İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TERMAL PÜSKÜRTME AMAÇLI ÇİNKO TELLERİN SÜNEKLİĞİNE ETKİ EDEN ÜRETİM PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Met. Müh. Kürşad ÖNEM

Anabilim Dalı : METALURJİ ve MALZEME MÜHENDİSLİĞİ

Programı : ÜRETİM METALURJİSİ

ARALIK 2002

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TERMAL PÜSKÜRTME AMAÇLI ÇİNKO TELLERİN SÜNEKLİĞİNE ETKİ EDEN ÜRETİM PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Met. Müh. Kürşad ÖNEM
(506981092)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 Aralık 2002
Tezin Savunulduğu Tarih : 8 Ocak 2003

Tez Danışmanı : Prof. Dr. İsmail DUMAN
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Mehmet KOZ (M.Ü.)
Doç.Dr. Servet TİMUR (İ.T.Ü.)

ARALIK 2002

ÖNSÖZ

Lisans ve yüksek lisans eğitimim süresince beraber çalıştığım bitirme ödevim ve yüksek lisans tezimin hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Sayın Prof. Dr. İsmail DUMAN'a minnettarım.

Deneysel çalışmalarım sırasında, deneyim ve bilgilerinden yararlandığım ayrıca tezimin tamamlanmasında başlangıçtan sonuna kadar benden yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşım Met. Yük. Müh. Mesut EMRE'ye çok teşekkür ederim.

Tezimi tamamlanmasında, manevi desteğiyle ve bilgileriyle bana yardımcı olan abilerim Doç. Dr. Servet TİMUR'a, Dr. Sebahattin GÜRMEN'e, Dr. Gökhan ORHAN'a, Met. Yük. Müh. Murat BAYDOĞAN'a, Met. Yük. Müh. Fahir ARISOY'a, Met. Yük. Müh. Gökhan BAŞMAN ve Hüseyin SEZER'e yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarım sırasında kolaylık sağlayan Metsan A.Ş.'ye, yardımlarını esirgemeyen Metsan A.Ş. çalışanları Sezgin YÜKSEL ve Murat DOĞAN'a teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatım boyunca beni destekleyen aileme gösterdikleri sabırdan ve ilgiden dolayı teşşekkürü bir borç bilir, saygılarımı sunarım.

Aralık 2002 Metalurji Mühendisi Kürşad ÖNEM

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR **v**
TABLO LİSTESİ **vi**
ŞEKİL LİSTESİ **vii**
SEMBOL LİSTESİ **viii**
ÖZET **ix**
SUMMARY **xi**

1. GİRİŞ **1**

2. TEORİK BİLGİLER **3**
2.1. Çinkonun Fiziksel, Mekanik ve Kimyasal Özellikleri 3
2.1.1. Fiziksel Özellikler 3
2.1.2. Kimyasal Özellikler 4
2.1.3. Mekanik Özellikler 4
2.2. Çinkonun Dünyadaki ve Ülkemizdeki Yeri 5
2.3. Çinkonun Kullanım Alanları 7
2.4. Termal Püskürtme 9
2.4.1. Termal Püskürtme Malzemeleri 10
2.4.2. Termal Püskürtme Uygulamaları 11

3. ÇİNKO TEL ÜRETİMİ **12**

3.1. Sürekli Dikey Döküm Yöntemi 12
3.2. Sürekli Döküm Haddeleme Yöntemi 13
3.3. Yatay Döküm Tekerliği ile Sürekli Döküm Haddeleme Yöntemi 14
3.4. Ekstrüzyon Yöntemi 15
3.4.1. Döküm 15
3.4.2. Isıl İşlem 15
3.4.3. Ekstrüzyon 16
3.4.4. Tel Çekme 17

4. ÇİNKO TEL ÜRETİMİNDE KARŞILAŞILAN ZORLUKLAR **19**

5. KONUYLA İLGİLİ OLARAK DAHA ÖNCE YAPILAN ÇALIŞMALAR **20**

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR **22**
6.1. Deney Numunesinin Tanımlanması(Zn Külçe) 22

6.2. Kullanılan Malzeme ve Cihazlar 22
6.3. Deneylerin Yapılışı 23
6.3.1. Döküm ve Numunelerin Hazırlanması 24
6.3.2. Sertlik Deneyi 24
6.3.3. Metalografik İnceleme 24
6.3.4. Homojenizasyon Isıl İşlemi 24
6.3.5. Ektrüzyon ve Çekme Deneyleri 24
6.3.6. Haddeleme-Tel Çekme, Eğme ve Çekme Deneyleri 25

7. DENEY SONUÇLARI VE İRDELEMELER 26
7.1. Sertlik Deneyi Sonuçları 26
7.2. Homojenizasyon Isıl İşlemi Deneyi Sonuçları 27
7.3. Çekme ve Eğme Deneyi Sonuçları 29

GENEL SONUÇ VE ÖNERİLER 36

KAYNAKLAR 38

ÖZGEÇMİŞ 40

KISALTMALAR

SPH : Sıkı paket hekzagonal
LPG : Likit petrol gazı
SDD : Sürekli dikey döküm
SDH : Sürekli döküm ve haddeleme
YSDH : Yatay döküm tekerleği ile sürekli döküm ve haddeleme
ILZSG : International Lead and Zinc Study Group

TABLO LiSTESi **Sayfa No**

Tablo 2.1.	Saf çinkonun fiziksel özellikleri [1,2,5,6]	3
Tablo 6.1.	Zn külçe kimyasal bileşimi	22
Tablo 7.1.	Disk numunelerin sertlik değerleri	26
Tablo 7.2.	Homojenizasyon Isıl İşlemi Sonrası Ölçülen Sertlik Değerleri	27
Tablo 7.3.	Filmaşin numunelere ait sertlik deneyi sonuçları	30
Tablo 7.4.	Tel numunelere ait çekme, eğme ve sertlik deneyi sonuçları	31
Tablo 7.5.	Tel numunelere ait çekme, eğme ve sertlik deneyi sonuçları	34

ŞEKİL LİSTESİ **Sayfa No**

Şekil 2.1:	Sıkı paket hekzagonal kristalin yapısı[5]	4
Şekil 2.2:	1997-2001 Yılları Arasında Dünya Çinko Metali Üretimi [11]	6
Şekil 2.3:	Çinkonun kullanım alanları [6]	7
Şekil 2.4:	Farklı kaplama yöntemleri ile kaplanmış yüzeye ait görünümler [13]	8
Şekil 2.5:	Metalizasyon Yöntemi [13]	10
Şekil 3.1:	Sürekli dikey döküm yöntemiyle çinko tel üretimi [18]	12
Şekil 3.2:	Metalizasyon yöntminde kullanılmaya uygun sünek çinko teller [19]	13
Şekil 3.3:	Sürekli döküm ve haddeleme cihazı, Properzi [20]	13
Şekil 3.4:	Yatay döküm tekerleği ile sürekli döküm ve haddeleme tesisinin şematik olarak görünümü [8].	14
Şekil 6.1:	Deneysel çalışmalarda izlenen akım şeması	23
Şekil 6.2:	Eğme deneylerinin şematik gösterilişi	25
Şekil 7.1:	Tepe ve dip numunelerinin mikroyapı görüntüleri (X50)	26
Şekil 7.2:	Homojenizasyon ısıl işlemi sonrası ölçülen sertlik değerlerinin sıcaklıkla değişimi	27
Şekil 7.3:	Tepe numunelerinin homojenizasyon ısıl işlemi sonrası ölçülen sertlik değerlerinin ve mikroyapılarının sıcaklıkla değişimi.	28
Şekil 7.4:	Dip numunelerinin homojenizasyon ısıl işlemi sonrası ölçülen sertlik değerlerinin ve mikroyapılarının sıcaklıkla değişimi.	29
Şekil 7.5:	Filmaşin numunelere ait mikroyapı görüntüleri (X50)	31
Şekil 7.6:	30 dakika ve 190°C'de ısıl işlem görmüş tepe ve dip numunelerinin % uzama değerleri ve mikroyapı görüntüleri (X50)	32
Şekil 7.7:	60 dakika ve 300°C'de ısıl işlem görmüş tepe ve dip numunelerinin % uzama değerleri ve mikroyapı görüntüleri (X50)	32
Şekil 7.8:	Ticari tele ait mikroyapı görüntüsü (X250)	35
Şekil 7.9:	Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilmiş tele ait mikroyapı görüntüsü (X250)	35

SEMBOL LİSTESİ

P : Ekstrüzyon basıncı,

k : Deformasyona karşı direnç

A : Kovan alanı

a : Ekstrüze edilmiş ürünün toplam alanı

MPa : Megapascal

h : Tel çekme öncesinde işlem görmemiş tel kalınlığı

L : Tel çekme matriksindeki, indirgenme açısı α ölçüsüne göre tel boyutunun indirgenme esnasındaki sürtünmeye uğradığı uzunluk.

α : Matriks indirgenme açısı.

Hv : Vickers sertlik ölçüm birimi

σ_a : Akma gerilmesi

σ_i : Sürtünme gerilmesi

K : Sabit

D : Tane boyutu

TERMAL PÜSKÜRTME AMAÇLI ÇİNKO TELLERİN SÜNEKLİĞİNE ETKİ EDEN ÜRETİM PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Çinko, demir dışı metaller içerisinde alüminyum ve bakırdan sonra gelen en önemli kitle metalidir. Çinko tüketiminin hemen hemen %50'si galvanizli çelik üretiminde, %20'si pirinç endüstrisinde, %15'i döküm parçalarında, %8'i çinko oksit üretiminde,ve %7'si yarı fabrikasyon ürünlerde kullanılmaktadır. Çinkonun korozyona karşı direncinin çok iyi olması, özellikle metalik yapıların koruyucu kaplamalarında geniş kullanım alanı bulmasına neden olmaktadır. Çeliği korozyondan korumak amacıyla daldırma veya elektrolitik kaplama yoluyla yüzeyde çinko biriktirmenin en gelişmiş alternatifi olarak günümüzde termal püskürtme ya da diğer adıyla metalizasyon giderek yaygınlaşmaktadır. Metalizasyon işleminde çinko tel, bir torç vasıtasıyla ergitilip korozyondan korunması istenen malzeme üzerine püskürtülerek, yüzeyde yaklaşık 100 mikron kalınlığında laminer yapılı çinko filminin oluşması sağlanır.

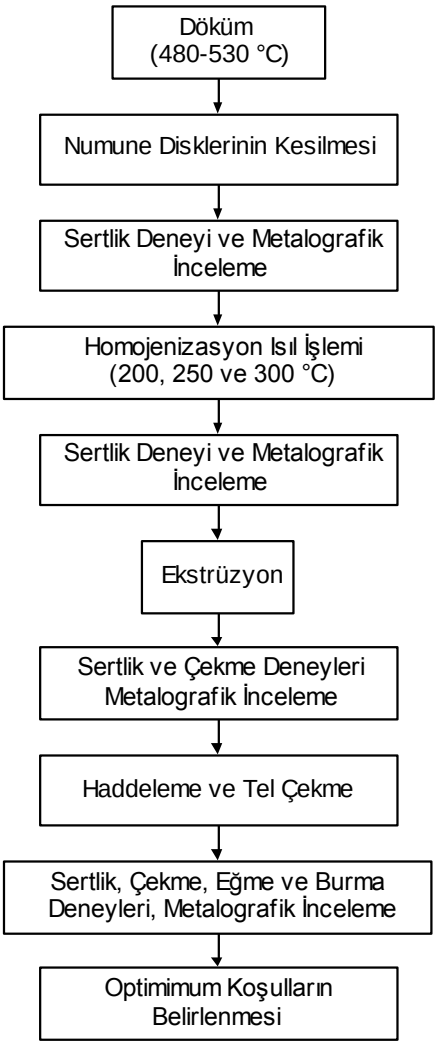
Çinkonun çeşitli kullanım alanları, korozyona karşı olan direnci, galvanizleme ve özellikle metalizasyon kaplamaları hakkında ayrıntılı bilgi verilmiştir.

Sünek çinko tel üretim yöntemlerinin alternatiflerine, avantaj ve dezavantajlarına değinilmiştir. Ekstrüzyon yöntemiyle üretimin yanı sıra, sürekli döküm yöntemleriyle de sünek çinko tel üretimleri hakkında ayrıntılı bilgiler bölüm üç de verilmiştir. Ayrıca sürekli döküm yöntemleriyle ilgili makaleler ve bunlar hakkında kısaca bilgiler verilmiştir. Ekstrüzyon yöntemiyle iligili olarak da bir patent mevcuttur, bu bilgilerden bölüm 5'de konuyla ilgili yapılmış çalışmalarda bahsedilmiştir.

Bu çalışmada ekstrüzyon yöntemiyle termal püskürtme amacıyla üretilmiş çinko tellerin sünekliğine etki eden döküm, ısıl işlem koşullarının ve üretim parametrelerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Ekstrüzyon yöntemiyle üretimi yapılan sünek çinko tellerinin döküm ve rekristalizasyon ısıl işlemi adımlarında uygun üretim parametrelerinin belirlenmesi için yapılan deneyler, vickers sertlik ölçüm deneyi, çekme testi, eğme testi ve mikroyapı çalışmalarıdır, böylece döküm koşullarının son ürün üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bölüm 7'de deneysel çalışmalarda kütüklerin tepe ve dip numuneleri, ektrüzyon yöntemiyle sünek çinko tel üretim yönteminde, yavaş soğutulmuş iri kolonsal tanelerden oluşan döküm yapısını ve hızlı soğutulmuş ince taneleren oluşan döküm yapılarını temsil etmektedir.

Deneyler Şekil 1'de ki akım şemasında görüldüğü gibi yapılmıştır. Gerçekleştirilen deneyler sonucunda hızlı soğutulmuş disk numuneleri (dip) ve yavaş soğutulmuş disk numulerinden (tepe) proses sonunda elde edilen tel numunelerinin mekanik özellikleriyle karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar ışığında döküm için en uygun döküm koşulu ve rekristalizasyon ısıl işlemi için ise (tane boyutunun homojenleştirilmesi) optimum sıcaklık ve süre parametreleri belirlenmeye çalışılmıştır.



Şekil 1. Deneysel çalışmalarda izlenen akım şeması

SEARCHING OF MANUFACTURING PARAMETERS EFFECTING DUCTILITY OF ZINC WIRES FOR THERMAL SPRAYING APPLICATION

SUMMARY

Zinc is the most important metal after copper and aluminium in nonferrous metals. Consumption of zinc is 50% production of galvanized steel, 20% brass, 15% casting, 8% zinc oxide, and 7% semi fabrication goods. Since zinc has a very high resistance against corrosion, its using has a wide application and protective coating to protect metallic structures. Nowadays zinc sprayed coating process widely used alternatively hot dipping, and electroplating to protect steel from corrosion.

Zinc wire is melted by using torch in metallization process, and then it is sprayed to surface that is desired to protect, to provide laminar zinc film which has 100µm thickness.

Various application fields of zinc and, especially resisting of zinc against corrosion and, galvanizing process, and metallization process are mentioned in this studying. In addition, detailed descriptions are given about coating that is made by using metallization process.

Alternative manufacturing processes of ductile zinc wire are considered and also indicated advantages and disadvantages of these processes. Not only given information about manufacturing by extrusion process, but also mentioned about manufacturing ductile zinc wire by continue casting processes with its details in section 3rd. Furthermore, detailed different studies about continue casting processes and brief in formations of these processes are given in section 5th various studies about this subject.

In this studying, optimization of manufacturing parameters of casting and annealing conditions of ductile zinc wire produced by extrusion process is searched in coating of surfaces that are steel construction by using metallization process.

To determine the optimum parameters of recrystallisation heat treatment and casting conditions in manufacturing of ductile zinc wire by extrusion process, hardness, tensile, and bending tests, and microstructure studies are used.

In this studying, there are two sort of different structures, casting sample which is solidified slowly, and consisting coarse grains, the other casting sample which is solidified quickly, and consisting fine grains. Both of these reveal the different and beneficial results about wires. Results provide to understand which casting condition is appropriate to manufacture ductile wire. In section 7th, bottom of billet stand for quickly solidified disk, top of billet stand for slowly solidified disk.

