

## Kalıp girişinin ekstrüzyon edilebilirlik üzerindeki etkisi

Sedat BİNGÖL<sup>\*1</sup>,

<sup>1</sup>Dicle Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır

Makale Gönderme Tarihi: 21.04.2016

Makale Kabul Tarihi: 02.05.2016

### Öz

*Alüminyum hafifliği, mukavemeti, şekillendirilebilme özelliği, sünekliği, dayanıklılığı, korozyon direnci, iletkenliği ve geri dönüşümü nedeni ile inşaat, otomotiv ve uzay endüstrisi gibi birçok alanda tercih sebebi olmuştur. Gelişen teknoloji ile birlikte alüminyum ve alaşımları birçok farklı yöntemle işlenebilmektedir. Alüminyum ve alaşımlarına uygulanan yaygın yöntemlerden biri ekstrüzyon işlemidir. Ekstrüzyon, bir iş parçasının bir kalıptan geçirilerek istenen geometride malzeme elde edilmesi işlemidir. Ekstrüzyonda malzeme akışı, malzemenin homojen bir yapıda olması ve buna bağlı olarak düzgün bir geometride olması nedeni ile önemlidir. Ekstrüzyon türü, ekstrüzyon hızı, ekstrüzyon sıcaklığı, sürtünme koşulları, kalıp tasarımı ve ekstrüzyon oranı malzeme akışını etkilemektedir. Ekstrüzyon işleminde en önemli faktörlerden biri olan kalıp tasarımının uygun olması, daha yüksek ürün kalitesi ve daha düşük deformasyon kuvvetinin oluşması açısından önemlidir.*

*Bu çalışmada, kalıp geometrisinin ekstrüzyon edilebilirliğe etkisi bir sonlu elemanlar yazılımı olan DEFORM-3D programı kullanılarak incelenmiş ve incelenen kalıplar içerisinde en uygun kalıp geometrisi tespit edilmeye çalışılmıştır. Farklı kalıp giriş formları ile gerçekleştirilen ekstrüzyon simülasyonları birbirleriyle karşılaştırılarak kalıp formunun işlem üzerine nasıl etki ettiği analiz edilmiştir. Her bir farklı kalıp geometrisinin sıcaklık ve efektif gerilim üzerinde meydana getirdiği değişim ekstrüzyon zamanına bağlı olarak incelenmiş ve bu değişimlerin sebepleri ortaya konulmuştur. Sonuç olarak, aynı tip bir profilin üretiminde kullanılacak farklı kalıp geometrileri içerisinde hangisinin en uygun olacağı analiz edilmiştir.*

**Anahtar Kelimeler:** Ekstrüzyon, Alüminyum, Kalıp Tasarımı, Ekstrüzyon Sıcaklığı;

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Sedat BİNGÖL. sbingol@dicle.edu.tr; Tel: (412) 241 10 00 (3598)

## Giriş

Ekstrüzyon işlemi genel olarak kovan içerisine yerleştirilen bir iş parçasının, bir ıstampa tarafından uygulanan kuvvetle itilip ürün kesitini veren kalıp açıklığından geçirilmesiyle gerçekleştirilen bir plastik şekillendirme işlemi olarak tanımlanabilir. Bu metot ile çeşitli geometrilere sahip dolu kesit profiller üretilebileceği gibi boşluklu ve karmaşık kesitli profiller de üretilebilmektedir. Alüminyum, bakır, kurşun, magnezyum gibi metallerin alaşımları nispeten düşük akma mukavemeti ve düşük ekstrüzyon sıcaklığına sahip oldukları için ekstrüzyon işleminde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Günümüz teknolojisıyla üretilen kalıplar ile kaliteli ürünler daha düşük maliyetlerle üretilebilmektedir.

