

55682

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ÇİNKO-ALÜMİNYUM ESASLI ZA8
ALAŞIMININ SERTLİK VE DARBE DİRENCİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Met.Müh.Hüseyin BELKİS

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 29 Nisan 1996

Tezin Savunulduğu Tarih : 12 Haziran 1996

55682

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Hüseyin ÇİMENÖĞLU

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Eyüp Sabri KAYALI

Doç.Dr. Kelami ŞEŞEN

18.10.1996

[Handwritten signatures and initials]
S. Kayalı
X

NİSAN 1996

ÖNSÖZ

Tezimin her aşamasında fikir ve önerilerinden faydalandığım saygıdeğer hocam Doç. Dr. Hüseyin ÇİMENÖĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin yürütülmesinde bana her bakımdan yardımcı olan Sayın Prof. Dr. E. Sabri KAYALI'ya ve yine büyük yardımlarını gördüğüm Doç. Dr. Mehmet DURMAN ile Met. Yük. Müh. Ahmet TÜRK'e teşekkür ederim

Deneysel çalışmalarımın gerçekleştirilmesinde imkanlarından faydalandığım İ.T.Ü. Kimya-Metalurji Fak. Met Müh.Böl. Başkanlığına ve SA.Ü. Müh. Fak. Metalurji Müh. Böl. Başkanlığına şükranlarımı sunarım.

Deneysel çalışmalarımındaki malzeme temini, üretimi ve deneylerimin gerçekleştirilmesi esnasında , TÜBİTAK MİSAG-41 projesi imkanlarından faydalanılmıştır. Katkılarından dolayı bu kuruma teşekkür ederim.

NİSAN 1996

Hüseyin BELKIS

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
SEMBOL LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ	vi
TABLO LİSTESİ	ix
ÖZET	xi
SUMMARY	xii
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
BÖLÜM 2. Zn-Al ALAŞIMLARI HAKKINDA GENEL BİLGİLER	3
2.1. Zn Alaşımlarının Gelişimi	3
2.2. Zn-Al Alaşımlarının Gelişimi	4
BÖLÜM 3. Zn-Al ALAŞIMLARININ YAPI VE ÖZELLİKLERİ	8
3.1. Zn-Al İkili Denge Diyagramı	8
3.2. Zn-Al Alaşımlarında Faz Dönüşümleri	9
3.3. Zn-Al Alaşımlarının Fiziksel Özellikleri	12
3.4. Zn-Al Alaşımlarının Mekanik Özellikleri	13
1. Mekanik Özelliklere Sıcaklığın Etkisi	17
2. Mekanik Özellik İçyapı İlişkisi	20
3. Zn-Al Alaşımlarında Sürünme	25
4. Zn-Al Alaşımlarında Korozyon ve Aşınma	28
BÖLÜM 4. Zn-Al ALAŞIMLARININ YAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ÇEŞİTLİ ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ETKİSİ	32
4.1. Bakırın Etkisi	33
4.2. Magnezyumun Etkisi	35
4.3. Manganın Etkisi	36
4.4. Titanyumun Etkisi	37
4.5. Lityumun Etkisi	37
4.6. Silisyumun Etkisi	38
4.7. Kromun Etkisi.	39
BÖLÜM 5. Zn-Al ALAŞIMLARININ KULLANIM YERLERİ	40

BÖLÜM 6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	42
6.1. Alaşımların Hazırlanması ve Dökümü	42
6.2. Darbe deneyleri	42
6.3. Sertlik Deneyleri	47
6.4. Metalografik Çalışma	47
BÖLÜM 7. DENEY SONUÇLARI VE İRDELENMESİ	48
7.1. Mikroyapı İncelemeleri	48
7.1.1 Al Serisi Alaşımlar	48
7.1.2 Al+Cu Serisi Alaşımlar	50
7.1.3 Cu Serisi Alaşımlar	52
7.1.4 Mg Serisi Alaşımlar	54
7.1.5 Mn Serisi Alaşımlar	56
7.1.6 Ti Serisi Alaşımlar	58
7.1.7 Li Serisi Alaşımlar	59
7.1.8 Si Serisi Alaşımlar	60
7.1.9 Cr Serisi Alaşımlar	61
7.2 Darbe ve Sertlik Deneyi Sonuçları	62
7.2.1 Al Serisi Alaşımların Darbe ve Sertlik Deneyi Sonuçları	62
7.2.2 Al+Cu Serisi Alaşımların Darbe ve Sertlik Deneyi Sonuçları	64
7.2.3 Cu Serisi Alaşımların Darbe ve Sertlik Deneyi Sonuçları	66
7.2.4 Mg Serisi Alaşımların Darbe ve Sertlik Deneyi Sonuçları	67
7.2.5 Mn Serisi Alaşımların Darbe ve Sertlik Deneyi Sonuçları	69
7.2.6 Ti Serisi Alaşımların Darbe ve Sertlik Deneyi Sonuçları	70
7.2.7 Li Serisi Alaşımların Darbe ve Sertlik Deneyi Sonuçları	72
7.2.8 Si Serisi Alaşımların Darbe ve Sertlik Deneyi Sonuçları	73
7.2.9 Cr Serisi Alaşımların Darbe ve Sertlik Deneyi Sonuçları	74
GENEL SONUÇLAR..	76
KAYNAKLAR	78
ÖZGEÇMİŞ	80

SEMBOL LİSTESİ

A	: Malzeme sabiti
C	: Malzeme sabiti
a	: Kafes parametresi
c	: Kafes parametresi
d	: Dendiritler arası mesafe
K	: Malzeme sabiti
n	: Gerilme üstü
R	: Gaz sabiti
T	: Sıcaklık
t	: Bölgesel katılaşma zamanı
Q	: Aktivasyon enerjisi
σ	: Çekme mukavemeti
σ_0	: Malzeme sabiti
α	: Malzeme sabiti

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 3.1 Zn-Al ikili denge diyagramı	8
Şekil 3.2 Sıcaklığın fonksiyonu olarak ZA8, ZA12 ve ZA27'nin çekme gerilmesi ve uzaması	18
Şekil 3.3 ZA alaşımlarının sıcaklıkla sertliklerinin değişimi	19
Şekil 3.4 Sıcaklık-darbe enerjisi değişimi	19
Şekil 3.5 20 ve 95°C'de ZA alaşımları için yaşlandırma süresi-çekme gerilmesi diyagramı	21
Şekil 3.6 20 ve 95°C'de ZA alaşımları için yaşlandırma süresi-boyutsal değişim diyagramı	22
Şekil 3.7 Dökülmüş haldeki ZA8'in darbe enerjisi diyagramı	23
Şekil 3.8 ZA27'nin darbe enerjisine çeşitli ısı işlemlerin etkisi	23
Şekil 3.9 ZA12 ve ZA27'nin kum ve kokil dökümdeki çekme gerilmelerinin DAS ile değişimi	25
Şekil 3.10 120°C'de farklı gerilme değerlerinde %1.0 uzamayı veren zaman	27
Şekil 3.11 Basınçlı döküm ZA alaşımları, kuma döküm ZA27, stabilize edilmiş kum döküm ZA27 ve Zn basınçlı döküm alaşımı No.3'ün gerilmenin fonksiyonu olarak ikincil sürünme hızları	28
Şekil 3.12 ZA12, ZA27 ve SAE660 bronzunun gerilme hız ilişkisi	30
Şekil 3.13 ZA alaşımları ve bronzun aşınma davranışları	31
Şekil 4.1 Alaşımların çekme mukavemeti ve %uzama değerlerinin Cu içeriği ile değişimi	34
Şekil 4.2 Alaşımların 40 MPa gerilme ve 120°C sıcaklıktaki sürünme eğrileri	34
Şekil 7.1 %4.77 Al'lu alaşımın mikroyapısı	48
Şekil 7.2 %5.8 Al'lu alaşımın mikroyapısı	49
Şekil 7.3 %7 Al'lu alaşımın mikroyapısı	49

Şekil 7.4	%10.45 Al'lu alaşımın mikroyapısı	50
Şekil 7.5	%5Al'lu Alaşımın mikroyapısı	51
Şekil 7.6	%5.5 Al'lu alaşımın mikroyapısı	51
Şekil 7.7	Standart ZA8 alaşımının mikroyapısı	52
Şekil 7.8	%0 Cu'lu alaşımın mikroyapısı	53
Şekil 7.9	%1 Cu'lu alaşımın mikroyapısı	53
Şekil 7.10	%2.54 Cu'lu alaşımın mikroyapısı	54
Şekil 7.11	%0 Mg'lu alaşımın mikroyapısı	54
Şekil 7.12	%0.03 Mg'lu alaşımın mikroyapısı	55
Şekil 7.13	%0.1 Mg'lu alaşımın mikroyapısı	55
Şekil 7.14	%0.5 Mg'lu alaşımın mikroyapısı	55
Şekil 7.15	%0.09 Mn içeren alaşımın mikroyapısı	56
Şekil 7.16	%0.14 Mn'lu alaşımın mikroyapısı	57
Şekil 7.17	%0.22 Mn'lu alaşımın mikroyapısı	57
Şekil 7.18	%0.18 Ti'lu alaşımın mikroyapısı	58
Şekil 7.19	%0.15 Ti'lu alaşımın mikroyapısı	59
Şekil 7.20	%0.05 Li'lu alaşımın mikroyapısı	60
Şekil 7.21	%1.1 Si'lu alaşımın mikroyapısı	60
Şekil 7.22	%0.005 Cr'lu alaşımın mikroyapısı	61
Şekil 7.23	%0.025 Cr'lu alaşımın mikroyapısı	61
Şekil 7.24	%0.05 Cr'lu alaşımın SEM mikrofotografı	62
Şekil 7.25	Al serisi alaşımların darbe direnci ve sertlik değerlerinin bileşimle değişimi	63
Şekil 7.26	Al+Cu serisi alaşımların darbe direnci ve sertlik değerlerinin bileşimle değişimi	65

Şekil 7.27 Cu serisi alaşımların darbe direnci ve sertlik değerlerinin bileşimle değişimi	66
Şekil 7.28 Mg serisi alaşımların darbe direnci ve sertlik değerlerinin bileşimle değişimi	68
Şekil 7.29 Mn serisi alaşımların darbe direnci ve sertlik değerlerinin bileşimle değişimi	69
Şekil 7.30 Ti serisi alaşımların darbe direnci ve sertlik değerlerinin bileşimle değişimi	71
Şekil 7.31 Li serisi alaşımların darbe direnci ve sertlik değerlerinin bileşimle değişimi	72
Şekil 7.32 Si serisi alaşımların darbe direnci ve sertlik değerlerinin bileşimle değişimi	74
Şekil 7.33 Cr serisi alaşımların darbe direnci ve sertlik değerlerinin bileşimle değişimi	75

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 2.1 Çeşitli Zn-Al alaşımları, Al alaşımı ve Cosmal Z alaşımlarının bileşimleri	7
Tablo 3.1 ZA alaşımları ve bazı konvansiyonel malzemelerin fiziksel özellikleri	13
Tablo 3.2 Çeşitli Zn alaşımlarının mekanik özellikleri	14
Tablo 3.3 Zn- Al alaşımları ile bazı konvansiyonel malzemelerin mekanik özellikleri	15
Tablo 3.4 No.3, ZA8 ve ZA27 için tasarı gerilimleri	27
Tablo 4.1 35 Mpa gerilme altında 100°C’de basınçlı döküm sürünme deney numunelerine ait deney sonuçları	38
Tablo 6.1 Al serisi alaşımların % ağırlıkça bileşimleri ve parantez içinde yaş kimyasal analizleri	43
Tablo 6.2 Al+Cu serisi alaşımların % ağırlıkça bileşimleri ve parantez içinde yaş kimyasal analizleri	43
Tablo 6.3 Cu serisi alaşımların % ağırlıkça bileşimleri ve parantez içinde yaş kimyasal analizleri	44
Tablo 6.4 Mg serisi alaşımların % ağırlıkça bileşimleri ve parantez içinde yaş kimyasal analizleri	44
Tablo 6.5 Mn serisi alaşımların % ağırlıkça bileşimleri ve parantez içinde yaş kimyasal analizleri	45
Tablo 6.6 Ti serisi alaşımların % ağırlıkça bileşimleri ve parantez içinde yaş kimyasal analizleri	45
Tablo 6.7 Li serisi alaşımların % ağırlıkça bileşimleri ve parantez içinde yaş kimyasal analizleri	46
Tablo 6.8 Si serisi alaşımların % ağırlıkça bileşimleri ve parantez içinde yaş kimyasal analizleri	46
Tablo 6.9 Cr serisi alaşımların % ağırlıkça bileşimleri ve parantez içinde yaş kimyasal analizleri	46
Tablo 7.1 Al serisi alaşımların darbe ve sertlik deneyi sonuçları	63

	Sayfa No
Tablo 7.2 Al+Cu serisi alaşımların darbe ve sertlik deneyi sonuçları	64
Tablo 7.3 Cu serisi alaşımların darbe ve sertlik deneyi sonuçları	66
Tablo 7.4 Mg serisi alaşımların darbe ve sertlik deneyi sonuçları	67
Tablo 7.5 Mn serisi alaşımların darbe ve sertlik deneyi sonuçları	69
Tablo 7.6 Ti serisi alaşımların darbe ve sertlik deneyi sonuçları	70
Tablo 7.7 Li serisi alaşımların darbe ve sertlik deneyi sonuçları	72
Tablo 7.8 Si serisi alaşımların darbe ve sertlik deneyi sonuçları	73
Tablo 7.9 Cr serisi alaşımların darbe ve sertlik deneyi sonuçları	75



ÖZET

Son yıllarda Çinko endüstrisi, günümüzde birçok alanda yaygın olarak kullanılan kovansiyonel basınçlı döküm Zamak alaşımlarına ilave olarak, daha yüksek alüminyum oranları içeren yeni bir seri Çinko-Alüminyum esaslı döküm alaşımları geliştirmiştir. Bu alaşımlar günümüzde ZA-8, ZA-12 ve ZA27 alaşımları olarak tanınmakta ve sahip oldukları üstün mekanik ve döküm özellikleri ile endüstriyel alanlarda kullanımları her geçen gün hızla artmakta ve birçok uygulamalarda bazı alüminyum, dökme demir, pirinç ve bronz gibi kovansiyonel döküm alaşımlarının yerini almaktadırlar. Bu alaşımlar basınçlı dökümde dahil olmak üzere hemen hemen bilinen bütün döküm yöntemleri ile üretilebilmekte, ZA8 alaşımı düşük alüminyum içeriği ve düşük ergime sıcaklığı dolayısıyla sıcak kamaralı basınçlı döküm yöntemi ilede başarıyla dökülebilmektedirler. Bu özelliği ve diğer ZA alaşımlarına oranla daha üstün sürünme direncine sahip olması, bu alaşımın ZA alaşım ailesi içinde ticari olarak en ilgi çekeni yapmaktadır. Bu sebeple bu alaşım en çok ilgi çeken ve özelliklerinin optimum değerlere ulaştırılması için yoğun geliştirme çalışmalarının yapıldığı bir alaşımdır.

Bu çalışmada ZA-8 alaşımına ilave edilen çeşitli miktarlardaki Al, Cu, Mg, Mn, Ti, Li, Si ve Cr gibi alaşım elementlerinin sertlik ve darbe direncine olan etkileri incelenmiştir.

Elde edilen sonuçlardan, ilave edilen Al, Cu ve Mg'un alaşımın sertliğini büyük ölçüde arttırdığı, fakat Mn, Ti, Li, Si ve Cr'un ise sertliği etkilemediği görülmüştür. Ayrıca % 7 Al içeriğine kadar alaşımın darbe direncinde bir artış olmuş, bu oranın üstündeki ilaveler ise darbe direncini düşürmüştür. Az oranlarda Cu, Mg, Mn, Ti, Li ve Cr darbe direncini arttırmada yararlı olmuştur. Fakat, belirli miktarların üzerindeki ilaveler de ise darbe direncinde büyük düşüşler olmuştur. Az miktarlarda Si ilavesi ise darbe direncinde büyük düşüşler göstermiştir.

THE EFFECT OF ALLOYING ELEMENTS ON ZINC-ALUMINUM BASED ALLOY ZA-8 OF HARDNESS AND IMPACT RESISTANCE

Zinc-containing materials have existed for several thousands of years. However, it is only since about the middle of the current century that zinc-base cast and wrought products have achieved significant metallurgical acceptance. This was in part due to emphasis that was placed on obtaining a greater understanding of the ways in which the material's properties could be influenced by refinements in composition.

The oldest-known, currently surviving, zinc alloy component dates from the pre historic Dacian settlement at Dordosch, Transylvania. This was an idiol which contained 87.52% zinc. Zinc-rich bracelets and other ornaments have been found from as early as 500 b.c. The first writer to give the name "zinck" to the metallic nature and indicated something of the physical qualities of the metal, including its fusibility and limitations in malleability. Zinc products appear to have been known in India as early as 1000 A.D. However, zinc was probably not smelted commercially in that country until about the 14th centry A.D. From evidence of the size of the zinc-bearing residues, which have been estimated at between 130000 and 170000 tons, and the numerous clay retorts which still remain today, it would appear that the Indian zinc-smelting industry was of an impressive magnitude.

Knowledge of zinc smelting was brought to England from China about 1730, and in 1739 an English patent was issued for the process of distillation of zinc following reduction of zinc-bearing sulphide ore with charcoal.

Wrought zinc products date from 1805, when it was discovered in Sheffield that the ordinary brittle zinc could be warm-worked, i.e. rolled into sheet form, at temperatures in the range 100 to 150°C. The first commercial sheet zinc rolling mill was built in Liege, Belgium, during 1812.

Today, all commercial cast and wrought zinc-rich materials are alloyed from high purity zinc, which has been refined by electrolysis in sulphate solutions.

The majority of the commercial foundry alloys are based on the Zn-Al alloy system. Casting alloys are usually designated by an identification number which may, or may not, correspond to the nominal aluminium percentage.

The largest usage of zinc-based foundry alloys is in pressure die casting with alloys 3 and 5. In this process molten metal is injected under pressure into steel dies into which an impression has been formed. Great precision is possible, and products ranging from sewing machine parts to automotive engine blocks can be cast.

Zinc pressure die casting alloys based on the eutectic composition in the Zn-Al system have found considerable industrial applications since their first discovery in the 1920's. Their success is due to their good castability and fluidity, their ability to be cast in hot chamber pressure die casting machines allowing high production rates, and their good mechanical properties. During the last decades developments in the thin wall die casting technology have also permitted their implementation into complex shaped parts with reduced weights.

The zinc industry responded with some significant countermeasures. In the early 1970s, the International Lead Zinc Research Organization, ILZRO, began to sponsor three different programs of research into zinc alloy die casting. These programs went straight to the engineering fundamentals underlying the die casting cycle; that is thermodynamics, hydraulics and mechanics. One, at the Battelle Columbus Laboratories in Columbus, Ohio, led to the thinwall die casting system. Another, at the Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization in Melbourne, Australia, resulted in the Australian system. The third, at the BNF Metals Technology Centre in Wantage, England resulted in the British system. Each system has eliminated the cut-and-try approach to die casting, and all three enable the die caster to produce sound, high-quality castings with very thin walls. Equally important, the product designer may be less concerned with process restrictions and concentrate more on product performance. This improved die casting capability equipped the zinc industry to retain some which would otherwise have been lost.

Most of the applications lost to plastics have not been regained, however, and probably will not be in the foreseeable future. The plastics industry has been consistently refining and improving their materials and processes, as evidenced by the fact that they have taken over a number of decorative applications in other industries, particularly home appliances. These non-automotive gains are significant because they are based almost entirely on reduced cost; reduced product weight is not usually a factor. The components and their finish are often inferior to zinc die castings, but they are accepted because they are adequate for the application at hand.

While the plastics-versus-zinc struggle was taking place, the zinc industry was also developing a series of gravity cast alloys which could be used in sand and permanent mould foundries to compete with copper, aluminum and ferrous castings. This work has produced a family of three alloys, designated as alloys 8, 12 and 27, the number in each case indicating the approximate aluminum content. Alloy 27 is also being successfully die cast by the cold chamber process to produce components with high strength and excellent resistance to wear.

These two zinc industry thrust -alloy development and die casting improvement- have formed the basis for a totally new zinc alloy technology.

Zinc alloys are used extensively in both gravity and die casting. When used as general casting alloys. Zinc alloys can be cast using such processes as high pressure die casting, low pressure die casting (iron, graphite, or plaster moulds), spin casting (silicone rubber moulds), investment (lost -wax) casting, continuous or semicontinuous casting, and centrifugal casting. A newer process involves semi solid casting, of which several techniques can be employed.

The ZA alloys are increasingly being specified for bearing and bushings in low speed high load applications.

In plane bearing, the traditional material is bronze. In low to moderate speed, moderate temperature, lubricated applications, the zinc alloys are becoming well established because of their low coefficient of friction and excellent hardness. Zinc alloy bearings frequently equal to surpass bearing bronzes in performance and typically generate cost saving of 15-40 %.

The use of zinc-aluminum alloys as effective bearing materials is not new. developed in Europe over 40 years ago, high aluminum-zinc alloys similar in composition to the ZA27 alloy have been applied there for decades to bearings and many other parts which are customarily made of bronze in North America.

Today, ZA12 and ZA27 are finding increasing use as replacement to bronze in lower speed, low to medium temperature bearing and bushing applications.

The market penetration of ZA alloys has been aided by the fact that traditionally high volume foundry metals have significant shortcomings that detract from their inherent advantages:

- cast iron has high energy and machining costs, protective finishes are nearly always required and there are industry environmental problems.

- bronze has high material and energy costs and the environmental problem of lead for many important alloys.

- aluminium has limitations in strength, bearing properties and finishing along with moderately high energy costs.

Of course, each of these classic materials does have distinct advantages in given applications.

In contrast, the zinc casting alloys have advantages that are highly attractive to foundries:

- excellent casting properties;
- low energy consumption;
- pollution free melting and casting;
- excellent machinability;
- lower material cost and density than bronze.

The ZA alloys offer properties that are competitive or better than those of cast iron (Class 30), aluminium (AA356) and bronze (SAE 660). As a result, they compete in cast/performance with traditionally high volume foundry metals in wide variety of applications. The ZA8 and ZA12 alloys provide both functional and cosmetic benefits; ZA27 is used when high strength is required.

The ZA8 alloy was developed principally for permanent metal casting. It is currently cast by the graphite permanent mould and cold chamber die casting process and is also being evaluated for hot chamber die casting. ZA12 and ZA27 have made successful transitions from sand casting applications to other processes. Both ZA12 and ZA27 perform well in cold chamber die casting. ZA12 is also cast by the graphite permanent mould and centrifugal mould process.

Because of their high fluidity, zinc alloys can be cast in much thinner walls than other die casting alloys, and they can be die cast to tighter dimensional tolerances. Zinc alloys allow the use of very low draft angles; in some cases, a zero draft angle is possible.

Zinc casting alloys have dendritic/eutectic microstructures. The hypoeutectic alloys solidify with zinc rich η dendrites, whereas the hypereutectic alloys solidify with aluminium rich dendrites. The ZA8 and ZA12 alloys solidify with cored β dendrites, whereas ZA27 solidifies with α dendrites.

It is critically important that all zinc-aluminium casting alloys be carefully handled to prevent excessive pickup harmful impurity elements such as lead, cadmium, tin, and iron, among others. Cross contamination caused by melting the alloys in furnace used for casting copper and aluminium alloys or iron is particularly troublesome because these alloys contain elements harmful to zinc alloys.

The aim of this study was to investigate and improve the impact strength of this alloy by modifying its composition with small amount of alloying elements Al, Cu, Mg, Mn, Ti, Li, Si, and Cr.

Aluminium content of the zinc-aluminium based alloy ZA8 (Zn- 8% Al- 1% Cu- 0.03% Mg) has been varied from 5% Al (eutectic composition) to 11% Al (composition of alloy ZA12) and effect of this element on hardness and impact resistance has been determined. It has been found that while the hardness of the alloys gradually increased with increasing aluminium, impact resistance increased with increasing aluminium up to 7% Al inclusive and then decreased gradually with further increase in aluminium content.

In addition, the effect of alloying elements of copper, magnesium, manganese, titanium, silicon, lithium, and chromium on these properties studied of the standart ZA8 alloy has also been investigated in the ranges from 0 to 3 % for copper, 0 to 1.0% for magnesium, 0.01 to 1.0% for manganese, 0.01 to 0.2% for titanium, 0.2 to 1.1% for silicon, 0.01 to 0.05% for lithium, and 0.005 to 0.05 % for chromium and the results showed that the hardness of the alloy considerably increased with increasing copper and magnesium, but, manganese, titanium, silicon, lithium, and chromium had not much a significant effect on the hardness. Besides, small amount of additions of copper, magnesium, manganese, titanium, lithium, and chromium was beneficial in increasing the impact resistance of the standart ZA8 alloy. but, additions above a certain amount caused the impact resistance to decrease at considerably high rates and its appear that, the presence of trace amounts of silicon caused a subsequent decrease in impact resistance of ZA8 alloy.

BÖLÜM 1.

GİRİŞ

Genel olarak çinko çelik yüzeylerini korozyondan korumak için galvanizlemede kullanılmaktadır. 1920'li yıllardan sonra Zamak olarak adlandırılan Çinko döküm alaşımları kullanılmaya başlanmıştır. 1960'lı yıllardan sonra ise ZA alaşımları olarak adlandırılan ZA 8, ZA 12 ve ZA 27 alaşımları Kuzey Amerika'da geliştirilmiştir. Son yıllarda bu alaşımların kullanım alanı gittikçe artmaktadır.

ZA alaşımları günümüzde birçok alanda bazı Al alaşımları, dökme demir, pirinç ve bronz gibi diğer konvansiyonel döküm alaşımlarının yerini almaktadır. Bunun sebebi olarak ZA alaşımlarının iyi dökülebilirliğe, yüksek mukavemete ve iyi aşınma özelliklerine sahip olması gösterilebilir. Bu alaşımların üstün mekanik özelliklerinin yanısıra sundukları en önemli avantajları hemen hemen bilinen bütün döküm yöntemleri ile başarılı bir şekilde dökülebilmeleridir. Bu yöntemler içinde çok miktarda parça üretimi için tercih edilen basınçlı döküm yöntemidir. ZA8, ZA12, ZA27 alaşımların üçüde soğuk kamaralı basınçlı döküm yöntemi ile dökülebilmekte ayrıca ZA8 düşük ergime sıcaklığına sahip olduğundan sıcak kamaralı basınçlı döküm yöntemi ile de başarılı bir şekilde dökülebilmektedir.

ZA alaşımlarının kullanımının artmasının en büyük nedenleri olarak aşınma direnci ve mukavemet/ağırlık oranının yüksek olması gösterilebilir. Ayrıca ZA8 alaşımı şimdiye kadar kullanılan ZA ve Zamak alaşımlarına oranla daha yüksek sürünme direnci göstermektedir. Bu sebeple ZA alaşım ailesi içinde en çok ilgi çeken ve özelliklerinin optimum değerlere ulaştırılması için yoğun geliştirme çalışmalarının yapıldığı bir alaşımdır. Az miktarda çeşitli alaşım elementleri ilavesi ile ZA alaşımının mikroyapısını değiştirerek özelliklerini geliştirme çalışmaları başlatılmış ve günümüzde bu yönde çalışmalar yoğun bir şekilde sürdürülmektedir. Bu amaçla bu çalışmada da ZA8 alaşımına çeşitli alaşım

elementleri ilavesi yapılarak mekanik özelliklerde ve mikroyapıdaki değişimler incelenmiştir. Alaşım elementleri olarak Cu,Mg,Mn,Ti,Li,Si ve Cr kullanılmıştır.



BÖLÜM 2

ÇİNKO-ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI HAKKINDA GENEL BİLGİLER

2.1 Zn ALAŞIMLARININ GELİŞİMİ

Zn içeren malzemeler birkaç bin yıldır vardır. Ancak sadece bu yüzyılın ortalarında Zn bazlı döküm ve işleme ürünleri metalurjik olarak kabul edilebilir seviyeye sahip olmuşlardır.

