

PİRİNÇ MALZEMENİN MİKRO-EKSTRÜZYON İŞLEMİNDE NUMUNE ve TANE BOYUTUNUN İŞLEM KUVVETİ ÜZERİNE ETKİSİ

*Muhammet Yalçın, Ahmet Parasız
Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Sakarya Üniversitesi, Türkiye

Abstract

Cold forming offers well known advantages such as close dimensional tolerances, increased strength and improved surface finish of the final product. Micro-extrusion process is one of the 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.

1mm 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.

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

Özet

Mikro boyutta ürün imal edilmesine olanak sağlayacak yeni imalat yöntemlerine duyulan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Bu ihtiyaca binaen ya yeni imalat yöntemleri geliştirilmekte ya da geleneksel imalat yöntemleri mikro boyutta ürün imalatına uyarlanmaktadır. Mikro-ekstrüzyon yöntemi de geleneksel soğuk ekstrüzyon yönteminin mikro imalata uyarlanması ile ortaya çıkmıştır. Bir soğuk şekillendirme yöntemi olan soğuk ekstrüzyon işlemi, ihtiyaç duyulan işlem kuvvetinin büyüklüğüne nazaran elde edilen boyut toleransları ve yüzey kalitesi açısından sıklıkla tercih edilmektedir.

Bu çalışmamızda farklı tane ve numune boyutlarının mikro-ekstrüzyon işleminde, ekstrüzyon kuvveti üzerine olan etkileri incelenmiştir. Çalışmada ağırlık %30 çinko içeren, soğuk haddelenerek imal edilmiş plaka halindeki CuZn30 pirinç malzeme kullanılmıştır. Pirinç malzeme farklı tane boyutları elde etmek amacıyla farklı sıcaklıklarda tavlansmıştır.

Soğuk haddelenmiş pirinç plakadan talaş kaldırmak suretiyle önceden belirlenen farklı boyutlarda numuneler çıkarılmıştır. Çıkarılan numuneler farklı ekstrüzyon açıları ve oranlarında ekstrüde edilmiştir. Farklı tane ve numune boyutlarının mikro-ekstrüzyon işlem kuvvetine olan etkisi tespit edilmeye çalışılmıştır.

Anahtar kelimeler: soğuk şekillendirme, mikro-ekstrüzyon, tane boyutu, plastik şekillendirme

1. Giriş

Gelişen teknoloji ile beraber kullandığımız teknolojik ürünlerin birçoğu çok daha büyük boyutlardan avucumuza sığacak boyutlara küçülmüşlerdir. Minyatürleşme olarak ta isimlendirilen bu trend özellikle son 15-20 yıllık süre zarfında ciddi mesafeler kat etmiştir. Günlük hayatımızın vazgeçilmez birer parçaları haline gelen cep telefonları, bilgisayarlar, müzik aletleri gibi elektronik cihazlar eski versiyonlarına kıyasla çok daha küçük boyutlarda üretilebilmektedir. Bunun yanı sıra günümüzde özellikle elektronik, haberleşme, otomotiv, tıp, askeriye gibi farklı sanayi alanlarında da çok daha küçük alet ve cihazlara duyulan ihtiyaç artmaktadır. Bu tip alet ve cihazların meydana geldiği metal aksam da doğal olarak daha küçük boyutlarda olmaktadır. Minyatürleşme, bu tür çok küçük metal parçaların güvenilir ve ekonomik bir şekilde üretilmesi uğraşısını beraberinde getirmiştir.

Makro boyutlarda geleneksel metal şekillendirme yöntemlerinin mikro boyutlara uyarlanması ile mikro-şekillendirme yöntemleri oluşturulmuştur. Mikro-şekillendirme yöntemleri -yani mikro ölçekte metal şekillendirme işlemleri- 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 [1,2,3,4,5].

Bu araştırmada mikro-pim, mikro-kap, mikro-boru gibi metal parçaların imalatında kullanılan mikro-ekstrüzyon işleminde tane ve numune boyutunun, mikro-ekstrüzyon kuvvetleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla ince ve kaba tane yapısına sahip olacak şekilde tavlanan ağırlıkça %30 çinko içeren CuZn30 pirinç malzemeden, 1 mm ve 2 mm et kalınlıklarına sahip numuneler çıkarılmış ve bu numuneler farklı kalıp açıları kullanılarak mikro-ekstrüzyon işlemine tabi tutulmuştur. Şekil 1’de mikro-ekstrüzyon yöntemi ile imal edilmiş çeşitli boyutlardaki pimleri gösteren bir fotoğraf verilmiştir.



Şekil 1. Mikro imalat yöntemi ile üretilmiş çeşitli ürünler [2]

Bir ekstrüzyon işleminde ekstrüzyon kuvveti dört temel kuvvet bileşeninden meydana gelmektedir. Bu kuvvet bileşenleri; F_h , homojen deformasyon kuvveti ve F_g kalıp açısına göre değişen gereksiz (kayma) deformasyon kuvveti ve $F_{s,ka}$, kalıp ve $F_{s,ko}$ kovan yüzeylerindeki sürtünme kuvvetleri şeklindedir [6].

