

BAKIR - GÜMÜŞ ESASLI ALAŞIMLARIN FİZİKSEL VE MEKANİK

ÖZELLİKLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Metalurji Müh. Erkan KARAOĞLU

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 Ocak 1994

Tezin Savunulduğu Tarih : 8 Şubat 1994

Tez Danışmanı : Prof.Dr.E. Sabri KAYALI

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Adnan TEKİN

: Doç.Dr. Hüseyin ÇİMENÖĞLU

ŞUBAT 1994

ÖNSÖZ

Tezimin hazırlanması sırasında beni olumlu fikir ve eleştirileriyle yönlendiren, tezime çok önemli katkılarda bulunan değerli hocam, Sayın Prof.Dr.E.Sabri KAYALI'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında Sarkuysan A.Ş.'deki tüm olanaklardan yararlanmamı sağlayan ve destek veren Genel Müdür'üm Sayın Hayrettin Çaycı'ya da sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarım esnasında destek ve teşviklerini benden esirgemeyen Sarkuysan A.Ş. Kalite Kontrol ve Metalurji Müdürü Sayın Murat Sezer ile İşletmeler Müdürü Ö.Münci Ünal başta olmak üzere, SCR Şefi Sayın A.Hüdaî Kocabalkanlı'ya, Mekanik Atölye Şefi Altan Aksoy'a, Fizik Lab. Şefi Sayın Yılmaz Tekin'e, Kimya Lab. Şefi Alp Sergici'ye, Savurma Döküm Teknisyeni Sayın Ahmet Hatipoğlu'na ve tezimin oluşmasında katkıları olan diğer tüm çalışanlara da çok teşekkür ederim.

Metalurji Müh. Erkan KARAOĞLU

Şubat 1994

İ Ç İ N D E K İ L E R

ÖZET.....	VII
SUMMARY.....	VIII
BÖLÜM 1. GİRİŞ VE AMAÇ.....	1
BÖLÜM 2. LİTERATÜR TARAMASI.....	3
2.1. Sürekli Döküm Sistemi (SCR: Southwire Continuous Rod) Hakkında Genel Bilgiler.....	3
2.1.1. Elektrolitik Bakır Üretimi.....	3
2.1.2. Sürekli Döküm Sistemi (SCR Sistemi).....	3
2.1.3. SCR Sisteminde Üretilen Filmaşının Kullanım Alanları.....	8
2.1.4. SCR Sisteminde Üretilen Malzemenin Genel Özellikleri.....	8
2.1.4.1. Kimyasal Bileşimi.....	8
2.1.4.2. Belirgin Nitelikleri.....	8
2.2. SCR Sisteminde Döküm Kalıbı Olarak Kullanılan Hareketli Döküm Tekerleğinin Önemi ve Gelişimi.....	9
2.2.1. Döküm Tekerleğinin İşlevi ve Önemi.....	9
2.2.2. Döküm Tekerleği Olarak Kullanılan Malzemelerin Gelişimi.....	11
2.2.2.1. Çelik.....	11
2.2.2.2. ETP Bakır.....	12
2.2.2.3. Düşük Alaşımlı Bakırlar.....	13
2.2.2.3.1. Bakır-Gümüş Alaşımı.....	13
2.2.2.3.2. Bakır-Krom Alaşımı.....	14
2.2.2.3.3. Elbrodur G.....	15

2.3. Döküm Tekerleği Malzeme Özelliklerinin Tekerlek Ömrüne Olan Etkisi.....	16
2.3.1. Mekanik Özellikler.....	16
2.3.2. Termal İletkenlik.....	16
2.3.3. Yüksek Sıcaklıktaki Mekanik Özellikler....	17
2.3.4. Yeniden Kristalleşme Sıcaklığı.....	17
2.3.5. Yorulma Özellikleri.....	17
2.4. Servis Çalışma Şartlarının Döküm Tekerleğinin Ömrüne Olan Etkisi.....	19
2.4.1. Bara Kesit Alanı.....	19
2.4.2. Tekerlek Şekli.....	19
2.4.3. Tekerlek Sıcaklığı.....	21
2.4.4. Soğutma.....	21
2.4.5. Soğutma Suyu Kalitesi.....	22
2.4.6. Döküm Tekerleği Kanalinin Refrakterle Kaplanması.....	22
2.4.7. Döküme Başlama.....	23
2.4.8. Bölgesel Isınmalar.....	23
2.4.9. Döküm Tekerleği İşlenmesi.....	24
BÖLÜM 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	25
3.1. Döküm Deneyleri.....	31
3.1.1. Bakır-Gümüş Alaşımlarının Dökümleri.....	33
3.1.2. Bakır-Gümüş-Titanyum Alaşımlarının Dökümleri.....	34
3.1.3. Bakır-Gümüş-Nikel Alaşımlarının Dökümleri.....	35
3.1.4. Bakır-Gümüş-Wolfram Alaşımının Dökümü.....	36
3.1.5. Bakır-Gümüş-Molibden Alaşımının Dökümü....	36
3.2. Sıcak Dövme Deneyleri.....	37
3.2.1. Deney Numunelerinin Hazırlanması.....	37

3.2.2. Numunelerin Sıcak Dövülmesi.....	38
3.3. Yeniden Kristalleşme Isıl işlemleri.....	39
3.4. Mekanik Deneyler.....	40
3.4.1. Çekme Deneyleri.....	40
3.4.2. Sertlik Deneyleri.....	41
3.5. Elektrik iletkenliği Deneyleri.....	42
3.6. Metalografik Çalışmalar.....	43
3.7. Deneylerde Kullanılan Cihazlar.....	44
3.7.1. Yer Ocağı.....	44
3.7.2. Savurma Döküm Makinası.....	44
3.7.3. Kamaralı Fırın.....	44
3.7.4. Dövme Makinası.....	44
3.7.5. Isıl işlem Fırını.....	44
3.7.6. Çekme Deneyi Cihazı.....	45
3.7.7. Sertlik Cihazı.....	45
3.7.8. Elektrik iletkenliği Ölçüm Cihazı.....	45
3.7.9. Mikroskop.....	45
BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALARIN SONUÇLARI.....	46
4.1. Döküm Deneylerinin Sonuçları.....	46
4.2. Sıcak Dövme Deneylerinin Sonuçları.....	47
4.3. Yeniden Kristalleşme Isıl işlem Deneylerinin Sonuçları.....	50
4.3.1. Bakır-Gümüş Alaşımlarının Yeniden Kristalleşmeleri.....	51
4.3.2. Bakır-Gümüş-Titanyum Alaşımının Yeniden Kristalleşmesi.....	51
4.3.3. Bakır-Gümüş-Nikel Alaşımlarının Yeniden Kristalleşmeleri.....	54
4.3.4. Bakır-Gümüş-Wolfram Alaşımının Yeniden Kristalleşmesi.....	54

4.3.5. Yeniden Kristalleşme Çalışmalarının Genel Sonuçları.....	56
4.4. Mekanik Deneylerin Sonuçları.....	56
4.4.1. Çekme Deneyi Sonuçları.....	56
4.4.1.1. Bakır-Gümüş Alaşımlarının Çekme Deneyi Sonuçları.....	58
4.4.1.2. Bakır-Gümüş-Titanyum Alaşımlarının Çekme Deneyi Sonuçları.....	58
4.4.1.3. Bakır-Gümüş-Nikel Alaşımlarının Çekme Deneyi Sonuçları.....	58
4.4.1.4. Bakır-Gümüş-Wolfram Alaşımının Çekme Deneyi Sonuçları.....	59
4.4.1.5. Alaşımların Çekme Deneylerinin Genel Sonuçları.....	60
4.4.2. Sertlik Deneyi Sonuçları.....	65
4.4.2.1. Bakır-Gümüş Alaşımlarının Sertlik Deneyleri Sonuçları.....	65
4.4.2.2. Bakır-Gümüş-Titanyum Alaşımlarının Sertlik Deneylerinin Sonuçları.....	66
4.4.2.3. Bakır-Gümüş-Nikel Alaşımlarının Sertlik Deneylerinin sonuçları.....	66
4.4.2.4. Bakır-Gümüş-Wolfram Alaşımının Sertlik Deneyleri Sonuçları.....	67
4.4.2.5. Bakır-Gümüş-Molibden Alaşımının Sertlik Deneyleri Sonuçları.....	67
4.4.2.6. Sertlik Deneylerinin Genel Sonuçları.....	67
4.5. Elektrik İletkenliği Deneylerinin Sonuçları..	67
4.6. Metalografik Çalışmaların Sonuçları.....	69
4.7. Alaşımların Genel Değerlendirilmesi.....	74
BÖLÜM 5. GENEL SONUÇLAR VE İRDELEME.....	75
KAYNAKLAR.....	80
ÖZGEÇMİŞ.....	81

ÖZET

Oksijenli elektrolitik bakır filmaşın üretiminde kullanılan Sürekli Döküm Sistemi'nin kalite ve ekonomikliğini etkileyen en önemli parametresi hareketli döküm kalıbı olarak kullanılan döküm tekerleğidir.

Döküm tekerleği malzemesi olarak uygulamada tarihsel gelişim içinde çelik, bakır, bakır-gümüş alaşımı, bakır-krom-zirkonyum alaşımı gibi çeşitli malzemeler kullanılmıştır. Halihazırda döküm tekerleği olarak genellikle bakır-krom-zirkonyum alaşımı kullanılmaktadır.

Bu araştırma, döküm tekerleği olarak kullanılan bakır esaslı alaşımlar içinde, amaca uygun en iyi özelliklere sahip alaşımların geliştirilmesi düşünülmüş yapılmıştır. Bu maksatla daha önce kullanılmış malzemelerden biri olan bakır-gümüş alaşımı esas alınarak, bu alaşıma farklı miktarlarda gümüş, titanyum, nikel, wolfram ve molibden elementlerinin ilavesi ile elde edilen alaşımların, termomekanik işlemler uygulandıktan sonra farklı durumlarındaki mekanik özellikleri, elektrik iletkenliği ve yeniden kristalleşme davranışları incelenmiştir.

Yapılan çalışmalar sonucunda incelenen alaşımların mekanik özellikler, iletkenlik ve yeniden kristalleşme davranışlarına göre bu alaşımlar sınıflandırılmıştır. En iyi özelliklere sahip olan alaşımların, bakır-gümüş(% 0.3) ve bakır-gümüş(% 0.3)-titanyum(% 0.1) malzemeleri olduğu tesbit edilmiştir.

MECHANICAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF SILVER BEARING COPPERS

SUMMARY

The efficiency of a continuous rod casting system depends on optimum design of the melting units for producing a high quality melt, satisfactory operation of the rod rolling line and last not least on behaviour of the casting wheel, that means the quality of the casting wheel material.

The function of the casting wheel is to shape the melt into a solidified bar and to cool the bar down to ensure a sufficient stability as it leaves the casting wheel for inline processing on the rolling mill. That kind of function has a major effect on the overall economics of a continuous rod casting plant. Factors in the economic equation include the cost of fabricating the casting wheel and its working life, that means the total tonnage that a wheel lasts.

The SCR process is a combination of continuous melting, casting, rolling, pickling and coiling operations. Copper cathode is melted in a vertical shaft furnace and continuously transferred to a cylindrical holding furnace which provides flow stabilization of the molten metal to the tundish located directly above the casting machine. The tundish is equipped with an automatic flow control system for the pouring of molten copper into the casting machine.

The heart of the SCR system is the casting machine. It consists of a wheel having at its periphery a groove closed by an endless steel belt which in effect becomes the fourth side of the continuous mould. This mould is water spray cooled on all sides, solidifying the bar in less than thirty seconds. The bar is then guided through an in-line bar preparation unit which removes the belt side corners. High pressure water sprays are also provided to remove any surface scale or oxide.

The bar then enters the rolling mill where it is reduced to the final rod size by means of a series of

vertical and horizontal roll stands. Upon exiting the last stand at approximately 621°C, the rod goes through an in-line alcohol or acid base pickling and cooling system. The resulting rod surface has a bright copper colour free of surface oxides. Finally the rod is coated with wax to retard surface oxidation and is coiled continuously into packages weighing from 2 - 4 MT.

The present contribution outlines are; the general demands that a casting wheel material should meet, the influence of material quality on achievable wheel life (total tonnage) and the influence of operating conditions on achievable total tonnage.

Demands to be met by the wheel material are directly related to the function of the wheel and to the stresses involved.

First basic physical strength of the wheel should be sufficiently high to ensure dimensional stability of the casting groove-being vital to ensure satisfactory wheel operation. Next, the heat of solidification and the excess heat of the melt must be conducted through the walls to the cooling water at a rate consistent with the whole process. This calls for sufficiently high thermal conductivity of the wheel material.

High wall temperatures are calling for a wheel metal retaining maximum possible strength at the relevant operating temperature over a long time. So, another property which is vital is a recrystallization temperature high enough to prevent softening of the metal. Finally the stresses resulting from temperature changes that occur between the metal inlet and bar extraction side each time the wheel rotates are particularly critical. After some time in service, those temperature cycles lead to the development of fatigue cracks in the casting groove. Thus, along with sufficient basic strength to minimize distortion, the wheel metal also should possess high resistance to fatigue.

If we look at the properties of some of the important engineering materials, we realize that, on account of their good mechanical properties at room temperature as well as ready availability, plain structural steels were the materials of choice when continuous rod casting technology was first developed in the 1950's. However, lifetimes of those steel wheels were extremely short. Some lasted only a few hours. It was impossible to maintain a continuous

casting operation. The wheels failed either due to irregular distortion or to deep heat cracks in the casting groove. Low thermal conductivity of the steel was identified as the reason for early wheel failure.

Based on experience gained with steel wheels, afterwards wheels were made from the metal with the highest conductivity of the industrial materials, which is copper. Cast blanks of that copper were hot forged or hot rolled to shape and because of low strength, subsequently cold forged to get adequate hardness and strength. The temperatures reached in the wheel during actual service exceed the softening or recrystallization temperature at ETP-copper which ranges from 190 to 250°C depending on the degree of purity. Strength values in and around the casting groove drop back to the soft condition and the wheel distorts.

Introduction of the low-alloyed silver-bearing types of copper was the decisive step toward raising casting wheel lifetime. Small amounts of silver, of a magnitude of 0.1 %, in the copper already raise recrystallization temperature to about 350°C. By adding of phosphorus it is possible to raise recrystallization temperature by another 20°C. On the other hand, unlike silver, phosphorus clearly reduces conductivity. Therefore, only minute amounts of phosphorus can be used. Accordingly, the CuAg material, developed by KM back in 1964 for mould plates, just contains about 0.005 % P along with 0.08 to 0.12 % Ag. This guarantees maximum possible conductivity of oxygen containing E-Cu. Under identical operating conditions, wheels of CuAg last about four times as long as ETP copper.

Copper's high melting point, and the large sizes of billet that were needed was calling for much greater wheel diameters and cross sections. As a result, to get the requisite strength in CuAg wheels by way of cold forging became more and more difficult. The CuCr alloy with about 0.5 to 1 % chromium, used for resistance welding electrodes, has a tensile strength of 300 N/mm², with a conductivity equal to 86 % of the conductivity of pure copper and a recrystallization temperature about 500°C. Despite the metal's excellent properties at room temperature, wheels of CuCr failed after short-time service due to intercrystallization cracks in the casting groove.

Kabelmetal then proceeded to focus especially on that problem, investigating the causes of intercrystalline fatigue cracks in casting wheels as well as ways to prevent them.

Relative performance and lifetimes of each of the different wheel materials only apply with regard to one particular casting machine as well as identical operating conditions. Actual service life at a casting wheel, that is, achievable total tonnage of sound bar or rod, depends not only on rod caster design and contribution but on a multiplicity of specific operating variables as well.

- Cast cross-section: Development of fatigue cracks depends both on the amplitude and the number of thermal cycles. The latter being identical with the number of wheel revolutions. This quite independent of the fact that larger size sections require more time to solidify and, because of that, are cast using larger diameter wheels.
- Wheel shape: Wheel shape influences both the achievable rate of cooling and thus microstructure of the cast bar, and the number of times a wheel can be machined and re-used.
- Wheel temperature: There is a direct link between casting wheel working temperature and the number of thermal cycles completed before the development of fatigue cracks
- Cooling: The manner and quality of cooling not just determine microstructural quality of the cast bar, but also working life of the casting wheel.
- Cooling water quality: Along with optimum adjustment of the cooling segments, quality of the cooling water is another major factor which helps assure satisfactory caster operation
- Lubrication of casting groove: Unlike deposits on the outer surface which raise wall temperature of the wheel, lubrication of the casting groove has a beneficial effect; the layer acts as an insulant which lowers heat flux between the melt and the wheel, thus reducing wheel temperature.
- Starting and re-starting conditions: Thermal stresses in the wheel are highest at the start of a cast, requiring particular care in operational handling. There is a risk of overheating and resultant development of cracks that shorten wheel life during

every start and re-start of a wheel.

- Hot spots: Occasional breakdown of the energy supply of continuous rod casters while in operation leads to standstill of the aspouring continuous. Overheating of the wheel section between metal entry and start of the cooling, causing a local drop in strength together with an increase in conductivity in Elbrodur G, and a change in stress distribution in the wheel.
- Re-machining of casting wheels: Actual wheel life is determined by the timing of the re-machining of casting grooves. After a certain time in service, fatigue cracks develop even in materials having high fatigue strength such as Elbrodur G. Once they exist, such minute cracks very quickly expand. To prevent this, the wheel should be machined as early as possible, that is, just as soon as there are any incipient cracks.

The aim of this study is to determine a suitable copper-base alloy which can be used for casting wheel material at the SCR System. For this purpose silver bearing copper alloy is used as a base material. Different amounts of silver, titanium, nickel, wolfram and molibdenium elements were added into silver bearing copper alloy. After casting of these alloys (Table 1.), thermo-mechanical treatments were applied to the alloys and mechanical properties, electrical conductivities, recrystallization behaviours and metallographic structures of these alloys were investigated.

Table 1. Chemical compositions of the casting alloys.

Alloy Number	%Cu	%Ag	%Ti	%Ni	%W	%Mo	%Fe	P (ppm)	Oxygen (ppm)
A1	99.90	0.1	-	-	-	-	-	47	88
A2	99.69	0.3	-	-	-	-	-	54	104
A3	99.70	0.30	-	-	-	-	-	90	639
A4	99.90	0.10	-	-	-	-	-	290	162
T1	99.61	0.33	0.06	-	-	-	-	49	121
T2	99.58	0.32	0.10	-	-	-	-	300	223
T3	99.58	0.29	0.13	-	-	-	-	21	208
T4	99.47	0.33	0.20	-	-	-	-	19	103
T5	99.29	0.31	0.40	-	-	-	-	20	101
N1	97.83	0.29	-	1.88	-	-	-	80	346
N2	96.42	0.29	-	3.29	-	-	-	180	265
N3	92.45	0.29	-	7.26	-	-	-	300	159
W1	99.62	0.30	-	-	0.08	-	-	180	128
M1	99.55	0.31	-	-	-	0.05	0.08	180	278

As a result of the experimental studies, the alloys were classified with respect to their mechanical properties, electrical conductivities and recrystallization behaviours. The alloys which have the optimum properties for a casting wheel material were determined as copper-silver(0.3 %) and copper-silver(0.3 %) -titanium(0.1 %) alloys among the alloys studied.

BÖLÜM 1 GİRİŞ VE AMAÇ

Oksijenli elektrolitik bakır filmaşın üretmek için kullanılan "Sürekli Döküm Sistemi"'nin (SCR; Southwire Continuous Rod), kaliteyi ve maliyeti etkileyen en önemli parçası, döküm kalıbı olarak kullanılan 1676 mm çapında ve 42 mm et kalınlığında olan döküm tekerleğidir. Bundan dolayı döküm tekerleği malzemesine alternatif malzemeler geliştirmek, sürekli olarak araştırma konusu olmuştur. SCR sisteminde kullanılan döküm tekerleği malzemesinin bazı özellikleri belirli değerlerin üzerinde olmalıdır ki, sistem aksamadan çalışmasını sürdürebilsin. Bu özellikler sırasıyla: mekanik özellikler, termal iletkenlik, yüksek sıcaklıktaki mekanik özellikler, yeniden kristalleşme sıcaklığı ve yorulma özellikleridir.

Bu araştırma, geçmiş yıllarda da döküm tekerleği malzemesi olarak kullanılan CuAg alaşımı üzerinde yapılmıştır. Geçmiş yıllarda yapılan çalışmalarda, CuAg alaşımı içerisindeki gümüş oranı % 0.08-0.12 arasında tutulmuşdu [1]. Bu tezin konusu olan çalışmada ise, gümüş oranının daha çok arttırılmasıyla, özelliklerin ne ölçüde değişeceği tesbit edilmeye çalışılmıştır.

Ayrıca CuAg alaşımına üçüncü bir komponentin ilavesiyle, özelliklerin ne ölçüde değişeceğinin tesbiti ile ilgili olan çalışmalar da yapılmıştır. Bu maksatla titanyum,

nikel, wolfram ve molibden ilaveleri yeni alaşımlar oluşturmakta kullanılmıştır.

Bu araştırmada, oluşturulan alaşımların herbirinin mekanik özellikleri, termal iletkenlikleri ve yeniden kristalleşme sıcaklıkları incelenmiştir. Bir malzemenin elektrik iletkenliği ile ısı iletkenliği özelliklerinin birbirlerine paralellik göstermesi sebebiyle, alaşımların elektrik iletkenlikleri ölçülerek, termal iletkenlikleri hakkında da bir fikir edinilmesi düşünülmüştür.

Bu çalışma neticesinde elde edilecek yeni alaşımların ölçülen özelliklerinin yeterli olması halinde, SCR sisteminde döküm tekerleği olarak servis şartlarında kullanılması, önce bu yeni geliştirilen alaşımların yüksek sıcaklıktaki mekanik özellikleri ve yorulma özellikleri ile ilgili çalışmaların da yapılmasından sonra planlanmaktadır.

BÖLÜM 2 LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Sürekli Döküm Sistemi (SCR: Southwire Continuous Rod) Hakkında Genel Bilgiler

2.1.1. Elektrolitik Bakır Üretimi

Uluslararası standartlara göre iletken olarak kullanılmakta olan elektrolitik bakır genelde iki kategori altında sınıflandırılmaktadır:

1. Oksijenli elektrolitik bakır (Electrolytic Tough Pitch-Copper),
2. Oksijensiz elektrolitik bakır (Oxygen Free-Copper).

Oksijenli elektrolitik bakırın endüstriyel üretiminde Properzi, Contirod, SCR gibi sistemler kullanılmaktadır. Oksijensiz elektrolitik bakırın üretiminde ise Outokumpu sistemi kullanılmaktadır.

Araştırma konusu SCR sistemi ile ilgili olduğu için, bu sistem bundan sonraki bölümde daha detaylı olarak incelenmiştir.