Experiments were made according to ordered experiments diagram that is illustrated on figure 1.

As a result of these experiments, quickly solidified disk samples, and slowly solidified disk samples were run in process, and then both of results of wires compared with each other. Because of these experiments, appropriate casting condition and optimum temperature of recrystallisation heat treatment (homogenizing of grain size) and time parameters tried to determine.

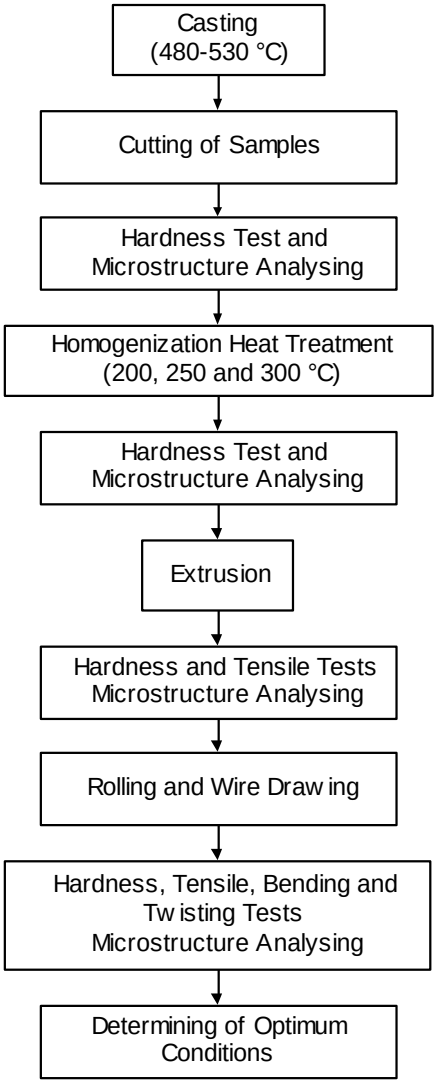


Figure 1. Diagram of experimental studies

1. GİRİŞ

Çinko, antik çağlardan beri bilinen bir elementtir. Metalin ilk tarifi, strabos'un yazdığı Mysia adlı eserin Andriera adlı bölümünde "sahte gümüş" olarak yapılmıştır. Bilinen en eski çinko parçası Dakya medeniyetine ait Transilvanya'daki, Dortaş harabelerinde bulunan ve %87,52 Zn + %11,41 Pb + %1,07 Fe içeren bir idoldür. M.Ö. 500 yıllarına ait Comeros harabelerinde çinkodan yapılmış iki bileziğe ve M.S. 79'da yıkılan Pompei harabelerinde ise çinkoyla kaplanmış bir musluğa rastlanmıştır [1].

Çinkonun tarihteki ilk üretim zamanı, diğer yaygın metallerin üretim tarihlerine göre daha geçtir. Bakır, cevherlerinden yaklaşık M.Ö. 5000 yıl, kurşun 4000 yıl ve demir yaklaşık 2000 yıl önce üretilirken, çinkonun ise M.S. 14. yüzyıla kadar ticari ölçütte hala üretilmediği görülmektedir [2].

Avrupa'da ilk kez Basilius Valentinius metalik çinkoyu tariflemeden "zinck" terimini kullanmıştır. "Zinck" isminin bir metale ait olduğu ve bu metalin fiziksel özellikleri Paracelsus (1490-1541) tarafından yazılmıştır. "Doğunun Plinius'u" olarak tanınan Kazwiui, Çinlilerin çinkodan sikke ve aynalar ürettiklerini söylemektedir. Hintliler 1000-1300 yılları arasında çinkoyu ticari boyutta üretmişlerdir. 1745 yılında doğudan gelen ve İsveç açıklarında batan bir gemiden çıkarılan külçeler %98,99 Zn, % 0,765 Fe ve %0,245 Sb içeriyordu [1].

Sheffield'da 1805 yılında 100 - 105 °C'ye tavlanan çinkonun saç haline geleceği keşfedildi. İlk saç haddesi 1812'de Belçika - Liege'de, ilk çinko levha ise 1857'de Philadelphia'da yapıldı. Endüstriyel üretime ise 1866 yılında la Salle - Illinois'de Matthiessen ve Hegeler tarafından başlanmıştır [1].

Demirdışı metaller arasında tüketim açısından alüminyum ve bakırdan sonra üçüncü sırada yeralan çinkonun, üretiminin yaklaşık % 35 - 40'ı korozyondan korunma amaçlı olarak tüketilmektedir [3]. Bu tüketim alanı için uygulamalardan biri de termal püskürtme yada diğer adıyla metalizasyondur. Çinko ve çinko-alüminyum metalizasyon tellerinin kullanıldığı bu yöntemde, ana amaç korozyondan korunmadır. Çeşitli LPG tüpleri ve gaz tankı üretim tesisleri başta olmak üzere metalizasyon uygulamaları, çelik konstrüksiyonlarda (köprü putrelleri, uzay kafes çatı sistemleri, vb.) ve elektronik endüstrisinde de kendine yer bulmaktadır.

Metalizasyon işleminde çinko tel, bir torç vasıtasıyla ergitilip korozyondan korunması istenen malzeme üzerine püskürtülerek, yüzeyde yaklaşık 100 mikron kalınlığında laminer yapılı çinko filminin oluşması sağlanır.

Etkili korumanın sağlanabilmesi için sürekli beslemeye uygun uzunlukta tel kullanılması, yüzeydeki film yapısında kesintilere yol açılmaması açısından önemlidir.

Bu tez çalışmasında, termal sprey kaplamaya uygun sünek çinko tellerin döküm ve ısıl işlem şartlarının optimizasyonu incelenmiştir.

2. TEORİK İNCELEMELER

2.1. Çinkonun Fiziksel, Mekanik ve Kimyasal Özellikleri

2.1.1. Çinkonun Fiziksel Özellikleri

Çinko, atom ağırlığı 65,37 g/mol, atom numarası 30 olan ve periyodik cetvelde II B grubunda yer alan gümüş renkli bir metaldir. Önemli fiziksel özellikleri Tablo 2.1.'de verilmiştir. Düşük kaynama sıcaklığı özellikle pirometalurjik metal üretiminde çok belirleyici bir faktördür. Dökülmüş halde sert ve kırılgan olan çinko, 120°C'de şekillendirilebilir. Elektrokimyasal potansiyel dizisinde demirden daha negatif potansiyel değerine sahiptir. Böylece korozyona karşı katodik korumada önemli bir kullanım alanı bulan çinko, endüstriyel uygulamada galvanizleme termal püskürtme amacıyla kullanım bulur [1]. Yer kabuğunda bulunma sıklığı 65 g/t olan (%0,0065) çinko, en bol bulunan elementler sırasında 24. sıradadır.[4]

Tablo 2.1 Saf çinkonun fiziksel özellikleri [1,2,5,6].

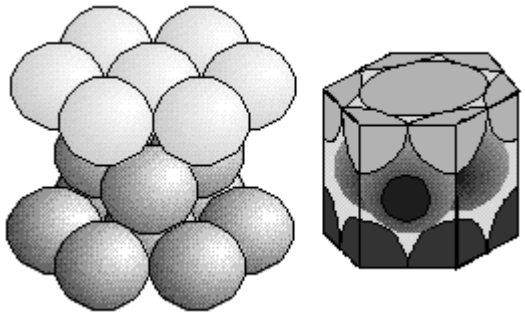
Özellik	**Değer**
Atom Numarası	30
Atomik Ağırlık	65,37 g
Yoğunluk [25°C'de]	7,14g/cm^3
Valans değeri	2
Ergime Sıcaklığı	419,47 °C
Kaynama Sıcaklığı [760mm Hg]	906°C
Kristal yapısı	Sıkı Paket Hegzagonal
Kafes Parametreleri [%99,99Zn]	A = 2,66 A; b = 4,936 A; c/a = 1,856
30°C'de sıkıştırılabilirlik katsayısı	β = 1,69 10-6 cm^2/kg
Elastik Modülü [20°C]	E=10000 kg/mm^2
Burulma Modülü [20°C]	E=3935 kg/mm^2
Poisson sayısı	M=0,27
Özgül Isısı [0,20,100,200,300°C]	0,381;0,385;0,398;0,414;0,420 j/g.K
Ergime Isısı	100,86 J/g
Spesifik Elektrik İletkenliği [0,25,100°C]	18,1; 16,82; 12,17 m/ohm mm^2
Lineer Genleşme [20-250°C]	39,7 μm/m.K
Standard Elektrot Potansiyeli	-0,762V
Yüzey Gerilimi 420°C'de, 500°C'de	750, 790 mN/m.

2.1.2. Çinkonun Kimyasal Özellikleri

Çinko bileşiklerinde +2 değerlikli olarak bulunur. Oluşturduğu bileşiklerde kovalent bağ yapan çinko, amonyak, amin, siyanür ve halojen iyonları ile kompleks bileşikler meydana getirir. Mineral asitlerinde H_2 çıkışıyla çözünen çinkonun nitrik asitteki çözünmesinde NO_x çıkışı gözlenir. Dolayısıyla çinko özellikle toz halde çok etkili bir redükleyicidir. Normal sıcaklıkta havada bırakılan metalin yüzeyinde koruyucu bir tabaka oluştuğundan bu sıcaklıkta halojenlere bile dayanıklıdır. Klor gazı çinkoyu çok çabuk korozyona uğratır. Toz çinkonun reaksiyona girme kabiliyeti oldukça fazladır, fakat yanıcı değildir. Yüksek sıcaklıkta oksijen, klor ve kükürt gibi elementlerle şiddetle reaksiyona girer. Civa ile sert bir amalgam meydana getirir. Klorür ve sülfat tuzları suda yüksek miktarda çözünür. Buna karşılık çinko oksit, silikat, fosfat ve organik kompleksleri ya suda hiç çözünmezler ya da çok ağır çözünürler [1,2].

2.1.3. Çinkonun Mekanik Özellikleri

SPH (Sıkı Paket Hekzagonal) kristal yapısıyla çinko (Şekil 2.1), oda sıcaklığında oldukça sert ve kırılgandır, bu nedenle çinkonun mekanik işlemlerde çalışabilirlik imkanı çok azdır. Çinko, yüksek sıcaklıklarda sünek olup, 100-150°C 'de sünekliği önemli derecede artar, dolayısıyla bu sıcaklıkta levha ve/veya tel haline getirebilme durumuna gelir. Buna karşılık çinko 200°C'ye ısıtıldığında tane yapısı kabalaşır, büyür, böylelikle kırılgan yapısına geri döner. Bu ise, deformasyon sertleşmesi sonucu çinko kristal latislerinde hasarlar oluşması anlamına gelir ve üretim süreci içindeki sarma ve tel çekme gibi işlemlerin uygulanmasında zorluklar yaratır.



Şekil 2.1 Sıkı paket hekzagonal kristalin yapısı

Yukarıda da bahsedildiği üzere, çinko mekanik işlemler esnasında sert ve kırılgan olmaya yatkın bir metaldir. Eğer çinkonun sünekliği üretim sırasındaki proses koşullarına uygun bir biçimde arttırılmazsa, tel kırılması ve kangalların birbirine dolaşması gibi bazı problemlerle karşılaşılır. Bu gibi sorunlar hem tel üretim

maliyetini arttırır hem de sünek telin sert ve kırılgan olmasına, bobin özelliğinin bozulmasına ve hatta kırılmasına neden olur [7].

Çinko hekzagonal kristal latislere sahip bir metaldir, çinkonun kendine özgü plastik deformasyonundan dolayı, çinko kayma düzlemleri boyunca kübik kristalli metallere göre daha küçük kayma düzlemlerinde yol alarak şekil değiştirir, bu da çinkonun plastik akışını yüksek derecede uniform olmayan yani anizotropik yapmaktadır [8].

Metal şekillendirme prosesleri ile çinko istenilen şekillerde üretilebilir (Haddeleme, ekstrüzyon, tel çekme). Çinkonun deformasyona karşı gösterdiği direnç uygulanan yük arttıkça artar [9].

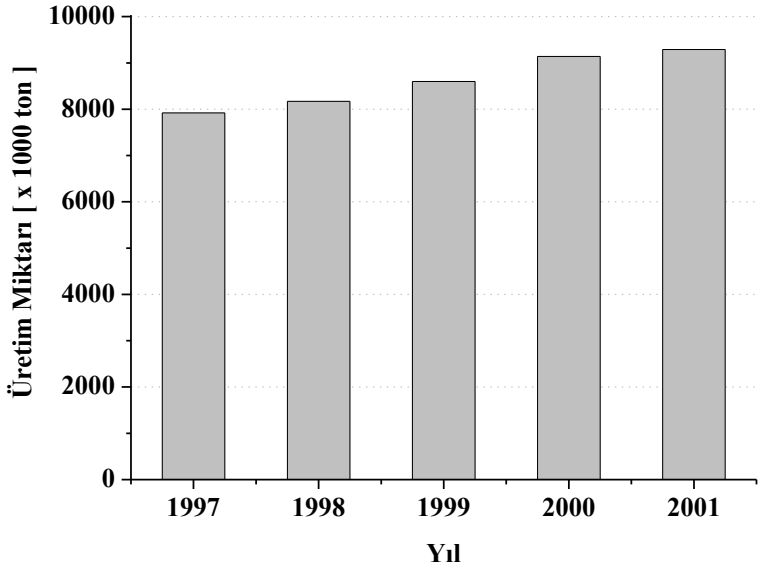
Saf çinkonun mukavemeti ve sertliği kalaydan ve kurşundan iyidir, fakat alüminyum ve bakırdan önemli derecede zayıftır. Düşük sürünme direncinden dolayı yapı malzemesi olarak kullanılmaya elverişli değildir. Normal sıcaklıklarda çinko kırılgandır, fakat 100 °C üzerinde kolaylıkla haddelenebilir. % 4 oranında alüminyum ile alaşımlandırıldığında sertlik ve mukavemeti önemli derecede artmaktadır. Çinkonun bir çok alaşımlarının dökülebilirliği çok iyidir ve döküm alaşımları geniş bir kullanım alanına sahiptir. Haddelenmiş levhalarının sürünme direnci düşük miktarda bakır ve titanyum katılmasıyla geliştirilebilir. %20-22 oranında alüminyum alaşımlandırılmasıyla Zn-alaşımlarında süper plastiklik özelliği yükseltilebilmektedir [2]. Alaşım elementlerinin çinkonun mekanik özellikleri üzerindeki etkileri incelendiğinde ise, kurşunun mekanik yapıyı etkileyici özelliğe sahip olduğu, kadmiyumla birlikte bulunduğunda arzu edilen korozyon direncini sağladığı [2,10] ve çekirdeklenme etkisi hariç mikroyapıda bir değişiklik yapmadığı, mukavemeti, sertliği, sürünme direncini ve kristalleşme sıcaklığını yükseltiği, ilave edilen bakır oranına göre mukavemet, sertlik ve sürünme direnci değerlerinin yükseldiği, çinkonun % 0,11 oranında titanyum ile yaptığı ötektik bileşiğin dökme çinkodaki tane boyutunu küçültücü ve yüksek sıcaklıkta haddelenmiş çinkoda tane büyümesini engelleyici etkisi vardır. Titanyum, çinkonun çekme dayanımına ve haddeleme sonrası çinkonun sertliği üzerinde çok az bir etkiye sahiptir. Fakat bakırla birlikte sürünme direncini önemli derecede arttırmaktadır [10].

2.2. Çinkonun Dünyadaki ve Ülkemizdeki Yeri

Çinkonun 2001 yılındaki fiyatı 1230 USD/ton'dur. Malzeme biliminde olan gelişmelere paralel olarak çinkonun özellikle korozyondan korunma amacıyla kullanılması fiyatını giderek arttırmıştır. Özellikle 1970'li yıllarda çinkonun fiyatı katlanarak artmıştır.

