

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**CuZn30 PİRİNCİNİN MİKRO-EKSTRÜZYON  
İŞLEMİNDE BOYUT ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Muhammet YALÇIN**

**Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**  
**Enstitü Bilim Dalı : MAKİNE TASARIM VE İMALAT**  
**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Sunal Ahmet PARASIZ**

**Ağustos 2014**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ


**CuZn30 PİRİNCİNİN MİKRO-EKSTRÜZYON  
İŞLEMİNDE BOYUT ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**


**Muhammet YALÇIN**

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ  
Enstitü Bilim Dalı : MAKİNE TASARIM VE İMALAT

Bu tez 14/08/2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

  
Yrd. Doç. Dr. Serdar ASLAN

**Jüri Başkanı**

  
Yrd. Doç. Dr. Sunal Ahmet  
PARASIZ

**Üye**

  
Yrd. Doç. Dr. Osman Hamdi  
METE

**Üye**

## TEŞEKKÜR

Bu çalıŐmayı bana öneren ve bütün çalışma boyunca bilgi ve birikimi ile yardımlarını esirgemeyen sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Sunal Ahmet PARASIZ'a en içten teŐekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim. İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünün emektar teknikeri Sami Usta'ya da yardımlarından dolayı teşekkür ediyorum.

Hayatım boyunca tecrübeleri ile yolumu aydınlatan, maddi-manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen annem ve babam Muazzez-Salih YALÇIN'a, sevgili kardeşlerim, Esra, Sümeyye, Senanur, Ahmet Yasin, BüŐra ve eŐi Kadir BOYLU'ya, son olarak sevgili eŐim Őeyma YALÇIN'a en derin Őükranlarımı sunuyorum.

# İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
ÖZET.....	x
SUMMARY.....	xi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
PIRİNÇLER.....	4
2.1. Pirincin Tanımı ve Genel Özellikleri.....	4
2.2. Pirincin Tarihçesi.....	6
2.3. Pirinçlerin Yapılarına Göre Sınıflandırılması.....	7
2.3.1. Alfa pirinçleri.....	7
2.3.2. Kızıl pirinçler.....	7
2.3.3. 70/30.....	8
2.3.4. 63/37.....	8
2.3.5. Alfa-Beta pirinçleri.....	8
2.4. Pirinç Üretimi.....	9
2.5. Pirincin Mekanik ve Kimyasal Özelliklerine Alaşım Elementlerinin Etkisi.....	10
2.5.1. Çinko.....	10
2.5.2. Kurşun.....	10
2.6. Pirinçlerin Mekanik ve Fiziksel özellikleri.....	11
2.6.1. Mukavemet.....	12

2.6.2. Elektrik ve ısı özellikleri.....	13
2.6.3. Süneklik ve biçimlendirebilirlik.....	13
2.6.4. Pirincin Aşınma Dayanımı.....	13
2.6.5. Pirincin Korozyonu.....	13
2.6.6. Talaşlı İşlenebilirlik.....	15
BÖLÜM 3.	
EKSTRÜZYON.....	16
BÖLÜM 4.	
MİKRO-EKSTRÜZYON.....	23
4.1. Mikro-Ekstrüzyon Yönteminde Boyut Etkisi.....	24
BÖLÜM 5.	
DENEYSEL YÖNTEM.....	27
5.1. Malzeme Seçimi ve Numune Hazırlama Süreci.....	27
5.2. Deney Ekipmanları.....	32
BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	39
6.1. Metalografik İşlem Sonuçları.....	40
6.2. 2 mm Et Kalınlığına Sahip Numunelere Ait Grafikler.....	41
6.3. 1 mm Et Kalınlığına Sahip Numunelere Ait Grafikler.....	53
6.4. 1 mm ve 2 mm Et Kalınlıklarına Sahip Numunelerin Normalize Edilmiş Ekstrüzyon Kuvvet Değerlerinin Karşılaştırılması.....	59
6.5. Farklı Sürtünme Durumlarının Ekstrüzyon Kuvveti Üzerine Etkisi.....	62
BÖLÜM 7.	
ÖNERİLER.....	64
KAYNAKLAR.....	65
ÖZGEÇMİŞ.....	68

## **SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ**

YMK	: Yüzey merkezli kübik yapı
HMK	: Hacim merkezli kübik yapı
SDH	: Sıkı düzen hekzagonal yapı
YA	: Yüzey alanı
V	: Hacim

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Mikro imalat yöntemi ile üretilmiş çeşitli boyutlardaki metal ürünler .....	3
Şekil 2.1. Bakır-Çinko ikili faz diyagramı .....	5
Şekil 3.1. Sırasıyla üstte direk ve altta endirek ekstrüzyon yöntemlerinin şematik gösterimi.....	16
Şekil 3.2. Ekstrüzyon işlemlerinde kuvvet değerleri .....	17
Şekil 3.3. Ekstrüzyon işleminde kuvvet ve kalıp açısı arasındaki ilişki .....	19
Şekil 3.4. Ekstrüzyon açısının şematik gösterimi .....	19
Şekil 3.5. Makro boyutta ekstrüzyon işlemi sonrasında numunede meydana gelen plastik deformasyon.....	20
Şekil 3.6. Numunenin merkezi ve dış kısmında meydana gelen plastik deformasyon biçimleri .....	21
Şekil 4.1. Mikro-ekstrüzyon yöntemi ile imal edilmiş pimler .....	23
Şekil 4.2. Tek kristalli silindirik numunede plastik deformasyon .....	25
Şekil 4.3. Boyut etkisinin sembolik gösterimi .....	26
Şekil 5.1. Pirinç malzemenin SEM analiz sonuçları .....	27
Şekil 5.2. Epoksiye alınmış numuneler (sırasıyla 700°C ve 500°C’de tavllanmış numuneler) .....	28
Şekil 5.3. Metalografik işlemlerde kullanılan zımparalama-parlatma cihazı.....	30
Şekil 5.4. Metalografik işlemlerde kullanılan elektrolitik dağlama cihazı .....	30
Şekil 5.5. 2 mm kalınlığındaki numuneler, uzunlukları soldan sağa sırasıyla 8t, 6,5t ve 5t.....	31
Şekil 5.6. 1 mm kalınlığındaki numuneler, uzunlukları soldan sağa sırasıyla 8t, 6,5t ve 5t.....	31
Şekil 5.7. Servo motor kontrollü, vida tahrikli ve 40 kN kapasiteli TENAP çekme makinesi .....	33
Şekil 5.8. Ekstrüzyon kalıplarının yandan ve önden görünümü .....	34
Şekil 5.9. Kalıp kenarlıkları, itici ve numunenin kalıp üzerindeki yerleşimi.....	35

Şekil 5.10. Ekstrüzyon kalıplarının şematik gösterimi .....	35
Şekil 5.11. Soldan sağa sırasıyla 45°, 30° ve 20° açılı ekstrüzyon kalıpların yakın çekim fotoğrafı .....	36
Şekil 5.12. 2 mm'lik ve 1 mm'lik İticilerin (punch) önden ve yandan görünümü.....	37
Şekil 6.1. 500°C'de (dort= 21µm) tavlanmış ince tane yapılı α-pirincinin mikro yapı fotoğrafı.....	40
Şekil 6.2. 700°C'de (dort= 239µm) tavlanmış kaba tane yapılı α-pirincinin mikro yapı fotoğrafı.....	41
Şekil 6.3. 2 mm kesit kalınlığında, 5t ve 6,5t uzunluğundaki numunelerin 45° açılı kalıpta ekstrüzyon işlemi.....	43
Şekil 6.4. 2 mm et kalınlığında ve 8t uzunluğundaki numunelerin 45° açılı kalıpta ekstrüzyon işlemi .....	43
Şekil 6.5. 2 mm et kalınlığında ve 21 µm tane büyüklüğüne sahip numunelerin 45° açılı kalıpta ekstrüzyon işlemi.....	45
Şekil 6.6. 2 mm et kalınlığında ve 239 µm tane büyüklüğüne sahip numunelerin 45° açılı kalıpta ekstrüzyon işlemi.....	45
Şekil 6.7. 2 mm et kalınlığında 5t ve 6,5t uzunluktaki numunelerin 30° açılı kalıpta ekstrüzyon işlemi .....	47
Şekil 6.8. 2 mm et kalınlığında ve 21 µm tane büyüklüğüne sahip numunelerin 30° açılı kalıpta ekstrüzyon işlemi.....	48
Şekil 6.9. 2 mm et kalınlığında ve 239 µm tane büyüklüğüne sahip numunelerin 30° açılı kalıpta ekstrüzyon işlemi.....	49
Şekil 6.10. 2 mm et kalınlığında 5t ve 6,5t uzunluğundaki numunelerin 20° açılı kalıpta ekstrüzyon işlemi.....	50
Şekil 6.11. 2 mm et kalınlığında ve 21 µm tane büyüklüğüne sahip numunelerin 20° açılı kalıpta ekstrüzyon işlemi.....	51
Şekil 6.12. 2 mm et kalınlığında ve 239 µm tane büyüklüğüne sahip numunelerin 20° açılı kalıpta ekstrüzyon işlemi.....	52
Şekil 6.13. 1 mm et kalınlığında ve 5t uzunluktaki numunelerin 45° açılı kalıpta ekstrüzyon işlemi .....	53
Şekil 6.14. 1 mm et kalınlığında ve 239 µm tane büyüklüğüne sahip numunelerin 45° açılı kalıpta ekstrüzyon işlemi.....	54



Şekil 6.15. 1 mm et kalınlığında ve 5t uzunluğundaki numunelerin 20° açılı kalıpta ekstrüzyon işlemi .....	56
Şekil 6.16. 1 mm et kalınlığında ve 8t uzunluğundaki numunelerin 20° açılı kalıpta ekstrüzyon işlemi .....	56
Şekil 6.17. 1 mm et kalınlığında 21 µm tane büyüklüğüne sahip numunelerin 20° açılı kalıpta ekstrüzyon işlemi.....	57
Şekil 6.18. 1 mm et kalınlığında 239 µm tane büyüklüğüne sahip numunelerin 20° açılı kalıpta ekstrüzyon işlemi.....	58
Şekil 6.19. 5t uzunluğunda ve 21 µm tane büyüklüğüne sahip numunelerin 20° ve 45° açılı ekstrüzyon kalıplarında yapılan deneylerinin karşılaştırılması.....	58
Şekil 6.20. 5t uzunluğunda ve 21 µm tane büyüklüğüne sahip 1 mm ve 2 mm et kalınlığına sahip numunelerin 20° açılı kalıpta yapılan deneylerinin normalizasyonu .....	60
Şekil 6.21. 5t uzunluğundaki 239 µm tane büyüklüğüne sahip 1 mm ve 2 mm et kalınlığına sahip numunelerin 20° açılı kalıpta yapılan deneylerinin normalizasyonu .....	60
Şekil 6.22. 21 µm tane büyüklüğüne sahip 1 mm ve 2 mm et kalınlığına sahip numunelerin 45° açılı kalıpta yapılan deneylerinin normalizasyonu .....	61
Şekil 6.23. 239 µm büyüklüğüne sahip 1 mm ve 2 mm et kalınlığına sahip numunelerin 45° açılı kalıpta yapılan deneylerinin normalizasyonu .....	62
Şekil 6.24. 6t ve 6,5t uzunluğundaki ince taneli numunelerin 20° açılı kalıpta yapılan deneylerinde farklı sürtünme durumlarının karşılaştırılması .....	63

## TABLULAR LİSTESİ

Tablo 5.1. Pirinç malzemenin kimyasal konsantrasyonu (SEM analiz sonucu) .....	28
Tablo 5.2. Deney numunelerinin boyutları .....	31
Tablo 5.3. Ekstrüzyon açıları ve oranları .....	34
Tablo 5.4. "x" mesafesinin ekstrüzyon açısına göre değişimi.....	36
Tablo 5.5. Değişken parametrelere göre yapılan deney sayıları .....	38

## ÖZET

Anahtar kelimeler: Mikro-şekillendirme, mikro-ekstrüzyon, ekstrüzyon kuvveti, tane boyutu

Soğuk şekillendirme yöntemleri sağladıkları avantajlar nedeniyle sıklıkla kullanılan plastik şekil verme yöntemleridir. Uygulanan kuvvetin büyüklüğüne karşın elde edilen hassas boyut toleransları, yüksek yüzey kalitesi ve ürün mukavemeti gibi iyi bilinen avantajları nedeniyle yaygın olarak tercih edilmektedirler. Soğuk ekstrüzyon işlemi de bu yöntemlerden birisidir. Soğuk şekillendirme işlemlerinin mikro imalat için uyarlanması ile mikro-ekstrüzyon yöntemi geliştirilmiştir.

Makro şekillendirme yöntemlerinin mikro imalat yöntemlerine uyarlanması sırasında malzemelerin tane boyutları çok ciddi bir önem kazanmaktadır. Makro boyutta yapılan imalatta önceden tahmin edilebilen etkilere yol açan tane boyutu mikro boyutta imalatta yapılan işlemlerin sonuçlarını çoğu zaman öngörülemez hale getirmektedir. Bu çalışmada, tane boyutlarının mikro-ekstrüzyon işlem kuvveti üzerine etkisi incelenmiştir.

Çalışmada, soğuk haddelenmiş halde temin edilen CuZn30 pirinç malzeme, ince ve kaba tane yapısı oluşturulmak üzere 500°C ve 700°C sıcaklıklarda bir saat süreyle tavlansmıştır. Tavlanan plakalardan, talaş kaldırmak sureti ile 1 mm, 2 mm kalınlıklarında, numune et kalınlıklarının sırasıyla 5, 6,5 ve 8 katı uzunluğunda ve 6 katı genişliğinde deney numuneleri çıkarılmıştır. Çıkarılan deney numuneleri, farklı ekstrüzyon açıları ile ekstrüde edilmiştir. Tane boyutunun ve ekstrüzyon açısının, ekstrüzyon kuvveti üzerine olan etkisi incelenmiştir.

# **STUDY OF SIZE EFFECT IN MICRO-EXTRUSION PROCESS OF CuZn30 BRASS**

## **SUMMARY**

Key words: micro-forming, micro-extrusion, extrusion force, grain size

Cold forming offers well known advantages such as close dimensional tolerances, increased strength and improved surface finish of the final product. One forming process that is widely utilized is extrusion.

In this study, the effect specimen and grain size on cold micro-extrusion is investigated. As received cold-rolled CuZn30 brass plates are annealed at 500 °C and 700 °C, for an hour to produce a fine and a coarse grain structures.

1 mm thick plate specimens were machined from annealed materials and extruded with different extrusion angles. Extrusion force and ram displacement curves are obtained and effect of grain size and extrusion angle on the micro-extrusion force is investigated.

## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

Özellikle son 15-20 yıllık süre zarfında kullandığımız birçok teknolojik ürünün, minyatürleşme olarak adlandırılan trend ile beraber, kapladıkları büyük hacimlerden avcumuzun içine sığabilecek boyutlara küçüldüğüne şahit olmaktayız. Günlük hayatta sıklıkla kullandığımız bilgisayar, telefon, müzik setleri gibi elektronik cihazlar eski muadillerine nazaran çok daha küçük boyutlarda imal edilmeye başlanmıştır.

Günümüzde mikro-mekanik sistemler, mikro-reaktörler, yakıt pilleri, mikro-mekanik aletler ve mikro-medikal bileşenler gibi mikro bileşenler ve mikro sistemlere olan ilgi ve ihtiyaç artmaktadır. Mikro bileşenler taşıtlar, uçak teknolojisi, telekomünikasyon, ev aletleri, medikal aletler ve askeri alan gibi geniş bir yelpazede kullanılmakta ve bu kullanım gittikçe artmaktadır [1]. Bu tip minyatür cihaz ve aletlerde metal aksama sıklıkla rastlanmaktadır. Minyatürleşme, bu tür çok küçük metal parçaların güvenilir, ekonomik bir şekilde üretilmesi uğraşısını beraberinde getirmiştir.

Mikro imalat yöntemleri medikal alanında da ciddi anlamda yer bulmaktadır. İnsan vücudunun herhangi bir kısmına, vücuda herhangi bir zarar vermeden müdahale edebilecek boyutta medikal bileşenlerin üretilmek istenmesi bu alandaki gelişmeleri tetikleyen temel parametre olmuştur. Ancak mikro imalat yöntemleri sadece mikro parçaların/bileşenlerin imalatında değil aynı zamanda makro boyuttaki ürünlerde yapılacak mikro boyuttaki ve karmaşık işlemleri de kapsamaktadır. Mesela makro boyuttaki bir türbin kanadı üzerine açılması istenen mikro soğutma kanallarının açılması veya büyük bir yüzeyden ısı geçişini artırmak için mikro pimlerin imal edilmesi gibi [1].

Mikro boyutlarda makine parçalarına olan ihtiyaç, geleneksel anlamdaki makro

imalat yöntemlerinden esinlenerek mikro boyutta imalat yöntemlerini oluşturmaya sevk etmiştir. Geçtiğimiz son 10 yıllık süre zarfında, mikro metal şekillendirme yöntemlerinin temellerinin oluşturulması adına çok yoğun çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar kapsamında incelenen temel parametreler, malzemelerin deformasyon şekilleri, takım ve numune yüzeyleri arasındaki ilişki, malzemelerin karakter özellikleri, kullanılacak yöntemin modellenmesi ve analizi, şekillendirme limitinin tahmini ve kullanılacak yöntemin optimizasyonu olarak sıralanabilir [1].

Makro boyutlarda geleneksel metal şekillendirme yöntemlerinin mikro boyutlara uyarlanması ile mikro boyutta metal şekillendirme yöntemleri oluşturulmuştur. Mikro-şekillendirme yöntemleri, bu tür parçaların imalatında akla gelen ilk yöntemlerden biridir. Ancak makro boyutlarda geleneksel olarak gerçekleştirilen metal şekillendirme yöntemleri mikro boyutlara taşındığında, malzeme ve imalat yöntemine özgü olarak ortaya çıkabilen ve “boyut etkisi” olarak adlandırılan davranış değişiklikleri meydana gelmektedir. Bu açıdan, mikro-boyutta gerçekleştirilen şekillendirme işlemleri tasarlanırken, malzeme davranışında meydana gelen bu değişikliklerin göz önüne alınması gerekir. Dolayısıyla, dünya genelinde, özellikle gelişmiş ülkelerde mikro boyutta metal şekillendirme işlemlerine yönelik araştırmalar giderek artmaktadır [2,3,4,5].

Mikro imalat yöntemlerinde imal edilecek numune boyutlarının, imalatta kullanılacak makine ve makine elemanlarının yanı sıra üretim için harcanan enerji miktarının azaltılması amaçlanmaktadır [6]. 1990 yılında Tsukuba, Japonya’da bulunan Makine Mühendisliği Laboratuvarı’ndan bir grup araştırmacının mikro imalat üzerine yaptıkları analizler neticesinde, boyutlarında 10 kat azalma olan bir numunenin üretilmesi esnasında harcanan enerji miktarının yaklaşık 100 kat azaldığı tespit edilmiştir [7].

Mikro şekillendirme ve mikro imalat yöntemleri, bu alandaki gelişmeler ve sorunlar hakkında kaynak olabilecek birçok makale ve kitap yazılmıştır. V.K. Jain’in editörlüğünü yaptığı ve alanında tanınmış birçok akademisyenin katkı sağladığı “Micromanufacturing Processes” kitabı, mikro imalat yöntemleri, avantajları, problemleri hakkında yazılmış makaleleri derleyerek ciddi bir kaynak kitap halini

almıştır. Bunun yanı sıra U. Engel ile R. Eckstein'in kaleme aldığı "Microforming-from basic to its realization" ve Akhtar Razul Razali ile Yi Qin'in yayınladıkları "A Review on Micro-manufacturing and their Key Issues" adlı makalelerde de mikro imalat ve mikro şekillendirme yöntemleri hakkında temel ve önemli bilgiler bulunmaktadır.

Bu çalışmamızda, mikro-pim, mikro-kap, mikro-boru gibi metal parçaların imalatında kullanılan mikro-ekstrüzyon işleminde tane boyutunun, mikro-ekstrüzyon kuvvetleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, ince ve kaba tane yapısına sahip olacak şekilde tavlanan CuZn30 pirinç malzemedan 1 mm ve 2 mm et kalınlığına sahip levha şeklinde çıkarılan numuneler, farklı kalıp açıları kullanılarak ekstrüzyon işlemine tabi tutulmuştur. Şekil 1.1'de mikro-ekstrüzyon ile imal edilmiş çeşitli boyutlardaki metal makine aksamalarını gösteren bir fotoğraf görülmektedir [3].



Şekil 1.1. Mikro imalat yöntemi ile üretilmiş çeşitli boyutlardaki metal ürünler

## BÖLÜM 2. PİRİNÇLER

### 2.1. Pirincin Tanımı ve Genel Özellikleri

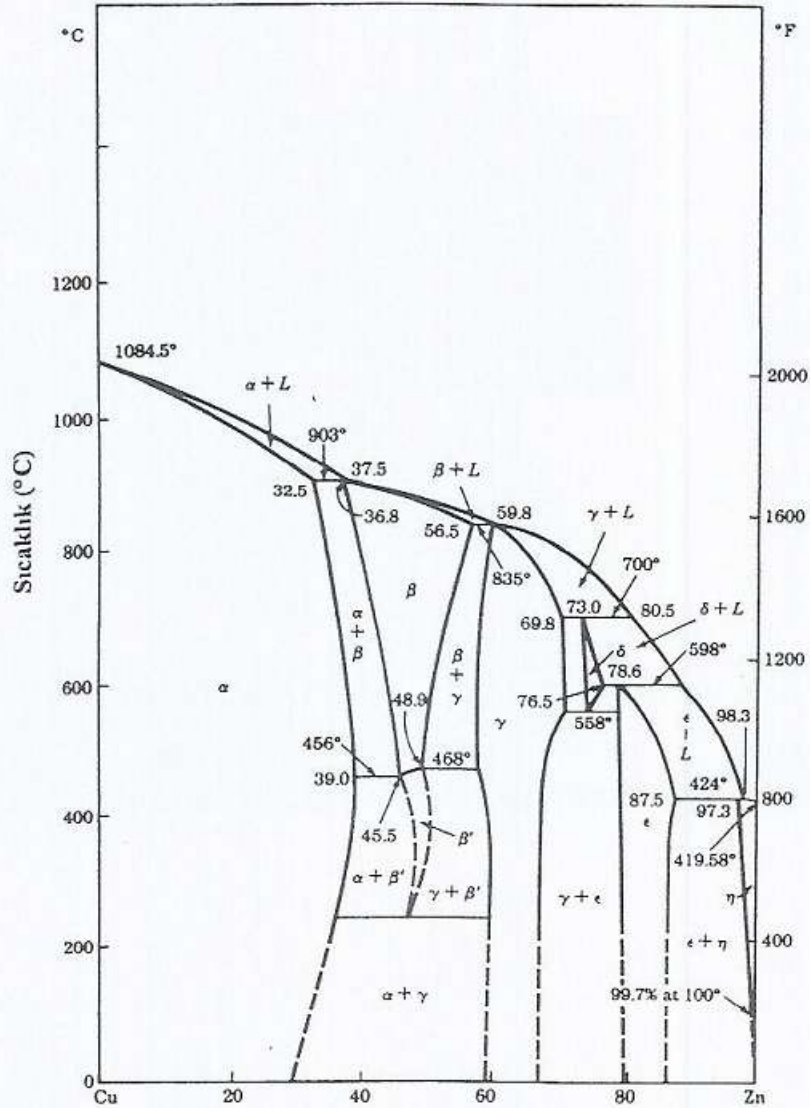
Pirinç, kullanım amacına göre yapısında diğer metalleri de içeren, bir bakır çinko alaşımıdır. Kolay işlenebilirliği, yüksek korozyon direncinden dolayı pirinç, en önemli bakır alaşım gruplarından biri olarak kullanılmaktadır. Bu alaşım, bakır kalay alaşımı olan bronzdan daha yüksek tokluğa sahiptir. Bakıra ağırlık %10 çinko ilavesi bronz renginin, ağırlık %15 ilave altın renginin, ağırlık %20–38 ilave ise sarı rengin oluşmasına neden olur. Alaşıma eklenen çinko miktarı ağırlık %45'i aştığında gümüşü beyaz bir renk elde edilmekte ve alaşım kırılgan bir yapı sergilemektedir. Pirinçte maksimum çekme mukavemeti ağırlık %55 bakır, maksimum süneklik ise ağırlık %70 bakır bileşimde gözlenmektedir [8, 9].

Ağırlık %37'den az çinko içeren pirinç, yüzey merkezli kübik (YMK) yapıdadır ve  $\alpha$  katı çözümleri olarak adlandırılmaktadır.  $\alpha$ -pirinç kolayca soğuk şekillendirilme işlemine tabi tutulabilir ve YMK yapıya sahip olması dolayısıyla talaşsız olarak imalatı mümkündür. En yüksek deformasyon %28 çinko içeren pirinçte görülmektedir. Alaşımda çinko içeriğinin artması ile mukavemette artış sağlanmaktadır.  $\alpha$  fazı iyi mukavemet ve süneklik özelliklerini bir arada bulundurmaktadır [8, 9, 10, 11].

Pirinç alaşımlarında ağırlık %32–37 çinko aralığında yapıda bir miktar  $\beta$  fazı mevcuttur. Bu faz hacim merkezli kübik kristal (HMK) yapıdadır. Alaşım içerisinde CuZn bileşikleri vardır. Ağırlık %37–46 çinko içeren alaşımlarda ise alfa ve beta fazları bir arada bulunmaktadır.  $\beta$  pirinç sıcak işlem kabiliyeti en yüksek olan pirinç türüdür [9].



Aşağıdaki resimde bakır ve çinko elementlerine ait ikili faz diyagramı görülmektedir. Bu faz diyagramından hangi sıcaklık ve ağırlık % Zn değerlerinde pirinç malzemenin  $\alpha$  fazında olduğu daha net anlaşılabilir.



Alfa pirincine göre nispeten daha sert ve kırılmandır. 903°C’ de çinko çözünürlüğü Ağırlık %32,5 iken, 456°C %39 değerine yükselir.  $\beta$  fazı 454- 468°C sıcaklıkları arasında çinko bileşimine göre  $\beta'$  fazına dönüşür. Bu dönüşüm sonucu yüksek sıcaklıkta  $\beta$  fazında HMK yapıda rastgele dağılan Cu ve Zn atomları düzene girmektedir. Cu atomları birim hücrenin köşelerine, Zn atomları ise hacim merkezine yerleşmektedir.  $\beta'$  fazının sünekliği oda sıcaklığında düşüktür. Ancak bu faz 200-250°C arasında işlenebilmektedir [9].

Pirinçte görülen diğer bir faz da gama ( $\gamma$ ) fazıdır. Bu faz yapısında, alaşım %45'ten fazla çinko içermektedir.  $\gamma$  pirinci bünyesinde sert  $\text{Cu}_2\text{Zn}_3$  kristallerini barındırdığından ne sıcak ne de soğuk olarak işlenebilir. Endüstriyel kullanım alanı yoktur [8, 9, 11].

## 2.2. Pirincin Tarihçesi

Çağlar olarak tasnif edilmiş yazılı tarih incelendiğinde bakır çağını bronz ve demir çağları takip etmektedir. Bu sıralamada pirinç çağının olmamasının nedeni çinko metalinin üretiminin yapılamaması ve buna bağlı olarak pirinç üretiminde karşılaşılan zorluklardır. Çinko metalinin  $420^\circ\text{C}$ ' de ergimesine ve  $906^\circ\text{C}$ ' de kaynamasına rağmen, bu metalin üretimi için  $1000^\circ\text{C}$ ' den daha yüksek sıcaklıklar gereklidir. Bu nedenle çinko oksidin kömür ile redüklenmesi 18.yy'a kadar gerçekleştirilememiştir [9, 12].

