

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Kalay Kat, Ailüm, Bro, Özel, Etk, Inc.

DOKTORA TEZİ

Ayşegül Akdoğan

1987

K-361
62

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

361
62

KALAY KATKISININ ALÜMİNYUM BRONZLARININ
ÖZELİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Kimya Yük.Müh.Ayşegül AKDOĞAN
DOKTORA TEZİ

MAYIS 1987

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
GENEL KİTAPLIĞI

R 361

62

Kot :
Alındığı Yer : Fen Bilimleri Enstb.
Tarih : 11/12/1990
Fatura : -----
Fiatı : 15.000 TL
Ayniyat No : 1/27
Kayıt No : 47385
UDC : 54 378.242
Ek :



Çalışmamda bana yön vererek her türlü yardım ve imkanlarını esirgemeyen Sayın Hocam Prof.Dr.Kutsal TULBENTCI'ye sonsuz saygı ve şükranlarımı sunarım.

Çalışmalarım sırasında değerli fikir ve görüşleriyle yardımcı olarak, ilgisini esirgemeyen Sayın Hocam Prof.Dr.Ergin N.ÇAVUŞOĞLU'na, Sayın Hocam Prof.Dr.Fuat ÇAKIR'a, Sayın Hocam Doç.Dr.Niyazi ERUSLU'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Deneyler için Laboratuvarlarında çalışma izni veren Yıldız Üniversitesi Mak.Müh.Bölümü Kontrüksiyon-İmalat Anabilim Dalı, Met.Müh. Bölümü ve İnş.Müh.Bölümü Hidrolik Anabilim Dalı Başkan ve Öğretim üyelerine teşekkür ederim.

Ayşegül AKDOĞAN

İstanbul

1987



İÇİNDEKİLER

Sayfa No

Özet

Summary

1. GİRİŞ

1

2. ALÜMİNYUM BRONZLARI

2.1. Alüminyum bronzlarının eldesi	4
2.2. Alüminyum bronzlarının sınıflandırılması	5
2.2.1. Cu-Al denge diyagramının incelenmesi	6
2.3. Kullanım alanları ve uygulamaları	8
2.4. Mekanik özellikleri	9
2.4.1. Aşınma özeliği	10
2.4.2. Kaynak kabiliyeti	11
2.5. Uygulanan ısıt işlemleri	12
2.5.1. Homojenleştirme	12
2.5.2. Tavlama	13
2.5.3. Gerilme giderme	13
2.5.4. Çökelme sertleşmesi	16
2.5.5. Alüminyum bronzlarının ısıt işlemleri	17
2.6. Korozyon	21
2.6.1. Korozyon tanımı	21
2.6.2. Korozyon türleri	21
2.6.2.1. Homojen dağılımlı korozyon	21
2.6.2.2. Galvanik korozyon	21
2.6.2.3. Çukurcuk korozyonu	22
2.6.2.4. Aralık korozyonu	22
2.6.2.5. Seçici (selektif) korozyon	22
2.6.2.6. Tane sınırları korozyonu	22
2.6.2.7. Gerilmeli korozyon	22
2.6.2.8. Erozyonlu korozyon	23

2.6.3. Korozyon oluşum nedeni	23
2.6.3.1. Kimyasal korozyon	23
2.6.3.2. Elektrokimyasal korozyon	23
2.6.3.3. Erozyon	23
2.6.3.4. Kavitasyon	23
2.6.4. Korozyona karşı korunma	23
2.6.4.1. Tasarım esnasında alınabilecek önlemler	24
2.6.4.2. Ortamın saldırganlığını giderici önlemler	25
2.6.4.3. Yüzey kaplamaları ile koruma	27
2.6.4.3.1. Metal kaplamalar	27
2.6.4.3.2. İnorganik kaplamalar	28
2.6.4.3.3. Organik kaplamalar	28
2.6.4.4. Katodik koruma	28
2.6.4.5. Korozyona dayanıklı malzemeler	29
2.6.5. Alüminyum bronzlarının korozyonu	29
2.7. Alaşım elementlerinin alüminyum bronzunun özelliklerine etkileri	30
2.7.1. Alüminyum	30
2.7.2. Demir	30
2.7.3. Silisyum ve mangan	33
2.7.4. Titanyum	34
2.7.5. Krom	34
2.7.6. Kobalt	34
2.7.7. Nikel	36
2.7.8. Kurşun	36
2.7.9. Fosfor	37
2.7.10. Diğer elementlerin etkileri	37
2.7.11. Gayri safiyetlerin etkileri	37
2.7.12. Kalay	41
2.7.12.1. Arı kalayın özellikleri	41
2.7.12.2. Kalay	42

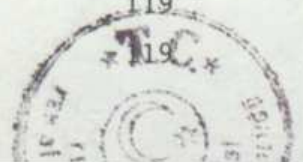


3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1. Alüminyum alaşımlarının hazırlanması	43
3.1.1. Alüminyum bronzlarının dökümü	43
3.2. Uygulanan ısıtım işlemi	48
3.2.1. Isıtım işlem sıcaklıklarının belirlenmesi için ön denemenin yapılması	48
3.2.2. Alaşımlara uygulanan ısıtım işlem sıcaklıklarının belirlenmesi	48
3.3. Mekanik özelliklerin tespiti	62
3.3.1. Çekme deneyi	62
3.3.1.1. Çekme numunesinin hazırlanması	62
3.3.1.2. Çekme deneyinin yapılması	62
3.3.2. Brinell sertlik deneyi	65
3.3.2.1. Numune hazırlanması	65
3.3.2.2. Deneyin yapılması	65
3.3.3. Çentik darbe deneyi	67
3.3.3.1. Numune hazırlanması	67
3.3.3.2. Deneyin yapılması	67
3.3.4. Korozyon	71
3.3.4.1. Korozyon ortamları ve şartları	71
3.3.4.2. Numune hazırlanması	71
3.3.4.2.1. Döküm halinde	71
3.3.4.2.2. Çözeltiye alınmış halde	72
3.3.4.2.3. Yaşlandırılmış halde	72
3.3.4.3. Deneyin yapılması	72
3.3.5. Çözeltielerde elementer bakır tayini	76
3.3.6. Metallografik inceleme	76

4. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ

4.1. Mekanik mukavemet yönünden	118
4.1.1. Çekme mukavemeti	118
4.1.2. Sertlik	119
4.1.3. Çentik darbe mukavemeti	



ÖZET

Alüminyum bronzları, uygun mekanik özellikleri ve korozyona karşı yüksek dayanım göstermeleri nedeniyle endüstride geniş kullanım alanı bulmuşlardır. Yapılan literatür taramalarından, kalay ilavesinin alüminyum bronzlarının özelliklerine etkilerinin tam olarak saptanmamış olduğu anlaşılmıştır. Bu amaçla günümüzde yaygın kullanım alanı bulan alüminyum bronzları özelliklerine üçüncü alaşım elementi olarak kalayın etkisi sistematik olarak incelenmiştir.

Bu çalışmada, Cu %88-91, Al %7-10 bileşim aralığındaki alüminyum bronzlarına %2-5 oranında yapılan kalay ilavesinin mekanik özellikler ve korozyon dayanımına olan etkileri incelenmiştir. Çalışmada sekiz değişik bileşimde kalaylı ve kalaysız alüminyum bronzları, artan kalay ve artan bakır miktarına göre iki farklı grup halinde hazırlanmıştır. Döküm, çözeltiye alınmış ve yaşlandırılmış haldeki alaşımların çekme mukavemeti, akma mukavemeti, çentik darbe mukavemeti ve sertlikleri saptanmıştır. Ayrıca klorik asit (HCl), sülfirik asit (H_2SO_4), sodyum hidroksit (NaOH) ve sodyum klorür (NaCl) 'ün % 10 luk çözeltilerinde $25 \pm 1^\circ C$ de 100 saat devam eden korozyon deneyleri yapılmıştır. Alaşımların her durumda iç yapıları metallografik yöntemler ile incelenmiş ve mikrografilm alınmıştır.

Kalay miktarının artışı dökme ve yaşlandırılmış alüminyum bronzlarının, tane yapısını ufaltıcı etki göstermiştir. Dökme alüminyum bronzlarının mekanik özelliklerinin, uygun bir bileşim aralığında yapıya kalay ilavesi ile iyileştiği saptanmıştır. Cu %88 ve Al %7-10 bileşim aralığındaki alaşımlara yapılan %2-4 oranındaki kalay ilavesi bu alaşımların döküm halinde çentik darbe mukavemetini arttırırken, sertliğini azaltmıştır. Aynı orandaki kalayın Cu %88-91 ve Al %7 içeren alüminyum bronzlarına ilavesinde ise döküm, çözeltiye alınmış ve yaşlandırılmış haldeki bu alaşımların sertliğinde artış gözlenmiştir. Ancak çözeltiye alınmış ve yaşlandırılmış Cu-7Al-3Sn alaşımının sertliğinde azalma görülmüştür. Artan bakır oranıyla döküm ve yaşlandırılmış haldeki alaşımların çentik darbe mukavemeti azalmıştır.

Farklı bileşimdeki alaşımlar, korozyon çözeltilerinde farklı korozyon davranışı göstermişlerdir. Kalay ilaveli dökme alüminyum bronzlarının korozyon hızlarının, kalaysız alüminyum bronzuna göre daha fazla olduğu saptanmıştır. Kalay içeren Cu-10Al-2Sn bileşimindeki dökme alaşımının, %10 HCl, %10 H₂SO₄ ve %10 NaOH çözeltilerinde diğer kalaylı dökme alüminyum bronzlarına göre en iyi korozyon dayanımına sahip olduğu belirlenmiştir. %10 H₂SO₄ çözeltisinde yaşlandırılmış Cu-9Al-3Sn bileşimindeki alaşımın korozyon dayanımının Cu-11Al alaşımından daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Literatürde alüminyum bronzlarına kalay ilavesinin, korozyon dayanımını arttırdığı kalay oranına bakılmaksızın ileri sürülmektedir. Bu çalışmada ise sadece 850°C de 20 saat ısıtılan ve 250°C de 12 saat yaşlandırılan Cu-9Al-3Sn bileşimindeki alaşım %10 H₂SO₄ çözeltisinde, kalaysız alaşıma göre daha iyi korozyon dayanımı göstermiştir. Diğer alüminyum bronzlarına bu çalışma şartlarında kalay ilavesinin, korozyon dayanımını arttırıcı etkisi olmadığı saptanmıştır. Bununla beraber Cu-8Al-4Sn bileşimindeki alaşımın, kalaysız Cu-11Al alaşımına göre daha iyi mekanik özelliklere sahip olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışma sonucunda alüminyum bronzlarına ancak belirli koşullar altında uygun oranlarda yapılan kalay ilavesinin, bronzların mekanik özelliklerini ve korozyon dayanımlarını arttırıcı rol oynadığı ve bu konuda bir genelleme yapılmasının doğru olmadığı saptanmıştır.

The microstructure and properties of the mechanical properties of alloy for both cast and aged conditions. It was observed that as the tin content was increased from 2 to 4, the yield strength decreased. Optimum mechanical properties for cast conditions have been obtained with 4% tin content. With increase in the tin content from 4 to 6, the Charpy impact strength was found to increase while the hardness decreased. With increasing copper rates in cast and aged alloys Charpy impact strength was decreased.

The corrosion resistance of aluminum bronzes was observed to show great variety depending on corrosion solutions. The highest



Summary

Eventhough the effect of tin addition to aluminium bronze is attracted the attention of many research workers. But the systematic investigation on the effect of tin addition on the properties of aluminium bronze have not been found in the literature. The main aim in the present work has been to collect together the results of metallographical, mechanical and accelerated corrosion experiments on Cu-Al-Sn alloy and drive simple solution in order to obtain better mechanical properties and corrosion resistance whenever possible.

In the Cu-Al-Sn ternary system the experimental investigations were concentrated on the alloys with aluminium content changing from 7% to 10 and tin content 5% to 2% respectively. Eight alloy groups with different tin content were chosen in order to determine the effect of tin addition to aluminium bronze. The liquid metal was cast into permanent mould. The casts were divided into two parts. The one part was solution heat treated then the samples were aged.

In order to determine the corrosion behaviour of aluminium bronzes, they were subjected to accelerated corrosion test in 10% HCl, 10% H_2SO_4 , 10% NaOH and 10% NaCl solutions for 100 hours at $25 \pm 1^\circ C$. The microstructures of aluminium bronzes were investigated. The tin addition was found to play a vital role for influencing the microstructure and improving the mechanical properties of alloy for both cast and aged conditions. It was observed that as the tin content was increased from 2 to 4, the grain size tended to decrease. Optimum mechanical properties for cast aluminium bronze were obtained with 4% tin content. With increase in tin content from 2% to 4% the charpy impact strength was found to increase while the hardness to decrease. With increasing copper rates in cast and aged alloys charpy impact strength was decreased.

The corrosion resistance of aluminium bronze was observed to show great variety depending on corrosion solutions. The highest



corrosion resistance was obtained with Cu-10Al-2Sn cast aluminium bronze in accelerated corrosion test with 10% HCl, 10% H_2SO_4 and 10% NaOH solutions. Aged Cu-9Al-3Sn aluminium bronze was found to demonstrate better corrosion resistance than Cu-11Al alloy in 10 % H_2SO_4 solution.

Eventhough it was found to propose tin addition increase the corrosion resistance of aluminium bronze in literature without paying attention the tin content. In the present work only Cu-9Al-3Sn alloy which was heat treated in $850^{\circ}C$ for 20 hours and aged in $250^{\circ}C$ for 12 hours was observed to show better corrosion resistance in 10% H_2SO_4 solution than Cu-11 Alloy.

The mechanical properties of aluminium bronze with tin were found to demonstrate better mechanical properties than that without tin. It can be concluded from the results obtained in the present work the corrosion resistance and mechanical properties can be improved by adding tin only between certain limits and under certain conditions that were mentioned above; and for this reason in the present work generalizations on this subject are not statet.

I. Giriş

Yüksek mekanik özelliklere, aşınma mukavemetine, iyi bir kaynak kabiliyetine ve üstün korozyon dayanımına sahip olan alüminyum bronzları, aynı zamanda mükemmel bir yatak malzemesi özeliği gösterirler. Alüminyum bronzları bu özellikleri nedeniyle özellikle deniz suyunda, yüksek aşınma mukavemetinin gerekli olduğu gemi pervanelerinde, ısı eşanjörlerinde, vida, dişli ve yatak malzemeleri olarak yaygın kullanım alanı bulmuşlardır.

Alüminyum bronzlarının, bazı bakır alaşımlarına örneğin pirinçlere kıyasla korozyon dayanımı açısından daha üstün olduğu bilinmektedir. Z.Ahmad'ın yapmış olduğu çalışmalar /1/ bunu kanıtlar niteliktedir. Bu çalışmada, alüminyum bronzları ile 70/30 pirincinin asit ve nötral çözeltilerdeki korozyon davranışları incelenmiştir. Yapılan araştırmalar sonunda alüminyum bronzunun deniz suyu, HCl ve H_2SO_4 çözeltilerinde α pirincine göre daha iyi korozyon dayanımına sahip olduğu görülmüştür. Alüminyum bronzlarının yüksek korozyon dayanımının, ana bileşen olarak yapıdaki Cu_2O oluşumuna bağlı olduğu görülmüştür. Bu nedenle de alüminyum bronzları, asitleme yöntemi ile deniz suyunun tuzunu giderme ünitelerinde kullanılmaktadır.

Alüminyum bronzlarına demir, nikel, mangan, silisyum, krom, kobalt, titanyum ve kurşun gibi elementler de ilave edilerek bir takım yeni özellikler kazandırılmaktadır. En çok kullanılan alaşım elementi olan demir, bronzların tane yapısını ufaltıcı rol oynayarak mekanik özellikleri iyileştirmektedir /2,3/.

Demirden başka alüminyum bronzlarına ilave edilen diğer bir element de nikeldir /4/. Nikel, korozyon dayanımını arttırıcı rol oynamasının yanı sıra alüminyum bronzlarına % 0.8-6.0 oranında ilave edildiğinde, demir gibi tane ufaltıcı etki göstererek çekme mukavemetini, akma mukavemetini arttırmakta ve yüksek yüzey sertleşebilirliğini sağlamaktadır /5/. Nikel mangan ile birlikte, alüminyum bronzlarının HCl, H_2SO_4 ve HNO_3 çözeltilerinde yüksek korozyon dayanımı göstermesine neden olmaktadır /6/.

Silisyumun % 2 oranında Cu-6Al alaşımına ilave edilmesi ile, alaşımın çekme mukavemeti artmaktadır. Silisyum ile birlikte % 0.2 mangan ila-

vesinin ise alaşımanın korozyon dayanımını arttırırken, sünekliğin azalmasına neden olduğu belirlenmiştir /7/.

Alüminyum bronzlarında kalay ile birlikte diğer alaşım elementlerinin, mekanik ve korozyon özelliklerine olan etkileri incelenmiştir /8,9/. Cu-7Al alaşımına demir ve manganın % 1 oranında ve kalayın % 2 oranında ilavesinin, bronzun korozyon özelliklerini iyileştirici etkisi olduğu belirtilmiştir /8/. Bu araştırmada kalay ilavesinin, alüminyumun azalmasını ve Al_2O_3 filminin anodik çözünmesini geciktirdiği, demir ve mangan olmaması halinde ise alaşım kırılğanlığının arttığı belirtilmiştir. Ayrıca en etkin ısııl işlemin $650^{\circ}C$ den itibaren suda soğutma olduğu saptanmış ve böylelikle yüksek orandaki α fazının ve β fazındaki büyük dispersiyonun korozyon dayanımını iyileştirdiği belirlenmiştir.

Literatürde alüminyum bronzlarına kalayın diğer alaşım elementleri ile birlikte genellikle % 0.2-0.5 oranında ilave edildiği görülmektedir. Bu oranlardaki kalayın, alüminyum bronzlarının mekanik ve korozyon özelliklerini değiştirdiği görülmüştür. Kalay miktarının % 5, % 7 gibi daha yüksek oranlarda olması durumunda, alüminyum bronzlarının özelliklerinde ne gibi değişiklikler olacağı konusunda literatürde yeterli sayıda çalışma yoktur. Sadece A.Davin ve arkadaşları % 5, % 7 ve % 9 alüminyum ve % 5, % 7 kalay içeren alüminyum bronzlarının mekanik özelliklerini ve korozyon dayanımlarını araştırmışlardır /10/. Bu araştırmada kalay miktarı sadece % 5 ve % 7 olarak alınmış olup, alüminyum bronzlarının ekstrüzyondan geçmiş, levha ve dövülmüş haldeki yani plastik şekil değiştirmeye uğramış durumdaki mekanik ve korozyon özellikleri incelenmiştir.

Alüminyum bronzlarının döküm halinde kullanımlarının yaygın olması, ayrıca ısııl işlem yardımı ile özelliklerinin geliştirilebilmesi, kalay içeren alüminyum bronzlarının döküm halinde ve ısııl işlem görmüş durumlarında araştırılmasını gerektirmektedir. Ayrıca literatürde, % 5 e kadar kalay içeren alüminyum bronzlarının mekanik ve korozyon özellikleri üzerinde de durulmadığı anlaşılmıştır.

Literatürdeki bu söz konusu açıklığı giderebilmek amacıyla bu çalışma



mada, minimum % 2 maksimum % 5 kalay içerecek şekilde geniş bir bölgede alüminyum bronzlarının mekanik özellikleri ve korozyon davranışları araştırılmıştır.

2- ALÜMİNYUM BRONZLARI

2.1. Alüminyum Bronzlarının Eldesi

İlk çağlarda doğada saf olarak bulunabilen, düşük ergime sıcaklığından dolayı kolay ergitilebilen ve şekillendirilebilen bakır, insanlar tarafından kullanılan ilk metaldir. Daha sonraları bakırın kalay ile karıştırılarak ergitilmesi sonucunda daha sert ve dayanıklı bir malzemenin ortaya çıkması, insanların bakırı değişik metallerle alaşım yapmasına neden olmuştur. Önceleri tesadüfi olarak deneme yanılma yoluyla geliştirilen alaşımlar, ilmin ilerlemesinden sonra ihtiyaçlara cevap verecek alaşımların geliştirilmesine yol açmıştır. Alüminyum bronzları, alüminyumun ekonomik olarak elde edilmesinden sonra üretilmişlerdir; ilk alüminyum bronzu üretimi İngiltere'de yapılmış, üstün özelliklerinin farkedilmesinden sonra başta A.B.D. olmak üzere bir çok ülkede alüminyum bronzlarının araştırılmasına başlanmış ve yaygın olarak üretimine geçilmiştir.

Alüminyum bronzunu meydana getiren başlıca elementler bakır ve alüminyumdur. Bakırın elastiklik modülü sıcaklığın artmasıyla azalmaktadır /12/.

Alüminyumun mekanik özellikleri ise büyük oranda saflık derecesine bağlıdır. Yüksek saflığa sahip alüminyum, teknik alüminyumdan daha yumuşak ve plastiktir /13/. Yapılan bir çok araştırma artan saflık ile alüminyumun çekme mukavemetinin azaldığını, kopma uzamasının ise arttığını göstermiştir. Bakır alüminyum ve alüminyum bronzuna ait diğer özellikler Çizelge-2.1'de toplu olarak verilmiştir /12, 13, 14, 15, 16/.

	Cu	Al	Al bronzu Cu-9Al-1Fe
Atom No	29	13	-
Atom ağırlığı	63.542	26.891	-
Kafes Tipi	kym	kym	-
Kafes Parametresi (20°C, Å)	3.60742	4.0494	-
Yoğunluk (20°C, g/cm ³)	8.959	2.699	7.55
Ergime Noktası (°C)	1083 ± 0.1	660.24	-
Kaynama Noktası (°C)	2595	2450	-
Elektrik İletkenliği (IACS)	% 102.3	% 64.94	% 16

Çizelge-2.1

2.2. Alüminyum Bronzlarının Sınıflandırılması

Alüminyum bronzları, ASTM standartlarında % 5-15 Al, % 10 a kadar demir ve % 0.5 den daha az silisyum içeren ayrıca içinde mangan ya da nikel de bulunabilen bakır alaşımı olarak tarif edilmiştir /17/.

Ticari alüminyum bronzları içerdikleri alüminyum miktarına göre iki gruba ayrılırlar /4,17/.

I.Grup : % 9 dan daha az alüminyum içeren alaşımlardır /4/. Şekil-2.1 deki denge diyagramından da görülebileceği gibi alüminyum, bakır içinde α katı çökeltisi halindedir. Homojen yapıya sahip bu grup alaşımlar oldukça sünek ve yumuşaktırlar. Isıl işlem yardımı ile özellikleri değiştirilemez. II.grup alüminyum bronz alaşımlarına göre daha yüksek korozyon dayanımına sahiptirler /4/.

II.Grup: % 8 den daha fazla alüminyum içeren, genellikle demir, nikel ve/veya mangan ilavesi yapılabilen alaşımlar bu gruba girer /17/. Isıl işlem uygulanarak kullanılırlar /4/.

Bu grubun ticari döküm alaşımı olarak kullanımı I.gruba göre daha fazladır. Yüksek alüminyum miktarına bağlı olarak kimyasal bileşim ve soğuma hızı etkisi ile kompleks yapıda fazların oluşumu söz konusu olur /19/.

II.grup alaşımlar iki ayrı alt grup halinde incelenebilir /17/.

I.alt grup alaşımlar % 9-11Al içerir. Faz oranları alüminyum ve soğuma hızına bağlı olarak $\alpha + \beta$ -ikili sisteme sahiptirler. %9-11Al aralığı, tokluk, en iyi çekme ve akma mukavemeti sağlayan bileşim aralığıdır. Bununla birlikte 565°C nin altına yavaş soğutma ile β , γ_2 veya $\alpha +$ ötektoid yapıya dönüşebilir ve sünekliği azalır.

Yeterli miktarda nikel bulunmazsa bazı korozif ortamlarda alüminyumun azalmasına karşı duyarlılık artar /4,17/.

II.alt grup % 11 den daha fazla alüminyum içeren alaşımlardır. Bu alaşımlar β veya $\beta + \gamma_2$ fazlarını içerirler ve özel uygulamalar dışında daha düşük sünekliğe sahip olma eğilimi gösterirler /4,17/.

Standartlarda alüminyum bronzları, şekillendirme işlemlerine göre dövme ve döküm alaşımları olarak sınıflandırılmışlardır.

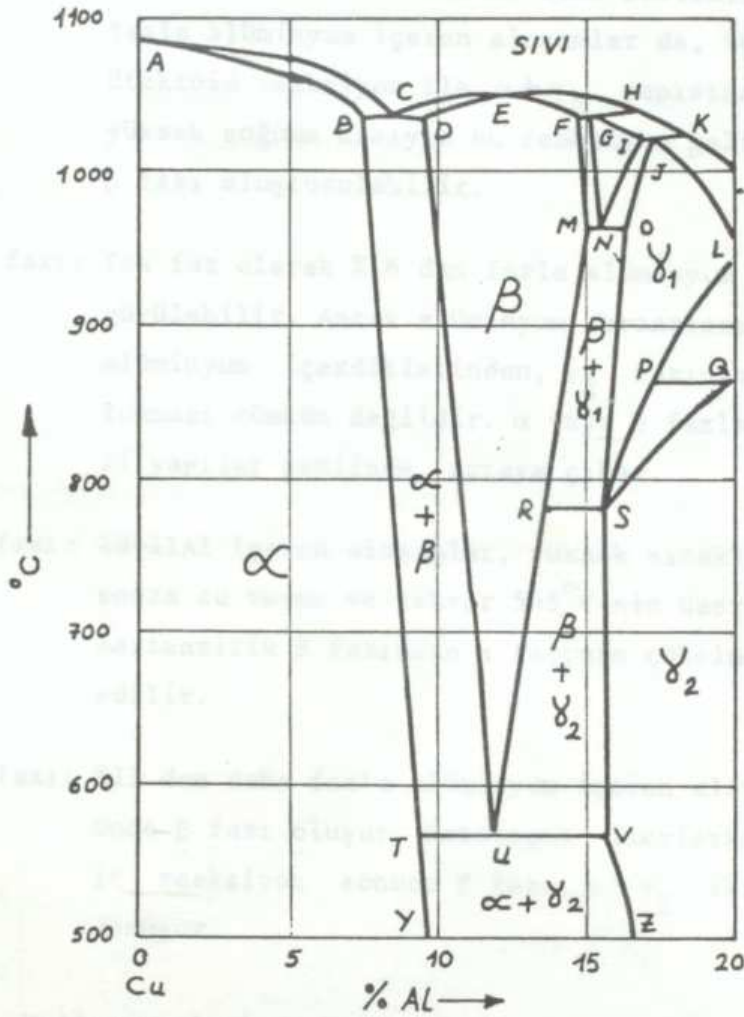
Döküm alaşımlarına her zaman % 0.75-5 oranında demir ilave edilir. Bu ilave, sadece ince taneli yapı elde edilmesinin yanısıra mekanik özellikleri iyileştirmek amacıyla yapılır /17/.

2.2.1 Cu-Al denge diyagramının incelenmesi

Şekil-2.1'deki Cu-Al denge diyagramında alüminyum bronzlarının yapılarında bulunabilecek α , β , γ_2 fazları ve bunların ikili yapıları görülmektedir. Bu fazlar ve ikili yapıları aşağıdaki gibi incelenebilir /4/.

α - fazı: %9.4 e kadar alüminyum içerebilmesine rağmen, %7.5 den daha az alüminyum içeren bileşimlerde bu faz katılaşma eğrisinin altındaki bütün sıcaklıklarda kararlıdır.

%9.9. 4Al içeren alaşımlar katılaşırken önce α fazı çekirdeklenerek, 1000°C nin altındaki sıcaklıklarda sonradan fazı oluşmayacağından yapı tam anlamıyla homojen ol-



Şekil 2.1 Bakır-Alüminyum denge diyagramı.

Nokta	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
°C	1086	1037	1037	1037	1048	1036	1036	1036	1022	1022	1022	958
% AL	0	7.5	8.5	9.5	12	14.9	15.2	16	16.9	17.1	18	20
Nokta	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	Y	Z
°C	963	963	963	873	873	780	780	565	565	565	0	0
% AL	15.1	15.4	16.4	17.8	20	13.6	15.6	9.4	11.8	15.6	9.4	16.2

Çizelge 2.2 Bakır-Alüminyum denge diyagramındaki noktalara karşı gelen sıcaklık ve bileşimler /4/.

β - fazı: %8-11Al içeren alaşımların yapısında, ısıtılma işlem ve su verme sonucu tek faz halinde elde edilebilir. Ayrıca %11 den fazla alüminyum içeren alaşımlar da, 565°C nin altında ötektoid reaksiyon ile $\alpha + \gamma_2$ yapısına dönüşeceğinden, yüksek soğuma hızıyla bu reaksiyon gelişmeden martenzitik β fazı oluşturulabilir.

γ_2 - fazı: Tek faz olarak %16 dan fazla alüminyum içeren alaşımlarda görülebilir. Ancak alüminyum bronzları max.%15 e kadar alüminyum içerdiklerinden, γ_2 fazının tek faz olarak bulunması mümkün değildir. α veya β fazları ile birlikte ikili yapılar şeklinde ortaya çıkar.

$\alpha + \beta$ fazı: %8-11Al içeren alaşımlar, yüksek sıcaklığa ısıtıldıktan sonra su verme ve tekrar 565°C nin üzerine ısıtılmasıyla martenzitik β fazından α fazının çökmesi sonucunda elde edilir.

$\alpha + \gamma_2$ fazı: %11 den daha fazla alüminyum içeren alaşımlar katılaşıırken önce β fazı oluşur. Katılaşma ilerlerken 565°C de ötektoid reaksiyon sonucu β fazı, $\alpha + \gamma_2$ iki fazlı yapısına dönüşür.

2.3. Kullanım Alanları ve Uygulamaları

Alüminyum bronzları özellikle deniz suyuna, oksitleyici olmayan asitlere, alkali sülfürlere ve potasyum hidroksit çözeltisine gösterdikleri yüksek korozyon dayanımları nedeniyle gemi, kimya, tekstil ve kağıt endüstrilerinde yaygın olarak kullanılırlar /4,20/. Ayrıca gemi pervaneleri, türbinler, pompalar ve diğer aksamalarda özellikle alüminyum bronzlarından yapılmış olanlar tercih edilir /21/.

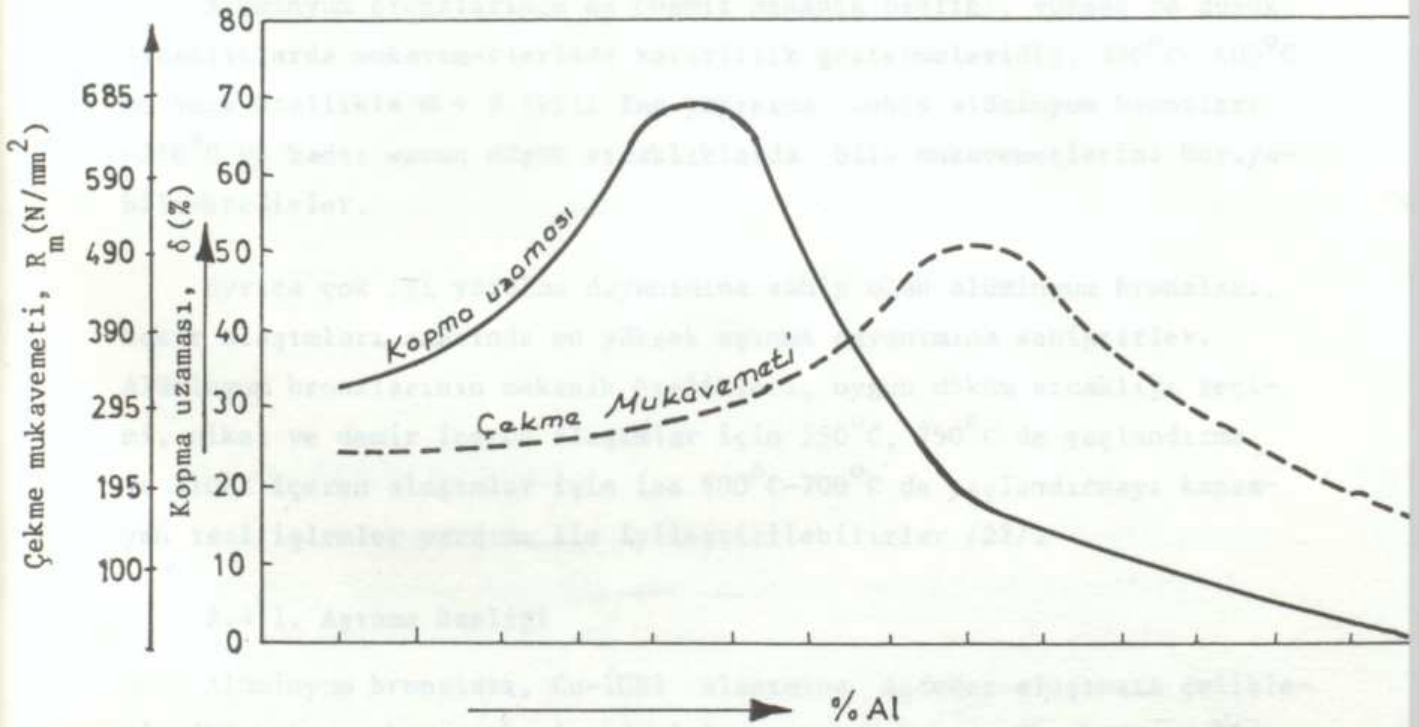
Alüminyum bronzları, paslanmaz çelik ile temas ettiğinde sürtünme ve temas sonucunda ısınma göstermeyen malzeme olması nedeniyle mutfak evyesi gibi paslanmaz çelik malzemeleri üretmek için metal kalıp imalatında kullanılırlar /20/. Yüksek mukavemetleri ve sertlikleri nedeniyle dişliler, saplamalar, kovanlar, uçakların iniş takımlarında ve yüksek

sıcaklıklarda aşınma mukavemetlerinin iyi olması sonucu türbojet motorlarında, sıcak gazsıvı türbinleri ve eşanjörlerdeki bir çok parça alüminyum bronzlarından yapılır.

Aşınma ve bozunma dayanıklılıkları nedeniyle yatak alışımlı olarak, yüksek kurşun içeren alüminyum bronzları ise kendiliğinden yağlamalı yataklarda kullanılırlar. Ayrıca kıvılcım çıkartmayan takımlar ve anti magnetik aletler de alüminyum bronzundan yapılır /4/.

2.4. Mekanik Özellikleri

Diğer alaşım elementlerinin etkileri dikkate alınmazsa alüminyum bronzunun mukavemet özellikleri, bileşimlerinde bulunan alüminyum miktarının artmasıyla belirli bir bileşim aralığında bir maksimumdan geçtikten sonra düşer. Bu durum Şekil-2.2 de açıkça görülmektedir.



Şekil-2.2 Alüminyum bronzlarında alüminyum miktarına bağlı olarak çekme mukavemeti ve kopma uzaması değişimi.



Alüminyum oranı az olan bronzların yapısında bulunan α -fazı oldukça sünek olup dayanımı düşüktür. Bu nedenle % 6-8Al içeren alaşımlar döküm halinde bile soğuk şekil değiştirmeye uygundurlar.

β fazı, α fazından biraz daha serttir ve ancak yüksek sıcaklıktaki yüksek plastik özellikleri nedeniyle % 8-10Al içeren alüminyum bronzları, sıcak şekil vermeye uygundurlar.

En iyi mekanik özelliklere sahip olan % 10-11Al içeren bronzlar, döküm halinde ısıtıl işlem uygulanmadan da kullanılabilirler. Alaşım elementi olmaksızın % 12Al ve daha fazla alüminyum içeren alaşımlar yapılarındaki γ_2 fazı nedeniyle çok sert ve gevrektiler. Bunun sonucu olarak da mukavemetleri düşüktür.

Alüminyum bronzlarının en önemli mekanik özeliği, yüksek ve düşük sıcaklıklarda mukavemetlerinde kararlılık göstermeleridir. 350°C - 400°C ve veya özellikle $\alpha + \beta$ ikili faz yapısına sahip alüminyum bronzları -250°C ye kadar varan düşük sıcaklıklarda bile mukavemetlerini koruyabilmektedirler.

Ayrıca çok iyi yorulma dayanımına sahip olan alüminyum bronzları, bakır alaşımları arasında en yüksek aşınma dayanımına sahiptirler. Alüminyum bronzlarının mekanik özellikleri, uygun döküm sıcaklığı seçimi, nikel ve demir içeren alaşımlar için 550°C , 750°C de yaşlandırma ve %10Al içeren alaşımlar için ise 500°C - 700°C de yaşlandırmayı kapsayan ısıtıl işlemler yardımı ile iyileştirilebilirler /22/.

2.4.1. Aşınma Özeliği

Alüminyum bronzları, Cu-10Ni alaşımına eşdeğer alaşımsız çeliklerin iki katı mukavemetleri nedeniyle aşınmaya karşı yüksek dayanıklılık gösterirler /20/.

Aşınma mukavemetlerinin yanısıra düzgün yüzey elde edilebilmesi ve basınç altında şekil değiştirme kolaylığı, yüksek sıcaklıklarda kullanılabilmeleri ve yağlamaya uygun olmalarından dolayı yatak alaşımı olarak tercih edilirler /4/.

Malzeme	Çekme Mukavemeti (N/mm ²)	% uzama	Sertlik (HB)	Yorulma Mukavemeti (N/mm ² -10 ⁸ cycle)
Dökme Al Bronzu (BS 1400)	647.78	18	160	215.6
Dökme Çelik (BS 592)	539.98	18	180	215.6
Dökme Demir (BS 1552)	277.34	0	250	107.8
Dökme Al Bronzu (BS 2033)				
-Haddelenmiş	709.52	20	230	277.34
-Isıl işleme uygun	771.26	15	280	339.08
Dökme Çelik				
-Normalize edilmiş	539.98	20	170	-
-Isıl işleme uygun	752.2	19	200	277.34

Çizelge-2.3 Alüminyum bronzlarının aşındırma etkisi yönünden çeliklerle karşılaştırılması.

2.4.2. Kaynak Kabiliyeti

Alüminyum bronzlarının, birçok kaynak yöntemi ile birleştirilmeleri mümkündür. Yapılan deneyler sonucunda, en iyi kaynak işlemlerinin asal gaz ortamında yapılan MIG, TIG ve karbon ark kaynağı olduğu belirlenmiştir /4/. Alüminyum bronzlarının metal ark kaynağı ile birleştirilmeleri hala çok yaygın olarak kullanılmaktadır ve ticari elektrotlar bu iş için uygundur /19,23/. Kalitesi yüksek kaynaklar yatay pozisyonda elde edilmesine karşın, dik veya tavan kaynağı pozisyonları da uygulanabilir /19/.

Kaynak esnasında, yüzeyde oluşan Al₂O₃ oksit filmini uzaklaştırmak zordur. Bu film yüksek ergime derecesine sahip olması nedeniyle

kaynağı güçleştirebilmekte, ergimiş metalin katılaşması esnasında enklüzyonlar oluşturmaktadır. Bu nedenle birleştirilecek yüzeyler temizlenir ve özel dekapanlar (genellikle sodyum veya potasyum borofloroid veya silikoflorid içeren dekapanlar) veya koruyucu tabaka metodları kullanılarak birleştirme işlemi esnasında filmin oluşumu önlenmeye çalışılır /24/. Ayrıca doğru akım ters kutuplama ile Al_2O_3 oksit filmi için temizleyici etki ortaya çıkarılır /25/.

Alüminyum bronzunun, ısı iletkenlik katsayısının yüksek olması, kaynaktan sonra soğuma esnasında iç gerilmelerin ve kaynak bölgesinde farklı yapıların oluşmasına yol açar. Kaynak bölgesindeki mekanik özelliklerde değişimler görülür. Kaynak sonrası yapılacak uygun ısı işlemleri ile bu bölgeler başlangıç özelliklerine dönüştürülebilir /4,25/.

2.5. Uygulanan Isıl İşlemler

Metal veya alaşımlarına, kullanma amacına göre en uygun özellikleri kazandırma amacıyla uygulanan ısıtma ve soğutma işlemlerine ısı işlemleri denir. Isıl işlemin amacı malzemenin iç yapısını, dolayısıyla sertlik, mukavemet ve süneklik gibi mekanik özelliklerini istenilen şekilde değiştirmektir /26/.

Bakır ve bakır alaşımlarına uygulanan ısı işlemleri homojenleştirme, tavlama, gerilme giderme, çözeltiye alma ve çökelme sertleşmesi yani yaşlandırmadır /27/.

2.5.1. Homojenleştirme

Homojenleştirme, sıcak veya soğuk şekil verilecek döküm parçalarınındaki segregasyonu azaltmak veya yok etmek amacıyla uzun periotlar için yüksek sıcaklıklarda uygulanan bir ısı işlemidir.

Difüzyon ve homojenleşme kalay bronzu, ve Cu-Ni alaşımlarında, diğer bakır alaşımlarına kıyasla daha zordur. Bu nedenle bu alaşımlar uzun süreli homojenleşme işlemine tabi tutulurlar. Homojenleştirme işlemi için süre, parçanın şekline ve önceden uygulanan homojenleştirme işlemine bağlıdır.

2.5.2. Tavlama

Dövülmüş metalin tavllanması, metali yeniden kristalleşme sıcaklığına, eğer gerekli ise tane büyümesini sağlayan yeniden kristalleşme sıcaklığının üzerindeki bir sıcaklığa kadar ısıtılmasıyla yapılır.

Tavlama, birinci derecede metal sıcaklığı ve zamanın bir fonksiyonudur. $\alpha + \beta$ fazına sahip alaşımlar ile çökelme sertleşmesi gösteren bazı alaşımlar dışında ısıtma ve soğutma hızının tavlama için relatif bir önemi yoktur. Bununla birlikte tavlama için fırın dizaynı ve atmosferi ile çalışma parçasının şekli önemlidir.

Soğuk şekil değiştirmenin derecesi arttıkça yeniden kristalleşme sıcaklığı düşer, tavlama sonucu tane boyutu daha büyük ve şekil değiştirme daha az olur. Tespit edilmiş sıcaklık ve tavlama süresinde tane boyutu, çalışma öncesinde zaten büyük olan ilk boyuta kıyasla daha da büyür. Genellikle bakır alaşımları düşük sıcaklıkta tavlanylabilir. Başlangıçta yüksek tavlama sıcaklıklarının kullanılması homojenleşmeyi hızlandırır ve büyük boyutlu taneler elde edilmesini sağlayarak işlemi ekonomik kılar.

Birbiri ardına yapılan tavlama ile tane büyüklüğü, istenilen son boyuta gelinceye kadar kademeli olarak azaltılmalıdır. Bu duruma, genellikle son tavlamadan önce yapılan bir iki tavlama ile ulaşılır.

Soğuk şekil değiştirme işlemi için istenen tane büyüklüğü ve mekanik özellikler, uygulanacak soğuk şekil değiştirme çeşidi ve miktarı ile alaşıma bağlı olarak büyük oranda değişir.

Soğuk şekil değiştirme işleminden sonra yapılan tavlamanın amacı, malzemenin sünekliğini arttırmak, değişen özelliklerini ilk özellikleri haline getirmektir.

2.5.3. Gerilme Giderme

Yeniden kristalleşme sıcaklığının altında üniform olmayan plastik şekil değiştirme boyunca iç gerilime sahip olan bazı bakır alaşımlarında, gerilmeli korozyon çatlakları meydana gelir. Alüminyum bronz ve silisyum bronz gibi yüksek bakır içeren alaşımlarda bile kritik gerilme şartlarında gerilmeli korozyon çatlakları meydana gelir. Bütün bakır alaşımları gerilmeli şartlarda hızla korozyona uğramaya duyarlı-

dır.

Kısa süre uygulanan yüksek gerilme giderme tavı sıcaklığı, arzu edilen mekanik özellikleri çok az değiştirir, buna karşın uzun süre uygulanan düşük sıcaklık, gerilme giderme ve mekanik özellikler için en ideal şartları oluşturur. Optimum şartlar uygulandığında sertlik ve mukavemet değerlerinde azalma meydana gelmez, genellikle fazla miktarda soğuk şekil değiştirmeye tabi tutulmuş alaşımlarda sertlik ve mukavemet, düşük gerilme giderme sıcaklığı kullanıldığında, az miktarda artar.

Soğuk şekil değiştirmiş parçaların boyutsal tamlığının sağlanması amacıyla bazen ilave gerilme giderme işlemi kullanılır. Bu işlem genellikle kaynaklı veya soğuk şekil değiştirmiş parçalardaki gerilmelerin giderilmesi için uygulanır.

Malzeme	Tavlama Sıcaklığı
Dövme Bakırlar	
Elektrolitik arıtılmış bakır (ETP)	260-650
Dezoksidedilmiş eser miktarda fosfora sahip (DLP)	315-650
Dezoksidedilmiş yüksek fosforlu (DHP)	370-650
Oksijensiz bakır (OF), talaşlı işlemeyi kolaylaştırmak için (%0.6 Te) ve (%10 Pb)	425-650
Gümüslü bakır	400-480
Dövme Bakır Alaşımları	
Ticari bronz	425-790
Kuyumcu bronzu, kovan pirinci, Alüminyum bronzu (%5Al)	425-760
Kızıl pirinç	425-735
Sarı pirinç, yüksek kurşunlu pirinç	425-705
Kurşunlu ticari bronz, düşük kurşunlu pirinç, orta kurşunlu pirinç, yüksek kurşunlu pirinç, kolaylıkla kesilebilen Muntz metal, ekstra yüksek kurşunlu pirinç	425-650
Muntz metal, kurşunlu muntz metal, dövme pirinç, mimari bronz, .denizci pirinci, kurşunlu denizci pirinci, mangan bronzu, alüminyum pirinci	
Fosfor bronzu, A, C ve D türleri, düşük silisyumlu bronz B tipi	425-595
Fosfor bronzu E türü	480-675
Bakır-nikel % 30	480-650
Nikel-gümüş, 65-18, 65-12 ve 55-18, bakır-nikel, % 10	650-815
Yüksek silisyumlu bronz (A)	595-815
Alüminyum bronzu (ASTM B 150 standardına göre Alaşım 3)	480-705
Alüminyum -silisyum bronzu	705
Alüminyum bronzu (ASTM B 150 standardına göre Alaşım 1 ve 2)	650 nin üstünde
Berilyumlu bakır	565-650
	775-1040 (a)

(a) Çözeltiliye alma sıcaklığı

Çizelge-2.4 Soğuk şekil değiştirmiş bakır ve bakır alaşımlarının tavlama sıcaklıkları /27/.

2.5.4. Çökelme Sertleşmesi (Yaşlandırma)

Çökelme sertleşmesi olayı, esas yapıda çözünmeyen ikinci fazın dağıtılmasıyla ana yapının sertleştirilmesi esasına dayanır. Bir katı eriyikten, çökelmenin gerçekleşebilmesi için gerekli şart, ötektik tip bir denge diyagramında yatık bir solvüs eğrisinin bulunmasıdır. Şekil-2.3, Cu-X sistemine ait şematik bir ötektik tip denge diyagramında, yatık bir solvüs eğrisi ve yaşlandırılabilen alaşımı göstermektedir. Alaşım, çözeltiye alma ısı işlemleri için α -fazı bölgesinde ısıtılır ve homojen, kararlı α -fazı elde edilir. Daha sonra ani olarak su verilir ve oda sıcaklığında aşırı doymuş, kararsız bir katı çözelti elde edilir. Aşırı doymuş yapının sertliği, mukavemeti ve iletkenliği düşüktür. Su verilen malzeme daha sonra uygun bir sıcaklıkta yaşlandırmaya tabi tutulur. Yaşlandırma ısı işleminde dikkat edilecek nokta, sıcaklığı ve zamanı iyi ayarlayıp, aşırı yaşlanmaya mani olmaktır. Çünkü aşırı yaşlanma sonucu sertlik düşer. (Şekil-2.4 ve Şekil-2.5).

Çökelme sertleşmesinde malzemenin mukavemetine oluşan ikinci fazın şekli, dağılımı, tercihli yönlenmeleri, hacim oranı, boyutu ve parçacıkları arası uzaklık etki eder. Malzemenin mukavemeti, oluşan ikinci faza ait parçacıkların arasındaki uzaklığın karekökü ile ters orantılıdır. Çökelme sertleşmesinin nedenlerinden biri de ana yapı içersindeki çökelmiş parçacıkların ana matris ile koherent bir birleşme göstermeleri ile bağımlıdır /28/.

Çökelme (yaşlandırma) sertleştirme yöntemi ile sertleştirilen bakır alaşımlarının, ticari bakımdan önemli olanları arasında alüminyum, berilyum krom ve zirkonyum bronzları ile Cu-Ni-Si ve Cu-Ni-P alaşımları bulunmaktadır. Diğer bir sertleştirme mekanizması da % 10 - dan fazla alüminyum içeren alüminyum bronzunda, hızlı soğutma ile martenzik yapı elde edilmesi ve daha sonra daha düşük sıcaklıkta temperlenmesidir /27/.

Alaşım	% Cu	% P	% Be	% Ni	% Co	% Cr
Cu-Be	97.65	-	2.0	0.35	0.35	-
Cu-Ni-Be	98.10	-	0.40	1.50	-	-
Cu-Be-Co	97.0	-	0.40	2.60	-	-
Cu-Ni-P	98.50	0.25	-	1.25	-	-
Cu-Cr	99.50	-	-	-	-	0.6

Çizelge-2.5 Çökelme sertleştirmesine tabi tutulan bakır alaşımları /28/.

2.5.5. Alüminyum Bronzlarının Isıl İşlemi

Alüminyum bronzlarının mekanik özellikleri ve ısıl işlem kabiliyetleri, bileşime, özellikle alüminyum miktarına bağlı olarak büyük oranda değişir /27/.

% 9 a kadar alüminyum içeren α -alüminyum bronzları, soğuk şekil değiştirme ile sertleştirilebilir ve 425-760°C arasındaki sıcaklıklarda yapılan tavlama ile de yumuşatılabilirler. Kritik tavlama sıcaklığı yaklaşık olarak 648.8°C dir. α -alüminyum bronzları, ancak kobalt, nikel gibi alaşım elementlerinin ilavesi sonucunda yaşlanma sureti ile sertleştirilebilirler.

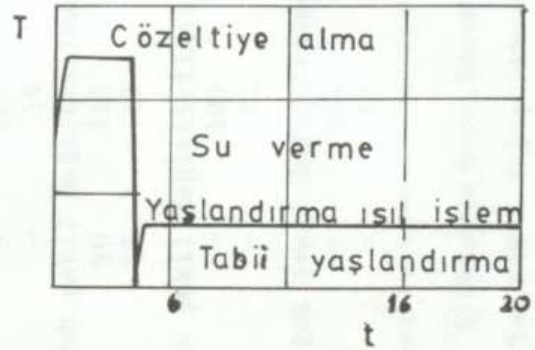
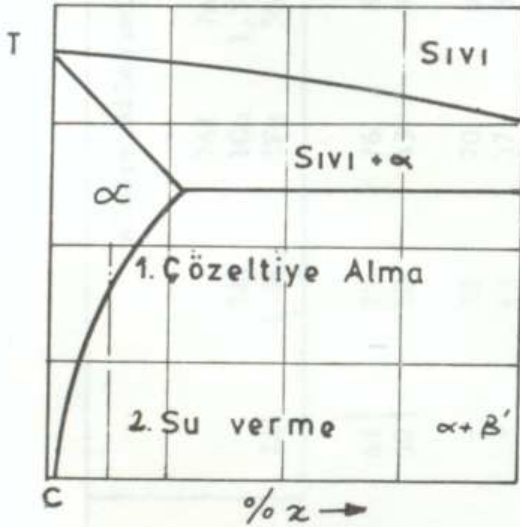
Alüminyum miktarı %9.5-16 aralığında olan iki fazlı Cu-Al alaşımları, α ve β fazlarına sahiptirler. Diğer alaşım elementleri ilave edildiğinde uygun alüminyum aralığı %8-14 dür. Soğuk şekil değiştirme uygulanamayan iki fazlı alüminyum bronzlarının tavlama işlemleri, sıcak şekil değiştirme işleminden sonra tane yapılarını değiştirmek veya ıslah etmek için uygulanır /27/.

İki fazlı alüminyum bronzları, suda soğutma ve temperleme işlemlerinden sonra mukavemet kazanabilirler. 815.5-1010°C arasındaki sıcaklıklarda $\alpha + \beta$ fazı β fazına, suda soğutma esnasında ise β martenzitik yapıya dönüşür. Tavlama ya da temperleme işlemleri sonucunda

fazının yeniden çökmesi veya kalması sonucu mekanik ve sertlikte biraz azalmanın ortaya çıkmasına karşın, süneklik ve tokluk artar. 566°C civarında β fazı, $\alpha + \gamma_2$ veya ötektoid yapıya dönüşür.

Döküm alaşımları 815°C a kadar ısıtma, 540°C a kadar fırında ve daha sonra havada soğutularak normalize edilebilirler. Normalizasyon ile, alüminyum bronzlarının üniform sertliği sağlanır ve talaşlı işlenebilme kabiliyeti arttırılır.

Genelde alüminyum bronzlarının ısıtma işlemi için özel fırın atmosferleri gerekli değildir. Çünkü bronzların yüzeyinde oluşan alüminyum oksit (Al_2O_3) filmi yüzeyi korur.



Şekil 2.3 Ötektik tip denge diyagramı Şekil 2.4 Isıl işlem safhalarının sıcaklık ve zamana göre değişimi



Şekil 2.5 Çözünmüş alaşım elementlerinin çökmesi

- Aşırı doymuş α -katı çözeltisi
- Koherent çökelti
- Kısmen koherent çökelti
- Koherent olmayan çökelti.

İşlem ve Özellik	Alaşım Bileşimi									
	7Al	7Al 1.5Cu	7Al 1Co	7Al 1Fe	7Al 1.5Co	6Al 0.7Cr	6Al 1.5Fe	7Al 3Ti	7Al 0.6Zr	
650°C de tavlınmış										
Çekme mukavemeti, 6.895(N/mm ²)	68	85	76	81	81	67	-	83	-	
5 cm.de uzama %	50	50	43	37	37	66	-	42	-	
800°C de tavlınmış										
Çekme mukavemeti, 6.895 (N/mm ²)	-	78	70	83	83	65	-	76	67	
5 cm.de uzama, %	-	45	37	39	39	62	39	38	59	
950°C de çözeltiye alınmış, 400°C de yaşılandırılmış										
Çekme mukavemeti, 6.895 (N/mm ²)	-	92	-	110	103	103	-	114	87	
5 cm.de uzama, %	-	23	-	15	30	30	-	25	16	
1000°C de çözeltiye alınmış, 400°C de yaşılandırılmış										
Çekme mukavemeti, 6.895 (N/mm ²)	-	105	108	146	103	103	78	110	90	
5 cm.de uzama, %	-	16	17	8	25	25	8	20	13	
900°C de çözeltiye alınmış, %30 soğuk şekil değiştirilmiş, maksimum sertlik için 400°C de yaşılandırılmış										
Çekme mukavemeti, 6.895 (N/mm ²)	90	110	-	121	94	94	-	114	-	
5 cm.de uzama, %	18	17	-	12	25	25	-	12	-	
900°C de çözeltiye alınmış, %30 soğuk şekil değiştirilmiş, maksimum sertlik için 500°C de yaşılandırılmış										
Çekme mukavemeti, 6.895 (N/mm ²)	-	103	96	135	85	85	74	119	81	
5 cm.de uzama, %	-	21	28	4	30	30	32	16	21	
1000°C de çözeltiye alınmış, %30 soğuk şekil değiştirilmiş, maksimum sertlik için 400°C de yaşılandırılmış										
Çekme mukavemeti, 6.895 (N/mm ²)	-	104	107	137	94	94	72	123	85	
5 cm.de uzama, %	-	12	13	6	19	19	11	11	10	

Çizelge-2.6 α- Alüminyum bronzlarının çekme ve uzama özellikleri üzerine ısı işlem ve soğuk şekil değiştirmenin etkisi /27/

Alaşım (a)	Gözetliye Alma Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Temperleme Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Çekme Mukavemeti (N/mm ²)	Akma Mukavemeti (N/mm ²)	5 cm.de uzama (%)	Sertlik (HB)
85Cu-11Al-4Fe (b)	-	-	-	-	551.6-758.45	241.32-344.75	4.0-25.0	170.0-207.0(c)
88Cu-9Al-3Fe (b)	-	-	-	-	572.28-799.82	193.06-579.18	21.0-35.0	114.0-218.0(c)
89Cu-10Al-1Fe (b)	-	-	-	-	468.86-854.98	275.8-599.86	6.0-30.0	120.0-248.0(c)
90Cu-8Al-2Fe (e)	-	-	-	120.0	-	-	-	-
90Cu-9Al-1Fe (b)	-	-	-	-	551.6-799.82	241.32-399.91(d)	18.0-43.0	101.0-218.0(c)
80Cu-10Al-5Fe-5Ni	1000.0	30.0	-	-	792.92	-	2.0	270.0 (f)
	1000.0	30.0	400.0(e)	60.0	854.98	-	1.0	405.0(f)
	1000.0	30.0	600.0	30.0	820.50	-	7.0	270.0(f)
81Cu-10Al-3Fe-5Ni-1Mn	870.0(g)	5.0-10.0	650.0(h)	20.0	661.92-999.77	255.12-613.65	11.0-24.0	217.0-248.0(c)
82Cu-8Al-5Fe-5Ni	1000.0	30.0	-	-	555.05	-	56.0	110.0(f)
	1000.0	30.0	500.0	3840.0	723.97	-	13.0	229.0(f)
	1000.0	30.0	700.0	120.0	603.31	-	23.0	180.0(f)
86.5Cu-11Al-2.5Fe	790.0(g)	5.0-10.0	540.0-680.0	20.0	-	-	-	148.0-238.0(c)
81Cu-11Al-4Fe-4Nu	(Döküm)	-	-	-	655.02	310.27	7.0	195.0(c)
	885.0	-	607.0	-	792.92	482.65	5.0	235.0(c)
83Cu-11Al-4Fe-2Ni	(Döküm)	-	-	-	517.12	241.32	18.0	155.0(c)
	885.0	-	607.0	-	723.97	358.54	10.0	230.0(c)
85Cu-11Al-4Fe	845.0(g)	-	600.0	60.0	758.45	413.7	3.0	240.0(c)
	845.0(g)	-	650.0	60.0	723.97	310.27	8.0	200.0(c)
89Cu-10Al-1Fe	(Döküm)	-	-	-	544.71	255.12	-	124.0
	910.0	-	510.0	-	613.65	-	9.0	190.0
	845.0(g)	-	600.0	60.0	586.07	330.96	9.0	195.0(c)
	845.0(g)	-	650.0	60.0	551.6	262.01	15.0	180.0(c)

(a) bileşim (b) 1¹/2-2¹/2 saat 400°C de, sonra 2¹/2 saat 600°C de gerilme giderilmiş ve havada soğutulmuş (c) 300 kg.yük
(d) Sadece soğuk şekil değıştirme ya da alaşım bileşimi ile elde edilmiş (e) 1¹/2-2¹/2 saat 400°C de gerilme giderilmiş ve havada soğutulmuş (f) 30 kg. yük (g) Isıtmadan sonra su verilmiş (h) temperlemeden sonra havada soğutulmuş.

Çizelge-2.7 İki fazlı alüminyum bronzlarının özellikleri üzerine ısıtılma işlemin etkisi

2.6. Korozyon

2.6.1. Korozyon tanımı

En genel anlamıyla korozyon malzemenin ortam ile ilişkisi sonucu fiziksel, kimyasal ya da mekanik özelliklerinde istenmiyen değişikliklerin oluşmasıdır. Veya korozyon başka bir deyişle, metal veya alaşımlarının içinde bulunduğu ortam nedeniyle kimyasal ve elektrokimyasal etkiler ile dıştan içe doğru aşınması olaylarını kapsar /29,30/.

Korozyon nedeniyle metalik malzemelerin mukavemetlerinde, sünekliklerinde, elektrik ve termal iletkenliklerinde, magnetiklik özelliklerinde, parlaklık, renk, yansıma ve kırılma özelliklerinde değişiklikler oluşur.

2.6.2. Korozyon türleri

Korozyon etkileri malzemelerde çeşitli tiplerde kendini gösterir. Bu tiplere basınç, sıcaklık, atmosfer vs. gibi faktörlerde çeşitli şekillerde etki ederler /31/.

2.6.2.1. Homojen dağılımlı korozyon: En yaygın korozyon türüdür. Metal veya alaşım, yüzeysel olarak takriben aynı kalınlıkta bir aşınmaya uğrar. Uzun süreler için hesaplanan korozyon hızlarının her yerde aynı olduğu kabul edilebilir.

Etki faktörleri özellikle su, havaya karışmış gazlar, tuzlar ve tozlardır. Homojen dağılımlı korozyonun yol açtığı metal kaybı diğer korozyon türlerine oranla çok yüksektir. Buna karşın en az korkulan korozyon türüdür. Çünkü homojen dağılımlı korozyonun hızı basit laboratuvar deneyleri ile hesaplanabilir. Yüzey kaplamaları, katodik koruma ve ortama sınırlayıcı maddeler ilavesi gibi farklı koruma yöntemleri uygulanarak, homojen dağılımlı korozyon başarı ile kontrol edilebilir.

2.6.2.2. Galvanik korozyon: Birbirleriyle temas halinde olan farklı türden metal ve alaşımların aynı ortama terkedilmesi halinde karşılaşılan korozyon olayıdır.

Galvanik korozyonun etkenliğini belirleyen diğer bir faktör de ortamın iletkenliğidir. Aktif metal veya alaşım üzerinde yoğunlaşan bozunma, artan iletkenlikle hızlanır.

2.6.2.3. Çukurcuk korozyonu: Korozyon olayının çok dar bölgeler üzerinde yoğunlaşması sonucu ortaya çıkan bir korozyon türüdür. Metal yüzeyinde oluşan çok sayıda çukurcuklar genellikle bir karıncalanma görünümü verir. Çukurcukların çapı, derinliği ve sıklığı malzeme ve ortama bağlı olarak değişir, ayrıca toplam metal kaybı çok azdır. Ancak parçalar, kısa zamanda delinerek kullanılmaz hale gelir, örneğin kondenser boruları.

2.6.2.4. Aralık korozyonu: Korozyon olayının belirli dar bölgeler üzerinde yoğunlaşması sonucu ortaya çıkan bozunma türlerinden biridir. Dar bölge korozyonunun oluşabilmesinin ön koşulu, aralıkların ortamın girmesine izin verecek kadar geniş ancak gerekli tıkanıklığın sağlanabilmesi için de yeterli darlıkta olmasıdır.

Bu tür korozyon için en etkili yöntem dar bölge oluşumuna olanak sağlayan tasarımlardan kaçmaktır.

2.6.2.5. Seçici (selektif) korozyon: Alaşımlarda belirli bir metal veya belirli bir faz üzerinde yoğunlaşarak öncelikle çözünmelerini sonuçlayan korozyon türüdür. Elektrokimyasal gerilim dizisinde birbirlerinden çok uzak metallerden oluşan alaşımlar seçici korozyona uğrarlar.

2.6.2.6. Tane sınırları korozyonu: Korozyon olayının malzemenin tane sınırları yakınında yoğunlaşması sonucu ortaya çıkan bozunma türüdür. Tane sınırları korozyonunun en belirgin özeliği çok küçük ağırlık kaybına karşın, korozyon hızının tane sınırları yakınında çok yüksek değerlere ulaşabilmesidir. Bu koşul, parçaların kısa sürede tüm kesit alanı boyunca korozyona uğrayarak bozunmalarına yol açar.

2.6.2.7. Gerilmeli korozyon: Saldırgan ortamlarla temas halinde olan makina parçaları ve metal yapıların çoğu mekanik gerilmeler altındadır. Gerilmeli korozyon aynı zamana rastlayan korozif ve mekanik et-



menlerin yol açtığı bozunma türüdür.

2.6.2.8. Erozyonlu korozyon: Erozyonlu korozyon, malzeme yüzeyi ile ortam arasındaki bağıl hızın yüksek değerlere ulaştığı sistemlerde görülür. Metal kaybı, metalin iyonlarına dönüşmesi veya yüzeyde oluşan oksit tabakalarının uzaklaştırılarak ortama karışması ile gerçekleşir.

2.6.3. Korozyon Oluşum Nedeni

Malzemedeki korozyon türlerini oluşturan nedenler mekanik tesirler de dahil olmak üzere başlıca 4 kısımda incelenir.

2.6.3.1. Kimyasal korozyon : Kimyasal korozyon olayları, daha çok yüksek sıcaklıklarda ve özellikle gazların etkisiyle meydana gelir. Bu çeşit korozyona en önemli örnek, yüksek sıcaklıklarda metallerin aşınmalarına yalnız başına tesir eden oksidasyondur. Oksidasyonun yanısıra kükürt, kükürt dioksit (SO_2) ve özellikle hidrojen sülfür (H_2S) ile aşınmalar gittikçe önem kazanmaktadır.

Kimyasal korozyon, daha çok homojen dağılımlı korozyonları meydana getirir.

2.6.3.2. Elektrokimyasal korozyon: Metal ve alaşımlarının sulu ortamlar içersinde bozunmaları sonucu meydana gelen korozyondur. Elektrokimyasal korozyon, hidrojen çıkışı ve bazı metallerde asit ve bazların etkisiyle gözlenen korozyonların yanında galvanik çiftler ve diferansiyel havalandırma olarak iki kısımda ayrı ayrı incelenir.

2.6.3.3. Erozyon : Malzeme yüzeyinde mekanik etkilerle meydana gelir. Erozyonu bilhassa hızlı akıma sahip sıvılar ve gazlar oluşturur.

2.6.3.4. Kavitasyon: Mekanik etkilerin meydana getirdiği diğer bir hal de kavitasyondur. Kavitasyon, pompa ve türbin kanatları gibi hızlı akım içersinde dönerek çalışan makina parçalarında meydana gelir.

2.6.4. Korozyona Karşı Korunma

Korozyonun teknik ve ekonomik açıdan göz yumulacak düzeye indirgenmesi veya zorunlu hallerde tamamen önlenmesi için başvurulabilecek

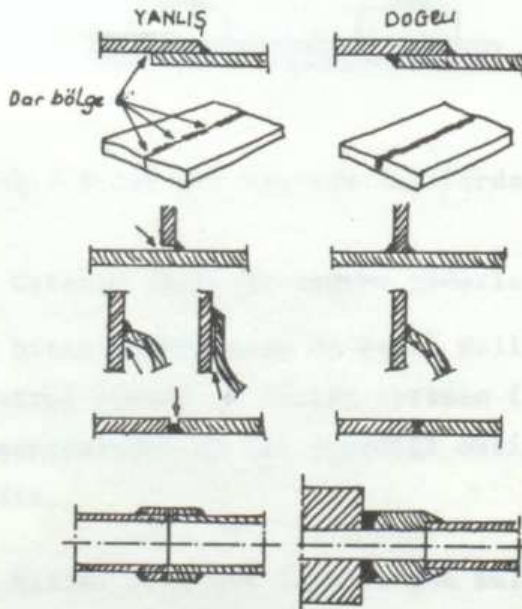
Önlemler beş ana grupta toplanabilir.

2.6.4.1. Tasarım aşamasında alınabilecek önlemler: Korozyona yol açıcı koşulların uygun tasarımla azaltılması veya tamamen giderilmesi çok etkin olduğu gibi korozyonu önleme yöntemlerinin en ekonomik olanıdır.

Korozyona terkedilmiş olarak görev yapan parçalarda, cidar kalınlıklarını yeterli korozyon payını içermesi gerekir. İlke olarak, ortalama korozyon hızı ve öngörülen çalışma ömründen hesaplanan aşınma derinliğinin iki katı korozyon payı olarak alınmalıdır.

Kazan ve depoların, ayrıca yağmura açık yapı elemanlarının sıvı birikimine olanak vermiyecek şekil ve konumda olması gerekir.

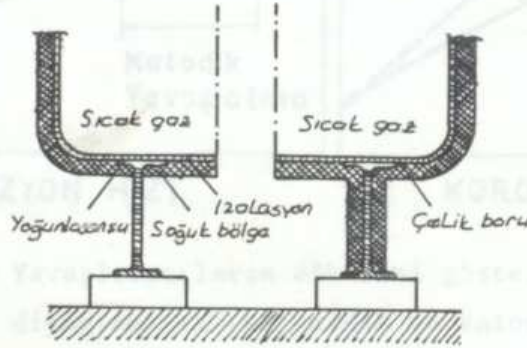
Perçinli ve civatalı bağlantılar, aralık korozyonu için elverişli dar bölgeler oluşturlar. Dar bölgelerin önlenmesi için kaynak dikişlerinin sürekli olmasına özen gösterilmelidir. Kaynaklı bağlantıların tasarımında uygulanacak ilkeler Şekil-2.6 da görülmektedir.