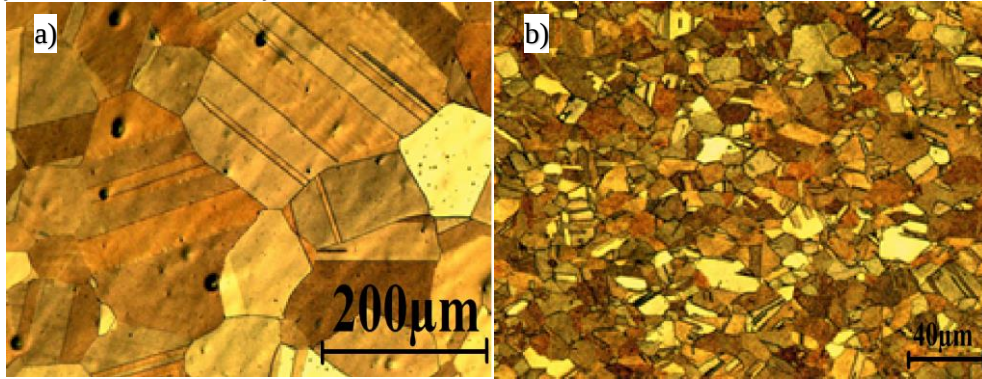
$$F_{ekz} = F_h + F_g + F_{s,ka} + F_{s,ko} \quad (1)$$

Ekstrüzyon kuvvet bileşenlerinin etkilerinin daha net anlaşılabilmesi için farklı tane ve numune boyutları aynı ekstrüzyon oranlarında ancak farklı ekstrüzyon açılarında ekstrüde edilmiştir. Elde edilen verilerin karşılaştırılması sonucunda değişken parametrelerin ekstrüzyon kuvveti üzerine olan etkileri ortaya konulmaya çalışılmıştır. Yapılan deneylerde ekstrüzyon oranı sabit olduğu için F_h kuvvet bileşeninin etkisi farklı ekstrüzyon açılarında da eşit olmaktadır. Ekstrüzyon kuvvetlerinin farklılaşması ise diğer üç kuvvet bileşeninin deney parametreleri ile değişmesinden kaynaklanmaktadır.

Kalıp açısı arttıkça, numunelerin eğimli kalıp yüzeyinde kat ettikleri eşit mesafede maruz kaldıkları kayma deformasyon miktarı da artmaktadır. Ancak kalıp açısının artması ile eğimli kalıp yüzeyi kısalmaktadır. İlk durumdan kaynaklanan kuvvet artışı ve ikinci durumdan kaynaklanan sürtünme kuvveti düşüşü nedeniyle, kalıp açısının artması ekstrüzyon kuvvetini belli bir açı değerinde minimum yapmaktadır.

2. Malzeme ve Deneysel Yöntem

Bu çalışmada oda sıcaklığında tek fazlı (α fazı) yapıda bulunan, ağırlıkça %30 çinko (Zn) içeren bir bakır-çinko alaşımı olan CuZn30 kullanılmıştır. Soğuk haddelenmiş halde temin edilen pirinç plaka yaklaşık eşit olacak şekilde iki parçaya ayrılmıştır. Plakalar farklı tane boyutları elde edebilmek amacıyla sırasıyla 500°C ve 700 °C olmak üzere iki farklı sıcaklıkta tavlansmıştır. Tavlama işlemi bir saat sürmüştür.



Şekil 2. a) 700°C’de (dort= 239µm), b) 500°C’de (dort= 21µm) tavlansmış α -pirincinin mikro yapı fotoğrafları