2001 yılında dünya çinko cevheri üretimi (metalik çinko karşılığı olarak) yaklaşık 8.850.000 ton olarak gerçekleşmiştir. Avustralya, Kanada ve Çin, 1.000.000 ton'un üzerinde olan cevher üretimleriyle en dikkat çekici ülkelerdir. Özellikle Çin'in üretimi son 5 yılda yaklaşık %35 artarak 1.600.000 ton'a ulaşmıştır.

2001 yılında dünya metalik çinko üretimi 9.290.000 ton olarak gerçekleşmiştir. 1997 ve 2001 yılları arasında çinko üretiminin değişimi Şekil 2.2'de görülmektedir. Son beş yılda dünya metalik çinko üretimi yaklaşık %17 artmıştır. Bu üretim rakamları arasında en büyük payı 2001 yılında gerçekleştirdiği 2.080.000 ton'luk üretimiyle Çin almaktadır. Çin son beş yıl içerisinde metalik çinko üretimini yaklaşık %45 arttırmıştır. Diğer önemli çinko üreticisi ülkeler ise Kanada, Japonya ve Avustralya'dır. Bu üç ülkenin üretim miktarları iki milyon tonu aşmaktadır.



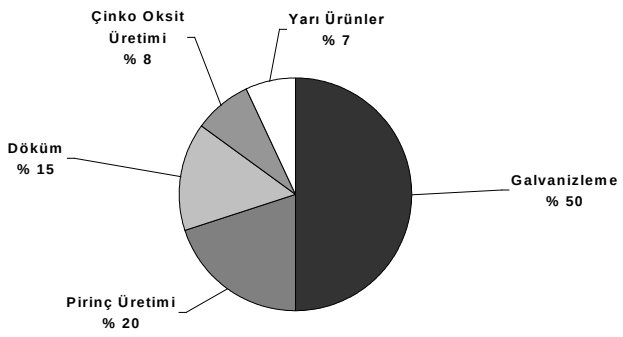
Şekil 2.2 1997-2001 Yılları Arasında Dünya Çinko Metali Üretimi [11]

Cevher yataklarının oluşumuna paralel olarak, Türkiye'de çinko-kurşun cevher ve konsantreleri oksitli ve sülfürlü olarak bulunmaktadır. Türkiye'nin toplam çinko rezervi, metal çinko olarak, 5.471.338 ton olup, bunun 1.305.688 tonu görünür, 1.238.555 tonu muhtemel, 2.927.095 tonu mümkün rezervdir. Karbonatlı cevherlerin tamamı yurt içinde ÇİNKUR tarafından işlenerek elektrolitik külçe çinko elde edilmekteydi. Ancak 1999 yılından itibaren bu tesis karbonatlı cevher ihtiyacının karşılanamaması nedeniyle kapanmıştır. Ülkede üretilmekte olan sülfürlü cevherlerin yurt içinde izabe imkanı bulunmadığından, zenginleştirilmiş çinko-kurşun cevherleri veya konsantreleri olarak geçici veya doğrudan ihraç yolu ile yurt dışına satılmaktadır.

Türkiye'nin yıllık çinko tüketimi 35.000-40.000 ton'dur. Bu talep, çinko metal ve alaşımları olarak ithalatla karşılanmaktadır [12].

2.3. Çinkonun Kullanım Alanları

Günümüzde çinko; çelik, alüminyum ve bakırdan sonra dünya'da miktar olarak yıllık tüketimi en fazla olan metaldir (2001 yılı tüketim değeri). Kimyasal yönden aktif olması ve diğer metallerle kolayca alaşım yapılabilmesi nedeniyle çinko, endüstride temel girdisi çinko olan alaşımların ve bileşiklerin üretiminde kullanılmaktadır. Üretilen çinko metalinin ana ürün olarak tüketildiği belli başlı beş alan vardır: Galvanizleme, pres döküm alaşımları, pirinç ve bronz alaşımları, çinko oksit ve haddelenmiş çinko alaşımları. Galvanizleme, çinkonun miktar olarak en çok kullanıldığı alandır (çinko üretiminin % 35-50). İkinci olarak da pres döküm alaşımlarının imalinde kullanılmaktadır [3]. Genel olarak çinko, çok iyi bir anti korozyon direnci olan bir metaldir, özellikle metalik yapıların koruyucu kaplamalarında çok geniş bir kullanım alanına sahiptir ki, metalik püskürtme yönteminde bir püskürtme tabancasının kullanımıyla uygulanır. Bunlara ek olarak, çinko metalik olmayan malzemelerin en dış yüzey tabakalarında iletkenlik kazandırmak açısından da uygulanabilir. Çinko ayrıca, çinko plakaların yapımında, çatı kaplama malzemelerinde ve lastik sanayiinde de (ZnO olarak) kullanım alanı bulmaktadır. Çinko alaşımları ve bileşiklerinin kullanım açısından özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Ticari açıdan çinkonun öneminde herhangi bir gerileme gözlenmemektedir. Bazı uygulama alanlarında, diğer metallerle arasında bir yarış olmasına rağmen, çinkonun önemi günümüzde hiç azalmamaktadır [6]. Çinkonun karakteristik özellikleri gerçek anlamda kullanım alanlarını da belirlemektedir. Şekil 2.3' de dünya genelinde çinkonun kullanım alanları görülmektedir.



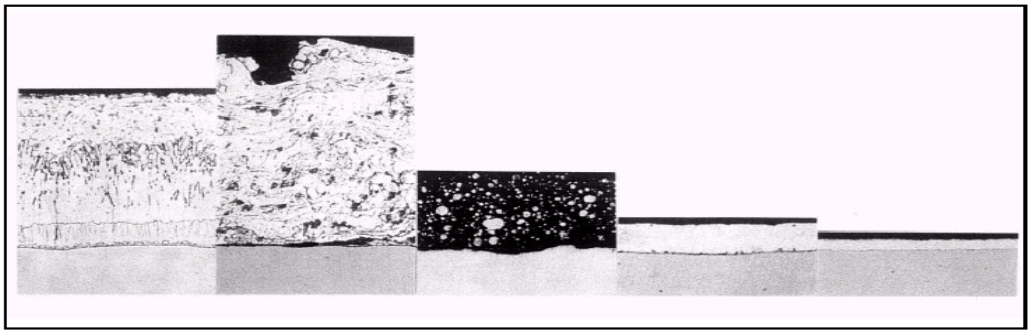
Şekil 2.3 Çinkonun kullanım alanları[6]

Şekilden de görüldüğü üzere toplam çinko tüketiminin hemen hemen %35-50'ı galvanizleme de kullanılırken, %20'si pirinç üretiminde, %15'i döküm, %8'i çinko oksit üretiminde, %7' si yarı fabrikasyon ürünlerde kullanılmaktadır. Ekotoksik etkisi nedeniyle çinko, bazı alanlarda sınırlı tüketilmektedir (özellikle yapı ve inşaat sektörü gibi). Günümüzde çinko ikame materyali olarak; alüminyum, magnezyum ve plastikler, özellikle otomotiv sektöründe kullanılmaktadır [12]. Aşağıda kısaca çinko tüketiminin büyük bir kısmını oluşturan galvanizleme kısaca açıklanmaktadır.

Galvanizleme:

Sıcak daldırma prosesi, kaplanacak olan demir çelik yapının üzerinde çinko kaplamanın oluşturulmasıdır, burada çelik malzeme ergimiş bir çinko banyosuna daldırılarak kaplanır. Kaplanacak çelik malzemenin ilk olarak yüzeyinde bazı ön işlemler yapılır, burada amaç malzemenin kaplanmadan önce yüzeyinin korozyon kalıntılarından, yağlardan talaş ve benzeri kirliliklerden temizlemektir. Temizleme prosesi sırası kaplanacak malzemenin yüzeyinin her türlü yağ türü pisliklerden temizlenmesinden oluşur, daha sonra asit ile yapılan dekapaj sayesinde tufal ve pas alınır ve kaplanacak malzemenin, yani çeliğin dekapaj sonrası tamamen temizlenmiş ve deokside olmuş taze temiz yüzeyi sonradan oksidasyonunu engellemek için flakslama işlemine tabii tutulur, daha sonra ergimiş çinko banyosuna batırılır.

Sürekli levha galvanizleme prosesi aynı zamanda sıcak daldırma prosesidir. Çelik levha, şerit ve teller önce temizlenir, asitle muamele edildikten sonra flakslanır. Bu işlem 165 m uzunluğundaki bir proses hattında , dakikada 99 m den daha büyük bir hızla yapılır. Levha, şerit ve tellerin kaplanmasında, çinko banyosu az miktarda alüminyum içerir (% 0,15-0,25). Alüminyum, çinko- demir alaşımının oluşmasını engelleyerek kaplamanın tamamen çinkodan oluşmasını sağlar [13]. Şekil 2.4'te farklı kaplama yöntemlerinin karşılaştırılması görülmektedir.



Şekil 2.4 Farklı kaplama yöntemleri ile kaplanmış yüzeye ait görünümler [13]

2.4. Termal Püskürtme

Termal püskürtme (metalizasyon) kısaca, bir metalin damlacıklar haline getirilmiş partiküllerinin yüzeye kaplanmasıyla şekil bulmuş kaplamanın tanımıdır. Aynı zamanda çeşitli komponentler üzerine yapılan ve bu komponentlerin aşınma ve/veya korozyonu sonucu ortaya çıkan olumsuz etkileri gidermeye yönelik bir kalın film kaplama grubunu tanımlamakta kullanılır. Yöntemde toz, çubuk veya tel yüksek ısının olduğu bir bölgeye beslenir ve bu bölgede ısının etksiyle plastik veya ergimiş hale gelen metal bir itici gaz yardımıyla püskürtülerek damlacıklar formunda kaplanması istenen yüzeye hızla gönderilir ve yüzeyde bir kaplama oluşması sağlanır. Damlacıklar yüzeye ulaştığında çarpmanın etkisiyle yassı şekil alarak yüzeye yayılırlar. Kaplama üst üste bu damlacıkların gelmesiyle istenen kalınlıkta elde edilebilir. Kaplama yapışmasına etki eden faktörler sırasıyla yüzey temizliği (kumlama veya kimyasal yöntemler) ve püskürtme açısıdır (45-90°) [14].

Galvanizleme, çeliğin korozyona karşı korunmasında kullanılan en yaygın yöntem olmasına karşın, her uygulama için galvanizleme yöntemi tercih edilememektedir. Özellikle kaplanması istenen bir çelik yapının yerinde kaplanması gerektiği zaman metalizasyon ön plana çıkmaktadır. Bir çok uygulama için aynı şekilde çinkonun termal püskürtmesi uygun bir yöntemdir [7]. Bu yöntemle polimerler, metaller, seramikler veya bunların kombinasyonu püskürtülebilmektedir [15].

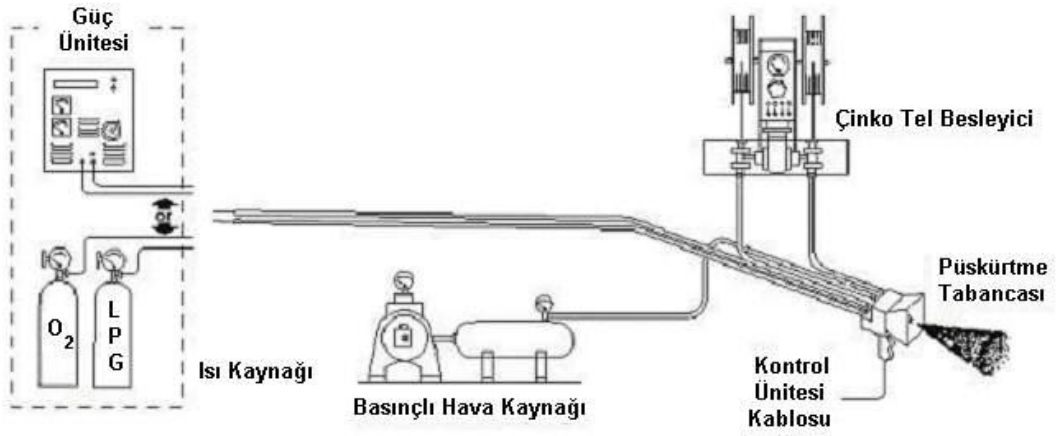
Termal püskürtme yöntemi 1910 yılında İsveçli bir mühendis olan Dr. Schoop tarafından icat edilmiş olup [16], günümüzde kullanımı gittikçe artmaktadır. Tel tabancası ilk olarak 45 yıl önce geliştirilmiştir, daha sonra orjinal püskürtme tabancaların temel çalışma prensipleri bu zamanda geliştirilmiştir [9]. Başlıca termal püskürtme prosesleri aşağıdaki gibi sınıflandırılabilmektedir:

- Tel-ark
- Yanma/Alev spray
- Yüksek Hız Oksijen + Yakıtı (HSOF)
- Plazma spray

Her bir proses farklı maliyetlere, kaplama performansına, malzeme kullanılabilirlik ve esnekliğine sahiptir. Alevle püskürtme bilinen en eski yöntem olup, 1800'lü yılların sonundan beri uygulanmaktadır. Bu prosesin avantajları arasında düşük yatırım maliyeti ve uygulama kolaylığı sayılabilir. Kullanılan cihazların nispeten küçük olması ve uygulamanın kolaylığı nedeniyle yöntem sahada portatif olarak da

uygulanabilmektedir. Kaplanması istenen parçaların boyutları ve şeklinden dolayı bir sınırlama sözkonusudur [14].

Termal püskürtme yöntemi bir çok malzeme ile uyumlu çalışılabilen, yüzeyde maliyet açısından ucuz, hızlı ve 0,025 cm kalınlığında koruma tabakası teşkil eden bir prosestir. Birçok endüstriyel parça (uçak motoru parçalarında, biyo medikal protezlerde vb.) bu yöntemle kaplanarak servis süreleri uzatılmaktadır. Otomotiv parçaları, izolatörler, kimyasal reaktörler, pompalar, köprüler ve uçak blokları diğer uygulamalar arasında sayılabilir [5,7]. Şekil 2.5.'de termal spray yöntemine göre yapılan metalizasyon görülmektedir [13].



Şekil 2.5 Metalizasyon Yöntemi[13]

Metalizasyon prosesi, hemen hemen her boyuttaki malzemeye uygulanabilmekle birlikte, kaplanacak malzemenin tasarım gereği kompleks ve girift hatlara sahip olması püskürtülen çinkonun kaplayacağı yüzeye ulaşmasını zorlaştırabilir. Kaplanmış yüzeyin ömrü tabakanın kalınlığına bağlı olarak değişir ve bir çok çevresel ortamda farklı olabilir [13].

2.4.1. Termal Püskürtme Malzemeleri

Kaplanacak malzemenin uygun seçimi istenilen hedeflere ulaşıp-ulaşmada temel parametredir. Termal püskürtme yönteminin tarihsel gelişimi boyunca saf çinko, saf alüminyum ve çinko-alüminyum alaşımları çelik yapıların korozyondan korunması amacıyla kullanılmıştır. Bu tez çalışmasına temel teşkil eden çinko teller ilerki bölümlerde ayrıntılı olarak ele alınacaktır.

2.4.2. Termal Püskürtme Uygulamaları

Termal püskürtme yoluyla korozyona karşı koruma sağlanması özellikle Avrupa'da uzun yıllardan beri kullanılan bir tekniktir. Günümüzde çok çeşitli alanlarda kullanılan bu tekniğin şu anda uygulanan başlıca kullanım alanları aşağıda sıralanmıştır.