Bakır metali, hanedan öncesi Mısır döneminde çok iyi bilinmekteydi. Bu dönemde pirinç çok az üretildiğinden dolayı, bir bakır kalay alaşımı olan bronz, daha yaygın olarak kullanılıyordu. Pirinç altın renginde olması nedeni ile özel tercihlerde kullanılıyordu. Yunan edebiyatında pirince parlak ve beyaz bakır anlamına gelen "oreichalcos" deniliyordu. Romalı yazarların birçoğu ise pirince altına benzer anlamında olan "aurichalum" diyorlardı ve genellikle altın rengine benzerliğinden dolayı para, süs eşyası ve miğfer yapımında kullanıyorlardı [9, 12].

Orta çağda dünyasında saf çinko bulunmuyordu. Pirinç, İngiltere'nin güney yakasında bulunan Mendip tepesinden çıkarılan kalamın ile üretiliyordu. Çin, Almanya, Hollanda ve İsveç yüksek kalitede pirinç üretilabiliyordu. Bu pirinçler ağırlıkça %23–29 çinko ile az miktarda kalay ve kurşun içermekteydi [9].

Pirincin endüstri devriminden önce kullanıldığı alanlardan biri de yün ticaretiydi. Ağırlıkça % 15–20 çinko içeren düşük kurşunlu ve kalaylı pirinçler yüksek soğuk işlem kabiliyeti nedeni ile iğne yapımında yaygın olarak tercih ediliyordu. Pirinç, yüksek korozyon direnci ve kolay işlenebilme özelliklerinden dolayı saat ve denizcilik gereçleri gibi alanlarda da kullanılmaktaydı [9, 12].

Endüstri devrimi ile birlikte pirincin önemi arttı. 1738'de William Champion çinkoyu kalamın ve kömür ile distilasyona uğratarak çinko üretimde ilk patenti aldı. Tekstil endüstrisinde kullanılan pirinç hadde millerinin imalatı 17.yy.'da yapılabilmesine rağmen etkin şekilde imal edilmeleri 19.yy'ın ortalarına denk gelmektedir. Amerika'da yasal kısıtlamalara rağmen 18. yy' da pek çok pirinç fabrikası kurulmuştu. 1832'de ağı.%60 Cu ve ağı.%40 Zn içeren Muntz pirincinin bulunması ile ucuz ve sıcak şekillendirilebilen pirinç levhalar üretilmeye başlandı. Alexander Dick 1894'te yüksek kalitede pirinç boru üretimine olanak sağlayan ekstrüzyon presini icat etti. Günümüzde pirinç üretim teknolojisinde gelişim ise müşteri istekleri doğrultusunda ve kalite standartları göz önünde bulundurularak devam etmektedir [9, 12].

### **2.3. Pirinçlerin Yapılarına Göre Sınıflandırılması**

Ticari amaçlı kullanılan pirinçler yapılarına göre alfa ve alfa-beta pirinçleri olmak üzere ikiye ayrılır. Bu pirinçlerin özellikleri aşağıdaki gibidir.

#### **2.3.1. Alfa pirinçleri**

Bu tür pirinçler YMK kafes yapısına sahip tek fazlı pirinçlerdir. YMK kafes yapıları nedeniyle sıcak ve soğuk şekillendirme işlemleri için oldukça uygundur. Alfa pirinçleri genellikle soğuk şekillendirilmiş halde satışa sunulurlar. Alfa pirincinin farklı çeşitleri mevcuttur [13].

#### **2.3.2. Kızıl pirinçler**

Ağı.%5 ile ağı.%20 arasında çinko içeren pirinçlere kızıl pirinç denilmektedir. İçeriğinde ağı.%5 çinko içeren kızıl pirinçlerin alaşımları bakırdan daha iyidir. Jetonlar, madalyalar, madeni paralar, amblemler ve elektrik düğmelerinin yapımında kullanılırlar. Yapısında ağı.%10 çinko bulunan kızıl pirinçler soğuk deformasyon özelliği çok iyi olan bir alaşımdır. Bu neden bijuteri ve mücevherat gibi sektörlerde sıkça kullanılırlar [13].

### 2.3.3. 70/30

Üstün işleme özelliğinden dolayı kovan pirinci olarak ta bilinir. Alaşımın özellikle demir, kurşun, bizmut, arsenik ve antimon içermemesi yani saf olması gerekmektedir. Soğuk haddeleme sonrasında yeniden kristalleştirme tavlı uygulanarak tanelerdeki yönelme etkisi minimize edilir[13].

### 2.3.4. 63/37

Standart bir pirinç türü olup Türkiye’de piyasada en çok bulunan bir pirinç türüdür. Genellikle soğuk presleme işlemlerinde kullanılırlar. Soğuk işlemde sonar tavlınırsa tane yapısı olarak 70/30 pirince benzer. Piyasada Ms 63 olarak ta bilinir[13].

### 2.3.5. Alfa-Beta pirinçleri

Alfa-beta pirinçleri ağırlık %54–61 oranında bakır içermektedir. Yapılarında oda sıcaklığında sert ve gevrek  $\alpha$  ve  $\beta'$  fazları bulunmaktadır. Yüksek sıcaklıklara çıkıldığında pirincin yapısında alfa fazı ile HMK yapıya sahip ve kolay işlenebilen  $\beta$  fazı oluşmaktadır. Bu nedenle  $\alpha+\beta$  pirinçlerine plastik şekil verme işlemi yüksek sıcaklıkta uygulanmaktadır [14].

$\alpha-\beta'$  pirincinde, düzenli  $\beta'$  ( $B_2$ ) fazı, daha yumuşak ve sünek olan YMK yapıdaki  $\alpha$  fazının mukavemetinde artışa neden olmaktadır. Bu yapıdaki  $\beta'$  fazı düzenli düzensiz (order-disorder) faz dönüşümüne maruz kalmakta ve bu durum tipik olarak ikinci faz dönüşümüne örnek teşkil etmektedir. Tek fazlı ve düzenli olmayan  $\beta'$  yapısındaki pirinçte bulunan elementlerin difüzyonu için gerekli aktivasyon enerjisi düzenli olan faza kıyasla daha büyüktür.  $\beta'$  pirincinde düzenli yapı, dislokasyonların artışı ile birlikte anormal bir artışa neden olmaktadır. Bununla birlikte toparlanma, yeniden kristalleşme ve sürünme direnci gibi pek çok özellik bu yapıdan etkilenmektedir [15].

Temel sıcak işlem alaşımı ağırlık %60 Cu ve ağırlık %40 Zn içeren Muntz metalidir. Muntz metalinde yapıdaki alfa ve beta fazlarının oranı soğuma hızına bağlı olarak değişmektedir. Hızlı soğuma durumunda alfa fazının çökmesi engellenmekte ve beta fazı tane sınırlarına çökeltmektedir. Muntz metalinde en iyi mekanik özellikler alaşımın beta fazına kadar ısıtılması ve daha sonra yavaş soğutulması ile elde edilmektedir. Alfa + beta pirinçlerine dövme ve sıcak ekstrüzyon işlemleri uygulanmaktadır. Bu tür pirinçlerden cıvata, somun, conta, musluk vb. ürünler elde edilmektedir [9, 11].

## 2.4. Pirinç Üretimi

Pirinç malzeme saf bakır, hurda bakır, pirinç ve bakır talaşı ile çinkonun ergitilmesi sonucu elde edilmektedir. Pirinçin ergime sıcaklığı, çinko miktarına göre 850°C - 1000°C arasında değişmektedir. Özgül ağırlığı ise 8,4–8,7 gr/cm<sup>3</sup> arasındadır. Pirinç, döküm yönteminin yanı sıra plastik şekil verme yöntemleri ile de şekillendirilebilmektedir [9, 16].

Pirinç üretimi esnasında istenilen Zn/Cu oranının elde edilmesi için üretim sırasında çinko kayıpları göz önüne alınmalı ve kayıplara göre başlangıç malzemesine ilave yapılmalıdır. Pirinç alaşımlarının çinko tutucu olarak davranması için ergimiş pirinç alaşımının üstündeki çinko buhar basıncının, çinko oksidin karbonla redüksiyonunda oluşan çinko buhar basıncından düşük olması gerekmektedir [9, 16].

Pirinç üretiminde süreç koşulları ve kullanılan hammaddelere göre ergitme kayıpları oluşmaktadır. Bu kayıplar, baca kayıpları ve küller olmak üzere ikiye ayrılır. Baca kayıpları gazlar ile katı tanecikler olmak üzere iki kısımda incelenmektedir. Kül kayıpları ise, oksijen kapma eğilimi yüksek olan Zn, Al, Cu gibi metallerin oksit (ZnO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CuO) fazlarından oluşmaktadır. En fazla kayba uğrayan metal ise çinkodur [9, 16].

## 2.5. Pirincin Mekanik ve Kimyasal Özelliklerine Alaşım Elementlerinin Etkisi

Pirince alüminyum, silisyum, demir, manganez ve kalay gibi elementlerin ilavesi ile alaşımın kullanım performansında artış meydana gelmektedir. Bu artış ya alaşım elementlerinin katı eriyiğin yapısına girmesi ya da mikro yapıda metaller arası bileşikler oluşturması ile sağlanmaktadır. Örneğin manganez ve silisyum içeren pirinçlerde hekzagonal yapıdaki yüksek sertliğe sahip  $Mn_5Si_4$  metaller arası bileşiği oluşması ile aşınma direncinde artış sağlanmaktadır [9, 17].

### 2.5.1. Çinko

Pirincin temel alaşım elementi çinkodur. Bakır ile çinko birbiri içerisinde her oranda çözülebilmektedir. Pirince ağ.%5–40 arasında değişen miktarlarda çinko ilave edilmektedir. Çinko pirincin mukavemetini, sertliğini ve aşınma direncini arttırmaktadır. Cu-Zn ikili sistemlerinde optimum aşınma direnci ağ.%25 Zn bileşiminde görülmektedir. Ağ.% 48'e kadar çinko ilavesi edilmesi alaşımın sertliğini arttırmakla birlikte aşınma direncinde bir değişim meydana gelmemektedir [9, 17, 18].

Pirinç üretiminde kullanılan en önemli terimlerden biri eşdeğer çinko miktarıdır. Eşdeğer çinko, pirinçte bakır ve çinko dışında diğer alaşım elementlerinin bulunması durumunda karşılaşılan bir terimdir. Pirince her yüzde birlik alaşım elementi ilavesi, alaşımda bulunan mevcut çinko miktarını farklı oranlarda arttırmaktadır [9, 10, 11].

### 2.5.2. Kurşun

Kurşun, pirinç malzemeye talaşlı işlenebilirliğini arttırmak için katılmaktadır. Alaşıma genellikle yüzde ağ.%1–3 oranında ilave edilmektedir. Yapılan araştırmalar, ağ.%3' ten daha yüksek kurşun ilavesinin talaşlı imalat açısından ilave bir iyileşme sağlamadığını göstermektedir. Kurşun, bakır alaşımları içerisinde çok az çözünmekte ve mikro yapıda küresel çökelti halinde yer almaktadır. Küresel kurşun parçalarının dağılımı, alaşımın soğuma hızına bağlı olmakla birlikte pirincin işleme kabiliyetinin arttırılmasında büyük önem taşımaktadır [9].

Kurşun, talaşlı imalatta takım ile malzeme arasındaki sürtünme katsayısını azalmakta ve takımın aşınma miktarını ve kesme kuvvetini düşürmektedir. Kesme işleminde takım aşınmasını azaltarak takım ömrünü uzatmaktadır. Talaşlı imalat pirincinin işlenebilirlik faktörü 100 olarak kabul edildiğinde, 70–100 aralığındaki değerler iyi işlenebilirlik seviyesini göstermektedir. Bu değer aralığındaki pirinçlerden bazıları  $\text{CuZn38Pb1}$ ,  $\text{CuZn36Pb2}$ ,  $\text{CuZn39FeMnSi}$  alaşımlarıdır [9].

Kurşun pirinç dökümünde ötektik sıvı içerisinde saf kurşun olarak çökelmekte ve dendritler arası bölge ya da tane sınırlarında katılaşmaktadır. Pirincin döküm yapısında çekilme boşluklarına ve sıcak yırtılmalara neden olmaktadır. Ayrıca, kurşunun insan sağlığı açısından zararlı bir ağır metal olmasından dolayı günümüzde su tesisatlarında (pompa, boru ve bağlantılar) kullanılan kurşunlu pirinçlerin kullanımı kısıtlanmıştır. Bunun yerine selenyum bizmut içeren kurşunsuz bakır-grafit alaşımları kullanılmaya başlanmıştır [9].

Ancak bizmut, kurşundan yaklaşık on kat pahalıdır ve tedariki zor bir metaldir. Ayrıca bazı araştırmalar bizmutun bakır ve alaşımlarında kırılabilirliğe yol açtığını göstermiştir. Kurşunsuz pirinç, ticari kurşunlu pirinçle aynı döküm yapısına, mukavemete ve işlenebilirlik özelliğine sahiptir. Ancak, kurşunsuz pirincin sünekliği, kurşunlu pirince göre daha düşüktür. Bunun nedeni, bizmutun bakır ve alaşımlarında tek tabakalı olarak atomsal boyutta tane sınırına çökmesidir [9, 19, 20, 21].

## 2.6. Pirinçlerin Mekanik ve Fiziksel Özellikleri

Çeşitli pirinç alaşımlarında az miktarda kurşun, silisyum, mangan, nikel ve alüminyum gibi alaşım elementlerini de görmek mümkündür. Alaşım elementleri alaşımın özelliklerini değiştirir. Örneğin, daha önce belirtildiği gibi az miktardaki alüminyum, alaşımının deniz korozyonuna karşı dayanımını, % 1–2 kurşun ilavesi ise talaşlı işlenebilirliğini artırır [9, 22].

Pirinçler eşsiz birleşim özellikleriyle birçok parçanın imalatında kullanılabilen malzemelerdendir. İyi olan mukavemet ve süneklik çok iyi olan korozyon ve işlenebilirlik ile birleşince vazgeçilmez bir malzeme olduğu ortaya çıkmaktadır.

Pirinç malzemenin seçilmesinin nedenleri aşağıda maddeler halinde verilmiştir. Bunlar;

1. Talaşlı imalatı kolay işlenebilirliğe sahiptir.
2. Isı ve elektrik iletkenliği iyi.
3. Özelliklerini kaybetmeden geri dönüşümü mümkündür.
4. Sünektir ve dövülebilir.
5. Kıvılcım çıkarmaz. Tutuşma
6. İyi bir şekilde kaplanabilir.
7. Birçok boyutlarda temin edilebilmesi mümkündür.
8. Korozyon dayanımı iyi.
9. Mukavemeti iyidir (bakırdan daha mukavemetlidir).
10. İyi bir darbe dayanımı vardır.
11. Güzel bir rengi vardır.
12. Aşınma dayanımı iyidir.
13. 200 °C'nin altında birçok fiziksel özelliklerini kaybetmez.
14. Güneş ışığından zarar görmez.
15. Fiyatı oldukça uygun olup bakırdan daha ucuzdur [9, 23].

### 2.6.1. Mukavemet

Pirinç malzemeler yumuşatılmış durumda sünek ve mukavemeti iyidir, haddeleme veya çekme gibi soğuk şekillendirme teknikleri ile sertleştirildiği zaman mukavemetleri önemli ölçüde artar [9].

Pirinçlerin mukavemeti 200 °C'nin altında önemli ölçüde değişmez, 300 °C civarında ise sadece % 30 azalır. Bu özellik pirinç malzemelere alternatif olarak kullanabilecek birçok malzemede yoktur. Yüksek mukavemet gereken uygulamalar için yüksek mukavemetli pirinçler bulmak mümkündür. Bu tip pirinçler mukavemet artırıcı ilave alaşım elementleri içerirler [9, 23].

Pirinçlerin özellikleri alaşımdaki çinko miktarına bağlıdır. Daha önce de belirtildiği gibi, pirinçlerin mukavemeti alaşımdaki çinko miktarının artması ile yükselir ve maksimum değere yaklaşık ağ. % 40 çinko oranında ulaşır (daha önce 45 olarak



belirtilmiş). Çinko oranının yaklaşık % 35 olduğu noktada mukavemet ve sünekliğin kombinasyonunun en iyi olduğu değere ulaşır. Diğer mekanik özelliklerden, elastisite modülü artan çinko miktarı ile önemli ölçüde düşerken, daha az miktarda olmakla birlikte kayma modülü de yine artan çinko miktarı ile düşüş göstermektedir [9, 23].

### **2.6.2. Elektrik ve ısı özellikleri**

Ev ve endüstride kullanılan elektrik gereçlerinin yapımında, yüksek ısı ve elektrik iletkenlikleri ve yine çok iyi olan korozyon dayanımları pirinçleri, seçilebilecek ideal bir malzeme yapar. Kondansatör ve ısı değiştiricilerinde bulunan borularda olduğu gibi, ısı iletkenliği yüksek olan malzemelerin kullanılmasının gerektiği uygulamalarda, pirinç malzemeler ön plana çıkmaktadır [9, 23].

### **2.6.3. Süneklik ve biçimlendirebilirlik**

İçermiş olduğu bakır oranı ağırlık%63'den fazla olan pirinçler, büyük ölçüde oda sıcaklığında şekillendirilebildiğinden, derin çekme ve diğer soğuk şekillendirme yöntemleriyle karmaşık parçaların imalatında kullanılırlar. Eğer bakır oranı ağırlık%63'ün altında ise ve diğer alaşım elementlerini içermiyorsa, oda sıcaklığındaki süneklik düşmekte ve bu tip alaşımlar haddeleme, ekstrüzyon, dövme, sac şekillendirme yöntemleriyle ancak sıcak olarak şekillendirilebilmektedir [9, 23].

### **2.6.4. Pirincin aşınma dayanımı**

Daha önce belirtildiği gibi, pirinç içerisinde alaşım elementi olarak bulunan kurşun, pirince yağlama etkisi kazandırır. Bu nedenle saat gibi çeşitli araçların dişli, plaka gibi parçaları düşük sürtünme katsayısı ve düşük aşınma özelliği sebebiyle pirinç malzemelerden seçilebilir [9].

### **2.6.5. Pirincin korozyonu**

Gerilmeli-korozyon çatlakları (mevsim çatlakları); Soğuk şekillendirilmiş halde, yaklaşık ağırlık%15 'den fazla Zn içeren  $\alpha$ -pirinçleri, oksijen ve nemin varlığında çok az

amonyakla temas içinde olursa gerilmeli-korozyon çatlak oluşumuna yatkın hale gelirler.  $\alpha$ -pirinçlerinde olan gerilmeli-korozyon çatlakları, genellikle tane sınırları boyunca olur. Alaşım şiddetli bir şekilde deforme edilirse çatlaklar tanelere doğru ve taneler içinden olur. Bu tip gerilmeli korozyon çatlakları, bazen mevsim çatlakları olarak adlandırılır. Gerilme-giderme (toparlanma işlemi) işlemi ile soğuk şekillendirilmiş pirinçlerde bu tip hasara olan yatkınlıkları ile azaltılabilir [9, 23].

Çinkosuzlaştırma; bazı pirinçlerin yatkın olduğu başka bir korozyon türü çinkosuzlaşma olarak bilinmektedir. Yüzeyden tercihen çinko eksilirken geride gözenekli bir bakır ve korozyon ürünleri bırakır. Çinkosuzlaşmanın gerçek mekanizması tam olarak anlaşılacakla beraber, pirincin yüzeyine yayılan çinkonun orada reaksiyona uğradığı ve bakır çinko alaşım kalıntısı bıraktığı sanılmaktadır. Sonuç olarak gözenekli çinkosuz bir tapan metal oluşur [9, 23].

Daha önce belirtildiği gibi korozyon dayanımı; Malzemelerin korozyona karşı dayanımı son derece iyidir, bu özellik birçok uygulama için pirincin ilk seçim olmasını sağlar. Pirinç malzeme seçimi ile korozyona karşı dayanım, hem doğal hem de ekonomik olarak sağlanmış olmaktadır. Pirinçler atmosfere açık bir ortamda bulunduğu zaman malzemeyi korozyona karşı koruyacak yüzeyde çok ince bir tabaka oluşur. Fakat pirinçte meydana gelen yüzeydeki bu tabaka, bazı bakır çatı kaplamalarında çok sık olarak görülen ve malzeme yüzeyinde oluşan reina adı verilen ince yeşilimsi tabakadan farklıdır. Pirinç malzemeler sonsuza dek atmosfer korozyonundan etkilenmeden kalabilir. Çünkü pirinçler demir ve çelikler gibi paslanmaz [9, 23].

Uygun pirinç alaşımının seçilmesi durumunda deniz suyunda da korozyona uğramadan rahatlıkla kullanılabilir. Pirinçten yapılmış borular, burçlar, manşonlar, vanalar, merkezi ısıtmalar, deniz suyu hatları, buhar kondansatörleri uzun zamanda beri uygulamada yer bulmaktadır. Mangan içeren yüksek mukavemetli pirinçler özellikle atmosfer korozyonuna karşı son derece dayanıklıdır. Sürekli atmosfere açık olmanın bir sonucu olarak bu tür pirinçlerin rengi yavaş yavaş bronzun koyuluğuna dönüşür [9, 23].

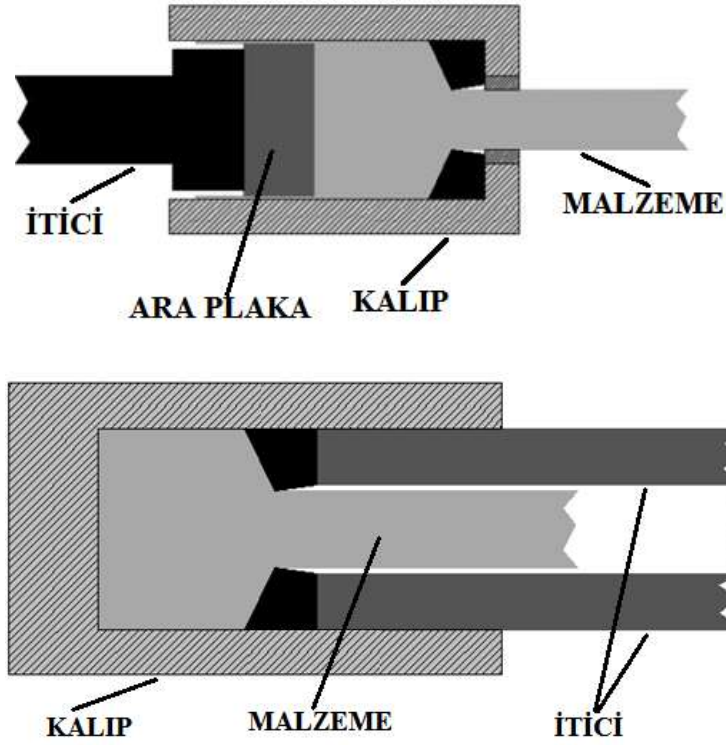
### 2.6.6. Talahlı İşlenebilirlik

Tüm pirinç malzemeler iyi işlenebilmekle birlikte, çok az miktarda kurşun içeren pirinçlerde işlenebilirlik biraz daha iyidir. Şekil 2.10’da görüldüğü gibi, bu pirinçler iyi işlenebilir pirinçler olarak bilinirler. Yüksek işleme hızları ve işleme takımlarında düşük aşınma oranı üretim maliyetinin minimum olmasını sağlar. Uzun üretim hatları boyunca parçalar istenen toleranslarda rahatlıkla işlenebilir, bu da parça maliyetini düşüren diğer bir parametredir [9, 23].

Bu çalışmada tek fazlı  $\alpha$  pirinci olan CuZn30 kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan CuZn30 pirinç malzeme soğuk haddeleme yöntemiyle imal edilmiştir.  $\alpha$  pirinçleri oda sıcaklığında tek fazlı ve belirli tane sınırlarına sahip olduklarından dolayı tane boyutunun bulunması nispeten daha kolay olmuştur.

### BÖLÜM 3. EKSTRÜZYON

Metal bir bloğun (takoz), bir kovan içine yerleştirilerek ıstampa vasıtasıyla uygulanan basma kuvveti etkisiyle matris deliğinden geçirilmesi işlemine ekstrüzyon denir. Ekstrüzyon sıcak veya soğuk olarak uygulanabilen bir yöntemdir. Sıcak ekstrüzyon da takozlar, kovan içine konulmadan önce ekstrüzyon sıcaklığına kadar ısıtılırlar. Özellikle düşük ekstrüzyon hızlarında takozun konacağı kovanın da ısıtılması gerekmektedir [24].

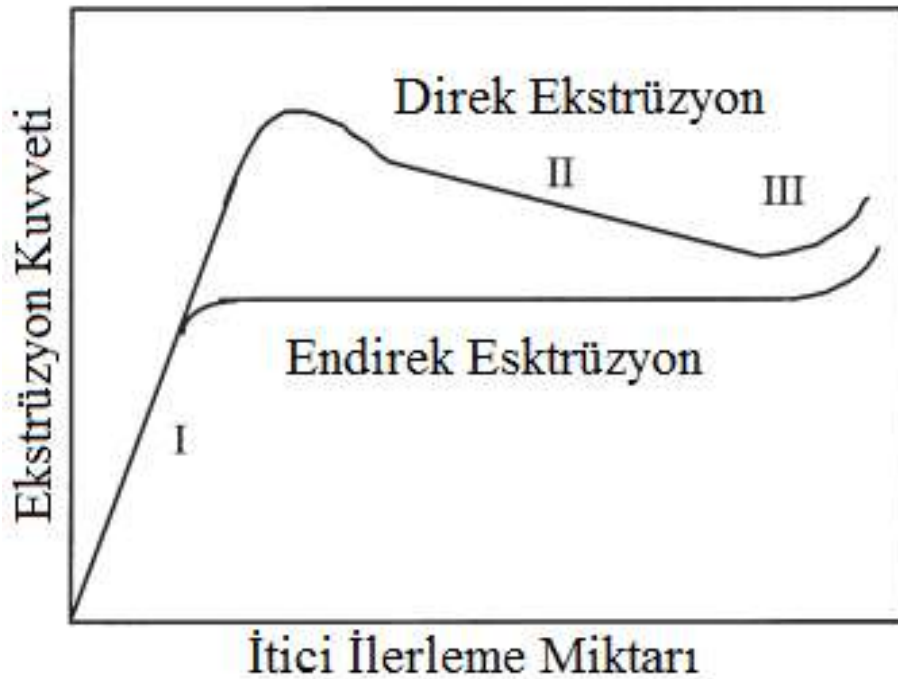


Şekil 3.1. Sırasıyla üstte direk ve altta endirek ekstrüzyon yöntemlerinin şematik gösterimi

Ekstrüzyon yöntemleri, direk ve endirek olmak üzere başlıca iki kısma ayrılabilir. Direk ekstrüzyon işleminde kovan içerisindeki takoz, ıstampa ile aynı yönde harekete zorlanarak matristen çıkarılır. İstampaın korunması amacıyla genellikle takoz ile arasına bir levha konulur. Endirek ekstrüzyon da ise matris ıstampanın ucuna tespit

edilmiştir. Dolayısıyla endirek ekstrüzyon da matris deliğinden geçen ürün ile istampanın hareket yönünün terstir.

Ekstrüzyon işlemlerinde kovan içerisinde bir miktar atıl malzeme kalmaktadır. Bu oran direk ekstrüzyon işleminde, kovan içerisindeki takoz ağırlığının %18-%20 arasında olurken, endirek işlemlerde bu değer %5-%6 arasında olmaktadır. Buna karşın endirek ekstrüzyon işlemi için gereken kuvvet, direk ekstrüzyon işlemine göre %25-%30 oranında daha az olmaktadır [24].