Zn uzun yıllardır endüstride çelikleri korozyondan koruyan kaplama olarak kullanılmasına rağmen ilk kez 1907'de basınçlı döküm alaşımı olarak kullanılmış ve üretilen döküm parçalarındaki problemin Pb ve Sn gibi Zn içerisinde çözünabilirlikleri ihmal edilebilecek seviyedeki empüritelerden kaynaklandığı düşünülmüştür. Daha sonraları Zn' nun mekanik özelliklerinin yetersiz kalması sonucu çeşitli alaşım elementleri katılarak bu kötü özellikler yok edilmek istenmiştir. 1923 yılından 1937 yılına kadar yapılan deneylerde kötü sonuçlar elde edilmiştir. Daha sonra bu konular araştırıldığında Zn alaşımlarında ihmal edilebilecek seviyedeki empüritelerin taneler arası korozyona sebep olduğu görülmüştür[1, 2].

Zn bazlı döküm ve işleme alaşımlarındaki yüksek mukavemet, iyi korozyon direnci ve diğer yararlı özellikler tabii ki elektrolitik Zn üretiminin yapılmasıyla oldukça yüksek derecede saflık elde edilmesinden dolayıdır. Böylece % 99.99 saflıkta Zn üretilmiştir ve istenmeyen empüriteler çok düşük seviyelere indirilmiştir.

Sülfat solüsyonunda elektrolize edilen yüksek saflıktaki Zn' nun tipik bileşimi;
Zn=99.9973, Pb=0.0013, Cu=0.002, Cd=0.003, Fe=0.002, Th=0.001, Sn=0.001, İn<0.001 şeklindedir[1,2].

2.2 Zn-Al ALAŞIMLARININ GELİŞİMİ

İlk Zn bazlı basınçlı döküm alaşımları ticari olarak 1920'li yılların sonuna doğru ortaya çıkmıştır. Bunlar 2,3,5 ve 7 alaşımları olarak bilinmektedirler. Dekoratif ve yapısal amaçlar için kullanılan bu alaşımlar yüksek kaliteye, uygun mekanik ve fiziksel özelliklere, düşük maliyete sahip olduklarından yaygın olarak kullanılmaktadırlar[3, 4].

Bu Zn alaşımları hızlı ve ekonomik bir döküme imkan sağlayan özellikte bir bileşime sahiptir. Diğer çeşit basınçlı döküm alaşımlarına göre birçok avantajlara sahiptirler. Bu yüzden ticari popüliteleri gittikçe artmaktadır. Bu avantajlar: daha düşük döküm sıcaklığı, daha az enerji gereksinimi ve daha uzun ömürlü kalıp kullanımıdır. Ayrıca, bu alaşımlar sıcak kamaralı döküm makinaları ile uygun olduklarından dolayı üretim hızları soğuk kamaralı makinalarla dökülebilen Al alaşımlarından daha yüksektir. Zn-Al alaşımlarında düşük Al içeriklerinde (%5) sıcak kamaralı döküm yöntemi yüksek hızda bir otomasyon sağlar. Daha yüksek Al içeriklerinde ise sistemdeki demirli parçalar Al tarafından korozyona uğratılmaktadırlar. Bu yüzden yüksek Al içeriklerinde soğuk kamaralı makinalar kullanılmaktadır[3].

Zn alaşımlarının iyi dökülebilirlik özelliğide ince duvarlı Zn dökümüyle ekonomik üretime izin vermektedir. Zn döküm alaşımlarının diğer bir çekici özelliğide daha kolay elektrolitik kaplama ve yüzey temizlemeye izin veren döküm sonrası yüzey kalitesidir.

1960'lı yılların başında plastik malzemelerin piyasaya çıkmasıyla Zamak alaşımlarının kullanımı daraltılmıştır. Bunun sebebide Zamak alaşımlarının yüksek sıcaklık özelliklerinin bekleneni verememesidir. Kaybedilen piyasayı tekrar ele geçirmek ve istenen özellikleri sağlamak amacıyla çinko endüstrisi özellikle bu endüstrinin araştırma kolu olan ILZRO(International Lead Zinc Research Organization) önderliğinde araştırma programları başlatılmıştır[3].

Bu araştırmalar sonucunda 1960'lı yılların sonunda yüksek performansa sahip yeni bir çinko-alüminyum(ZA) döküm alaşımları ailesi geliştirilmiştir. İlk olarak ILZRO 14 ve 16 geliştirilmiştir. Bunlar bileşimlerindeki Ti,Cr gibi elementler sebebiyle yüksek sürünme direnci göstermelerine rağmen, düşük Al içeriğinden dolayı mukavemetleri oldukça düşüktür. Bunların sürünme direncinin yüksek olmasının sebebi Ti ve Cr'un Zn ile intermetalik bileşikler oluşturması ve bunların taneler arasında ökelmesidir. Ancak bu alaşımlar düşük mukavemetleri ve sıcak kamaralı döküm yöntemi ile dökülememeleri sebebiyle konvansiyonel malzemeler karşısında yetersiz kalmaktaydı[3].

1970'li yıllarda ILZRO tarafından gravity döküm için % 12 Al içeren bir ZA alaşımı geliştirilmiştir ve ILZRO 12 olarak adlandırılmıştır. Sonraları ZA12 olarak tekrar isimlendirilmiştir. İleriki yıllarda Norando Research Center iki yeni gravity döküm alaşımı olan ZA8 ve ZA27'yi geliştirilmiştir. Bu alaşımlar iyi döküm özellikleri sebebiyle gravity döküm için üretilmelerine rağmen basınçlı dökümlede üretilmişlerdir. Bu ZA alaşımları kuma döküm, santrifüj döküm ve kokil kalıba döküm ile dökülebilmektedirler. Ayrıca ekstrüzyon ve dövme gibi yöntemler ile sürekli üretim yapılabilirler.

Diğeri ticari döküm alaşımları ile karşılaştırıldığında çok iyi fiziksel ve mekanik özelliklere sahip olduklarından dolayı ZA8, ZA12, ZA27 alaşımları yapısal ve dekoratif uygulamalar için yüksek performansa sahiptirler.

Bu alaşımlar yaygın Zn ve Al döküm alaşımlarına kıyasla sahip oldukları yüksek mukavemet ve sertlik, arttırılmış sürünme direnci, iyi yatak ve aşınma özellikleri ile düşük yoğunluk gibi üstün özelliklerinden dolayı Zn ve Al'un kullanıldığı yerlerde başarıyla kullanılabilirler.

ZA alaşımları yaygın Zn döküm alaşımlarına göre %50 daha fazla çekme mukavemeti, oda sıcaklığında sürünme mukavemetinin 4/3 katı ve Zn alaşımlarının pratik işlem sıcaklık aralığının 100° C üzerine çıkmaktadır. ZA alaşımlarının mekanik özellikleri basınçla arttırılabilir[5].

Al alaşımlarına kıyasla ZA alaşımları daha dūřık sıcaklıklarda erimekte, daha iyi akışkanlığa sahip, flaxlama ve gaz gidermeye gerek gōstermemektedir. Aynı zamanda daha sağlam ve sert, daha az kırılganlık ve daha fazla sūrınme direncine sahiptirler. Ayrıca levha haline getirilebilme kabiliyeti Al'dan daha yūksektir[5].

ZA alaşımları endūstride kullanılan Pb-Sn bronzlarına(SAE 660) kıyasla daha iyi aşınma ve yatak ۆzelliklerine sahiptirler. ZA alaşımlarının tabii yağlama ۆzellięi ve yūsek sertliğinden dolayı aşınma ve sūrınme için ayrıca parçaların montajına gerek duyulmamaktadır. Aynı zamanda ZA alaşımları çok iyi işlenebilirliğe sahiptirler(5).

Ayrıca son zamanlarda Japonya'da geliřtirilen Cosmal-Z alařımlarından ZM-3 ve Sūper Cosmal alařımları yūsek sōnūm kapasitesine sahip basınçlı dōkūm alařımlarıdır. Bunların Al esaslı basınçlı dōkūm alařımı LM-24 ve Al-Zn esaslı basınçlı dōkūm alařımları(ZA8,12,27) ile karřılařtırılması sonucu Super Cosmal alařımının dięer alařımlardan daha yūsek sertlięe sahip olduęu bulunmuřtur. ZM 3 alařımı ise dūřık sıcaklıklarda iyi sertlik ve mukavemet vermiřtir. Fakat, kōtū sūrınme ۆzellięi kullanım alanını sınırlamaktadır.

Tablo 1.1'de çeşitli Zn-Al alaşımları, Al alaşımı ve Cosmal Z alaşımlarının bileşimleri verilmektedir[3,6].

Tablo 1.1: Çeşitli Zn-Al alaşımları, Al alaşımı ve Cosmal Z alaşımlarının bileşimleri[3, 6]

Alaşımlar	Al	Cu	Mg	Fe	Mn	Zn
Zamak 3	3.9-4.3	0.10	0.04-0.06	0.1 max.	0.01 max	Kalan
Zamak 5	3.8-4.3	0.75-1.25	0.04-0.06	0.1 max.	0.01 max	Kalan
ILZRO14	0.01-0.03	1.0-1.5	---	---	---	Kalan
ILZRO 16	0.01-0.04	1.0-1.5	0.02 max.	0.04 max	---	Kalan
ZA8	8.0-8.8	0.8-1.3	0.015-0.03	0.1 max	0.5 max.	Kalan
ZA12	10.5-13	0.5-1.25	0.015-0.03	0.1 max	0.5 max.	Kalan
ZA27	25-28	2.0-2.5	0.01-0.02	0.1 max	0.5 max.	Kalan
LM24	Kalan	3-4	0.1	1.30 max	0.5 max.	30
ZM 3	40	1.0	0.005 max.	---	0.3	Kalan
Süper C.	60	1.0	0.005 max.	---	0.3	Kalan
ZM11	22	0.5	0.005 max.	---	0.3	Kalan

1. ILZRO 16; Ti:% 0.15-0.25, Cr:% 0.10-0.20, Pb:% 0.005 max., Cd:% 0.004 max., Sn:% 0.003 max.

2. ZM 3; Si: % 3

3. Super cosmal ; Si:% 6

4. ZM11; Si: % 1.

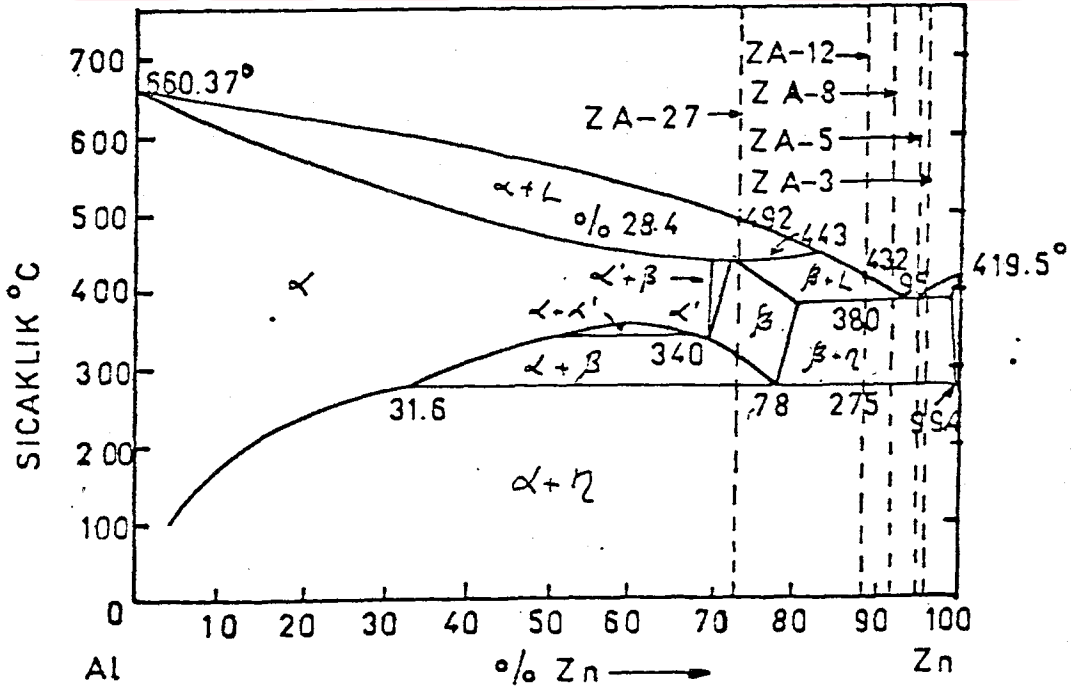
BÖLÜM 3:

Zn-Al ALAŞIMLARININ YAPI VE ÖZELLİKLERİ

3.1 Zn-Al İKİLİ DENGİ DİYAGRAMI

Zn-Al denge diyagramı 80 yıldan fazla süredir araştırılmaktadır. Bu süre içinde birçok denge diyagramı yayınlanmıştır. İlk çalışmalar Presnyakov ve arkadaşları tarafından ortaya konulmuş ve daha sonra Goldak ve Parr tarafından bazı değişiklikler yapılmıştır. Günümüzde bu diyagram kullanılmaktadır[6].

Zn-Al diyagramı şekil 3.1'de verilmiştir. Bu diyagramdan görüldüğü gibi Zn,Al içerisinde %80'e kadar çözünerek α , α' ve β olarak adlandırılan üç değişik faz bölgesi oluşturmaktadır. Al'ca zengin erimeye α , monotektoidin Zn tarafında kalan



Şekil 3.1. Zn-Al İkili Denge diyagramı[7].

kısmına α' , yüzey merkezli ve daha fazla Zn içeren ötektoid faza β ve Zn'ca zengin katı eriyiğede η denilmektedir. 443°C'de peritektik, 380°C'de ötektik, 340°C'de monotektik ve 275°C'de ötektoid dönüşümler meydana gelmektedir[7].

351°C ve 340°C sıcaklıkları arasında Al'ca zengin katı eriyikler farklı miktarlarda Zn içerdiklerinden ve kafes parametreleri değişik olduğundan α , α' olarak ikiye ayrılmaktadırlar. α ve α' 'nün karışabilme aralığı 340°C'de %49 Zn'dan %69.5 Zn'ya kadar uzamaktadır ve 351°C'de tek bir noktaya ulaşmaktadır. $\alpha + \beta$ bölgesi ise %69.5 Zn içeren ötektoid noktadan 413°C'deki peritektik noktaya kadar dar bir alanı kapsamaktadır. Zn içerisinde Al çözünürlüğü ötektik sıcaklıkta yaklaşık olarak %1.1, ötektoid sıcaklıkta azalarak %0.65 ve 227°C'de %0.42 olmaktadır.

KYM'li β fazının kafes parametresi %70 Zn içeren durumda 4.04 Å iken, % 76 Zn içermesi halinde 4.03 Å'e düşmektedir. Saf Al'un 25 °C'deki kafes parametresi 4.0414 Å'dur. α bölgesinde %65 Zn içeren bölüme kadar lineer bir şekilde azalarak 4.04 Å değerine gelmektedir. Zn hegzagonal sıkı paket kristal yapısına sahiptir ve kafes parametreleri saf olduğu zaman $a=2.6595$ Å, $c=4.9368$ Å, Al ile katı eriyik yaptığında $a=2.665$ Å, $c=4.987$ Å olmaktadır[8].

3.2 Zn-Al ALAŞIMLARINDA FAZ DÖNÜŞÜMLERİ

Zn-Al denge diyagramına bağlı olarak herhangi bir faz dönüşümüne maruz kalabilecek katı eriyikler aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadırlar:

- a) Al'ca zengin α fazı
- b) Monotektoid α/α' fazı
- c) Ötektoid β fazı
- d) Zn'ca zengin η fazı

ZA8, Zn-Al sisteminde ötektik üstü bir alaşım olup β ve η lamelar ötektik matrisinde primer β dendritlerinden oluşur. 275 °C'nin altında β kararsız bir yapıdadır ve ötektoid dönüşüm sonucu η ve α' ya dönüşmektedir. Katılaşılan ilk faz

Zn'ca zengin olacağından birincil dendritlerin merkezinde en dışa nazaran daha fazla Zn bulunmaktadır.

ZA12 alaşımında ise ötektik matriks içinde ayrılmış primer β dendritleri daha fazla bulunmaktadır. Dolayısıyla ötektik miktarı ZA12'de daha az olmaktadır. Ötektik yapı büyük oranda Zn(η) ve ayrılmış halde bulunan β parçacıklarından meydana gelmektedir.

ZA12'de dendritler %18.6 Al, %0.8 Cu ötektik matriks ise %0.8 Al, %1.7 Cu içermektedir. ZA12'nin katılaşma aralığı(43°C) geniş olduğundan büyük oranda dendritik yapı görülmektedir. Primer β dendritleri oda sıcaklığında α ve η 'ya dönüşmektedir[6].

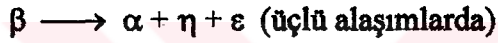
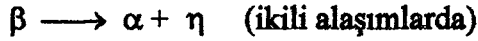
ZA27'nin diğer iki alaşıma göre daha yüksek Al ve Cu içerdiğinden dolayı katılaşması daha komplekstir. Katılaşma süresince peritektik ve ötektoid dönüşümlere maruz kalmaktadır. İlk önce Al'ca zengin α fazı hızlı bir şekilde oluşmakta ve dendritik olarak büyümektedir. α büyümesi, α ve geriye kalan sıvı arasındaki peritektik sayesinde primer dendritler etrafında β 'nın katılaşmasına kadar sürer. α ve β sadece kompozisyonları ile ayırt edilebilmektedir. Araştırmacılar β oluşumu için sıcaklık düşmesinden dolayı α 'ya dönüşüm hızlanmadan önce α +L sınırının ötektiğe yakın bölgelerinde eğimin düşük olmasından dolayı 440°C'de α 'nın dönüşümünün durduğunu ve böylece iki ayrı dönüşümün başladığını savunmaktadırlar. Döküm yapısı Al'ca zengin dendritler içermektedir[9].

Bu dendritlerin etrafında ötektoid reaksiyon sonucu α ve η 'dan oluşan çok ince lamellar yapı mevcuttur. Dendritlerdeki Cu miktarı merkezden dışa doğru artmaktadır. Dendritler arasında Cu katı eriyikte tutulamaz ve CuZn₄ şeklinde çökelerek ötektik yapıda görülür.

Zn döküm alaşımları dendritik/ötektik mikroyapıya sahiptirler. Ötektik altı alaşımlar Zn'ca zengin (η) dendritleri ile katılaşırken, ötektik üstü alaşımlar Al'ca

zengin dendiritlerle katılaşırlar. ZA8 ve ZA12 alaşımları β dendirit çekirdekleri ile katılaşırlar oysa ZA27 ise α dendiritleri ile katılaşmaktadır[2].

Küçük oranlarda Cu içeren Zn-Al alaşımlarındaki faz dönüşümleri birkaç araştırmacı tarafından incelenmiştir. Bu araştırmalar sonucunda Cu ilavesinin Zn-Al alaşımlarındaki faz dönüşümlerini büyük ölçüde yavaşlattığı ve ayrıca bir hacimsel büyümeye yol açtığı anlaşılmıştır. Krol ve Tasion %1-10 arasında Cu içeren Zn-Al-Cu alaşımlarında yaşlandırma sırasında ortaya çıkan faz dönüşümlerini inceleyerek aşağıdaki katıhal reaksiyonlarını önermiştir[10, 11].



Önerilen dörtlü faz reaksiyonu Zn-Al-Cu sisteminin denge diyagramında Murphy tarafından bulunan dönüşüm reaksiyonlarından sadece bir tanesini oluşturmaktadır[10, 11]. Bu alaşımlarda $\varepsilon(\text{CuZn}_4)$, $\theta(\text{CuAl}_2)$ ve $T'(\text{Al}_4\text{Zn}_3\text{Cu})$ gibi intermetalik bileşiklerin oluşması nedeniyle faz dönüşümleri ikili sisteme göre çok daha karmaşıktır. Bu sistemde faz dönüşümleri sonunda oluşan kararlı T' fazı alaşımların mukavemet ve aşınma direncini artırması bakımından önem taşımaktadır[12].

Cu içeriğine bağlı olarak ε fazının meydana geldiğini ve bu fazın 268°C 'nin altındaki reaksiyon sonucu T' fazına dönüştüğü Murphy tarafından bulunmuştur. β fazı 276°C 'de $\alpha + \eta + \varepsilon$ fazlarına dönüşür[11].

Bir başka araştırmacı yukarıda belirtilen dörtlü faz reaksiyonunun Zn-Al-Cu alaşımlarında yaklaşık %4.5 oranında bir hacim büyümesine neden olduğunu bildirmektedir[10].

3.3 Zn-Al ALAŞIMLARININ FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Zn-Al ikili denge diyagramından görüleceği gibi alaşımların ergime noktaları ve katılaşma aralığı Al miktarı ile değişmektedir. Denge dışı döküm şartları için ötektik sıcaklık pratik solidüs sıcaklığı olarak alınır. ZA8 alaşımı için likidüs sıcaklığı 404°C ve katılaşma aralığı 29°C'dir. ZA12 için değerler 432°C ve 55°C, ZA27 için 484°C ve 109°C'dir. ZA27'nin yüksek katılaşma aralığında aşırı miktarda çekilme boşluğundan kaçınmak için katılaşmayı kontrol etmek gerekir.

Erimiş ZA alaşımlarının 50°C aşırı ısıdaki ısı içeriği ortalama olarak erimiş Al'un sahip olduğu değerin yarısından daha azdır(13). Düşük ergime noktasına sahip alaşımlar daha düşük enerjiye ihtiyaç gösterirler. Çekirdeksiz hat frekanslı fırınlarda yapılan testler göstermiştir ki Zn'yu eritmek için gerekli enerji yaklaşık 130 kwh/ton, pirinç için 220 kwh/ton, Al için 400 kwh/ton ve dökme demir için 500 kwh/ton'dur. Zn alaşımları yaklaşık olarak Al'dan ikikat daha hızlı, bronzdan ise üç kat daha hızlı bir şekilde eritilebilirler.

Bu üç alaşımın yoğunluğu Al içeriği ile ilgilidir. 5 gr/cm³ yoğunluğundaki ZA27, No.3 kokil döküm alaşımından %25, Cu'dan %65, dökme demirden %45 daha hafiftir ve Al'dan ise %85 daha ağırdır.

Oda sıcaklığındaki elektrik direnci ve iletkenliği Al içeriğiyle az oranda etkilidir. ZA12 için oda sıcaklığındaki elektrik iletkenliği %28.3 IACS'dir. Buna karşın Al için %39 IACS, A380 için %27 IACS, pirinç ve bronz için yaklaşık %10 IACS ve dökme demir için %6-7 IACS'dir.

Termal genleşme katsayısı pres ve sıkı geçme yatak durumlarında önemlidir. 20-100°C aralığında ($23-26 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) ZA alaşımının termal genleşme katsayısı çoğu Al ve Cu alaşımından daha yüksektir ve dökme demirin iki katına yakındır. 24°C'deki termal iletkenlik 115-125.5 W/mK arasında değişmektedir. Bu

değerler birçok Al alaşımla aynı seviyededir fakat ticari Cu alaşımlarından daha yüksektir.

Tablo 3.1'de ZA alaşımları ve bazı konvansiyonel malzemelerin fiziksel özellikleri verilmektedir[13].

TABLO 3.1 ZA alaşımları ve bazı konvansiyonel malzemelerin fiziksel özellikleri[13]

Alaşımlar			Yogunluk (g/cm ³)	Erime Aralığı (°C)	Termal Genleşme Katsayısı (µm/mK)	Termal İletkenlik (W/mK)	Elektrik İletkenliği (%IACS)
Zn	No.3	Basınçlı	66.60	381-387	27.4	113	27.0
	No.5	Basınçlı	6.70	380-386	27.4	109	26.0
	ZA8	Kokil Basınçlı	6.3	375-404	23.2	115	27.7
	ZA12	Kum Kokil Basınç	6.03	377-432	24.1	116	28.3
	ZA27	Kum Basınç	5.00	375-484	26.0	125.5	29.7
Al	356-T6	Kokil	2.69	556-615	21.5	151	39
	380	Basınç	2.74	540-595	21.8	96.2	27
	319	Kum	2.80	515-605	21.5	109	27
Prinç	SAE40	Kum	8.83	855-1010	18	72	15
Bronz	SAE660	Kum	8.93	855-975	18	59	12
	SAE64	Kum	8.88	762-928	18.5	46.9	10.1
DD	GG30	Kum		>1176	12.1	49-52	—
	Temper	Kum	7.2-7.45	>1232	11.9	—	6

3.4 Zn -Al ALAŞIMLARININ MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Zn-Al sisteminde ötektik kompozisyonundaki Zn basınçlı döküm alaşımları 1920'lerdeki ilk bulunuşlarından bu güne kadar endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır. Bunların başarısı iyi dökülebilirlik ve akışkanlık, yüksek üretim hızları sağlayan sıcak kamaralı basınçlı döküm makinalarında dökülebilmeleri ve iyi mekanik özelliklere sahip olmalarından dolayıdır. Son yıllardaki ince duvarlı

kalıp döküm teknolojisindeki gelişmeler ağırlık azaltarak kompleks şekilli parçaların üretilmesine izin vermiştir.

Yakın zamana kadar gravity dökümde Zn alaşımlarının kullanımı oldukça sınırlıydı. II. Dünya savaşı yıllarında %35 Al içeren Alzen adı verilen Zn alaşımı aşınma direnci ve yatak özellikleri için geliştirildi. 1960'lı yıllarda kum ve kokil kalıp dökümü için %12 Al'lu ILZRO 12 üretilmiştir. Bu alaşım özellikle prototip parçaların dökümü için seri uygulama alanları bulmuştur. Son zamanlarda ise %8 ve %27 Al içeren iki yeni alaşım daha Kuzey Amerika'da geliştirilmiştir[4].

Tablo 3.2'de yukarıda bahsedilen çeşitli Zn alaşımları, tavsiye edilen döküm teknikleri ve mekanik özellikleri özetlenmiştir. Bütün bu alaşımlar, mukavemet arttırmak ve taneler arası korozyona sebep olan kalıntı Pb, Sn, Cd'un zararlı etkilerini yok etmek için çeşitli miktarlarda Cu ve Mg içermektedirler.

Tablo 3.2: Çeşitli Zn Alaşımlarının Mekanik Özellikleri ve Bileşimleri[4]

Alaşım	Bileşim			Döküm Tekniği				Mek. Özel.			Yog. (g/cm ³)
	% Al	% Mg	% Cu	Sıc.K. Basıncı	Soğ.K. Basıncı	Kum dök.	Kokil dök.	Çekme Muk. (MPa)	Uzun- ma (%)	Sertlik Birimi	
Zamak3	3.8-4.3	0.03-0.06	—	X	—	—	—	200-300	5-8	90	6.6
Zamak5	3.8-4.3	0.03-0.06	0.75-1.25	X	—	—	—	300-360	3-6	85-95	6.7
ZA8	8.0-8.8	0.01-0.03	0.8-1.3	—	—	—	X	250-270	1-3	100-110	6.3
ZA12	11-11.5	0.01-0.03	0.5-1.5	—	X	—	—	440	1-	105-125	6.0
				—	—	X	—	320-350	1-3	110-120	6.0
				—	—	—	X	320-350	1-3	110-120	6.0
ZA27	25-28	0.01-0.02	2.0-2.5	—	X	—	—	400-430	1-	110-125	5.0
				—	—	X	—	380-420	3-6	110-125	5.0
				—	—	—	X	400-440	5-10	110-125	5.0
ZA35	30-35	0.5-1.0Si	3-5	—	(X)	X	X	290-390	5-10	90-120	4.6

Tablo 3.2'den cazip mekanik özelliklerin ZA alaşımları ile ve özellikle yüksek mukavemet/yoğunluk oranına sahip olan ZA27 ile elde edilebileceği görülür. Bu

nedenle, bu alaşım diğer dökümhane alaşımları olan Cu veya Al alaşımları veya dökme demirle başarılı bir şekilde rekabet edecek özelliklere sahiptir[4].

Zn-Al alaşımlarının oda sıcaklığındaki mekanik özellikleri konvansiyonel malzemelerle karşılaştırmalı olarak Tablo 3.3'te verilmektedir. %4 Al içeren Zamak 3 alaşımı mükemmel darbe direnci ve uzun süreli boyutsal kararlılık göstermektedir. Aynı kompozisyonda fakat daha fazla Cu içeren Zamak 5 daha yüksek çekme dayanımı ve sürünme direnci göstererek benzer mekanik ve döküm özellikleri sunmaktadır. ILZRO 14 ve 16 alaşımları ise Zamak 3 ve 5 alaşımlarına nazaran daha iyi sürünme direncine sahip malzemelerdir. Sebebidir bunların daha fazla Cu içermeleridir[3,8].

