

HİDROLİK PRES TAHRİKLİ KAPALI KALIPTA SICAK DÖVME PROSESİNİN MODELLENMESİ VE PARAMETRE OPTİMİZASYONU

Utku BİÇER¹, Adem CANDAS¹, Cevat Erdem İMRAK¹

¹İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, İstanbul / Türkiye

Öz: Hidrolik pres ile sıcak dövme yöntemiyle imal edilen makina parçalarının geometrisi sıcaklık, basınç, kalıp geometrisi ve yağlama gibi temel parametrelere bağlı olduğundan imalat öncesi tasarım parametreleri optimizasyonu ve simülasyonu yapılması gerekir. Bu çalışmada sıcak dövme prosesi sonlu elemanlar yöntemiyle modellenerek optimize edilmiş tasarım parametreleri belirlenmiştir. Erkek ve dişi kalıplar 1.2344 çeliğidir. Parça ise AISI 4140 çeliği kare kütük geometridedir. Kalıp sıcaklığı, kalıplar ile parça arasındaki sürtünme katsayısı, parça sıcaklığı, presleme hızı ve kalıplar ile parça arasında gerçekleşen ısı transferi katsayısı belirlenen ve analizi yapılan parametrelerdir. Katı modelleme için SolidWorks; sonlu elemanlar yöntemiyle simülasyonun modellenmesi için FORGE NxT 3.1 programı kullanılmıştır. Modelin geçerliliği ve simülasyon sonuçlarının doğrulanması, 1250 tonluk hidrolik pres tahrikli kapalı kalıpla sıcak dövme testinde pozisyon kontrolü ile gerçekleştirilmiştir. Pozisyon kontrolü için erkek kalıbın, parçaya temas ettikten sonra 142 mm ilerlemesi sağlanmıştır. Simülasyon ve deneysel çalışmada dövme öncesi parça sıcaklığı sırasıyla 1063 °C ve 1107 °C'dir. Dövme sonrası parça sıcaklığı ise yine sırasıyla 980 °C ve 984 °C'dir. Hem simülasyonda hem de deneysel çalışmada parçanın köşe kısımlardan malzeme, erkek ve dişi kalıp arasından akararak sakal oluşturmuştur. Her iki çalışmada da parça dişi kalıbın tabanını tamamen dolduramamıştır. Bu çalışma sonucunda simülasyon ve deneysel çalışmayla uyumlu dövme öncesi ve sonrası parça sıcaklıkları ile optimum tasarım parametrelerine ve parça geometrisine ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sıcak Dövme, Kapalı Kalıpta Dövme, Hidrolik Pres, Sonlu Elemanlar Metodu, Plastik Şekil Verme

GİRİŞ ve KURAMSAL ÇERÇEVE

Günümüzde bazı makina parça geometrilerinin karmaşık olması imal edilebilirliğini kısıtlamakta, imalat süresini ise uzatmaktadır. Sıcak dövme yöntemi ile proses öncesi ısıtılarak şekil verilebilirliği artırılan parçalarda, diğer yöntemlere göre daha düşük kuvvet ve enerjiye ihtiyaç duyularak tek seferde büyük ölçüde şekil değişimi sağlanabilmektedir. Sıcaklık, basınç, kalıp geometrisi ve yağlama gibi temel parametrelerin parça geometrisine etkisi büyük olduğu için, soğuk şekillendirme kadar hassas parça geometrisi elde edilememektedir. Ancak, parça geometrisine etki eden optimum parametreler belirlenerek dövme prosesi sonrası, final parça geometrisine oldukça yakın parça geometrisi elde etmek mümkündür.

Asai ve Kitamura (2014) sıcak dövmede kullanılan grafitli ve grafitsiz yağlama türlerinin dövme esnasında kalıp ile iş parçası arasında meydana gelen sürtünme katsayılarını araştırmak için, düşük hızda halka sıkıştırma testleri gerçekleştirmişlerdir. Bu test düzeneğinde, önceden 200 °C'ye ısıtılmış alt ve üst kalıplara grafitli veya grafitsiz yağ sıkılmış ve 1120 °C'ye ısıtılmış iş parçası bu iki kalıp arasında mekanik ve hidrolik presle sıkıştırılmıştır. Mekanik preste gerçekleştirilen hem grafitli hem de grafitsiz yağlama test sonuçlarına göre kalıplar ile iş parçası arasında sürtünme katsayısı değerleri 0,13-0,15 arasındadır. Hidrolik pres ile gerçekleştirilen testlerde bu değerler grafitli yağlama için yine 0,13-0,15 arasındayken, grafitsiz yağlama için 0,15-0,20 arasında olduğu gözlemlenmiştir.

