



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>

Alüminyum alaşımının derin çekilmesine sıcaklığın etkisinin deneysel ve sayısal olarak araştırılması

Experimental and numerical investigation of the effect of temperature on deep drawing of aluminium alloy

Yazar(lar) (Author(s)): Cebeli ÖZEK¹, Vedat TAŞDEMİR²

ORCID¹: 0000-0001-7603-415X

ORCID²: 0000-0002-2375-9525

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz(To cite to this article): Özek C. ve Taşdemir V., “Alüminyum alaşımının derin çekilmesine sıcaklığın etkisinin deneysel ve sayısal olarak araştırılması”, *Politeknik Dergisi*, 21(1): 193-199, (2018).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.392126

Alüminyum Alaşımının Derin Çekilmesine Sıcaklığın Etkisinin Deneysel ve Sayısal Olarak Araştırılması

Araştırma Makalesi / Research Article

Cebeli ÖZEK¹, Vedat TAŞDEMİR^{2*}

¹Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Fırat Üniversitesi, Türkiye

²Elbistan Meslek Yüksekokulu, Makine Programı, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 03.02.2017 ; Kabul/Accepted : 28.03.2017)

ÖZ

5000 serisi Al-Mg alaşımları, süneklik, iyi kaynak edilebilirlik, yüksek mukavemet ve düşük ağırlık özelliklerinden dolayı geniş bir uygulama alanına sahiptirler. Bununla birlikte bu alaşımların oda sıcaklığında şekillendirilmesi mikroyapılarından dolayı çelik saclara nazaran zordur. Bu problemlerin üstesinden gelmenin en etkili yolu ılık şekillendirme. Bu çalışmada, şekillendirme sıcaklığının limit çekme oranı, istampa kuvveti, et kalınlığı, mikrosertlik ve gerilmeye etkisi deneysel ve sayısal olarak araştırılmıştır. Deneyler 25°C, 100°C, 175°C ve 250°C sıcaklıklarında, 3600 N baskı plakası kuvvetinde gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda sıcaklığın artması ile et kalınlığı değişiminin daha homojen hale geldiği, limit çekme oranının arttığı, mikrosertlik, gerilme ve istampa kuvvetinin azaldığı belirlenmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi (SEY) ile elde edilen sayısal sonuçların deneysel veriler ile elde edilen sonuçlara yakın oldukları gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: AA5754 sac malzeme, limit çekme oranı, ılık derin çekme, mikrosertlik, sonlu elemanlar yöntemi.

Experimental and Numerical Investigation of the Effect of Temperature on Deep Drawing of Aluminum Alloy

ABSTRACT

5000 series of Al-Mg alloys have found very wide application areas due to their ductility, good weldability, high strength and low weight properties. However, forming of these alloys is more difficult than steel sheets at room temperature due to their microstructure. The most effective way to overcome these problems is the warm forming. In this study, the effect of forming temperature on limit drawing ratio, punch force, wall thickness, microhardness and stress of cup were investigated experimentally and numerically. The experiments were conducted at 25°C, 100°C, 175°C, and 250°C temperatures under 3600 N blank holder force. As a result of the studies, it was determined that an increase in forming temperature led to more homogeneous distribution of wall thickness, increase of limit drawing ratio, decrease of microhardness, stress and punch forces. The finite element analysis (FEA) model results were also in a good agreement with the experimental results.

Keywords: AA5754 sheet metal, limit drawing ration, warm deep drawing, microhardness, finite element analysis

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Derin çekme sacların şekillendirilmesinde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir [1]. Bu yöntemle, iki boyutlu, düzlemsel geometriye sahip iş parçalarından belirli derinlik ve profillere sahip üç boyutlu ürünler elde edilir [2]. Basit ve karmaşık şekilli birçok parça kolaylıkla imal edilebildiğinden yiyecek ve içecek sanayinde, otomotiv, denizcilik, hava, savunma ve diğer birçok alanda bu yöntem oldukça önemli bir yere sahiptir. Son zamanlarda, Al, Mg gibi hafif ve dayanıklı alaşımların kullanımları birçok alanda giderek artmaktadır. Örneğin otomobillerin yakıt tüketiminin düşürülmesindeki temel faktör ağırlığının azaltılmasıdır [3]. Yakıt tüketiminin azaltılması, otomobil gövde ve yapılarındaki çeliğin alüminyum, magnezyum gibi hafif ve mukavemetli alaşımlarla yer değiştirmesi ile sağlanabilir [4-6]. Ancak Al-Mg alaşım-

larının şekillendirilmesi dinamik deformasyon sertleşmesi olayından dolayı oda sıcaklığında sınırlı oranda kalmaktadır [7, 8]. Bu durum hem elde edilen numunelerin kalitesini etkilemekte hem de daha yüksek çekme oranlarına ulaşmasını engellemektedir. Bu tür problemlerin üstesinden gelmenin en önemli yolu malzemeyi yeniden kristalleştirme sıcaklığının altındaki bir sıcaklıkta şekillendirmektir [9]. Sıcaklığın şekillendirme üzerinde iki önemli etkisi vardır. Birincisi, sıcaklık etkisi ile dinamik deformasyon sertleşmesinin ortadan kalkması ile malzemelerin şekillendirilebilirliklerinde önemli artışın görülmesi, ikincisi ise şekillendirilmiş kaplarda geri yaylanmaya yol açan kap duvarlarındaki gerilmelerin azalmasıdır [10, 11]. Laurant ve ark., AA5754-O alaşımının ılık şekillendirme koşullarındaki mekanik ve geri yaylanma özelliklerini araştırmışlardır. Çalışmalarının sonucunda geri yaylanmaya sebep olan kap duvarlarındaki teğetsel gerilmeleri etkileyen temel faktörün sıcaklık olduğunu belirtmişlerdir [9]. Tebbe ve ark. da yeniden kristalleştirme sıcaklığının altındaki ılık şekillendirme

