


## Derin Çekme İşlemi Sonrası Malzemede Oluşan Sertlik Dağılımı Üzerine Kalıp Yüzey Açısı, Sıcaklık Ve Baskı Plakası Kuvveti Etkilerinin İncelenmesi

<sup>1</sup>Cebeli Özek, <sup>\*2</sup>Vedat Taşdemir

<sup>1</sup>Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Türkiye, cozek@firat.edu.tr, 

<sup>\*2</sup>Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Elbistan Meslek Yüksekokulu, Makine Programı, Türkiye, vtasdemir@ksu.edu.tr, 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 09.01.2018

Kabul Tarihi: 24.04.2018

### Öz

Bu çalışmada, derin çekme yöntemi ile elde edilen kapların sertliğine kalıp yüzey açısı, sıcaklık ve baskı plakası kuvvetinin etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada, 4 farklı kalıp yüzey açısı (0°, 5°, 10°, 15°), 4 farklı sıcaklık (25°C, 100°C, 175°C, 250°C) ve 3 farklı baskı plakası kuvveti (1200 N, 2400 N, 3600 N) kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda sıcaklığın artmasıyla kapların sertliğinin düştüğü, baskı plakası kuvvetinin artması ile kapların sertliğinin çok az arttığı ve hem sertlik hem de şekillendirme açısından en ideal kalıp açısının 5-10° olduğu belirlenmiştir. Ayrıca elde edilen kaplardaki en düşük sertliğin kap tabanında olduğu, kap ağzına doğru çıkıldıkça sertliğin arttığı görülmüştür. Limit çekme oranı 2,14'den 2,75'e çıktığında sıcaklığın etkisi ile sertlikte artış olmamıştır. Sonuç olarak, belirlenen parametrelerin deformasyon sırasında oluşan sertliğin kontrolünde önemli rol oynadığı net bir şekilde görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Derin çekme, sertlik dağılımı, kalıp yüzey açısı, limit çekme oranı

## Investigation Of Effects Of Die Surface Angle, Temperature And Blank Holder Force On The Hardness Distribution Forming In Material After Deep Drawing Process

<sup>1</sup>Cebeli Özek, <sup>\*2</sup>Vedat Taşdemir

<sup>1</sup>Fırat University, Technology Faculty, Mechanical Engineering, Elazığ/Turkey, cozek@firat.edu.tr

<sup>\*2</sup>Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Elbistan Vocational School, Machine Program, Kahramanmaraş/Turkey, vtasdemir@ksu.edu.tr

### Abstract

In this study, it is aimed to determine the effects of die surface angle, temperature and blank holder force on the hardness of the obtained cups by deep drawing method. In the study, 4 different die surface angles (0°, 5°, 10°, 15°), four different temperatures (25°C, 100°C, 175°C, 250°C) and three different blank holder force (1200 N, 2400 N, 3600 N) were used. As a result of the studies, it was determined that the hardness of the cups decreased with the increase of the temperature, the hardness of the cups increased with the increase of the blank holder force and the most ideal die surface angle is 5-10° in terms of both hardness and forming. Moreover, it has been observed that the lowest hardness in the obtained cups is at the bottom of the cup and the hardness increases as moved towards the mouth of the cup. When the limit drawing ratio increased from 2.14 to 2.75, there was no increase in hardness due to the effect of temperature. As a result, it is clearly seen that the determined parameters play an important role in controlling the hardness during deformation.

**Keywords:** Deep drawing, hardness distribution, die surface angle, limit drawing ration

### 1. GİRİŞ

Sac metal şekillendirme, malzemelerin incelmeye (boyun verme) ve çatlama olmadan plastik olarak deformasyona uğrama kabiliyetini gösterir[1]. Derin çekme, sacların

şekillendirilmesinde yaygın olarak kullanılan sac metal şekillendirme yöntemlerinden biridir[2]. Bu yöntemle, iki boyutlu, düzlemsel geometriye sahip iş parçalarından belirli derinlik ve profillere sahip üç boyutlu ürünler elde edilir[3]. Basit ve karmaşık şekilli birçok parça kolaylıkla bu