2.1.2. Sürekli Döküm Sistemi (SCR Sistemi)

SCR sisteminde, bakır katodlar ergitilip döküldükten sonra sıcak haddeleme yöntemi ile 8 mm'lik filmaşın haline dönüştürülür. (Sarkuysan A.Ş.'de). Tesisin kapasitesi 13 ton/saat'dir. SCR sistemi 8 mm'lik filmaşının yanı sıra 16

ve 11 mm'lik çaplarda da üretim yapabilecek şekilde dizayn edilmiştir [2].

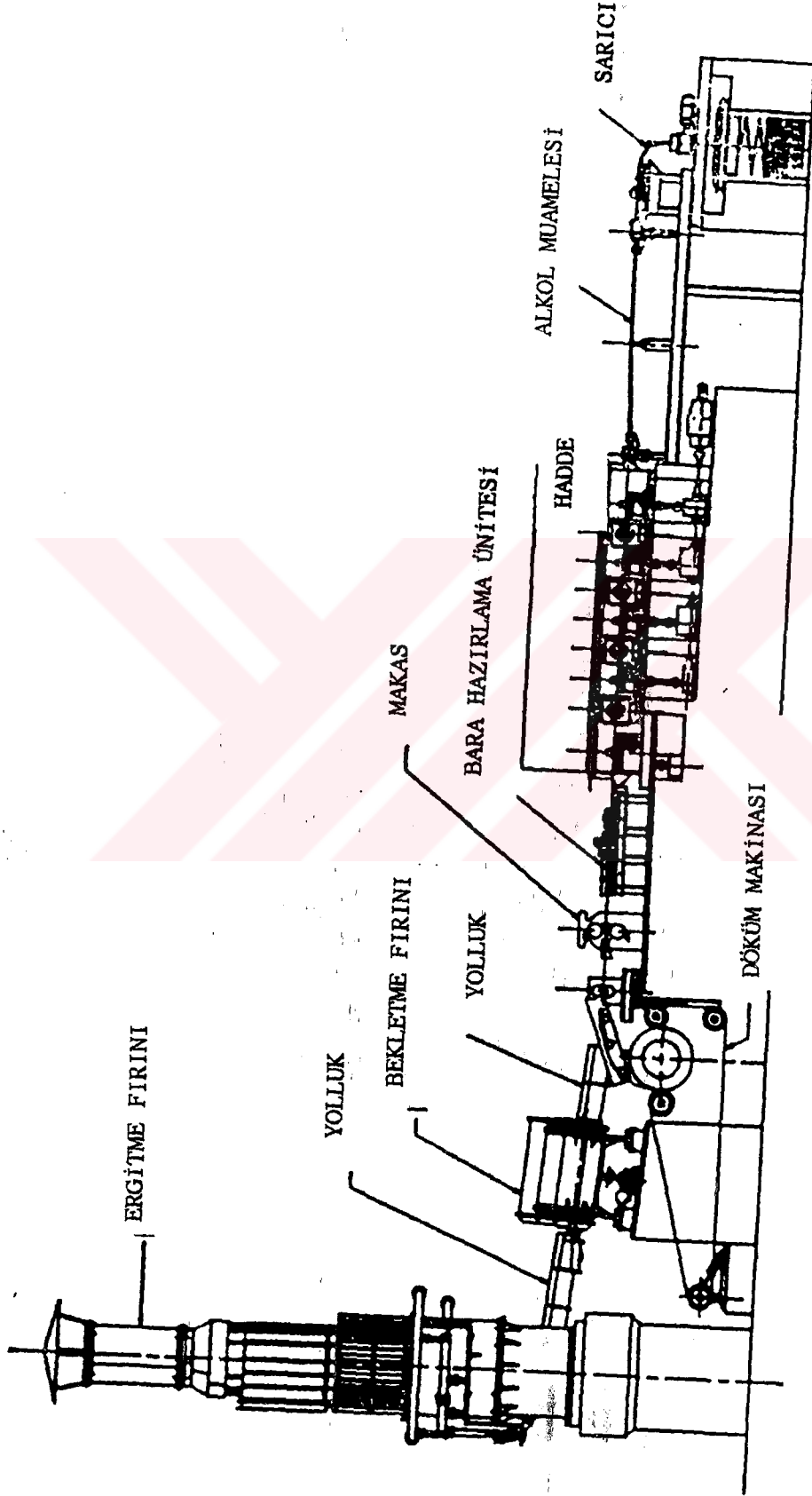
SCR sisteminde, ateşle n-rafinasyondan sonra elektroliz metodu ile yüksek saflıkta üretilen elektrolitik bakır katodlar ana şarj malzemesi olarak kullanılmaktadır. Diğer şarj malzemeleri ise SCR sisteminin kendi ara-işi olan bara ve talaş ile tel çekme ünitelerinden gelen sirküle hurda tellerdir. Sürekli döküm sisteminin şematik resmi şekil 2.1.'de gösterilmektedir [3].

SCR sistemini üç ana bölüm halinde düşünebiliriz:

1. Sıvı metal bölgesi,
2. Döküm bölgesi,
3. Hadde ve dekapaj bölgesi [3].

şarj malzemeleri bir asansör vasıtasıyla fırına yk-
lenir. şarjın ne kadar sıklıkta yapılacağı, ergitme fırını kontrol edilerek yapılır. Bu kontrol ergitme fırınının şarj ağzına yakın bir bölgede bulunan kameradan fırının şarj ağzı izlenerek yapılır. Fırına katod şarjı genelde 10-15 dk'da bir kova (3-4 ton) şeklinde olmaktadır. Fırına şarj edilen malzemenin %5-15'lik kısmını bara, talaş ve hurda teller oluşturmaktadır. Geriye kalan kısım ise, ana şarj malzemesi olan elektrolitik bakır katodlardır [2].

Birinci bölgede ergitme fırını, yolluklar ve sıcak tutma fırını yer alır. Enerji kaynağı olarak buharlaştırılmış LPG-gazı veya doğal gaz kullanılabilir. Bu bölgedeki tüm brülörlerde hava ve yakıt karışımının ideale



Şekil 2.1. Sürekli döküm sisteminin şematik resmi [3].

yakın bir şekilde kolaylıkla kontrol altında tutulabilmektedir ve gerekli modern cihazlar mevcuttur. Yanma sonucu oluşan CO gazı sürekli kontrol altında tutularak sıvı metal oksijen içeriği istenilen seviyelerde tutulur. Ergitme fırınının kapasitesi 25-30 ton arasındadır ve 15 ton/saat ergitme hızına sahiptir. Eriyen sıvı metal sabit üst yolluk vasıtasıyla bekletme fırınına alınır. Bekletme fırınına gelmeden önce sıvı metalin curufu alınır. Bekletme fırınının kapasitesi 7 ton'dur ve bu fırından çıkan sıvı metal hareketli alt yolluk vasıtasıyla döküm bölgesine gelir. Sıvı metal bölgesinde sıvı metalin oksijen içeriği 200-350 ppm arasında tutulmaya çalışılır [2].

Döküm bölgesinde, oksijen miktarı ve sıcaklığı istenilen seviyeye getirilmiş olan sıvı metalin, alttan döküm kabına akıtıldığı bir hazne(tandiş) mevcuttur. Döküm kalıbı iç kanalı trapezoidal kesitli döner bir tekerlek ile bunu dıştan kapatan bir çelik banddan oluşmaktadır. Katılaşma, bu tekerleğin çevresinin yaklaşık 3/4 uzunluğu boyunca dönme hareketi sırasında tamamlanır. Son derece kolaylıkla kontrol edilebilen oldukça karmaşık su soğutma sisteminin yardımıyla, döküm parametreleri kontrol altında tutularak istenilen kristal yapıda döküm gerçekleştirilir. Döküm sıcaklığı 1110-1130°C arasında tutulmaya çalışılır [2].

Üçüncü bölge olarak belirttiğimiz hadde ve dekapaj bölgesinde döküm bölgesinden çıkan katılaşmış döküm yaklaşık 840°C'de hadde tezgahına girerek sıcak olarak haddelenir. Bu kısımda 9 hadde istasyonu bulunmaktadır. % 97,5 seviyesinde kesit redüksiyonuna uğrayan malzemenin döküm

yapısı tamamen parçalanır ve tane boyutu 25 mikron'a kadar iner.Çok yüksek seviyedeki bu deformasyon neticesinde oksit partikülleri de homojen bir şekilde malzeme boyunca dağılırlar. Yaklaşık 530°C'de hadde tezgahından çıkan 8 mm çaplı yuvarlak malzeme, dekapaj hattında alkol solüsyonu ile soğutulularak temizlenir ve koruyucu bir mum (wax) tabakası kaplanarak sarııcı ünitesinde istenilen ağırlıkta kangal haline getirilir [2].

Üretilen 2.5-4.0 ton'luk her bir kangal için çeşitli testler yapılır ve bu testlerin sonucuna bağlı olarak her bir kangal SA, A, a, B ve H kategorilerinde sınıflandırılır. SA (Süper A) en iyi kaliteyi simgelerken, H (Hurda) ise en düşük kaliteyi simgeler. Burada en iyi kalite, en ince çaplara kolaylıkla çekilebilen malzeme olarak tanımlanabilir. Kalite klasifikasyonunda kullanılan deneyler sırasıyla şunlardır:

1. Oksijen analizi,
2. 25/Kopma burma deneyi,
3. 10/10 burma deneyi,
4. Yüzey oksit kalınlığını belirleme deneyi,
5. Girdap akımları yöntemiyle yüzey hatalarının ve demir inklüzyonlarının tesbiti,
6. Elektrik iletkenliği ölçümü,
7. Kopma uzamasının tesbiti.

Bu testlerin sonuçları anında SCR Nokta Laboratuvar'ından terminale girilir ve SCR Fırın Kontrol Odası'ndan takip edilerek gerekli müdahaleler yapılır.

2.1.3. SCR Sisteminde Üretilen Filmaşının Kullanım Alanları

Genelde yüksek elektrik iletkenliğine ihtiyaç duyulan bütün alanlarda kullanılır: Kablolar, enerji nakil ve telefon hatları, demiryolu elektrifikasyonu, motor-jenaratör-transformatör ve ölçü cihazları sargıları, radyo televizyon parçaları, terminaller, ısı eşanjörleri, otomobil radyatörleri, gıda sanayii ekipmanı, mutfak eşyaları v.d.

2.1.4. SCR Sisteminde Üretilen Malzemenin Genel Özellikleri

2.1.4.1. Kimyasal Bileşimi

Çıkan mamülün bakır içeriği minimum % 99.95'dir. İla-veten içinde 200-400 ppm (% 0.02-0.04) arasında da oksijen mevcuttur. Oksijenin iki ana işlevi vardır. Bunlardan ilki diğer empürite elementleri ile birleşerek oksitler oluşturup empüriteleri eriyikten uzaklaştırmaktır. Diğerisi ise, katılaşma sırasında hidrojenle birleşerek su buharı oluşturup, sıvı metal içinde hidrojen çözünürlüğünü düşürmek ve böylece su buharıyla boşluk oluşmasını önlemektir [4].

2.1.4.2. Belirgin Nitelikleri:

- Sıcak haddelendiği için tavlı özellik taşır ve herhangi bir ara-tav işlemine gerek göstermeden toplam % 90 redüksiyon oranına kadar çekilebilir.
- Yumuşama sıcaklığı muadili malzemelere kıyasla daha düşüktür.
- Tav işleminde ekonomiktir.

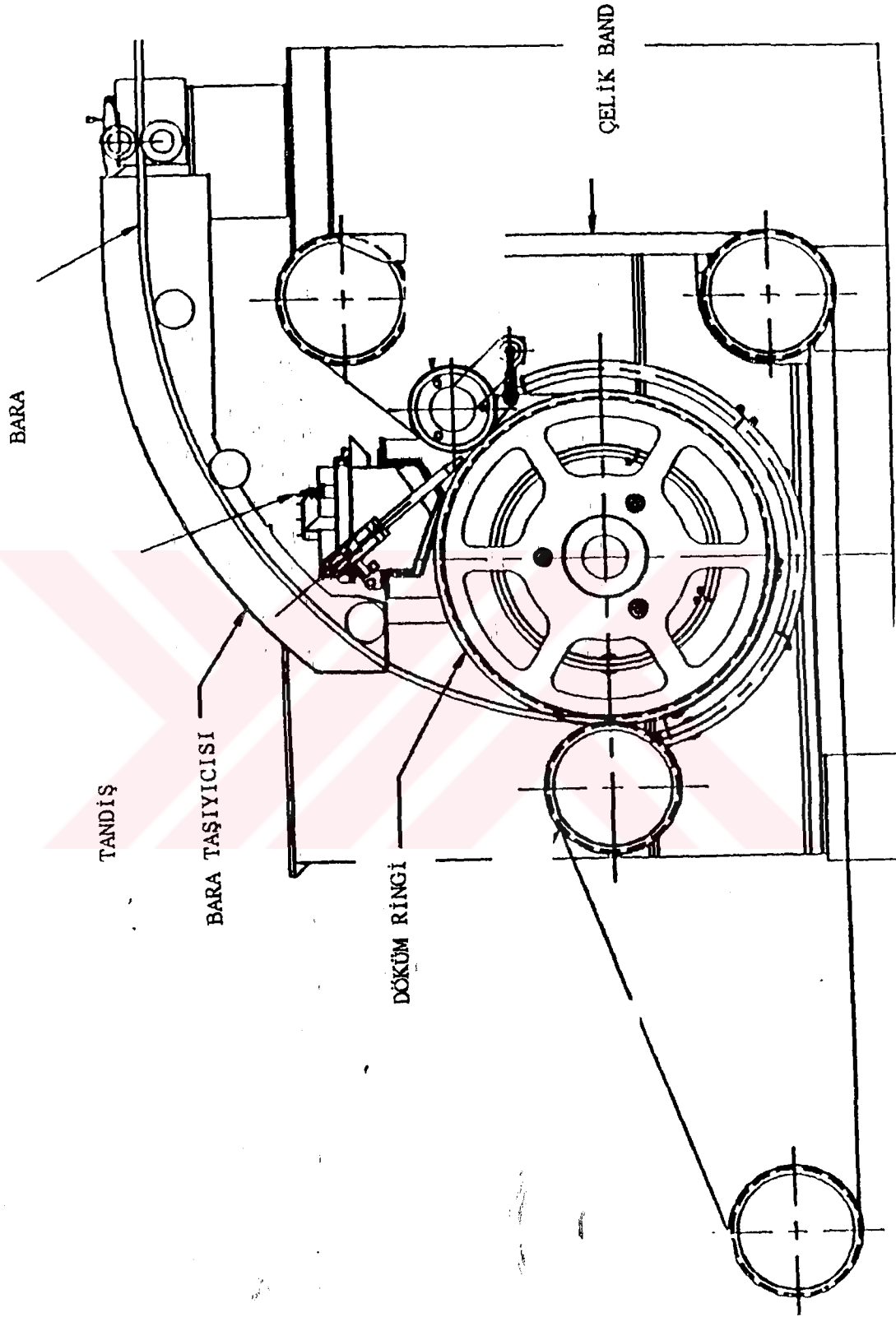
- En uygun emaye malzemesi niteliğindedir.
- Oksijenli elektrolitik bakır, soğuk çekme ve haddeleme için ideal malzemedir.

2.2. SCR Sisteminde Döküm Kalıbı Olarak Kullanılan Hareketli Döküm Tekerleğinin Önemi Ve Gelişimi

2.2.1.Döküm Tekerleğinin İşlevi Ve Önemi

SCR sisteminde kullanılan döküm tekerleğinin fonksiyonu sıvı metali bara haline getirerek katılaşmasını sağlamak ve ardından bu baranın kontrollü bir şekilde soğutularak, haddelemeye uygun bir sıcaklıkta girmesini sağlamaktır. Döküm tekerleğinin bu fonksiyonlarını yerine getirmesi, sürekli dökümün ekonomikliğini sağlayan önemli faktörlerdir. Bundan dolayı döküm tekerleğinin önemi çok büyüktür ve bir döküm tekerleği ile kaç ton malzeme çekildiği maliyet açısından büyük önem taşır. 1980 mm²'lik barayla çalışan SCR sistemlerinin döküm tekerleğinin dış çapı 1676 mm, et kalınlığı 42 mm ve trapezoidal kanal derinliği ise 34 mm'dir. 1980 mm²'lik barayla üretim yapan SCR sistemlerinde kullanılan döküm tekerlekleri 15000-20000 Alman Mark'ı arasındadır. Yılda da ortalama 8-12 adet döküm tekerleği kullanıldığı farzedilirse yıllık 150000-200000 Mark'lık bir döküm tekerleği sarfiyatı olduğu görülür. Buradan da anlaşılabacağı üzere SCR sistemlerinde kullanılan döküm tekerleklerinin maliyet açısından çok önemli bir yer işgal ettiği görülür [5].

Şekil 2.2.'de SCR döküm makinası şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.2.2. SCR döküm makinasının şematik resmi [3].

Dünyada bu tip döküm tekerleklerini üreten çok az sayıda firma vardır. Bu üreticilerin içerisinde en önemli yeri Kabelmetal alır. Kabelmetal bu döküm tekerleklerinin üretimini dört aşamada gerçekleştirmektedir. Bu kademeler sırasıyla şunlardır [5]:

1. Döküm safhası,
2. Sıcak dövme safhası,
3. İşleme safhası,
4. Isıl işlem safhası.

2.2.2. Döküm Tekerleği Olarak Kullanılan Malzemelerin Gelişimi

2.2.2.1. Çelik

1950'li yıllarda kontinü dökümde tekerlek olarak, mühendislik malzemeleri arasında en iyi mekanik özelliklere sahip adi çelikler denenmişti. Tablo 2.1.'de bazı mühendislik malzemelerinin çekme dayanımı ve ısı iletkenlikleri görölmektedir. Ancak düşük termal iletkenliğe sahip olmaları bunların çalışma ömürlerini bir kaç saatle sınırlandırıyordu. Tekerleğin iç ve dış kısımları arasındaki sıcaklık gradyanları öyle yüksek oluyordu ki, oluşan gerilmeler çeliğin yüksek sıcaklık dayanımını aş ıyordu [1].

Tablo 2.1. Bazı mühendislik malzemelerinin çekme dayanımları ve ısı iletkenlikleri görölmektedir [1].

Malzeme	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Isıl İletkenliği (W/m.°C)
Paslanmaz Çelik 302	620	10
Çelik % 0.1 C'lu	350	50
Molibden	700	125
Alüminyum	100	220
DHP-Bakır	210	320
ETP-Bakır	200	380

2.2.2.2. ETP Bakır

Çelikdeki başarısız sonuçlardan sonra, endüstriyel malzemeler içerisindeki en yüksek iletkenliğe sahip bakırın, döküm tekerleği yapımında kullanılması düşünüldü. Bakır malzemesi olarak oksijen içeren ETP bakırının kullanılması düşünüldü. Bakır döküm taslakları, sıcak dövme veya sıcak haddeleme yöntemleriyle şekillendirildi ve ardından düşük fiziksel dayanımından dolayı soğuk dövme ile yeterli sertlik ve mukavemete ulaştırıldı. ETP bakırından yapılmış bu döküm tekerleği ile düzenli olarak ilk üretimler yapılmaya başlanmıştır. Ancak düşük bir yumuşama sıcaklığına sahip olması önemli bir dezavantajdı ve tekerlek kısa zaman sonra kullanılmaz hale geliyordu. Bilindiği gibi ETP bakırın yumuşama sıcaklığı malzemenin saflığına bağlı olarak 190-250°C arasında değişmektedir. Ancak, bazı tekerleklerle birkaç yüz ton alüminyum döküm gerçekleştirilebilmiştir [1].

2.2.2.3. Düşük Alaşımlı Bakırlar

2.2.2.3.1. Bakır-Gümüş Alaşımı

% 0.1 Ag ilavesi bakırın rekristalizasyon sıcaklığını 350°C'ye çıkarır. Böylece çalışma şartları da uygun bir şekilde optimize edildiğinde yumuşama olmayacaktır ve erken tekerlek deformasyonu da engellenmiş olacaktır. Fosfor ilavesiyle de rekristalizasyon sıcaklığı bir 20°C daha arttırılabilir. Düşük bir artış gibi görünmesine karşın, çalışma şartları açısından bakıldığında bu çok önemli bir artıştır. Diğer taraftan bu Ag ve P ilaveleri iletkenliği azaltır. İdeal çalışma şartlarında CuAg tekerlekleri, ETP bakır tekerleklerine göre dört kat daha fazla bir çalışma ömrüne sahiptir [1].

Kabelmetal tarafından 1964 yılında geliştirilen CuAg malzemesinde % 0.005 P ve % 0.08-0.12 Ag bulunuyordu. Bu değerler tekerleğin yeterli iletkenliğe sahip olacağını garanti ediyordu [1].

Tablo 2.2.'de CuAg döküm tekerleklerinin tipik özellikleri görülmektedir.

Tablo 2.2. CuAg döküm tekerleklerinin fiziksel ve mekanik özellikleri görülmektedir [1].

Fiziksel Özellikleri	Birim	Değer
Elektrik iletkenliği	m/ohm.mm ²	55
Isıl iletkenliği	W/m.K	362
Rekristalizasyon Sıcaklığı	°C	370
Mekanik Özellikleri		
Akma Dayanımı	N/mm ²	220
Çekme Mukavemeti	N/mm ²	270
Uzama	%	15
Sertlik	HB	90
350°'deki Çekme Mukavemeti	N/mm ²	190

2.2.2.3.2. Bakır-Krom Alaşımı

1960'lı yıllarda sürekli döküm teknolojisi üretiminde gelişmeler devam etmiştir. Bu gelişmelere paralel olarak daha büyük çaplı döküm tekerleklerine ihtiyaç duyulmaya başlanmıştır. CuAg tekerleklerine soğuk dövme yöntemini uygulayarak elde edilen dayanım, artık yeterli olmamaya başlamıştır. Ayrıca çalışma şartlarında sık sık meydana gelen oynamalar, metalin rekristalizasyon sıcaklığının üzerine çıkılmasına yol açmıştır. Döküm tekerleği kanalının boyutsal kararsızlığı ve yorulma çatlaklarının gelişmesi gibi problemler, her bir tekerlekten elde edilebilecek toplam tonajın düşük seviyelerde olmasına yol açar. Bu sebepten dolayı % 0.5-1.0 Cr ilavesiyle elde edilen CuCr alaşımının çekme dayanımı 300 N/mm²'ye ulaşırken, iletkenliği saf bakırın iletkenliğinin % 86'sı kadar olur ve

rekristalizasyon sıcaklığı da 500°C civarında olmuştur [1].

Ancak bu alaşım bu kadar mükemmel özellikler göstermesine karşın, uygulamada çok büyük sürprizlerle karşılaşmıştır. Oda sıcaklığında mükemmel özelliklere sahip olan bu alaşım, servis şartlarında çok kısa bir süre sonra kullanılmaz hale gelmiştir. Bunun sebebi de döküm tekerleği kanalında görülen taneler arası çatlaklardır [1].