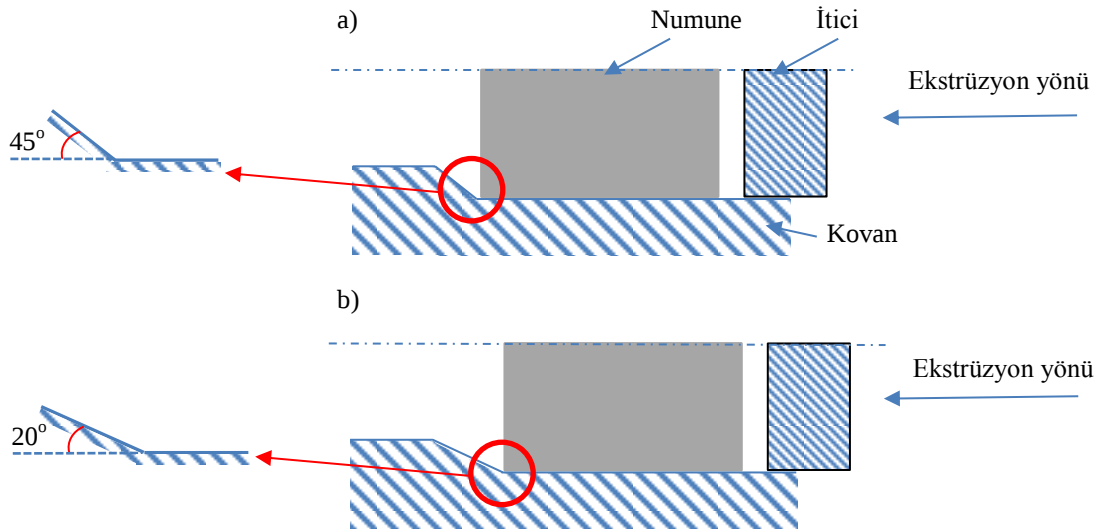
Tavlama işlemi sonucunda ince ve kaba olacak şekilde 21 µm ve 239 µm tane boyutları elde edilmiştir. Tane boyutları arasındaki yaklaşık 11 kat fark olması, yapılan mikro-ekstrüzyon işlemlerinde tane boyutunun etkisinin anlaşılmasını daha kolay hale getirmektedir. Tane boyutunun tespit edilebilmesi için yapılan parlatma ve dağlama işlemi Buehler marka elektrolitik parlatma ve dağlama cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Yukarıdaki Şekil 2’de sırasıyla ince ve kaba

taneli numunelerin mikro yapı fotoğrafları görülmektedir.

Çalışmada ince ve kaba taneli yapıya sahip plakalardan farklı et kalınlığına, uzunluğuna ve genişliğine sahip numuneler çıkarılmıştır. Elde edilen deney sonuçlarının tutarlı olabilmesi açısından, her bir parametre için birden fazla deney yapılmaya çalışılmıştır. Deneylerde, İdeal Makine tarafından tasarlanan ve imalatı gerçekleştirilen 40 kN (4 ton) kapasiteli, vida tahrikli çekme deney makinesi ve mikro-ekstrüzyon aparatı kullanılmıştır. Aşağıda verilen Tablo 1’de deneylerde kullanılan numunelerin ölçüleri verilmiştir.

Numunelerin Et Kalınlığı	Numunelerin Uzunluğu	Numunelerin Genişliği
1 mm	5t = 5 mm	6 mm
	6,5t = 6,5 mm	
	8t = 8 mm	
2 mm	5t = 10 mm	12 mm
	6,5t = 13 mm	
	8t = 16 mm	

Tablo 1. Numune ölçüleri



Şekil 3. a) 45° açılı ekstrüzyon kalıbı, b) 20° açılı ekstrüzyon kalıbı şematik gösterimi.

Numunelerin mikro-ekstrüzyon işlemlerinde sırasıyla 20° ve 45° ekstrüzyon açılarına sahip kalıplar kullanılmıştır. Yukarıdaki Şekil ..’de ekstrüzyon kalıbı ve numune şematik olarak verilmiştir. Şematik gösterimden de anlaşılabacağı üzere, ekstrüzyon açısının artması ile eğimli kalıp mesafesinde artmaktadır. Bu mesafe 20° kalıp açısında 0,342mm değerinde iken, 45° kalıp açısında ise 0,176mm olmaktadır.

3. Sonuç

Elde edilen deney verileri aşağıda verilen grafiklerde verilmiştir. Grafiklerde dikey eksen kN cinsinden uygulanan mikro-ekstrüzyon kuvvetini, yatay eksen ise mm cinsinden numunelerin kalıp içerisinde kat ettikleri mesafeyi göstermektedir. Deneyler 1,33 ekstrüzyon oranı ile gerçekleştirilmiştir. Böylece 1mm et kalınlığına sahip numuneler 0,75mm et kalınlığına, 2mm et kalınlığına sahip numuneler ise 1,5mm et kalınlığına düşürülmüştür.

Grafiklerde karşılaştırma parametresi olarak tane boyutları ve numune uzunlukları ve kalıp açıları belirlenmiştir. Grafiklerde 21 μ m ince tane yapısına sahip numuneleri gösterirken 239 μ m ise kaba tane yapısına sahip numuneleri göstermektedir. Deney numunelerine uygulanan kuvvet sonucunda giriş kısmında da anlatıldığı üzere kovan yüzeyleri ve eğimli kalıp yüzeylerinde sürtünme kuvveti, kalıp açısından kaynaklanan gereksiz (kayma) deformasyon kuvveti ve ekstrüzyon oranından kaynaklanan homojen deformasyon kuvveti meydana gelmektedir.