- Binalarda beton içi korozyona karşı
- Köprüler, TV ve Radyo vericileri, yüksek gerilim hattı direkleri, radar antenleri , demiryolu sinyalizasyon yapıları
- Yaya üstgeçitleri, demiryolu geçitleri, yol ve köprü bariyerleri
- Su boru hatları ve depoları, sulama kanal kapakları, denizcilik uygulamaları (Amerikan Donanması)
- Galvanizlenmiş yapıların onarımında, sıcak daldırma tekniği ile galvanizlenemeyecek ve metalurjik özellikleri olumsuz etkilenen sistemlerde

Ürünün yurdumuzda kullanılmaya başlaması ve kullanım alanları henüz başlangıç aşamasındadır. Yurtiçi pazarda termal püskürtme prosesi LPG tüplerinin kaplanmasında kullanılmaktadır (yaklaşık 110 ton/ay'lık tüketim değeri). Bu yüzden ürünün diğer kullanım alanları ülkemiz için oldukça büyük bir potansiyel pazar oluşturmaktadır [14].

Bu uygulamaların yanında Termal Püskürtme yönteminden istenilen karakteristik özellikler ise kalınlık (100 mikron), görünüm (uniform, kabarcıklanma ve açık alan içermemeli), yapışma (taban metalden veya kaplamadan ayrılmalar) ve korozyon testlerine (yapay atmosferde tuz püskürtme) karşı dayanım olarak tanımlanmaktadır [14].

3. ÇİNKO TEL ÜRETİMİ

Çinko ve çinko alaşım metalizasyon tellerinin üretimi konusunda bilinen iki ana üretim yöntemi mevcuttur. Bunlardan ilki plastik şekil verme teknikleriyle (ekstrüzyon) üretim, ikincisi de sürekli döküm yöntemleridir.

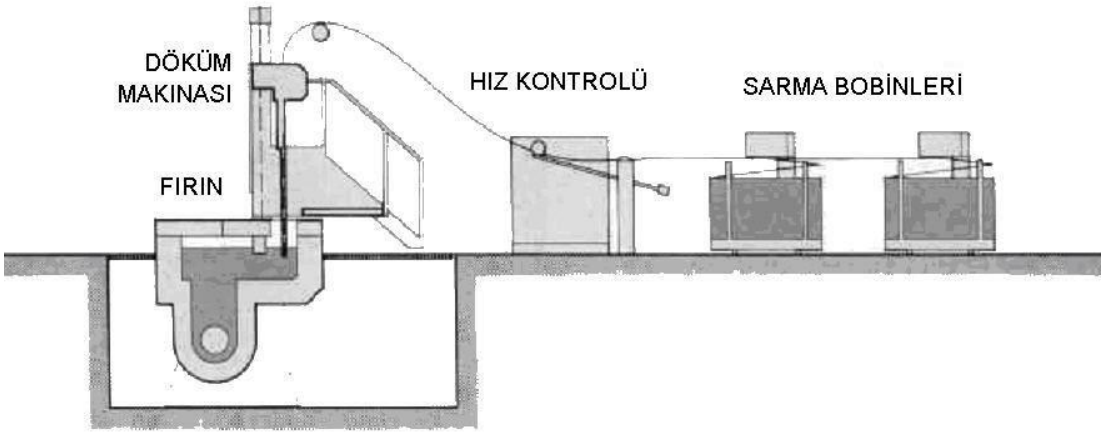
Ekstrüzyonla termal püskürtme tellerinin üretimi uzun zamandan beri bilinen ve kullanılan bir yöntemdir. Ekstrüzyonla üretimde bir ekstrüzyon presine beslenen billetler basınç altında belirli bir çapa indirilerek tel üretimi yapılmaktadır[17].

Sürekli döküm yöntemleri de kendi arasında üç ayrı yöntem olarak incelenmelidir:

- (SDD)Sürekli Dikey Döküm
- (SDH)Sürekli Döküm ve Haddeleme (Properzi)
- (YSDH)Yatay döküm tekerleği ile Sürekli Döküm ve Haddeleme

3.1. Sürekli Dikey Döküm Yöntemi

SDD(Sürekli Dikey Döküm yöntemi), şekil 3.1'de görülmektedir. Bu yöntem nispeten yeni bir teknoloji olup, ekstrüzyon yöntemine göre bazı avantaj ve dezavantajları mevcuttur.



Şekil 3.1 Sürekli dikey döküm yöntemiyle çinko tel üretimi[18]

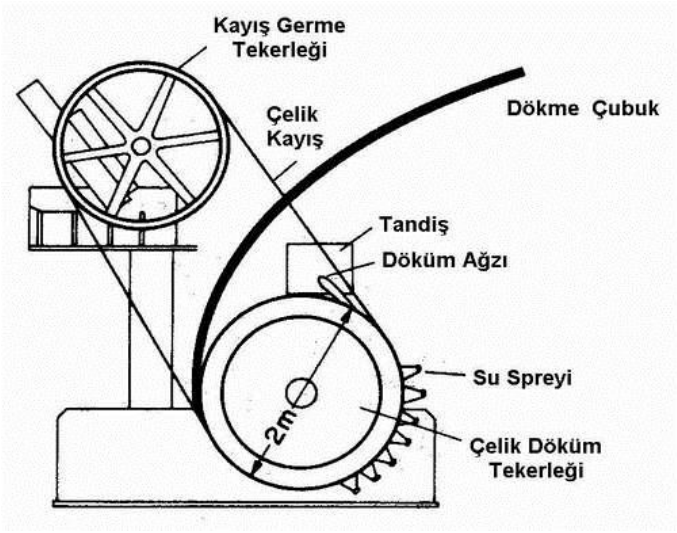
SDD yöntemi sıvıdan doğrudan tel üretimine yönelik bir prosestir ve billet dökümü, homojenizasyon ve ekstrüzyon gibi ara kademeleri ortadan kaldırmaktadır. Maliyet azaltıcı yöntem olarak kullanılmaya başlanan bu prosesde bileşim kontrolü önemli bir parametredir[17].



Şekil 3.2 Metalizasyon yönteminde kullanılmaya uygun sünek çinko teller[19]

3.2. Sürekli Döküm Haddeleme

SDH, 1947 yılında, İlario Properzi demir dışı alaşımların tel çubuk üretiminde kullanılan SDH prensibi üzerine bir italyan patent almıştır. Basit olarak properzi cihazı, su soğutmalı döner döküm tekerleği ve sürekli olarak eriyik metali sıcak döküm çubuğuna aktaran çelik halka kemer ve 13 tane birbirine 120 derece açıyla üçlü merdaneler montajlı bir üretim hattıdır. Şekil 3.3. properzi sürekli döküm hattının ilk kısmı görülmektedir[19].



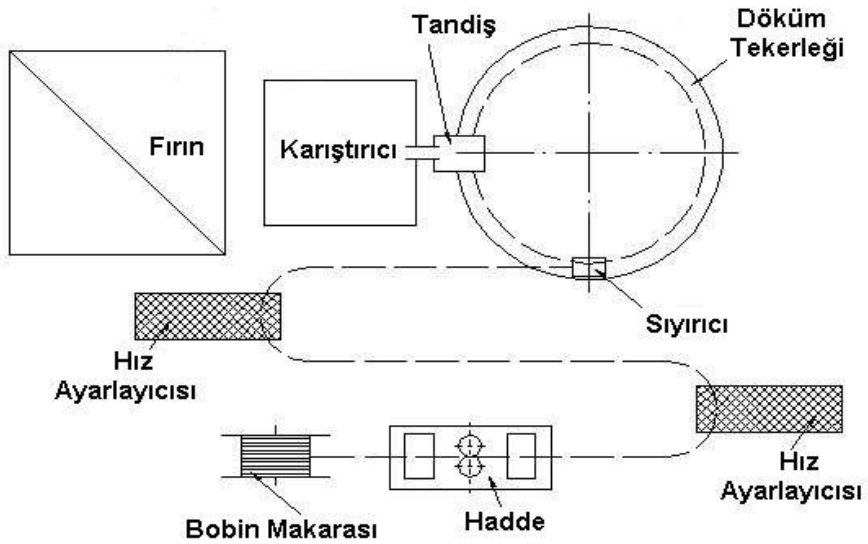
Şekil 3.3 Sürekli döküm ve haddeleme cihazı, Properzi [20]

Döküm makinasıyla aynı doğrultuda montajlanmış hadde merdanelerinin içinden direkt olarak sıcak dökülmüş çubuk girer. Hadde merdaneleri ardısıra montajlanmış

bir hadde deformasyon hattıdır, ve her bir hadde ilk kısımda üçgen ve altıgen şekilli kısımlar, haddenin son kısmında ise üçgenden yuvarlak profile şekillenecek biçimde belirli bir sırayla dizilmiş üç merdaneden oluşur. Böylece oluşturulan deformasyon hep tel boyunca boylamasına yapılır, dolayısıyla klasik iki merdaneli haddelerde olduğu gibi telde üst üste katlanma deformasyonu neredeyse elimine edilmiş olur. Properzi tasarımından gelen üç merdaneden oluşan hadde deformasyonu kavramının günümüzde de bir çok avantajı olduğu bilinir. Endüstriyel anlamda bu tasarımı ilk olarak 1948'de kurşun için uygulanmıştır [19].

3.3. Yatay döküm tekerleği ile sürekli döküm ve haddeleme

YSDH, modern gelişmiş teknolojide bu üretim iki aşamada olur: 7,2mm çapında, 200 kg ağırlığında tellik çubuk bobininin eldesi, daha sonra haddeleme prosesi ile bitirilmesi (Şekil 3.4.) ve telin tel çekme makinasında istenen çaplarda çekilerek elde edilmesidir.



Şekil 3.4 YSDH tesisinin şematik olarak görünümü [8].

Reverber tipi fırında ergitilen çinkonun 480-530°C'de karıştırıcıdan dökme kutusuna dökülmesi, daha sonra buradan su soğutmalı yatay hareketli dönen kristalleştirici oluğun içine devamlı ince bir akış yapılır. Bu oluğun içinde metal dönen çemberde çemberin ¾'lük kısmının sonunda katılaşır. Kesit görüntüsü trapez olan katı bir metal elde edilir. Burada katılaşan metal, döküm tekerleğinden sıyırıcı ile alınır ve sıcak haddeleme makinasına verilmek üzere hız ayarlayıcılarının içinden geçirilir. Hız ayarlayıcılarının görevi, hadde makinasının hızı ile dönen kristalleştiricinin hızı arasındaki farkı eşitleyerek sürekli çalışmayı sağlamaktır. Haddeleme prosesinde

kullanılan soğutucu, su esaslı endüstriyel yağ ya da kostik soda katkılı çözeltidir. Bu yönteme göre çinkonun haddelenmesi, üç aşamalı farklı kalibre edilmiş merdanelerde yapılır. Çinkonun anizotropisinden dolayı, farklı kristalografik yönlerde fiziksel özelliklerinin dağılımının uniform olmaması nedeniyle dairesel çinko çubuğun elde edilmesi için yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi özel merdane kalıplarından oluşmuş hadde hattı kullanılır [8].

3.4. Ekstrüzyon

Ekstrüzyon, çinko tel üretimini plastik şekil verme (ekstrüzyon) yöntemine göre temelde 4 safhada açıklamak mümkündür. Bunlar:

- Çinko Billet Dökümü
- Homojenizasyon Isıl İşlemi
- Ekstrüzyon
- Tel Çekme[17]

3.4.1. Dökümü

Ektrüzyon sonucunda elde edilecek olan filmaşinin kalitesi dökümhanedeki işlemlerle başlamaktadır. Dökümden gelen bir hata olduğu gibi ekstrüzyon ürününe yansıyarak, elde edilmek istenen üründe gerekli yüzey kalitesi ve sertlik değerlerinin sağlanamamasına neden olacaktır [21]. Sıvı çinkonun oksitlenme eğiliminin yüksek olması nedeniyle ergitme işlemi örtücü curuf altında gerçekleştirilmektedir. Ergitme işlemini takiben saf çinko dökümünde, taneler uzun kolonsal yapı şeklinde büyümektedir. Alüminyum ve titanyum hariç alaşım elementleri tane boyutu ve şekli üzerinde çok az bir değişime sebep olmaktadırlar. Üretilmiş kütüklerin hadde de ilk deformasyon için gerekli şekil değiştirme sıcaklıkları 150-177 °C'arasındadır [7].

3.4.2. Isıl İşlemi

Saf çinkonun yeniden kristalleşme sıcaklığı(65°C) oda sıcaklığına yakın olduğundan soğuk deformasyon ile şekillendirilmesi pek mümkün değildir. Yeniden kristalleşme sıcaklığı yaklaşık 50°C 'de başlamakla birlikte, daha yüksek sıcaklıklarda kolayca kaba taneler oluşabilmektedir. 50°C altında şekil değiştirme işlemi uygulandığında genellikle yeni tane oluşmadan kristal toparlanması görülür. Çinko içindeki alaşım elementleri ve safsızlıklar ise çinko için yeniden kristalleşme sıcaklığını yükseltmektedirler. Bu nedenle ham çinkoda yeniden kristalleşme sıcaklığı saf çinkodakinden yüksektir (yaklaşık 100°C). Buradan şekil değiştirme için gerekli ısıl işlem sıcaklığıda ortaya çıkar. Saf çinkoda sıcak şekil değiştirme 20-50°C arasında

yapılırken, metalurjik çinkonun presleme öncesi 160-200°C sıcaklıklarına kadar ısıtılması gerekmektedir [22]. Döküm yapılarının homojenizasyonuna yönelik yapılan işlem, bilinen en önemli ticari amaçlı ısıl işlemlerden biridir. Döküm yapılarının mekanik bir proses öncesi hazırlanmasında ve son ürün olarak döküm halinde üretilen ürünlerde bu ısıl işlem uygulanır. Zaman ve sıcaklık parametreleri difüzyon hızına ve başlangıç yapılanma parametrelerine göre ayarlanmaktadır [23].

3.4.3. Ekstrüzyon

Sıcak Ekstrüzyon, ısıtılmış bir billetin basınç altında bir kalıp içinden akışıdır. Ekstrüzyon sıcaklığı malzemeye bağlı olarak değişir. Sıcak ekstrüzyon uzun mamül, çubuklar ve boruların üretiminde kullanılır, bu mamüllerin üretimleri soğuk ekstrüzyonla yapılamaz. Üç farklı tip ekstrüzyon vardır, bunlar yağsız ve yağlı sıcak ekstrüzyon ve hidrostatik sıcak ekstrüzyondur. Yağsız sıcak ekstrüzyonda, malzeme akışı iç sürtünmelerle gerçekleşirken, malzemenin şekillenmesi ekstrüzyonun ucundaki kalıp sayesinde olur. Yağlı sıcak ekstrüzyonda ise, isminden de anlaşılacağı gibi, uygun yağlayıcının (genellikle gres yağı) preslenecek billet ve kalıp ucu arasında kullanılmasıyla sağlanır. Buna karşılık hidrostatik ekstrüzyonda preslenecek billetle kalıp arasında sıvı bir film basınç uygulayarak billeti deforme eder. Hidrostatik ekstrüzyon birinci derecede klasik yağlı presin yetersiz kaldığı durumlarda örneğin özel alaşımların, kompozitlerin veya giydirilmiş malzemelerin ekstrüzyonunda ön plana çıkar. Çinko tel üretiminde kullanılan ekstrüzyon yöntemi yağlı sıcak ekstrüzyon yöntemidir. Gres ve cam yağlayıcıları arasındaki seçim ekstrüzyon sıcaklığı dikkate alınarak yapılmalıdır. Düşük sıcaklıklarda, yağlayıcı sadece sürtünmeyi düşürmek için kullanılır. 1000°C'nin üstündeki sıcaklıklarda ise, aşırı ısınma sebebiyle doğacak etkiyi engellemek için yapılan termal izolasyonla yağlayıcı etkisi aynı derecede önemlidir. Ekstrüzyon esnasında metal akışı, malzemeye, malzeme/cihaz arasındaki ara yüzey sürtünmesine ve kesitin şekline bağlı olarak değişir.