Sawamura ve Yogo (2020) benzer olarak halka sıkıştırma testleri gerçekleştirerek sıcak dövmede kullanılan grafitli ve grafitsiz yağlama türlerinin dövme esnasında kalıp ile iş parçası arasında oluşan sür-

TAM METİN SÖZEL SUNUMLAR

tünme katsayılarını ölçmüşlerdir. Bu test düzeneğinde, önceden 200 °C'ye ısıtılmış alt ve üst kalıpların yüzeylerine grafitli ve grafitsiz yağ uygulanmış, halka şekilde 1200 °C'ye ısıtılmış iş parçası bu iki kalıp arasında sıkıştırılmıştır. Üst kalıp döndürülerek sıkıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde meydana gelen yük ve tork değerlerinin kombinasyonu ile sürtünme katsayısı değerlerini elde etmeyi hedeflemiştirler. Presleme hızı 20-100 mm/s arasında ve grafitli yağlama ile gerçekleştirdikleri denemelerde kalıp yüzey sıcaklıklarında 580 °C'den 530 °C'ye düşüş gözlemlenmiştir. Sürtünme katsayısı için 0,13-0,15 arasında değerler elde edilmiştir. Üç farklı grafitsiz yağ içinse bu değerler 0,20-0,25 arasındadır.

Hawryluk vd. (2020) sıcak dövme kalıplarına yapılan ön ısıtma işlemi için yeni bir yöntem geliştirmeye çalışmışlardır. Yeni yöntemi üç farklı geleneksel ısıtma yöntemi ile karşılaştırmışlar, toplamda dört farklı yöntemi incelemiştirler. Her bir yöntemde kalıp sıcaklıklarını 200-250 °C elde etmeye çalışmışlardır. Geliştirdikleri yeni yöntemde kalıbın şeklini alan bir iş parçası oluşturmuşlar, bu parçanın içine üç adet kartuş ısıtıcı yerleştirmişlerdir. Bu yöntemi de sayısal modelleme ile uygulamışlardır. Kalıp parçalarının başlangıç sıcakları 30 °C; ısıtıcıyı 500 °C olarak tanımlanmıştır. Isı transfer katsayısı 2000 W/m²K ve 10000 W/m²K olarak kabul edilmiştir. Kalıbın tamamı yaklaşık 30-35 dakika içerisinde 300 °C'ye ulaşmıştır.

Yukawa vd. (2014) üzerinde tufal oluşan sıcak iş parçası ile kalıp arasındaki ısı iletim katsayısını sayısal modellemeyle elde etmeye çalışmışlardır. 1030 °C sıcaklığına sahip iş parçasını kalıpların arasında 50, 150 ve 250 MPa basınçla sıkıştırarak ısı iletim katsayılarını gözlemlemiştirler. Bekleme süresi ve oluşan tufal kalınlığı arttıkça ısı iletim katsayısı düşmüş, ancak yüksek basınçta daha yüksek ısı iletim katsayısı elde edilmiştir. Elde edilen ısı iletim katsayıları en fazla 10; en düşük 2 kW/m²K'dir. Sayısal modelleme ile deney verileri kıyaslandığında sonuçların birbirine çok yakın olduğu görülmüştür.

Iwama ve Moritomo (1997) ılık dövme prosesinde yağlamanın kalıp ömrüne olan etkisini incelemiştirler. Ürettikleri otomobil parçası için kullandıkları kalıpların ömrünü artırmak için optimum yağlama değerlerini elde etmeye çalışmışlardır. Optimum değerleri elde etmek için kurdukları test düzeneğinde 10000 mm² yüzey alanına sahip kare parçayı 200-400 °C arasında değerlere ısıtmışlar ve üzerine su bazlı grafit püskürtmüşlerdir. Elde edilen sonuçlara göre, 300 °C sıcaklığa sahip yüzeye 1 s boyunca yağ püskürtüldüğünde yağ tabakasının 18 µm ve kalıp yüzey sıcaklığının 275 °C olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, atomize boyutta püskürtülen yağın, iri taneyle püskürtülen yağdan daha çabuk istenilen tabaka kalınlığına ulaştığı görülmüştür.

