

# CuZn30 PİRİNÇ MALZEMEDE TANE BOYUTUNUN MİKRO- EKSTRÜZYON 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. 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.

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

Soğuk şekillendirme yöntemleri, hassas boyut toleransları, yüksek yüzey kalitesi ve ürün mukavemeti gibi iyi bilinen avantajları nedeniyle yaygın olarak tercih edilmektedir. Soğuk ekstrüzyon işlemi de bu yöntemlerden birisidir.

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 kalınlığında deney numuneleri çıkarılmıştır. Çıkarılan deney numuneleri, farklı ekstrüzyon açıları ile ekstrüde edilmiştir. Tane boyutunun ve ekstrüzyon açısının, ekstrüzyon kuvveti üzerine olan etkisi incelenmiştir.

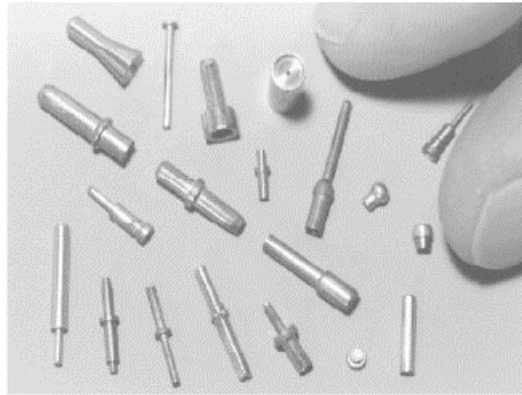
**Anahtar sözcükler:** mikro-şekillendirme, mikro-ekstrüzyon, ekstrüzyon kuvveti, tane boyutu

## 1. Giriş

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 daha küçük boyutlarda imal edilebilmektedir. Günümüzde elektronik, haberleşme, otomotiv, tıp, askeriye gibi birçok farklı sanayi alanında minyatür alet ve cihazlara olan talep gittikçe artmaktadır. 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.

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].

Bu araştırmada 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 kalınlığa sahip levha şeklinde çıkarılan numuneler, farklı kalıp açıları kullanılarak ekstrüzyon işlemine tabi tutulmuştur. Şekil 1’de mikro-ekstrüzyon ile imal edilmiş çeşitli boyutlarda pimleri gösteren bir fotoğraf görülmektedir



Şekil 1. Mikro imalat yöntemi ile üretilmiş çeşitli boyutlardaki pimler [1]

Ekstrüzyon kuvvetinin;  $F_h$ , homojen deformasyon ve  $F_g$  kalıp açısına göre değişen gereksiz (kayma) deformasyon ve  $F_{s,ka}$ , kalıp ve  $F_{s,ko}$  kovan yüzeylerindeki sürtünme kuvvetleri olmak

üzere dört bileşeni vardır [5].

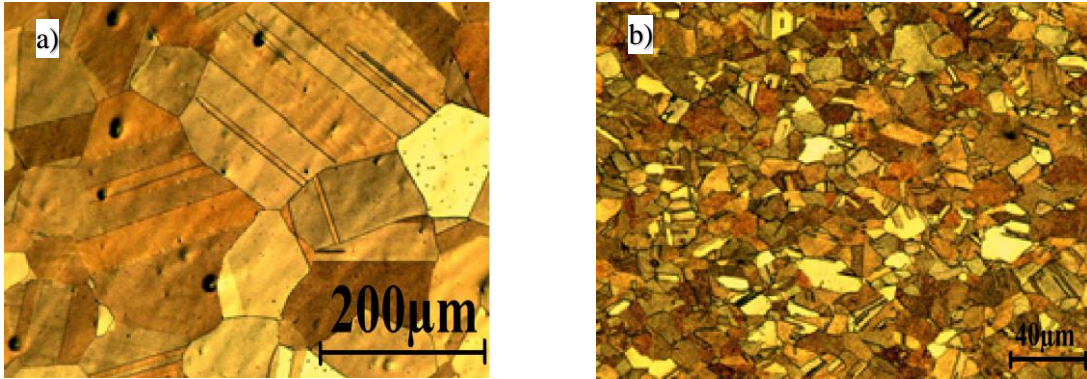
$$F_{ekz} = F_h + F_g + F_{s,ka} + F_{s,ko} \quad (1)$$