Çinko ve çinko alaşımları, yumuşak metal ekstrüzyonu sınıfında değerlendirilmektedirler. Bu alaşımlarda ekstrüzyon için gerekli basınç, kurşun, alüminyum ve magnezyum için gerekli olandan fazla fakat bunların dışında diğer metallere nazaran azdır. Preslenecek billet sıcaklığı 205-345°C arasında değişir. Uygulama sonucunda elde edilecek ürün rot, bar ve borulardır. Başarılı ve ekonomik bir sıcak ekstrüzyon için kritik parametreler, billet hazırlaması -ısıtılması, ekstrüzyon basınç miktarı ve hızının oranı ve kullanılan yağlayıcının çeşididir. Ekstrüzyon yöntemiyle şekillendirilecek metaller genel olarak 3,7-6 m arasındaki uzunluklarda

yada daha uzun boylarda silindirik şekilde kütükler halinde döküldükten sonra, preslenecek ürün boyuna ve kesit alanına bağlı olarak çeşitli uzunluklarda billetler halinde kesilirler. Ekstrüzyon öncesinde, preslenecek billetin ısıl işlem ile homojenize edilmesi sıcak ekstrüzyon için basılabilme özelliğini arttırmaktadır. Homojenizasyonda billetin çok ısıtılması billet yüzeyinde blisterleşmeye, yüzey çatlaklarına ve malzeme yapısının bozulmasına, az ısıtılması ise ekstrüzyonda sürtünmenin artmasına ve böylelikle gerekli ekstrüzyon basıncının artmasına ve kalıp çalışma ömrünün kısalmasına sebep olur.

Kompleks şekilli parçaların ve ince et kalınlığına sahip parçaların ekstrüzyonla üretiminde gerekli basıncın saptanması oldukça zordur. Formüller gerekli basıncın saptanabilmesi için şekil faktörü, sürtünme ve diğer etkili parametreler düşünülerek geliştirilmiştir. Ekstrüzyonla şekillendirilecek daha az kompleks yapılı parçalarda, basıncın hesaplanması (örneğin billet, boru vb.) aşağıdaki formüle göre mümkündür.

$$P = k \ln (A/a) \qquad (3.1)$$

P: Ekstrüzyon basıncı,

k: deformasyona karşı direnç

A: Kovanın alanı

a: Ekstrüze edilmiş ürünün toplam alanı

3.1 no'lu formüle göre hesaplanan değer gerekli ekstrüzyon basıncıdır. Birim basınç genel olarak, 450 ila 760 MPa değerleri arasında değişmektedir. Ekstrüzyon presinin çalışma parametresini etkileyen diğer bir önemli parametre de yağlamadır. Yağlayıcılar, çalışma sıcaklıklarına göre iki grupta (1000°C çalışma sıcaklığının altında ve üstünde olmak üzere) sınıflandırılabilmektedirler [24]. Homojen olmayan şekil değişiminde takozun merkezinde çevreden daha hızlı metal akışı olur. Ürünün bir ucundan diğer ucuna ve kesitinde yapı ve mekanik özellik değişimlerine neden olur. Sıcak ekstrüzyonda pres hızının çok yüksek olması, malzemede büyük sıcaklık artışına sebep olup, sıcak yırtılma ile ekstrüzyon ürününde çevresel yüzey çatlaklarına yol açar [25].

3.4.4. Tel Çekme

Tel çekme prosesi, çubuk yada barın bir kalıp (matriks) içerisinden çekilerek şeklinin yada çap ölçüsünün küçültülmesi işlemidir. Tel çekme işleminde plastik şekil değişimi kalıbın malzemeye uyguladığı basma kuvvetleri ile sağlanır. Bu proses, en eski metal şekillendirme proseslerinden biridir ve üretim sonunda düzgün bir yüzey

ve istenilen çapta uzun mamüllerin sabit olarak üretilmesini sağlar. Demir dışı malzemelerde tel çekme işleminin hammaddesi olan çubuklar genellikle ekstrüzyon ile üretilir. Büyük deformasyon oranlarının uygulanabilmesi için malzeme sünek olmalıdır. Tel çekmede, bu prosesten önce haddelenmiş, ekstrüzyonla preslenmiş ürün boşluklu bir kalıptan (mandrel ile boru üretimi için) yada normal bir kalıptan, yaklaşık olarak dakikada binlerce santimetrelik hızla çekilerek tel yada tüp üretilebilir. Kalıp geometrisi üretilen ürünün son şeklini, yada telin son çap ölçüsünü belirlemektedir. Tel çekme genellikle oda sıcaklığında, birkaç kalıbın ard arda kullanılmasıyla gerçekleştirilir [26]. Tel çekme işleminde telin matrisden kolay geçmesi ve matrisi aşındırmaması için kullanılan yağlayıcının tipine göre çekme işlemi “kuru çekme” ve “yaş çekme” olarak isimlendirilir [25]. Tel üretildikten sonra istenen mekanik özelliklere göre gereken ısıl işlemler uygulanabilir. Tel çekme işleminde plastik şekil değişiminin homojen olmaması hatalara (sünekliği az olan malzemelerde ok ucu tipindeki iç çatlaklar) sebep olur.[27]

4.ÇİNKO TEL ÜRETİMİNDE KARŞILAŞILAN ZORLUKLAR

Termal püskürtme uygulamalarında metal püskürtme aparatlarının kolaylıkla taşınabilmesi açısından çinko telleri, kolaylıkla bükülebilir ve bir bobin şeklinde sarılabilecek derecede sünek olmalıdır. Genellikle % 99,99 saflıkta ISO 752' ye uygun bileşimde ve 1,6-5 mm arasında değişen çaplardaki metalizasyon telleri püskürtme kaplamalarında kullanılır. Ergitme işleminde kimyasal bileşimde standardizasyonun sağlanması ve döküm sıcaklığı billet dökümünde birinci derecede etkili faktörlerdir. Homojenizasyon ısıl işleminde ise sıcaklık ve süre etkili parametreler olarak karşımıza çıkmaktadır. Tellerin uygulama esnasında uygun mekanik davranışları göstermesi başlangıç koşulları ile ilgilidir. 3. adımda yani ekstrüzyon işleminde deformasyon oranı ve hızı, sıcaklık ve ekstrüzyon basıncı etkili parametreler olarak literatüre uygun olarak tanımlanmaktadır. Homojen olmayan şekil değiştirmeler, sıcak yırtılmalar, ikincil çekme gerilmelerinin neden olduğu iç çatlaklar ve uygulamaya bağlı olarak (yeniden kristallşeme tavlaması ile) yüzeyde iri taneli yapının oluşması hatalar arasında sayılabilir [7,17]. Kübik latislere sahip bir metalin geleneksel sistemlerle haddelenmesi çeşitli konfigürasyonlara sahip oval kalibrasyonlu merdanelerin kullanımıyla olur. Çinko anizotropik bir metal olduğu için, kübik metallere uygulanan geleneksel haddeleme sistemlerinin kullanımıyla sünek çinko tel elde etmek mümkün değildir. Sünek çinko tellerinin uygun boyutta, dairesel, kaliteli ve yüzeylerinde yapraklanma izleri olmadan elde edebilmek için özel hadde sistemlerinin kullanılması gereklidir[8]. Tel çekme işleminde karşılaşılan başlıca sorunlar , iç çatlaklar (tel çekmede matris açısı ve (h/L) oranının büyük olması ile birlikte deformasyonun homojen olmaması durumunda ok ucu şeklinde iç çatlaklar oluşması), iç yapı hataları (boşluklar ve kalıntılar en bilinen iç yapı kusurlarıdır tel kopması, çekilen telin bazı yerlerde kesidinin küçük olması (çekme işleminde bazı bölgelerde ürünün boyun vermesi veya çıkan ürünün çekme kuvveti ile boyunun homojen uzaması), ve tel kısalığı karşılaşılan zorluklardır [25,26].

5. KONUYLA İLGİLİ OLARAK DAHA ÖNCE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Ekstrüzyonla metalizasyon telleri üretimi uzun zamandan beri bilinen ve kullanılan bir yöntem olmasına rağmen yayınlanmış bilgi eksikliği dikkat çekicidir. Üretim tekniği olarak “dikey döküm” yöntemi de son yıllarda kullanım bulmuştur. Alaşımlandırma ve alaşımlı tellerin (Zn-Al) metalizasyonda kullanımı ile ilgili çalışmalar giderek önem kazanmaktadır.

Termal püskürtme yöntemiyle gerçekleştirilen kaplamalarda kullanılan sünek çinko telin üretilmesi üzerine son yıllarda yapılmış temel dört çalışma vardır. Bunlardan bir tanesi 1996 yılında Chang-Shu Chen tarafından alınmış olan bir patenttir. Bu patentte ekstrüzyon yöntemiyle sünek çinko tel üretiminde üretim parametreleri ve üretim akışı hakkında bilgiler verilmiştir. Bu çalışmada üretimin en önemli adımlarından olan homojenizasyon ısıl işlemi ve sıcak haddeleme adımları belirlenmiş, ısıl işlem sıcaklığı 250 - 310°C ve en uygun sıcak haddeleme sıcaklığı ise 150°C olarak belirtilmiştir[7].

2000 yılında L.M. Zheleznyak, D.L. Populovskikh ve B.E. Khaikin adlı araştırmacılarca yayınlanmış makalede ise ekstrüzyon yönteminden farklı olarak yatay döküm tekerleğinde sürekli döküm ve haddeleme yöntemi incelenmiş ve bu yöntemde belirlenmiş üretim parametreleri ve hadde konfigürasyonları hakkında ayrıntılı bilgi verilmiştir. Bu çalışmada elde edilen çinko kokillere uygulanan hadde sıcaklığı 150°C’dir ve kullanılan hadde konfigürasyonu geleneksel çelik bakır ve benzeri kübük yapılı metallerin hadde konfigürasyonundan farklı ve çinkoya özel bir haddeleme işlemidir[8].

Solas, D.E., Tome, C.N., Engler, O., Wenk, H.R,. adlı araştırmacılarca 2001 yılında yayınlanmış bir makalede, hekzagonal metallerin rekristalizasyon ve deformasyonları üzerine bir modelleme yapılmış, bu modelleme sonuçları çinko için uygulanmıştır. Bu çalışmada polikristalli çinkonun kristalografik tekstüründe deformasyon nedeniyle oluşmuş değişimler incelenmiş ve modeller üzerinde statik kristalizasyonun kinetiği simüle edilmiştir [27].

G. A. Marinin ve arkadaşlarının 2000 yılında yayınlanmış çalışmasında yüksek derecede plastik deformasyona uğratılmış çinkonun tavlanması sırasındaki yoğunluk değişimleri incelenmiştir. Bu çalışmada önce hidrostatik ekstüzyon sonra tel

çekmeyle %99,5 oranında boyutsal redüksiyona uğratılmış %99,95 saflığındaki çinko telin 20 – 250°C sıcaklık aralığında tavlanarak yoğunluk değişimleri tespit edilmiştir. Bu çalışma sonucunda 150°C'de deforme edilmiş çinko telin hacminin arttığı ve buna bağlı olarak yoğunluğunun azaldığı belirlenmiştir [28].

1996 yılında yapılmış ve patenti alınmış yöntemde, ekstrüzyon yolu ile sünek çinko tel üretim koşulları incelenmiştir. 2000 yılında yayınlanmış makalede ise sünek çinko tel üretiminin sürekli döküm yöntemiyle gerçekleştirildiği tespit edilmiştir. Her iki yöntemle de üretim yapmak mümkünken, sürekli döküm yöntemi son yıllarda tercih edilen proses olmuştur.

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Literatürde sünek çinko tel üretimine ait genel üretim yöntemleri incelendiğinde, ekstrüzyon yöntemi ve sürekli döküm yönteminin ön plana çıktığı tespit edilmiştir. Bu deneysel çalışma ile, termal püskürtmeye uygun sünek çinko tellerin ekstrüzyon öncesi döküm ve ısıl işlem şartlarının optimizasyonu incelenmiştir.

6.1. Deney Numunesinin Tanımlanması (Zn Kütük)

Deneysel çalışmalarda billet dökümünde kullanılan külçe çinko yurtiçinden temin edilmiş olup, kimyasal bileşimi Tablo 6.1'de verilmiştir.

Tablo 6.1. Zn külçe kimyasal bileşimi

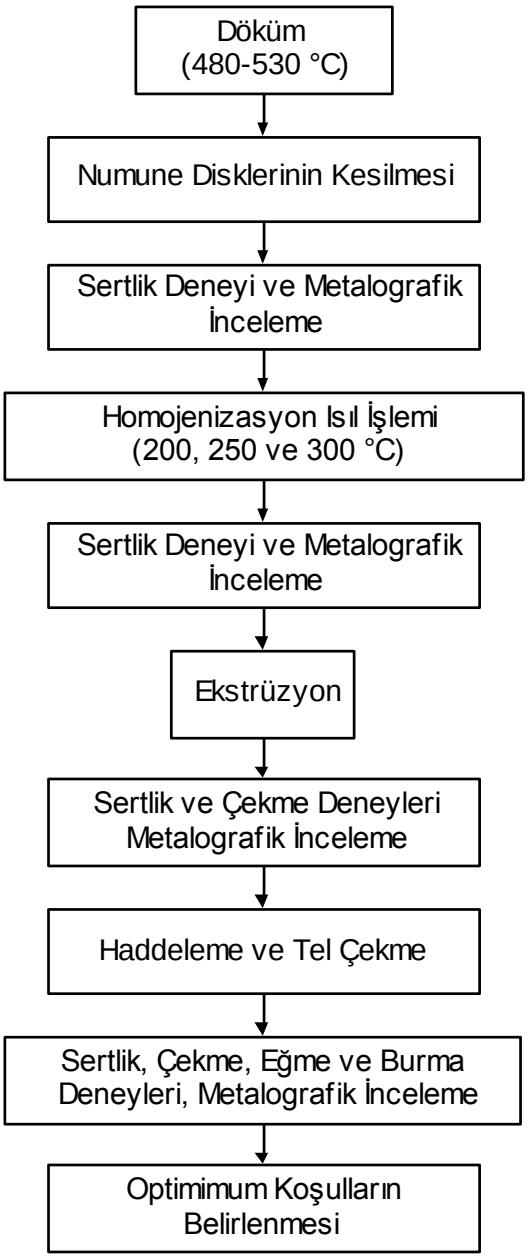
Element	Ağırlıkça Bileşim [%]
Zn	99,99
Fe	0,0026
Cu	0,0005
Pb	0,0029
Cd	0,0002
Diğer	0,0038

6.2. Kullanılan Malzeme ve Cihazlar

Deneysel çalışmaların başlangıç hammaddesi olan külçe çinko, grafit potalı ve direnç ısıtmalı fırında 480-530 °C sıcaklığında örtücü curuf altında ergitme işlemine tabii tutulmuştur. Ergitme işlemini takiben billet dökümü (çap: 3,5 cm ve boy: 15 cm) havaya açık koşullarda grafit kalıplara yapılmıştır. Döküm sonrası billetlerden alınan disk numunelerin sertliği Wolpert marka sertlik cihazında belirlenmiştir. Aynı diskler farklı sıcaklıklarda indirekt ısıtmalı bir fırında (Elektromag) homojenizasyon ısıl işlemine tabi tutulmuştur. Döküm ve homojenizasyon işlemi sonucunda numuneler hem çıplak gözle hemde metalografik incelemeye (Zeiss marka) tabii tutulmuştur. Tespit edilen optimum koşullarda gerçekleştirilen ekstrüzyon işlemi (Alpa marka 450 t'luk ekstrüzyon presi) sonrası çekme deneyleri (Devotrans) ve eğme deneyleri yapılmıştır. Külçe ve billetlere ait kimyasal bileşim analizleri ICP (Jobin Yvon JY-138 Ultrace marka) cihazında gerçekleştirilmiştir.

6.3. Deneylerin Yapılışı

Bu tez çalımasında gerçekleştirilen deneysel çalışmalar, aşağıdaki akım şemasında özetlenmiştir (Şekil 6.1).



Şekil 6.1. Deneysel çalışmalarda izlenen akım şeması

6.3.1. Döküm ve Numunelerin Hazırlanması

Külçe çinko, 480-530 °C sıcak aralığında örtücü curuf altında ergitme işlemine tabii tutulmuştur. Ergitme işlemini takiben billet dökümü (çap: 3,5 cm ve boy: 15 cm) havaya açık koşullarda soğuk grafit kalıplara yapılmıştır. Dökülen kütüklerin dip ve tepe kısımlarından, metalin ısınmasına imkan verilmeden torna cihazıyla yaklaşık 1,5 cm. kalınlığında disk numuneler kesilmiştir.