Şekil-2.6. Aralık korozyonunu önleme bakımından kaynaklı bağlantılar için hatalı ve doğru tasarım örnekleri /31/.

Galvanik dizide birbirlerinden uzak olan metal veya alaşımlarının eşlenmesi, olanaklar ölçüsünde önlenmeye çalışılmalıdır. Korozyonla bozunmaları öncelikle ve kısa sürede beklenen parçaların kolay değiştirilebilir olmasına özen gösterilmelidir.

Uygun tasarım ve izolasyon ile sıcaklık dağılımının homojen olmasına çalışılmalıdır. Çünkü sıcaklığın yükselmesi korozyon hızının yerel olarak artmasına yol açar. Yerel sıcaklık değişmesinin de korozyon bakımından olumsuz sonuçları görülebilir. Örneğin Şekil-2.7 de görülen sıcak gaz borusu içinde taşıyıcı ayakların boru ile birlikte izole edilmemesi sonucu soğuk bölgeler oluşur. Buralarda yoğunlaşan su, boru tabanında toplanarak korozyona yol açar.



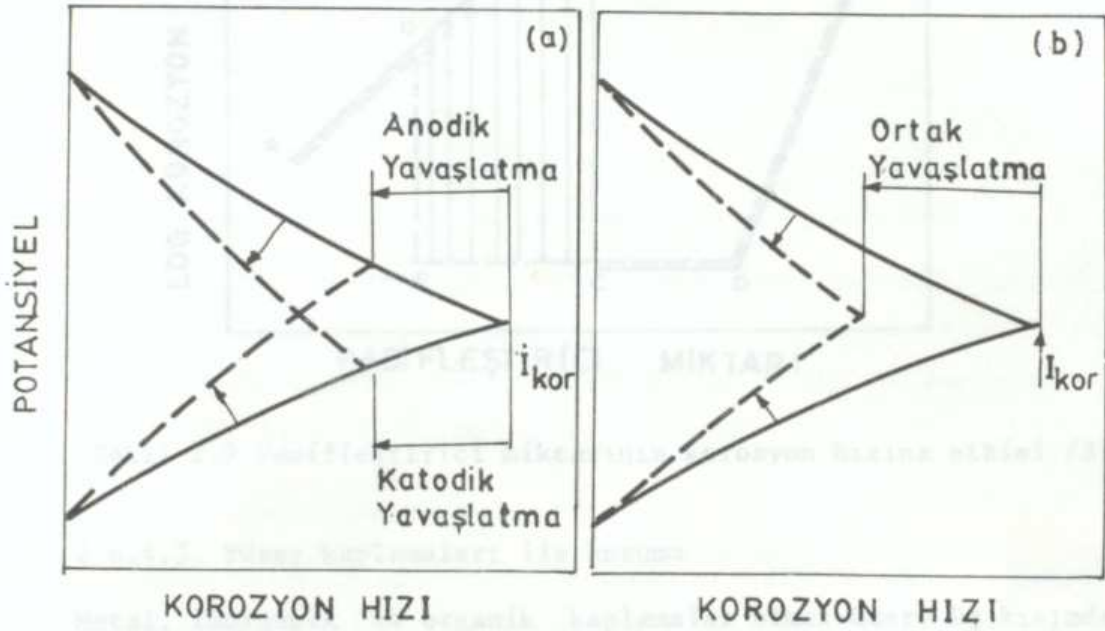
Şekil-2.7 Sıcak gaz taşıyan borularda korozyon /31/.

2.6.4.2. Ortamın saldırganlığını giderici önlemler

Korozyon hızını azaltmanın en etkin yollarından biri ortama ait etmenleri kontrol etmektir. Bunlar ortamın (a) sıcaklığı, (b) akma hızı, (c) konsantrasyonu ve (d) içerdiği oksijen ve diğer oksitleyicilerin miktarıdır.

Korozyon hızını azaltmak için en çok kullanılan yöntemlerden biri inhibitörler veya yavaşlatıcılar kullanmaktır. İnhibitörler, korozyon ortamına ilave edildiklerinde metal ve alaşımlarının korozyonunu azaltırlar. Bunlardan bir bölümü anodik çevrelerin, diğer bölümü

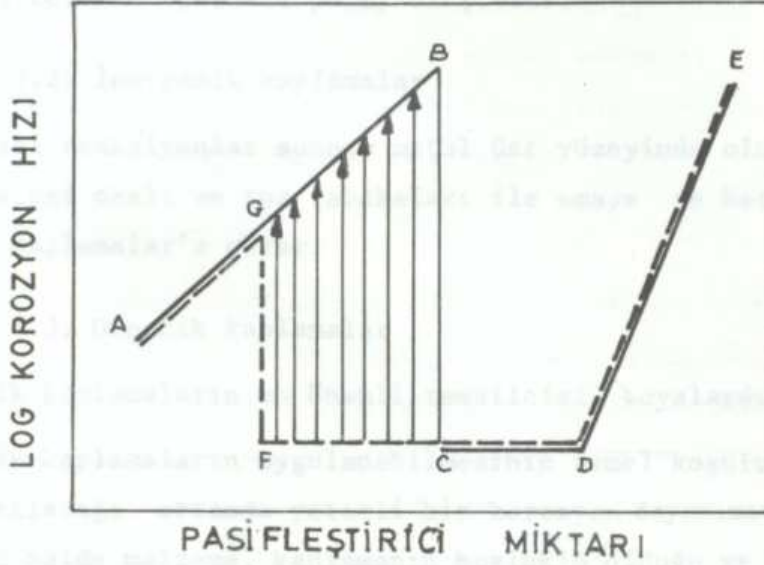
de katodik çevrelerin yüzey alanını daraltarak korozyonu yavaşlatırlar. Birinci türden olanlara anodik yavaşlatıcılar, ikinci türden olanlara ise katodik yavaşlatıcılar adı verilir. Şekil-2.8 de yavaşlatıcıların etkisini gösteren polarizasyon diyagramları şematik olarak verilmiştir.



Şekil-2.8 Yavaşlatıcıların etkisini gösteren şematik polarizasyon diyagramları (a) Anodik ve katodik yavaşlatma, (b) Ortak yavaşlatma /31/.

Anodik yavaşlatıcılar olarak da tarif edilebilen pasifleştiriciler, metalin korozyon potansiyelini soyaştırarak korozyon akımının çok küçük olduğu pasif alan içine kaydırırlar. Ortam içindeki pasifleştirici miktarının korozyon hızına etkisi Şekil-2.9 'da şematik olarak görülmektedir. Pasifleştiriciler belirli bir konsantrasyonun altına düşmemek kaydıyla korozyonu yavaşlatırlar.





Şekil-2.9 Pasifleştirici miktarının korozyon hızına etkisi /31/.

2.6.4.3. Yüzey kaplamaları ile koruma

Metal, inorganik ve organik kaplamalar olmak üzere üç kısımda incelenebilir.

2.6.4.3.1. Metal kaplamalar

Metal veya alaşımların yüzeyini korozyona dayanımlı hale getirmek için kullanılan metal kaplamaların yapımında çeşitli yöntemlerden yararlanılır.

En yaygın metal kaplama yöntemi elektrolitik kaplamadır. Çok ince olan elektrolitik kaplamalar, tek bir kaplama olarak uygulanabildiği gibi farklı metallerde çok katlı veya alaşım kaplamalar olarak da gerçekleştirilirler.

Sıcak daldırma en eski ve en yaygın kaplama yöntemidir. Kaplama malzemesi olarak ergime sıcaklığı düşük olan metaller (çinko, kalay, alüminyum, kurşun) öncelikle kullanılırlar.

Difüzyonla kaplama yöntemi, korunacak metali ikinci bir metalle alaşımlayarak korozyon ve özellikle oksidasyon dayanımını arttırmak



amacıyla uygulanır. Difüzyon yöntemi, karmaşık şekilli parçalar için kaplamaya elverişli olduğu gibi organik kaplamaların uygulanması için de aranan nitelikte pürüzlü yüzey oluşturur.

2.6.4.3.2. İnorganik kaplamalar

Kimyasal reaksiyonlar sonucu metal üst yüzeyinde oluşturulan koruyucu nitelikteki oksit ve tuz tabakaları ile emaye ve beton kaplamalar inorganik kaplamalar'a girer.

2.6.4.3.3. Organik kaplamalar

Organik kaplamaların en önemli temsilcisi boyalardır.

Organik kaplamaların uygulanabilmesinin temel koşulu, korunan metalin bırakılacağı ortamda yeterli bir korozyon dayanımına sahip olmasıdır. Aksi halde malzeme, kaplamanın boşluklu olduğu ve zamanla çatlayarak döküldüğü yerlerde hızla korozyona uğrar.

2.6.4.4. Katodik Koruma

Korozyona karşı önlemlerin en güçlüsü katodik korumadır. Katodik koruma korozyona uğrayan metallerin katot olarak polarizasyonunu gerektirir. Bu korunacak metali daha aktif bir metalle (galvanik anot veya karbon anot) eşleyerek sağlanacağı gibi dıştan akım uygulayarak da gerçekleştirilebilir. İlk yöntemde koruma için gerekli doğru akım, korunan metal ve galvanik anot çiftinin oluşturduğu hücre tarafından üretilir. Galvanik anotlar, koruma sırasında belirli hızlarla çözünerek ağırlıklarından kaybederler. Bunları uygun zaman aralıkları ile yenileyerek koruma işlevine süreklilik kazandırılır. İkinci yöntemde korunan metal ve anot çiftinin akım üretir nitelikte olması gerekmez. Çünkü koruma için gerek duyulan akım, uygun bir dış kaynaktan çekilir. Yavaş çözünürlük yanında ekonomik olan malzemeler anot malzemesi olarak kullanım alanı bulurlar.

Diğer bir koruma yöntemi de iç korumadır. İç koruma ısı değiştiricileri, sıcak su hazırlayıcıları ve asit depoları gibi kaplanması sakıncalı ve hatta olanaksız olan yapılara uygulanır. Dış koruma ise büyük çoğunlukla yer altına gömülen yapıları zemin korozyonuna karşı korumak için uygulanır.



Korozyona uğramakta olan bir metalin pasif tutuma geçmesi sonucu korozyon hızındaki azalma ilkesine bağlı olarak gerçekleştirilen anodik koruma, çok etken asit ortamlarda-özellikle sülfat asidi (H_2SO_4)-başarı ile kullanılır. Potansiyel dağılımı anodik korumada katodik korumaya oranla daha homojendir. Bu nedenle yardımcı elektrotların şekli, yeri ve konumu anodik korumada daha az önem taşır.

2.6.4.5. Korozyona dayanıklı malzemeler

Malzeme seçimini etkileyen önemli etmen ortamın saldırganlık derecesidir. Korozyon hızının çok az veya çok yüksek olduğu durumlarda malzeme seçimi kolaydır. Buna karşın orta derecede saldırgan olan ortamlar için ise çok boyutlu sorunlar ortaya çıkarır ve ekonomik çözüm bulunması gerekir.

Malzeme seçiminin diğer koruma yöntemleri ile beraber düşünüldüğü durumlarda, malzeme fiyatına ek olarak uygulanacak koruma yönteminin ilk giderleri ile işletme ve bakım giderlerinin de dikkate alınması gerekir. Örneğin katodik korunmanın tesis ve işletme giderleri veya yüzey kaplamalarının maliyeti gibi.

2.6.5. Alüminyum Bronzlarının Korozyonu

Alüminyum bronzları gaz, sıvı ve katı ortamlarda korozyona dayanıklı malzemelerin büyük oranda kullanıldığı endüstriyel uygulamalardaki mükemmel verimleri nedeniyle büyük önem taşırlar /4/.

Oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıklardaki çeşitli asit ve tuz çözeltilerine, deniz suyuna özellikle türbilanslı deniz suyuna karşı mükemmel korozyon dayanımına sahiptirler. Alüminyum bronzlarının mineral asitlerin korozyonuna karşı gösterdikleri dayanım, alüminyum miktarına bağlı olarak artar. Alaşımların yüzeyinde oluşan alüminyum oksit (Al_2O_3) tabakasının alkali ortamlarda çok çözünmesi nedeniyle kuvvetli alkalilere karşı düşük dayanım gösterirler.

Alüminyum bronzlarının yüzeyinde paslanmaz çeliklerde kromun etkisiyle oluşan pasif tabakaya benzer Al_2O_3 filmi alüminyumun etkisiyle oluşur. Bu pasif tabaka nedeniyle alüminyum bronzları yüksek korozyon



dayanımına sahiptirler /4/. Eğer bu koruyucu film, mekanik aşındırma veya diğer yöntemlerle işlem sırasında uzaklaştırılmaz veya kırılmaz ise film altındaki tabaka hemen hemen tümüyle korunmuş olacaktır. Bu tabakanın mekanik bir etkiyle kırılması durumunda derhal yeni bir Al_2O_3 filmi oluşur. Bu nedenle alüminyum bronzları, erozyon korozyonunun etkin olduğu gemi pervaneleri, türbin ve pompalar gibi hareketli çözeltili bulunan ortamlarda çalışan alet ve makina parçalarında tercih edilen malzemedir.

Yapısal olarak alüminyum bronzunun korozyon dayanımı incelendiğinde, homojen yapıdaki α -fazından oluşmuş alaşımların korozyon dayanımlarının çok yüksek olduğu görülür /32/. $\alpha + \beta$ iki fazlı yapı, fazına göre daha düşük korozyon dayanımı göstermesine rağmen bakırın diğer alaşımlarına kıyasla daha iyi korozyon dayanımına sahiptirler. Bazı şartlarda $\alpha - \beta$ fazlarına sahip bronzlar, pirinçlerdeki çinko azalmasına benzer şekilde alüminyum azalması isimlendirilen korozyona karşı duyarlıdırlar.

2.7. Alaşım Elementlerinin Alüminyum Bronzunun Özelliklerine Etkileri

2.7.1. Alüminyum

Alüminyum miktarının artışı, alüminyum bronzlarının mekanik özelliklerini değiştirir. Çekme mukavemetini, elastiklik modülünü ve sertliğini arttırır. Çentik darbe mukavemetini, kopma uzamasını ve sünekliği düşürür, sıcak şekil değiştirme kabiliyetini arttırır /2,3,4,20/.

% 5 Al içeren Cu-Al alaşımı, H_2SO_4 , HCl ve H_3PO_4 gibi oksitleyici olmayan asitlere ve atmosferik korozyona karşı, yüksek dayanım gösterir /33/. % 8 Al içeren alüminyum bronzlarının korozyon dayanımları, bazı korozyif ortamlarda daha yüksek alüminyumlu bronza kıyasla daha iyidir /4/.

2.7.2. Demir

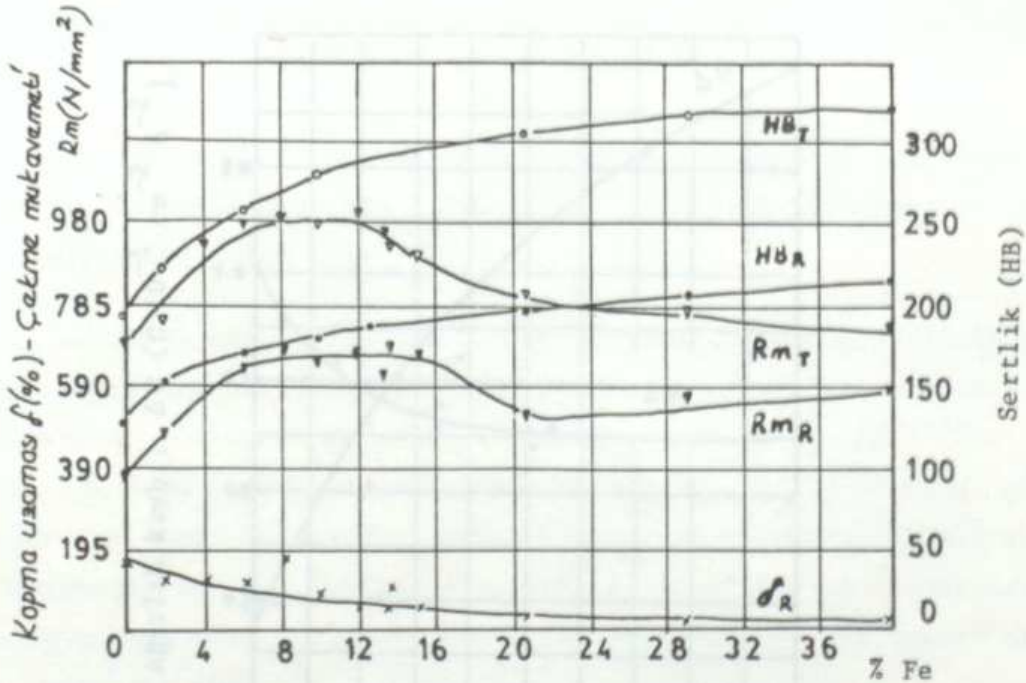
Demir, alüminyum bronzlarına en çok ilave edilen alaşım elementlerinden biridir. Çünkü demir ilavesi, alüminyum bronzunun tabii olarak



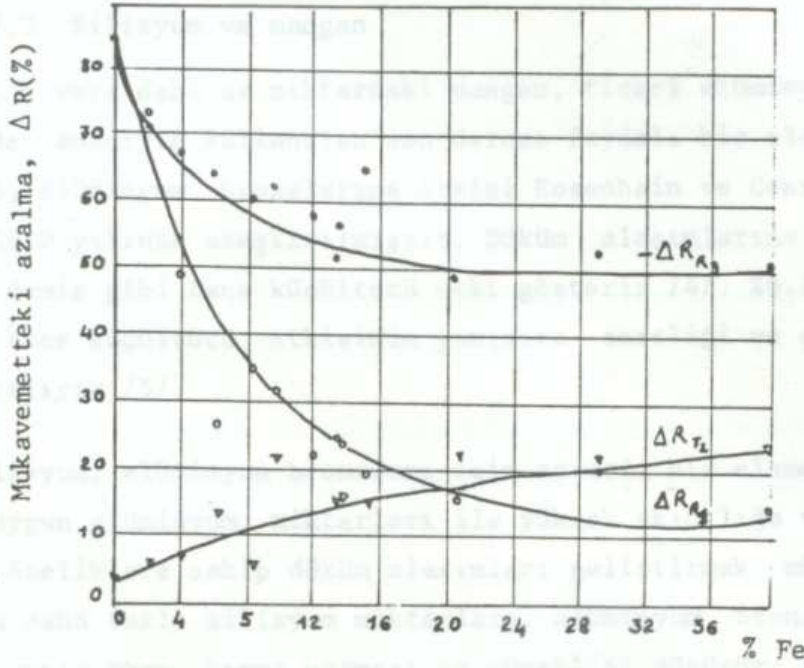
yaşlanmasını geciktirir ve tane küçültücü rol oynar /8/. %4 den daha az demir ilavesi mekanik özelliklere müsbet etki eder /3,5/.

Cu-Al-Fe alaşımında (Cu-10Al-4Fe) artan demir miktarıyla yapı ve tane boyutundaki değişimler nedeniyle alaşımın mukavemeti artar. Eğer demir çözünürlük limitinin üzerinde ise kolayca korozyona uğrayabilen fazın oluşması nedeniyle alaşımın korozyon dayanımını azaltıcı rol oynar /34/. Artan demir miktarıyla ince taneli yapıya sahip alaşım elde edilir. Elde edilen ince taneli alaşımın mekanik özellikleri, kaba taneli yapıya sahip alaşımının özelliklerine göre daha iyidir. Yapılan çalışmalar sonucu, alaşımın sertliği üzerine tane boyutlarının etkisinin ihmal edilebileceği anlaşılmıştır. Demirin alaşım elementi olarak alüminyum bronzu üzerine etkileri Şekil-2.10, Şekil-2.11 ve Şekil-2.12 yardımıyla izah edilebilir.

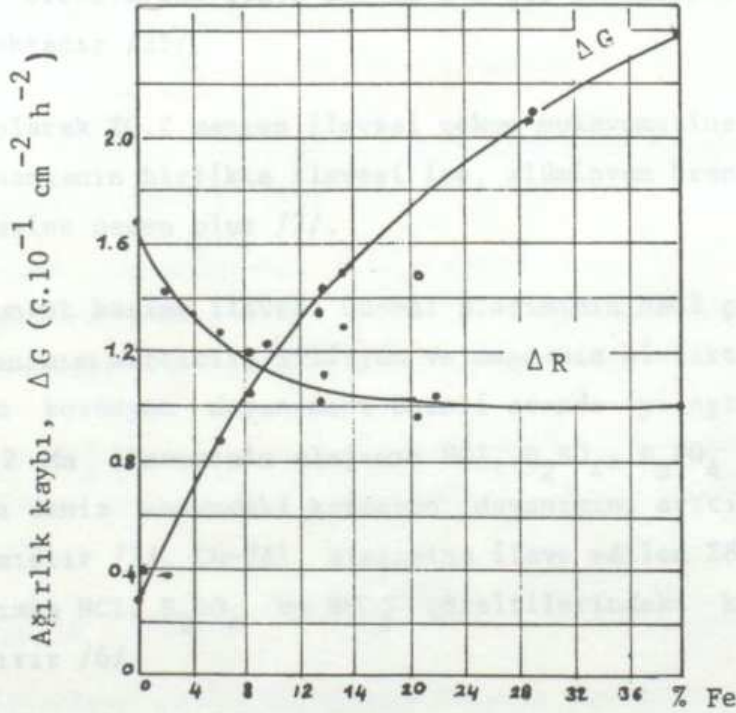
%9-10 Al ve %5 e kadar demir ve nikel içeren Cu-Al alaşımları yüksek korozyon dayanımları nedeniyle deniz suyu ortamında yaygın kullanım alanı bulmuşlardır. Ayrıca bu alaşımlar iyi işlenebilirliğe ve mukavemete sahiptirler /35/.



Şekil-2.10 Çökeltme sertleşmesinden sonra artan demir miktarına bağlı olarak mekanik özelliklerin değişimi /34/.



Şekil-2.11 Hızlandırılmış korozyon deneyleri sonucu, demir oranı mukavemet ilişkisi /34/.



Şekil-2.12 Hızlandırılmış korozyon deneyi sonucu, demir ağırlık kaybı ilişkisi /34/.

2.7.3. Silisyum ve mangan

%0.3 veya daha az miktardaki mangan, ticari alüminyum bronzlarında dezokside amacıyla kullanılan son derece faydalı bir elementtir /4.5/. Manganın, alüminyum bronzlarına etkisi Rosenhain ve Centsberry tarafından 1910 yılında araştırılmıştır. Döküm alaşımlarına ilave edilen mangan, demir gibi tane küçültücü etki gösterir /4/. %0.8-6 oranındaki mangan, tane küçültücü etkisinin yanı sıra sertliği ve çekme mukavemetini arttırır /5/.

Silisyum, alüminyum bronzları için zararlı bir element olmasına karşın uygun alüminyum miktarları ile yüksek akıcılığa ve oldukça iyi mekanik özelliklere sahip döküm alaşımları geliştirmek mümkündür /4/. %0.1 den daha fazla silisyum miktarları, alüminyum bronzlarının mukavemetini arttırırken, kopma uzaması ve sünekliği düşürür. Silisyum miktarları %1 den fazla ise bronzların şekil değiştirme kabiliyetini arttırır /5/. Cu-7Al alaşımına yapılan %1.5 Si ilavesi alaşımın tane yapısını küçültmekte, % 2 Si ilavesi ise alaşımın çekme mukavemetini ve sertliğini arttırırken, kopma uzamasını azaltmaktadır /36/. Bununla birlikte alüminyum bronzlarına ilave edilen % 2 Si, bronzların işlenebilirliğini arttırmaktadır /35/.

Pratik olarak %0.2 mangan ilavesi çekme mukavemetine etki etmez. Silisyum ve manganın birlikte ilavesi ise, alüminyum bronzlarının sünekliğinin düşmesine neden olur /7/.

Silisyumun tek başına ilavesi Cu-6Al alaşımının NaCl çözeltisindeki korozyon dayanımını arttırır. Silisyum ve manganın birlikte ilavesi, aynı alaşımın korozyon dayanımını önemli oranda iyileştirir /7/. %2 Si ve %0.2 Mn ilavesinin alaşımın HCl, H₂SO₄, H₃PO₄ ve NaOH çözeltilerinde ve deniz suyundaki korozyon dayanımını arttırıcı rol oynadığı saptanmıştır /7/. Cu-7Al alaşımına ilave edilen %8 oranındaki mangan, alaşımın HCl, H₂SO₄ ve HNO₃ çözeltilerindeki korozyon dayanımını arttırır /6/.



2.7.4. Titanyum

Alüminyum bronzu özelliklerine ve özellikle temperleme ve yaşlanma sırasında metastabil dönüşüm üzerine, %11 Ti ilavesinin etkisi şöyle açıklanabilir /8/.

Titan ötektoid dönüşüm sıcaklığını düşürür, ötektoid noktayı daha yüksek alüminyum oranlarına (%12-12.2) doğru çekerek temperleme boyunca dönüşümlerin meydana gelmesini geciktirir.

Cu-Al-11Ti alaışımının optimum mukavemet özelliklerine 900°C den sonra çözeltiye alma ve 350°C de temperleme işleminden sonra ulaşılmıştır /37/.

2.7.5. Krom

Döküm ve ısıtılmalı şartlarda %8.16-11.84Al ve %0.2-0.6Cr içeren alüminyum bronzunun sertlik ve çekme mukavemeti özellikleri üzerine krom ve diğer alaşım elementlerinin (Fe, Mn, Ni) etkisi bazı araştırmacılar tarafından incelenmiştir /38/.

Krom ilavesi, alaışımın korozyon dayanımını arttırmasının yanı sıra mekanik özelliklerini ve işlenebilirliğini iyileştirmiş, ayrıca yapının pekliğine ve tane inceliğine yardımcı olmuştur.

Döküm şartlarında alüminyum bronzunun korozyon dayanımı, krom ve silisyum ile arttırılabilir /39/.

Krom ilavesi alaışımın NaCl, H₂SO₄ çözeltilerinde ve deniz suyundaki, kromun yanı sıra silisyum ilavesi HCl çözeltisine karşı korozyon dayanımını arttırıcı yönde etkili olmaktadır.

Isıl işlem korozyon dayanımı üzerine pek etkili olmamakla birlikte 600°C den itibaren yapılan yavaş soğutmanın dayanımı arttırıcı rol oynadığı görülmüştür.

2.7.6. Kobalt

Kobalt içermiyen Cu-7Al bronzunun mekanik özellikleri, 400-700°C arasında yapılan yaşlandırma olayından etkilenmezler /40/.

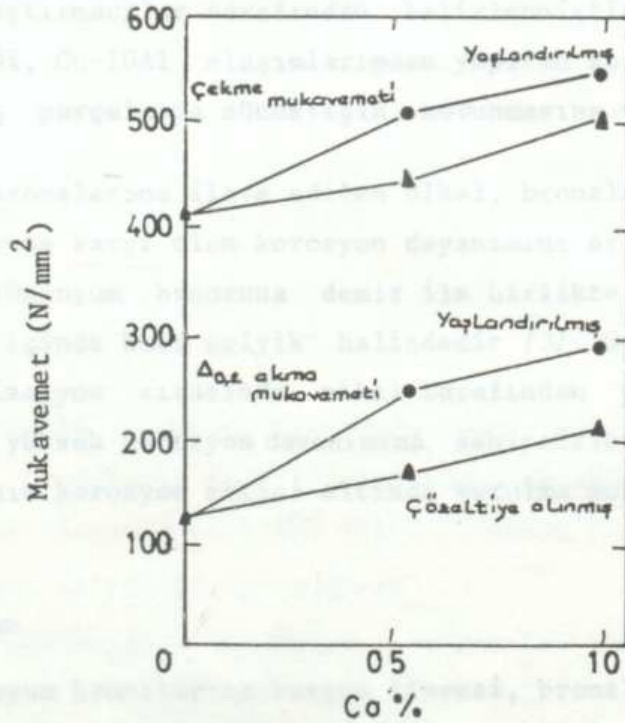


Alaşımanın mukavemet değerlerindeki yükselme, çözeltiye geçen kobalt miktarları ile orantılıdır. Zira bu artış hali çökeltme sertleşmesi sonucunda ortaya çıkmaktadır.

Kobalt ilavesi, hem çözeltiye alma işlemine tabi tutulmuş hem de yaşlandırılmış %7 Al içeren alüminyum bronzunun, (%0.2) akma mukavemetini ve daha az oranda da çekme mukavemetini arttırır.

250 Nmm^{-2} den fazla %0.2 lik akma mukavemetleri, %46 uzama ile birlikte %0.5 veya %1 Co içeren alaşımlarda gerçekleştirilenebilir. Fakat bunlardan sadece %1 Co lı alaşımlar, yaşlanma zamanını ticari ölçülere uyacak şekilde sağlar.

Şekil-2.13, kobalt miktarının fonksiyonu olarak maksimum akma mukavemeti şartları için çözeltiye alınmış ve yaşlandırılmış durumdaki alaşımların, akma ve çekme mukavemet değişimlerini göstermektedir.



Şekil-2.13 Co ilavesinin akma ve çekme mukavemeti üzerine etkisi /40/



2.7.7. Nikel

Önceleri çoğunlukla sıcak şekil değiştirebilen alüminyum bronzlarına ilave edilen nikel, olumlu etkilerinin farkedilmesinden sonra -özellikle mekanik özelliklere olan olumlu etkileri nedeniyle-dökme alüminyum bronzlarında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır /4/. Nikel, demir ile birlikte birçok dayanıklı işlenmiş alaşımların yapısında bulunur. Bazı bileşim aralıklarında temper-sertleşme karakteristikleri gösteren Cu-Al-Ni kompleks alaşım serilerinde, nikelin bu alaşımların mekanik özellikleri üzerine önemli etkiye sahip olduğu saptanmıştır /4/.

Genel olarak %1-2.5Ni, döküm alaşımları için uygun ilave miktarlarıdır. %0.8-6Ni, alüminyum bronzunda tane küçültücü rol oynar. Akma mukavemetini, sıcak mukavemeti, sürekli mukavemeti, tavlama ve korozyon dayanımını arttırır. Yüksek yüzey sertleşebilirliğini sağlar /5/. %2 Ni ilavesinin, işlenmiş Cu-10Al alaşımının çekme mukavemetini arttırdığı bazı araştırmacılar tarafından belirlenmiştir /4/. %2 den fazla veya tercihan %5Ni, Cu-10Al alaşımlarından yapılan suda soğutulmuş ve ısıtıl işlem görmüş parçalarda sünekliğin korunmasına yardımcı olur.

Alüminyum bronzlarına ilave edilen nikel, bronzların çeşitli çözeltilere ve deniz suyuna karşı olan korozyon dayanımını arttırır. Ticari uygulamalarda alüminyum bronzuna demir ile birlikte ilave edilir. Çoğunlukla nikel, faz içinde katı eriyik halindedir /3/. Genelde %2 Ni içeren alaşımlar, polarizasyon sırasında nikel tarafından pasivasyon gösterilmesine karşın yüksek korozyon dayanımına sahiptirler /17/ Nikel, alüminyum bronzlarının korozyon etkisi altında yorulma mukavemetini artırır /41/.

2.7.8. Kurşun

Dökme alüminyum bronzlarına kurşun ilavesi, bronzların yataklanma ve sürtünme özelliklerini bunun yanı sıra da talaşlı işlenebilirliğinin artırılması amacıyla yapılır /4/. Bu nedenle birçok dişli çark ve benzeri parçaların dökümünde kurşun ilave element olarak kullanılır.

Sıcak şekil değiştirmiş alaşımlara ilave edilen %1-2 oranında kurşun, talaşlı işlenebilirliği %20 den %60 a yükseltir. Kurşun



bakırca zengin alaşımlarda tümüyle çözünmediği için dağınık olarak bulunur. Kurşun partiküllerinin yapı içindeki üniform ve ince dağılımı, talaşlı işlenebilme kabiliyetini maksimum yapar /4/. %0.1-0.3 oranındaki kurşun, döküm alaşımlarına ilave edilebilecek uygun miktardır /5/. Alaşımda bulunan kurşun, bronzlarda çatlaklara ve kırılganlığa neden olur /4/.

2.7.9. Fosfor

Fosfor, silisyum gibi dökme alüminyum bronzlarına ilave edilmek istenmeyen bir elementtir /4/. %0.1 den fazla fosfor, alüminyum bronzlarının çekme mukavemetini ve ferromagnetikliğini artırır. Buna karşın alüminyum bronzlarının tokluğu azalır, kopma uzaması ve korozyon dayanımı düşer. Bronzların kaynak edilebilme ve sıcak şekil değiştirme kabiliyetine kötü yönde etki eder /5/.

2.7.10. Diğer elementlerin etkileri

Alaşımlandırma için kullanılan diğer elementlerin dikkate değer pek etkileri yoktur /4/. Genelde bu elementlerden herhangi birinin varlığında büyük bir avantaj sağlanmamıştır. Öte yandan, silisyum dışında bu elementler ticari alüminyum bronzlarında genelde bulunmazlar.

Talaşlı işlenebilme özelliklerini arttırmak için bronzlara selenyum veya tellur ilavesinin yapılması ilginçtir.

Çinko çoğunlukla alüminyum bronzunda gayri safiyet olarak bulunur. %1 den az çinko, bronzların çözeltilere karşı korozyon dayanımını zayıflatması nedeniyle alaşımda %0.2 den fazla çinkonun bulunmaması istenir /4,5/.

2.7.11. Gayri safiyetlerin etkileri

Metal veya alaşımların bünyesinde bulunabilen ancak malzeme özelliklerine olumlu katkısı olmayan genellikle hammaddelerden veya üretimden kaynaklanan maddeler, gayri safiyet olarak tanımlanır. Gayri safiyetlerin malzeme özelliklerini etkilemesine dikkati çekmek amacıyla, bu elementlerin arzu edilmeyen miktarlarına ait sınırlar özellikle belirtilmelidir.



Zn > %0.25, Sn > %0.5 veya Si > %0.5 ilavesi %9Al içeren alüminyum bronzunun özelliklerini az miktarda etkiler /34/. %0.1 den fazla miktardaki silisyum, uzamayı ve sünekliği düşürücü roy oynar /42/. Alüminyum bronzlarına, < 0.02Mg ve < 0.05P dezokside amacıyla ilave edilir /5/.

Demir ve manganın eser miktarları dikkate değer bir etkiye sahip değildir. Fakat Pb > %0.5 ise, alaşımanın çekme mukavemetini ve kopma uzamasını düşürerek kırılgenliğe neden olur /4,43/.

Kurşun, çinko ve silisyum deniz suyundaki korozyona aksi tesir göstermez /43/. Si > %0.1 ve < 0.4As ve > 0.09Sn korozyon dayanımını iyileştirir /5,43/.

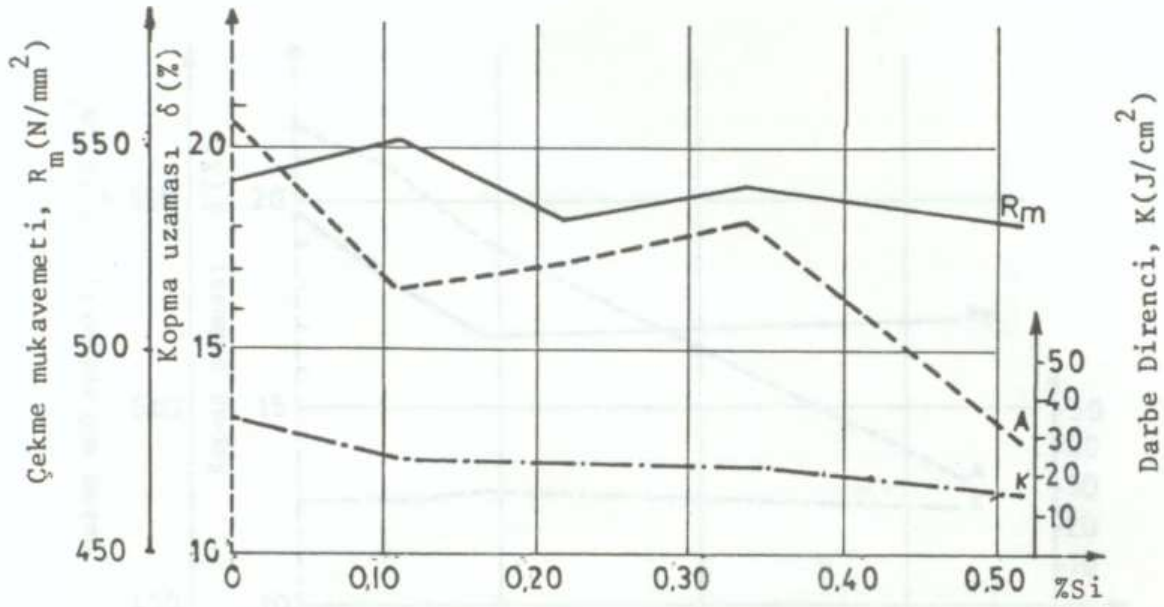
Cu-10Al-4Fe-4Ni-1.2Mn içeren alaşımda %0.01-0.05 oranında gayri safiyet olarak bulunan krom, çekme mukavemetini ve kopma uzamasını azaltır /44/.

Cu-9Al alaşımı üzerine gayri safiyetlerin etkisi aşağıdaki şekillerde açıkça görülmektedir /43/.

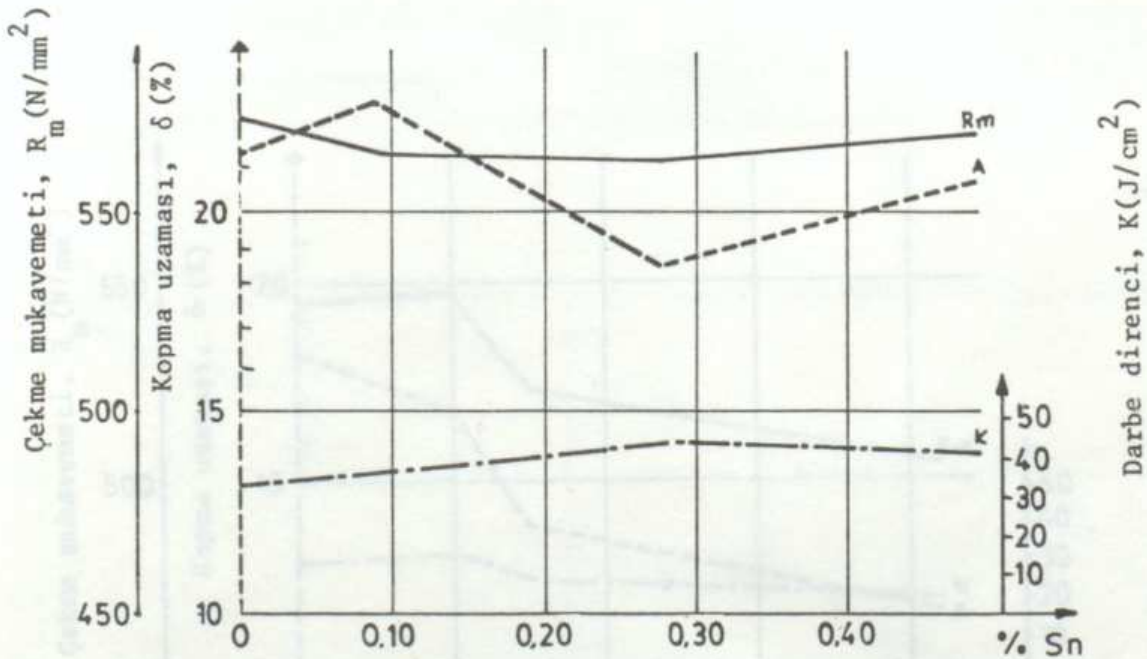
Alaşım Bileşimi

	%
Cu	89.30
Al	10.20
Zn	0.12
Pb	0.06
Sn	0.06
Si	0.03
Fe	0.05
Mn	0.15

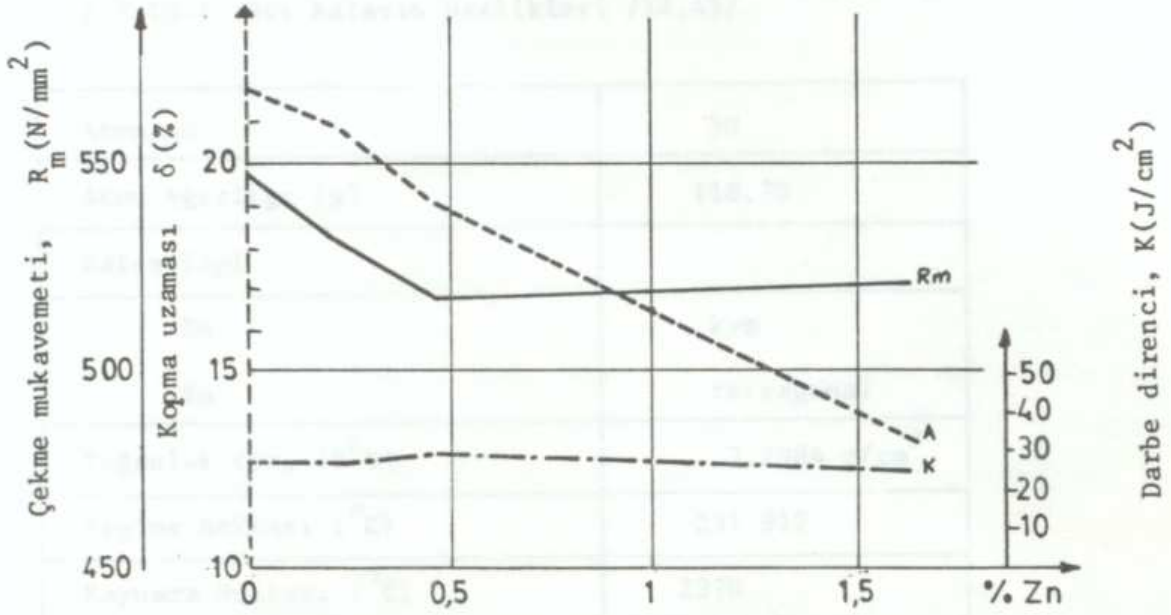




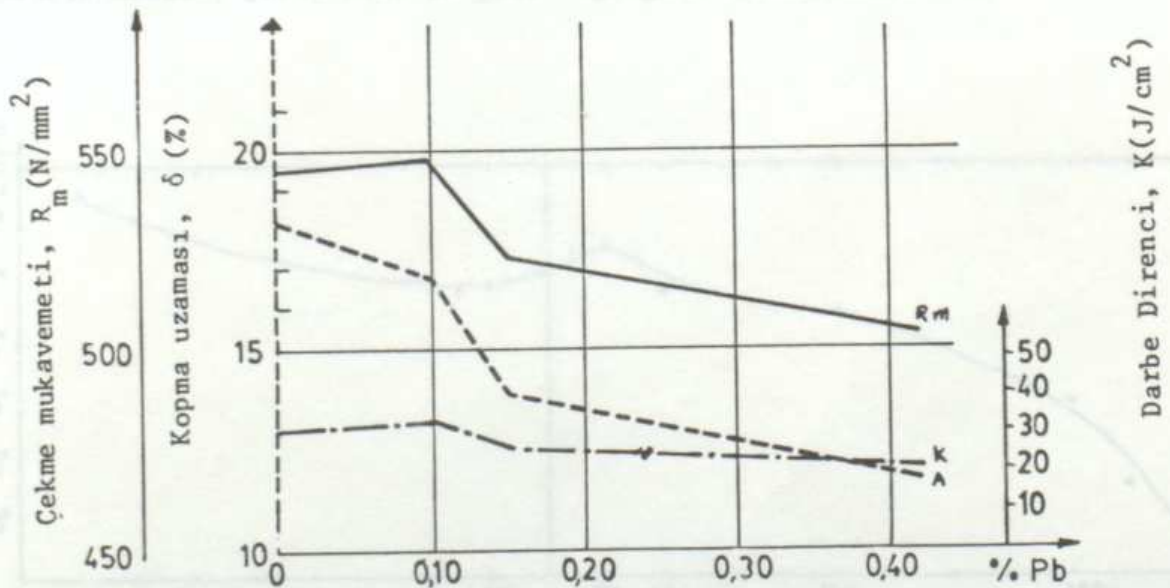
Şekil-2.14 Silisyum ilavesinin alüminyum bronzunun mekanik özelliklerine etkisi /44/.



Şekil-2.15 Kalay ilavesinin alüminyum bronzunun mekanik özelliklerine etkisi /44/.



Şekil-2.16 Çinko ilavesiyle alüminyum bronzunun mekanik özelliklerinin değişimi /44/.



Şekil-2.17 Kurşun ilavesinin alüminyum bronzunun mekanik özellikleri üzerine etkisi /44/.

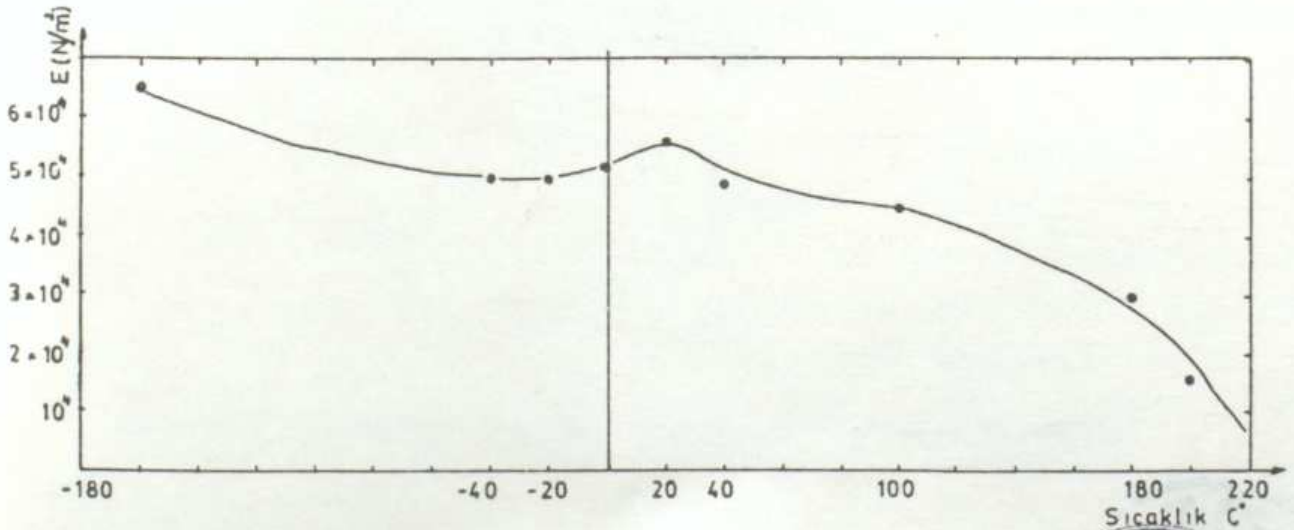
2.7.12. Kalay

2.7.12.1. Arı kalayın özellikleri /14,45/.

Atom no	50
Atom Ağırlığı (g)	118.70
Kafes Tipi	
Sn	kym
Sn	tetragonal
Yoğunluk (Sn, 20°C)	7.2984 g/cm ³
Ergime Noktası (°C)	231.912
Kaynama Noktası (°C)	2270
Elektrik İletkenliği (IACS)	% 15.6

Çizelge-2.8

Kalayın düşük sıcaklıklarda yüksek olan çekme mukavemeti ve sertliği artan sıcaklık ile azalmaktadır /14/. Arı kalayın artan sıcaklık ile elastiklik modülü, Şekil-2.20'de görüldüğü gibi azalmaktadır /45/.



Şekil-2.20 Artan sıcaklık ile arı kalayın elastiklik modülünün değişimi.

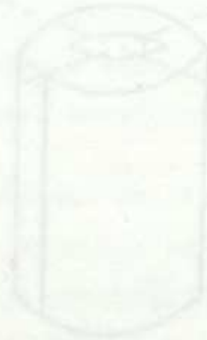
2. 7.12. Kalay

Kalay alüminyum bronzunda ender olarak kullanılan bir elementtir. Kalay ilavesinin, alüminyum bronzunda kırılganlığı ve sertliği arttırdığı bazı araştırmacılar tarafından belirtilmiştir /42/.

%1Fe ve %1Mn içeren Cu-7Al alaşımına %2Sn ilavesi, alaşımın 16°C ve 80°C deki HCl , H_2SO_4 , NaCl çözeltileri ve deniz suyu içindeki korozyon dayanımını arttırır /8/. Çünkü kalay ilavesi, oksit filminin anodik çözünmesini ve alüminyum azalmasını geciktirir. Alaşımın 950°C den itibaren yavaş soğutulması, korozyon dayanımında hafif bir kayba neden olurken, 538°C den itibaren yavaş soğutma ve 650°C den başlayarak hızla suda su verme, korozyon dayanımındaki en iyi artışı sağlayan ısıl işlem olmaktadır /8/.

Demir ve mangan varlığında Cu-7Al alaşımına ilave edilen %2 kalay, alaşımın iyi mekanik özellikler göstermesine neden olur. Bu alaşım, iyi mekanik özelliklere ilaveten korozyon dayanımının yüksek olması istenen ısı eşanjör cihazında ve birçok endüstriyel uygulamalarda büyük bir avantajla kullanım alanı bulmuştur.

%0.35 oranında ilave edilen kalay, alüminyum bronzlarını gerilmeli korozyon çatlağından korur /5/. %2.5 oranındaki kalay ise bronzların tavlama dayanımını arttırır.



3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1. Alüminyum Alaşımlarının Hazırlanması

Çalışma için gerekli olan alüminyum bronzlarının hazırlanmasında bakır, alüminyum ve kalay kullanılmıştır. Piyasadan tedarik edilen bu maddelerin yaş metodla yapılan kimyasal analizleri Çizelge-3.1'deki gibidir.

Cu: % 99.99 (elektrolitik bakır)

Al: % 99.65 (etial 7E)

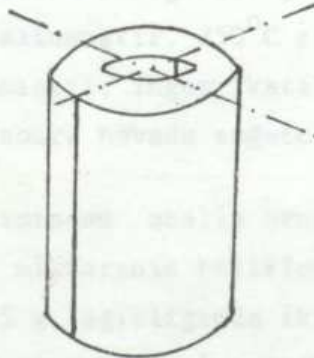
Al	Fe	Si	Cu	Zn	Ti	Diğer her biri	Toplam
99.65	0.25	0.1	-	-	-	0.02	0.1

Sn: % 99.99

Çizelge-3.1

3.1.1. Alüminyum bronzlarının dökümü

Alüminyum bronzlarının dökümünde, 35 mm. çapında ve 180 mm. boyutunda alt tarafı kapalı, koniklik verilmemiş dökme çelikten yapılmış iki adet kokil kalıp kullanılmıştır. Kalıbın hacmi takriben 175 cm^3 dür.



Şekil-3.1 Kokil kalıp.

Başlangıçta öngörülen % bileşimler Çizelge-3.2'de verilmiştir.



Alaşım	% Cu	% Al	% Sn
A	89	11	-
B	88	10	2
C	88	9	3
D	88	8	4
E	88	7	5
F	89	7	4
G	90	7	3
H	91	7	2

Çizelge-3.2

Ergitme esnasında bileşim kayıplarının belirlenmesi amacıyla, kokil kalıplardan birine 1500 g.lık E(Cu-7Al-5Sn) alaşımı dökümü yapılmıştır.

Ergitme işlemi, indüksiyon ocağında atmosferde açık olarak yapılmıştır. 6 kg.lık temiz grafit pota içersine 808.920 g. elektrolitik bakır ve 617.690 g.Cu-17Al ön alaşımı konarak üzeri odun kömürüyle örtölmüş ve ergitme işlemine başlanmıştır. Yapılan ön alaşım analizinde, ön alaşımda % 82.80 Cu ve % 17Al olduğu belirlenmiştir. 1140°C de 75.11 g.kalay grafit çan içersinde ergitilmiş alaşım daldırılmış ve pota 1158°C de ocaktan dışarıya alınmıştır. 350°C sıcaklıktaki kokil kalıp içersine, 1150°C de döküm yapılmıştır. İngot katılaşana kadar kokil kalıp içersinde bırakılmış daha sonra havada soğutulmuştur.

İngotun alt ve üst kısmından analiz örnekleri, alt kısmın 30-40 mm. yukarisından ise oksijen miktarının belirlenmesi için 5 mm. çapında 0.3 mm. yüksekliğinde ve 0.5 g. ağırlığında iki adet numune hazırlanmıştır. Oksijen tayini deneyi sonucunda ingottaki oksijen miktarı 12 ppm. olarak bulunduğu için, alüminyum bronzlarının dökümü sırasında dezoksidan kullanmaya gerek olmadığı sonucuna varılmıştır. Çünkü alüminyum ve kalay, bakırı dezokside etmektedir. İngotun kimyasal analizi Çizelge-3.3'de verilmiştir.

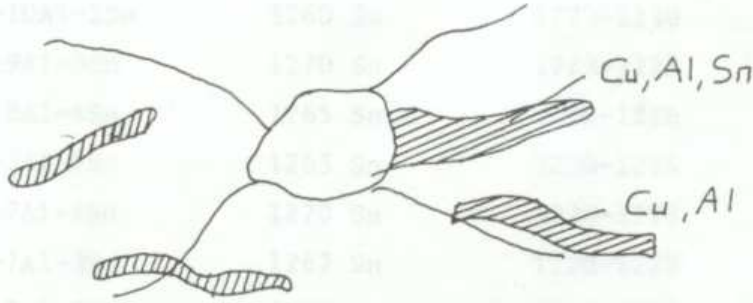


	<u>% Cu</u>	<u>% Al</u>	<u>% Sn</u>
Üst uç	kalan	6.74	4.78
Alt uç	kalan	6.68	4.90

Çizelge-3.3

* Analizler yaş metoda göre yapıldığından hata toleransı % 2 olarak kabul edilebilir.

İngotun mikroyapısının incelenmesi sonucunda tane sınırlarının temiz, kalay + alüminyum + bakır çökeltisinin yer yer dağılmış olduğu görülmüştür. (Şekil-3.2)



Şekil-3.2 İngotun mikroyapısı.

Analiz sonuçları göz önüne alınarak yapılan hesaplamalar sonucunda, alüminyum bronzlarının dökümü sırasında meydana gelen kayıpların önlenmesi amacıyla başlangıçta öngörülen bileşimlere % 0.3 Al ve % 0.2 Sn ilavesi yapılmıştır.

Her bir kalaylı alüminyum bronz dökümü için Cu-17Al ön alaşımı, bakır, alüminyum ve kalay 0.1 mg. ölçüm hassasiyetindeki elektrikli teraziye gerekli miktarlarda tartılmışlardır.

B(Cu-10Al-2Sn) alaşımı dökümü için, grafit pota içersine konan gerekli miktardaki bakır ve ön alaşım, üzeri odun kömürüyle örtülerek indüksiyon ocağında redükleyici atmosferde ergitilmiştir. 1260°C de kalay grafit çan içersinde alaşım içine daldırılarak ilave edilmiştir. 450°C sıcaklıktaki iki kokil kalıba 1225 ± 5 °C de ayrı ayrı döküm yapılmıştır. Kokil kalıplar içersinde üçer dakika kalarak katılaştan ingotlar daha sonra havada soğumaya bırakılmışlardır.

Pota içersinde kalan ergimiş alaşım üzerine odun kömürü konarak pota tekrar indüksiyon ocağına, kokillerden biri ise tekrar 450°C sıcaklığa getirilmek için fırına konmuştur. 1230°C de kokil kalıba döküm yapılmıştır. Kokil kalıp içersinde üç dakika kalan ingot, daha sonra kalıptan çıkarılarak havada soğutulmuştur.

Diğer alüminyum bronz alaşımlarının dökümü aynı yöntemle yapılmıştır. Alaşımların ergime, kalay ilave edilme, döküm ve kokil kalıp sıcaklıkları Çizelge-3.4'de gösterilmiştir.

Alaşım	Bileşim	Al veya Sn ilave sic. °C	Döküm sıcaklığı °C	Kokil kalıp sıcaklığı °C
A	Cu-11Al	1100 Al	1220-1225	450
B	Cu-10Al-2Sn	1260 Sn	1223-1230	450
C	Cu-9Al-3Sn	1270 Sn	1223-1225	450
D	Cu-8Al-4Sn	1265 Sn	1220-1226	450
E	Cu-7Al-5Sn	1265 Sn	1220-1226	450
F	Cu-7Al-4Sn	1270 Sn	1220-1225	450
G	Cu-7Al-3Sn	1267 Sn	1220-1223	450
H	Cu-7Al-2Sn	1270 Sn	1220-1225	450

Çizelge-3.4

Alüminyum bronzlarının lineer kendini çekme oranı bileşime bağlı olarak değişmektedir. Genel olarak bu oran % 1.8-2.8 arasındadır /46/. Kendini çekmeyi en aza indirmek için sürekli olarak besleme yapılmıştır.

Bu çalışmada kalay içeren yedi farklı bileşimdeki ve kalaysız alüminyum bronz ingotları dökülmüştür. Ingotların ortaya yakın kısımlarından analiz numuneleri çıkartılmış ve Spectrolab optik emisyon spektrometresinde analiz edilmiştir. Analiz sonuçları Çizelge-3.5'de verilmiştir.



Alaşım	Alaşım	Cu	Al	Sn	Fe	Si	P	Ni	Zn	Pb	Mn
	Öngörülen Alaşım Bileşimi Cu/Al/Sn										
A	89/11/-	Kalan	10.25	<.0166	.0268	.0181	.0085	<.0058	<.0026	<.0029	-
			10.45	<.0165	.0156	.0193	.0073	<.0058	<.0026	<.0029	-
			10.16	.0356	.0282	.0180	.0078	.0263	<.0026	<.0029	-
			10.46	<.0165	.0282	.0182	.0111	.0064	<.0026	<.0029	.0953
			10.3575	<.0213	.0247	.0184	.00867	.0167	<.0026	<.0029	.0238
B	88/10/2	Kalan	8.88	2.63	.0968	.0962	.0203	.0159	<.0026	<.0028	-
			8.66	2.61	.0809	.0913	.0201	<.0058	<.0026	<.0028	-
			9.00	2.49	.0102	.0843	.0070	.0197	<.0026	<.0028	.0014
			9.05	2.36	.0967	.0101	.0158	<.0057	<.0026	.0210	.002
			8.8975	2.525	.0941	.0933	.0158	<.01177	<.0026	.00735	.00085
C	88/9/3	Kalan	8.41	3.69	.0798	.0865	.0154	<.0057	<.0025	<.0028	.0979
			8.59	3.87	.0952	.0796	.0179	<.0057	<.0025	<.0028	.0044
			7.89	3.62	.0102	.0841	.0069	.0316	<.0026	.0053	.0012
			8.03	3.62	.0894	.0865	.0067	.0247	<.0026	.0100	.0015
			8.2425	3.7	.0916	.08417	.01172	.01692	<.00255	.00603	.02625
D	88/8/4	Kalan	7.38	4.79	.0812	.0765	.0162	.0114	<.0025	<.0028	-
			7.16	4.62	.0663	.0750	.0137	<.0057	<.0026	<.0028	-
			7.50	4.66	.0664	.0667	.0171	.0209	<.0025	.0047	.0013
			7.43	4.66	.0690	.0690	.0131	<.0057	<.0025	<.0028	-
			7.3675	4.6825	.07072	.0718	.01502	.01002	<.0025	<.00327	.00032
E	88/7/5	Kalan	6.60	5.86	.0668	.0675	.0079	.0085	<.0025	<.0028	-
			6.94	5.70	.0588	.0659	.0124	<.0057	<.0025	<.0028	-
			6.65	5.58	.0048	.0654	.0130	.0050	<.0025	<.0028	-
			6.21	5.36	.0880	.0656	.0144	.0339	<.0026	<.0028	-
			6.6	5.625	.0546	.0661	.01192	.01427	<.0025	<.0028	-
F	89/7/4	Kalan	6.60	4.62	.0822	.0752	.0167	.0230	<.0026	.0088	.0004
			6.52	4.63	.0697	.0642	.0149	.0189	<.0026	<.0028	-
			6.39	4.67	.0066	.0761	.0121	.0106	<.0026	<.0028	.0006
			6.58	4.57	.0862	.0775	.0157	.0213	<.0026	.0060	-
			6.5225	4.6225	.06117	.07325	.01485	.01845	<.0026	<.0051	.00025
G	90/7/3	Kalan	6.37	3.70	.0603	.0674	.0123	.0068	<.0026	<.0029	-
			6.40	3.56	.0626	.0638	.0156	.0201	<.0026	.0049	-
			6.42	3.58	.0805	.0835	.0077	.0207	<.0026	<.0029	-
			6.56	3.58	.0074	.0102	.0156	.0143	<.0026	<.0029	.0001
			6.4375	3.605	.0527	.07917	.0128	.01547	<.0026	<.0034	.25.10 ⁻⁶
H	91/7/2	Kalan	6.42	2.65	.0615	.0844	.0124	.0191	<.0026	<.0029	.0007
			6.31	2.46	.0581	.0739	.0153	.0187	<.0026	<.0029	-
			6.44	2.50	.0691	.0906	.0102	<.0059	<.0026	<.0029	-
			6.26	2.44	.0683	.0822	.0088	.0168	<.0026	<.0029	.0005
			6.3575	2.5125	.06425	.08277	.01161	.01512	<.0026	<.0029	.0003

Çizelge-3.5 Çalışmada kullanılan alaşımların kimyasal analiz sonuçları.



3.2. Uygulanan Isıl İşlem

Çalışmada kullanılan alüminyum bronzlarının farklı özelliklerini gösterebilmek için, bronzlara ısıtıl işlem uygulanmıştır.

3.2.1. Isıl İşlem sıcaklıklarının belirlenmesi için ön denemenin yapılması :

Isıl işlem sıcaklıklarının belirlenmesi amacıyla yapılan ön denemede E(Cu-7Al-5Sn) alaşımının ikinci çubuğunun ortaya yakın bölgesinden alınan 30 mm. çapında ve 5 mm. kalınlığında dairesel numuneler kullanılmıştır. Numunelerin iki yüzü torna tezgahında paralel hale getirilmiş ve 400 numara su zımparası ile zımparalanmışlardır.

Bu şekilde hazırlanan numuneler, Çizelge-3.6'da belirtilen sıcaklık ve sürelerde ısıtıl işleme tabi tutulmuşlardır. Tekrar birer yüzeyleri su zımparası ile zımparalanan numunelerin sertlikleri, oda sıcaklığında 2.5 mm. çapındaki bilyanın 30 s. süreyle 62.5 kg.lık yük uygulanması sonucu Brinell cinsinden ölçülmüştür.

3.2.2. Alaşımlara uygulanan ısıtıl işlem sıcaklıklarının belirlenmesi

Çizelge 3.6'daki sonuçlar gözönüne alınarak tüm alaşımların ikinci çubuklarının ortaya yakın kısımlarından aynı boyutlarda kesilen numuneler, sertlik ölçümleri için 3.2.1'de anlatılan işlemlere tabi tutulmuşlardır.

Numuneler 700, 800, 850 ve 900°C de 20 saat bırakılarak çözeltiye alma ve 250°C de 6,9 ve 12 saat bırakılarak yaşlandırma işlemine tabi tutulmuşlar ve sertlikleri ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre oluşturulan Çizelge-3.7'den tüm alaşımlar için en fazla sertlik değeri dikkate alınarak ısıtıl işlem sıcaklıkları belirlenmiştir. Her alaşım için çizilen eğriler Şekil-3.3 - 3.18 de gösterilmiştir.

Alaşımlara uygulanan ısıtıl işlem sıcaklıkları Çizelge-3.8'de toplu olarak verilmiştir.