TABLO 3.3:ZA-Al alaşımları ile bazı konvansiyonel malzemelerin mekanik özellikleri [13]

Alaşım		Döküm tekniği	Çekme Muk. (MPa)	%0.2 Ak ma Muk. (MPa)	Elas. mod. (GPa)	% uzama (51mm de)	Brinell sertlik	Darbe Direnci (J)
Zn	No.3	Basınç	283	—	—	10	82	58 ⁴
	No.5	Basınç	331	—	—	7	91	65 ⁴
	ZA8	Kokil	221-255	207	85.5	1-2	85-90	—
		Basınç	363-386	283-296	—	6-10	93-107	32-48 ⁴
	ZA12	Kum	276-317	207	83	1-3	92-96	23-27 ³
		Kokil	310-345	248-276	83	1.5-2.5	85-95	—
		Basınç	393-414	310-331	—	4-7	95-105	20-37 ⁴
	ZA27	Kum	400-441	365	75	3-6	110-120	31-54 ¹
		Kum(HT) ¹	310-324	255	79	8-11	90-110	47-74 ³
		Basınç	407-441	359-379	—	2-3.5	116-122	9-16 ⁴
Al	356-T6	Kokil	262	186	72.4	5	80	10 ³
	380	Basınç	342	158	71.0	3-5	80-85	5 ⁴
	319	Kum	185	124	74	2	70	6 ³
Prinç	SAE40	Kum	255	117 ²	83	30	60	15 ⁴
Bronz	SAE660	Kum	240	124 ²	100	20	65	8 ⁴
	SAE64	Kum	240	124 ²	80	20	60	15 ⁴
D.D	GG30	Kum	214	124	90-113	—	210	—
	Temper	Kum	345	221	172	10	110-156	34-88 ³

1-320°C'de 3 saat, fırında soğutma

2-%0.5 uzamada

3-10 mm çentiksiz Charpy

4- 6.35 mm çentiksiz Charpy(dökülmüş halde)

5- 10 mm çentikli Charpy

6- 10 mm izod

Tablo 1.1'de belirtilen Cosmal Z alaşımlarının belirtilen en önemli özellikleri çok yüksek sönüm kapasitelerine sahip olmaları, iyi mukavemet, hafiflik ve düşük maliyet özellikleridir. Özellikle alaşımların sönüm kapasitelerinin endüstriyel olarak kullanıma sahip malzemeler içinde en yüksek sönüm özelliği ile bilinen dökme demirlerden daha iyi olması bu alaşımların önemini arttırmaktadır.

Bu alaşımlardan ZM-11 alaşımı Zn-Al ikili sisteminde ötektoid bileşiminde gösterdiği süperplastik özellikleri ile yüksek sönüm kapasitesine sahip olduğu uzun süredir bilinmektedir. Fakat düşük sıcaklıklarda bile kolayca sürünmesi bu alaşımların endüstriyel kullanımını sınırlamaktadır. Diğer iki alaşım ZM3 ve Süper Cosmal, ZM11'e oranla biraz daha az sönüm kapasitesine sahip olmalarına rağmen belirtilen üstün mekanik özellikleri dolayısıyla geniş uygulama alanı bulabilecek alaşımlardır.

Tablo 3.3'den görüldüğü gibi kuma döküm ve basınçlı döküm ZA27'nin çekme gerilmesi ve akma gerilmesi ZA8 ve ZA12'nin basınçlı döküm şartları gibi diğer gösterilen bütün alaşımlardan daha iyidir. ZA alaşımlarının Brinell sertlikleri Al ve Cu alaşımlarından daha yüksek fakat dökme demirler buradaki bütün alaşımlardan daha serttirler.

ZA27'nin çekme gerilmesi döküm yönteminin değişmesi ile önemli bir şekilde etkilenmemesine karşın ZA8 ve ZA12'nin özellikleri değişiklik göstermektedir. Gravite döküm ZA8 alaşımının çekme ve akma gerilme değerleri basınçlı döküm yöntemiyle %50 oranında arttırılmaktadır. ZA12 için ise bu değerler sırasıyla %30 ve %45 olmaktadır.

Kuma dökülmeye nazaran kokil döküm ve basınçlı dökümle sağlanan hızlı katılaşma sonucu mikroyapının incilmesi bir artışı sağlamaktadır.

ZA alaşımları çentik hassasiyetine sahip olduklarından darbe deneyi değerleri

ZA alaşımları çentik hassasiyetine sahip olduklarından darbe deneyi değerleri çentiksiz numuneler kullanılarak elde edilir[3, 13].

Kuma döküm ZA27'nin darbe direnci en yüksek değerdedir. Bu, dökümde termal gradyandan dolayı olan çekilme boşluklarının azaltılması ile sağlanır. Tabloda görüldüğü gibi, Zn-Al alaşımları içinde en yüksek değerdeki çekme gerilmesi kuma döküm ve basınçlı döküm ZA 27'dedir ve 400-440 MPa arasında bulunmaktadır.

ZA12 orta dirençteki ihtiyaçları karşılamakta ve Al alaşımlarına, dökme demirlere ve bronzlara karşı alternatif malzeme olarak görülmektedir. Kum dökümdeki çekme gerilmesi 275-310 MPa, kokil dökümde ise 310-345 MPa değerindedir.

ZA8'de orta dirençteki ihtiyaçları karşılamaktadır fakat ZA12'den düşük çekme gerilmesi değerine sahiptir [13,2].

3.4.1 MEKANİK ÖZELLİKLERE SICAKLIĞIN ETKİSİ

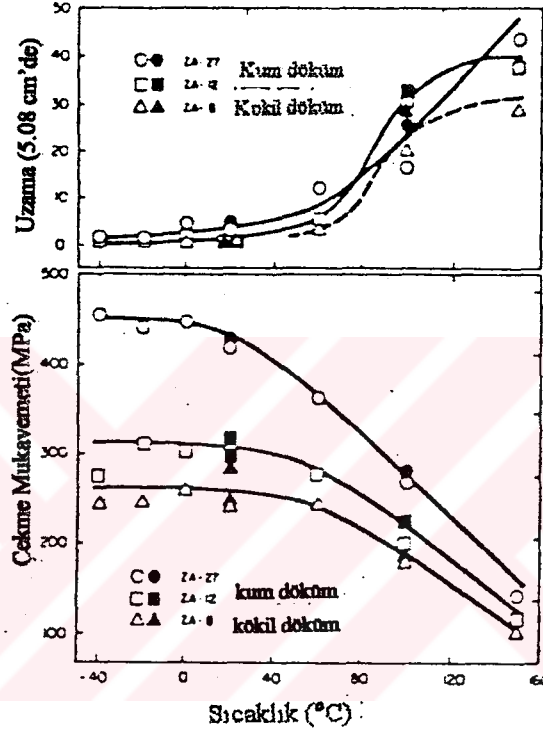
Zn-Al alaşımlarının düşük ergime sıcaklığına sahip olması üretim yönünden avantajlar sağlamasına karşın, alaşımların özelliklerini sıcaklığa karşı duyarlı hale getirmektedir. Sıcaklık arttıkça çekme gerilmesi, akma gerilmesi ve sertlik düşerken süneklik artmaktadır[13].

Şekil 3.2 ZA8, ZA12 ve ZA27 alaşımlarının sıcaklığın fonksiyonu olarak çekme gerilmeleri ve uzama değerlerini göstermektedir[13].

100°C'de ZA27'nin çekme özellikleri birçok Al ve Cu döküm alaşımlarının oda sıcaklığındaki özelliklerinden daha iyidir. Hatta bu özellikler yüksek süneklikle birlikte elde edilebilmektedir.

Şekil 3.2'den görüldüğü gibi ZA alaşımlarında sıcaklığın artışıyla süneklik artmaktadır. Şekilden görüldüğü gibi ZA12'nin oda sıcaklığındaki uzaması

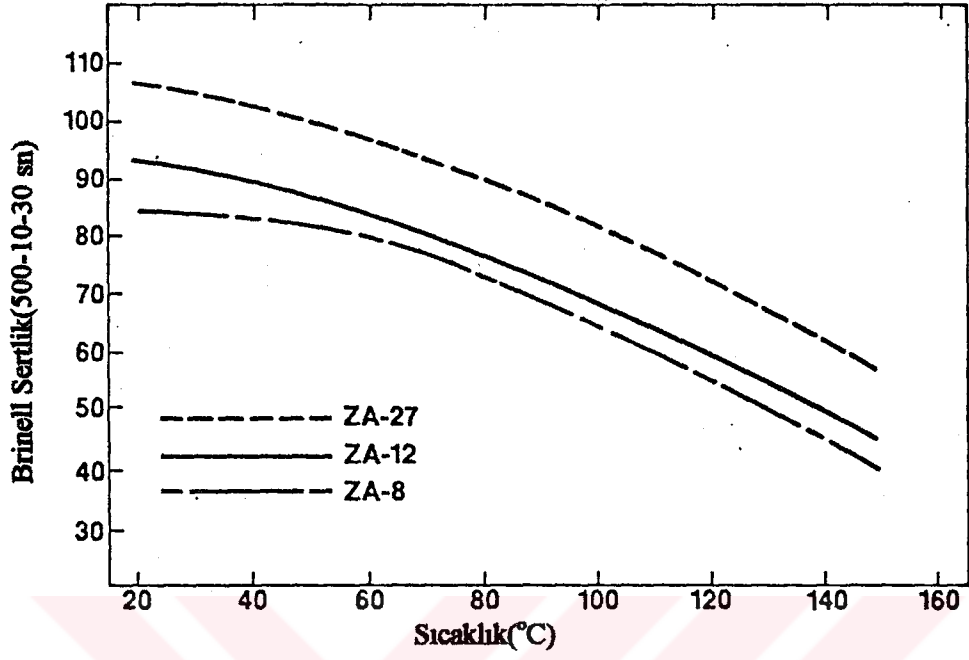
yaklaşık %2.5 iken bu değer 80°C'de yaklaşık %20'ye ulaşmaktadır. ZA8'de ise bu değer %2'den %5'e (80°C'de) çıkmaktadır. Bu iki alaşımın eğrileri 70°C ile 85°C arasında hızlı bir yükseliş göstermesine rağmen, ZA27 ise dereceli bir yükselme gösterir ve 100°C üzerinde keskin bir artış göstermektedir.



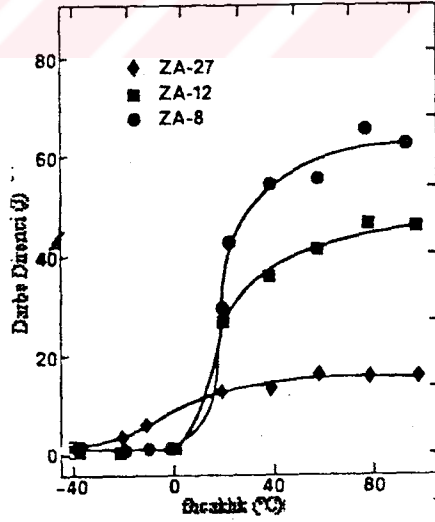
ŞEKİL 3.2: Sıcaklığın fonksiyonu olarak ZA8, ZA12 ve ZA27'nin çekme gerilmesi ve uzaması[3].

Bu üç alaşımın sıcaklıkla sertliklerinin değişimi şekil 3.3'te verilmektedir[3].

Zn alaşımlarının yüksek darbe enerjisi değerleri mühendislik özelliklerinden en önemlilerinden biridir. Şekil 3.4'den görüldüğü gibi yaklaşık 20°C'de darbe enerjisinde ani bir düşüş olmaktadır. Bu ani düşüş sünek gevrek geçişinden dolayıdır. (Şekil 3.4)



ŞEKİL 3.3: ZA alaşımlarının sıcaklıkla sertliklerinin değişimi[3].



ŞEKİL 3.4: Sıcaklık-Darbe enerjisi değişimi[3].

ZA27 oda sıcaklığında en yüksek darbe mukavemetine sahiptir ve en düşük sünec-gevrek geçiş sıcaklığına sahiptir. Buna neden olarakta daha fazla Al içermesi ve daha az miktarda ötektik faza sahip olması gösterilmektedir[3, 13].

3.4.2 MEKANİK ÖZELLİK İÇ YAPI İLİŞKİSİ

Zn-Al diyagramından görüldüğü gibi Al içerisinde Zn katı eriyiği %80 Zn oranına kadar uzanarak α , α' ve β olarak adlandırılan üç faz bölgesi oluşturmaktadır. Cu katkıları ikili Zn-Al alaşımlarının mukavemet, korozyon ve aşınma dayanımlarını büyük ölçüde arttırmakla birlikte istenmeyen boyutsal değişimlere de neden olmaktadır. Bu değişimler, dökülmüş durumdaki alaşımların yaşlandırılması sırasında ortaya çıkan faz dönüşümlerinden kaynaklanmaktadır.

Alaşımların mekanik özellikleri, kimyasal bileşimleri ve iç yapılarına bağlıdır. Ayrıca uygulanan ısıtma işlemi mekanik özellikleri etkiler. Monotektoid bileşimindeki Zn esaslı bütün alaşımlar (%30-50Al) gerek dökülmüş gerekse ısıtma işlemi görmüş durumlarda, ötektoid alaşımlardan (%20-30Al) daha yüksek mukavemet ve sertlik değerleri gösterirler.

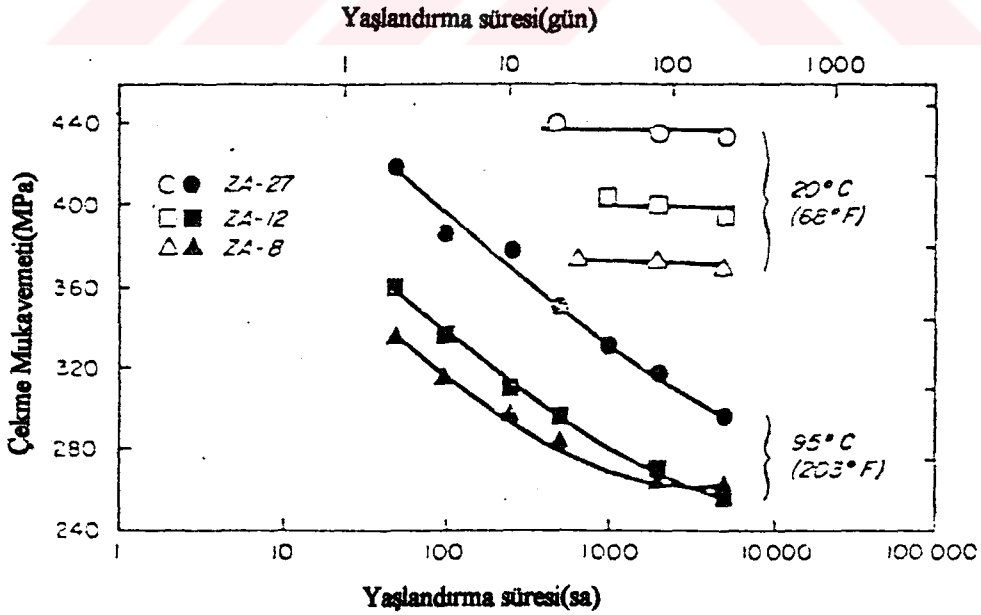
Zn-Al alaşımlarının çekme dayanımları ile sertlik değerlerinin artan Al oranı ile arttığı ve %50-69 Al oranları arasında maksimum değere ulaştığı, bu oranın üzerinde ise düştüğü görülmüştür. Kısacası çekme gerilmesi ve özellikle sünecilikte mikroyapının etkisi şu farklı üç bölümde incelenebilir[4].

- 1-Isıl işlemin etkisi
- 2-Katılaşma hızının etkisi
- 3-Tane incelticilerin etkisi.

3.4.2.1-Isıl İşlemin Etkisi

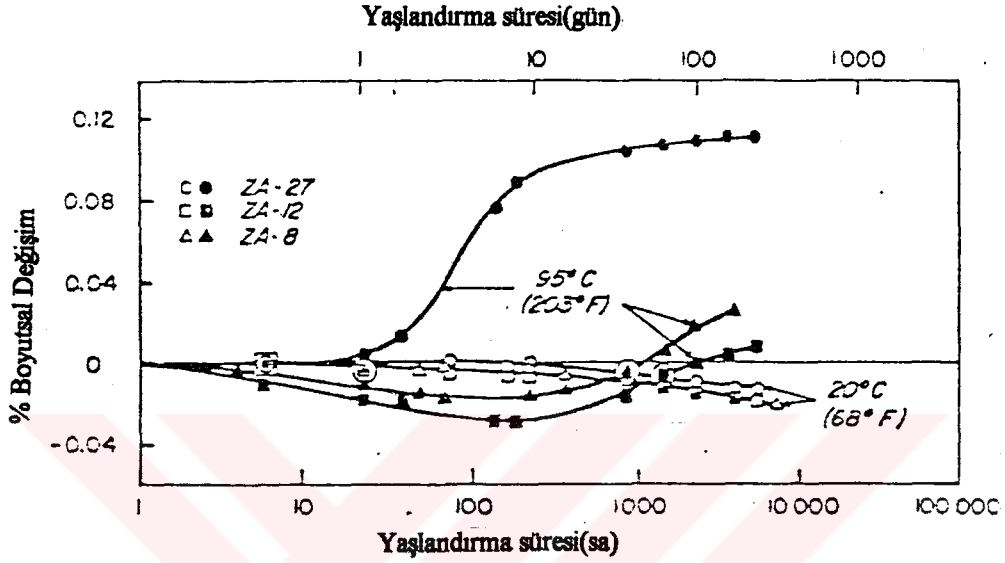
95°C'de 10 gün yaşlandırma ısııl işlemi, çekme ve akma mukavemetini ZA8 ve ZA12'de %20-23, ZA27'de ise %15 azaltır. ZA8 ve ZA12'de çekme uzaması, yaşlandırma ile yaklaşık iki katına çıkar. Yaşlandırma darbe mukavemetini ZA12'de %35, ZA8'de ise %55 azaltır. New Jersey Zinc Co.'nın bir araştırmasına göre, 95°C'de 10 gün yaşlandırma ile Zamak 3 alaşımının çekme mukavemeti %15 azalma ile 241 MPa'a düşmüştür. Bu işlem, çekme uzamasını %15'in yarısı kadar arttırmıştır. Brinell sertliğini ise %24 azalma ile 62 BSD'ye indirmiştir. Ayrıca, darbe mukavemetini %10 azalma ile 54 J'e düşürmüştür.

20°C'de 5000 saat yaşlandırma ise, çekme gerilmesini ve sertliği etkilememiştir. 95°C'de aynı işlem her üç alaşım için çekme gerilmesini yaklaşık %30 azaltmaktadır. Son yıllardaki araştırmalar, gravity dökümle üretilen ZA alaşımlarını oda sıcaklığında yaşlandırmanın özellikleri azaltıcı yönde etkilemediğini göstermiştir. 95°C'deki deney sonuçları Şekil 3.5'de verilmiştir[13].



Şekil 3.5: 20 ve 95°C'de ZA alaşımları için yaşlandırma süresi-çekme gerilmesi diyagramı (basıncılı döküm ZA)

Her üç alaşım için oda sıcaklığında ve 95°C'de yaşlandırmadaki (12000 saatten fazla) boyutsal değişimler şekil 3.6'da görülmektedir[13].

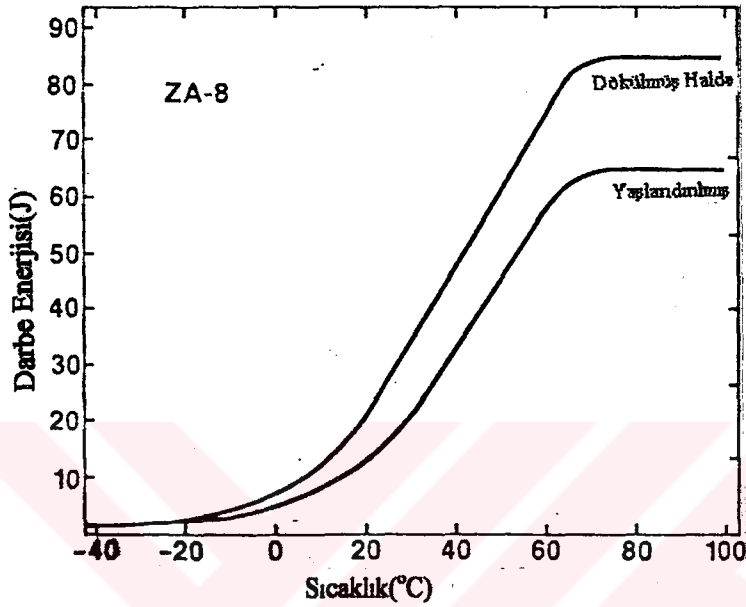


Şekil 3.6: 20 ve 95°C'de ZA alaşımları için yaşlandırma süresi - boyutsal değişim diyagramı.

Oda sıcaklığında bütün alaşımlar boyutsal değişim bakımından benzer davranış göstermektedir. Bu değer, yaklaşık %0.015-0.03 arasındadır. 95°C'de ise ZA8 ve ZA12'de az bir miktar büzülme göstermektedir. ZA8 için 100 saatten sonra minimuma (%0.02) ulaşmakta, ZA12 için ise 200 saatten sonra %0.03'te minimuma ulaşmaktadır. Daha sonra tekrar orjinal boyutlarına gelmekte ve genişlemeye başlamaktadır. 12000 saatten sonra uzama yaklaşık olarak ZA12 için %0.01 ve ZA8 için %0.03 olmaktadır. Gravity döküm numunelerinde ise ZA27 çok belirgin bir şekilde büyüme göstererek yaklaşık %0.1 genişler. Bu büyük genleşme ilk 200 saat esnasında meydana gelmektedir.

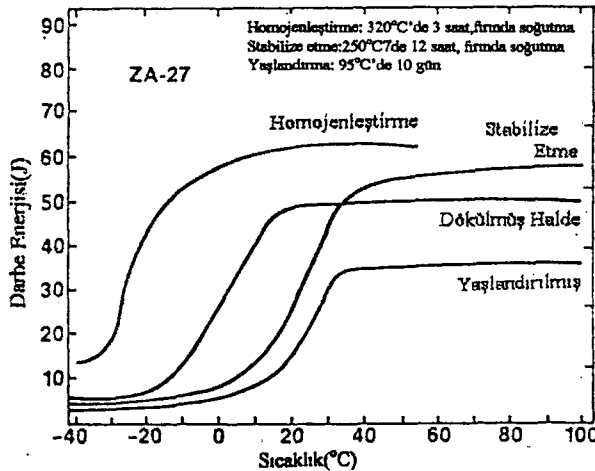
Bu sonuçlardan, oda sıcaklığında yaşlandırma işleminin çok yavaş olduğunu anlaşılmaktadır[13].

Yaşlandırma ZA alaşımlarında darbe mukavemetinide azaltmaktadır. ZA27'de ise daha sonra yapılan homojenleştirme işlemi darbe enerjisini arttırmaktadır. ZA8'in döküm hali ve yaşlandırılmış haldeki darbe mukavemeti şekil 3.7'de gösterilmiştir[3].



Şekil 3.7: Dökülmüş haldeki ZA8'in darbe enerjisi değerleri [3].

Şekilden görüldüğü gibi yaşlandırma, eğrileri sağa doğru döndürmektedir. Fakat, ZA27'nin homojenleştirilmesi eğriyi sola doğru kaydırır. ZA27'nin stabilize işlemi oda sıcaklığına kadar darbe mukavemetini azaltır. Şekil 3.8, ZA27'nin değişik işlemler sonucundaki sünek-gevrek geçişini göstermektedir[3].



Şekil 3.8: ZA27'nin darbe enerjisine çeşitli ısı işlemlerin etkisi [3].

3.4.2.2. Katılaşma Hızının Etkisi

Katılaşma hızı, döküm halindeki mikroyapının tane boyutu veya dendiritler arası mesafesini etkilediğinden dolayı, direkt olarak hem çekme mukavemetini hemde sünekliliği etkiler. Çekme mukavemeti ve DAS (dendiritler arası mesafe) veya tane boyutu arasındaki ilişki, Petch tipinde bir bağıntıyla aşağıdaki gibi kurulabilir[4].

$$\sigma = \sigma_0 + K / d^{1/2} \quad (3.1)$$

Burada σ_0 ve K malzeme sabitleridir. σ ve σ_0 MPa, d ise μm 'dir.

Bölgesel katılaşma zamanı olarakta ifade edilen soğuma hızı ve DAS arasında:

$$t = (\text{DAS}/A)^3 \quad (3.2)$$

bağıntısı vardır. Burada; t, bölgesel katılaşma zamanıdır. Ayrıca, yapılan araştırmalar A sabitesinin ZA12 ve ZA27 için yaklaşık $6\mu\text{m}/\text{sn}^{1/3}$ olduğunu göstermiştir[4].

Denklem 3.1 ve Denklem 3.2'den;

$$\sigma = \sigma_0 + K / A^{1/2} \cdot t^{1/6} \quad (3.3)$$

bağıntısı elde edilir. Şekil 3.9'da ZA8, ZA12 ve ZA27'nin kum ve kokil dökümdeki çekme gerilmelerinin DAS ile değişimi verilmiştir[4].

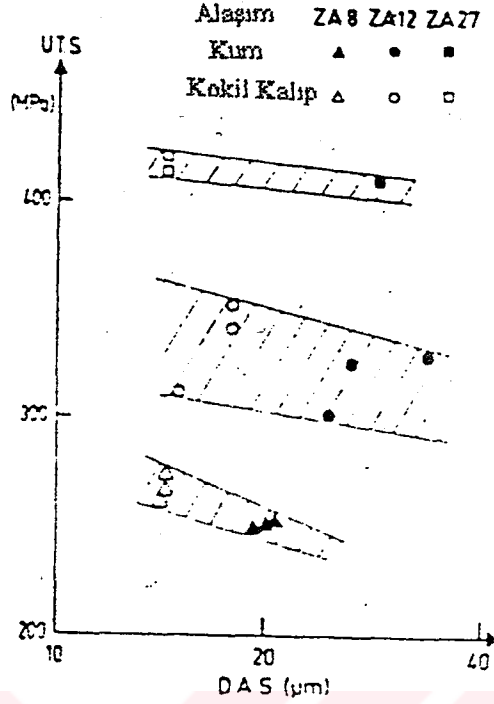
Yapılan araştırmalar sonucu DAS'nin çekme gerilmesine σ etkisi:

$$\text{ZA8 alaşımı için: } \sigma = 49 + 857/d^{1/2} \quad (3.4)$$

$$\text{ZA12 alaşımı için: } \sigma = 240 + 400/d^{1/2} \quad (3.5)$$

$$\text{ZA27 alaşımı için: } \sigma = 370 + 200/d^{1/2} \quad (3.6)$$

bağıntılarından elde edilebilir[4].



ŞEKİL 3.9 ZA8, ZA12 ve ZA27'nin kum ve kokil dökümdeki çekme gerilmelerinin DAS (Dendritler arası mesafe) ile değişimi[4].

3.4.2.3. Tane İnceltici Katkılarının Etkisi

B+Ti, La veya Ce gibi ilaveler ZA alaşımlarında tane inceltici görevler görmektedirler. Örneğin B+Ti basınçlı döküm ZA27'ye ilave edildiğinde çekme mukavemetinde bir artış olmaktadır. Aynı zamanda süneklilikte artış olmaktadır. Araştırmalar %0.025 Ti ve 0.05 B'un Al-%5 Ti-%1 B master alaşımıyla ilavesinin kokil kalıba dökümde çekme gerilmesini 475 MPa ve sünekliliğinde %20'ye kadar çıkardığını göstermiştir. Bu esnada diğer özelliklerin değişmeden kaldığı gözlenmiştir[4,14].

