Ayrıca, alaşımlara katılan silisyum parçacıklarının büyüklük ve dağılımının silisyum oranına bağlı olduğu gözlenmiştir. Silisyum oranı arttıkça, silisyum parçacıkları büyümekte ve düzensiz dağılım göstermektedir. Silisyum katkısının belli bir oranın (% 2) altında tutulması durumunda ise silisyum parçacıklarının hem boyutunun küçüldüğü, hem de homojen olarak dağıldığı gözlenmiştir [10].

1.4. Çinko-Alüminyum Alaşımlarının Özellikleri

1.4.1. Yapısal Özellikler

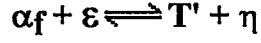
Aşırı doymuş Zn-Al alaşımlarının dönüşümü pek çok araştırmacı tarafından değişik yöntemlerle detaylı bir şekilde incelenmiştir [3,5,11]. Elektron mikroskobu ve X-ışınları yardımıyla yapılan çalışmalar [11] sonucunda, yaklaşık % 50 oranına kadar çinko içeren, yüzey merkez kübik yapılu alüminyumca-zengin α katı çözeltisinin aşağıda verildiği şekilde dönüştüğü görülmüştür.

Aşırı doymuş α katı çözeltisi \rightleftharpoons Küresel Guiner-Preston bölgeleri \rightleftharpoons Rombohedral α' \rightleftharpoons Kübik α' \rightleftharpoons Çinko

Rombohedral α' fazı, kübik α' fazından kafes parametrelerindeki küçük bir farkla ayrılmaktadır. Kimyasal bileşim oranı, ısıl işlem ve soğuma hızı alaşımların iç yapısını etkileyen faktörler olarak gösterilmektedir. α , α' ve β faz bölgelerinin herhangi birinden yavaş soğutulan alaşımların iç yapılarında kararlı çinko (η) ve alüminyum (α) fazları oluşmaktadır. Çinko-alüminyum alaşımları dökülmüş durumda göbekli dendritik bir iç yapı sergilemektedirler. Dökülmüş durumdaki ötektoid ve monotektoid bileşimdeki ikili çinko-alüminyum alaşımlarının iç yapıları genellikle alüminyumca zengin dendritler ile bunları çevreleyen çinkoca zengin fazlardan oluşmaktadır. Alüminyum oranı arttıkça iç yapıdaki alüminyumca zengin dendritlerin büyüklüğü artmaktadır.

Düşük oranlarda bakır içeren monotektoid ve ötektoid esaslı üçlü alaşımların iç yapıları morfolojik bakımdan ikili monotektoid ve ötektoid alaşımların iç

yapılarına çok benzemektedir. Bakır içeren üçlü alaşımların iç yapılarında bakırca zengin ϵ ve T' gibi metallerearası bileşiklerin oluştuğu gözlenmiştir [10]. Bu fazların yapay yaşlandırma sırasında da oluştuğu görülmüştür [10]. Alaşımın sertlik ve mukavemetini etkileyen T' fazı aşağıdaki dörtlü faz etkileşimi ile oluşmaktadır [11].



Düşük oranlarda silisyum içeren monotektoid esaslı alaşımların dökülmüş durumdaki yapıları, alüminyumca zengin α dendritleri, bu dendritleri çevreleyen çinkoca zengin fazlar ve silisyum parçacıklarından oluşmaktadır. Artan silisyum oranı ile yapı içerisindeki gözenekler (porozite) de artmaktadır [10]. Bu durum silisyum parçacıklarının matris içerisinde homojen olarak dağılmaması ve segregasyona yol açmasından kaynaklanmaktadır.

1.4.2. Fiziksel Özellikler

Çinko-alüminyum alaşımları, yoğunluklarının düşük olması nedeniyle, hafif konstrüksiyonun önemli olduğu durumlarda tercih edilirler. Örneğin, ZA 27 alaşımı, SAE 660 bronzundan % 44 oranında daha düşük yoğunluğa sahiptir [4]. Bu alaşımların yoğunluk değerleri artan alüminyum oranıyla azalmakta, dolayısıyla birim maliyet değerleri de düşmektedir [4]. Tablo 2'de, ticari çinko-alüminyum alaşımları ile birlikte bazı döküm alaşımlarının tipik özellikleri verilmiştir.

Çinko-alüminyum alaşımları, birçok alüminyum ve bakır esaslı alaşımlar ile dökme demirlerden daha yüksek ısıl genişleme katsayısına sahiptir [4]. Isıl ve elektriksel iletkenlik bakımından, çinko-alüminyum alaşımlarının, alüminyum alaşımlarıyla karşılaştırılabilecek durumda, bazı bakır alaşımlarından ise daha üstün oldukları belirlenmiştir [4].

Üçlü çinko-alüminyum-bakır alaşımlarında katılaşma sırasında oluşan kararsız dengeli (metastabil) fazların, yaşlandırma işlemi esnasında kararlı fazlara dönüşmesi sonucunda hacımsal büyüme meydana gelmektedir [8]. Bu hacımsal büyüme, artan bakır oranı ve sıcaklıkla birlikte artmaktadır [10]. Bu konuda yapılan çalışmalarda, 20°C'lik sıcaklıkta uygulanan 1200 saatlik doğal yaşlandırma işlemi tüm çinko-alüminyum alaşımlarında % 0.015-0.03 arasında bir büzülme meydana getirirken, daha yüksek sıcaklıkta (95°C) uygulanan yaşlandırma işleminin hacımsal büyümeye yol açtığı gözlenmiştir [12]. Çinko-alüminyum alaşımlarının katılaşma aralığı, artan alüminyum miktarı ile artmaktadır. Çinko-alüminyum alaşımlarının ergime noktasının düşük olması enerji sarfiyatını azaltmaktadır. Yapılan deneyler sonucunda, çinkoyu ergitmek için 130 kwh/ton'luk

enerji gerekirken, bu değer pirinç için 220 kwh/ton, alüminyum için 400 kwh/ton ve dökme demir için ise 500 kwh/ton'a çıkmaktadır [4].

Tablo 2. Ticari Zn-Al Alaşımları ile Bazı Döküm Alaşımlarının Fiziksel Özellikleri [10].

Alaşıım	Yoğunluk (g/cm ³)	Ergime Aralığı (°C)	Isıl Genleşme Katsayısı (µm/m°K)	Isıl İletkenlik (W/m°K)	Elektrik İletkenliği % IACS
No.3 AG-40A Çinko Alaşıımı Basınçlı Döküm	6.60	381-387	27.4	113	27.0
No.5 AC-41A Ç.A.B.D.	6.70	380-386	27.4	109	26.0
ZA-8 Kokil D.	6.3	373-404	23.2	115	27.7
ZA-12 Kokil D.	6.03	377-432	24.1	116	28.3
ZA-27 Kum D.	5.0	375-484	26.0	125.5	29.7
Alüminyum Al. 356-T6 Kokil d.	2.69	556-615	21.5	151	39
Alüminyum Al. 380 Basınçlı d.	2.74	540-595	21.8	96.2	27
Alüminyum Al. 319 Basınçlı D.	2.80	515-605	21.5	109	27
SAE-40 Pirinci Kum Döküm	8.83	855-1010	18	72	15
SAE-660 Bronzu	8.93	855-975	18	59	12
SAE-64 Bronzu Kum Döküm	8.88	762-928	18.5	46.9	10.1
Kır D.D C 30 Kum D.	6.94	1176	12.1	49-52	-
Dövülebilir Çelik 32510 Kum Dök.	7.2-7.45	1232	11.9	-	6

1.4.3. Mekanik Özellikler

Çinko-alüminyum alaşımlarının bazı mekanik özellikleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Zn - Al Alaşımlarının Bazı Mekanik Özellikleri [4]

Mekanik Özellikler	ZA - 8		ZA - 12		ZA - 27	
	Kum Döküm	Kokil Döküm	Kum Döküm	Kokil Döküm	Kum Döküm	Sürekli Döküm
Çekme Muk. MPa	240-276	221-255	276-317	310-345	400-441	414-441
Akma Muk. MPa	200	207	207	268	372	379-393
Uzama, %	1-2	1-2	1-2	1.5-2.5	3-6	8-11
Sertlik, Brinel 500 kg	80-90	85-95	92-96	85-95	110-120	115-130
Darbe Day. J	20	-	25	-	47	73
Yorulma Day. 5×10^8 çevrim	-	52	103	-	172	-
Young Modülü MPa	85.5×10^3	85.5×10^3	82.7×10^3	82.7×10^3	77.9×10^3	-
Poisson Oranı	-	.296	.302	.302	.323	-

Alaşıma ve döküm yöntemine bağlı olarak, 414 MPa 'ın üzerindeki çekme mukavemeti değerlerine erişmek mümkündür [4]. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda da mukavemet değerlerinde fazla bir düşüş olmaz. Uzun süren yaşlandırma işlemi sonunda bu alaşımların mukavemeti azalır [4].

Söz konusu alaşımların sünekliği artan sıcaklıkla artmaktadır. Buna bağlı olarak sertlik değerleri ise artan sıcaklıkla azalmaktadır. Bu alaşımlar, alüminyum alaşımları, pirinç ve bronzdan daha yüksek sertlik değerine sahiptirler [4]. Yüksek sertlik değerleri bu alaşımların aşınmaya karşı direncini artırmaktadır.

Ticari ZA alaşımları, alüminyumdan daha yüksek darbe dayanımına sahiptir [4]. ZA-27 alaşımı, oda sıcaklığında ZA-8 ve ZA-12 alaşımlarından yaklaşık iki

kat daha fazla darbe dayanımına sahiptir [4]. Yaşlandırma işlemi bütün ZA alaşımlarının darbe mukavemetini düşürmektedir. Stabilizasyon işlemi ise oda sıcaklığına kadar ZA-27 alaşımının darbe mukavemetinin azalmasına, bu sıcaklıktan sonra ise artmasına neden olmaktadır. Homojenleştirme işlemi sonunda alaşımın darbe dayanımı artmaktadır [4].

Mühendislik uygulamalarında, bir malzemenin sürünme dayanımı, ikincil sürünme hızıyla karakterize edilmektedir. Düşük gerilme değerlerinde ZA alaşımlarının sürünme hızı çok düşüktür. Bu alaşımların sürünme özellikleri diğer alaşım sistemleri ile karşılaştırıldığında, 60°C sıcaklığa kadar olan sıcaklıklardaki tasarım gerilmesi değerlerinin, diğer alaşımlara ait gerilme değerlerine eşit veya daha yüksek olduğu görülmüştür [4]. Pek çok uygulama için, ZA-8, ZA-12 ve ZA-27 alaşımlarının tasarım sıcaklıkları yaklaşık 121°C ile sınırlandırılmıştır [4]. ASME'ye göre; tasarımda kullanılan sürünme gerilmesi, 100.000 saatlik süre içinde ikincil sürünme bölgesinde % 1'lik uzama meydana getiren gerilme değeri olarak tanımlanmaktadır [13].

İkili çinko-alüminyum ve üçlü çinko-alüminyum-bakır alaşımlarının sürünme davranışı Savaşkan ve Murphy [14] tarafından incelenmiştir. Söz konusu alaşımların ikincil sürünme hızının $\dot{\epsilon}_s = A \cdot \sigma^n \cdot \exp(-Q_c/RT)$ bağıntısı ile belirlenebileceği gösterilmiştir. Burada $n=3$ ve $Q_c=87\text{kJ/mol}$ olarak bulunmuştur. Bu araştırma sonucunda, bakır katkılarının çinko-alüminyum alaşımlarının sürünme dayanımını büyük ölçüde artırdığı gözlenmiştir. Dökülmüş durumdaki alaşımların, ısıtılmış işlem görmüş alaşımlardan daha yüksek sürünme dayanımı sergiledikleri görülmüş ve bu durum söz konusu alaşımların iç yapılarına dayandırılarak açıklanmıştır.

Bu alaşımların mekanik özellikleri büyük ölçüde iç yapıya bağlıdır. Skenazi ve arkadaşları [3], dökülmüş durumdaki ZA ticari alaşımlarının iç yapısındaki dendrit kol aralığı küçüldükçe, alaşımların çekme mukavemetinin arttığını gözlemişlerdir.

Çinko-alüminyum alaşımlarında tane boyutu, soğuma hızından başka tane küçültücü element katkıları ile de kontrol edilmektedir [3]. Yapılan araştırmalar [3] B, Ti, Zr, La ve Ce gibi katkı elementlerinin tane boyutunu küçültürken alaşımların mukavemet değerlerini iyileştirdiğini göstermiştir. Bu çalışmalar sonunda Ti-B master alaşımının en etkin tane küçültücü katkı maddesi olduğu görülmüştür.

Çinko-alüminyum alaşımlarının ergime sıcaklıklarının düşük ve katılaşma aralıklarının oldukça geniş olması, katılaşma süresinin uzamasına ve dolayısıyla dendrit yanal kollarının birleşerek ara yerlerde sıvı havuzcukları oluşmasına ve böylece iç yapıda gözeneklerin (porozite) oluşmasına neden olmaktadır. Söz konusu gözenekler, çinko-alüminyum alaşımlarının mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir [15]. Bu nedenle, gözenek oluşumunun en aza indirgenmesi

gerekmektedir. Gözenek oluşumunu en aza indirmek ya da önlemek için döküm sırasındaki katılaşmayı etkileyen bütün faktörler (döküm sıcaklığı, kokil sıcaklığı, katılaşma hızı, kokil biçim ve geometrisi vb.) kontrol edilmelidir.

1.5. Çinko-Alüminyum Alaşımlarının Uygulama Alanları

Çinko-alüminyum esaslı alaşımlar genel olarak düşük hız ve yüksek yük taşıyan kaymalı yatakların imâlatında, madencilikte kullanılan düşük hızlı araçların kaymalı yataklarında, kablolu kren, iş makinaları, vites kutusu, torna tezgahı, taş kırma makinası yataklarında, hidrolik kaldırma silindirlerinde, maden direklerinde piston olarak, hidrolik sistemlerde, biyel kollarında, kayıcı papuçlarda, su pompalarında, matbaa makinalarında, havalı ve tarımsal makinalarda, tekstil sanayii ve otomobil sanayii gibi birçok mühendislik alanında kullanılmaktadır [10].