	Çözeltiliye alındıktan sonra	6 saat (HB)	250°C da 9 saat (HB)	12 saat (HB)
Döküm parçası	133.25	-	-	-
700°C da 15 saat	126.5	159	160.3	169
700°C 20 saat	142	169	164.42	176
800°C 15 saat	184	226.5	220.05	212
800°C 20 saat	204	241.2	222.7	230
850°C 15 saat	203.3	241	252.91	254.2
850°C 20 saat	201.15	236.13	236.13	234.6
900°C 15 saat	191.75	227.1	201	221
900°C 20 saat	187.5	193.2	198.7	196.25

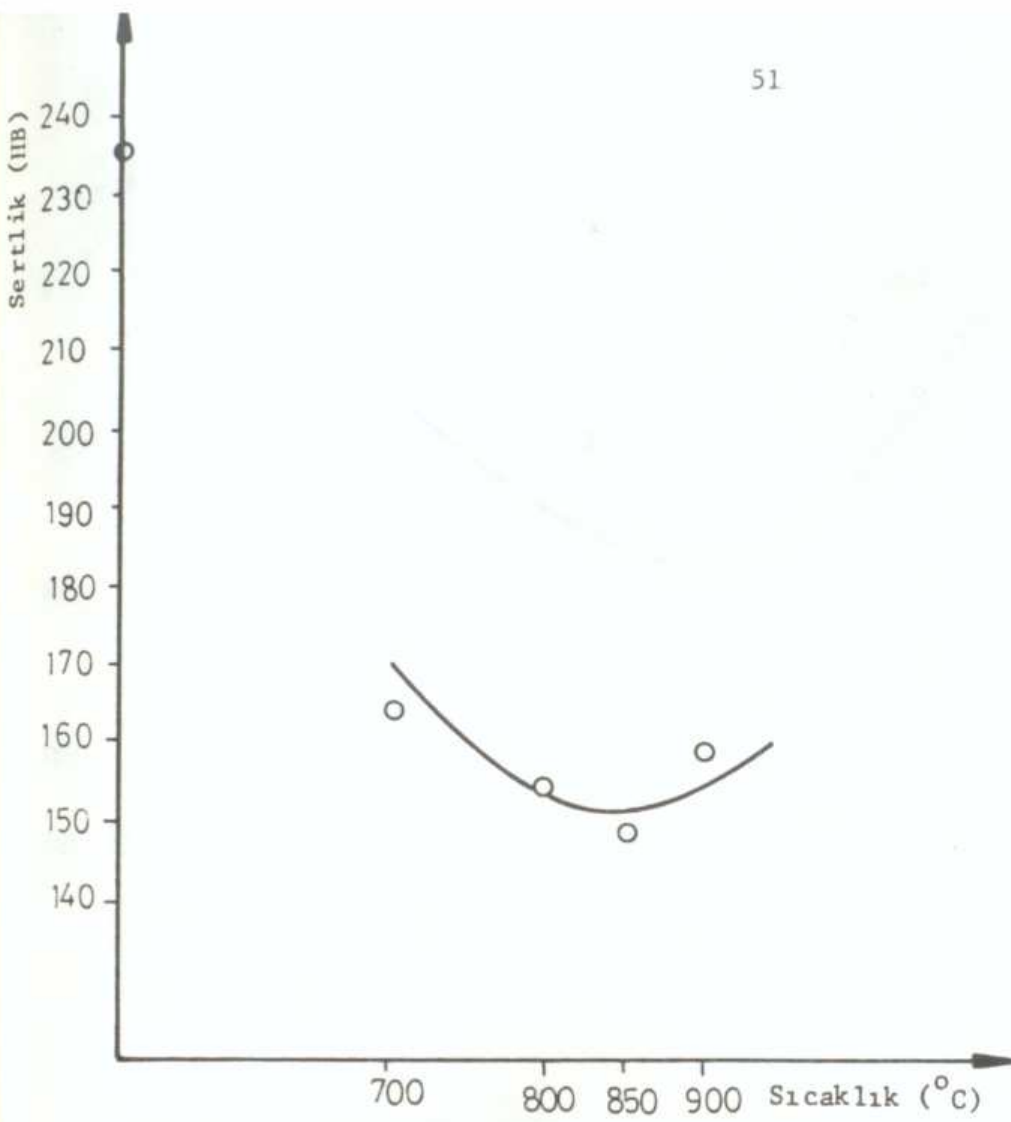
Çizelge-3.6



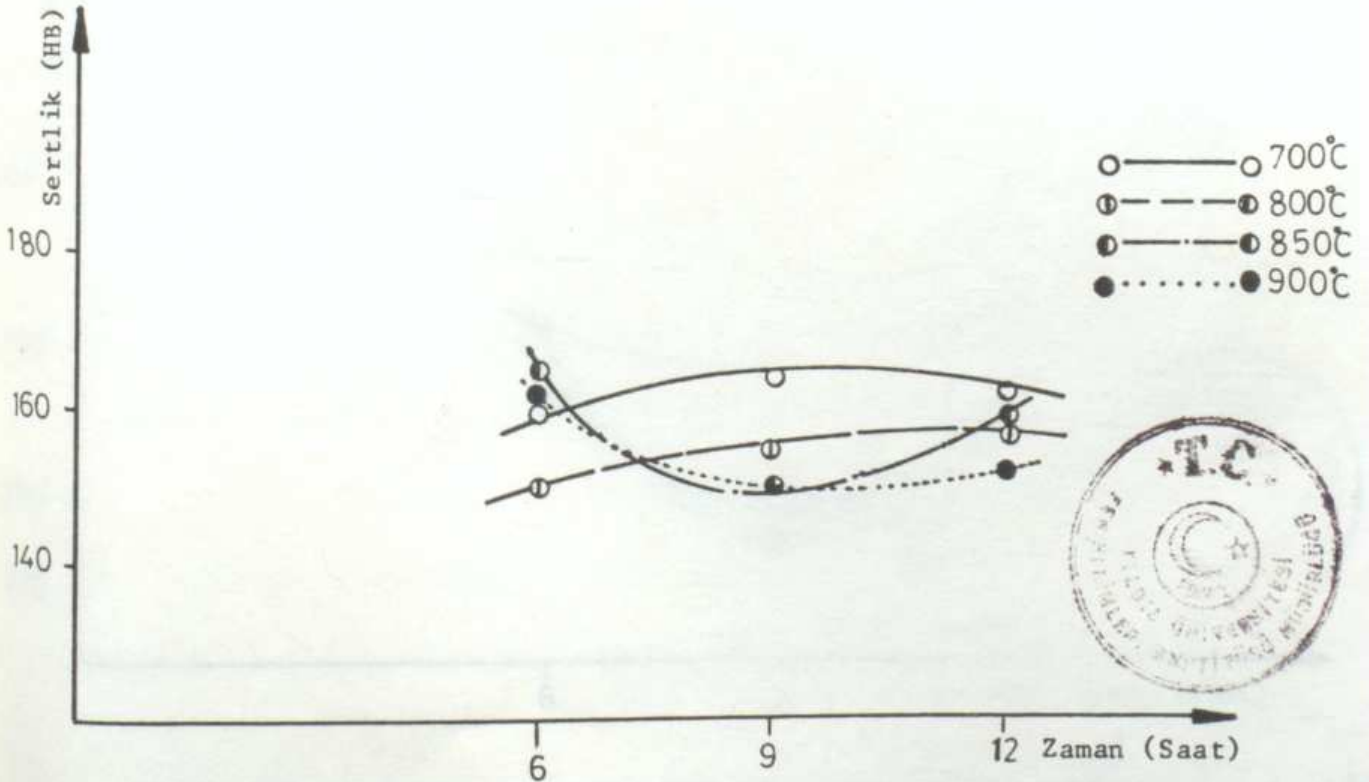
Alaşım	Bileşim	Normal Sertlik	Çözeltiye Alınmış	250°C de Yaşlandırılmış														
				6 Saat			9 Saat			12 Saat								
				700°C	800°C	850°C	900°C	700°C	800°C	850°C	900°C	700°C	800°C	850°C	900°C			
A	Cu-11Al	133.0	122.75	138.0	155.25	129.7	138.5	159.0	186.0	166.0	140.5	154.0	172.5	152.5	136.7	161.5	200.7	197.0
B	Cu-10Al-2Sn	129.3	140.25	188.0	204.75	182.0	164.0	218.0	251.0	275.0	160.0	197.0	251.0	204.0	154.5	207.5	280.5	229.2
C	Cu-9Al-3Sn	139.7	164.0	146.5	232.66	265.25	191.0	215.0	280.5	280.5	191.0	275.0	256.0	270.0	191.0	270.0	285.7	280.5
D	Cu-8Al-4Sn	149.7	214.5	201.0	175.33	221.7	242.0	237.0	233.0	242.0	237.0	218.0	222.0	214.5	242.0	237.0	232.0	232.0
E	Cu-7Al-5Sn	114.1	104.0	108.5	115.33	133.3	100.6	128.0	136.7	157.0	115.0	130.0	122.0	131.5	111.2	133.0	138.0	138.5
F	Cu-7Al-4Sn	96.6	67.5	92.9	95.9	104.0	79.6	97.2	107.0	121.0	77.0	93.0	103.0	110.0	76.3	98.5	110.0	108.5
G	Cu-7Al-3Sn	77.0	66.64	65.0	78.06	82.15	73.2	65.9	81.5	82.1	70.2	68.2	98.5	77.1	68.5	64.9	84.8	84.9
H	Cu-7Al-2Sn	235.9	164.0	154.5	149.33	159.0	159.0	150.0	165.0	161.5	164.0	154.5	150.0	150.0	161.5	157.0	159.0	152.2

Çizelge-3.7

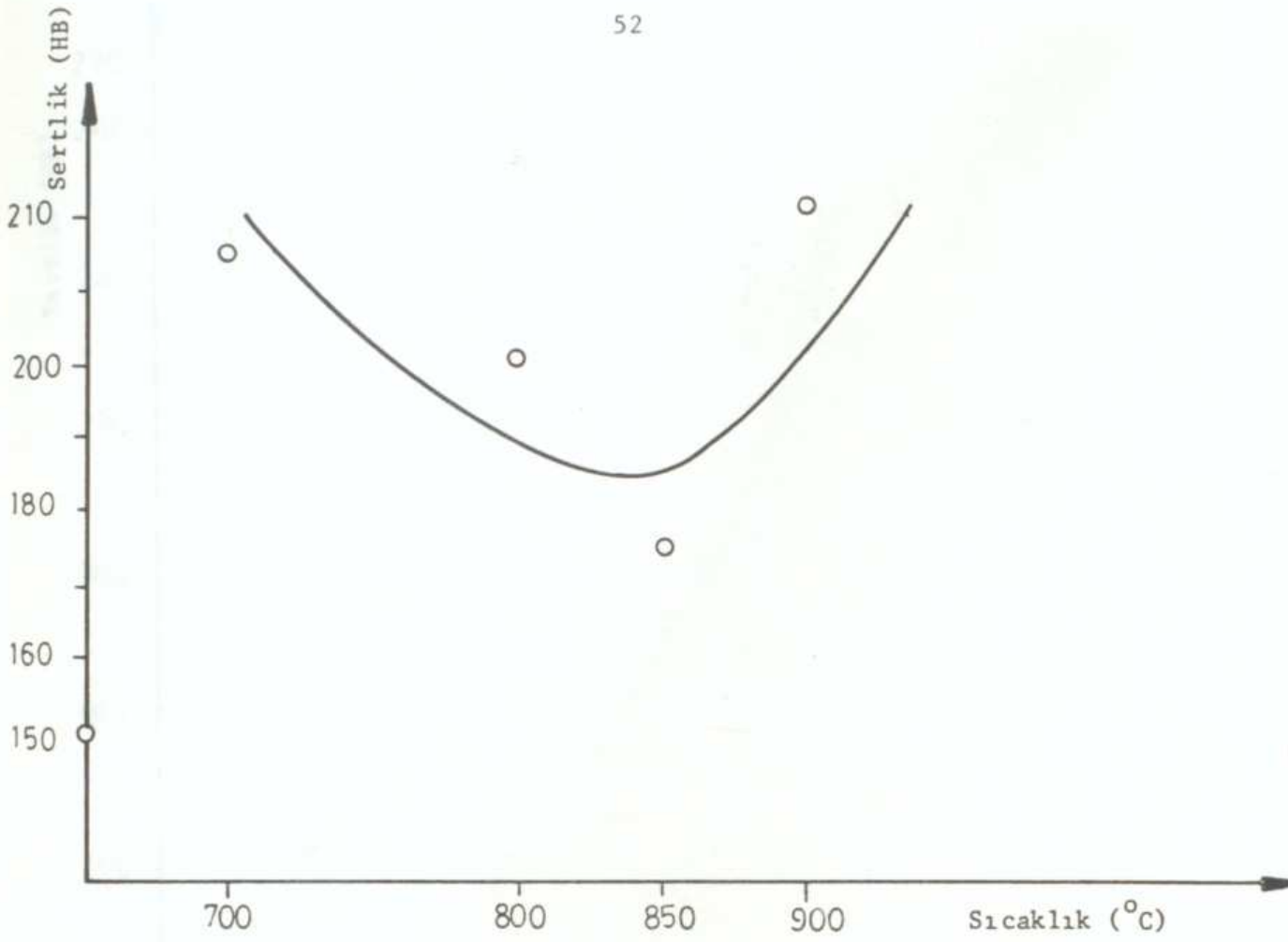




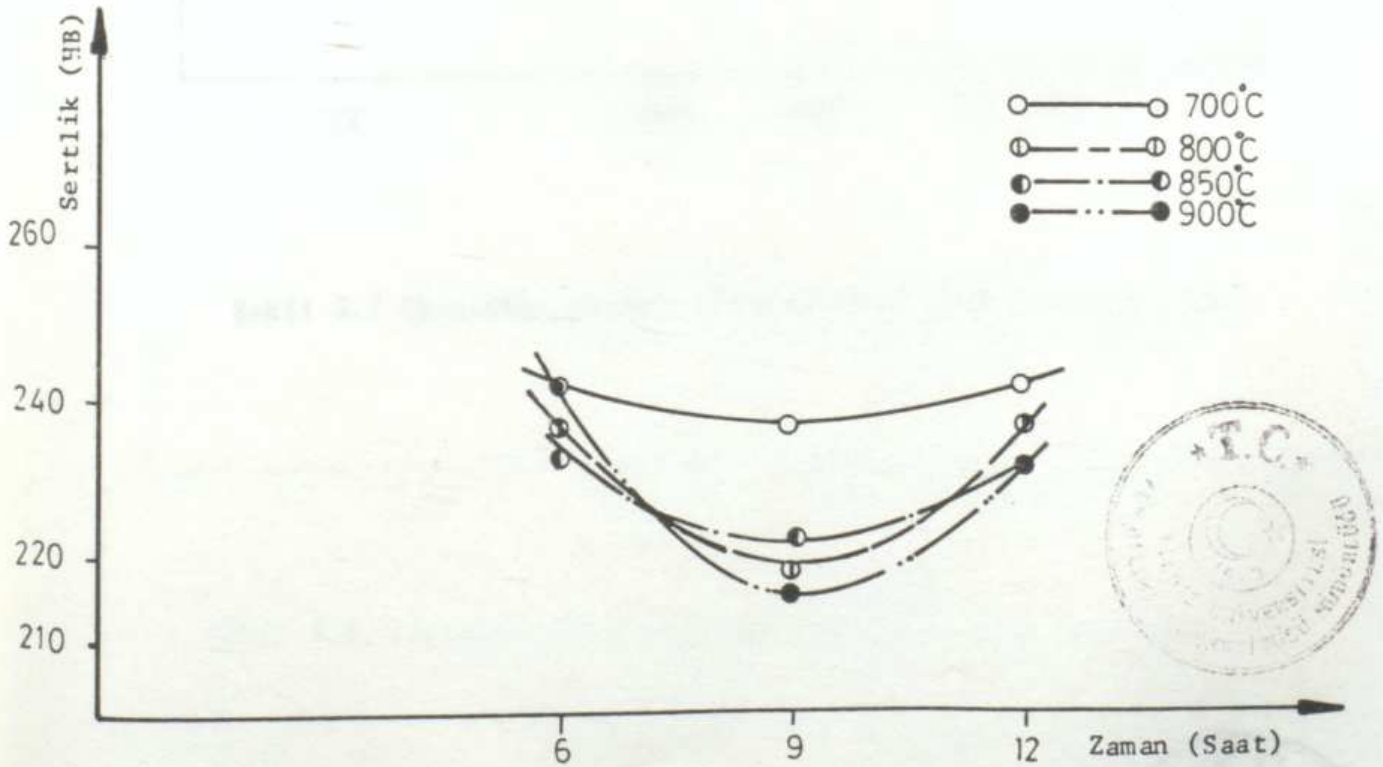
Şekil 3.3 Çözeltiye alınmış A(Cu-11Al) alaşımının sertliği



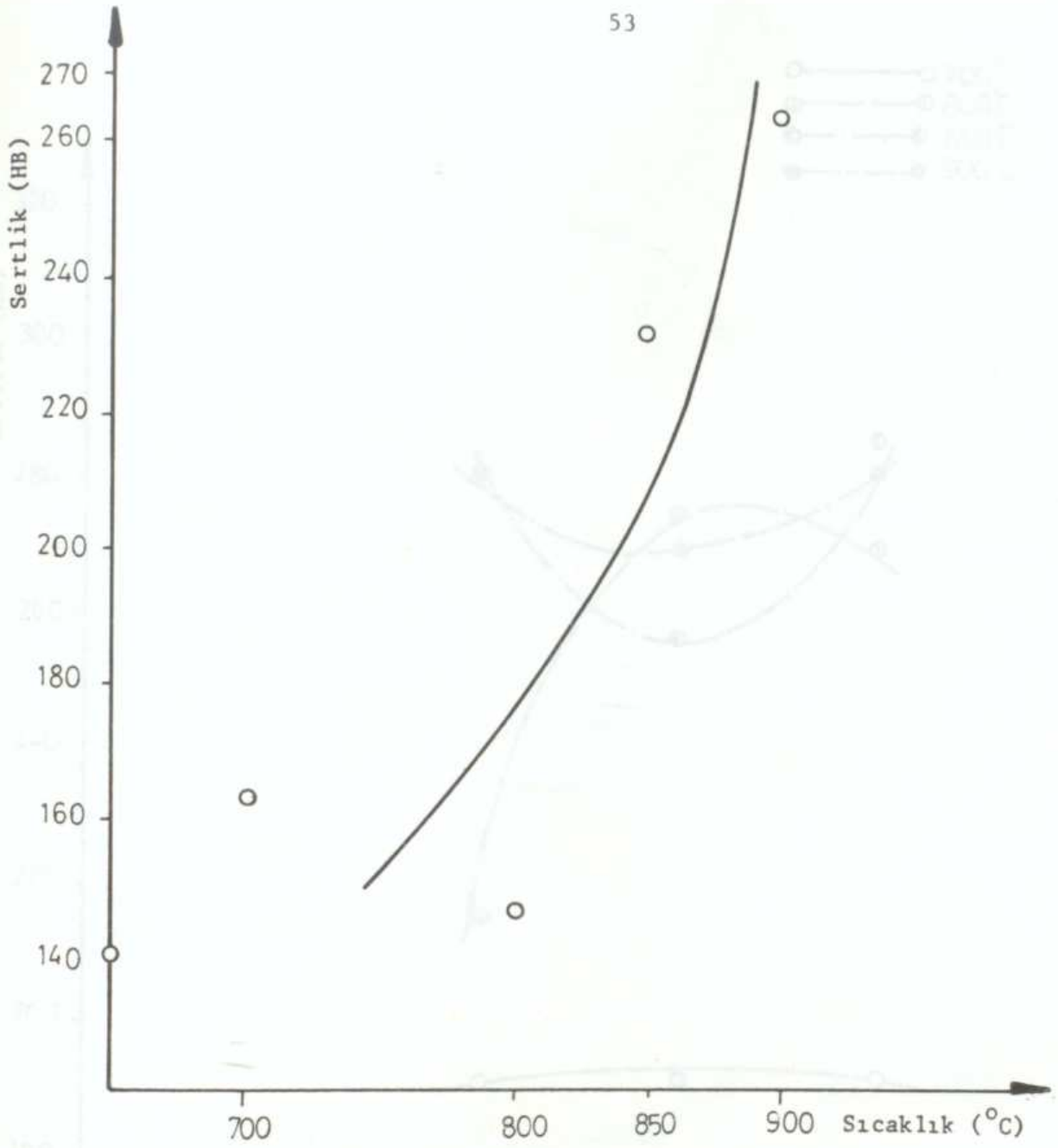
Şekil 3.4. Yaşlandırılmış A(Cu-11Al) alaşımının sertliği



Şekil 3.5. Çözeltiliye alınmış B(Cu-10Al-2Sn) alaşımının sertliği



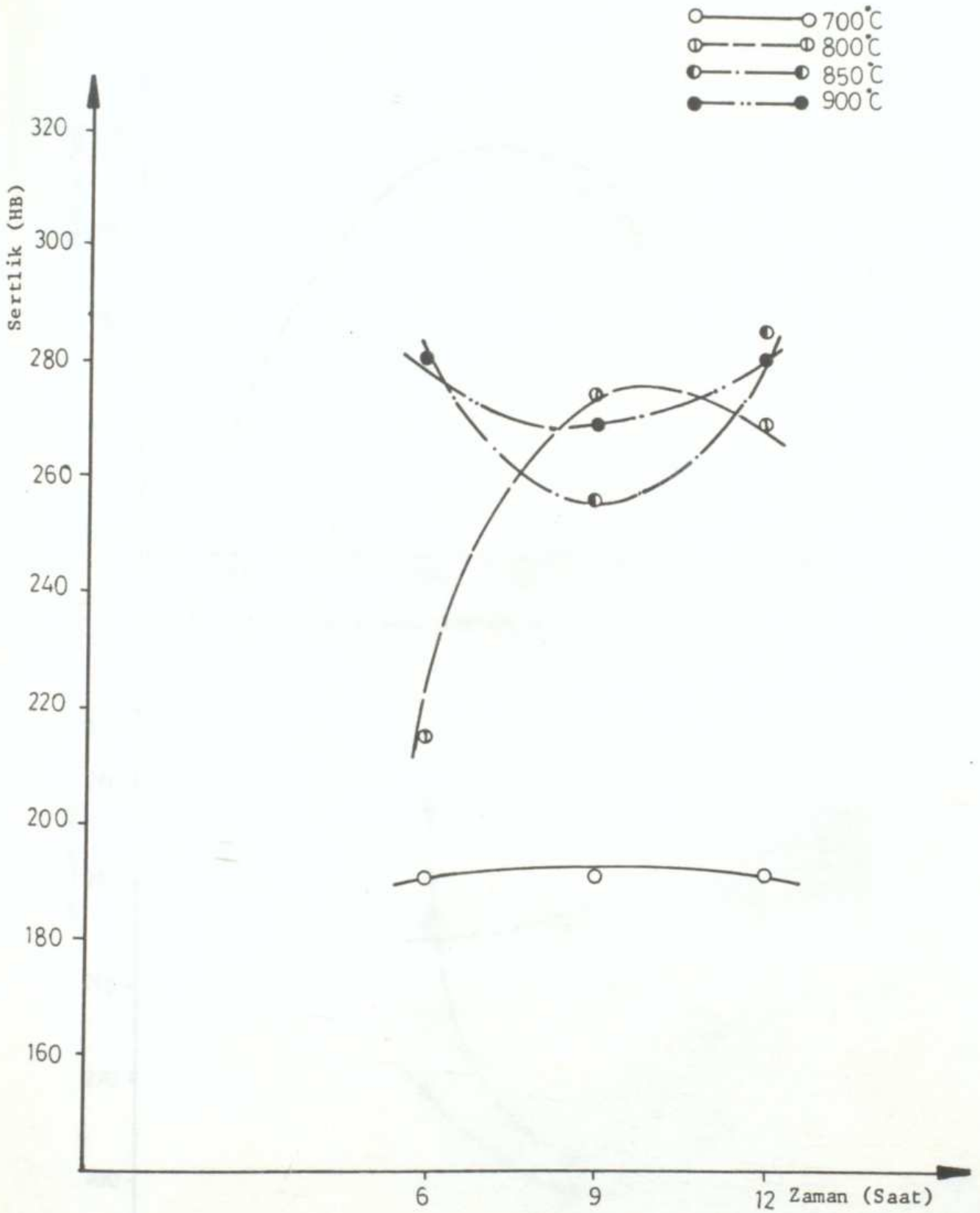
Şekil 3.6. Yaşlandırılmış B(Cu-10Al-2Sn) alaşımının sertliği



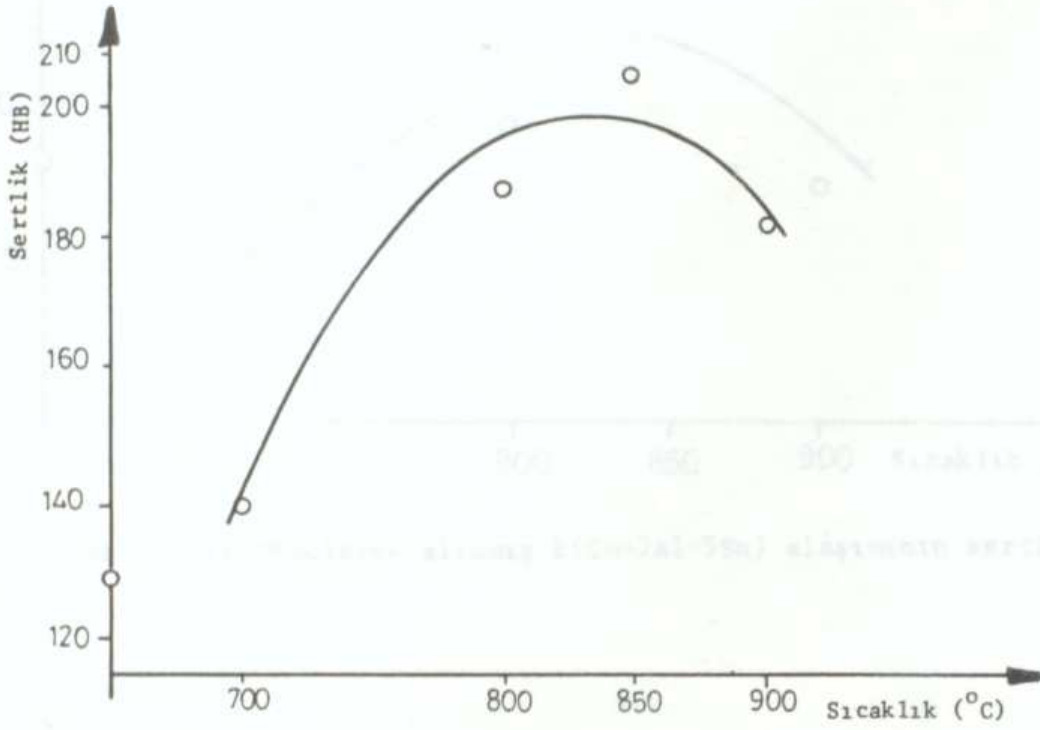
Şekil 3.7 Çözeltiliye alınmış C(Cu-9Al-3Sn) alaşımının sertliği

Şekil 3.8. Yağlandırılmış C(Cu-9Al-3Sn) alaşımının sertliği

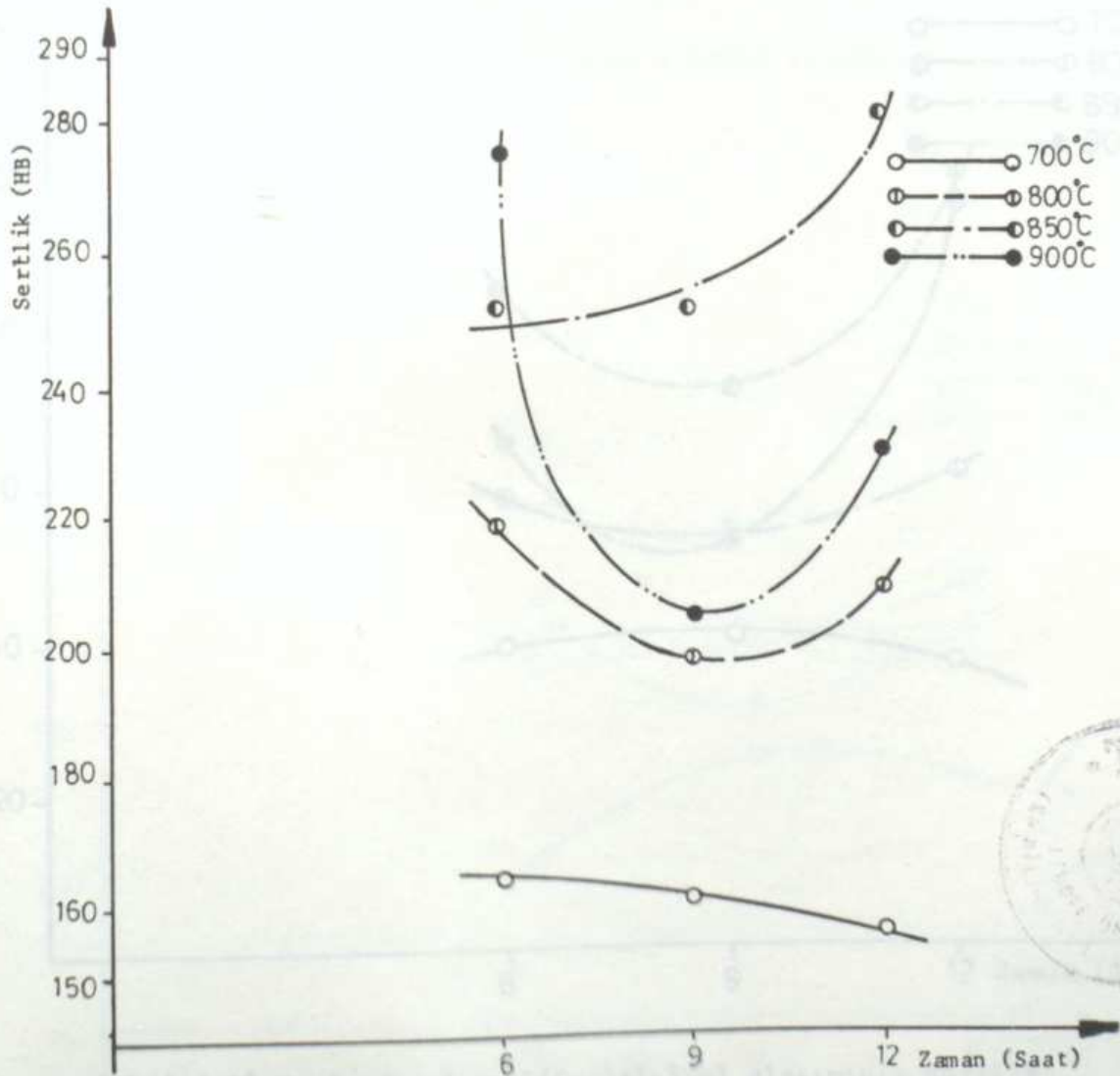


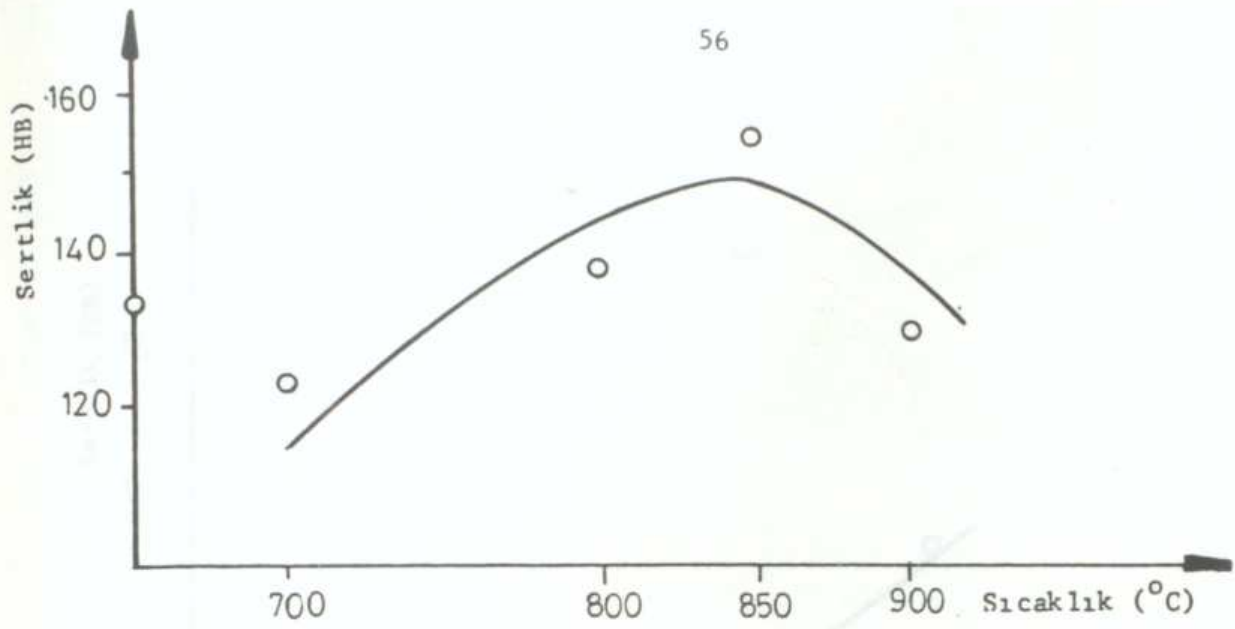


Şekil 3.8. Yaşlandırılmış C(Cu-9Al-3Sn) alaşımının sertliği

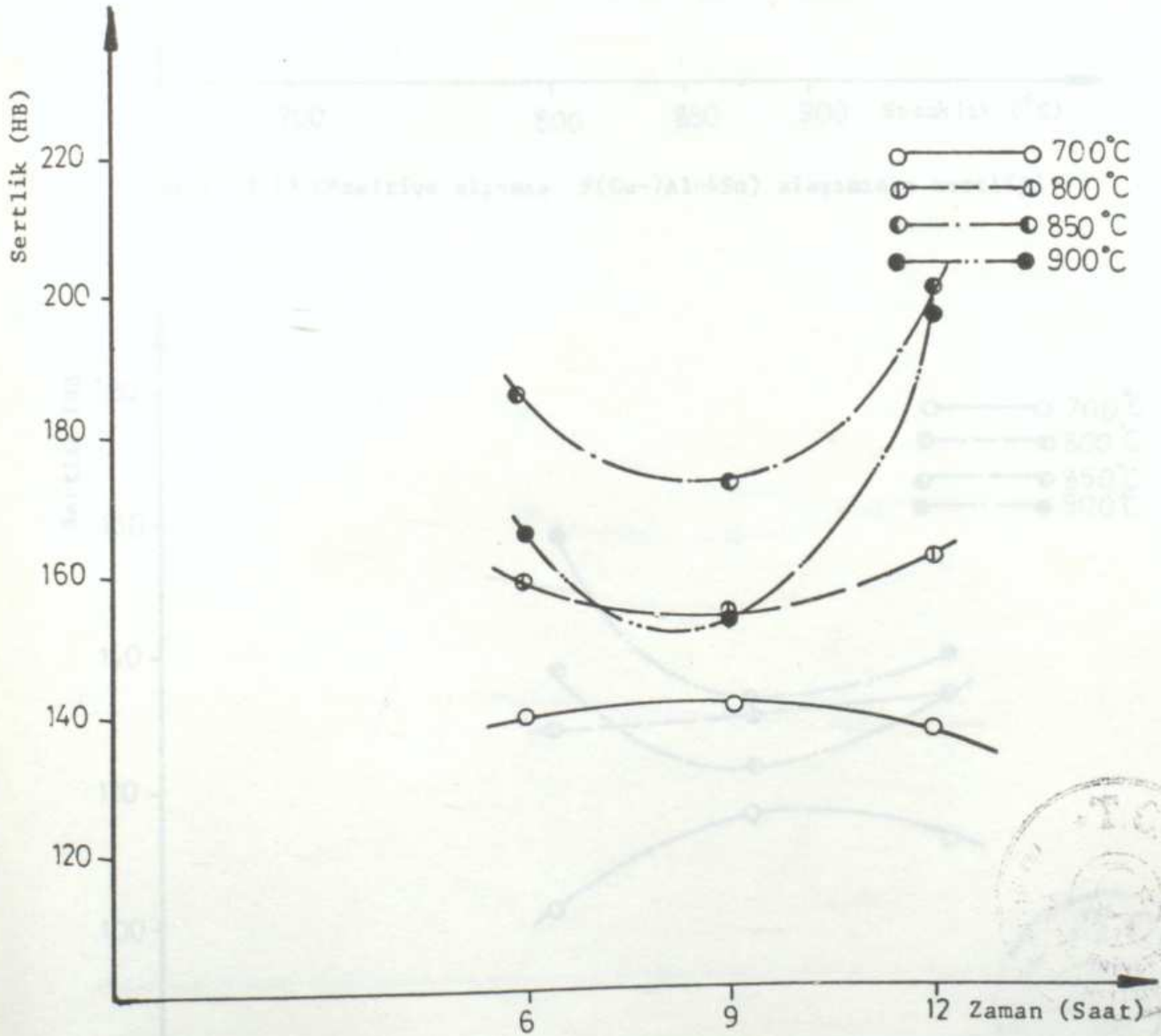


Şekil 3.9 Çözeltiye alınmış D(Cu-8Al-4Sn) alaşımının sertliği

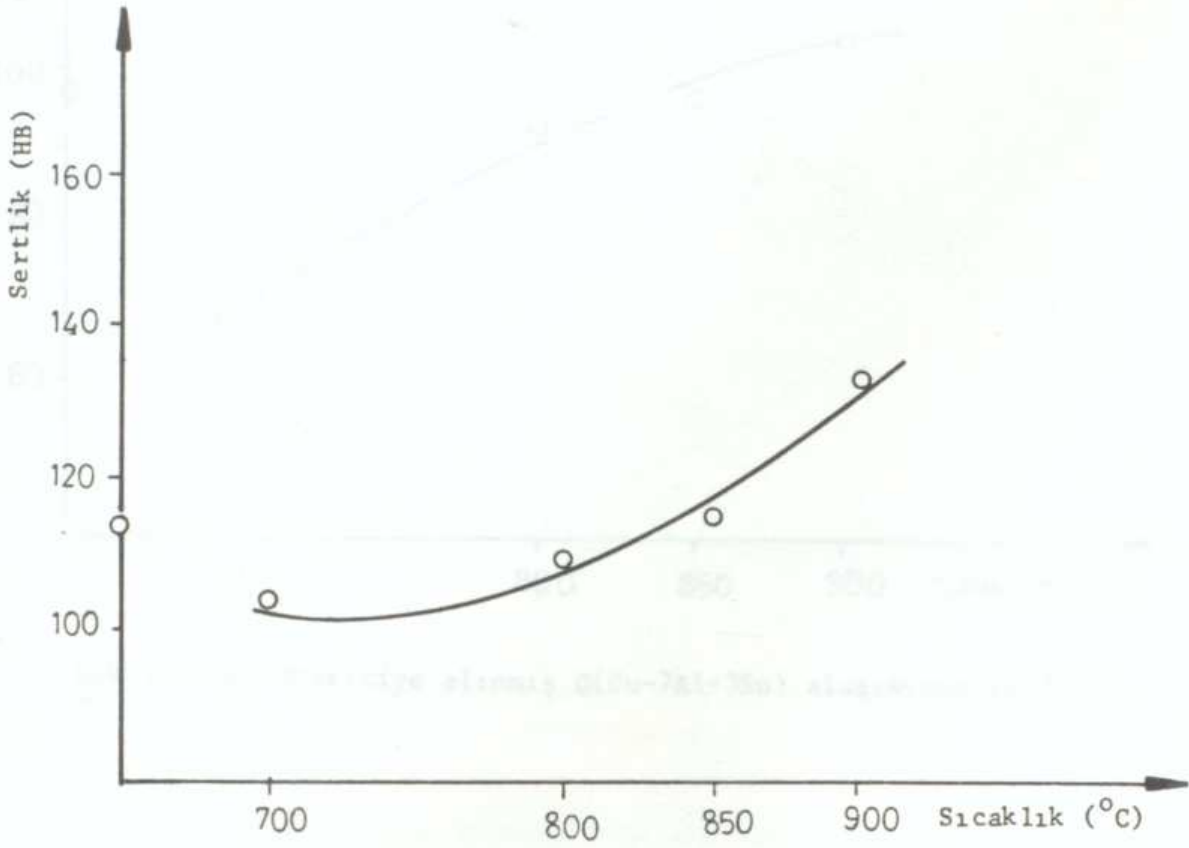




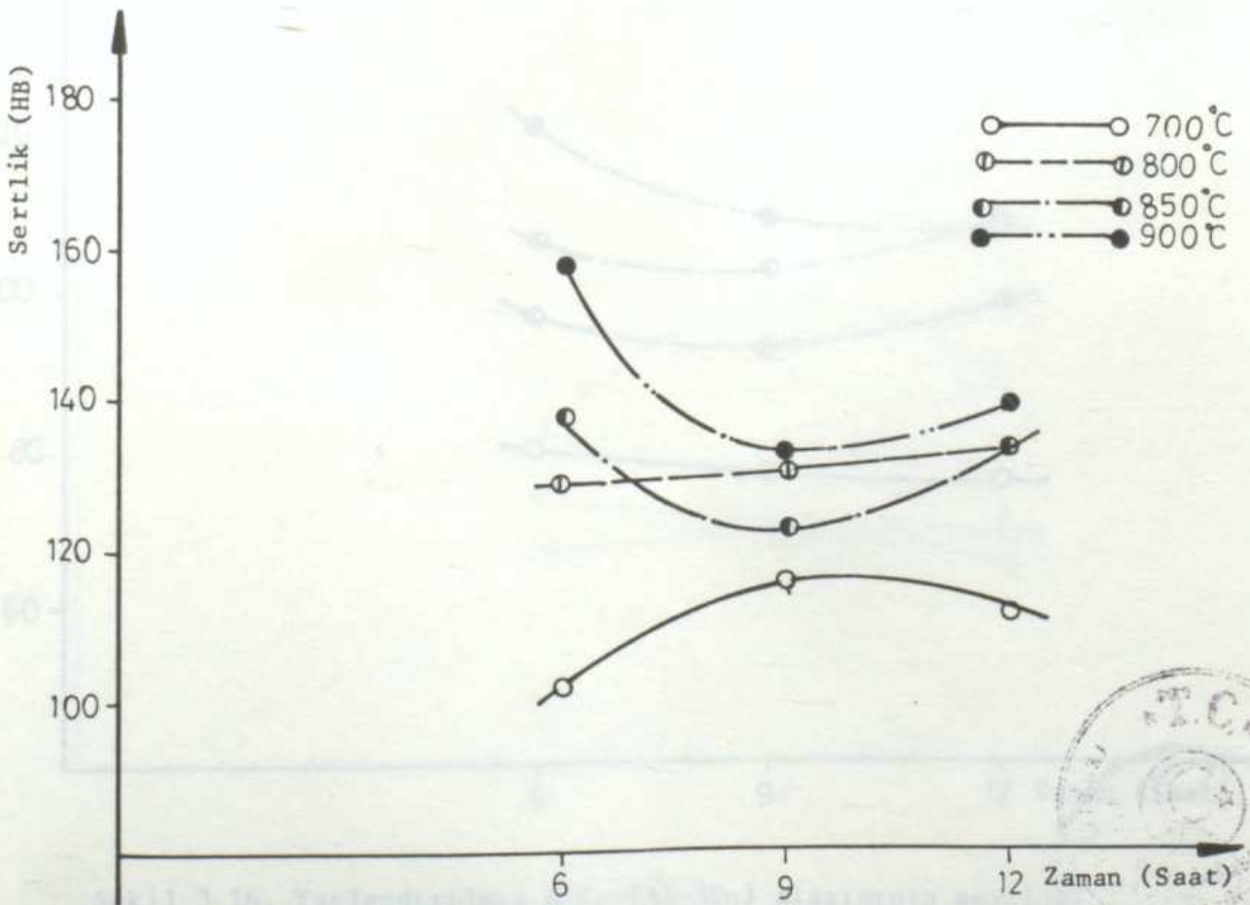
Şekil 3.11 Cözeltiliye alınmış E(Cu-7Al-5Sn) alaşımının sertliği

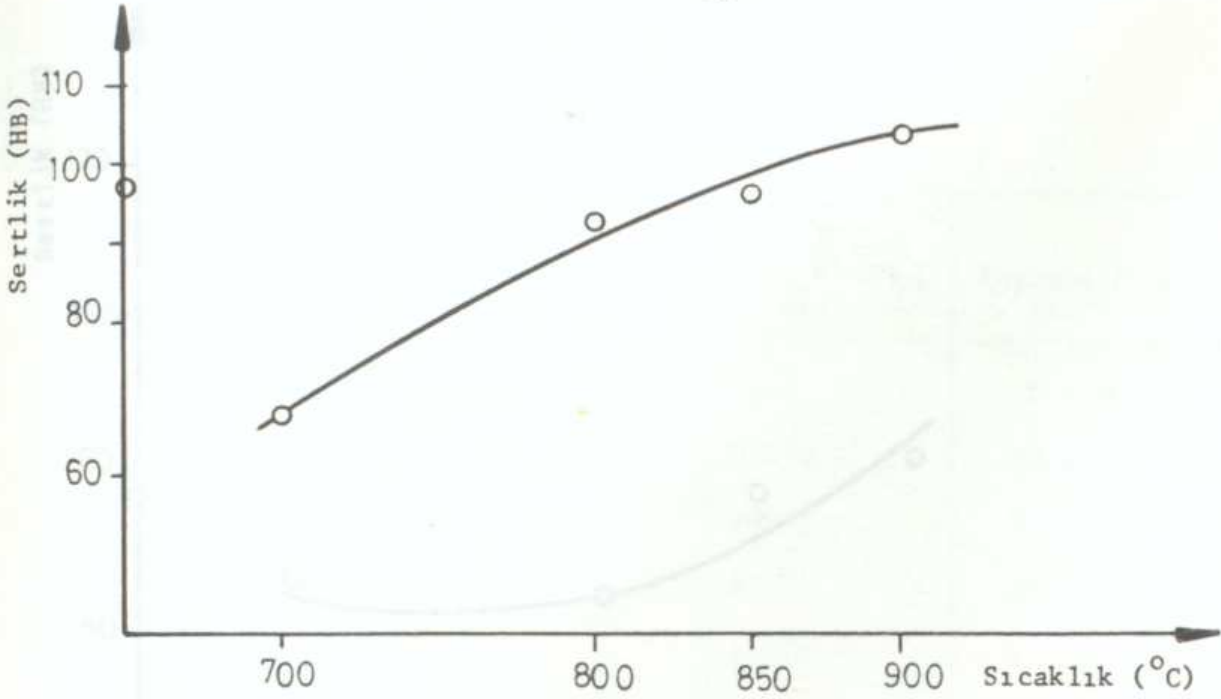


Sekil-3.12 Yaşlandırılmış E(Cu-7Al-5Sn) alaşımının sertliği

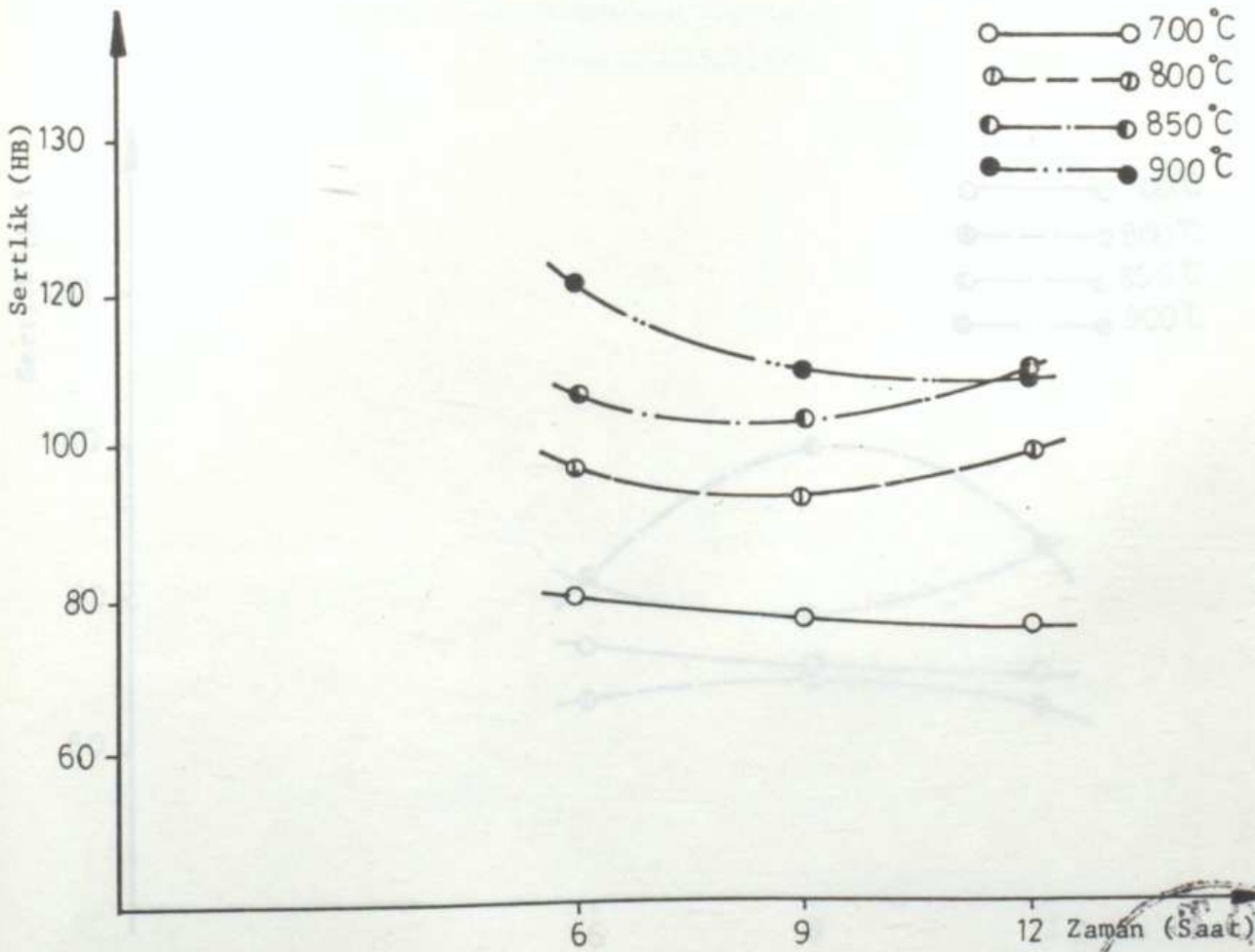


Şekil 3.13 Çözeltiye alınmış F(Cu-7Al-4Sn) alaşıımının sertliği

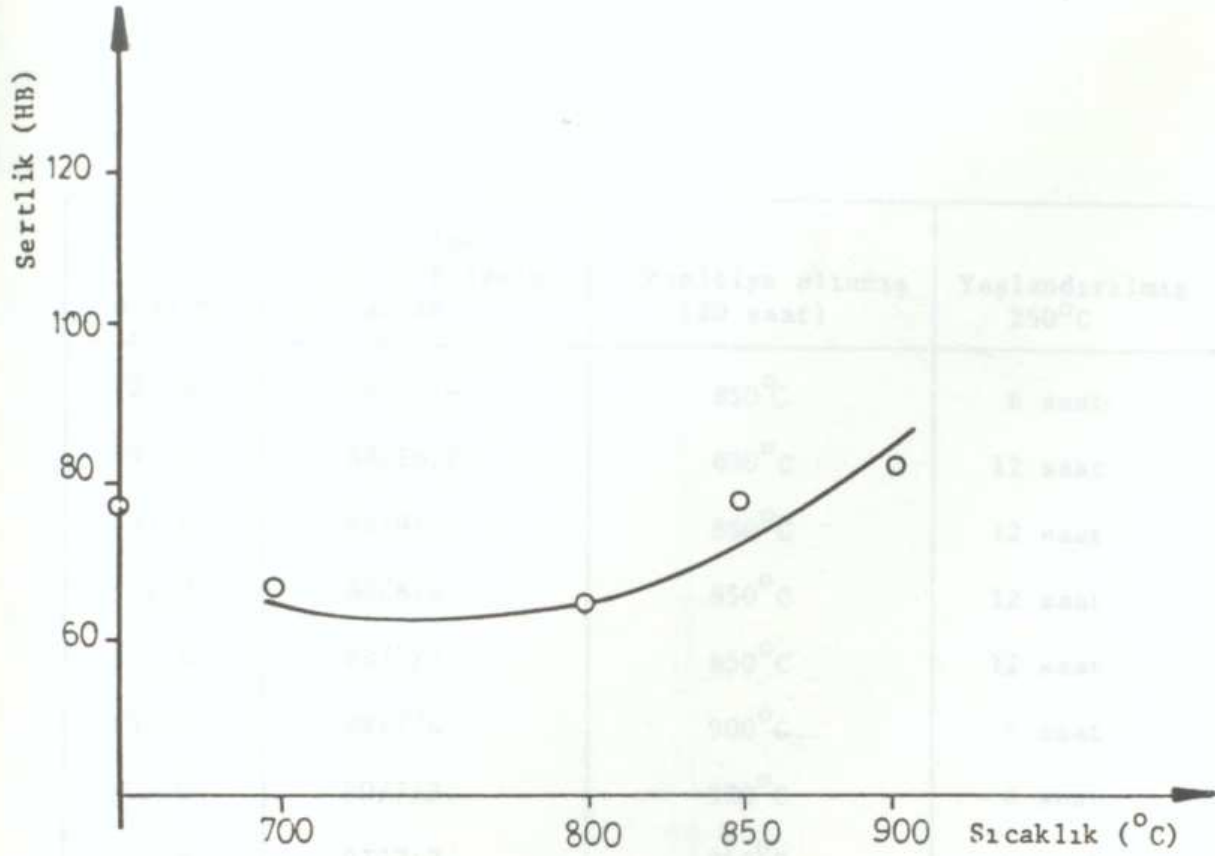




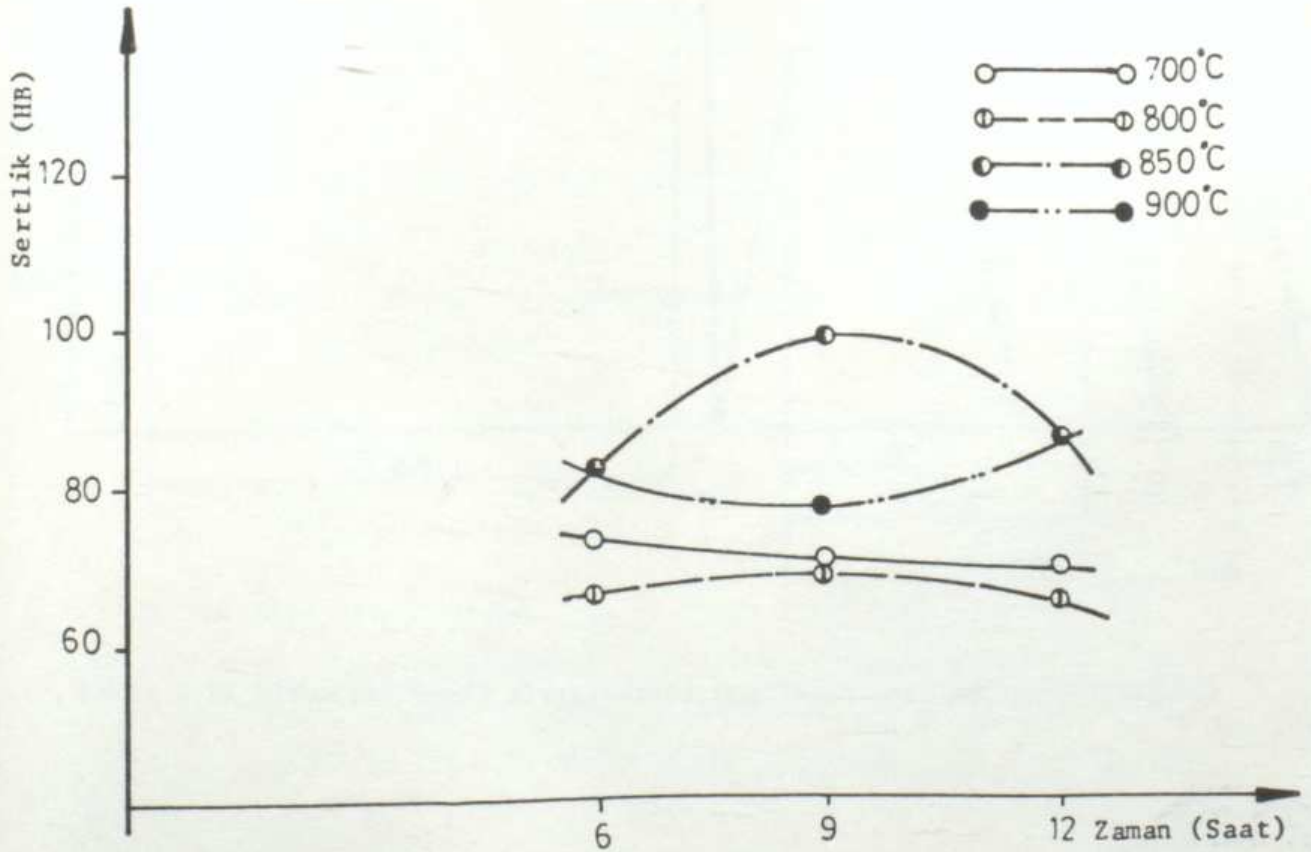
Şekil 3.15. Çözeltiye alınmış G(Cu-7Al-3Sn) alaşımının sertliği



Şekil 3.16. Yaşlandırılmış G(Cu-7Al-3Sn) alaşımının sertliği



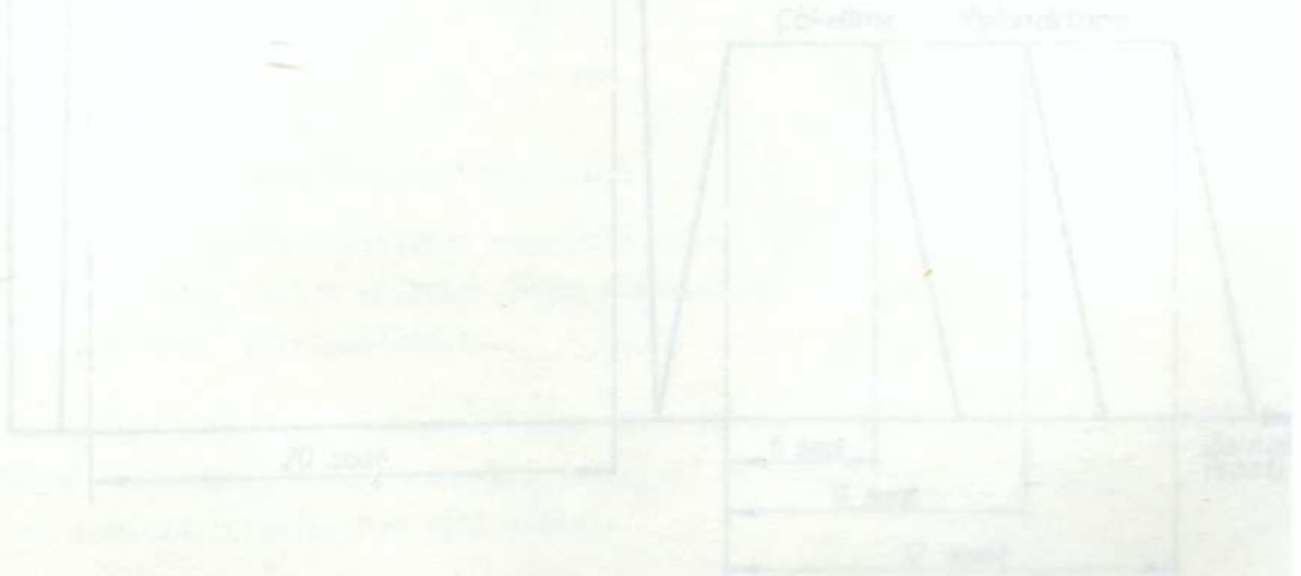
Şekil 3.17 Çözeltiye alınmış H(Cu-7Al-2Sn) alaşımının sertliği



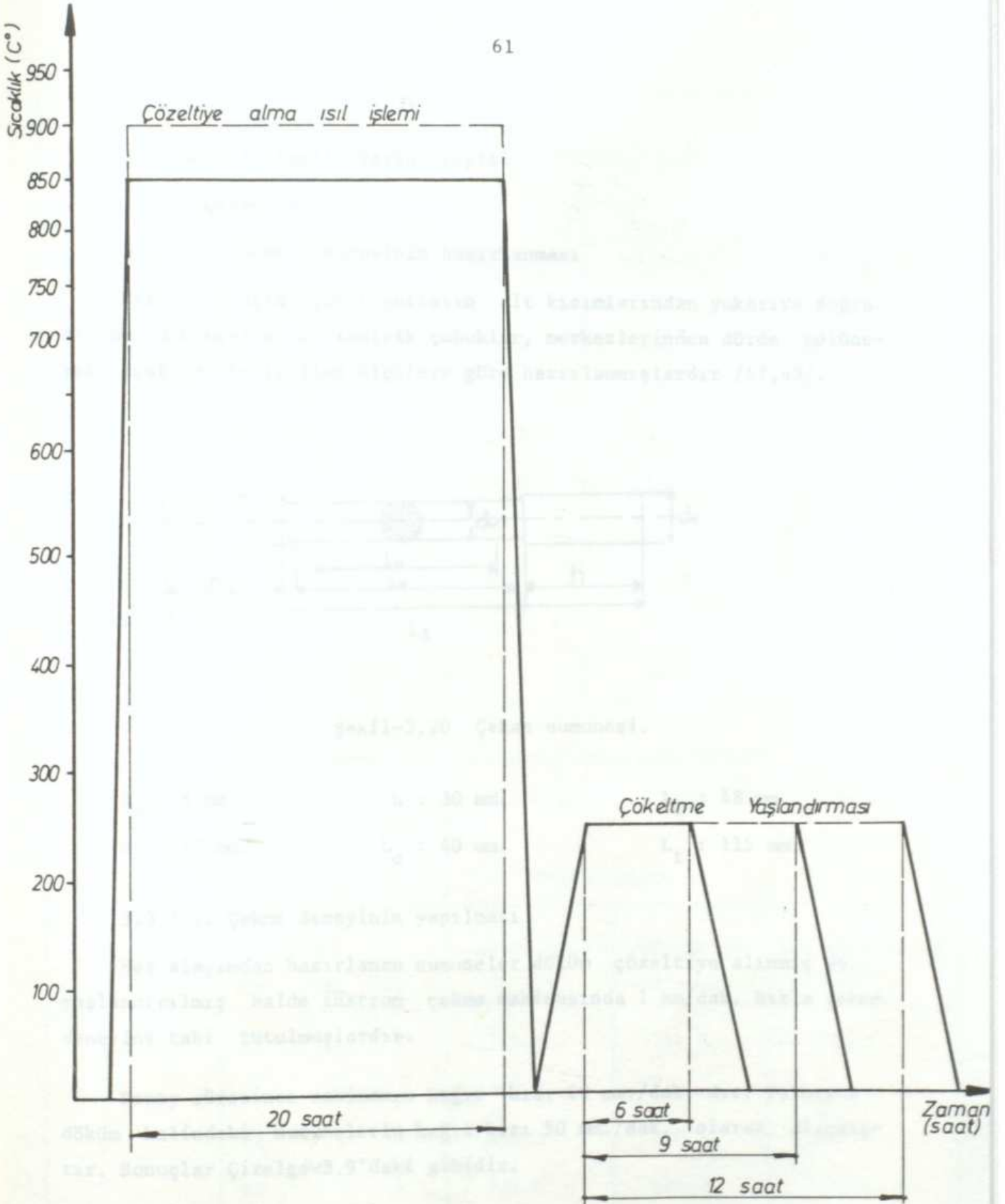
Şekil 3.18 Yaşlandırılmış H(Cu-7Al-2Sn) alaşımının sertliği

Alaşım	Ön Görülen Alaşım Bileşimi Cu/Al/Sn	Çözeltiye alınmış (20 saat)	Yaşlandırılmış 250°C
(8) A	89/11/-	850°C	6 saat
(4) B	88/10/2	850°C	12 saat
(3) C	88/9/3	850°C	12 saat
(2) D	88/8/4	850°C	12 saat
(1) E	88/7/5	850°C	12 saat
(5) F	89/7/4	900°C	6 saat
(6) G	90/7/3	900°C	6 saat
(7) H	91/7/2	850°C	9 saat

Çizelge 3.8 Alaşımlara uygulanan ısııl
işlem sıcaklıkları.



Şekil 3.19 Alaşımların bronz alaşımlarına uygulanan ısııl işlem sıcaklıkları.



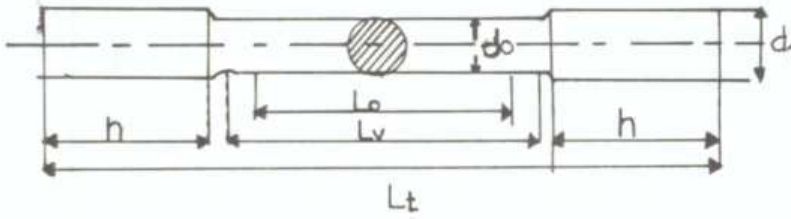
Şekil 3.19 Alüminyum bronz alaşımlarına uygulanan ısısal işlemlerin şeması

3.3. Mekanik Özelliklerin Tespiti

3.3.1. Çekme deneyi

3.3.1.1. Çekme numunesinin hazırlanması

Her bir alaşım için ingotların alt kısımlarından yukarıya doğru 115 mm. den kesilen silindirik çubuklar, merkezlerinden dörde bölünerek aşağıda belirtilen ölçülere göre hazırlanmışlardır /47,48/.



Şekil-3.20 Çekme numunesi.

d_0 : 8 mm.

h : 30 mm.

L_v : 48 mm.

d_1 : 10 mm.

L_0 : 40 mm.

L_t : 115 mm.

3.3.1.2. Çekme deneyinin yapılması

Her alaşımdan hazırlanan numuneler döküm çözeltiye alınmış ve yaşlandırılmış halde instron çekme makinasında 1 mm/dak. hızla çekme deneyine tabi tutulmuşlardır.

Deney süresince makinanın kağıt hızı 20 mm./dak. dır. Yalnızca döküm halindeki numunelerin kağıt hızı 50 mm./dak. olarak alınmıştır. Sonuçlar Çizelge-3.9'daki gibidir.

Elde edilen grafiklerden $L_{0.2}$ akma sınırı tespit edilmiş ve her bir numune için akma gerilmesi hesaplanmıştır. Sonuçlar Çizelge-3.10'da verilmiştir. Bunun yanısıra çekme deneyi sonucunda her numune için kopma uzaması ve % kesit büzülmesi hesaplanmış Çizelge-3.11 ve Çizelge-3.12 'de toplu olarak verilmiştir.

	Ön Görülen Alaşım Bileşimi			Alaşımın Durumu		
Alaşımın Gösterimi	Kütle %			Döküm Hali	Çözeltiliye alınmış	Yaşlandırılmış
	Cu	Al	Sn			
A	89	11	-	119.3	108.5	131.8
B	88	10	2	120	72.4	125
C	88	9	3	116.4	112.1	116
D	88	8	4	130.5	110.7	128.5
E	88	7	5	100.4	110.7	129.5
F	89	7	4	132.5	119.6	161.8
G	90	7	3	93.5	90.3	111.8
H	91	7	2	87.2	82.9	90.8

Çizelge-3.10 Akma mukavemeti değerleri (N/mm²)

	Ön Görülen Alaşım Bileşimi			Alaşım Durumu		
Alaşımın Gösterilmesi	Kütle %			Döküm hali	Çözeltiliye alınmış	Yaşlandırılmış
	Cu	Al	Sn			
A	89	11	-	429.8	344.8	415.7
B	88	10	2	402.6	310.5	368.8
C	88	9	3	409.5	380.5	469.1
D	88	8	4	431.6	449.8	533.9
E	88	7	5	406.5	499.1	478.1
F	89	7	4	381.2	453.6	313.5
G	90	7	3	363.9	441.6	418.8
H	91	7	2	346.8	360.1	318.8

Çizelge-3.9 Çekme mukavemeti değerleri (N/mm²)

	Ön Görülen Alaşım Bileşimi			Alaşım Durumu		
Alaşımın Gösterilmesi	Kütle %			Döküm Hali	Çözeltiliye Alınmış	Yaşlandırılmış
	Cu	Al	Sn			
A	89	11	-	2,7	8.0	6.25
B	88	10	2	9,0	2.8	25.8
C	88	9	3	12,2	1.5	26.5
D	88	8	4	14,0	2.3	27.5
E	88	7	5	12,5	4.3	26.9
F	89	7	4	18,5	5.5	28.0
G	90	7	3	32.5	27.5	17.5
H	91	7	2	50	57.5	31.25

Çizelge 3.11 % δ Değerleri

	Ön Görülen Alaşım Bileşimi			Alaşım Durumu		
Alaşımın Gösterilmesi	Kütle %			Döküm	Çözeltiliye Alınmış	Yaşlandırılmış
	Cu	Al	Sn			
A	89	11	-	0.965	10.849	8.18312
B	88	10	2	9.655	0.719	0.203
C	88	9	3	9.595	2.189	0.0
D	88	8	4	12.46	5.164	0.098672
E	88	7	5	8.14	5.211	1.46
F	89	7	4	6.977	6.299	2.4769
G	90	7	3	24.733	21.696	14.6763
H	91	7	2	32.871	45.519	32.7961

3.3.2. Brinell Sertlik Deneyi

3.3.2.1. Numune hazırlanması

Her alaşım çubuğunun orta kısmına yakın bölgesinden 30 mm. çapında ve 5 mm. kalınlığında dairesel numuneler çıkarılmıştır. Döküm, çözeltiye alınmış ve yaşlandırılmış numunelerin yüzeyleri deney için hazırlanmıştır.

3.3.2.2. Deneyin yapılışı

Aşağıda özellikleri belirtilen Karl Frank markalı cihazda yapılan deney sonucunda elde edilen değerler, Çizelge-3.13 de verilmiştir.

Deney Cihazının Özellikleri :

Etalonaj parçası bilya çapı	: 2.5 mm.
Etalonaj parça sertliği	: 217 HB
Elde edilen iz çapı	: 1.03 mm.
Sertlik değeri	: 215 HB
Yük	: 612.125 N
Bilya çapı	: 2.5 mm.
Yükleme süresi	: 30 s.



Alaşımların Gösterilmesi	Alaşım					
	Kütle %			Döküm	Çözeltiye	Yaşlandırılmış
	Cu	Al	Sn		Alınmış	
A	89	11	-	235.9	108.5	121
B	88	10	2	149.7	251	290
C	88	9	3	139.7	205.75	246
D	88	8	4	129.3	191.5	226
E	88	7	5	133	170	204
F	89	7	4	114.1	157	155.5
G	90	7	3	96.6	62.4	66.6
H	91	7	2	77	138.5	146

Çizelge-3.13 Sertlik değerleri (HB)

Deney Çihazının Özellikleri

Çekicinin en alt kısmındaki çap : 763 mm.

Çekici çapı : 770 mm.

Çekici ağırlığı : 15 kg.

Yükseklik ağırlığı : 101.45°

Yükseklik ağırlığı : 101.45°

İki nokta arası uzaklık : 40 mm.

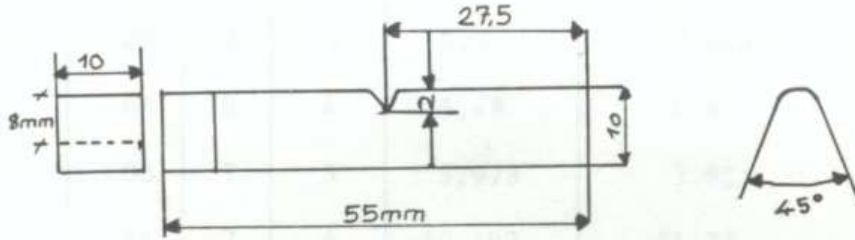
Tekerlek ağırlığı : 15 kg.



3.3.3. Çentik Darbe Deneyi

3.3.3.1. Numune hazırlanması

Deneyde kullanılan numuneler çubukların üst kısımlarına yakın bölgelerinden Iso-Charpy numunesi olarak ikişer adet çıkarılmıştır ve aşağıda verilen ölçülere göre hazırlanmıştır /47/.



Şekil-3.21 Çentik Darbe numunesi

3.3.3.2. Deneyin yapılışı

Hazırlanan numunelerden biri döküm diğeri ise yaşlandırılmış halde oda sıcaklığında Mohr Federhaff AG markalı deney cihazında deneye tabi tutulmuşlardır. Elde edilen sonuçlar Çizelge-3.14 'de verilmiştir. Deney sonrası numune fotoğrafları Şekil-3.22 - 3.25'de görülmektedir.

Deney Cihazının Özellikleri :

Çekicinin azaltılmış çapı	: 765 mm.
Çekiç çapı	: 770 mm.
Çekiç ağırlığı	: 15 kg.
Yükselme açısı	: 161.45°
Kaldırma açısı	: 161.45°
İki mesnet arası uzaklık	: 40 mm.
Tahrik enerjisi	: 15 kg.