AMAÇ

Bu çalışmada sırasıyla parça ısıtma, soğutma, dış tufal giderme, haddeleme, kapalı kalıpta dövme ve soğuma proses adımları uygulanan bir iş parçasının; kapalı kalıpta dövme adımının modellemesi amaçlanmıştır. Hidrolik tahrikli pres ile kapalı kalıpta gerçekleştirilen proses modellemesi ile zahmetli ve maliyeti yüksek deneylerin yerine bilgisayar destekli analizin kullanılması sağlanacaktır. Bu amaçla prosese etki eden parametrelerin sonlu elemanlar metodu ile analizinin doğru olarak yapılması amaçlanmıştır. Bulunan optimum değerler deneysel çalışmada uygulanmış ve final parçaya en yakın parça geometrisinin elde edilmesi hedeflenmiştir. Yapılan analizin deneysel sonuçlara yakınlığı test edilerek model doğrulaması amaçlanmıştır.

KAPSAM

Mevcut literatür çalışmaları incelendiğinde hidrolik pres tahriki ile çalışan kapalı kalıpta sıcak dövme makinasında final parça geometrisinin elde edilmesine etki eden faktörlerin sonlu elemanlar metodu ile analizi konusunda kapsamlı bir çalışmanın eksikliği öne çıkmaktadır. Bu kapsamda, bu çalışmada kapalı kalıpta dövme adımının sonlu elemanlar yöntemi ile modellemesi yapılmış ve deney sonucunda elde

TAM METİN SÖZEL SUNUMLAR

edilen geometri ile model geometrileri karşılaştırılmıştır. Böylece modelin geçerliliği incelenmiştir. Bu çalışmada incelenen parametreler kalıp sıcaklığı, kalıplar ile parça arasındaki sürtünme katsayısı, parça sıcaklığı, presleme hızı ve kalıplar ile parça arasında gerçekleşen ısı transferi katsayısıdır.

YÖNTEM

Sıcak dövmede talaş kaldırmadan imalat gerçekleştirildiği için final parçanın hacmi ile iş parçasının hacmi birbirine eşit olmaktadır. Final parçanın hacmi $6.330.597 \text{ mm}^3$ 'tür. Bu doğrultuda iş parçası olarak, standart ebatlara sahip, kenar uzunluğu 140 mm ve boy uzunluğu 330 mm olan, $6.330.898 \text{ mm}^3$ hacme sahip, AISI 4140 çeliğinden üretilmiş kare kütük kullanılmıştır (Şekil 1). Katı modeli SolidWorks programında oluşturulan erkek kalıp, dişi kalıp ve iş parçası geometrileri STEP uzantılı dosya olarak simülasyonun gerçekleştirileceği FORGE NxT 3.1 programına aktarılmıştır. Kullanılan kalıp ve iş parçası geometrileri simetrik olduğu için, sonuca daha hızlı ulaşabilmek adına kalıp geometrilerinin 1/2'si, parça geometrisinin ise 1/8'i program içine aktarılmıştır.

İş parçasının malzemesi program kütüphanesinde ön tanımlı olarak yer alan AISI 4140'tır. Proses tasarımı için $1200 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar tanımlanan termal genleşme katsayı değerleri eklenmiştir (Spittel ve Spittel, 2009). Yapılan proses tasarımı sonucunda erkek kalıbın parçaya ilk temasından sonra 142 mm ilerlemesi gerektiği hesaplanmıştır. Gerçekleştirilecek sonlu elemanlar analizinde tetrahedron eleman tipi kullanılmıştır. Yapılan denemelerde iş parçasının erkek ve dişi kalıba temas eden bölgelerinde deformasyonun fazla olduğu görülmüştür. Bu nedenle yüksek deformasyon bölgelerinde hassasiyeti artırmak amacıyla Şekil 2'de kırmızı ve yeşil alanlarla gösterilen bölgelerde lokal ağ yoğunlaştırma işlemi yapılmıştır.

Kalıp sıcaklığı, presleme hızı ve ısı transfer katsayıları sabit tutulup, ilk parça sıcaklığı ve sürtünme katsayıları değiştirilerek analizler yapılmıştır. Buna göre referans olarak belirlenen değerler: presleme hızı 100 m/s, kalıp sıcaklığı $300 \text{ }^\circ\text{C}$ ve ısı iletim katsayısı $10 \text{ kW/m}^2\text{K}$ 'dir. Çalışma kapsamında incelemesi gerçekleştirilen sürtünme katsayısının referans değeri grafitli yağlama için $\mu = 0,15$ 'tir. Bu değer sentetik yağlayıcı ile $\mu = 0,22$ ve yağlamanın olmadığı durumda $\mu = 0,40$ olarak kullanılmıştır. İncelemesi yapılan bir diğer parametre ilk parça sıcaklığıdır. Referans değer $T = 1200 \text{ }^\circ\text{C}$ olarak belirlenmiş ve bu değer $100 \text{ }^\circ\text{C}$ artırılarak ve azaltılarak model çalıştırılmıştır.