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : vtaşdemir@ksu.edu.tr

koşullarında karmaşık şekilli parçaların kalitesinin yüksek ve daha kolay çekilebildiğini belirtmişlerdir [10]. Toros ve ark., Al-Mg alaşımları üzerine yapmış oldukları çalışmada ılık şekillendirme koşullarında (200-300°C) elde edilen ürünlerin yüzey kalitesinin oda sıcaklığında elde edilen ürünlerin kalitesinden daha iyi olduğunu bulmuşlardır [12]. Ren ve ark., AZ31 magnezyum alaşımının ılık derin çekilmesini deneysel ve sonlu elemanlar yöntemiyle sayısal olarak incelemişlerdir. Sıcaklığın, dikdörtgen kesitli kapların şekillendirilebilirliğini arttırdığını ve derin çekilebilirliği etkileyen önemli bir faktör olduğunu deneysel ve sayısal olarak belirlemişlerdir [13]. Erdin ve diğ., yüksek mukavemetli ve düşük şekillendirme özelliğine sahip IMI 230 titanyum bakır alaşımı ile 20MnCr5 düşük karbonlu çelik sacların yüksek sıcaklıkta şekillendirilmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışma sonucunda derin çekilebilirliği maksimuma çıkaran kritik sıcaklığın malzemeden malzemeye değişiklik gösterdiğini ve en büyük derin çekme yüksekliğinin yüksek sıcaklıklarda elde edildiğini belirtmişlerdir [14]. Görüleceği üzere yapılan bu çalışmalar, sıcaklığın malzemelerin şekillendirilmesini etkileyen önemli bir faktör olduğunu ortaya koymuştur.

Bu çalışmada, geniş bir kullanım alanına sahip olan AA 5754-O alaşımının ılık derin çekilmesi üzerine deneysel ve sayısal olarak bir araştırma yapılmıştır.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

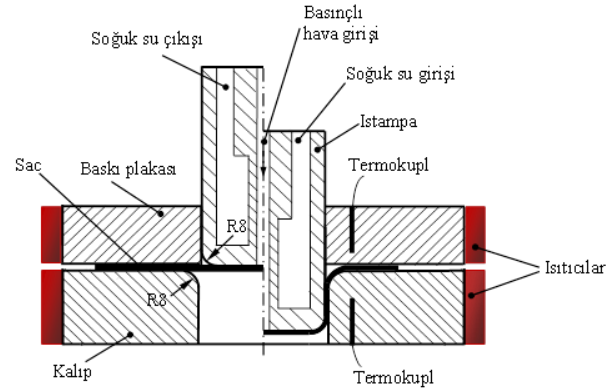
2.1. Materyal (Material)

Çalışmada, 1 mm kalınlığında EN AW-5754 (AlMg3) sac malzeme kullanılmıştır. Malzeme, "H111" işlemi uygulanmış halde temin edilmiş olup, çekme deneylerinden önce 380°C sıcaklıkta 4 saat tavlansak en yumuşak hal olan "O" şekline getirilmiştir. Malzemenin kimyasal bileşimi Çizelge 1'de, mekanik özellikleri ise Çizelge 2'de verilmiştir.

2.2. Metod (Method)

Deneyler, 25°C, 100°C, 175°C ve 250°C sıcaklıklarda yapılmıştır. İstampa ve kalıp köşe yarıçapları 8 mm ve

baskı plakası kuvveti (BPK) ise 3600 N olarak sabit tutulmuştur. Deneylerde, yüzeyler arasındaki sürtünmeleri azaltmak amacıyla MoS₂ (3-4 µm) yağlayıcı kullanılmıştır. Şekil 1'de deney düzeneğinin şematik görüntüsü verilmiştir. Çizelge 3'te ise deneylerde kullanılan işlem parametreleri verilmiştir.