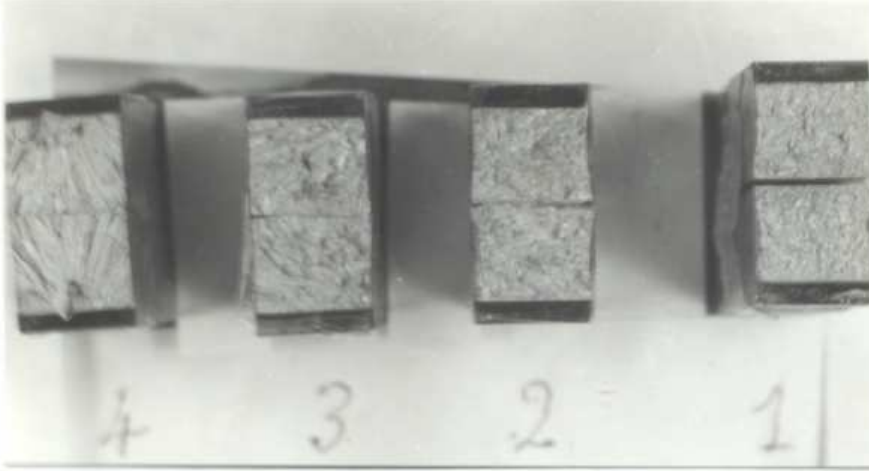


Alaşımın Gösterilmesi	Öngörülen % Bileşim			Alaşım Durumu	
	Cu	Al	Sn	Döküm	Yaşlandırılmış
A	89	11	-	5.978	25.48
B	88	10	2	7.889	2.45
C	88	9	3	9.8	2.842
D	88	8	4	25.48	4.9
E	88	7	5	5.978	3.92
F	89	7	4	10.192	11.27
G	90	7	3	24.99	24.402
H	91	7	2	43.022	125.44

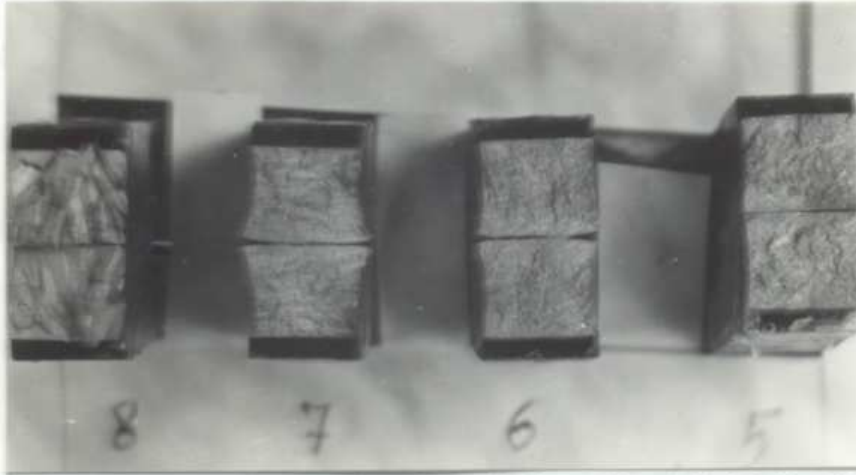
Çizelge-3.14 Çentik darbe mukavemeti değerleri (Nm)



Döküm halindeki Numunelerin Çentik Darbe Mukavemeti Deneyinden Sonraki Fotoğrafları



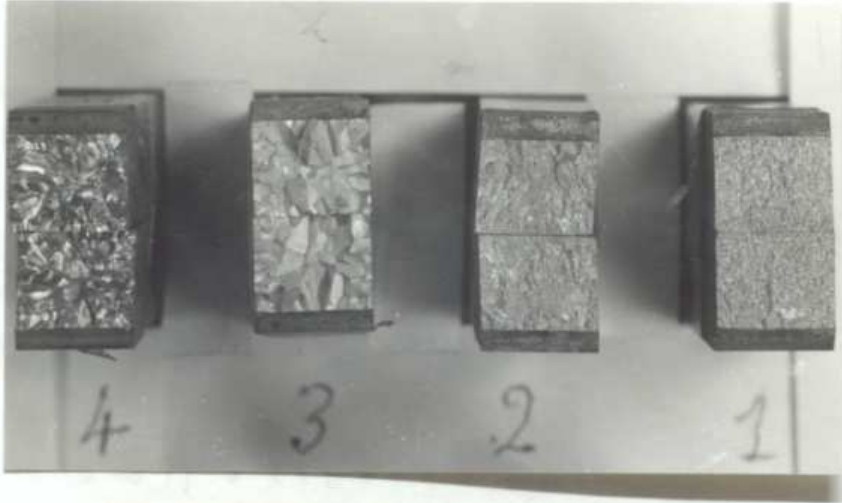
Şekil-3.22 B(Cu-10Al-2Sn), C(Cu-9Al-3Sn), D(Cu-8Al-4Sn), E(Cu-7Al-5Sn) alaşımlarının deney sonrası kırılma yüzeyleri.



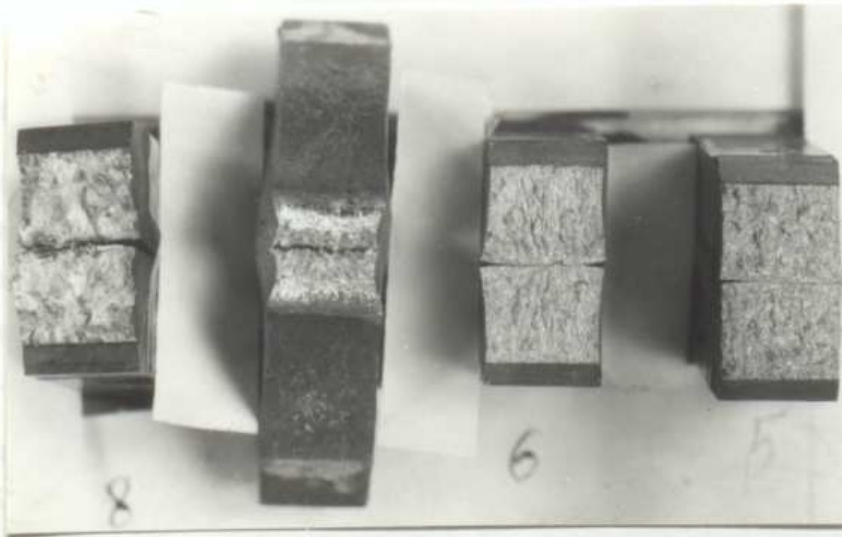
Şekil-3.23 A(Cu-11Al), F(Cu-7Al-4Sn), G(Cu-7Al-3Sn), H(Cu-7Al-2Sn) alaşımlarının deney sonrası kırılma yüzeyleri.



Yaşlanmış Haldeki Numunelerin Çentik Darbe Mukavemeti Deneyinden Sonraki Fotoğrafları



Şekil-3.24 B(Cu-10Al-2Sn), C(Cu-9Al-3Sn), D(Cu-8Al-4Sn), E(Cu-7Al-5Sn) alaşımlarının deney sonrası kırılma yüzeyleri.



Şekil-3.25 A(Cu-11Al), F(Cu-7Al-4Sn), G(Cu-7Al-3Sn), H(Cu-7Al-2Sn) alaşımlarının deney sonrası kırılma yüzeyleri.

3.3.4. Korozyon

3.3.4.1. Korozyon ortamları ve şartları

Kimyasal korozyon deneyleri $25 \pm 1^\circ\text{C}$ de ve 100 saat süre ile yapılmıştır /7/.

Kullanılan korozyon çözeltileri ve çözelti konsantrasyonları literatürden alınmıştır /7,8,49/. Hidroklorik asit (HCl) ve sülfirik asit (H_2SO_4) asit çözeltileri, sodyum hidroksit (NaOH) baz ve sodyum klorür (NaCl) tuz çözeltileri olarak, konsantrasyon ise % 10 seçilmiştir. Deney süresince çözeltiler karıştırılmamış ve buharlaşmanın önlenmesi amacıyla deney kaplarının ağızları kapatılmıştır. Numuneler, korozyon çözeltilerine misinaya geçirilerek daldırılmışlardır.

Gerekli çözelti miktarlarının belirlenmesi için $A = 2 \left[\pi/4 (D^2 - d^2) \right] + t \pi D + t \pi d$ bağıntısından faydalananarak numune alanları hesap edilmiş ve birim alan için 40 ml/cm^2 çözelti esas alınmıştır /50/. Yukarıdaki bağıntıda D: numune çapı, d: delik çapı ve t: numune kalınlığıdır.

Korozyon deneyleri için her alaşımdan ikişer numune hazırlanmıştır.

3.3.4.2. Numune Hazırlanması

Çalışma için dökülen kalaylı ve kalaysız alüminyum bronz alaşımlarının ikinci döküm çubuklarının orta kısımlarından her bir korozyon deneyi için ikişer adet 30 mm. çapında ve 2 mm. kalınlığında silindirik numuneler çıkarılarak kenarlara yakın bir yerden 1 mm. çapında delik delinmiştir.

Numuneler döküm, çözeltiye alınmış ve yaşlandırılmış halde korozyon deneyleri için ayrı ayrı hazırlanmışlardır.

3.3.4.2.1. Döküm halinde

Numuneler 120, 280, 320, 400 ve 600 numaralı su zımparasıyla zımparalanmış ve çuha üzerinde yüzeylerindeki zımpara izleri giderilinceye kadar krom oksit (Cr_2O_3) ile parlatılmışlardır. % 50 metil alkol + % 50

diisopropil eter çözeltisinde yıkanarak yağları giderilmiştir.

Numunelerin çap ve kalınlıkları, ± 0.01 mm. ölçüm hassasiyeti olan Max-Cal marka digital kumpasla ölçülmüştür. Aseton ile yıkanan numuneler havada kurutularak, deney yapılincaya kadar desikatörde saklanmışlardır.

3.3.4.2.2. Çözeltiye alınmış halde

A(Cu-11Al), B(Cu-10Al-2Sn), C(Cu-9Al-3Sn), D(Cu-8Al-4Sn),

E(Cu-7Al-5Sn) ve H(Cu-7Al-2Sn) alaşımlarına ait numuneler 850°C de, F(Cu-7Al-4Sn) ve G(Cu-7Al-3Sn) alaşımlarına ait numuneler ise 900°C de 20 saat bırakıldıktan sonra suda soğutulmuşlardır. 3.3.4.2.1 de anlatıldığı gibi hazırlanan numuneler hemen deneye tabi tutulmuşlardır.

3.3.4.2.3. Yaşlandırılmış halde

Çözeltiye alınmış A(Cu-11Al), F(Cu-7Al-4Sn) ve G(Cu-7Al-3Sn) alaşımlarına ait numuneler 250°C de 9 saat, B(Cu-10Al-2Sn), C(Cu-9Al-3Sn), D(Cu-8Al-4Sn) ve E(Cu-7Al-5Sn) alaşımlarına ait numuneler ise 250°C de 12 saat bırakılarak yaşlandırılmışlardır.

Yaşlandırılan numuneler 3.3.4.2.1'de anlatılan şekilde deney için hazırlanmışlardır.

3.3.4.3. Deneyin Yapılışı

Her alaşıma ait döküm, çözeltiye alınmış ve yaşlandırılmış haldeki numuneler % 10HCl, %10H₂SO₄, % 10NaOH ve % 10NaCl çözeltilerinde ayrı ayrı korozyona uğratılmışlardır.

Önceden deney için hazırlanan numuneler, 0.1 mg. ölçüm hassasiyetindeki elektrikli terazide tartılmış, misinaya geçirilerek gerekli miktarlarda çözelti bulunan 1.5 lt.lik beherlere daldırılmışlardır. Beherlerin ağızları kapaklar ile sıkıca kapatılarak, $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki etüvde 100 saat bırakılmışlardır.

Deney sonunda çözeltilerden çıkarılan numuneler, önce damıtık su-
da sonra asetonda yıkanmış, havada asılarak kurutulmuş ve ilk tartımla-

rı alınmıştır. Temizleme çözeltisi olarak 450 ml. H_2SO_4 (% 98) + 50 ml. damıtık su karışımı hazırlanmıştır /51/. Bu çözelti içerisinde üçer dakika bırakılan her numune, kıl fırça ile fırçalanarak yüzeyindeki korozyon tabakası giderilmeye çalışılmıştır. Aseton ile yıkanıp havada kurutulan numunelerin ikinci tartımları alınmıştır.

Bu işlemler sonunda numune yüzeylerinde kalması muhtemel olan son korozyon tabakasının giderilmesi için numuneler sıvı sabun çözeltisinde tekrar fırçalanarak, damıtık su ile yıkanmışlardır. Aseton ile tekrar yıkanan numuneler havada kurutularak son kez tartılmışlardır.

Her numune için deneyden önceki ve sonraki son tartım değeri dikkate alınarak ağırlık kaybı ve korozyon hızı bulunmuştur. Korozyon hızı $(K \times W) / (A \times T)$ formülünden g/m^2h olarak hesaplanmıştır. Bağlantıda K: sabit değer, W: ağırlık kaybı (g.), T: zaman (saat), A: Alan'ı göstermektedir.

Korozyon çözeltilerinde 100 saat bırakılarak korozyona uğrayan alaşımların ağırlık kayıpları Çizelge-3.15'de, korozyon hızları ise Çizelge-3.16 da toplu olarak verilmiştir.

Alaşım	Alaşım Bileşimi Cu/Al/Sn	Z 10 HCl			Z 10 H ₂ SO ₄			Z 10 NaCl			Z 10 NaOH		
		Döküm	Çözeltiye Alınmış	Yaşlandı- rılmış.	Döküm	Çözeltiye Alınmış	Yaşlandı- rılmış	Döküm	Çözeltiye Alınmış	Yaşlandı- rılmış	Döküm	Çözeltiye Alınmış	Yaşlandı- rılmış
A	89/11/-	0.01393	0.0396	0.0414	0.0107	0.0170	0.0151	0.0076	0.0188	0.0139	0.0076	0.0092	0.0073
B	88/10/2	0.0512	0.0518	0.0559	0.0119	0.0175	0.0172	0.0170	0.0146	0.0146	0.0086	0.0122	0.0094
C	88/9/3	0.0571	0.0578	0.0578	0.0135	0.0143	0.0130	0.0176	0.0202	0.0176	0.01165	0.0135	0.0089
D	88/8/4	0.0573	0.0580	0.0563	0.0153	0.0121	0.0177	0.0168	0.0212	0.0208	0.0094	0.0099	0.0089
E	88/7/5	0.0621	0.0542	0.0575	0.0196	0.0176	0.0189	0.0208	0.0187	0.0211	0.0109	0.0119	0.0106
F	89/7/4	0.05959	0.0607	0.0640	0.0189	0.0155	0.0162	0.0190	0.0226	0.0211	0.0097	0.0101	0.0107
G	90/7/3	0.06157	0.0738	0.0626	0.0177	0.0155	0.0183	0.020	0.021	0.0178	0.0090	0.0133	0.010
H	91/7/2	0.0614	0.0599	0.0641	0.0231	0.0315	0.0345	0.02122	0.0149	0.0162	0.0102	0.0122	0.0121

Çizelge-3.15 Alaşımların Korozyon Çözeltiilerindeki Toplam Ağırlık Kayıpları. (W(g))



Araştırma Bileşimi Cu-Al-Sn	% 10 HCl Çözeltisinde				% 10 H ₂ SO ₄ Çözeltisinde				% 10 NaOH Çözeltisinde				% 10 NaCl Çözeltisinde			
	Döküm	Çözeltiye Alınmış	Yaşlandı- rılmış	Döküm	Çözeltiye Alınmış	Yaşlandı- rılmış	Döküm	Çözeltiye Alınmış	Yaşlandı- rılmış	Döküm	Çözeltiye Alınmış	Yaşlandı- rılmış	Döküm	Çözeltiye Alınmış	Yaşlandı- rılmış	Döküm
A	406.47092 401.12618 Ort.	1281.1061 1246.9272 Ort.	1346.0833 1375.7268 Ort.	339.15295 331.16224 Ort.	558.94096 526.50639 Ort.	529.80618 447.57606 Ort.	239.66583 239.00829 Ort.	318.82814 268.76990 Ort.	226.32492 253.7716 Ort.	238.76141 238.73381 Ort.	538.22106 662.41869 Ort.	434.7726 455.2426 Ort.	238.76141 238.73381 Ort.	538.22106 662.41869 Ort.	434.7726 455.2426 Ort.	238.76141 238.73381 Ort.
B	1737.805 1672.3614 Ort.	1767.7553 1539.1916 Ort.	1861.8349 1791.1564 Ort.	381.48461 365.87677 Ort.	566.19406 540.69424 Ort.	574.1744 532.06158 Ort.	271.25025 270.53519 Ort.	370.17205 409.17158 Ort.	265.03335 354.62413 Ort.	527.22039 528.08733 Ort.	595.60846 323.41478 Ort.	474.56097 456.76295 Ort.	527.22039 528.08733 Ort.	595.60846 323.41478 Ort.	474.56097 456.76295 Ort.	527.22039 528.08733 Ort.
C	1695.9537 1666.5839 Ort.	1826.5014 1846.8056 Ort.	1875.5307 1856.7747 Ort.	423.61504 420.03768 Ort.	431.30624 472.8344 Ort.	378.73505 427.44422 Ort.	360.66242 364.51959 Ort.	462.16748 390.69565 Ort.	315.63086 240.68993 Ort.	550.47341 555.56041 Ort.	651.59108 624.18234 Ort.	551.66431 562.30426 Ort.	550.47341 555.56041 Ort.	651.59108 624.18234 Ort.	551.66431 562.30426 Ort.	550.47341 555.56041 Ort.
D	1792.2954 1782.5836 Ort.	1784.7593 1873.5146 Ort.	1762.0467 1905.2115 Ort.	499.54093 488.16424 Ort.	343.87186 416.13415 Ort.	638.6520 499.0010 Ort.	294.92583 292.73695 Ort.	300.0 319.86994 Ort.	298.71992 273.91501 Ort.	519.55185 522.37572 Ort.	652.94765 676.20195 Ort.	654.06334 676.57099 Ort.	519.55185 522.37572 Ort.	652.94765 676.20195 Ort.	654.06334 676.57099 Ort.	519.55185 522.37572 Ort.
E	1923.1530 1920.0527 Ort.	1815.8901 1601.1229 Ort.	1894.0721 1825.2824 Ort.	656.4260 655.38644 Ort.	592.62958 515.09253 Ort.	598.0356 592.1110 Ort.	337.4555 345.28219 Ort.	346.6005 414.49007 Ort.	337.68996 338.77829 Ort.	652.15374 650.99480 Ort.	591.70443 581.40007 Ort.	689.08838 647.50065 Ort.	652.15374 650.99480 Ort.	591.70443 581.40007 Ort.	689.08838 647.50065 Ort.	652.15374 650.99480 Ort.
F	1827.4310 1885.7896 Ort.	1970.7808 1845.2095 Ort.	2062.9223 2074.5107 Ort.	616.18014 633.59783 Ort.	488.50491 489.75548 Ort.	476.22897 538.51240 Ort.	311.11631 304.37902 Ort.	351.63138 291.67311 Ort.	363.54916 317.10757 Ort.	588.47105 590.68618 Ort.	731.58703 692.71310 Ort.	655.39511 660.69819 Ort.	588.47105 590.68618 Ort.	731.58703 692.71310 Ort.	655.39511 660.69819 Ort.	588.47105 590.68618 Ort.
G	1856.6103 2005.9822 Ort.	1907.9952 2461.5853 Ort.	2068.7165 2104.482 Ort.	624.8830 547.41804 Ort.	489.1252 464.32829 Ort.	507.37069 546.17982 Ort.	307.74767 295.76527 Ort.	321.65225 453.70904 Ort.	340.32837 347.08541 Ort.	589.57862 620.74325 Ort.	712.15007 618.19512 Ort.	658.04665 579.1219 Ort.	589.57862 620.74325 Ort.	712.15007 618.19512 Ort.	658.04665 579.1219 Ort.	589.57862 620.74325 Ort.
H	2036.2797 1953.8712 Ort.	1843.8022 1927.9705 Ort.	1991.9154 2141.8181 Ort.	763.86111 685.03266 Ort.	971.69362 1007.5909 Ort.	1031.8630 1149.4398 Ort.	327.05904 335.53669 Ort.	385.63808 381.02877 Ort.	403.90467 365.7776 Ort.	662.84728 662.21407 Ort.	476.60347 458.2353 Ort.	327.05904 335.53669 Ort.	662.84728 662.21407 Ort.	476.60347 458.2353 Ort.	327.05904 335.53669 Ort.	662.84728 662.21407 Ort.
I	1995.0755 1885.8864 Ort.	1885.8864 1885.8864 Ort.	2066.9430 2066.9430 Ort.	724.44689 724.44689 Ort.	989.64226 989.64226 Ort.	1090.6514 1090.6514 Ort.	331.29787 331.29787 Ort.	383.33343 383.33343 Ort.	384.84114 384.84114 Ort.	662.53068 662.53068 Ort.	517.41938 517.41938 Ort.	331.29787 331.29787 Ort.	662.53068 662.53068 Ort.	517.41938 517.41938 Ort.	331.29787 331.29787 Ort.	662.53068 662.53068 Ort.

Çizelge-3.16 Çalışma için dökülen alüminyum bronzlarının korozyon hızları (g/m².h)

3.3.5. Çözeltiilerde Elementer Bakır Tayini

Korozyon çökeltiilerinde korozyona uğrayan alaşımların çözeltiilerdeki elementer bakır tayini, 2 ppm. e ayarlı Rank Hilger Atomspek HI 550 markalı atomik absorbsiyon cihazında yapılmıştır. Korozyon deneyleri sonunda çözeltiilerde bakır, alüminyum ve kalay iyonları bulunmaktadır. Ancak bakır ve kalaya göre daha aktif olan alüminyum, çözeltiye geçen bakır ve kalay iyonlarının çökmesine neden olmaktadır /49/. Çözeltide çok düşük oranlarda bulunan kalay ve alüminyum iyonlarının tayini, kantitatif metot ve atomik absorbsiyon cihazı ile yapılmaya çalışılmış ancak sonuç alınamamıştır.

Elde edilen elementer bakır miktarları Çizelge-3.17'de verilmiştir.

3.3.6. Metalografik İnceleme

3.3.2.1'de anlatıldığı gibi alaşım çubuklarından çıkarılan numuneler döküm, çözeltiye alınmış ve yaşlandırılmış halde iken yüzeyleri parlatılmış, FeCl_3 (10 g. FeCl_3 + 30 ml. HCl + 120 ml. damıtık su) ayırıcı ile dağlanarak, mikroyapı fotoğrafları çekilmiştir /52/.

Korozyon deneylerinden sonra numunelerin yüzeyleri dağlanmadan mikroyapıları çekilmiştir. Mikroyapı fotoğrafları Şekil-3.25 - 3.145-de verilmiştir.

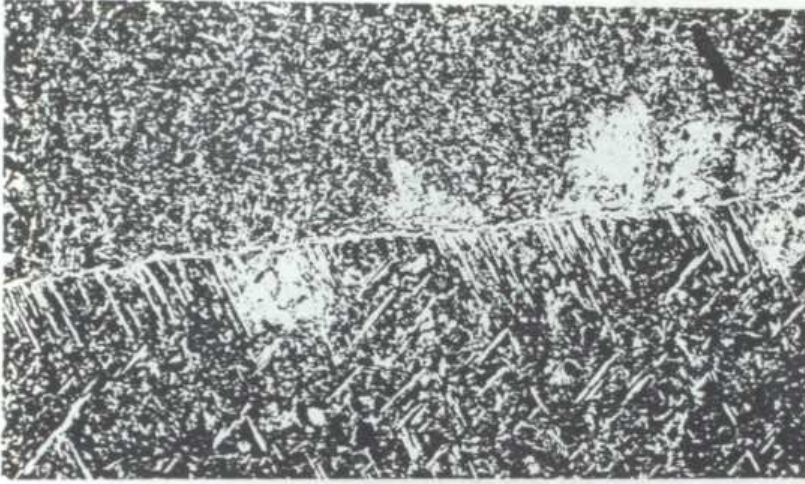


Alaşım ve Alaşım Bileşimi Cu/Al/Sn	1 10 HCl Çözeltisi						1 10 H ₂ SO ₄ Çözeltisi					
	Döküm		Çözeltiye Alınmış		Yağlandırılmış		Döküm		Çözeltiye Alınmış		Yağ	
	Atomik		Atomik		Atomik		Atomik	Hesap	Atomik		Atomik	Absor
	Absorbsiyonla	Hesap ile	Absorbsiyonla	Hesap ile	Absorbsiyonla	Hesap ile	Absorbsiyonla	ile	Absorbsiyonla	Hesap ile	Absorbsiyonla	Absor
A	0.020108	0.01393	0.0373394	0.0396	0.035293	0.0414	0.00110606	0.0107	0.0102746	0.0170	0.0102746	0.0170
B	0.0700476	0.0312	0.0474887	0.0518	0.044064	0.0559	0.00189783	0.01195	0.0073394	0.0175	0.0073394	0.0175
C	0.070035	0.0571	0.0538852	0.0578	0.04770153	0.0578	0.0017664	0.0135	0.0041492	0.0143	0.0041492	0.0143
D	0.0698775	0.0573	0.053382	0.0580	0.047278	0.0563	0.001748	0.0153	0.00226772	0.0121	0.00226772	0.0121
E	0.098192	0.0621	0.053288	0.0542	0.047006	0.0575	0.00260208	0.0196	0.00518568	0.0176	0.00518568	0.0176
F	0.082689	0.05959	0.0533387	0.0607	0.0310056	0.0640	0.0042846	0.0189	0.00806448	0.0155	0.00806448	0.0155
G	0.0845926	0.06157	0.0683264	0.0738	0.050881	0.0626	0.0044303	0.0177	0.00549072	0.0155	0.00549072	0.0155
H	0.0638428	0.0614	0.055626	0.0599	0.0562173	0.0641	0.025976	0.0231	0.033776933	0.0315	0.033776933	0.0315

Çizelge-3.17 Alaşımın korozyon çözeltilerindeki elementer bakır miktarları (g)

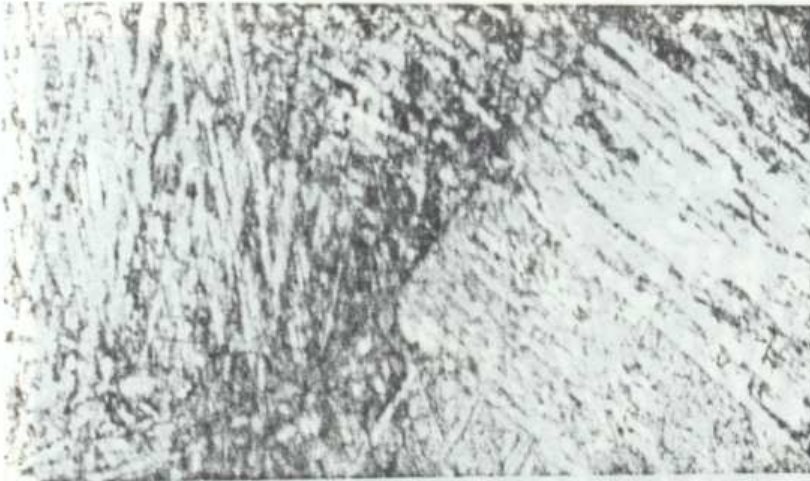
Hesap ile	10 NaOH Çözeltisinde						10 NaCl Çözeltisinde					
	Döküm		Çözeltiye Alınmış		Yağlandırılmış		Döküm		Çözeltiye Alınmış		Yağlandırılmış	
	Atomik	Hesap	Atomik	Hesap	Atomik	Hesap ile	Atomik	Hesap	Atomik	Hesap	Atomik	Hesap ile
	Absorbsiyon	ile	Absorbsiyon	ile	Absorbsiyon	Hesap ile	Absorbsiyon	ile	Absorbsiyonla	ile	Absorbsiyonla	Hesap ile
0.0151	0.005733	0.0076	0.0052584	0.0092	0.00428032	0.0073	0.0055506	0.0076	0.01647632	0.0188	0.01140753	0.0151
0.0172	0.006270	0.0086	0.00373096	0.0122	0.0042435	0.0094	0.015368	0.0170	0.02061216	0.0146	0.01374384	0.0172
0.0130	0.0069264	0.01165	0.00443984	0.0135	0.00430752	0.0089	0.01705848	0.0176	0.020272	0.0202	0.0128928	0.0130
0.0177	0.005662128	0.0094	0.0034506	0.0099	0.00375688	0.0089	0.01415688	0.0168	0.01796608	0.0212	0.0145116	0.0177
0.0189	0.005745	0.0109	0.0033723	0.0119	0.003762	0.0106	0.0216294	0.0208	0.015249	0.0187	0.01556016	0.0189
0.0162	0.00610512	0.0097	0.00449648	0.0101	0.004403	0.0107	0.01835328	0.0190	0.02025324	0.0226	0.01170096	0.0162
0.0183	0.006303	0.0090	0.00586116	0.0133	0.00470752	0.010	0.017700	0.020	0.02108804	0.0210	0.01328864	0.0183
0.0345	0.0062592	0.0102	0.00412452	0.0122	0.00473008	0.0121	0.01753224	0.02122	0.020349	0.0149	0.0121152	0.0345

A(Cu-11Al) Alaşımına Ait Mikroyapı Fotoğrafları



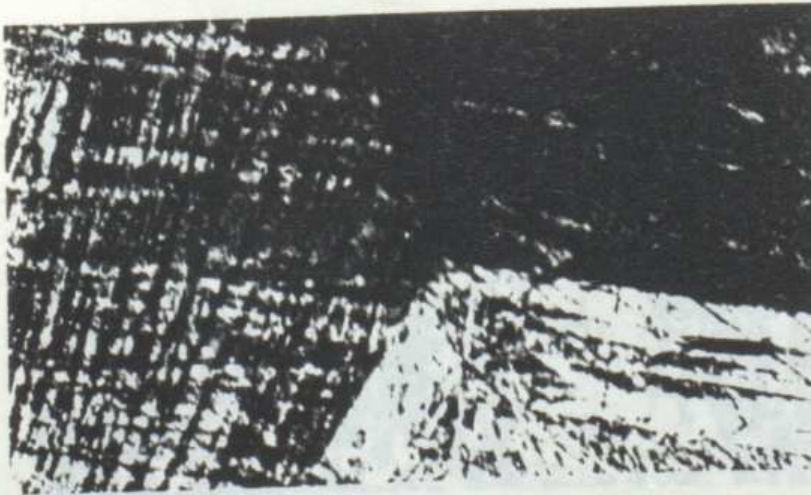
Şekil-3.26 Döküm yapısı

X100



Şekil-3.27 850°C de 20 saat tutulduktan sonra suda soğutulmuş yapı

X100

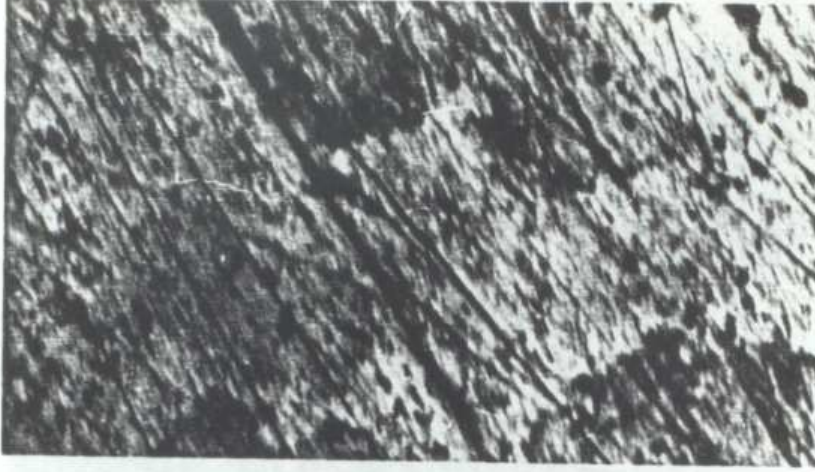


Şekil-3.28 250°C de 6 saat bekletilmiş yapı

X100

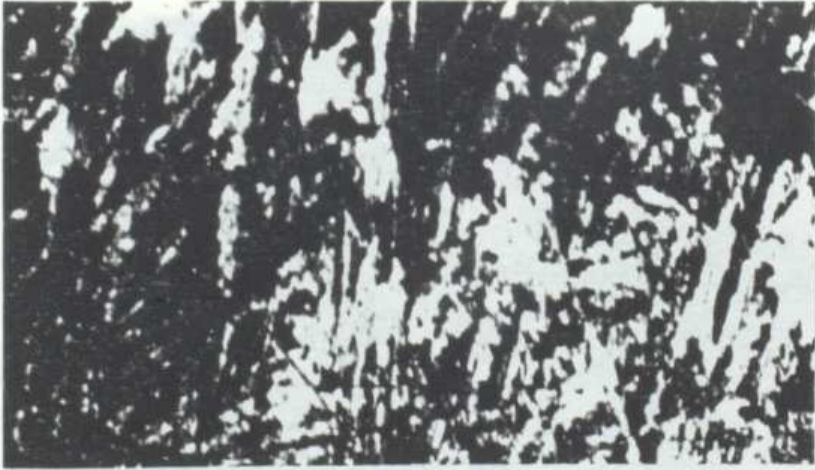


A(Cu-11Al) alaşımının %10 lik HCl çözeltisindeki korozyon sonrası yapıları.



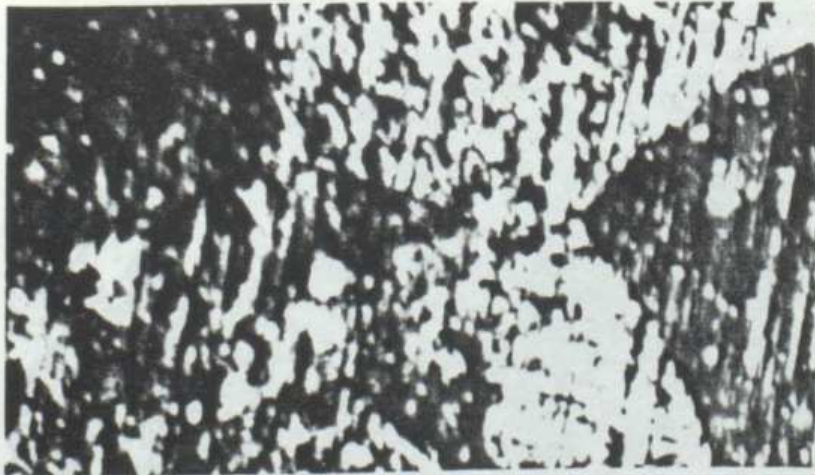
Sekil-3.29 Döküm yapısı

X100



Sekil-3.30 Çözeltiye alınmış alaşımın yapısı

X100

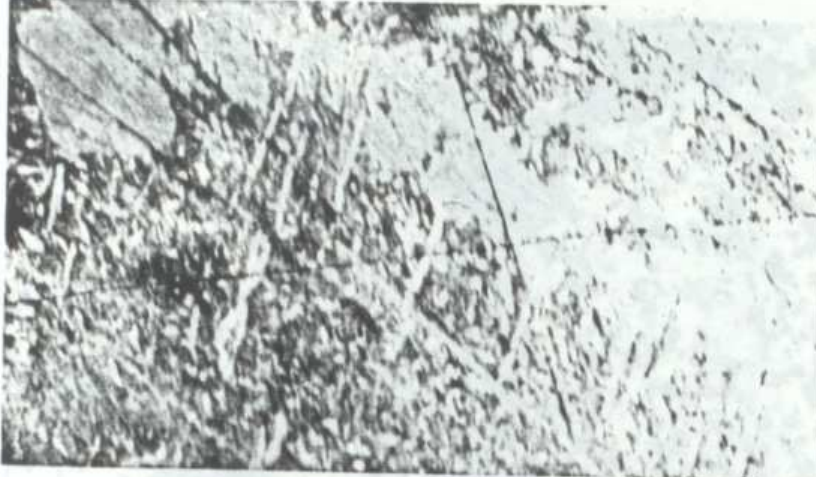


Sekil-3.31 Yaşlandırılmış alaşımın yapısı

X100

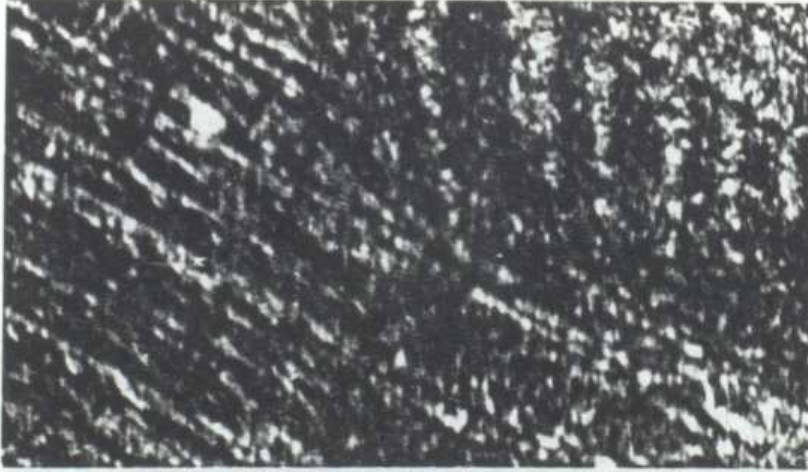


A(Cu-11Al) alaşımının %10 H₂SO₄ çözeltisindeki korozyon sonrası yapıları



Şekil-3.32 Döküm yapısı

X100



Şekil-3.33 Çözeltiye alınmış alaşımın yapısı

X100

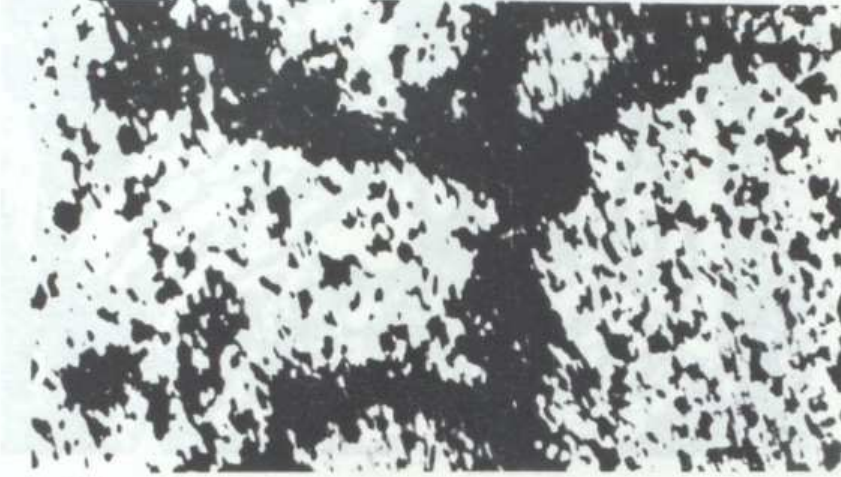


Şekil-3.34 Yaşlandırılmış alaşımın yapısı

X100

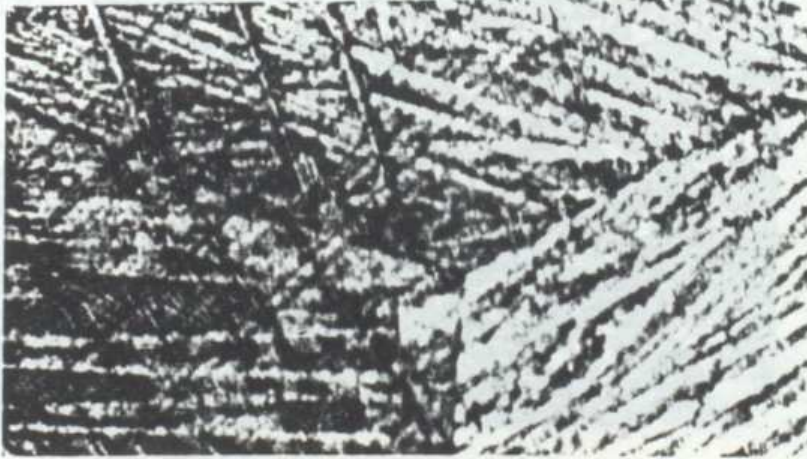


A(Cu-11Al) alaşımının %10 NaOH çözeltisindeki korozyon sonrası yapıları.



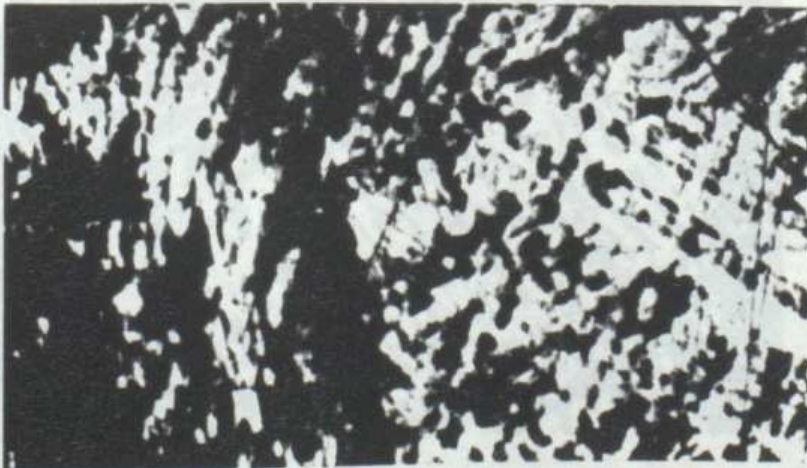
Şekil-3.35 Döküm yapısı

X100



Şekil-3.36 Çözeltiye alınmış alaşımın yapısı

X100

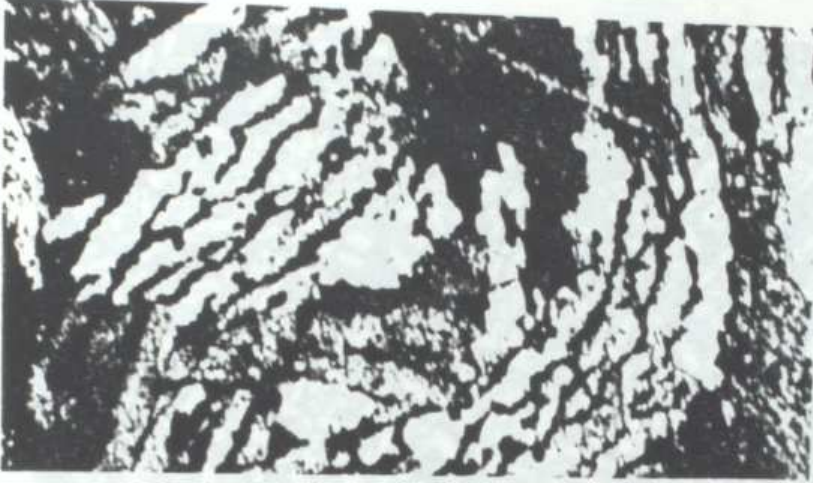


Şekil-3.37 Yaşlandırılmış alaşımın yapısı

X100

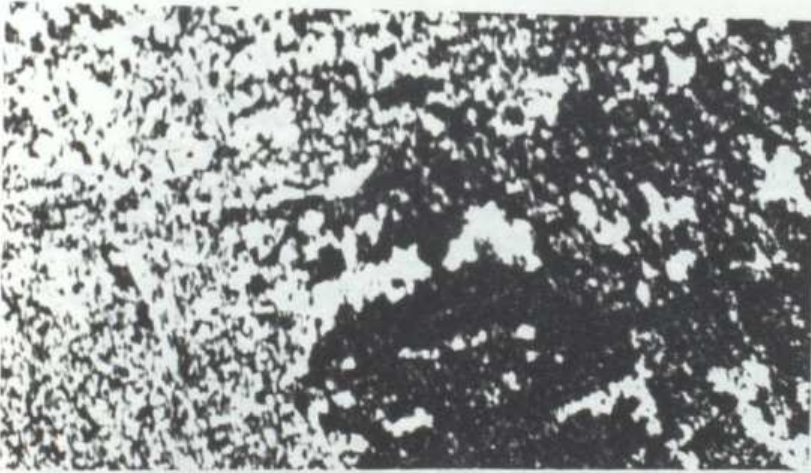


A(Cu-11Al) alaşıminın %10 NaCl çözeltisindeki korozyon sonrası yapıları.



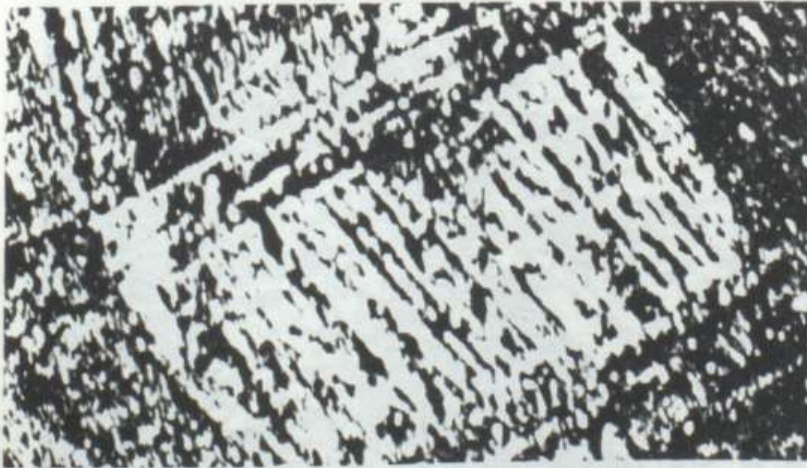
Şekil-3.38 Döküm yapısı

X100



Şekil-3.39 Çözeltiye alınmış alaşımın yapısı

X100

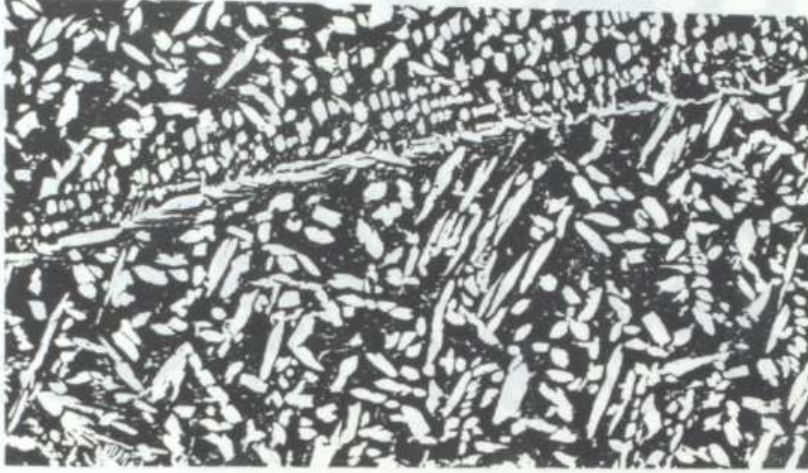


Şekil-3.40 Yaşlandırılmış alaşımın yapısı

X100

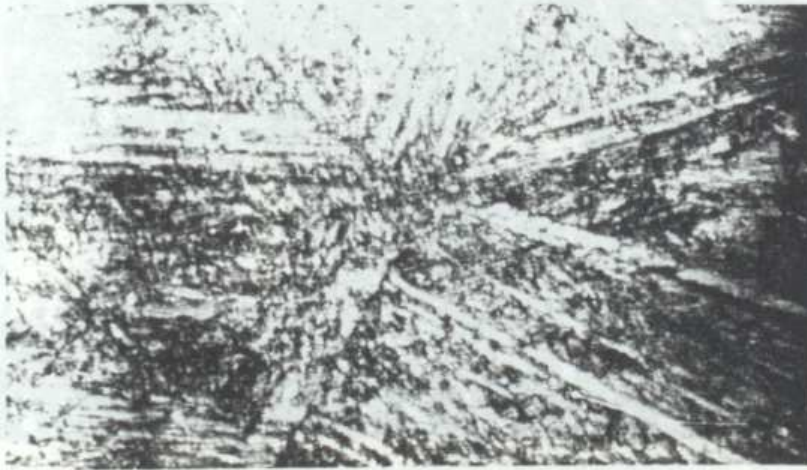


B(Cu-10Al-2Sn) alaşıma ait mikroyapı fotoğrafları.



Şekil-3.41 Döküm yapısı

X100



Şekil-3.42 850°C de 20 saat tutularak suda soğutulmuş yapı X100



Şekil-3.43 250°C de 12 saat bekletilmiş yapı. X100

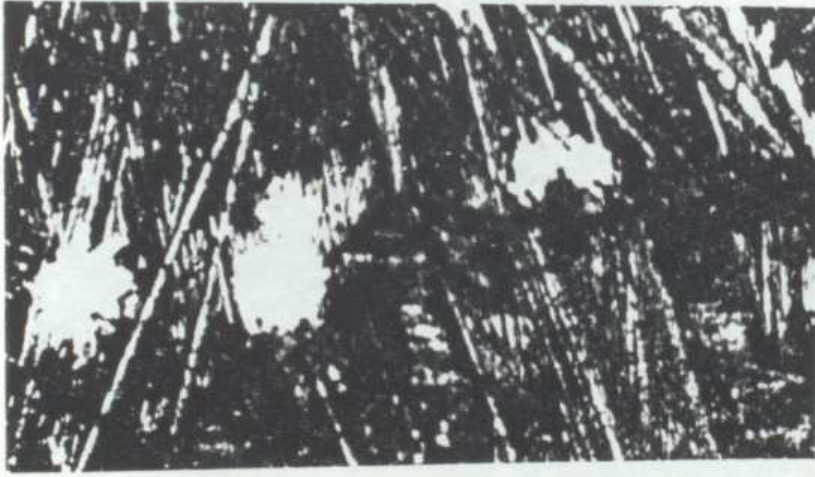


B(Cu-10Al-2Sn) alaşımlarının %10 HCl çözeltisindeki korozyon sonrası yapıları



Şekil-3.44 Döküm yapısı

X100



Şekil-3.45 Çözeltiye alınmış alaşımın yapısı

X100



Şekil-3.46 Yaşlandırılmış alaşımın yapısı

X100

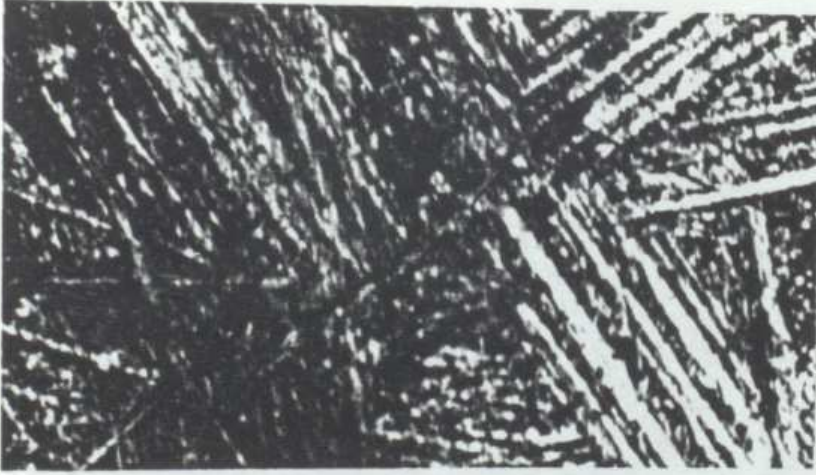


B(Cu-10Al-2Sn) alaşımlarının %10 H_2SO_4 çözeltisindeki korozyon sonrası yapıları.



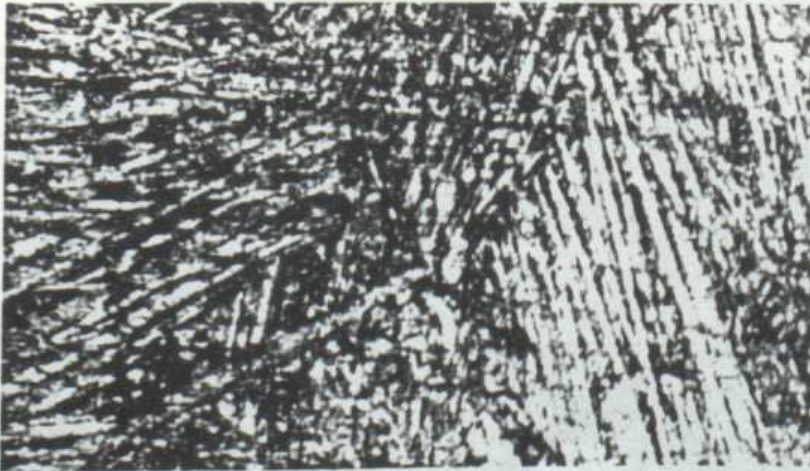
Şekil-3.47 Döküm yapısı

X100



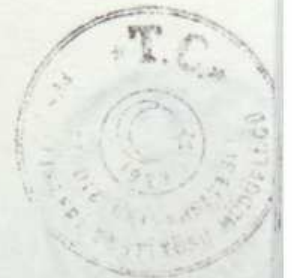
Şekil-3.48 Çözeltiye alınmış alaşımın yapısı

X100

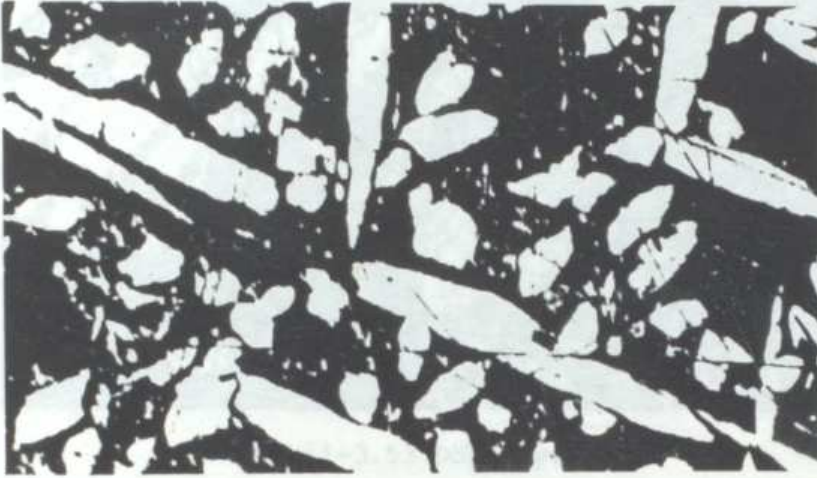


Şekil-3.49 Yaşlandırılmış alaşımın yapısı

X100

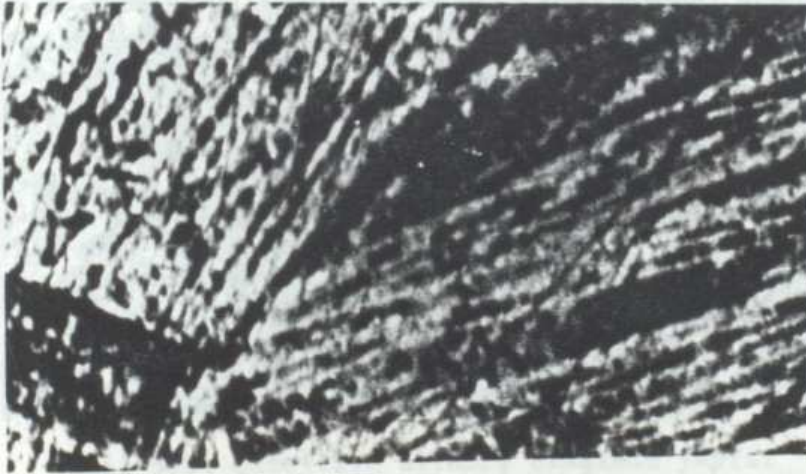


B(Cu-10Al-2Sn) alaşımının %10 NaOH çözeltisindeki korozyon sonrası yapıları



Şekil-3.50 Döküm yapısı

X100



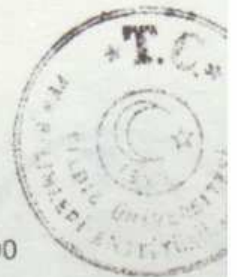
Şekil-3.51 Çözeltiye alınmış alaşımın yapısı

X100

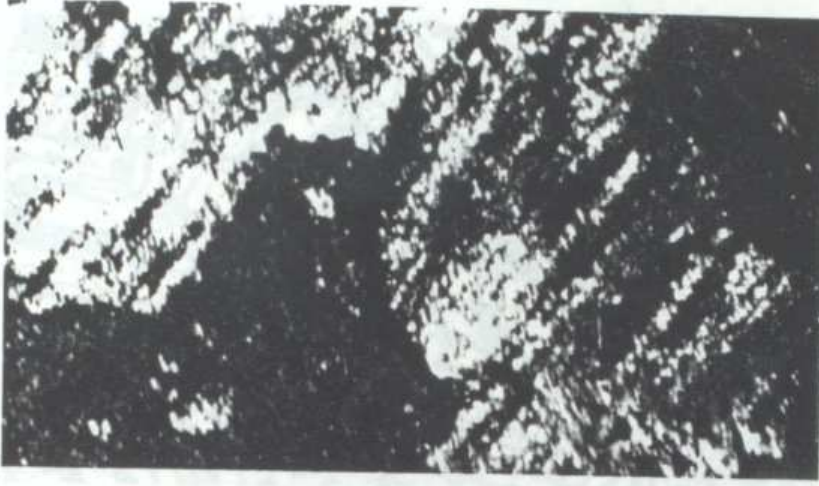


Şekil-3.52 Yaşlandırılmış alaşımın yapısı

X100

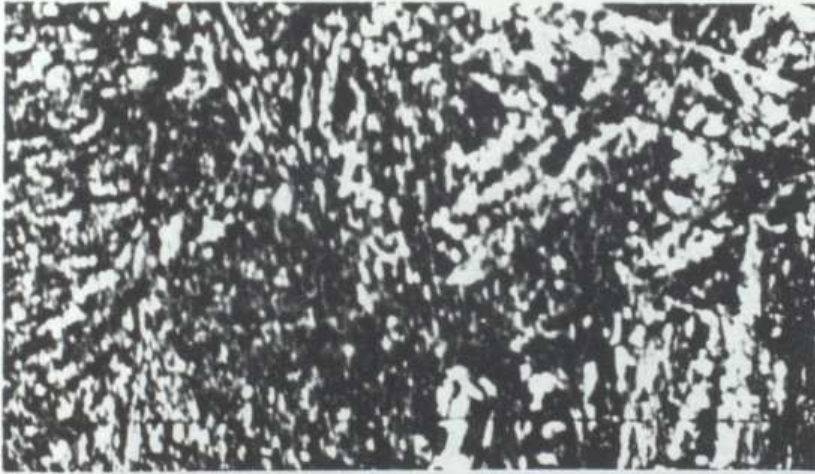


B(Cu-10Al-2Sn) alaşımlarının %10 NaCl çözeltisindeki korozyon sonrası yapıları



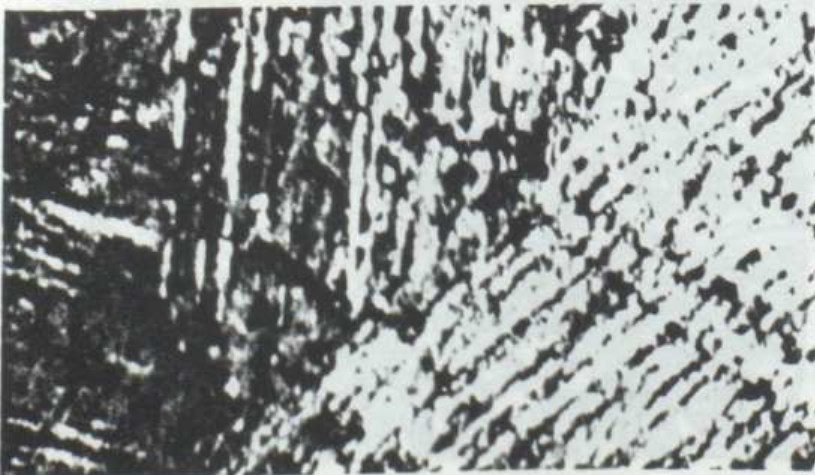
Şekil-3.53 Döküm yapısı

X100



Şekil-3.54 Çözeltiye alınmış alaşımın yapısı

X100

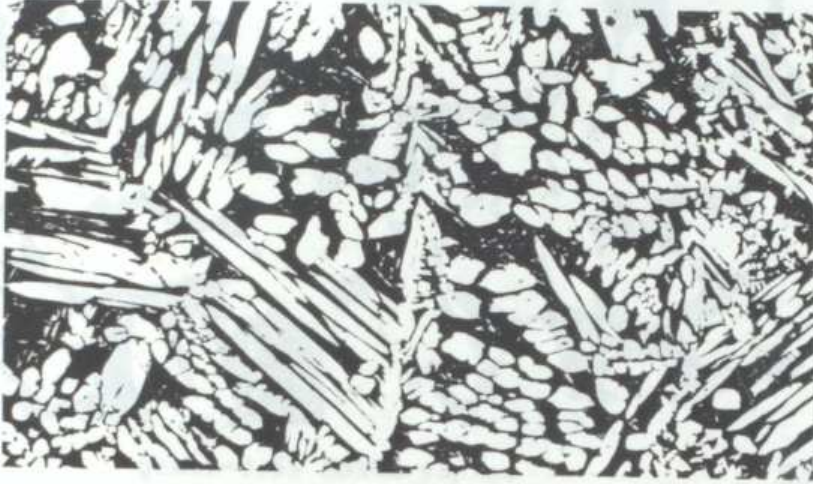


Şekil-3.55 Yaşlandırılmış alaşımın yapısı.

X100



C(Cu-9Al-3Sn) alaşımına ait mikroyapı fotoğrafları.



Şekil-3.56 Döküm yapısı

X100



Şekil-3.57 850°C de 20 saat tutma suda soğutulmuş yapı. X100

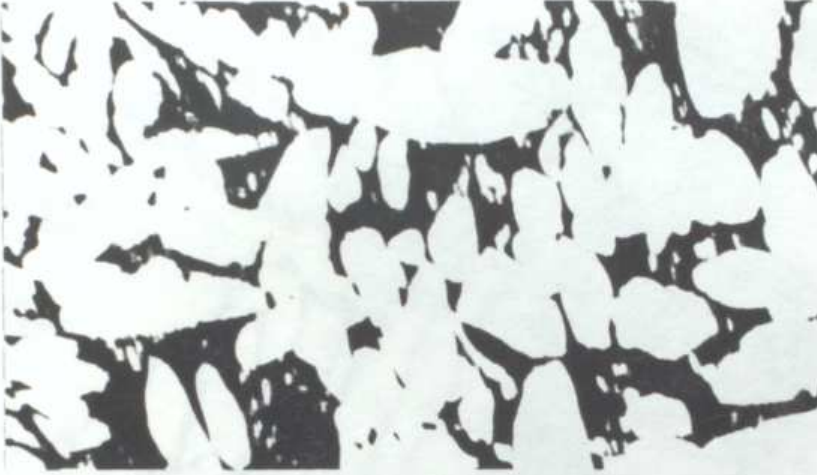


Şekil-3.58 250°C de 12 saat bekletilmiş yapı

X100

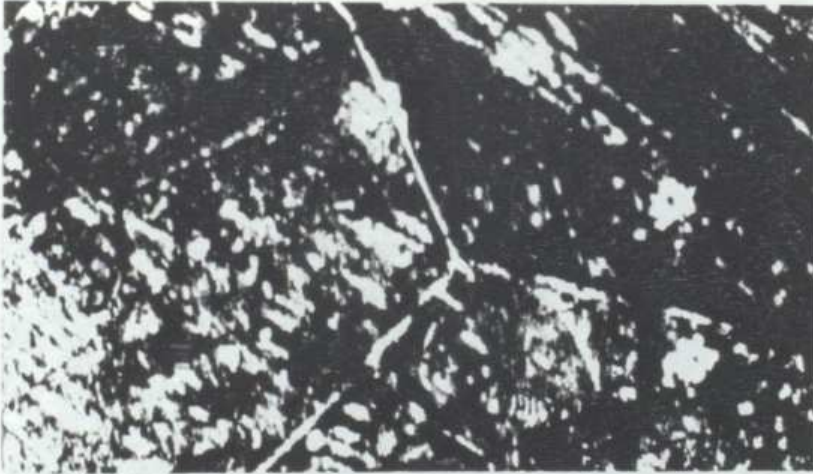


C(Cu-9Al-3Sn) alaşımlarının %10 HCl çözeltisindeki korozyon sonrası yapıları



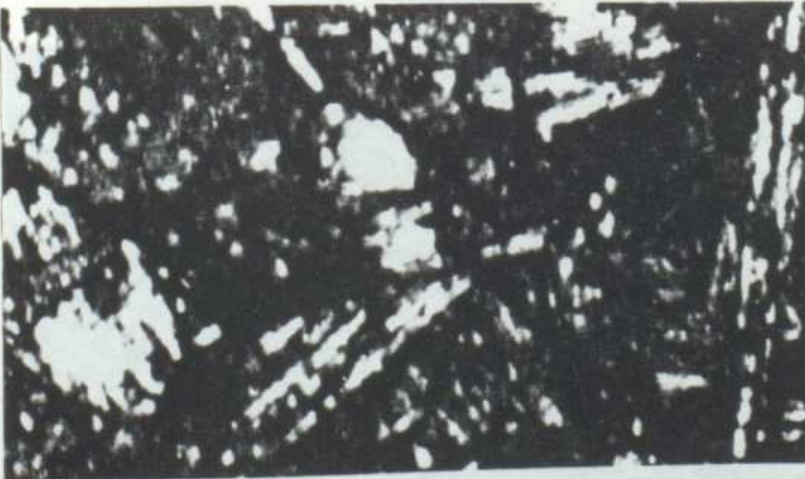
Şekil-3.59 Döküm yapısı

X100



Şekil-3.60 Çözeltiye alınmış alaşımların yapısı

X100



Şekil-3.61 Yaşlandırılmış alaşımların yapısı.

X100

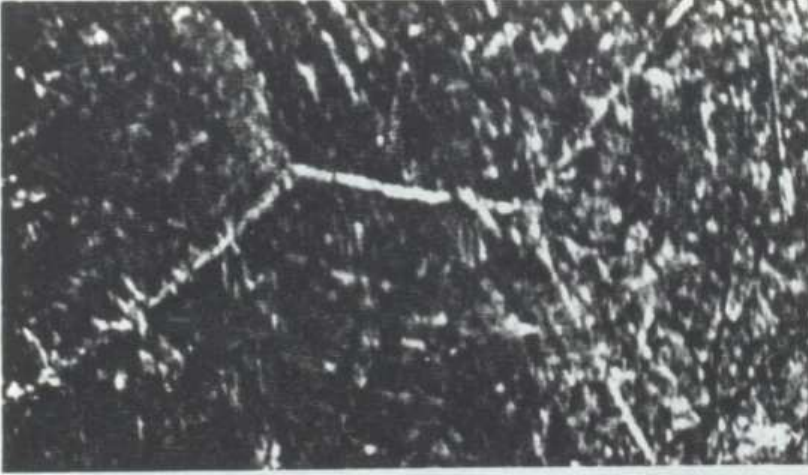


C(Cu-9Al-3Sn) alaşımlarının %10 H_2SO_4 çözeltisindeki korozyon sonrası yapıları.