Endüstride, ekstrüzyon kalıplarının tasarımı işlemi çoğunlukla tecrübe ve deneme yanılma yoluyla gerçekleştirilmektedir. İyi tasarlanmış bir kalıbın parçadaki bozulmaları engelleyebilmesi için kalıp çıkışında sabit bir çıkış hızının sağlanması gerekir. Ekstrüzyon kalıplarındaki metal akışını kontrol etmek ya da bu akışın kalıp kanalında aynı olmasını sağlamanın bir yolu kalıp giriş açısını ve kalıp kanal uzunluğunu değiştirmektir. Eğer kalıp tasarımı iyi olmazsa ekstrüzyon edilen üründe burkulma ya da katlanma olması muhtemeldir. İyi bir kalıp tasarımından parça bozulmasına neden olmaması ve belirli tolerans aralıklarına müsaade etmesi beklenir. Bir ekstrüzyon ürününün şekli kalıp boşluğunun geometrisi ile oluşturulmakta ve bu açıklığın bulunduğu kısım olarak adlandırılan kalıp kanalında iş parçasında meydana gelen yoğun deformasyon ve sürtünmeden dolayı ekstrüzyon işlemi boyunca genellikle artan bir sıcaklık değişimi meydana gelmektedir.

Öte yandan bilgisayar destekli analiz programları kullanarak ekstrüzyon işleminin sonuçları tahmin edilebilmekte ve böylelikle bazı öngörülerde bulunulabilmektedir. Sonlu elemanlar modeli ile ekstrüzyon işleminde ürün kalitesi açısından önemli olan malzeme akışı ve

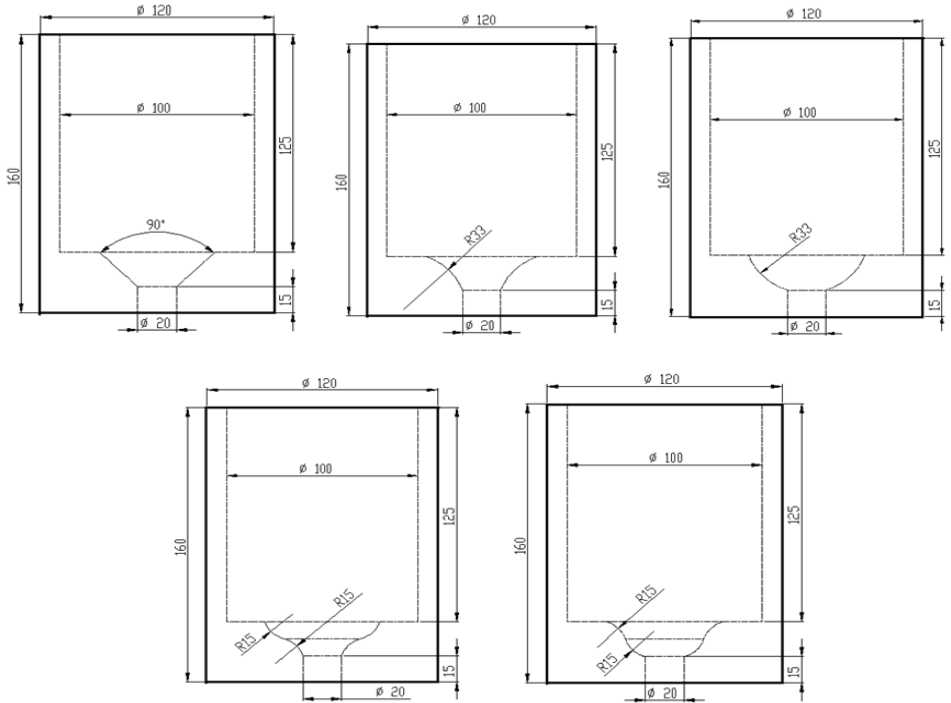
deformasyon kuvvetini etkileyen ekstrüzyon türü, ekstrüzyon hızı, ekstrüzyon sıcaklığı, sürtünme koşulları, kalıp tasarımı ve ekstrüzyon oranı gibi birçok faktör incelenebilmektedir (Ayer 2012). Azad-Noorani vd. (2005) sonlu elemanlar analizi ile gerçekleştirdikleri çalışmada konik ve eğrisel girişli kalıpları mukayese etmiş ve eğrisel kalıplarda aynı profilin üretimi için %12 daha düşük ekstrüzyon kuvveti oluştuğunu tespit etmişlerdir. Bu çalışmaya benzer bir çalışma da Bakhshi-Jooybari vd. (2007) tarafından gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, konik ve eğrisel kalıplar kullanılarak kurşun ve alüminyum ekstrüzyonu sonlu elemanlar metodu ve üst sınır metodu kullanılarak analiz edilmiştir. Maity vd. (1996) da polinom biçimli bir eğrisel kalıp kullanarak kare kesitli bir biyetten kare kesitli bir profilin ekstrüzyonunu üst sınır tekniği ile analiz etmişlerdir. Kalıp şeklinin deformasyon kuvveti ve ürün kalitesi üzerindeki etkisi üzerine sonlu elemanlar modellemesi ile Reggiani vd. (2013) tarafından yapılan bir çalışmada sürekli ekstrüzyonda meydana gelen alüminyum birleşme bölgesi tahmin edilebilmiştir. Optimal kalıp tasarımı arayışı için Fereshteh-Samiee vd. (2009) polinom ve üstel kalıp giriş formlarını kullanarak deneysel, nümerik ve analitik yaklaşımlar ile ekstrüzyon kuvvetini minimize etmişlerdir. Çalışmada ayrıca, kalıp geometrisinin etkisinin düşük ekstrüzyon oranlarında daha belirgin olduğu tespit edilmiştir. Jo vd. (2003), yaptıkları çalışmada, AA7003 alaşımı boruların odalı (porthole) kalıp ile kararsız halde ekstrüzyonunda birleşme basıncını FEM analizleriyle tanımlamış ve ürettikleri numunelerin mekanik özelliklerini ölçmüşlerdir. Çalışmalarında, ekstrüzyon oranının artmasıyla birleşme bölgesinin dayanımının arttığı görülmüştür. Zhang vd. (2011) B-Titanyum alaşımının ekstrüzyonun kalıp geometrisinin ve işlem koşullarının eş kanallı açılı ekstrüzyon üzerindeki etkisini incelemiştir. Kalıp geometrisinin sürtünme kuvveti üzerine etkisi incelenerek bunun sonucunda sürtünme kuvveti arttıkça plastik deformasyon miktarının da arttığı görülmüştür.