\*Sorumlu Yazar: Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Elbistan Meslek Yüksekokulu, Makine Programı, vtasdemir@ksu.edu.tr, (+90)344 300 40 85

yöntemle imal edilebildiğinden yiyecek ve içecek sanayinde, otomotiv, denizcilik, hava, savunma ve diğer birçok alanda bu yöntem oldukça önemli bir yere sahiptir. İşlemin başarılı olmasında, seçilen malzeme özellikleri ve işlem parametreleri önemli rol oynar. Şekillendirmeyi etkileyen en önemli parametrelerden bazılarını; işleme sertleşmesi, deformasyon hızı hassasiyeti, anizotropi, deney parametreleri, kalıp geometrisi, şekillendirme sıcaklığı şeklinde sıralayabiliriz[4-7]. Tsuchida ve arkadaşları, 3004-H19 alüminyum alaşımının inceltmek çekme işleminin hadde doğrultusuna bağlı olarak kap duvarlarındaki sertlik ve uzamaya olan etkilerini incelemiştir. En düşük sertliğin enine doğrultuda ve incelme değerinin en fazla olduğu kalıplarda elde edildiğini belirtmişlerdir[8].

Lela ve arkadaşları, AA8011A alüminyum sac kullanarak derin çekilmiş kapların sertlik ve kulaklanma oluşumuna baskı plakası kuvveti, tavlama sıcaklığı ve tavlama süresinin etkilerini parametrik ve parametrik olmayan iki farklı yaklaşım kullanarak modellemiştir[9]. Emmens ise derin çekme ve kademeli çekme yöntemi ile elde edilen numunelerdeki sertlik üzerine bir çalışma yapmıştır. İki yöntem sonucunda aynı sertliğin elde edildiğini, mekanik özelliklerin sac kalınlığına göre değişiklik gösterdiğini ve sertlik ölçümünün tek başına yanıltıcı olabileceğini belirtmiştir[10].

Şekillendirmeyi etkileyen deformasyona bağlı parametrelerden biri olan sertlik; uzama, tanelerin deformasyonu[10], malzemenin kalıp boşluğuna akışı, zımba kuvveti, kaptaki kalınlık değişimleri ve kaptaki

**Tablo 1.** EN AW-5754 (AlMg3) sacının kimyasal analizi, %

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 kalan

**Tablo 2.** Deney numunesinin oda sıcaklığındaki mekanik özellikleri

Hadde yönü (°)	Akma dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Çekme dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	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			

Bu çalışma ile, kalıp yüzey açısı, sıcaklık ve baskı plakası kuvvetinin derin çekme işlemi sonucunda elde edilen kapların sertliğine olan etkilerinin incelenmesi amaçlanmaktadır. Deneyler, kalıp ve baskı plakası yüzeylerine 0°, 5°, 10° ve 15° açılar verilerek 25°C, 100°C, 175°C ve 250°C sıcaklıklarda ve 1200 N, 2400 N ve 3600 N baskı plakası kuvvetlerinde yapılmıştır.

Belirlenen sıcaklıklar ve baskı plakası kuvvetleri Al-Mg alaşımı üzerine yapılan birçok çalışma referans alınarak belirlenmiştir. Zımba ve kalıp köşe yarıçapları 8 mm sabit tutulmuştur. Deneylerde, yüzeyler arasındaki sürtünmeleri

gerilmeler ile yakından ilişkilidir. Bundan dolayı bu çalışma, belirlenen sıcaklıklar, baskı plakası kuvvetleri ve kalıp yüzey açılarının derin çekme ile elde edilen kapların deformasyon sertliğine etkisinin belirlenmesi amacı ile yapılmıştır. Derin çekme üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde kullanılan parametrelerin elde edilen kapların sertliğinin belirlenmesi üzerine çok az sayıda çalışmanın olduğu görülmüştür. Özellikle kalıp yüzey açısının yanısıra limit çekme oranı sonucu elde edilen kapların sertliği üzerine yapılmış hiçbir çalışmanın olmadığı belirlenmiştir. Bundan dolayı yapılan bu çalışma diğer çalışmalardan oldukça farklı ve özgün bir niteliğe sahiptir.