Şekil 3.2. Ekstrüzyon işlemlerinde kuvvet değerleri

Yukarıdaki Şekil 3.2'de direk ve endirek ekstrüzyon işlemlerinin iticinin kat ettiği mesafeye göre değişimi görülmektedir. Her iki ekstrüzyon yöntemi içinde kuvvet eğrisi üç temel kısımdan oluşmaktadır. Bunlar;

- I- Ekstrüzyon işleminin başlaması ve en yüksek kuvvet değerine kadar kuvvet artışı,
- II- Kuvvetin, kovandan malzeme çıkışı ile azalması veya sabit duruma gelmesi,
- III- Kuvvetin, kovanda atıl durumda kalan malzemeyi sıkıştırması ile tekrar artması.

Direk ekstrüzyon işleminde uygulanan kuvvetler, özellikle soğuk ve kuru ekstrüzyon işleminde, çok yüksek değerlere çıkabilmektedir. Bunun nedeni takoz ile kovan arasında oluşan göreceli hareketin sebep olduğu sürtünme kuvvetidir. Endirek ekstrüzyon işleminde numune ile kovan yüzeyinde herhangi bir göreceli hareket olmadığı için, numune ve kovan arasında sürtünme kuvveti de oluşmamaktadır. İki yöntem arasındaki kuvvet farklılığının temel sebebi budur.

Direk ekstrüzyon işleminde uygulanan kuvvet değerinin dört temel bileşeni bulunmaktadır. Bu kuvvet bileşenleri şu şekildedir;

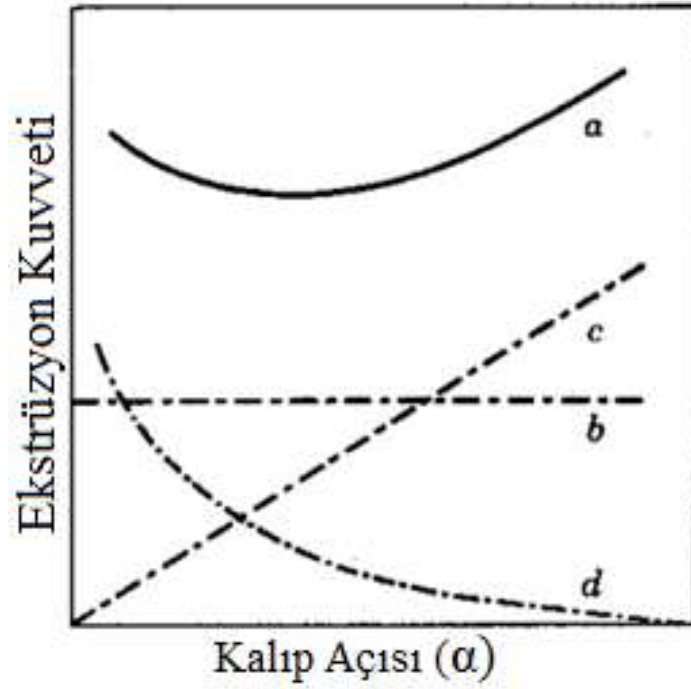
- I-  $F_h$ , homojen deformasyon,
- II-  $F_g$  kalıp açısına göre değişen gereksiz (kayma) deformasyon,
- III-  $F_{s,ka}$ , eğimli kalıp yüzeyi ile numune arasındaki sürtünme kuvveti,
- IV-  $F_{s,ko}$  kovan ve numune arasındaki sürtünme kuvveti [7].

$$F_{ekz} = F_h + F_g + F_{s,ka} + F_{s,ko} \quad (3.1)$$

Aynı boyutlara sahip numunelerin, aynı ekstrüzyon oranı fakat farklı ekstrüzyon açıları ile yapılan deneylerinde ekstrüzyon kuvvetleri farklı büyüklüklerde çıkmaktadır. Ekstrüzyon oranı sabit olduğu için  $F_h$  ve  $F_{s,ko}$  kuvvet bileşenlerinin etkileri, aynı numune boyutları için farklı ekstrüzyon açılarında da eşit olmaktadır. Ekstrüzyon kuvvet değerlerinin farklılığı ise, kalıp açısından kaynaklanan gereksiz deformasyon kuvveti,  $F_g$  ile eğimli kalıp yüzeylerinde meydana gelen sürtünme kuvvetinin,  $F_{s,ka}$  farklılığından kaynaklanmaktadır.

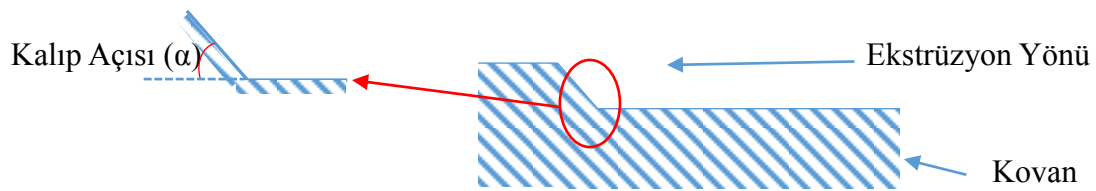
Aşağıdaki şekil, ekstrüzyon işleminde ekstrüzyon kuvvetinin kalıp açısına göre değişimini vermektedir. Resimde görülen eğriler şu şekilde sıralanabilir:

- a- Toplam ekstrüzyon kuvvetini,
- b- İdeal ekstrüzyon kuvvetini,
- c- Gereksiz (kayma) deformasyona harcanan kuvveti,
- d- Sürtünmeye karşı harcanan kuvveti,



Şekil 3.3. Ekstrüzyon işleminde kuvvet ve kalıp açısı arasındaki ilişki

Kalıp açısı arttıkça numunelerin eğimli kalıp yüzeyinde, birim mesafede maruz kaldıkları kayma deformasyon miktarı da artmaktadır. Ancak kalıp açısının artması ile eğimli kalıp yüzey mesafesi kısalmaktadır. İlk durumdan kaynaklanan kuvvet artışı ve ikinci durumdan kaynaklanan sürtünme kuvveti düşüşü nedeniyle ekstrüzyon kuvvetinde bir değişim gözlenmektedir. Ekstrüzyon kuvveti belirli bir kalıp açısı değerinde ise yukarıdaki resimde de görüleceği üzere (Şekil3.3) optimum bir değere ulaşmaktadır. Aşağıda da kalıp açısının temsili şematik gösterimi verilmiştir.

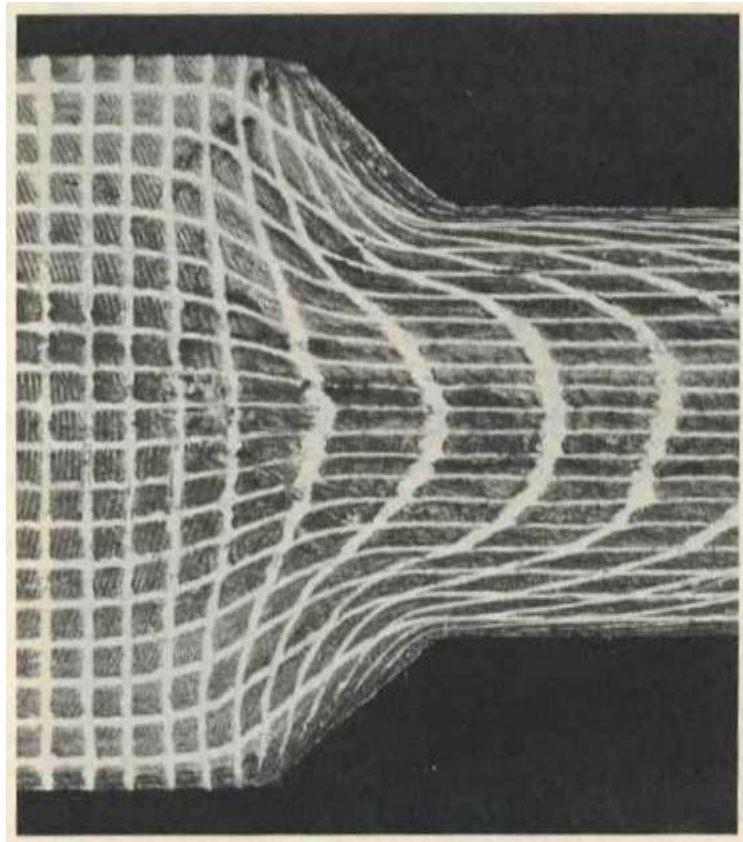


Şekil 3.4. Ekstrüzyon açısının şematik gösterimi

Direk ekstrüzyon işleminde malzemenin dayanımı, uygulanan kuvvetin etkisiyle zamanla pekleşmesi sonucunda artmaktadır. Bunun sonucu olarak, ekstrüzyon işlemi sırasında kovan yüzeyinde ve eğimli kalıp yüzeyinde harcanan sürtünme kuvvetinde de zamanla artış görülmektedir. Ayrıca kovan içerisindeki numunenin kuvvet etkisiyle şişmesi de sürtünme kuvvetini artırmaktadır. Sürtünmenin neden olduğu

kuvvet, kalıp içerisindeki henüz ekstrüde edilmemiş malzeme miktarı ile orantılıdır. Bu miktarın fazla olması sürtünmeye harcanan kuvvetin dolayısıyla da ekstrüzyon kuvvetinin yüksek olmasına yol açmaktadır. Ancak bu durumun tersi olarak, eğimli kalıp yüzeyinde meydana gelen sürtünme kuvvetindeki değişim, kalıp içerisinde kalan veya ekstrüde edilen malzeme miktarı ile ilgili değildir.

Malzemenin kuvvet etkisiyle pekleşmesiyle artan dayanımı sebebiyle, malzemenin deformasyonu için uygulanması gereken kuvvet miktarı da artmaktadır. Neticede ekstrüzyon işlemi sırasında, ekstrüzyon kuvvetinde belirli bir maksimum değere kadar sürekli artış görülmektedir. Ancak kovan içerisinde kalan malzeme miktarının azalması ile düşen kovan sürtünme kuvvetinin etkisiyle ekstrüzyon kuvveti bu maksimum değerden sonra düşüş trendine girmektedir. Ekstrüzyon işleminin sonuna doğru, itici ile kalıp arasındaki mesafenin iyice azalmaktadır. Ayrıca bu bölgede aşırı pekleşmiş malzeme kalması ile beraber, kuvvet değeri tekrar hızla yükselmekte ve bu da ekstrüzyon işleminin tamamlandığına işaret etmektedir.

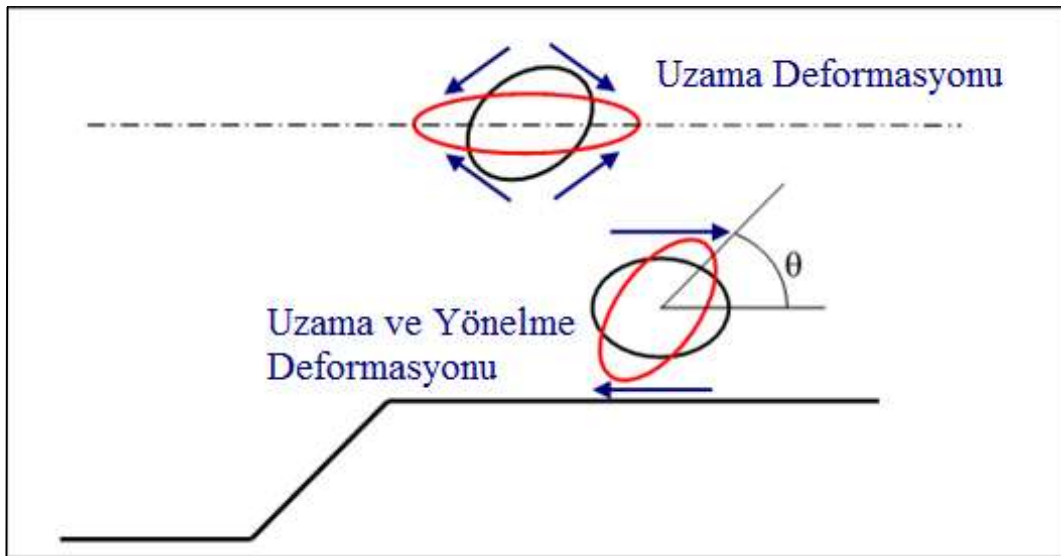


Şekil 3.5. Makro boyutta ekstrüzyon işlemi sonrasında numunede meydana gelen plastik deformasyon



Ekstrüzyon işleminde numune plastik deformasyona uğrayarak yeni bir form kazanmaktadır. Numunede meydana gelen şekil değişimi, numunenin farklı bölgelerinin farklı plastik deformasyonlara maruz kalması ile mümkün olmaktadır. Kovan içerisindeki numune, kuvvetin etkisiyle kalıptan çıkmaya başladıktan sonra numunenin dış kısmı ile merkezi farklı şekilde deforme olmaktadır. Yukarıdaki şekilde numunenin ekstrüzyon işlemi sonrasında maruz kaldığı plastik deformasyon gösterilmiştir [25].

Numunenin dış kısımları ve merkezinin maruz kaldıkları plastik deformasyon miktarları aynı olmamaktadır. Numunenin merkezinde basma kuvvetleri altında uzama meydana gelirken, açılı kalıp ve yüzey sürtünmesi sonucu yüzeye doğru malzemede basit kayma tipi deformasyon meydana gelmektedir. Dış kısımlarda hem uzama hem de yönelme şeklinde kayma deformasyon gerçekleşmektedir. Aşağıdaki şekilde merkezde ve yüzeye yakın bölgelerde meydana gelen plastik deformasyon türleri gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Numunenin merkezi ve dış kısmında meydana gelen plastik deformasyon biçimleri

Resimden de anlaşılacağı üzere ekstrüde edilmek istenen numunenin dış ve merkez bölgeleri farklı şekillerde deformasyona uğramaktadırlar. Kalıp açısının, eğimli kalıp yüzey bölgesinin ve kalıp takoz sürtünme katsayısının artması ile beraber numunenin yüzey bölgesinde meydana gelen kayma deformasyonu miktarı da artmaktadır. Bu

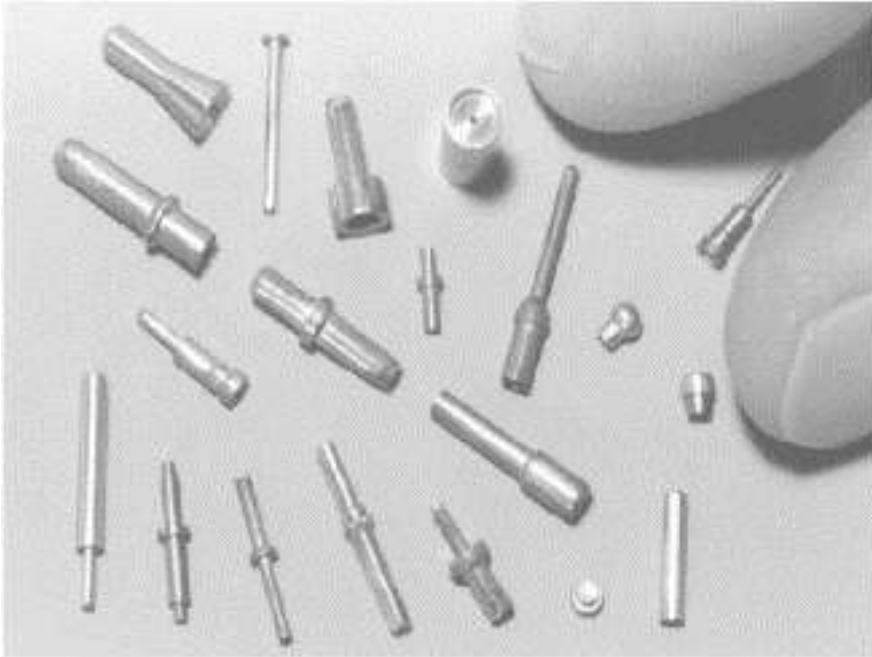
durum, önceki kısımlarda da belirtildiği üzere numuneye uygulanacak ekstrüzyon kuvvet değerindeki değişimi etkilemektedir.

Bu tezde çalıştığımız konu olan mikro-ekstrüzyon işleminde, numune boyutları küçük olduğundan numunelerin sahip oldukları tane büyüklükleri daha ön plana çıkmaktadır. Makro boyutta yapılan ekstrüzyon işleminde (numunenin kesitinde çok sayıda tanenin bulunduğu durum) yüzey taneleri daha az etkindir ve davranışları tahmin edilebilmektedir. Ancak mikro boyutta yapılan ekstrüzyon işleminde malzeme kesitinde çok az sayıda tane bulunduğundan (bazen kritik kesitte sadece birkaç tanenin olduğu), malzemenin sahip olduğu tane yapısı ve özellikle yüzey taneleri daha ön plana çıkmaktadır. Sonraki bölümde de işte bu bahsettiğimiz durumun karşılaştığı mikro-ekstrüzyon işlemine değineceğiz.

## BÖLÜM 4. MİKRO-EKSTRÜZYON

Günümüzde geleneksel anlamdaki ekstrüzyon yöntemlerinin üretimdeki yeri çok ciddi boyutlardadır. Özellikle boru ve nispeten karmaşık geometrili mamullerin üretiminde sağladıkları üretim kolaylıkları nedeniyle tercih edilmektedir. Son yıllarda artan mikro imalat yöntemlerinin gerektirdiği mikro boyutlarda ürün imalatı çerçevesinde, geleneksel ekstrüzyon yöntemleri de mikro imalata uygun hale getirilmiştir. Geleneksel ekstrüzyon yöntemlerinin mikro imalata uyarlanması ile mikro-ekstrüzyon yöntemi geliştirilmiştir.

Mikro-ekstrüzyon yöntemleri sayesinde çok daha küçük boyutlarda ürünler, makine parçaları kolaylıkla imal edilebilir hale gelmiştir. Mikro-ekstrüzyon yöntemleriyle, mikro boyutta veya en az bir boyutu birkaç milimetreyi geçmeyecek şekilde ürünler imal edilebilmektedir. Aşağıdaki şekilde mikro-ekstrüzyon yöntemi ile imal edilen çeşitli boyutlardaki pimler görülmektedir [1].



Şekil 4.1. Mikro-ekstrüzyon yöntemi ile imal edilmiş pimler

#### 4.1. Mikro-Ekstrüzyon Yönteminde Boyut Etkisi

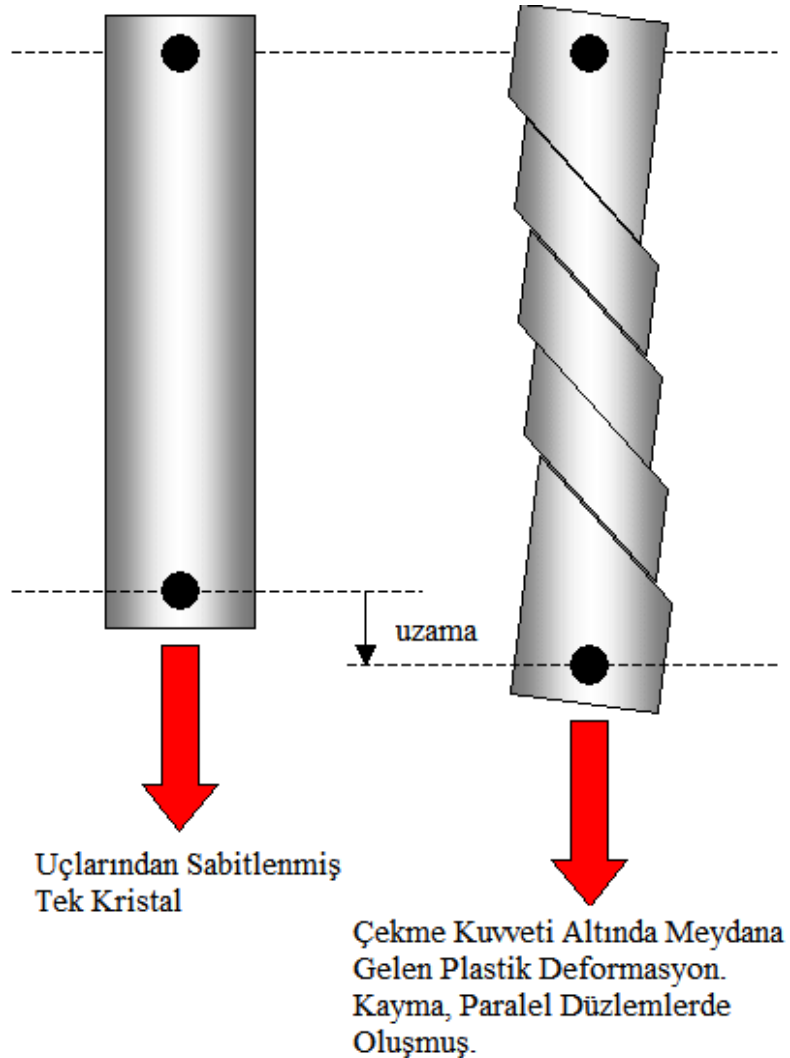
Genel olarak mikro-şekillendirme yöntemlerinde, malzemenin deformasyon davranışındaki değişiklikler, numune ve tane boyutu arasındaki ilişki ve yüzey alanı hacim oranının yüksek olması şeklinde iki temel sebepten kaynaklanmaktadır. Mikro ölçekteki bir metal şekillendirme işleminde hem tane boyutunun numune boyutuna oranı hem de numunenin yüzey alanının hacmine oranı belirgin bir şekilde artış göstermektedir [26].

Metal malzemeler katı halde iken belirli bir atomsal dizilişe sahiptirler. Atomal mertebelere göre uzun mesafelerdeki bu düzenli dizilime kristal yapı adı verilir. Metal malzemeler katı halde belirli kristal yapılara sahiptirler. Metallerdeki kristal yapılar genel olarak, YMK, HMK, SDH olmak üzere üç farklı şekilde karşımıza çıkmaktadırlar. Kristal yapıların özelliklerinin bilinmesi, malzemeye uygulanacak herhangi bir kuvvet altında malzemenin sergileyeceği mekanik davranışın da bilinebilmesi ya da en azından tahmin edilebilmesine olanak sağlamaktadır [27].

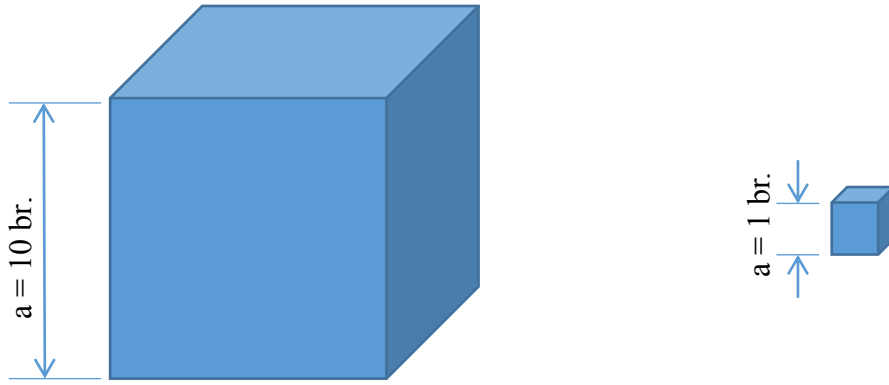
Bilindiği üzere plastik deformasyon, metallerde kayma mekanizmaları ile meydana gelmektedir. Kayma mekanizmaları, kristal yapının özelliklerine göre her kristalde farklılık göstermektedir. Ancak kayma mekanizmaları her kristal yapıda, kayma düzlemleri üzerindeki kayma yönlerinde oluşmaktadır. Kristal yapı malzemedeki plastik deformasyon, kristal yapı malzemeye uygulanan kuvvetin etkisiyle, kayma mekanizmasının bu kayma düzlemleri üzerinde meydana gelmesiyle oluşmaktadır. Kayma sistemleri sayısının çok olması, o malzemenin daha kolay şekillendirilebileceğine işaret edebilir. Örnek olarak, YMK kristal yapıda 12 farklı kayma sistemi varken, bu sayı SDH kristal yapıda çok daha azdır. HMK kristal yapıda ise kayma sistemleri sayısı malzemeye göre bazen 48 adete kadar çıkabilmektedir [27].

Tek kristal olarak üretilmiş bir silindir çubuk çekme veya basma deneyine tabi tutulduğunda, silindir çubuğun sahip olduğu kristal yapı doğrultusunda sergileyeceği plastik deformasyon davranışı tahmin edilebilmektedir [27].

Mikro-ekstrüzyon işleminde de diğer mikro imalat yöntemlerinde olduğu gibi, özellikle tane boyutu çok önemli bir yer teşkil etmektedir. Makro şekillendirme yöntemlerinde tane sayısının çoğu zaman sayılamayacak kadar çok olması, uygulanan kuvvet altında numunenin belirli bir mekanik davranış sergilemesine sebep olmaktadır. Ancak bu durum, tane sayısı ancak birkaç adedi bulunduğu öngörülemez bir duruma dönüşmektedir. Mikro-ekstrüzyon işleminde ekstrüde edilmek istenen numune kesitlerinde genellikle birkaç tane bulunduğu için şekillendirme işlemi sonrasında malzemenin nasıl bir mekanik davranış sergileyeceği genellikle tahmin edilememektedir [27].



Şekil 4.2. Tek kristalli silindirik numunede plastik deformasyon



Şekil 4.3. Boyut etkisinin sembolik gösterimi

Yukarıdaki şekilde bir kenarı 10 birim uzunlukta olan küp ile bir kenarı 1 birim olan iki küp şematik olarak gösterilmiştir. Bu iki küp için yüzey alanı/hacim oranı hesaplanacak olursa;

10 birim kenarlı küp için;

$$\frac{\text{Yüzey Alanı}}{\text{Hacim}} = \frac{6 \times 10^2}{10^3} = \frac{600}{1000} = 0,6$$

1 birim kenarlı küp için;

$$\frac{\text{Yüzey Alanı}}{\text{Hacim}} = \frac{6 \times 1^2}{1^3} = \frac{6}{1} = 6$$

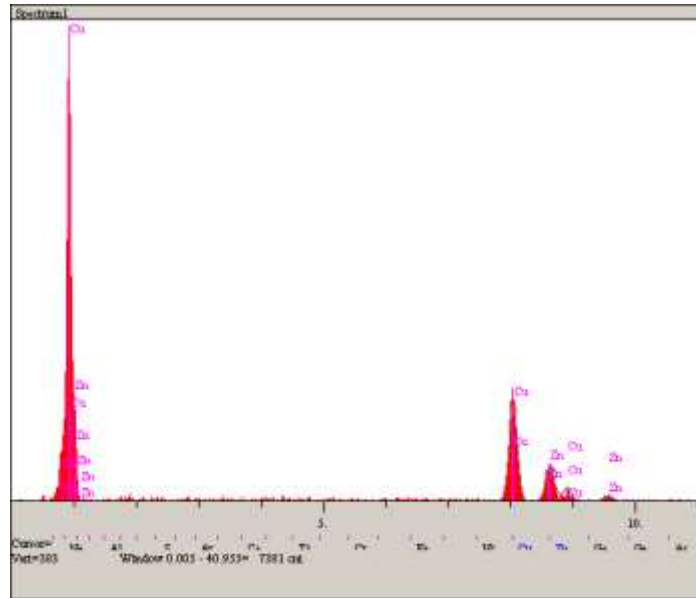
Denklemlerden de görüleceği üzere küpün kenar uzunluğunun 10 kat azalması sonucunda yüzey alanı/hacim oranı 10 kat artmaktadır. Böylece yüzey tanelerinin önemi de çok daha ön planda olmaktadır.