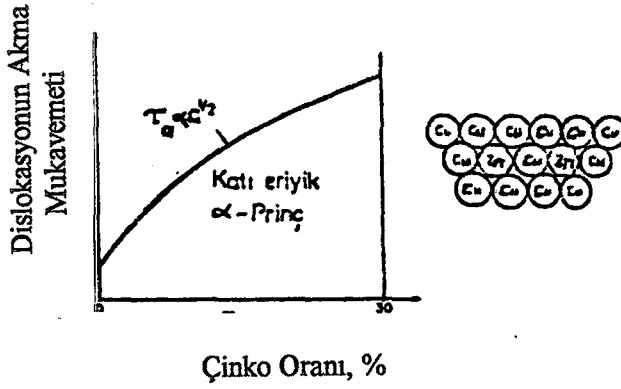
1.6. Çinko-Alüminyum Alaşımları İçin Mukavemet Artırma Yöntemleri

1.6.1. Katı Çözelti Sertleştirilmesi

Malzemelerin mekanik özellikleri, yapısında noktasal hatalar oluşturularak kontrol edilebilir. Noktasal hatalar, kafes içindeki atomik düzeni bozarak, dislokasyon veya kayma hareketini zorlaştırır ve malzemenin sertleşmesine neden olurlar. Herhangi bir saf metal, matris yapısı içinde çözünen element katkısıyla sertleştirilebilir. Metale katılan alaşım elementi atomları, matris içinde çayda şekerin eridiği gibi çözünerek katı çözelti oluşturur. Bu şekilde yeralan ya da arayer çözültisi elde edilir. Katı çözültüler saf metallere daha yüksek mukavemete sahiptirler. Bu durum, çözünen element atomları içeren metalin kafes yapısının distorsiyona uğraması ve çözünen atomların dislokasyon hareketini engellemesinden kaynaklanmaktadır. Böylece malzemenin mukavemeti artmaktadır.

Katı çözelti sertleştirilmesi iki faktöre bağlıdır. İlk olarak, çözen ve çözünen atomlar arasındaki boyut farkının büyük olması sertleştirme etkisini artırır. Büyük boyut farkı, orjinal kafeste daha fazla bir çarpılmaya neden olur. Böylece, dislokasyonların kayma hareketi daha güçleşir. İkincisi, ilave edilen alaşım elementi miktarı ne kadar fazla olursa, mukavemetteki artış da o kadar yüksek olur. Bu arada, çok fazla atom katılırsa, çözüldürme sınırı aşılabilir ve farklı bir sertleştirme mekanizması olan dispersiyonla sertleştirilmesi durumu ortaya çıkar.

Katı çözelti sertleştirilmesi yönteminin malzemenin mukavemetine etkisi, Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Çinko İlavesinin, Bakırın Akma Mukavemetine Etkisi.

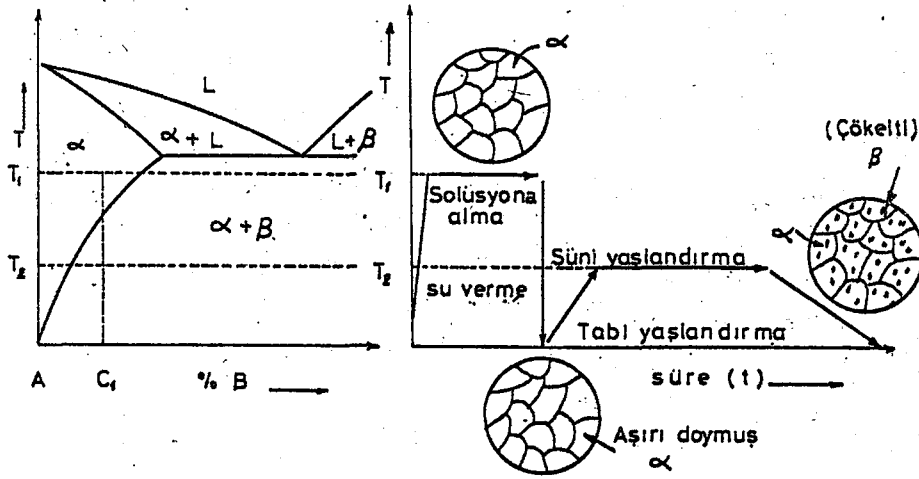
Uygulanan katı çözümlü sertleştirme yöntemi sonucunda, alaşımın akma mukavemeti, çekme mukavemeti ve sertlik değerlerinin saf metalden elde edilen değerlerden daha yüksek olduğu görüldü [16]. Yine bu işlem sonucunda sünekliğin ve elektrik iletkenliğinin azaldığı belirlenmiştir [16].

1.6.2. Çökelme Sertleştirme

Çökelme sertleştirme, ikinci fazın küçük parçacıklar halinde matris içinde çökmesinin sağlandığı alaşım sistemlerinde mukavemet arttırmada kullanılan en önemli sertleştirme yöntemlerinden birisidir [17]. Aşırı doymuş katı çözümlüde, zaman ve sıcaklık etkisi ile ikinci fazın çökmesi sonucunda malzemenin sertlik ve mukavemeti artar. Genellikle, demir dışı alaşımlar (Al, Mg, Ti alaşımları) ve yüksek mukavemetli çelikler bu yöntemle sertleştirilir [17].

Bir alaşıma, çökelme sertleştirme yöntemi uygulanabilmesi için faz diyagramı, azalan sıcaklıkla birlikte azalan katı çözümlülük göstermelidir. Başka bir deyişle, alaşım solvus çizgisinin üstünde bir sıcaklıkta ısıtıldığında sadece bir faza, daha sonra uygulanan soğutma işlemi sonunda ise iki faza dönüşmelidir. Bunun yanında, matris, nispeten yumuşak ve sünek, çökelti ise sert ve gevrek olmalıdır. Ayrıca, alaşım su verilebilir olmalı, yani su verme işlemi sonucunda aşırı doymuş katı çözümlü oluşmalıdır. Buna ilaveten, maksimum sertlik ve mukavemet değerlerine ulaşmak için çökeltiler, matrisin kafesi içerisinde oluşmalı yani koherent olmalı ve çökelti boyutu, şekli ve dağılımı kontrol edilmelidir.

Çökeltme sertleştirme işlemi uygulanan bir alaşım sistemine ait denge diyagramı Şekil 3'de görülmektedir.



Şekil 3. Çökeltme Sertleştirme İşleminin Safhalarını Gösteren Şematik Diyagram

Çökeltme sertleştirme işlemi üç kademe yapılar. Bunlar sırasıyla, çözündürme, su verme ve yaşlandırma aşamalarıdır. Alaşım, önce tek fazlı bir yapı elde etmek amacıyla solvüs sıcaklığının üstündeki bir sıcaklığa kadar ısıtılıp, bu sıcaklıkta ikinci faz tamamen çözününceye kadar tutulur. Bu işlem çözündürme işlemidir. Çözündürme işleminden sonra alaşıma su verilerek aşırı doymuş katı çözelti elde edilir. Alaşımın, su verme işleminden sonra oda sıcaklığında uzun süre tutulması veya oda sıcaklığı ile solvüs eğrisi arasındaki bir sıcaklıkta tavlama ile katı çözelti içinde ikinci fazın çökmesi sağlanır. Bu işleme yaşlandırma işlemi denir. Çökeltme oda sıcaklığında meydana geliyorsa, işlem doğal yaşlandırma işlemi olarak adlandırılır. Yaşlandırmanın başlangıcında, oluşan koherent çökeltilerin boyutu çok küçük olduğundan, bunlar dislokasyon hareketini çok az etkiler, dolayısıyla, malzemenin sertliği veya mukavemetinde önemli bir değişiklik olmaz. Çökeltilerin boyu arttıkça, dislokasyon hareketi zorlaşır ve malzemenin mukavemeti artar. Belirli bir süre sonunda, çökelti boyutu çok büyür, çökelti sayısı azalır ve malzemenin sertliği düşer. Bu durum aşırı yaşlanma devresi olarak adlandırılır.

Dislokasyonun engellerden kurtulup, akmanın meydana gelmesi için,

$$\tau_a = (2Gb/L) \quad (1)$$

değerinde bir gerilme malzemeye uygulanmak zorundadır. Burada, G , kayma modülü, b , Burgers vektörü ve L partiküller arasındaki mesafe olarak alınmaktadır.

Bir kristalde, kayma düzlemine etki eden τ kayma gerilmesi dislokasyonun birim uzunluğu başına τ_k kuvvetini meydana getirmektedir. Bu τ_b kuvveti (birim uzunluk başına) dislokasyon hareketine ters yöndeki f direncinden (birim uzunluk başına düşen kuvvet) büyük olduğunda, kristalde akma meydana gelmektedir [20]. Buradan, dislokasyonun akma mukavemeti (τ_a),

$$\tau_a = (f/b) \quad (2)$$

olarak bulunmaktadır. Bu iki denklem birleştirildiğinde partiküllerin

$$f_p = (2Gb^2/L) \quad (3)$$

değerinde bir direnç oluşturdukları bulunmaktadır. Bu denklemden anlaşılacağı gibi, mukavemetteki en büyük artış partiküllerin sert ve birbirlerine çok yakın olduğu durumda meydana gelmektedir.

1.6.3. Deformasyon Sertleştirilmesi

Malzemelerin mutlak ergime sıcaklıklarından (T_m) oldukça düşük sıcaklıklarda ($T < 0.3T_m$), plastik deformasyona uğramaları sonucu, mukavemetlerinin ve sertliklerinin artması " *deformasyon sertleştirilmesi* " olarak bilinmektedir [17]. $T < 0.3T_m$ şartlarında uygulanan plastik deformasyon, soğuk işlem olarak bilinmektedir [17]. Yüksek mukavemetli alüminyum alaşımlarının çoğu, deformasyon sertleştirilmesi işlemine tabi tutulduktan sonra kullanılır.

Deformasyon sertleştirilmesi, dislokasyon yoğunluğunun artması ve kafes yapısının çarpılmasından kaynaklanmaktadır [17]. Soğuk işlem ile malzeme mukavemetindeki artış soğuk işlem miktarı ile orantılı olmaktadır. Tavlanmış bir malzemede dislokasyon yoğunluğu 10^6 - 10^8 cm^{-2} civarındadır. Fazla miktarda soğuk işlem görmüş bir malzemede ise dislokasyon yoğunluğu yaklaşık olarak 10^{12} cm^{-2} değerine ulaşmıştır [18].

Soğuk işlem sonucunda, malzemenin taneleri deformasyon yönünde uzamakta ve belirli kristalografik doğrultularda yönlenmektedir. Tanelerde dislokasyon yoğunluğunun artması yanında birçok atom boşluğu da meydana gelmekte, aynı zamanda malzemenin yoğunluğunda bir miktar azalma görülmektedir.

Soğuk işlem sonucunda, malzeme yapısında meydana gelen dislokasyon yoğunluğu ile malzemenin mukavemetinde meydana gelen artış aşağıdaki bağıntıyla hesaplanabilir,

$$\sigma_p = \alpha \cdot Gb\rho^{1/2} \quad (4)$$

Burada ;

σ_p : Akma Mukavemeti

G : Kayma elastiklik modülü

b : Burgers vektörü

ρ : Dislokasyon yoğunluğu

α : Malzeme Sabiti (Genellikle 0.3 ile 0.4 arasındadır.)

Soğuk işlem sırasında sarfedilen enerjinin bir kısmı dislokasyon enerjisine çevrilmekte, bir kısmı ise ısı halinde kaybolmaktadır. Böylece enerjinin büyük bir kısmı dislokasyon enerjisi halinde malzeme içinde depo edilmiş olmaktadır.

Soğuk işlem oranı arttıkça, malzemenin sertlik ve mukavemet değerleri artar, buna karşılık süneklik değerleri ise azalır [18]. Metalik malzemelerde söz konusu işlem miktarı sınırlıdır. Belirli bir soğuk işlem oranından sonra malzeme gevrekleşir. Malzemede dislokasyonların meydana gelmesi ve soğuk işlem oranı ile bunların miktarının artması malzemede çatlaklara sebep olmaktadır [17]. Çatlak oluşumunu önlemek ve soğuk işlemle azalan sünekliği artırmak amacıyla malzeme söz konusu işlem sırasında zaman zaman tavlanır.

1.7. Literatür Özeti ve Çalışmanın Amacı

Çinko-alüminyum alaşımlarının, birçok bakımdan bronz, prinç ve dökme demir gibi geleneksel yatak malzemelerinden daha üstün olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, ikili Zn-Al alaşımlarının, özellikle oda sıcaklığındaki sürünme ve çekme dayanımı ile elastiklik modülünün pek çok uygulama için yetersiz olduğu görülmüştür. Ayrıca, bu alaşımların mukavemet değerlerinin artan sıcaklıkla önemli ölçüde düşmesi ve bakır katkısının boyutsal kararsızlık problemine yol açması, dikkat edilmesi gereken diğer hususları teşkil etmektedir.

Çinko-alüminyum alaşımlarının mekanik özelliklerinin, alaşım elementi katkısından başka, mukavemet artırıcı yöntemlerle de iyileştirilebileceği görülmüştür. Uygun mukavemet artırma yöntemleri uygulayarak bu alaşımlardan imâl edilecek parçaların çalışma ömürlerinin uzatılması, bazı ekonomik ve teknolojik yararlar sağlayabilir.