BULGULAR

Gerçekleştirilen simülasyonlarda genel olarak malzeme, iş parçasının köşe kısımlarından erkek ve dişi kalıp arasından akarak sakal oluşturmuştur. Aynı zamanda, dişi kalıbın tabanı da tam olarak dolmamıştır. Oluşan parça geometrileri Şekil 3'te gösterilmiştir. Şekil 3a'da referans model olan grafitli yağlama ($\mu = 0,15$) ve ilk parça sıcaklığı $T = 1200 \text{ }^\circ\text{C}$ parametreleri ile elde edilen geometri verilmiştir. Şekil 3b'de sıcaklık sabit tutulurken yağlama sentetik yağlama ($\mu = 0,22$) ile değiştirilirken; Şekil 3c'de yağlama kaldırılmış ve sürtünme katsayısı $\mu = 0,40$ olarak tanımlanmıştır. Şekil 3d ve Şekil 3e sırasıyla yağlamanın referans olan grafitli yağlama ($\mu = 0,15$) olduğu ve ilk parça sıcaklığının $T = 1100$ ve $T = 1300 \text{ }^\circ\text{C}$ olduğu modeller verilmiştir.

Sürtünme katsayısının analizleri incelendiğinde, iş parçasının üst kısmında oluşan sakal boyları arasındaki fark oldukça fazladır. Sürtünme katsayısı arttıkça malzemenin yukarı akışında artış gözlemlenmiştir (Şekil 4a). Kalıp tabanının doluluğu incelendiğinde, yine aradaki fark oldukça fazladır (Şekil 4b). Sürtünme katsayısı arttıkça malzemenin kalıp tabanını daha az doldurduğu gözlemlenmiştir.

İlk parça sıcaklığının değiştirildiği analizler incelendiğinde, iş parçasının üst kısmında oluşan sakal boylarının birbirine oldukça yakın olduğu gözlemlenmiştir. Malzeme sıcaklığı arttıkça malzemenin yukarı akışında az da olsa artış gözlemlenmiştir (Şekil 5a). Kalıp tabanının doluluğu incelendiğinde ise, ilk parça sıcaklığı $1300 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye çıkarıldığında kalıp tabanının tamamen dolduğu gözlemlenmiştir (Şekil 5b).

TAM METİN SÖZEL SUNUMLAR

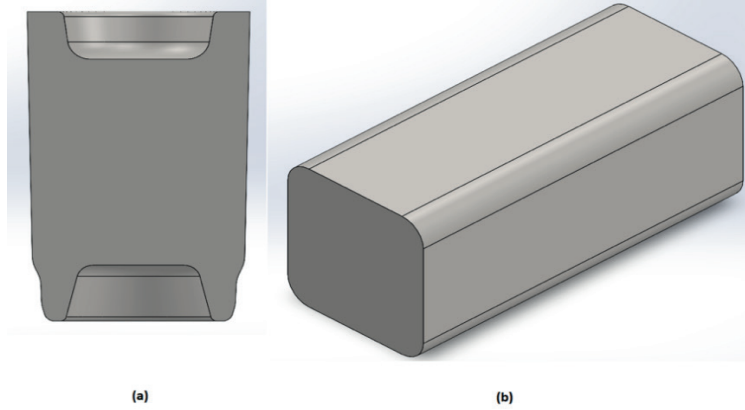
Elde edilen veriler doğrultusunda, gerçekleştirilecek deneysel çalışmada su bazlı grafitli yağ ve ilk parça sıcaklığı 1300 °C ile istenilen parça geometrisine ulaşılabileceği görünmektedir. Ancak, deneysel çalışma esnasında 1300 °C'ye ısıtılan iş parçalarının erimeye başlayıp fırın içinde birbirine kaydığı gözlemlenmiştir. Bu sebeple 1300 °C yerine ilk parça sıcaklığı 1200 °C'ye ısıtılmış, yani referans parametreler doğrultusunda deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Şekil 6'da deney sonucu elde edilen parça gösterilmiştir.