3.4.3 Zn-Al ALAŞIMLARINDA SÜRÜNME

Zn-Al alaşımlarının sürünme özellikleri pek çok araştırmacı tarafından çalışılmıştır. Basınçlı kokil döküm Zn-Al alaşımlarının sürünme özelliklerinin açıklanması Durman ve Murphy[15,17] tarafından daha önce yapılan çalışmalarla

$$f(\epsilon) = A \cdot t \cdot \sigma^n \exp(-Q/RT) \quad (3.7)$$

ampirik formülü ile hesaplanmaktaydı. Bu eşitlik 120°C ve 40 MPa'a kadar olan gerilmelerde olumlu sonuçlar vermektedir. Daha sonraları yapılan ayrıntılı çalışmalarda ise Durman ve Murphy[15,16] bu eşitliği:

$$f(\epsilon) = C.t(\sinh \alpha \sigma)^n \cdot \exp(-Q/RT) \quad (3.8)$$

şekline geliştirmişler ve daha yüksek sıcaklıklardaki ve daha yüksek gerilmelerdeki sürünme özelliklerinin açıklanmasını sağlamışlardır. Burada, n: Gerilme üssü, α : malzeme sabiti, Q: Aktivasyon enerjisidir. Denklem 3.8'de:

No.3 ve ZA27 için: $n=3$.

$$\alpha = 24.3 \times 10^{-3}$$

$$Q = 106 \text{ kJ/mol}$$

ZA8 için: $n=3.2$

$$\alpha = 26.6 \times 10^{-3}$$

$$Q = 99 \text{ kJ/mol}$$

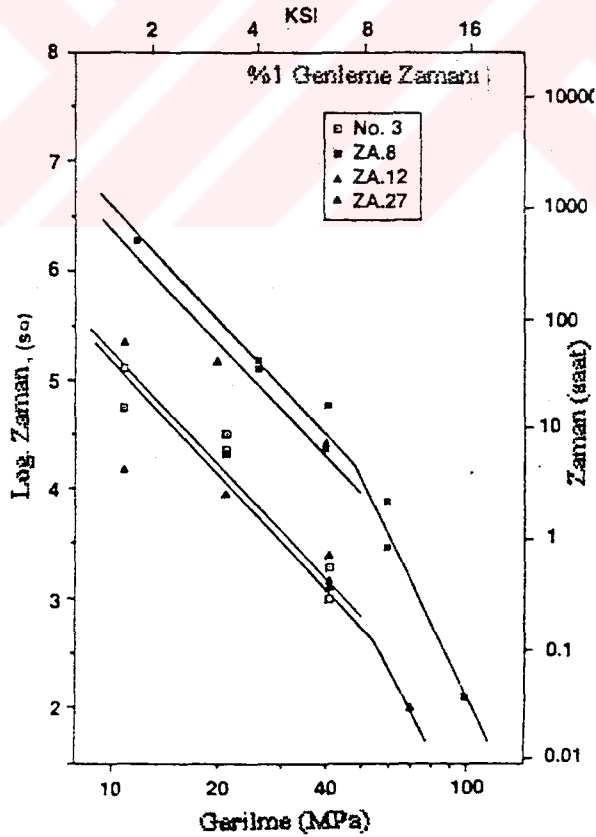
Sürünme direnci ölçüsü olarak ikincil sürünme hızı kullanılır. İkincil sürünme hızı malzemelerin yapı ve kompozisyonunun bir fonksiyonudur ve kararlı sürünme direncinin bir ölçümüdür. Tablo 3.4'te verilen değerlerde ZA8'in verilen herhangi bir test sıcaklığı ve gerilme değerlerinde en düşük ikincil sürünme hızına sahip olduğu görülmektedir. ZA27'nin sürünme hızı bundan biraz daha fazladır. No.3 alaşımı ise daha yüksek sürünme hızına sahiptir.

İkincil sürünme hızına göre ZA27, ZA8'den az oranda kötüdür. Fakat, birçok sürünme şartları için toplam sürünme genlemesi parçaların ömrünü sınırlamaktadır. Bundan dolayı birincil sürünmenin katkısı dikkate alınmalıdır. ZA8, ZA27'den daha düşük bir birincil sürünme genlemesi gösterir ve böylece toplam sürünmede daha iyi bir direnç göstermiştir. No.3 ise yüksek ikincil sürünme hızına ve çok düşük birincil sürünme uzamasına sahiptir. Bundan dolayı, toplam sürünme genlemesinin küçük olmasının gerektiği yerlerde ZA27'ye nazaran daha üstün özelliğe sahiptir[15].

TABLO 3.4: No.3, ZA8 ve ZA27 için tasarı gerilimleri[15].

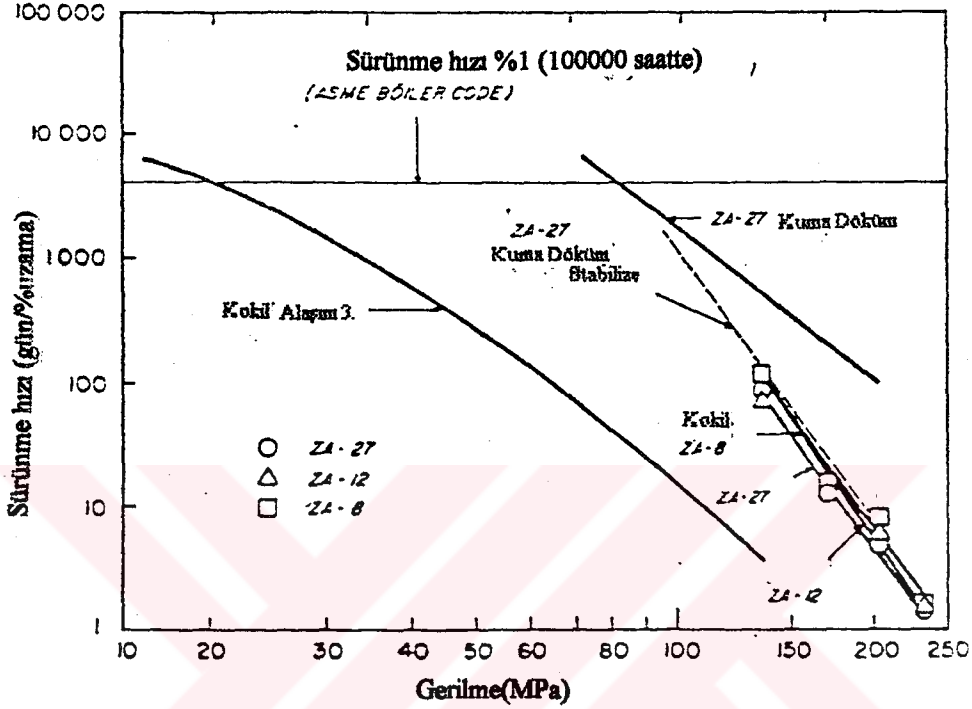
		100000 saatte % genleme veren gerilme, MPa			
Sıcaklık °C		20	50	100	120
No.3	%0.2	19.94	6.27	1.38	0.84
	%0.5	31.06	9.77	2.15	1.31
	%1.0	39.02	12.28	2.70	1.64
ZA8	%0.2	40.85	12.85	2.83	1.72
	%0.5	62.18	19.56	4.30	2.61
	%1.0	87.74	26.03	5.73	3.48
ZA27	%0.2	18.67	5.87	1.29	0.79
	%0.5	30.61	9.63	1.12	1.29
	%1.0	44.00	13.84	3.04	1.85

Uygunluk sağlamak için ASME Boiler Pressure Vessel Code'a göre 100000 saatte %1 uzama sağlayan ikincil sürünme hızını veren gerekli gerilme değerinden yani sürünme gerilmesi değerinden bir kıyaslama yapılabilir. Benzer şekilde 120°C'de farklı gerilme değerlerinde %1 uzamanın görüldüğü zamanı gösteren diyagram şekil 3.10'da verilmektedir[3].



ŞEKİL 3.10 120°C'de farklı gerilme değerlerinde %1.0 uzamayı veren zaman (Basınçlı döküm alaşımları için)[3].

Şekil 3.11 basınçlı döküm ZA alaşımları ile No.3 ve kuma döküm ZA27'nin gerilmenin fonksiyonu olarak ters ikincil sürünme hızlarının kıyaslanması (20°C'de)[13].



ŞEKİL 3.11 Basınçlı döküm ZA alaşımları, kuma döküm ZA27, stabilize edilmiş kum döküm ZA27 ve Zn basınçlı döküm alaşımı No.3'ün gerilmenin fonksiyonu olarak ikincil sürünme hızları(20°C'de)[13].

3.4.4 Zn-AI ALAŞIMLARINDA KOROZYON VE AŞINMA

ZA alaşımlarının korozyon dirençleri konvansiyonel Zn alaşımları ve Al'un arasında değişmektedir. Tuzlu bir ortamda ZA8 ve ZA12, saf Zn ve No.3 alaşımından daha dirençlidir. ZA27 ise Al380 alaşımının korozyon özelliklerine benzer davranışlar göstermektedir.

Dökülmüş halde ZA alaşımlarının yüzeyinde pasif film tabakası olduğundan atmosferik ortamlarda korozyona karşı dirençlidir. Daha sert şartlarda örneğin

deniz suyunda korozyondan koruma için koruyucu kaplama yapılır. Kromatlama, elektroplating, boyama veya çinko anodlama gibi[18].

ZA alaşımlarının diğer bir mühendislik özelliğide, yatak ve aşınma özelliklerinin endüstrideki diğer yatak malzemelerine kıyasla daha üstün olmasıdır. Genellikle yatak uygulamaları için ZA12 ve ZA27 kuru ve yağlı aşınma ortamlarında süper performans gösterirler. Bunlar daha düşük sürtünme katsayısına, daha iyi yük-yatak kabiliyetine, daha düşük çalışma sıcaklıklarına ve daha geniş hidrodinamik yağlama oranına sahiptirler.

Marczah ve Ciach %2 Cu içeren ZA alaşımlarının çok iyi aşınma özelliklerine sahip olduklarını göstermiştir. Bu özelliklerin nedeni boyutsal kararsızlıkların ortadan kaldırılması için uygulanan ısıtma işlem sonucu meydana gelen çok fazlı yapı ile, yatak yüzeyinde oluşan çinko oksit ve alüminyum oksitten ileri geldiği söylenmektedir. Alüminyum oksitin sertliği alaşımından büyük olduğu için aşınma direnci kazandırır. Çinko oksit ise çok daha yumuşak olup yatak mil arasında bir sıkışma olması halinde yatağı yağlama görevi görür[7].

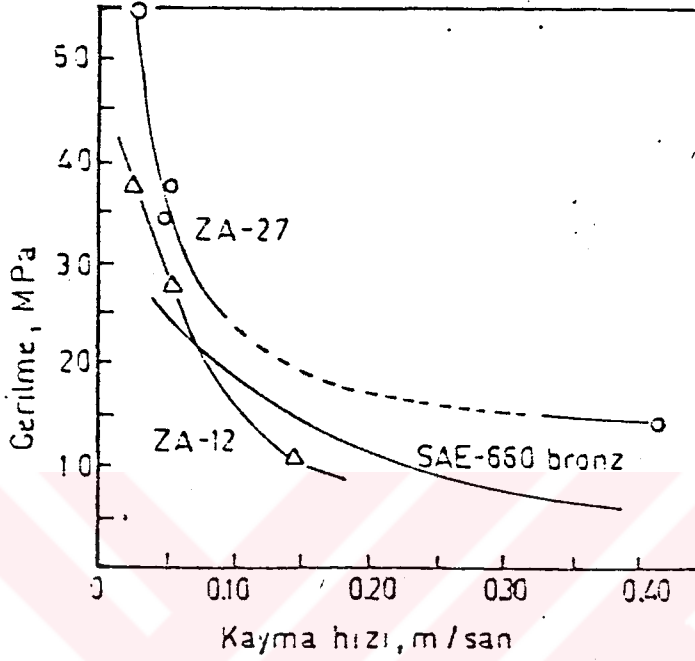
Bronzlar (SAE 660) ve ZA alaşımları bugün ağır yük ve hafif hız uygulamasında kullanılan birkaç yatak alaşımından iki tanesidir. ZA alaşımları endüstride kullanılan SAE 660 Pb-Sn bronzu gibi konvansiyonel yatak alaşımlarına kıyasla daha iyi aşınma özellikleri sergilemektedir. Zn alaşımlarından yapılan yatakların SAE 660 bronzuna göre daha iyi performans gösterdiği aşağıdaki uygulamalarla kanıtlanmıştır:

a) Traktörlerde bronz yerine Zn alaşımlarının kullanılması yatak çalışma ömrünü 1800-2000 saatten 5000-7000 saate çıkarmıştır.

b) Zn ve bronz yatakları aynı şartlarda kullanıldığında, 650 saat sonunda bronzun 1.18 mm, Zn alaşımının 0.4 mm aşındığı görülmüştür. Aynı zamanda, bronz yatakta çalışan çelik milin 0.6 mm, Zn yatakta çalışan milin ise ancak 0.05 mm aşındığı tespit edilmiştir[7].

ZA12 ve ZA 27 birçok Pb-Sn yatak bronzlarına kıyasla daha dayanıklı, sert ve daha yüksek darbe direncine sahiptir. ZA27 ve ZA12 sırasıyla SAE 660 bronz

alaşımından %40 ve %32 daha hafiftirler. Şekil 3.12'de ZA12, ZA27 ve SAE 660 bronzu karşılaştırılmıştır[7].

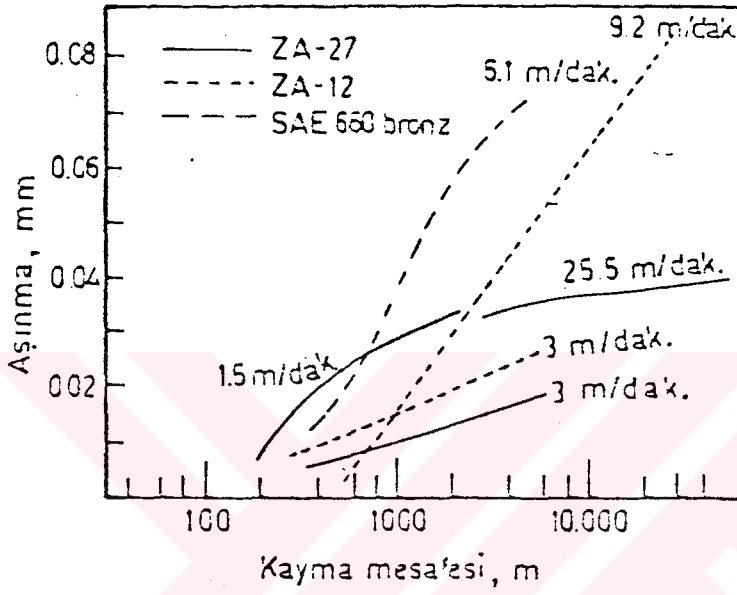


ŞEKİL 3.12 ZA12, ZA27 ve SAE 660 bronzunun gerilme hız ilişkisi[7].

Numuneler çeşitli yük ve şaft yüzey kayma hızlarında test edilmiştir. Çalışma sıcaklık sınırı 140°C'dir. Bu şartlarda yapılan testlerde ZA27 alaşımı tüm hızlarda SAE 660 bronzundan daha iyi performans göstermiştir. Düşük kayma hızlarında ZA12'nin bronzdan daha iyi olduğu görülmektedir. ZA27'nin sürtünme katsayısı 0.03-0.07, bronzun ise 0.1 olarak bulunmuştur[7].

Bronz ve ZA alaşımlarının aşınma davranışları 6.89 MPa gerilme altında çeşitli kayma hızları ve farklı kayma mesefeleri için Şekil 3.13'de karşılaştırılmıştır. Örneğin 0.05 mm aşınma bronz yataкта 1220 m mesafede, ZA12'de ise kayma hızı daha büyük olduğu halde yaklaşık 9000 m'de, ZA27'nin 25m/dak. hızla en az 30000 m mesafe gitmesi gerekmektedir.

Ayrıca, ZA alaşımları kuvvetli asit veya alkaliler tarafından korozyona uğratıldıkları için kullanılan yağlayıcıların pH değerleri 6-9 arasında olmalıdır[7].



Şekil 3.13 ZA alaşımları ve bronzun aşınma davranışları[7].

BÖLÜM 4

Zn-Al ALAŞIMLARININ YAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ÇEŞİTLİ ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ETKİSİ

ZA8 ve ZA12 alaşımları kısa ve orta katılaşma aralığına sahip olduklarından çekilme boşluğu hatası besleyici hacmi, yolluk dizaynı, döküm sıcaklığı, çil uygulanması gibi döküm parametrelerinin kontrolü ile önlenabilir.

ZA27'nin katılaşma aralığı daha geniş olduğundan döküm dizaynının kompleksliğinden ve yüksek maliyetten dolayı yukarıdaki parametrelerin bu hatayı önlemek için kullanımı tavsiye edilmez. Yapılan çalışmalar sonucunda 1A grubu (Li,N,K,Cs) ve 2A grubu(Be,Ca,Sr,Ba) elementleri %0.02-0.1 aralığında kullanıldığında çekilme boşluğunun önlendiği görülmüştür[18].

ZA8, 12 ve 27 alaşımlarına %0.06'ya kadar Sr ilavesi söz konusu malzemelerin mekanik özelliklerine zararlı etki yapmamaktadır. Daha yüksek miktarlarda Sr ise maksimum çekme dayanımı, darbe direncini ve % uzamayı düşürmektedir. Sr ile B ikilisinin birlikte kullanılması ise, sünekliliği arttırmakta ve döküm yüzeyi kaliteli ürünlerin elde edilmesini sağlamaktadır. Yüksek miktarda B ilavesi % uzamanın düşmesini önlemektedir[6].

Sr ilavesi mikro yapıyı etkilememekte Zn, Al, Cu içeren ayrı bir fazda görülmektedir. Bu faz çekme yükü etkisi ile öncelikle kırılmanın görüldüğü fazdır. Bu nedenle burada çekme gerilmesinde ve uzamada bir artış görülmemektedir[6,18].

ZA27 üzerinde yapılan çalışmalar, alaşımda bulunan Fe'in artan miktarı ile alaşımın çekme mukavemetinin , % uzama değerinin ve darbe mukavemetinin düştüğünü

göstermiştir. Yapıda %0.05 oranında Fe bulunması $FeAl_3$ metaller arası bileşik oluşturmaktadır[18].

4.1 Bakırın Etkisi

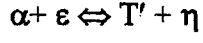
ZA alaşımlarında Zn ve Al'dan sonra en önemli alaşım elementi Cu'dur. Cu genel olarak Zn-Al alaşımlarına sertlik ve çekme mukavemetini artırıcı etkisi nedeniyle ilave edilmektedir. Ayrıca, bu element alaşımların sürünme ve korozyon direncinide arttırmakta fakat, buna karşılık sünekliliği artan mukavemet değerleri ile ters orantılı olarak azaltmaktadır[19,20].

Son zamanlarda yapılan detaylı elektron mikroskobu çalışmaları sonucu, ZA8 alaşımındaki Cu'nun yarı kararlı $\epsilon(CuZn_4)$ fazı halinde Zn'ca zengin ötektik η ve yüksek sıcaklık fazı β 'nin ötektoid dönüşümü sonucu olan η matris içinde çok küçük partiküller halinde çöktüğü ve yarı kararlı varlığını çok uzun süreler koruduğu 5 yılı aşkın süreler oda sıcaklığında yaşlanmış numuneler üzerinde yapılan incelemelerde gösterilmiştir. Dolayısıyla, ZA8 alaşımının gösterdiği üstün mekanik özelliklerin ve özellikle sürünme direncinin gelişmesinde yapısında çökelme sertleşmesi oluşturan ϵ fazı dolayısıyla Cu en önemli rol oynamaktadır[17,19,20].

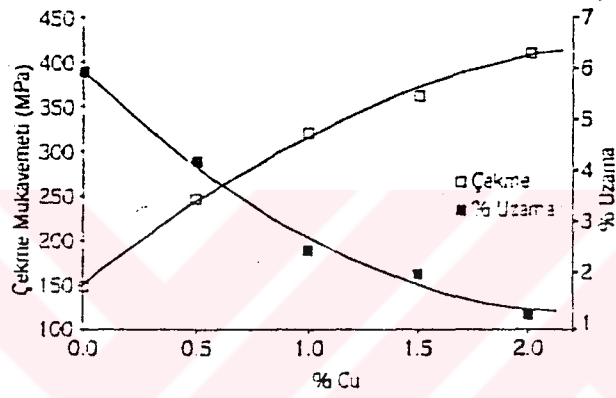
Artan Cu miktarı ile, alaşımların ötektik yapı miktarında artış olmaktadır. Bunun sebebi olarak, Cu ilavesinin Zn-Al faz sisteminde ötektik bileşimini Al lehine zenginleştirdiği ve buna bağlı olarak artan ötektik hacminin ϵ fazının çökebilmesi için daha fazla oranda η matris oluşturmaya ile mekanik özelliklerin artışında diğer bir etken olduğu düşünülmektedir[19].

ϵ fazı $268^\circ C$ 'nin altındaki sıcaklıklarda kararlı bir faz değildir ve T' fazına dönüşmesi gerekmektedir. T' fazı %58 Cu, %30 Al ve %12 Zn bileşimindedir ve buna bağlı olarak ϵ fazının kararlı T' fazına dönüşümü Al'un ϵ fazına difüzyonunu gerektirmektedir. Fakat, η matris içinde Al çözünürlüğü az olması ve η ile ϵ 'un benzer kristal yapıda olması, ϵ fazının η matris içinde yarı kararlı varlığını

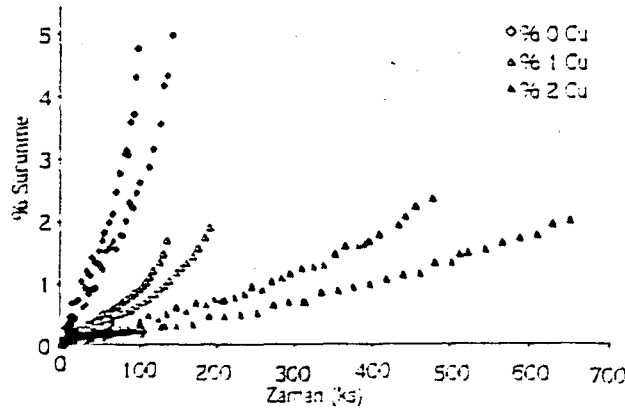
uzunsüreler korumasına neden olmaktadır. Ancak yaşlandırma işlemi ile bu dönüşüm aşağıdaki gibi olmaktadır[10,11,21]



%0-2 arasında Cu ilavesinin ZA8 alaşımının mekanik özelliklerine etkisi Şekil 4.1 ve 4.2'de görülmektedir [19,20].



Şekil 4.1 Alaşımın çekme mukavemet ve % uzama değerlerinin Cu içeriği ile değişimi.



Şekil 4.2 Alaşımın 40 MPa gerilme ve 120°C sıcaklıktaki sürünme eğrileri.

4.2 Magnezyumun Etkisi

Mg'un, saf Zn içinde çözünürlüğü 275°C'nin altında %0.01'den daha azdır. Zn-Al alaşımlarında çözünürlüğü sınırlıdır. Örneğin Zn-22Al ötektoid alaşımında çözünürlüğü 275°C'de %0.025'dir ve bu oran bu elementin mukavemete sağladığı katkıyı sınırlamaktadır. Mg seviyesindeki daha fazla bir artış $Zn_{11}Mg_2$ intermetalik bileşiklere dayanan bir faz oluşturmaktadır. Sertlikte, çekme mukavemetinde, sürünme mukavemetinde gelişmeler elde etmek ve aynı oranda taneler arası korozyonu geciktirmek için Mg, Zn-Al alaşımlarında alaşım elementi olarak %0.002-0.1 arasında değişen oranlarda ilave edilmektedir. Ancak mukavemet parametrelerindeki artış genellikle süneklikteki azalma ile orantılıdır[21].

Mg ilavesi ötektoid dönüşümün kinetiğinin de etkilemektedir. Zn-%22 Al bileşimi için Mg varlığı (ve Cu) TTT diyagramlarındaki burun sıcaklığının artmasına sebep olur. Ancak fazların dönüşümünü tamamlama zamanını artırır. Dönüşüm zamanı oda sıcaklığında Mg içeren alaşımlarda, Mg içermeyenlere oranla birkaç günden 6 haftaya kadar artar. Mg'un varlığı ötektoid üstü alaşımların oda sıcaklığındaki dönüşümünü modifiye eder. Zn'ca zengin β fazının oluşumu ilk etepta geciktirilir ve Al'ca zengin α fazı öncelikle gelişir. Mg ötektoid üstü alaşımların katılaşmalarında etkilemektedir. Sebebidir dendritlerin etrafındaki ötektik lamellerin oranının artmasıdır.

Bu alaşımlar, darbe deneylerinde sünek gevrek geçişi gösterirler. Mg ilavesi ile ötektoidal alaşımların geçiş sıcaklığında azalma gösterirler. Oysa Zamak 3'ün (Zn-%4Al) geçiş sıcaklığında bir artış olmaktadır. Mg ilavesi Zn-Al alaşımlarında akışkanlığı azaltmaktadır. Bu erimiş Zn bazlı alaşımların oksidasyon hızının Mg ile etkilenmesinden olmaktadır[1].

Mg ötektik dönüşümün oluşmasında geciktirmekte ve geriye kalan sıvı ile etkileşmesinden dolayı ortalama katılaşma hızını düşürmektedir. 300°C'de katılaşma dönüşümüne sebep olmakta ve %0.01 gibi düşük miktarlarda kullanıldığında mukavemeti arttırmaktadır. Cd, Pb, Sn gibi empürilerin olduğu rutubetli ortamlarda taneler arası korozyon direncini arttırmaktadır.

Mg hem SEM hemde TEM incelemelerinde gözlenebilmektedir. Back scatter SEM görüntüsünde Mg'ca zengin alanlar ötektik bölgelere doğru uzanan β parçacıklar ile ara yüzeyde yoğunlaşmış olarak bulunmaktadır.

Mg'ca zengin alanların elektro difraksiyon izotermi ve EDS analizleri sonuçlarında Mg ZATEC (Zn bazlı sürünme dirençli alaşım %8-8.8 Al, %0,085-0.11 Mg, %0.8-1.3 Cu, %0.02-0.08 Li, %0.0075-0.03 Mn) alaşımında Mg_2Zn_{11} kristali olarak veya Mg'ca zengin η fazı olarak bulunabilmektedir. Tabii ki bunların bulunması yerel soğuma şartları ve Mg'un konsantrasyonuna bağlı olmaktadır[21].

ZA8 alaşımına ilave edilen Mg'un %0-1 aralığında etkisi incelenen bir araştırmada, Mg elementinin %0.07 oranına kadar çekme mukavemetini arttırdığı, bu oranın üzerindeki oranlarda ise çekme mukavemetini olumsuz yönde etkilediği bulunmuştur. Ayrıca, Mg'un sertliği her oranda arttırdığı görülmüştür[20].

4.3 Manganezin Etkisi

Mn metalik Zn'da 400°C'de %0.47 çözünürlüğe sahiptir. Bu değer oda sıcaklığında daha az olmaktadır. Zn, Al'la alaşımlandığında Mn'in bu çözünürlüğü daha da azalmaktadır. Zn-%4 Al alaşımı için 390°C'de %0.0006 ve 420°C'de %0.013 olarak bildirilmiştir[21].

ZATEC alaşımı üzerinde yapılan çalışmalar Mn içeren fazın küçük parçacıklar halinde η fazında veya β sınırlarının yanında bulunduğunu göstermiştir. Ayrıca Mn içeren parçacıklar da görülmüştür. Bunlar birincil ötektik bölgelerinde bulunmaktadır ve Mn ve Al içermektedirler[21].

Ti içeren Zn-Al alaşımlarına aşınma direnci için Mn ilavesi, basma yükleri altında deformasyona ve kırılmaya iyi direnç göstermesini sağlar. Zn-%22 Al alaşımına %0.2 Mn ilavesi sertlik, mukavemet ve sürünme direncinde önemli artışlar sağlamaktadır. Daha yüksek seviyelerde Mn(%1.5 Mn gibi) istenmeyen sürünme özelliklerine sebep olmaktadır[1].

ZA8 alaşımına ilave edilen Mn'ın (0-0.5 arası) sertliği önemli ölçüde etkilemediği gözlenmiş. %0.05 oranına kadar Mn ilavesinin çekme mukavemetini bir miktar arttırdığı fakat, bu oranın üzerindeki ilavelerin çekme mukavemetinin azalmasına neden olduğu bildirilmiştir[20].