2.2.2.3.3. Elbrodur G

CuCr alaşımındaki bu problemin çözülmesi için, taneler arası yorulma çatlaklarının araştırılmasına devam edilmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda Elbrodur G'nin (G Alman standartlarında döküm (guss) anlamındadır) CuCr alaşımına göre çok daha iyi özelliklere sahip olduğu tesbit edilmiştir. Elbrodur G'de karşılaşılan yorulma çatlakları tane içerisinde oluşmaktadır. Bu malzemeye bu özelliği % 0.1 oranında katılan zirkonyum sağlar [1].

Bu sebepten ötürü servis sıcaklığında mükemmel bir yorulma ömrüne ve yüksek sıcaklık dayanımına sahiptir. Ayrıca sürünmeye karşı direnci de yüksektir [1]. Tablo 2.3.'de Elbrodur G döküm tekerleklerinin tipik özellikleri görülmektedir.

Tablo 2.3. Elbrodur G döküm tekerleklerinin fiziksel ve mekanik özellikleri görülmektedir [1].

Fiziksel Özellikleri	Birim	Değer
Elektrik iletkenliği	m/ohm.mm ²	49
Isıl iletkenliği	W/m.K	331
Rekristalizasyon Sıcaklığı	°C	700
Mekanik Özellikleri		
Akma Dayanımı	N/mm ²	265
Çekme Mukavemeti	N/mm ²	390
Uzama	%	25
Sertlik	HB	125
350°C'deki Çekme Muk.	N/mm ²	296

2.3. Döküm Tekerleği Malzeme Özelliklerinin Tekerlek Ömrüne Olan Etkisi

2.3.1. Mekanik Özellikler

Tekerleğin fiziksel dayanımı öyle olmalıdır ki, tekerleğin döküm kanalı boyutsal kararlılığını mutlak surette korumalıdır. Bunu sağlamak için orta seviyedeki çekme mukavemetleri yeterli olabilmektedir (300-400 N/mm²) [1].

2.3.2. Termal iletkenlik

Tekerlek malzemesinin termal iletkenliğinin önemi çok büyüktür. Öyle bir malzeme seçilmelidir ki, katılaşma sırasında oluşan katılaşma ısı ve fazla ısı tekerlek duvarları yardımıyla soğutma suyuna o şekilde ulaşmalıdır ki, tüm prosesin çalışmasına olumsuz yönde etkisi olmasın. Yüksek

termal iletkenliğe sahip malzemeler kullanıldığında, döküm tekerleği duvar sıcaklığının arttığı gözlenmiştir. Döküm hızı, soğutma suyu miktarı, duvar kalınlığı, yağlayıcılar gibi çalışma parametrelerine bağlı olarak sıcaklık iç kısımda 450°C'ye ulaşırken, dış kısımda 80-120°C arasında olmaktadır. Döküm tekerleği malzemesinin işlevini tam olarak yerine getirebilmesi için termal iletkenliği 300- 400 W/m.K arasında olmalıdır [1].

2.3.3. Yüksek Sıcaklıktaki Mekanik Özellikler

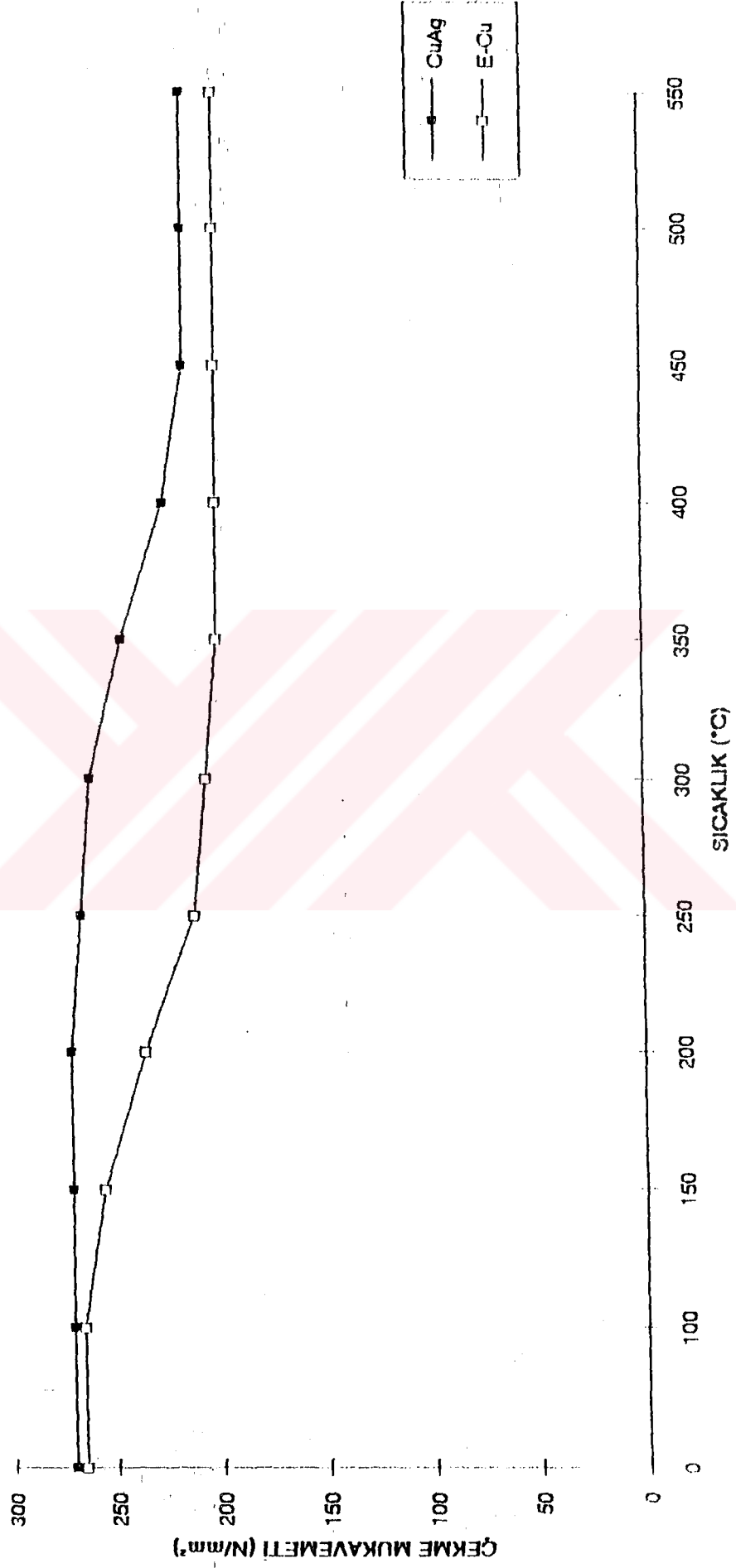
Tekerleğin dış kısmında 100°C civarında, iç kısmında da 450°C civarında bir sıcaklık olduğundan, tekerlek malzemesi bu sıcaklıklarda mekanik özelliklerini mutlak surette korumalıdır. 350°C'de 250-300 N/mm²'lik çekme dayanımına sahip olmalıdır [1].

2.3.4. Yeniden Kristalleşme Sıcaklığı

Bu sıcaklık metalin çalışma şartlarında yumuşamasını önleyecek derecede yüksek olmalıdır. Bir değer vermek gerekirse en azından 350°C olmalıdır. Şekil 2.3.'de E-Cu ve CuAg alaşımının rekristalizasyon davranışları görülmektedir [1].

2.3.5. Yorulma Özellikleri

Sıvı metalin döküm tekerleğine giriş sıcaklığı ile baranın tekerlekten ayrılırken sahip olduğu çıkış sıcaklığında meydana gelen değişiklikler, belli bir zaman sonra döküm kanalında yorulma çatlaklarının oluşmasına yol açar.



şekil 2.3. E-Cu ve CuAg alaşımının rekristalizasyon davranışları görülmektedir [1].

Bundan dolayı malzeme seçiminde yorulma dayanımı yüksek malzemeler gözönüne alınmalıdır [1]. Şekil 2.4.'de Elbrodur G ve CuAg döküm tekerleklerinin yorulma dayanımlarının karşılaştırılmaları görülmektedir.

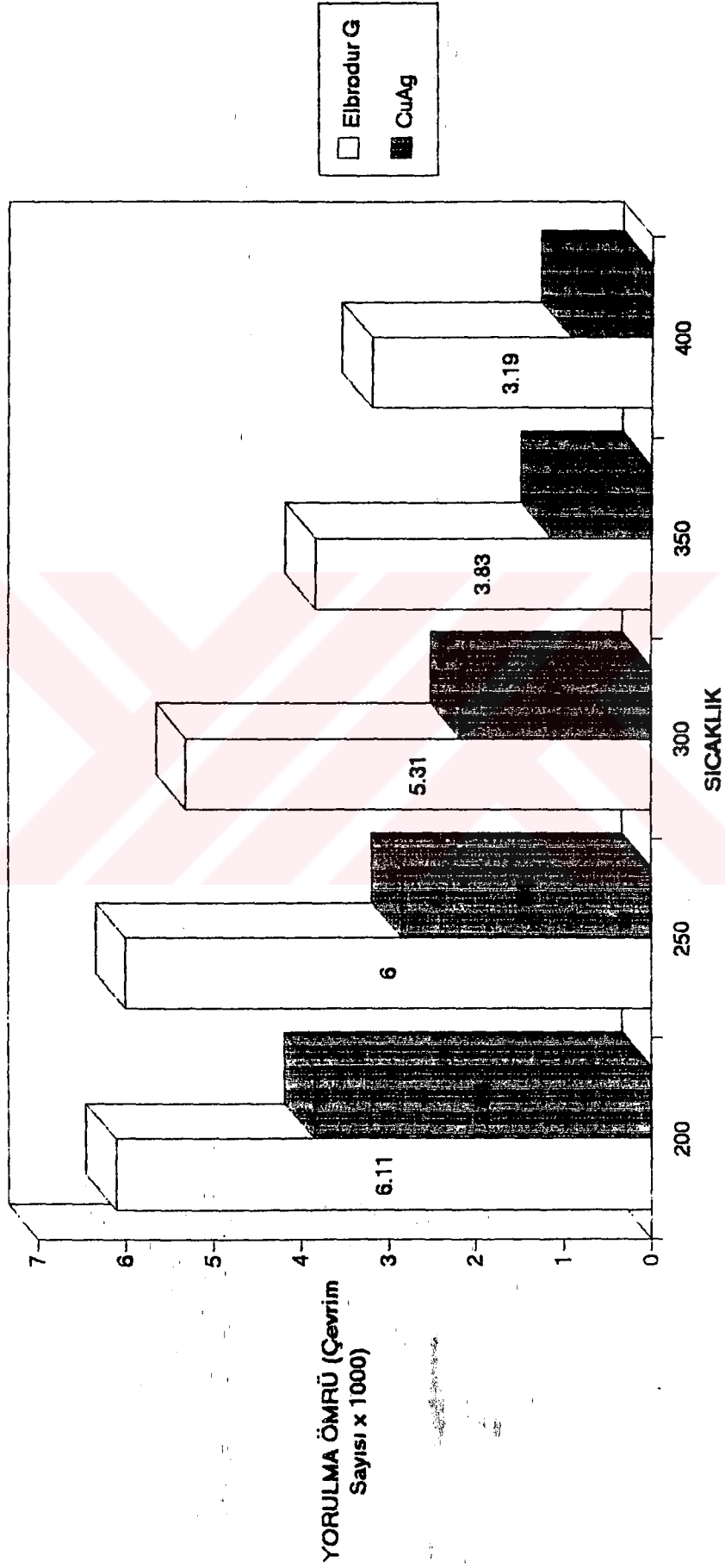
2.4. Servis Çalışma Şartlarının Döküm Tekerleğinin Ömrüne Olan Etkisi

2.4.1. Bara Kesit Alanı

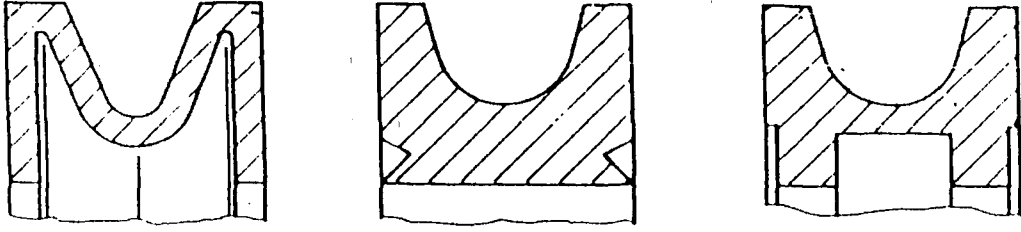
Yorulma çatlaklarının gelişimi termal çevrim sayısına ve etkinlik alanına bağlıdır. Termal çevrim sayısının tekerlek dönüş sayısına eşit olması ideal durumdur. Pratikte bütün küçük tekerleklerin dakikadaki dönüş hızı iki civarındadır. Böylece yorulma çatlaklarının gelişmesine kadarki sürede bara boyutu ve elde edilebilecek toplam tonaj arasında direkt bir ilişki kurulabilir. Örneğin elde edilebilecek tonaj 6 inç²'lik barayla çalışan bir sistemde, 3 inç² ile çalışan bir sisteme oranla iki kat daha fazla olmaktadır. Daha geniş bara boyutlarının katılaşması için daha fazla zamana ihtiyaç duyulur ve sonuçta da daha geniş çaplı tekerlekler kullanılmalıdır [1].

2.4.2. Tekerlek Şekli

Tekerlek şekli, hem elde edilebilen soğuma oranı ve baranın mikroyapısını, hem de tekerleğin kaç kez işlenerek tekrar kullanılabileceğini etkiler. Üç çeşit döküm tekerleği vardır: M, U ve H-tipinde. Şekil 2.5.'de döküm tekerleklerinin tipik şekilleri görülmektedir [1].



Şekil 2.4. Elbrodur G ve CuAg döküm tekerleklerinin yorulma ömürlerinin karşılaştırılması [5].



M-Şekli

U-Şekli

H-Şekli

Şekil 2.5. Değişik tipteki döküm tekerleklerinin şekilleri görülmektedir [5].

2.4.3. Tekerlek Sıcaklığı

Yorulma çatlakları oluşuncaya kadar, döküm tekerleği çalışma sıcaklığı ve tamamlanan ısıl çevrim sayısı arasında direkt bir ilişki vardır. Tekerleğin performansını sadece kanalın iç kısmındaki sıcaklık seviyesi belirlemez, bununla birlikte tekerleğin hareketiyle oluşan periyodik sıcaklık değişimleri ve ısıl gerilmeler de tekerleğin genel performansını önemli şekilde etkiler [1].

2.4.4. Soğutma

Soğutmanın uygulanış yöntemi ve kalitesi sadece baranın mikroyapısının kalitesini etkilemez, aynı zamanda döküm tekerleğinin çalışma ömrünü de etkiler [1].

2.4.5. Soğutma Suyu Kalitesi

Su, tekerleğin dış yüzeyinde kabuk oluşumunu önleyecek derecede yumuşak olmalıdır. 80°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda demineralize su içersindeki kalsiyum karbonatlar, tekerlek üzerinde toplanabilecektir. Kalsiyum karbonatlar tekerlek ömrünü olumsuz yönde çok önemli bir şekilde etkilerler [1].

Bakır dökümü yapılırken tekerleğin dış yüzeyine püskürtülen ve bu kısımlarda yığılarak bulunan is tabakasının etkisi çok az veya hiç yoktur denilebilir. Karbonun yüksek iletkenliği sebebiyle ve çok ince pul pul bir tabaka oluşturmamasından dolayı, tekerlek ve soğutma suyu arasındaki ısı transferini pek etkilemez. Ne varki suyun içersinde bulunabilecek kalsiyum karbonatın ayrışıp çökmesi ile oluşan karbon ve karbonat karışımları, olağanüstü hızlı gelişen çok kalın yapışkan yığılmaların oluşumuna sebep olur ve ısı transferini engelleyen izolasyon tabakası etkisi gösterirler [1].

Bundan dolayı eğer soğutma suyu istenildiği gibi değilse, bu durumda her hafta sonu bu yığınlar mutlak surette temizlenmelidir. Bu durumda tekerlek ömrü uzatılmış olur [1].

2.4.6. Döküm Tekerleği Kanalının Refrakterle Kaplanması

Döküm tekerleğinin dış yüzeyinde oluşan yığılmalar tekerlek duvar sıcaklığını arttıracığından, döküm tekerleği kanalının refrakterle kaplanması faydalı ve yararlı bir etki

gösterir. Böylece bu tabaka bir izolatör görevini görerek, sıvı metal ile tekerlek arasındaki ısı akışını azaltır, sonuçta tekerlek sıcaklığını düşürür [1].

Örneğin bakırın yüksek ergime sıcaklığından dolayı refrakter kaplama olarak is kullanılır. Is tabakası, asenilen alevi ile uygulanır. Uygun ve uniform kalınlıkta olmalıdır. Kalın bir tabakanın oluşması tavsiye edilmez. Bu durumda lokal pullanmalar meydana gelebilir. Sonuçta barada hatalar oluşabilir ve ayrıca tekerlek üzerinde çatlak başlangıcı için potansiyel mevkiller oluşmuş olur [1].

2.4.7. Döküme Başlama

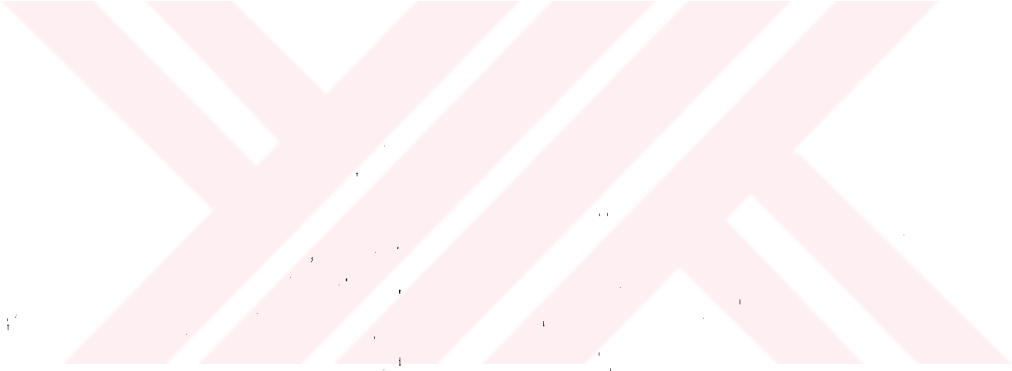
Tekerlek üzerindeki termal gerilmeler dökümün başlangıcında en yüksek seviyededir. Ani termal şoklardan sakınmak maksadıyla döküm başlamadan önce tekerlek 80°C'ye kadar ısıtılmalıdır. Döküm başlamadan önce aşırı ısıtmanın da kesinlikle önüne geçilmelidir [1].

2.4.8. Bölgesel Isınmalar

Arasıra meydana gelen enerji kesintileri esnasında döküm de kendiliğinden durur. Metalin giriş kısmı ile soğutmanın başladığı kısım arasındaki aşırı ısınmış kısımda, Elbrodur G'de görülen, lokal bir dayanım düşmesi ve iletkenlikte bir artış gözlenir ve tekerlekdeki gerilme dağılımında da bir değişme olur. Bu tür bir değişiklikten sonra tavlama yapılarak tekerlek tekrar eski özelliklerine sahip olamaz [1].

2.4.9. Döküm Tekerleğinin İşlenmesi

Gerçek tekerlek ömrü döküm kanalının kaç kez işlendiği ile belirlenebilir. Servis şartlarında belli bir zaman sonra yüksek yorulma dayanımına sahip Elbrodur G'de bile yorulma çatlakları oluşur. Çatlak bir oluşumu daha sonra hızla yayılır. Bunu önlemek maksadıyla tekerlek, çatlak görünür görünmez işlenmeye gönderilmelidir. 3-5 mm derinliğinde talaş kaldırma ve taşlama çatlakların yok olması için yeterlidir. Çatlakların yok edildiğinin kontrolü için Sıvı Penetran Testi'nin yapılması tavsiye edilir [1].



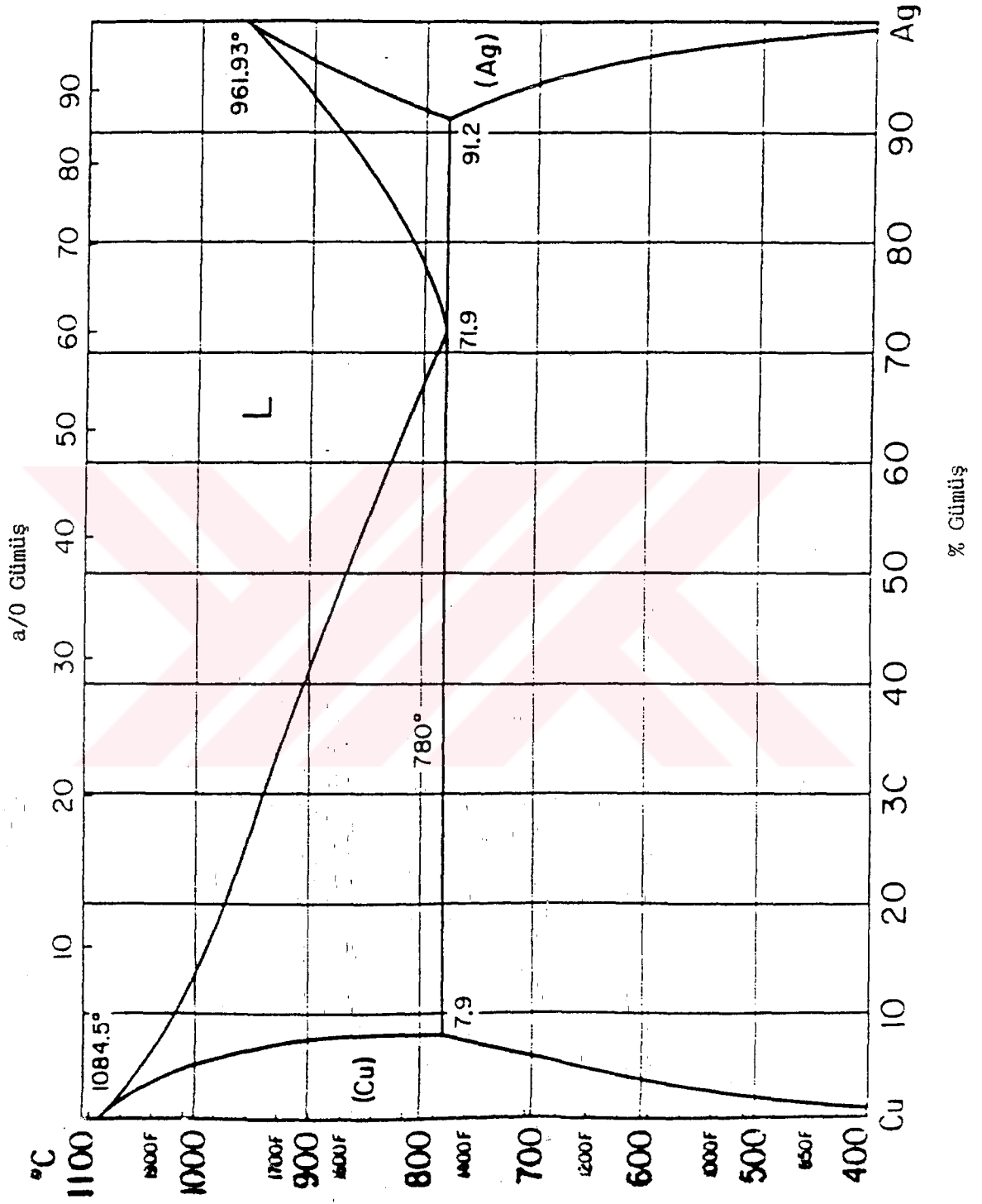
BÖLÜM 3 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu araştırma, Sürekli Döküm Sistemi'nde döküm tekerleği olarak kullanılan malzemeye, alternatif bir malzeme üretmek maksadıyla yapılmıştır. Bu maksatla önceki yıllarda da araştırma konusu olan CuAg alaşımı esas alınarak araştırma sürdürülmüştür. Öncelikle % 0.1 gümüş içerecek şekilde bir CuAg alaşımı oluşturulması hedeflenmiştir. Ardından gümüş oranının % 0.3'e çıkarılıp, bu değerde özellikleri ne yönde etkilediği araştırılmıştır. Bu alaşım da, gümüş ilavesinin arttırılmasının sebebi, gümüşün alaşımın yeniden kristalleşme sıcaklığını daha yükseklerle çekebileceği beklentisidir.