Eşit numune ve tane boyutlarına sahip numunelerin aynı ekstrüzyon oranı fakat farklı ekstrüzyon açıları ile yapılan deneylerinde ekstrüzyon kuvvetleri farklı büyüklüklerde çıkmaktadır. Yapılan deneylerde ekstrüzyon oranı sabit, numune ve tane boyutları aynı olduğu için  $F_h$  ve  $F_{sko}$  kuvvet bileşenlerinin etkileri farklı ekstrüzyon açılarında da eşit olmaktadır. Ekstrüzyon kuvvet değerlerinin farklılığı ise, kalıp açısından kaynaklanan kayma deformasyon kuvveti ile eğimli kalıp yüzeylerinde meydana gelen sürtünme kuvvetinin farklılığından 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.

### Malzeme ve Deneysel Yöntem

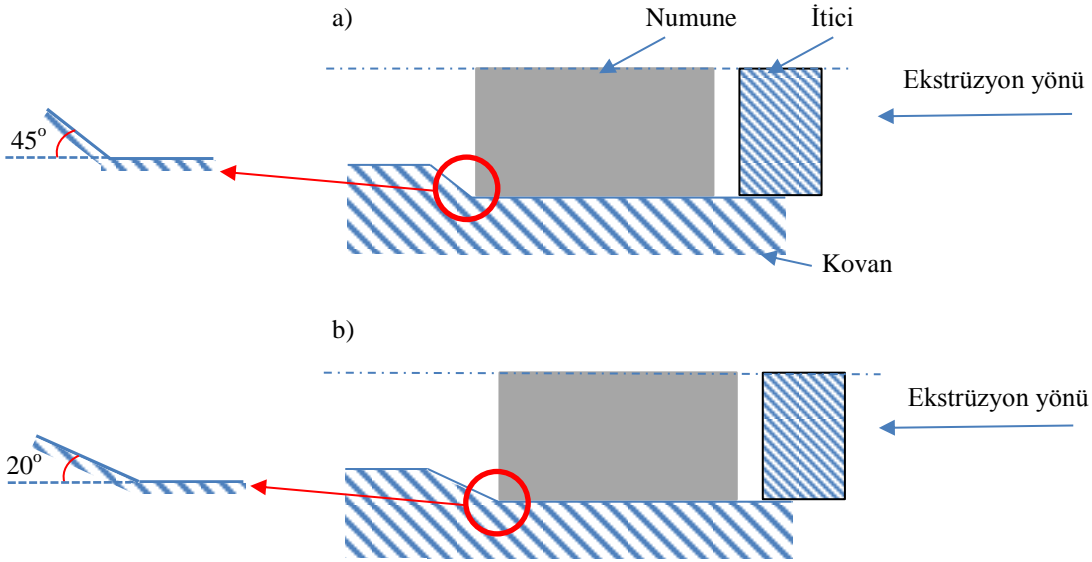
Bu çalışmada, soğuk haddelenmiş halde temin edilen CuZn30 pirinç malzeme, ince ve kaba tane yapısı oluşacak şekilde 500°C ve 700°C sıcaklıklarda bir saat süreyle tavlanmıştır. Metalografik inceleme sonucu 500°C ve 700°C’de tavlanmış pirinç malzemelerin ortalama tane boyutları sırasıyla, 21 µm ve 239 µm olarak bulunmuştur. Elde edilen bu boyut farklılığı sayesinde tane boyut etkisinin daha iyi gözlemlenebilmesi amaçlanmıştır. Şekil 2’de ince ve kaba taneli malzemelerin mikro yapı fotoğrafları görülmektedir. Parlatma ve dağlama işlemleri Buehler marka elektrolit parlatma ve dağlama cihazı ile gerçekleştirilmiştir.