Bu nedenle, bu çalışmanın amacı, çinko-alüminyum esaslı alaşımlar için en uygun mukavemet artırma yöntemi veya yöntemlerini belirlemektir. Bunun için, çinko-alüminyum esaslı, bir dizi alaşım üretilerek ve gerek dökülmüş, gerekse ısıtılmış işlem görmüş durumlarda değişik mukavemet artırma yöntemlerinin, bu alaşımların yapı ve mekanik özelliklerine etkileri belirlenecektir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. Alaşımların Üretimi ve Mukavemet Artırma İşlemleri

Bu çalışmada, bir adet ikili çinko-alüminyum, iki adet üçlü çinko-alüminyum-bakır ve bir adet çinko-alüminyum-silisyum alaşımı, kokil döküm yöntemi ile üretildi. Alaşımların üretiminde yüksek saflıkta (% 99,99) çinko, elektrolitik bakır (% 99,99) ve ticari saflıkta (% 99,7) alüminyum kullanıldı. Bakır içeren üçlü alaşımlar için önce intermetalik bakır - alüminyum alaşımı (AlCu50) üretildi. Silisyum içeren üçlü alaşım için de Etial-140 (AlSi12) kullanıldı. Ergitme işlemi sıcaklık kontrollü elektrikli bir pota fırını içinde gerçekleştirildi. Ergitilen alaşımlar kimyasal bileşim oranlarına göre 600-700 °C sıcaklık aralığında uygun bir döküm sıcaklığından, 300 °C sıcaklığa kadar ısıtılmış bir kokile dökülerek katılaştırıldı. Çalışmada 45x60x200 mm ve 20x60x200 mm boyutlarında, konik biçimli iki adet kokil kullanıldı. Üretilen alaşımların kimyasal bileşimleri yaş analiz yöntemiyle belirlendi.

Söz konusu alaşımlar, hem çökeltme sertleştirilmesi hem de deformasyon sertleştirilmesi işlemlerine tabi tutuldu. Çökeltme sertleştirilmesi işlemi için, alaşımlar 375 °C sıcaklıkta 48 saatlik bir süre çözündürme işlemine tabi tutulduktan sonra suya daldırıldı. Su verilen alaşımlar çeşitli sıcaklıklarda toplam 373 saatlik bir yaşlandırma işlemine tabi tutuldu.

Deformasyon sertleştirilmesi işleminde ise, alaşımlar gerek dökülmüş gerekse ısı işlem görmüş durumlarda basma deneyine tabi tutularak, gittikçe artan oranlarda deforme edildi. Numuneler kırılana dek (% 40 deformasyon oranı) basma deneyine devam edildi.

2.2. Metalografik İncelemeler

İç yapı incelemeleri için, gerek dökülmüş ve gerekse ısı işlem görmüş durumdaki alaşımlardan alınan numuneler, standart metalografi yöntemiyle hazırlandıktan sonra % 10'luk nital (alkol + % 10 nitrik asit) içerisinde dağlandı. Dağlanan numuneler ışık mikroskopunda incelendikten sonra, iç yapıları gösteren fotoğraflar çekildi.

2.3. Mekanik Deneyler

2.3.1 Çekme Deneyi

Üretilen alaşımlardan, TS-138A standardına uygun çekme numuneleri, talaşlı imalât yöntemiyle hazırlandı. Çekme deneyleri 13×10^{-2} mm/s'lik, sabit bir çekme hızında gerçekleştirilerek, söz konusu alaşımların çekme dayanımları ve kopma uzaması değerleri belirlendi.

2.3.2. Sertlik Deneyi

Alaşımlardan alınan numuneler, talaşlı imalât yöntemi ile yüzeyleri paralel olacak şekilde işlendikten sonra parlatıldı. Sertlik ölçümleri, (BSD 5) 31.25 kg'lık yük altında, çapı 2.5 mm olan bilya uç kullanılarak gerçekleştirildi. Her numune üzerinde beş sertlik ölçümü yapılarak, elde edilen değerlerin ortalaması alındı. Sertlik ölçümleri sonucunda, alaşımların sertlik değerlerinin gerek deformasyon oranına, gerekse yaşlandırma süresine göre değişimleri belirlendi.

3.DENEY SONUÇLARI

3.1 Kimyasal Analiz Sonuçları

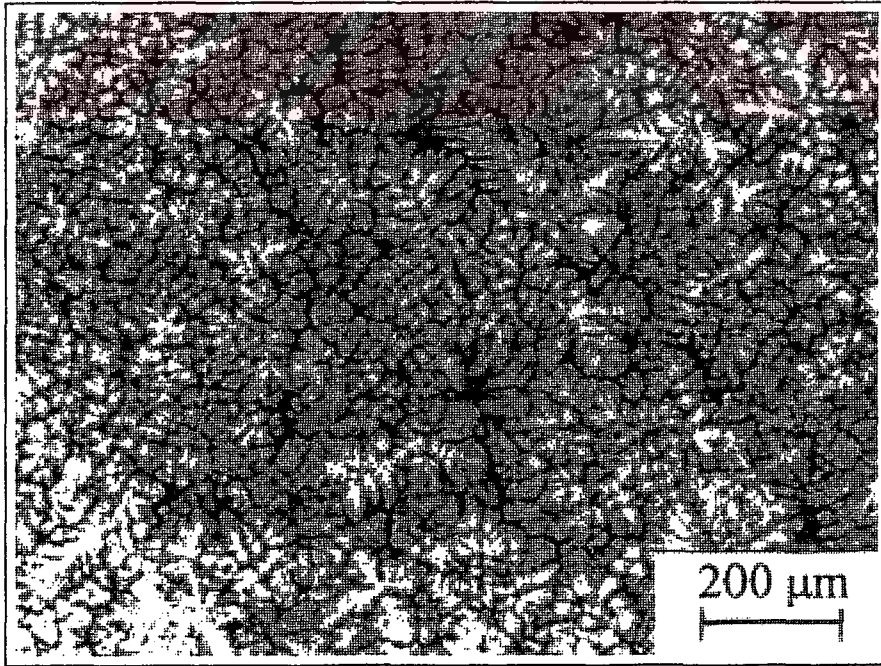
Çalışmada incelenen alaşımların kimyasal bileşimleri yaş analiz yöntemi kullanarak belirlenmiş ve Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. Alaşımların Kimyasal Bileşimleri

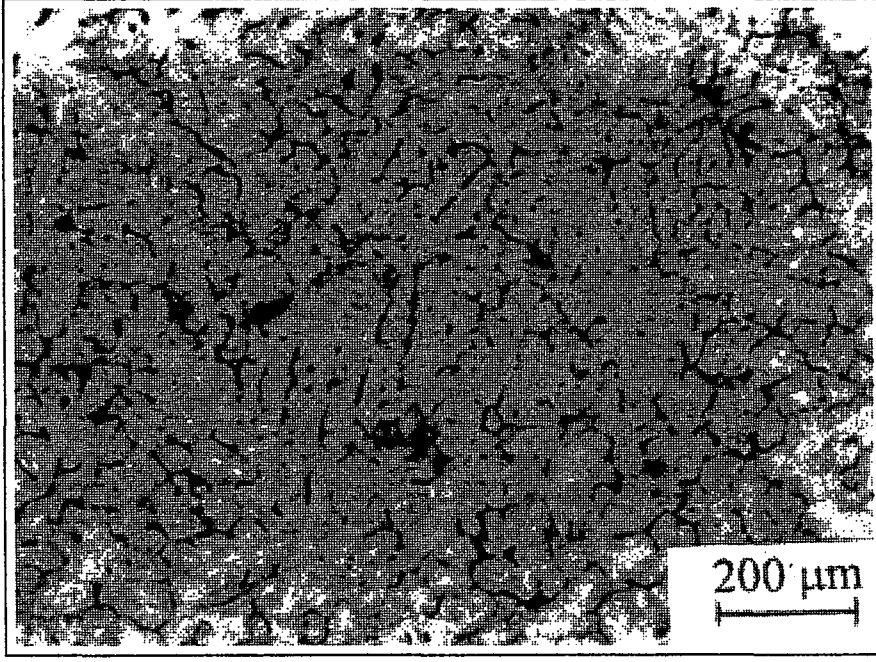
Alaşım	Kimyasal Bileşim, (% Ağırlık)			
	Zn	Al	Cu	Si
ZnAl22	78.1	21.9	-	-
ZnAl22Cu3	75.5	21.5	3	-
ZnAl40Cu2	57.7	40.3	2	-
ZnAl40Si2	57.9	40.1	-	2

3.2. Alaşımların İç Yapıları

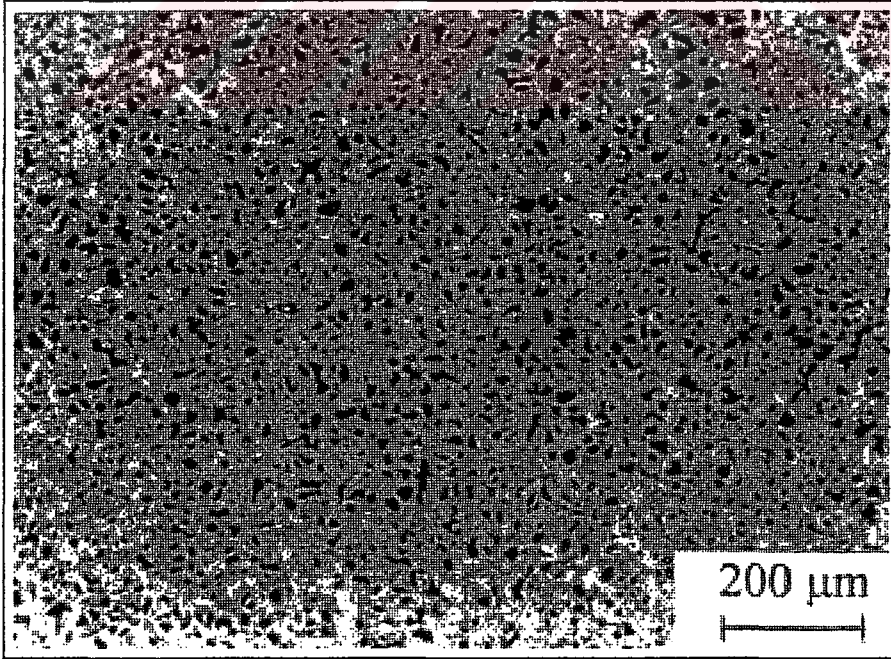
İkili $ZnAl_{122}$ alaşımının dökülmüş durumdaki iç yapısı, Şekil 4'de görüldüğü gibi, alüminyumca zengin dendritler ve bunları çevreleyen çinkoca zengin dendritlerarası fazlardan oluşmaktadır. Düşük oranda bakır içeren $ZnAl_{122}Cu_3$ alaşımının iç yapısı ise, Şekil 5'de görüldüğü gibi, morfolojik bakımdan ikili ötektoid alaşımın iç yapısına çok benzemektedir. Ancak, dendritlerarası bölgelerde bakırca zengin, kararsız dengeli ϵ fazının yer aldığı görülmüştür. Monotektoid esaslı, üçlü $ZnAl_{140}Cu_2$ alaşımının dökülmüş durumdaki iç yapısı, Şekil 6'da görüldüğü gibi, alüminyumca zengin geniş α dendritleri ile çinkoca zengin η ve ϵ fazlarından oluşmaktadır. Silisyum içeren, monotektoid esaslı $ZnAl_{140}Si_2$ alaşımının dökülmüş haldeki iç yapısının ise, alüminyumca zengin göbekli α dendritleri ile, dendritlerarası bölgelerde yer alan çinkoca zengin η fazı ve silisyum parçacıklarından oluştuğu gözlemlendi. Bu yapının görüntüsü Şekil 7'de verilmiştir.



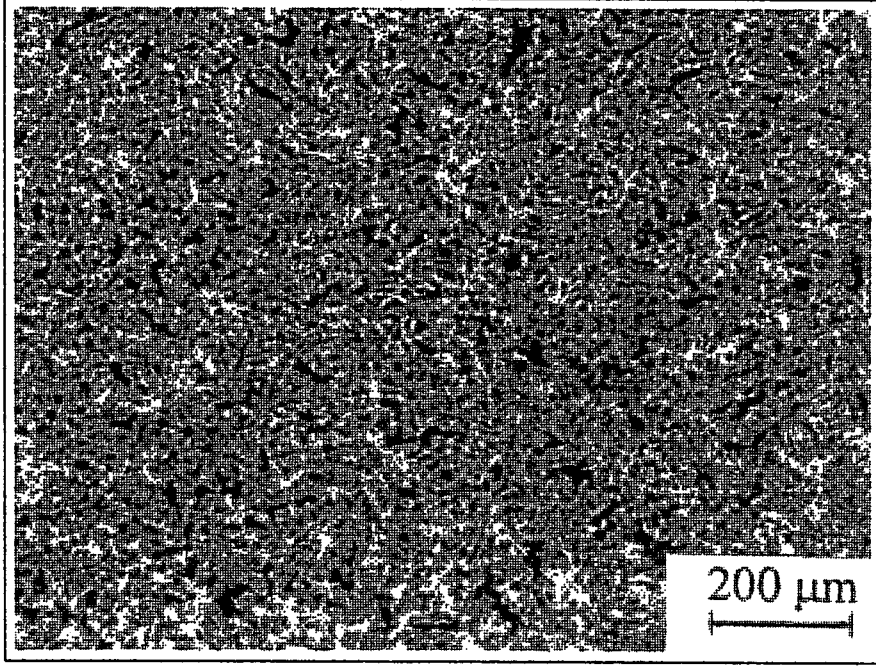
Şekil 4. $ZnAl_{122}$ Alaşımının Dökülmüş Durumdaki İç Yapısı