Şekil 1. Deney düzeneği şeması (Schematic design of the testing apparatus)

Çizelge 3. Deneylerde kullanılan takım geometrisi ve işlem parametreleri (Drawing tool geometry and process parameters)

Parametre	Ölçü
Kalıp radyüsü, mm	8
Istampa radyüsü, mm	8
Baskı plakası kuvveti, N	3600
İlkel parça çapı, mm	85-109
Istampa hızı, mm/s	4
Istampa çapı, mm	39,60
Kalıp çapı, mm	42,30
Sac kalınlığı, mm	1
Tek taraflı kalıp boşluğu	1,35
Çekme sıcaklığı, °C	25, 100, 175, 250

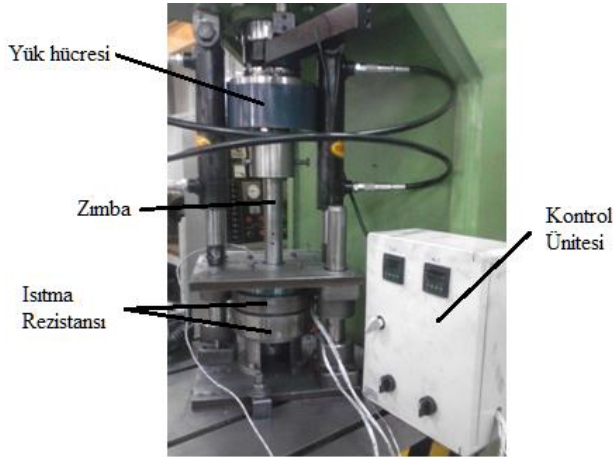
Çizelge 1. EN AW-5754 (AlMg3) sacının kimyasal analizi, % (Chemical composition of EN AW-5754 (AlMg3))

Kimyasal Bileşim, %											
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Ga	V	Al
0,13	0,3	0,019	0,14	2,72	0,005	0,005	0,022	0,018	0,01	0,013	Geriye

Çizelge 2. Deney numunesinin oda sıcaklığındaki mekanik özellikleri (Mechanical properties of test specimen at room temperature)

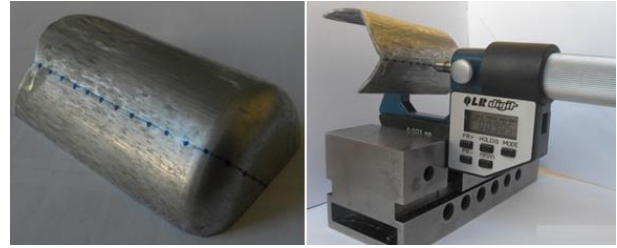
Hadde yönü (°)	Akma dayanımı (N/mm ²)	Çekme dayanımı (N/mm ²)	Uzama (%)	Elastikiyet modülü (GPa)	Sertlik, HV0,2	
					Isıl işlem öncesi, "H111"	Isıl işlem sonrası, "O"
0	167,74	248,54	10,32	66	82,6	61,7
45	163,25	235,16	12,82			
90	165,64	240,11	11,68			

Kalıp ve baskı plakası ısıtıcı rezistanslarla ısıtılmış, ıstampa su ile ve sac malzeme ise basınçlı hava ile soğutulmuştur. Kalıp ve baskı plakasının sıcaklıkları kalıplar içerisine yerleştirilen termokupl ile kontrol edilmiştir. İstampaya gelen kuvvet 10-1 saniye aralıklarla tek yönlü kuvvet ölçme özelliğine sahip yük hücresi ile ölçülmüştür. Deneyler, 4 mm/s sabit ıstampa hızında gerçekleştirilmiştir. Deney malzemesi baskı plakası ile kalıp arasında belirlenen baskı plakası kuvvetinde yaklaşık 30-90 s arasında ısıtılmıştır. Şekil 2'de deneylerde kullanılan deney seti görülmektedir.



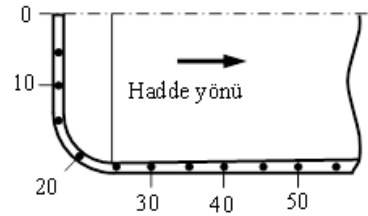
Şekil 2. Deney seti (Testing apparatus)

Deneyler neticesinde elde edilen kapların kalınlıklarını belirlemek için deney numunesi hassas bir şekilde kesilerek hadde doğrultusunda 5 mm aralıklarla bölüntülenmiş ve QLR digit marka 10-4 mm hassasiyetindeki dijital mikrometre ile belirlenen noktaların et kalınlıkları ölçülmüştür (Şekil 3).



Şekil 3. Et kalınlığı ölçümü (The measurement of wall thickness)

Kapların sertlik ölçümleri ise Emcotest DuraScan mikrosertlik cihazı ile hadde doğrultusunda kaplardan kesilip çıkartılarak bakalit içerisine gömülmüş numuneden çeşitli zımparalama ve parlatma işlemleri yapıldıktan sonra orta düzlem boyunca 5 mm aralıklarla 200 gr yük uygulanarak (HV 0,2 kg) yapılmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Numunenin mikrosertlik ölçüm şeması (Microhardness measurement schema of the sample)

2.3. Sonlu Elemanlar Analiz Çalışmaları (Finite Element Analysis Studies)

Günümüzde metal şekillendirme işleminde, sonlu elemanlar yöntemi (SEY), optimum işlem parametrelerini bulmak için etkili bir araç olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Metal şekillendirmede optimum işlem parametrelerinin belirlenmesi, imalat maliyetini düşürmek, vakit kaybını önlemek ve sacın

Çizelge 4. Analizlerde kullanılan sac malzemenin mekanik özellikleri (Mechanical properties of sheet material used in analyzes) [4, 6, 9, 17]