### Kalıp girişinin ekstrüzyon edilebilirlik üzerindeki etkisi

Gbenebor vd. (2013) Kalıp açısının malzemenin deformasyon oranı, basma mukavemeti, maksimum ekstrüzyon basıncı ve enerji absorbe yeteneği üzerindeki etkisini incelemiştir. Kalıp açısının artması ile maksimum ekstrüzyon basıncının arttığı, enerji absorbe yeteneğinin belli bir kalıp açısından sonra yükseldiği görülmüştür. Chen vd. (2011) yüksek hızlı trenlerde kullanılan karmaşık geometriye sahip alüminyum ürünlerin ekstrüzyonu için kalıp tasarımı optimizasyonu üzerine çalışmıştır. Optimizasyon sonucunda kalıp içerisinde hız dağılımını ve sıcaklık dağılımını gözlemlemiştir. Bingöl vd. (2015) farklı ekstrüzyon kalıp geometrileri için yapay sinir

ağları ve sonlu eleman modeli kullanarak dışı benzeri profillerde ekstrüzyon işleminde meydana gelen kuvvetleri tahmin etmiştir.

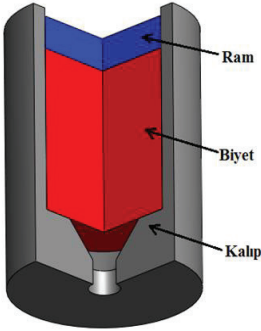
Yapılan bu çalışmada, bir sonlu elemanlar yazılımı olan DEFORM-3D programı kullanılarak kalıp tasarımında kalıp giriş formunun ekstrüzyon işlemindeki etkisi analiz edilmiştir. Toplamda 5 farklı geometriye sahip kalıp (konik kalıp, iç bükey kalıp, dış bükey kalıp, ters S kalıp ve S kalıp) kullanılarak ekstrüzyon simülasyonları gerçekleştirilmiş olup kalıp şekillerine bağlı olarak malzeme akışı, sıcaklık ve gerilmenin nasıl değiştiği incelenmiştir.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan kalıp çeşitleri: (a) konik kalıp, (b) iç bükey kalıp, (c) dışbükey kalıp, (d) ters S kalıp ve (e) S kalıp modellerinin teknik resimleri