Şekil 5. ZnAl₂₂Cu₃ Alaşımının Dökülmüş Durumdaki İç Yapısı

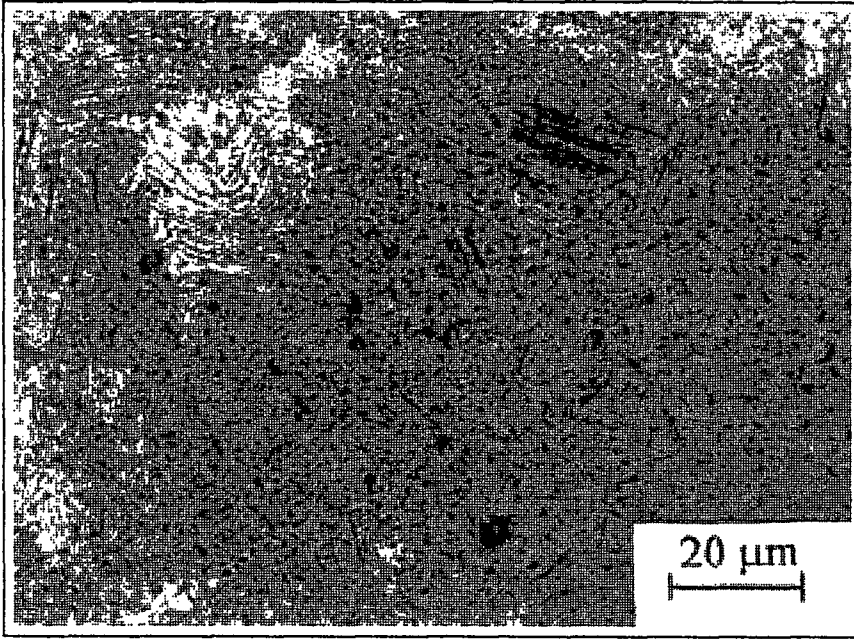


Şekil 6. ZnAl₄₀Cu₂ Alaşımının Dökülmüş Durumdaki İç Yapısı

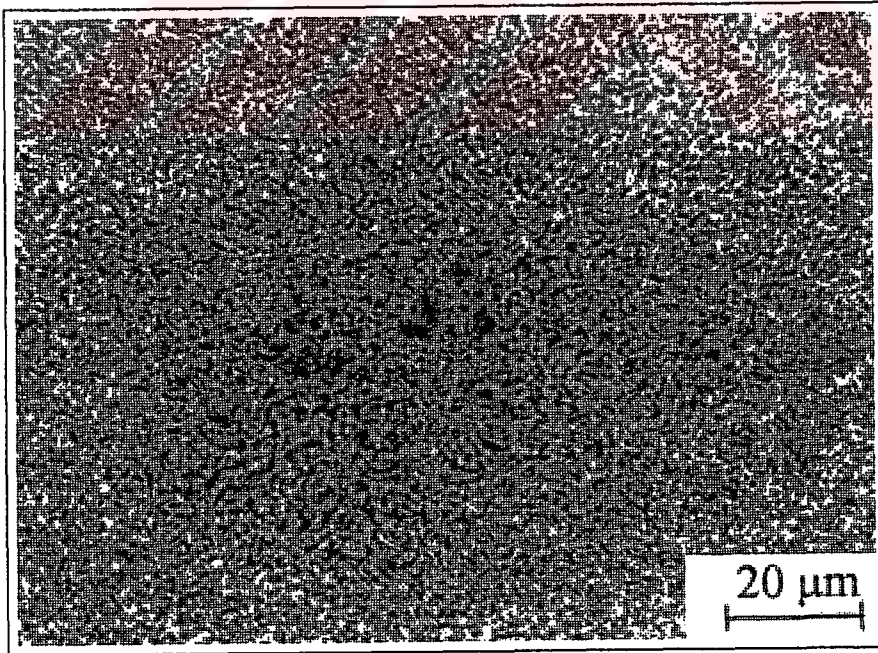


Şekil 7. $ZnAl_{40}Si_2$ Alaşımının Dökülmüş Durumdaki Yapısı

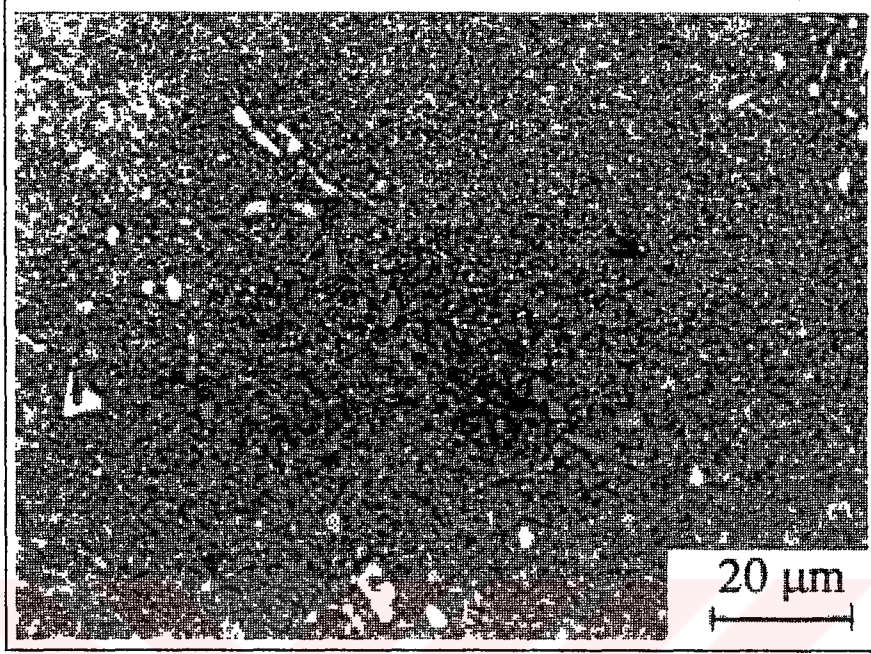
İkili $ZnAl_{122}$ ötektoid alaşımının fırında soğutulması sonucunda, Şekil 8'de görüldüğü gibi, alüminyum ve çinkoca zengin katmanlar içeren lamelli bir iç yapı oluştuğu gözlemlendi. Üçlü $ZnAl_{40}Cu_2$ alaşımında, fırında soğutma işlemi sonrası alüminyumca zengin bir matris ile bunun içerisinde dağılmış küçük boyutlu çökelti (çinkoca zengin η fazı ile bakırca zengin metallerarası bileşikler) içeren bir yapı oluştuğu görüldü, Şekil 9. Fırında soğutulmuş durumdaki $ZnAl_{40}Si_2$ alaşımının ise, alüminyum ve çinkoca zengin fazlar ile, silisyum parçacıklarından oluşan bir yapıya sahip olduğu belirlendi. Bu yapı Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 8. Çözündürme İşlemi Sonunda, Fırında Soğutulmuş Durumdaki ZnAl22 Alaşımının İç Yapısı

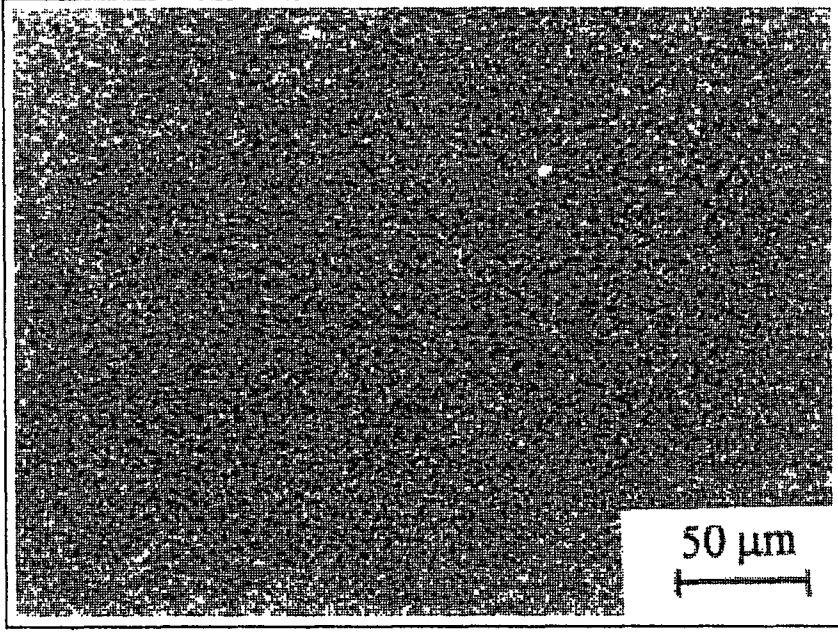


Şekil 9. Çözündürme İşlemi Sonunda, ZnAl40Cu2 Alaşımının Fırında Soğutulmuş Durumdaki İç Yapısı

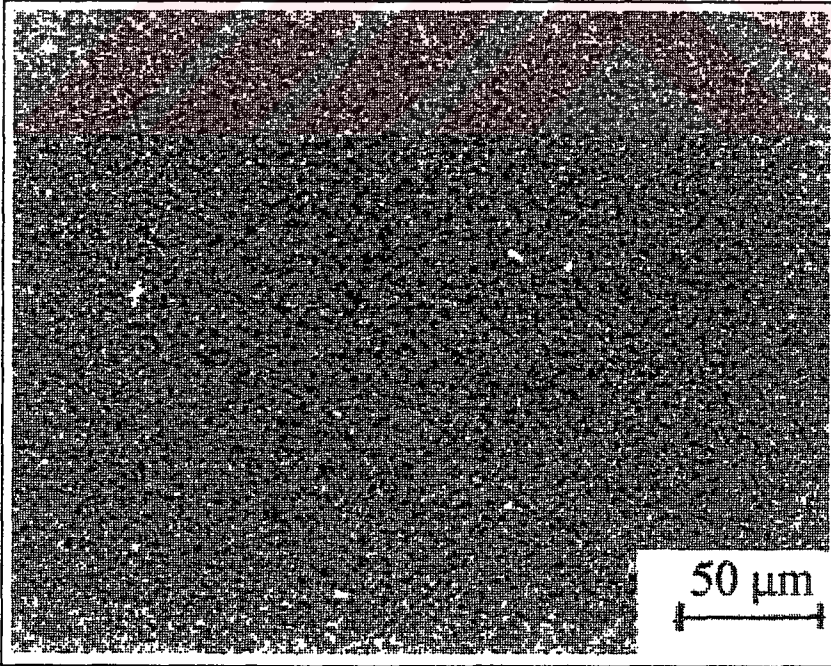


Şekil 10. Çözündürme İşlemi Sonunda, $ZnAl_{40}Si_2$ Alaşımının Fırında Soğutulmuş Durumdaki İç Yapısı

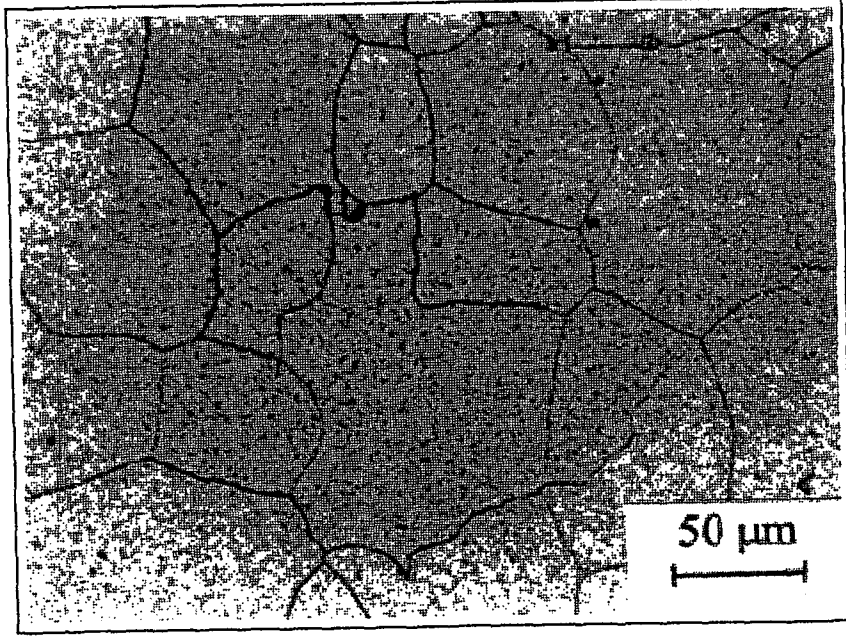
Su verme işleminden sonra, Şekil 11'de görüldüğü gibi, 100 °C sıcaklıkta üç saat süre yaşlandırıldıktan sonra, $ZnAl_{22}$ alaşımında, çok küçük boyutlu ve eş eksenli α ve η fazlarını içeren bir yapı oluştuğu gözlemlendi. $ZnAl_{22}Cu_3$ alaşımında ise, aynı işlem sonunda, ikili ötektoid alaşımın iç yapısından farklı olarak bakırca zengin fazların oluştuğu görüldü, Şekil 12. Monotektoid esaslı, $ZnAl_{40}Cu_2$ alaşımında, çözündürme ve su verme işlemleri sonunda, geniş α/α' tanelerini içeren bir yapının oluştuğu belirlendi, Şekil 13. Şekil 14'de görüldüğü gibi, yaşlandırma işlemi sırasında, tane sınırlarında ve tane içi bölgelerde oluşan çökeltilerin yoğunluğunun, artan yaşlandırma süresi ile arttığı gözlemlendi. $ZnAl_{40}Si_2$ alaşımında ise, 100 °C sıcaklıkta üç saat süre yaşlandırma işlemi sonunda, dendritlerarası bölgelerde β fazının dönüşüm ürünleri olan lamellerden başka, kaba taneler içeren bir yapı görüldü. Bu yapı, Şekil 15'de verilmiştir. Bu incelemeler sonucunda yaşlandırma işleminin, silisyum parçacıklarının dağılımı ve boyutu üzerinde fazla bir etkisinin olmadığı belirlendi.