Malzeme özelliği	25 °C	100 °C	175 °C	250 °C
Yoğunluk (kg/m ³), g	2700	2700	2700	2700
Elastikiyet modülü (Gpa),E	69	66	63	60
Poisson oranı, v	0,33	0,33	0,33	0,33
Akma dayanımı (MPa), σ_a	87	100	86	72.5
Sertleşme Modülü (MPa), K	350	350	250	200
Sertleşme üsteli, n	0,275	0,25	0,185	0,101

Çizelge 5. Analizlerde kullanılan sac ve kalıp malzemelerinin termal özellikleri (Thermal properties of sheet and die materials used in analyzes) [18]

Malzeme özelliği	Sac(Alüminyum)	Rijit kalıplar(Çelik)
Isı kapasitesi(J/kgK)	904	450
Isıl İletkenlik(W/mK)	220	70
Yoğunluk(kg/m ³)	2700	7850

deformasyon davranışı üzerindeki etkilerini anlamak için oldukça önemlidir [15,16].

Çalışmada, deney numuneleri üzerinde meydana gelen deformasyonlar LS-DYNA çözümü ete/Dynaform paket programı ile belirlenmiştir. Alüminyum sacın şekillendirme simülasyonu için 36*MAT_3-PARAMETER_BARLAT malzeme modeli kullanılmıştır. Ağ yapılarının oluşturulması esnasında, baskı plakası, ıstampa ve kalıbın ağ aralıkları maksimum 30 mm, minimum ise 0,5 mm olarak ayarlanmıştır, sac malzemede ise ağ aralığı 3 mm olarak alınmıştır.

Çizelge 4’de analizlerde kullanılan sac malzemenin farklı sıcaklıklardaki mekanik özellikleri, Çizelge 5’de ise sac ve kalıp malzemelerinin termal özellikleri verilmiştir.

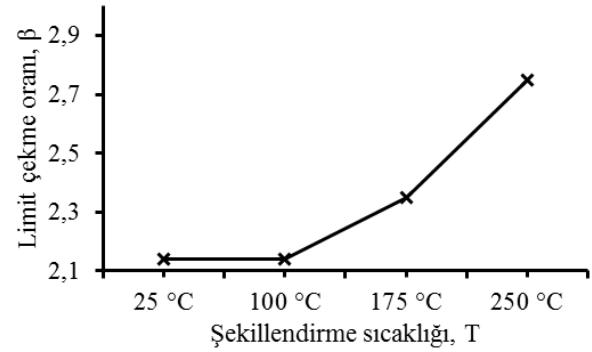
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

3.1. Limit Çekme Oranı Sonuçları (Limit Drawing Ratio Results)

Şekil 5’de sıcaklığın limit çekme oranına (LÇÖ) olan etkisini belirlemek amacı ile yapılan deneyler sonucu elde edilen çekme numuneleri, Şekil 6’da ise limit çekme oranının sıcaklıkla değişimi verilmiştir. Şekillerden, sıcaklık artışına bağlı olarak LÇÖ’nun arttığı görülmektedir. Özellikle 100 °C sıcaklıktan sonra bu artış daha net görülmektedir. Bu durum, sıcaklık etkisi ile dinamik deformasyon sertleşmesinin ortadan kalkmasına bağlı olarak malzemenin akma mukavemetinin azalması ve şekillendirme kabiliyetinin artmasıyla ilişkilendirilebilir. Boogaard, AA 5754 alaşımının ılık derin çekilmesi üzerine yapmış olduğu çalışmada, oda sıcaklığında 2,1 olan LÇÖ’yu 2,6’ya çıkarabilmiştir [19]. Yine Bolt ve arkadaşları da 250°C’de yaptıkları derin çekme deneyi neticesinde AA 5754 alaşımının LÇÖ’sunu 2,7’ye çıkarmışlardır [20]. Bu çalışmada ise sıcaklığın 25°C’den 250°C’ye yükseltilmesi ile limit çekme oranının 2,14’den 2,75’e çıktığı ve değişimin %28,5 olduğu görülmektedir.



Şekil 5. LÇÖ deneyleri sonucu elde edilen numuneler (Samples obtained from the results of LDR experiments)

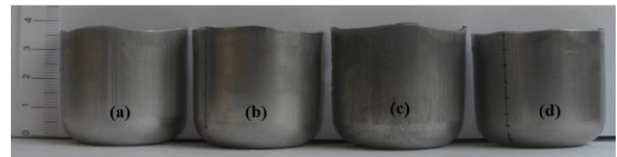


Şekil 6. LÇÖ’nun sıcaklıkla değişimi (The variation with temperature of LDR)

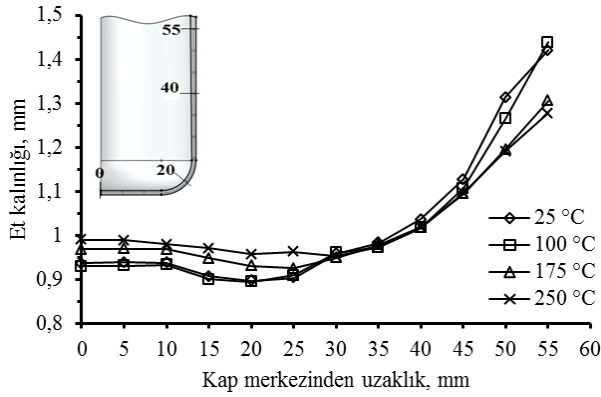
3.2. Et Kalınlığı Sonuçları (Wall Thickness Results)

Derin çekme ile üretilen kapların kalınlık dağılımının homojen olması önemlidir. Kaplardaki bu kalınlık dağılımı elde edilen ürünlerin kalitesini doğrudan etkilemektedir.