İmalat sırasında sakal oluşumu meydana gelmiş ve dişi kalıbın tabanı tam dolmamıştır (Şekil 7c). Deneysel çalışmada oluşan sakal boyunun, referans analizden daha uzun olduğu gözlemlenmiştir. Kalıp taban doluluğu incelendiğinde, referans analizde daha fazla dolduğu gözlemlenmiştir.

Parçanın çapı incelendiğinde ise, deneysel analizde elde edilen parça çapının istenen parça geometrisiyle neredeyse aynı olduğu elde edilmiştir (Şekil 8). Yapılan analizde parça formlama sıcaklığı 1063 °C ve proses sonu sıcaklığı 980 °C'dir. Deneysel çalışmada ise, parça formlama sıcaklığı 1107 °C ve proses sonu parça sıcaklığı 984 °C'dir.

SONUÇ

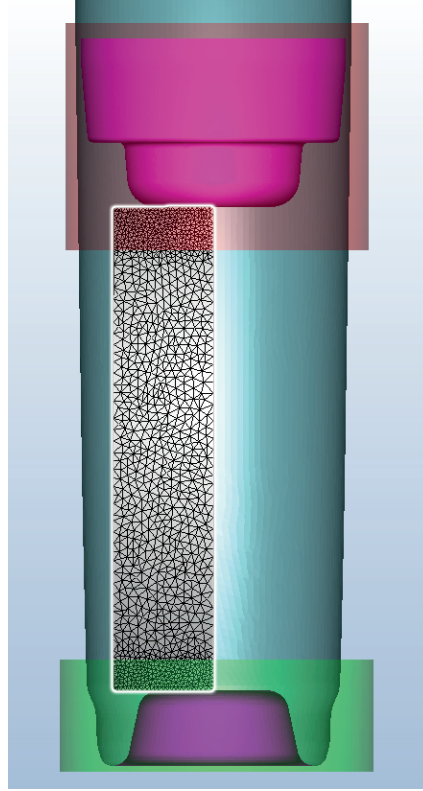
Modellerden elde edilen sonuçlara göre parçanın ilk sıcaklığı 1300 °C iken istenen parça geometrisine ulaşmak mümkündür. Ancak deneysel çalışmada parça 1300 °C'ye ısıtıldığında fırının içinde bulunan parçaların birbirine kaydığı görülmüştür, bu nedenle deneyde referans parametreler uygulanmıştır. Gerçekleştirilen deney sonucunda, deneysel çalışma ile analiz arasında oldukça yakın parça geometrileri elde edilmiştir. İlk parça sıcaklığı 1300 °C'ye ısıtılması sağlanabilirse istenen parça geometrisinin elde edilebileceği öngörülmektedir.



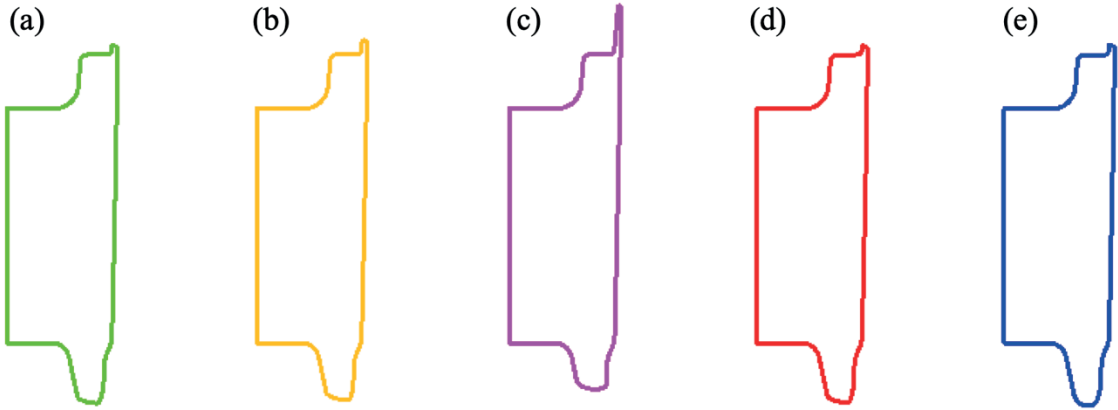
Şekil 1. Final parçanın kesit görünüşü (solda), iş parçasının izometrik görünüşü (sağda)