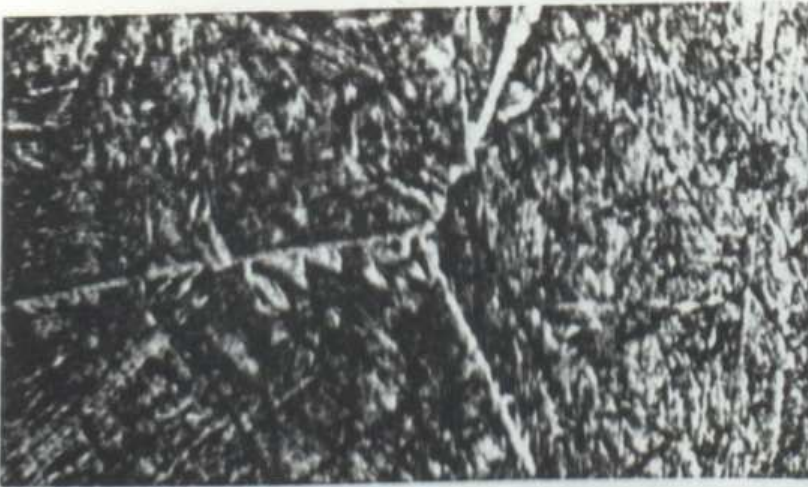
Şekil-3.62 Döküm yapısı

X100



Şekil-3.63 Çözeltiye alınmış alaşımın yapısı

X100



Şekil-3.64 Yaşlandırılmış alaşımın yapısı

X100

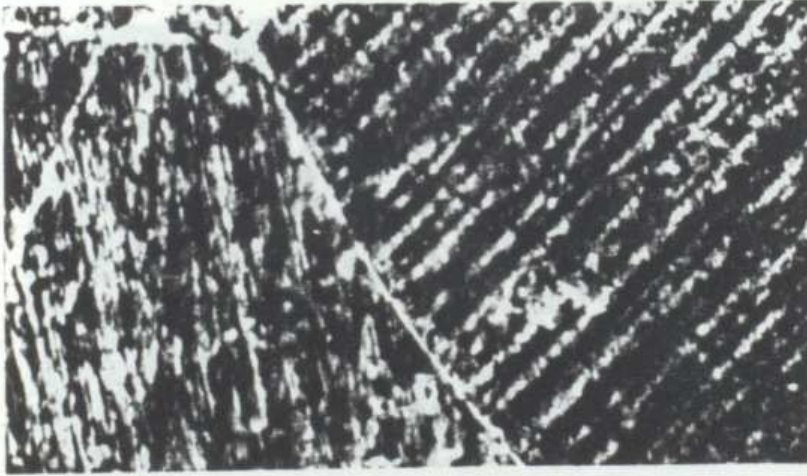


C(Cu-9Al-3Sn) alaşımlarının %10 NaOH çözeltisindeki korozyon sonrası yapıları



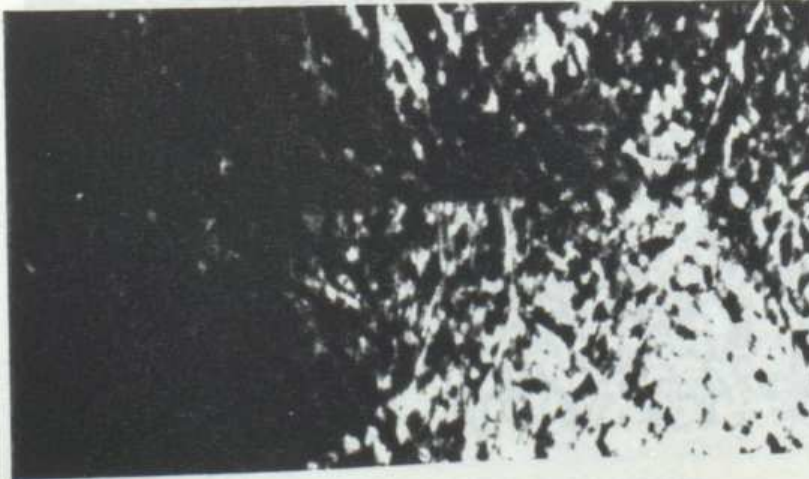
Şekil-3.65 Döküm yapısı

X100



Şekil-3.66 Çözeltiye alınmış alaşımın yapısı

X100

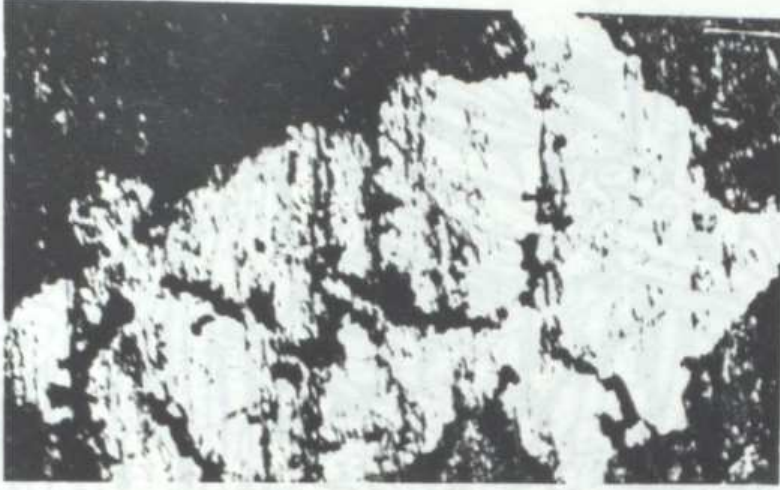


Şekil-3.67 Yaşlandırılmış alaşımın yapısı

X100

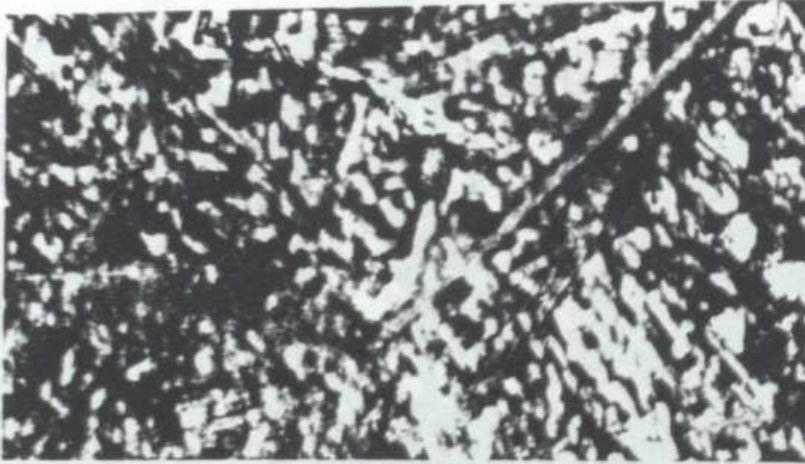


C(Cu-9Al-3Sn) alaşımlının %10 NaCl çözeltisindeki korozyon sonrası yapıları



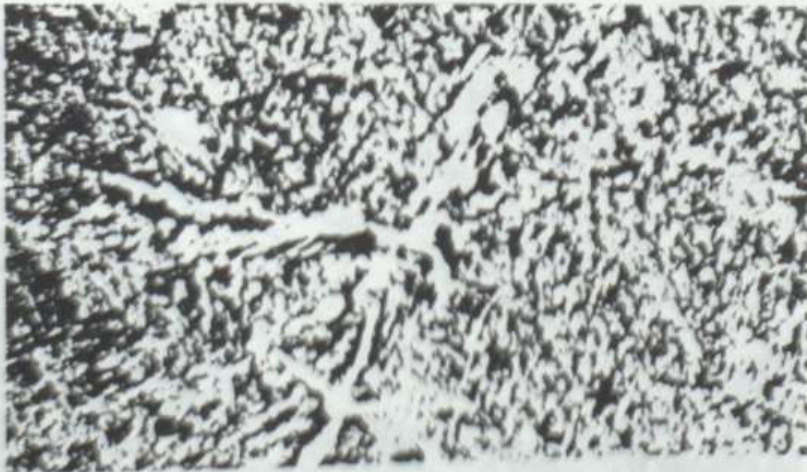
Şekil-3.68 Döküm yapısı

X100



Şekil-3.69 Çözeltiye alınmış alaşımın yapısı

X100

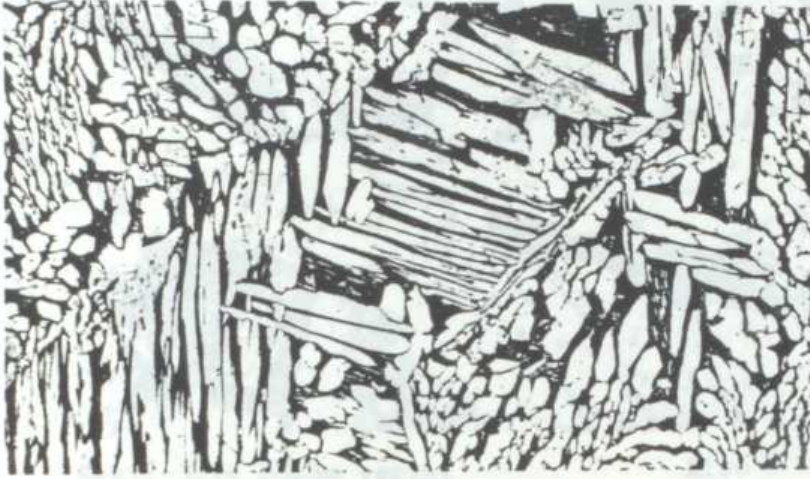


Şekil-3.70 Yaşılandırılmış alaşımın yapısı

X100

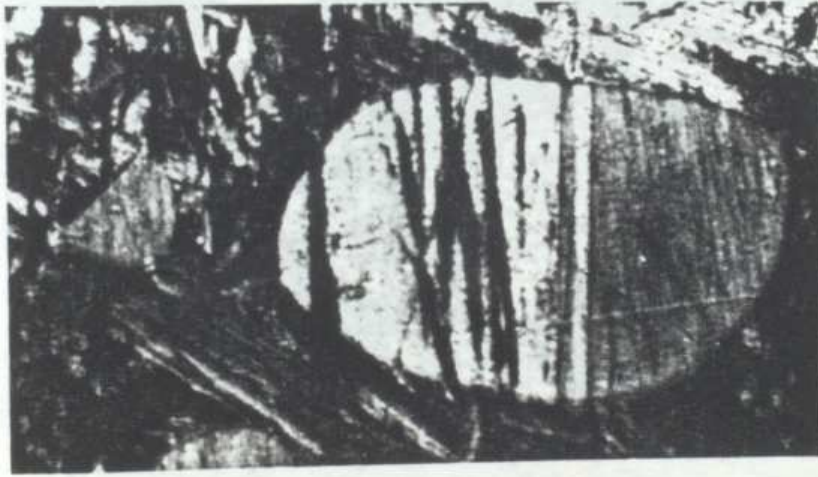


D(Cu-8Al-4Sn) alaşımına ait mikroyapı fotoğrafları.



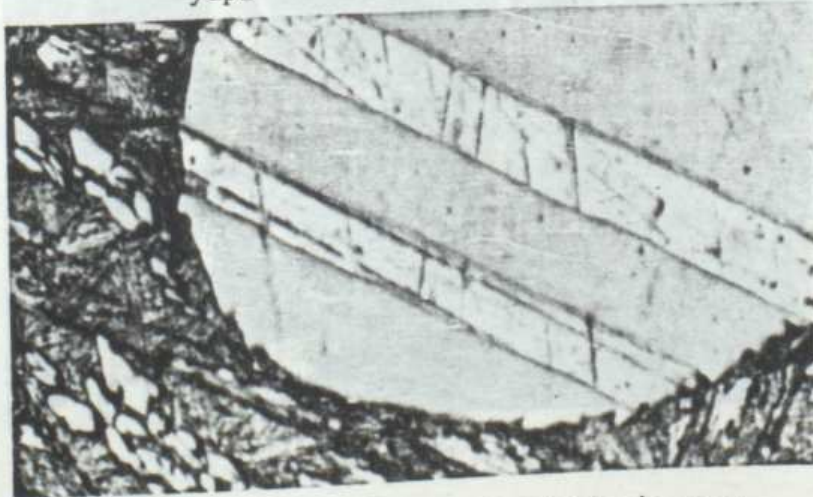
Şekil-3.71 Döküm yapısı

X100



Şekil-3.72 850°C de 20 saat tutulmuş suda soğutulmuş yapı

X100



Şekil-3.73 250°C de 12 saat bekletilmiş yapı

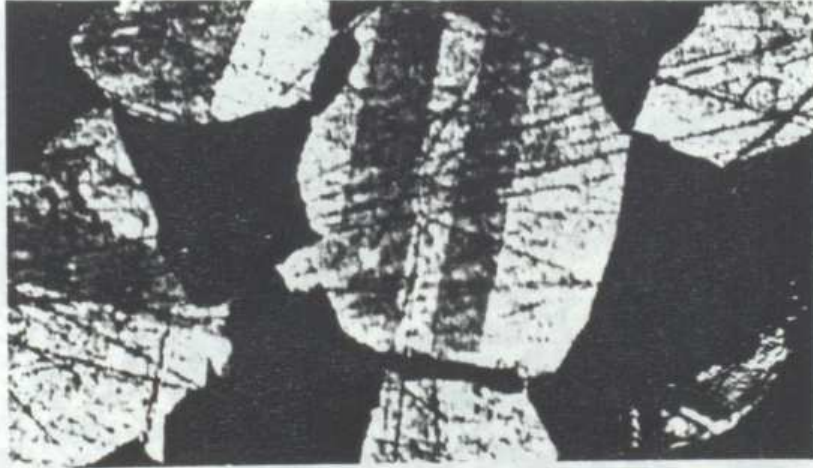
X100

D(Cu-8Al-4Sn) alaşımının %10 HCl çözeltilisindeki korozyon sonrası yapıları



Şekil-3.74 Döküm yapısı

X100



Şekil-3.75 Çözeltiliye alınmış alaşımın yapısı

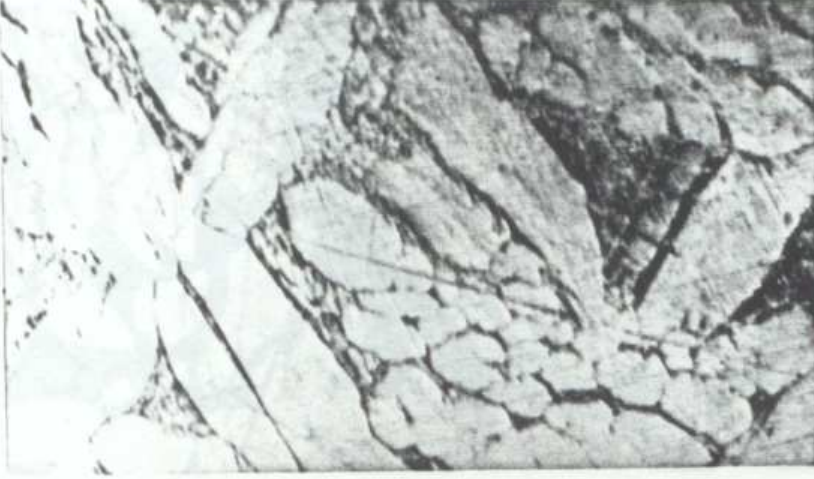
X100



Şekil-3.76 Yaşlandırılmış alaşımın yapısı

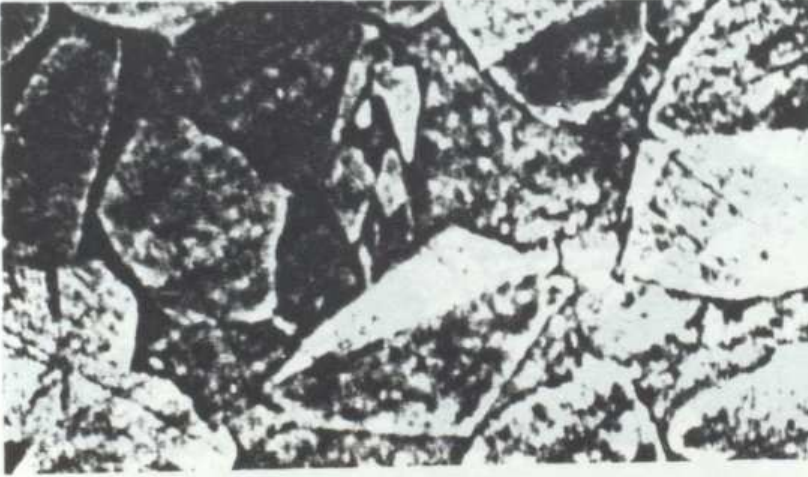
X100

D(Cu-8Al-4Sn) alaşımının %10 H₂SO₄ çözeltisindeki korozyon sonrası yapıları



Şekil-3.77 Döküm yapısı

X100



Şekil-3.78 Çözeltiye alınmış alaşımın yapısı

X100



Şekil-3.79 Yaşlandırılmış alaşımın yapısı

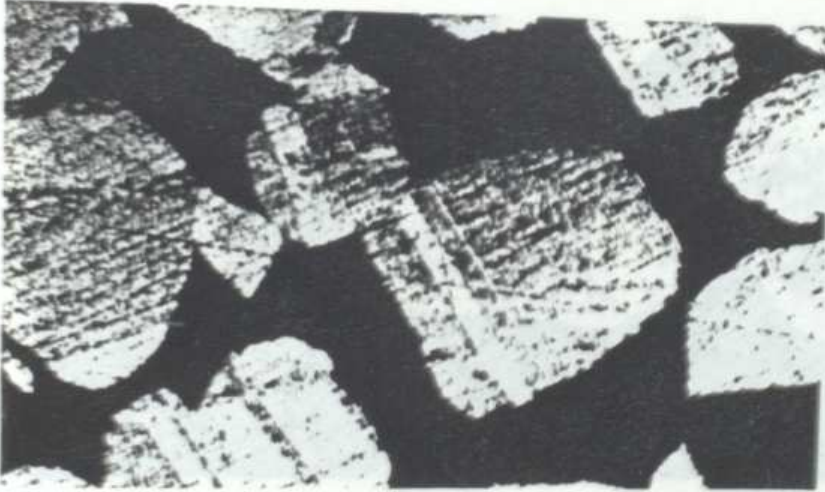
X100

D(Cu-9Al-4Sn) alaşımının %10 NaOH çözeltisindeki korozyon sonrası yapıları



şekil-3.80 Döküm yapısı

X100



şekil-3.81 çözeltiye alınmış alaşımın yapısı

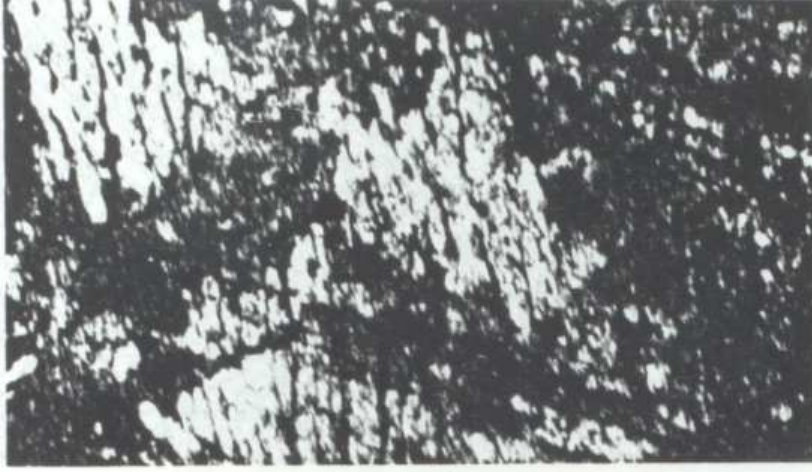
X100



şekil-3.82 Yaşlandırılmış alaşımın yapısı

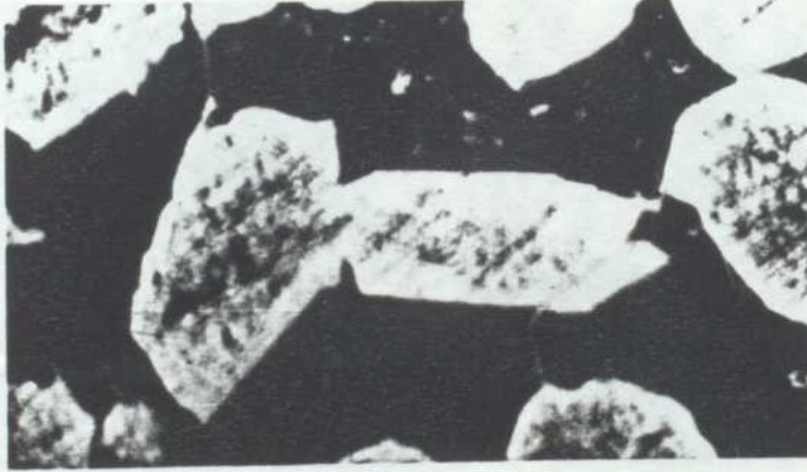
X100

D(Cu-9Al-4Sn) alaşımının %10 NaCl özeltisindeki korozyon sonrası yapıları



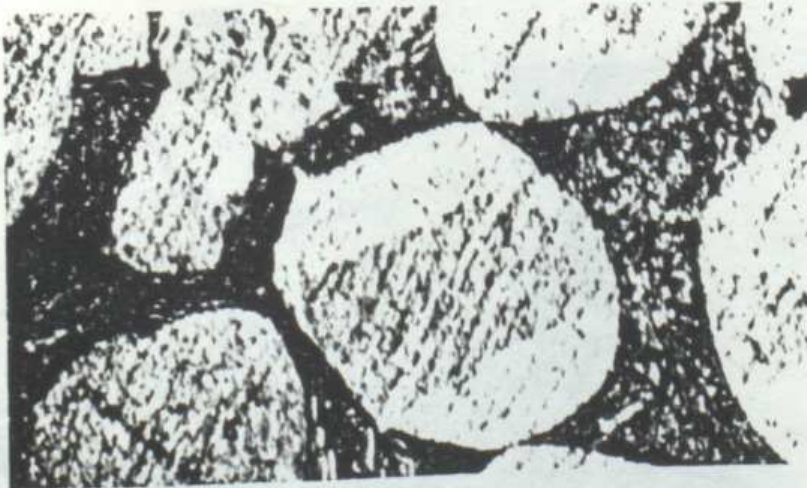
şekil-3.83 Döküm yapısı

X100



şekil-3.84 Çözeltiye alınmış alaşımın yapısı

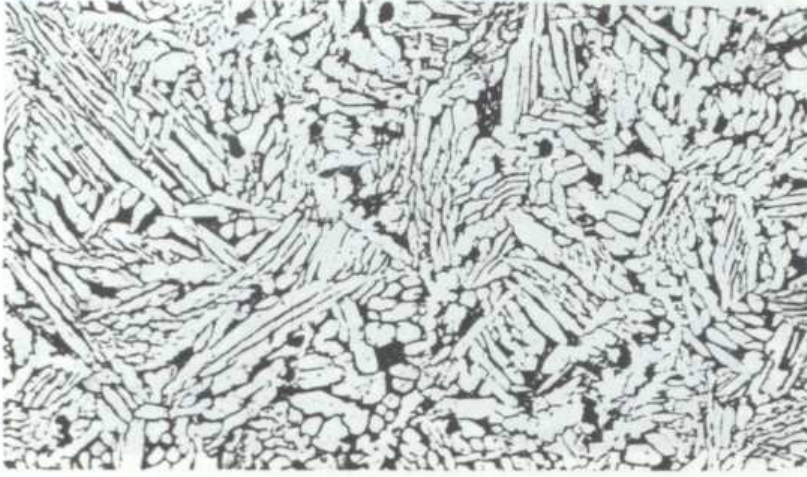
X100



şekil-3.85 Yaşlandırılmış alaşımın yapısı

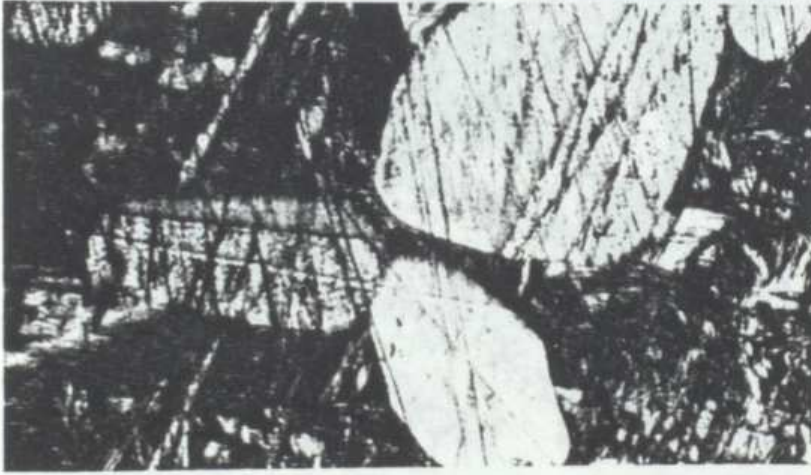
X100

E(Cu-7Al-5Sn) alaşımına ait mikroyapı fotoğrafları.



Şekil-3.86 Döküm yapısı

X100



Şekil-3.87 850°C de 20 saat tutulduktan sonra suda soğutulmuş yapı

X100



Şekil-3.88 250°C de 12 saat bekletilmiş yapı

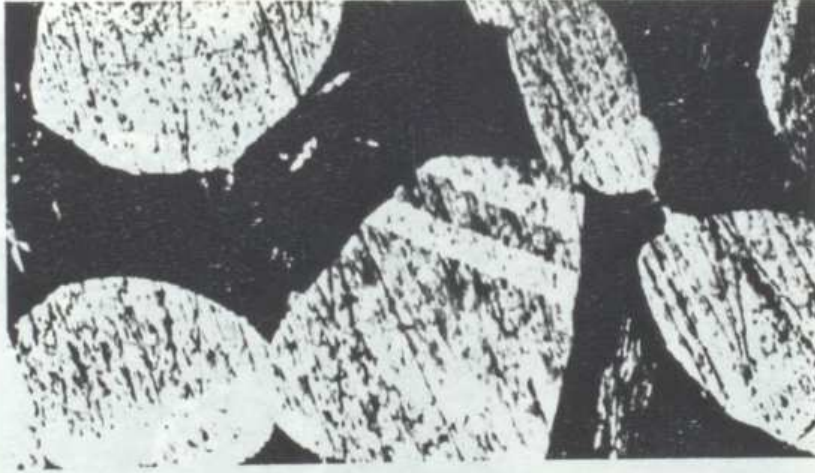
X100

E(Cu-7Al-5Sn) alaşımının %10 HCl çözeltisindeki korozyon sonrası yapıları



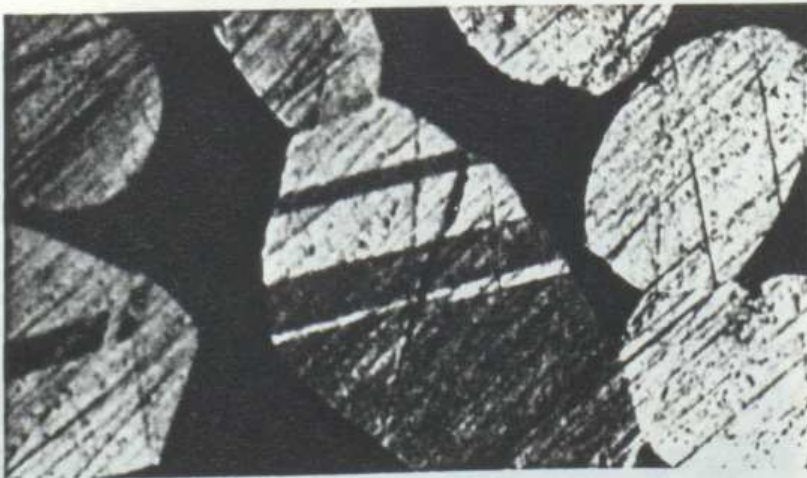
şekil-3.89 Döküm yapısı

X100



şekil-3.90 Çözeltiye alınmış alaşımın yapısı

X100

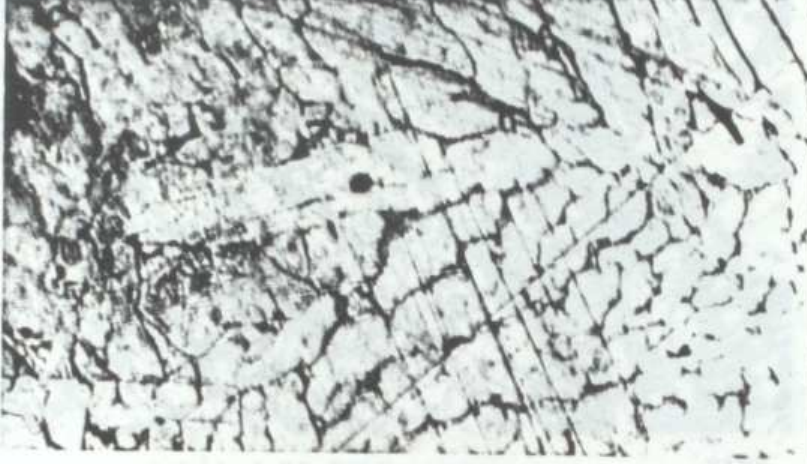


şekil-3.91 Yaşlandırılmış alaşımın yapısı

X100

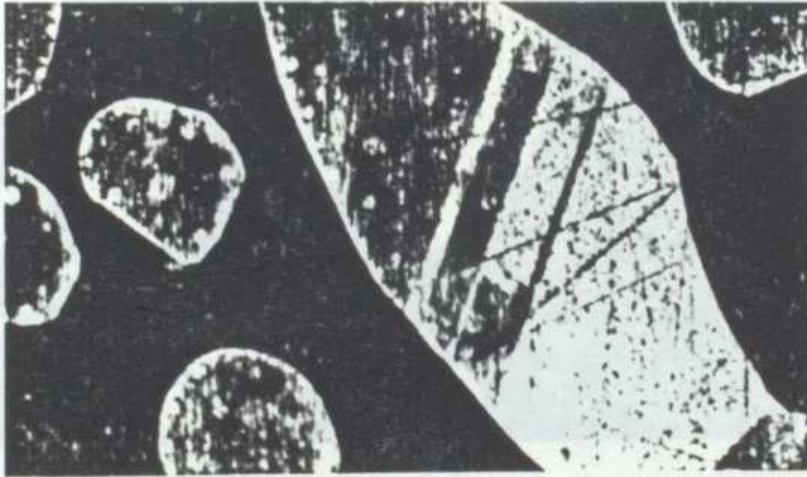


E(Cu-7Al-5Sn) alaşımlarının %10 H_2SO_4 çözeltisindeki korozyon sonrası yapıları



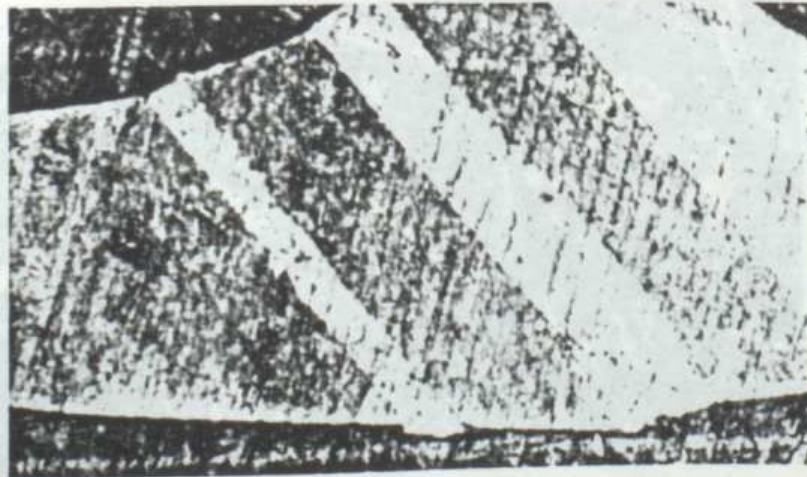
Şekil-3.92 Döküm yapısı

X100



Şekil-3.93 Çözeltiye alınmış alaşımın yapısı

X100



Şekil-3.94 Yaşlandırılmış alaşımın yapısı

X100

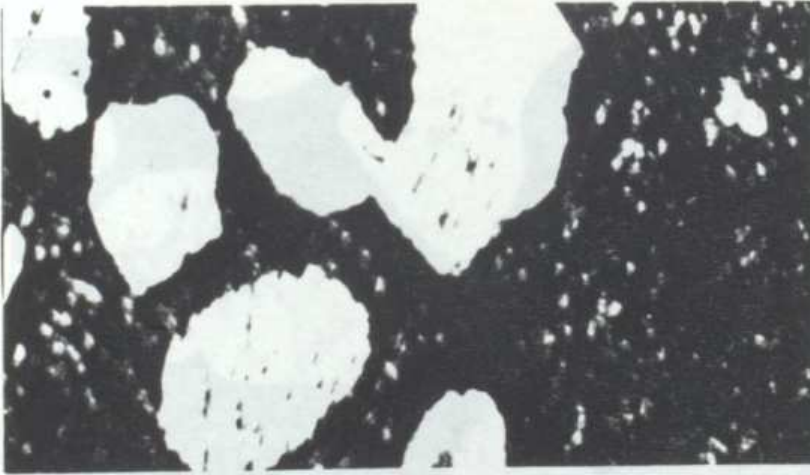


E(Cu-7Al-5Sn) alaşımının %10 NaOH çözeltisindeki korozyon sonrası yapıları



Şekil-3.95 Döküm yapısı

X100



Şekil-3.96 çözeltiye alınmış alaşımın yapısı

X100



Şekil-3.97 Yaşlandırılmış alaşımın yapısı

X100

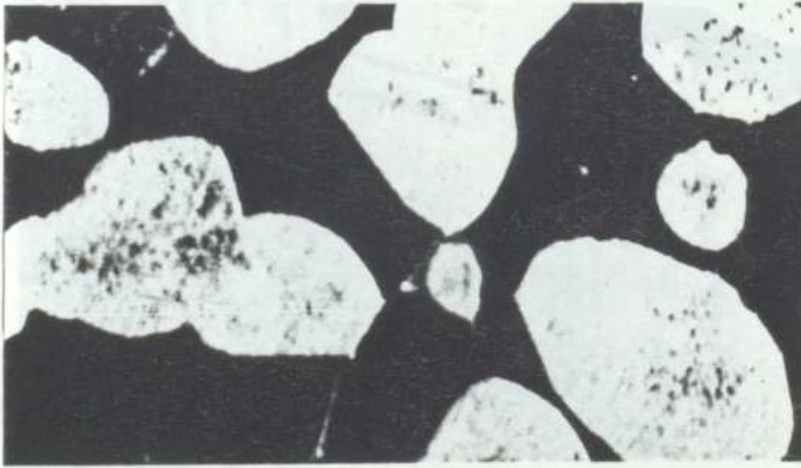


E(Cu-7Al-5Sn) alaşıminın %10 NaCl çözeltisindeki korozyon sonrası yapıları



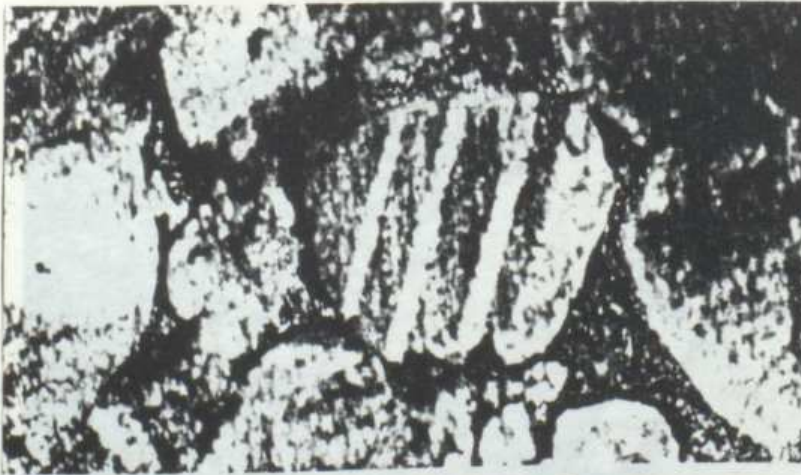
Şekil-3.98 Döküm yapısı

X100



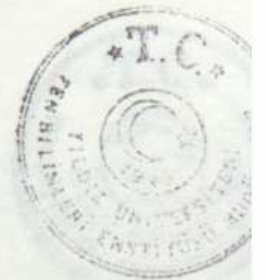
Şekil-3.99 Çözeltiye alınmış alaşımın yapısı

X100

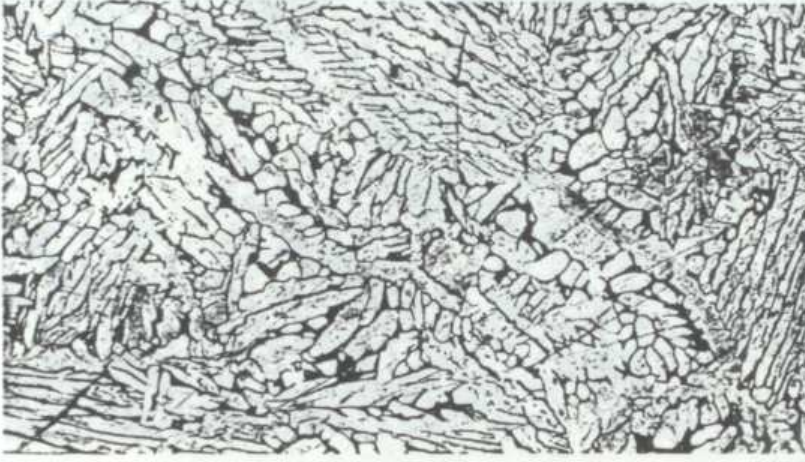


Şekil-3.100 Yaşlandırılmış alaşımın yapısı

X100

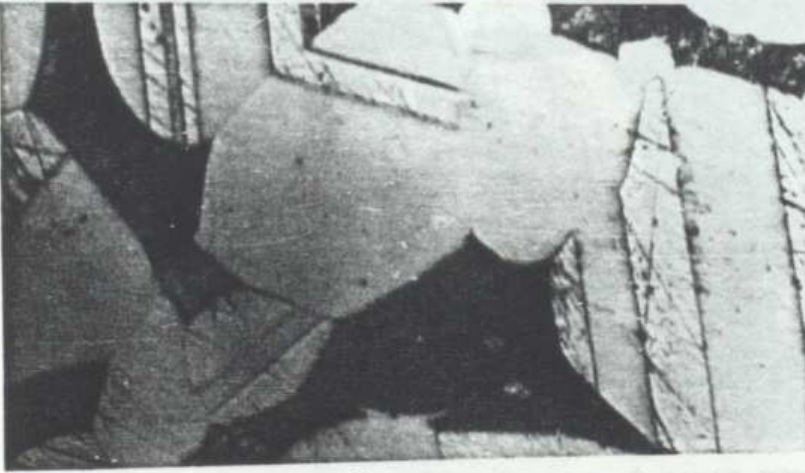


F(Cu-7Al-4Sn) alaşımına ait mikroyapı fotoğrafları.



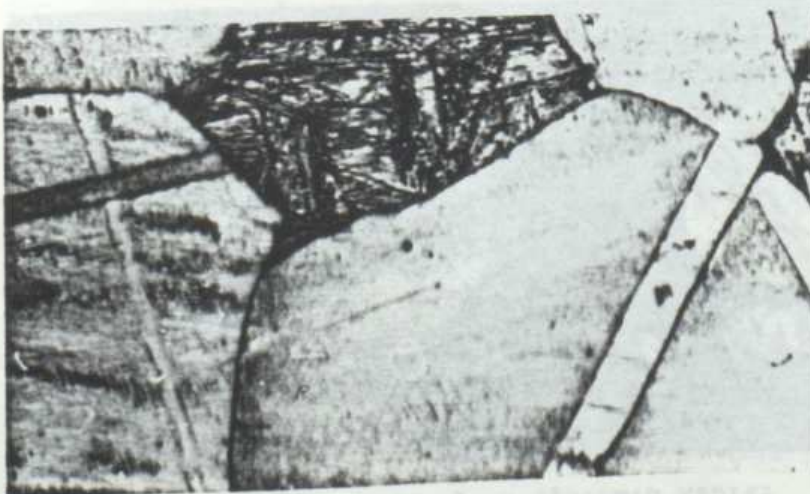
Şekil-3.101 Döküm yapısı

X100



Şekil-3.102 900°C de 20 saat tutulduktan sonra suda soğutulmuş yapı

X100

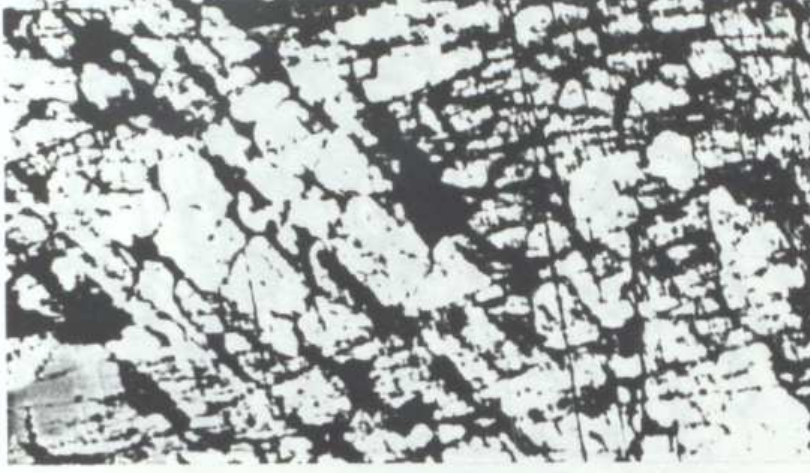


Şekil-3.103 250°C de 6 saat bekletilmiş yapı

X100

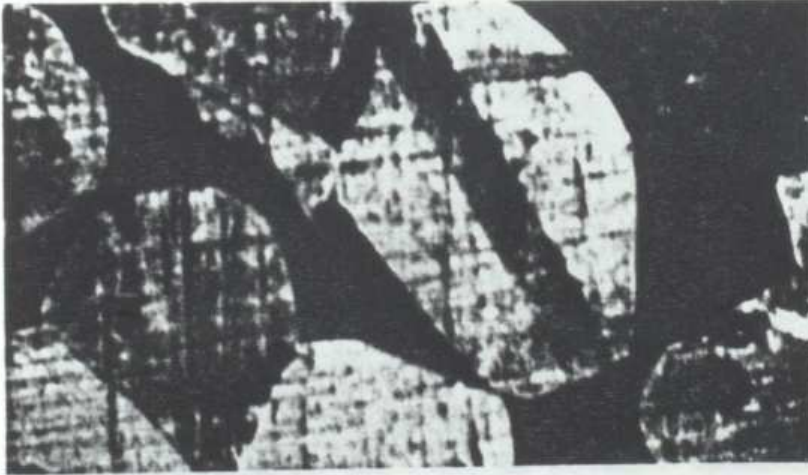


F(Cu-7Al-4Sn) alaşımının %10 HCl çözeltisindeki korozyon sonrası yapıları



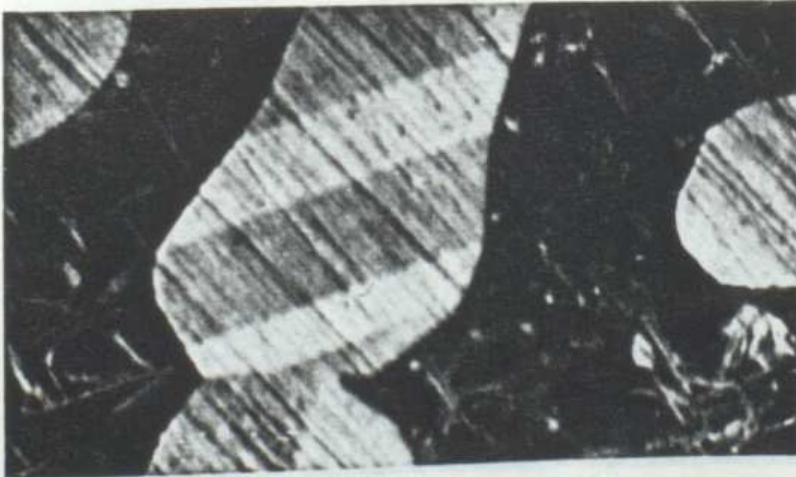
Şekil-3.104 Döküm yapısı

X100



Şekil-3.105 çözeltiye alınmış alaşımın yapısı

X100

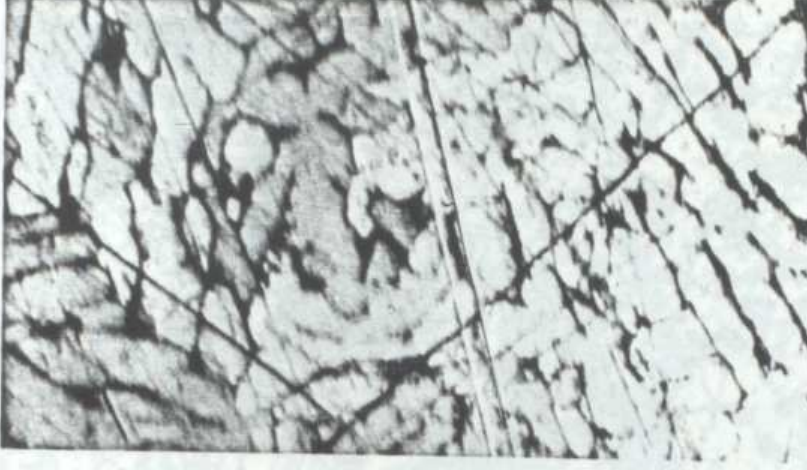


Şekil-3.106 Yaşlandırılmış alaşımın yapısı

X100



F(Cu-7Al-4Sn) alaşımlarının %10 H₂SO₄ çözeltisindeki korozyon sonrası yapıları



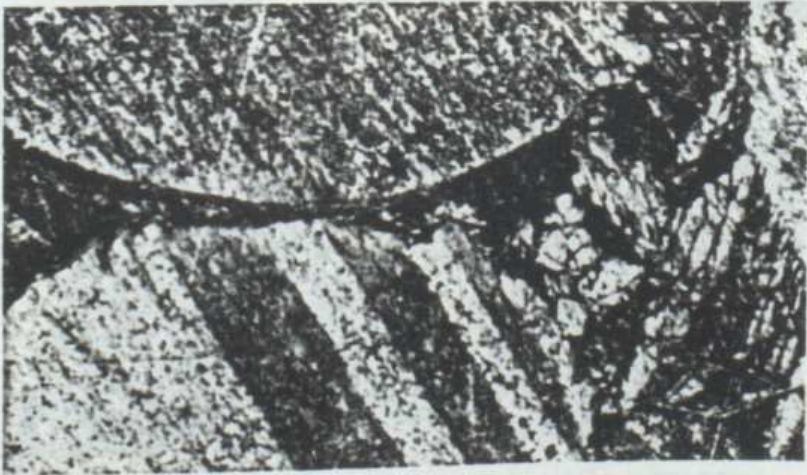
Şekil-3.107 Döküm yapısı

X100



Şekil-3.108 Çözeltiye alınmış alaşımın yapısı

X100

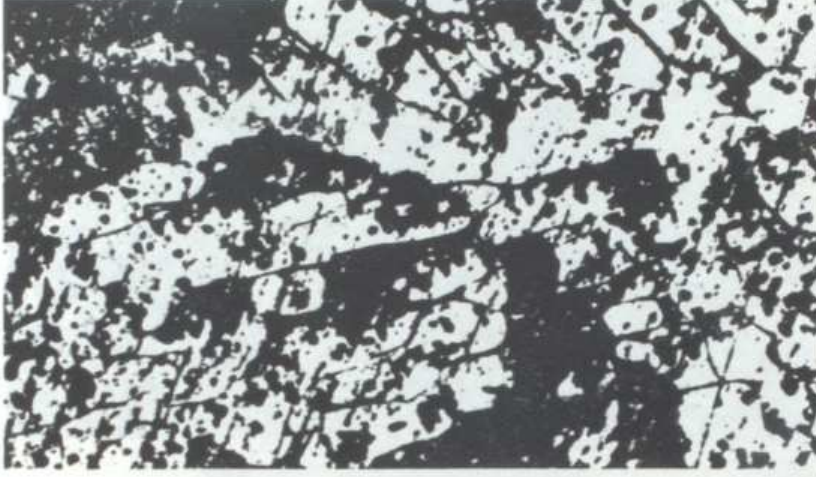


Şekil-3.109 Yaşlandırılmış alaşımın yapısı

X100

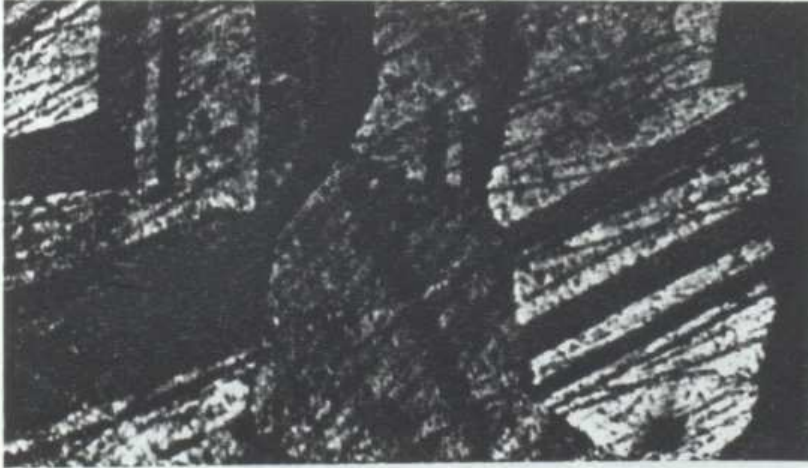


F(Cu-7Al-4Sn) alaşımının %10 NaOH çözeltilisindeki korozyon sonrası yapıları



Şekil-3.110 Döküm yapısı

X100



Şekil-3.111 Çözeltiliye alınmış alaşımın yapısı

X100

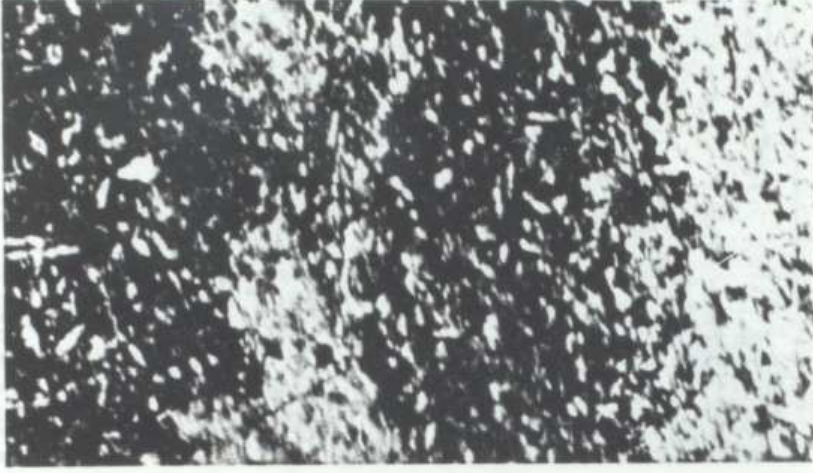


Şekil-3.112 Yaşlandırılmış alaşımın yapısı

X100

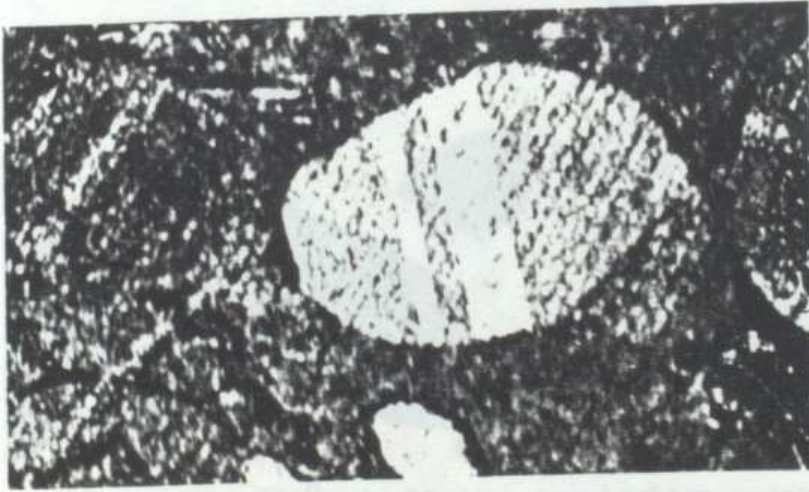


F(Cu-7Al-4Sn) alaşıminın %10 NaCl çözeltisinde korozyon sonrası yapıları



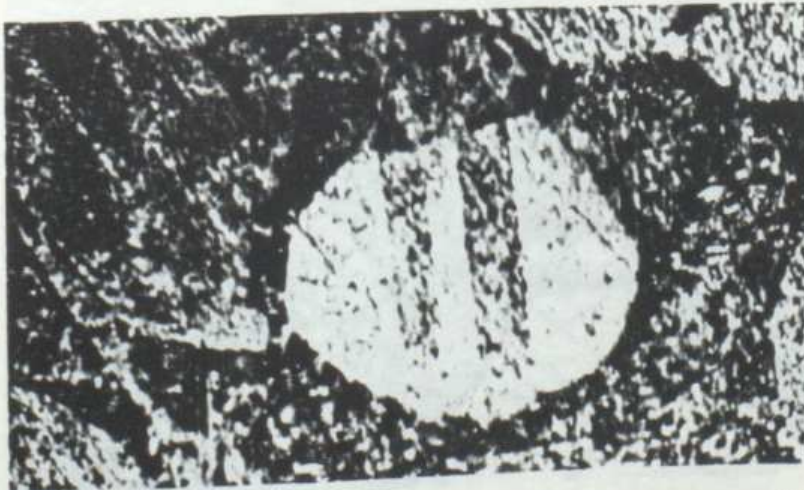
Şekil-3.113 Döküm yapısı

X100



Şekil-3.114 Çözeltiye alınmış alaşımın yapısı

X100

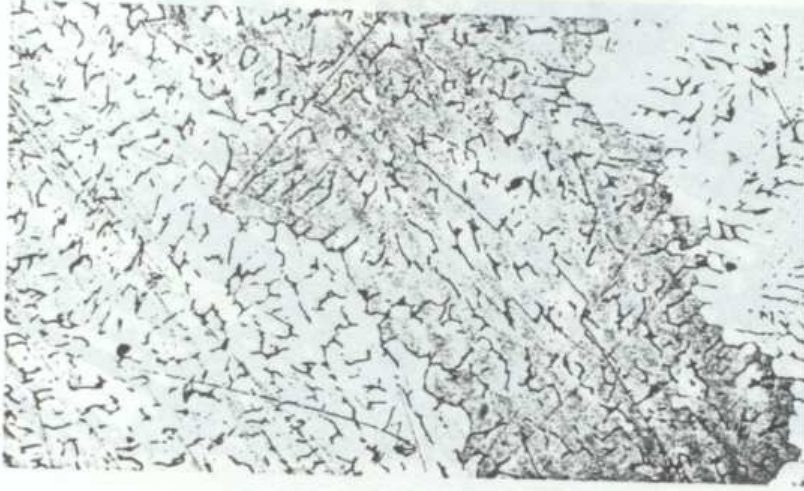


Şekil-3.115 Yaşlandırılmış alaşımın yapısı

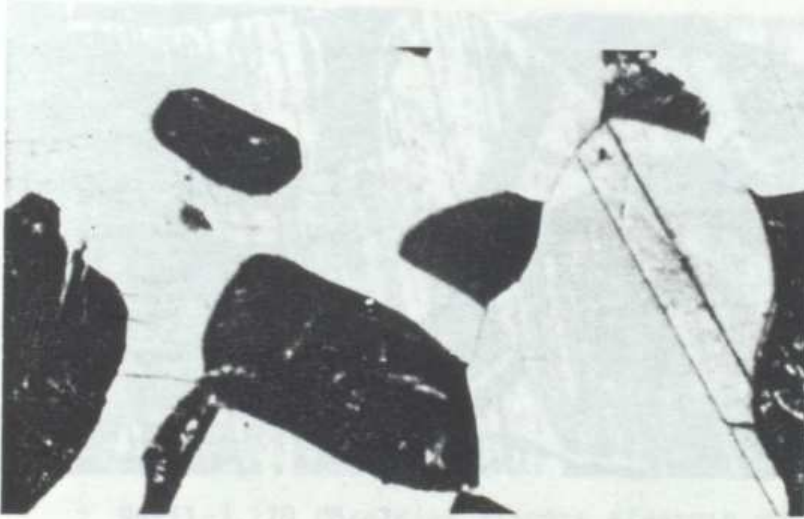
X100



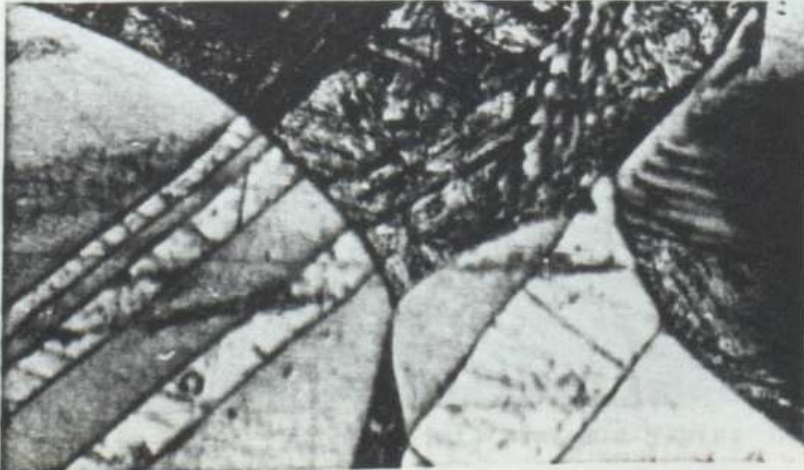
G(Cu-7Al-3Sn) Alaşımına Ait Mikroyapı Fotoğrafları.



Şekil-3.116 Döküm yapısı X100



Şekil-3.117 900°C de 20 saat tutulduktan sonra suda soğutulmuş yapı X100



Şekil-3.118 250°C de 6 saat bekletilmiş yapı X100

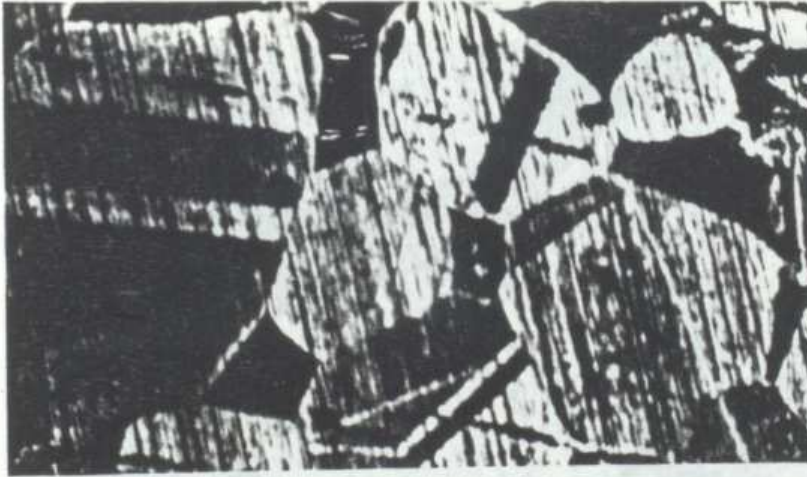


G(Cu.7Al-3Sn) alaşımlarının %10 HCl çözeltisinde korozyon sonrası yapıları



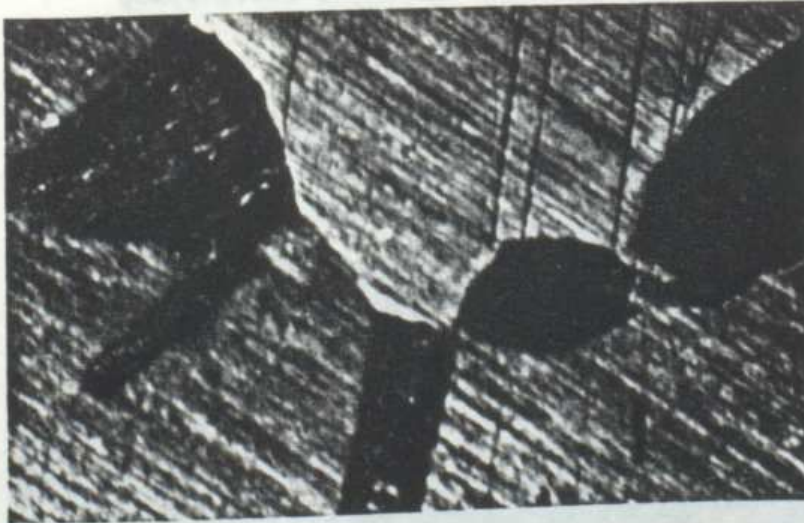
Şekil-3.119 Döküm yapısı

X100



Şekil-3.120 Çözeltiye alınmış alaşımın yapısı

X100

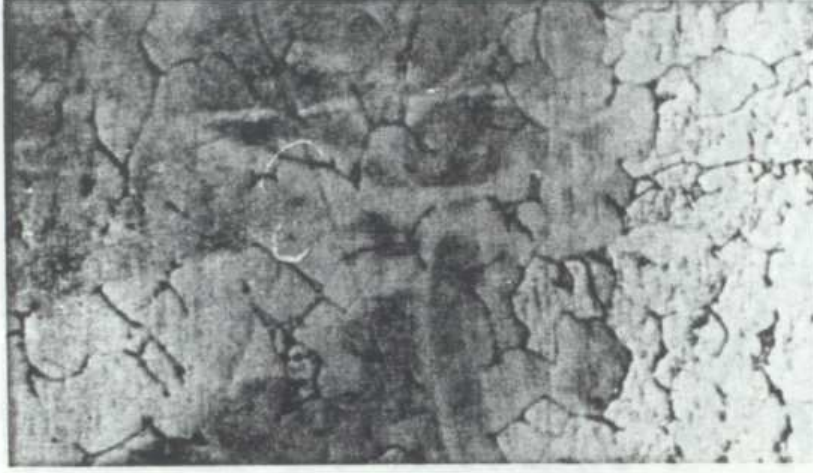


Şekil-3.121 Yaşlandırılmış alaşımın yapısı

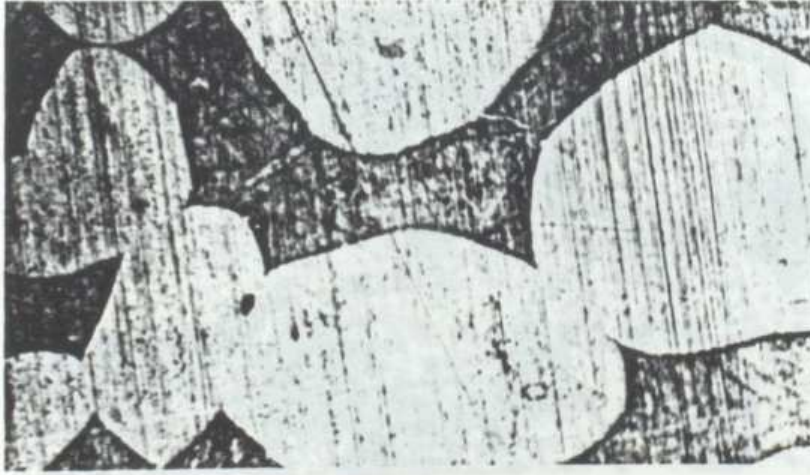
X100



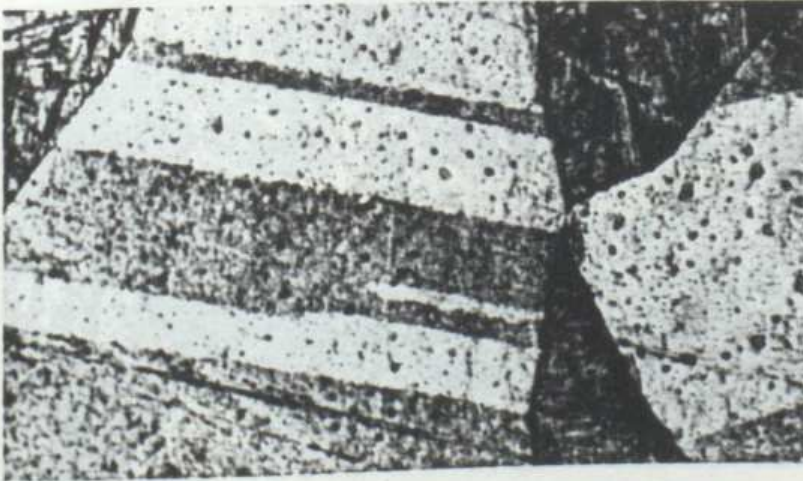
G(Cu-7Al-3Sn) alaşımının %10 H_2SO_4 çözeltisinde korozyon sonrası yapıları