## BÖLÜM 5. DENEYSEL YÖNTEM

### 5.1. Malzeme Seçimi ve Numune Hazırlama Süreci

Bu tezde numune ve tane yapısının mikro-ekstrüzyon işleminde kuvvet üzerine olan etkileri incelenmiştir. Tane boyutları arasındaki farkların daha belirgin olması için iki farklı sıcaklıkta tavlama işlemi yapılmıştır.

Pirinç malzemenin yumuşak bir metal olması, ihtiyaç duyulan ekstrüzyon kuvvetlerinin daha düşük seviyelerde olmasını sağlamaktadır. Özellikle mikro boyutlarda yapılan imalatlarda bu metallerin sağlamaları gereken mekanik özellikler iyi olmamaktadır. Pirinç malzemenin küçük boyutlarda da plastik deformasyon sonrası istenen mekanik özellikleri karşılaması diğer metallerin (saf bakır, alüminyum gibi) yerine tercih edilmesine sebep olmuştur. Ayrıca literatürde de mikro şekillendirme yöntemlerinde ağırlıklı olarak pirinç malzeme kullanımının tercih edildiği gözlenmiştir.



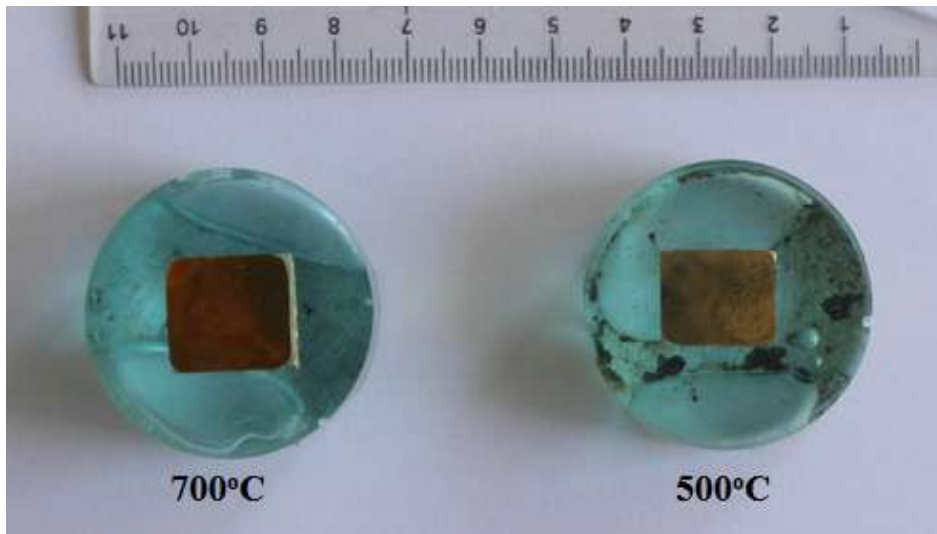
Şekil 5.1. Pirinç malzemenin SEM analiz sonuçları

Soğuk haddelenmiş halde temin edilen pirinç plaka, öncelikle kimyasal kompozisyonunun tespit edilmesi için taramalı elektron mikroskobunda (SEM) incelenmiştir. Pirinç plakanın SEM analiz sonuçları yukarıdaki şekilde görülebilir. Ayrıca pirinç plakaya ait kimyasal bileşim tablosu da SEM analizinden elde edilerek tablo şeklinde aşağıya eklenmiştir.

Tablo 5.1. Pirinç malzemenin kimyasal konsantrasyonu (SEM analiz sonucu)

Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Atomic %	Conc	Units	
Cu	Ka	131.54	7.252	69.104	68.489	wt.%	
Zn	Ka	49.55	4.451	30.896	31.511	wt.%	
				100.000	100.000	wt.%	<b>Total</b>

CuZn30 pirinci ( $\alpha$  pirinci) Türkiye’de ticari olarak sık kullanılan bir malzeme değildir. Bu nedenle satın alınan pirinç plakanın içeriğindeki ağırlık % Zn oranının belirlenmesi amacıyla SEM analizi yapılmıştır. SEM analizi sonrasında ağırlık %30 Zn içerdiği tespit edilen pirinç plakaların  $\alpha$ -pirinci olduğu anlaşılmıştır. Bunun sonunda pirinç plaka yaklaşık eşit büyüklükte iki ayrı plaka olarak kesilmiştir. Kesilen plakalar, farklı boyutlarda taneler elde edebilmek için 500°C ve 700°C sıcaklıkta birer saat süreyle tavlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Tavlama işlemi sonrasında plakalardan çıkarılan numuneler, tane boyutlarının bulunması amacıyla metalografik işlemler için hazırlanmıştır. Çıkarılan numunelerin küçük boyutlarda olması, metalografik işlemlerin daha rahat yapılabilmesi için numunelerin epoksiye alınmasını gerektirmiştir.



Şekil 5.2. Epoksiye alınmış numuneler (sırasıyla 700°C ve 500°C’de tavlama işlemi yapılmış numuneler)



Tane boyutlarının bulunması sırasında numuneler sırasıyla zımparalama, parlatma ve dağlama işlemlerine tabi tutulmuştur. Zımparalama işleminde sırasında sırasıyla 60'lık, 240'lık, 320'lik, 400'lük, 600'lük, 800'lük ve 1000'lik zımpara kağıtları kullanılmıştır. Her bir kademedede numuneler sabunlu su ile iyice yıkanmış ve bir önceki kademededen kaynaklanan kalıntı kalmaması sağlanmıştır. Pirincin yumuşak bir malzeme olmasından dolayı kalıntılar numunelerin yüzeylerinde çizikler oluşturmakta ve süreç zımparalama işlemine bir önceki kademededen tekrar başlanarak devam ettirilmesine sebep olmaktadır.

Parlatma işleminde, pirincin yumuşak bir malzeme olmasından dolayı 0,05 µm boyutunda alümina ( $Al_2O_3$ ) kullanılmıştır. Alümina boyutunun küçük olması nedeniyle de parlatma işlemi diğer metallere kıyasla çok daha uzun zaman almıştır. Parlatma işleminin bitmesinin ardından -numunelerin yüzeylerinde gözle görülebilecek herhangi bir izin kalmaması durumunda numuneler önce sabunlu su ile yıkanmış, etil alkol yardımıyla yüzeydeki su kalıntıları uzaklaştırılmıştır. Fan yardımı ile alkolün yüzeyden buharlaştırılarak uzaklaştırılması ile numuneler dağlama işlemine hazır hale gelmişlerdir.

Dağlama işleminde öncelikle nitrik asit ve saf su karışımından oluşan dağlayıcı kullanılmıştır. Bu dağlayıcının kullanılması ile istenen metalografik görüntüler elde edilememiştir. Bu nedenle amonyum hidroksit ve saf su belli oranlarda karıştırılarak oluşturulan dağlayıcı kullanılmıştır. Küçük miktarlarda hazırlanan dağlayıcıya numunelerin üzerine damlatılmadan hemen önce hidrojen peroksit eklenmiştir. Hidrojen peroksit, bakır alaşımlarında tanelere kontrast kattığı ve tane sınırlarını daha belirgin hale getirdiği için kullanılmıştır.

Bu dağlayıcı ile yapılan dağlama işlemleri sonrasında, özellikle 500°C sıcaklıkta tavllanmış olan numunede çok iyi netice alınamamıştır. Bu numunenin tane boyutlarının nispeten daha küçük olması nedeniyle dağlama süresinin kontrolü, dolayısı ile dağlama işlemi çok zor olmaktadır. Nitekim art arda yapılan dağlama işlemlerinde 500°C'lik numune için tatmin edici bir mikro yapı fotoğrafı elde edilememiştir. Bu nedenle hem 500°C'de tavllanmış numunenin hem de 700°C'de tavllanmış numunenin dağlama işleminde elektrolitik parlatma ve dağlama işlemi

uygulanmıştır. Aşağıda Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te metalografi işlemlerinde kullanılan zımparalama-parlatma ve elektrolitik dağlama cihazlarının resimleri görülmektedir.



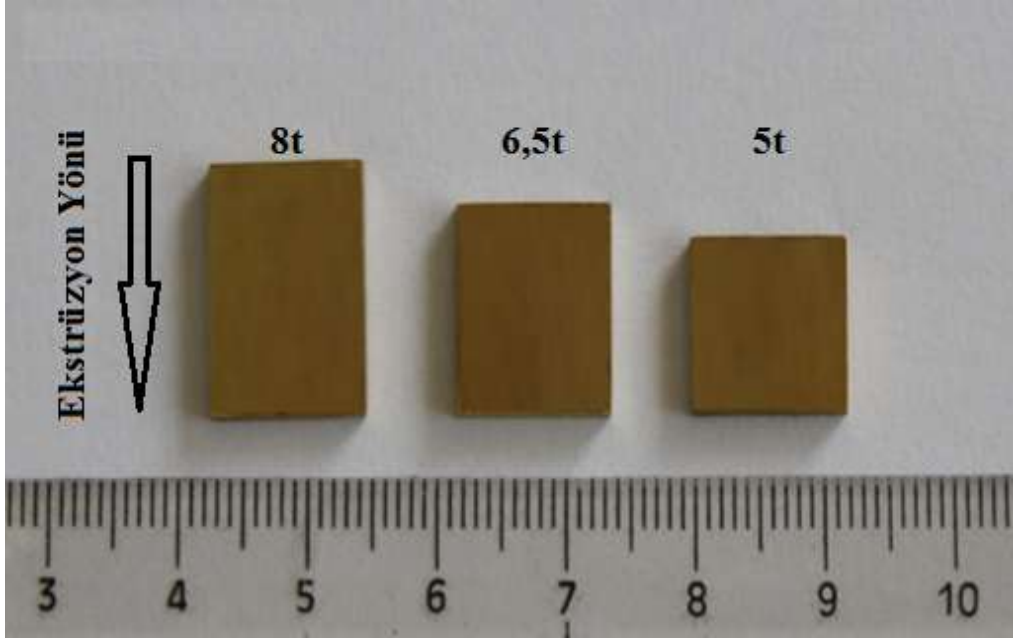
Şekil 5.3. Metalografik işlemlerde kullanılan zımparalama-parlatma cihazı



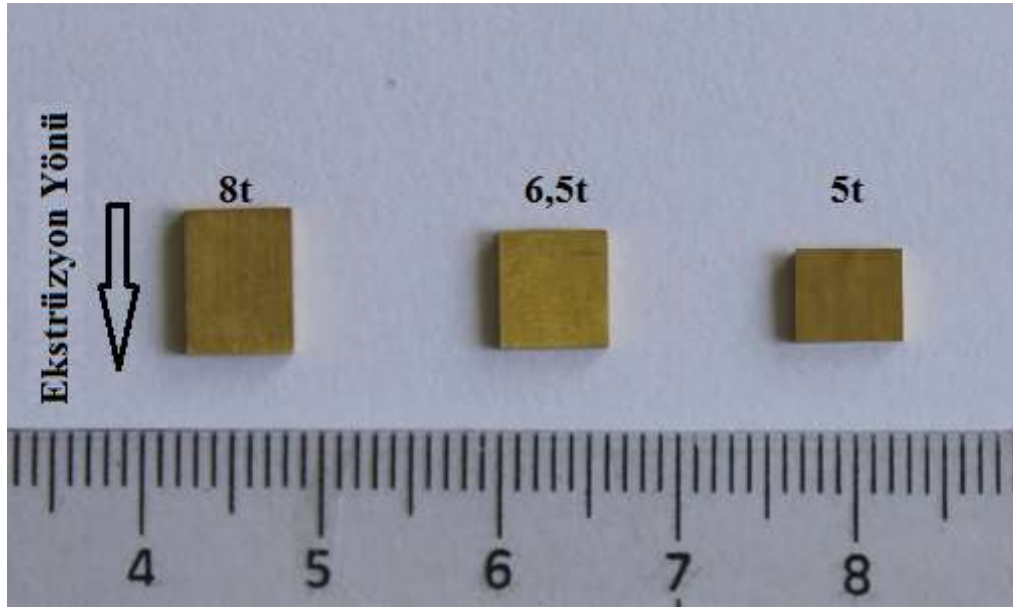
Şekil 5.4. Metalografik işlemlerde kullanılan elektrolitik dağlama cihazı

Tane boyutlarının hesaplanmasından sonra deneylerde kullanılacak numunelerin üretimi gerçekleştirilmiştir. Tavlanmış plakalardan önceden belirlenmiş ebatlarda

numuneler frezeleme yöntemiyle çıkarılmıştır. Numunelerin et kalınlıkları sırasıyla 1 mm ve 2 mm olacak şekilde belirlenmiştir. Et kalınlığını “t” ile gösterecek olursak, numunelerin uzunlukları sırasıyla 5t, 6,5t ve 8t olarak hazırlanmıştır. Numunelerin genişlikleri her numune için 6t olacak şekilde hazırlanmıştır.



Şekil 5.5. 2 mm kalınlığındaki numuneler, uzunlukları soldan sağa sırasıyla 8t, 6,5t ve 5t



Şekil 5.6. 1 mm kalınlığındaki numuneler, uzunlukları soldan sağa sırasıyla 8t, 6,5t ve 5t

Yukarıdaki resimlerde 2 mm ve 1 mm kesit kalınlıklarına sahip numuneler gösterilmiştir. Numunelerin uzunlukları kesit kalınlıklarının sırasıyla 8, 6,5 ve 5 katı

olarak belirlenmiş ve resimlerde bu şekilde gösterilmiştir. Numunelerin et kalınlıklarını  $t$  ile gösterirsek eğer numunelerin uzunlukları sırasıyla  $8t$ ,  $6,5t$  ve  $5t$  olacaktır. Resimlerde de numune uzunlukları bu şekilde ifade edilmiştir. Ayrıca numuneler ekstrüzyon kalıbına, şekilde de görünen ekstrüzyon yönünde yerleştirilmektedir.

Aşağıdaki tabloda ise numunelerin et kalınlıkları ve et kalınlıklarına bağlı olarak diğer numune ölçüleri verilmiştir.

Tablo 5.2. Deney numunelerinin boyutları

Numunelerin Et Kalınlığı	Numunelerin Uzunluğu	Numunelerin Genişliği
1 mm	$5t = 5 \text{ mm}$	6 mm
	$6,5t = 6,5 \text{ mm}$	
	$8t = 8 \text{ mm}$	
2 mm	$5t = 10 \text{ mm}$	12 mm
	$6,5t = 13 \text{ mm}$	
	$8t = 16 \text{ mm}$	

## 5.2. Deney Ekipmanları

Ekstrüzyon deneyleri, Sakarya Üniversitesi BAP kapsamında Bu çekme makinasının tasarımı ve imalatı öncesinde, 2009-2010 Güz ve Bahar yarıyılarında Yrd. Doç. Dr. Sunal Ahmet PARASIZ'ın danışmanlığında lisans Makine Tasarım Projesi ve Bitirme tezi olarak 4. Sınıf öğrencileri İpek Evcimen, Sinan Sağıroğlu tarafından 250 kg. kapasitesinde vida tahrikli bilgisayar kontrollü bir çekme makinasının tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmalardan elde edilen tecrübe ve güven ve Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırmaları Destekleme koordinatörlüğü tarafından sağlanan destek ile 4 ton kapasiteli, vida tahrikli ve servo kontrollü TENAP prototip universal çekme makinasının tasarımı ve imalatı, Mak. Müh. Sinan Sağıroğlu'nun mezun olduktan

sonra çalışmaya başladığı İDEAL Makine San. ve Tic. Ltd. Şti. tarafından yapılmıştır. Bu tez kapsamında yapılan ekstrüzyon deneyleri bahsi geçen bu 4 ton kapasiteli TENAP çekme makinasında gerçekleştirilmiştir.

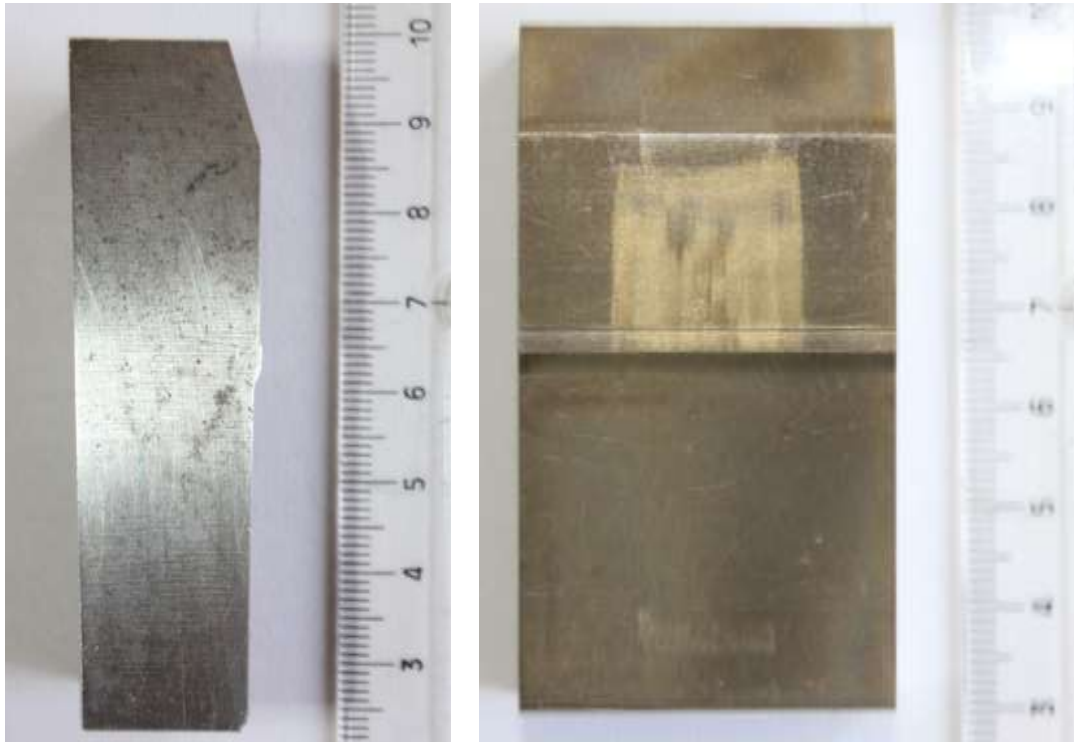


Şekil 5.7. Servo motor kontrollü, vida tahrikli ve 40 kN kapasiteli TENAP çekme makinesi

Farklı tane ve numune boyutlarının ekstrüzyon kuvveti üzerindeki etkisinin daha iyi anlaşılabilmesi için deneyler farklı ekstrüzyon açılarıyla yapılmıştır. Bu nedenle, iki farklı numune kalınlığı ve her kalınlık için üç farklı uzunlukta çok sayıda numune üretilmeye çalışılmıştır. Deneylerde haddelenmiş halde temin edilen pirinç malzemedeki tanelerin yönlendirilmiş olması durumu, normalizasyon tavı uygulanarak giderilmiştir. Bunun yanı sıra numuneler yapılan deneylerde ekstrüzyon kalıplarına, haddeleme yönüne dik olarak yerleştirilmiştir.

Tablo 5.3. Ekstrüzyon açıları ve oranları

Numune Giriş Et Kalınlığı	Numune Çıkış Et Kalınlığı	Ekstrüzyon Açısı ( $\alpha$ )	Ekstrüzyon Oranı
1,00 mm	0,75 mm	20°	1,33
		30°	
		45°	
2,00 mm	1,50 mm	20°	1,33
		30°	
		45°	

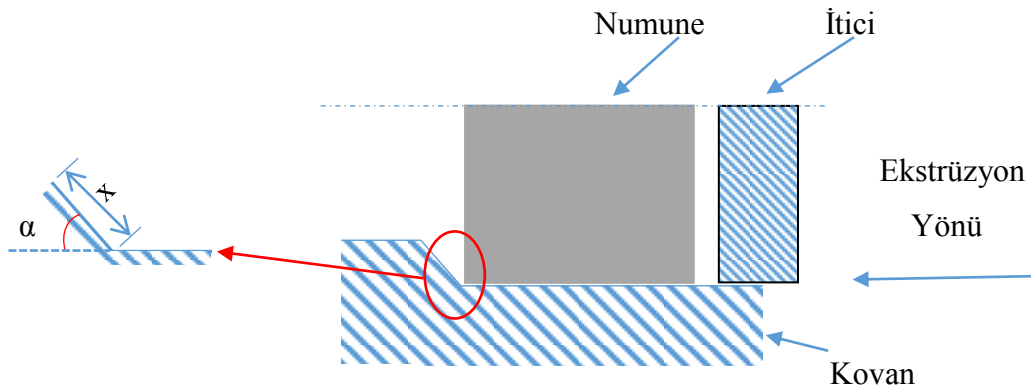


Şekil 5.8. Ekstrüzyon kalıplarının yandan ve önden görünümü



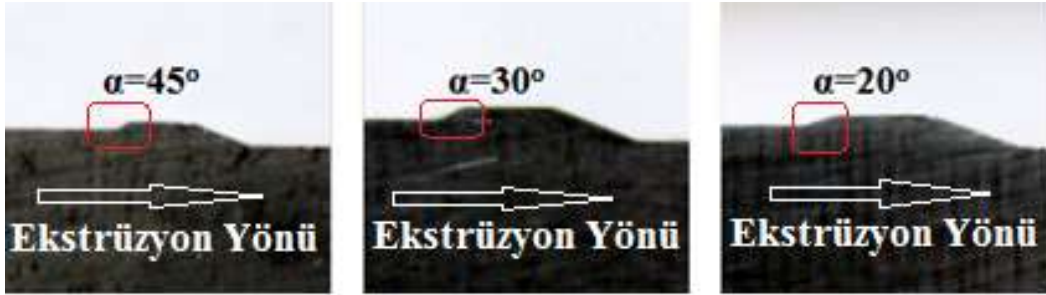
Şekil 5.9. Kalıp kenarlıkları, itici ve numunenin kalıp üzerindeki yerleşimi

Yukarıdaki şekilde numunenin ekstrüzyon kalıbına yerleştirilmiş hali görülmektedir. Numunenin kuvvet etkisiyle kovan içerisine doğru şişmesini engellemek ve numunenin kalıptan istenilen yerden çıkabilmesi için kalıp kenarlıkları kullanılmıştır. Yapılan her deneyde iticinin numunenin üzerine boşluksuz yerleştirilmesine çalışılmıştır. Bu sayede iticinin boşta ilerlemesi ile deney sonuçlarında ortaya çıkabilecek gereksiz veriler minimize edilmiştir. İticinin kovan içerisine giren kısmı numunelerin et kalınlıkları kadar, daha yüksek kuvvetlere dayanabilmesi için iticinin üst kısmı daha fazla et kalınlığına sahip olarak imal ettirilmiştir.



Şekil 5.10. Ekstrüzyon kalıplarının şematik gösterimi

Yukarıda farklı ekstrüzyon açı ve oranlarına sahip ekstrüzyon kalıpları tablo halinde verilmiştir. Ayrıca ekstrüzyon kalıplarının gerçek resimleri ve şematik gösterimleri de yukarıdaki şekillerde verilmiştir. Aşağıdaki şekillerde de soldan sağa sırasıyla 45°, 30° ve 20°'lik ekstrüzyon kalıplarının kalıp açıları yakın çekim olarak verilmiştir.



Şekil 5.11. Soldan sağa sırasıyla 45°, 30° ve 20° açılı ekstrüzyon kalıpların yakın çekim fotoğrafı

Şekil 5.10'daki "x" ile gösterilen eğimli kalıp mesafesi, Şekil 5.11'deki fotoğraflarda da görüldüğü üzere ekstrüzyon açısı azaldıkça artmaktadır. Her ekstrüzyon kalınlığı için (2 mm ve 1 mm), ekstrüzyon açısı ile "x" mesafesi ters orantılı olarak değişmektedir. Ekstrüzyon açısının artması ile numunelerin eğimli kovan yüzeyinde kat etmeleri gereken "x" mesafesi kısalmakta, ekstrüzyon açısının azalması ile de "x" mesafesi artmaktadır. "x" mesafesinin her ekstrüzyon kalınlığı için ekstrüzyon açısına göre değerler tablo 5.4'te verilmiştir.

Tablo 5.4. "x" mesafesinin ekstrüzyon açısına göre değişimi

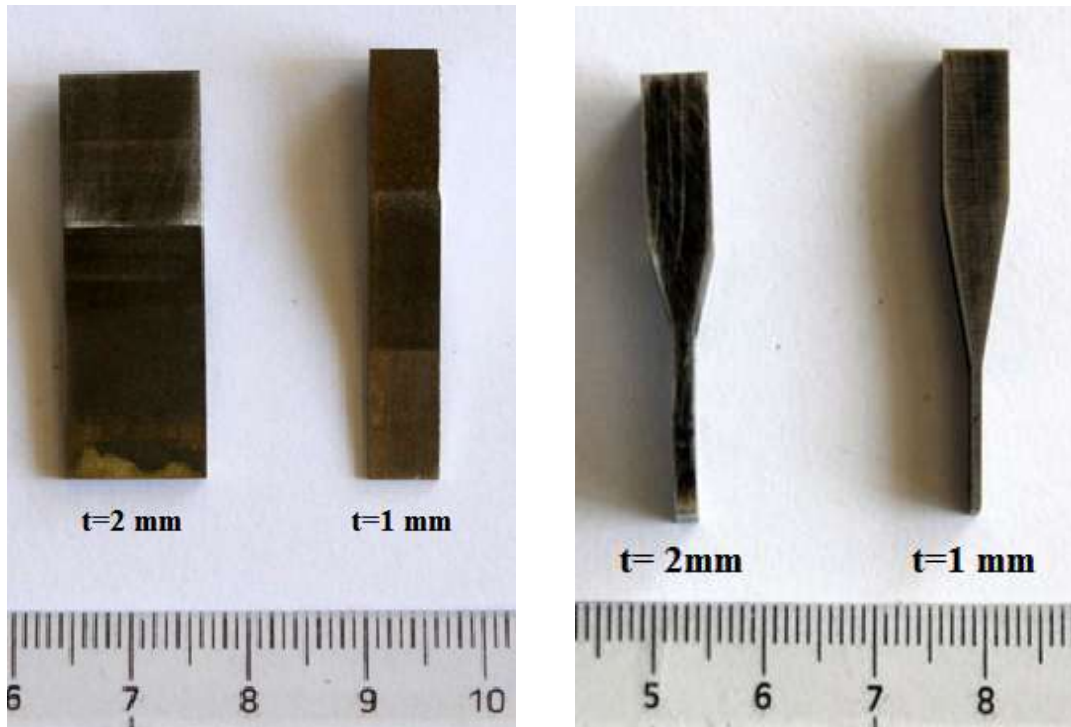
Ekstrüzyon Kalıbı	Ekstrüzyon Açısı	"x" Mesafesi
1,00 mm	20°	0,343 mm
	30°	0,216 mm
	45°	0,125 mm
2,00 mm	20°	0,686 mm
	30°	0,433 mm
	45°	0,250 mm

Numunelerin deney süresince kat etmeleri gereken kovan yüzeyi mesafesi numunelerin uzunlukları ile orantılı olmakta ve bu mesafe aynı uzunluktaki



numuneler için sabit bir değer olmaktadır. Bu kovan mesafesi ekstrüzyon açısından bağımsızdır. Ancak eğimli kalıp mesafesi her bir açı değeri için farklı değer almaktadır. Bunun sonucunda da, bu mesafede kalıp ile numune arasında meydana gelen sürtünmeye harcanan kuvvet değeri, eşit numune boyları için farklı çıkmaktadır. “x” eğimli kovan mesafesinin artması ile bu bölgede sürtünmeye harcanan kuvvette artış meydana gelmektedir.