TAM METİN SÖZEL SUNUMLAR

Şekil 2. Lokal ağ sıkıştırma bölgeleri

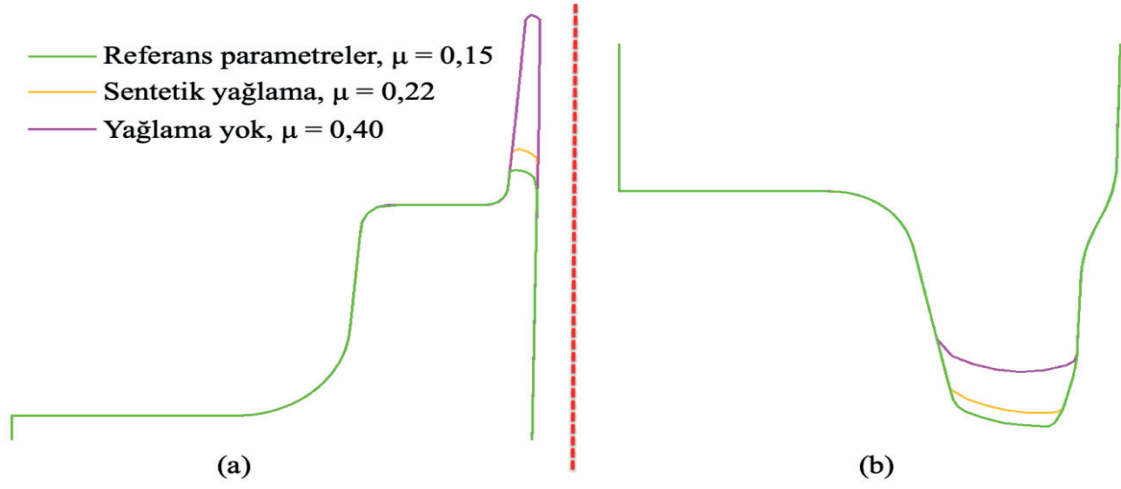


Şekil 3. Parça geometrileri. (a) Referans model ($\mu = 0,15$; $T = 1200$ °C) (b) Sentetik yağ ($\mu = 0,22$)
(c) Yağlama yok ($\mu = 0,40$) (d) $T = 1100$ °C (e) $T = 1300$ °C