Ekstrüzyon işlemi sırasında, kesitte daralmanın meydana geldiği açılı kalıp bölgesinde, ekstrüzyon simetri ekseninden (iç kısımdan) yüzeye doğru, ekstrüzyon yönünde malzeme akış hızı azalmaktadır [7]. Bunun yanında yine bu bölgede deformasyona uğrayan malzemenin dayanımı artmaktadır. Kesit daralma bölgesi ile itici arasında kalan malzeme, bu iki bölge arasında basma kuvvetleri altında zamanla pekleşmekte, yani kesit daralması bölgesine girmeden önce de malzemenin dayanımı zamanla artmakta ve bunun sonucu olarak ekstrüzyon kuvveti giderek artmaktadır. Deney sonunda bu ekstrüde edilmeyen kısmın et kalınlığında, deney öncesi et kalınlığına göre bir miktar artış olması da bu bölgede meydana gelen plastik deformasyonun göstergelerinden biridir. Numunenin deney sırasında pekleşmesi ve şişmesi sürtünme kuvvetleri dahil tüm kuvvet bileşenlerinin artmasına neden olmaktadır.

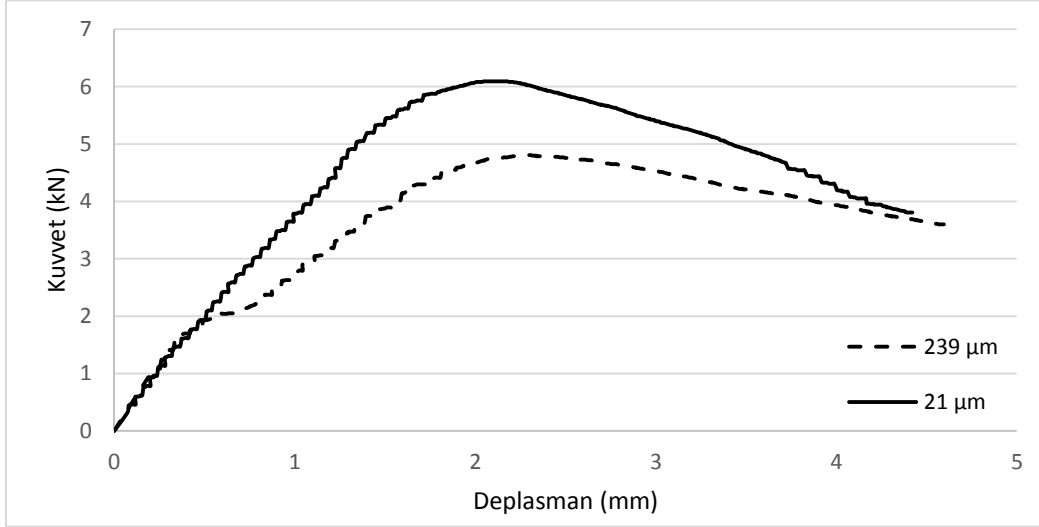
Ekstrüzyon işlemi sırasında malzeme akışının zamanla daha kararlı hale gelmesiyle (zamanla malzeme dayanımındaki değişimin azalmasıyla) homojen deformasyon, gereksiz deformasyon ve kalıp sürtünme kuvvetlerindeki artış hızı yavaşlamakta, buna karşın malzemenin ekstrüde edilmemiş kısmı giderek azaldığı için numune ve kovan arasında oluşan sürtünme kuvvetindeki düşüş, ekstrüzyon kuvvetinin azalmasına sebep olmaktadır.

Kalıp açılarının şematik gösteriminde de belirtildiği (Şekil 3) üzere, kalıp açısı azaldıkça, numunelerin eğimli kalıp yüzeylerinde kat etmeleri gereken mesafeler ve dolayısı ile bu bölgede sürtünme için harcanan kuvvet artmakta, buna karşın gereksiz (kayma) deformasyonu için harcanan kuvvet miktarı azalmaktadır. Bundan dolayı, 20° açılı kalıpta grafiklerden anlaşıldığı üzere kayma deformasyon miktarındaki artış, sürtünme kuvvetindeki artıştan daha düşük değerlerdedir. Bu nedenle, 20° açılı kalıpta elde edilen maksimum ekstrüzyon kuvvetleri 45° açılı kalıba göre daha yüksek olmuştur. Bu açıdan, 20° açılı kalıpla yapılan ekstrüzyon işleminde, kalıp yüzeylerine harcanan sürtünme kuvvetinin toplam kuvvet içindeki oranı 45° açılı kalıba göre daha yüksek olmaktadır.