4.4 Titanyumun Etkisi

Ti'un Zn'da çözünürlüğü sınırlıdır ve yaklaşık %0.11 Ti'da ötektikte bir Zn-zengin bileşikler oluşmaktadır. Bu bileşikler döküm Zn'nun tane boyutunu azaltmaktadır[1].

ZA alaşımlarında Ti mikroyapıyı inceltmekte bunun nedeni olarakta, Al'ca zengin katı eriyik merkezinde görülen Al_5Ti_2Zn metaller arası bileşiği gösterilmektedir. Bu ise sünekliliğin artmasına imkan vermektedir[14].

Ti, Zn döküm alaşımlarında tane boyutunu azaltıcı etki yaptığı gibi yüksek sıcaklıklarda tane büyümesine engel olur. Genel olarak Ti sürünme direncini geliştirmek amacı ile kullanılmaktadır[1,14].

Ti'un ZA8 alaşımına %0.01-0.2 aralığında ilavesi sertlikte önemli bir değişiklik yapmamış fakat az oranda Ti ilavesi çekme mukavemetini arttırmıştır. Ancak %0.1'in üzerinde Ti ilavesi çekme mukavemetinde azalma meydana getirmektedir[20].

4.5 Lityumun Etkisi

ZATEC alaşımında yapılan çalışmalar, Li içeren alanların ötektik bölgede bulunduğunu göstermiştir. Li, β partikül sınırları yanında ötektik η fazında Al_2CuLi olarak bulunmaktadır. Aynı zamanda, $LiZn_4$ olarak bulunmasıda mümkündür[21]. Tablon 4.1'den de anlaşılabileceği gibi Zn-Al bazlı alaşımlara hem Mn hemde Li'un katılması primer ve ikincil sürünme dirençlerinde büyük bir artış göstermektedir [23,22].

Tablo 4.1 35 MPa gerilme altında 100°C’de, basınçlı döküm sürünme deney numunelerine ait deney sonuçları[22].

Primer ve ikincil sürünmeler(ZA8’le karşılaştırmalı olarak)				
Primer Alaşım	% uzamanın görüldüğü zaman (saat)			
	%0.25	%0.5	%0.75	%1.0
ZA8	4	14	26	37
ZA8+%0.056 Li	9	46	101	160
ZA8+%0.018 Mn	15	44	95	168
ZA8+%0.041 Mn	4	17	31	47
ZA8+(%0.06 Li/0.013 Mn)	23	113	238	379
ZA8+(%0.07 Li/0.025 Mn)	88	288	—	—
İkincil sürünme	1000 saatte % sürünme hızı			
ZA8	21			
ZA8+%0.056 Li	3.67			
ZA8+%0.018 Mn	1.81			
ZA8+%0.041 Mn	16.8			
ZA8+(%0.06 Li/0.013 Mn)	1.74			
ZA8+(%0.07 Li/0.025 Mn)	1.57			

ZA8 hariç bütün alaşımlar %0.1 Mg içermektedir.

Tablo 4.1’den görüldüğü gibi en iyi birincil ve ikincil sürünme direnci hem Li hemde Mn’in ilavesiyle elde edilmektedir. Ancak birincil ve ikincil sürünme direncinde önemli artış sadece Mn ilavesi ile de yapılabilmektedir [22].

4.6 Silisyumun Etkisi

Si ilavesinin ZA alaşımlarının mekanik özelliklerini iyileştirdiği düşünülmektedir. Birçok şartlarda Si, Zn bazlı alaşımlara kazaen karışmaktadır. Zn’ya alaşımlandırma amacı ile ilave edilecek Al’dan gelebilmektedir ve Si bir empürite olarak bahsedilmektedir.

Si gerçekte saf Zn’da çözünmez. ve küçük miktarda iğneye benzer şekilde mikroyapıda görülür. Aynı zamanda, Zn-Al alaşımlarındada Si’un çözünürlüğü yoktur.%0.02’ye kadar düşük Si seviyesi çekme gerilmesini artırır. Fakat uzama ve darbe özelliğini şiddetle azaltır ve sünek gevrek geçiş sıcaklığını düşürür. Cu ilavesi ise Si’un ters etkisini azaltmaktadır[1].

4.7 Kromun Etkisi

Cr'un Zn içerisinde çözünürlüğü ihmal edilebilir boyutlardadır. Fakat, Zn-Al alaşımlarında CrAl_4 intermetalik bileşiği halinde bulunmaktadır. Cr, Mn gibi sürünmeye karşı dayanımı artırır. Ayrıca Cr, ZA alaşımlarının dökülebilme özelliklerini kötü yönde etkilemekte ve dendritik büyümeyi hızlandırmaktadır[1].



BÖLÜM 5

Zn-Al ALAŞIMLARININ KULLANIM YERLERİ

ZA alaşımlarının aşınma özellikleri standart yatak malzemelerine kıyasla daha iyi olduğundan yatak malzemesi olarak kullanılmaktadır. Aynı zamanda, lokomotif çekme yatağı ve baskı makinalarında kullanılmaktadır. Ayrıca bazı ekipmanlarda, kazı makinalarında, kompresörlerde, pistonlu su pompasında, haddeleme tezgahında, hava ile çalışan matkap gibi birçok yerde kullanılmakta ve bronzla göre daha iyi performans göstermektedirler.

Yüksek sönüm kapasitesine sahip olmalarından dolayı kokil olarak dökülmü ZA12 elle çalışan havalı çekiçte, ZA27 ise otomobil motor çerçevelerinde ve arazi motorsikletlerinde kam mili tahrik kasnaklarında kullanılmaktadır.

Aşağıda bazı Zn-Al alaşımlarının kullanım yerleri belirtilmiştir[2].

No.3 ve No.5 :

Otomotiv parçaları, eve ait el aletlerinde, demirbaş eşyalarda, büro ve bilgisayar ekipmanlarında, inşaatlarda madeni eşyalarda kullanılır.

ZA8 :

Yüksek mukavemetin gerekli olduğu yerlerde, otomobiller, genel madeni eşyalarda, tarım ekipmanlarında, elektronik ve elektrik tertibatlarında, ev ve bahçe aletlerinde, bilgisayar madeni eşyalarında, iş makinalarında, kayıt makinalarında, radyolar ve el aletlerinde kullanılır.

ZA12 :

ZA12, ZA8'in kullanıldığı tüm yerlerde kullanılır. İlaveten bu alaşım yüksek yük düşük hız uygulamaları için yataklarda kullanılır.

ZA27 :

Çok yüksek mukavemet gerektiren yerlerde kullanılır Otomobil motorlarında, tren lokomotiflerinde, madeni eşyalarda, tarım ekipmanlarında, ev ve bahçe aletlerinde, ağır yüklerle çalışan el ve iş aletlerinde kullanılır. Bu alaşım yaygın olarak yüksek yük düşük hız uygulamaları için yataklarda kullanılır.

ILZRO 16:

Yüksek sıcaklık şartları için yüksek yüke maruz kalan yatak ekipmanlarında kullanılır.

Aşınma direnci ve sürtünme özellikleri yüksek olan ZA12 alaşımı kıvılcım çıkarma özelliğine sahip olmadığından madencilik sektöründe kullanılmaktadır.

BÖLÜM 6

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. Alaşımların Hazırlanması ve Dökümü

Alaşımlar ticari saflıkta çinko (%99.99) ve alüminyumdan (%99.8) hazırlanarak bir elektrikli direnç fırınında grafit esaslı potada ergitilmiştir. Alaşımların Cu, Mn, Ti, Li, Si ve Cr alaşım elementleri ilaveleri, bileşimleri %50 Al-%50 Cu, %90 Al-%10 Mn, Zn-% 2 Ti, %50 Al-%50 Si, Cu-%10 Cr, %96.5 Al-2.35 Li-1.15 Cu-0.75 Mg master alaşımları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Mg ilaveleri ise, saf element olarak dökümden hemen önce iyi bir karıştırma ile yapılmıştır.

Dökümler, 600°C sıcaklıktaki ergimiş alaşımların 200°C'ye ısıtılmış metal kalıba dökülmesi ile gerçekleştirilmiştir. Metal kalıp sıvı metalin alttan yükselerek doldurduğu ve boyutları 16x160 mm olan 4 silindirik numuneyi verecek şekilde dizayn edilmiştir. Üretilen alaşımların kimyasal bileşimleri Tablo 6.1-6.9'da verilmiştir. Parantez içinde ise, döküm sonrasında yaş analiz yöntemiyle elde edilen gerçek bileşimleri belirtilmiştir.

6.2 Darbe Deneyleri

Darbe deney numuneleri her bir alaşımdan 10x10x55 mm boyutlarında, çentiksiz standart numunceler olarak torna ve planya tezgahlarında işlenerek hazırlanmıştır.

Çentiksiz olarak hazırlanan darbe deneyi numunelerinden, her bir döküm için iki numune kırılmış ve ortalama değer darbe dayanımı olarak alınmıştır.

TABLO 6.1 Al serisi alaşımların % ağırlıkça bileşimleri ve parantez içinde yaz kimyasal analizleri

Alaşım No	Zn (%)	Al(%)	Cu(%)	Mg(%)
ZA/1	Kalan	4.77	-	0.03
ZA/2	"	5.25	-	"
ZA/3	"	5.81	-	"
ZA/4	"	6.74	-	"
ZA/5	"	7.08	-	"
ZA/6	"	7.3	-	"
ZA/7	"	8.2	-	"
ZA/8	"	8.4	-	"
ZA/9	"	8.7	-	"
ZA/10	"	9.6	-	"
ZA/11	"	10.45	-	"

TABLO 6.2 Al+Cu serisi alaşımların % ağırlıkça bileşimleri ve parantez içinde yaz kimyasal analizleri

Alaşım No	Zn (%)	Al(%)	Cu(%)	Mg(%)
ZA/12	Kalan	5.03	1.0	0.03
ZA/13	"	5.52	1.05	"
ZA/14	"	5.98	1.0	"
ZA/15	"	6.24	1.05	"
ZA/16	"	6.92	1.05	"
ZA/17	"	7.5	1.0	"
ZA-8 Std.	"	7.9	"	"
ZA/18	"	8.45	"	"
ZA/19	"	8.74	"	"
ZA/20	"	10	"	"
ZA/21	"	10.5	"	"

TABLO 6.3 Cu serisi alaşımların % ağırlıkça bileşimleri ve parantez içinde yaş kimyasal analizleri

Alaşım No	Zn (%)	Al(%)	Cu(%)	Mg(%)
ZA/22	Kalan	8.0	0.0	0.03
ZA/23	"	"	0.69	"
ZA-8 Std.	"	"	0.94	"
ZA/24	"	"	0.74	"
ZA/25	"	"	2.54	"
ZA/26	"	"	2.23	"
ZA/27	"	"	2.72	"

TABLO 6.4 Mg serisi alaşımların % ağırlıkça bileşimleri ve parantez içinde yaş kimyasal analizleri

Alaşım No	Zn (%)	Al(%)	Cu(%)	Mg(%)
ZA/28	Kalan	8.0	1.0	0.0
ZA/29	"	"	"	0.012
ZA-8 Std.	"	"	"	0.014
ZA/30	"	"	"	0.030
ZA/31	"	"	"	0.053
ZA/32	"	"	"	0.09
ZA/33	"	"	"	0.146
ZA/34	"	"	"	0.197
ZA/35	"	"	"	0.31
ZA/36	"	"	"	0.48
ZA/37	"	"	"	0.97

TABLO 6.5 Mn serisi alaşımların % ağırlıkça bileşimleri ve parantez içinde yaz kimyasal analizleri

Alaşım No	Zn(%)	Al(%)	Cu(%)	Mg(%)	Mn(%)
ZA/38	Kalan	8.0	1.0	0.03	0.01
ZA/39	"	"	"	"	0.026
ZA/40	"	"	"	"	0.045
ZA/41	"	"	"	"	0.063
ZA/42	"	"	"	"	0.090
ZA/43	"	"	"	"	0.14
ZA/44	"	"	"	"	0.16
ZA/45	"	"	"	"	0.22
ZA/46	"	"	"	"	0.30
ZA/47	"	"	"	"	0.53

TABLO 6.6 Ti serisi alaşımların % ağırlıkça bileşimleri ve parantez içinde yaz kimyasal analizleri

Alaşım No	Zn(%)	Al(%)	Cu(%)	Mg(%)	Ti(%)
ZA/48	Kalan	8.0	1.0	0.03	0.01
ZA/49	"	"	"	"	0.03
ZA/50	"	"	"	"	0.051
ZA/51	"	"	"	"	0.09
ZA/52	"	"	"	"	0.18
ZA/53	"	"	"	"	0.15
ZA/54	"	"	"	"	0.20

TABLO 6.7 Li serisi alaşımların % ağırlıkça bileşimleri ve parantez içinde yaş kimyasal analizleri

Alaşım No	Zn(%)	Al(%)	Cu(%)	Mg(%)	Li(%)
ZA/55	Kalan	8.0	1.0	0.03	0.01
ZA/56	"	"	"	"	0.03
ZA/57	"	"	"	"	0.05

TABLO 6.8 Si serisi alaşımların % ağırlıkça bileşimleri ve parantez içinde yaş kimyasal analizleri

Alaşım No	Zn(%)	Al(%)	Cu(%)	Mg(%)	Si(%)
ZA/58	Kalan	8.0	1.0	0.03	0.28
ZA/59	"	"	"	"	0.23
ZA/60	"	"	"	"	0.33
ZA/61	"	"	"	"	0.7
ZA/62	"	"	"	"	1.1

TABLO 6.9 Cr serisi alaşımların % ağırlıkça bileşimleri ve parantez içinde yaş kimyasal analizleri

Alaşım No	Zn(%)	Al(%)	Cu(%)	Mg(%)	Cr(%)
ZA/63	Kalan	8.0	1.0	0.03	0.005
ZA/64	"	"	"	"	0.025
ZA/65	"	"	"	"	0.022
ZA/66	"	"	"	"	0.025
ZA/67	"	"	"	"	0.05

Deneyler Charpy Darbe Deneyi cihazında 30 kg'lık ağırlık kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Darbe deneyinde, numunenin dinamik bir zorlama altında kırılması için gereken enerji miktarı tayin edilmiştir. Bulunan bu değer malzemenin darbe direnci olarak tanımlanmaktadır.

6.3 Sertlik Deneyleri

Sertlik deneyleri 16x10 mm boyutlarında numuneler kullanılarak yapılmıştır. Alaşımların Brinell Sertlik ölçümleri, 2.5 mm çapında bilya ve 187.5 kg yük kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her bir numuneden en az 8 sertlik değeri ölçülerek ortalama değer alaşımların sertlik değeri olarak belirlenmiştir.

6.4 Metalografik Çalışma

Alaşımların metalografik incelemeleri iki aşamada yapılmıştır. Önce sertlik deneyinde kullanılan numuneler, standart numune hazırlama yöntemleri kullanılarak parlatılmış ve mikroyapı incelemesi taramalı elektron mikroskopunda (SEM) dağlama yapılmadan incelenmiştir. İkinci aşamada ise, bu numuneler %2'lik nitelle dağlanarak optik mikroskopta mikroyapı incelemesi yapılmıştır.

SEM'de yapılan mikro yapı incelemelerinde Zn-Al esaslı alaşımların, Zn ve Al'un atom ağırlıkları arasındaki farkın büyük olmasından dolayı ikincil elektron görüntüleri çok net olarak gözlenebilmektedir. SEM'deki ikincil elektron görüntüsündeki atom ağırlığı büyük olan Zn açık renkte, Al ise koyu renkte görülmüştür. Bu nedenle, numuneler dağlanmadan net görüntüleri elde edilebilmiştir.

BÖLÜM 7

DENEY SONUÇLARI VE İRDELENMESİ

7.1 Mikroyapı İncelemeleri

Aşağıdaki mikrofotografılarda Al'ca zengin fazlar koyu tonlarda, Zn'ca zengin fazlar ise açık tonlarda belirmişlerdir.

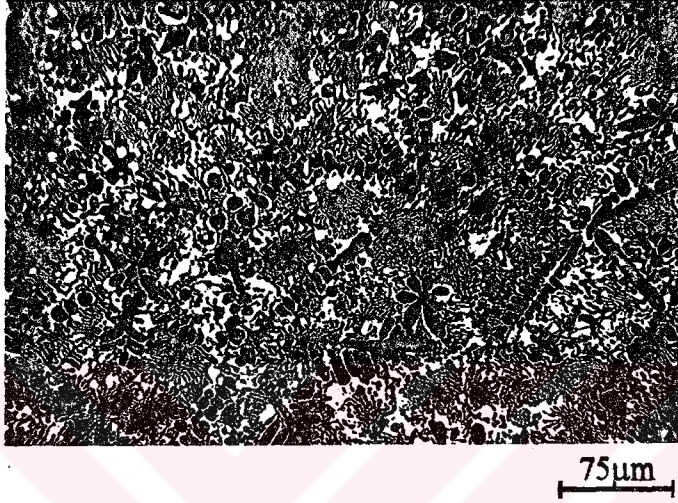
7.1.1 Al Serisi Alaşımlar

Şekil 7.1 %4.77 Al içeren alaşımlın mikroyapısını göstermektedir. Buradan görüldüğü gibi yapı ötektik bir yapıdır. Ötektik Al'ca zengin α ve Zn'ca zengin η fazlarından oluşmaktadır.



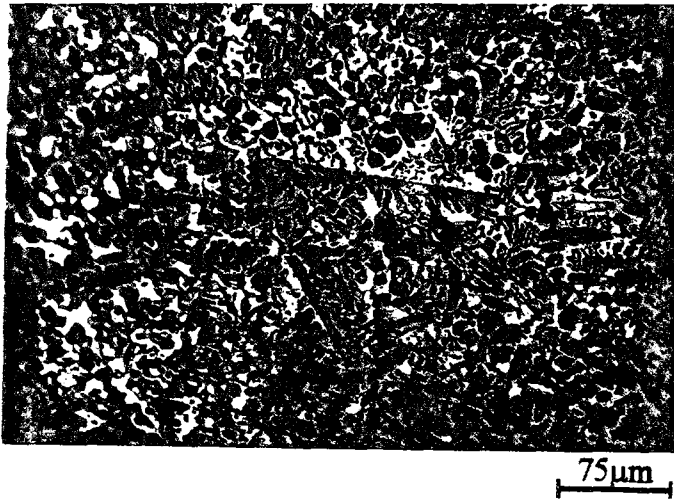
Şekil 7.1 %4.77 Al'lu alaşımlın mikroyapısı (x200)

Artan Al miktarı ile birlikte mikroyapıda β dendiritleri ve bunları çevreleyen ötektik yapı oluşmaktadır. Şekil 7.2 %5.8 Al'lu alaşımın mikroyapısını göstermektedir.

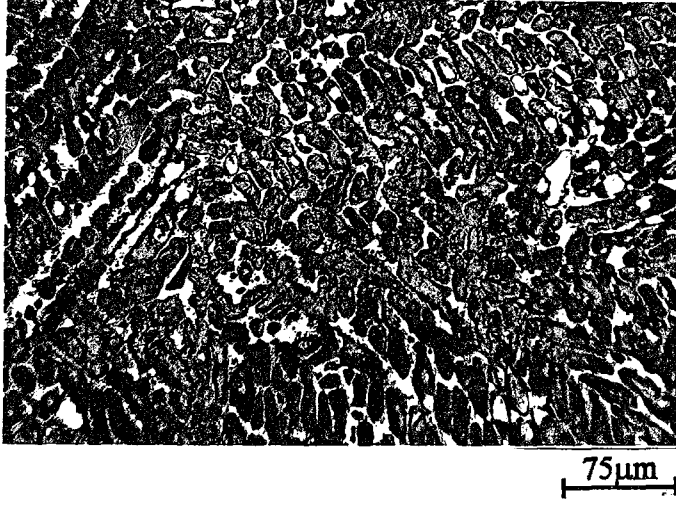


Şekil 7.2 %5.8 Al'lu alaşımın mikroyapısı (x200)

Al miktarının daha da artmasıyla yapıda β dendiritleri artmakta ve ötektik yapı azalmaktadır. Örneğin Şekil 7.3 %7 Al'lu alaşımın, Şekil 7.4'te %10.45 Al'lu alaşımın mikroyapılarını göstermektedir.



Şekil 7.3 %7 Al'lu alaşımın mikroyapısı (x200)



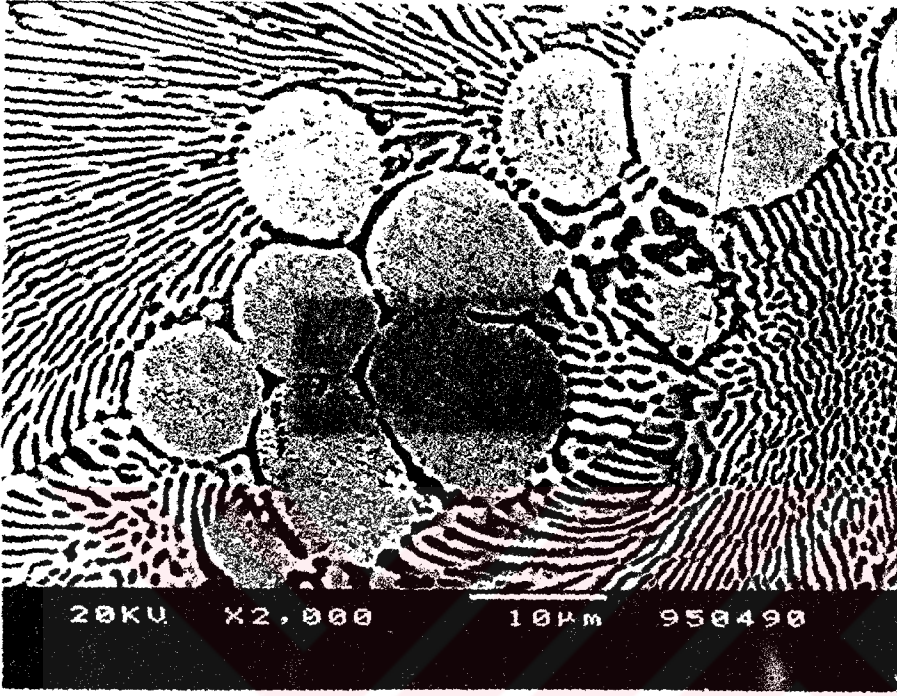
Şekil 7.4 %10.45 Al'lu alaşımin mikroyapısı (x200)

7.1.2 Al+Cu Serisi Alaşımlar

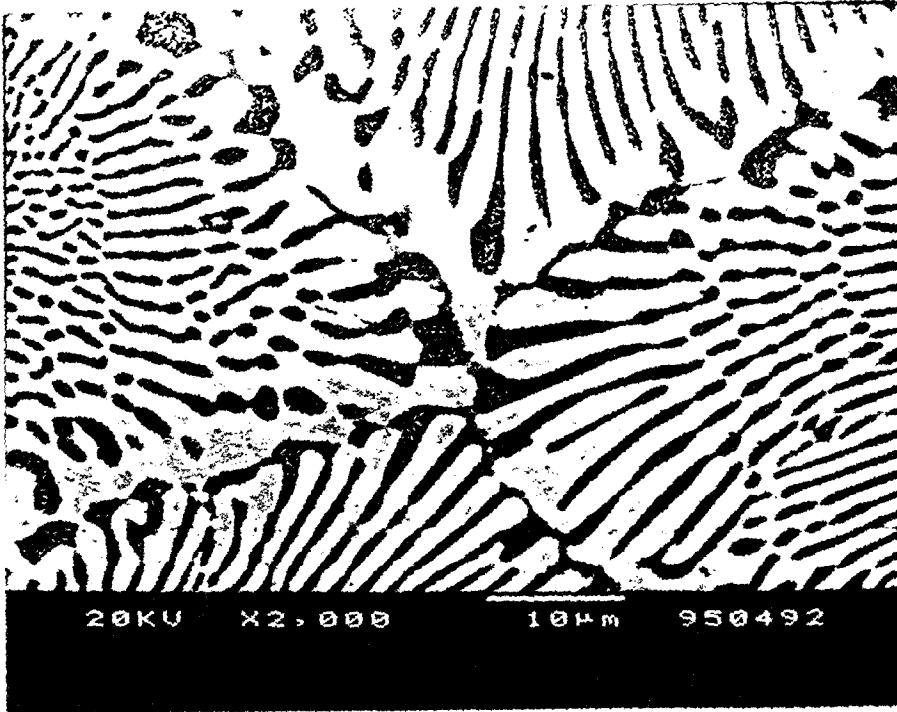
SEM'de yapılan mikroyapı çalışmalarında %1 Cu içeren %5 Al'lu alaşımin mikroyapısı az sayıda Zn'ca zengin η dendiritleri ve bunları çevreleyen ötektik yapıdan oluşmaktadır.(Şekil 7.5)

Şekil 7.6'da da %5.5 Al'lu alaşımin mikroyapısı görülmektedir. Bu yapıdanda görüldüğü gibi %5.5 Al+1Cu alaşıminın yapısı tamamıyla ötektik yapıdan oluşmaktadır.

buradan Cu ilavesinin Zn-Al ikili sisteminde ötektik bileşimi Al 'ca zengin bileşime doğru kaydırıldığı ve %5 Al içeren alaşımin ötektik altı bir mikroyapı oluşturduğu görülmüştür. Bu duruma Cu ilavesi ile yapıda oluşan T' fazının neden olduğu düşünülmektedir. T' fazı oda sıcaklığında %12 Zn,%58 Cu ve %30 Al bileşimine sahiptir. Cu içeren Zn-Al alaşımlarında, 268°C'nin altındaki sıcaklıklarda Zn ve Al katı eriyikleri η ve α fazları ile birlikte denge halinde bulunmaktadır[11].



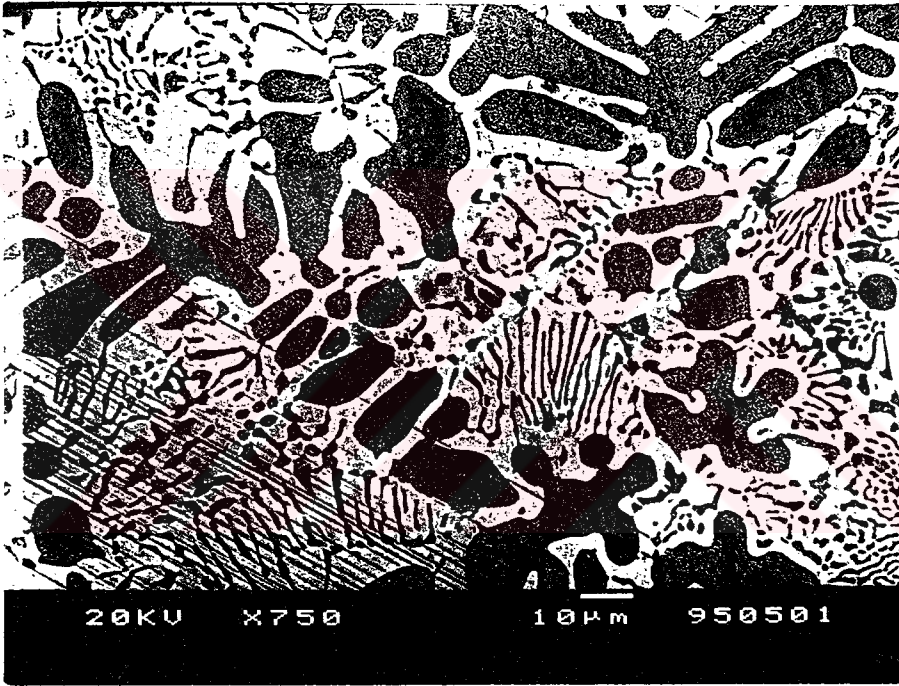
Şekil 7.5 %5 Al + %1 Cu'lı ZA Alaşımının Mikroyapısı



Şekil 7.6 %5.5 Al + %1 Cu'lı ZA Alaşımının Mikroyapısı

Artan Al miktarı ile birlikte yapılarda bir önceki seriye benzer şekilde dendirit miktarı artmakta ve ötektik yapı oranı azalmaktadır. Ancak alaşımda Cu bulunması ötektik miktarının Cu'suz olanlara göre fazla olmasına sebep olmaktadır.

Standart ZA8 alaşımının (%8Al+%1Cu+%0.03Mg).SEM deki mikroyapısı Şekil7.7'de görülmektedir.