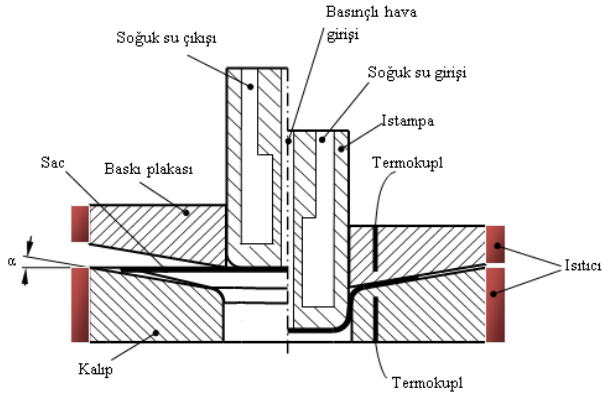
## 2. MALZEME VE YÖNTEM

Deneylerde, 1 mm kalınlığında ticari olarak temin edilmiş EN AW-5754 (AlMg3) sac malzeme kullanılmıştır. Malzeme, "H111" formunda temin edilmiş olup, çekme deneylerinden önce malzeme 380°C sıcaklıkta 4 saat tavlama tabii tutularak "O" formuna getirilmiştir. Kullanılan malzemenin kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilmiştir.

Sac malzemenin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla 5000 kN kapasiteli SHIMATZU marka çekme test cihazında 5 mm/dak çekme hızında 0°, 45° ve 90° olmak üzere üç farklı haddeleme yönünde toplam 9 adet numune çekme testine tabii tutulmuş ve ortalaması alınmıştır. Malzemenin mekanik özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

azaltmak amacıyla MoS<sub>2</sub> (3-4 µm) yağlayıcı kullanılmıştır. Şekil 1'de deney düzeneğinin şematik görüntüsü verilmiştir. Tablo 3'te ise deneylerde kullanılan işlem parametreleri verilmiştir.

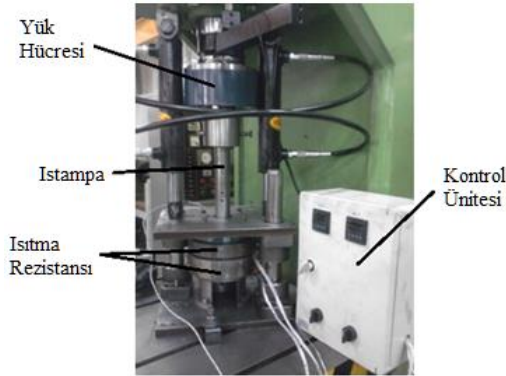
Çekilen kaplarında deformasyon sonrası oluşan sertlik ölçümü, EmcotestDuraScan mikrosertlik cihazı ile Şekil 3'de görüldüğü gibi hadde doğrultusu boyunca hassas bir şekilde kesilen ve bakalit içerisine alınan numune üzerinden 5 mm aralıklarla 200 gr yük uygulanarak(HV0.2) yapılmıştır. Derin çekme işlemi uygulanmadan ısıl işlem görmüş sacın ortalama sertliği 61,7 HV olarak ölçülmüştür.



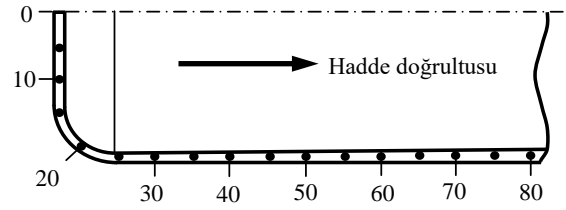
Şekil 1. Deney düzeneği şeması

Tablo 3. Deneylerde kullanılan işlem parametreleri

Parametre	Ölçü	Birim
Kalıp kenar radyüsü, R	8	mm
Istampa köşe radyüsü, r	8	mm
Baskı plakası kuvveti, BPK	1200, 2400, 3600	N
İlkel parça çapı, D	85	mm
Istampa hızı, V	4	mm/s
Zımba çapı, $d_z$	39,60	mm
Kalıp çapı, $d_k$	42,30	mm
Sac kalınlığı, t	1	mm
Tek taraflı kalıp boşluğu, c	1,35	mm
Kalıp yüzey açısı, $\alpha$	0, 5, 10, 15	°
Deney sıcaklığı, T	25, 100, 175, 250	°C