Şekil 7’de, 2,14 LÇÖ için farklı sıcaklıklardaki deneyler sonucu elde edilen numuneler, Şekil 8’de ise 2,14 LÇÖ için et kalınlığı değişimi verilmiştir. Şekilden, bütün sıcaklıklar için et kalınlığında, kap merkezinden 10 mm’ye kadar (0-10 mm) önemli bir değişimin olmadığı, bu aralıktan sonra 20-25 mm aralığına kadar incelmelerin devam ettiği, sonrasında ise kalınlıkta artışın olduğu görülmektedir. Oda sıcaklığında (25°C), kap merkezindeki kalınlık 0,937 mm ölçülürken, 250°C’de 0,990 mm ölçülmüştür. Sıcaklığa bağlı olarak kap tabanındaki kalınlık değişimi yaklaşık %5’dir. Tüm sıcaklık değerleri için en büyük incelmelerin kap köşesinde ve hemen üzerinde olduğu belirlenmiştir. Oda sıcaklığında 0,898 mm olarak ölçülen en ince kalınlık, 100°C’de 0,895 mm, 175°C’de 0,926 mm, 250°C’de ise 0,953 mm’dir. Ayrıca kap ağzına doğru çıkıldıkça kalınlık değişiminin 25°C ve 100°C için önemli bir artışın olduğu görülmektedir. Buradan sıcaklığın, et kalınlığını etkileyen oldukça önemli bir parametre olduğu söylenebilir.

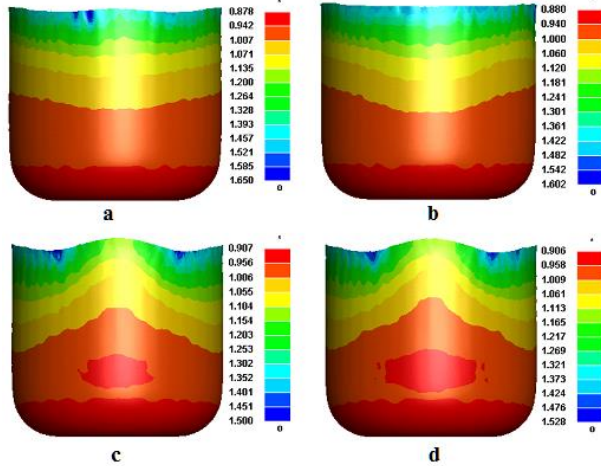


Şekil 7. 2,14 LÇÖ sonucu elde edilen numuneler (Samples obtained from 2,14 LDR) a)25°C b)100°C c)175°C d)250°C



Şekil 8. Şekillendirme sıcaklığının et kalınlığı üzerindeki etkisi (Effect of forming temperature on wall thickness)

Şekil 9'da ise şekillendirme sıcaklığının et kalınlığı üzerindeki etkisinin sonlu elemanlar analiz sonuçları verilmiştir. Analiz sonuçlarından, 25°C sıcaklık için kap merkezindeki kalınlık 0,930 mm iken şekillendirme sıcaklığı 250°C'ye çıkarıldığında kap merkezindeki kalınlık 0,974 mm olarak ölçülmüştür. Yine analizde de tüm sıcaklık değerleri için en büyük incelenen kap köşelerinde veya hemen üzerinde olduğu görülmektedir. 25°C'de 0,878 mm'ye düşen kalınlık değeri, 250°C'de 0,906 mm'ye düşmüştür. Kap üst kısımlarına doğru çıkıldıkça kap duvarında kalınlık değişiminin bütün sıcaklık değerleri için çok değişmediği, deneysel sonuçlarda olduğu gibi özellikle 25°C ve 100°C 'de elde edilen numunenin kap ağzında malzeme yığılmasından dolayı kalınlığın arttığı görülmektedir.



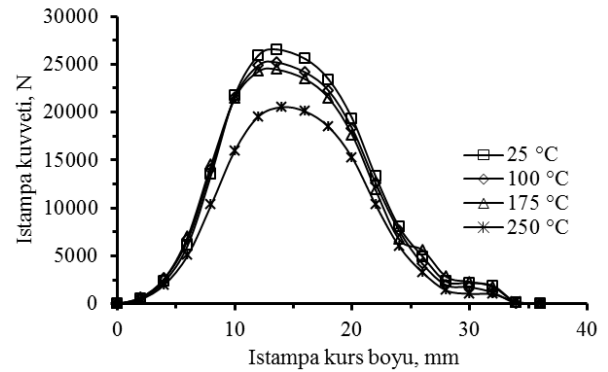
Şekil 9. Simülasyondan elde edilen kalınlık değişimi (Thickness variation obtained from simulations) a)25°C b)100°C c)175°C d)250°C