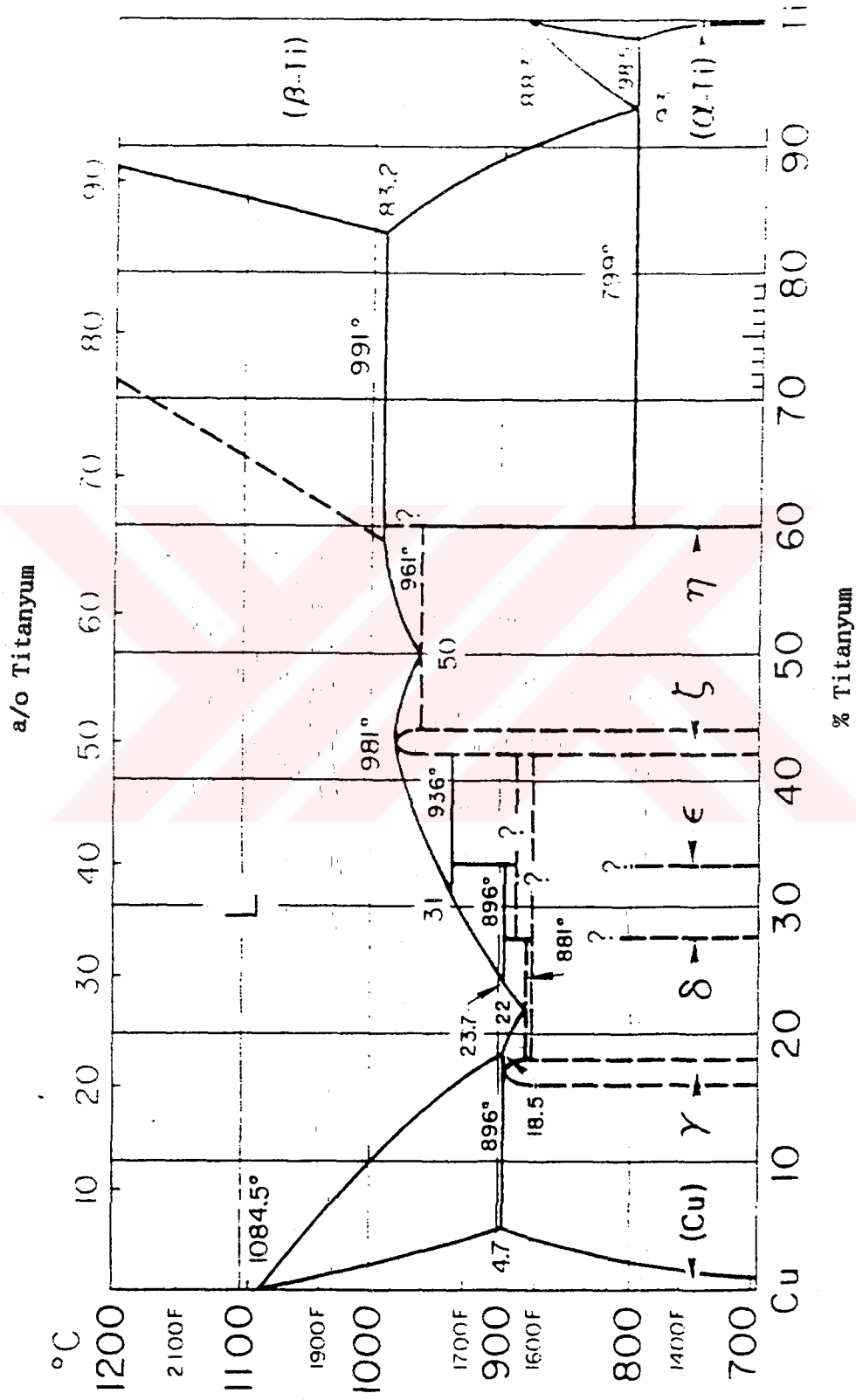
Gümüş ilaveleri, Şekil 3.1.'deki Cu-Ag faz diyagramında görüleceği gibi, bakırca zengin katı eriyik yapısının elde edilebileceği sınırlar içerisinde tutulmaya çalışılarak gerçekleştirilmiştir.

CuAg alaşımlarına üçüncü bir komponentin ilave edilmesiyle, yeni alaşımların oluşturulması üzerinde de çalışılmıştır. Bu maksatla titanyum, nikel, wolfram ve molibden ilaveleri yapılmıştır.

Titanyum % 0.05 ile % 0.50 arasında olacak şekilde değişik bileşimlerde CuAg alaşımına ilave edilmiştir. Şekil 3.2.'deki Cu-Ti faz diyagramında da görüldüğü gibi, bu ilavelerin bakırca zengin katı eriyik yapısı içerisinde olacak şekilde yapılmasına dikkat edilmiştir.



Şekil 3.1.1. Cu-Ag faz diyagramı [6].



Şekil 3.2. Cu-Ti faz diyagramı [6].

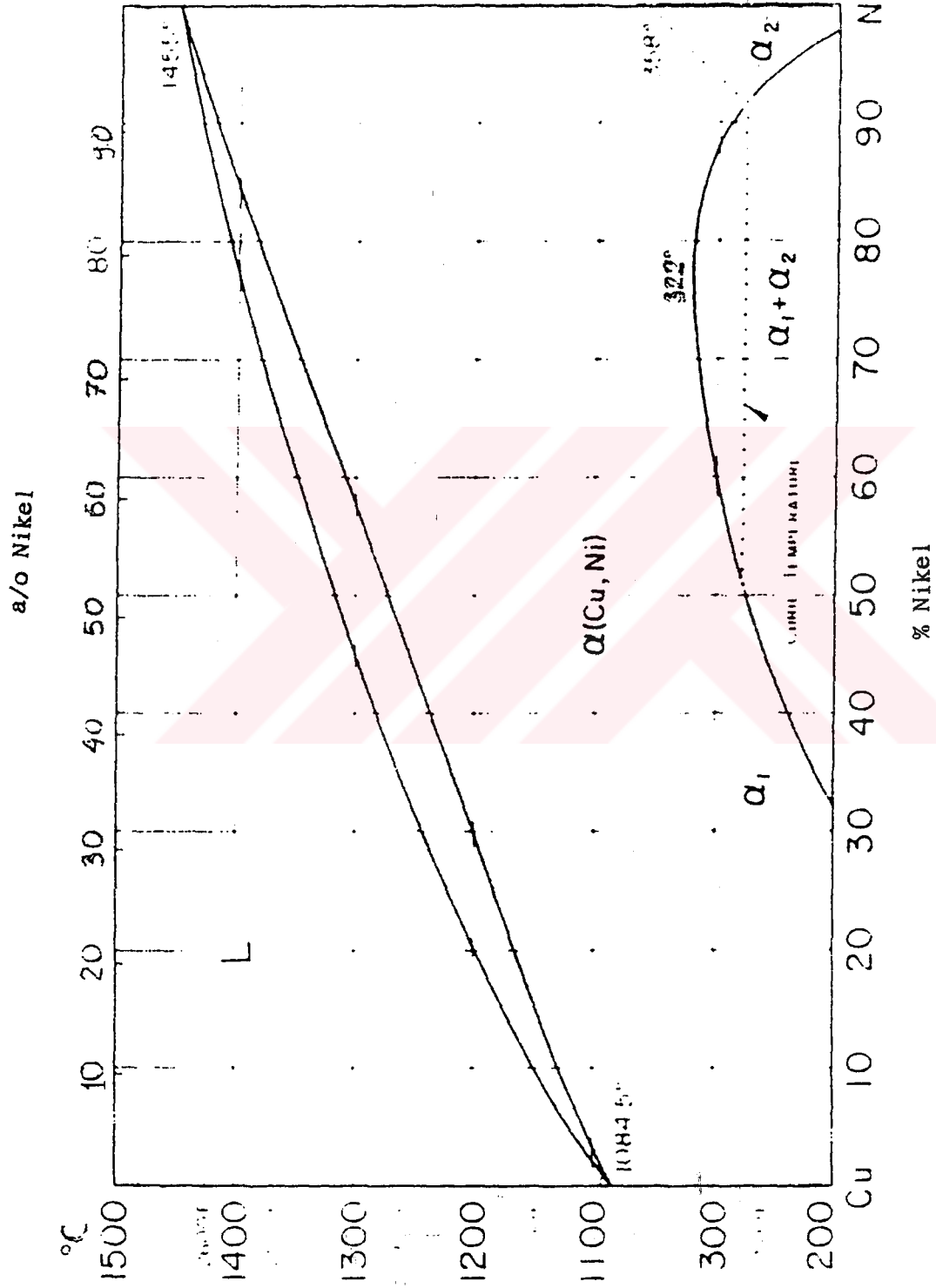
Nikel ise, bakır içerisinde Şekil 3.3.'deki Cu-Ni faz diyagramında da görüleceği gibi % 100 katı eriyik yapabilmektedir. Ancak Şekil 3.4.'de de görüldüğü gibi % 10'un üzerindeki kompozisyonlarda Ni, alaşımın termal iletkenliğini çok önemli ölçülerde düşürür [7]. Bundan dolayı % 10'un altında değişik kompozisyonlarda (% 2-4-8) nikel ilaveleri yapılarak özelliklerin incelenmesi hedeflenmiştir.

Wolfram ve molibden ilaveleri ise % 0.1 gibi düşük oranlarda katılarak, özellikleri ne derecede etkileyeceği incelenmiştir.

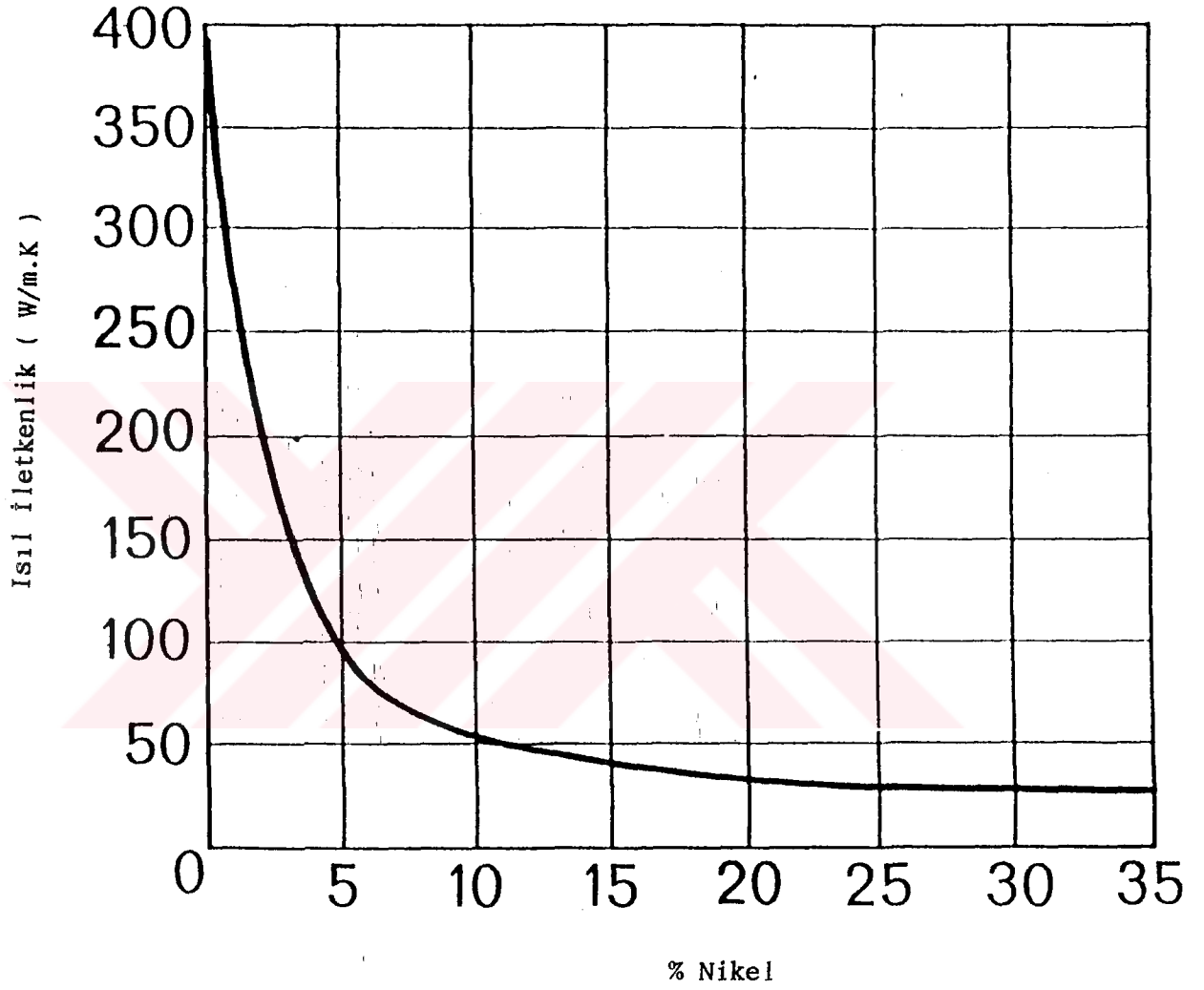
Alaşımın kompozisyonlarının belirlenmesinden sonra bu alaşımların döküm, tavlama ve sıcak dövme sonrası, mekanik ve elektrik iletkenliği özellikleri incelenmiştir. Sıcak dövülmüş malzemelere soğuk işlem uygulandıktan sonra yeniden kristalleşme sıcaklığı ile ilgili çalışmalar da yapılmıştır.

Malzemelerin mekanik ve elektrik iletkenliği özelliklerini belirlemek için gerekli olan numunelerin, " Savurma Döküm " metoduyla metal kokil kalıplara döküldükten sonra, döküm yapısındaki mekanik ve iletkenlik özellikleri incelenmiştir. Ayrıca dökülen bazı alaşımlar da "Şahmerdan"'la şekillendirilmiştir. Sıcak olarak dövülmüş bu alaşımlara daha sonra soğuk işlem uygulanmış ve yeniden kristalleşme sıcaklığının tesbiti ile ilgili ısıtma işlemleri yapılmıştır.

Döküm ve sıcak olarak dövülmüş haldeki alaşımlar üzerinde farklı ısıtma ve mekanik işlemler uygulandıktan sonra



Şekil 3.3. Cu-Ni faz diyagramı [6].

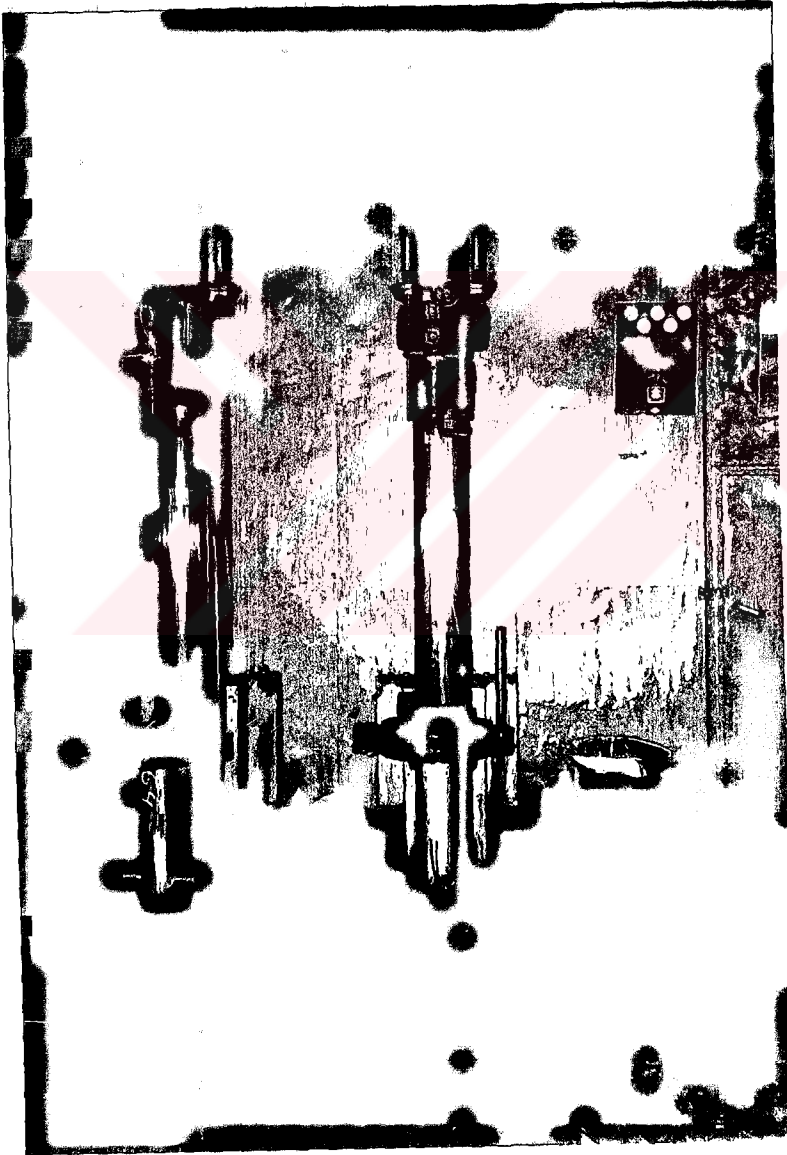


Şekil 3.4. Bakır-Nikel alaşımında, nikelin ısı iletkenliğe olan etkisi[7].

çekme, sertlik ve iletkenlik deneyleri yapılmıştır.

3.1. Döküm deneyleri

Döküm deneyleri " Savurma Döküm " yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Dökümlerin yapıldığı savurma döküm makinasının fotoğrafı Şekil 3.5.'de görülmektedir.



Şekil 3.5. Savurma döküm makinası.

25 Kg'lık grafit potaların içine konulan şarj malzemeleri, doğal gazla çalışan yer ocaklarında ergitilmiştir. Bu sırada sıvı metalin sıcaklığı 1200°C'ye kadar ulaşmaktadır. Malzemeler tamamen sıvı hale geldikten sonra, deoksiasyon yapmak için CuP (% 15 P) ilave edilmiş ve ardından elle pota içindeki malzeme iyice karıştırılmıştır. Malzeme ocaktan çıkarılmadan kısa bir süre önce, curuf yapıcı olarak Slax 30 ilave edilmiştir. Ocaktan çıkarılan malzeme pota askısına yerleştirilerek, vinçle savurma dökümünün yapıldığı bölüme götürülmüştür. Burada döküm yapılmadan önce curufu alınmıştır.

Dökümün yapılacağı metal kokil kalıp ise, önceden 80°C'ye kadar ısıtılmıştır ve içerisine metalin yapışmasını önlemek maksadıyla Chilcote-42 macunu sürülmüştür. Metal kokil kalıp Şekil 3.5.'deki fotoğrafta, savurma döküm makinasına monte edilmiş olarak görülmektedir. Savurma döküme monte edilmiş 40 mm çapında 67 cm uzunluğundaki metal kokil kalıp, 200 devir/dk hızla dönerken döküm gerçekleştirilmiştir. Döküm bittikten sonra, 5 dk kadar daha kalıp döndürüldükten sonra, malzeme kokil kalıptan çıkarılmıştır. Havada soğumaya bırakılan malzeme soğuduktan sonra alt tarafından testere ile kesilip, kimyasal analiz için numune alınmıştır.

Döküm deneylerinde kullanılan alaşım elementleri şunlardır:

1. Bakır: Oksijensiz elektrolitik bakır kullanılmıştır. Minimum % 99.95 Cu (+Ag), maksimum 10 ppm oksijen ve yine maksimum 18 ppm kükürt içerir.

2. Gümüş: Granüle haldeki saf gümüş kullanılmıştır.
3. Titanyum: İnce plaka (0.5 mm kalınlığında) halinde haddelenmiş titanyum elementi, kesilerek parça parça hale getirilerek kullanılmıştır.
4. Nikel: Külçe halindeki saf nikel kullanılmıştır.
5. Wolfram: 3 Mikron boyutundaki wolfram tozu kullanılmıştır.
6. Molibden: % 75 Mo içeren ferro-molibden kullanılmıştır.
7. Fosfor: % 15 P içeren CuP alaşımı kullanılmıştır.

İçerdikleri alaşım elemanları açısından döküm deneyleri 5 ayrı grupta ele alınmıştır. Bu gruplar sırasıyla şunlardır:

1. Bakır-Gümüş Alaşımları,
2. Bakır-Gümüş-Titanyum Alaşımları,
3. Bakır-Gümüş-Nikel Alaşımları,
4. Bakır-Gümüş-Wolfram Alaşımları,
5. Bakır-Gümüş-Molibden Alaşımları:

Dökümlerin tümü aynı prensiple yapılmıştır ve çalışma şartları da hep aynı tutulmaya çalışılmıştır.

3.1.1. Bakır-Gümüş Alaşımlarının Dökümleri

CuAg alaşımı, Ag'ün oranının değiştirilmesiyle iki farklı kompozisyonda dökülmüştür. Her bir kompozisyon için iki adet döküm yapılmıştır. Ag oranı, % 0.1 ve % 0.3 oranında olan alaşımlar elde edilmeye çalışılmıştır. Bununla birlikte hem deoksidasyonu hem de alaşımın yeniden

kristalleşme sıcaklığının yükselmesini sağlamak maksadıyla % 0.3 oranında CuP alaşımı ilave edilmiştir. CuP alaşımı bundan sonraki diğer alaşımların oluşturulmasında da, aynı amaçla kullanılmıştır.

CuAg alaşımları için yapılan şarj ve alaşım elemanları ilaveleri Tablo 3.1.'de görülmektedir.

Tablo 3.1. CuAg alaşımlarının oluşturulması için yapılan şarj ve alaşım elemanları ilaveleri.