Deneyle, yukarıda gösterilen numunelerin kalıp içersine konularak bir itici (punch) tarafından kalıptan çıkmaya zorlanması şeklinde yapılmıştır. Aşağıdaki resimde sırasıyla 2 mm ve 1 mm et kalınlıklarına sahip numunelerin iticileri görülmektedir.



Şekil 5.12. 2 mm'lik ve 1 mm'lik İticilerin (punch) önden ve yandan görünümü

Deneyle süresince önceki kısımlarda bahsedildiği üzere numune ile kalıp arasındaki sürtünme ve numunenin plastik deformasyona zorlanmasından kaynaklanan kuvvetler nedeniyle, her farklı numune parametresi için farklı ekstrüzyon kuvvetleri elde edilmiştir. Bu ekstrüzyon kuvvetleri bazı numuneler için yüksek değerlerde, bazıları için düşük değerlerde çıkmıştır. Bazı deneylelerde önceden beklenen kuvvet değerleri elde edilirken, bir kısım deneylelerde beklenin çok dışında kuvvet değerleri elde edilmiştir. Sonuçlar kısmında bu deneyleler sonucunda elde edilen verilerle

oluşturulan grafikler ve bu grafikler ile ilgili yorumlara değinilmiştir.

Yukarıda belirtilen değişken parametrelerin (tane büyüklüğü, ekstrüzyon açısı ve numune boyutları) yapılan deneylerde ekstrüzyon kuvvetleri üzerine olan etkileri gözlemlenmiştir. Her deneyin birden çok defa tekrarlanması daha sağlıklı verilerin elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Ancak gerek numune sayılarından kaynaklanan problemler, gerekse numunelerin küçük boyutlarda olmalarından dolayı (özellik 1 mm et kalınlığına sahip numuneler için) imalatlarının zorluğu yapılan deneylerin birden çok defa tekrarlanmasına engel olmuştur. Ayrıca 1 mm et kalınlığına sahip numuneler için kullanılan 30° açılı ekstrüzyon kalıbından kaynaklanan problemden dolayı da bu açı değerinde herhangi bir deney yapılamamıştır.

Aşağıdaki tabloda her bir değişken parametre değeri için yapılan deney sayıları verilmektedir. Elimizde mevcut olan numune sayılarının yetersiz olması nedeniyle sıkıntılı olduğu düşünölen deneylerin haricindeki deneyler, eğer sağlıklı veriler alındıysa tekrarlanmamıştır.

Tablo 5.5. Değişken parametrelere göre yapılan deney sayıları

Ekstrüzyon Oranı R=1,33			Kalıp Açısı		
			20°	30°	45°
1 mm	5t	İnce Tane	1	0	2
		Kaba Tane	1	0	1
	6,5t	İnce Tane	3	0	2
		Kaba Tane	1	0	1
	8t	İnce Tane	3	0	2
		Kaba Tane	2	0	2
2 mm	5t	İnce Tane	3	1	1
		Kaba Tane	1	2	1
	6,5t	İnce Tane	2	2	2
		Kaba Tane	2	1	1
	8t	İnce Tane	0	0	2
		Kaba Tane	0	0	1

## **BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA**

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen ekstrüzyon kuvvetleri, her bir deney parametresi için farklılık göstermektedir. Kuru sürtünme ortamında çok yüksek kuvvet değerlerine gereksinim duyulduğu için deneyler yağlamalı ortamda yapılmıştır. Yağlama işlemi, her deney öncesinde numunelerin ve kalıpların press yağı ile iyice yağlanması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen ekstrüzyon kuvvet değerleri bu sürtünme durumu için geçerlidir. Deneylerde özellikle tane boyutunun mikro-ekstrüzyon kuvvet değeri üzerine etkisi incelendiğinden farklı tane boyutları en temel değişken parametredir. İnce taneli numunenin tane boyutu 21  $\mu\text{m}$ , kaba taneli numunenin tane boyutu 239  $\mu\text{m}$ 'dur.

Gerçekleştirilen ekstrüzyon deneyleri sırasında, uygulanan kuvvet etkisiyle numunede plastik deformasyonun başlamakta ve eğimli kalıp yüzeyinde yol alarak, kalıp boşluğunu doldurmaktadır. Tavlanmış halde olan ve fazla direnç görmeden kalıptan çıkan ilk malzemenin adından gelen malzemeler, akışın giderek kısıtlanması ile kalıp önünde giderek sıkıştığı için zamanla pekleşmekte, böylece ekstrüzyon uğrayan numunenin dayanımında artış meydana gelmektedir. Dayanımı artan numunenin kalıptan çıkması için uygulanması gereken kuvvet değeri de artmaktadır. Bu kuvvet değerinin artması eğimli kalıp yüzeyine dik olarak gelen kuvvet bileşenin de artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle numune ile eğimli kalıp yüzeyi arasında meydana gelen sürtünme kuvvetinde artış meydana gelmektedir. Ayrıca uygulanan kuvvet etkisiyle kovan içerisinde şişen numune ile kovan arasında meydana gelen sürtünme kuvvetinde de bir miktar artış meydana gelmektedir.

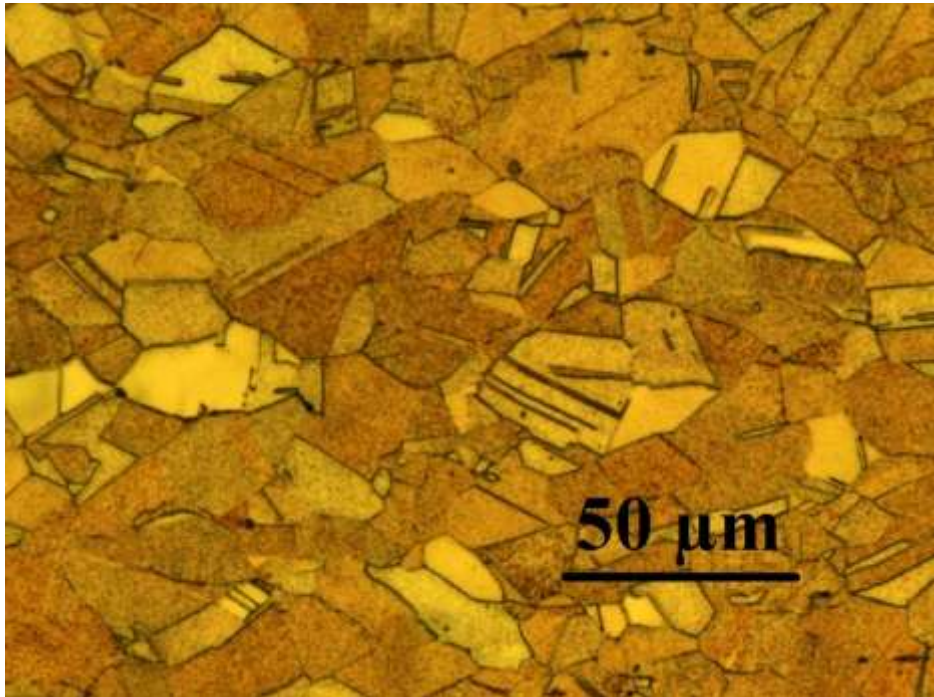
Ekstrüzyon kuvveti, sürtünme kuvvetlerinde meydana gelen bu artış yüzünden de artırmaktadır. Ancak bu sırada numune ekstrüzyon kalıbından çıkmaya devam etmekte, dolayısıyla kovan içerisinde kalan numune miktarı giderek azalması ile kovan içerisinde sürtünmeye harcanan kuvvet azalmaktadır. Başlangıçta pekleşme

etkisiyle hızla artan ekstrüzyon kuvveti, kovan içinde kalan numune miktarının azalması sonucu yavaşlamakta bir maksimum ekstrüzyon kuvveti değerine ulaşılmışının ardından, kovan içinde kalan malzemenin çok azalması ile düşme trendine girmektedir.

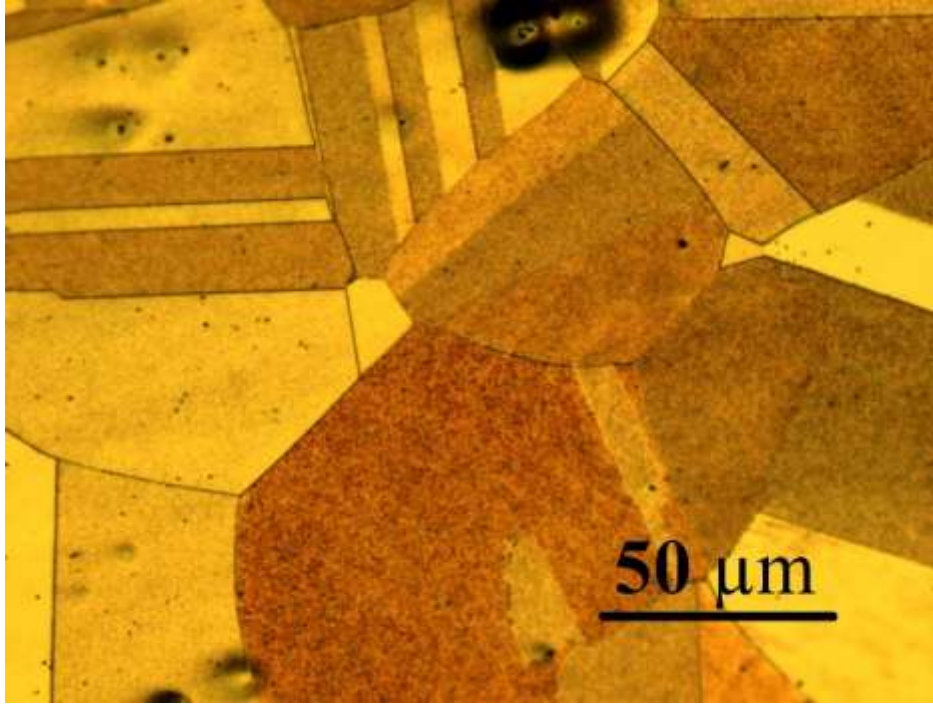
Ekstrüzyon kuvvet değerlerinde ve karakteristiklerinde, numunelerin sahip oldukları tane büyüklüklerine göre farklılıklar gözlenmiştir. İnce ve kaba tane yapısına sahip numunelerin metalografik işlem sonuçları aşağıda gösterilmiştir.

### 6.1. Metalografik İşlem Sonuçları

Pirinç plakalara uygulanan ısıt işlemler ile iki farklı tane boyutu elde edilmesi amaçlanmıştır. Tane boyut farkının yüksek olması ve tane boyutunun ekstrüzyon kuvvetine olan etkisinin daha net ortaya konabilmesi için plakalardan biri 500°C sıcaklıkta diğeri ise 700°C sıcaklıkta birer saat süreyle tavlansmıştır. Tavlama işlemi sonrasında gerekli metalografik işlemler tane büyüklüğünün bulunabilmesi için sırasıyla yapılmıştır (epokisiye alma, zımparalama, parlatma, dağlama gibi). Bu işlemler sonucunda ince ve kaba tane yapıların açıkça görüldüğü aşağıdaki mikro yapı fotoğrafları elde edilmiştir.



Şekil 6.1. 500°C'de (dort= 21µm) tavlansmış ince tane yapılı α-pirincinin mikro yapı fotoğrafı



Şekil 6.2. 700°C'de (dort= 239µm) tavllanmış kaba tane yapılı  $\alpha$ -pirincinin mikro yapı fotoğrafı

Tane büyüklükleri, metalografik işlemler sonucunda elde edilen mikro yapı fotoğraflarından ASTM standartlarına göre tespit edilmiştir. Elde edilen tane büyüklükleri 500°C sıcaklıkta ısıl işlem görmüş numune için 21  $\mu\text{m}$ , 700°C sıcaklıkta tavllanmış numune için ise 239  $\mu\text{m}$  olarak bulunmuştur. İki tane boyutu arasındaki yaklaşık 11 kat fark bulunması, yukarıda da belirtildiği üzere ekstrüzyon kuvveti üzerine olan tane boyutu etkisinin daha kolay anlaşılmasına olanak sağlamıştır.

### 6.2. 2 mm Et Kalınlığına Sahip Numunelere Ait Grafikler

2 mm et kalınlığına sahip numuneler için yapılan deneylerde sırasıyla 5t (10 mm), 6,5t (13 mm) ve 8t (16 mm) numune uzunlukları değişken parametre olarak belirlenmiştir. Bunun yanı sıra 20°, 30° ve 45° ekstrüzyon kalıp açıları ile 21  $\mu\text{m}$  ve 239  $\mu\text{m}$  tane büyüklükleri de yapılan deneylerde değişken olarak seçilen diğer parametrelerdir.

İleriki kısımlarda 45° açılı ekstrüzyon kalıbında 2 mm et kalınlığına sahip, ince taneli ve kaba taneli numunelerin ekstrüzyonu sonucunda elde edilen grafikler görülmektedir. Metallerin ince taneli yapılarının kaba taneli yapılarına göre

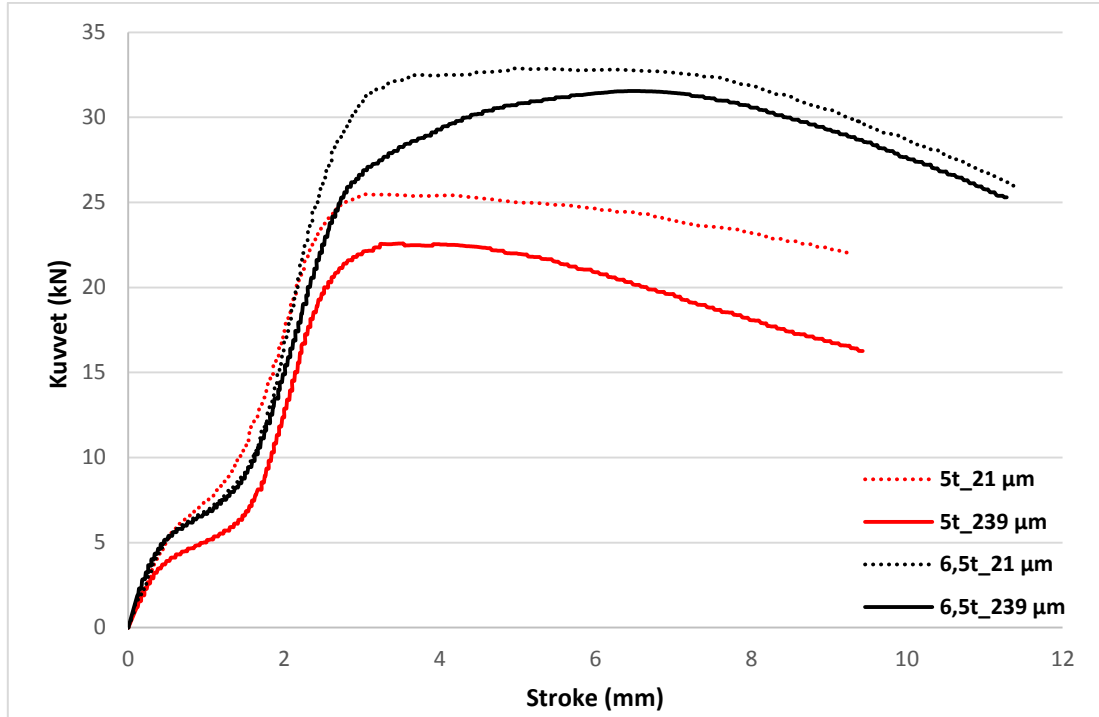
dayanımlarının daha yüksek olduğu Hall-Petch yasası olarak bilinen bağıntı ile ifade edilmektedir. Bu yasaya göre farklı tane büyüklüğüne sahip bir metalin ince taneli yapısı kaba taneli yapısına göre daha yüksek dayanıma sahiptir. CuZn30 kartuş pirinç malzemesinin, hem tavllanmış ve hem de plastik deformasyona uğramış hali içinde Hall-Petch bağıntısına uyduğu aşağıdaki grafiklerden anlaşılmaktadır.

Önceki bölümlerde de bahsedildiği üzere ekstrüzyon kuvvetinin, kalıp açısından etkilenmeyen ve ekstrüzyon oranına göre hesaplanan homojen (ideal) deformasyon kuvveti ( $F_h$ ), kovan ile takoz arasında oluşan sürtünmeye harcanan sürtünme kuvveti ( $F_{s,ko}$ ), kalıp açısına göre değişen gereksiz (kayma) deformasyon kuvveti ( $F_g$ ) ve eğimli kalıp yüzeyinde meydana gelen sürtünme kuvveti ( $F_{s,ka}$ ) olmak üzere dört bileşenden oluştuğu gösterilmiştir.

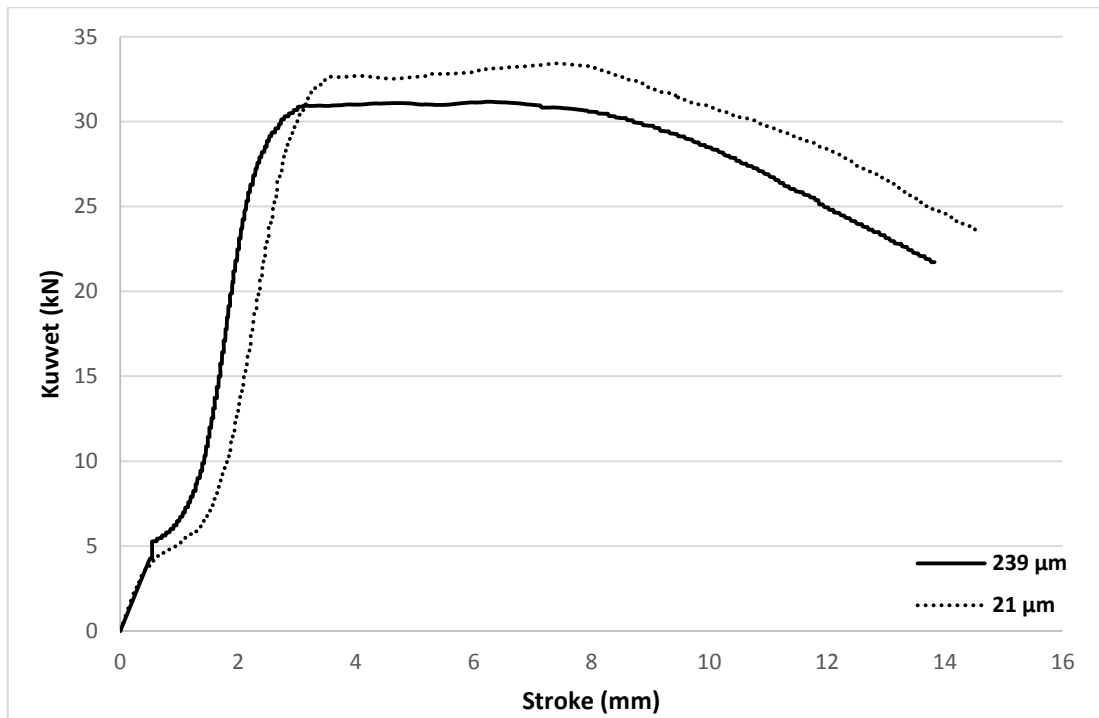
Kalıp açısının artması, gereksiz deformasyona harcanan  $F_g$  kuvvetini arttırmakta, buna karşılık eğimli kalıp mesafesinin “x” azalması ile  $F_{s,ka}$  değerini ise azaltmaktadır. Aynı ekstrüzyon oranı için, ekstrüzyon kuvveti  $F_g$ ,  $F_{s,ka}$  kuvvetlerine göre değişmektedir.  $F_{s,ko}$  ise takozun uzunluğuna göre değişmektedir. Takoz uzunluğunun artması, kovan ile takoz ara yüzeyinin artmasına ve dolayısıyla ara yüzeydeki sürtünmeye harcanan  $F_{s,ko}$  kuvvetinin de artmasına yol açacaktır.

Kalıp açısının artması, gereksiz (kayma) deformasyon kuvvetinin ciddi oranda artmasına yol açmaktadır. Ancak eğimli kalıp yüzeyinin kısılmasından kaynaklı olarak sürtünme kuvvet değerinde de azalma meydana gelmektedir. Ekstrüzyon kuvvet bileşenlerinde meydana gelen bu değişimler ekstrüzyon kuvvetinin büyüklüğünü ve karakteristiğini oluşturmaktadır.

Kalıp açısı değerinin artması ile ekstrüzyon kuvvet artış hızı gereksiz (kayma) deformasyon kuvveti sürtünme kuvvetinden daha baskın olmakta ve bunun sonucu olarak ta ekstrüzyon kuvveti daha hızlı artmaktadır.



Şekil 6.3. 2 mm kesit kalınlığında, 5t ve 6,5t uzunluğundaki numunelerin 45° açılı kalıpta ekstrüzyon işlemi



Şekil 6.4. 2 mm et kalınlığında ve 8t uzunluğundaki numunelerin 45° açılı kalıpta ekstrüzyon işlemi

Numuneler ekstrüzyon kalıplarına yerleştirilip deney başladığı anda ekstrüzyon kuvveti de artmaktadır. Numunenin kovan içerisinde kalan kısmı ile kovan arasındaki sürtünme kuvvetinden ve numunenin eğimli kalıp bölgesine girerek kalıbı

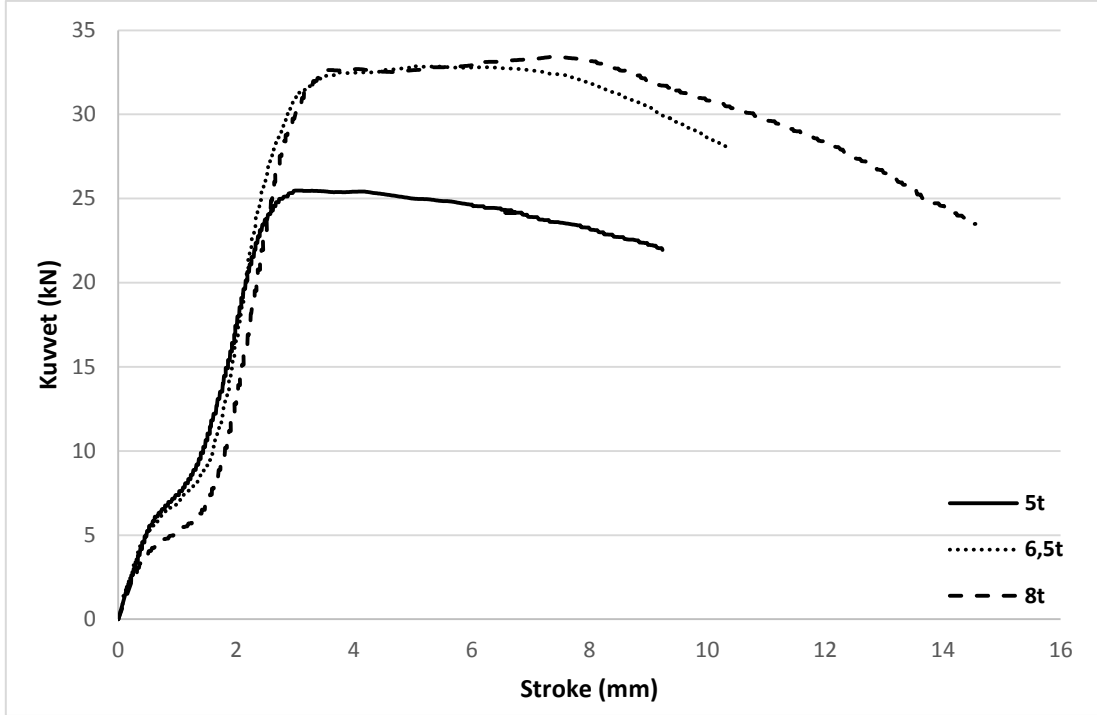
doldurmaya başlaması ile ekstrüzyon kuvveti hızla artmaktadır. Bu kısım ekstrüzyon kuvvet eğrilerinin ilk eğimli bölgesine tekabül etmektedir.

Ekstrüzyon kuvvet artışında, kalıptan numune çıkışının başlaması ile beraber bir miktar azalma olmaktadır. Ancak uygulanan kuvvet etkisiyle numunede meydana gelen pekleşme ile beraber ekstrüzyon kuvveti tekrar ilk durumdaki artış hızı ile artışına devam etmektedir. Bu kısımda kalıptan numune çıkışı devam etmektedir. Bu durum numune ile kovan yüzeyi arasında meydana gelen sürtünme kuvvetinde azalmaya sebep olmaktadır. Ancak numunenin kalıptan çıkan ilk kısmı, özellikle numunenin merkezi ve çevresi, herhangi bir engelle karşılaşmadığından kalıptan daha kolay çıkmaktadır. Numunenin kalıptan çıkan diğer kısımları ise eğimli kalıp bölgesinden ve önceden kalıptan çıkmış olan numunenin etkisiyle pekleşmeye devam etmekte ve bu sayede dayanımı daha da artmaktadır.

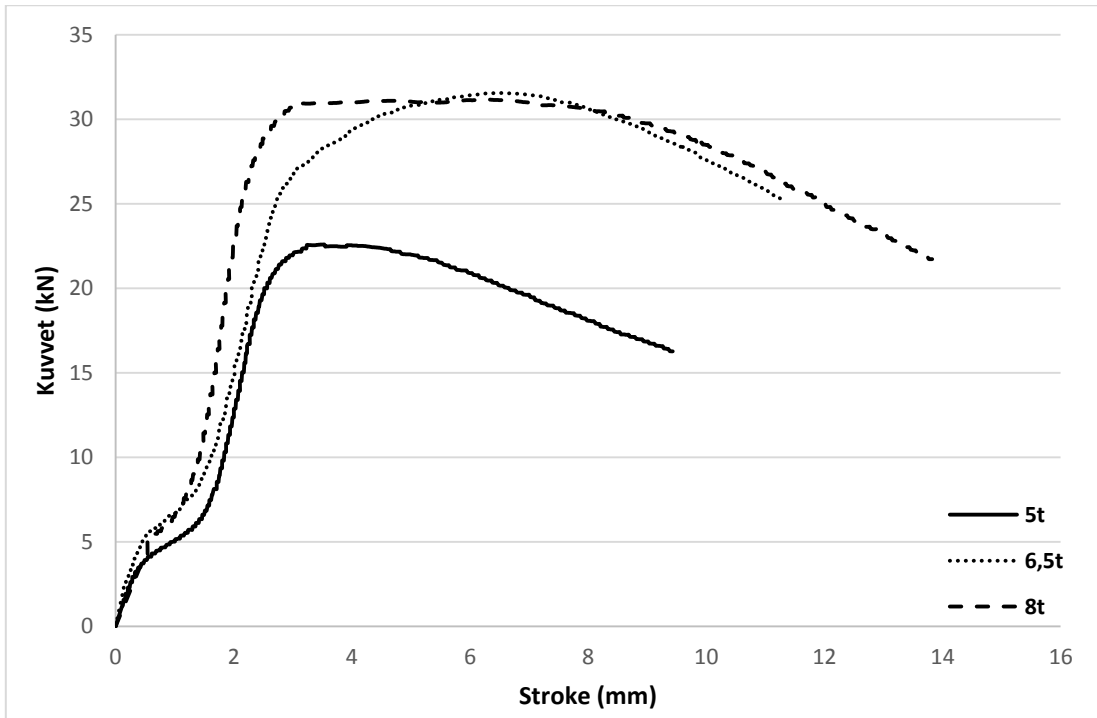
Numunede meydana gelen dayanım artışı daha yüksek ekstrüzyon kuvvet değerlerine ihtiyaç duyulmasını gerektirir. Ekstrüzyon kuvvetindeki bu artış grafiklerde ekstrüzyon kuvvet eğrisinin hızla arttığı eğimli kısma denk gelmektedir. Ancak kalıpta kalan numune miktarının çok azalması ile beraber, numune ve kovan yüzeyi arasında meydana gelen sürtünme kuvvetinde ciddi bir düşüş gerçekleşmekte ve bu düşüş grafiklerde ekstrüzyon kuvvet eğrisinin azalmaya başladığı kısma tekabül etmektedir.