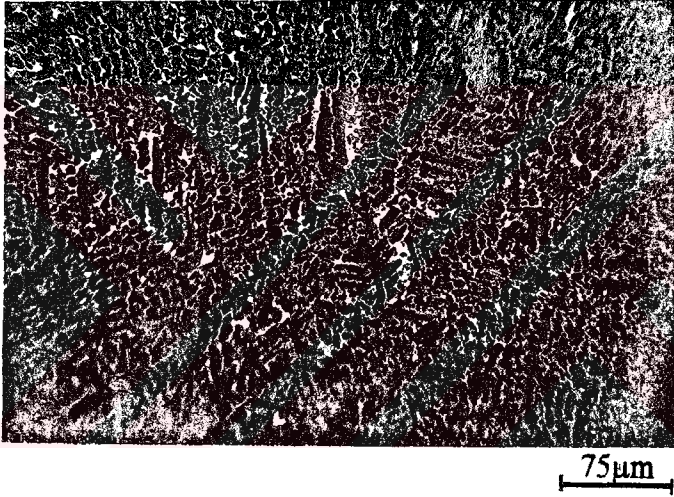
Şekil 7.7 Standart ZA8 alaşımının mikroyapısı.

7.1.3 Cu Serisi Alaşımlar

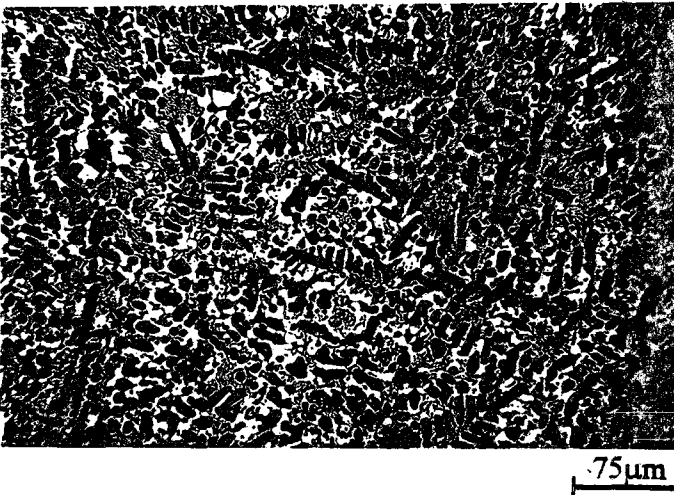
Şekil7.8 ZA8+%0 Cu'lu alaşımın mikroyapısını göstermektedir. Buradan görüldüğü gibi yapı iyi gelişmiş uzun primer β dendiritleri ve bunları çevreleyen ötektik bölgelerden oluşmaktadır.

Şekil 7.9 %1 Cu ilave edilen standart ZA8 alaşımının mikroyapısını göstermektedir. Buradan görüldüğü gibi ötektik miktarı Cu içermeyen alaşıma göre artma göstermiştir. Şekil 7.10'da %2.54 Cu'lu alaşımın mikroyapısıdır.

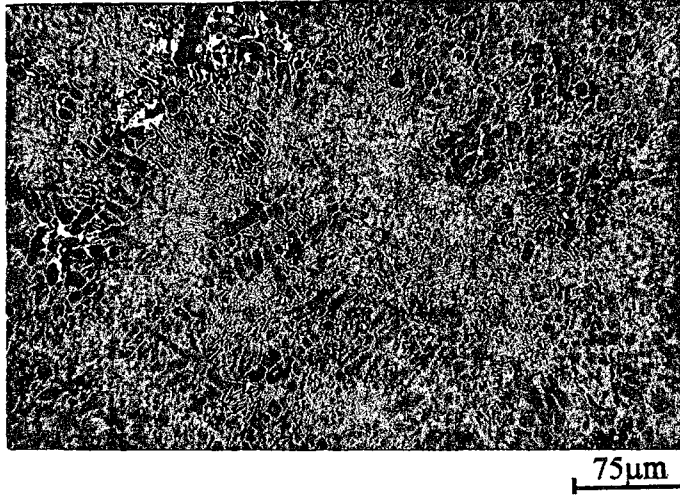
Mikroyapılardan görüldüğü gibi, ZA8 alaşımında artan Cu miktarı ile birlikte ötektik yapısında artış olmaktadır. Daha önce yapılan TEM çalışmalarında Cu'ın Zn'ca zengin matriks η içinde yaklaşık 80 nm çapında ve 2-3 nm kalınlığında çok küçük ϵ fazı partikülleri halinde çökelindiği gösterilmiştir[19].



Şekil 7.8 %0 Cu'lu Alaşımın mikroyapısı (x200)



Şekil 7.9 %1 Cu'lu Alaşımın Mikroyapısı (x200)

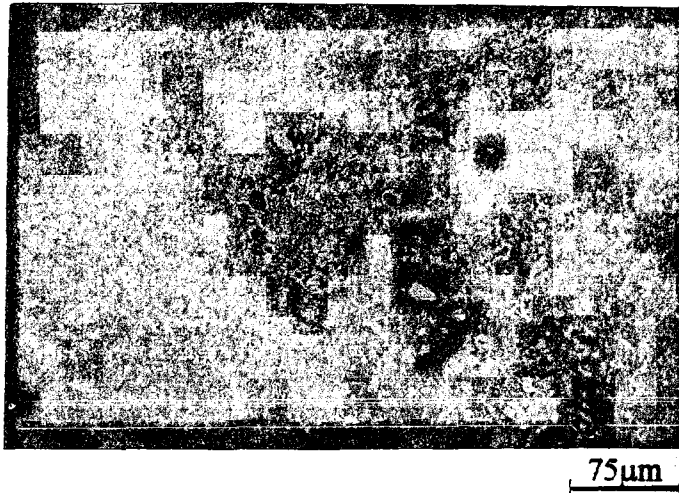


Şekil 7.10 % 2.54 Cu'lu Alaşımın Mikroyapısı (x200)

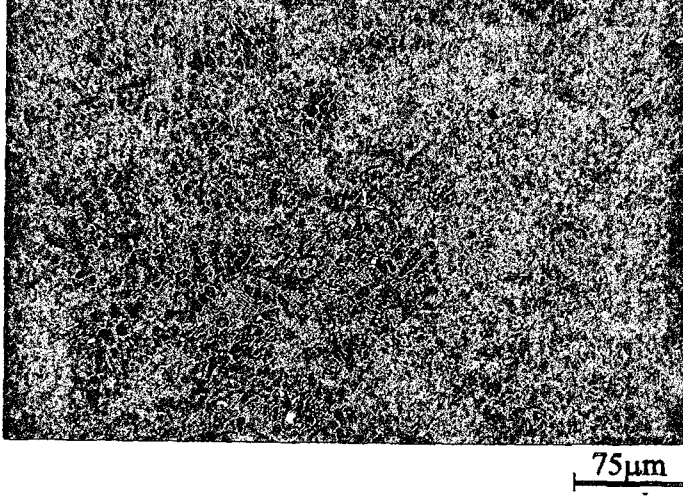
Ayrıca artan Cu miktarı ile alaşımların ötektik hacim oranındaki artışın, Cu ilavesinin ikili Zn-Al ikili faz sisteminde ötektik bileşimi Al lehine zenginleştirdiği ve buna bağlı olarak artan ötektik hacminin ϵ fazının çökmesi için daha fazla oranda η matris oluşturduğu düşünülmektedir.

7.1.4 Mg Serisi Alaşımlar

Şekil 7.11 %0 Mg'lu alaşımların mikroyapısını, Şekil 7.12 %0.03 Mg'lu, Şekil 7.13 %0.1 Mg'lu, Şekil 7.14 %0.5 Mg'lu alaşımların mikroyapılarını göstermektedir.



Şekil 7.11 %0 Mg'lu Alaşımın Mikroyapısı (x200)



Şekil 7.12 %0.03 Mg'lu Alaşımın Mikroyapısı (x200)



Şekil 7.13 %0.1 Mg'lu Alaşımın Mikroyapısı (x200)



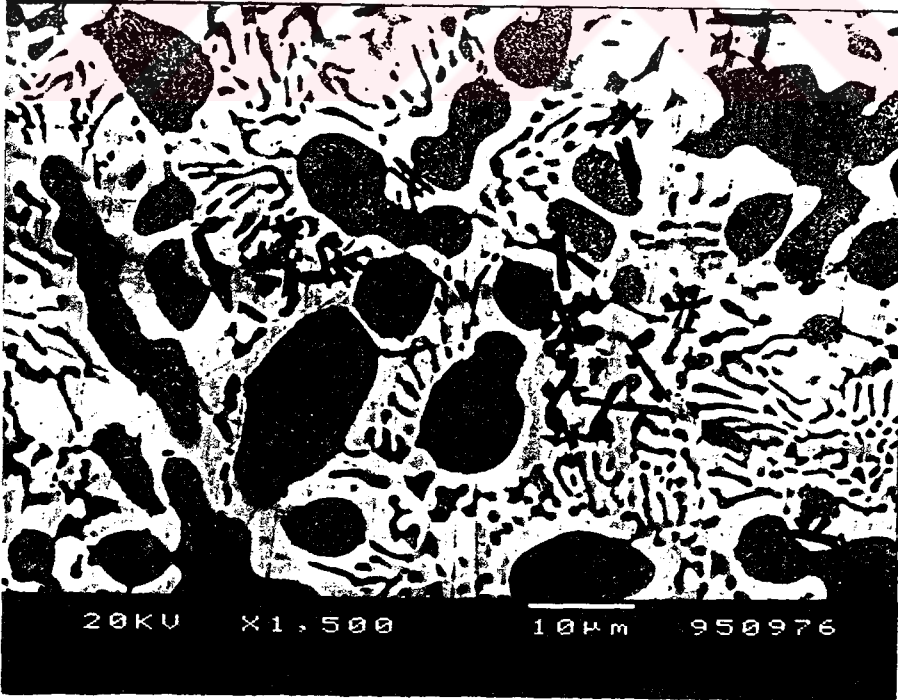
Şekil 7.14 %0.5 Mg'lu Alaşımın Mikroyapısı (x200)

Mikroyapılardan görüldüğü gibi artan Mg miktarı ile birlikte yapıda dendirit miktarı artmıştır. Ötektik yapı oranı azalmıştır.

Fotoğraflarda Mg'un β parçacıkları ve arasında farklı tonlarda görülen bölgelerde Mg_2Zn_{11} olarak bulunabileceği literatürde belirtilmektedir[21].

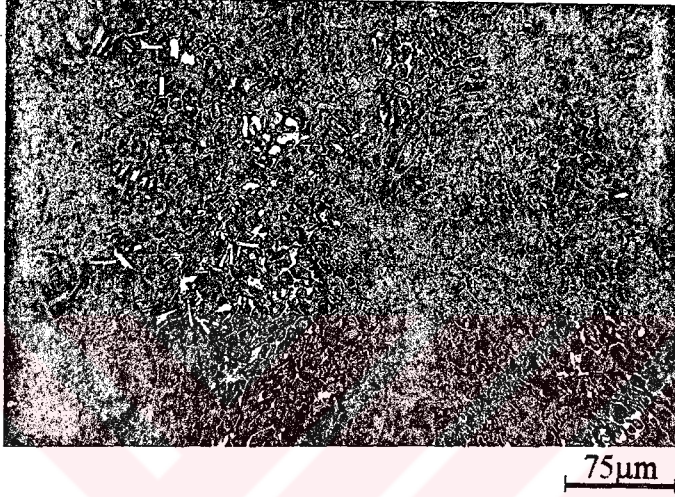
7.1.5 Mn Serisi Alaşımları

Mn serisi alaşımların mikroyapıları incelendiğinde bu elementin standart ZA8 alaşımının mikroyapısını modifiye ettiği görülmüştür. Standart ZA8 (Şekil 7.7) ve %0.09 Mn içeren (Şekil 7.15) alaşımların mikroyapılarından görüldüğü gibi yapılar benzer olarak primer β dendiritlerinden ve dendiritleri çevreleyen ötektik yapıdan oluşmaktadır. Fakat buradan fark edileceği gibi Mn içeren alaşımda dendiritlerin boyutları azalma göstermiştir.

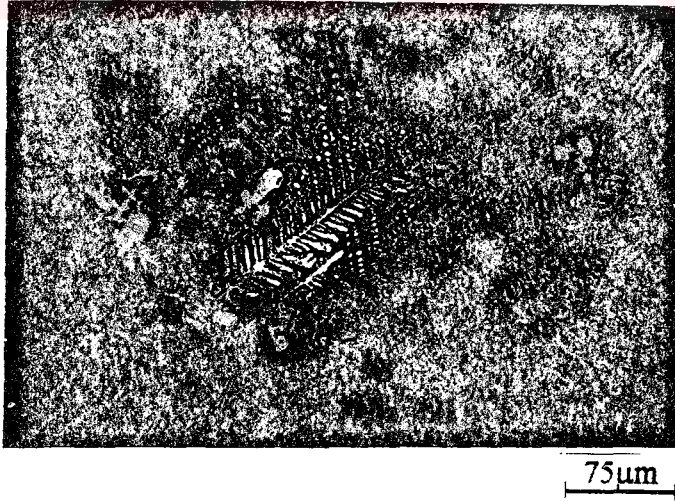


Şekil 7.15 %0.09 Mn İçeren Alaşımın Mikroyapısı

Şekil 7.15'ten görüldüğü gibi Mn içeren alaşımlarda ötektik alanlarda Standart ZA8 alaşımında görülmeyen kısa iğnesel veya rozet şekillerinde intermetaliklerin var olduğu görülmüştür. Artan Mn miktarı ile bu intermetaliklerin boyutlarında arttığı Şekil 7.16 ve 17'de görülmektedir.



Şekil 7.16 %0.14 Mn'lı Alaşımın Mikroyapısı (x200)

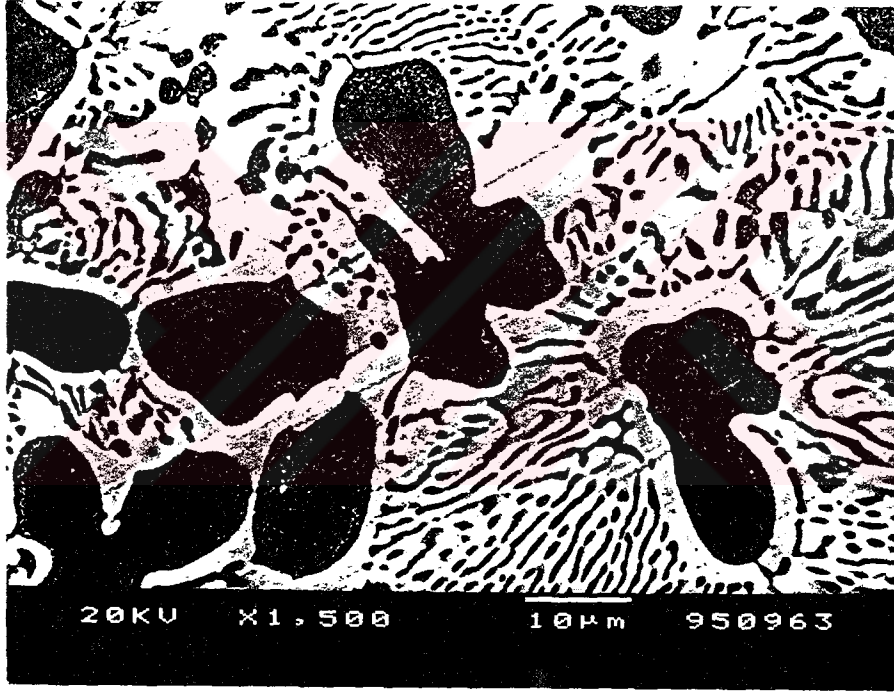


Şekil 7.17 %0.22 Mn'lı Alaşımın Mikroyapısı (x200)

Görülen bu intermetaliklerin SEM'deki EDS analizlerinde bileşimin: %39.8 Al, 0.8 Cu, 12.24 Zn, 39.86 Mn, 5.15 Fe, 2.14 Si olduğu gözlenmiştir. Literatürde bu intermetaliklerin $AlMn$, $AlMn_3$, $AlMn_6$ olabileceği iddia edilmektedir[21].

7.1.6 Ti Serisi Alaşımlar

Şekil 7.18'de %0.18 Ti'lu alaşımın SEM fotoğrafı görülmektedir. Yapıdan görüleceği gibi Ti, yapıyı standart ZA8'in(Şekil 7.7) yapısına göre modifiye etmektedir. Diğer bir deyişle Ti tane boyutunu inceltmektedir. ayrıca Ti dendritleri küreselleştirmektedir.

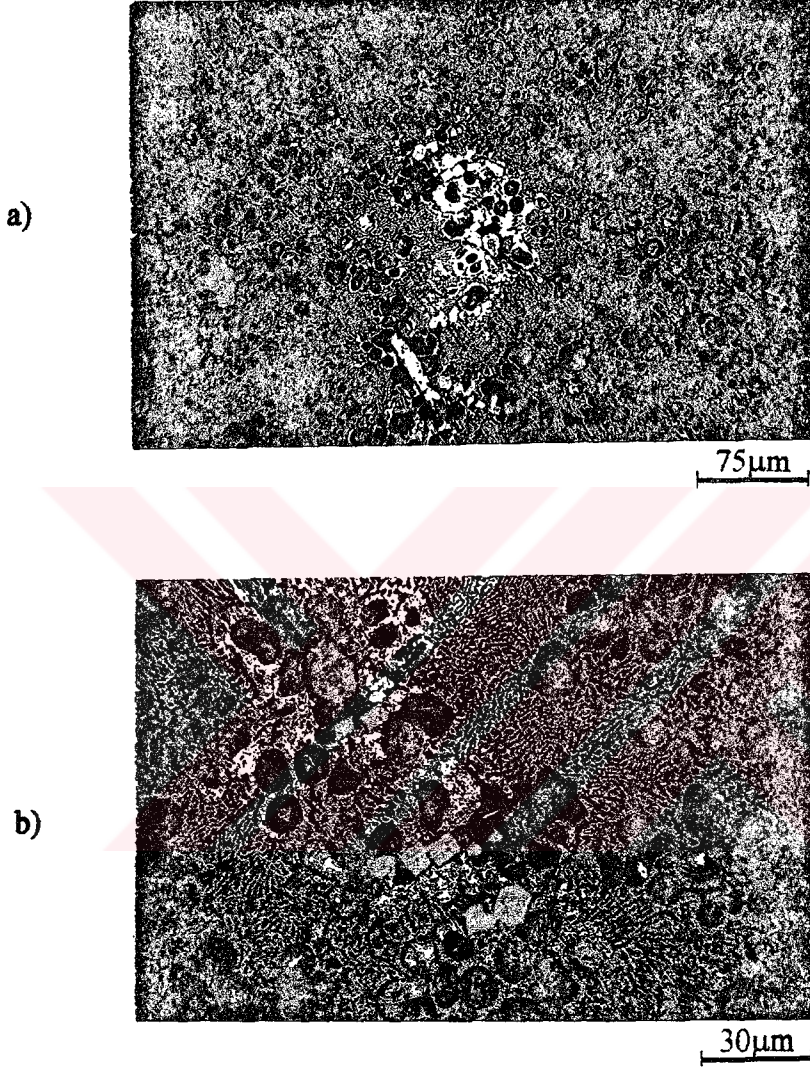


Şekil7.18 %0.18 Ti'lu Alaşımın Mikroyapısı

Şekil 7.19 a ve b'de de %0,15 Ti'lu alaşımın optik mikroskoptaki fotoğrafları görülmektedir.

Şekil 7.19'dan görüldüğü gibi Ti dendritleri küreselleştirmektedir ve yapıda Ti intermetalikleri görülmektedir. SEM'de yapılan EDS analizlerinde bu Ti intermetaliklerinin bileşimi: %1.34 Al, 0.42 Cu, 77.6 Zn, 20.64 Ti olarak

gözlenmiştir. Bu intermetaliklerin $TiZn_{15}$ intermetalikleri olduğu daha önce yapılan çalışmalarda belirtilmiştir[1].

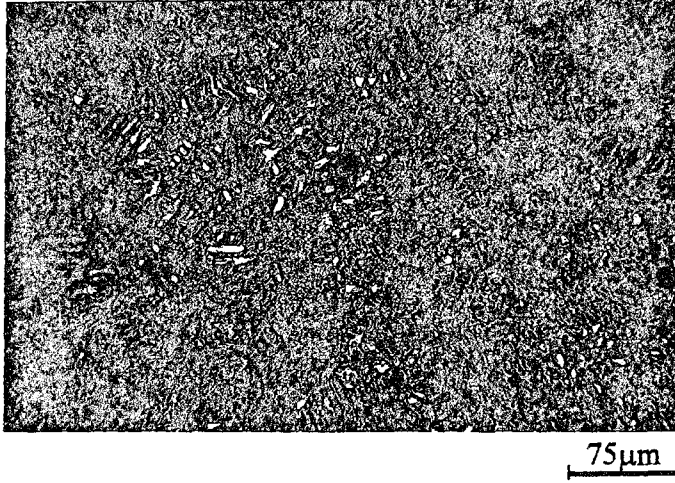


Şekil 7.19 %0.15 Ti'lu Alaşımın Mikroyapısı a)x200,b)x500

7.1.7 Li Serisi Alaşımlar

Şekil 7.20 %0.05 Li içeren alaşımın mikroyapısını göstermektedir. Mikroyapıdan görüldüğü gibi Li ilavesi ZA8 alaşımının mikroyapısını inceltmiştir.

Ayrıca mikroyapıda görüldüğü gibi alaşıma Li ilavesi ötektik miktarında da azalmaya sebep olduğu görülebilir.

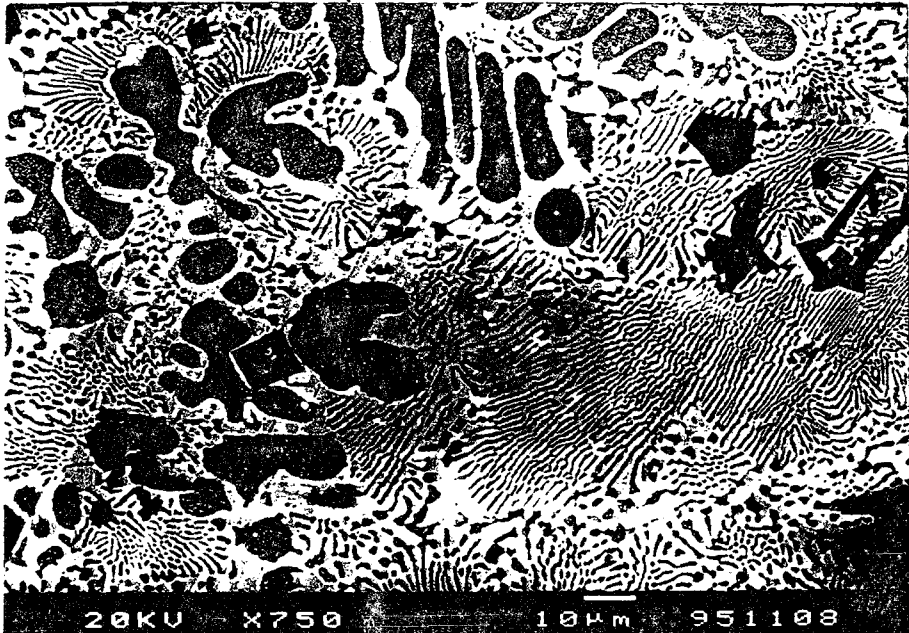


Şekil 7.20 %0.05 Li'lu Alaşımın Mikroyapısı(x200)

Literatürde Li'un ZA8 alaşımlarında β sınırlarında η fazında Al_2CuLi veya $LiZn_4$ olarak bulunduğu belirtilmiştir[21,23].

7.1.8 Si Serisi Alaşımlar

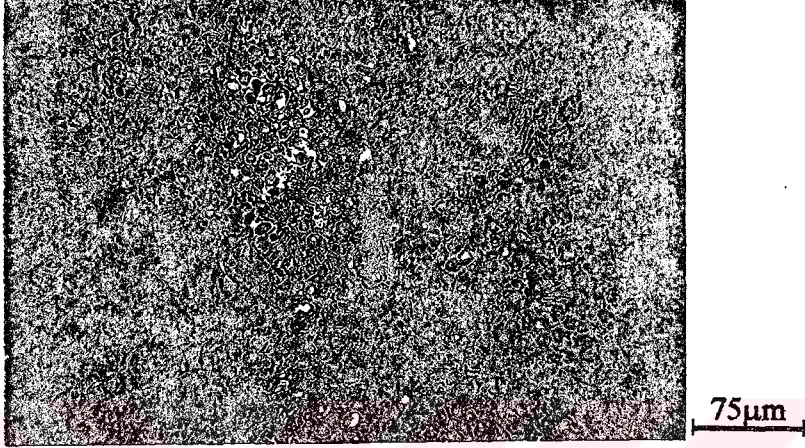
Şekil 7.21 %1.1 Si içeren alaşımın SEM mikrofotografını göstermektedir. Si ilavesinin ZA8 alaşımında ötektik miktarını büyük oranda arttırdığı şekilden görülmektedir. Ayrıca yapıda Si intermetaliklerine rastlanılmıştır. Bu parçacıkların SEM'de yapılan EDS analizleri %1.39 Al, 80.21 Si, 1.89 Cu, 14,51 Zn'dur.



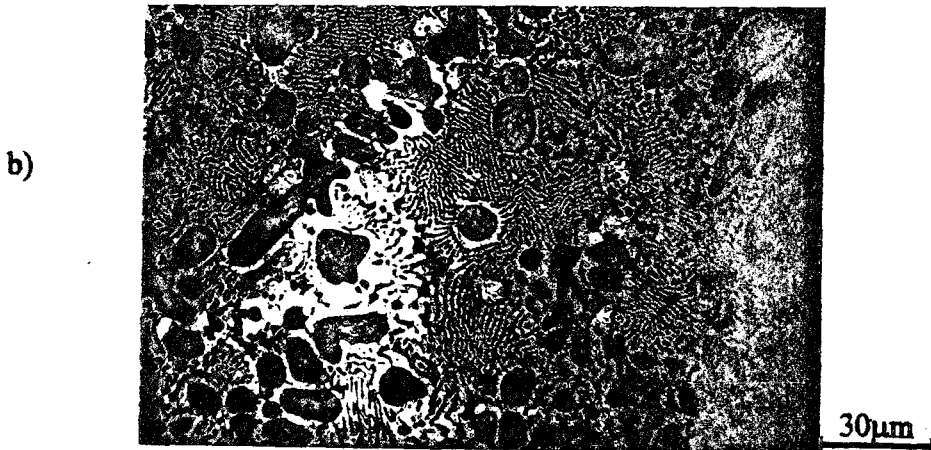
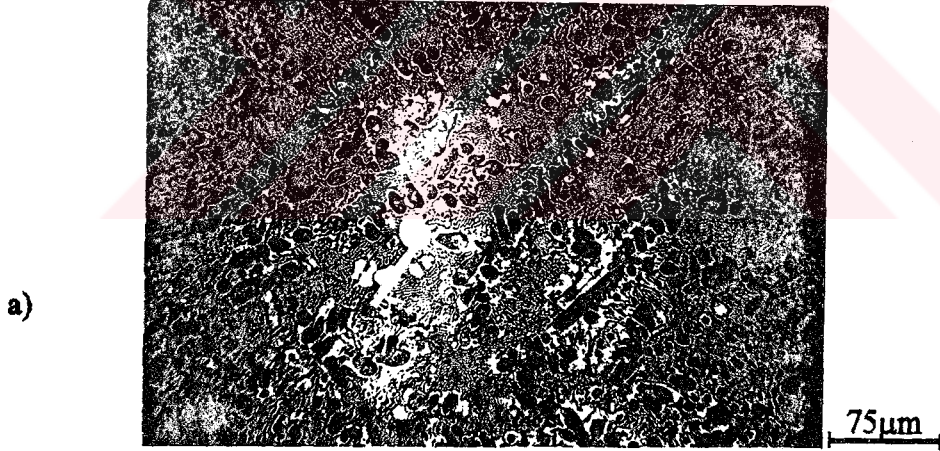
Şekil 7.21 %1.1 Si İçeren Alaşımın Mikroyapısı

7.1.9 Cr Serisi Alaşımlar

Şekil 7.22 %0.005 Cr'lu, Şekil 7.23 %0.025 Cr'lu alaşımların mikroyapılarını göstermektedir.