Alaşım No	Şarj ağırlığı (gr)	Cu (gr)	Ag (gr)	CuP (gr)
A1	10041	10000	11	30
A2	10063	10000	33	30
A3	10063	10000	33	30
A4	10041	10000	11	30

3.1.2. Bakır-Gümüş-Titanyum Alaşımlarının Dökümleri

CuAgTi alaşımı ile ilgili toplam 5 döküm yapılmıştır. Ag, tüm dökümlerde % 0.3 olarak sabit tutulması hedeflenmiştir. Sırasıyla % 0.05, 0.10, 0.15, 0.25 ve 0.50 oranlarında titanyum içeren alaşımlar elde edilmeye çalışılmıştır.

CuAgTi alaşımları için yapılan şarj ve alaşım elemanları ilaveleri Tablo 3.2.'de görülmektedir.

Tablo 3.2. CuAgTi alaşımlarının oluşturulması için yapılan şarj ve alaşım elemanları ilaveleri.

Alaşım No	Şarj Ağırlığı (gr)	Cu (gr)	Ag (gr)	Ti (gr)	CuP (gr)
T1	10073	10000	33	10	30
T2	10078	10000	33	15	30
T3	10083	10000	33	20	30
T4	10093	10000	33	30	30
T5	10113	10000	33	50	30

3.1.3. Bakır-Gümüş-Nikel Alaşımlarının Dökümleri

CuAgNi alaşımı ile ilgili 3 döküm yapılmıştır. Nikel oranları sırasıyla % 2-4 ve 8 oranlarında olan alaşımlar elde edilmeye çalışılmıştır. Ag, tüm dökümlerde % 0.3 olarak sabit tutulması hedeflenmiştir.

CuAgNi alaşımları için yapılan şarj ve alaşım elemanları ilaveleri Tablo 3.3.'de görülmektedir.

Tablo 3.3. CuAgNi alaşımlarının oluşturulması için yapılan şarj ve alaşım elemanları ilaveleri.

Alaşım No	Şarj Ağırlığı (gr)	Cu (gr)	Ag (gr)	Ni (gr)	CuP (gr)
N1	10262	10000	33	200	30
N2	10462	10000	33	400	30
N3	10762	10000	33	700	30

3.1.4. Bakır-Gümüş-Wolfram Alaşımının Dökümü

CuAgW alaşımı ile ilgili tek döküm yapılabilmektedir. Wolfram oranının % 0.15'de olması istenmiştir ve şarj buna göre yapılmıştır. Ag, burda da önceki dökümlerde olduğu gibi yine % 0.3 olarak seçilmiştir.

CuAgW alaşımı için yapılan şarj ve alaşım elemanı ilaveleri Tablo 3.4.'de görülmektedir.

Tablo 3.4. CuAgW alaşımının oluşturulması için yapılan şarj ve alaşım elemanları ilaveleri.

Alaşım No	Şarj Ağırlığı (gr)	Cu (gr)	Ag (gr)	W (gr)	CuP (gr)
W1	10078	10000	33	15	30

3.1.5. Bakır-Gümüş-Molibden Alaşımının Dökümü

CuAgMo alaşımı ile ilgili tek bir döküm yapılabilmektedir. Molibden oranı % 0.10 olacak şekilde ferro-molibden ilavesi yapılmıştır. Ag, yine % 0.3 olarak amaçlanmıştır.

CuAgMo alaşımı için yapılan şarj ve alaşım elemanları ilaveleri Tablo 3.5.'de görülmektedir.

Tablo 3.5. CuAgMo alaşımının oluşmasını sağlamak maksadıyla yapılan şarj ve alaşım elemanları ilaveleri.

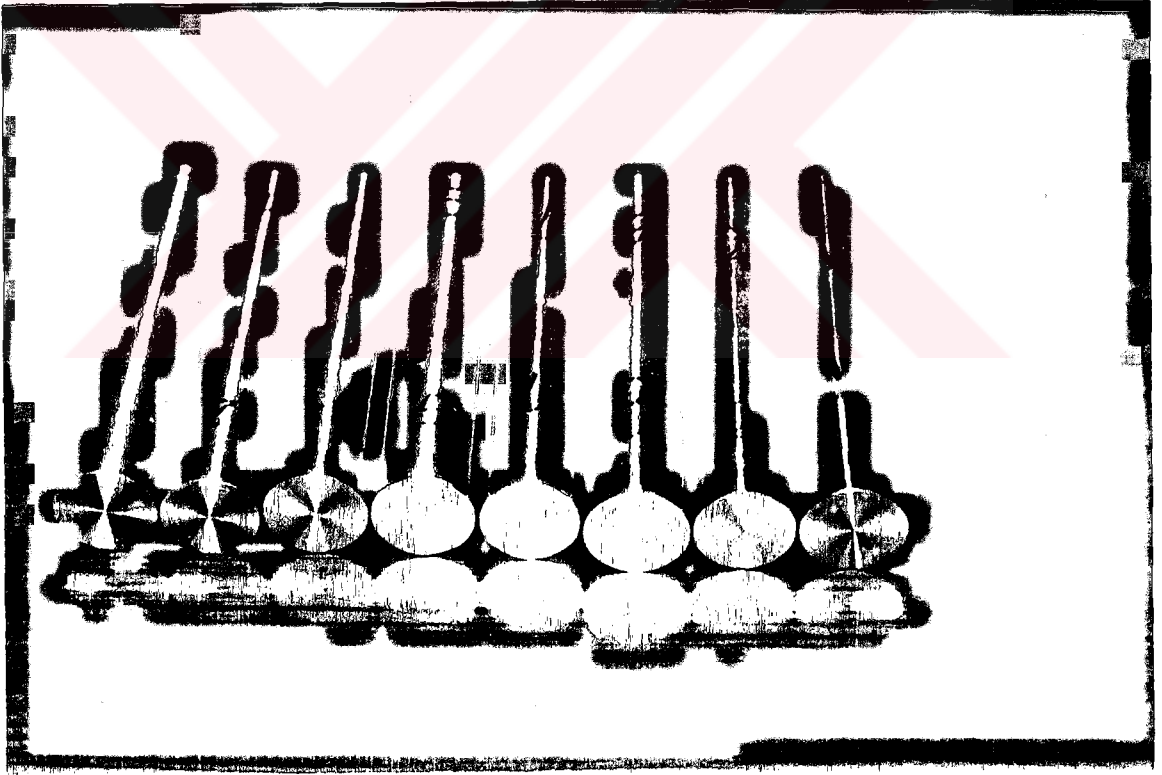
Alaşım No	Şarj Ağırlığı (gr)	Cu (gr)	Ag (gr)	Ferro-Mo (gr)	CuP (gr)
M1	10196	10000	33	133	30

3.2. Sıcak Dövmeye Deneyleri

3.2.1. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Döküm kalıbından çıkarılan malzemelerin yüzeyleri 1-3 mm arasında tornada traşlandıktan sonra, 37-39 mm çapında, 20 cm uzunluğunda, sıcak dövme için uygun deney numuneleri hazırlanmıştır.

Sıcak dövme numuneleri CuAg, CuAgTi, CuAgNi, CuAgW ve CuAgMo döküm alaşımlarından hazırlanmıştır. Şekil 3.6.'da sıcak dövme için hazırlanan numuneler görülmektedir.



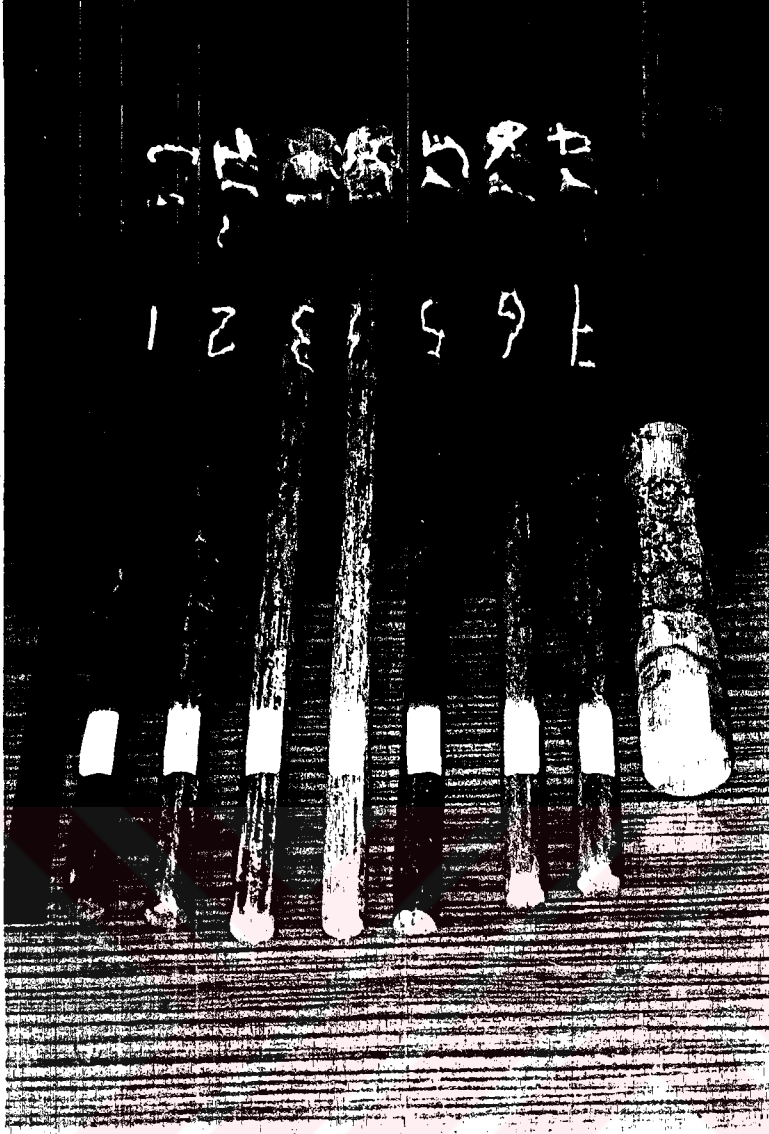
Şekil 3.6. Sıcak dövme için hazırlanan numuneler.

3.2.2. Numunelerin Sıcak Dövülmesi

Deney numuneleri sıcak olarak dövülmeden önce mazotla çalışan bir kamaralı fırında tek tek tavlandı. Tavlama sıcaklığı bakır ve bakır alaşımlarının sıcak dövme sıcaklığına göre seçildi. 750-800°C sıcaklığına ulaşan malzemeler, "Şahmerdan"'da sıcak olarak dövülerek şekillendirildi.

Dövme işlemi sırasında malzeme 600°C'ye gelmeden şekil verme işlemi sona erdirildi. Tüm deney numunelerinin plastik şekil değişimlerinin en az % 65 oranında olacak şekilde dövülmesi sağlandı. Bunun içinde başlangıç çapları 37-40 mm arasında olan deney numunelerinin, nihai çaplarının 20-22 mm arasında olacak şekilde dövme işlemi gerçekleştirildi. Böylelikle deney numuneleri % 65 oranında dövülmüş oldu.

8 deney numunesinden 7'si başarıyla dövülebilmesine karşın, CuAgMo alaşımı olan malzeme, ilk örs darbesinde çatladığından, dövme işlemine devam edilemedi. Şekil 3.7.'de sıcak dövme deneyleri sonrasındaki alaşımların durumları görülmektedir.



Şekil 3.7. Sıcak dövmeğe uğramış malzemeler görölmektedir.

3.3. Yeniden Kristalleşme Isıl işlemleri

Sıcak olarak dövölmüş malzemeler, oda sıcaklığında çekme deneyine uğratıldıktan sonra, malzemenin homojen deformasyona uğramış kısımlarından 1 cm kalınlığında 6'şer tane deney numunesi hazırlanmıştır. Bu numuneler daha sonra taşlanıp zımparalandıktan sonra ısııl işlem deneyleri için hazır hale getirilmiştir.

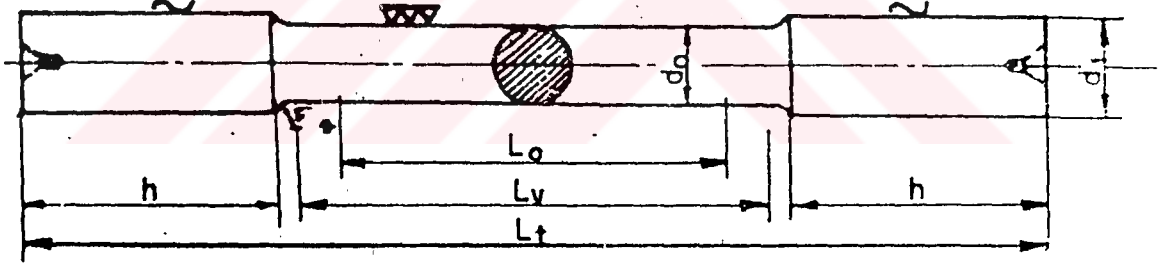
Sıcak olarak dövölmüş ve oda sıcaklığında çekme deneyi ile soğuk işlem uygulanmış numunelerin başlangıçta Rockwell

cihazıyla sertlikleri Rf cinsinden ölçülmüştür. Daha sonra deney numuneleri elektrikli fırında 150-550°C arasındaki çeşitli sıcaklıklarda 20'şer dk tavlamaştır. Ardından her alaşımın, her bir sıcaklıkta tavlamaından sonraki sertlikleri ölçülmüştür.

3.4. Mekanik Deneyler

3.4.1. Çekme Deneyleri

Çekme deneyi yapılacak olan alaşımların deney numuneleri Şekil 3.8.'de belirtilen ölçülerde hazırlanmıştır. 6 alaşıma döküm halinde, 7 alaşıma sıcak dövülmüş durumda çekme deneyi uygulanmıştır. Şekil 3.9.'da sıcak dövülmüş numunelerin çekme deneyi sonundaki durumları görülmektedir.



d_0 = Numune çapı

d_1 = Baş kısmının çapı = $1,2 d_0$

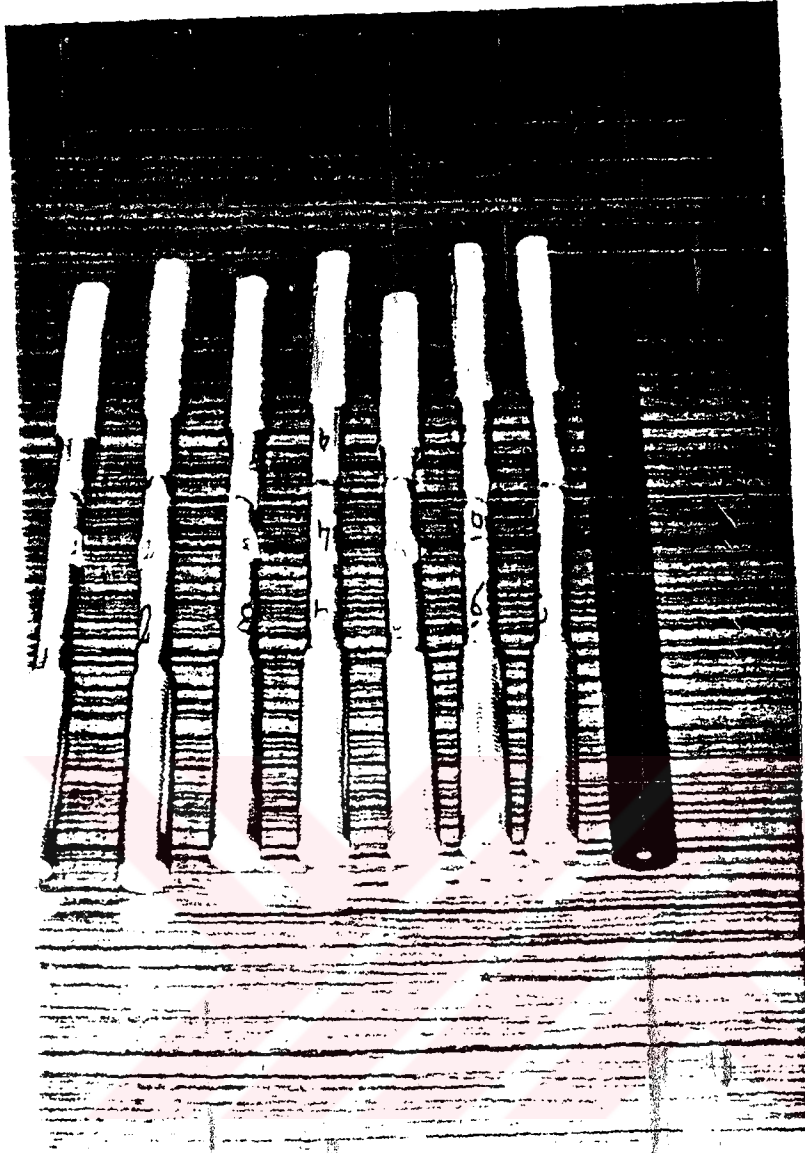
L_v = İnceltilmiş kısmın uzunluğu = $L_0 + d_0$

L_0 = Ölçü uzunluğu = $5 d_0$

L_t = Toplam uzunluk

h = Baş kısmının uzunluğu

Şekil 3.8. Çekme deneylerinde kullanılan numunelerin ölçüleri görülmektedir [8].



Şekil 3.9. Sıcak dövülmüş numunelerin çekme deneyi sonucundaki durumları.

3.4.2. Sertlik Deneyleri

Sertlik deneyleri Brinell Sertlik Cihazı ile yapılmıştır. Deneyler 2.5 mm bilya çapı ile 62.5 kgf'luk yük altında gerçekleştirilmiştir.

Deney numunelerinin sertlikleri 4 ayrı grupta ölçülerek yapılmıştır. Bu gruplar sırasıyla şunlardır:

1. Alaşımların döküm sonrası sertlikleri.

2. Alaşımların dövme sıcaklığına tavlama sonrası sertlikleri,
3. Alaşımların sıcak dövme sonrası sertlikleri,
4. Alaşımların sıcak olarak dövülmesinden sonra çekme deneyi ile soğuk işlem yapılmış durumundaki sertlikleri.

3.5. Elektrik iletkenliği Deneyleri

Alaşımların elektrik iletkenlikleri, kütle malzemelerin iletkenliklerinin ölçümünde kullanılan Sigma Test Cihazı ile yapılmıştır. Bu cihazla ölçüm girdap akımları (eddy current) yardımıyla yapılmaktadır.

Farklı alaşımların elektrik iletkenlikleri 5 ayrı grupta ölçüm yapılarak gerçekleştirilmiştir. Bu gruplar sırasıyla şunlardır:

1. Alaşımların döküm sonrası elektrik iletkenlikleri,
2. Alaşımların dövme sıcaklığına tavlama sonrası elektrik iletkenlikleri,
3. Alaşımların sıcak dövme sonrası elektrik iletkenlikleri,
4. Alaşımların sıcak olarak dövülmesinden sonra çekme deneyi ile soğuk işlem uygulandıktan sonraki elektrik iletkenlikleri,
5. Yeniden kristalleşmiş malzemelerin elektrik iletkenlikleri.

3.6. Metalografik Çalışmalar

Metalografik çalışmalar alaşımların farklı durumlardaki mikroyapılarının incelenmesi maksadıyla yapıldı. Numuneler öncelikle bakalite alınmış, daha sonra 200, 320 ve 600 nolu zımparalar kullanılarak zımparalama işlemi 3 kademede gerçekleştirilmiştir. Ardından parlatma işlemi 2 kademede 1 ve 2 numaralı Alumina'lı solüsyonların kullanılmasıyla yapılmıştır. Mikroyapılar, mikroskopta incelendikten sonra, her bir yapı için çeşitli büyütmelerde fotoğraflar çekilmiştir. Şekil 3.10.'da metalografik çalışmaları yapılan bakalite alınmış numuneler görülmektedir.



Şekil 3.10. Metalografik çalışmalar için bakalite alınmış numuneler.

3.7. Deneylerde Kullanılan Cihazlar

3.7.1. Yer Ocağı

Alaşımların ergitilmesinde Sarkuysan A.Ş. fabrikasında bulunan, doğal gazla çalışan yer ocağı kullanılmıştır. Bu ocağın içersinde 25 Kg'dan 200 Kg ağırlığa kadar metal ergitilmesi yapılabilmektedir.

3.7.2. Savurma Döküm Makinası

Alaşımların dökülmesinde yine Sarkuysan A.Ş. fabrikasında bulunan savurma döküm makinasından faydalanılmıştır. Bu makinada kalıbın dönme hızı 200 devir/dk'dır.

3.7.3. Kamaralı Fırın

Omtaş dövme fabrikasında, sıcak dövmeden önce dökülen alaşımların tavlama sırasında mazotla çalışan bir kamaralı fırın kullanılmıştır.

3.7.4. Dövme Makinası

Omtaş dövme fabrikasında, malzemelerin sıcak olarak dövülmesinde, 250 Kg çekiç ağırlıklı bir "Şahmerdan" kullanılmıştır.

3.7.5. Isıl İşlem Fırını

Yeniden kristalleşme deneyleri elektrikli ve fanlı Heraeus marka fırında yapılmıştır.

3.7.6. Çekme Deneyi Cihazı

Sarkuysan A.Ş.'de bulunan Testa U10 modelinde, Otto-Wolpert-Werke markalı çekme deneyi cihazı kullanılmıştır. Cihazın maksimum kapasitesi 10000 Kgf'dur.

3.7.7. Sertlik Cihazı

Sarkuysan A.Ş.'de bulunan Dia Testor 2Rc modelinde Otto-Wolpert-Werke markasında Brinell Sertlik Cihazı kullanılmıştır. Ayrıca yeniden kristalleşme ısıt işlemleri sonucunda malzemelerin sertliklerinin ölçümünde de Rockwell Sertlik Ölçme Cihazı kullanılmıştır.

3.7.8. Elektrik İletkenliği Ölçüm Cihazı

Sarkuysan A.Ş.'de bulunan, kütleli malzemelerin iletkenliklerinin ölçümünde kullanılan Sigma Test Cihazı kullanılmıştır.

3.7.9. Mikroskop

Mikroyapıların incelenmesinde ve fotoğrafların çekiminde Sarkuysan A.Ş.'deki Olympus PEM marka bir mikroskop kullanılmıştır.

BÖLÜM 4 DENEYSEL ÇALIŞMALARIN SONUÇLARI

4.1. Döküm Deneylerinin Sonuçları

İçerdikleri alaşım elemanları açısından 5 ayrı grupta olan döküm deneylerinin kimyasal analiz sonuçları Tablo 4.1.'de görülmektedir. Kimyasal analizler Sarkuysan A.Ş.'nin laboratuvarlarında yaptırılmıştır.

Tablo 4.1. Yapılan döküm deneylerinin kimyasal analiz sonuçları.