Şekil-3.122 Döküm yapısı X100



Şekil-3.123 Çözeltiye alınmış alaşımın yapısı X100

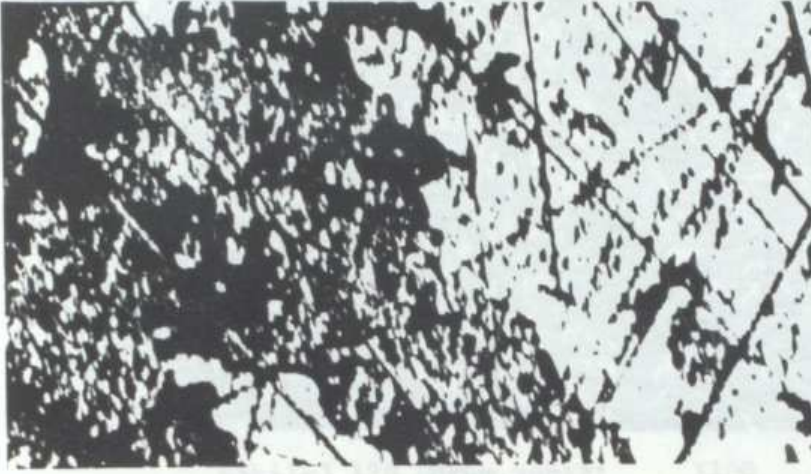


Şekil-3.124 Yaşlandırılmış alaşımın yapısı

X100

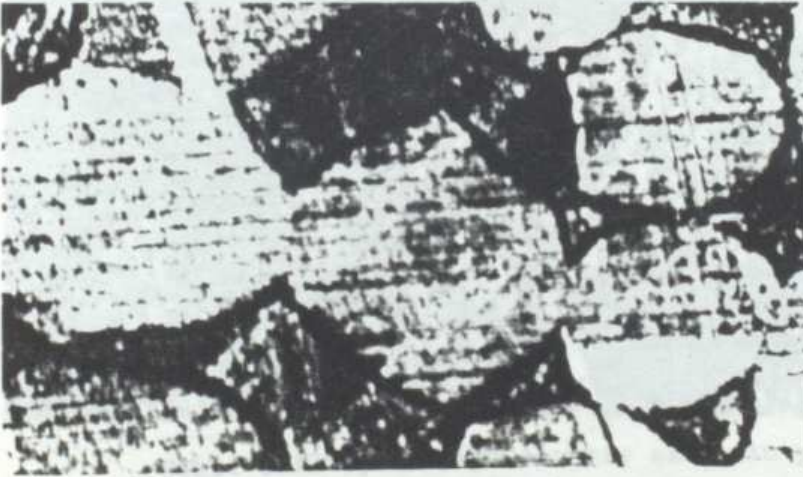


G(Cu-7Al-3Sn) alaşımının %10 NaOH çözeltisinde korozyon sonrası yapıları



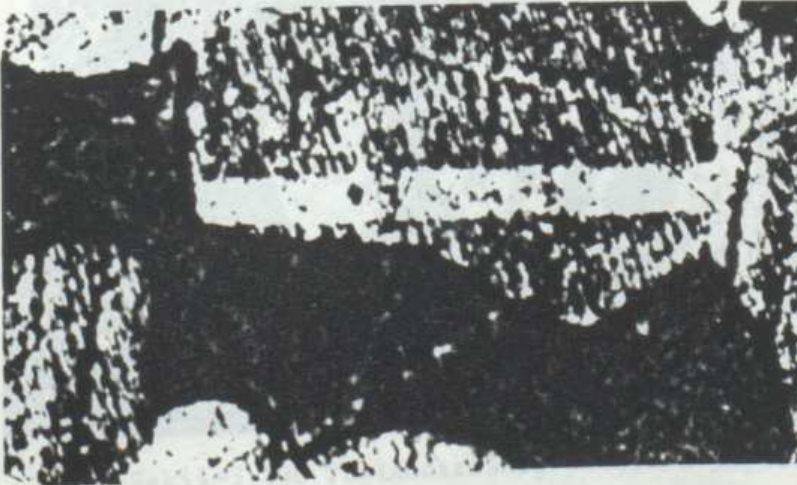
şekil-3.125 Döküm yapısı

X100



şekil-3.126 Çözeltiye alınmış alaşımın yapısı

X100

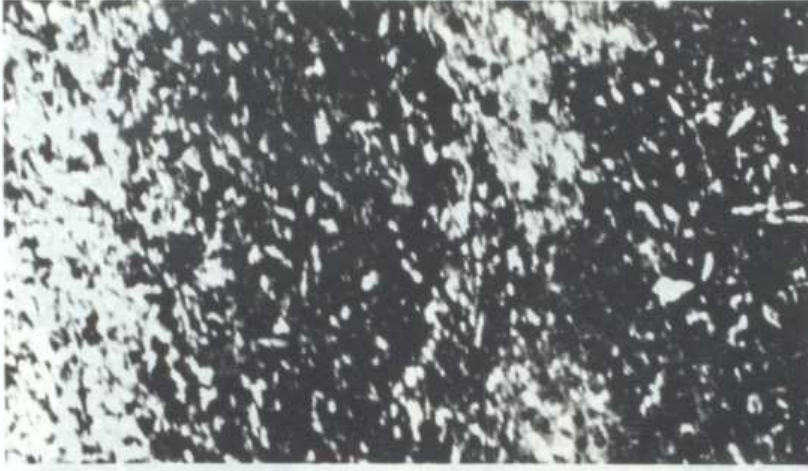


şekil-3.127 Yaşlandırılmış alaşımın yapısı

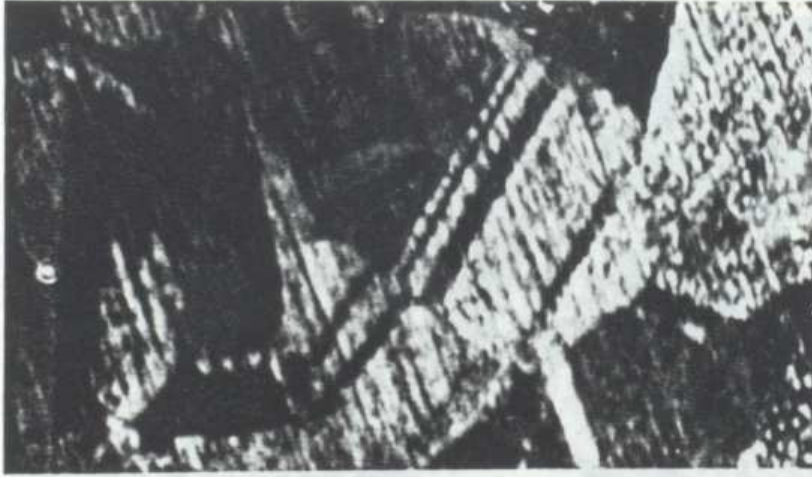
X100



G(Cu-7Al-3Sn) alaşımlının %10 NaCl çözeltisinde korozyon sonrası yapıları



Şekil-3.128 Döküm yapısı X100



Şekil-3.129 Çözeltiye alınmış alaşımın yapısı X100



Şekil-3.130 Yaşlandırılmış alaşımın yapısı

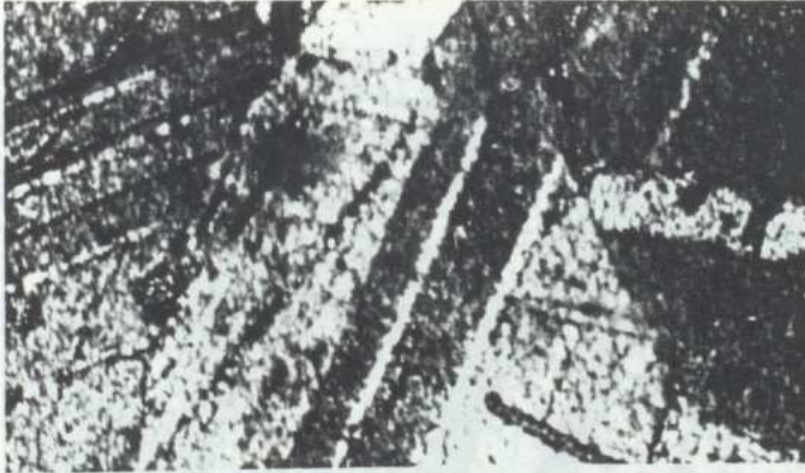


H(Cu-7Al-2Sn) alaşımının %10 HCl çözeltilisinde korozyon sonrası yapıları



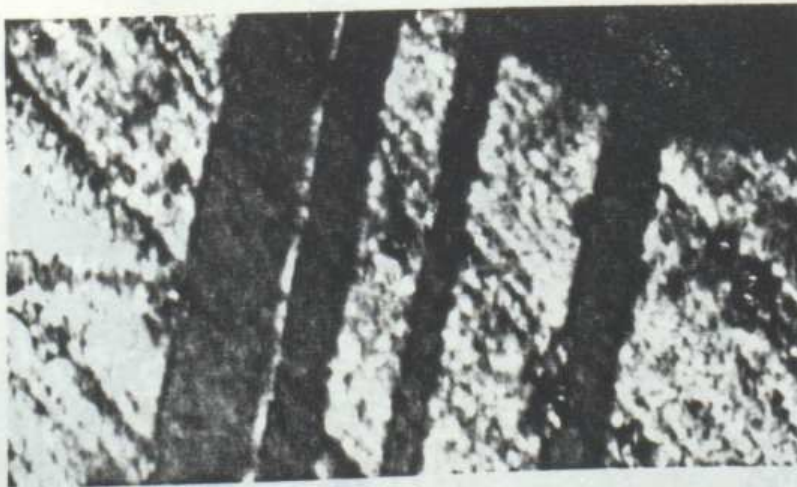
Şekil-3.134 Döküm yapısı

X100



Şekil-3.135 Çözeltiliye alınmış alaşımın yapısı

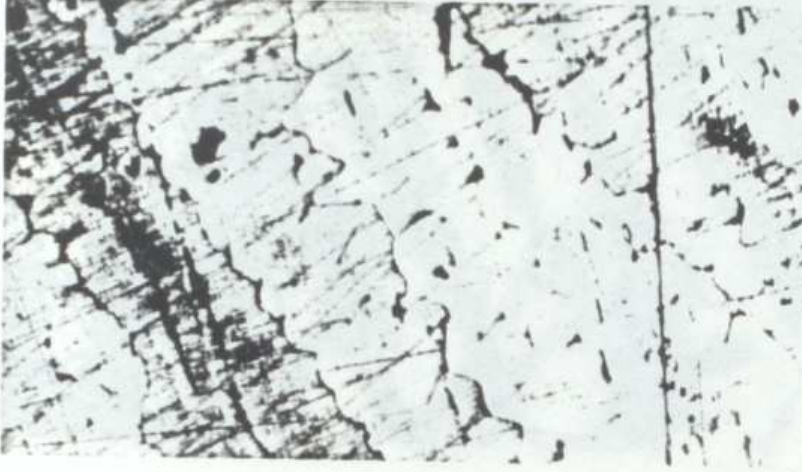
X100



Şekil-3.136 Yaşlandırılmış alaşımın yapısı

X100

H(Cu-7Al-2Sn) alaşımının %10 H₂SO₄ çözeltisinde korozyon sonrası yapıları



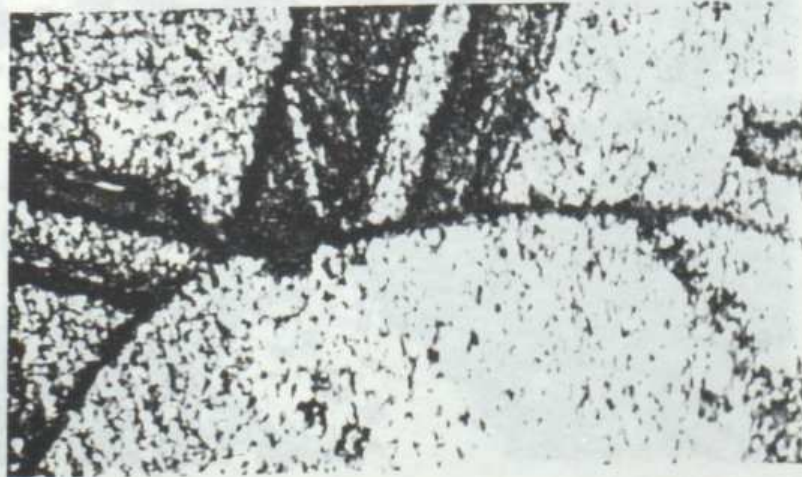
Şekil-3.137 Döküm yapısı

X100



Şekil-3.138 Çözeltiye alınmış alaşımın yapısı

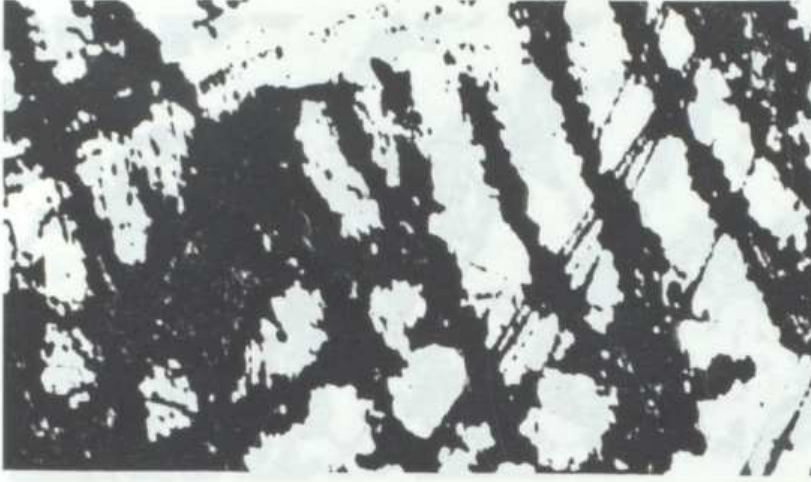
X100



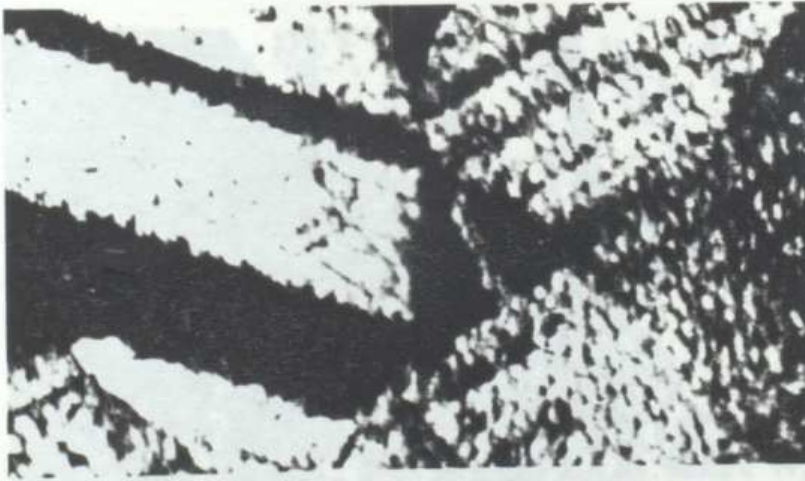
Şekil-3.139 Yaşlandırılmış alaşımın yapısı

X100

H(Cu-7Al-2Sn) alaşımının %10 NaOH çözeltisinde korozyon sonrası yapıları



şekil-3.140 Döküm yapısı X100



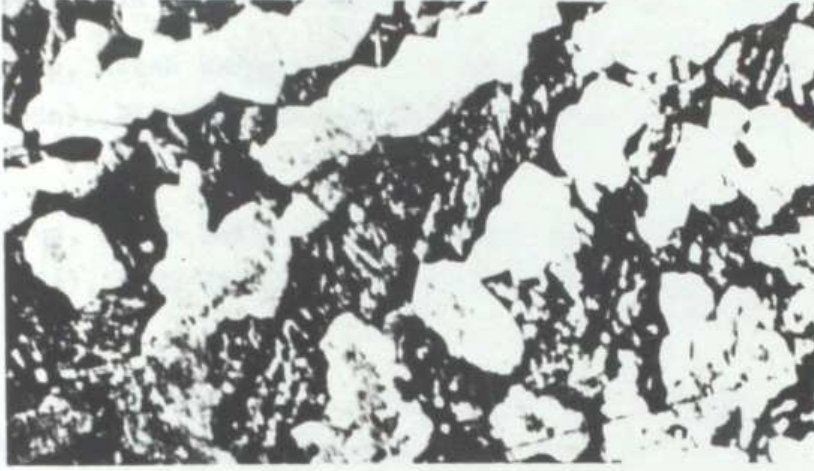
şekil-3.141 çözeltiye alınmış alaşımın yapısı X100



şekil-3.142 Yaşlandırılmış alaşımın yapısı

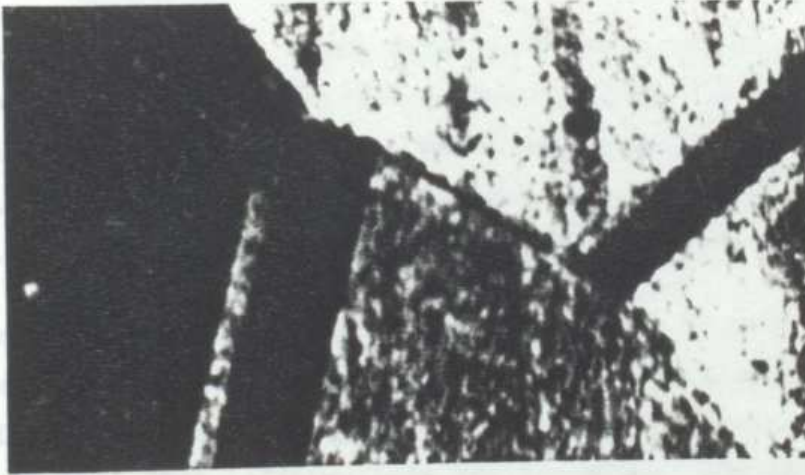
X100

H(Cu-7Al-2Sn) alaşımının %10 NaCl çözeltisinde korozyon sonrası yapıları



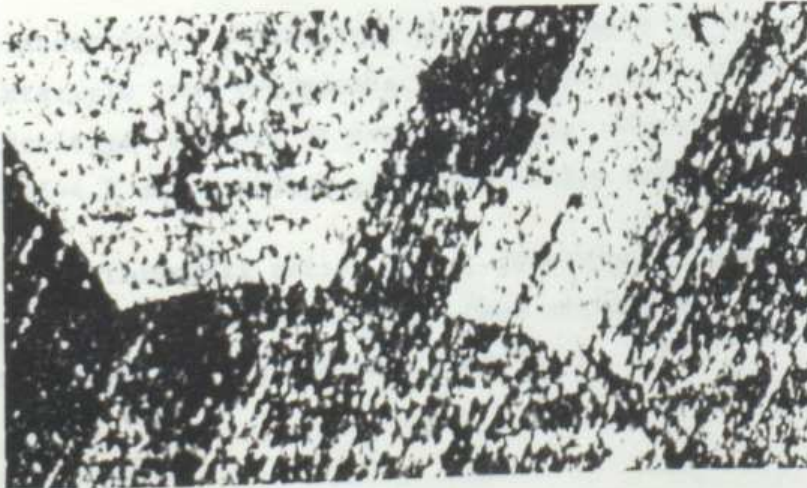
Şekil-3.143 Döküm yapısı

X100



Şekil-3.144 Çözeltiye alınmış alaşımın yapısı

X100



Şekil-3.145 Yaşlandırılmış alaşımın yapısı

X100

4. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ

Çalışma için dökülen alüminyum bronzları iki grupta toplanmıştır.

I. grup, artan kalay miktarına göre: A(Cu-11Al), B(Cu-10Al-2Sn), C(Cu-9Al-3Sn), D(Cu-8Al-4Sn) ve E(Cu-7Al-5Sn) alaşımları bu gruba girer.

II.grup, artan bakır miktarına göre: A(Cu-11Al), F(Cu-7Al-4Sn), G(Cu-7Al-3Sn), H(Cu-7Al-2Sn) ve E(Cu-7Al-5Sn) alaşımlarını içermektedir.

Her iki grup alaşımları döküm, çözeltiye alınmış ve yaşlandırılmış halde mekanik mukavemet ve korozyon yönünden incelenmiştir.

4.1. Mekanik Mukavemet Yönünden

4.1.1. Çekme Mukavemeti :

I.grup alaşımlarda artan kalay miktarıyla, döküm ve yaşlandırılmış alaşımların çekme mukavemetlerinin önce arttığı sonra azaldığı Şekil-4.1 deki eğriden görülmektedir. Döküm alaşımlarının akma mukavemetinin düştüğü, kopma uzamasının da A(Cu-11Al) alaşımı hariç, arttığı Şekil-4.3 ve Şekil-4.5 deki eğrilerden anlaşılmaktadır.

Çözeltiye alınmış I.grup alaşımların çekme mukavemeti lineer olarak artarken, akma mukavemeti C(Cu-9Al-3Sn), D(Cu-8Al-4Sn) ve E(Cu-7Al-5Sn) alaşımları için hemen hemen sabit kalmıştır. Kopma uzaması ise C(Cu-9Al-3Sn) alaşımı için ani bir düşme göstererek artmıştır. (Şekil-4.1, 4.3, 4.5).

Yaşlandırılmış alaşımların akma mukavemeti ve kopma uzaması artan kalay miktarıyla pek değişmemiş, sabit kalmıştır. II.grup alaşımlarda döküm, çözeltiye alınmış ve yaşlandırılmış alaşımların çekme mukavemeti Şekil-4.2 de görüldüğü gibi artan kalay miktarıyla artmaktadır.

Kalay miktarındaki artış, döküm, çözeltiye alınmış ve yaşlandırılmış alaşımların akma mukavemetinde önce artma sonra azalma etkisi yaparken kopma uzamasını düşürmüştür. (Şekil-4.4, 4.6).

4.1.2. Sertlik

Döküm, çözeltiliye alınmış ve yaşlandırılmış I.grup alaşımların sertliği artan kalay miktarıyla azalırken, II.grup alaşımların sertliği ise artmıştır.(Şekil-4.7, 4.8).

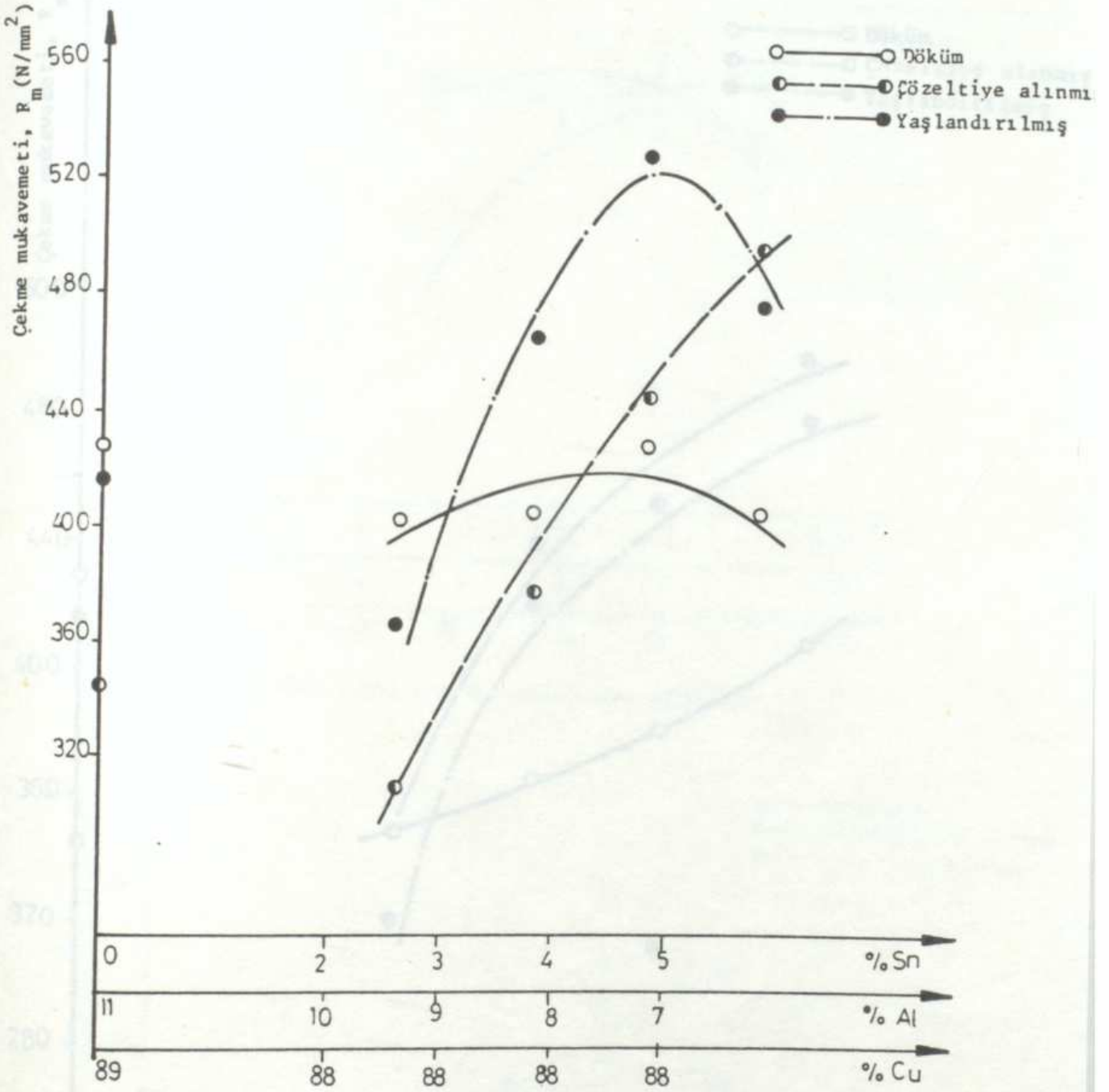
4.1.3. Çentik darbe mukavemeti

Artan kalay miktarıyla, I.grup döküm alaşımlarında çentik darbe mukavemetinin D(Cu-8Al-4Sn) alaşımı için bir maksimum yaptıktan sonra azaldığı, yaşlandırılmış alaşımlarda ise kademeli olarak arttığı Şekil-4.9'-daki eğrilerden görülmektedir.

II.grup döküm ve yaşlandırılmış alaşımların çentik darbe mukavemetinin, kalay miktarındaki artışa bağlı olarak azaldığı Şekil-4.10'da açıkça görülmektedir.

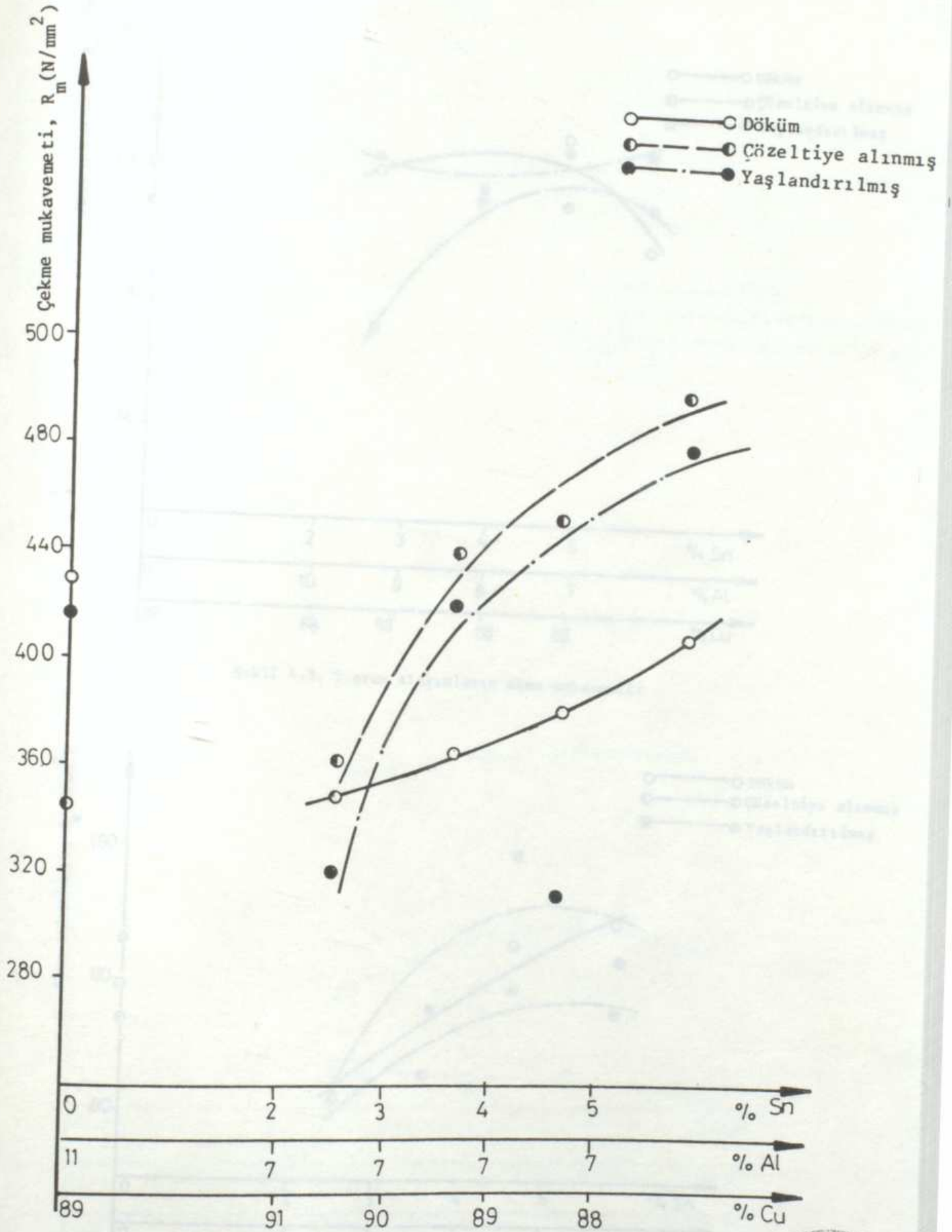
0
10
20
30





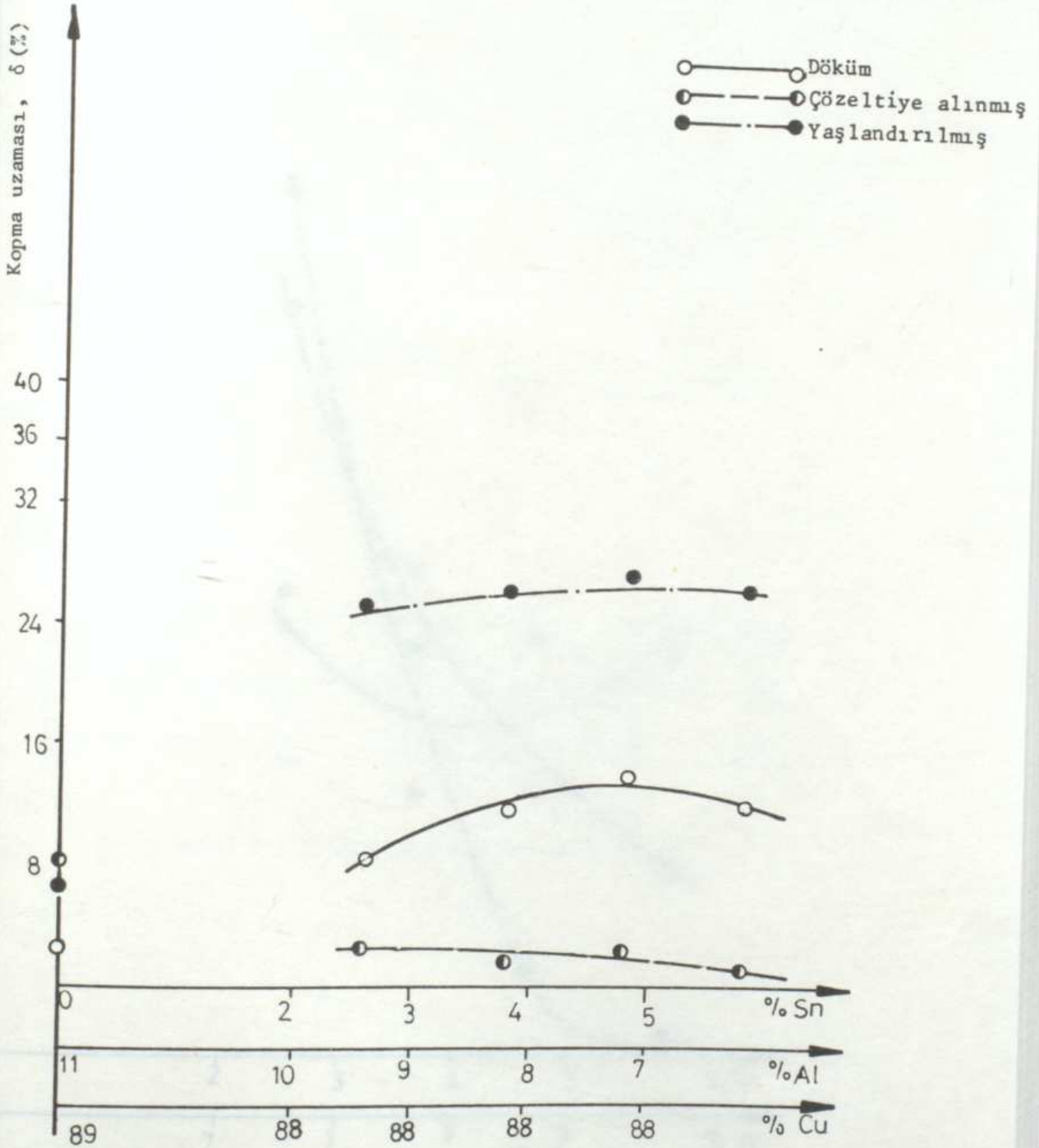
Şekil 4.1. I.grup alaşımların çekme mukavemeti





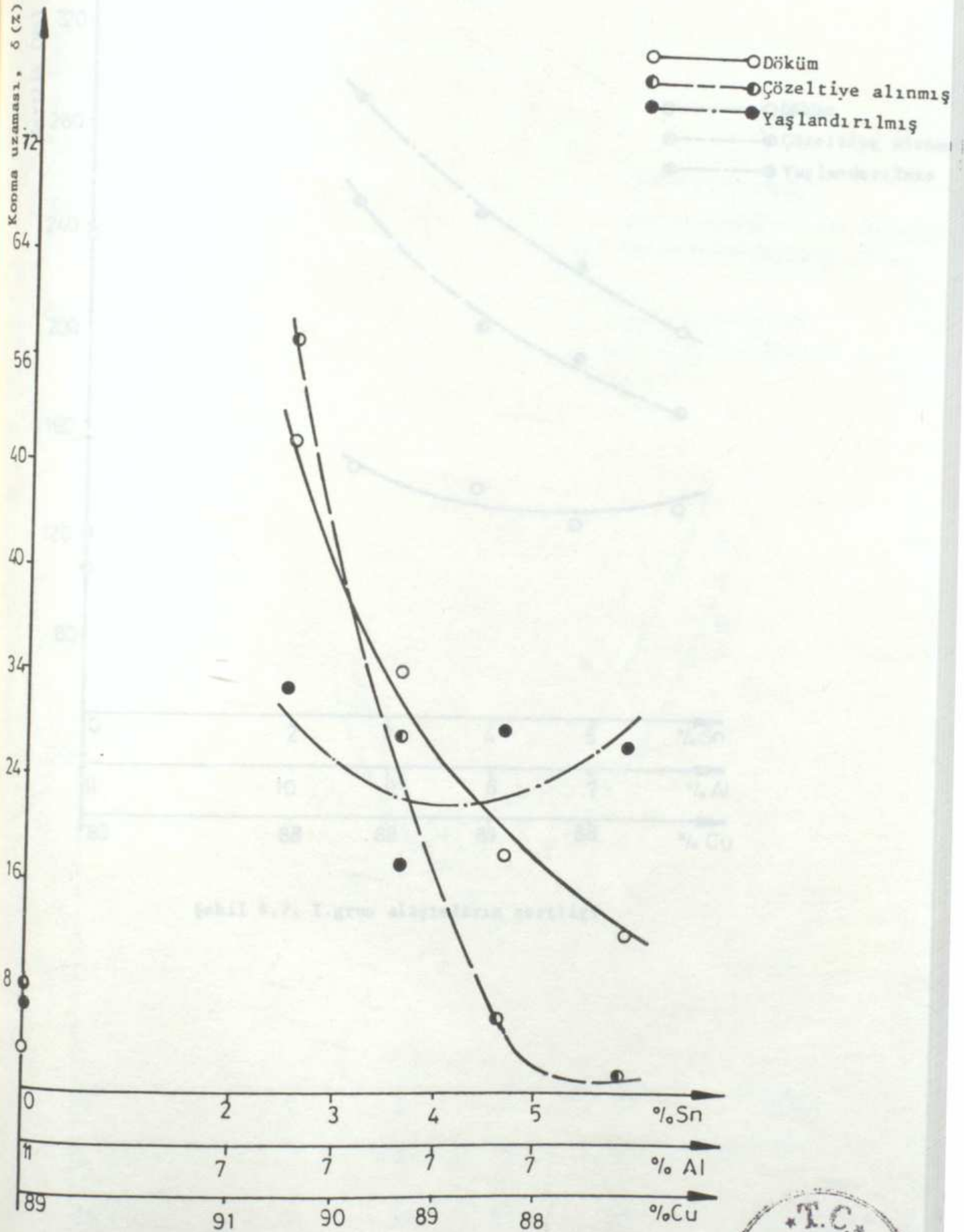
Şekil 4.2. II.grup alaşımların çekme mukavemeti





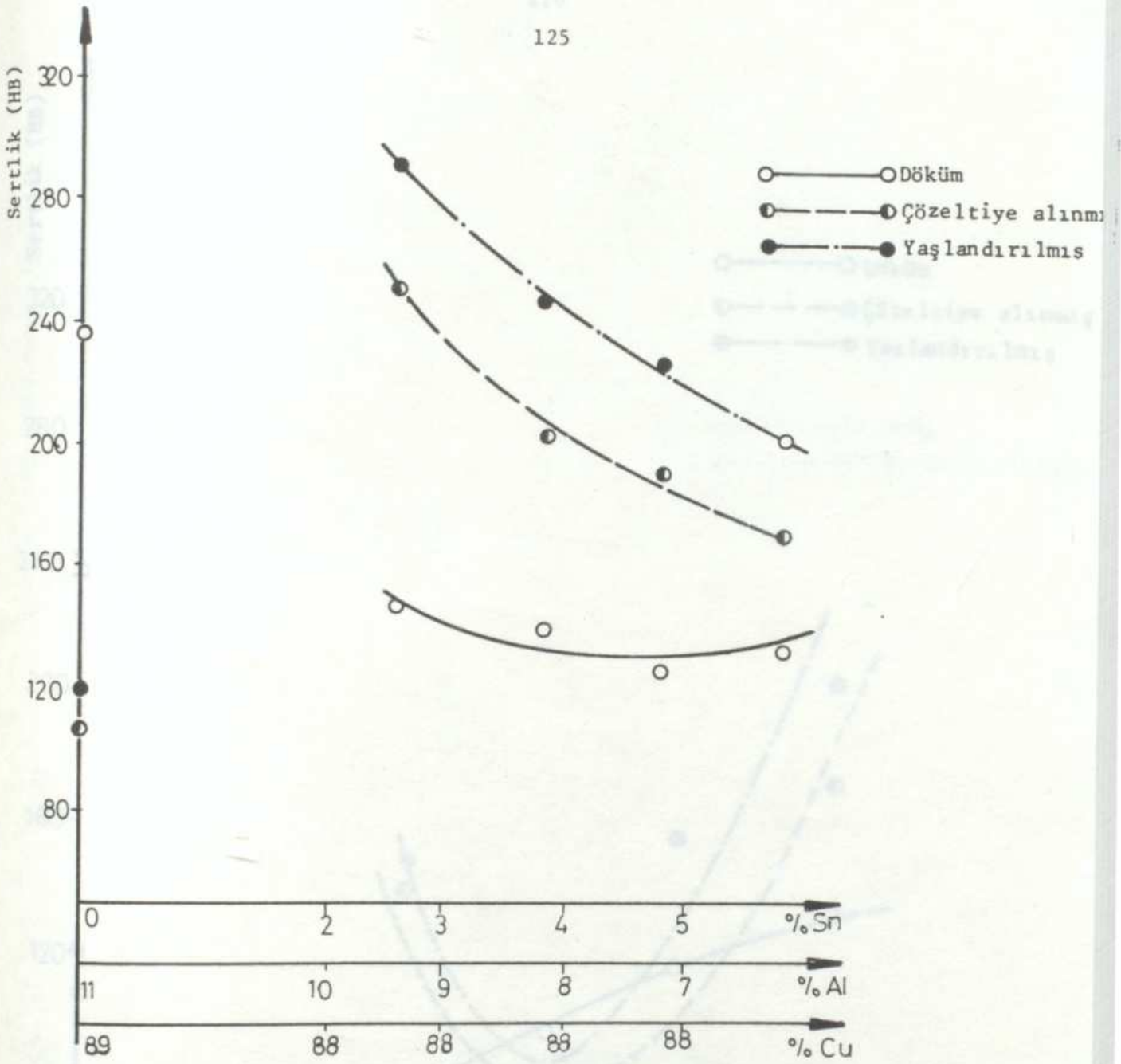
Şekil 4.5. I.grup alaşımların kopma uzaması



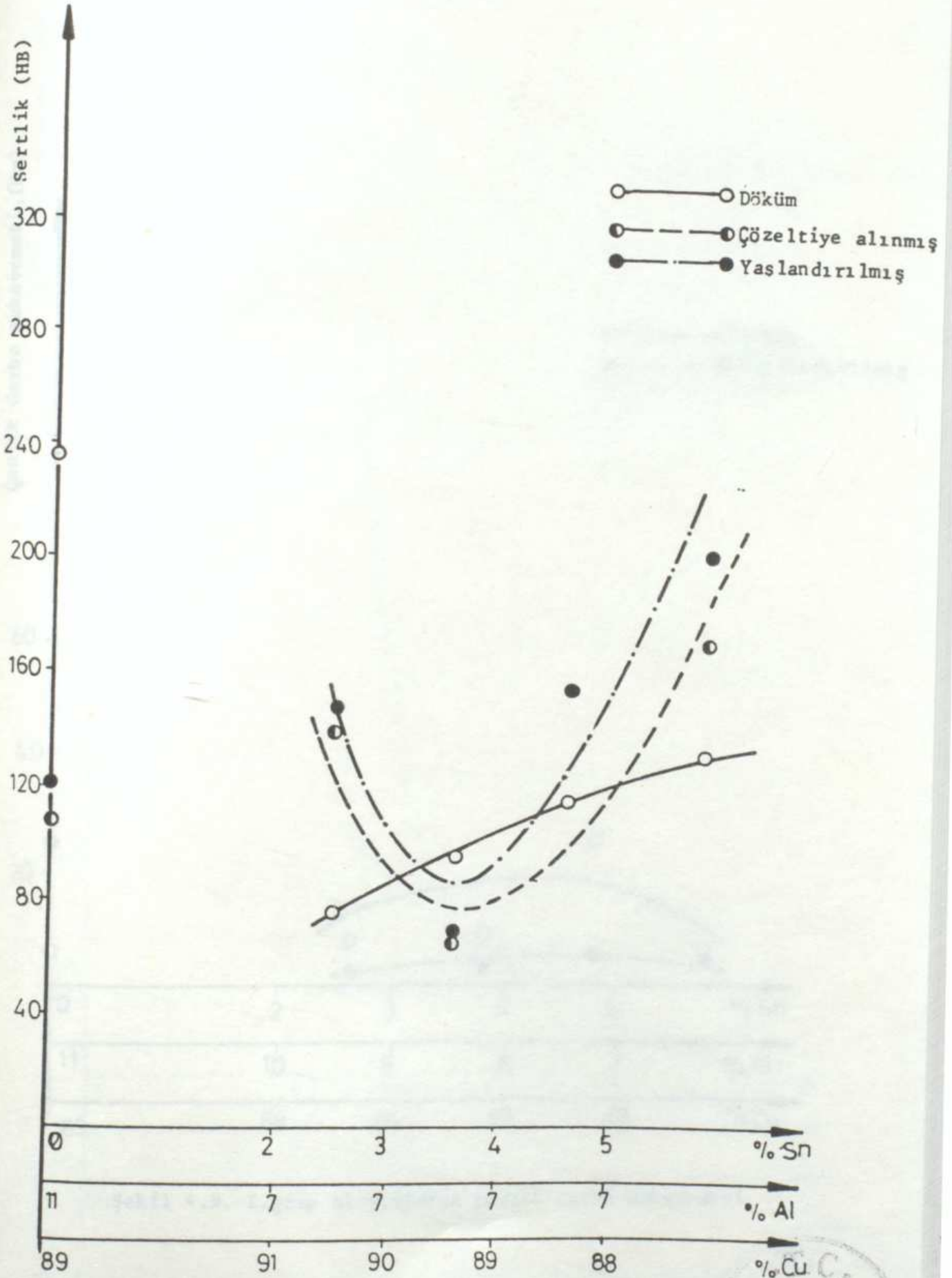


Şekil 4.6. II.grup alaşımların kopma uzaması

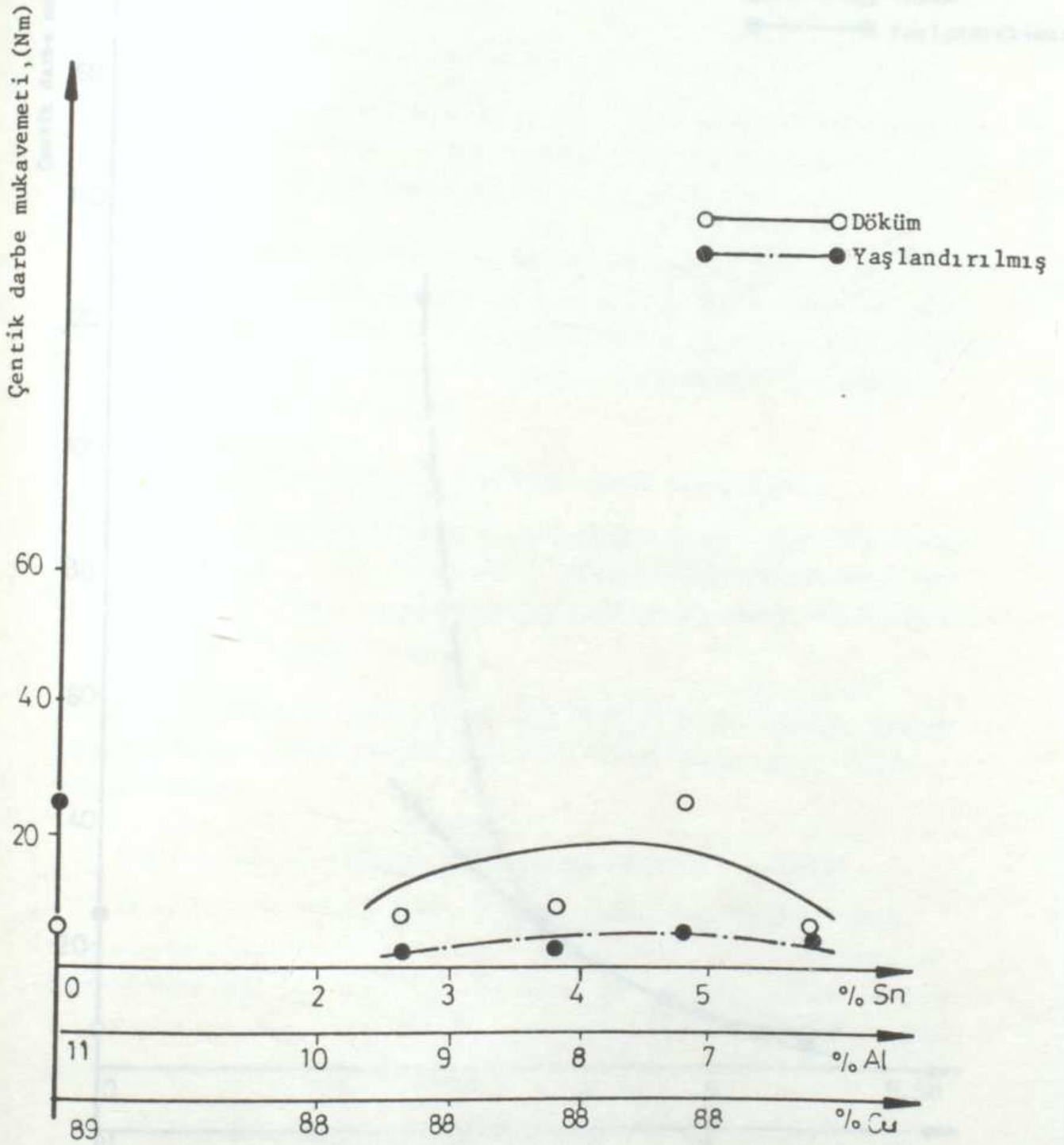




Şekil 4.7. I.grup alaşımların sertliği

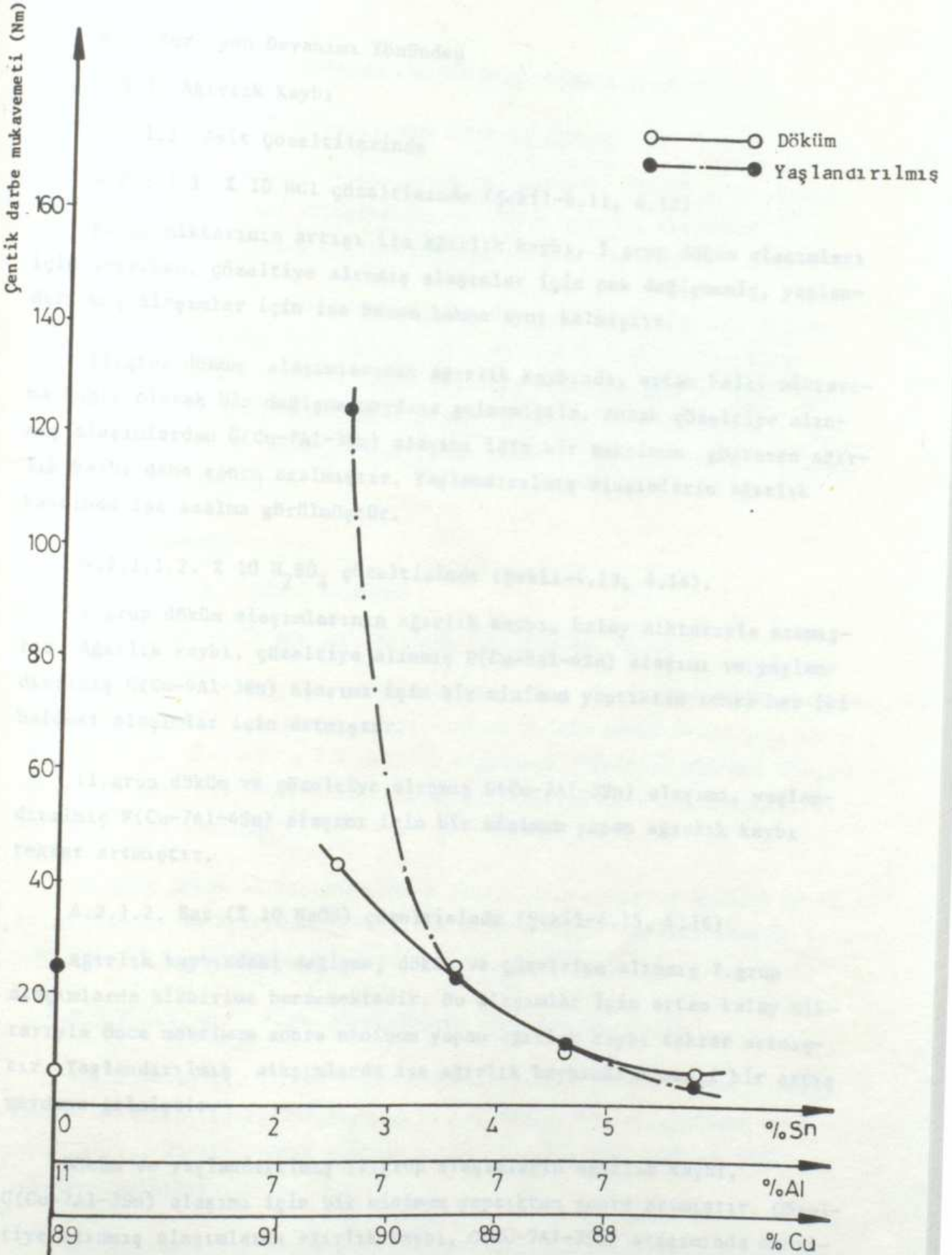


Şekil 4.8 II.grup alaşımların sertliği



Şekil 4.9. I.grup alaşımların çentik darbe mukavemeti





Şekil 4.10. II.grup alaşımların çentik darbe mukavemeti



4.2. Korozyon Dayanımı Yönünden

4.2.1. Ağırlık Kaybı

4.2.1.1. Asit Çözeltilerinde

4.2.1.1.1. % 10 HCl çözeltisinde (Şekil-4.11, 4.12)

Kalay miktarının artışı ile ağırlık kaybı, I.grup döküm alaşımları için artarken, çözeltiye alınmış alaşımlar için pek değişmemiş, yaşlandırılmış alaşımlar için ise hemen hemen aynı kalmıştır.

II.grup döküm alaşımlarının ağırlık kaybında, artan kalay miktarına bağlı olarak bir değişme meydana gelmemiştir. Ancak çözeltiye alınmış alaşımlardan G(Cu-7Al-3Sn) alaşımı için bir maksimum gösteren ağırlık kaybı daha sonra azalmıştır. Yaşlandırılmış alaşımların ağırlık kaybında ise azalma görülmüştür.

4.2.1.1.2. % 10 H₂SO₄ çözeltisinde (Şekil-4.13, 4.14).

I.grup döküm alaşımlarının ağırlık kaybı, kalay miktarıyla artmıştır. Ağırlık kaybı, çözeltiye alınmış D(Cu-8Al-4Sn) alaşımı ve yaşlandırılmış C(Cu-9Al-3Sn) alaşımı için bir minimum yaptıktan sonra her iki haldeki alaşımlar için artmıştır.

II.grup döküm ve çözeltiye alınmış G(Cu-7Al-3Sn) alaşımı, yaşlandırılmış F(Cu-7Al-4Sn) alaşımı için bir minimum yapan ağırlık kaybı tekrar artmıştır.

4.2.1.2. Baz (% 10 NaOH) çözeltisinde (Şekil-4.15, 4.16)

Ağırlık kaybındaki değişme, döküm ve çözeltiye alınmış I.grup alaşımlarda birbirine benzemektedir. Bu alaşımlar için artan kalay miktarıyla önce maksimum sonra minimum yapan ağırlık kaybı tekrar artmıştır. Yaşlandırılmış alaşımlarda ise ağırlık kaybında düzenli bir artış meydana gelmiştir.

Döküm ve yaşlandırılmış II.grup alaşımların ağırlık kaybı, G(Cu-7Al-3Sn) alaşımı için bir minimum yaptıktan sonra artmıştır. Çözeltiye alınmış alaşımlarda ağırlık kaybı, G(Cu-7Al-3Sn) alaşımında mak-



mum, $F(\text{Cu-7Al-4Sn})$ alaşımda bir minimum yaparak artmıştır.

4.2.1.3. Tuz (% 10 NaCl) çözeltisinde (Şekil-4.17, 4.18)

Kalay miktarındaki artış, döküm ve yaşlandırılmış I.grup alaşımların ağırlık kaybını arttırırken, çözeltiye alınmış alaşımlar için önce artan sonra azalan ağırlık kaybını meydana getirmiştir.

Döküm II.grup alaşımların ağırlık kaybı, artan kalay ile azalma gösterirken $E(\text{Cu-7Al-5Sn})$ alaşımı için aniden artmıştır. Çözeltiye alınmış alaşımların ağırlık kaybı artarken $E(\text{Cu-7Al-5Sn})$ alaşımı için azalmıştır. Yaşlandırılmış alaşımların ağırlık kaybı artan kalay miktarına bağlı olarak artmış ancak $F(\text{Cu-7Al-4Sn})$ ve $E(\text{Cu-7Al-5Sn})$ alaşımları için değişmemiştir.

4.2.2. Korozyon Hızı

4.2.2.1. Asit çözeltiğinde

4.2.2.1.1. % 10 HCl çözeltisinde (Şekil-4.19, 4.20)

Korozyon hızları, kalay miktarındaki artış ile I.grup döküm alaşımları için artarken, yaşlandırılmış alaşımlar için hemen hemen aynı kalmıştır. Kalay miktarının % 2 den % 3 e artması çözeltiye alınmış alaşımların korozyon hızlarını arttırırken, % 5 kalaylı Cu-7Al alaşımı için korozyon hızı azalmıştır.

II.grup döküm ve yaşlandırılmış alaşımların korozyon hızları artan kalay miktarıyla azalırken, çözeltiye alınmış $G(\text{Cu-7Al-3Sn})$ alaşımı için maksimum değere ulaştıktan sonra tekrar azalmıştır.

4.2.2.1.2. % 10 H_2SO_4 çözeltisinde (Şekil-4.21, 4.22)

Artan kalay ile I.grup döküm alaşımlarının korozyon hızları lineer olarak artarken, çözeltiye alınmış ve yaşlandırılmış alaşımların korozyon hızları, düzgün olarak azalmış ancak $E(\text{Cu-7Al-5Sn})$ alaşımı için maksimum yapmıştır.

Döküm, çözeltiye alınmış ve yaşlandırılmış II.grup alaşımların korozyon hızları, Şekil-4.22 de de görüldüğü gibi artan kalay miktarı ile azalmış, $E(\text{Cu-7Al-5Sn})$ alaşımı için artmıştır.

4.2.2.2. Baz (% 10 NaOH) çözeltisinde (Şekil-4.23, 4.24)

Döküm ve çözeltiye alınmış I.grup alaşımların korozyon hızları kalay miktarına bağlı olarak C(Cu-9Al-3Sn) alaşımı için maksimum, D(Cu-8Al-4Sn) alaşımı için minimum yaptıktan sonra tekrar artmıştır. Yaşlandırılmış alaşımların korozyon hızlarında ise önce düzgün bir azalma ve sonra artma meydana gelmiştir.

Döküm ve yaşlandırılmış II.grup alaşımların korozyon hızları Şekil-4.24 den de görüldüğü gibi birbirine benzer şekilde değişim göstermekte ve artan kalay miktarı ile azalmakta sonra artmaktadır. Çözeltiye alınmış G(Cu-7Al-3Sn) alaşımı için maksimum değere ulaşan korozyon hızı azalarak F(Cu-7Al-4Sn) ve E(Cu-7Al-5Sn) alaşımları için aynı değerde kalmıştır.

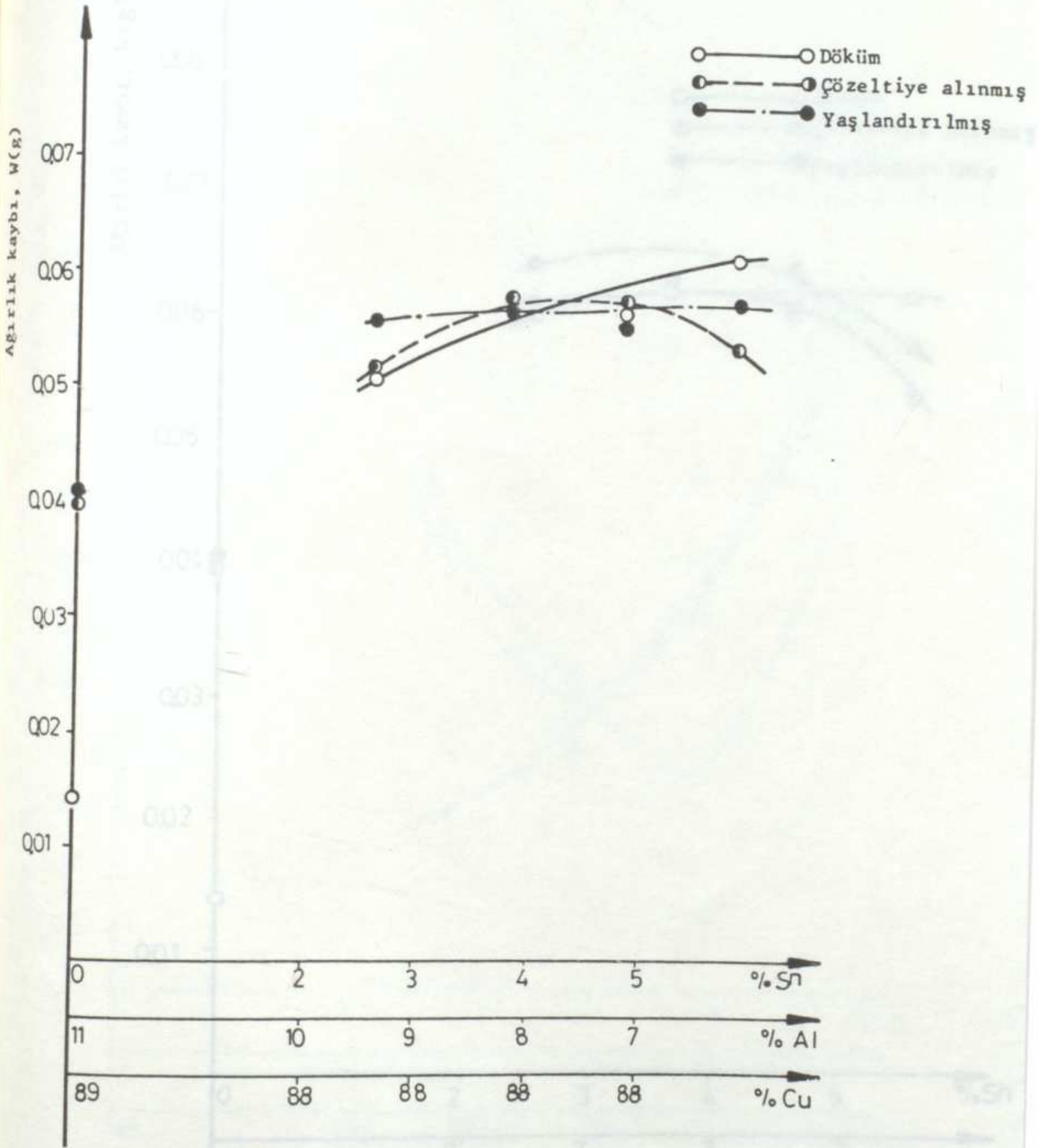
4.2.2.3. Tuz (% 10 NaCl) çözeltisinde (Şekil-4.25, 4.26)

Kalay miktarına bağlı olarak döküm ve yaşlandırılmış I.grup alaşımların korozyon hızları artarken, çözeltiye alınmış alaşımlar için ise önce artmış sonra azalmıştır.

Korozyon hızları, II.grup döküm alaşımlarında önce azalma sonra artma, yaşlandırılmış alaşımlarda ise sürekli artma göstermiştir. Çözeltiye alınmış E(Cu-7Al-5Sn) alaşımı dışındaki alaşımların korozyon hızlarında da artış görülmüştür.

Yapılan mekanik ve kimyasal deneyler sonucunda % 88-91 Cu, % 7-10Al ve % 2-5Sn içeren sekiz farklı bileşimdeki alüminyum bronzlarına ait değerler toplu olarak Çizelge-4.1, 4.8 de verilmiş, bu sonuçlar esas alınarak çizilen eğriler Şekil-4.27, 4.44 de gösterilmiştir.

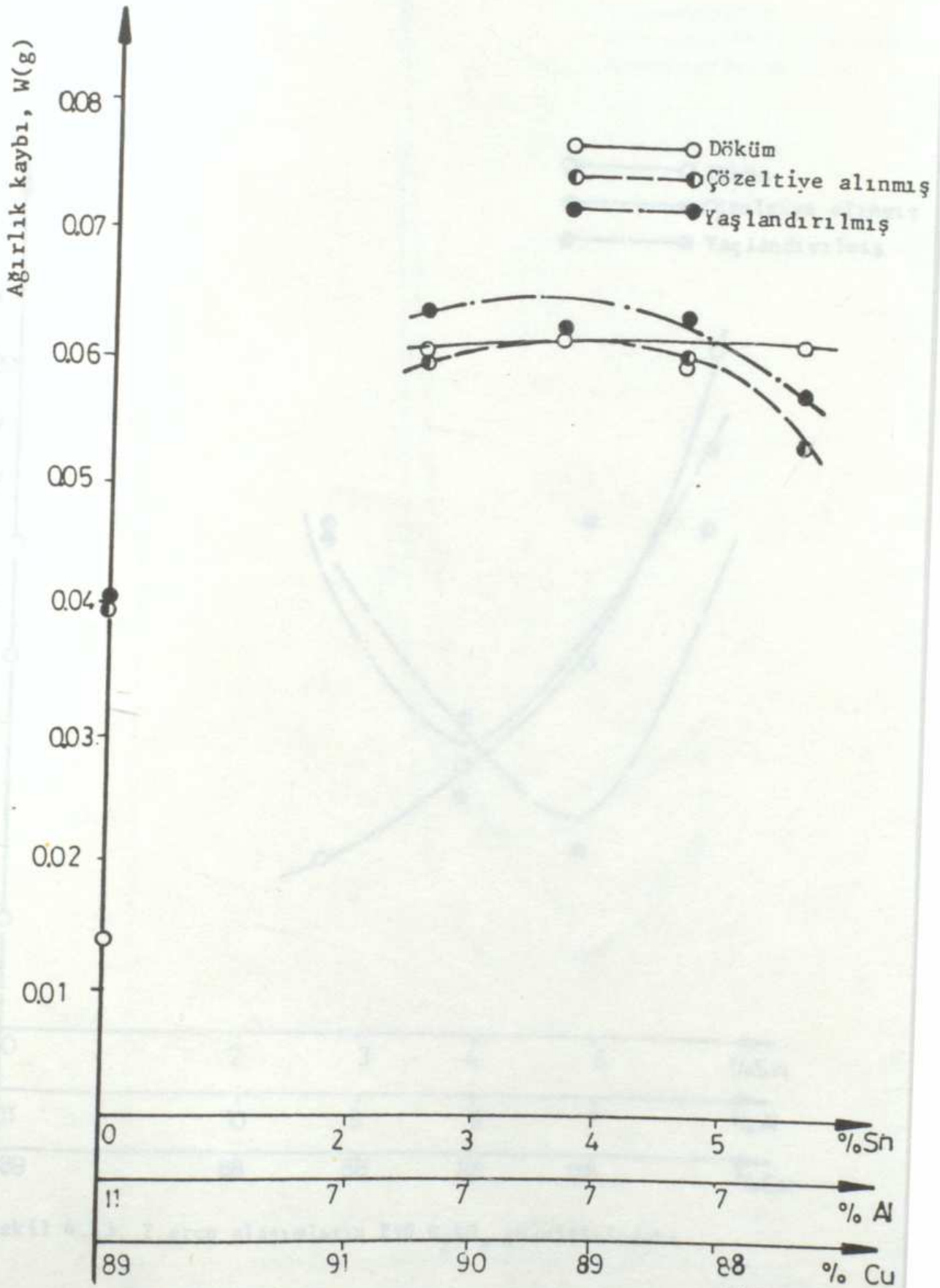




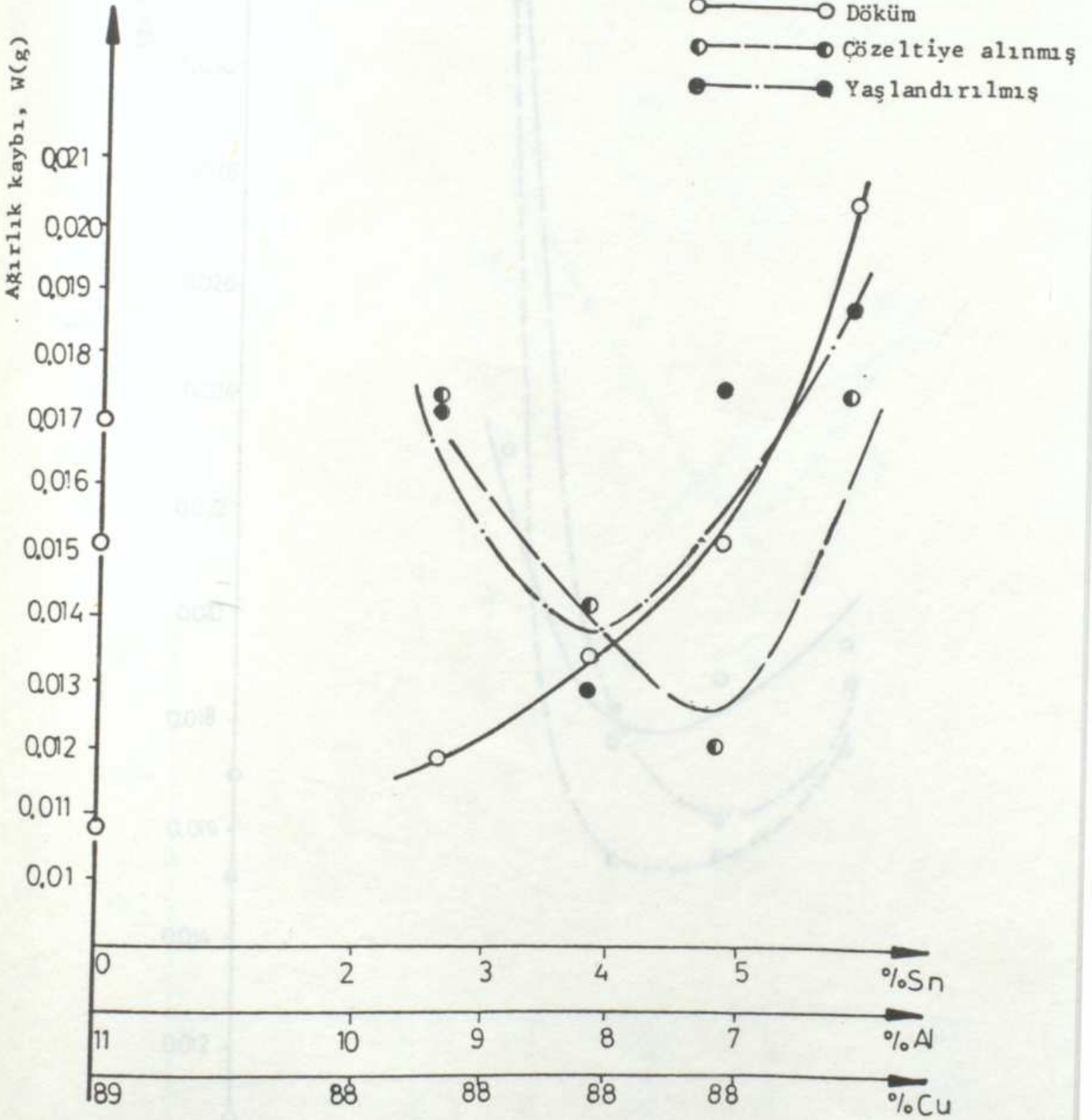
Şekil 4.11. I. grup alaşımların %10 HCl çözeltisindeki

ağırlık kayıpları





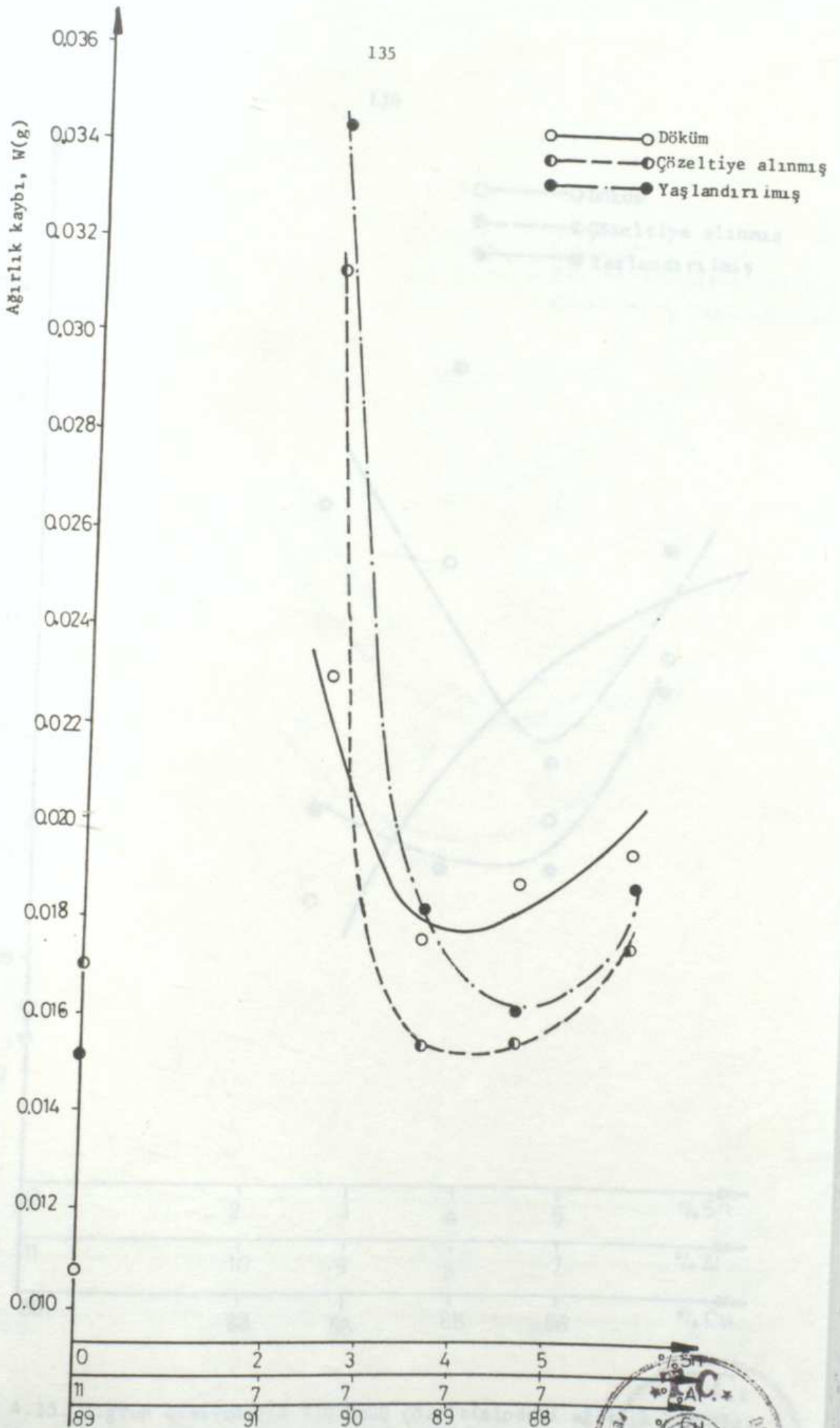
Şekil 4.12. II.grup alaşımların %10 HCl çözeltisindeki