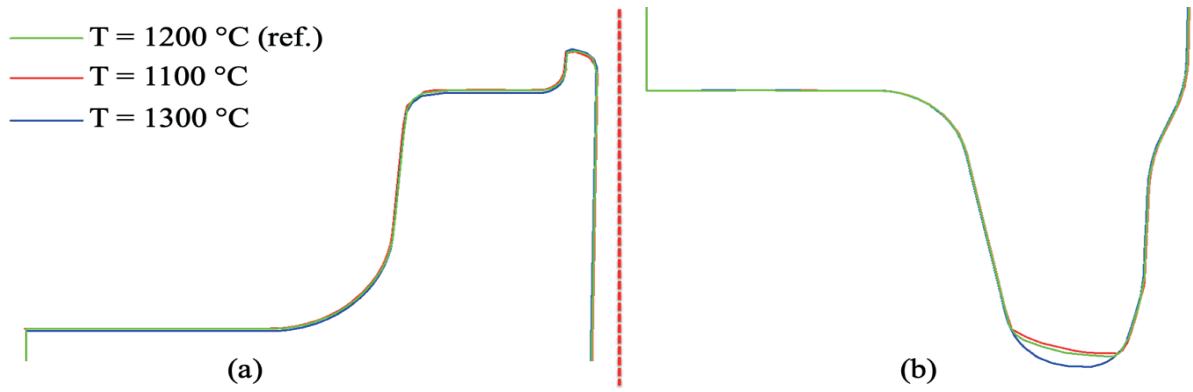


TAM METİN SÖZEL SUNUMLAR

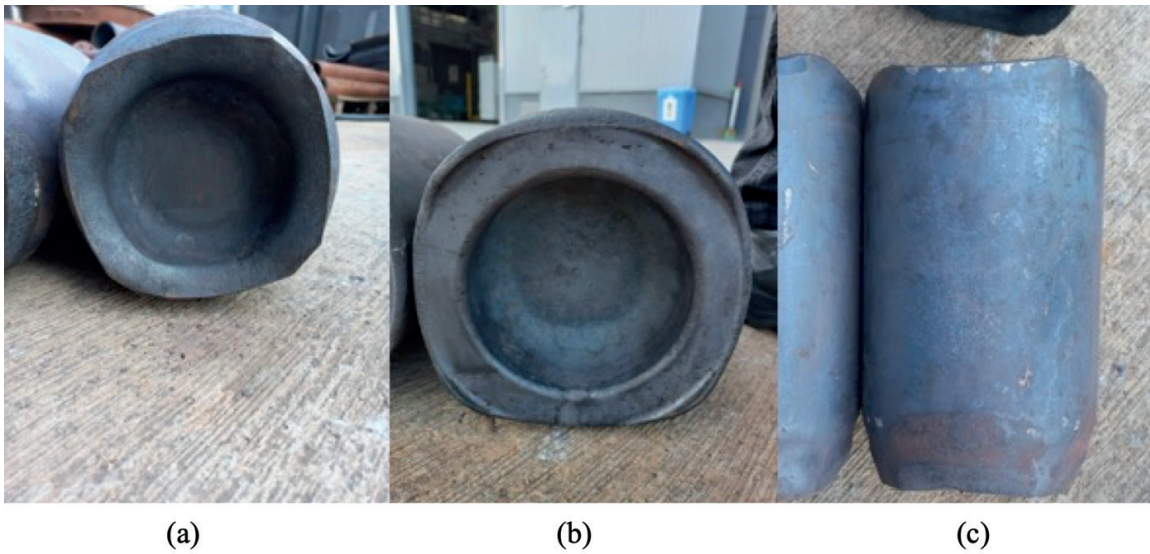
Şekil 4. Sürtünme katsayısının değiştirilmesi ile elde edilen geometri detayları. (a) Parçanın üst kısmı (b) Parçanın taban kısmı



Şekil 5. İlk parça sıcaklığının değiştirilmesi ile elde edilen geometriler. (a) Parçanın üst kısmı (b) Parçanın taban kısmı

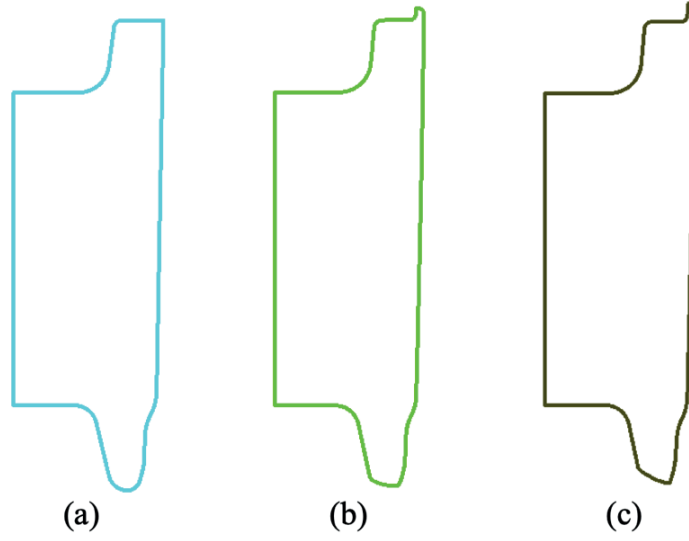


Şekil 6. (a) Parça alt görünüşü, (b) üst görünüşü ve (c) yan görünüşü

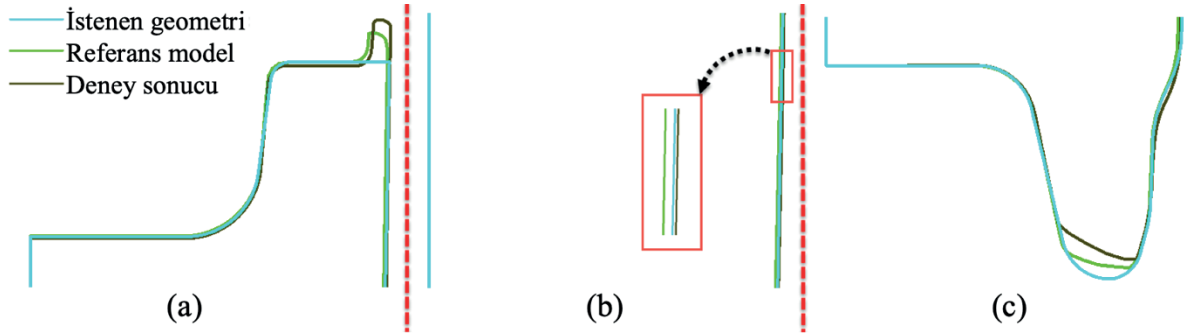


TAM METİN SÖZEL SUNUMLAR

Şekil 7. (a) İstenen final parça geometrisi (b) Referans analiz geometrisi (c) Deneysel sonucu elde edilen geometri