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

Çalışmada talaş kaldırma yöntemi ile 1 mm et kalınlığında, 6 mm genişliğinde ve 5 mm uzunluğunda numuneler hazırlanmıştır. Deneysel verilerinin güvenilirliğini sağlamak amacıyla, her bir deney parametresi için birden fazla numune hazırlanmıştır. Deneyler, bu çalışma için İDEAL Mak. San. ve Tic. Ltd. Şti. tarafından tasarlanan ve imalatı gerçekleştirilen mikro-ekstrüzyon aparatı ve Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Mekanik Deneyler laboratuvarında bulunan, yine aynı firma tarafından tasarlanarak imalatı gerçekleştirilen 40 kN (4

ton) kapasiteli vida tahrikli TENAP çekme deneyi makinesi ile gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan ekstrüzyon kalıplarının açıları  $20^\circ$  ve  $45^\circ$ 'dir. Şekil 3'te ekstrüzyon kalıplarının şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 3. a)  $45^\circ$  açılı ekstrüzyon kalıbı, b)  $20^\circ$  açılı ekstrüzyon kalıbı şematik gösterimi.

Yukarıda şematik olarak farklı ekstrüzyon açılarına sahip kalıplar gösterilmiştir. Şematik gösterimden de anlaşılacağı üzere numunelerin,  $20^\circ$  açılı düzlemde kat etmeleri gereken mesafe  $45^\circ$  açılı düzlemde daha fazladır. Gerekli hesaplamalar yapıldığında  $20^\circ$  açılı kalıpta, eğimli kalıp yüzeyi 0,342 mm uzunlukta iken bu değer  $45^\circ$  açılı düzlemde 0,176 mm olmaktadır.

### 3. Sonuç

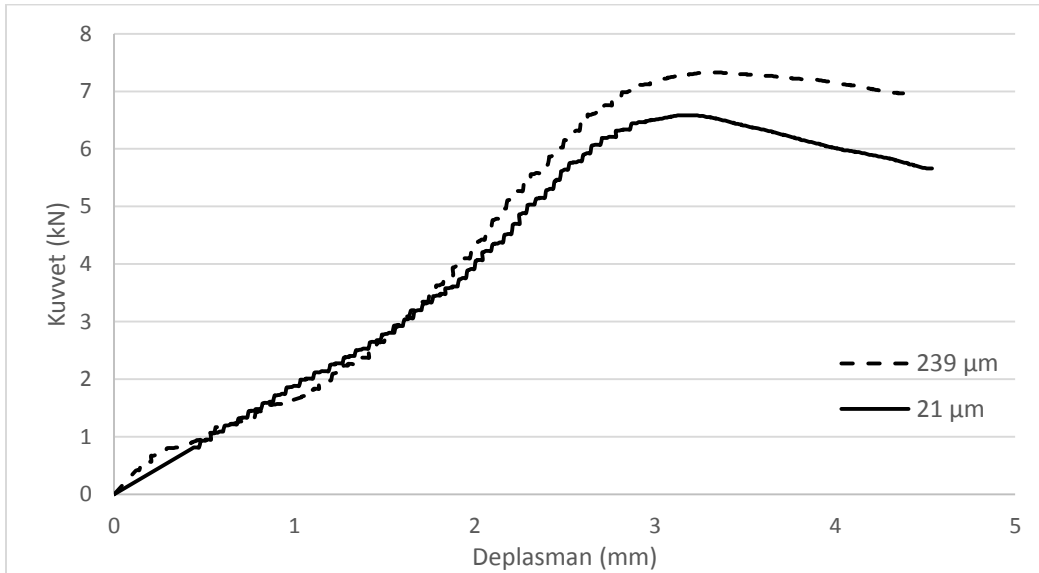
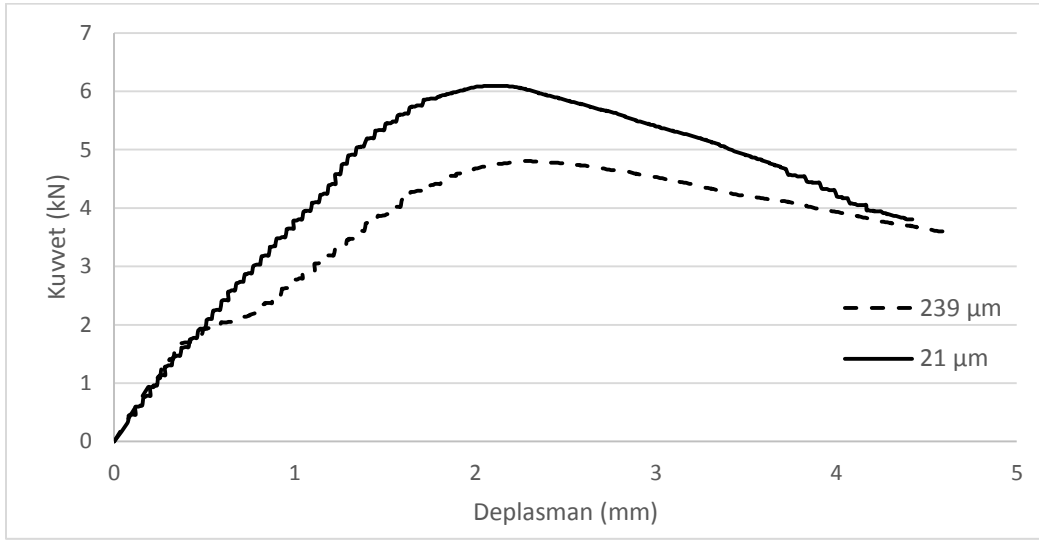
Deney verileri ile oluşturulan aşağıdaki grafiklerde dikey eksen kN cinsinden uygulanan kuvveti, yatay eksen malzemelerin kalıp içerisinde kat ettikleri yolu (deplasman) mm cinsinden göstermektedir. 1 mm et kalınlığına sahip numuneler 1,33 ekstrüzyon oranıyla, 0,75 mm et kalınlığına düşürülmüştür.