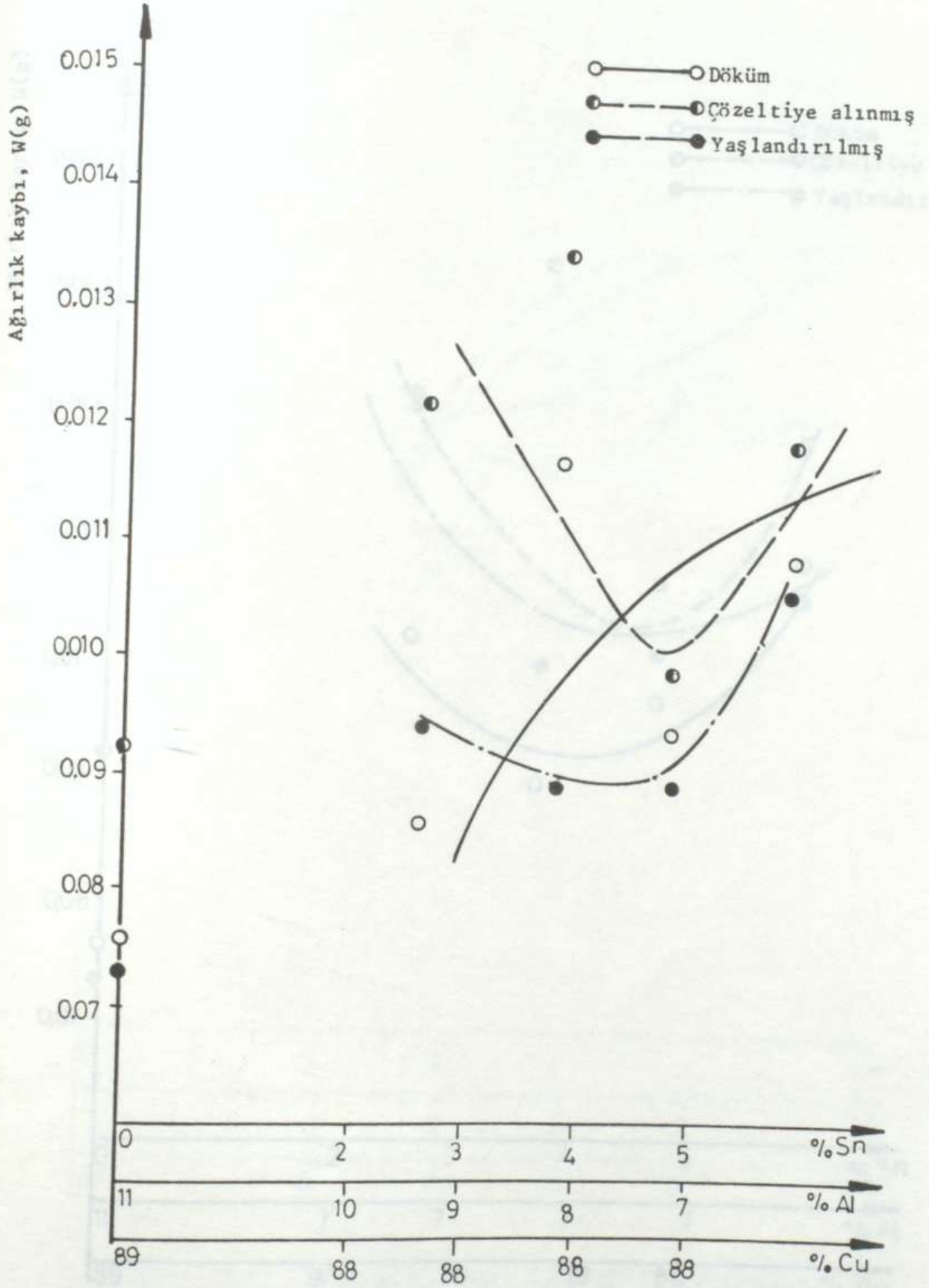
Şekil 4.13. I.grup alaşımların %10 H_2SO_4 çözeltisindeki

ağırlık kayıpları



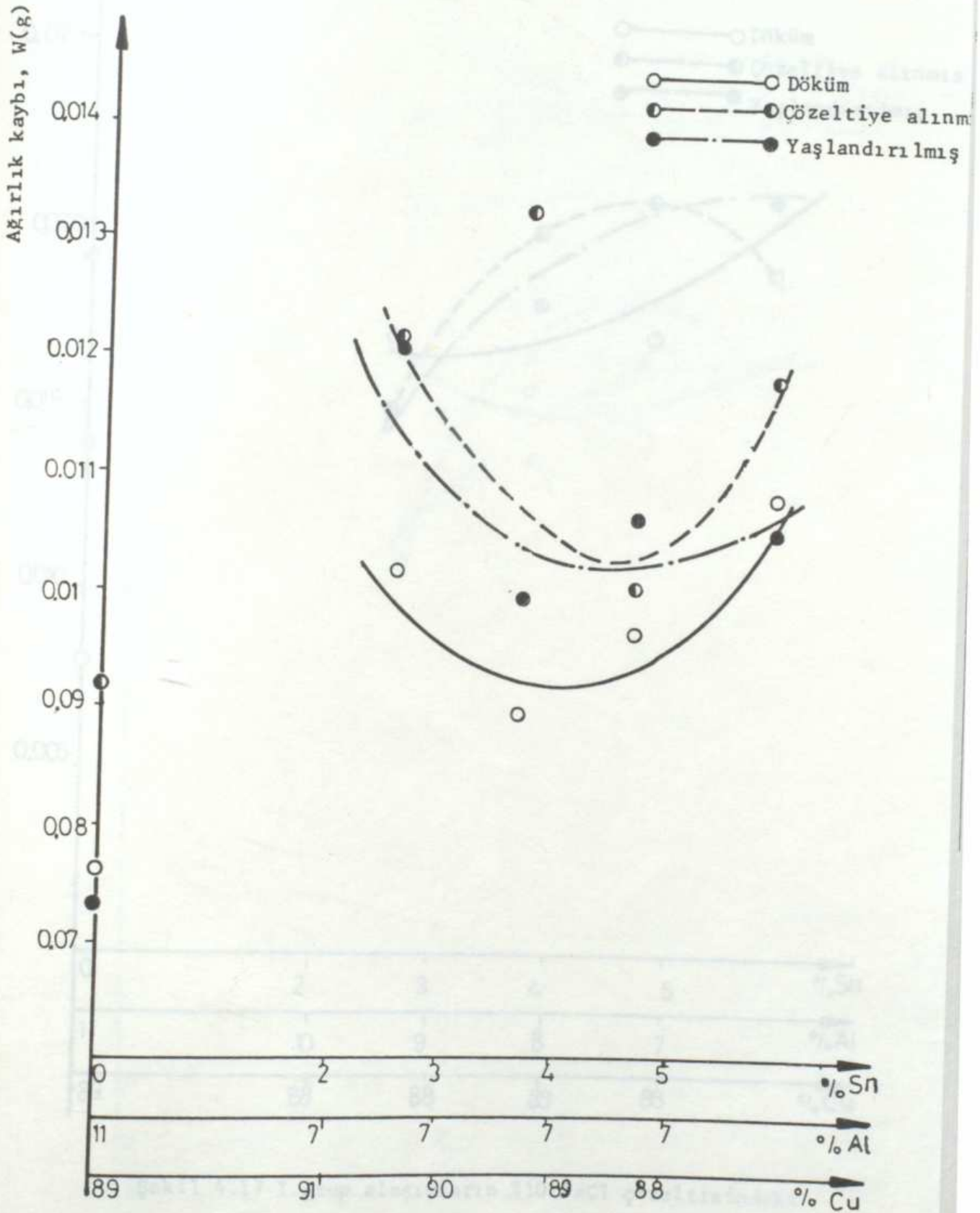


Şekil 4.14. II.grup alaşımların %10 H_2SO_4 çözeltisindeki ağırlık kayıpları

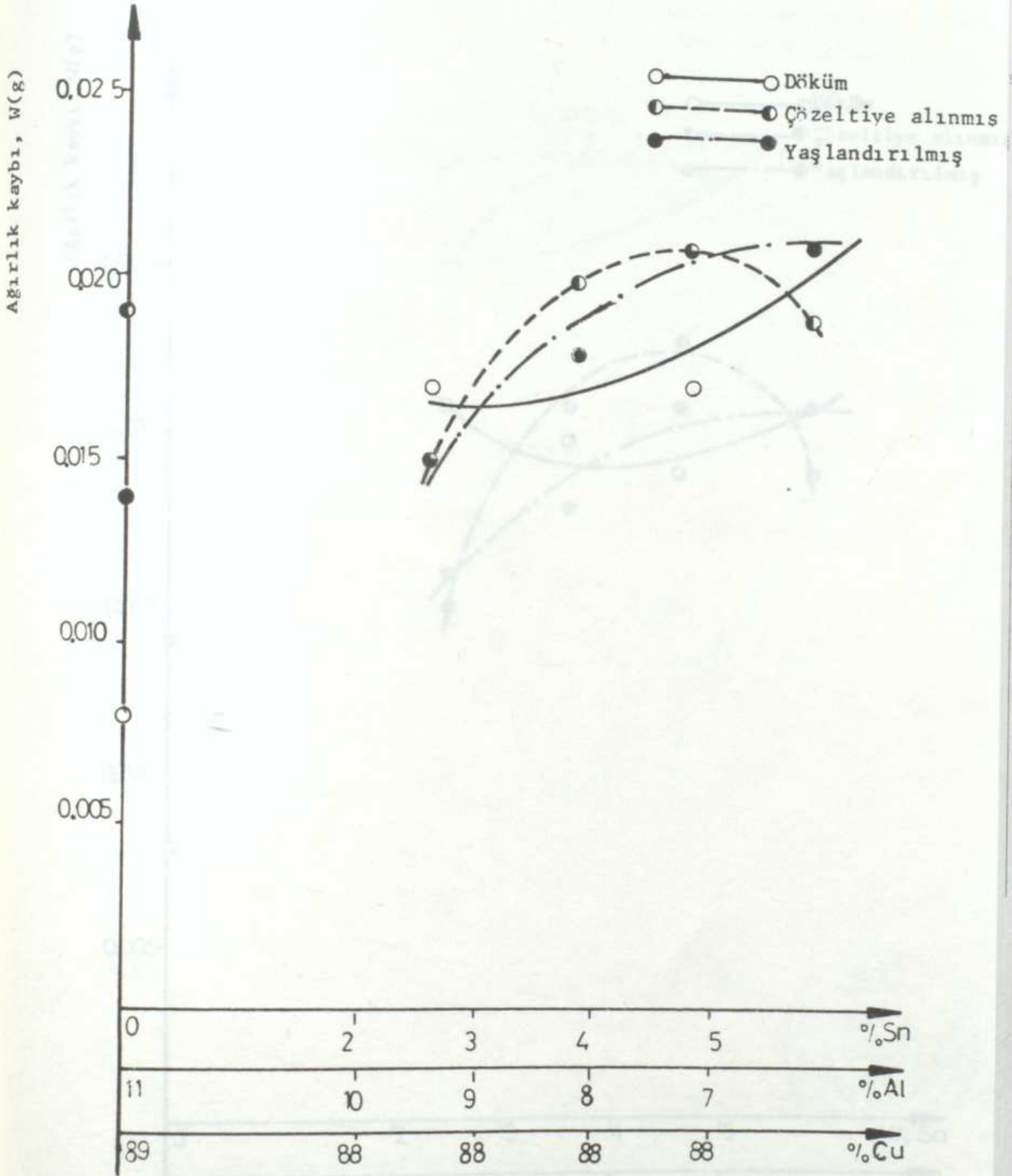


Şekil 4.15. I.grup alaşımların %10 NaOH çözeltisindeki ağırlık kayıpları





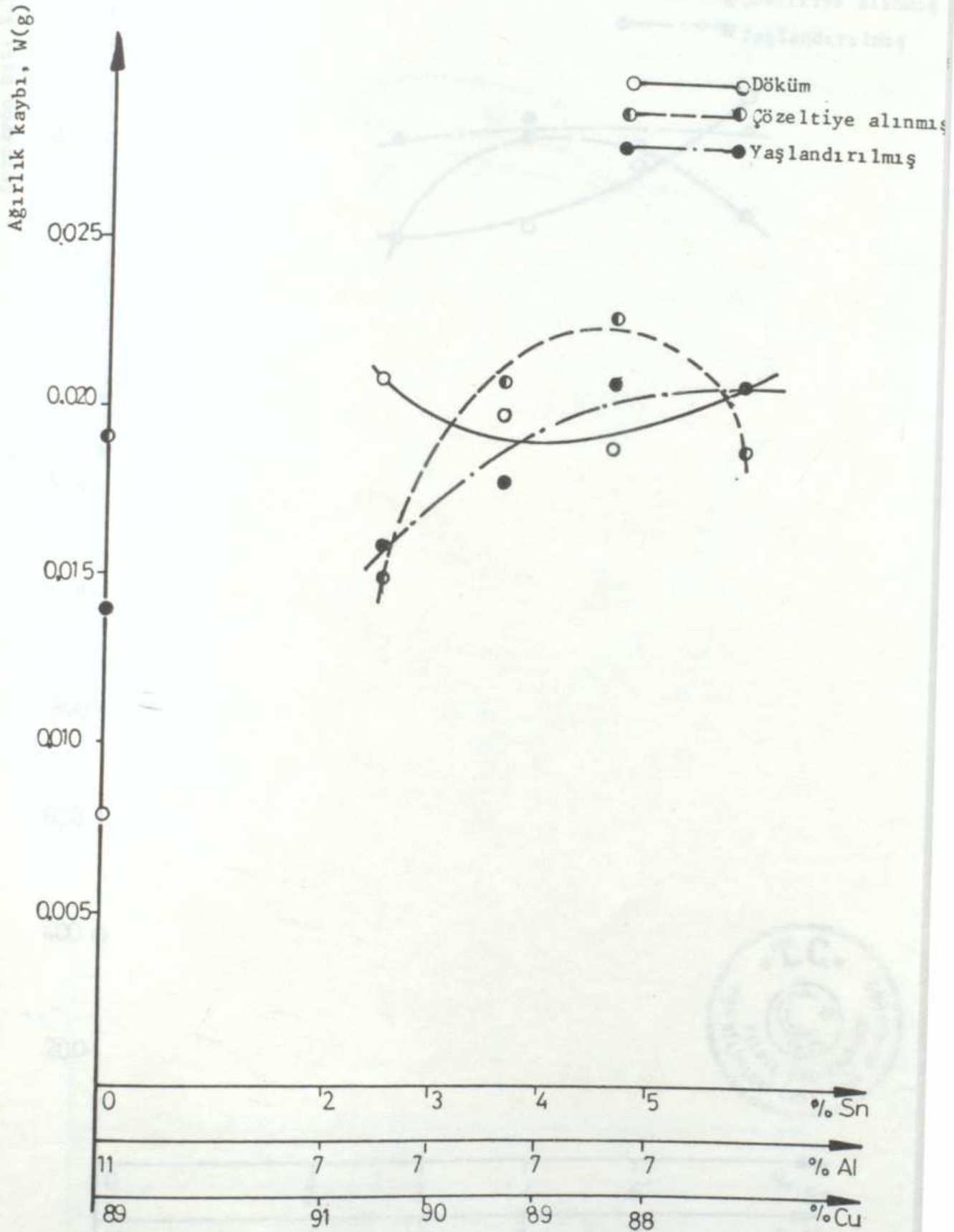
Şekil 4.16. II.grup alaşımların %10 NaOH çözeltisindeki ağırlık kayıpları



Şekil 4.17 I.grup alaşımların %10 NaCl çözeltisindeki

ağırlık kayıpları

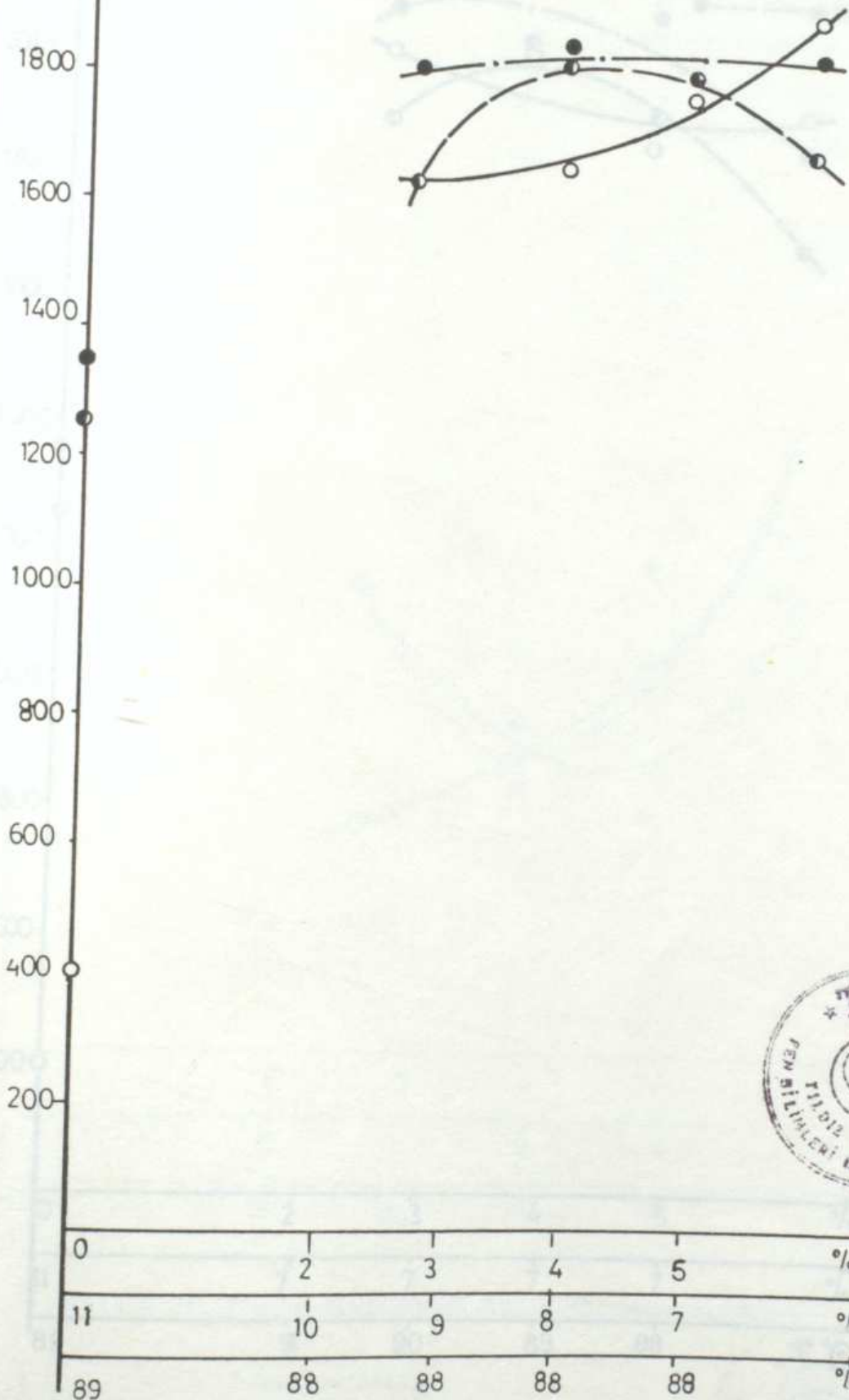




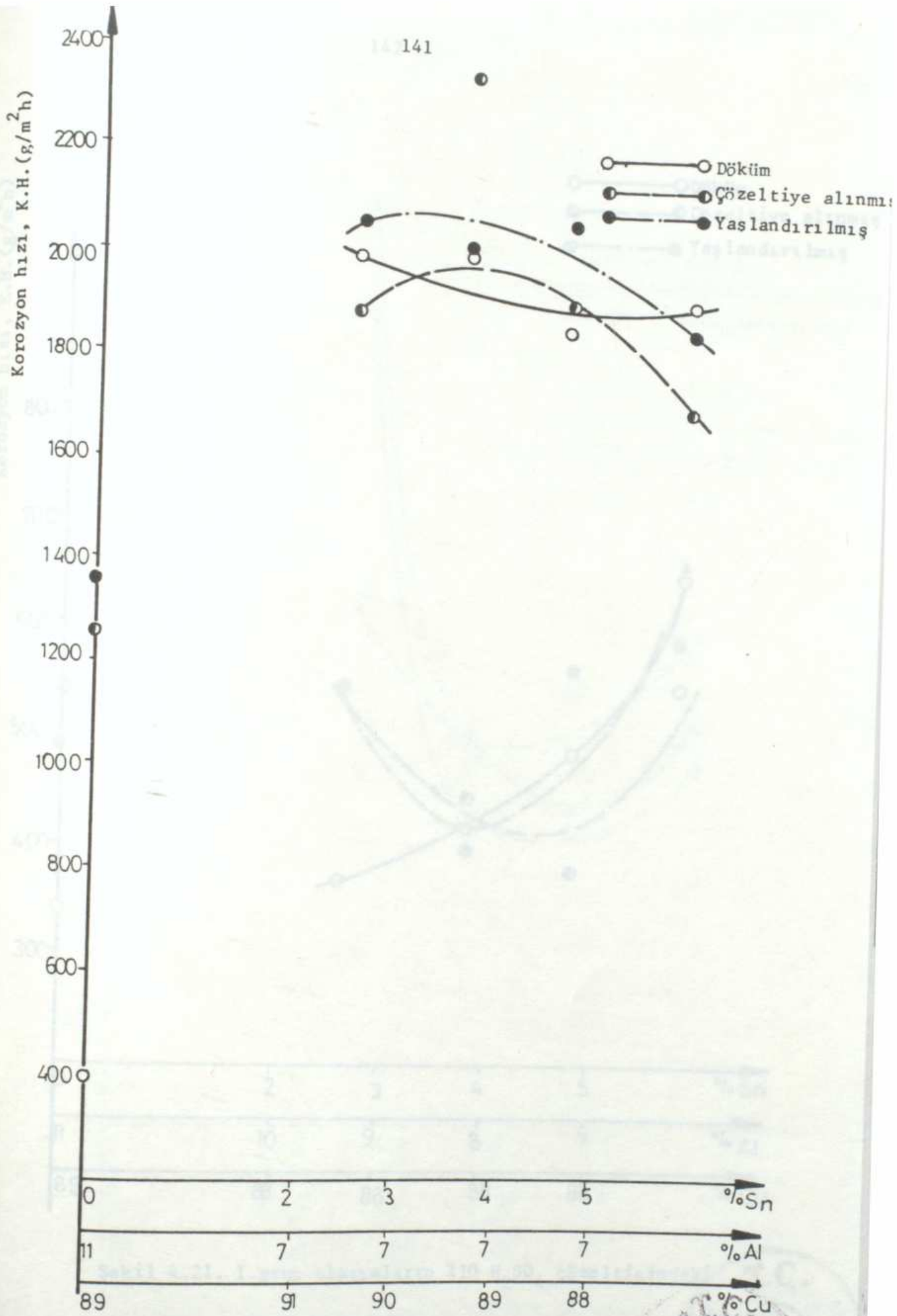
Şekil 4.18 II.grup alaşımların %10 NaCl çözeltisindeki ağırlık kayıpları

Korozyon hızı, K.H. ($\text{g/m}^2\text{h}$)

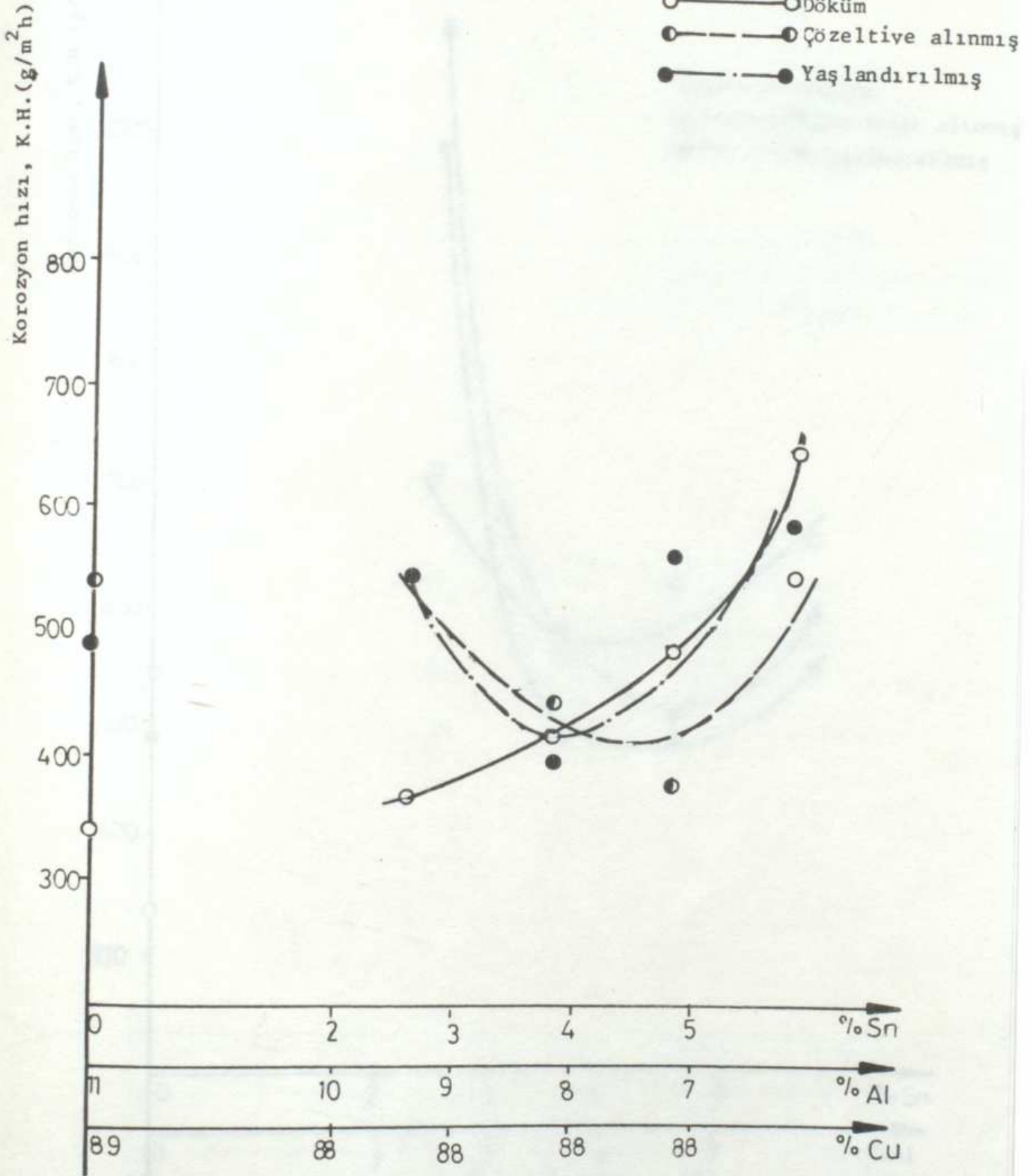
○ Döküm
 ● Çözeltiye alın
 ● Yaşlandırılmış



Şekil 4.19 I.grup alaşımların %10 HCl çözeltisindeki korozyon hızları



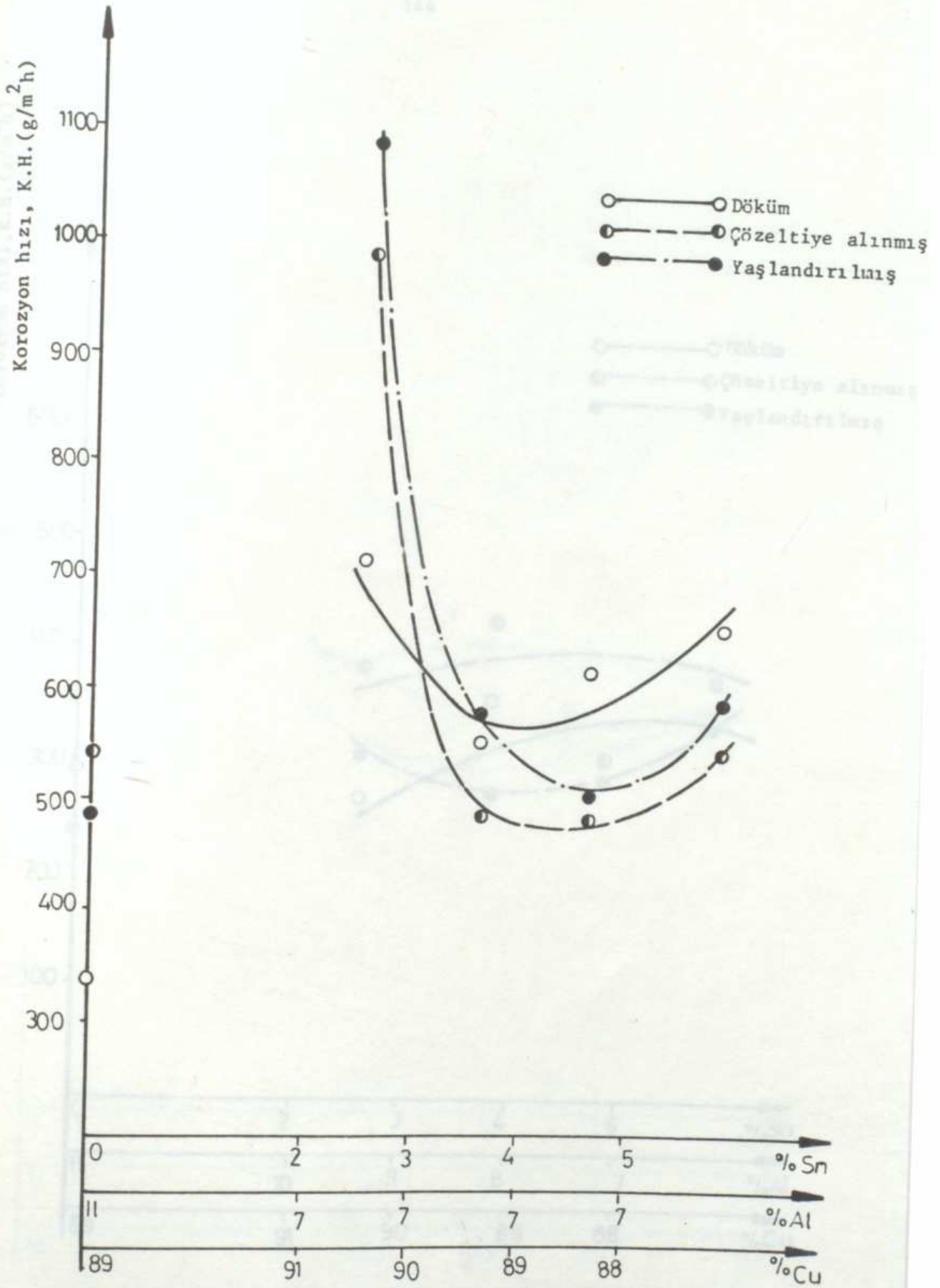
Şekil 4.20. II.grup alaşımların %10 HCl çözeltisindeki korozyon hızları



Şekil 4.21. I.grup alaşımların %10 H_2SO_4 çözeltisindeki

korozyon hızları

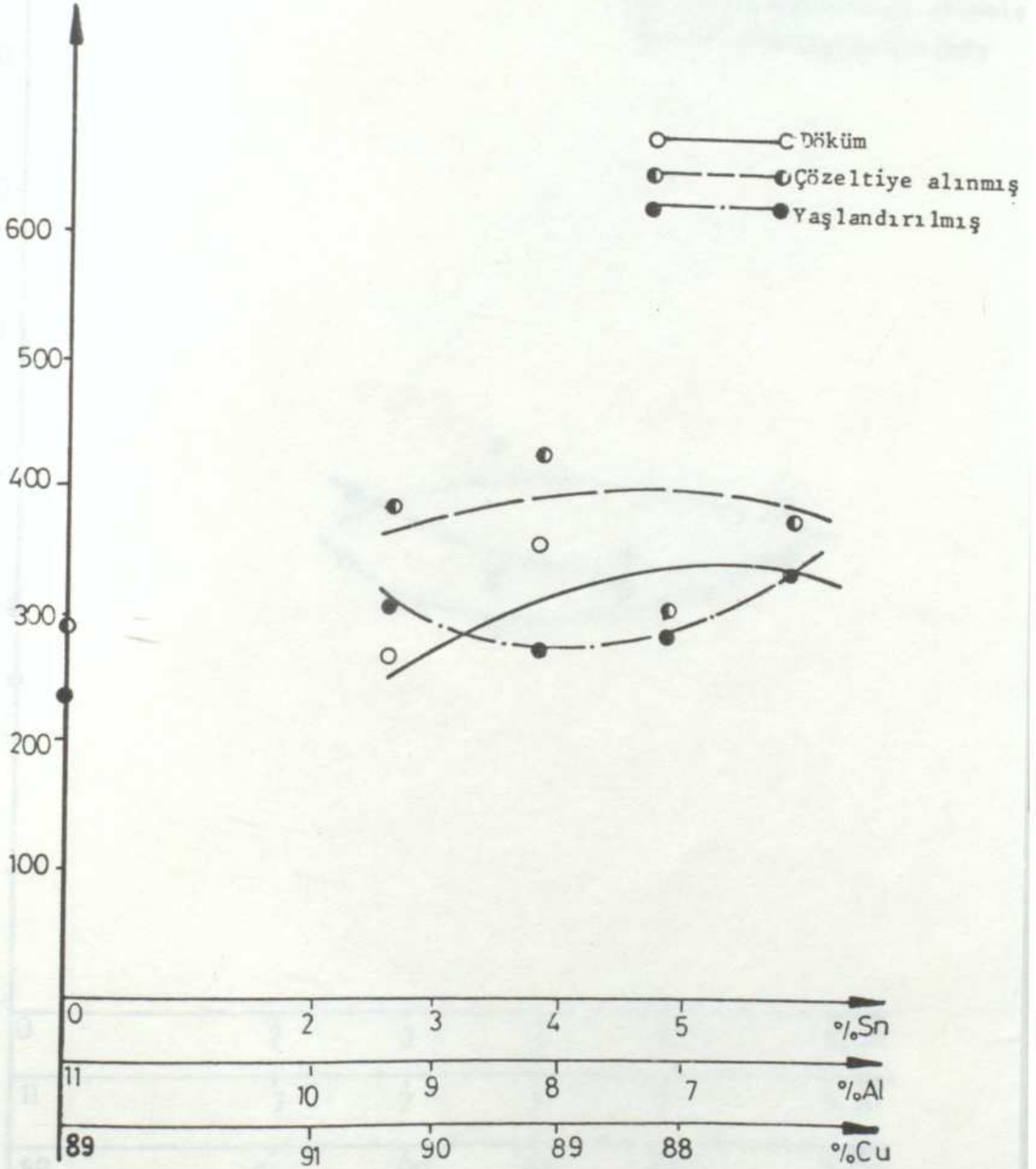




Şekil 4.22. II.grup alaşımların %10 H_2SO_4 çözeltisindeki

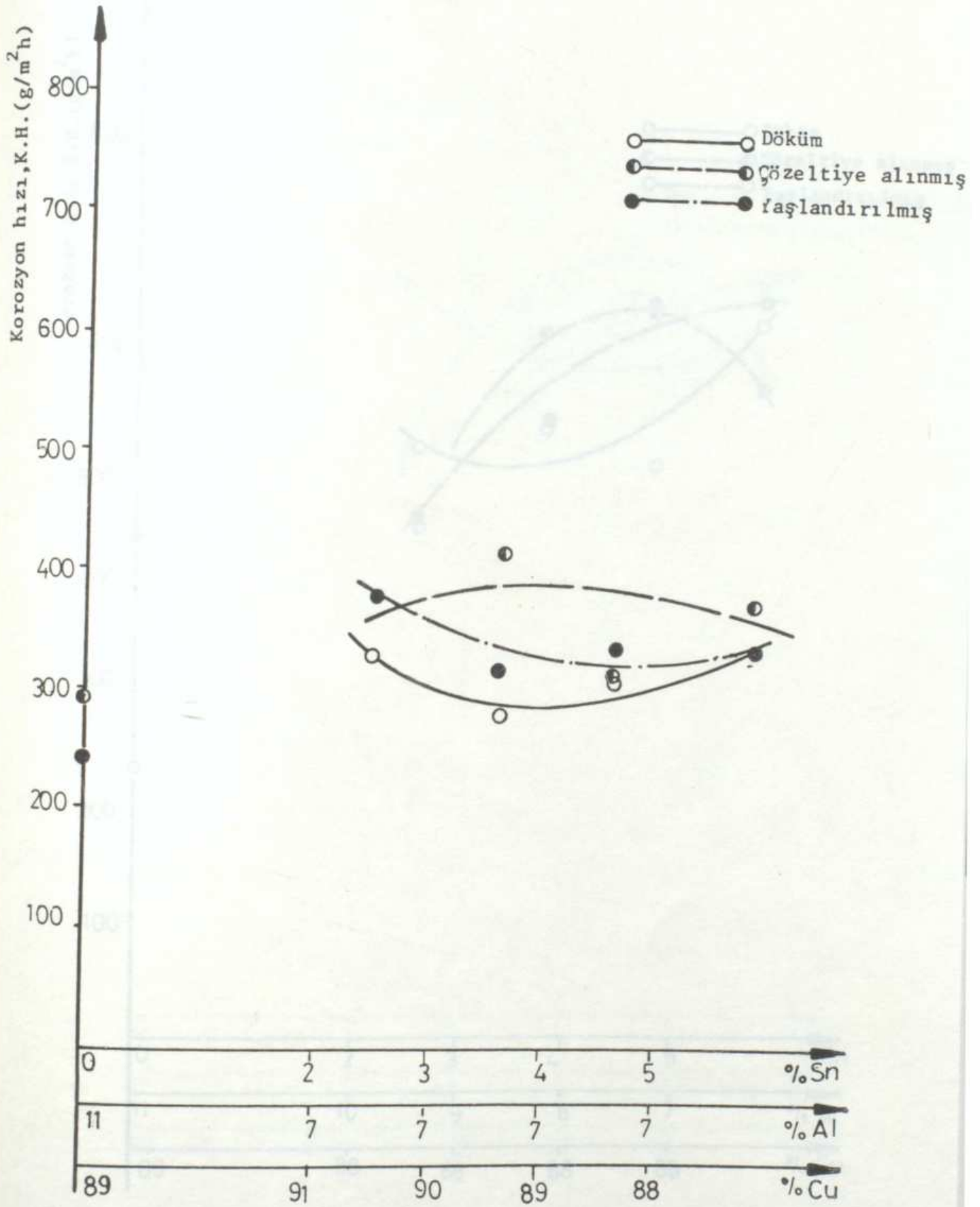
korozyon hızları



Korozyon hızı, K.H. ($\text{g/m}^2\text{h}$)

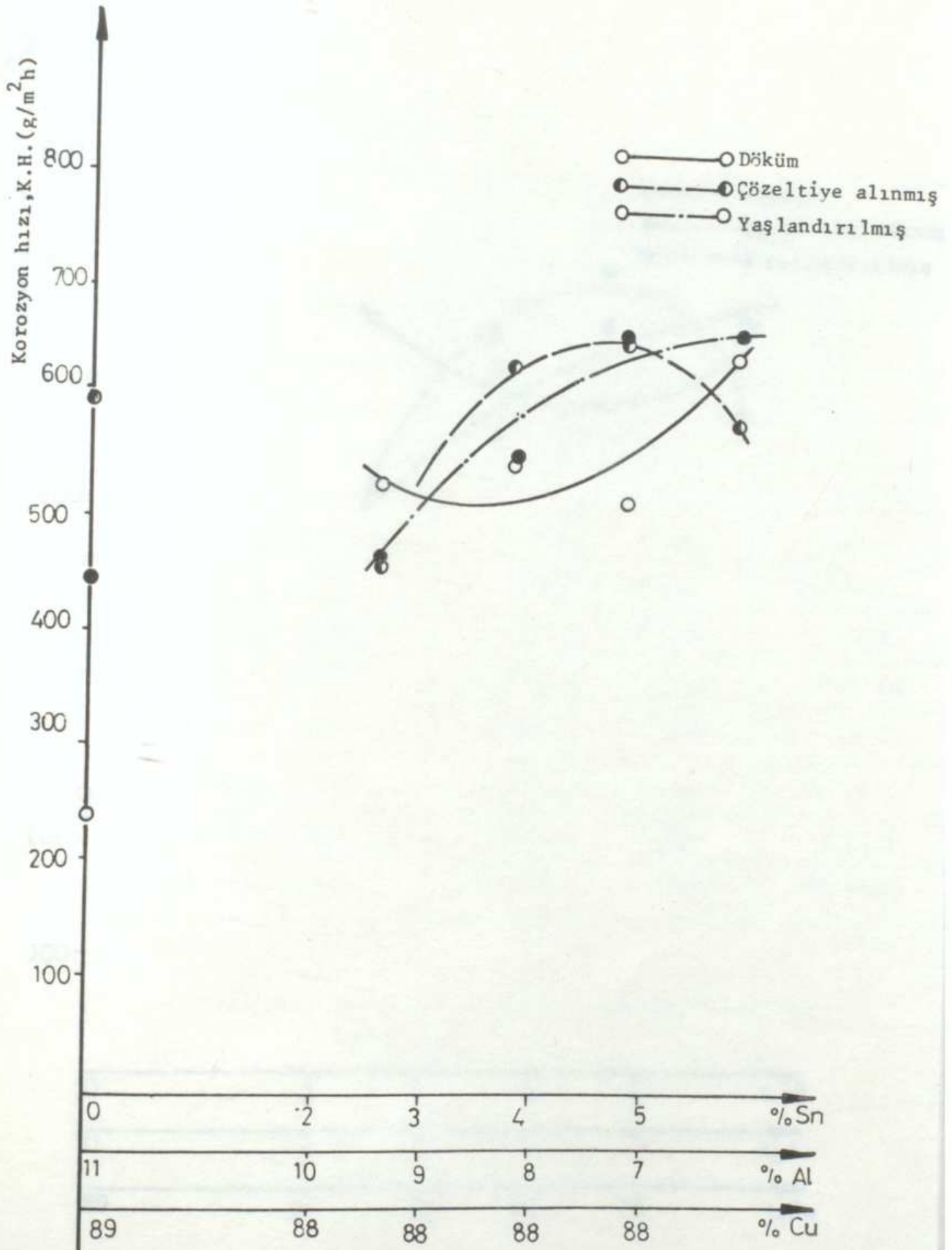
Şekil 4.23. I.grup alaşımların %10 NaOH çözeltisindeki

korozyon hızları



Şekil 4.24. II.grup alaşımların %10 NaOH çözeltisindeki

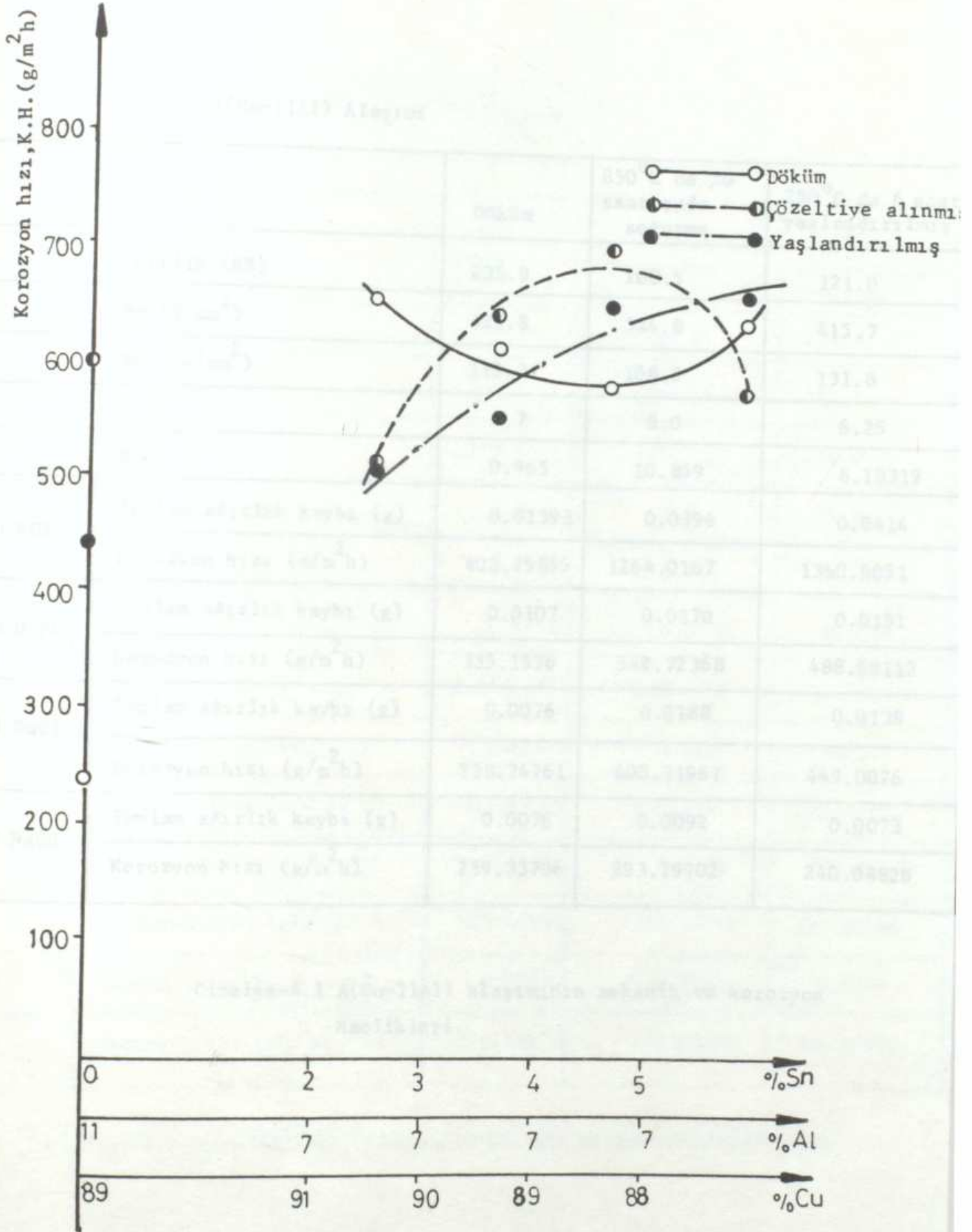
korozyon hızları



Şekil 4.25. I.grup alaşımların %10 NaCl çözeltisindeki

korozyon hızları





Şekil 4.26 II.grup alaşımların %10 NaCl çözeltisindeki

korozyon hızları



A(Cu-11Al) Alaşımı

		Döküm	850°C de 20 saat suda soğutma	250°C de 6 saat yaşlandırılmış
	Sertlik (HB)	235.9	108.5	121.0
	Rm (N/mm ²)	429.8	344.8	415.7
	Re (N/mm ²)	119.3	108.5	131.8
	% δ	2.7	8.0	6.25
	% Ψ	0.965	10.849	8.18312
%10 HCl	Toplam aşırılık kaybı (g)	0.01393	0.0396	0.0414
	Korozyon hızı (g/m ² h)	403.79855	1264.0167	1360.9051
%10 H ₂ SO ₄	Toplam aşırılık kaybı (g)	0.0107	0.0170	0.0151
	Korozyon hızı (g/m ² h)	335.1576	542.72368	488.69112
%10 NaCl	Toplam aşırılık kaybı (g)	0.0076	0.0188	0.0139
	Korozyon hızı (g/m ² h)	238.74761	600.31967	445.0076
%10 NaOH	Toplam aşırılık kaybı (g)	0.0076	0.0092	0.0073
	Korozyon hızı (g/m ² h)	239.33706	293.79902	240.04826

Çizelge-4.1 A(Cu-11Al) alaşımının mekanik ve korozyon özellikleri.



B(Cu-10Al-2Sn) Alaşımı

		Döküm	850°C de 20 saat suda soğutma	250°C da 12 saat yaşı- landırma
Sertlik (HB)		149.7	251.0	250.0
Rm (N/mm ²)		402.6	310.5	368.8
Re (N/mm ²)		120.0	72.4	125.0
ε δ		9.0	2.8	25.8
ε ψ		9.655	0.719	0.203
% 10 HCl	Toplam ağırlık kaybı (g)	0.0512	0.0518	0.0559
	Korozyon hızı (g/m ² h)	1655.0832	1653.4735	1826.4957
%10 H ₂ SO ₄	Toplam ağırlık kaybı (g)	0.01195	0.0175	0.0172
	Korozyon hızı (g/m ² h)	373.68069	553.44415	553.11799
%10 NaCl	Toplam ağırlık kaybı (g)	0.0170	0.0146	0.0146
	Korozyon hızı (g/m ² h)	527.65386	462.51162	465.66196
%10 NaOH	Toplam ağırlık kaybı (g)	0.0086	0.0122	0.0094
	Korozyon hız (g/m ² h)	270.89272	389.67182	309.82874

Çizelge-4.2 B(Cu-10Al-2Sn) alaşımının mekanik ve korozyon özellikleri.



C(Cu-9Al-3Sn) Alaşımı

		Döküm	850°C'da 20 saat suda soğutma	250°C da 12 saat yaşlandırma
Sertlik (HB)		139.7	205.75	246.0
R _m (N/mm ²)		409.5	380.5	469.1
R _e (N/mm ²)		116.4	112.1	116.0
% δ		12.2	1.5	26.5
% ψ		9.595	2.189	0.0
%10 HCl	Toplam ağırlık kaybı (g)	0.0571	0.0578	0.0578
	Korozyon hızı (g/m ² h)	1681.2688	1836.6535	1866.1527
%10 H ₂ SO ₄	Toplam ağırlık kaybı (g)	0.0135	0.0143	0.0130
	Korozyon hızı (g/m ² h)	421.82636	452.07032	403.08964
%10 NaCl	Toplam ağırlık kaybı (g)	0.0176	0.0202	0.0176
	Korozyon hızı (g/m ² h)	553.01691	637.88671	556.98429
%10 NaOH	Toplam ağırlık kaybı (g)	0.01165	0.0135	0.0089
	Korozyon hızı (g/m ² h)	362.59101	426.43157	278.1604

Çizelge-4.3 C(Cu-9Al-3Sn) alaşımının mekanik ve korozyon özellikleri.

D(Cu-8Al-4Sn) Alaşımı

		Döküm	850°C da 20 saat, suda soğutma	250°C da 12 saat yaşlandırma
	Sertlik (HB)	129.3	191.5	226.0
	Rm (N/mm ²)	431.6	449.8	533.9
	Re (N/mm ²)	130.5	110.7	128.5
	% δ	14.0	2.3	27.5
	% ψ	12.46	5.164	0.09867
%10 HCl	Toplam ağırlık kaybı(g)	0.0573	0.0580	0.0563
	Korozyon hızı (g/m ² h)	1787.4395	1829.137	1833.6291
%10 H ₂ SO ₄	Toplam ağırlık kaybı(g)	0.0153	0.0121	0.0177
	Korozyon hızı (g/m ² h)	493.85259	380.00301	568.8265
%10 NaCl	Toplam ağırlık kaybı(g)	0.0168	0.0212	0.0208
	Korozyon hızı (g/m ² h)	520.96379	664.5748	665.31717
%10 NaOH	Toplam ağırlık kaybı(g)	0.0094	0.0099	0.0089
	Korozyon hızı (g/m ² h)	293.83139	309.93497	286.31747

Çizelge-4.4 D(Cu-8Al-4Sn)alaşımının mekanik ve korozyon özellikleri.



E(Cu-7Al-5Sn) Alaşımı.

		Döküm	850°C da 20 saat suda soğutma	250°C da 12 saat yaşlandırma
Sertlik (HB)		133.0	170.0	204.0
Rm (N/mm ²)		406.5	499.1	478.1
Re (N/mm ²)		100.4	110.7	129.5
% δ		12.5	4.3	26.9
% ψ		8.14	5.211	1.46
%10 HCl	Toplam ağırlık kaybı (g)	0.0621	0.0542	0.0575
	Korozyon hızı (g/m ² h)	1921.6029	1708.5065	1859.6773
%10 H ₂ SO ₄	Toplam ağırlık kaybı (g)	0.0196	0.0176	0.0189
	Korozyon hızı (g/m ² h)	655.90622	553.86106	595.07334
%10 NaCl	Toplam ağırlık kaybı (g)	0.0208	0.0187	0.0211
	Korozyon hızı (g/m ² h)	651.57427	586.55225	668.29452
%10 NaOH	Toplam ağırlık kaybı (g)	0.0109	0.0119	0.0106
	Korozyon hızı (g/m ² h)	341.36885	380.54529	338.23413

Çizelge-4.5 E(Cu-7Al-5Sn) alaşımının mekanik ve korozyon özellikleri

Çizelge-4.6 E(Cu-7Al-5Sn) alaşımının mekanik ve korozyon özellikleri.



F(Cu-7Al-4Sn) Alaşımı.

		Döküm	900°C de 20 saat suda soğutma	250°C de 6 saat yaşlandırma
Sertlik (HB)		114.1	157.0	155.5
Rm (N/mm ²)		381.2	453.6	313.5
Re (N/mm ²)		132.5	119.6	161.8
% δ		18.5	5.5	28.0
% Ψ		6.977	6.299	2.4769
%10 HCl	Toplam ağırlık kaybı(g)	0.05959	0.0607	0.0640
	Korozyon hızı (g/m ² h)	1856.6103	1907.9952	2068.7165
%10 H ₂ SO ₄	Toplam ağırlık kaybı(g)	0.0189	0.0155	0.0162
	Korozyon hızı (g/m ² h)	624.88899	489.1252	507.37069
%10 NaCl	Toplam ağırlık kaybı(g)	0.0190	0.0226	0.0211
	Korozyon hızı (g/m ² h)	589.57862	712.15007	658.04665
%10 NaOH	Toplam ağırlık kaybı(g)	0.0097	0.0101	0.0107
	Korozyon hızı (g/m ² h)	307.74767	321.65225	340.32837

Çizelge-4.6 F(Cu-7Al-4Sn) alaşımının mekanik ve korozyon özellikleri.



G(Cu-7Al-3Sn) Alaşımı.

		Döküm	900°C de 20 saat suda soğutma	250°C de 6 saat yaşlandırma
Sertlik (HB)		96.6	62.4	66.6
Rm (N/mm ²)		363.9	441.6	418.8
Re (N/mm ²)		93.5	90.3	111.8
% δ		32.5	27.5	17.5
% ψ		24.733	21.696	14.6763
%10 HCl	Toplam ağırlık kaybı(g)	0.06157	0.0738	0.0626
	Korozyon hızı (g/m ² h)	2002.9227	2349.1465	2018.6126
%10 H ₂ SO ₄	Toplam ağırlık kaybı(g)	0.0177	0.0155	0.0183
	Korozyon hızı (g/m ² h)	555.53412	488.10934	584.0322
%10 NaCl	Toplam ağırlık kaybı(g)	0.020	0.021	0.0178
	Korozyon hızı (g/m ² h)	622.06551	651.68902	561.37446
%10 NaOH	Toplam ağırlık kaybı(g)	0.0090	0.0133	0.010
	Korozyon hızı (g/m ² h)	283.54525	420.40579	319.62742

Çizelge-4.7 G(Cu-7Al-3Sn) alaşımının mekanik ve korozyon özellikleri.

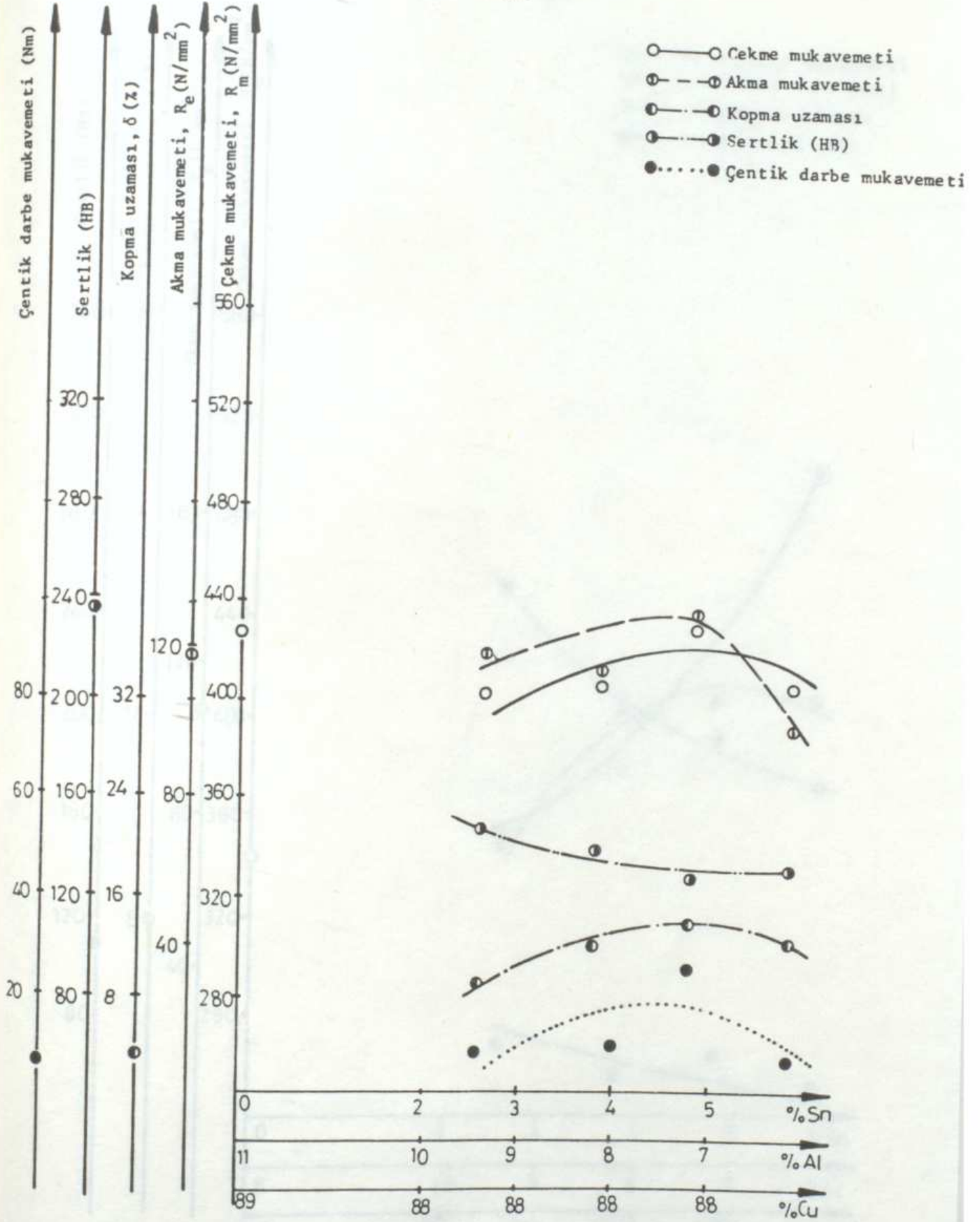


H(Cu-7Al-2Sn) Alaşımı.

		Döküm	850°C de 20 saat suda soğutma	250°C de 9 saat yaşlandırma
	Sertlik (HB)	77.0	138.5	146.0
	Rm (N/mm ²)	346.0	360.1	318.8
	Re (N/mm ²)	87.2	82.9	90.8
	% δ	50.0	57.5	31.25
	% ψ	32.871	45.519	32.7961
%10 HCl	Toplam ağırlık kaybı (g)	0.0614	0.0599	0.0641
	Korozyon hızı (g/m ² h)	1995.0755	1885.8864	2066.943
%10 H ₂ SO ₄	Toplam ağırlık kaybı (g)	0.0231	0.0315	0.0345
	Korozyon hızı (g/m ² h)	724.44689	989.64226	1090.6514
%10 NaCl	Toplam ağırlık kaybı (g)	0.02122	0.0149	0.0162
	Korozyon hızı (g/m ² h)	662.53068	517.41938	513.46158
%10 NaOH	Toplam ağırlık kaybı (g)	0.0102	0.0122	0.0121
	Korozyon hızı (g/m ² h)	331.29787	383.33343	384.84114

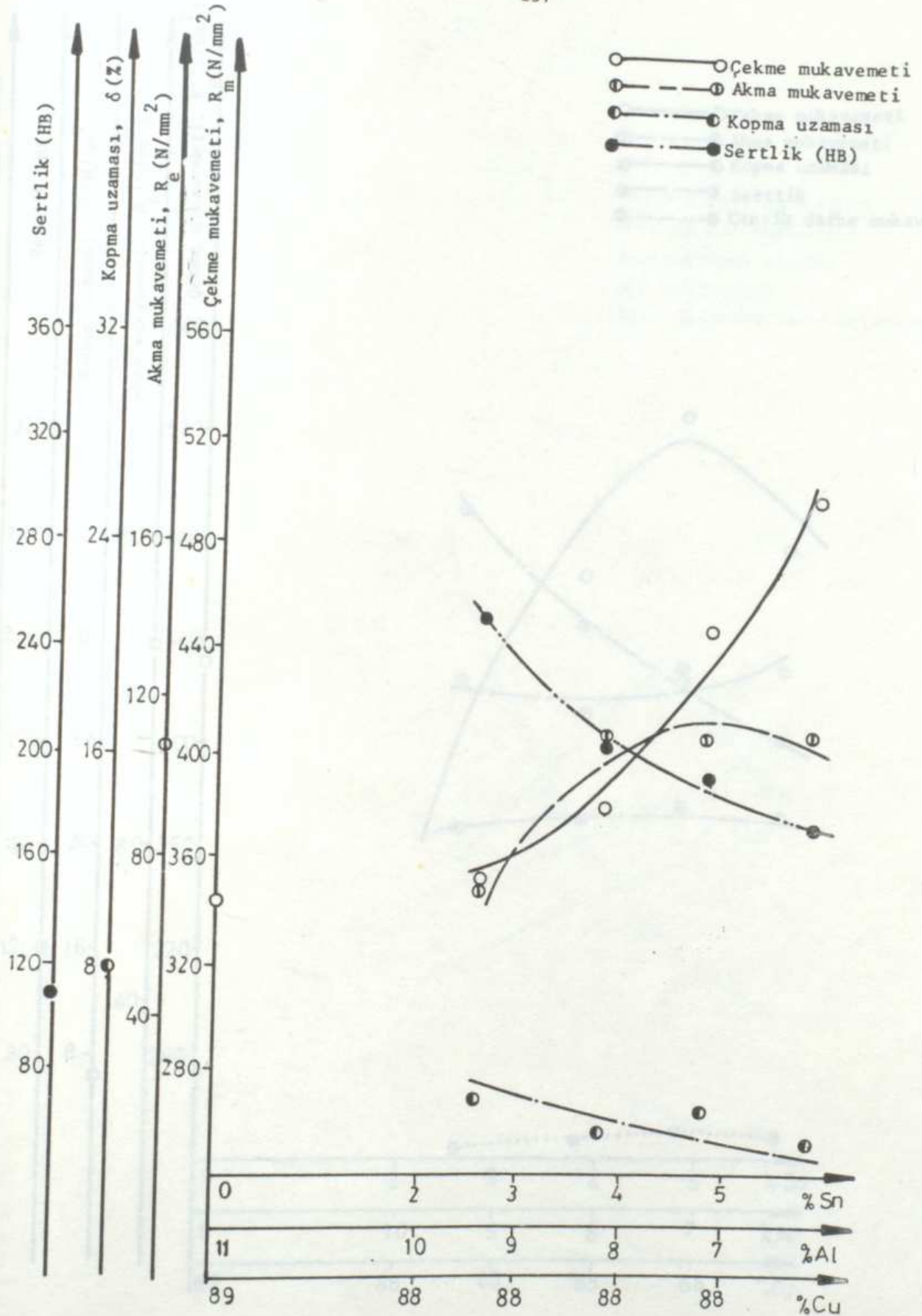
Çizelge-4.8 H(Cu-7Al-2Sn) alaşımının mekanik ve korozyon özellikleri.