6.3.2. Sertlik Deneyi

Yapılan literatür araştırması sonucu sertlik deneylerinin büyük bir çoğunluğunun Vickers Sertlik deneyiyle yapıldığı belirlenmiştir. Sertlik deneyleri öncesinde disk numuneleri metalografik olarak yüzey parlatma işlemine tabi tutulmuştur. Bunu takiben 5 kg.'lık yük altında sertlik ölçüm deneyleri yapılmıştır.

6.3.3. Metalografik İnceleme

Metalografik inceleme deneyleri hem döküm işleminde sonra elde edilen disk numunelerde, hem de homojenizasyon ısıl işlemine maruz bırakılmış disk numunlerde iki farklı seri halinde yapılmıştır. Numuneler uygun dağlama reaktifleri kullanılarak dağlandıktan sonra mikroyapıları incelenmiştir. Dağlama işleminde kullanılan reaktifler aşağıdaki gibidir;

- 40 g. CrO_3, 3 g. Na_2SO_4, 200 ml. Su
- 100 ml. Su, 1-5 ml. HCl [29]
- 95 ml. Etanol, 5 ml. HNO_3 [30]

6.3.4. Homojenizasyon Isıl İşlemi

Deney numuneleri farklı sıcaklıklara (200, 250, ve 300 °C) ısıtılan tav fırınında 30 ve 45 dakika süre ile homojenizasyon ısıl işlemine tabi tutulmuştur. Deneyler sonucunda numunelerin sertlikleri ve mikroyapı görüntüleri tekrar incelenmiştir.

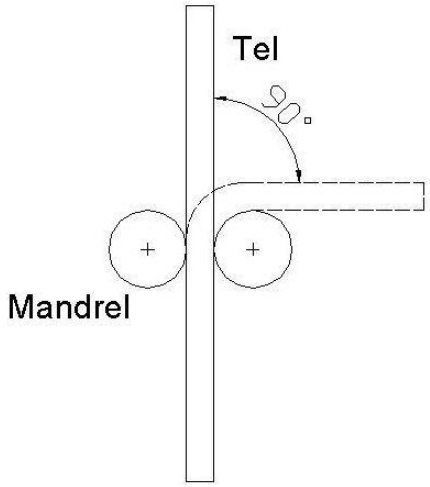
6.3.5. Ektrüzyon ve Çekme Deneyleri

Elde edilen deney sonuçlarından yararlanılarak optimum ısıl işlem parametreleri (sıcaklık ve zaman) belirlenmiştir. Bu koşullarda hazırlanan kütükler ektrüzyon öncesi yaklaşık 200°C'ye ısıtılarak 200 atm basınç altında preslenmiştir. Ekstrüzyon sonucu elde edilen filmaşinlerin mekanik özellikleri çekme deneyi ile tespit edilmiştir.Ayrıca sertlikleri tespit edilerek mikroyapıları incelenmiştir.

6.3.6. Haddeleme-Tel Çekme, Eğme, Burma ve Çekme Deneyleri

Ekstrüzyon sonrası elde edilen filmaşinler 150°C'de sıcak hadde ile haddelenerek %20 redüksiyona uğratılmışlardır. Haddeleme sonrası teller %7 redüksiyonla tel çekme işlemine tabi tutulmuştur. Uygulanacak hadde sıcaklığı literatürden tespit edilmiştir. Haddeleme ve tel çekme sonrası elde edilen tellere çekme ve eğme deneyleri uygulanarak mikroyapıları incelenmiştir. Ayrıca tellerin sertlik değerleri tespit edilmiştir.

Eğme deneyleri literatürden tespit edilen standart koşulların uyarlanmasıyla Şekil 6.2'de gösterildiği gibi gerçekleştirilmiştir [31]. Burma deneyleri 35 cm uzunluğunda tel numunelerin 1 devir/saniye hızla çevrilmesiyle gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.2. Eğme deneylerinin şematik gösterilişi [31]

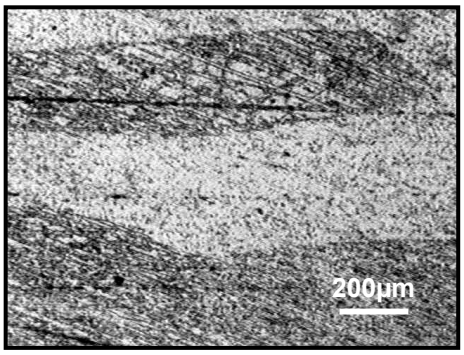
7. DENEY SONUÇLARI VE İRDELEMELER

7.1. Sertlik Deneyi Sonuçları

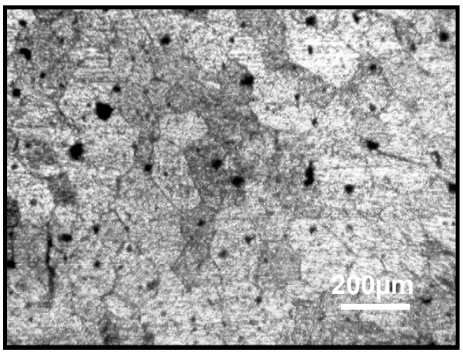
Tel taslağı olarak dökülmüş bir kütükten kesilen disk numunelerinin rekristalizasyon(tane boyutunun homojenizasyonu) ısıl işlemi öncesi tespit edilmiş ortalama sertlik değerleri Tablo 7.1'de verilmiştir. Bu numunelere ait mikroyapı fotoğrafları Şekil 7.1'de gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar, mikroyapı fotoğrafları göz önünde bulundurularak incelendiğinde, büyük tanelerden oluşan tepe diskinin daha sert, küçük tanelerden oluşan dip diskinin ise daha yumuşak olduğu görülmektedir. Döküm yapılırken soğuk kalıpla temas eden sıvı metalin ilk katılaştığı kısım dip bölgesi olmakta ve buradan yukarıya doğru katılaşma hızında bir azalma olmaktadır. Dolayısıyla kalıbın en alt kısmında hızlı katılaşma sonucu ince taneler, üst kısmındaysa yavaş katılaşma sonucu nispeten büyük ve kolonsal yapılı taneler oluşmaktadır. Bu nedenle kütüklerin tepe kısmından alınan numunelerin sertliği daha yüksek olmaktadır [28].

Tablo 7.1 Disk numunelerin sertlik değerleri

Numune	Ortalama Sertlik [Hv]
Tepe	38,7
Dip	35,1



Şekil 7.1a Tepe(X50)



Şekil 7.1b Dip(X50)

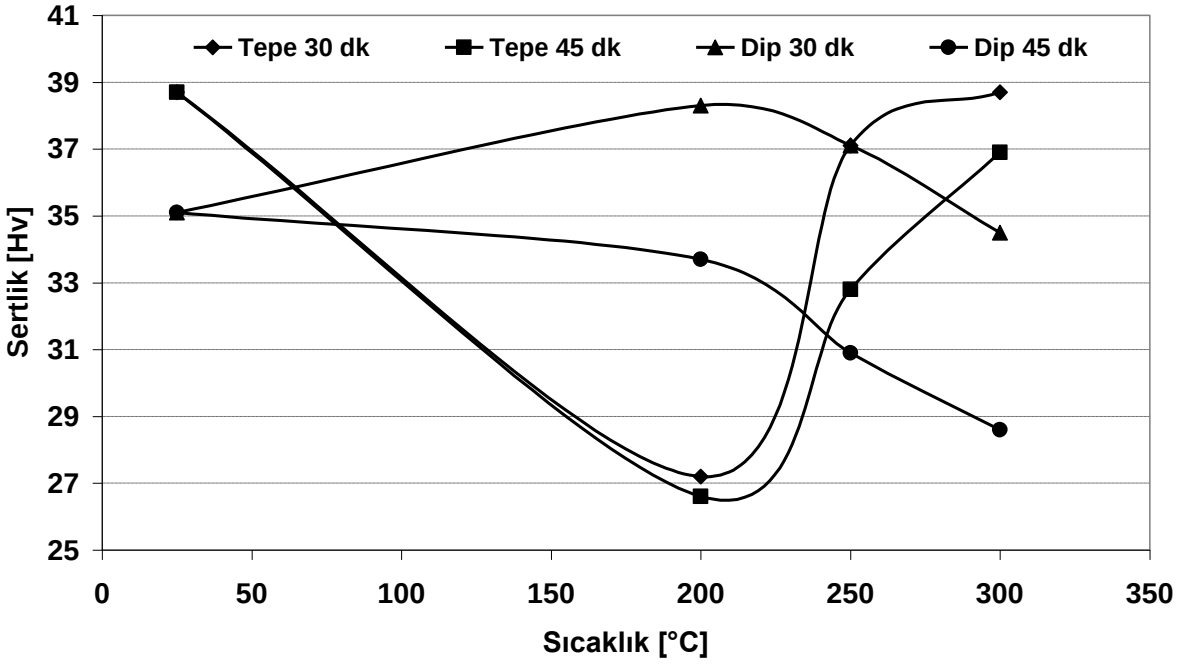
Şekil 7.1 Tepe ve dip numunelerinin mikroyapı görüntüleri

7.2. Homojenizasyon Isıl İşlemi Deneyi Sonuçları

Gerçekleştirilen ısıl işlem sonucu numunelerde ölçülen ortalama sertlik değerleri Tablo 7.2' de, bu değerlerin ve ilk sertlik değerlerinin sıcaklığa bağlı olarak değişimi ise Şekil 7.2'de verilmiştir.

Tablo 7.2 Homojenizasyon Isıl İşlemi Sonrası Ölçülen Sertlik Değerleri

		Isıl İşlem Sıcaklığı [°C]		
		200	250	300
Numune	**Isıl İşlem Süresi [dk]**	**Sertlik Değerleri [Hv]**		
Tepe	30	27,2	37,1	38,7
Tepe	45	26,6	32,8	36,9
Dip	30	38,3	37,1	34,5
Dip	45	33,7	30,9	28,6

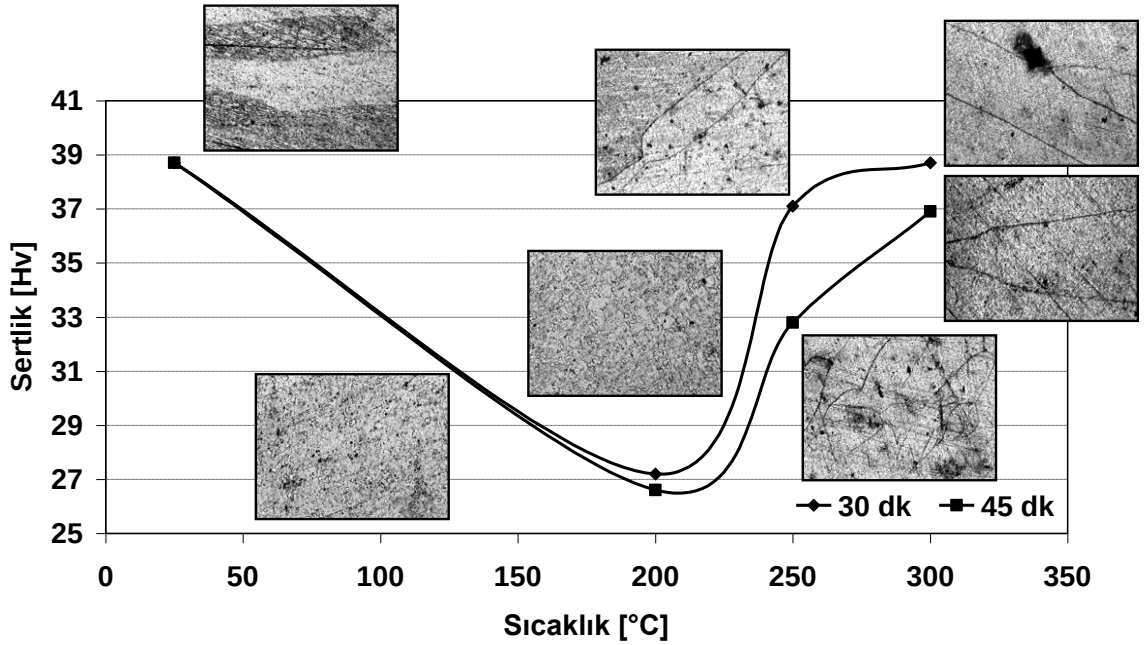


Şekil 7.2 Homojenizasyon ısıl işlemi sonrası ölçülen sertlik değerlerinin sıcaklıkla değişimi

Çinko kütüklerin en alt kısmından ve en üst kısmından alınan numunelerin homojenizasyon ısıl işlemi uygulandıktan sonra alınan sertlik sonuçlarından çıkarılabilecek sonuçlar şunlardır.

Üç farklı sıcaklıkta ve iki ayrı zamanda gerçekleştirilen ısıl işlemler sonucunda, tepe numunelerinin sertlik değerleri 200°C ve 30-45 dakika içerisinde yaklaşık 10 Hv

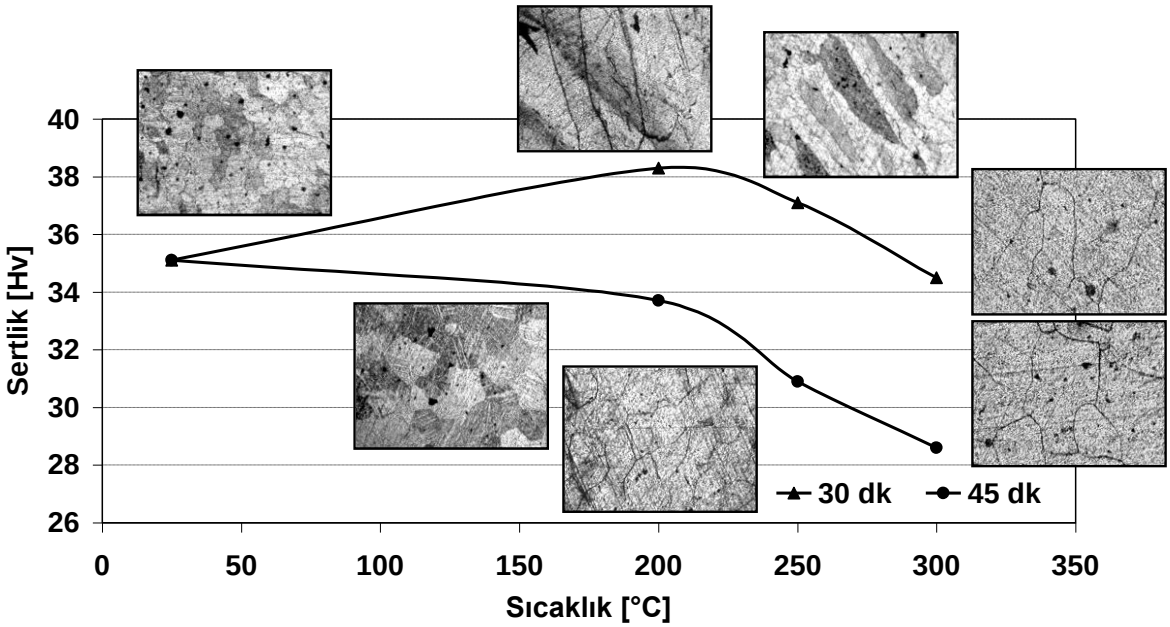
azalmaktadır. Tepe kısımdaki diskler iri taneli yapıya sahip oldukları için ısıl işleme hemen sertlik düşüşüyle cevap vermektedir(Bknz. Şekil 7.3.). Bunun nedeni olarak iri taneli yapılarda tane yüzey alanı az olduğu için düşük ısı enerjisiyle dahi değişime uğrayarak yeni tanelerin oluşması gösterilmektedir. 250 ve 300°C'lerde gerçekleştirilen ısıl işlem sonucunda 30 ve 45 dk.'larda sertlik değerleri artmakta, 300°C'de numunenin ilk sertlik değerlerine yaklaştığı görülmektedir. 200°C 'nin üzerinde tane boyutu hızla büyümekte ve kolonsal tek kristaller oluşmaya başlamaktadır. Bu nedenle oluşan aşırı iri taneli mikroyapı çinkonun daha da sertleşmesine neden olmaktadır [28].