Aşağıdaki grafiklerde 21  $\mu\text{m}$  değeri ince taneli numuneleri, 239  $\mu\text{m}$  ise kaba taneli 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 [6]. 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.



Şekil 4. a) 45°'lik ekstrüzyon kalıbı ile yapılan deney sonuçları b) 20° açılı ekstrüzyon kalıbı ile yapılan deney sonuçları

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.

Şekil 4'te 45° açılı kalıpta yapılan deney sonuçlarından da görüldüğü üzere ince taneli numunenin ekstrüzyon kuvveti kaba taneli numuneye göre daha yüksek olmuştur. 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.

Aynı kesitte, kaba taneli numunenin tane sayısı 4-5 adet iken bu değer ince taneli numunede, 10-12 kat daha fazla olacak şekilde, ortalama 50 adet olmaktadır. Makro boyutta yapılan ekstrüzyon işlemlerinde tane boyutu farklı 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. Aynı malzemenin ince taneli yapısı kaba taneliye göre daha yüksek mukavemete sahiptir. Bu nedenle ince taneli numunenin daha yüksek ekstrüzyon kuvvetine ihtiyaç duyması gerekmektedir. Ancak 20° açılı kalıpta yapılan deneyde, 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.

#### 4. Tartışma

Yapılan deneyler sonucunda, ince taneli numunelerin -daha yüksek mukavemete sahip olması beklenirken- ekstrüzyon kuvvetinin 20° açılı kalıpta kaba taneden yüksek olması beklenirken, bu durumun tersinin meydana geldiği görülmüştür. Kaba taneli numunelerin ekstrüzyon kuvvetinin daha yüksek olmasının nedeni, bu numunelerde sürtünmeye harcanan kuvvetin daha fazla olması olabilir. Ancak daha fazla numune ile yapılacak deneyler ile bu konu ileriki çalışmalarda tekrar incelenecektir.

#### 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 microforming processes by Taylor factor considerations”, *Journal of Materials Processing Technology*, 2008, in press

[5] Altan, T., *Metal Forming: Fundamentals and Applications*, American Society for Metals, 1983

[6] 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.