Şekil 8. (a) Parçanın üst kısmı, (b) orta kısmı ve (c) taban kısmı



KAYNAKÇA

- Asai, K., Kitamura, K., (2014). Estimation of frictional property of lubricants for hot forging of steel using low-speed ring compression test. *Procedia Engineering* 81, 11th International Conference on Technology of Plasticity, 1970-1975.
- Hawryluk, M., Widomski, P., Kaszuba, M., Krawczyk, J., (2020). Development of New Preheating Methods for Hot Forging Tools Based on Industrial Case studies an Numerical Modeling. *Metallurgical and Materials Transactions A*, Vol. 51A, 4753-4764.
- Iwama, T., Morimoto, Y., (1997). Die life and lubrication in warm forging. *Journal of Materials Processing Technology* 71, 43-44.
- Sawamura, M., Yogo, Y., (2020). Evaluation of Hot Forging Lubricants for Steel by Ring Compression Test with Rotating Die. *Journal of the JSTP*, Vol. 61, No. 719, 233-238.
- Spittel, M., Spittel, T., (2009). *Metal Forming Data of Ferrous Alloys - deformation behaviour*. Landolt-Börnstein - Group VIII Advanced Materials and Technologies.

TAM METİN SÖZEL SUNUMLAR

Yukawa, N., Nakashima, Y., Ishiguro, T., Abe, E., Ishikawa, T., Choda, T., (2014). Modeling of heat transfer coefficient of oxide scale in hot forging. *Procedia Engineering* 81, 11th International Conference on Technology of Plasticity, 492-497.

SÖZEL SUNUM ÖZETLER

HİDROLİK PRES TAHRİKLİ KAPALI KALIPTA SICAK DÖVME PROSESİNİN MODELLENMESİ VE PARAMETRE OPTİMİZASYONU

Utku BİÇER, Adem CANDAŞ, Cevat Erdem İMRAK

Türkiye

Öz: Hidrolik pres ile sıcak dövme yöntemiyle imal edilen makina parçalarının geometrisi sıcaklık, basınç, kalıp geometrisi ve yağlama gibi temel parametrelere bağlı olduğundan imalat öncesi tasarım parametrelerinin optimizasyonu ve simülasyonunun yapılması gerekir. Bu çalışmada sıcak dövme prosesi, 1.2344 çeliğinden dişi ve erkek kalıplar ile AISI 4140 çeliği kare kütük, sonlu elemanlar yöntemiyle modellenerek optimize edilmiş tasarım parametreleri belirlenmiştir. Kalıp sıcaklığı, kalıplar ile parça arasındaki sürtünme katsayısı, parça sıcaklığı, presleme hızı ve kalıplar ile parça arasında gerçekleşen ısı transferi katsayısı belirlenen ve analizi yapılan parametrelerdir. Katı modelleme için SolidWorks; sonlu elemanlar yöntemiyle simülasyonun modellenmesi için FORGE NxT 3.1 programı kullanılmıştır. Modelin geçerlemesi ve simülasyon sonuçlarının doğrulanması, 1250 tonluk hidrolik pres tahrikli kapalı kalıpla sıcak dövme testinde pozisyon kontrolü ile gerçekleştirilmiştir. Pozisyon kontrolü için erkek kalıbın parçaya temas ettikten sonra 142 mm ilerlemesi sağlanmıştır. Simülasyon ve deneysel çalışmada dövme öncesi parça sıcaklığı sırasıyla 1063 °C ve 1107 °C'dir. Dövme sonrası parça sıcaklığı ise yine sırasıyla 980 °C ve 984 °C'dir. Hem simülasyonda hem de deneysel çalışmada parçanın köşe kısımlardan malzeme, erkek ve dişi kalıp arasından akarak sakal oluşturmuştur. Her iki çalışmada da parça dişi kalıbın tabanını tamamen dolduramamıştır. Bu çalışma sonucunda simülasyon ve deneysel çalışmayla uyumlu dövme öncesi ve sonrası parça sıcaklıkları ile optimum tasarım parametrelerine ve parça geometrisine ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sıcak Dövme, Kapalı Kalıpta Dövme, Hidrolik Pres, Sonlu Elemanlar Metodu, Plastik Şekil Verme