Şekil 7.3 Tepe numunelerinin homojenizasyon ısıl işlemi sonrası ölçülen sertlik değerlerinin ve mikroyapılarının sıcaklıkla değişimi.

Dip kısımdaki numunelerin sertlik değişimleri tepe numunelerden farklılık göstermektedir. 200°C 'de 30 dakikada gerçekleştirilen ısıl işlemde sertlik değeri artmakta, 250 ve 300°C' de ise giderek düşmektedir. Şekil 7.4.'de görüldüğü gibi sertliğin yükselmesininin nedeni olarak artan sıcaklıkla ince taneli yapının kolonsal yapıya dönüşme eğilimi gösterilmektedir [28]. 45 dakikada gerçekleştirilen ısıl işlemde ise 200°C' de numune ilk sertlik değerinden daha da yumuşamakta ve artan sıcaklıkla birlikte bu yumuşama devam etmektedir. Özellikle dip numunelerde döküm sırasında aşırı soğuma nedeniyle oluşan iç gerilmeler ancak yüksek sıcaklıklarda ve uzun sürede giderilebilmekte ve malzemenin sertliği düşmektedir [7]. Dip numuneleri, hızlı katılaşma sonucu ince taneli yapıya sahip olduklarından ve tanelerin yüzey alanı çok daha fazla olduğundan absorbe edecekleri ısı enerjisi

oldukça fazladır. Böylece büyük tanelerin oluşması için daha fazla ısı enerjisine gerek duyulmaktadır. Bu nedenle küçük taneli dip numuneleri, ısıl işleme büyük taneli tepe numuneleri gibi çabuk tepki göstermemektedir.



Şekil 7.4 Dip numunelerinin homojenizasyon ısıl işlemi sonrası ölçülen sertlik değerlerinin ve mikroyapılarının sıcaklıkla değişimi.

Isıl işlem sonuçları incelendiğinde döküm koşullarının (döküm sıcaklığı, kalıp sıcaklığı ve kalıbın ısıl iletkenliği), malzemenin içyapısının belirlenmesinde önemli rol oynadığı görülmektedir. Oluşan içyapı kristalizasyon ısıl işlemini de doğrudan etkilemekte, hızlı katılaşma ve yavaş katılaşma gösteren malzemenin ısıl işleme tamamen farklı tepki gösterdiği görülmektedir. Bu nedenle elde edilen sertlik ve mikroyapı görüntülerinde hareketle tek bir ısıl işlem sıcaklığı ve süresi belirlemek oldukça güçtür.

Ayrıca döküm işlemi sırasında homojen bir içyapı elde edilmesi oldukça önemlidir. Homojen bir içyapı, katılaşma sırasında kalıp içerisinde malzemenin mümkün olduğu kadar eşzamanlı soğumasıyla sağlanabilir.

7.3. Çekme, Eğme ve Burma Deneyi Sonuçları

Rekristalizasyon ısıl işlemi deneylerinin sonuçları dikkate alındığında tepe ve dip numunelerinin sertlik değerleri ve mikroyapı görüntüleri arasında görülen farkın, ektrüzyon ve haddeleme işlemleri sırasında nasıl davranacağını incelemek amacıyla ektrüzyona tabi tutulacak kütüklere ait dip ve tepe numuneleri, 190°C – 30 dk. ve

300°C – 60 dk. koşullarda ısıl işleme tabi tutulmuştur. Bu ısıl işlem koşulları, tepe ve dip numuneleri arasında gerek sertlik, gerekse de mikroyapı açısında en büyük farklılıkların olduğu değerlerdir. Numuneler, ısıl işlemi takiben aynı ısıl işlem sıcaklıklarında ve 200 atm. basınç altında preslenerek 6 mm çapında filmaşinler elde edilmiştir. Ektrüzyondan çıkan filmaşinler, %20 redüksiyona uğratılarak 150°C'de haddelenmişlerdir. Filmaşinlerin sıcak haddesinde uygulanacak sıcaklığın belirlenmesinde en önemli etken sünekliğin 100-150°C'de önemli derecede artmasıdır. Dolayısıyla bu sıcaklık plastik deformasyonun en kolay yapılabileceği sıcaklıktır Çinkonun şekillendirilmesinde rol oynayan en önemli iki mekanizma ikizlenme ve kayma deformasyon mekanizmalarıdır. Soğuk deformasyonlu haddede çinko filmaşin tel haline getirilirken iri kolonsal tanelerin deformasyonu esnasında geçerli olan mekanizma ikizlenmedir. İkizlenme için gerekli deformasyon enerjisi daha fazla olduğundan ve ikizlenme oluştukça yeni şekil değişimleride giderek daha fazla ikizlenme mekanizmasıyla oluşacağından, iç gerilmeler ve yeniden kristalleşme deformasyonuyla artan taneler soğuk deformasyonla haddelenen çinkoyu aşırı derecede sert ve kırılgan yapmaktadır. Diğer yandan sıcak hadde sırasında deformasyon mekanizması ikizlenme yerine kayma deformasyonudur. Kayma deformasyonu ile taneler belirli bir yönde dizilmekte ve çinkonun doğal anizotropik yapısını izotropik hale dönüştürmektedir. Böylece haddelenen üründe iç gerilmeler ve kırılmalar engellenmektedir. [7-9].

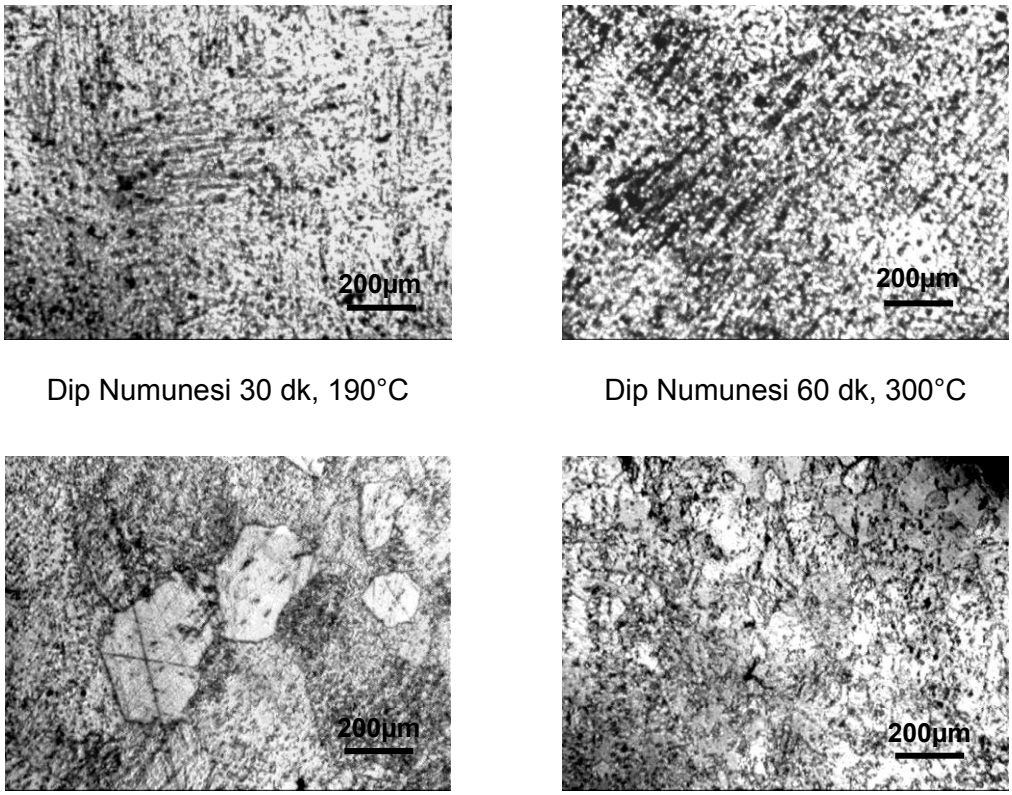
Ektrüzyon sonrası elde edilen filmaşinden numune alınarak mikroyapısı ve sertlik değerleri incelenmiştir. Sıcak hadde sonrası ise elde edilen telden alınan numunelere çekme ve eğme testleri uygulanmış, mikroyapı ve sertlik değerleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 7.3 ve 7.4'te verilmiştir.

Tablo 7.3 Filmaşin numunelere ait sertlik deneyi sonuçları

Numune	Isıl İşlem Koşulları	Ortalama Sertlik [Hv]
Dip	30 dk, 190°C	35,9
Tepe		30,9
Dip	60 dk, 300°C	35,6
Tepe		33,0

Filmaşin numunelerin sertlik değerleri incelendiğinde tepe numunelerinin dip numunelerden daha az sertliğe sahip oldukları ancak aralarında çok büyük bir fark olmadığı görülmektedir. Şekil 7.5'te filmaşin numunelere ait mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Elde edilen sonuçlar mikroyapı görüntüleri göz önünde bulundurularak incelendiğinde yüksek sıcaklıkta ve uzun sürede ısıl işlem görmüş dip ve tepe

numunelerin (60 dk., 300°C) sertlik değerlerinin ektrüzyon sonrası fazla değişmediği görülmektedir. 30 dk ve 190°C'de ısıl işlem görmüş numunelerde ise, zaten ince tane yapılı dip numunesi ektrüzyon sonrasında deformasyon nedeniyle daha da sertleşmiştir. Fakat ısıl işlem sonrası kolonsal tanelerden oluşan dip numunesi (Bknz. Şekil 7.2) ektrüzyon sonrası bu kolonsal tanelerin kısmen tahrip olarak sert yapısını devam ettirmektedir. Tepe numunesi ise ekstrüzyon sonrası deformasyon nedeniyle sertleşmekte ancak dip numunesinden yumuşaktır. Buradan çıkarılabilcek en önemli sonuçlardan birisi de dökümden sonra oluşan mikro yapının ve ısıl işleme tepki olarak gösterdiği değişikliğin (özellikle düşük sıcaklık ve sürede) ektrüzyon işleminden sonra da önemli bir değişime uğramadan devam etmesidir.



Dip Numunesi 30 dk, 190°C | Dip Numunesi 60 dk, 300°C

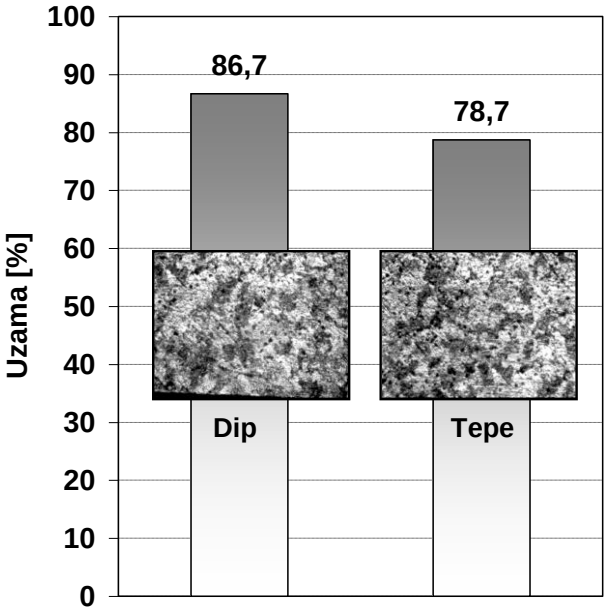
Tepe Numunesi 30 dk, 190°C | Tepe Numunesi 60 dk, 300°C

Şekil 7.5 Filmaşin numunelere ait mikroyapı görüntüleri (X50)

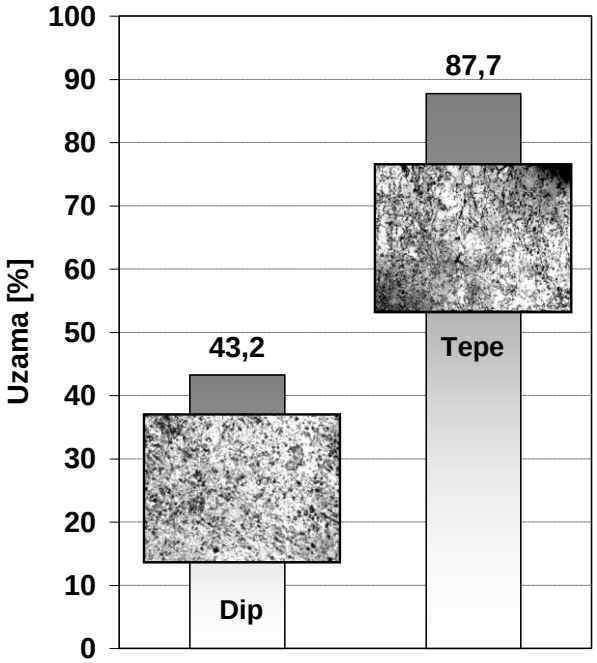
Tablo 7.4 Tel numunelere ait çekme, eğme ve burma deneyi sonuçları

Numune	Isıl İşlem Koşulları	% Uzama	Maksimum Gerilme Mukavemeti [kg/mm^2]	Burma Deneyi	Eğme [90°]
Dip	30 dk, 190°C	86,7	9,3	33	10 kez
Tepe		78,7	9,8	35	8 kez
Dip	60 dk, 300°C	43,2	9,7	15	4 kez
Tepe		87,7	9,7	26	14 kez

Tel numunelere ait % uzama değerleri mikroyapı resimleriyle birlikte Şekil 7.6. ve 7.7.‘de verilmiştir.



Şekil 7.6 30 dakika ve 190°C’de ısıl işlem görmüş tepe ve dip numunelerinin % uzama değerleri ve mikroyapı görüntüleri (X50)



Şekil 7.7 60 dakika ve 300°C’de ısıl işlem görmüş tepe ve dip numunelerinin % uzama değerleri ve mikroyapı görüntüleri (X50)

Şekil 7.6. incelendiğinde, tepe ve dip numunelerinin % uzama değerleri arasında az bir fark olduğu ve mikroyapılarının birbirine benzer olduğu görülmektedir. Bu ısıl işlem koşullarında (30 dk.–190°C) tepe ve dip numuneleri arasında uyugulanan ısıl işlemin başarılı olduğu görülmektedir. Şekil 7.7.'de ise tepe ve dip numunelerinin % uzama değerleri arasında büyük bir fark bulunmaktadır. Mikroyapıları arasında ise kısmen bir fark görülmektedir. Bu koşullarda yapılmış ısıl işlemin (60 dk.- 300°C) tepe ve dip numuneleri arasında homojen özellikleri sağlayamadığı anlaşılmaktadır.

Eğme ve burma deneylerinin sonuçları incelendiğinde, değerlerin, % uzama değerlerinin ısıl işlem koşullarına bağlı olarak gösterdiği değişime paralel olduğu anlaşılmaktadır. En iyi % uzama ve en iyi eğme-burma sonuçlarını veren numunenin 60 dk – 300°C'de ısıl işlem görmüş tepe numunesi olmasına rağmen aynı şartlarda dip numunesi oldukça kötü sonuç vermiştir. Bütün bunlar göz önünde bulundurulduğunda homojenizasyon ısıl işleminin başarıya ulaştığı koşullar 190°C sıcaklık ve 30 dakika olarak tespit edilmiştir.