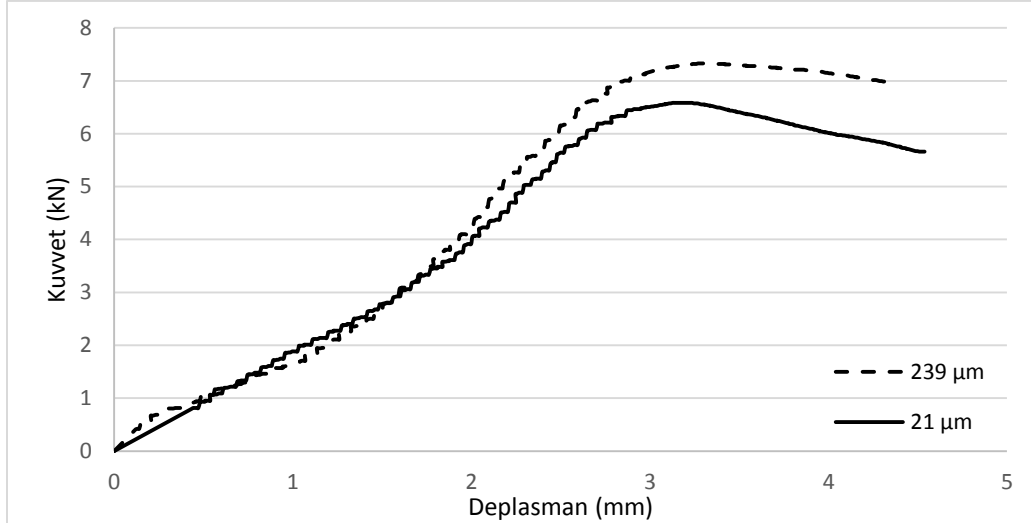
3.1. 1 mm Et Kalınlığına Sahip Numuneler

Şekil 4.a'da 45° açılı kalıpta yapılan deney sonuçlarından da görüldüğü üzere ince taneli

numunenin ekstrüzyon kuvveti kaba taneli numuneye göre daha yüksek olmuştur. Şekil 4.b’de verilen 20° açılı kalıba göre, maksimum ekstrüzyon kuvvet değerlerindeki azalma çok daha fazla olmuştur. Maksimum ekstrüzyon kuvvet değerine ulaşmak için numunelerin kalıp içerisinde kat ettikleri mesafe açı büyüdükçe azalmıştır. Bu değer 20° açılı kalıpta ortalama 3,5 mm iken, 45° açılı kalıpta yaklaşık 2,5 mm olmaktadır. Bunun yanı sıra her iki grafikteki ekstrüzyon kuvvet değerlerindeki artış hızı mukayese edildiğinde, kalıp açısı büyüdükçe artış hızının da arttığı anlaşılmıştır.



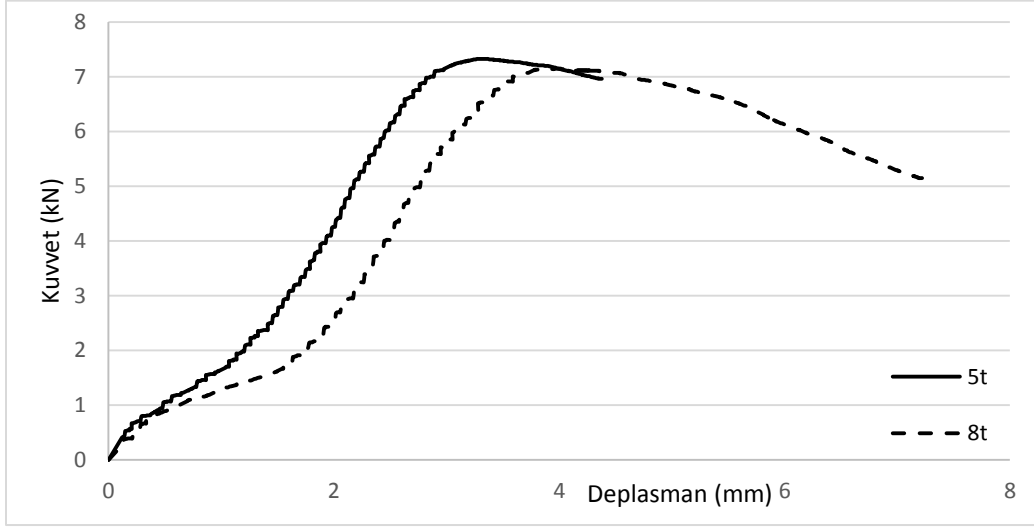
Şekil 4.a) 45°'lik ekstrüzyon kalıbı ile yapılan deney sonuçları