Alaşım No	%Cu	%Ag	%Ti	%Ni	%W	%Mo	%Fe	P (ppm)	Oksijen (ppm)
A1	99.90	0.1	-	-	-	-	-	47	88
A2	99.69	0.3	-	-	-	-	-	54	104
A3	99.70	0.30	-	-	-	-	-	90	639
A4	99.90	0.10	-	-	-	-	-	290	162
T1	99.61	0.33	0.06	-	-	-	-	49	121
T2	99.58	0.32	0.10	-	-	-	-	300	223
T3	99.58	0.29	0.13	-	-	-	-	21	208
T4	99.47	0.33	0.20	-	-	-	-	19	103
T5	99.29	0.31	0.40	-	-	-	-	20	101
N1	97.83	0.29	-	1.88	-	-	-	80	346
N2	96.42	0.29	-	3.29	-	-	-	180	265
N3	92.45	0.29	-	7.26	-	-	-	300	159
W1	99.62	0.30	-	-	0.08	-	-	180	128
M1	99.55	0.31	-	-	-	0.05	0.08	180	278

Bakır-gümüş alaşımlarının oluşturulması için yapılan A1, A2, A3 ve A4 alaşımlarının döküm deneylerinde amaç % 0.1 ve % 0.3 Ag içeren alaşımlar elde etmektir. Bu amaca da uygun dökümler yapıldığı Tablo 4.1.'de görülmektedir.

Bakır-Gümüş-Titanyum alaşımlarının oluşturulması için yapılan T1, T2, T3, T4 ve T5 alaşımlarının döküm deneylerinde amaç Ag oranını % 0.3'de tutmak. Ti oranlarını da sırasıyla % 0.05-0.10-0.15-0.25-0.50'de tutmaktır. T1, T2 ve T3 alaşımlarının dökümünde kimyasal bileşim açısından amaçlanan hedefe çok yakın sapmalarla ulaşıldı. Ancak T4 ve T5 alaşımlarının dökümünde Ti içeriğindeki sapmalar daha fazla olmuştur.

Bakır-Gümüş-Nikel alaşımlarının oluşturulması için yapılan N1, N2 ve N3 alaşımlarının döküm deneylerinde, Ag oranı % 0.3'de tutularak amaca ulaşıldı. Alaşımlardaki Ni oranları ise yaklaşık olarak istenilen değerlerde elde edildi.

Bakır-Gümüş-Wolfram ve Bakır-Gümüş-Molibden alaşımlarının döküm deneylerinde, W ve Mo yüksek ergime sıcaklıkları nedeni ile düşünülen değerlerin ancak oran olarak yarısı elde edilebildi.

4.2. Sıcak Dövme Deneyleri Sonuçları

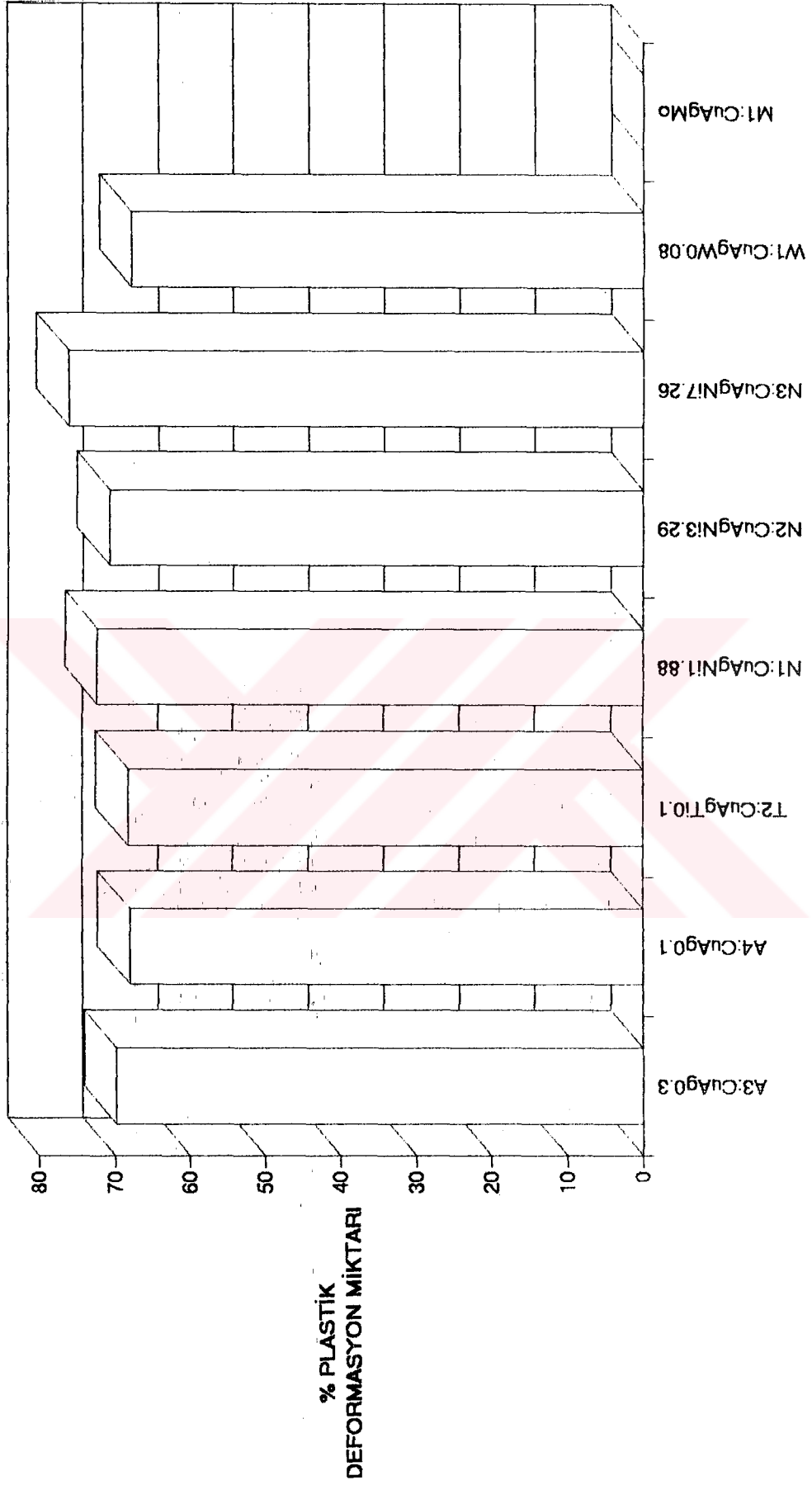
Farklı döküm alaşımlarına uygulanan sıcak dövme neticesinde, bu alaşımların hangi oranda plastik şekil değişimine uğradığı Tablo 4.2.'de görülmektedir.

Tablo 4.2. Sıcak olarak dövülmüş olan alaşımların plastik şekil değişimi değerleri.

Alaşım No	İlk Kesit Çapı (mm)	Son Kesit Çapı (mm)	% Plastik Deformasyon
CuAg0.3 A3	40	22	69.8
CuAg0.1 A4	38	21.5	68
CuAgTi0.1 T2	39	22	68.2
CuAgNi1.8 N1	39	20.5	72.4
CuAgNi3.2 N2	37	20	70.8
CuAgNi7.2 N3	40	19.5	76.2
CuAgW0.08 W1	37	21	67.8
CuAgMo M1	39	-	-

Sıcak dövme deneylerinde amaç, alaşımların döküm yapısını bozarak homojen bir yapı elde etmektir. Bu amaçla tüm malzemeler en az % 65 oranında sıcak olarak dövüldü. Yalnız CuAgMo alaşımı olan M1 nolu alaşım, ilk örs darbesinde çatlayıp dövülemez hale geldiğinden, bu malzeme için dövme işlemine devam edilemedi.

Şekil 4.1.'de hangi alaşımın ne oranda plastik deformasyona uğradığı görülmektedir.



Şekil 4.1. Sıcak olarak dövülmüş alaşımların plastik şekil değişimlerinin karşılaştırılması.

4.3. Yeniden Kristalleşme Isıl İşlem Deneylerinin Sonuçları

Sıcak dövülüp, oda sıcaklığında çekme deneyi ile soğuk işlem uygulanmış numunelerin yeniden kristalleşme ısı işlemleri sonucundaki sıcaklığa bağlı olarak değişen sertlik değerleri Tablo 4.3.'de verilmiştir.

Tablo 4.3. Farklı alaşımların değişik sıcaklıklarda HB olarak sertlik değerleri.

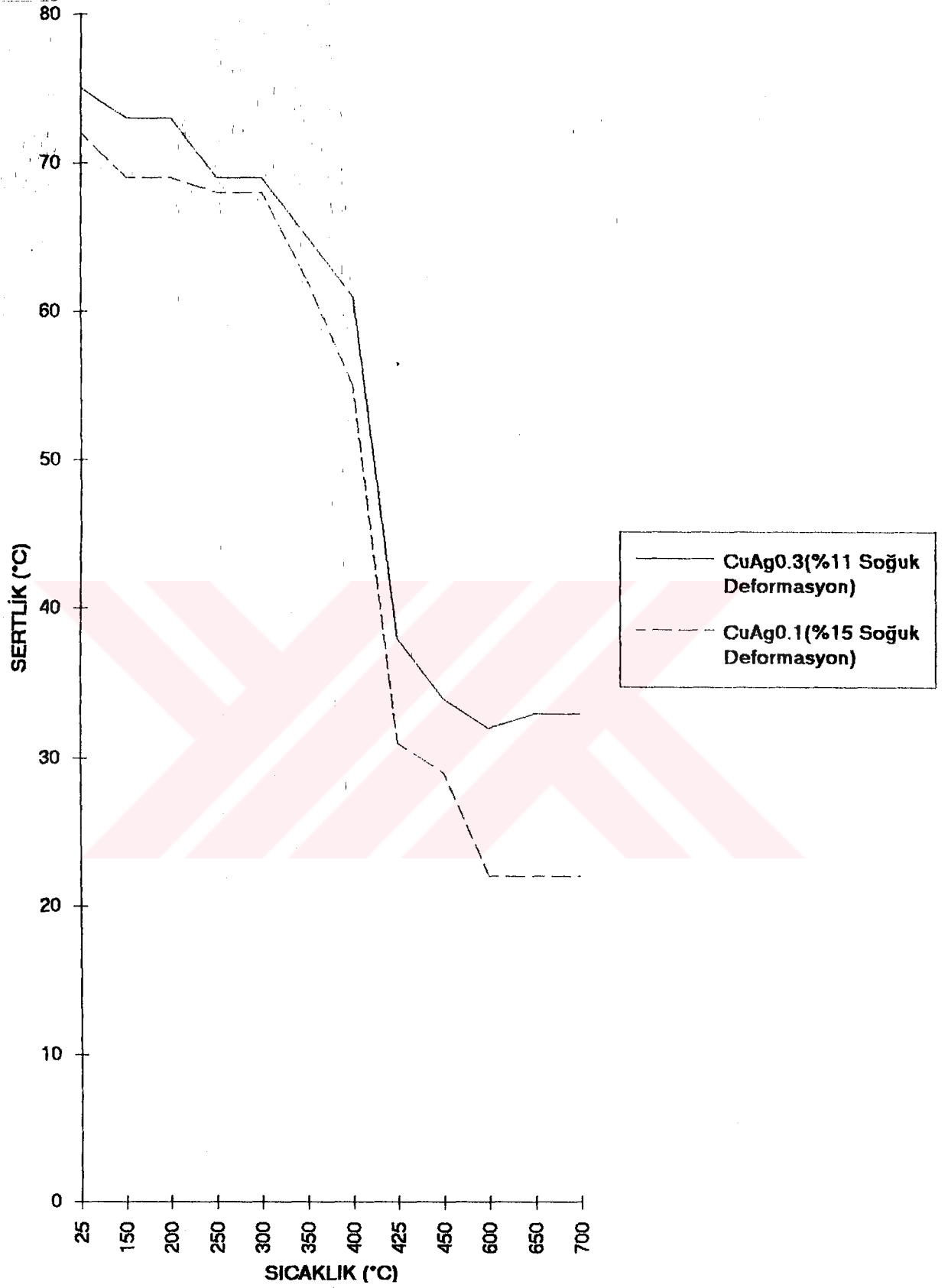
	Sertlik Değeri (HB)						
Alaşım No	CuAg %0.3	CuAg %0.1	CuAgTi %0.1	CuAgNi %1.88	CuAgNi %3.29	CuAgNi %7.26	CuAgW %0.08
Sıcaklık							
25°C	75	72	82	87	84	98	87
150°C	73	69	72	85	79	94	80
200°C	73	69	69	79	78	92	77
250°C	69	68	67	75	77	91	69
300°C	69	68	66	69	74	89	64
350°C	65	62	65	63	73	80	62
400°C	61	55	64	62	66	75	62
425°C	38	31	-	39	43	-	-
450°C	34	29	64	39	41	72	59
500°C	-	-	63	-	-	64	50
550°C	-	-	63	-	-	64	48
600°C	32	22	42	36	43	61	51
650°C	35	22	32	39	45	63	47
700°C	33	19	33	33	42	60	49

4.3.1. Bakır-Gümüş Alaşımlarının Yeniden Kristalleşmeleri

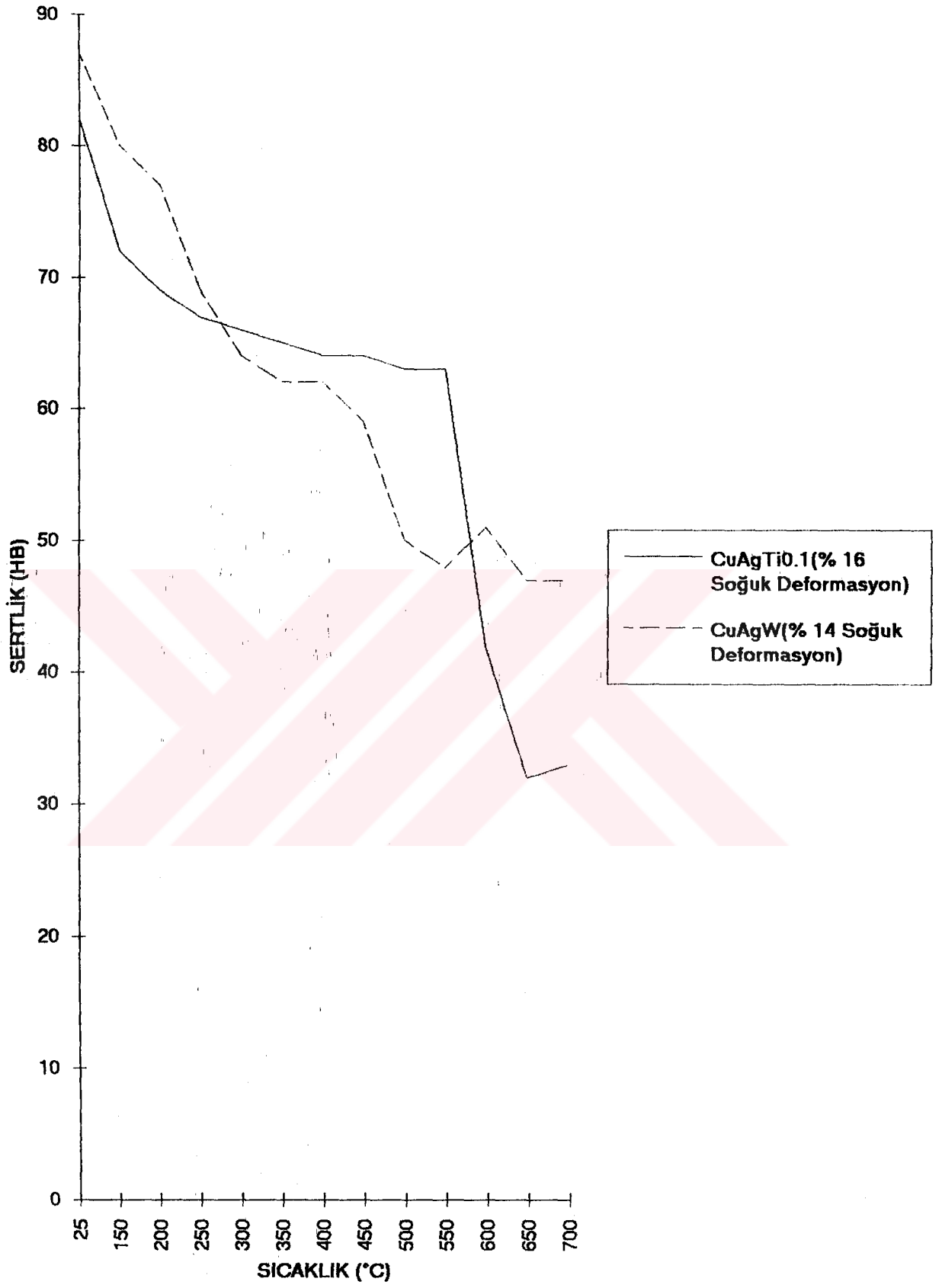
CuAg alaşımlarından A3 ve A4 alaşımlarında yeniden kristalleşme ısı işlemleri yapılmıştır. A3 CuAg0.3 alaşımını, A4 ise CuAg0.1 alaşımını temsil etmektedir. Şekil 4.2.'de de görüldüğü üzere, artan sıcaklıkla birlikte her iki malzemenin de sertlikleri önemli ölçüde azalarak, malzeme-ler yeniden kristalleşmeye uğratılmışlardır. Şekil 4.2. üzerinde yapılan çalışmalar neticesinde % 0.3 Ag'lı alaşımın yeniden kristalleşme sıcaklığının 420°C , % 0.1 Ag'lı alaşımın ise yeniden kristalleşme sıcaklığının 400°C olduğu tes-bit edilmiştir. Buna bağlı olarak artan Ag miktarı ile birlikte, alaşımın yeniden kristalleşme sıcaklığının arttığını söyleyebiliriz. Ag oranı 0.1'den 0.3'e çıktığında yeniden kristalleşme sıcaklığı % 5 oranında artarak 400°C 'den 420°C 'ye çıkmıştır.

4.3.2. Bakır-Gümüş-Titanyum Alaşımının Yeniden Kristalleşmesi

Şekil 4.3.'de CuAgTi alaşımının yeniden kristalleşme grafiği görülmektedir. CuAgTi alaşımının yeniden kristalleşme sıcaklığı 400°C olarak bulundu. Böylelikle Ti ilavesinin, yeni oluşturulan alaşımın yeniden kristalleşme sıcaklığını etkilemediği görülür.



Şekil 4.2. CuAg alaşımlarının yeniden kristalleşme davranışları görülmektedir.



Şekil 4.3. CuAgTi ve CuAgW alaşımlarının yeniden kristalleşme davranışları görülmektedir.

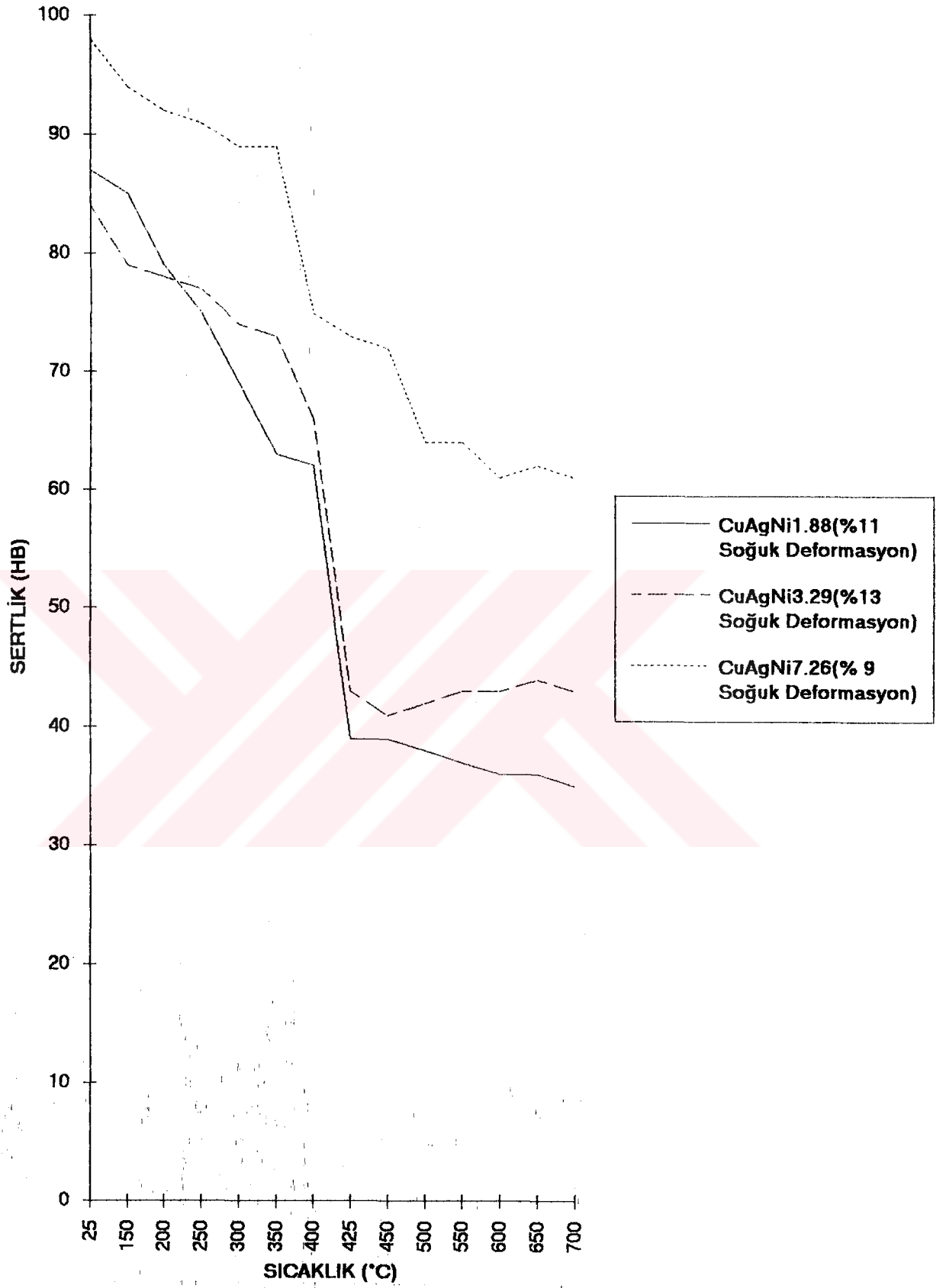
4.3.3. Bakır-Gümüş-Nikel Alaşımlarının Yeniden Kristalleşmeleri

Şekil 4.4.'de CuAgNi alaşımlarının yeniden kristalleşme eğrileri görülmektedir. N1 ve N2 alaşımlarının yeniden kristalleşme deneyleri neticesinde, % 1.88 ve 3.29 oranında Ni ilavesinin alaşımların yeniden kristalleşme sıcaklığını önemli şekilde arttırmadığı görülmüştür (400°C). % 7.26 Ni içeren N3 nolu alaşımların ise yeniden kristalleşme sıcaklığı 425°C olarak bulunmuştur.

Sonuç olarak Ni ilavesinin alaşımların yeniden kristalleşme sıcaklığını fazla önemli şekilde etkilemediğini söyleyebilir.