Ticari olarak üretilmiş bir çinko tele ait deneysel veriler Tablo 7.5'te verilmiştir. Optimum koşul olarak kabul edilen şartlarda elde edilen tel numunelerinin % uzama ve eğme deneyleri sonuçları ticari tele ait sonuçlarla karşılaştırıldığında ticari tellerin daha sünek yapıda oldukları anlaşılmaktadır. Şekil 7.8. ve 7.9.'da ticari ve deneysel çalışmalar sonucunda elde edilmiş tellere ait mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Görüntüler incelendiğinde ticari teldeki tanelerin dağılımı eş eksenli ve homojendir . Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen telde ise ticari tele oranla daha heterojen ve bazı tanelerin ortalama tane büyüklüğüne uymadıkları, beklenenden daha da küçük yapıda oldukları görülmektedir. Tane boyutunun küçülmesi malzemenin mukavemeti arttırmaktadır. Tane boyutunun küçültmesi ile malzemenin mukavemetinin artmasının nedeni tane sınırlarının kaymayı önlemesidir. Tane sınırlarının hareket halindeki dislokasyonların hareketini engellemesi nedeniyle bir tane içinde meydana gelen kayma bandı tane sınırlarında durur. Dislakasyonlar tane sınırı engeli ile karşılaştığında hareket edemez ve bunun sonucu tane sınırlarında dislokasyon yığılmaları olur.

Deformasyon sırasında taneler arasında uyum sağlamak, yani bir tanedeki şekil değişimine zorlanması, her tane içinde kompleks deformasyon gerilimleri doğurur. Dolayısıyla çok kristalli malzemelerde kısa sürede çok sayıda kayma sisteminin ortaya çıkışı tane sınırlarının etkisiyle olmaktadır. Bu sebeplerle çok kristalli bir malzeme, aynı malzemenin tek kristalinden genellikle daha yüksek mukavemete sahiptir.

Malzemenin mukavemeti ve tane boyutu ile akma gerilmesi arasında aşağıdaki bağıntıda gösterildiği gibi bir ilişki vardır.

$$\sigma_a = \sigma_i + K\, D^{-1/2} \qquad (7.1)$$

Bu bağıntı Hall-Petch denklemi olarak bilinir. Burada;

σ_a : Akma gerilmesi,

σ_i : Sürtünme gerilmesi,

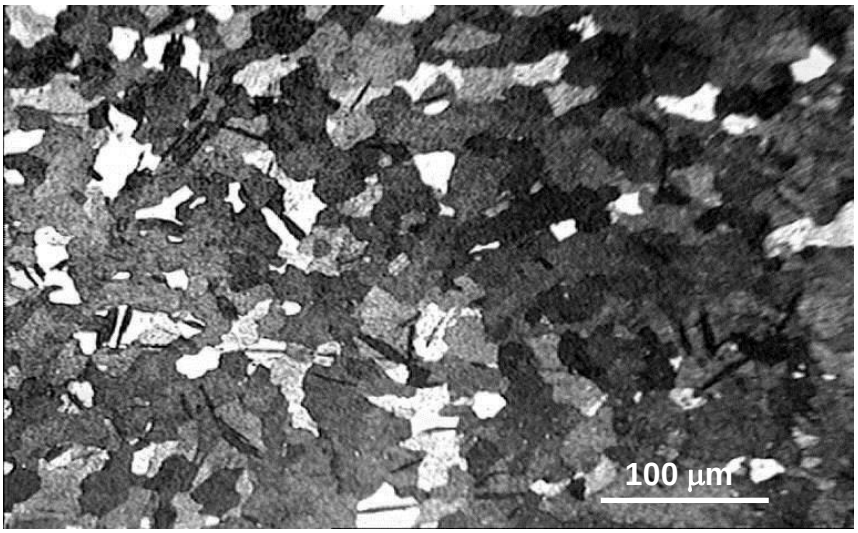
K : Sabit,

D : Tane boyutudur [25].

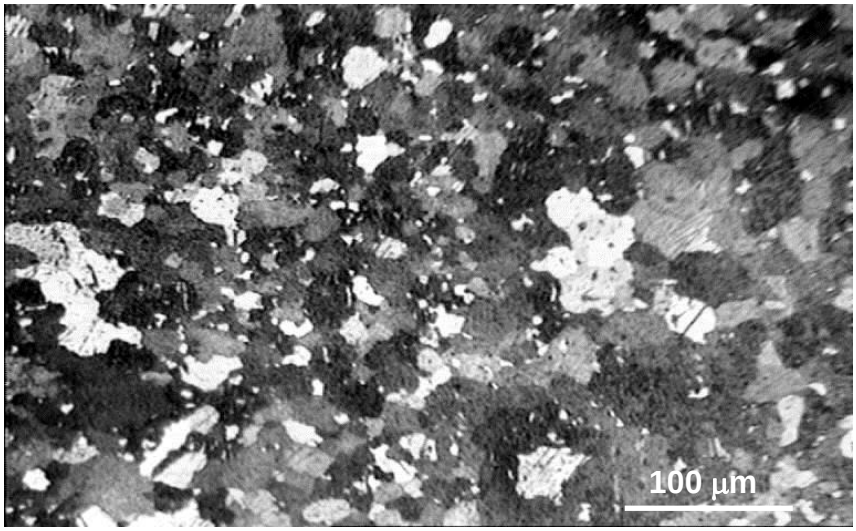
Bağıntıdan da görüldüğü gibi tane boyutunun büyümesiyle akma mukavemeti azalmakta dolayısıyla ince taneler telin mekanik özelliklerini (% uzama, eğme) bozmakta ve gevrek olmasına neden olmaktadır.

Tablo 7.5 Ticari tele ve optimum koşullarda elde edilmiş tele ait ortalama deneysel veriler

Numune	**% Uzama**	**Maksimum Gerilme Mukavemeti [kg/mm^2]**	**Burma**	**Eğme [90°]**
Ticari Tel	120,5	9,6	37	18 kez
Deneysel Çalışmalar Sonucu Elde edilmiş Tel	82,7	9,5	34	9 kez



Şekil 7.8 Ticari tele ait mikroyapı görüntüsü (X250)



Şekil 7.9 Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilmiş tele ait mikroyapı görüntüsü (X250)

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

1. Deneysel çalışmalarda çok sayıda farklı döküm yapmak yerine, sıcak ve büyük kalıba dökümle yavaş katılaşmayı ve ince çeperli, cebri soğutulan kalıba dökümle hızlı katılaşmayı temsil etmek üzere, az sayıda tel taslağı (kütük) dökülüp bu kütüklerden disk şeklinde kesilen “dip” ve “tepe” numuneleri kullanılmıştır. Hızlı katılaşmış numuneler ince yapılı tanelerden, yavaş katılaşmış numuneler ise iri kolonsal tanelerden oluşmaktadır.

2. Çinko kütüğün dökümünden sonra elde edilen dip ve tepe numunelerine ait sertlik değerleri sırasıyla 35,1 ve 38,7 Hv’dir.

3. Döküm sonrası elde edile tepe numunelerinin mikroyapısı kolosal tanelerden, dip numunelerinin mikroyapısı eşeksenli tanelerden oluşmaktadır.

4. Homojenizasyon ısıl işlemi 200, 250 ve 300°C’lerde, 30 ve 45 dk sürelerde gerçekleştirilmiştir. Tepe numunelerinin sertlik değerleri, 30 dk’lık sürede 27,2 – 38,7 Hv arasında, 45 dk.’lık sürede 26,6 – 36,9 arasında değişmektedir. Dip numunelerinin sertlik değerleri ise, 30 dk’lık sürede 38,3 – 34,5 Hv arasında, 45 dk’lık sürede 33,7 – 28,6 Hv arasında değişmektedir.

5. Ekstrüzyon sonrası dip ve tepe numunelerinin filmaşin ürünlerinin sertlikleri 30 dk, 190°C ve 60dk, 300°C’ler de sırasıyla 35,9, 30,9, 35,6, 33,0 Hv’dir.

6. Ekstrüzyon sonrası dip ve tepe numunelerinin filmaşin ürünlerinin mikro yapıları, tepe numunelerinde iri eş eksenli tanelerden, dip numunelerinide ise ince tanelerden oluşmaktadır.

7. 190°C ve 30 dk’lık ısıl işlem koşulunda işlem gören tepe numunelerinin filmaşinlerinden alınan mikro yapı görüntülerinde belirlenmiş eş eksenli tane irilikleri, 300°C ve 60 dk’lık ısıl işlem koşulunda işlem gören tepe numunelerine oranla fazladır.

8. 190°C - 30 dk’lık ve 300°C – 60 dk’lık ısıl işlem koşullarında işlem gören dip numunelerinin filmaşinlerinden alınan mikro yapı görüntülerinde tane boyutu açısından büyük bir farklılık gözükmemektedir, her iki durumda da ince taneli yapılar göze çarpmaktadır.

9. 190°C - 30 dk'lık ve 300°C – 60 dk'lık ısıl işlem koşullarında işlem gören dip numunelerinin tel ürünlerine ait çekme, eğme ve burma deney sonuçları sırasıyla % 86,7 değeriyle % uzama değeri, 10 kez eğme testi sonucudur, 33 çevrim, 300°C – 60 dk koşulunda ise %43,2, 4 kez ve 15 çevrim'dir.

10. 190°C - 30 dk'lık ve 300°C – 60 dk'lık ısıl işlem koşullarında işlem gören tepe numunelerinin tel ürünlerine ait çekme ve eğme deney sonuçları sırasıyla % 78,7 değeriyle % uzama değeri, 8 kez eğme testi sonucudur, 35 çevrim, 300°C – 60 dk koşulunda ise %87,7 ve 14 kez ve 26 çevrim'dir.

11. 190°C - 30 dk'lık ısıl işlem koşulunda gerçekleştirilmiş işlem sonrasında dip ve tepe tel numunelerinin çekme deneyi sonuçlarına göre (% 86,7-% 78,7) ve (10 kez – 8 kez) birbirine yakın sonuçların alındığı, dolayısıyla optimum ısıl işlem sıcaklığı ve sürenin, 190°C – 30 dk olarak belirlendiği nokta burasıdır.

12. Ekstrüzyon sonrası sıcak haddeleme aşamasında uygulanması gereken en uygun haddeleme sıcaklığının 150°C olması gerektiği anlaşılmıştır ve bu değer literatürde ki muhtelif çalışmalardan de destek bulmuştur.

13. Ticari tel de yapılmış çekme, eğme deneyi sonuçları, %120,5 ve 18 kez dir. Bu sonuç yapılan deneyler sonucunda elde edilmiş tel numunelerinin çekme testi ve eğme testi sonuçlarıyla, belirlenmiş optimum ısıl işlem sıcaklığı ve süre(190°C – 30 dk) için karşılaştırıldığında belirlenen deney koşullarının en uygun koşullar olduğu anlaşılmaktadır.

14. Belirlenen deney koşulunun bir başka destek bulduğu kısımda, metalografik çalışmalar sonucu elde edilmiş 250 büyütme ticari tel resmiyle deneysel çalışmalar sonucu elde edilmiş tel numunenin resmidir, burada ki mikro yapılar karşılaştırıldığında referans olarak alınan ticari tel mikro yapısındaki homojen tane yapı dağılımı ve büyüklüğüne yaklaşıldığı anlaşılmaktadır.

15. Sıcak hadde aşamasında hadde merdanelerinin değişik konfigürasyonları denenebilir, hadde konfigürasyonlarının önemi telin kalitesini etkileyen önemli bir parametredir.

16. Rekristalizasyon ısıl işlemi öncesi dökümün eş zamanda soğutulabileceği kalıpların tasarımı üretilecek telin kalitesini etkileyen önemli bir parametredir. Kütüklerin tepe ve dip bölgelerindeki soğuma süresi farklılığından kaynaklanan farklı mekanik özelliklerinin ortadan kaldırılması, üretilecek sünek çinko telin homojen mekanik özelliklerinin sağlanması açısından önemlidir.

KAYNAKLAR

[1] **Addemir, O., Açma, E., Arslan, C,** 1995. Çinko, Sistem Yayıncılık, İstanbul.

[2] **Morgan, S.W.K.,** 1985. Zinc and its alloys and compounds, Ellis Horwood Chichester.

[3] Norddeutsche Affinerie AG, 1994. Lexikon der Metalle, NA AG, Hamburg.

[4] **Habashi, F.,** 1997. Handbook of Extractive Metallurgy, vol. 2 in *Zinc*, pp. 641-682. Wiley-VCH, Weinheim.

[5] http://www.zincworld.org/zgd-org/pg2000/

[6] http://www.dpt.gov.tr/Çinko DPT

[7] **Chen, C**., 1996. Method for Manufacturing a zinc wire, *United States Patent,* No: 5522951 dated 4.6.1996

[8] **Zheleznyak, L.M., Populovskikh, D.L., Khaikin, B.E. and Snegirev, A.I.** 2000. Improving zinc wire production technology at KUZ OtsM, *Russian Journal of Non-Ferrous Metals*, **41**, 108-111.

[9] **Mathewson H.C.,** 1959. Zinc: The Metal, its alloys and compounds in *physical metallurgy of zinc,* pp 400-422, Reinhold Publishing Corporation, New York.

[10] **ASM Metals Handbook,** 1991. 10th Edition, vol 2, Zinc and zinc alloys, pp. 527-542, ASM international, Ohio.

[11] http://www.usgs.gov

[12] http://www.dpt.gov.tr/DemirdışıDPT

[13] http://www.galvanizeit.org/Zinccoating

[14] http://iti.acns.nwu.edu/pubs/fhfr/fhfr_ch5.html

[15] http://arvind.coe.drexel.edu./CPPM/spray.html

[16] **Instıtute of Welding,** 1968. Production of spray Metal Coatings, The welding institute in cooperation with Aluminium Federation and zinc Development Association, London.

[17] **Metsan A.Ş.,** 2001. TTGV Projesi

[18] http://www.vertic.fi/

[19] http://www.properzi.com/nonferus.html

[20] **Biswas, A.K. and Davenport, W.G.,** 1980. Extractive Metallurgy of Copper, Pergamon, Oxford.

[21] Feniş Alüminyum A.Ş., Alüminyum Semineri Kitapçığı, 2002.

[22] **Sönmez, N. ve Güner, Z.,** 1989. Alüminyum, magnezyum, titan, çinko ve alaşımlarının ısıl işlemleri, *Mühendis ve Makina*, **30**, 351, 8-13.

[23] **ASM Metals Handbook,** 1991. 10th Edition, vol 14, Principles of Heat Treating of Nonferrous Alloys, pp. 823-840, ASM international, Ohio.

[24] **ASM Metals Handbook**, 1991. 10th Edition, vol 14, Conventional Hot Extrusion, pp. 315-329. ASM international, Ohio.

[25] **Kayalı, E.S., ve Ensari, C.,** 1991. Metallere plastik şekil verme ilke ve uygulamaları, İTÜ, İstanbul.

[26] **ASM Metals Handbook**, 1991. 10th Edition, vol 14, Wire, rod, and tube drawing pp. 330-342.

[27] **Solas, D.E., Tome, C.N., Engler, O. and Wenk, H.R,** 2001. Deformation and Recyristallisation of Hexagonal Metals: Modeling and Experimental Results for Zinc, *Acta Materiala*, **49**, 3791-3801.

[28] **Marinin, G.A., Akimov, G. Ya., and Varyukhin, V.N.,** 2000. Swelling of strongly plastically deformed zinc during its annealing, *Technical Physics Letters*, **26**, 28-34.

[29] **Geçkinli, E.,** 1989 Metalografi 1. Kısım, İTÜ, İstanbul.

[30] **George, F.V.V.,** 1999. Metallography, principles and practice in *zinc*, pp. 148-152, ASM International, Mc-Graw Hill, Ohio.

[31] **SI-739,** 1993. Steel for the reinforcement of concrete ribbed bars, *The Standarts Institution of Israel*, Tel-Aviv.

ÖZGEÇMİŞ

1974 yılında Samsun'da doğan Kürşad ÖNEM, orta ve lise öğrenimini Ankara Kocatepe Mimar Kemal Lisesi'nde tamamladıktan sonra 1994 yılında İTÜ Kimya – Metalurji Fakültesi, Metalurji Mühendisliği Bölümün'de lisans öğrenimine, 1998 yılında da İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı Üretim Metalurjisi Programı'nda Yüksek lisans öğrenimine başlamıştır.Şu an kendisi Metalurji ve Malzeme Mühendisidir.