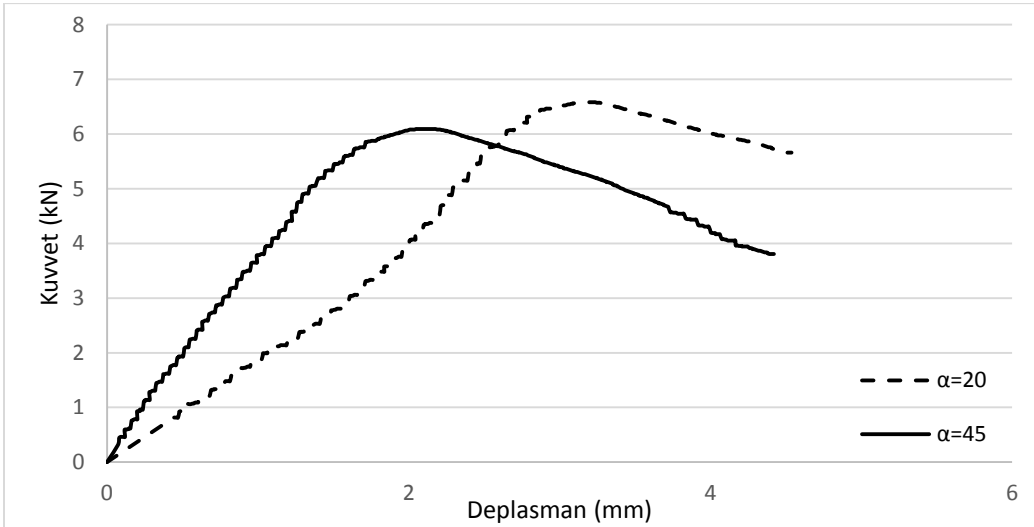
Şekil 4.b) 20° açılı ekstrüzyon kalıbı 5t ile yapılan deney sonuçları

Aşağıda Şekil 5.a’da verilen grafikte aynı tane boyutu ve ekstrüzyon açısına sahip deneylerin farklı numune uzunlukları için ekstrüzyon kuvvet eğrileri görülmektedir. Numune uzunluğunun maksimum ekstrüzyon kuvveti üzerinde etkisi olmadığı görülmektedir. Ancak numunelerdeki pekleşme hızı, kısa numunede uzun numuneye kıyasla daha hızlı olmaktadır. Şekil 5.b’deki grafik incelenecek olursa, düşük ekstrüzyon açısına sahip kalıpta yapılan deneylerde elde edilen ekstrüzyon kuvvet değerinin daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum ekstrüzyon kuvvet

değeri üzerine olan etkileri bakımından eğimli kalıp bölgesinde meydana gelen sürtünme kuvvet bileşeninin, kalıp açısına bağlı olan kayam deformasyon kuvvet bileşeninden daha baskın olduğuna işaret etmektedir. Önceki bölümde de belirtildiği üzere kalıp açısının azalması, eğimli kalıp yüzey mesafesini artırmaktadır. Buna mukabil düşük kalıp açısı değerlerinde, numunelerin eğimli kalıp bölgesinde birim mesafede maruz kaldıkları şekil değişim miktarı daha küçük olduğundan, düşük açılı kalıpta deformasyon pekleşmesi daha geç gerçekleşmektedir.



Şekil 5.a) 239 µm tane büyüklüğüne sahip numunelerin 20° açılı kalıpta ekstrüzyon işlemi



Şekil 5.b) 21 µm tane büyüklüğüne sahip numunelerin 20° ve 45° açılı ekstrüzyon kalıplarında yapılan deneylerinin karşılaştırılması

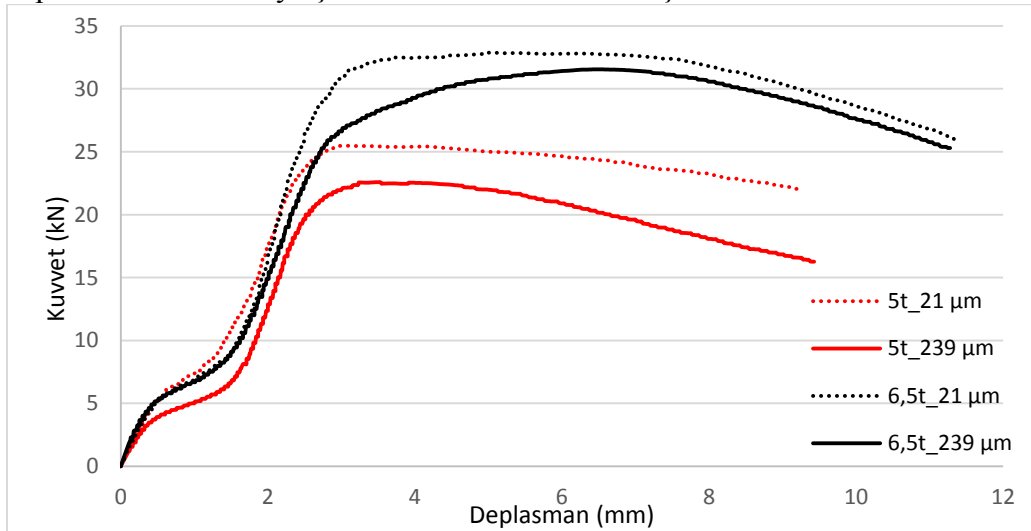
Aynı et kalınlığına sahip numunelerden ince taneli olanların kesitlerinde, kaba taneli olanlara nispetle 10-12 katı daha fazla tane bulunmaktadır. Bu değer 1 mm et kalınlığındaki ince taneli numuneler için ortalama 50 adet iken 2 mm et kalınlığına sahip ince taneli numunelerde 110 adet olmaktadır. Makro boyutta yapılan ekstrüzyon işlemlerinde tane boyutu farkı, numune boyutunun büyüklüğü nedeniyle ciddi bir önem arz etmezken, mikro-ekstrüzyon işlemlerinde bu fark ekstrüzyon kuvvetlerini etkileyen en temel parametrelerden birisi haline gelmektedir. Tane