Şekil 2. Deney düzeneği



Şekil 3. Ekilen kapların mikrosertlik ölçüm şeması

### 3. BULGULAR

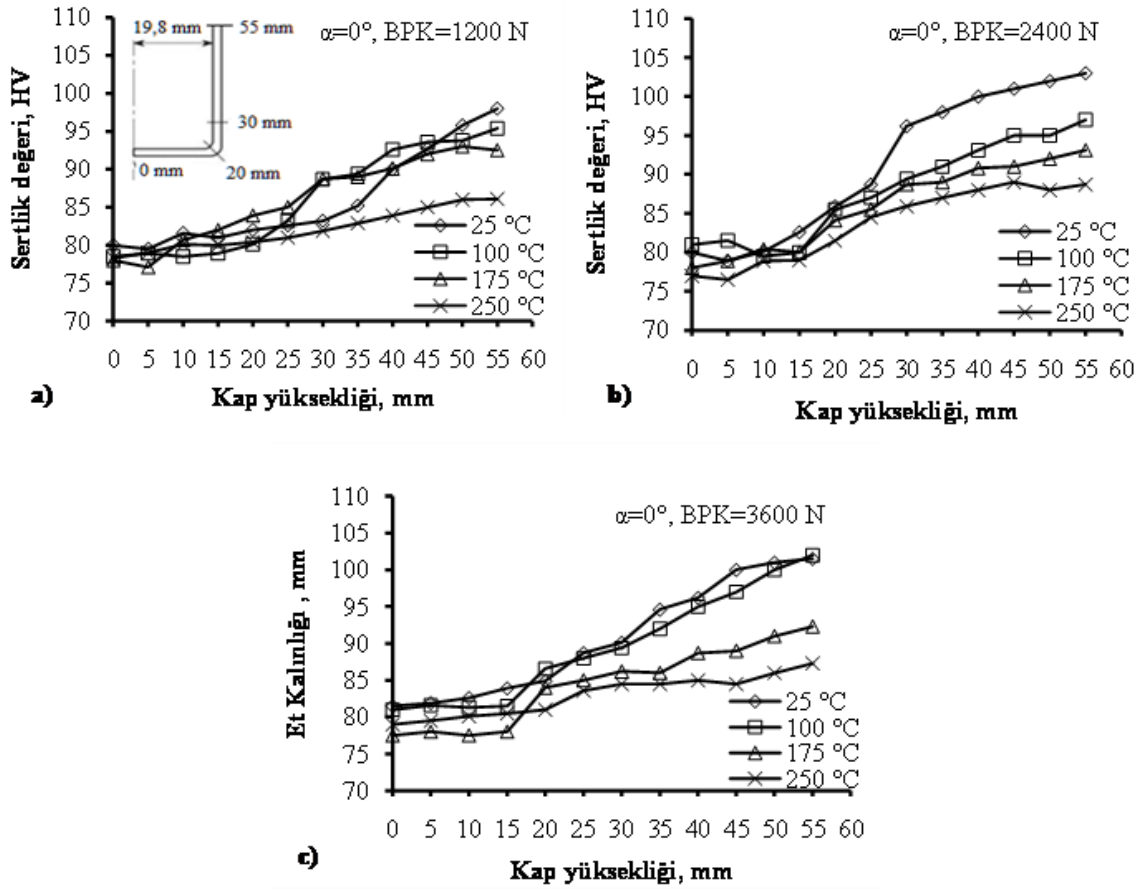
Yapılan derin çekme deneyleri sonucu oda sıcaklığında (25°C) 2,14 olan limit çekme oranı ( $L\dot{C}O=\beta$ ) sırası ile 100°C'de 2,17, 175°C'de 2,35 ve 250°C'de 2,80 oranına çıkmıştır. Çalışmada tüm sıcaklık, baskı plakası ve kalıp açılarında elde edilen kapların sertlikleri tüm  $L\dot{C}O$ 'lar için ölçülmüştür.

Şekil 4'de sıcaklığın kap duvarlarındaki sertlik dağılımı üzerindeki etkisi tüm baskı plakası kuvvetleri için verilmiştir. Şekillerden tüm baskı plakası kuvvetleri için düşük sertlik değerinin kap tabanında olduğu, kap ağızına doğru çıkıldıkça sertlik değerinin arttığı görülmektedir.