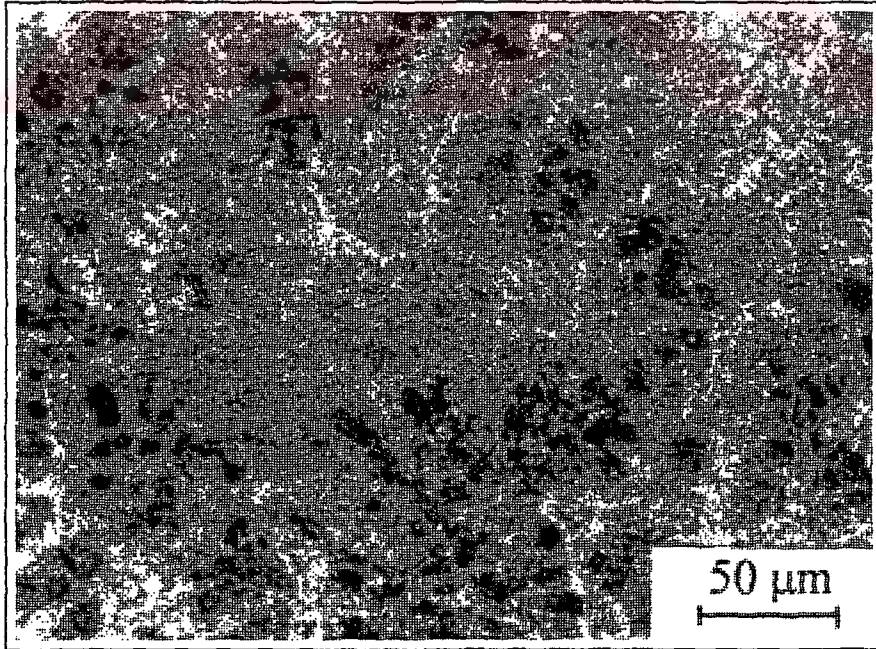
Şekil 11. Su Verme İşlemi Sonrası 100 °C Sıcaklıkta 3 Saatlik Süre Yaşlandırılan ZnAl₂₂ Alaşımının İç Yapısı



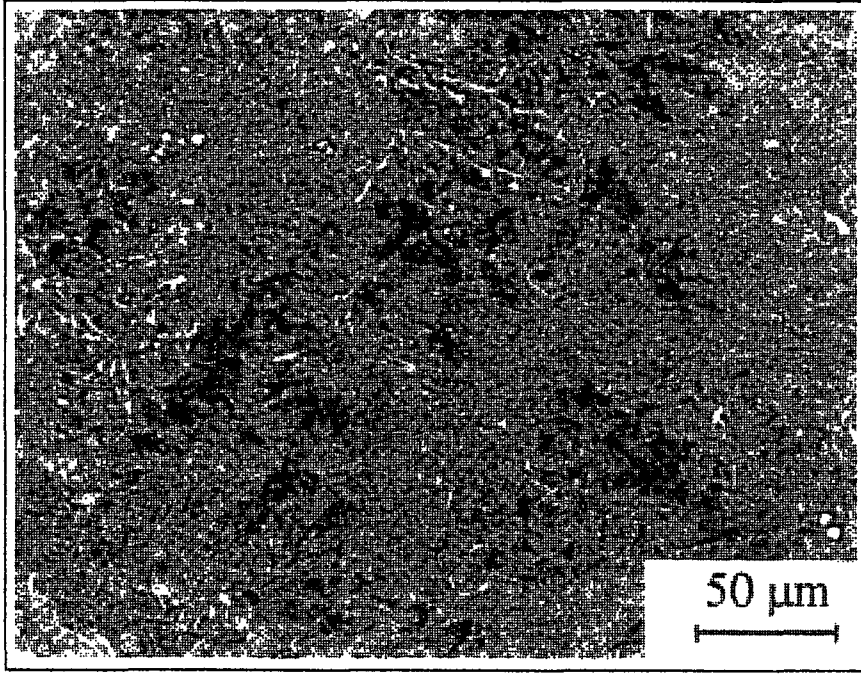
Şekil 12. 100 °C Sıcaklıkta 3 Saat Yaşlandırılan ZnAl₂₂Cu₃ Alaşımının İç Yapısı



Şekil 13. ZnAl40Cu2 Alaşımında, Su Verme İşlemi Sonrası Oluşan Aşırı Doymuş α/α' Katı Çözeltisi



Şekil 14. 100 °C Sıcaklıkta 3 Saat Yaşlandırılan ZnAl40Cu2 Alaşımının İç Yapısı



Şekil 15. 100 °C Sıcaklıkta 3 Saat Yaşlandırılan ZnAl40Si2 Alaşımının İç Yapısı

3. 3. Mekanik Deney Sonuçları

Alaşımın değişik durumlardaki sertlik, çekme dayanımı ve darbe dayanımı değerleri Tablo 5’de verilmiştir.

Tablodan görüldüğü gibi, bakır içeren alaşımlar, diğer alaşımlara göre daha yüksek sertlik ve çekme dayanımı değerlerine sahiptir. Buna karşılık, en büyük kopma uzaması değeri ise, ikili alaşımdan elde edilmiştir.

Çözündürme işlemi sonrası fırında soğutulmuş alaşımların, havada soğutulmuş alaşımlardan daha düşük sertlik ve mukavemet değerlerine sahip olduğu görüldü. Çözündürme işlemi sonunda, 100°C sıcaklıkta bir saatlik süre yapay olarak yaşlandırılan alaşımların sertlik ve mukavemet değerlerinde ise, belirgin bir artış gözlemlendi. Bu sıcaklıkta uygulanan yaşlandırma işleminin, sadece ikili ötektoid alaşımların sertlik ve mukavemet değerlerini düşürdüğü görüldü.

Aynı oranda alüminyum içeren ZnAl40Cu2 alaşımlarının, ZnAl40Si2 alaşımlarından daha yüksek sertlik ve mukavemet değerine sahip olması, bakır katkılarının bu alaşımların mekanik özelliklerini silisyum katkılarından daha çok etkilediğini göstermektedir.

Tablo 5. Mekanik Deney Sonuçları

Alaşım	İşlem Durumu	Sertlik (BSD-5)	Çekme Dayan. (MPa)	Kopma Uzaması (%)	Darbe Enerj. (J)
ZnAl22	A	75	274	3	38
	B	102	292	2	20
	C	67	191	10	44
	D	50	120	137	46
ZnAl22Cu3	A	109	351	2	15
	B	117	396	1	12
	C	96	295	3	28
	D	137	400	1	16
ZnAl40Cu2	A	115	356	3	21
	B	109	389	2	39
	C	90	212	2	49
	D	135	420	1	23
ZnAl40Si2	A	95	202	2	14
	B	96	271	2	12
	C	71	261	4	28
	D	125	310	2	25

Tabloda kullanılan harfler alaşıma uygulanan ısı işlemini göstermektedir.

A: Dökülmüş durumda

B: Çözündürme işlemi sonrası havada soğutulmuş

C: Çözündürme işlemi sonrası fırında soğutulmuş

D: Su verme işlemi sonrası yapay olarak yaşlandırılmış

Fırında soğutulmuş durumdaki alaşımların, havada soğutulmuş alaşımlar ile dökülmüş durumdaki alaşımlardan daha yüksek darbe dayanımı sergiledikleri gözlemlendi. Alaşımlar bir saatlik süre yapay yaşlandırma işlemine tabi tutulduklarında, darbe dayanımlarının düştüğü görüldü. En düşük sertlik ve çekme mukavemetine sahip olan ZnAl22 alaşımının, diğer alaşımlardan daha yüksek darbe dayanımı sergilediği gözlemlendi.

3.4. Çökme Sertleştirme Deneyi Sonuçları

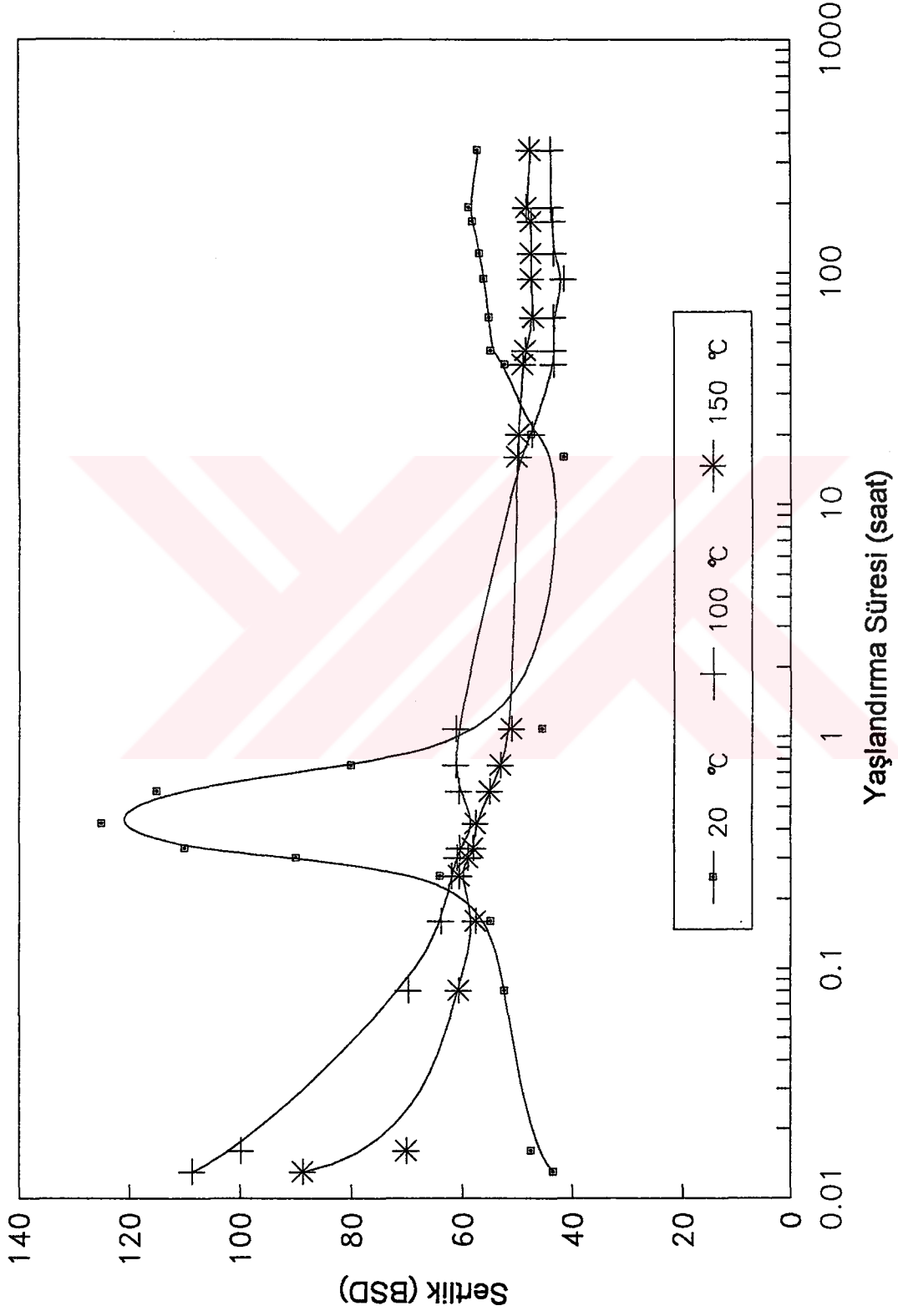
Yaşlandırma süresine göre, alaşımların sertlik değerlerindeki değişimi gösteren eğriler Şekil 16, 17, 18 ve 19 'da, çekme mukavemeti değerlerindeki değişimi gösteren eğriler Şekil 20'de, darbe dayanımındaki değişimi gösteren eğriler ise Şekil 21'de verilmiştir.

Şekillerden görüleceği gibi, ikili ötektoid alaşımın su verme işleminden sonra oda sıcaklığında bile aniden dönüşüme uğradığı gözlemlendi. Dönüşüm sırasında hızla çökelen fazlar sertliğin aniden artarak kısa sürede tepe noktasına ulaşmasına neden olmuştur. Dönüşümü idare eden difüzyon hızı sıcaklıkla exponansiyel olarak arttığından, oda sıcaklığının üzerindeki yaşlandırma işlemleri sırasında sertlik tepesi belirlenememiştir. ZnAl22 alaşımının sertlik ve mukavemet değerleri yaşlandırma işlemi sonunda azalmış, sünekliği ise artmıştır.

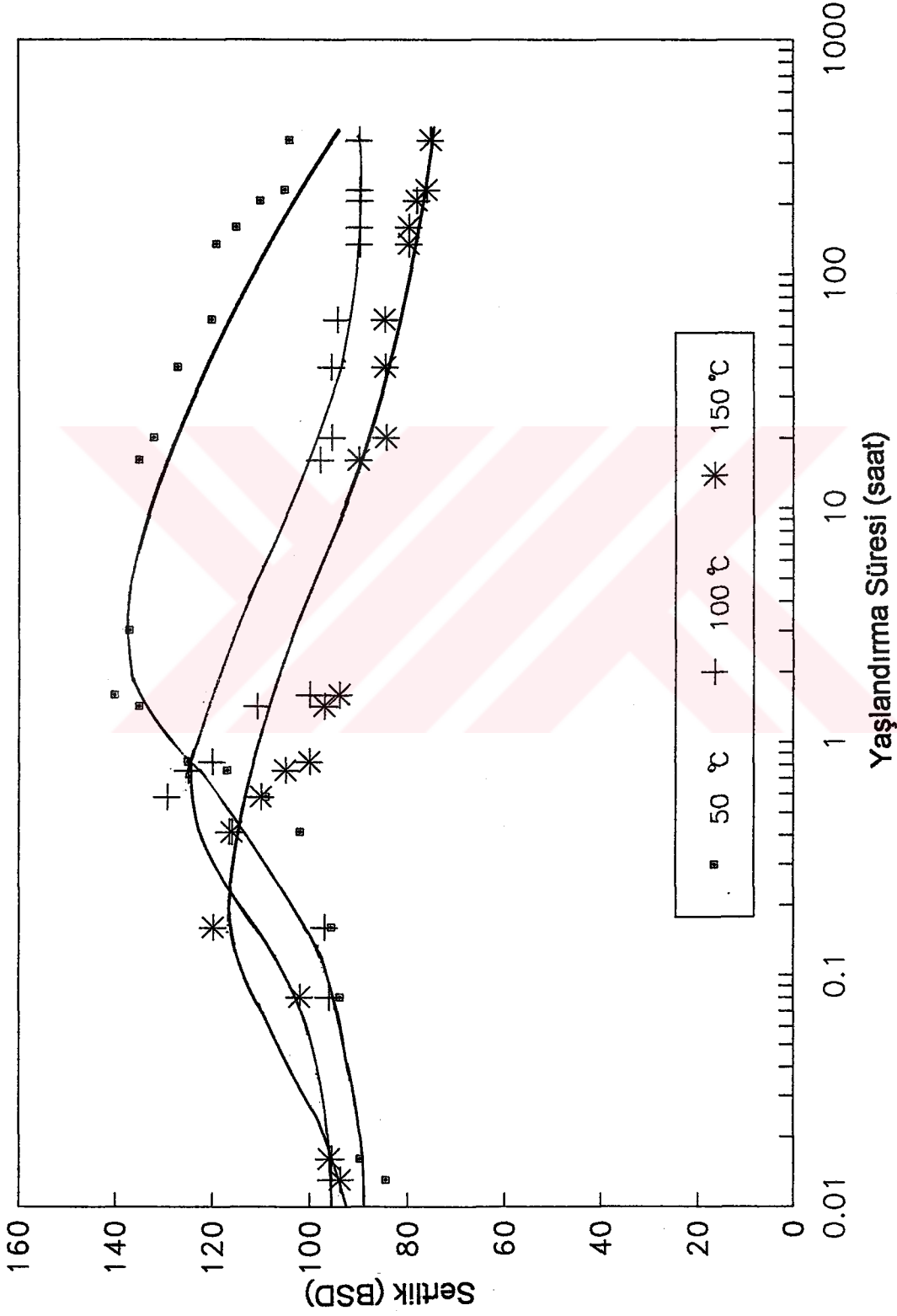
Üçlü ötektoid ZnAl22Cu3 alaşımının sertliği ise ZnAl22 alaşımının sertliğine nazaran daha uzun bir yaşlandırma süresi sonunda maksimum değere ulaşmıştır. Bu durum, bakır katkısının difüzyon hızını düşürerek dönüşümü yavaşlattığını göstermektedir. Yaşlandırma sıcaklığı arttıkça, sertlik ve mukavemet değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Yaşlandırma işlemi, bu alaşımın darbe dayanımını olumsuz etkilemiştir.