Aşağıdaki grafiklerde 2 mm et kalınlığına, üç farklı uzunluğa (10 mm, 13 mm ve 16 mm) ve iki farklı tane büyüklüğüne (21  $\mu$ m, 239  $\mu$ m) sahip numunelerin ekstrüzyon kuvvet eğrileri görülmektedir. Grafiklerden, maksimum kuvvet değerlerinin kaba taneli numunede ince taneli numuneye göre yaklaşık %10 daha düşük olduğu anlaşılmaktadır.





Şekil 6.5. 2 mm et kalınlığında ve 21 µm tane büyüklüğüne sahip numunelerin 45° açılı kalıpta ekstrüzyon işlemi



Şekil 6.6. 2 mm et kalınlığında ve 239 µm tane büyüklüğüne sahip numunelerin 45° açılı kalıpta ekstrüzyon işlemi

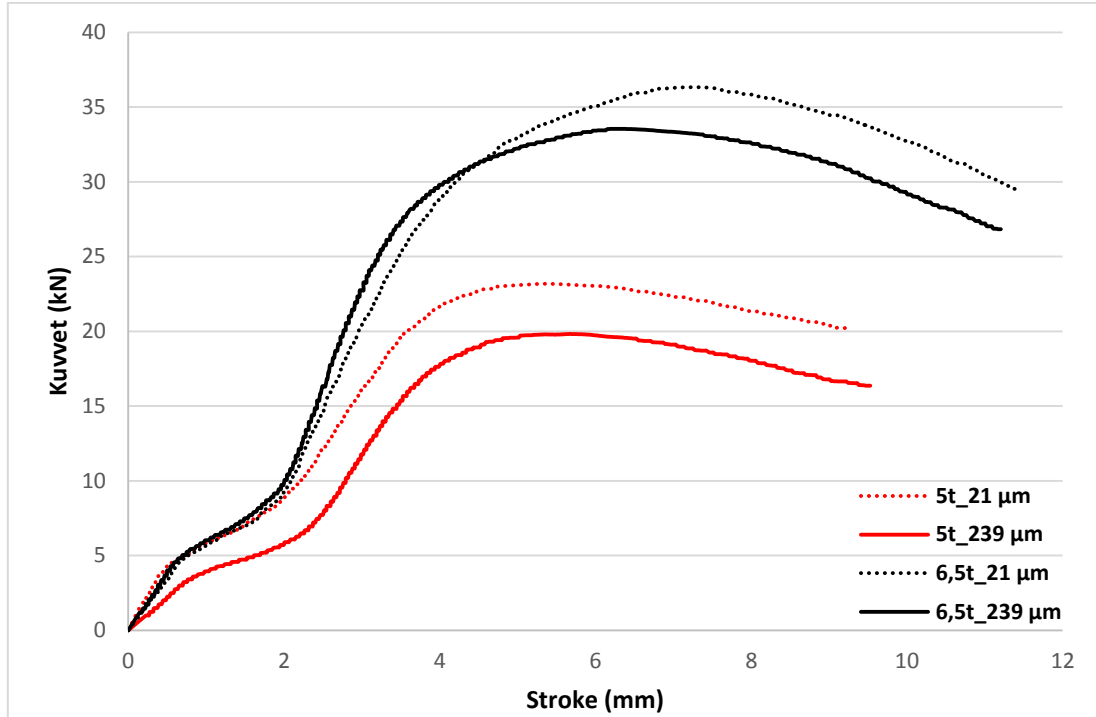
Numunelerin ekstrüzyon işlemleri sonrasında ekstrüzyon kuvvet değerlerinin artış hızı ile ilgili farklılık olduğu gözlenmiştir. Özellikle ikinci kuvvet artış bölgesindeki kuvvet artış hızı sıralaması, ince taneli numune için sırasıyla 5t, 6,5t ve 8t iken kaba

taneli numune için bunun tersi 8t, 6,5t ve 5t şeklinde olmuştur. Maksimum kuvvet değerine ulaşıldığı mesafe ile deneylerin sona erdiği mesafeler, her iki farklı tane boyutu için yaklaşık aynı değerde olmuştur.

Yukarıdaki grafiklerde numune uzunluğunun maksimum ekstrüzyon kuvvet değeri üzerine etkisi daha net bir şekilde görülmektedir. Numune uzunluğunun artması, kovan içerisinde sürtünmeye harcanan kuvveti de artırmaktadır. Bunun yanı sıra numune uzunluğunun artması, yukarıda da değindiğimiz gibi pekleşmenin daha fazla olması ve dayanımın artmasına, böylece sürtünme kuvveti ile beraber ekstrüzyon kuvvetinin artmasına yol açmaktadır.

Ancak kaba taneli numunelerde numune uzunluğunun, ekstrüzyon kuvvet artışına olan etkisi ince taneli numunelerden daha belirgin olmaktadır. Bunun nedeni, muhtemelen yüzey tanelerinin oynadığı roldür. Kovan yüzeyi ve eğimli kalıp yüzeyi ile temas eden numune yüzey bölgelerindeki taneler uygulanan itme kuvvetinin etkisiyle kovan ve kalıp yüzeylerine çok kısa sürelerle yapışıp tekrar kaymaya devam etmektedirler. Bu durumda yüzey tanelerinde pekleşme olmaktadır. Bu pekleşme numunenin merkezine numunelerin sahip oldukları tane büyüklükleri nispetinde etki etmektedir.

Kaba taneli numunelerin 2 mm kesitteki tane sayısı yaklaşık 10 adettir. Yani numunenin merkezi ile yüzeyi arasında ortalama 5 adet tane bulunmaktadır. Bu durumda kaba taneli numunelerin yüzey tanelerinden kaynaklanan pekleşme durumunun numune içerisine daha çok etki ettiği anlamına gelmektedir. Bu durum kaba taneli numunelerin ekstrüzyon kuvvet artış hızlarının, numune uzunluğu ile orantılı olarak arttığını göstermektedir. Yukarıda verilen farklı tane boyutlarına göre farklı numune uzunluklarının grafikleri de bize bunu göstermektedir.



Şekil 6.7. 2 mm et kalınlığında 5t ve 6,5t uzunluktaki numunelerin 30° açılı kalıpta ekstrüzyon işlemi

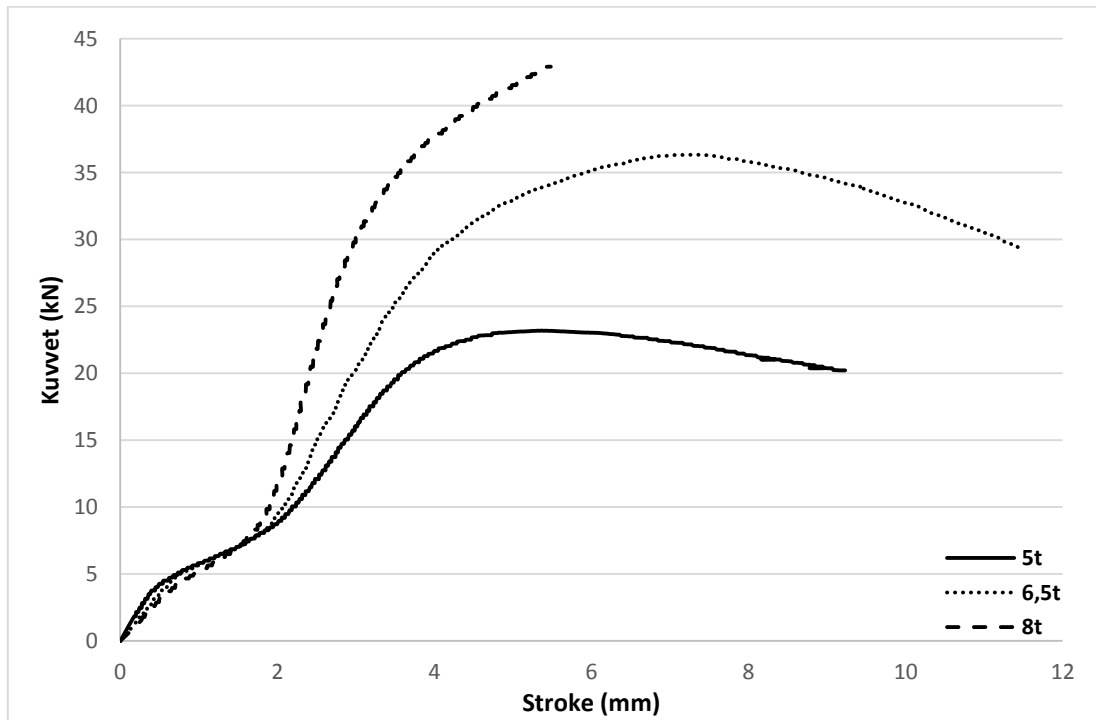
Yukarıdaki grafikte, 5t ve 6,5t uzunluktaki numunelerin ekstrüzyon kuvvet eğrileri görülmektedir. Bu ekstrüzyon kalıp açısında yapılan deneylerde ince taneli numunelerin ekstrüzyon kuvvetleri 45° açılı ekstrüzyon kalıbında yapılan deneyler gibi kaba taneli numunelere göre daha yüksek değerlerde olmuştur. 5t uzunluktaki ince ve kaba tane yapılı numunelerin ekstrüzyon kuvvet eğrileri 45° açılı kalıpta yapılan deneylere benzer olmuştur. İnce taneli numune ile kaba taneli numunenin kuvvet eğrileri başlangıçtan deneyin sonlandığı ana kadar belirgin bir farkla birbirlerinden ayrılmışlardır.

6,5t uzunluktaki numunelerin 45° açılı kalıpta yapılan deneylerinde kuvvet değerleri arasında, deneyin başlangıcında numunelerin kuvvet etkisiyle kalıbı doldurdukları kısım dışında, belirgin bir fark bulunmaktaydı. Ancak bu durum 30° açılı kalıpta yapılan deneylerde farklı olmuştur. maksimum ekstrüzyon kuvvet değerine ulaşılan kısım dışında ekstrüzyon kuvvet değerleri yaklaşık aynı olmuştur. Bu durumun sebebinin ekstrüzyon açısının küçülmesi olduğu tahmin edilmektedir.

Ekstrüzyon açısının küçülmesi ile eğimli kalıp mesafesi uzamakta, dolayısıyla bu bölgede harcanan sürtünme kuvveti de artmaktadır. Bu durumun aksine gereksiz

kayma deformasyonu ise azalmaktadır. Kuvvet değerlerindeki bu artma ve azalma neticesinde ekstrüzyon kuvvet değerinde değişim gözlenmektedir. Kuvvet parametrelerindeki bu değişim numune uzunluğu arttıkça, önceki kısımda belirtildiği üzere, daha belirgin hale gelmektedir. 6,5t uzunluktaki numunelerde sürtünme kuvvetindeki değişim gereksiz kayma deformasyon kuvvetindeki değişime göre daha baskın olmuş ve ekstrüzyon eğrileri yaklaşık olarak örtüşmüşlerdir.

Aşağıdaki grafiklerde de sırasıyla 21  $\mu\text{m}$  (Şekil 6.8) ve 239  $\mu\text{m}$  (Şekil 6.9) tane büyüklüklerine sahip numunelerin grafikleri görülmektedir. Grafiklerden de anlaşılacağı üzere numune uzunluğu, numune ile kovan arasında sürtünmeye maruz kalan yüzey alanının artmasına dolayısıyla sürtünme kuvvetinin de artmasına sebep olmaktadır.

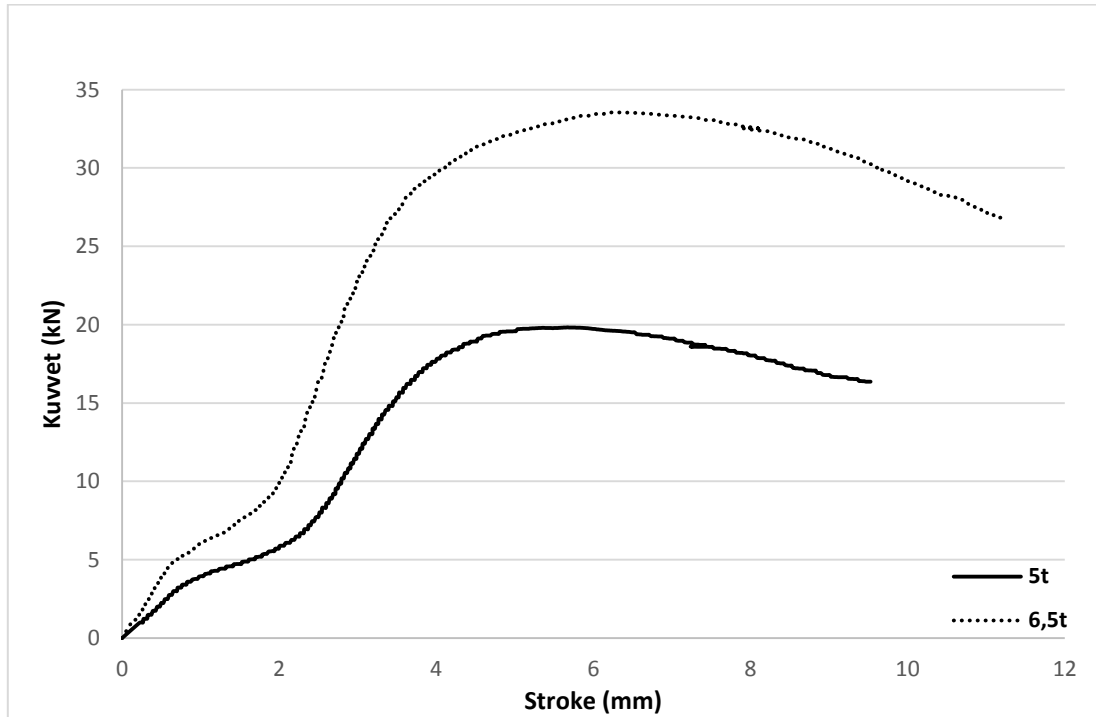


Şekil 6.8. 2 mm et kalınlığında ve 21  $\mu\text{m}$  tane büyüklüğüne sahip numunelerin 30° açılı kalıpta ekstrüzyon işlemi

Aynı ekstrüzyon kalıp açısında yapılan deneylerde numune uzunluğunun ekstrüzyon kuvvetleri üzerine etkisi Şekil 6.8 ve Şekil 6.9'da net bir şekilde gözükmektedir. Aynı tane büyüklüğü ve ekstrüzyon açısında yapılan deneylerde homojen deformasyon kuvveti, gereksiz kayma deformasyon kuvveti ve eğimli kalıp bölgesinde sürtünmeye harcanan kuvvet parametreleri yaklaşık olarak aynı

değerlerde kalmaktadırlar. Ancak kovan içerisinde kalan numune ile kovan yüzeyinde meydana gelen sürtünme kuvveti, numune uzunluğu ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Ayrıca numunede meydana gelen pekleşme miktarı da numune uzunluğu ile orantılı olarak artmaktadır. Dolayısıyla pekleşme ile dayanımı artan numunelerin ekstrüde edilmesi için gerek duyulan ekstrüzyon kuvvet değerleri numune uzunluğu ile artmaktadır.

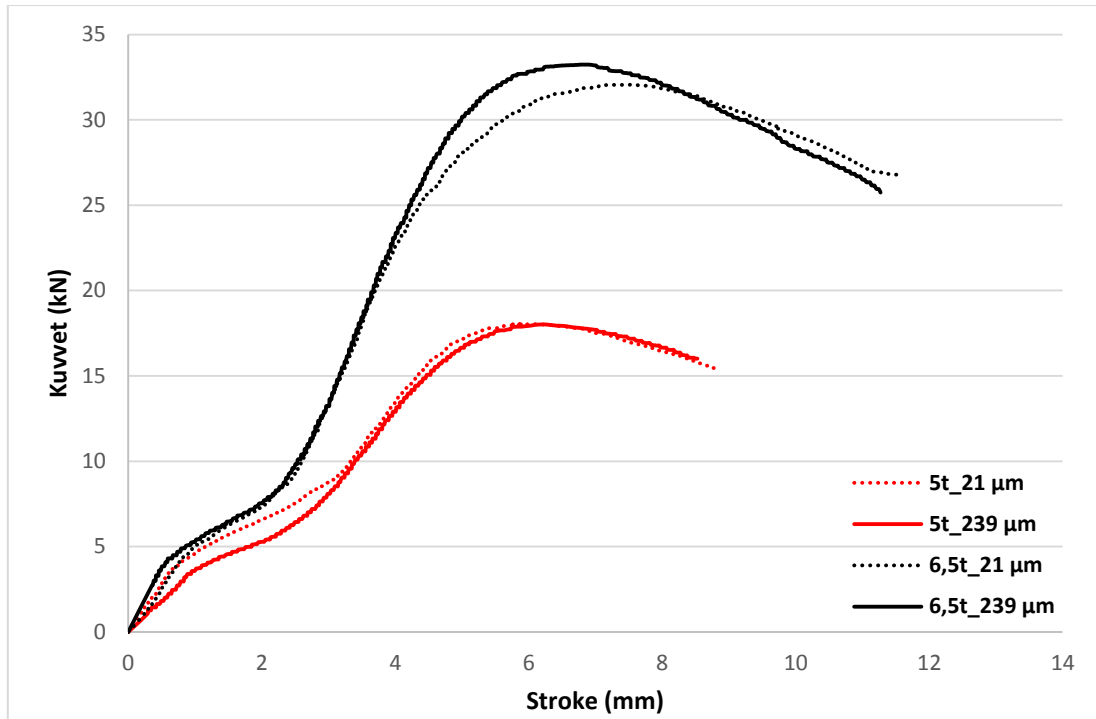
8t uzunluğundaki numunenin deneyinde, gereksinim duyulan maksimum ekstrüzyon kuvvet değerine ulaşılmadan deney sonlanmıştır. Ancak 45° açılı kalıpta yapılan ekstrüzyon deneyinde 8t uzunluğundaki numunenin deneyinde maksimum ekstrüzyon kuvvetine ulaşılmıştır. Bu durum bize ekstrüzyon kuvveti üzerinde etkili olan gereksiz kayma deformasyon kuvveti ve eğimli kalıp yüzeyinde meydana gelen sürtünme kuvvetindeki değişimin ekstrüzyon kuvveti üzerine olan etkisini anlama hususunda yardımcı olmaktadır. Kalıp açısının azalması ile artan eğimli kalıp bölgesinde meydana gelen sürtünme kuvveti, azalan gereksiz kayma deformasyon kuvvetinden daha baskın olmuştur.



Şekil 6.9. 2 mm et kalınlığında ve 239 µm tane büyüklüğüne sahip numunelerin 30° açılı kalıpta ekstrüzyon işlemi

Numune uzunluğu ile ekstrüzyon kuvveti arasındaki ilişkiyi yukarıda açıklamıştık. Kovan yüzeyinde meydana gelen sürtünme kuvvetinin numunenin pekleşmesi üzerine olan etkisini de önceki kısımda belirtmiştik. Yukarıdaki grafikte kaba taneli numunelerin pekleşme etkisinin ince taneli numunelere göre daha yüksek olmasından dolayı kuvvet değerleri arasında daha fazla fark olmaktadır.

Aşağıdaki grafikte, 5t ve 6,5t uzunluğundaki numunelerin  $20^\circ$  ekstrüzyon açısına sahip kalıpta yapılan deneyler sonrası elde edilen ekstrüzyon kuvvetindeki değişim görülmektedir.



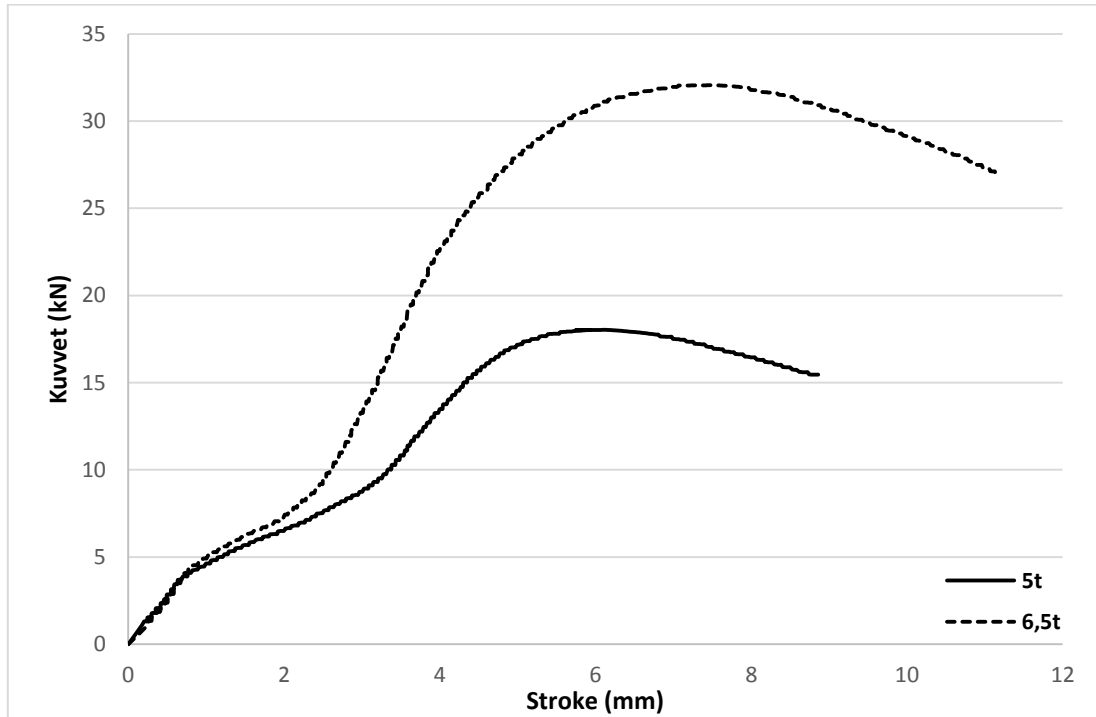
Şekil 6.10. 2 mm et kalınlığında 5t ve 6,5t uzunluğundaki numunelerin  $20^\circ$  açılı kalıpta ekstrüzyon işlemi

Yukarıdaki grafikte ince ve kaba taneli numunelerin her bir numune uzunluğu için yaklaşık aynı ekstrüzyon değerlerine sahip olduğu görülmektedir.  $45^\circ$  açılı kalıpta yapılan deneyler ile  $30^\circ$  açılı kalıpta yapılan deneylerde numunelerin ekstrüzyon eğrilerinin birbirlerine yaklaştıklarını görmüştük. Bu durumun sebebinin ekstrüzyon açısının değişimi ile alakalı olduğu daha net bir şekilde anlaşılmıştır.

Ekstrüzyon açısının azalması ile ince ve kaba taneli numunelerin ekstrüzyon kuvvet eğrileri birbirlerine yaklaşmıştır.  $45^\circ$  açılı kalıptan sonra  $30^\circ$  açılı kalıpta ince ve kaba

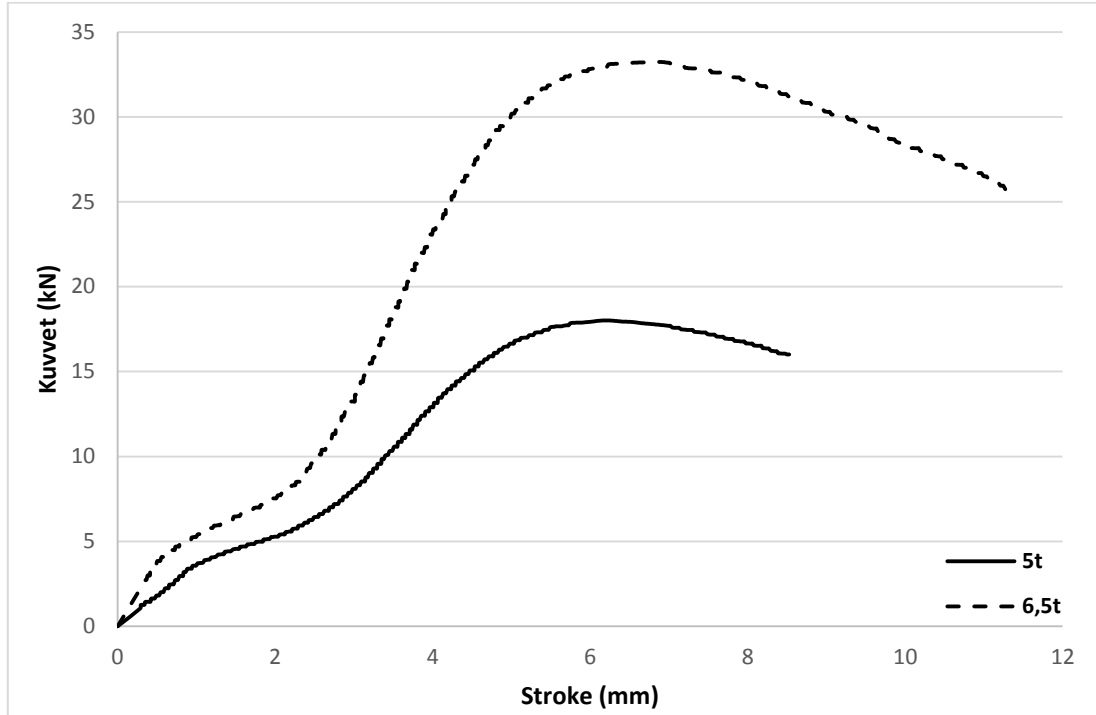
taneli numunelerin kuvvet değerleri arasındaki farkın iyice azaldığı grafiklerden tespit edilmişti. 20° açılı kalıpta yapılan deneylerde ise ince ve kaba taneli numunelerin ekstrüzyon kuvvet eğrileri örtüşmektedir. Özellikle 5t uzunluğundaki numunelerde kuvvet değerleri neredeyse aynı olmuştur.

İnce taneli numunelerin dayanımlarının daha yüksek olduğunu ve bu nedenle gerektirdikleri ekstrüzyon kuvvetlerinin daha yüksek olduğu hem Hall-Petch yasası gereği hem de yapılan diğer ekstrüzyon kalıp açılarında gözlenmiştir. Ancak özellikle kaba taneli numunelerde sürtünmeden kaynaklanan pekleşme etkisinin numune içlerine olan daha derin nüfuzu, numunenin daha yüksek dayanımlara çıkmasını ve bu sayede sürtünme kuvvetini de artırarak daha yüksek ekstrüzyon kuvvetlerine ulaşılmasını sağlamaktadır. Bu durum büyük açı değerlerinde aralarında kuvvet farklılıkları olan ince ve kaba taneli numunelerin, kalıp açısı küçüldükçe aralarındaki kuvvet farkının azalmasına sebep olmaktadır. Özellikle eğimli kalıp mesafesinde meydana gelen sürtünme kuvveti ve bu sürtünmeden kaynaklanan pekleşme etkisi ekstrüzyon kuvveti üzerinde ciddi etkiye sahiptir.



Şekil 6.11. 2 mm et kalınlığında ve 21 µm tane büyüklüğüne sahip numunelerin 20° açılı kalıpta ekstrüzyon işlemi

Şekil 6.11'deki grafikte  $500^{\circ}$  sıcaklıkta tavllanmış,  $21\ \mu\text{m}$  tane boyutuna sahip, numunelerin  $20^{\circ}$  ekstrüzyon açılı kalıpta yapılan ekstrüzyon deney sonuçları görülmektedir. Deneyde aynı tane boyutuna sahip, 6,5t ve 5t numune uzunluklarının deney sürecinde ekstrüzyon kuvveti üzerindeki etkileri karşılaştırılmıştır.