Şekillendirme esnasında en fazla plastik deformasyona uğrayan bölge kap ağız bölgesi olduğu için en büyük gerilme değeri ve sertlik de burada oluşmaktadır [7, 10].

Burada sonuçların yapılan çalışmalarla uyum içinde olduğu görülmektedir. Ayrıca şekillerden, sıcaklık arttıkça sertlik değerinin de düştüğü açık bir şekilde görülmektedir. Bu durumun sıcaklığın, dinamik deformasyon sertleşmesi olarak bilinen Portevin–Le Chatelier (PLC) etkisini ortadan kaldırması sonucu şekillendirmeyi kolaylaştırmasından kaynaklandığı söylenebilir [11, 12].

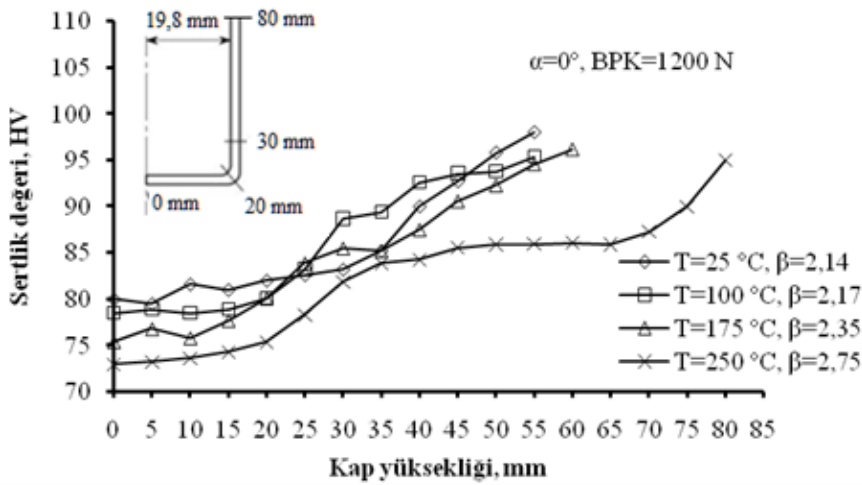
Yine şekillerden baskı plakası kuvvetinin sertliğe olan etkisi de görülmektedir. Seçilen baskı plakası kuvveti değerleri göz önüne alındığında çok bariz bir etkinin olmadığı görülecektir.



Şekil 4.  $\beta=2,14$  için açısız kalıplarla elde edilen numunelerde sıcaklığının sertlik dağılımı üzerindeki etkisi a) 1200 N, b) 2400 N [7], c) 3600 N

Şekil 5'de farklı çekme oranları sonucu 25°C'de  $\beta=2,14$ , 100°C'de  $\beta=2,17$ , 175°C'de  $\beta=2,35$  ve 250°C'de  $\beta=2,75$  olarak elde edilen kaplardaki sertlik dağılımı değerleri verilmiştir. En yüksek sertlik değerleri 25°C'de 98 HV, 100°C'de 95,4 HV, 175°C'de 96,2 HV ve 250°C'de 95 HV

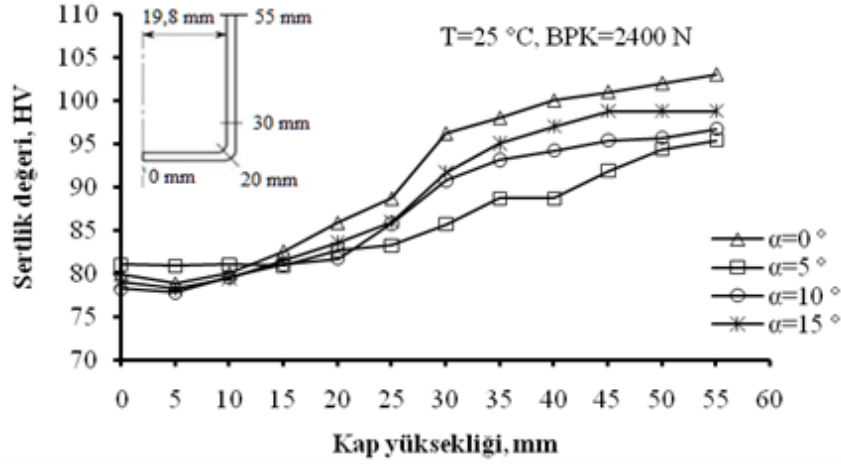
olarak elde edilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi LÇO  $\beta=2,14$ 'den  $\beta=2,75$ 'e çıkmasına rağmen sertlik değeri sıcaklığın etkisi ile değişmemiş kısmen de olsa azalmıştır. Bu da sıcaklığın şekillendirmede ne derece etkin bir parametre olduğunu açıkça göstermektedir.