Monotektoid esaslı üçlü ZnAl40Cu2 alaşımının sertliği ise, ZnAl22Cu3 alaşımının sertliğine göre daha kısa bir yaşlandırma süresinde maksimum değere ulaşmıştır. Bu alaşımın sertlik ve mukavemet değerleri yaşlandırma işlemi ile artarken, darbe dayanımı azalmıştır.

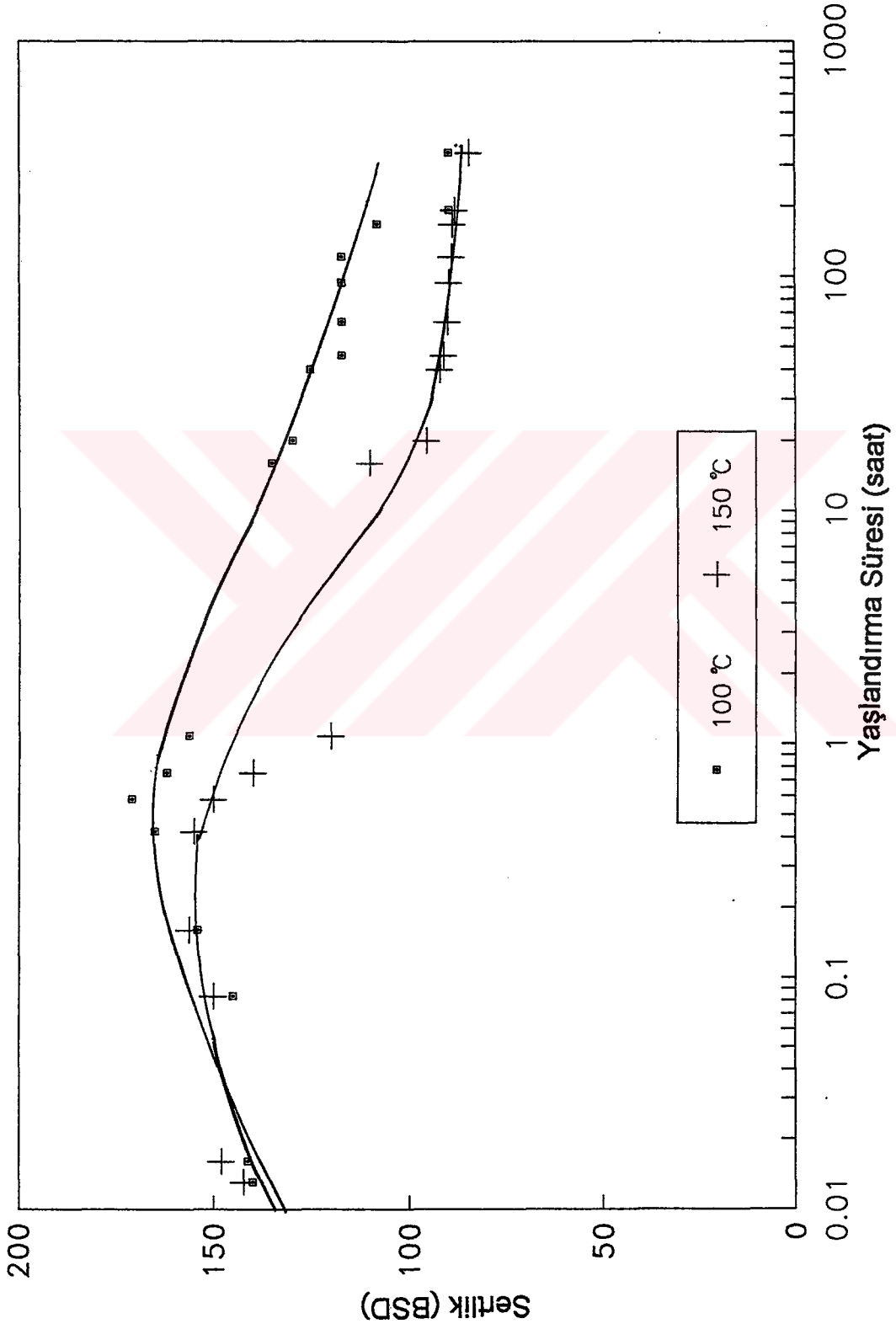
Monotektoid esaslı üçlü ZnAl40Si2 alaşımının sertliği ise, ZnAl40Cu2 alaşımının sertliğine nazaran daha kısa bir yaşlandırma süresinde tepe noktasına erişmiştir. Bu alaşım, hemen hemen bütün durumlarda bakır içeren alaşımlardan daha düşük sertlik ve mukavemet değerleri sergilemiştir.



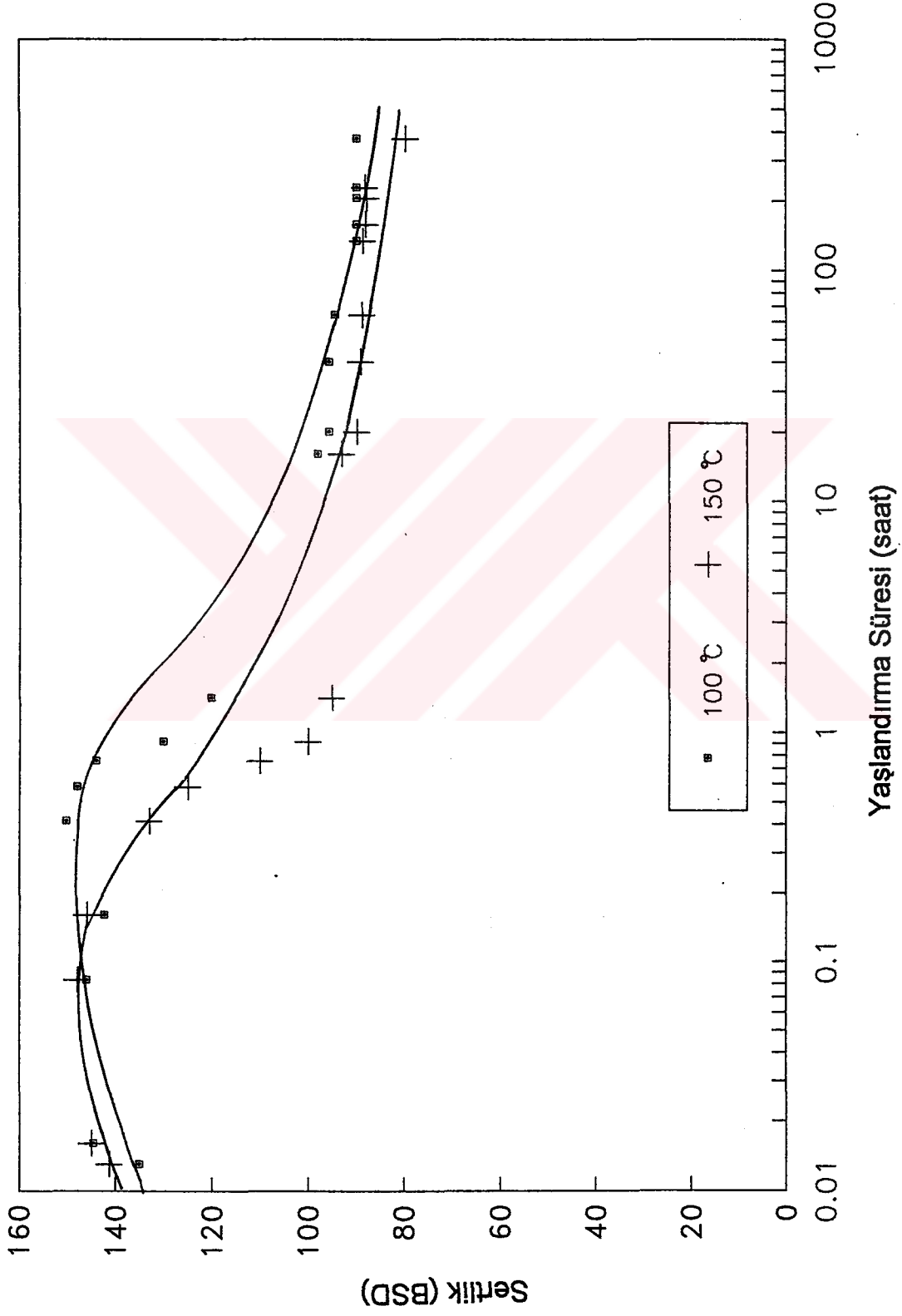
Şekil 16. ZnAl22 Alaşımının Sertliğinin, 20°C, 100°C ve 150°C Sıcaklıklardaki Yaşlandırma Süresine Göre Değişimini Gösteren Eğriler



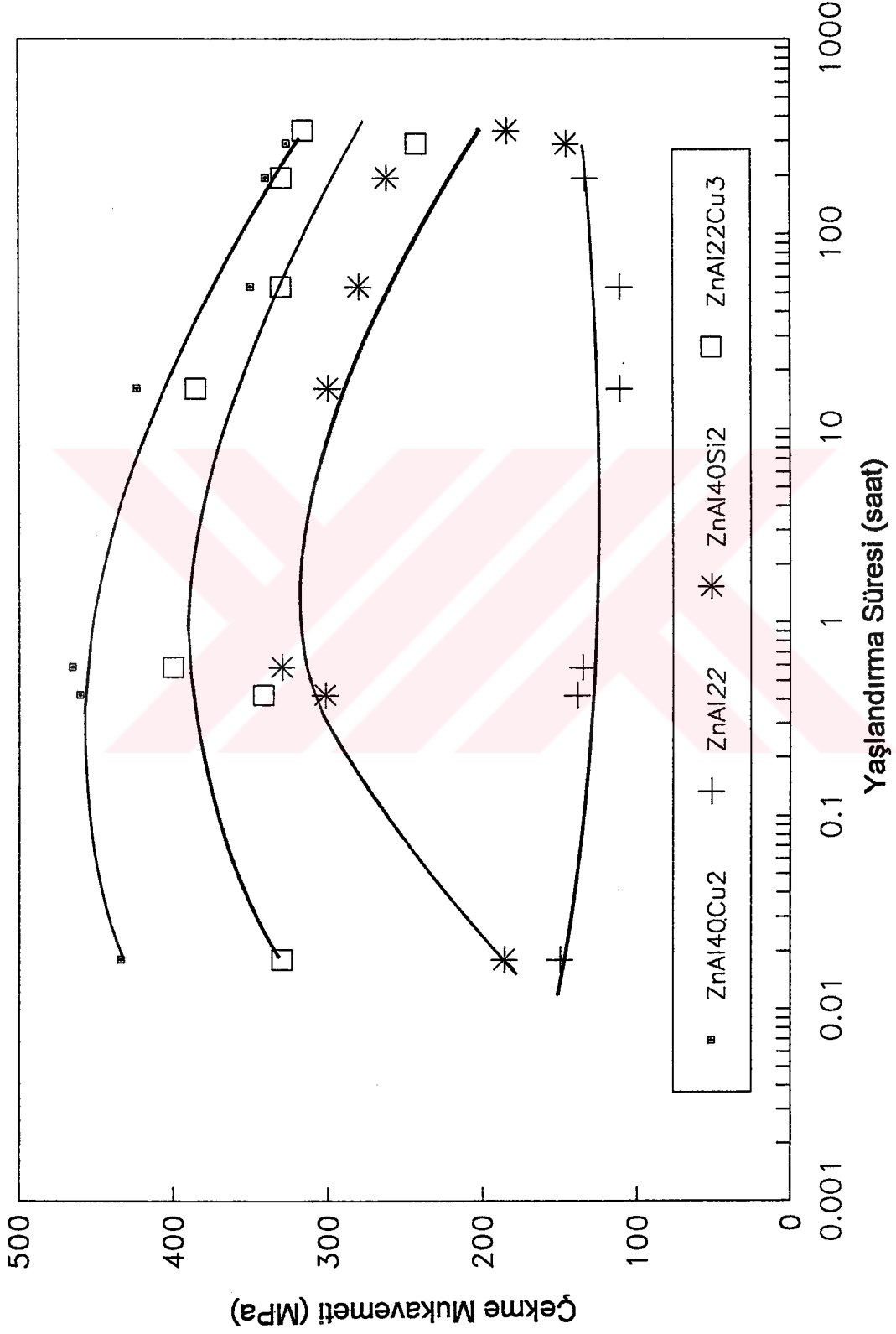
Şekil 17. ZnAl₂₂Cu₃ Alaşımının Sertliğinin, 20°C, 100°C ve 150°C Sıcaklıklardaki Yaşlandırma Süresine Göre Değişimini Gösteren Eğriler