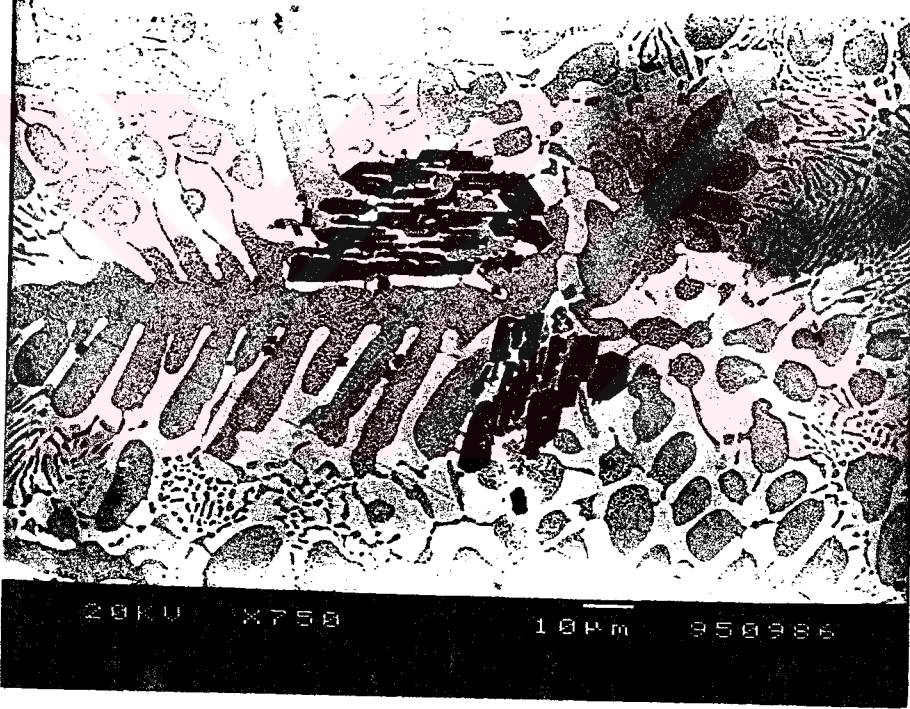
Şekil 7.22 %0.005 Cr'lu alaşımların mikroyapısı (x200)



Şekil 7.23 %0.025 Cr'lu alaşımların mikroyapısı (a(x200),b(x500))

Mikroyapılardan görüldüğü gibi alaşımda Cr bulunması dendritik büyümeyi hızlandırmakta , ayrıca dendritlerin kısmen küreselleşmesine imkan vermektedir.

SEM’de yapılan mikroyapı incelemesinde Şekil 7.24 %0.05 Cr içeren alaşımın mikroyapısı görülmektedir. Yapıda Cr intermetaliklerine rastlanılmıştır. Bu intermetaliklerin EDS analizi %32.18 Al, 26.63 Cr, 4.79 Fe, 34.66 Zn olarak tesbit edilmiştir. Literatürde Cr’un ZA alaşımlarında $CrAl_4$ gibi intermetalikler halinde bulunduğu belirtilmektedir[1].



Şekil 7.24 %0.05 Cr’lu alaşımın SEM’deki mikrofotografı.

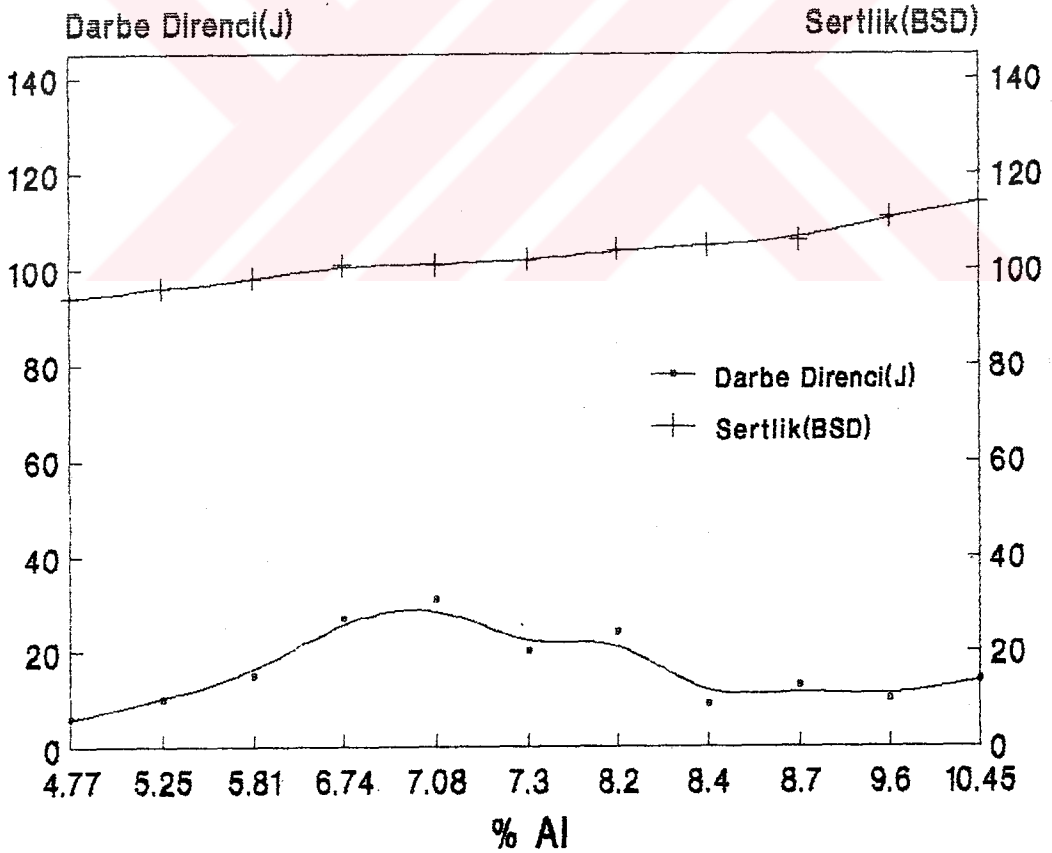
7.2 Darbe ve Sertlik Deneyi Sonuçları

7.2.1 Al Serisi Alaşımların Darbe ve Sertlik Deneyi Sonuçları

Bu alaşım serisinde artan Al miktarı ile darbe direnci ve sertlik arasındaki değişim Tablo 7.1’de verilmiştir. Şekil 7.25’de bu değişimi grafiksel olarak göstermektedir.

Tablo 7.1 Al Serisi Alaşımların Darbe ve Sertlik Deneyi Sonuçları

Alaşıım No	% Al	Sertlik (BSD)	Darbe Direnci(J)
ZA/1	4.77	94	6.0
ZA/2	5.25	96	9.7
ZA/3	5.81	98	15
ZA/4	6.74	101	27
ZA/5	7.08	101	30.5
ZA/6	7.3	102	20
ZA/7	8.2	104	24
ZA/8	8.4	105	9.0
ZA/9	8.7	106	13
ZA/10	9.6	111	10
ZA/11	10.45	114	14



Şekil 7.25 Al Serisi Alaşımların Darbe Direnci ve Sertlik Değerlerinin Bileşimle Değişimi

Şekil 7.25'ten görüldüğü gibi bu seride %4.77 Al içeren alaşım en düşük darbe direnci değerine sahiptir. Bunun sebebidir mikroyapılardan görüldüğü gibi bu alaşımın ötektik yapıda olmasıdır. Artan Al miktarı ile, darbe direnci hızla yükselmiş ve %7 Al içeren alaşımda max. darbe direnci yaklaşık 31J olarak elde edilmiştir. Bu oranın üzerindeki Al ilaveleri, alaşımların darbe dirençlerinin düşmesine sebep olmuştur. Buda artan Al miktarı ile yapıda dendritlerin artması ve kırılmanın dendritler arası olması ile açıklanabilir. Literatürde dendritlerin kırılma yüzeylerinde gözüktüğü belirtilmektedir[23,24].

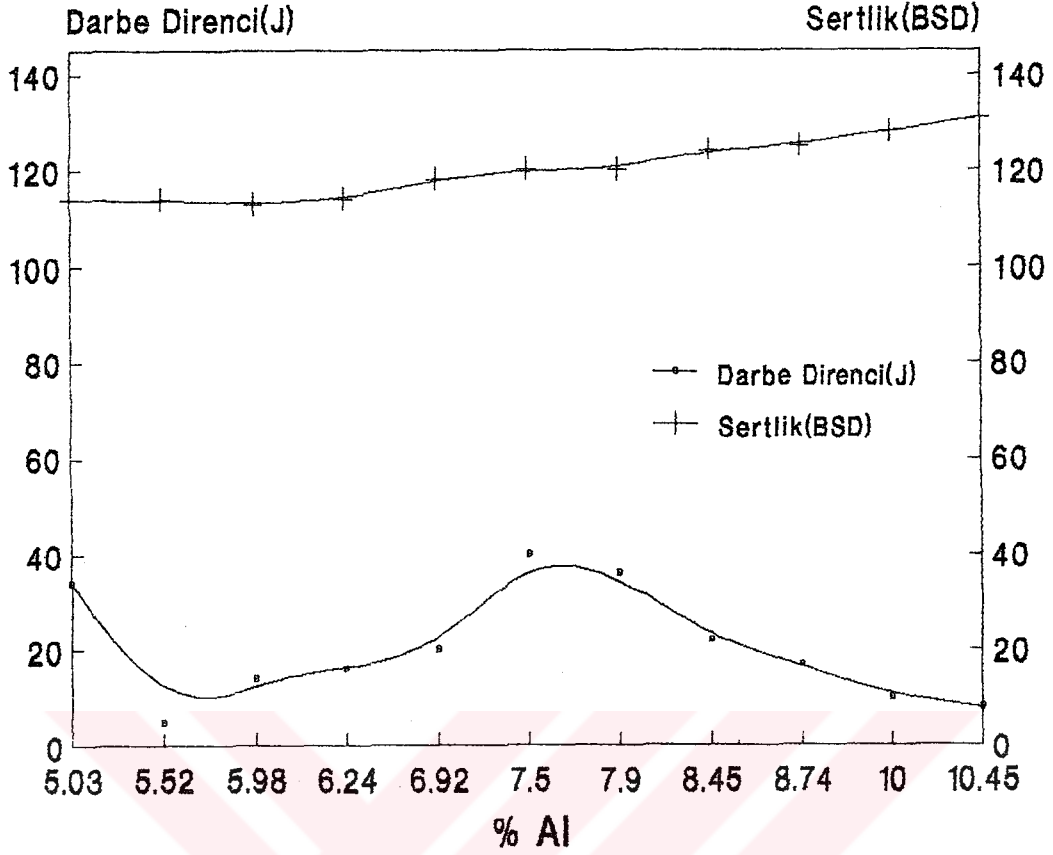
Bu seride artan Al miktarı ile sertlik değişimleri doğrusal bir şekilde artmaktadır. Her %0.5'lik Al artışı sertlikte 1-4 BSD arasında artışlar sağlamıştır.

7.2.2 Al+Cu Serisi Alaşımların Darbe ve Sertlik Deneyi Sonuçları

%5-11 arasında Al içeren Al serisi alaşımlarda %1 Cu ilavesinin darbe direnci ve sertliğe etkisi Tablo 7.2 ve Şekil 7.26'da görülmektedir.

Tablo 7.2 Al+Cu Serisi Alaşımların Darbe ve Sertlik Deneyi Sonuçları

Alaşım No	% Al	Sertlik (BSD)	Darbe Direnci(J)
ZA/12	5.03	114	34
ZA/13	5.52	114	5
ZA/14	5.98	113	14
ZA/15	6.24	114	16
ZA/16	6.92	118	20
ZA/17	7.5	120	40
ZA-8 Std.	7.9	120	36
ZA/18	8.45	124	22
ZA/19	8.74	125	17
ZA/20	10	128	10
ZA/21	10.5	131	8



Şekil 7.26 Al+Cu Serisi Alaşımların Darbe Direnci ve Sertlik Değerlerinin Bileşimle Değişimi

%5 Al içeren alaşımların darbe direnci Cu içermeyene göre çok daha yüksek değerdedir. %1 Cu içeren %5.5 Al alaşımında ise, Cu içermeyen %5 Al alaşımına benzer düşük darbe direnci elde edilmiştir. Buna sebep olarak daha önce bahsedildiği gibi Cu ilavesinin Zn-Al ikili sisteminde ötektik noktayı Al'ca zengin bileşime kaydırması ve %5 Al içeren alaşımların ötektik altı bir mikroyapı oluşturduğu söylenebilir.

Bir önceki seriye benzer şekilde artan Al miktarı ile %7.5 Al'da 40J'la bir max. elde edilmiştir. Al miktarının artması ile darbe direncinde düşüşler gözlenmiştir.

Bu seride sabit %1 Cu bileşiminde artan Al miktarı ile sertlik değeri doğrusal olarak artmıştır. Alaşımların sertliklerinde her %0.5'lik Al artışında 1-3 BSD arasında artışlar olmuştur. Al+Cu alaşımlarının sertlikleri %1 Cu içeriğinden dolayı Al serisine göre daha yüksek olmuştur. Çünkü Cu, ZA8 alaşımında çökelti sertleşmesi yapmaktadır.

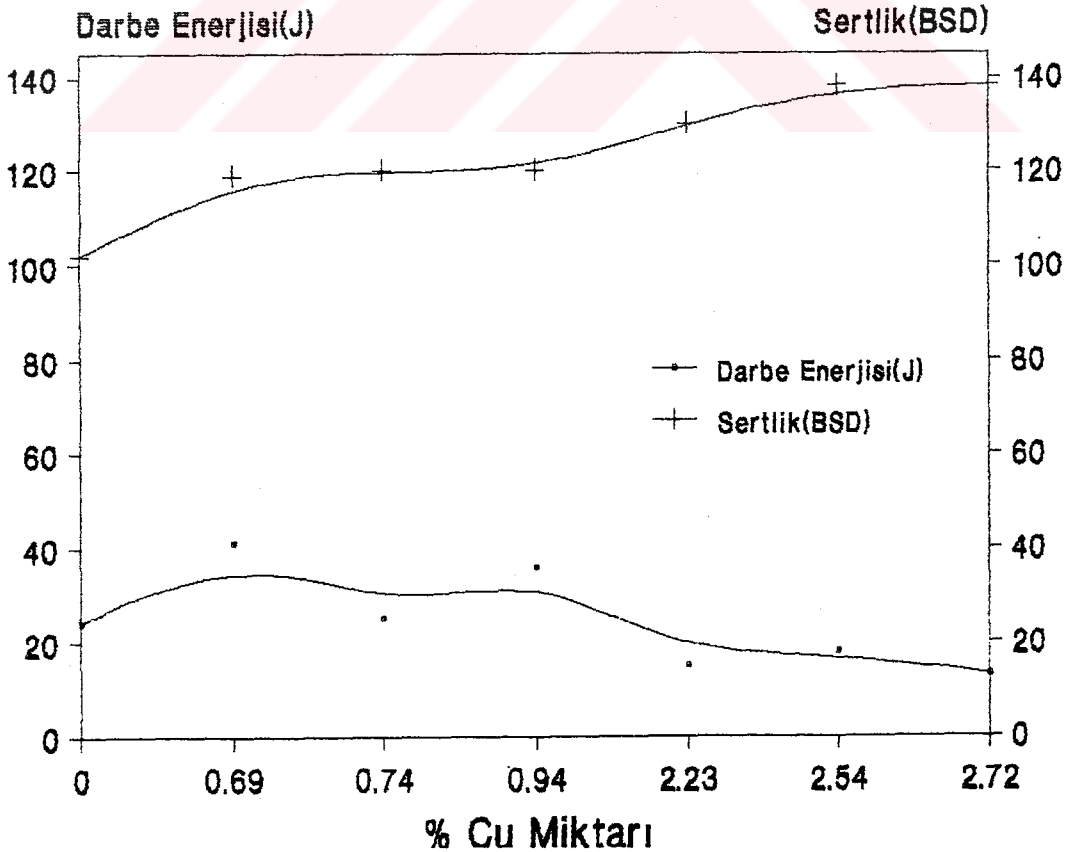
Şekil 7.26'dan görüldüğü gibi %8 Al+1 Cu'lu standart ZA8 alaşımının darbe direnci 36 J ve sertliğide 120 BSD olarak tesbit edilmiştir.

7.2.3 Cu Serisi Alaşımların Darbe ve Sertlik Deneyi Sonuçları

Tablo 7.3 ve Şekil 7.27'den görüldüğü gibi Cu miktarı %0'dan 0.7'ye çıktığında darbe direncinde bir miktar artış olmuştur. Fakat artan Cu miktarı ile darbe direncinde düşme gözlenmiştir.

Tablo 7.3 Cu Serisi Alaşımların Darbe ve Sertlik Deneyi Sonuçları

Alaşım No	% Cu	Sertlik (BSD)	Darbe Direnci(J)
ZA/22	0.0	102	24
ZA/23	0.69	119	41
ZA-8 Std.	0.94	120	36
ZA/24	0.74	120	25
ZA/25	2.54	130	18
ZA/26	2.23	138	15
ZA/27	2.72	138	13



Şekil 7.27 Cu Serisi Alaşımların Darbe Direnci ve Sertlik Değerlerinin Bileşimle Değişimi

Bir önceki bölüm mikroyapı çalışmalarında görüldüğü gibi ZA8 alaşımında artan Cu miktarı ile birlikte ötektik yapıda artış olmaktadır. Yapıdaki ötektik miktarının artması ve buna bağlı olarak ϵ çökelti partiküllerinin artması nedeniyle artan Cu oranı ile birlikte darbe direncinde bir düşüş görülmektedir[11,21,24].

Tablodan görüldüğü gibi bu seride en yüksek darbe direnci %0.7 Cu içeren alaşımda 41 J olarak elde edilmiştir. Artan Cu miktarı ile enyüksek değer olan %2.7 Cu'da darbe direnci 13 J'a düşmüştür.

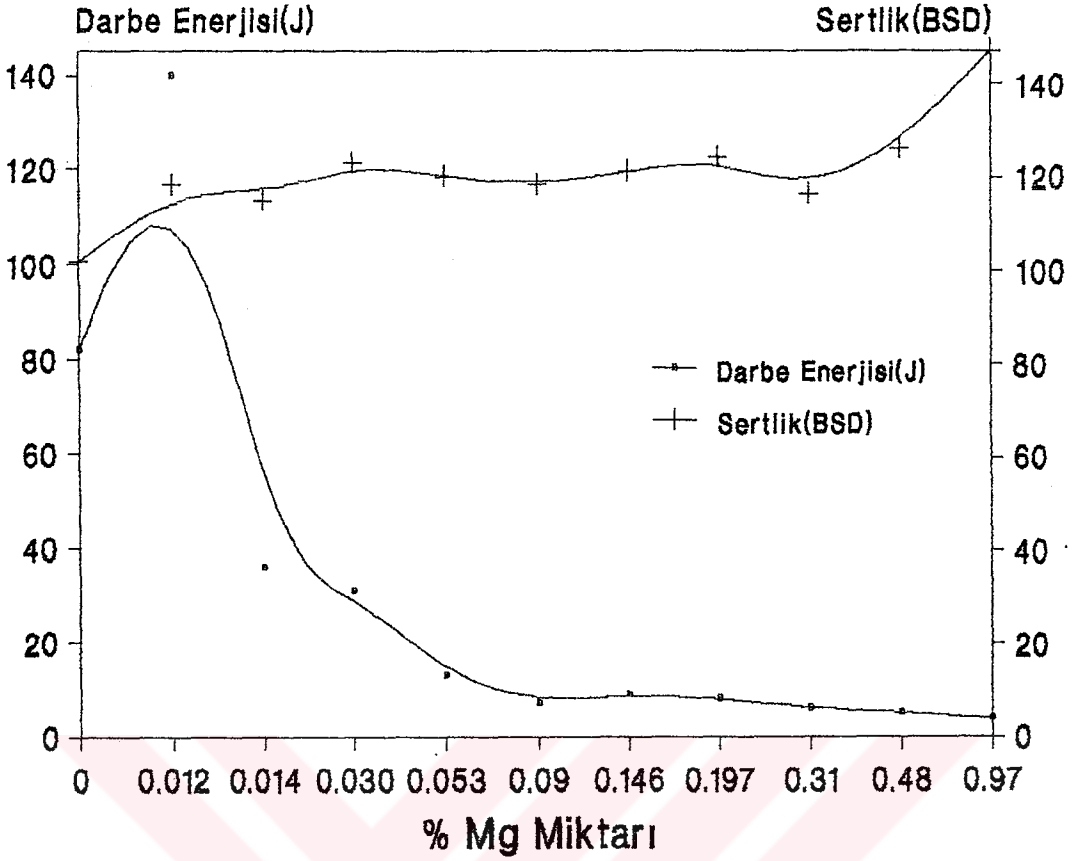
Bu seride ilave edilen Cu'la birlikte sertlikte hızlı bir artış olmakta ve her %0.5'lik Cu artışı sertlikte 5-15 BSD arasında artışlar sağlamıştır. Cu oranının artmasıyla standart ZA8 alaşımından daha yüksek değerlerde sertlik değerleri elde edilmiştir. Max. değer %2.7 Cu'da 138 BSD olarak gözlenmiştir.

7.2.4 Mg Serisi Alaşımların Darbe ve Sertlik Deneyi Sonuçları

Mg değişiminin darbe ve sertlik direncine etkisi Tablo 7.4 ve Şekil 7.28'de görülmektedir. Şekilden görüldüğü gibi %0.01 Mg değerinde standart ZA8 alaşımının darbe direnci olan 36 J'ün çok üstünde bir değer olan 140 J'lük bir darbe direnci elde edilmiştir. Artan Mg miktarı ile birlikte darbe direncinde büyük düşüşler gözlenmiştir.

Tablo 7.4Mg Serisi Alaşımların Darbe ve Sertlik Deneyi Sonuçları

Alaşım No	Mg %	Sertlik (BSD)	Darbe Direnci(J)
ZA/28	0.0	102	81.8
ZA/29	0.012	118	140
ZA-8 Std.	0.014	115	36
ZA/30	0.030	123	31
ZA/31	0.053	120	13
ZA/32	0.09	118	7
ZA/33	0.146	121	9
ZA/34	0.197	124	7.5
ZA/35	0.31	116	5.5
ZA/36	0.48	126	4.5
ZA/37	0.97	147	3.5



Şekil 7.28 Mg Serisi Alaşımların Darbe Direnci ve Sertlik Değerlerinin Bileşimle Değişimi

ZA8 Std. %0.03 Mg içermektedir. Bu oranın üzerindeki Mg ilaveleri Şekilden görüldüğü gibi darbe direncinde sürekli düşüşe sebep olmuştur. %1 Mg'da darbe direnci 3.5 J'a düşmüştür.

Mikroyapı incelemesinden görüldüğü gibi artan Mg miktarı ile birlikte yapıda ötektik miktarı azalmış, dendiritler artma göstermiştir. Dendiritlerdeki bu artışın darbe direncindeki düşüşe sebep olduğu söylenebilir.

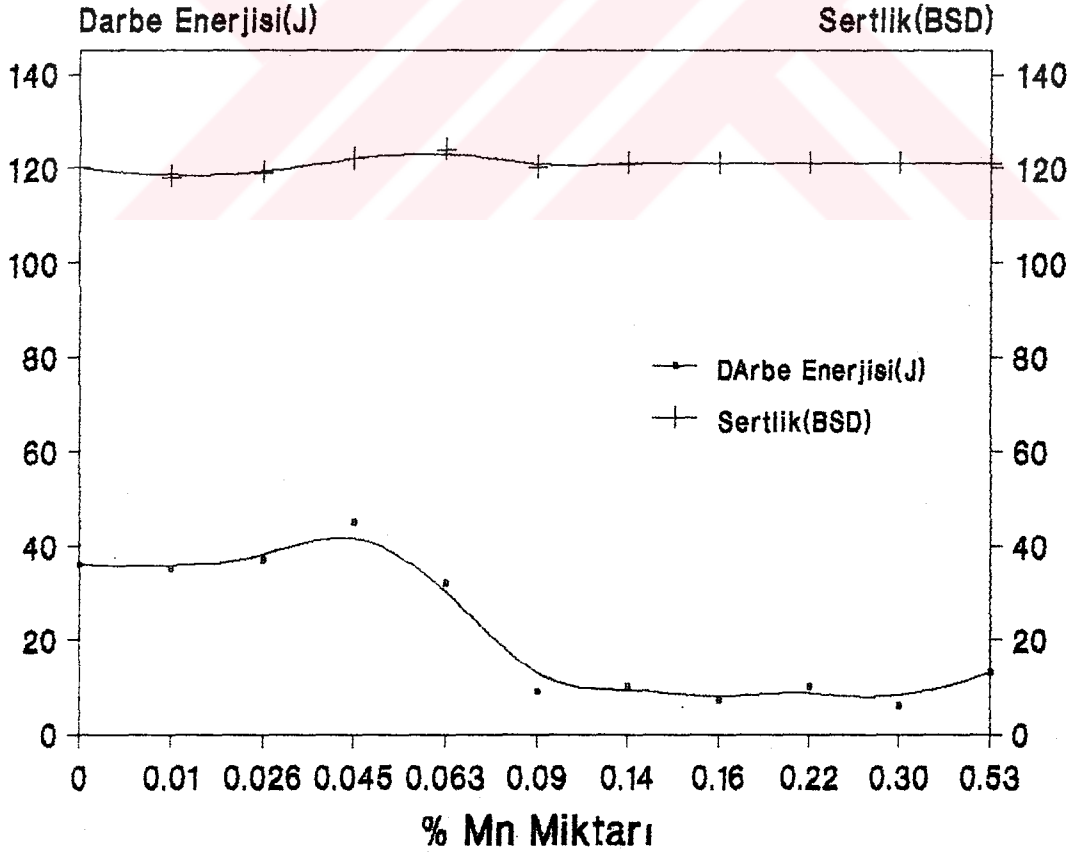
Şekil 7.28'den görüldüğü gibi artan Mg ilavesi ile birlikte sertlikte bir artış elde edilmiştir. %0.01-0.5 arasında sertlik 120-125 BSD arasında bir değere sahip olmuş ve %1 Mg ilavesinde 147 BSD değerine ulaşmıştır.

7.2.5 Mn Serisi Alaşımların Darbe ve Sertlik Deneyi Sonuçları

Standart ZA8 alaşımına %0.01-0.5 arasında Mn ilavesinin darbe direnci ve sertliğe etkileri Tablo 7.5 ve Şekil 7.29'da görülmektedir.

Tablo 7.5 Mn Serisi Alaşımların Darbe ve Sertlik Deneyi Sonuçları

Alaşım No	Mn %	Sertlik (BSD)	Darbe Direnci(J)
ZA/38	0.01	118	35
ZA/39	0.026	119	37
ZA/40	0.045	122	45
ZA/41	0.063	124	32
ZA/42	0.090	120	9
ZA/43	0.14	121	10
ZA/44	0.16	121	7
ZA/45	0.22	121	10
ZA/46	0.30	121	6
ZA/47	0.53	121	13



Şekil 7.29 Mn Serisi Alaşımların Darbe Direnci ve Sertlik Değerlerinin Bileşimle Değişimi

Şekilden görüldüğü gibi bu serinin darbe direnci değişimi %0.045 Mn değerine kadar Standart ZA8'in darbe direncinden artışlar göstermiştir. Bu miktarın üzerindeki ilaveler ise darbe direncini ZA8 Std.'ye göre azaltmıştır. %0.045 Mn'da darbe direnci 45 J iken %0.5 Mn'da yaklaşık 10 J'a düşmüştür.

Mn içeren alaşımların mikroyapı incelemelerinde görüldüğü gibi Mn dendrit boyutlarını küçültmüştür. Fakat aynı zamanda Mn yapıda intermetalikler halinde bulunmaktaydılar ve artan Mn miktarı ile birlikte bu intermetaliklerinde boyutları artmaktadır(Şekil 7.16 ve 7.17). Buda darbe direncinde düşüşe sebep olmaktadır. Buna sebep olarakta intermetaliklerin kırılmada çatlak oluşturma eğilimlerinin fazla olması gösterilebilir.