Şekil 6.12. 2 mm et kalınlığında ve  $239\ \mu\text{m}$  tane büyüklüğüne sahip numunelerin  $20^{\circ}$  açılı kalıpta ekstrüzyon işlemi

Yukarıdaki grafikte  $700^{\circ}$  sıcaklıkta tavllanmış,  $239\ \mu\text{m}$  tane boyutuna sahip, numunelerin  $20^{\circ}$  ekstrüzyon açılı kalıpta yapılan ekstrüzyon deney sonuçları görülmektedir. İnce taneli numunelerin dayanımları daha yüksek olduğu halde yaklaşık eşit ekstrüzyon kuvvet değerlerine sahip olmuşlardır. Bu durumun muhtemel sebebi önceki kısımlarda da bahsedildiği üzere, özellikle eğimli kalıp bölgesinde numunenin sürtünmesinden kaynaklanan pekleşme etkisinin kaba taneli numunelerde ince taneli numunelere göre daha derinlere nüfuz etmesi, kaba taneli numunenin dayanımının ince taneli numuneye göre daha yüksek olmasına sebep olmaktadır. Dolayısıyla eğimli kalıp bölgesindeki sürtünme kuvvetini ve gereksiz kayma deformasyon kuvveti kaba taneli numunelerde ince taneli numunelere göre daha çok artmaktadır. Bunun sonucunda da daha yüksek dayanıma sahip olmasına rağmen ince taneli numunenin kaba taneli numune ile yaklaşık aynı dayanıma sahip olmasını hatta daha yüksek olmasına sebep olmaktadır.

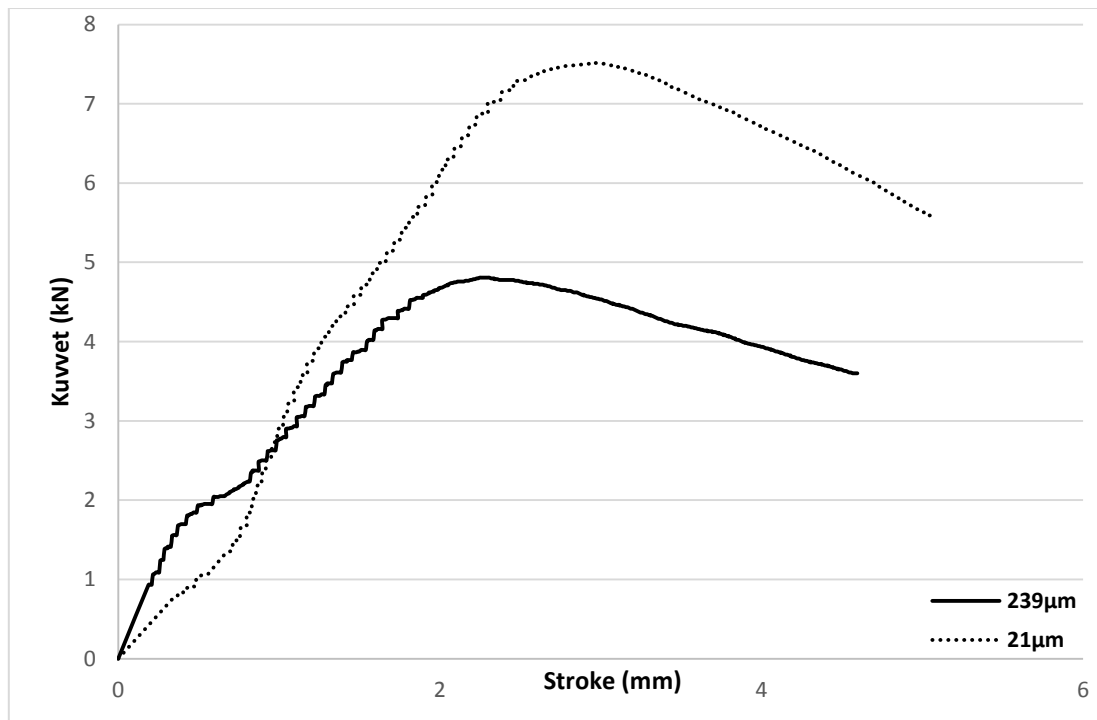


20° açılı kalıpta yapılan deneylerde de 30° açılı kalıpta yapılan deneylerdeki gibi 8t uzunluğundaki numuneler ihtiyaç duyulan yüksek ekstrüzyon kuvvet değerleri nedeniyle gerçekleştirilememiştir.

### 6.3. 1 mm Et Kalınlığına Sahip Numunelere Ait Grafikler

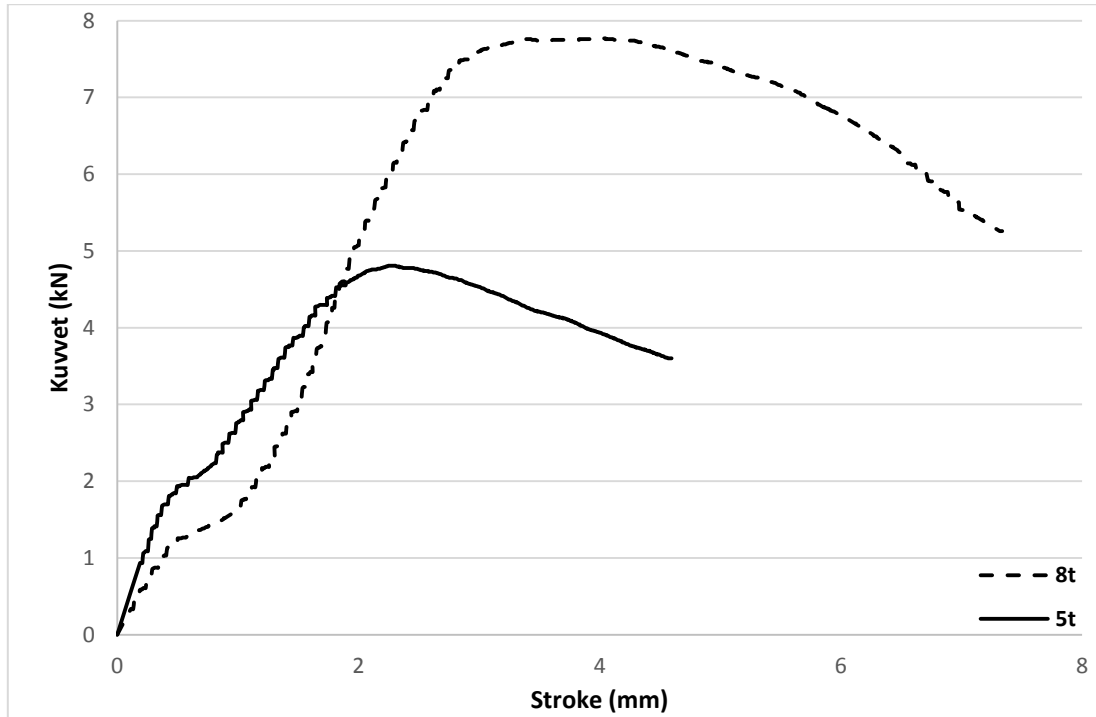
1 mm et kalınlığına sahip numunelerin boyutları genişliği 6t (6 mm), uzunlukları ise 5t (5 mm) ve 8t (8 mm) uzunluğunda olacak şekilde hazırlanmıştır. Deneylerde değişken parametreler sırasıyla 5t ve 8t uzunluğundaki numune boyutları, iki farklı tane boyutu (ince taneli yapı ve kaba taneli yapı) ve iki farklı ekstrüzyon kalıp açısı (20° ve 45°) olarak belirlenmiştir.

Aşağıdaki grafiklerde 1 mm et kalınlığına sahip numunelerin, 45° açılı ekstrüzyon kalıbında yapılmış olan deneylerinde elde edilen ekstrüzyon kuvvet eğrileri görülmektedir. Birinci grafik (Şekil 6.13) 5t numune uzunluğunun sabit, tane boyutunun değişken parametre olarak belirlendiği durumu göstermektedir. İkinci grafikte (Şekil 6.14) ise tavlama sıcaklığı (yani tane boyutu) sabit değer iken, numune uzunluğunun değişken parametre olarak belirlendiği durumu göstermektedir.



Şekil 6.13. 1 mm et kalınlığında ve 5t uzunluktaki numunelerin 45° açılı kalıpta ekstrüzyon işlemi

2 mm et kalınlığına sahip numunelerin deneylerinde ince taneli numunelerin kuvvet değerleri  $45^\circ$  açılı kalıpta ince taneli numuneler için kaba taneli numunelerden daha yüksek çıkmıştı. Bu durum ince taneli malzemelerin, aynı metalin kaba taneli yapısına göre daha yüksek dayanıma sahip olduğu Hall-Petch yasası ile de ifade edilmektedir. Yukarıdaki grafikte ince taneli numunenin ekstrüzyon kuvveti kaba taneli numunenin ekstrüzyon kuvvetinden yaklaşık iki kat daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 6.14. 1 mm et kalınlığında ve 239 µm tane büyüklüğüne sahip numunelerin  $45^\circ$  açılı kalıpta ekstrüzyon işlemi

$45^\circ$  açılı ekstrüzyon kalıbında yapılan deneyler sonucunda beklenen sonuçlar elde edilmiş ve ince taneli numunelerin dayanımı kaba taneli numunelere göre daha yüksek değerlerde olmuştur. Bu açı değerinde numunelerin birim mesafede maruz kaldıkları plastik deformasyon miktarı maksimumdur. Buna karşın eğimli kalıp yüzey mesafesi minimumdur. Tane boyutuna da bağlı olarak, kalıp yüzeyinden kaynaklanan sürtünme kuvveti düşüşüne rağmen, açı değerinden kaynaklanan plastik deformasyon miktarındaki artış bu grafiklerdeki kuvvet değerlerinin ne oranda değişeceğini belirleyen temel unsurlar olmaktadır.

En kısa eğimli kovan mesafesi  $45^\circ$  açılı kalıpta, en uzun mesafe değeri ise  $20^\circ$  açılı

kalıptadır. Bu mesafenin artması ekstrüzyon kuvvetinin değişmesine neden olan parametrelerden biri olan sürtünme kuvvetini arttırmaktadır.

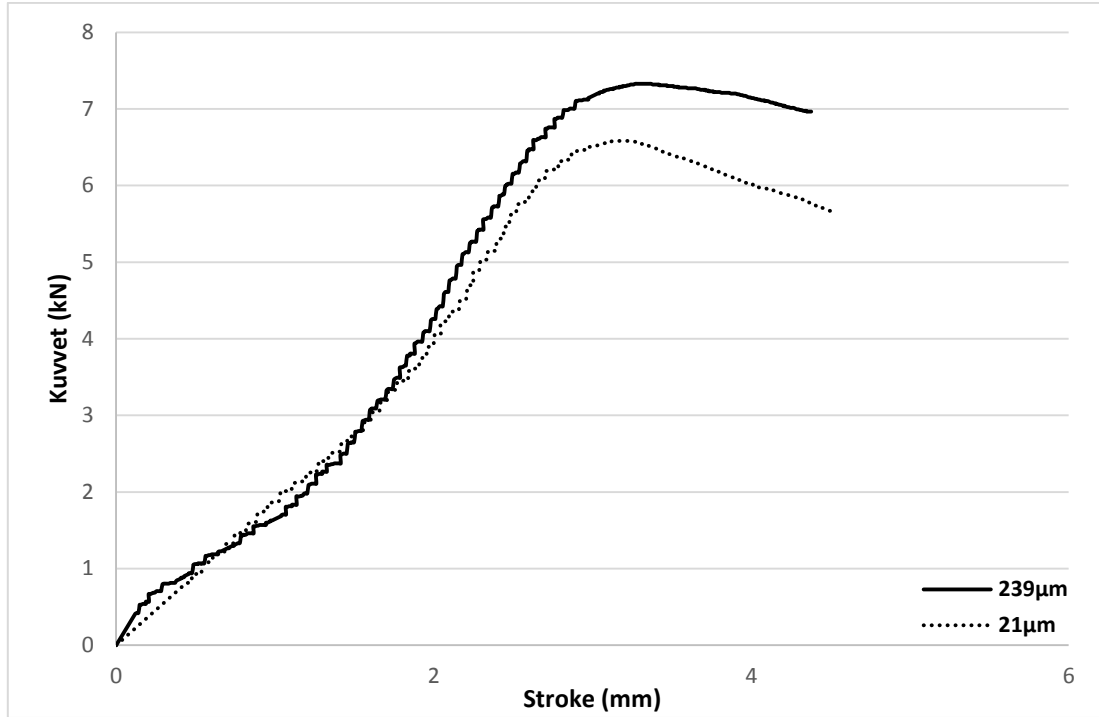
Aşağıdaki grafikte, 20° açılı ekstrüzyon kalıbında 1 mm et kalınlığına ve 5t (5 mm) uzunluğuna sahip, ince taneli ve kaba taneli numunelerin ekstrüzyon deneyleri sonucunda elde edilen grafik görülmektedir.

Hall-Petch yasasında da açıklandığı üzere ince taneli yapıların dayanımları genel olarak kaba taneli yapılardan daha iyidir. Bunun sonucu olarak ta plastik deformasyona maruz kalan malzemelerde ince taneli yapılar daha fazla kuvvet gerektirmektedirler. Ancak bu deneyde bu durumun aksi meydana gelmiş ve kaba taneli numunenin ekstrüzyon işlemine karşı gösterdiği direnç, ince taneliye göre daha yüksek olmuştur.

Aşağıdaki grafikten görüldüğü üzere 1 mm et kalınlığına sahip numunelerde ekstrüzyon kuvveti 8 kN değerini geçmezken bu değer 2 mm et kalınlığına sahip 5t uzunluktaki numunelerde (Şekil 6.7) yaklaşık 25 kN kuvvet değerine yaklaşmaktadır.

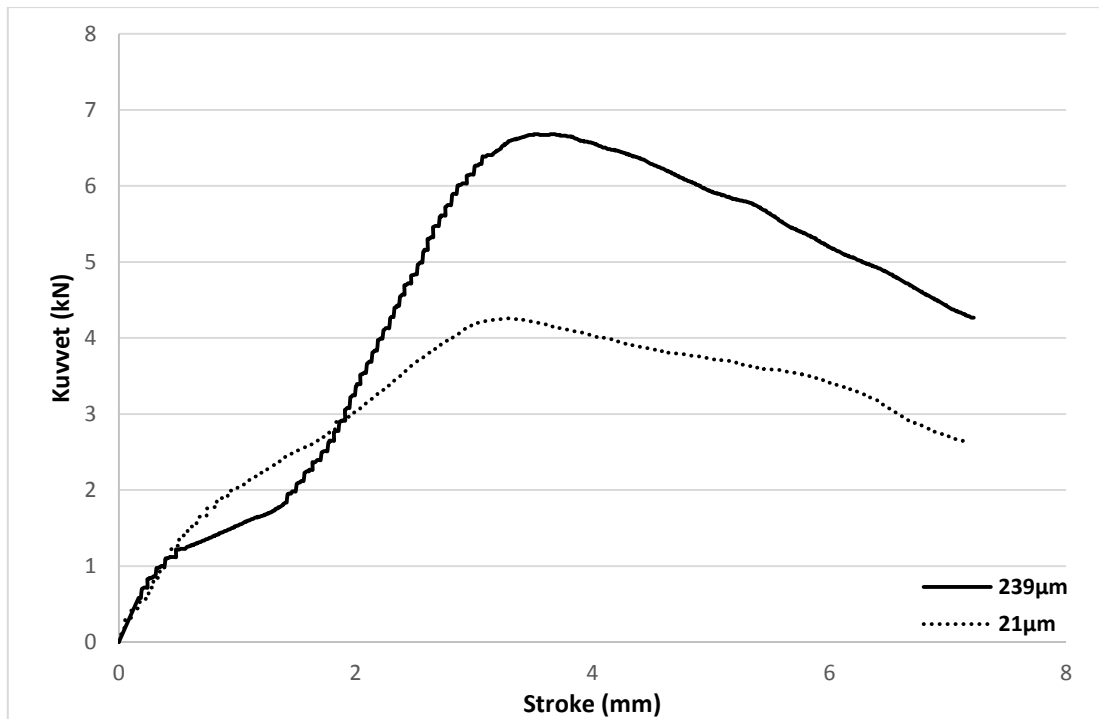
Et kalınlığının iki kat artması, ekstrüzyon kuvvetinin yaklaşık 3-4 kat artmasına sebep olmaktadır. Ayrıca 1 mm et kalınlığına sahip numune deneylerinde, numunelere uygulanan ekstrüzyon kuvveti numunelerin yaklaşık %40-%60'lık kısmının kalıptan çıktığı durumda maksimum değere ulaşılmıştır.

2 mm et kalınlığına sahip numune de daha yüksek bir oran olarak, yaklaşık %60-%80'lık bir değer olarak karşımıza çıkmaktadır. Kaba taneli, mukavemeti daha düşük olan numune için bu değer %60 olurken, ince taneli numune için %80 olmaktadır.



Şekil 6.15. 1 mm et kalınlığında ve 5t uzunluğundaki numunelerin  $20^{\circ}$  açılı kalıpta ekstrüzyon işlemi

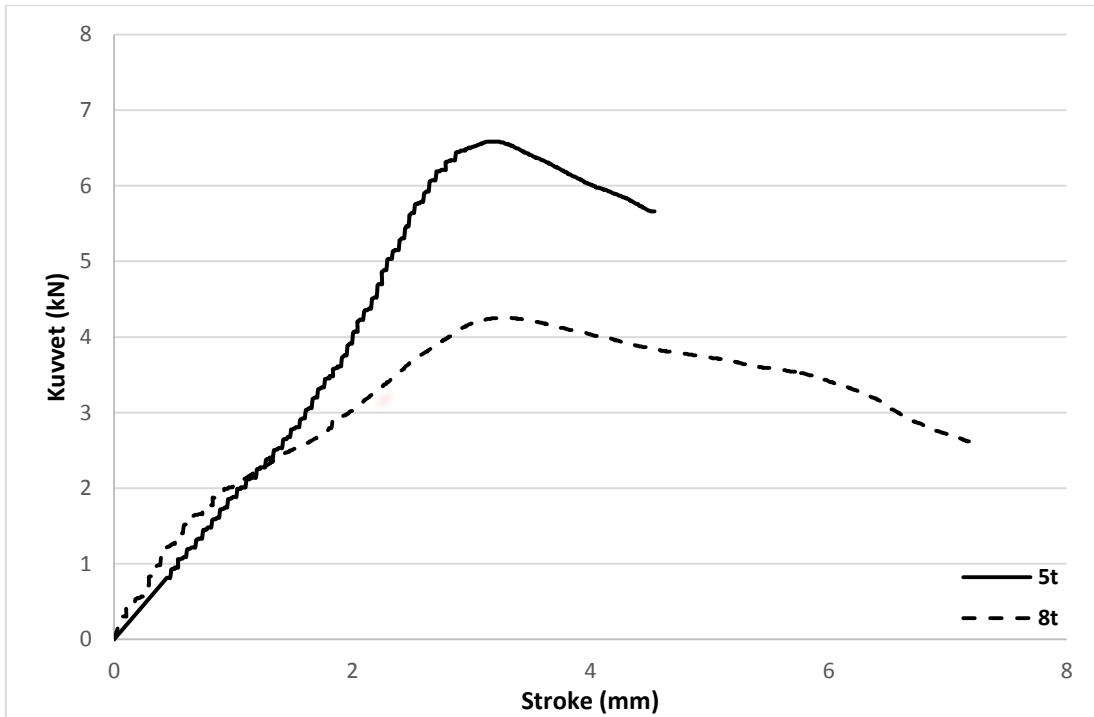
Aşağıdaki grafikte de yine aynı kalıp açısıyla yapılan deneyde, 1 mm et kalınlığında ve 8t (8 mm) uzunluğundaki numunelerin deney verileriyle oluşturulmuş ekstrüzyon kuvvet eğrileri görülmektedir.



Şekil 6.16. 1 mm et kalınlığında ve 8t uzunluğundaki numunelerin  $20^{\circ}$  açılı kalıpta ekstrüzyon işlemi

Numunelerin kovan içerisinde kalan kısımları, 8t uzunluğundaki numuneler için 5t uzunluğundaki numunelere göre 3 mm daha fazla olmaktadır. Dolayısı ile kovan içerisinde sürtünmeye harcanan kuvvet 5t uzunluktaki numunelerden daha fazla olmaktadır.

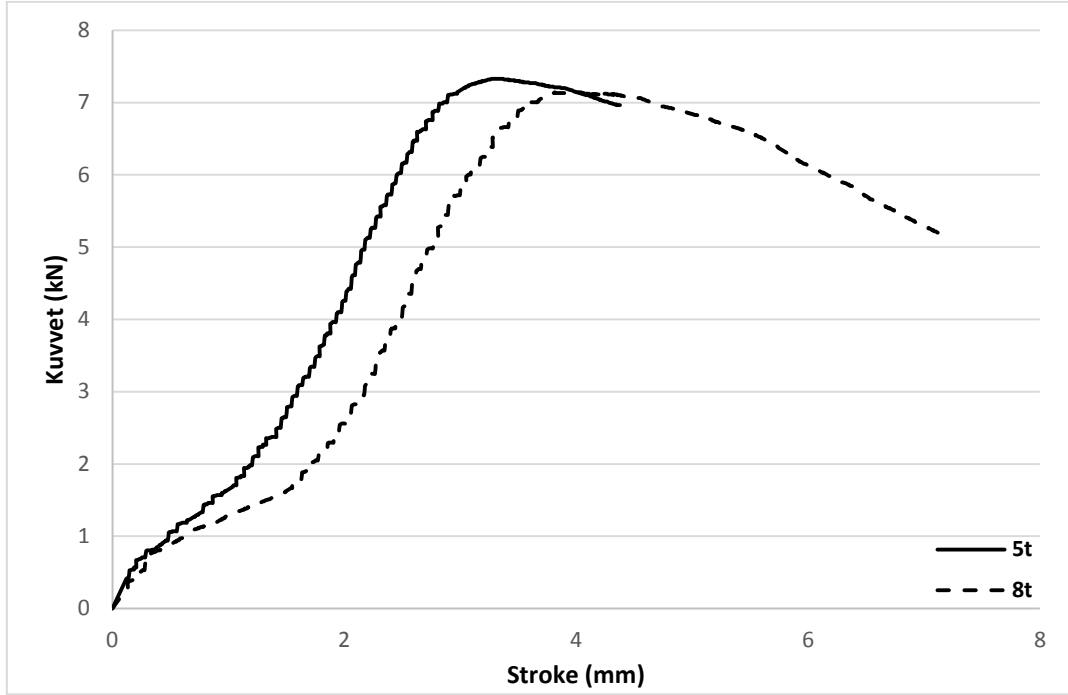
2 mm et kalınlığına sahip numunelerin farklı kalıp açıları ile yapılan deneylerinde de belirtildiği üzere sürtünme kuvvetinin, tane boyutuna göre değişen pekleşme etkisi ince taneli numunede ince bir film tabakası şeklinde numune içine etki etmektedir. Ancak bu durum kaba taneli numunede tane boyutlarının büyüklüğünden kaynaklı olarak çok daha derinlere nüfuz etmektedir. Dolayısıyla kaba taneli numunelerde meydana gelen pekleşme ile dayanım artışı ince taneli numunelerden çok daha fazla olmaktadır. Bu dayanım artışı sonucunda kaba taneli numunelerin ekstrüzyon kuvvetleri ince taneli numunelere göre, yukarıda belirtildiği gibi Hall-Petch yasasının aksine, daha yüksek olmuştur.



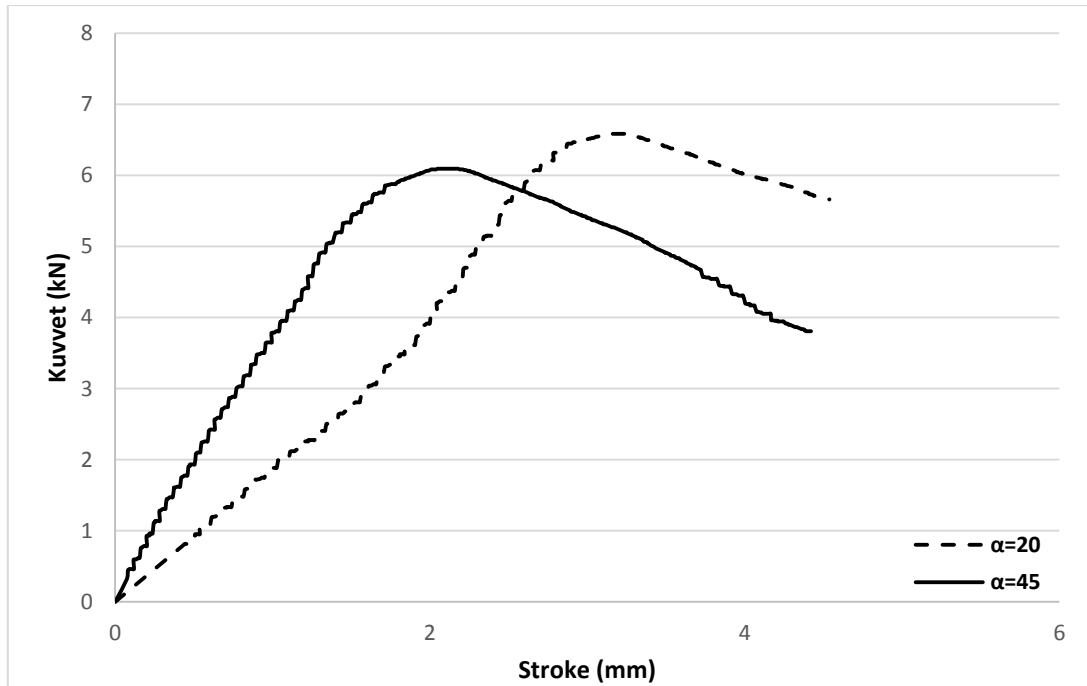
Şekil 6.17. 1 mm et kalınlığında 21  $\mu\text{m}$  tane büyüklüğüne sahip numunelerin 20° açılı kalıpta ekstrüzyon işlemi

Yukarıda ve aşağıda verilen grafiklerde (sırasıyla, Şekil 6.17 ve Şekil 6.18) 500°C ve 700°C tavlama sıcaklıklarındaki 5t ve 8t uzunluğa sahip numunelerin deney verileri ile oluşturulmuş grafikler görülmektedir. Her iki grafikte de 5t uzunluğundaki

numunenin gerektirdiği maksimum kuvvet değeri yaklaşık aynı olmuştur. İtcinin kalıp içerisinde yaklaşık 3 mm ilerlediği noktada, ekstrüzyon kuvvet değeri de maksimum değere ulaşılmıştır.



Şekil 6.18. 1 mm et kalınlığında 239  $\mu\text{m}$  tane büyüklüğüne sahip numunelerin 20° açılı kalıpta ekstrüzyon işlemi



Şekil 6.19. 5t uzunluğunda ve 21  $\mu\text{m}$  tane büyüklüğüne sahip numunelerin 20° ve 45° açılı ekstrüzyon kalıplarında yapılan deneylerinin karşılaştırılması

Şekil 6.19’da 5t uzunluğunda ve 500° sıcaklıkta tavllanmış ince taneli (21 µm tane büyüklüğüne sahip) numunelerin iki ekstrüzyon açısı değerindeki karşılaştırılması gösterilmiştir. Gereksiz kayma deformasyon kuvvetinin sürtünme kuvvetine göre daha baskın olduğu, büyük açı değerinde elde edilen ekstrüzyon eğrisinin eğiminin kuvvet artış hızı, küçük açı değerinden daha büyük olduğu ile açıklanabilir. Yani kuvvet artışı ekstrüzyon açısı ile artan gereksiz kayma deformasyon kuvveti ile doğru orantılıdır.