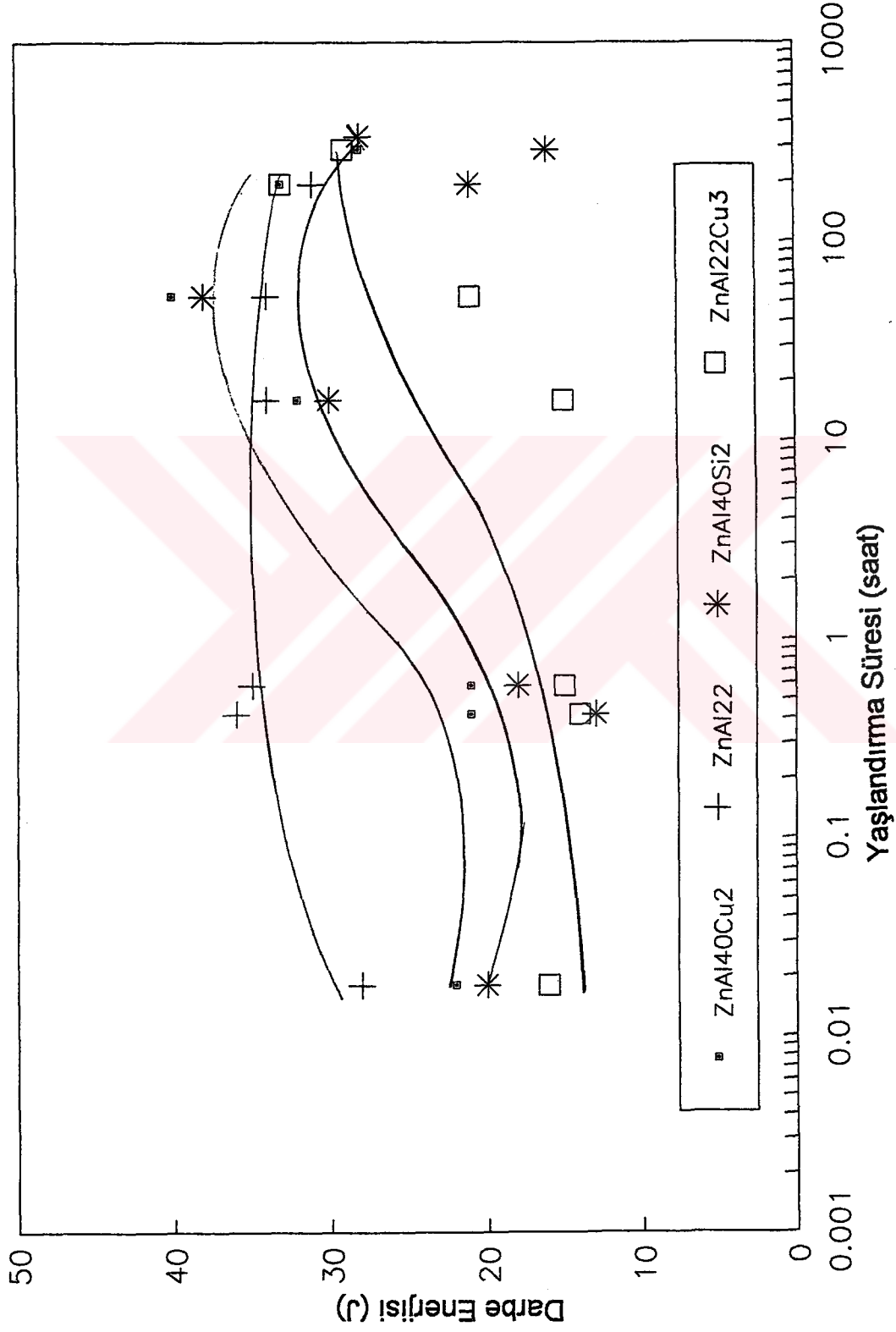
Şekil 18. ZnAl40Cu2 Alaşımının Sertliğinin, 100°C ve 150°C Sıcaklıklardaki Yaşlandırma Süresine Göre Değişimini Gösteren Eğriler



Şekil 19. Monotektoid Esaslı ZnAl40Si2 Alaşımının Sertliğinin, 100°C ve 150°C Sıcaklıklardaki Yaşlandırma Süresine Göre Değişimini Gösteren Eğriler



Şekil 20. 100°C Sıcaklıkta, 373 Saatlik Süre Yaşlandırılan Alaşımların Çekme Mukavemeti Değerlerinin Yaşlandırma Süresine Göre Değişimi



Şekil 21. 100°C Sıcaklıkta, 373 Saatlik Süre Yaşlandırılan Alaşımların Darbe Dayanımı Değerlerinin Yaşlandırma Süresine Göre Değişimi

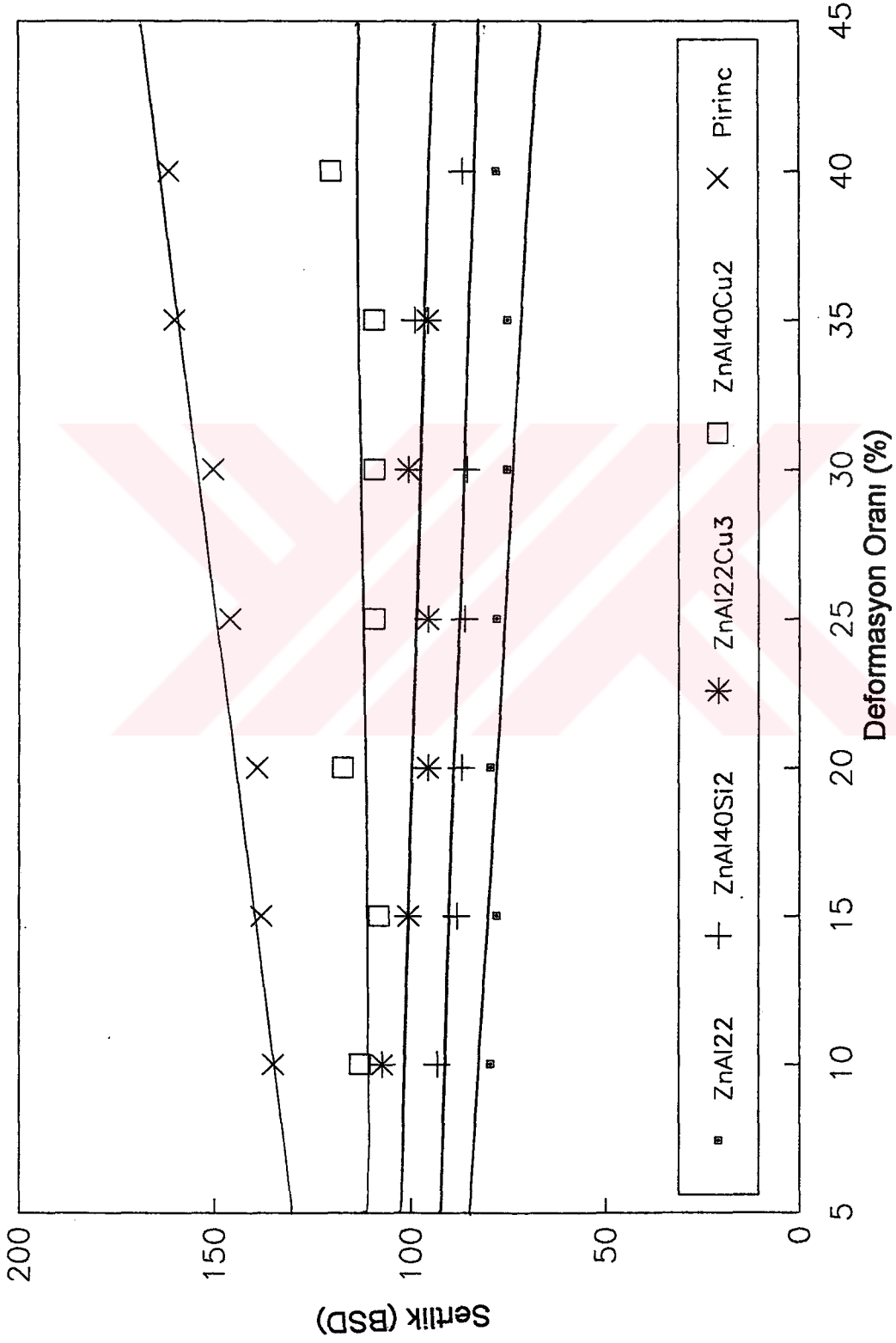
3.5. Deformasyon Sertleştirmesi Deneyi Sonuçları

Gerek dökülmüş, gerekse ısıl işlem görmüş durumdaki çinko-alüminyum alaşımlarından elde edilen deformasyon sertleştirmesi deneyi sonuçları, Tablo 6'da verilmiştir. Burada belirtilen ısıl işlem, 375°C sıcaklıkta 48 saat süreli çözündürme, su verme ve 100°C sıcaklıkta 3 saat süreli yaşlandırma işlemlerini içermektedir. Söz konusu alaşımların sertliğinin deformasyon oranına göre değişimini gösteren eğriler ise, Şekil 22 ve 23'de verilmiştir.

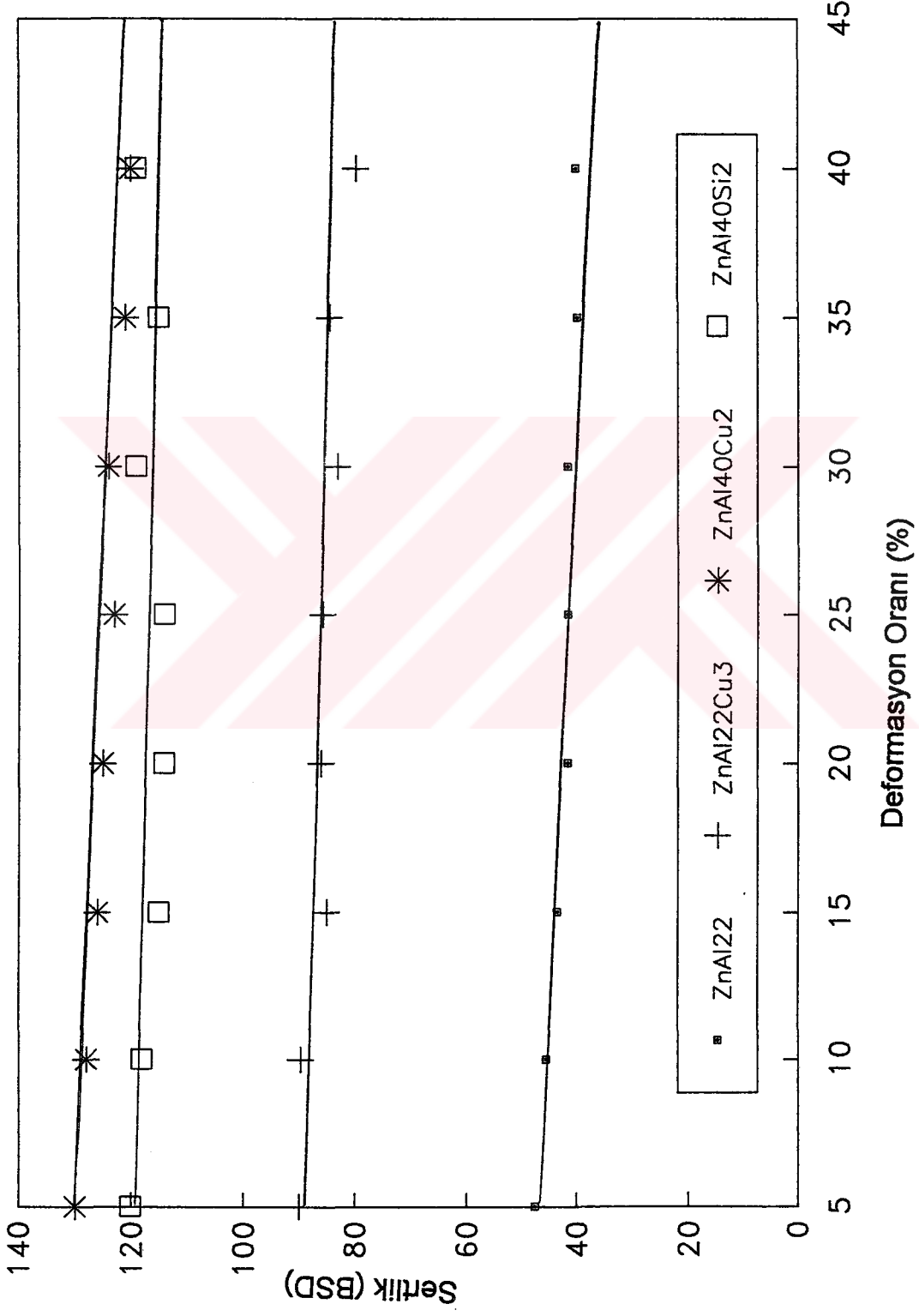
Bu tablo ve şekillerden görüldüğü gibi, basma deneyi ile deforme edilen çinko-alüminyum esaslı alaşımlarda sertleşme değil, az da olsa yumuşama meydana gelmiştir. En belirgin yumuşama, ısıl işlem görmüş ikili ötektoid ZnAl₂₂ alaşımında belirlendi. Buna karşılık, basma deneyi ile deforme edilen pirinçte ise belirgin bir sertlik artışı görüldü.