## Modelleme

DEFORM 3D metal şekillendirme işlemlerinin analizinde kullanılan bir bilgisayar yazılımıdır. Ekstrüzyon işlemi için de tercih edilen bu program ile ekstrüzyon işlemindeki birçok farklı parametrenin analizi yapılabilmektedir. Bu çalışmada toplamda 5 farklı geometriye sahip kalıp (konik kalıp, iç bükey kalıp, dış bükey, ters S kalıp ve S kalıp) SOLIDWORKS programı kullanılarak katı modelleri oluşturulup DEFORM 3D sonlu elemanlar yazılımı ile modelleme ve simülasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan kalıp geometrilerine ait teknik resimler Şekil 1’de görülmektedir. Şekil 2’de ise simülasyon işlemi için oluşturulan modellerden biri olan konik kalıba ait montaj resmi gösterilmiştir.

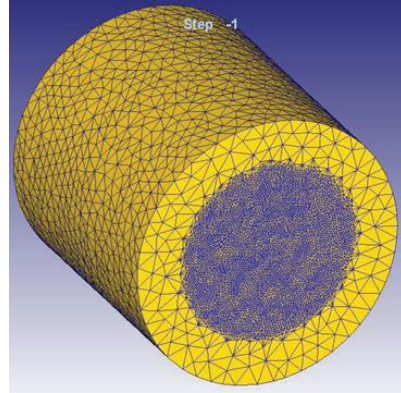


Şekil 2. Konik kalıba ait kesit montaj

Oluşturulan modeller, analiz yapılmak üzere STL formatında kaydedilerek bir sonlu elemanlar yazılımı olan DEFORM-3D programına aktarılmıştır. Biyet (iş parçası) malzemesi olarak ekstrüzyon işleminde yaygın olarak kullanılan alüminyum alaşımlarından AA6061 alaşımı seçilmiştir.

Ekstrüzyon işleminde çoğu zaman deformasyon ve sürtünmelerden dolayı meydana gelen sıcaklık artışı, bir yandan malzemenin akma dayanımını düşürerek deformasyon işlemini kolaylaştırırken öte yandan metalin ergime sıcaklığı göz önüne alındığı zaman bu durum ekstrüzyon işleminin riskli olmasına neden

olacaktır. Endüstriyel uygulamalarda alüminyum alaşımları için başlangıç biyet sıcaklığı 450-500 °C alınırken alıcı ve kalıp sıcaklığı iş parçasından kalıplara ısı transferinin oluşabilmesi için bir miktar daha küçük alınır (400-450 °C). Bu nedenle bu çalışmada ekstrüzyon sıcaklığı biyet için  $T_B=480$  °C, ıstampa için  $T_R=70$  °C ve alıcı için  $T_A=420$  °C’dir. İşlemden tüm parçalar arasındaki sürtünme katsayıları 0.4 seçilmiştir. Kullanılan biyet çapı 100 mm, yüksekliği ise 125 mm’dir. Kalıp ve ıstampa malzemesi olarak H13 takım çeliği seçilmiş ve modelleme esnasında rijit eleman olarak tayin edilmiştir. Biyet malzemesi için toplam 60393 eleman ve 13431 düğüm sayısı kullanılmıştır. Simülasyon sonuçlarının daha hassas olması için kalıp girişine ve profilin çıkış bölgesine ve bu gölgelere akacak deforme edilen iş parçasına daha yoğun ağ yapısı uygulanmıştır. Şekil 3’de iş parçasına uygulanan çözüm ağı yapısı görülmektedir.