boyutu faktörü nedeniyle mikro-ekstrüzyon işlemlerinde elde edilen veriler, elde edilmesi beklenen verilerle bazı durumlarda örtüşmeyebilmektedir. Nitekim bu durum 20° açılı ekstrüzyon kalıbında yapılan deneylerde ortaya çıkmıştır. 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. Ancak 20° açılı kalıpta yapılan deneyde, bu durumun tersi olarak ince taneli numunenin ekstrüzyon kuvveti kaba taneliye göre daha düşük çıkmıştır. Kaba taneli numunenin ekstrüzyon işlemi sırasında, kalıp yüzeyleri ile numune arasında oluşan sürtünme için harcanan kuvvetin daha büyük olması bu farklılığın nedeni olarak düşünülmektedir.

3.2. 2 mm Et Kalınlığına Sahip Numuneler

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

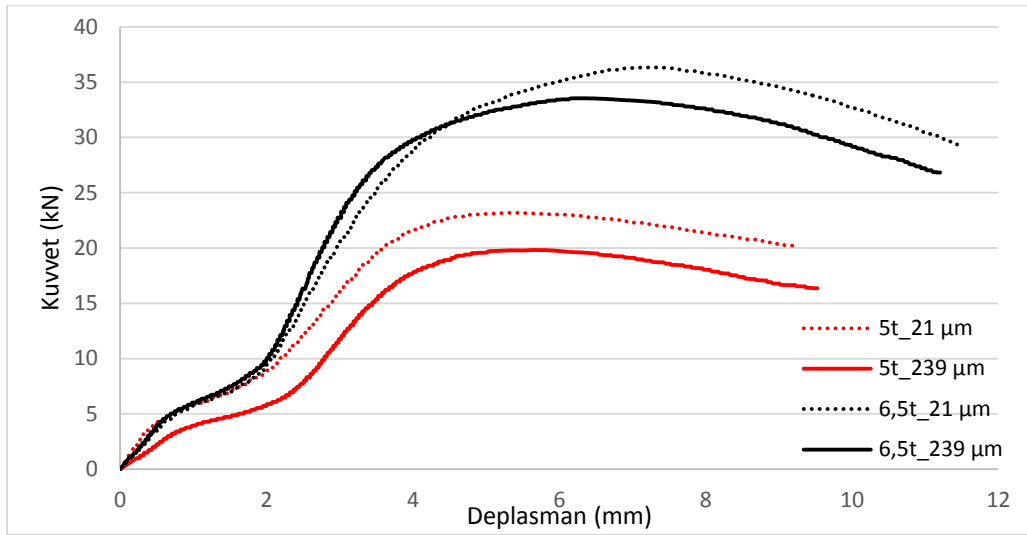
Aşağıda Şekil 6.a, 6.b ve 6.c verilen grafiklerde farklı kalıp açılarıyla yapılan deneyler sonucunda elde edilen kuvvet eğrileri görülmektedir. Kuvvet eğrileri incelendiğinde ince taneli numunelerin kuvvet eğrileri 30° ve 45° açılı kalıplarda olması gerektiği gibi daha yüksek çıkmıştır. Ancak 20° açılı kalıpta ince taneli numuneler ile kaba taneli numunelerin kuvvet eğrileri yaklaşık aynı değerlerdedir. Bunun sebebi olarak diğer kalıp açılarına göre 20° açılı kalıpta daha uzun olan eğimli kalıp mesafesinde ortaya çıkan sürtünme kuvvet bileşeni olabilir.