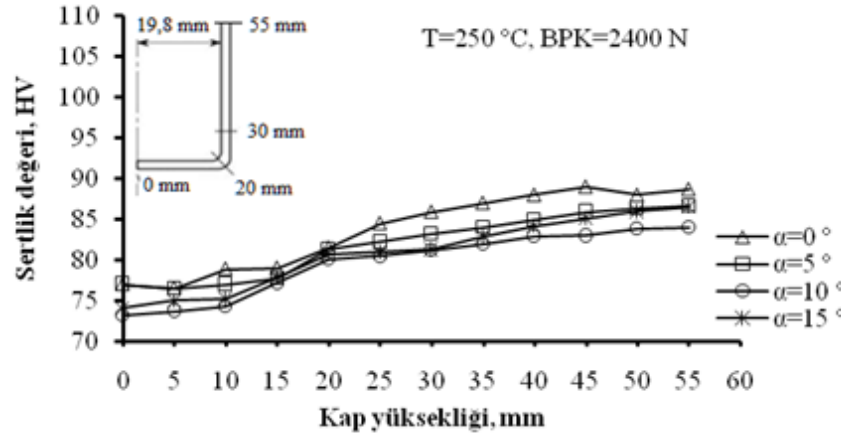
Şekil 5. Farklı LÇO ve sıcaklık değerleri sonucu elde edilen kaplardaki sertlik dağılımı

Şekil 6 ve Şekil 7’de sırası ile 25°C ve 250°C’de kalıp açısının sertlik dağılımı üzerindeki etkisi verilmiştir. Şekiller birlikte değerlendirildiğinde kap tabanından kap ağzına doğru çıkıldıkça sertlik değerlerinin arttığı, Şekil 6’da en düşük sertlik değerinin  $\alpha=5^\circ$  kalıpta, en yüksek sertlik değerinin ise  $\alpha=0^\circ$  kalıpta elde edildiği tespit edilmiştir. Şekil 7’de ise sıcaklık 250°C’ye çıktığında tüm

kalıp açıları için değişim aralığının birbirine yaklaştığı, farkın azaldığı görülmektedir. 250°C’de en yüksek sertlik değerinin açısız( $\alpha=0^\circ$ ) kalıplarda ölçüldüğü belirlenmiştir. Buradan kabın sertlik dağılımına kalıp açısının olumlu etkisinin olduğu söylenebilir. Bu durum, kalıp açısının malzeme akışını kolaylaştırması sonucunda deformasyon sertleşmesinin azalması ile açıklanabilir.