Şekil 3. Simülasyonlarda kullanılan biyet ve çözüm ağı yapısı

İstampa biyeti profil çıkışı doğrultusunda bastığı mesafe (strok uzunluğu) 50 mm olarak tayin edilmiştir. İstampa hızı ise 10 mm/s olarak atanmıştır. Belirtilen bu bilgiler girildikten sonra simülasyonun başlatılabilmesi için başarılı bir database oluşturulmuş sonraki aşamada simülasyon çalıştırılmıştır. Bu çalışmada 5

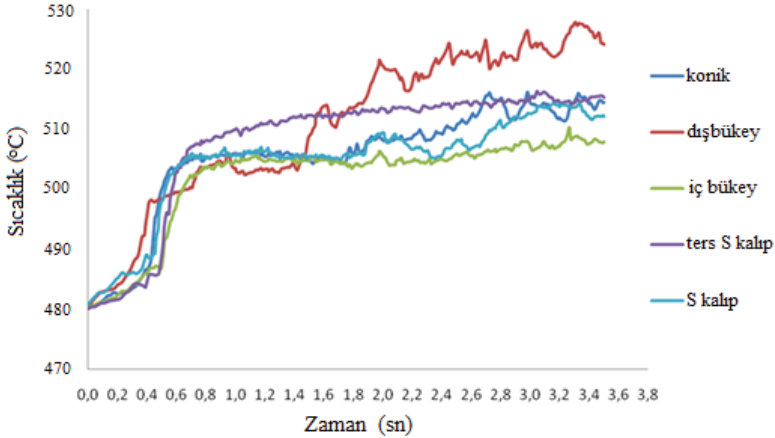
farklı kalıp giriş geometrisi (konik kalıp, iç bükey kalıp, dış bükey, ters S kalıp ve S kalıp) kullanılarak 5 farklı model için simülasyonlar gerçekleştirilmiştir.

## **Sonuçlar ve Tartışma**

Yapılan simülasyonlar sonucunda her bir model için farklı sonuçlar elde edilmiştir. Ekstrüzyon sırasında iş parçasında oluşan sıcaklık değişimleri kullanılan her bir kalıp modeli için Şekil 4'de grafik olarak gösterilmiştir.

Başlangıç biyet sıcaklığı 480 °C'dir. Şekil 4'de görüldüğü gibi biyetin kalıbı doldurduğu aşama olan strok başlangıcında tüm kalıp çeşitleri için sıcaklık artışı oluşmaktadır. Simülasyon sonunda elde edilen maksimum sıcaklık değerleri Tablo 1'de belirtilmiştir. İş parçasının

ulaştığı maksimum sıcaklık değeri dışbükey kalıpta 524 °C, en düşük maksimum sıcaklık değeri ise içbükey kalıpta meydana gelmiş olup bu değer 506 °C olarak ölçülmüştür. Tablo 1'de tüm kalıplar ile gerçekleştirilen simülasyon sonuçlarında iş parçasında ve profilin kalıptan çıkışında gözlemlenen maksimum sıcaklık değerleri verilmiştir. Tüm modeller için başlangıç biyet sıcaklıkları ve sürtünme değerleri aynı olmasına rağmen dışbükey kalıpta sıcaklık artışı diğerlerinden daha fazladır. Bunun sebebi, malzeme akışının rahat olması için oluşturulan kalıp giriş formunun dışbükey kalıp için yeterli olmamasıdır. Burada en iyi malzeme akışı sırasıyla, içbükey kalıp, S kalıp, konik kalıp, ters S kalıp ve dışbükey kalıpta görülmektedir.



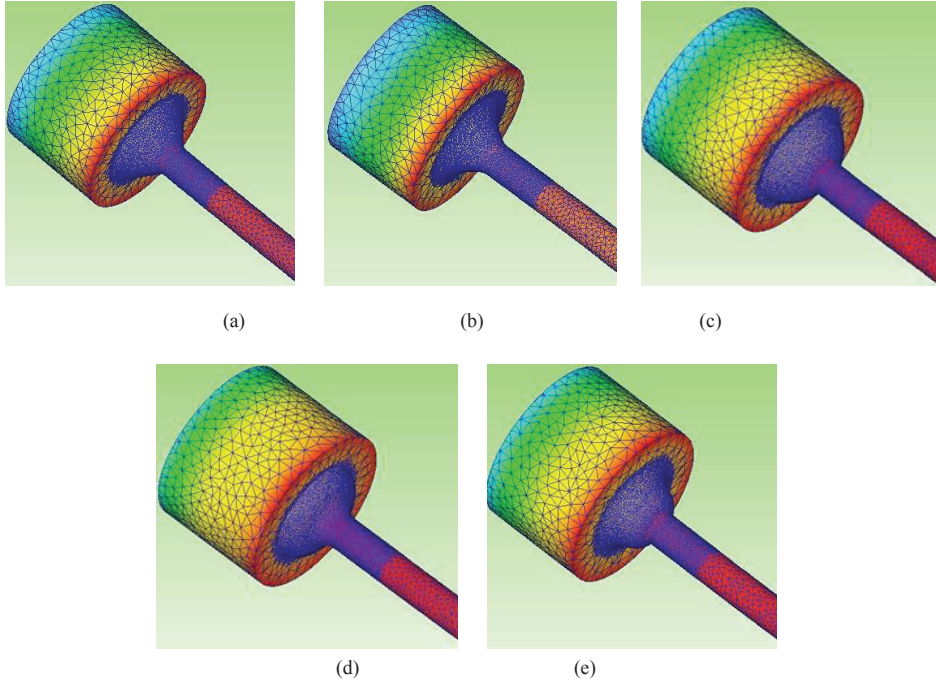
*Şekil 4. İş parçasında oluşan ekstrüzyon zamanına bağlı sıcaklık değişim grafiği*