3.3. İstampa Kuvveti Sonuçları (Punch Force Results)

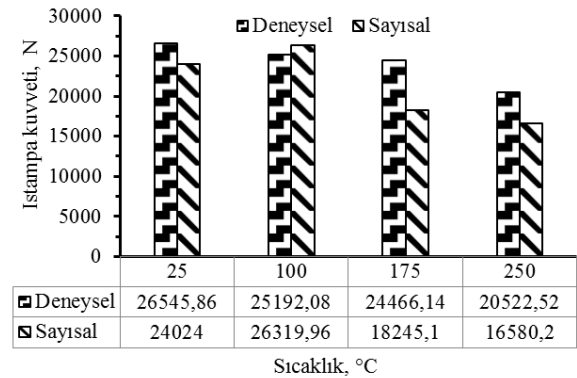
İstampa ile malzeme arasındaki temas sonucu sürtünmenin artması ile gerilme artar. Gerilmedeki bu artış kabın aşırı deformasyona uğramasına ve kalınlığının önemli ölçüde değişmesine neden olur. Bundan dolayı

deneysel parametrelerinin seçimi ıstampa kuvvetini önemli ölçüde etkiler [21].

2,14 LÇO sonucu elde edilen ıstampa kuvveti Şekil 10'da, deneylerden elde edilen ıstampa kuvveti sonuçları ile sonlu elemanlar analizinden elde edilen karşılaştırmalı sonuçlar ise Şekil 11'de verilmiştir. Şekillerden, sıcaklığın ıstampa kuvvetini önemli ölçüde etkilediği görülmektedir. Deneylerden elde edilen ıstampa kuvveti, 250°C'de 26545,86 N iken 250°C'de 20522,52 N değerine düşmüş, böylece değişimin %22,69 olduğu bulunmuştur. Bu sonuç, sıcaklık artışı ile malzeme mukavemetinin azalması sonucu deformasyon için gerekli kuvvetin soğuk şekillendirmeye göre düştüğünü göstermektedir. Karşılaştırmalı sonuçlar incelendiğinde genellikle sayısal sonuçların deneysel sonuçlardan düşük olduğu görülmektedir. Bu durum derin çekme işleminde kalıp tasarımının ve bu tasarımın analiz ortamına aktarılmasının ve yine malzeme özelliklerinin eksiksiz tanımlanmasının ne kadar önemli olduğunu göstermiştir.



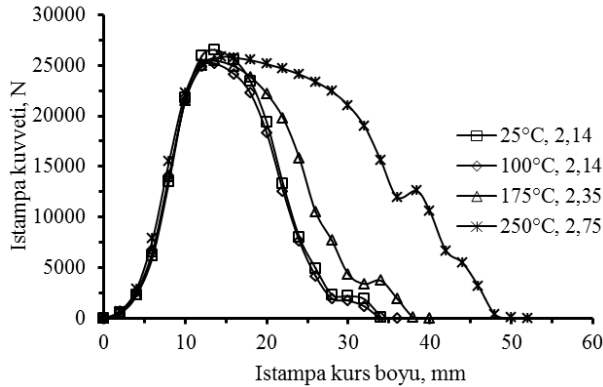
Şekil 10. İstampa kuvveti-sıcaklıkla ilişkisi (Punch force-temperature relation)



Şekil 11. Deneysel ve sayısal çalışmaların karşılaştırılması (Comparison of the experimental and numerical studies)

Şekil 12'de farklı limit çekme oranları sonucu elde edilen ıstampa kuvveti sonuçları görülmektedir. Deneylerden en büyük ıstampa kuvveti, 25°C için 26545,86 N; 100°C için 25192,08 N; 175°C için 25466,75 N ve 250°C için 25834,63 N olarak elde edilmiştir. Görüleceği üzere LÇO 2,14'den 2,75'e çıkmasına rağmen sıcaklığın etkisi ile ıstampa kuvvetinde bir artış olmamış kısmen düşmüştür.

Ancak çekilen kabın boyu arttıkça özellikle 2,75 LÇO'da kap ağzında meydana gelen malzeme yığılması sonucu oluşan ondülasyon nedeni ile ütleme kuvvetinde çok az da olsa bir artışın olduğu görülmektedir.

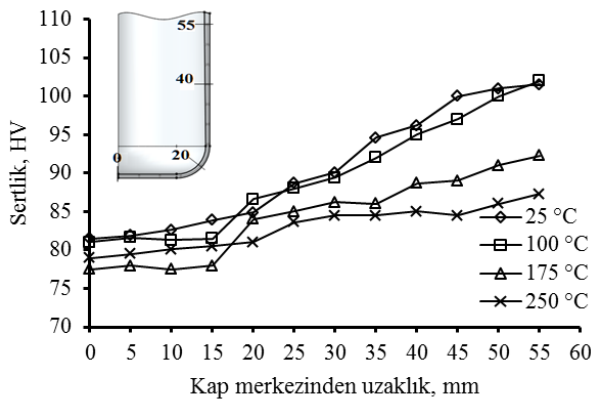


Şekil 12. Farklı LÇO'lar için ıstampa kuvveti değişimi (The variation of punch force for different LDR)

3.4. Sertlik ve Gerilme Dağılımı Sonuçları (Hardness and Stress Distribution Results)

Metallerin şekillendirilmesini etkileyen birçok önemli faktör vardır. Bu faktörlerden biri deformasyon sertleşmesidir. Malzemenin şekillendirilmesi esnasında meydana gelen deformasyon sertleşmesi kabın kalıp boşluğuna akışını, ıstampa kuvvetini, kaptaki kalınlık değişimlerini ve kaptaki gerilmeleri doğrudan etkiler [22].