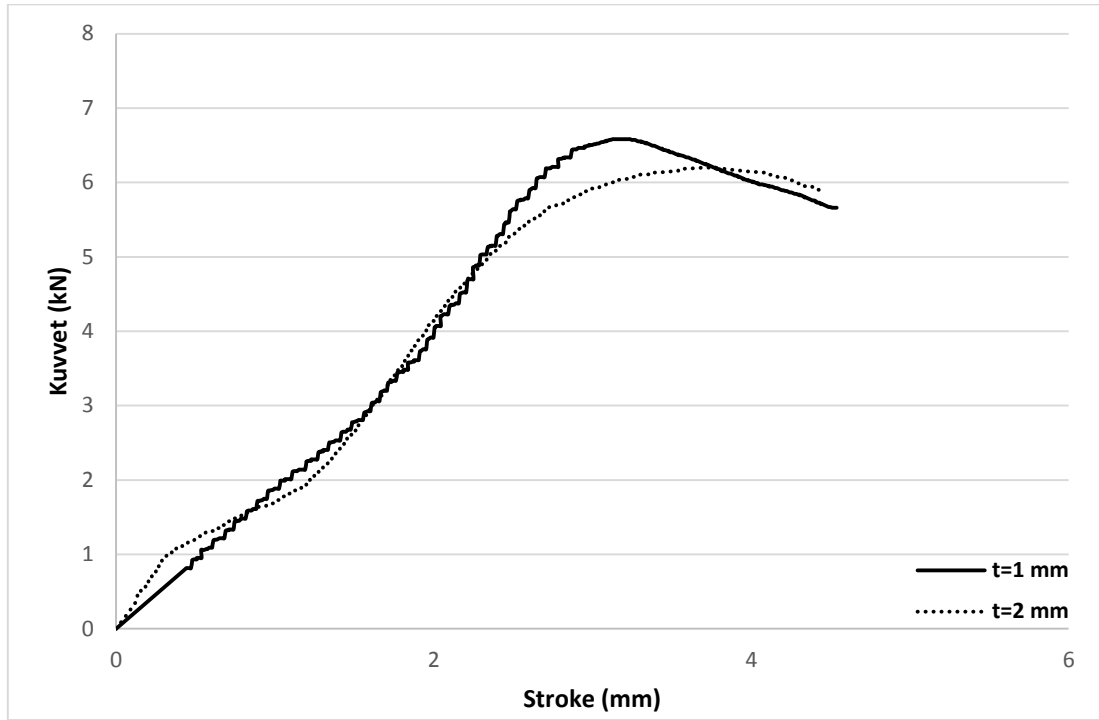
#### **6.4. 1 mm ve 2 mm Et Kalınlıklarına Sahip Numunelerin Normalize Edilmiş Ekstrüzyon Kuvvet Değerlerinin Karşılaştırılması**

Aşağıdaki grafiklerde, 1 mm ve 2 mm et kalınlıklarına sahip deney numunelerinin ekstrüzyon kuvvet eğrileri karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmanın yapılabilmesi için, 1 mm et kalınlığına sahip numuneden 4 kat daha büyük kesit alanına sahip 2 mm et kalınlığındaki numunelerin ekstrüzyon kuvvet değerleri dörde bölünmüştür. Bu sayede aynı kesit alanına tekabül eden kuvvet değeri her iki et kalınlığı değeri içinde karşılaştırılabilmiştir.

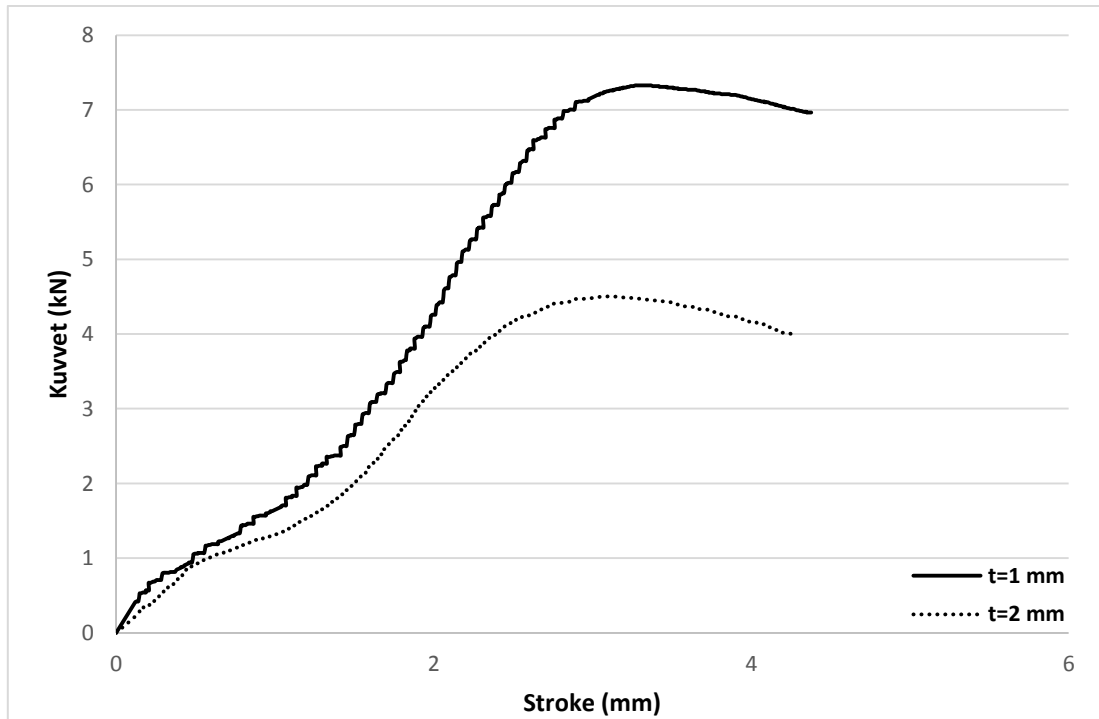
Önceki kısımlarda numune boyutunun ve tane boyutunun ekstrüzyon kuvveti üzerine olan etkisi ortaya konulmuştu. Ancak normalize edilmiş kuvvet eğrilerinin karşılaştırılması ile tane boyutunun ekstrüzyon kuvveti üzerine etkisi daha net bir şekilde ortaya çıkmıştır.

Normalizasyon yapılarak kıyaslanan ekstrüzyon kuvvet eğrilerinden tane boyutunun ekstrüzyon kuvveti üzerine ne denli etkili olduğu daha net anlaşılmaktadır. Numuneler plastik şekil değişimine zorlandıkları için uygulanan kuvvet ile pekleşmekte ve dayanımları da buna bağlı olarak artmaktadır. Ancak tane boyutu ile alakalı olarak kovan ve eğimli kalıp yüzeyinde meydana gelen sürtünme kuvveti, numunelerin yüzeylerinden başlayarak iç taraflarına doğru etki eden bir pekleşme etkisi oluşturmaktadırlar. İnce taneli numunelerde tane boyut kaba taneli numunelere kıyasla yaklaşık 11 kat daha küçük olduğu için kaba taneli numunelerde bu pekleşme etkisi ince taneli numunelere göre iç kısımları çok daha fazla etkilemektedir.

Aşağıdaki grafiklerden tane boyutuna bağlı gerçekleşen pekleşme etkisinin numune içlerine ne kadar etki ettiği görülebilmektedir.



Şekil 6.20. 5t uzunluğunda ve 21 µm tane büyüklüğüne sahip 1 mm ve 2 mm et kalınlığına sahip numunelerin 20° açılı kalıpta yapılan deneylerinin normalizasyonu

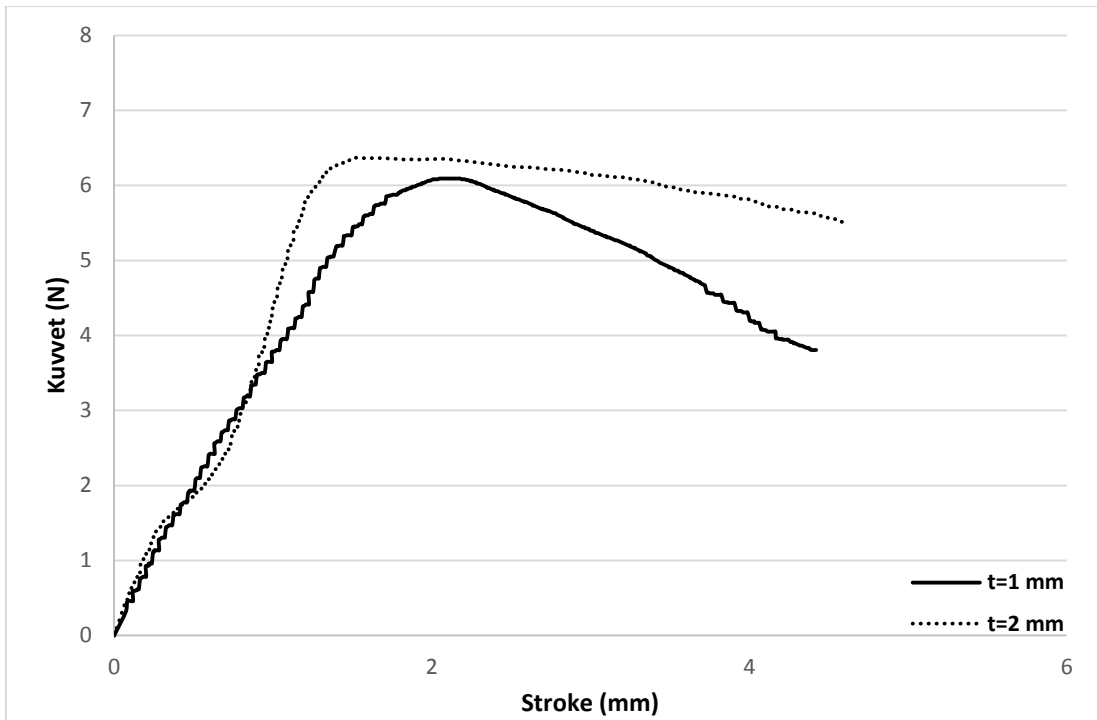


Şekil 6.21. 5t uzunluğundaki 239 µm tane büyüklüğüne sahip 1 mm ve 2 mm et kalınlığına sahip numunelerin 20° açılı kalıpta yapılan deneylerinin normalizasyonu

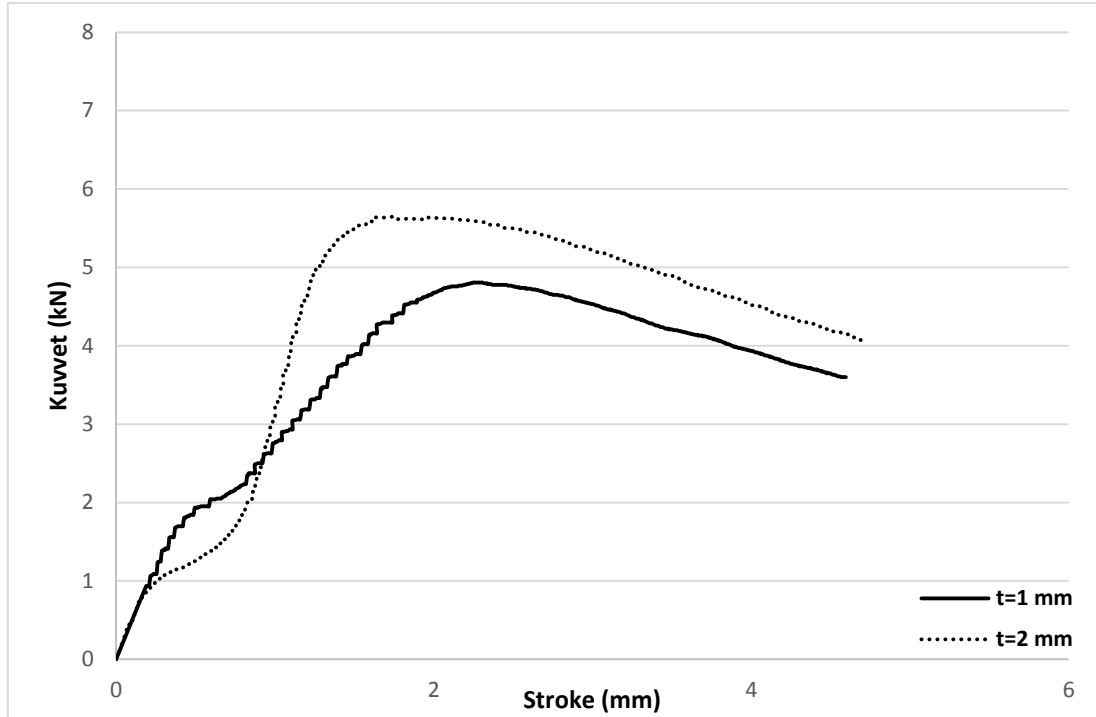


Yukarıdaki grafikte (Şekil 6.21) kesitinde ortalama 4-5 adet tane bulunan 1 mm et kalınlığındaki numune ile yaklaşık 8-9 adet tane bulunan 2 mm et kalınlığındaki numunelerin kuvvet eğrileri karşılaştırılmıştır.

Yüzey tanelerinin sürtünme etkisi ile pekleşmelerinde tane büyüklüğünün etkisi daha net ortaya çıkmaktadır. 1 mm kesitli numunenin merkezi ile yüzeyi arasında ortalama 2 adet tane bulunmaktadır. Bu durum da yüzey tanesinde meydana gelen pekleşmeden kaynaklı bir dayanım artışının numunenin neredeyse merkezine kadar etki ettiğini göstermektedir. Bu durum kaba taneli numunede çok daha belirgin bir halde olmaktadır. Şekil 6.21’de kuvvet eğrileri arasındaki kuvvet farklılığı kesitteki tane sayısı ile alakalıdır. 2 mm kesitli numunede tane sayısı 1 mm kesitli numuneden yaklaşık 2 kat daha fazladır olduğundan pekleşme etkisi 1 mm kesitli numune kadar içeriye nüfuz edememektedir.



Şekil 6.22. 21 µm tane büyüklüğüne sahip 1 mm ve 2 mm et kalınlığına sahip numunelerin 45° açılı kalıpta yapılan deneylerinin normalizasyonu



Şekil 6.23. 239 µm büyüklüğüne sahip 1 mm ve 2 mm et kalınlığına sahip numunelerin 45° açılı kalıpta yapılan deneylerinin normalizasyonu

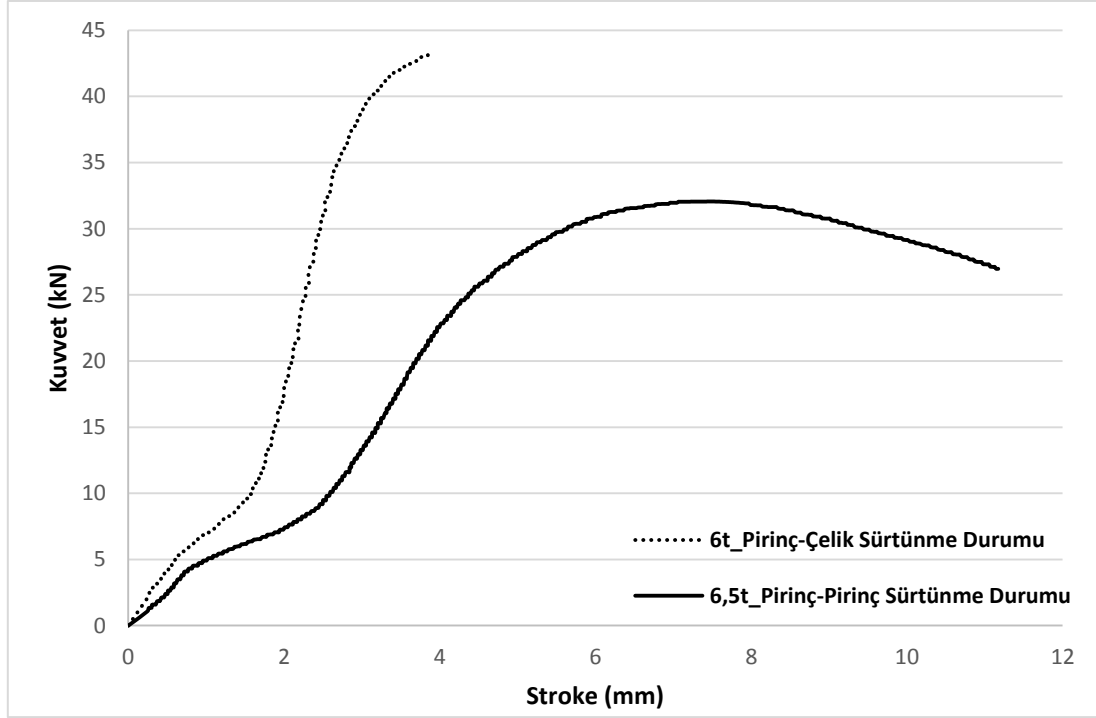
### 6.5. Farklı Sürtünme Durumlarının Ekstrüzyon Kuvveti Üzerine Etkisi

Yapılan deneylerde kullanılan ekstrüzyon kalıplarının kullanım sayıları numunelerin ekstrüzyon kuvvetleri üzerine etki ettiği tespit edilmiştir. Bu durum kovan yüzeyi ve eğimli kalıp yüzeyi ile numune arasında meydana gelen sürtünme kuvveti ile alakalıdır.

Yapılan deneyler pirinç numunenin daha önce hiç deney yapılmamış bir kalıpta ekstrüde edilmesi durumunda gerek duyulan ekstrüzyon kuvvetinin çok yüksek değerlerde olduğunu göstermiştir. Bunun yanında öncesinde deney yapıldığı için çelik kovan yüzeyine sıvanmış pirinç film tabaka (firçalandığı halde kovan yüzeyinden ayrılmayan ince film tabaka) bulunan ekstrüzyon kalıbında yapılan deney sonucunda elde edilen ekstrüzyon kuvveti daha küçük değerlerde çıkmıştır. Her kalıpta yapılan ilk deneylerden sonra kalıp yüzeyine bir miktar pirinç sıvanmış ve bu pirinç sonraki deneylerde sürtünme kuvvetinin daha düşük olmasına olanak sağlamıştır.

Şekil 6.24'teki grafikte, bahsedilen durum ile ilgili yapılan deneylerin kuvvet eğrileri

mevcuttur. Her iki durumda numune ve kalıpların yağlama ile sürtünme kuvvetlerinin minimize edildiği durumlarda gerçekleştirilmiştir. Grafikten de görüleceği üzere 6t numune uzunluğuna sahip numunenin ekstrüzyon kuvvet değeri 6,5t numune uzunluğuna sahip numuneden çok daha fazla olmuştur.



Şekil 6.24. 6t ve 6,5t uzunluğundaki ince taneli numunelerin 20° açılı kalıpta yapılan deneylerinde farklı sürtünme durumlarının karşılaştırılması

Kalıpta yapılan ilk deneyde (6t uzunluğundaki numune için) kovan içerisinde pirinç-çelik sürtünmesi meydana gelmiştir. Ancak aynı kalıpta yapılan 3. deneyde artık kovan ve kalıp yüzeyi ile numune arasında pirinç-pirinç sürtünmesi meydana gelmiştir. Ekstrüzyon kuvvet değerlerinden de anlaşılacağı üzere pirinç-çelik sürtünme oranı, pirinç-pirinç sürtünme oranından çok daha yüksek değerlerdedir. Bu nedenle kalıplarda yapılan ilk deneylerde kuvvet değerleri çok yüksek çıktığından, bu deney verileri değerlendirilmeye alınmamıştır.

## **BÖLÜM 7. ÖNERİLER**

Yapılan deneyler sonucunda genel olarak boyut etkisinin (numune ve tane boyutunun) numunelere uygulanan ekstrüzyon kuvveti üzerinde ne denli etkili olduğu tespit edilmeye çalışılmıştır. Deneyler sonrasında elde edilen veriler bize özellikle tane boyutunun bir plastik şekillendirme prosesi olan mikro-ekstrüzyon işleminde kuvvet üzerine olan etkisini net bir şekilde ortaya koymuştur.

Plastik şekillendirme proseslerinde numune boyutunun küçülmesi tane boyutunu daha ön plana çıkarmaktadır. Bu nedenle daha küçük boyutlarda imal edilebilecek numuneler ile yapılacak deneylerde boyut etkisi diye tabir ettiğimiz durumun ekstrüzyon kuvveti üzerine olan etkilerini gözlemlemek daha kolay olacaktır. Ayrıca numunelerin et kalınlıklarının da çeşitli değerlerde olması boyut etkisinin ekstrüzyon kuvveti üzerinde yaptığı değişimlerin gözlemlenmesine yardımcı olacaktır.

Yapılan deneylerde ekstrüzyon oranı sabit ve 1,33 olarak belirlenmişti. Yani 2 mm et kalınlığına sahip numunelerin et kalınlıkları 1,5 mm'ye, 1 mm et kalınlığındaki numunelerin et kalınlıkları ise 0,75 mm'ye düşürülmüştür. Ancak ileride bu çalışma kapsamında yapılabilecek çalışmalarda ekstrüzyon oranının da değişken parametre olarak belirlenmesi ekstrüzyon kuvvetinde meydana gelecek değişimlerin yorumlanmasında yardımcı olabilir.

Bu tez kapsamında yapılan deneylerde bir takım sebeplerden dolayı, tekrar deney yapmak her parametre için mümkün olamamıştır. Bu durum verilerin değerlendirilmesinde bazı sıkıntıları beraberinde getirmiştir. Bu nedenle daha sağlıklı ve doğruluğu teyit edilebilir sonuçlar elde edebilmek için, her bir deney parametresinden yaklaşık aynı kuvvet değerleri elde edilinceye kadar, deneylerin tekrarlanması daha verimli ve net sonuçların oluşturulmasına yardımcı olacaktır. Kesin veriler üzerinden yapılacak yorumlar bize daha sağlıklı bilgiler sağlayacaktır.

## KAYNAKLAR

- [1] JAIN, V.K., Micromanufacturing Process, CRC Press, 2013.
- [2] ENGEL, U., and ECKSTEIN, R., "Microforming – from Basic Research to its Realization," J. Mater. Process. Technology, 125-126, pp. 35-44, 2002.
- [3] VOLLERSTEN, F., HU, Z., NIEHOFF, H.,S., THEILER, C, "State of the art in micro forming and investigations in micro deep drawing", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 151, No. 1-3, pp. 70-79,2004.
- [4] KOCANDA, A., PREJS, T., "The effect of miniaturization on the final geometry of the bent products", Metal Metal Forming 2000, Proc. Of the 8th International Conference on Metal Forming, Rotterdam, Balkema, pp.375-78.
- [5] JUSTINGER, H., HIRT, G., "Estimation of grain size and grain orientation influence in microforming processes by Taylor factor considerations", Journal of Materials Processing Technology, in press, 2008.
- [6] CLASSEN, U. & CODOUREY, A.) Microfactory. Section Head CSEM CH 6055 Alpnach Switzerlan. Switzerland. 2002.
- [7] RAZALI.A., R., QIN, Y., "A review on Micro-manufacturing, Micro-forming and their Key Issues", Procedia Engineering, pp.665-672, 2013.
- [8] BRADY, G.S., Materials Handbook: an encyclopedia for purchasing managers, engineers, executives and foremen, McGraw-Hill Book Company INC, New York, 1991.
- [9] ŞENTÜRK, B., S., Pirinç alaşımlarının ekstrüzyonunda meydana gelen üretim hatalarının tespiti,nedenlerive çözüm yolları, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- [10] MİNDİVAN, H., Yüksek mukavemetli pirinçlerin mikro yapı ve aşınma özelliklerine ısıl işlemin etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [11] AKGÜN, O., Pirinç alaşımlarının hazırlanmasında flaksların etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2000.
- [12] [http://www.copper.org/innovations/2000/01-brasses/history\\_brass.html](http://www.copper.org/innovations/2000/01-brasses/history_brass.html), Erişim Tarihi: 05.04.2014

- [13] KOÇAK, H., Bakır ve Bakır Alaşımları, Sağlam Metal, Bolokur, 2013.
- [14] <http://www.brass.org/training/lecture/sld007.htm>, Erişim Tarihi: 03.04.2014
- [15] GIALANELLA, S. and LUTTEROTTI, L., Metastable structures in  $\alpha$ -  $\beta'$  brass, Journal of Alloys and Compounds, 317-318, 479-484, 2013.
- [16] KAHVEÇİ, Ö., Piriç küllerinin pirometalurjik değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2002.
- [17] MİNDİVAN, H., ÇİMENOĞLU, H. and KAYALI, E.S., Microstructures and wear properties of brass synchroniser rings, Wear, 254, 532-537, 2003.
- [18] ERSÜMER, A., Bakır ve Alaşımlarının Dökümü ve Isıl İşlemleri, İTÜ Matbaası, İstanbul, 1976.
- [19] SADAYAPAN, M., THOMSON, J.P., ELBOUJDAİNİ, M., PİNG GU, G. and SAHOO, M., Grain refinement of permanent mold cast copper base alloys, Copper Development Association Technical Report, MTL-84 6TR-R, Permanent Mold Committee of AFS division based, Chicago, US, 2004.
- [20] VILAR, NHO, C., DAVİM, J.P., SOARES, D., CASTRO, F. and BARBOSA, J., Influence of the chemical composition on the machinability of brasses, Journal of Materials Processing Technology, 170, 441-447, 2005.
- [21] LA FONTAINE, A. and KEAST, V.J., Compositional distributions in classical and lead-free brasses, Materials Characterization, 57, 424-429, 2006.
- [22] SEUNGMAN, S. and KANG, T., The effects of tin and nickel on the corrosion behavior of 60Cu-40Zn alloys, Journal of Alloys and Compounds, 335, 281-289, 2002.
- [23] KESİCİ, T., “%70 Cu - %30 Zn Piriç Alaşımlarında Tav Parametrelerinin Derin Çekilebilirliğe Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [24] ÇAPAN, L., Metallere Plastik Şekil Verme, Çağlayan Kitapevi, sayfa 219-248, 1990.
- [25] AVITZUR, B., “Study of Flow through Conical Converging Dies”, in Metal Forming: Interrelation Between Theory and Practice, ed. A.L. Hoffman, Plenum Press, New York-London, 1971.
- [26] PARASIZ, S., A., and FIRAT, M., “An Investigation of Size Effects in Microextrusion”, DIEMOLDS, 2013.

- [27] CALLISTER, W., D., RETHWISCH, D., G., Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Nobel, 2013.

## ÖZGEÇMİŞ

Muhammet YALÇIN 20.10.1985 tarihinde Ağrı'da doğdu. İlk ve orta eğitimini İstanbul Sultanbeyli'de tamamladıktan sonra lise eğitimine Üsküdar'da devam etti. 2004 yılında Üsküdar Çağrıbey Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2005 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden 2010 yılı Ocak ayında mezun oldu. 2010 yılının Eylül ayında Öğretim Görevlisi Yetiştirme Programı(ÖYP) kapsamında Iğdır Üniversitesi Makine Mühendisliği'nde araştırma görevlisi olarak çalışmaya başladı. 2011 yılında Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı. ÖYP programı kapsamında yapılan görevlendirme ile 2012 yılında Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliğinde 35. Madde kapsamında araştırma görevlisi olarak çalışmaya başladı ve halen aynı üniversitede göreve devam etmektedir.