4.3.4. Bakır-Gümüş-Wolfram Alaşımlarının Yeniden Kristalleşmesi

CuAgW alaşımlarının yeniden kristalleşme eğrisi Şekil 4.3.'de görülmektedir. Bu araştırmada, en iyi yeniden kristalleşme sıcaklığının sonucunu bu alaşım göstermiştir ve yeniden kristalleşme sıcaklığı 550°C olmuştur.



Şekil 4.4. CuAgNi alaşımlarının yeniden kristalleşme davranışları görülmektedir.

4.3.5. Yeniden Kristalleşme Çalışmalarının Genel Sonuçları

Yapılan çalışmalar neticesinde, alaşım içerisinde artan Ag miktarı ve % 4'ün üzerinde artan miktarlarda ilave edilen Ni'in alaşımın yeniden kristalleşme sıcaklığını önemli oranlarda arttırdığı sonucuna varılmıştır. Aynı zamanda Ti ve W katkılarının da alaşımın yeniden kristalleşme sıcaklığını önemli ölçülerde arttırdığı tesbit edilmiştir.

4.4. Mekanik Deneylerin Sonuçları

4.4.1. Çekme Deneyi Sonuçları

Çekme deneylerinde elde edilen sonuçlar Tablo 4.4.'de görülmektedir.

Tablo 4.4. Çekme deneylerinin sonuçları.

Alaşıım No	Durumu	Akma Muk. (Kgf/mm ²)	Çekme Muk. (Kgf/mm ²)	% Uzama
A1:CuAg0.1	Döküm	-	197	45.7
A2:CuAg0.3	Döküm	-	209	41.4
A3:CuAg0.3	Sıc.Dövme	193	241	38.7
A4:CuAg0.1	Sıc.Dövme	140	232	41.0
T1:CuAgTi0.06	Döküm	-	197	47.0
T2:CuAgTi0.1	Sıc.Dövme	178	239	48.7
T3:CuAgTi0.13	Döküm	-	200	43.5
T4:CuAgTi0.2	Döküm	-	207	38.5
T5:CuAgTi0.4	Döküm	-	210	28.5
N1:CuAgNi1.88	Sıc.Dövme	178	240	47.5
N2:CuAgNi3.29	Sıc.Dövme	210	246	36.2
N3:CuAgNi7.26	Sıc.Dövme	271	280	23.7
W1:CuAgW 0.08	Sıc.Dövme	162	232	52.5

Çekme deneyleri sonuçlarını 4 farklı alaşıım grubunda ayrı ayrı inceleyebiliriz.

4.4.1.1. Bakır-Gümüş Alaşıımlarının Çekme Deneyi Sonuçları

CuAg alaşıımlarından A1 ve A2 nolu döküm alaşıımları incelendiğinde, artan Ag miktarının alaşıımın çekme mukavemetini % 6 oranında arttırdığı görölmektedir. Buna karşın artan Ag miktarı alaşıımın % uzamasını % 10 oranında düşürmüştür.

A3 ve A4 nolu sıcak olarak dövölmüş alaşıımlar incelendiğinde artan Ag miktarının alaşıımın çekme mukavemetini % 4 oranında arttırdığı buna karşın % uzamasını % 6 oranında

düşürdüğü görülmüştür.

Sıcak olarak dövülmüş alaşımların akma dayanımı artan Ag miktarı ile birlikte önemli oranlarda arttırmıştır. % 0.1 Ag'lı CuAg alaşımının 140 N/mm² olan akma dayanımı, Ag oranı % 0.3 olduğunda 193 N/mm²'ye çıkmış ve alaşımın akma dayanımı % 38 oranında artmıştır. Bu neticeden % 0.3 Ag'lı alaşımın plastik deformasyona karşı daha dayanıklı bir malzeme olduğu sonucu elde edilir.

4.4.1.2. Bakır-Gümüş-Titanyum Alaşımlarının Çekme Deneyi Sonuçları

CuAgTi alaşımlarından T1, T3, T4 ve T5 nolu döküm alaşımlarının çekme deneyi sonuçları incelendiğinde, artan Ti'un alaşımın çekme mukavemetini arttırmadığı tesbit edilmiştir. Buna karşın % Uzama değerleri önemli ölçülerde düşmüştür (Tablo 4.4.).

T2 nolu sıcak olarak dövülmüş alaşım incelendiğinde, alaşımın akma ve çekme mukavemetlerinin CuAg0.3 alaşımı ile kıyaslandığında değişmediği görülmektedir.

4.4.1.3. Bakır-Gümüş-Nikel Alaşımlarının Çekme Deneyi Sonuçları

N1, N2 ve N3 nolu sıcak olarak dövülmüş alaşımlar incelendiğinde, % 2 Ni'den daha yüksek oranlarda Ni artışı ile birlikte çekme mukavemetinin önemli ölçüde arttığı (Tablo 4.4.'de) görülmektedir. Çekme mukavemeti ile birlikte akma dayanımı da önemli ölçüde artmıştır. Ni içeriğinin artması ile akma mukavemeti ve çekme

mukavemetlerinin artışına karşılık % Uzama değerleri % 47'den % 23'lere kadar düşer. .

CuAgNi alaşımları ile CuAg0.3 alaşımını karşılaştırdığımızda % 3.88'lik Ni ilavesinin çekme mukavemetini 241 N/mm²'den 246 N/mm²'e % 2 oranında, % 7.26'lık Ni ilavesinde ise çekme mukavemetinin 241 N/mm²'den 280 N/mm²'e %16 oranında önemli ölçüde arttırdığı görülmektedir.

Alaşımların akma dayanımları ise % 3.88'lik Ni ilavesinde 193 N/mm²'den 210 N/mm²'e % 9 oranında, % 7.26'lık Ni ilavesinde ise 193 N/mm²'den 271 N/mm²'e % 41 oranında çok önemli oranlarda artış gösterdiği gözlemlenmiştir.

Buradan artan Ni miktarının % 2 oranından itibaren, alaşımın akma ve çekme dayanımlarını önemli ölçüde arttırdığı tesbit edilmiştir. Bununla birlikte % uzama değerleri azalmasına rağmen makul değerlerde kalmıştır.

4.4.1.4. Bakır-Gümüş-Wolfram Alaşımının Çekme Deneyi

Sonuçları

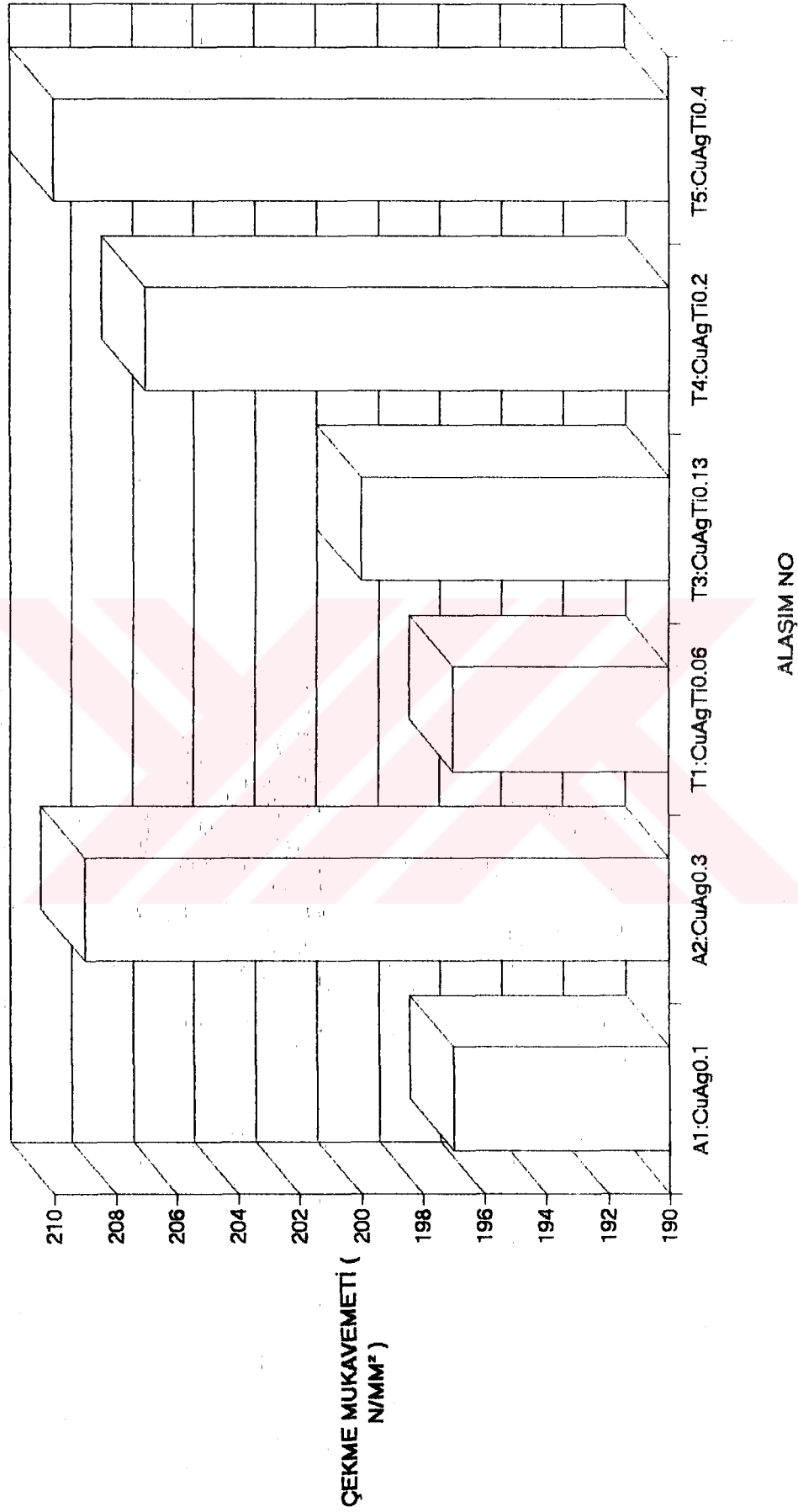
W1 nolu sıcak olarak dövülmüş CuAgW alaşımının akma ve çekme mukavemetleri ile % uzama özellikleri incelendiğinde, CuAg alaşımına kıyasla akma ve çekme mukavemetlerinde düşüşler tesbit edilirken, % uzama % 38'den % 52'ye yükselerek %36 oranında artış göstermiştir.

4.4.1.5. Alaşımların Çekme Deneylerinin Genel Sonuçları

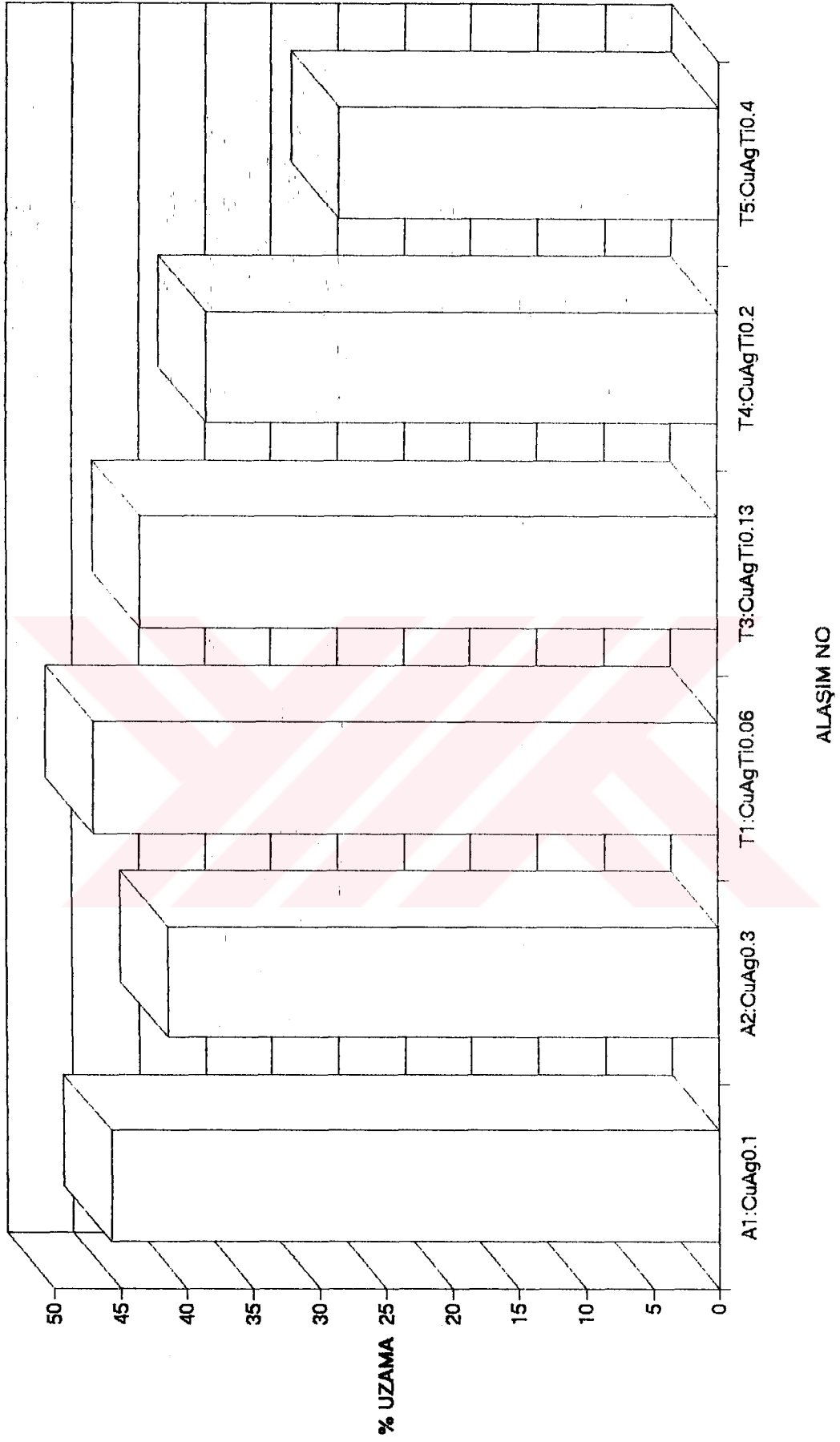
Farklı alaşım gruplarında yapılan çekme deneyleri sonuçları Şekil 4.5.-4.8. üzerinde incelenebilir.

Şekil 4.5. ve 4.6.'da döküm yapısındaki alaşımların çekme mukavemetinin ve % uzama değerlerinin karşılaştırılması görülmektedir. CuAg ve CuAgTi alaşımlarının döküm yapısındaki çekme deneyleri sonuçları incelendiğinde, Ti ilavesinin artmasıyla alaşımın çekme mukavemetinde CuAg0.3 (A2) alaşımına kıyasla bir artış olmamasına rağmen, % uzama değerlerinin artan Ti ilavesiyle birlikte düştüğü gözlenmiştir.

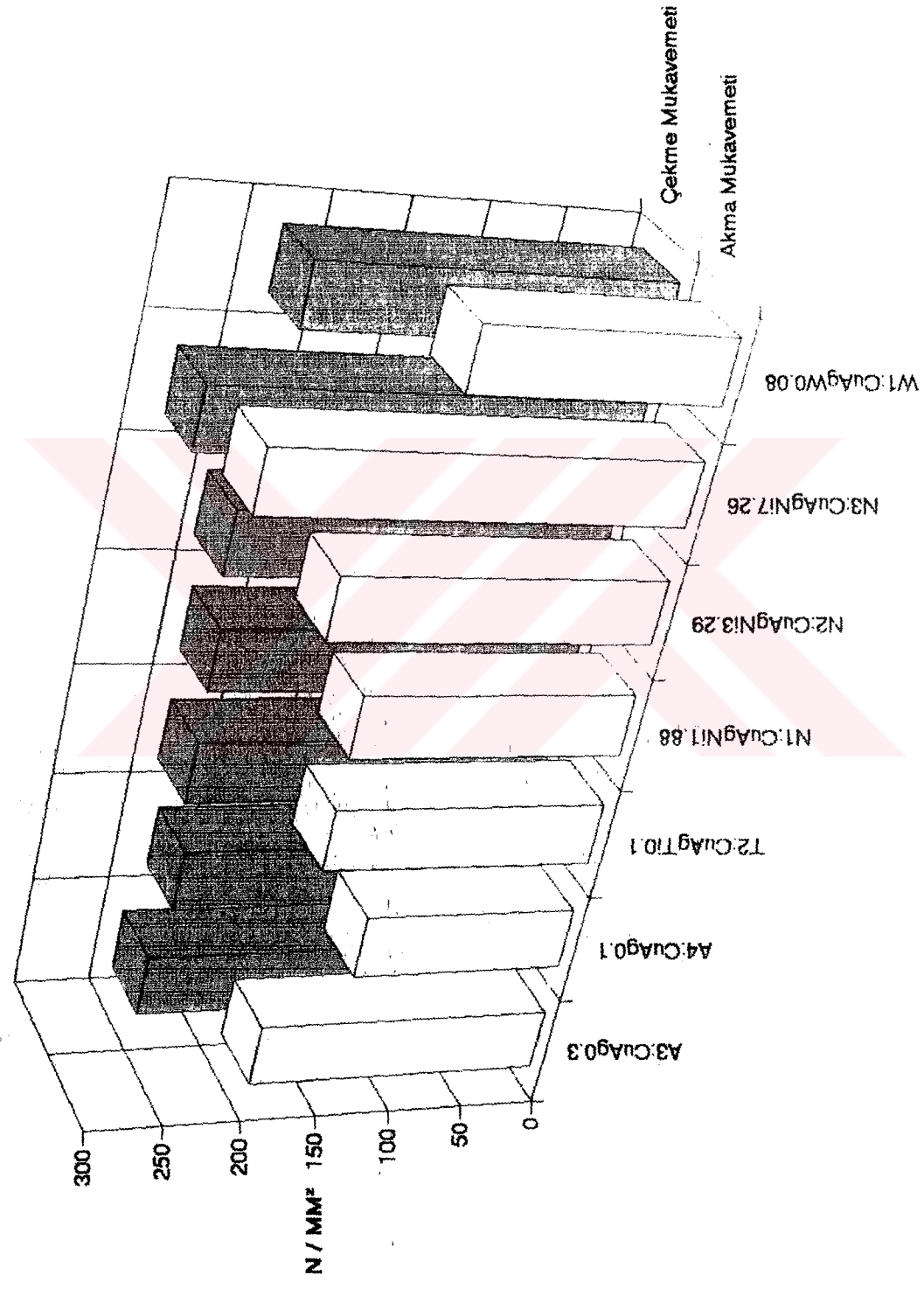
Sıcak olarak dövülmüş alaşımların akma ve çekme mukavemetleri Şekil 4.7.'de % uzama değerleri ise Şekil 4.8.'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. CuAg, CuAgTi, CuAgNi ve CuAgW alaşımlarının sıcak olarak dövülmüş yapılarının çekme deneyleri sonuçları (Şekil 4.7.), döküm halindeki çekme deneyi sonuçlarıyla (Şekil 4.5.) karşılaştırıldığında tüm alaşımların çekme mukavemetlerinin % 15-20 oranında arttığı tesbit edilmiştir. CuAg0.3 alaşımına Ti ilavesi yapıldığında akma ve çekme mukavemetlerinde olumlu yönde bir değişim olmamıştır. Buna karşın % 2'nin üzerindeki Ni ilaveleri CuAg0.3 alaşımına oranla çekme mukavemetini, artan Ni miktarı ile birlikte % 16 oranında kadar arttırırken, akma dayanımı çok daha yüksek bir değer olan % 41 oranında arttırmıştır. CuAg0.3 alaşımına % 0.08 W ilavesi ise, alaşımın akma ve çekme mukavemetlerini olumlu yönde etkilememiştir.



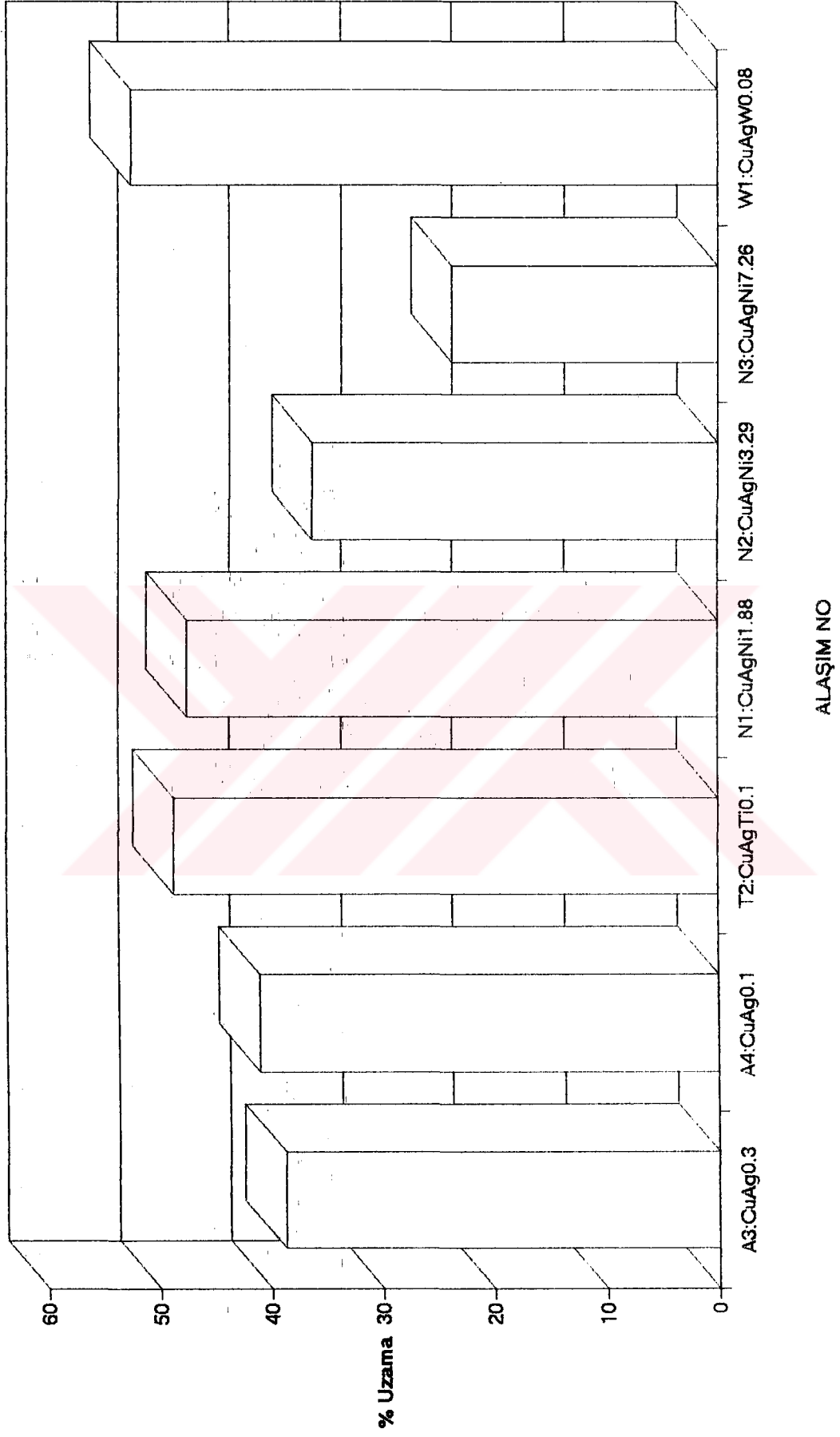
Şekil 4.5. Döküm yapısındaki alaşımların çekme mukavemetlerinin karşılaştırılması.