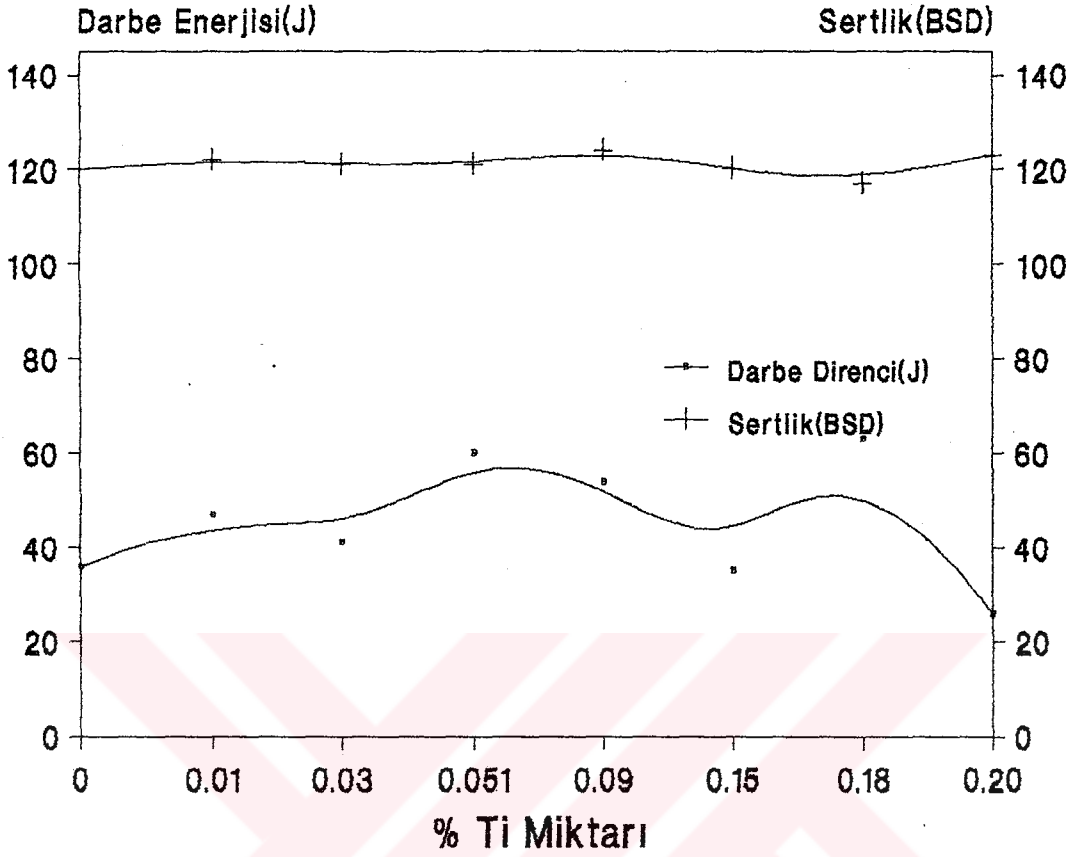
Bu alaşım serisinde Standart ZA8 alaşımına Mn'in %0.01-0.5 arasında ilavesi sertlikte 120 BSD olan standart değere yakın sonuçlar vermiştir. Burada sertlik değerleri 118-124 BSD arasındadır.

7.2.6 Ti Serisi Alaşımların Darbe ve Sertlik Deneyi Sonuçları

Ti serisinde artan Ti miktarı ile birlikte % 0.18 Ti'a kadar darbe direncinde ZA8 standartına göre yüksek değerler elde edilmiştir (Tablo 7.6 ve Şekil 7.30).

Tablo 7.6 Ti Serisi Alaşımların Darbe ve Sertlik Deneyi Sonuçları

Alaşım No	Ti %	Sertlik (BSD)	Darbe Direnci(J)
ZA/48	0.01	122	47
ZA/49	0.03	121	41
ZA/50	0.051	121	60
ZA/51	0.09	124	54
ZA/52	0.18	117	63
ZA/53	0.15	120	35
ZA/54	0.20	123	26



Şekil 7.30 Ti Serisi Alaşımların Darbe Direnci ve Sertlik Değerlerinin Bileşimle Değişimi

Daha yüksek Ti ilavelerinde ise darbe direncinin düştüğü gözlenmiştir. %0.18 Ti'da max. darbe direnci 63 J olarak tablodan görülmektedir.

Mikroyapı incelemesinde görüldüğü gibi Ti'un yapıyı standart ZA8'e göre modifiye etmesi ve dendritleri küreselleştirmesinden dolayı darbe direncinde standarta göre artışlar gözlenmiştir. Şekil 7.19'dan görüldüğü gibi artan Ti miktarı ile Ti intermetaliklerinin boyutu artmaktadır. Darbe direncinde yüksek Ti seviyelerindeki düşüşün artan intermetalik parçacıkların çatlak oluşturma eğiliminin fazla olması sebebiyle olduğu düşünülebilir.

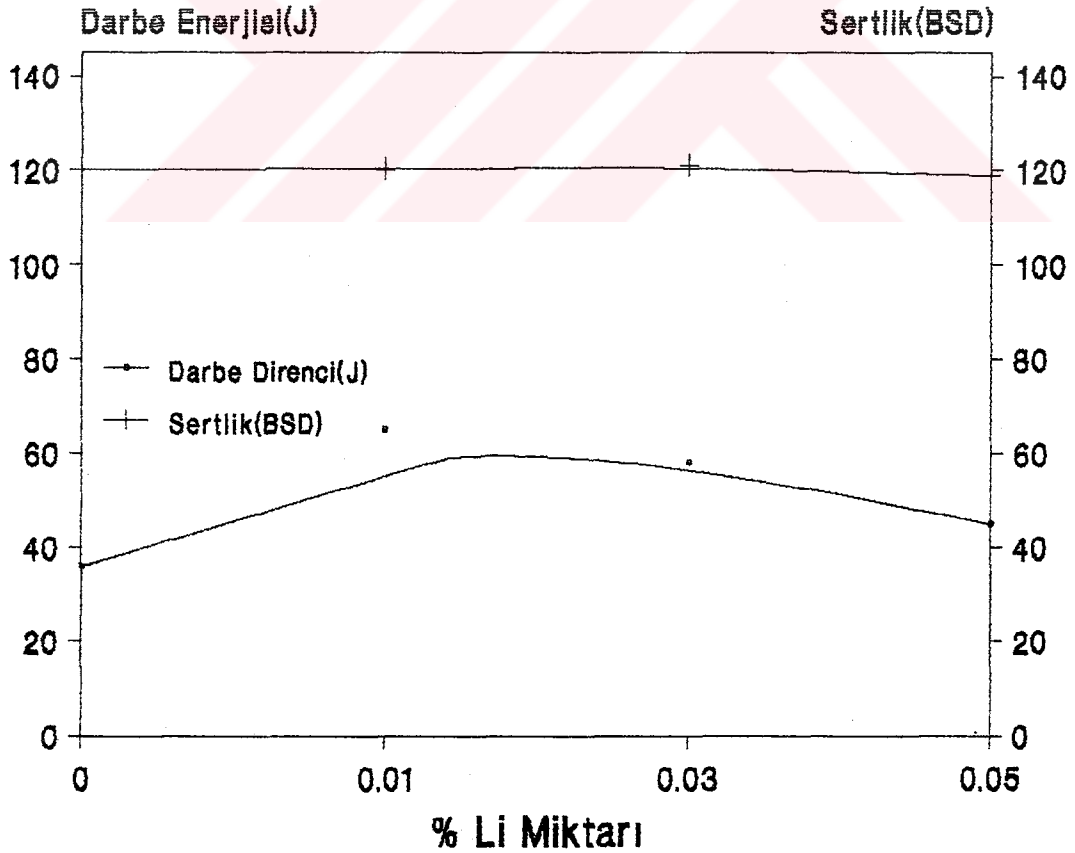
Ti'un %0.01-0.2 arasında ZA8 alaşımına ilavesi ZA8 alaşımının sertliğinde önemli bir değişiklik yapmamıştır. Şekil 7.30'dan görüldüğü gibi sertlik değerleri 120 BSD civarında olmaktadır.

7.2.7 Li Serisi Alaşımların Darbe ve Sertlik Deneyi Sonuçları

Bu seride Li ilavesinin darbe direncini büyük ölçüde arttırdığı Tablo 7.7 ve Şekil 7.31'de görülmektedir. Şekildende görüldüğü gibi %0.01 Li değerinde darbe direncinde max. değer olan 65 J elde edilmiştir. Bu değer standart ZA8'in darbe direnci olan 36 J'un hemem hemen iki katına yakındır. Artan Li miktarı ile darbe direncinde bir azalma olmuştur.

Tablo 7.7 Li Serisi Alaşımların Darbe ve Sertlik Deneyi Sonuçları

Alaşım No	Li %	Sertlik (BSD)	Darbe Direnci(J)
ZA/55	0.01	120	65
ZA/56	0.03	121	58
ZA/57	0.05	119	45



Şekil 7.31 Li Serisi Alaşımların Darbe Direnci ve Sertlik Değerlerinin Bileşimle Değişimi

Li'un darbe direncindeki bu artışa sebep olarak Şekil 7.20'de görüldüğü gibi yapıyı standart ZA8'e göre inceltmesinden kaynaklandığı düşünülebilir. % 0.05 Li'lu alaşım bile standart alaşımın darbe direncinden yüksek değer vermiştir. Bu değer 45 J' dır

%0.01-0.05 arasında Li'un ZA8'e ilavesi, standart ZA8'in sertliğinde bir değişiklik yapmamış ve sertlik değerleri 120 BSD civarında olmuştur(Şekil 7.31)

7.2.8 Si Serisi Alaşımların Darbe ve Sertlik Deneyi Sonuçları

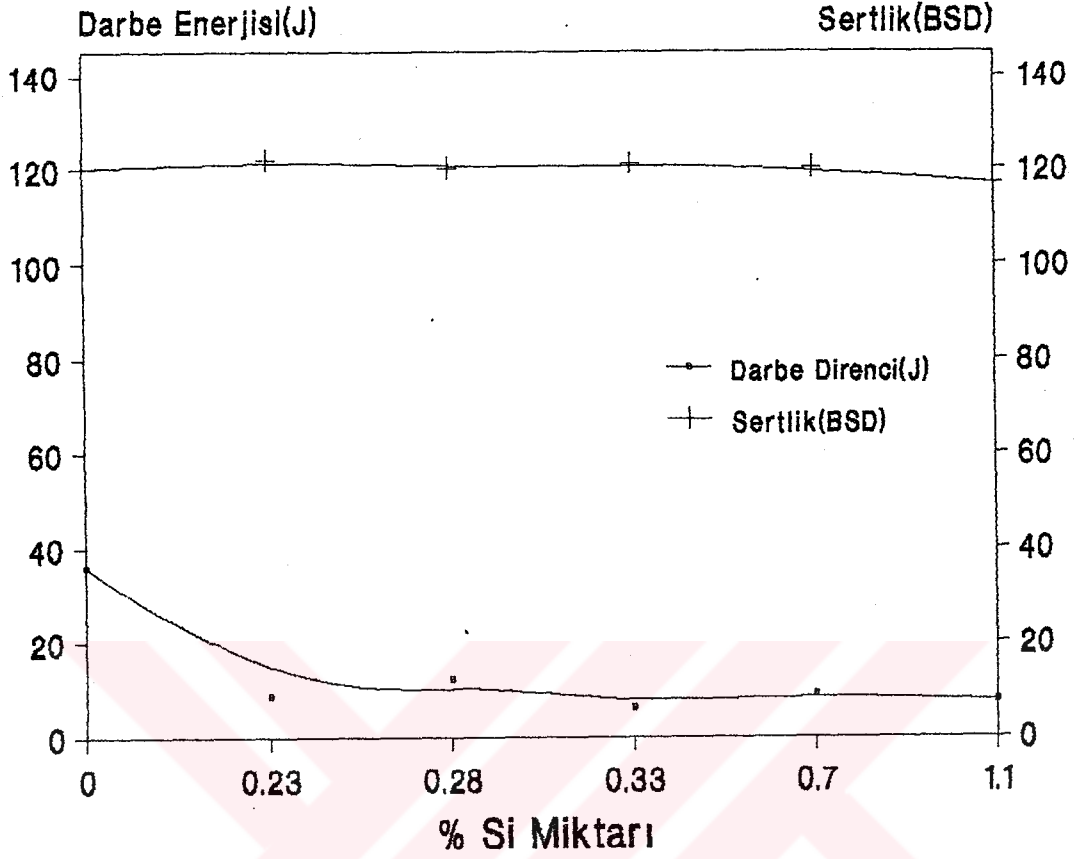
Si'un standart ZA8'e ilavesi darbe direncinde olumsuz etkiler yapmıştır. Si ilavesi standart ZA8 alaşımından elde edilen 36 J'lük darbe direncinin çok altında değerler vermiştir(Şekil 7.32, Tablo 7.8). Örneğin %0.2 Si' da darbe direnci yaklaşık 9 J olarak tesbit edilmiştir.

Tablo 7.8 Si Serisi Alaşımların Darbe ve Sertlik Deneyi Sonuçları

Alaşım No	Si %	Sertlik (BSD)	Darbe Direnci(J)
ZA/58	0.28	120	12
ZA/59	0.23	122	8.5
ZA/60	0.33	121	6
ZA/61	0.7	120	9
ZA/62	1.1	117	7

Bu büyük düşüşün sebebi olarak Şekil 7.21'de görüldüğü gibi Si'un ötektik miktarını büyük oranda arttırdığı söylenebilir. Darbe direncindeki bu düşüşler ötektik yapının klivaj kırılmasından dolayıdır[24].

Si'un ZA8'e %0.2-1.1 arasında ilavesi ZA8 alaşımının sertliğinde gözle görülür bir değişiklik yapmamıştır. Sertlik değerinin standart alaşımın sertlik değeri olan 120 BSD civarında olduğu gözlenmiştir.



Şekil 7.32 Si serisi alaşımların Darbe Direnci ve Sertlik Değerlerinin Bileşimle Değişimi

7.2.9 Cr Serisi Alaşımların Darbe ve Sertlik Deneyi Sonuçları

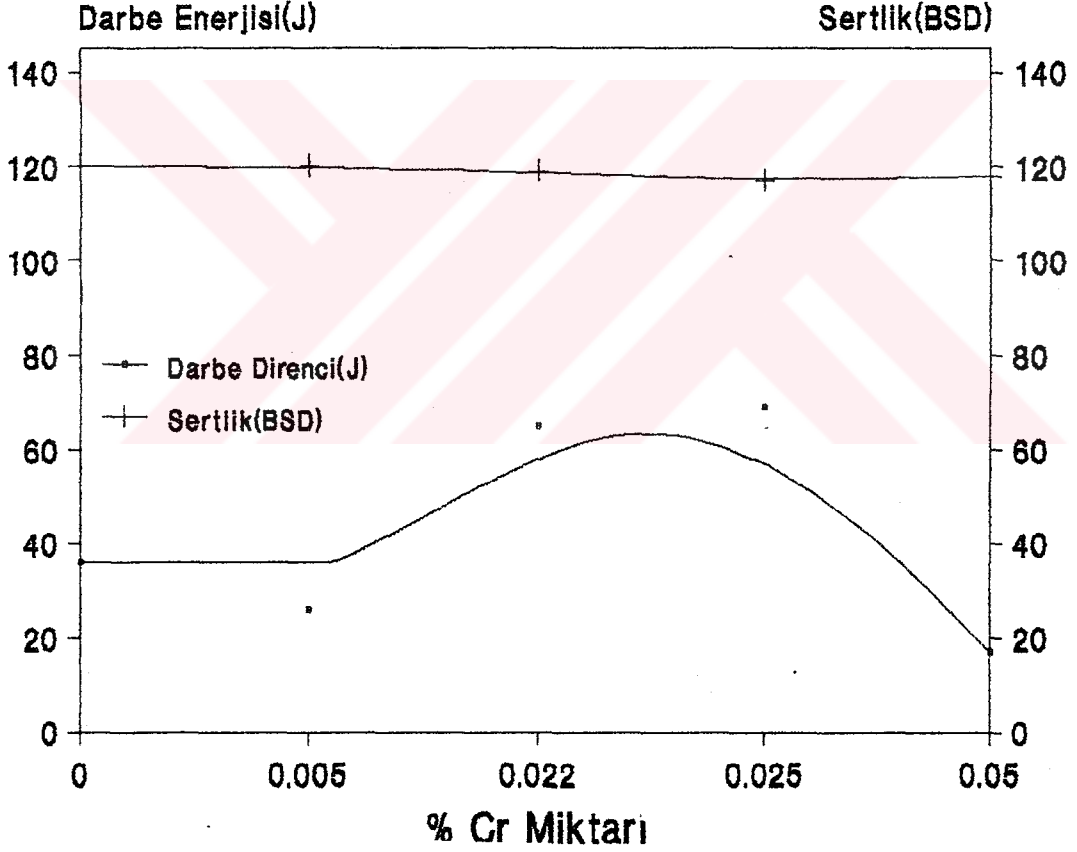
Cr'un darbe direnci ve sertliğe etkisi Tablo 7.9 ve Şekil 7.33'te görülmektedir. Yaklaşık %0.025 Cr ilavesi darbe direncinin standart ZA8'e göre büyük oranda arttırmıştır. Cr miktarının daha fazla artışı ile birlikte ise darbe direncinde azalma gözlenmiştir.

Standart ZA8'in darbe direnci 36 J iken, %0.025 Cr'lu alaşımın darbe direnci 69 J olarak tesbit edilmiştir.

Darbe direncindeki bu artışın sebebi olarak Şekil 7.23'te görüldüğü gibi Cr'un dendritik büyümeyi hızlandırması ve dendritleri kısmen küreselleştirmesi söylenebilir.

Tablo 7.9 Cr Serisi Alaşımların Darbe ve Sertlik Deneyi Sonuçları

Alaşım No	Cr %	Sertlik (BSD)	Darbe Direnci(J)
ZA/63	0.005	120	26
ZA/64	0.025	117	69
ZA/65	0.022	119	65
ZA/66	0.025	113	61
ZA/67	0.05	118	17



Şekil 7.33 Cr Serisi Alaşımların Darbe Direnci ve Sertlik Değerlerinin Bileşimle Değişimi

ZA8 alaşımına Cr ilavesi sertlikte önemli bir değişim yapmamıştır(Şekil 7.33). Sertlik değeri standart ZA8'in sertlik değeri olan 120 BSD civarında elde edilmiştir.

GENEL SONUÇLAR

Zn-Al esaslı ZA8 alaşımlarının Al içeriği % 5-11 Al, Cu içeriği % 0-3 ve Mg içeriği % 0-1 aralığında değiştirilmiş ve ayrıca standart alaşıma % 0.01-0.5 Mn, % 0.01-0.2 Ti, % 0.2-1.1 Si, % 0.01-0.05 Li ve % 0.005-0.05 Cr oranlarında arasında alaşım elementi ilave edilerek, bu elementlerin yukarıda belirtilen aralıklarda alaşımların sertlik ve darbe direncine olan etkileri incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1- Artan Al miktarı ile alaşımların sertlik değerleri sürekli olarak artmıştır. Artan Al miktarı ile alaşımların darbe direnci % 7 Al oranına kadar artmış, daha yüksek oranlarda Al ilaveleri darbe direncinin sürekli olarak azalmasına neden olmuştur.

2- Artan oranlarda Cu ilavelerinin alaşımların sertliklerini sürekli olarak önemli ölçüde arttırdığı, darbe direncini ise maksimum direncin elde edildiği % 0.7 Cu oranından sonra sürekli olarak azalttığı bulunmuştur. Cu ilavelerinin Zn-Al ikili denge sisteminde ötektik bileşimi Al'ca zengin bileşime kaydıracağı gözlenmiştir.

3- Artan oranlarda Mg ilaveleri alaşımların sertliklerinde % 1.0'e kadar artışlar sağlamıştır. % 1.0 Mg'da ise çok yüksek bir artış elde edilmiştir. Mg, darbe direncini % 0.01 değerine kadar arttırmış, bu değer üzerindeki ilavelerde ise darbe direncinde büyük düşüşler olmuştur.

4- Artan Mn miktarı ile alaşımların sertliklerinde önemli bir değişim olmamıştır. Mn'in az oranda ilavesi % 0.045'e kadar darbe direncini arttırmıştır. Bu değer üzerinde ise darbe direncinde önemli ölçüde azalmalar olmuştur. Mn ilavelerinin standart ZA8 alaşımlarının mikroyapısını incelediği ve yapıda ötektik alanlarda intermetalik bileşiklerin oluşmasına neden olduğu görülmüştür.

5- Artan oranlarda Ti ilaveleri alaşımların sertliklerini etkilememiştir. % 0.18 Ti'a kadar darbe direncinde artışlar olmuştur, daha yüksek ilavelerde ise darbe direncinin düştüğü gözlenmiştir. Ti ilavelerinin ZA8'in mikroyapısını incelttiği ve yapıda Ti intermetalikleri görülmüştür

6- Artan oranlarda Li sertliği etkilememiştir. % 0.01 Li'da darbe direncinde yüksek değer elde edilmiştir. Bunun üzerindeki ilavelerde ise darbe direncinin düştüğü gözlenmiştir. Ayrıca Li mikroyapıyı inceltmiştir.

7- Si'deki değişimde sertliği etkilememiştir. Fakat Si'un varlığı ZA8 alaşımında darbe direncini büyük ölçüde düşürmüştür. Si ilavesinin standart ZA8 alaşımının mikroyapısını kabalaştırdığı, yani ötektik tane boyutunu büyük oranda arttırdığı gözlenmiştir.

8- Cr'da sertlikte önemli bir etki yapmadığı gözlenmiştir. %0.025 Cr ilavesi darbe direncini ZA8'e göre büyük oranda arttırmıştır. Fakat, Cr miktarının artmasıyla darbe direncinde düşüş gözlenmiştir. Cr dendritik büyümeyi hızlandırmış ve dendritleri kısmen küreselleştirmiştir.

Standart ZA8 alaşımına ilave edilen alaşım elementlerinin şu miktarlarında standartın darbe direnci olan 36 J değerinden yüksek değerler elde edilmiştir: %0.7 Cu'lu 41J, %0.01 Mg'lu 140 J, %0.045 Mn'lu 45 J, %0.18 Ti'lu 63 J, %0.01 Li'lu 65 J, %0.025 Cr'lu 65 J. Darbe direncini arttırmada bu bileşimlerin bir kompozisyonu olan bir alaşımın kullanılması önerilebilir. %0 Mg'lu alaşımda da darbe direnci 81.8 J'dür. Ancak ZA8 alaşımlarında Mg korozyonu önlemede etkili bir alaşım elementidir. Bu sebeplede alaşımda bulundurulması tavsiye edilir. Sertlik için ise standartın değeri olan 120 BSD değerinden yüksek değerler % 8.5-10.5 Al+%1 Cu'da 124-131 BSD, % 2-2.7 Cu'da 130-138 BSD, % 1 Mg'da 147 BSD olarak tesbit edilmiştir. Ancak, sertlikteki bu artışlar darbe direncinde standarta göre büyük düşüşler meydana getirmektedir. Diğer alaşım elementlerinin ilavesi ise sertlikte standarta göre önemli bir değişiklik yapmamıştır.

KAYNAKLAR

- [1] HOUGHTON, M.E., MURRAY, M.T., An Introduction to Zinc Alloys, Metals Forum, V.6 No.4, pp.211-225, 1984
- [2] BARNHURST, R.J., Zinc and Zinc Alloys, ASM Handbook, pp.527-540, 1990
- [3] GOODWIN, F.E., PONIKVAR, A.L., Engineering Properties of Zinc Alloys, International Lead Zinc Research Organization Inc., Third edition January 1989
- [4] 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, pp.898-902, September 1983
- [5] CALAYAG, T.S., ZA Casting Alloys Hold Promise for Metalcasting Industry, Modern Casting, pp.19-22, August 1984
- [6] KURNAZ, C., 8 Alümina (Saffil) Takviyeli ZA12 Esaslı Kompozit Malzemelerin İnfiltrasyon Yöntemi İle Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Şubat 1993
- [7] ARIKAN, R., MoS₂ İlaveli ZA27 Alaşımının Aşınma Özellikleri, 5. Metalurji Kongre ve Sergisi, pp.800-817, 1988
- [8] DURMAN, M., The Creep Behavior of Pressure Die Casting Zn-Al Based Alloys, Doctor of Philosophy, The University of Aston in Birmingham., June 1989
- [9] LAMBERIGTS, M., WALMAG, G., COUTSOURADIS, D., Solidification Behavior of ZA27, Solidification Processing, pp.281-284, 1987
- [10] SAVAŞKAN, T., MURPHY, S.; Zn-Al Esaslı Yatak Alaşımlarında Faz dönüşümleri 4. Metalurji Kongresi Bildiriler Kitabı pp.532-555, 1986
- [11] MURPHY, S., Solid Phase Reactions in the Low Copper Part of the Al-Cu-Zn System, Z. Metallkunde, V.7 pp.96-102, 1980
- [12] SAVAŞKAN, T., TORUL, O., ÇUVALCI, H., Zn-Al alaşımlarının İç Yapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, 5. Metalurji Kongresi, pp.784-799, 1988
- [13] GERVAIS, E., BARNHURST, R.J., LOONG, C.A., An Analysis of Selected Properties of ZA Alloys, Journal of Metals, V.37, pp.43-47, November 1985

- [14] **ABDEL-HAMID, A.**, Structure Modification of the α Phase in Zn-Al Cast Alloys by Microalloying, *Z.Metallkde* 83 pp.314-318, 1992
- [15] **MURPHY, S., DURMAN, M., HILL, J.**, Kinetics of Creep in Pressure Die Cast Commercial Zinc-Aluminium Alloys, *Z.metellkde* , V.79, pp.243-247, 1988
- [16] **DURMAN, M., MURPHY, S.**, An Improved Parametric Method for the Correlation of Creep Data from Commercial Pressure-Diecast Zinc Based Alloys, *Z.Metallkde*, V.89, pp.129-134, 1991
- [17] **SAVAŞKAN, T., MURPHY, S.**, Creep Behaviour of Zn-Al-Cu Bearing Alloys, *Z.Metallkde*, V.74, pp.76-82, 1983
- [18] **TORAMAN, V.**, Development of Structure and Mechanical Properties of Zinc-Aluminium Alloys, Master of Science in Mechanical Engineering, Boğaziçi University, 1989
- [19] **DURMAN, M., TÜRK, A.**, Bakır ilavesinin ZA8 alaşımının mekanik ve mikroyapısal özelliklere etkisi, *Tr.J.of Engineering and Enviromental Sciences*, V.18, pp.473-479, 1994
- [20] **TÜRK, A., DURMAN, M., KAYALI, E.S.**, Alaşım Elementlerinin Zn-Al Esaslı ZA8 Alaşımının Mekanik Özelliklerine Etkisi, 6.Denizli Malzeme Sempozyumu, 1995
- [21] **ESPERANCE, G.L, HANG, B.D., GAGNE, M., BARNHURST, R.J.**, Microstructural Charecterization of a New Zn Based Creep Resistant Alloy, *Materials Science and Engineering*, A172, pp 1-14, 1993
- [22] **BARNHURST, R.J.**, Creep Resistant Zinc-Aluminium Based Casting Alloy USA Patent Number 4965046 date:Oct.23,1990
- [23] **SAVAŞ, M.A., ALTINTAŞ, S.**, The Microstructural Control of Cast and Mechanical Properties of Zinc-Aluminium Alloys, *Journal of Materials Science*, V.28 pp.1775-1780, 1993
- [24] **LOPEZ, H., DICSON, J.L., HANDFIELD, L., BARNHURST, R.J.**, The Influence of Temperature on The Fracture Toughness of Zinc-Aluminium(ZA) Alloy Castings, Unpublished Research.

ÖZGEÇMİŞ

Hüseyin BELKİS 1970 yılında Adapazarı'nda doğmuştur. Lise eğitimini 1988 yılında İzmit Teknik Lisesi'nde tamamlamıştır. 1988 yılında İ.T.Ü Sakarya Mühendislik Fakültesi Metalurji Mühendisliği Bölümünü kazanmış; 1992 yılında bu bölümden Metalurji Mühendisi ünvanı ile mezun olmuştur. Yine aynı yıl İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı Malzeme Programında Yüksek Lisans eğitimine başlamıştır.