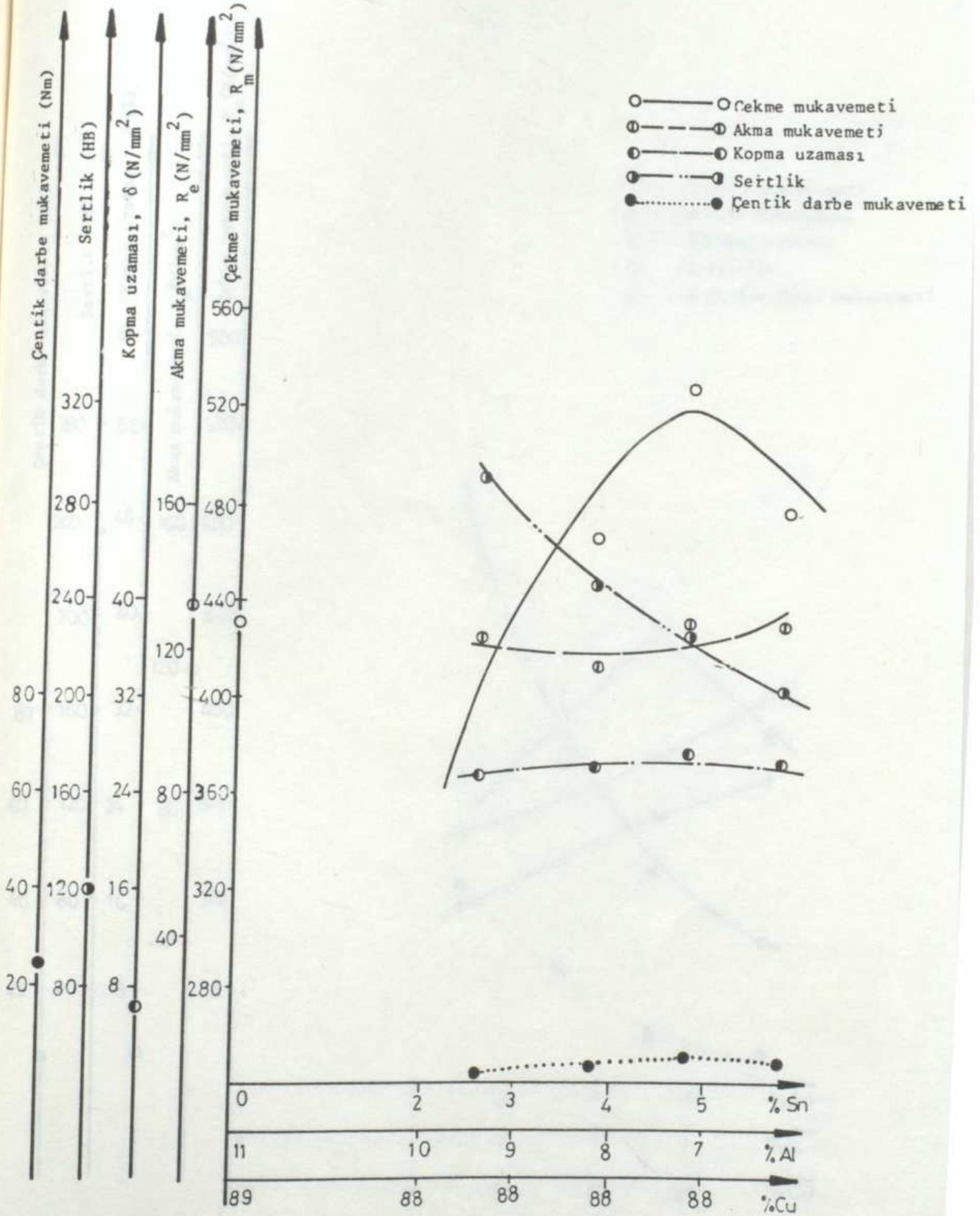


Şekil 4.27 I. grup dökme alaşımların mekanik özellikleri



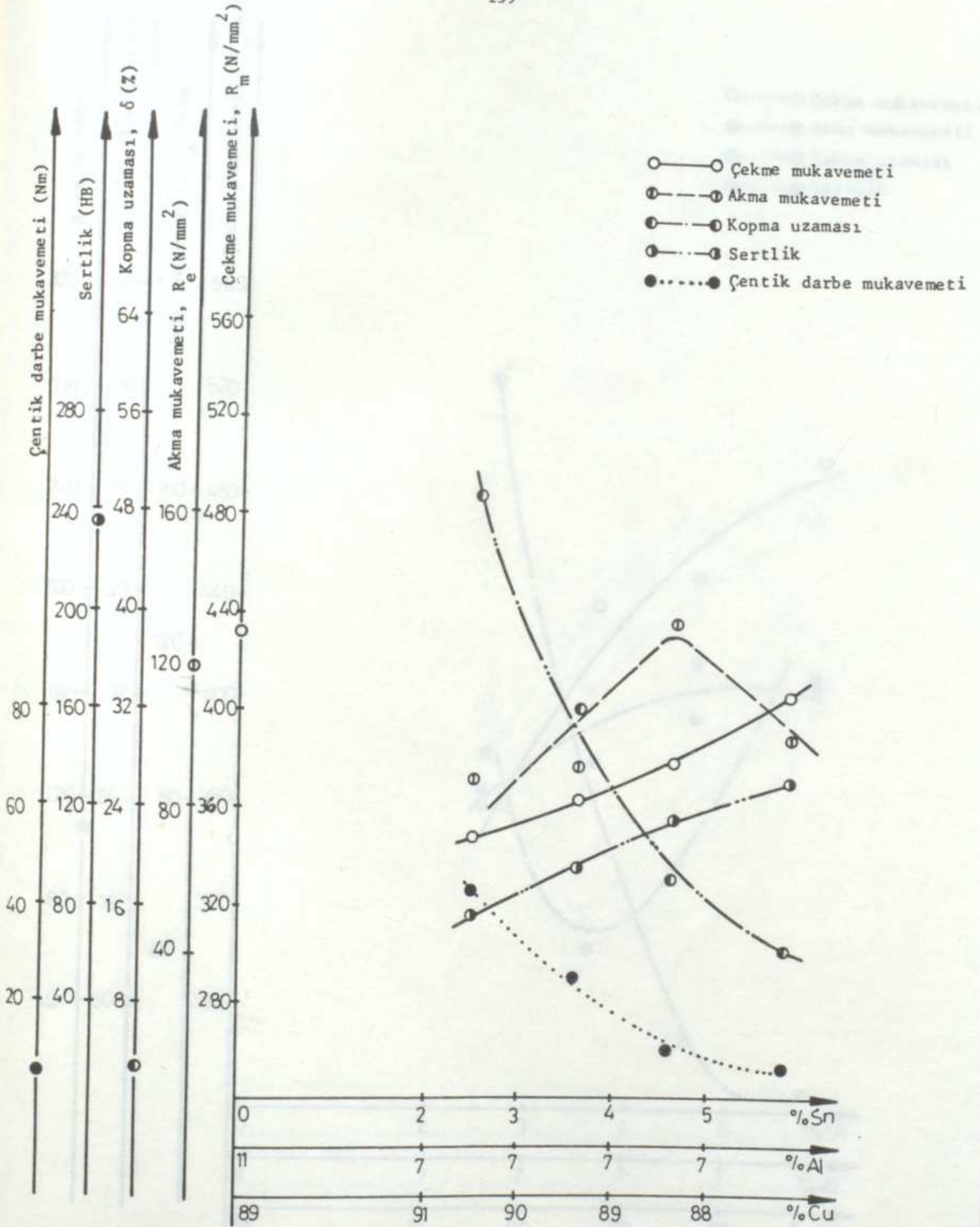


Şekil 4.28 I.grup çözeltiye alınmış alaşımların mekanik özellikleri

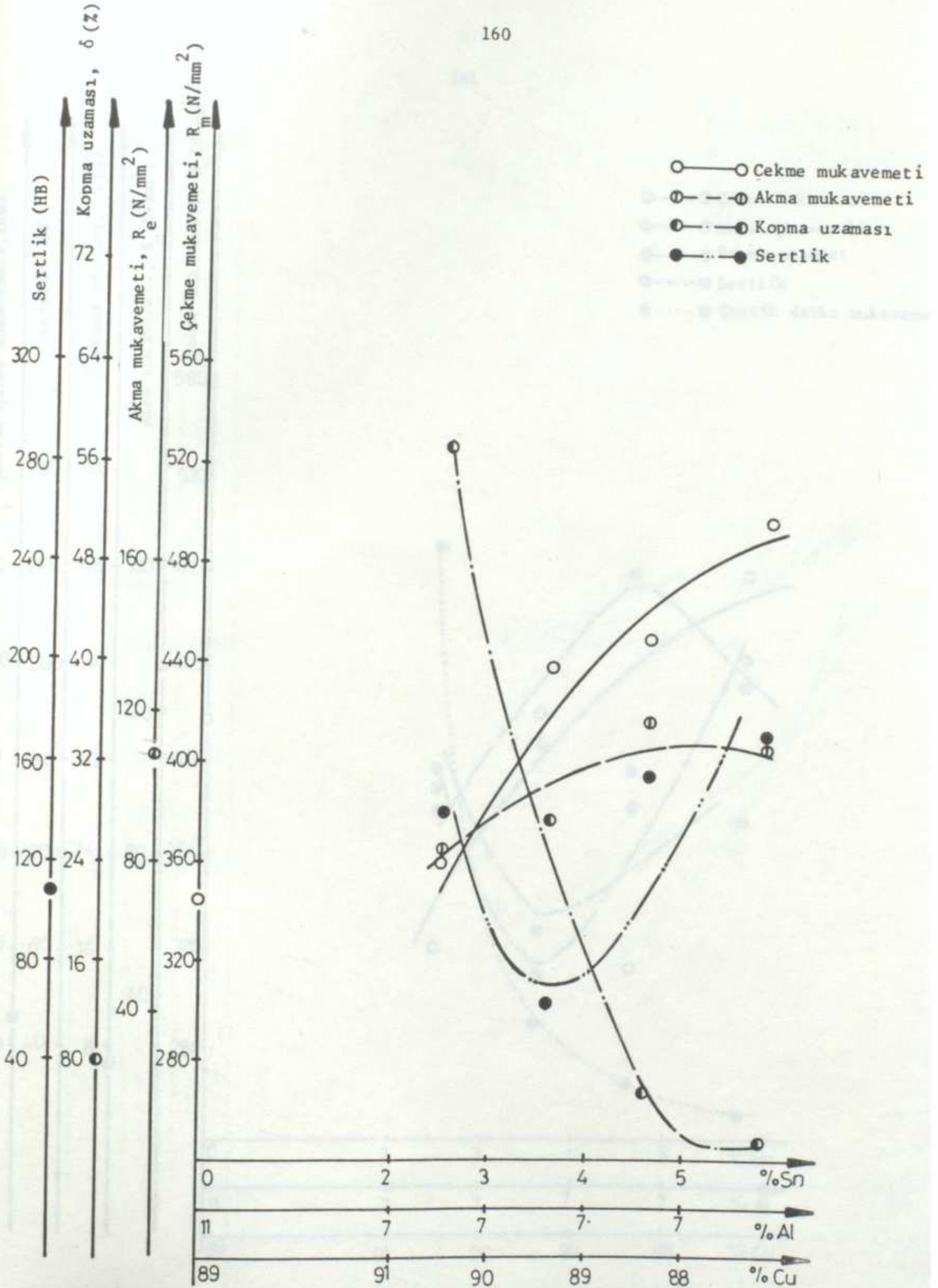


Şekil 4.29 I. grup yaşlandırılmış alaşımların mekanik özellikleri

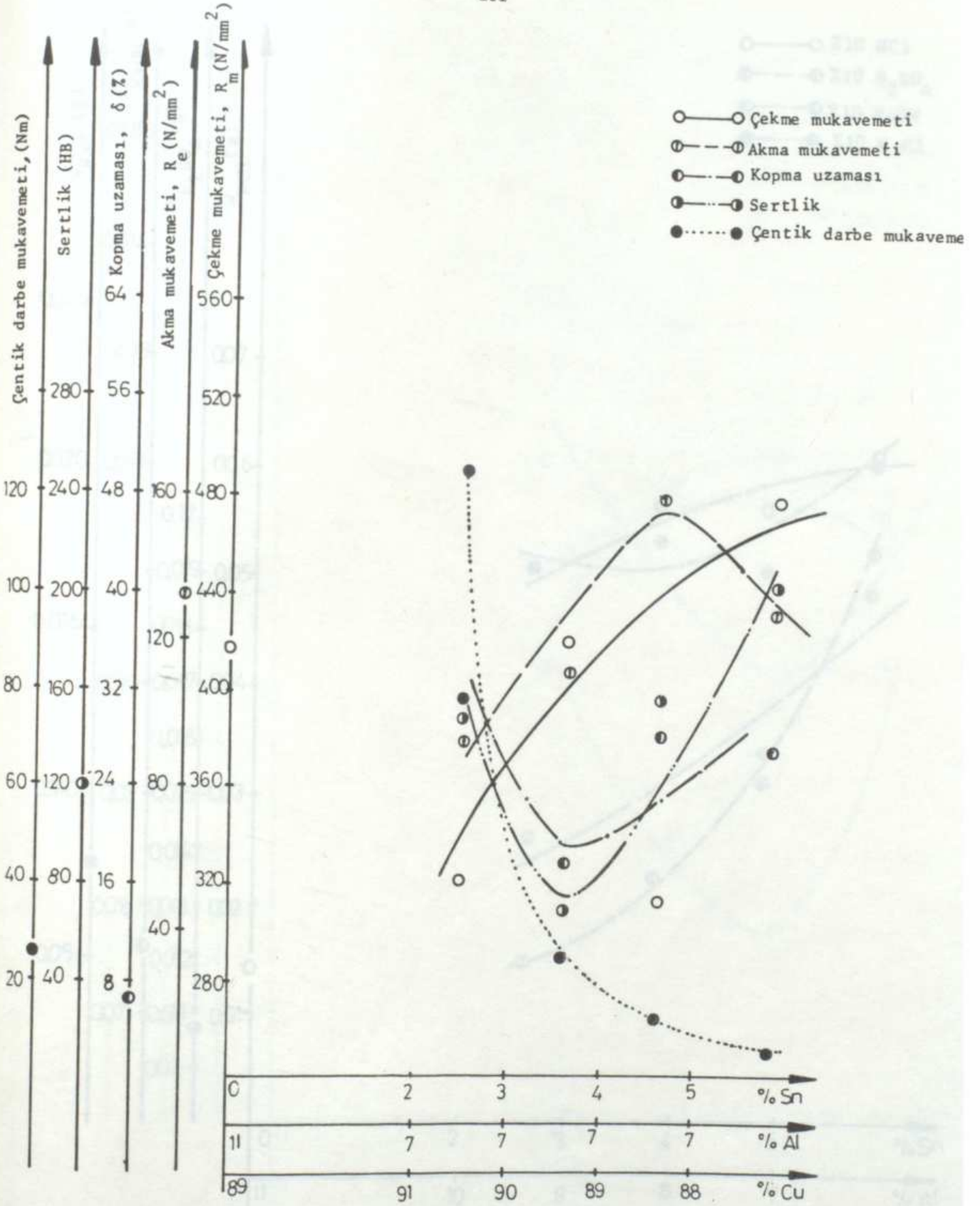




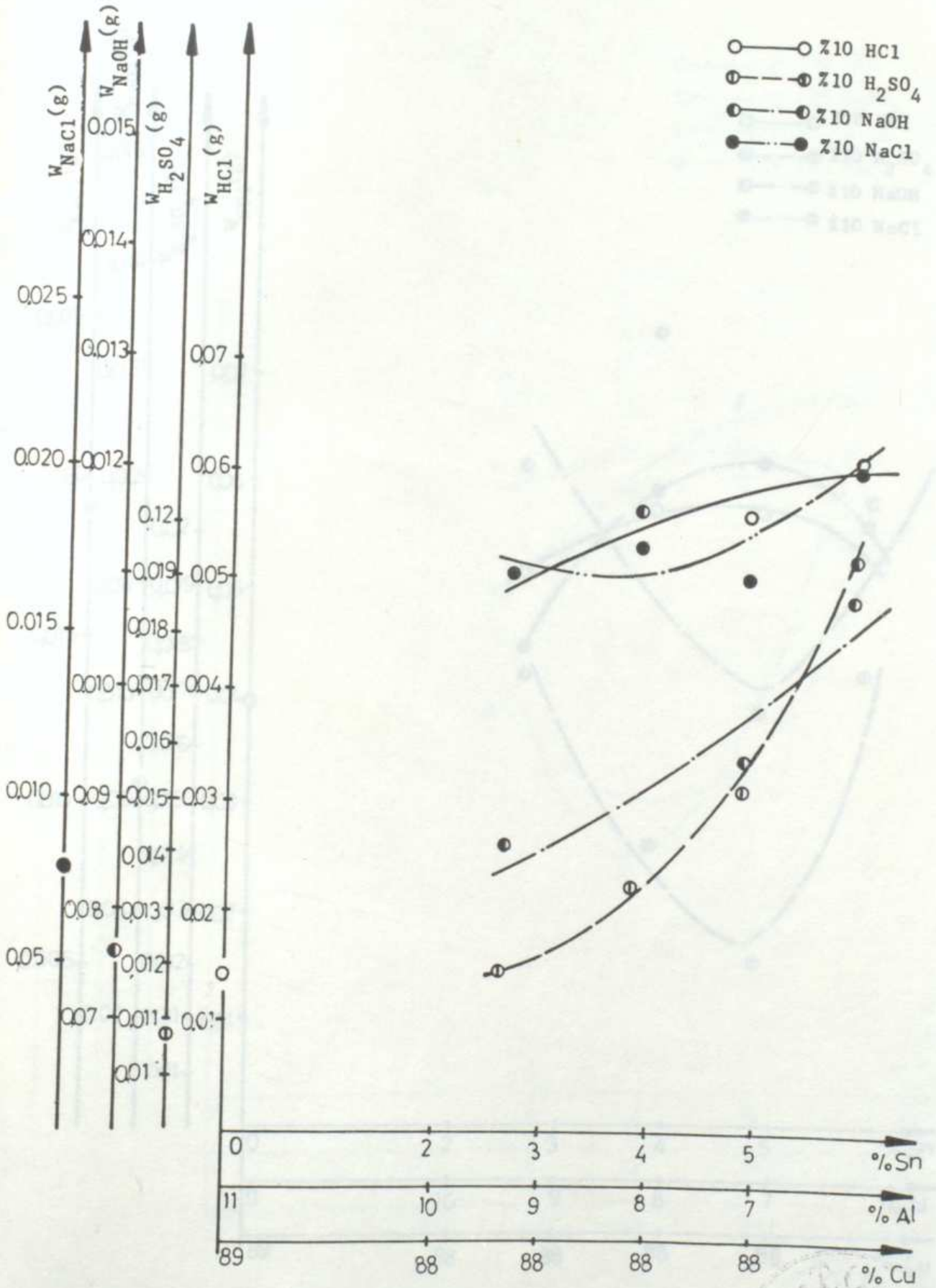
Şekil 4.30 II.grup dökme alaşımların mekanik özellikleri



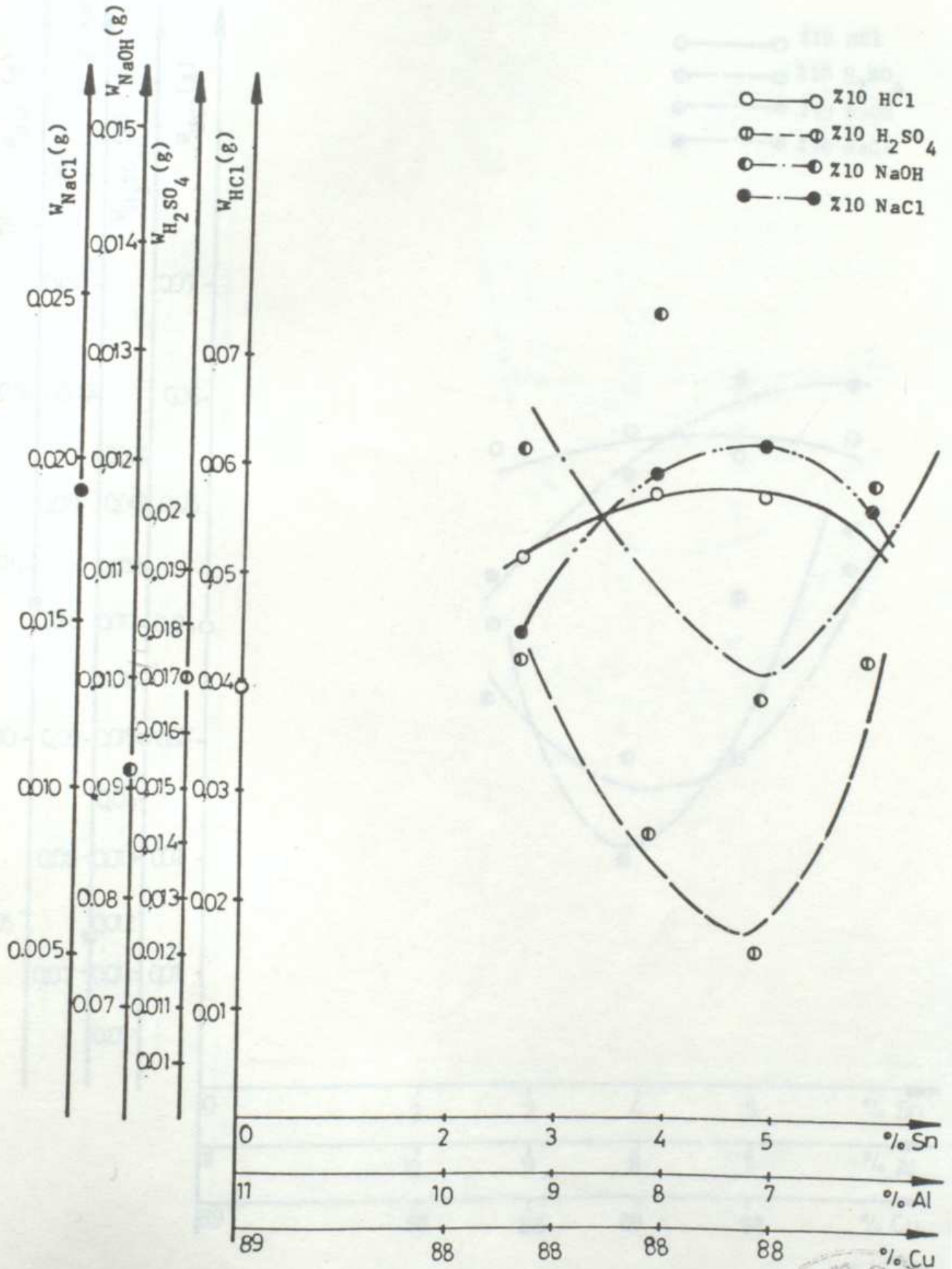
Şekil 4.31. II. grupçözeltiye alınmış alaşımların mekanik özellikleri



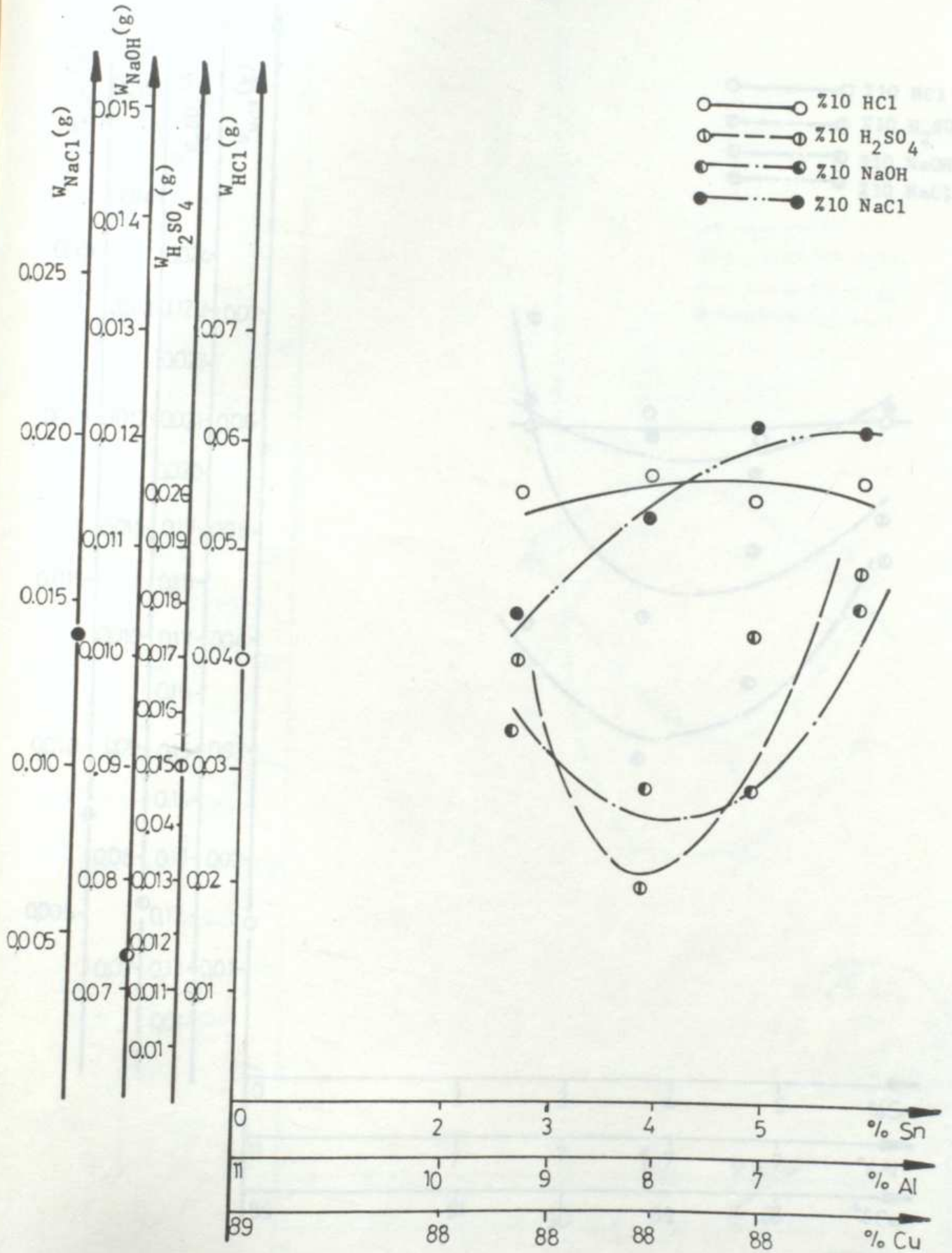
Şekil 4.32 II.grup yaşlandırılmış alaşımların mekanik özellikleri



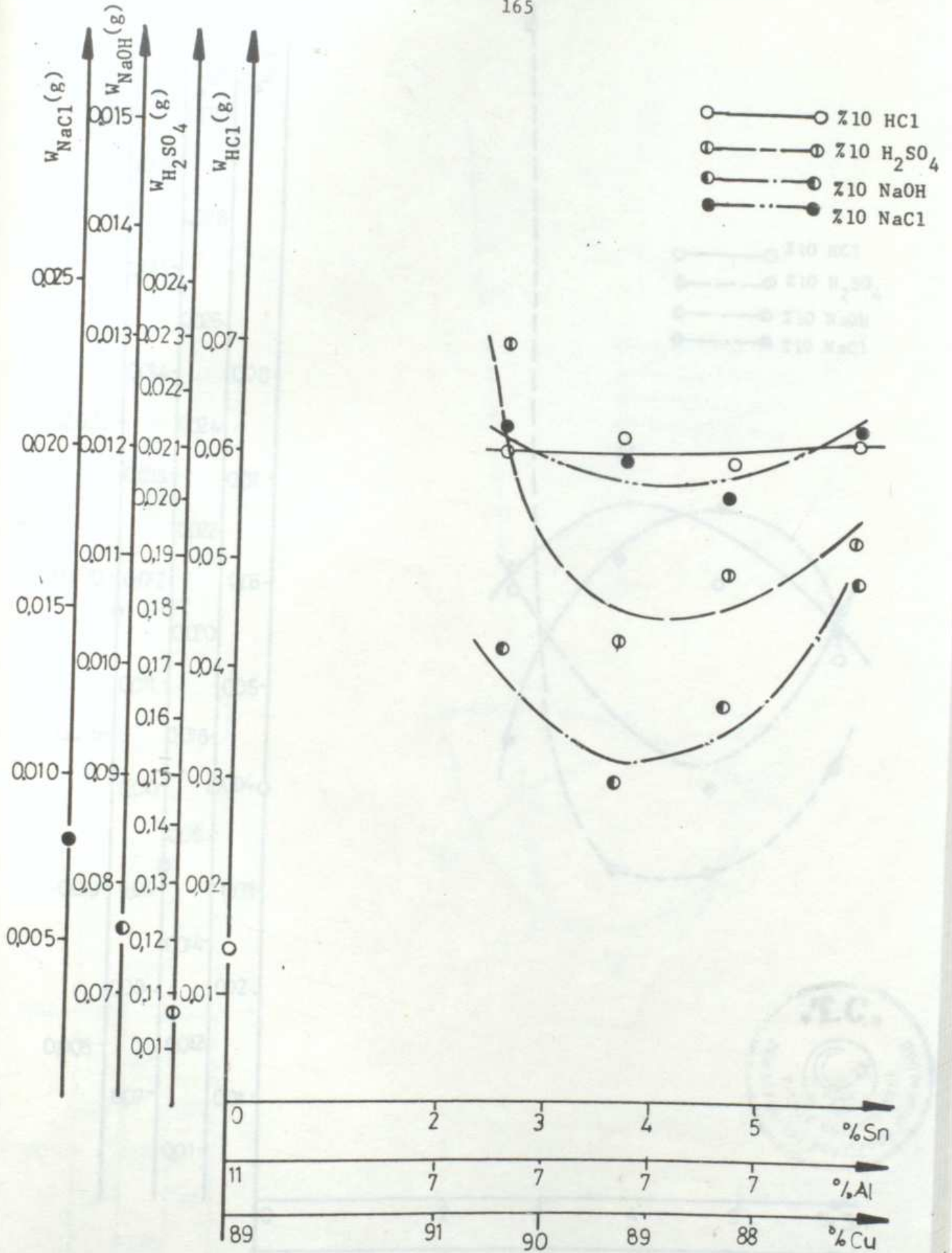
Şekil 4.33. I.grup dökme alaşımların ağırlık kayıpları



Şekil 4.34. I.grup çözeltiye alınmış alaşımların ağırlık kayıpları

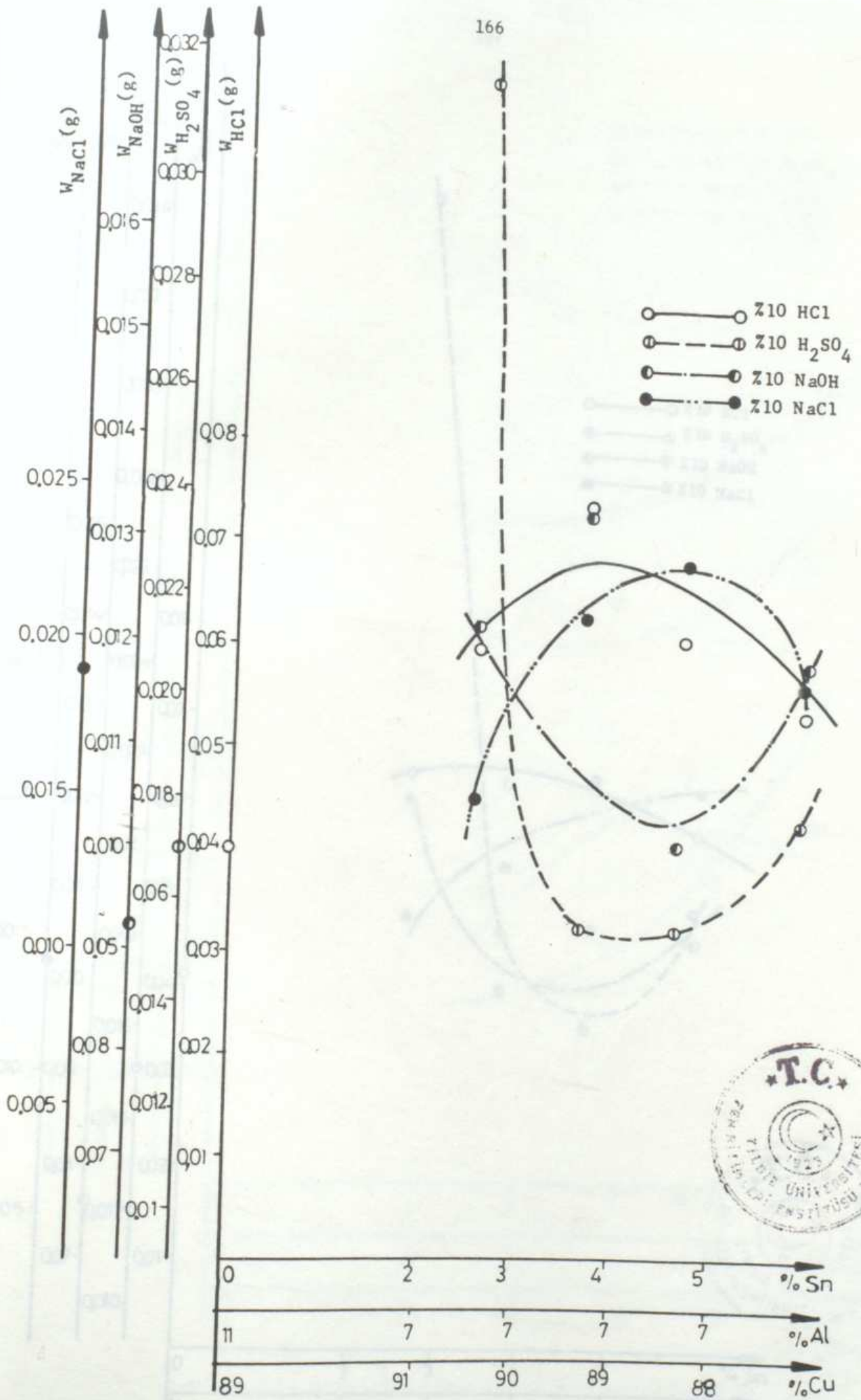


Sekil 4.35. I.grup yaşlandırılmış alaşımların ağırlık kayıpları

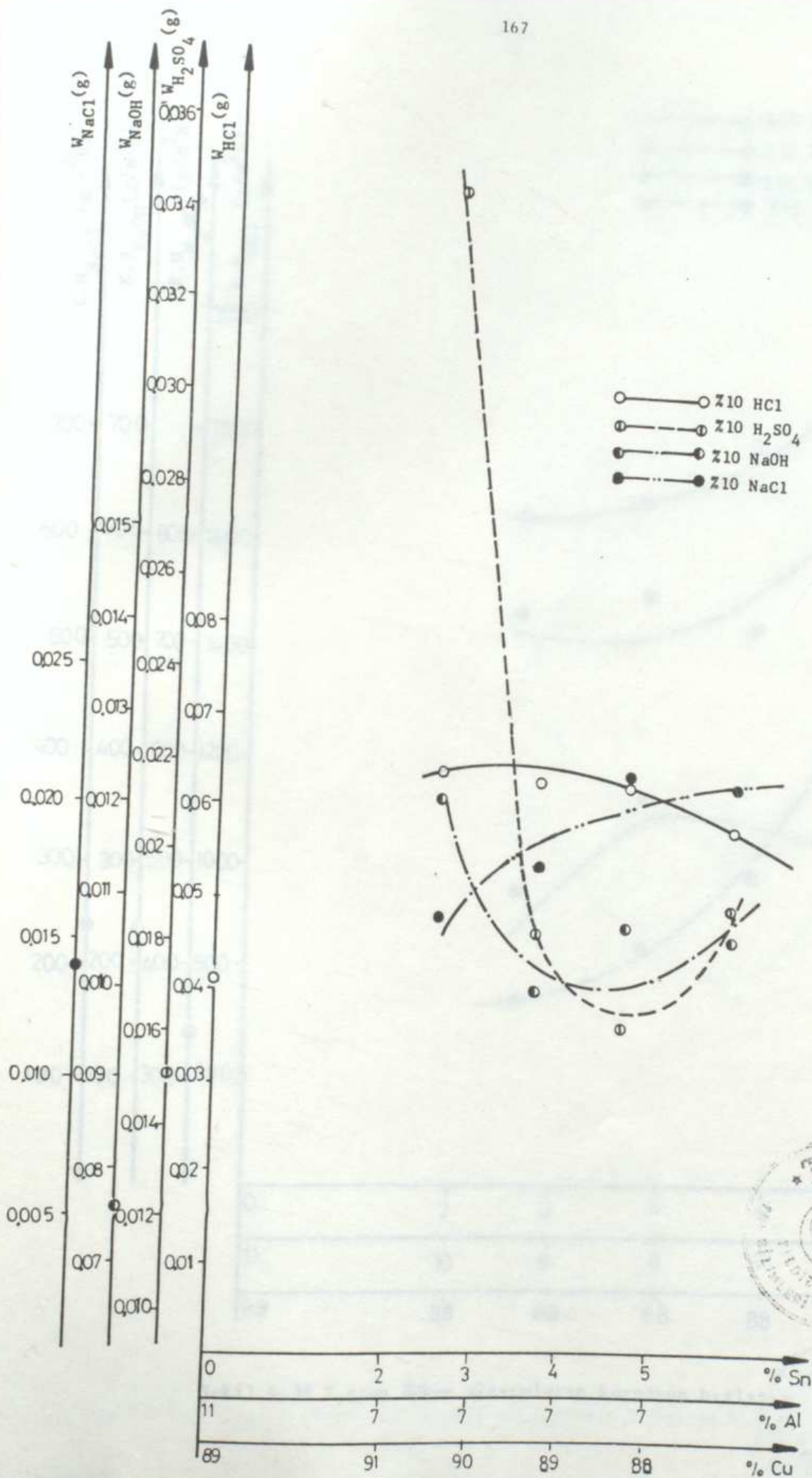


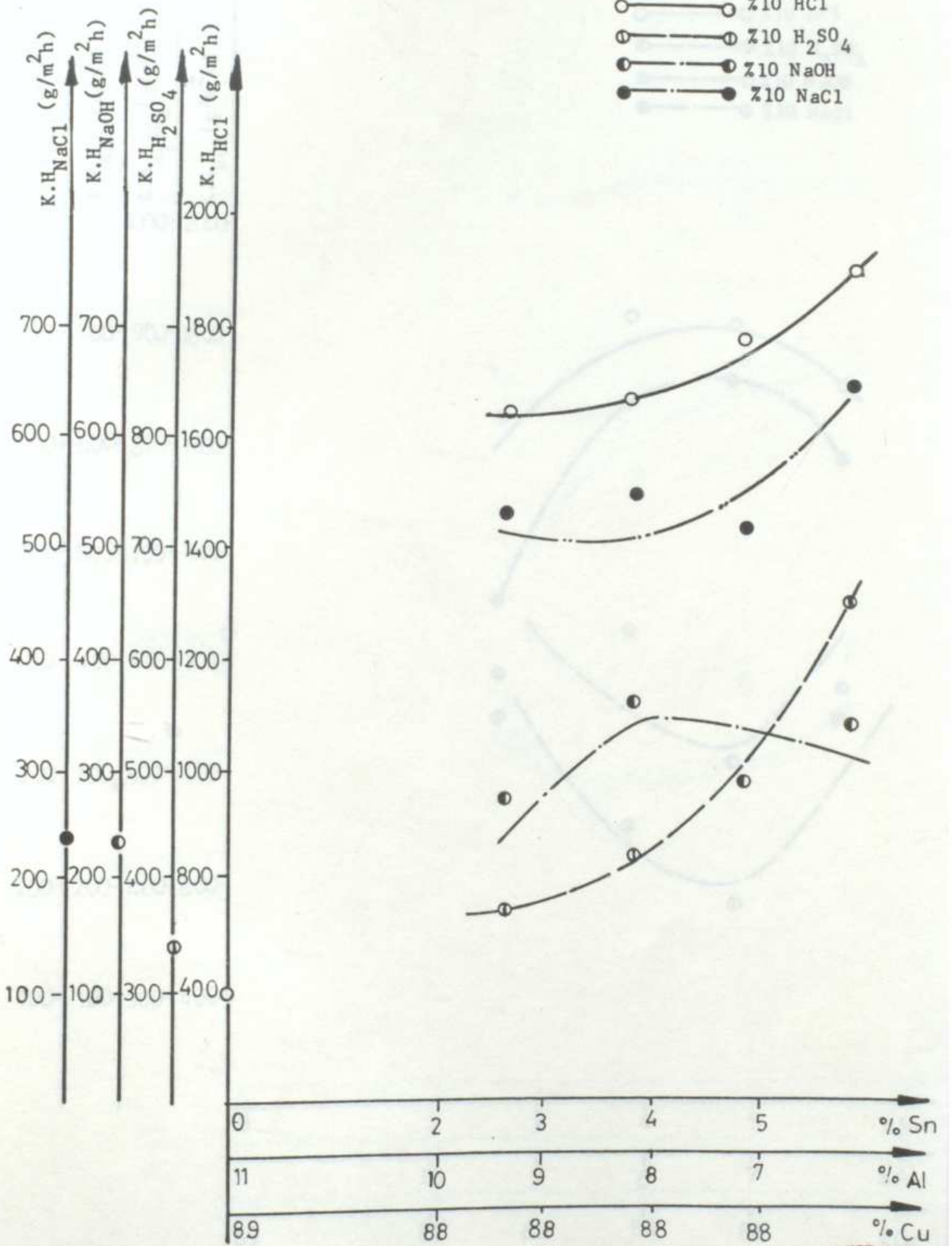
Şekil 4.36 II.grup dökme alaşımların ağırlık kayıpları



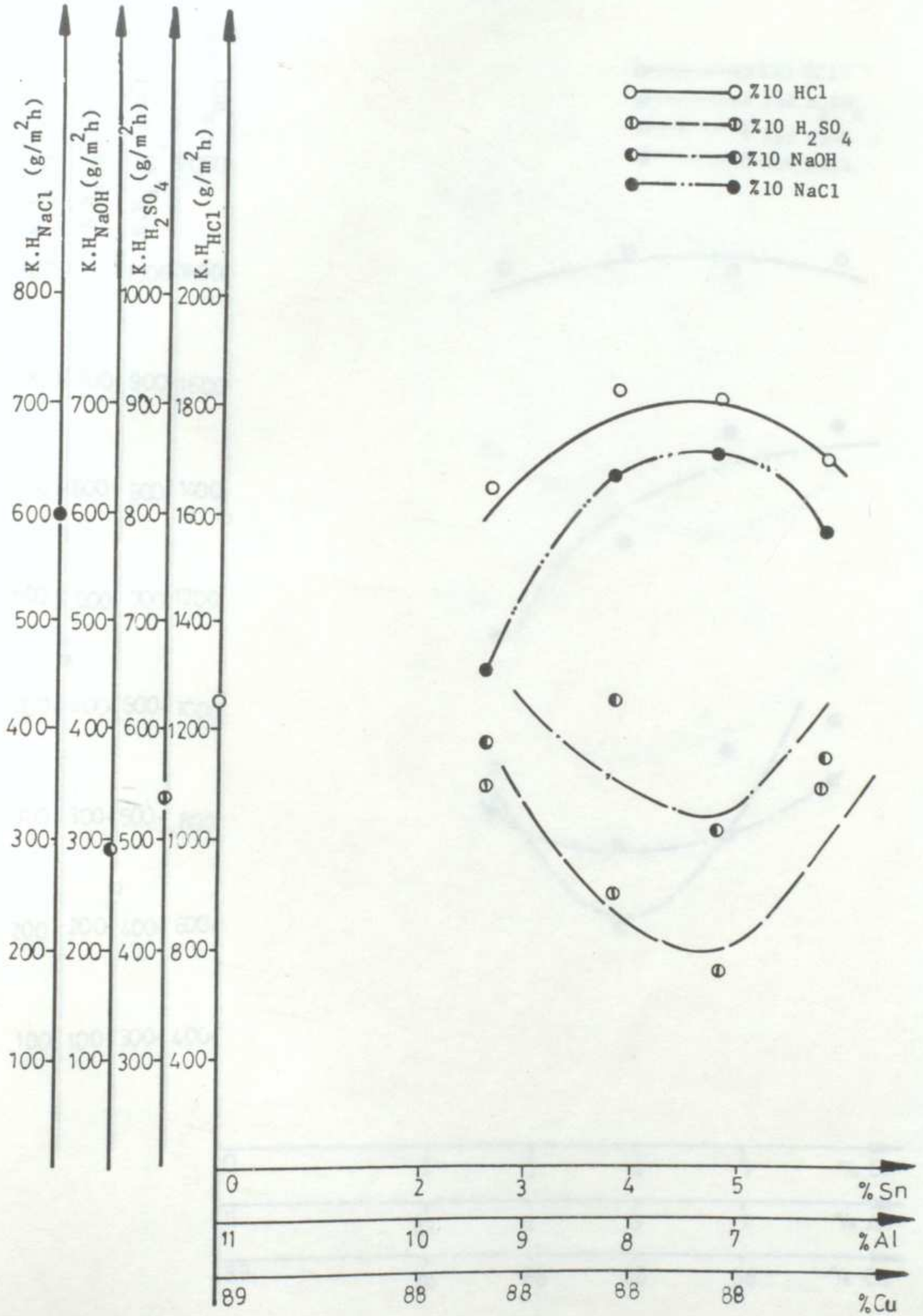


Şekil 4.37 II.grup çözeltiye alınmış alaşımların ağırlık kayıpları

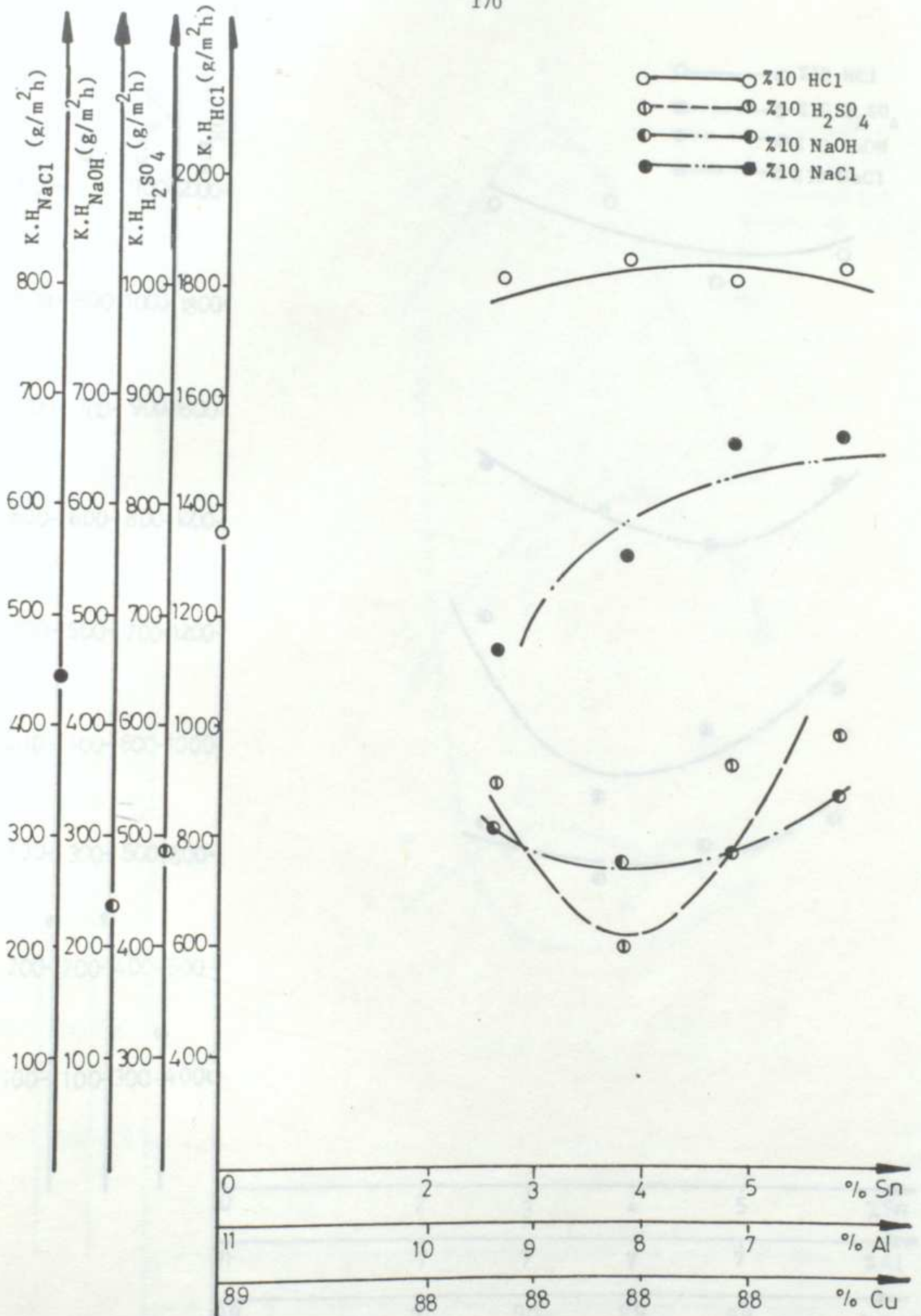




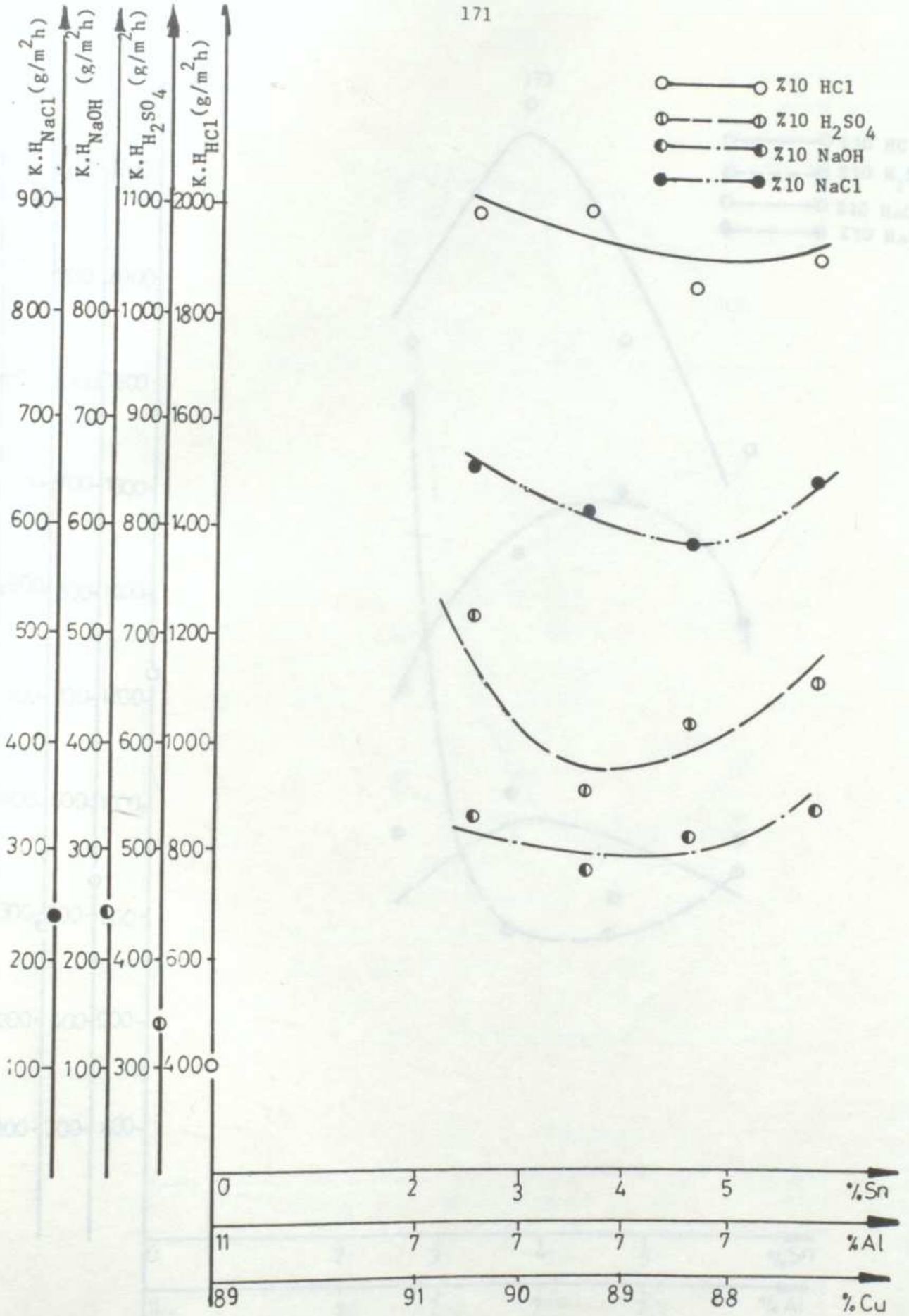
Şekil 4.39 I.grup dökme alaşımların korozyon hızları



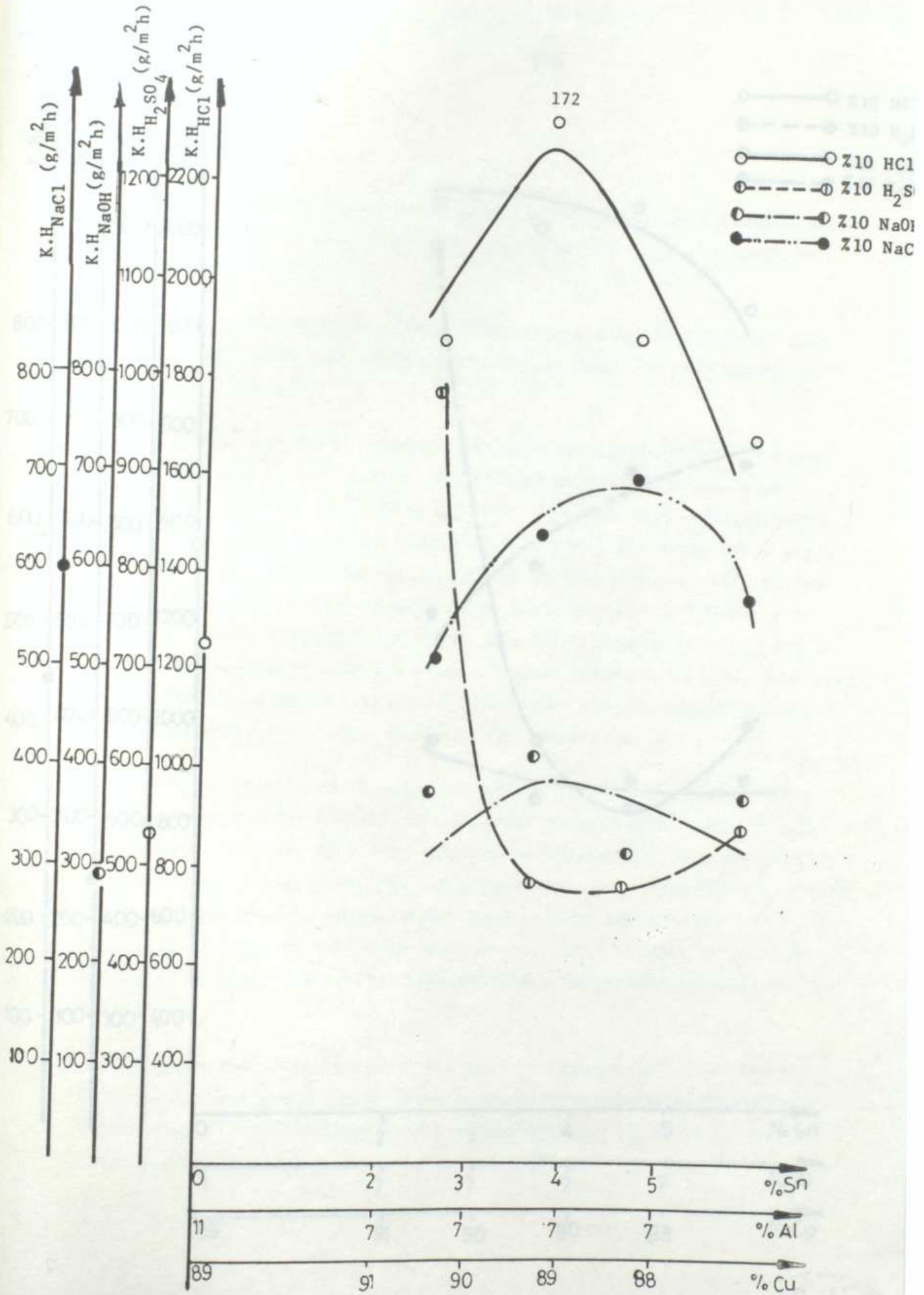
Şekil 4.40 I. grup çözeltiye alınmış alaşımların korozyon hızları



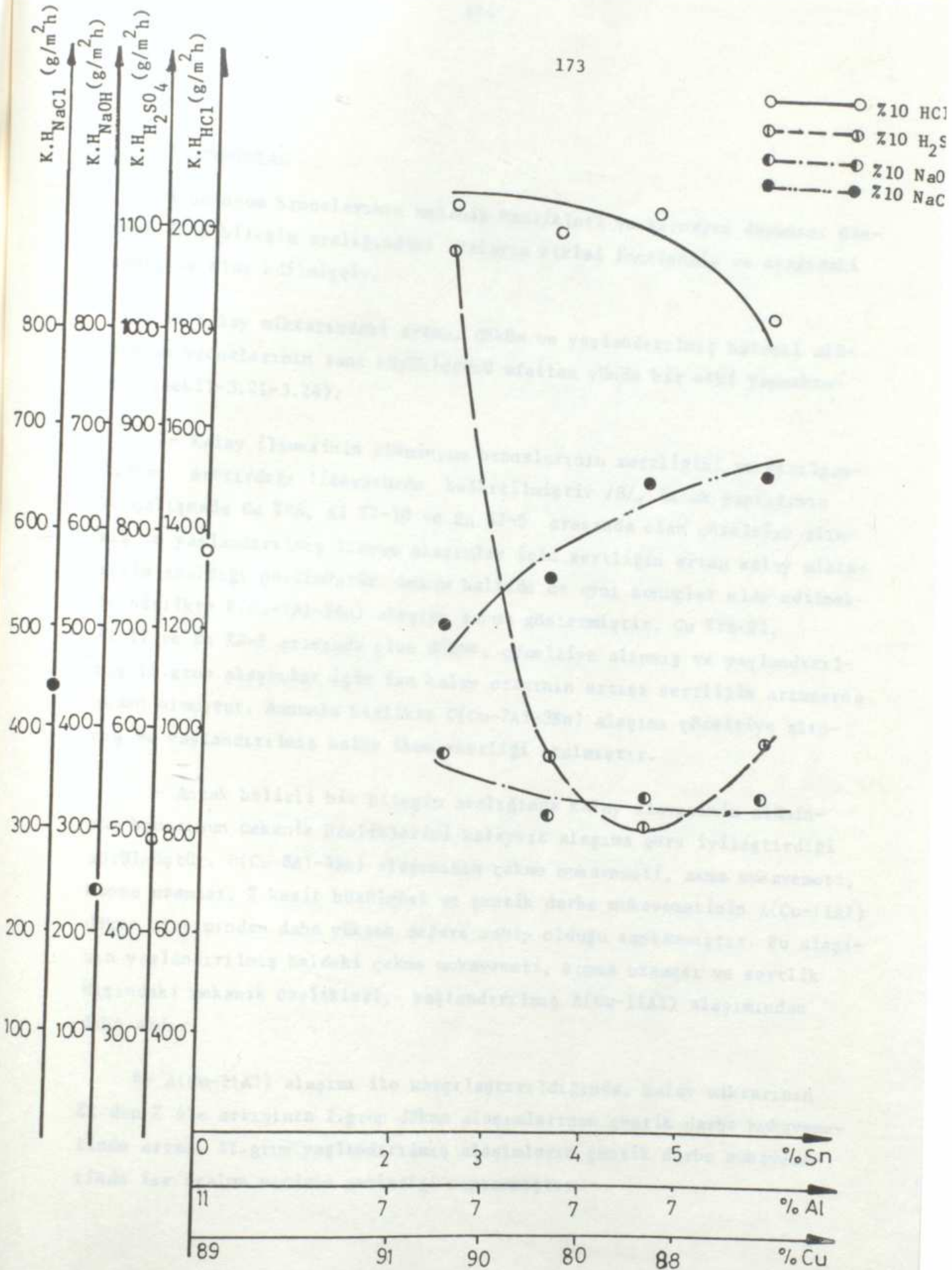
Şekil 4.41. I.grup yaşlandırılmış alaşımların korozyon hızları



Şekil 4.42. II.grup dökme alaşımların korozyon hızları



Şekil 4.43. II.grup çözeltiliye alınmış alaşımların korozyon hızları



Şekil 4.44. II.grup yaşlandırılmış alaşımların korozyon hızları

5. SONUÇLAR

Alüminyum bronzlarının mekanik özellikleri ve korozyon dayanımı üzerine %2-5 bileşim aralığındaki kalayın etkisi incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1- Kalay miktarındaki artma, döküm ve yaşlandırılmış haldeki alüminyum bronzlarının tane büyüklüğünü ufaltan yönde bir etki yapmaktadır.(Şekil-3.21-3.24).

2- Kalay ilavesinin alüminyum bronzlarının sertliğini ve kırılgenliğini arttırdığı literatürde belirtilmiştir /8/. Ancak yaptığımız bu çalışmada Cu %88, Al %7-10 ve Sn %2-5 arasında olan çözeltiye alınmış ve yaşlandırılmış I.grup alaşımlar için sertliğin artan kalay miktarıyla azaldığı görülmüştür. Döküm halinde de aynı sonuçlar elde edilmekle birlikte E(Cu-7Al-5Sn) alaşımı sapma göstermiştir. Cu %88-91, Al %7 ve Sn %2-5 arasında olan dökme, çözeltiye alınmış ve yaşlandırılmış II.grup alaşımlar için ise kalay oranının artışı sertliğin artmasına neden olmuştur. Bununla birlikte G(Cu-7Al-3Sn) alaşımı çözeltiye alınmış ve yaşlandırılmış halde iken sertliği azalmıştır.

3- Ancak belirli bir bileşim aralığında kalay ilavesinin alüminyum bronzunun mekanik özelliklerini kalaysız alaşıma göre iyileştirdiği görülmüştür. D(Cu-8Al-4Sn) alaşımının çekme mukavemeti, akma mukavemeti, kopma uzaması, % kesit büzülmesi ve çentik darbe mukavemetinin A(Cu-11Al) dökme alaşımından daha yüksek değere sahip olduğu saptanmıştır. Bu alaşımın yaşlandırılmış haldeki çekme mukavemeti, kopma uzaması ve sertlik dışındaki mekanik özellikleri, yaşlandırılmış A(Cu-11Al) alaşımından daha azdır.

4- A(Cu-11Al) alaşımı ile karşılaştırıldığında, kalay miktarının %2 den % 4'e artışının I.grup dökme alaşımlarının çentik darbe mukavemetinde artma, II.grup yaşlandırılmış alaşımların çentik darbe mukavemetinde ise azalma meydana getirdiği saptanmıştır.



5- Yapılan literatür taramaları göz önüne alınarak %10 konsantrasyonda hidroklorik asit (HCl), sülfirik asit (H_2SO_4), sodyum hidroksit (NaOH) ve sodyum klorür (NaCl) korozyon çözeltileri olarak seçilmiştir /7,8/. Dökme, çözeltiye alınmış ve yaşlandırılmış alaşımlar korozyon çözeltilerinde farklı korozyon davranışı göstermişlerdir.

6- Kullanılan korozyon çözeltilerinde, döküm halinde A(Cu-11Al) alaşımının korozyon hızı, diğer kalaylı alüminyum bronz alaşımlarına göre daha az bulunmuştur.

7- Çözeltiye alınmış B(Cu-10Al-2Sn) ve H(Cu-7Al-2Sn) alaşımlarının %10 NaCl, C(Cu-9Al-3Sn), D(Cu-8Al-4Sn), F(Cu-7Al-4Sn) ve G(Cu-7Al-3Sn) alaşımlarının ise %10 H_2SO_4 çözeltisinde A(Cu-11Al) alaşımına göre daha fazla korozyon dayanımına sahip oldukları saptanmıştır.

8- Yaşlandırılmış C(Cu-9Al-3Sn) alaşımının %10 H_2SO_4 çözeltisinde gösterdiği korozyon dayanımının, aynı durumdaki A(Cu-11Al) alaşımına göre daha iyi olduğu görülmüştür.

9- B(Cu-10Al-2Sn) alaşımı döküm halinde %10 NaCl çözeltisi hariç kullanılan tüm korozyon çözeltilerinde, çözeltiye alınmış ve yaşlandırılmış halde ise %10 HCl ve %10 NaCl çözeltilerinde kalay içeren diğer alaşımlara göre en yüksek korozyon dayanımı göstermiştir.

10- %10 H_2SO_4 ve %10 NaOH çözeltilerinde yaşlandırılmış C(Cu-9Al-3Sn) ve çözeltiye alınmış D(Cu-8Al-4Sn) alaşımlarının aynı durumdaki diğer kalaylı alüminyum bronz alaşımlarına göre daha iyi korozyon dayanımına sahip olduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak, bu çalışma ile Cu %88-91 ve Al %7-10 bileşimindeki alüminyum bronzlarına %2-5 oranında yapılan kalay ilavesinin, literatür /8,10/ da belirtildiği gibi alüminyum bronzlarının mekanik özelliklerine ve korozyon dayanımına iyileştirici yönde önemli bir etkisinin olmadığı ancak belirli koşullar ve bazı korozif ortamlarda uygun bir bileşim aralığı için olumlu etkisi olduğu saptanmış ve bu konuda bir genelleme yapılmasının doğru olmadığı hususu ortaya çıkmıştır.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

1. AHMAD, Z., Comparative Study of The Corrosion Behaviour Al Bronze and 70/30 Brass in Acid and Neutral Solutions, Anti-Corros.Methods Mater, 1980/10, 27.(10), 15-19, 1980.
2. PROWANS, S., SZCZECINSKI, K., Role Du Fer Dans Les Cupro-Aluminiums, Fonderie, 1974/6, 29,(335), 223-226, 1974.
3. RAGA, J.B.V. - BADESO, B.F.-ALONSO, A.F.,
The Metallography of Non Ferrous Metal Castings:
II.Bronzes, Tec.1975/11-12, 30,(211), 21-28, 1975.
4. HALL, K., Aluminium Bronze, England, Copper Development Association, 1951.
5. ZSCHÖTGE, S., Kleine Werkstoffkunde der Nichteisen Metale, Düsseldorf, Deutscher Verlag für Schweisstechnik (DVS) GMBH, 1967.
6. AHMAD, Z., GHAJELEHBASHI, M.- NATEGH, S., Corrosion Resistance of High-Manganese-Copper Aluminium Alloys in Sea Water, Anti-Corrosion Methods Mater., 1974/8, 21,(8), 13-16, 1974.
7. AHMAD, Z., Improvement of The Mechanical Properties and Corrosion Behaviour of Cu-Al-6.0 Alloy by Si and Mn Addition, Werkstoffe und Korrosion, 30,433-438, 1979.
8. AHMAD, Z., Effect of Tin Addition on The Corrosion Resistance of Al Bronze, Anticorros.Methods Mater., 1977/1, 24,(1), 8-12, 1977.
9. GALIN, A., The Al Bronzes. The Point of View of The User, ATB Metall., 21 (1), 1-4, 1981.
10. DAVIN, A.- COUTSOURADIS, B.-HABRAKEN, L., Recent Development D'un Alliage Cu-Sn-Al, ATB Metall., 15,(3), 125-135, 1975.

11. GÜLEÇ,Ş., Bakır ve Bakır Alaşımları, İ.T.Ü., Türk Teknik Haberleşme Merkezi Yayını, 1969.
12. DIES,K., Kupfer und Kupferlegierungen in der Technik, Berlin/Heidelberg/Newyork, Springer-Verlag, 1967.
13. BELJAJEW,I.-FIRSANOVA,A.L.-RAPOPORT,B.M.-
Çeviren:SEZER,M., Ankara, T.M.M.O.B.Makina Mühendisleri Odası Yayın No:99, 1975.
14. Metals Handbook, American Society of Metals,Vol.1, 8 th Edition, 1975.
15. ANIK,S.-ANIK,S.E., Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, İstanbul, Birsan Yayınevi, 1977.
16. Doç.Dr.M.Marşoğlu ile özel görüşme.
17. Copper Base Alloys Foundry Practice, American Foundrymen's Society Des Plaines, ILL., 1965.
18. MONDOLFO,L.F., Aluminium Alloys, Butterworths, 1976.
19. W.E., Joining Copper and Copper Alloys, Welding Journal, 52,(2) 1973.
20. Aluminium Bronze for Industry, Met.Bull,Mun., 1979/5, (101), 37, 40-41,43,45, 1979.
21. WEILL,P.-COULLY, Al Bronze and ITS PRINCIPAL APPLICATIONS, ATB Metall., 15,(3), 101-110, 1975.
22. ARNAUD,D., Traitement Thermique des Cupro-Aluminiums, Fonderie, 1977/5, 32,(367), 161-166, 1977.
23. DOWSON,C.J.R.-HALSTED,A., Fusion Welding and Brazing of Copper and Cu-Alloys, New York, John Wiley & Sons, 1973.
24. Metals Handbook, American Society of Metals, Vol.4, 8 th Edition, 1975.



25. GÜLTEKİN, N., Kaynak Tekniği, İstanbul, Yıldız Üniversitesi Yayınları No.184, 1985.
26. ONARAN, K., Malzeme Bilimi, İstanbul, Çağlayan Basımevi, 1985.
27. Metals Handbook, American Society for Metals, Vol.2, 8th Edition, 1975.
28. ÇİZMECİOĞLU, Z., Bakır Esaslı Malzemelerde Yapı ve Özellik İlişkisi, İstanbul, L.Ü.Malzeme Yapısı ve Muayenesi Yaz Okulu, 1986/6, 1986.
29. ÇAKIR, F., Korozyon Ders Notları, İ.T.Ü.Kimya-Metalurji Fak., 1981.
30. ÜNERİ, S., Korozyon Mühendisliği, Ankara, SEGEM No.88, 1982.
31. DORUK, M., Korozyon ve Önlenmesi, Ankara, ODTÜ Müh.Fak. Yayın No.70, 1982.
32. MANTELL, L.C., Engineering Materials Handbook, 7, New York, McGraw-Hill Book Company, 1958.
33. Copper Alloy No.C60800 (Al Bronze), Alloy.Dig., 1982/8, (Cu-443), 2, 1982.
34. TSIVADITS, E.E.- KUZ, D., The Optimum Composition of Bronze Br AZh 9-4 L, Tekhnol.Organ. Proizvod. Nauchno-Proizvod.Sb., 11, 36-38, 1975.
35. DOWSON, C.J.R., Al Bronze for Marine Service, Mar.Eng.Rev., 1979/2, 13-14, 17, 1979.
36. KWUN, Y.O.-KANG, S.C., Effect of Si on Microstructures and Mechanical Properties of Cu-Al Alloys, J.Korean Inst. Met., 16-(3), 179-189, 1978.
37. KUBIAK, A., Al Bronze with an Addition of Titanium, Arch.Hutn., 20,(2), 327-338, 1975.
38. SOORUDI, A.-DAVAMI, P.-AHMAD, Z., Effect of Chromium Addition on New Corrosion-Resistant Al Bronze, Metall.Met.Form., 1977/2, 44,(2), 63-66, 1977.



39. AHMAD,Z., Corrosion Resistance of Cast Al Bronzes Containing Chromium and Silicon Additions, Br.Corros, J., 11,(3), 149-155, 1976.
40. JONES,L.R.-MURPHY,S., Effect of Co Content on Mechanical of 7 % Al Bronzes, Met. Technol., 1981/7/, 8,(7), 245-249, 1981.
41. SCHAFFER,C.-BERGMAN,L.-KLIEFOTH,W., Grundaufgaben Des Physikalischen Praktikums, Berlin, Verlag und Druck von B.G., Teubnerin Leipzig und Berlin, 1943.
42. Foseco (F.S) Information Sheet No.9
43. ARNAUD,D., Influence De Certaines Impurete's, Fonderie, 1974/5, 31,(356), 177-181, 1976.
44. AAVATSMARK,G.N., The Effect of Chromium as an Impurity on The Mechanical Properties of Al-Ni Bronze, Fonderia Ital., 1978/2, 27,(2), 39-44, 1978.
45. Ullmans Encyklopadie der Technischen Chemie 4., Band 24, Weinheim-Deerfield Beach, Verlag Chemie, 1983.
46. Metals Handbook, American Society for Metals, Vol.5, 8th Edition, 1975.
47. KAYALI,S.E.-ENSARİ,C.-DİKEÇ,F., Metalik Malzemelerin Mekanik Deneyleri, İ.T.Ü.Yayınları, 1983.
48. Türk Standartları, Temmuz 1978, Çekme Deneyleri (Metalik Malzeme için), TS 138/Mart, 1978
49. Prof.Dr.F.Çakır ile özel görüşme.
50. ASTM Standart (1983), 644-655 Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals, ASTM Designation G31-72, 1983.
51. ASTM Standarts (1983) 558-562, Preparing, Cleaning and Evaluating Corrosion Test Specimens,ASTM Designation G1-72, 1983.
52. PETZOW, G., Metallographisches Atzen, Gebrüder Borntrager, Berlin/Stuttgart, 1975.



ÖZGEÇMİŞ

1957 yılında İstanbul'da doğdu. İlk öğrenimini Kağıthane İlkokulunda, orta öğrenimini Atatürk Kız Lisesinde ve yüksek öğrenimini İ.D.M.M.Akademisi Galatasaray Mühendislik Yüksek Okulu Kimya Mühendisliği Bölümünde tamamladı. 1981 yılında İ.T.Ü.Kimya Fakültesi'nde Lisansüstü yaptı.

1980 yılında İ.D.M.M.Akademisi Vatan Mühendislik Fakültesi'nde önce uzman sonra asistan olarak görev aldı. 1984 de Yıldız Üniversitesi Makina Mühendisliği Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi oldu. Halen bu görevine devam etmekte olup, İngilizce ve Almanca bilmektedir.