Şekil 4.6. Döküm yapısındaki alaşımların % uzama değerlerinin karşılaştırılması.



Şekil 4.7. Sıcak dövülmüş alaşımların akma ve çekme mukavemetlerinin karşılaştırılması.



Şekil 4.3. Sıcak dövülmüş alaşımların % uzama değerlerinin karşılaştırılması.

4.4.2. Sertlik Deneylerinin Sonuçları

İncelenen bütün alaşımların sertlik deneyleri sonuçları 5 ayrı durum için Tablo 4.5.'de verilmiştir.

Tablo 4.5. incelenen alaşımların farklı durumlardaki sertlik değerleri (HB olarak).

Alaşım No	Alaşımların durumuna göre sertlik değeri (HB)			
	Döküm	Tavlı	Sıc.Dövme	Soğ.İş.
A1:CuAg0.1	56.1	-	-	-
A2:CuAg0.3	62.4	-	-	-
A3:CuAg0.3	60.0	56.3	72.7	99.5
A4:CuAg0.1	55.0	47.1	67.9	95.0
T1:CuAgTi0.06	60.0	-	-	-
T2:CuAgTi0.1	57.4	56.0	67.0	99.5
T3:CuAgTi0.13	60.2	-	-	-
T4:CuAgTi0.2	64.9	-	-	-
T5:CuAgTi0.4	66.2	-	-	-
N1:CuAgNi1.88	47.1	44.9	66.6	102.0
N2:CuAgNi3.29	50.6	47.9	78.4	104.0
N3:CuAgNi7.26	60.7	59.6	84.9	107.0
W1:CuAgW0.08	52.9	49.2	62.8	84.9
M1:CuAgMo0.05	54.3	51.0	-	-

4.4.2.1. Bakır-Gümüş Alaşımlarının Sertlik Deneylerinin Sonuçları

Tablo 4.5.'de görüleceği gibi artan Ag miktarı tüm durumlarda alaşımların sertliklerini artırır. CuAg0.3

alaşımının sertliği 60-62 HB iken, CuAg0.1 alaşımının sertliği 55-56 HB değerindedir. Artan Ag miktarı döküm yapısında alaşımın sertliğini % 9 oranında arttırmıştır. CuAg0.3(A3) ve CuAg0.1(A4) alaşımları sıcak dövme öncesi 750-800°C arasında tavlандığından, sertliği A3 alaşımında % 6 oranında azalırken, A4 alaşımında ise bu azalış % 17 oranında olmuştur. Buradan, Ag içeriği fazla olan alaşımda aynı tavlama koşullarında sertliğin daha az azaldığı sonucuna varılmaktadır. Sıcak dövme sonrası ise alaşımların sertlikleri döküm yapısına göre kıyaslandığında CuAg0.3(A3) alaşımının % 21, CuAg0.1(A4) alaşımının % 24 oranında sertliği artmıştır. Soğuk işlem görmüş durum da ise CuAg0.3 (A3) alaşımının sertliği % 37, CuAg0.1(A4) alaşımınıniki ise % 40 oranında artmıştır.

4.4.2.2. Bakır-Gümüş-Titanyum Alaşımlarının Sertlik Deneylerinin Sonuçları

CuAgTi alaşımlarında, artan Ti ile birlikte alaşımın sertliği çok az oranlarda artmıştır. Bununla birlikte sıcak dövme neticesinde 0.1 Ti'lu malzemenin sertliğinde % 17 oranında bir artış olmuştur. Bu sonuçlara göre, Ti ilavesinin CuAg0.3 alaşımının sertliğini arttırmada önemli bir katkısının olmadığı gözlenmiştir.

4.4.2.3. Bakır-Gümüş-Nikel Alaşımlarının Sertlik Deneylerinin Sonuçları

CuAgNi alaşımlarının sertlikleri döküm yapısında CuAg alaşımına (60 HB) kıyasla düşük olmasına (47-60 HB) karşın, artan Ni miktarı ile birlikte alaşımların sıcak

dövme neticesinde oluşan sertlikleri (66-85 HB) önemli oranlarda artmıştır. N2 alaşımasının sertliği 78.4 HB'ye ulaşırken, N3 alaşımasının sertliği 84.9 HB olmuştur. Bu değerlerde CuAg alaşımasının sıcak dövme sonrası sertliklerinden yüksektir.

4.4.2.4. Bakır-Gümüş-Wolfram Alaşımasının Sertlik Deneylerinin Sonuçları

CuAgW alaşımasının sertlik değerleri, CuAg0.3 alaşımı ile dört farklı durumda karşılaştırıldığında, her durumda da daha düşük kalmıştır (Tablo 4.5.).

4.4.2.5. Bakır-Gümüş-Molibden Alaşımasının Sertlik Deneylerinin Sonuçları

CuAgMo alaşımasının sertlik değerleri CuAg0.3 alaşımı ile kıyaslandığında, tüm durumlar içim daha düşük değerlerde kalmıştır (Tablo 4.5.).

4.4.2.6. Sertlik Deneylerinin Genel Sonuçları

CuAg alaşımlarında artan Ag miktarı ile birlikte alaşımın her durumda sertliği önemli oranlarda artmıştır. CuAgNi alaşımlarında ise artan Ni miktarı ile birlikte alaşımların sıcak dövme sonucundaki sertlikleri % 8-18 arasında artmıştır. Ti, W ve Mo katkılarının CuAg0.3 alaşımlarının sertliğini önemli ölçüde etkilememiştir.

4.5. Elektrik iletkenliği Deneylerinin Sonuçları

İncelenen alaşımların farklı durumlardaki iletkenlik değeri Tablo 4.6.'da görölmektedir.



Tablo 4.6. İncelenen alaşımların farklı durumlardaki iletkenlik değerleri (m/ohm.mm²).

Alaşım No	Alaşımın durumuna göre iletkenlik değeri (m/ohm/mm ²)				
	Döküm	Tavlı	Sıcak Dövme	Yen.Kris. Yapı	Soğuk İşlem
A1 CuAg0.1	58	-	-	-	-
A2 CuAg0.3	56.4	-	-	-	-
A3 CuAg0.3	55	57	55	44	41
A4 CuAg0.1	56	57	56	46	42
T1 CuAgTi0.06	45	-	-	-	-
T2 CuAgTi0.1	38	40	30	32	27
T3 CuAgTi0.13	35	-	-	-	-
T4 CuAgTi0.2	28	-	-	-	-
T5 CuAgTi0.4	18	-	-	-	-
N1 CuAgNi1.88	22	30	25	23	17
N2 CuAgNi3.29	17	24	20	17	16.2
N3 CuAgNi7.26	8	11	10	7	6.5
W1 CuAgW0.08	32	32.5	32	32.5	30
M1 CuAgMo0.05	33.5	-	35	-	-

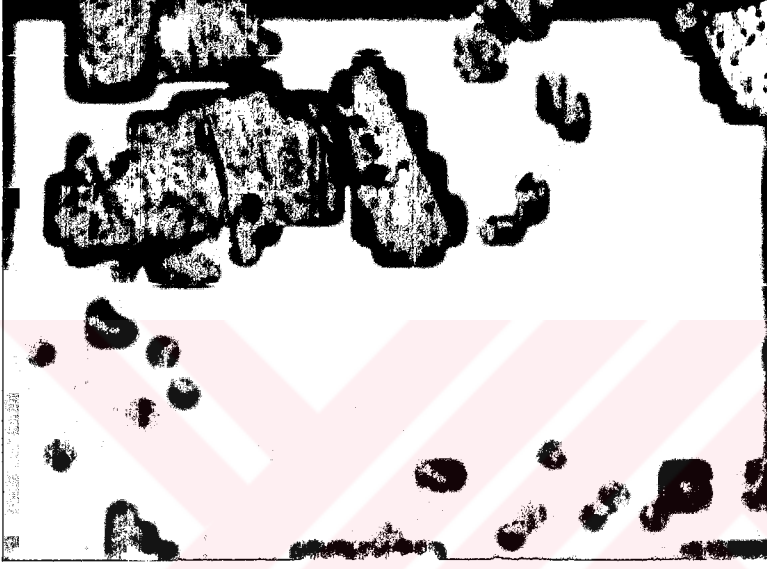
Tablo 4.6.'nın incelenmesinden tüm alaşımların tavlama-
madan sonra iletkenliklerinin bir miktar yükseldiği görül-
mektedir. Buna karşın sıcak dövme neticesinde oluşan yapı
da ise, az miktarda iletkenlikte bir düşüş olduğu gözlenmiş-
tir. Sıcak dövmeye uğrayan alaşımlar ise uygulanan bir
soğuk işlemin ardından yeniden kristalleşme sıcaklığının
tesbitinin yapılması için farklı sıcaklıklarda tavllanmış-
lardır. Bu tavlama işlemlerinde uygulanan en yüksek
sıcaklık sonrasında (150-550°C) A3, A4, N1, N2 ve N3
alaşımlarının elektrik iletkenliklerinde bir düşüş olduğu
tesbit edilmiştir. Buna karşın T2 ve W1 alaşımlarının
iletkenlikleri az da olsa yükselmiştir. Çekme deneyi ile
soğuk işlem yapılmış malzemelerin iletkenliklerinin ise
beklenildiği gibi önemli miktarlarda azaldığı tesbit
edilmiştir.

CuAg alaşımlarında (A1, A2, A3 ve A4), Ag miktarının
artışıyla birlikte iletkenlikte pek önemli olmayan bir düşüş
gözlenmiştir. CuAg alaşımına Ti ilavesi yapıldığında, Ti'un
artan miktarlarda katkısıyla birlikte iletkenliğin düştüğü
gözlenmiştir. Bundan dolayı % 0.1'den fazla miktarlarda
kullanılan Ti alaşımı iletkenlik yönünden olumsuz yönde
etkilenmiştir. CuAg alaşımına Ni ilavesiyle birlikte yine
iletkenlikte önemli düşüşler yaşanmıştır. W1 nolu CuAgW
alaşımının ve M1 nolu CuAgMo alaşımının elektrik iletkenliği
çok kötü değildir. Kabelmetal'in geliştirmiş olduğu
Elbrodur G ile iletkenlik yönünden bu geliştirdiğimiz ala-
şımları kıyaslarsak, CuAg alaşımlarının (55-57 m/ohm.mm²)
Elbrodur G'den (45-49 m/ohm.mm²) çok daha iyi bir iletken-

liğe sahip oluğunu görürüz.

4.6. Metalografik  alışmaların Sonuçları

İncelenen alaşımların farklı durumlardaki mikroyapılarına örnekler şekil 4.9.-4.14.'de verilmiştir.

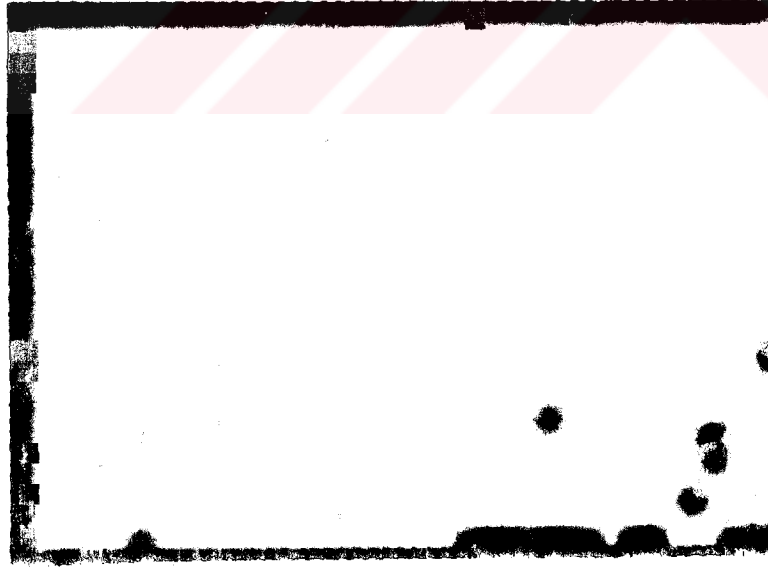


şekil 4.9. CuAg0.3 alaşımının sıcak d v lm ş mikroyapısı görülmektedir.



1000

Şekil 4.10. CuAg0.3 alaşıminın sıcak dövülmüş mikroyapısı görülmektedir.

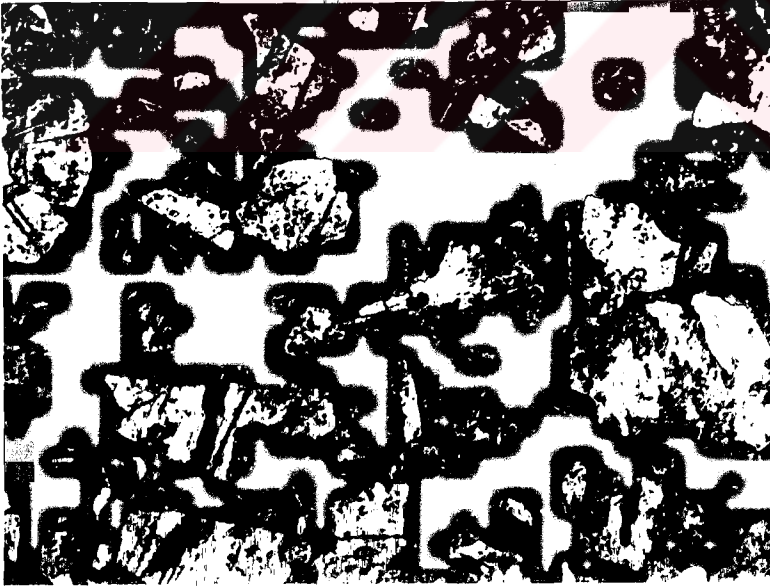


500

Şekil 4.11. CuAgNi1.88 alaşıminın sıcak dövülmüş mikroyapısı görülmektedir.



Şekil 4.12. CuAgTi alaşımasının sıcak dövülmüş mikroyapısı görülmektedir.



Şekil 4.13. CuAgNi alaşımasının sıcak dövülmüş mikroyapısı görülmektedir.



Şekil 4.14. CuAgTi alaşımlının sıcak dövülmüş mikroyapısı görülmektedir.

Şekil 4.9'da CuAgNi7.26 alaşımının döküm mikroyapısı görülmektedir. Şekil 4.10.'da ise çeşitli alaşımların sıcak dövülmüş mikroyapılarından örnekler görülmektedir. Bu yapı-
larda, yeniden kristalleşmiş tane yapıları görülmektedir.

4.7. Alaşımların Genel Değerlendirilmesi

Tablo 4.7.'de araştırması yapılan alaşımların mekanik özellikleri, elektrik iletkenlikleri ve yeniden kristalleşme sıcaklıkları deney sonuçlarına göre yorumlanmıştır. Bu tabloda tüm özellikler kalitatif olarak değerlendirilmiştir. Tüm incelenen alaşımlar içinde optimum özelliklere sahip olan alaşımlar CuAg0.3 ve CuAgTi0.1 alaşımlarıdır. CuAgNi alaşımları ile CuAgW alaşımının tüm özellikleri ortanın üzerinde olmasına karşın, CuAg0.3 alaşımının özellikleri diğerlerinden daha iyi bulunmuştur.

Tablo 4.7. incelenen alaşımların kalitatif olarak genel değerlendirmesi.

Alaşım No	Mekanik Özellikler	iletkenlik	Yeniden Kristal. Sıcaklığı
CuAg0.3	İyi	Çok iyi	İyi
CuAg0.1	Orta	Çok iyi	Orta
CuAgTi0.1	İyi	Orta	Orta
CuAgNi1.8	İyi	Orta	Orta
CuAgNi3.2	İyi	Orta	Orta
CuAgNi7.2	Çok iyi	Vasat	İyi
CuAgW0.08	Orta	Vasat	Çok iyi

Tablo 4.8.'de Elbrodur G malzemesinden yapılmış orijinal döküm tekerleği ile, bu araştırmada elde edilen sonuçların hepsi birarada görülmektedir.

Tablo 4.8. Döküm tekerleği olarak kullanılması düşünülen değişik malzemelerin, mekanik ve fiziksel özellikleri görülmektedir.

Malzeme	Elektrik İletken. (m/ohm.mm ²)	Rekris. Sıcak. (°C)	Akma Dayanı. (N/mm ²)	Çekme Muk. (N/mm ²)	Uzama (%)	Sertlik (HB)
Elbro- dur G	49	700	265	390	25	125
CuAg0.3	55	420	193	241	38.7	72.7
CuAg0.1	56	400	140	232	41	67.9
CuAgTi Ti:0.1	30	400	178	239	48.7	67
CuAgNi Ni:1.88	25	400	178	240	47.5	66.6
CuAgNi Ni:3.29	20	400	210	246	36.2	78.4
CuAgNi Ni:7.26	10	425	271	280	23.7	84.9
CuAgW W:0.08	32	550	162	232	52.5	62.8

BÖLÜM 5 GENEL SONUÇLAR VE İRDELEME

Sürekli Döküm Sistemi'nde, döküm kalıbı olarak kullanılan döküm tekerleğine alternatif malzeme üretmek maksadıyla yapılan bu çalışmada aşağıda belirtilen farklı alaşım grupları incelenmiştir.

İncelemeler 5 ayrı alaşım grubunda ayrı ayrı ele alınmıştır. Bu gruplar sırasıyla şunlardır:

1. Bakır-Gümüş alaşımları,
2. Bakır-Gümüş-Titanyum alaşımları,
3. Bakır-Gümüş-Nikel alaşımları,
4. Bakır-Gümüş-Wolfram alaşımları,
5. Bakır-Gümüş-Molibden alaşımları.

Yapılan çalışmalardan aşağıdaki genel sonuçlar elde edilmiştir:

I. Mekanik özellikler açısından:

I.1. CuAg alaşımında artan Ag oranının, malzemenin sertlik ile akma ve çekme mukavemetlerini arttırdığı belirlenmiştir.

I.2. CuAgNi alaşımların da ise artan Ni miktarı ile birlikte alaşımın sertlik ile akma ve çekme mukavemetlerinin önemli oranlarda arttığı tesbit edilmiştir.

I.3. CuAgTi ve CuAgW alaşımların da ise, CuAg0.3 alaşımına incelenen miktarlardaki Ti ve W ilavelerinin, sertlik ile akma ve çekme mukavemetlerine, önemli bir etki göstermediği görülmüştür.

II. Elektrik iletkenliği açısından:

II.1. CuAg alaşımında artan Ag miktarının alaşımın elektrik iletkenliğini çok az (%2.5) düşürdüğü görülmüştür.

II.2. CuAgNi alaşımlarında Ni miktarının artmasıyla birlikte elektrik iletkenliği önemli ölçüde düşmüştür.

II.3. CuAgTi, CuAgW ve CuAgMo alaşımlarının elektrik iletkenliği değerleri 30 m/ohm.mm² üzerinde olmuştur.

III. Yeniden kristalleşme davranışları açısından:

III.1. CuAg alaşımında artan Ag miktarının alaşımın yeniden kristalleşme sıcaklığını 400°C'den 420°C'ye çıkardığı tesbit edilmiştir.

III.2. Artan Ni miktarının alaşımın yeniden kristalleşme sıcaklığı üzerinde fazlaca bir etkisi olmamıştır. Ancak Ni oranı % 7.26 olduğunda yeniden kristalleşme sıcaklığı 400°C'den 425°C'ye çıkmıştır.

III.3. CuAg alaşımına Ti ilavesinin olması durumunda yeniden kristalleşme sıcaklığı etkilenmemiştir. Buna karşın W ilavesi, yeniden kristalleşme sıcaklığını 550°C'ye kadar çıkarmıştır.

1. En iyi özelliklere sahip olanlar CuAg0.3 ve CuAgTi-0.1 alaşımları,
2. Orta seviyede özelliklere sahip olanlar CuAg0.1, CuAgNi1.88, CuAgNi3.29 ve CuAgW0.08 alaşımlarıdır.
3. Düşük seviyede özelliklere sahip olanlar ise CuAgNi7.26 ve CuAgMo0.05 alaşımlarıdır.

Bundan sonraki çalışmalarda CuAgTi0.1 ve CuAg0.3 alaşımlarının yorulma ve yüksek sıcaklıktaki mekanik özellikleri incelenmelidir. Bu çalışmalarda da olumlu sonuçların çıkması halinde, bu alaşımlar döküm tekerleği haline getirilip servis şartlarında denenerek son karar verilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] GRAVEMAN, H., "Influence of Material Quality and Operating Conditions on Casting Wheel Working Life" . Kabelmetal, Properzi CCR-Symposium, Germany. (1988).
- [2] COFER, D.B., CHIA, E.H., BALDASSARRI, G., GOULD, D.", "The Metallurgy and Production of the Southwire Continuous Copper Casting System", Southwire Meeting, USA. (1978).
- [3] ADAMS, R.D., COFER, D.B., SINHA, U., "Southwire's Continuous Rod Meeting Today's Demand and Tomorrow's Requirements for Copper Quality", Southwire Meeting, USA. (1989).
- [4] ADAMS, R., SINHA, U., " Improving the Quality of Continuous Copper Rod", The Journal of the Minerals, Metals and Materials Society, (May 1990).
- [5] KM-KABELMETAL, "Moulds for Continuous Rod Casting", Technical Information, Germany, (1987).
- [6] ASM METALS HANDBOOK, " Metallography, Structures and Phase Diagrams", Volume 8, Eight Edition, (1973).
- [7] DKI, "Kupfer-Nickel-Legerungen", Informationsdruck, Berlin, (March 1986).
- [8] Kayalı, E.S., Ensari, C., Dikeç, F., "Metalik Malzemelerin Mekanik Deneyleri", İTÜ Küt., İstanbul, (1983).

ÖZGEÇMİŞ

Erkan KARAOĞLU 1968 yılında Kars İli Merkez İlçesinde doğmuştur. İlk öğrenimini Maltepe Feyzullah İlkokulu'nda yaptıktan sonra Özel Darüşşafaka Lisesi'nde okumaya hak kazanmıştır. Darüşşafaka Lisesi'nden mezun olduktan sonra 1987 yılında İ.T.Ü. Sakarya Mühendislik Fakültesi'nin Metalurji Mühendisliği Bölümü'nü kazanmıştır. Bu fakülteden 1991 yılında Bölüm 1.'si olarak mezun olmuştur. Yine aynı yıl İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji Mühendisliği Anabilimdalı Malzeme Programı'nda Yüksek Lisans eğitimi yapmaya hak kazanmıştır. Halen Sarkuysan A.Ş.'de SCR (Sürekli Döküm Sistemi) Mühendisi olarak görev yapmaktadır.