Ekstrüzyon işleminde maksimum sıcaklık değerleri genellikle biyetin yoğun deformasyona uğradığı kalıp köşe kısımlarında ve kalıp ile çıkan profil arasındaki sürtünmeden kaynaklı olarak profil formunun ilk oluşumu esnasında görülür. Uygulamalarda maksimum sıcaklık değeri olarak kalıp çıkışında profilde oluşan sıcaklık değeri referans alınır ve bu sıcaklık

kalıp çıkış sıcaklığı olarak adlandırılır. Bu kısımdaki sıcaklık değeri harici bir sıcaklık ölçer vasıtasıyla ölçülebildiği için maksimum sıcaklık değeri olarak temel alınır. Gerçekte biyetin yoğun deformasyona uğradığı kalıp iç köşelerinde oluşan sıcaklık değeri en yüksek değerdedir. Ancak, uygulamada bu kısımdaki sıcaklık değeri harici bir sıcaklık ölçer ile

ölçülemediği için kalıp çıkışındaki profil çıkış sıcaklığı maksimum sıcaklık değeri olarak alınır. Bu çalışmada simülasyonlar sonucunda iş parçasında oluşan maksimum sıcaklık değerleri

Şekil 4 ve Şekil 5’de, Tablo 1’de ise iş parçasında oluşan maksimum profil sıcaklığına ilave olarak maksimum profil çıkış sıcaklığı değerleri de görülmektedir.

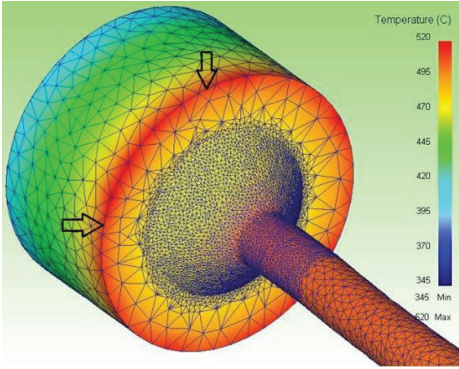


Şekil 5. (a) konik kalıba, (b) iç bükey kalıba, (c) dış bükey kalıba, (d) ters S kalıba, (e) S kalıba ait gerçekleştirilmiş simülasyon resimleri

**Tablo 1.** İş parçasındaki ve kalıp çıkışındaki profile oluşan maksimum sıcaklık değerleri

Kalıp modeli	İş parçasındaki maksimum sıcaklık	Kalıp çıkışındaki maksimum profil sıcaklığı
Konik kalıp	511	503
İç bükey kalıp	506	501
Dış bükey kalıp	524	511
Ters S kalıp	514	505
S kalıp	508	502