Tablo 6. Deformasyon Sertleştirme Deneyi Sonuçları

Alaşım	Deformasyon Oranı (%)	SERTLİK (BSD)	
		Dökülmüş Durumda	Isıl İşlem Gör.Dur.
ZnAl22	5	80	47
	10	78	45
	15	79	43
	20	78	42
	25	75	42
	30	75	42
	35	78	40
	40	75	40
ZnAl22Cu3	5	107	90
	10	101	90
	15	96	85
	20	96	86
	25	101	86
	30	96	83
	35	-	84
	40	98	80
ZnAl40Cu2	5	113	130
	10	108	128
	15	117	126
	20	109	125
	25	109	123
	30	109	124
	35	126	121
	40	117	120
ZnAl40Si2	5	93	120
	10	88	118
	15	87	115
	20	86	114
	25	86	114
	30	90	119
	35	87	115
	40	96	119



Şekil 22. Dökülmüş Durumdaki Zn-Al Alaşımlarının Sertliğinin, Deformasyon Oranına Göre Değişimi



Şekil 23. Isıl İşlem Görmüş Durumdaki Zn-Al Alaşımlarının Sertliğinin, Deformasyon Oranına Göre Değişimi

4. İRDELEME

Yapılan deneyler sonucunda, alaşım elementi katkısının, çinko-alüminyum alaşımlarının sertlik ve mukavemet değerlerini büyük ölçüde artırdığı görülmüştür. Bu durum, söz konusu alaşım elementlerinin, matris yapı içerisinde kısmen çözünerek, kısmen de metallerarası bileşik oluşturarak kafes yapısını çarpıtmasından (distorsiyon) kaynaklanmaktadır. Kafes yapısının çarpıtılması, başka bir deyişle, kayma düzlemlerinin pürüzleşmesi dislokasyon hareketini engellemektedir. Dislokasyon hareketinin engellenmesi ise, malzemenin sertlik ve mukavemetinin artmasına neden olmaktadır [19]. Bu çalışmada, bakır katkısının, alaşımların sertlik ve mukavemetini silisyumdan daha fazla etkilediği görülmüştür. Bakır, çinko-alüminyum matris içerisinde kısmen çözündüğü gibi, söz konusu matris ile reaksiyona girerek ϵ (CuZn_4) ve T' ($\text{Al}_4\text{Zn}_3\text{Cu}$) gibi metallerarası bileşikler oluşturmakta ve böylece alaşımın sertlik ve mukavemetini artırmaktadır [20]. Silisyum ise, çinko-alüminyum matrisi içerisindeki katı çözünürlüğü çok düşük olduğundan, yapıda saf silisyum halinde yer almakta ve alaşımların sertlik ve mukavemetlerini bakıra göre daha az etkilemektedir [10].

Çözündürme işlemi sonucunda, havada soğutulmuş durumdaki çinko-alüminyum alaşımlarının, fırında soğutulmuş durumdaki alaşımlardan daha yüksek sertlik ve mukavemet değerlerine sahip oldukları görülmüştür. Bu durum, havada ve fırında soğutulmuş alaşımların metalografik yapılarına dayandırılarak açıklanabilir. Şöyle ki, havada soğutulmuş alaşımların iç yapısındaki lamel aralığının, fırında soğutulmuş alaşımların lamel aralığından daha az olduğu bilinmektedir [10]. Söz konusu durum, bu çalışmada da gözlenmiştir. İç yapıdaki lamel aralığı azaldıkça, alaşımın sertlik ve mukavemeti artmaktadır [3]. Böylece, çözündürme işlemi sonunda havada soğutulmuş alaşımların, fırında soğutulmuş alaşımlardan daha yüksek sertlik ve mukavemet değerlerine sahip olması beklenen bir durumdur.

Mukavemet artırmak amacıyla uygulanan yaşlandırma işlemi sırasında, alaşımların sertlik ve mukavemet değerlerinin, belirli süreler içerisinde (yaşlandırma devresi), gittikçe artarak maksimum değere ulaştığı, bu tepe noktasını izleyen aşırı yaşlanma döneminde ise azaldığı görülmüştür, Şekil 16, 17, 18, 19.

Yaşlandırma sırasında, alaşımların sertlik ve mukavemetlerinde meydana gelen değişimler, su verme işlemi ile elde edilen aşırı doymuş katı çözeltinin iki ya da daha fazla faza dönüşmesinden kaynaklanmaktadır [8]. Söz konusu dönüşüm

difüzyona bağlı çekirdekleşme ve büyüme olayıdır [8]. Alaşımların sertlik ve mukavemetinde meydana gelen değişimler, kimyasal bileşimi ile yaşlandırma sıcaklığına bağlıdır [10]. Bu faktörler kimyasal doymuşluk ile dönüşüm hızını etkiler. Dönüşüm ürünlerini oluşturan küçük boyutlu çökeltiler, dislokasyon hareketini engellediklerinden sertlik ve mukavemet değerleri artar. Maksimum sertlik değerinden sonra, çökeltiler ana yapıdan ayrılıp kendi kafes yapılarını oluşturup büyümeye başlamasıyla sertlik ve mukavemet değerleri de düşer [16].

Verilen bir sıcaklıktaki dönüşüm, alaşımın kimyasal bileşimine bağlıdır. Bu çalışmada, alüminyum oranı arttıkça dönüşümün yavaşladığı, bu nedenle monotektoid esaslı alaşımların, ötektoid esaslı alaşımlara göre daha uzun süre içerisinde dönüşümlerini tamamladıkları görüldü.

Yüksek sıcaklıkta difüzyon hızlandığından, dönüşüm hızı artar, dönüşüm süresi ise azalır. Bu nedenle, ikili ZnAl₂₂ alaşımının oda sıcaklığı üzerindeki sıcaklıklarda yaşlandırılması sırasında sertlik tepeleri elde edilememiştir. Yaşlandırma sıcaklığı arttıkça, sertlik eğrilerinin tepe değerleri azalmıştır. Bu durum, yüksek sıcaklıkta, çekirdekleşme hızının düşük, büyüme hızının ise yüksek olmasından kaynaklanmaktadır [8].

Bakır katkısının, söz konusu alaşımların dönüşüm hızını büyük ölçüde düşürdüğü ve sertlik tepesine ulaşma süresini uzattığı gözlemlendi. Bu durum da , bakır katkısının alaşım içerisindeki difüzyonu yavaşlatmasından, yani atomsal hareketi engellemesinden kaynaklanmaktadır [8]. Silisyum katkısının ise, dönüşüm üzerinde bakır kadar etkili olmadığı görülmüştür. Bu da silisyumun, çinko-alüminyum matris içerisindeki katı çözünürlüğünün çok düşük olmasından ileri gelmektedir [10].

Bu çalışmada, yaşlandırılmış durumda, en düşük sertlik ve mukavemet değerleri, ikili ZnAl₂₂ alaşımında gözlenmiştir. Bu durum, söz konusu alaşımın yaşlandırılmış durumda süperplastik davranış sergilemesinden kaynaklanmaktadır [21]. Yaşlanma döneminde alaşımların sertlik ve çekme mukavemeti artarken darbe dayanımlarının azaldığı, aşırı yaşlanma döneminde ise, sertlik ve çekme mukavemeti değerleri düşerken darbe dayanımlarının arttığı gözlenmiştir. Bu durum, yaşlanma döneminde meydana gelen çarpılma ve yerel gerilmelerin etkisiyle malzemenin gevrekleştiğini, aşırı yaşlanma döneminde ise çökeltilerin kendi kafes yapılarında büyümesiyle süneklik kazandığını göstermektedir. Alaşımların darbe dayanımı değerleri, yaşlandırma döneminde, distorsiyon ve yerel gerilmelerin sertlik ve mukavemet değerlerini artırıp, malzemeyi gevrekleştirme nedeniyle azalmış; aşırı yaşlanma döneminde ise, bu değerlerin tersine, sünekliğin artması sonucu yükselmiştir.

Deformasyon sertleştirme yönteminin, söz konusu alaşımların sertlik ve mukavemet değerlerini artırmadığı, aksine, az da olsa azalttığı gözlenmiştir. Dökülmüş durumdaki alaşımların sertliğinin soğuk deformasyonla fazla değişmediği ancak, ısı işlem görmüş durumdaki alaşımların sertliğinin ise, bir miktar düştüğü gözlenmiştir. En belirgin sertlik düşüşü, ikili ZnAl₂₂ alaşımında görülmüştür. Söz konusu alaşımda, yaşlandırma işlemi sonunda ince taneli, eş eksenli bir yapı elde edilmiştir. Yapılan çekme deneyinde, bu alaşımın aşırı sünek bir davranış sergilediği ve kopma uzamasının % 137 seviyesine çıktığı belirlenmiştir. Bu tür alaşımlarda, birim hacimdeki tane sınırı alanının fazla olması nedeniyle plastik deformasyonun tane sınırı kayması ve tanelerin dönmesi mekanizmalarıyla meydana geldiği bilinmektedir [21]. Bu durum süperplastik davranış sergileyen alaşımlarda görülmektedir [21]. Süperplastik malzemeler, kafes yapısında ve tane yapısında gerilme yığılması ve çarpılma meydana gelmeden, düşük gerilmelerde bile tane sınırı kayması ve tane dönmesi mekanizmaları ile kolayca plastik şekil değiştirebilirler.

5. SONUÇLAR

1. İncelenen çinko-alüminyum alaşımlarının sertlik ve mukavemetlerini artırmak için uygulanabilecek en uygun yöntem, alaşım elementi katkısıdır.
2. Çinko-alüminyum alaşımlarının sertlik ve mukavemeti, çökeltme sertleştirme yöntemiyle önemli ölçüde artırılabilir. Ancak, bu artış sürekli olmayıp, söz konusu değerler belirli bir yaşlandırma süresi sonunda büyük bir azalma gösterir.
3. Deformasyon sertleştirme yöntemi, çinko-alüminyum alaşımlarının sertlik ve mukavemetlerini artırmadığı gibi, bu değerleri az da olsa düşürmektedir.
4. Yaşlandırma sıcaklığı arttıkça, alaşımlardan elde edilebilecek en yüksek sertlik değerleri düşmektedir.
5. Bakır katkıları, çinko-alüminyum alaşımlarının yaşlandırma sırasındaki dönüşümlerini büyük ölçüde yavaşlatmaktadır.
6. Bakır katkısı, Zn-Al alaşımlarının sertlik ve mukavemet değerleri üzerinde, silisyum katkısından daha etkilidir.

7. Çözündürme işlemi sonrası soğuma hızı arttıkça, Zn-Al alaşımlarının sertlik ve mukavemet değerleri artmaktadır.



6. KAYNAKLAR

1. Gervais, E., Loong, C.A., New ZA Alloys in Die Casting, 11th International Pressure Die Casting Conference, June 1984, Lyon, France, 1-25
2. Engineering Properties of Zinc Alloys, ILZRO, New York, April 1981.
3. Skenazi, A.F., Pelerin, J., Coutsouradis, D., Magnus, B., Meeus, M., Some Recent Developments in the Improvement of the Mechanical Properties of Zinc Foundry Alloys, Metall, 37, 9 (1983) 898-902.
4. Engineering Properties of Zinc Alloys, Goodwin, E., Ponikvar, A.L., Third Edition, International Lead Zinc Research Organization Inc., 1989.
5. Prensyaikov, A.A., Gorban, Y.A., Chernyakova, V.V., Russ. J. Phys. Chem., 35, 6 (1961) 632-633.
6. Gervais, E., ZA Alloys-A Challenge to the Metals Industry, CIM Bulletin, 80, 900 (1987) 67-42
7. Murphy, S., Solid-Phase Reactions in the Low Copper Part of the Al-Zn-Cu System, Z. Metallkunde, 71 (1980) 96-102.
8. Savaşkan, T., Murphy, S., Zn-Al Esaslı Yatak Alaşımlarındaki Faz Dönüşümleri, 4. Ulusal Metalurji Kongresi, 22-25 Ekim 1986, Ankara, Bildiriler Kitabı, Cilt I, 532-553.
9. Zhu, Y.H., Savaşkan, T., Murphy, S., Phase Transformations in Quench-Aged Zn-Al-Si Alloys, Materials Research Society Symp. Proc., 21, 1984, New York, 835-840.
10. Çuvalcı, H., Çinko-Alüminyum Esaslı Yatak Alaşımlarının İç Yapı ve Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1989.
11. Ardell, A.J., Nuttall, K., Nicholson, R.B., The Decomposition of Concentrated Al-Zn Alloys, Journal of the Institute of Metals, 7 (1968) 22-26.
12. Gervais, E., Barnhurst, R.J., Loong, C.A., An Analysis of Selected Properties of ZA Alloys, Journal of Metals, 37, 11 (1985) 43-47.

13. ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII, Division I-Pressure Vessels, 1977 Edition and Addenda, 1979.

14. Savaşkan, T., Murphy, S., Creep Behavior of Zn-Al-Cu Bearing Alloys, Z. Metallkunde, 74 (1983) 76-83.

15. Marczak, R.J., Ciach, R., Tribological Properties of the Concentrated Al-Zn Alloys, Prac. 1st. Europ. Tribology Congress, 1973, Ins. Mech. Eng. London, 223-227

16. Askeland, D.R., The Science and Engineering of Materials, Rondall, J., Denton, M., Van Nostrand Reinhold (International) Co. Ltd., 1988.

17. Kayalı, E.S., Ensari, C., Metallere Plastik Şekil Verme İlke ve Uygulamaları, İkinci Baskı, İ.T.Ü. , İstanbul, 1991.

18. Çimenoğlu, H., Kayalı, E.S., Malzemelerin Yapısı ve Mekanik Davranışları, İkinci Baskı, İ.T.Ü. , İstanbul, 1991.

19. Onaran, K., Malzeme Bilimi Ders Notları, 4, İ.T.Ü. , 1983.

20. Zhu, Y., Murpy, S., A General Rule of Decomposition Reaction in Super-Saturated Zn-Al Based Alloys, Chin. J. Met. Sci. Technol., 2 (1986) 105-116.

21. Nuttall, K., The Room-Temperature Deformation Characteristics of the Superplastic Zn-Al Eutectoid Alloys, Journal of the Institute of Metals, 48 (1972) 114-119.

7. ÖZGEÇMİŞ

1970 yılında İstanbul'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Trabzon'da tamamladıktan sonra 1987 yılında Trabzon Lisesi'nden mezun oldu. Aynı yıl girdiği K.T.Ü. M.M.F. Makina Mühendisliği Bölümünden 1991 yılında Makina Mühendisi ünvanı ile mezun oldu. Ardından K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği dalında yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen yüksek lisans öğrenimine devam etmekte olup K.T.Ü. Makina Bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.

Y.G. YÜKSEKÖĞRETİM KURUMLARI
DOKÜMANTASYON MERKEZİ