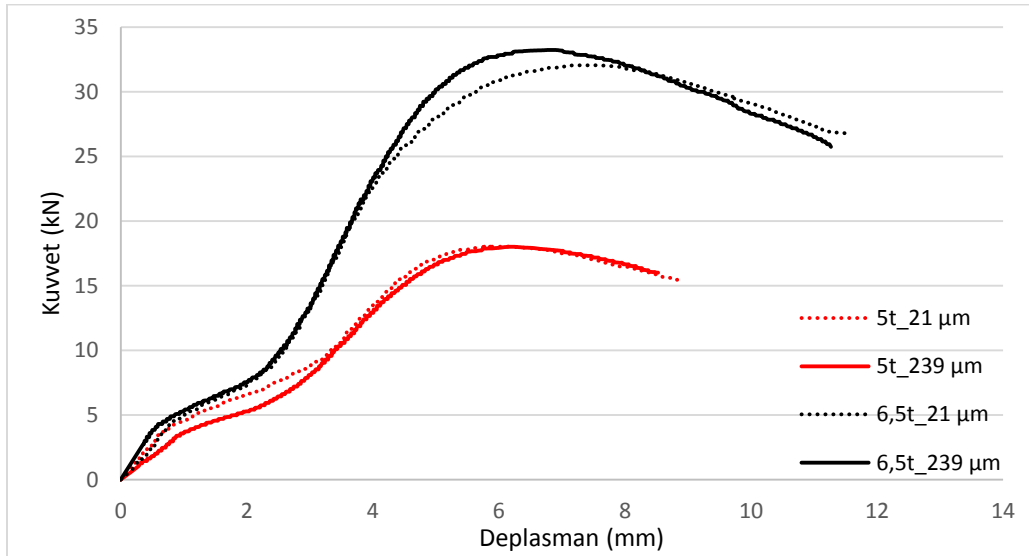
Şekil 6.a) 5t ve 6,5t uzunluğundaki numunelerin 45° açılı kalıpta ekstrüzyon işlemi

Önceki kısımda da değinildiği üzere ekstrüzyon kuvveti üzerine etki eden temel bileşenlerden birisi kalıp açısından kaynaklanan kayma bileşeni ve yine kalıp açısıyla değişen eğimli kalıp bölgesinde oluşan sürtünme bileşeniydi. Kalıp açısının artması ile kayma bileşeninde meydana gelen artışa karşılık, eğimli kalıp mesafesinin kısalmasından kaynaklı sürtünme bileşenindeki azalma meydana gelmektedir. ekstrüzyon işleminde işlem kuvveti değerinin maksimum yapan optimum bir açı değeri vardır. Bu çalışmada yapılan deneysel işlemler sonucunda bu açı değeri,

grafiklerden de anlaşılabacağı üzere 30° 'dir. Bu açıda iki kuvvet bileşeninin toplam değeri maksimum olmakla dolayısıyla kuvvet değerinde maksimuma ulaşmaktadır.



Şekil 6.b) 5t ve 6,5t uzunluktaki numunelerin 30° açılı kalıpta ekstrüzyon işlemi



Şekil 6.c) 5t ve 6,5t uzunluğundaki numunelerin 20° açılı kalıpta ekstrüzyon işlemi

Yukarıdaki grafiklerden anlaşıldığı üzere aynı uzunlukta ancak farklı tane boyutlarına sahip numunelerin ekstrüzyon kuvvet değerleri arasındaki fark, kalıp açısı ile doğru orantılıdır. Kalıp açısı azaldıkça kuvvet değerleri de birbirine yaklaşmaktadır. Bu durumun tersi olarak ta uzunluk değerine göre elde edilen kuvvet eğrileri birbirinden uzaklaşmaktadır. 45° açılı kalıpta 6,5t uzunluktaki numune ile 5t uzunluğundaki numunenin kuvvet değerleri arasındaki fark yaklaşık %30 civarında iken, kalıp açısı 20° olduğundan bu fark %50'nin üzerine çıkmaktadır.

4. Tartışma

Yapılan deneyler sonucunda, ince taneli numunelerin –Hall-Petch yasası gereği- daha yüksek mukavemete sahip olması beklenirken, ekstrüzyon kuvveti 20° açılı kalıpta kaba taneden düşük çıkmıştır. Kaba taneli numunelerin ekstrüzyon kuvvetinin daha yüksek olmasının nedeni, bu numunelerde sürtünmeye harcanan kuvvetin daha fazla olması olabilir. Özellikle 2 mm et kalınlığına sahip 8t uzunluğundaki numunelerin deneylerinin yapılabilmesi için daha yüksek kapasiteli bir cihazın kullanılması gerekmektedir.

5. Referanslar

- [1] Engel, U., and Eckstein, R., “Microforming – from Basic Research to its Realization,” J. Mater. Process. Technology, 125-126, 2002, pp. 35-44.
- [2] Vollertsen, 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, 2004, pp. 70-79.
- [3] Kocanda, A., Prejs, T., 2000, “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.
- [4] Justinger, H., Hirt, G., “Estimation of grain size and grain orientation influence in micro forming processes by Taylor factor considerations”, Journal of Materials Processing Technology, 2008, in press
- [5] Parasız, S., P., and Yalçın, M., “CuZn30 Pirinç Malzemedede Tane Boyutunun Mikro-Ekstrüzyon İşlem Kuvveti Üzerine Etkisi” Isites
- [6] Altan, T., Metal Forming: Fundamentals and Applications, American Society for Metals, 1983
- [7] 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, pp.95. Sevillano, J. G., Houtte, P., V. and Aernoudt, E., “Large Strain Work Hardening and Textures”, Progress in Materials Science, 25, 1981, pp.69-42.