Şekil 13'de sıcaklığın kap duvarlarındaki sertlik dağılımı üzerindeki etkisi verilmiştir. Şekilden en düşük sertlik değerinin kap tabanında olduğu, kap ağzına doğru çıkıldıkça sertlik değerinin arttığı görülmektedir. En fazla plastik deformasyona uğrayan bölge kap ağzı olduğu için en yüksek gerilme değeri ve sertlik de burada oluşmaktadır. Yine şekilden sıcaklık arttıkça sertlik değerinin düştüğü görülmektedir. En yüksek sertlik değeri 25°C'de 101,5 HV, 100°C'de 102 HV, 175°C'de 92,3 HV ve 250°C'de 87,3 HV olarak ölçülmüştür.

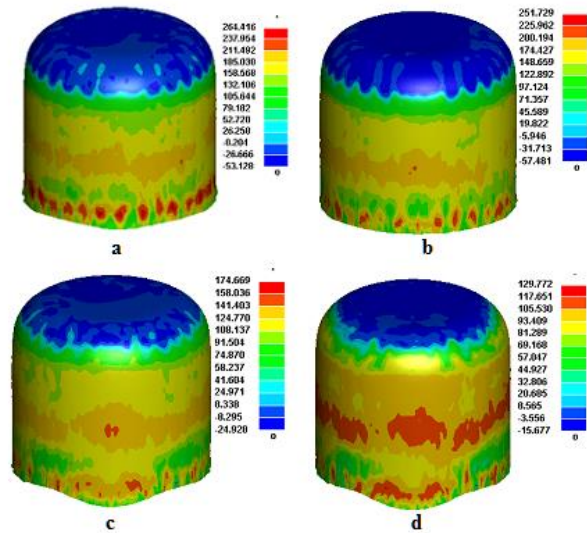


Şekil 13. Sıcaklığın sertlik dağılımı üzerindeki etkisi (Effect of temperature on hardness distribution)

Sonlu elemanlar analizi sonucu elde edilen numunelerde meydana gelen gerilme dağılımına sıcaklığının etkisi Şekil 14'de verilmiştir. Analiz sonuçlarında, en büyük

gerilme 25 °C'de 264,416 MPa, en düşük gerilme de 250 °C'de 129,772 MPa olarak elde edilmiştir, değişim yaklaşık %49'dur. Bu azalmanın sıcaklık etkisi ile malzeme mukavemetinin düşmesi ve buna bağlı olarak da malzeme akışının kolaylaşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Sıcaklığın şekillendirilen kaptaki gerilme dağılımını etkileyen oldukça önemli bir parametre olduğu söylenebilir.

En yüksek gerilmeler numunelerin kap ağzına yakın bölgelerinde oluşmaktadır. Bu durum bu bölgedeki malzeme yığılması sonucundaki deformasyon sertleşmesi ile açıklanabilir. Bu malzeme yığılması doğrudan kaptaki teğetsel gerilmeleri etkiler. Bu teğetsel gerilmeler ise geri yayılma, şekillendirilen parçaların ömrü, tokluğu, çatlak oluşum direnci, manyetik özellikleri ve korozyon direnci üzerinde önemli bir rol oynar [6, 9].



Şekil 14. Çekilmiş kaplardaki ortalama gerilme dağılımı (MPa) (Mean stress distribution in the drawn cups) a) 25°C b) 100°C c) 175°C d) 250°C

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

AA 5754 Al-Mg alaışımının derin çekme kalıplarında şekillendirilmesi esnasında sıcaklığın et kalınlığı, ıstampa kuvveti, sertlik ve gerilmeye etkisinin belirlenmesi amacı ile deneysel ve sayısal bir çalışma yapılmıştır. Çalışma neticesinde çıkarılan genel sonuçlar aşağıda verilmiştir.

-Sıcaklık artışı ile dinamik deformasyon sertleşmesinin azalması ve malzeme akışının kolaylaşması neticesinde limit çekme oranı %28,5 artmış ve kalınlık dağılımı daha homojen hale gelmiştir.

-İstampa kuvveti, sıcaklık 250°C'ye çıktığında oda sıcaklığına nazaran yaklaşık %22,69 oranında düşmüştür.

-Yine sıcaklık arttıkça kabın sertliğinin düştüğü ancak kap ağzına doğru çıkıldıkça deformasyon sertleşmesinden dolayı sertliğin arttığı görülmüştür.

-Çalışmadan, deneysel sonuçlarla sayısal simülasyon sonuçlarının uyum içinde oldukları görülmüştür. Bu uyum ıstampa kuvveti için yaklaşık %75-95, kalınlık dağılımı için ise yaklaşık %95-97'dir.