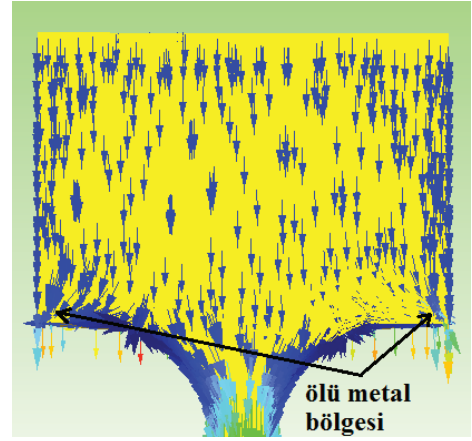
Tablo 1'deki sıcaklık değerleri mukayese edildiğinde iş parçasında oluşan maksimum sıcaklık değerlerinin profil çıkış sıcaklık değerlerinin üstünde olduğu görülmektedir. Diğer bir değişle maksimum sıcaklık değerleri kalıp çıkışındaki profile oluşmamıştır. Şekil 6'da görüldüğü gibi maksimum sıcaklık değerlerinin biyetin kalıpla temas eden yüzeyinin köşelerinde oluştuğu görülmektedir. Bunun nedeni ise ekstrüzyon oranının neden olduğu yüksek deformasyonun neden olduğu sıcaklık artışıdır. Ekstrüzyon oranının nispeten yüksek olduğu işlemlerde biyetin merkez kısmındaki malzeme akışı çevre kısımlarındaki malzeme akışına göre çok daha hızlı olur. Bunun bir nedeni biyet çevresi ile kovanın iç duvarı arasındaki sürtünmeden kaynaklanırken diğer bir neden ise kalıp iç köşe kısmında meydana gelen ölü metal bölgesi ile akan metal arasındaki sürtünmedir (Şekil 7). Burada meydana gelen ilave ısı oluşumları bu bölgede maksimum sıcaklık değerinin oluşmasına neden olur.



*Şekil 6. Maksimum sıcaklıkların oluştuğu bölgeler*

Öte yandan, çalışma kapsamında gerçekleştirilen simülasyonlar sonucunda tüm kalıp modelleri için iş parçasında oluşan efektif gerilmeler incelenmiştir. İş parçasındaki efektif gerilmenin biyetin ilk şekil değişiminin başladığı kalıba ilk dolun bölgesinde büyük bir değişim göstermeden düzgün olarak arttığı gözlenmiştir. En yüksek efektif gerilme değeri

dışbükey kalıp ile ekstrüze edilen iş parçasında 84.1 MPa olarak görülmüştür. Buna karşın en düşük maksimum efektif gerilme değeri ise iç bükey kalıp ile ekstrüze edilen iş parçasında 55.9 MPa olarak tespit edilmiştir.



*Şekil 7. Ölü metal bölgeleri*

## Sonuç

Farklı kalıp geometrisine sahip modellerin (konik kalıp, dış bükey kalıp, içbükey ters S kalıp ve S kalıp) ekstrüzyon işleminde her bir model için farklı sonuçlar elde edilmiştir. Ekstrüzyon işlemi sırasındaki sıcaklık davranışı grafik halinde gösterilmiştir. Böylece en uygun kalıp geometrisi tespit edilerek elde edilen analiz sonuçları aşağıda maddeler halinde verilmiştir;

- Tüm kalıp modelleri için iş parçasındaki maksimum sıcaklık ölü metal bölgesine yakın kalıp köşelerinde oluşmuştur.
- Kalıp geometrisinin değişmesi malzeme akışını değiştirmiştir.
- En az sıcaklık artışının görüldüğü içbükey kalıp kullanılarak ekstrüze edilen iş parçasındaki efektif gerilme değerlerinin diğer kalıp çeşitlerine göre düşük olması bu kalıp geometrisinin uygulamalarda avantaj sağlayacağı kanaati oluşmuştur.

## Kaynaklar

- Ayer, Ö., (2012). “Düz Dişlilerin İmalat Yöntemi Optimizasyonu ve Analizler. Doktora Tezi”, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Azad-Noorani, M., Bakhshi-Jooybari, M., Hosseini-pour, S.J., Gorji, A., (2005). “Experimental and numerical study of optimal die profile in cold forward rod extrusion of aluminum”, *J Mater Process Technol*, 164–165:1572–1577.
- Bakhshi-Jooybari, M., Saboori, M., Noorani-Azad, M., Hosseini-pour, S.J., (2007). “Combined upper bound and slab method, finite element and experimental study of optimal die profile in extrusion”, *Mater Des*, 28, 1812–1818.
- Bingöl, S., Ayer, Ö., Altınbalık, T., (2014). “Extrusion load prediction of gear-like profile for different die geometries using ANN and FEM with experimental verification”, *Int J Adv Manuf Technol* 76, 983-992.
- Chen, H., Zhao, G., Zhang, C., Guan, Y., Liu, H., Kou, F., (2011). “Numerical simulation of extrusion process and die structure optimization for a complex aluminum multicavity wallboard of high-speed train”, *Materials and Manufacturing Processes*, 26, 1530–1538.
- Fereshteh-Samiee, F., Karimi, M., Sabzalipor, M., (2009). “An investigation on the effect of process variables on the required load in axisymmetric forward rod extrusion”, 3rd International Conference on Integrity, Reliability and Failure, Porto.
- Jo, H.H., Jeong, C.S., Lee, S.K., Kim, B.M., (2003). “Determination of welding pressure in the non-steady-state porthole die extrusion of improved Al7003 hollow section tubes”, *Journal of Materials Processing Technology*. 139, 1–3.
- Gbenebor, O., Fayomi, O., Popoola, A. Inegbenebor, A., Oyawale, F., (2012). “Extrusion die geometry effects on the energy absorbing properties and deformation response of 6063-type Al–Mg–Si aluminum alloy”, *Results in Physics*, 3, 1–6.
- Maity, K.P., Kar, P.K., Das, N.S., (1996). “A class of upper-bound solutions for the extrusion of square shapes from square billets”, *J Mater Process Technol*, 62,1–3, 185–190.
- Reggiani, B., Segatori, A., Donati, L., (2013). “Prediction of charge welds in hollow profiles extrusion by FEM simulations and experimental validation”, *Int J Adv Manuf Technol*, 69,1855–1872.
- Zhang, J., Gao, F., S.I., J., (2011). “Finite Element Analysis of Die Geometry and Process Conditions Effects on Equal Channel Angular Extrusion for  $\beta$ -Titanium Alloy”, *Journal of Iron and Steel Research*, 54-58.



## **The Effect of Die Profile on Extrudability**

### **Extended abstract**

*Aluminum has been preferred in many areas such as the construction, automotive and aerospace industries due to its lightweight, strength, ductility, recycle, corrosion resistance and conductivity. Aluminum and its alloys can be formed by many manufacturing methods with the developing technology. One of the common method is extrusion process to shape the aluminum. In the extrusion process, a workpiece is pushed by a stem towards the die opening giving the product shape. Material flow in the extrusion is important due to obtain the product with the acceptable tolerances. The material flow is affected by extrusion type, extrusion speed, extrusion temperature, die design and extrusion ratio. One of the most important factors in the process of extrusion, the optimum die design, provides higher product quality and lower deformation load.*

*In this study, the effect of the die profile is examined by a finite element based software DEFORM 3D to determine the most suitable die design. Different die profiles (conical die, concave die, convex die, reverse S die and S die types) were modeled and simulated to analyze and compare how the die design type effects on the extrudability. The change of effective stress and extrusion temperature with the die profile type was examined depending on the extrusion time, and the cause of these changes were explained. As a result, the most suitable die type between the mentioned die profiles was analyzed for the production of the same extrudate.*

*Different results were obtained for each die profile type. The initial billet temperature was 480 °C and the significant increase in the extrusion temperature was occurred in the beginning of the extrusion. The maximum workpiece temperature was observed in the convex die with a value of 524 °C while it was only 506 °C for the concave die type. The temperature increase for convex die was higher than the other die types even if the initial billet temperature (480 °C) and friction values were the same for the all simulated die profiles. The reason of this is related with the material flow which was not suitable. The material flow from the best to the worst die type was occurred as the concave die, the S die,*

*the conical die, the reverse S die and the convex die, respectively.*

*On the other hand, the effective stress occurred in the workpiece was also examined in the scope of the study with the performed simulations. It was observed that the effective stress in the workpiece was increased during the extrusion time without sharpened changes in the beginning of the extrusion at where the billet is just started to be forced towards the die opening.*

**Keywords:** *Extrusion, Aluminum, Die Design, Extrusion temperature*