-Sayısal çalışmadan elde edilen bir diğer sonuç da kaplardaki gerilmenin sıcaklık artışıyla önemli oranda azalmasıdır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Seçgin O. and Savaş V., "An experimental investigation of forming load and side-wall thickness obtained by a new deep drawing die", *Int J. Mater Form*, 3:209–213, (2010).
- [2] Özek C. and Ünal E., "The effect of die/blank holder angles on limit drawing ratio and wall thickness in deep drawing of square cups", *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, Vol 27, No 3, 615-622, (2012).
- [3] Greene D.L. and DiCicco, J., "Engineering-economic analyses of automotive fuel economy potential in the United States". ORNL/TM-2000/26, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN, (2000).
- [4] Panicker S.S., Singh H.G., Panda S. K. and Dashwood R., "Characterization of tensile properties, limiting strains, and deep drawing behavior of AA5754-H22 sheet at elevated temperature", *Journal of Materials Engineering and Performance*, 24:4267–4282, (2015).
- [5] Abedrabbo N., Pourboghra F. and Carsley J., "Forming of AA5182-O and AA5754-O at elevated temperatures using coupled thermo-mechanical finite element models", *International Journal of Plasticity* 23:841–875, (2007).
- [6] Laurent H., Coër J., Manach P.Y., Oliveira M.C. and Menezes L.F., "Experimental and numerical studies on the warm deep drawing of an Al–Mg alloy", *International Journal of Mechanical Sciences*, 93: 59–72, (2015).
- [7] Öztürk F., Pekel H. ve Halkacı H.S., "The effect of strain-rate sensitivity on formability of AA 5754-O at cold and warm temperatures", *Journal of Materials Engineering and Performance*, 20: 77–81, (2011).
- [8] Halim H., Wilkinson D.S. and Niewczas M., "The Portvein-Le Chatelier(PLC) effect and shear band formation in an AA5754 alloy", *Acta Mater.*, 55: 4151–4160, (2007).
- [9] Laurent H., Coër J., Grèze R., Manach, P.Y., Andrade-Campos A., Oliveira M.C. and Menezes L.F., "Mechanical behaviour and springback study of an aluminium alloy in warm forming conditions", *International Scholarly Research Network ISRN Mechanical Engineering*, ID:381615, (2011).
- [10] Tebbe P.A. and Kridli G.T., "Warm forming of aluminium alloys: an overview and future directions," *International Journal of Materials and Product Technology*, 21(1-3): 24–40, (2004).
- [11] Laurent H., Grèze R., Manach P.Y. and Thuillier S., "Influence of constitutive model in springback prediction using the split-ring test," *International Journal of Mechanical Sciences*, 51(3): 233–245, (2009).
- [12] Toros S., Ozturk F. and Kacar I., "Review of warm forming of aluminum-magnesium alloys", *Journal of Materials Processing Technology*, 207: 1–12, (2008).
- [13] Ren L.M., Zhang S.H., Palumbo G., Sorgente D. and Tricarico L., "Numerical simulation on warm deep drawing of magnesium alloy AZ31 sheets", *Materials Science and Engineering A*, 499: 40–44, (2009).
- [14] Erdin M.E., Aykul H. and Tunahoğlu Ş., "Forming of high strength/low formability metal sheets at elevated temperatures", *Mathematical and Computational Applications*, 10(3): 331-340, (2005).
- [15] Kotkunde N., Deole A.D., Gupta A.K., Singh S.K., "Comparative study of constitutive modeling for Ti-6Al-4V alloy at low strain rates and elevated temperatures", *Materials and Design*, 55: 999–1005, (2014).
- [16] Samantaray D., Mandal S. and Bhaduri A.K., "A comparative study on Johnson Cook, modified Zerilli–Armstrong and Arrhenius-type constitutive models to predict elevated temperature flow behaviour in modified 9Cr–1Mo steel", *Comput Mater Sci*, 47, 568–576, (2009).
- [17] Dutton T., Mohamed M. and Lin J., "Simulation of warm forming of aluminium AA5754 for automotive panels", *12th International LS-DYNA User Conference*, (2012).
- [18] Abedrabbo N., Pourboghra F. and Carsley J., "Forming of aluminum alloys at elevated temperatures - Part 2: Numerical modeling and experimental verification", *Int. J. Plast.*, 22: 342-373, (2006).
- [19] van den Boogaard A., "Thermally enhanced forming of aluminum sheet modeling and experiments", *Ph.D. thesis*, Twente University, (2002).
- [20] Bolt P.J, Lamboo N.A.P.M. and Rozier P.J.C.M., "Feasibility of warm drawing of aluminum products", *J Mater Proc Technol*, 115(1): 118–21, (2001).
- [21] Taşdemir V., "Açılı derin çekme kalıplarında sıcaklığın limit çekme oranına etkisinin araştırılması", *Doktora tezi*, Fırat Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, (2016).
- [22] Cotterell M., Schambergerova J. and Ziegelheim J., "Dependence of micro-hardness on deformation of deep-drawing steel sheets", *Journal of Materials Processing Technology*, 124(3): 293–296, (2002).