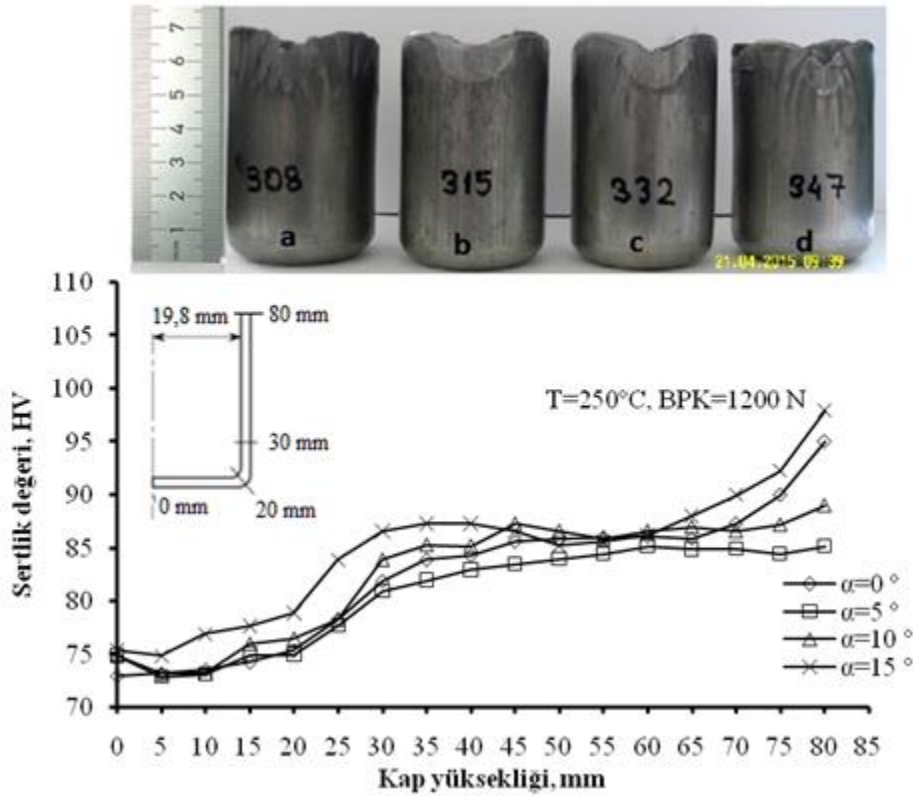
Şekil 6.  $\beta=2,14$  için kalıp açısının( $\alpha$ ) oda sıcaklığında sertlik dağılımı üzerindeki etkisi



Şekil 7.  $\beta=2,14$  LÇO için kalıp açısının( $\alpha$ ) 250°C’de sertlik dağılımı üzerindeki etkisi

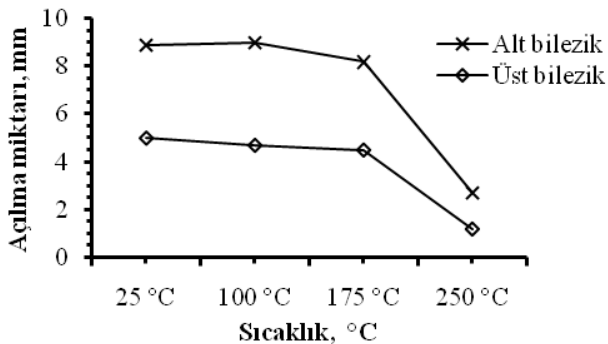
Şekil 8’de 250°C’de  $\beta=2,75$  çekme oranına sahip kaplar için kalıp açısının sertlik dağılımı üzerindeki etkisi verilmiştir. Şekiller incelendiğinde yine kap tabanından kap ağzına doğru çıkıldıkça sertlik değerlerinin arttığı, en düşük sertlik dağılımının  $\alpha=5^\circ$ ’lik kalıpta, en yüksek sertlik dağılımının ise  $\alpha=15^\circ$ ’lik kalıpta elde edildiği görülmektedir. Sertliğin, kap ağzına doğru malzeme

yığılmalarının deformasyon sertleşmelerini beraberinde getirmesinden dolayı arttığı, elde edilen kaplar ve sertlik ölçüm sonuçlarından kalıp açısının malzeme akışını kolaylaştırması neticesinde yığılmaların(aşırı deformasyonun) önlenmesi ve dolayısı ile de sertliğin azalmasına yol açtığı söylenebilir.



Şekil 8. 2,75 LÇO için kalıp açısının( $\alpha$ ) 250°C’de sertlik dağılımı üzerindeki etkisi, a)0°, b) 5°, c) 10°, d) 15°

Şekil 9’de sıcaklığın kabın alt ve üst bölgelerinden elde edilen bileziklerde oluşan açılma miktarına etkisi verilmiştir. Şekil incelendiğinde kabın radyüs bölgesinin hemen üzerinden(alt bilezik) alınan bilezikteki açılma miktarının kabın ağız kısmına yakın bölgeden(üst bilezik) alınan bilezikteki açılma miktarından daha fazla olduğu görülmektedir. Üst bilezikteki geri yaylanma miktarının düşük olmasının sebebi kap ağızındaki yığılma sonucu oluşan deformasyon sertleşmesinin geri yaylanmaya neden olan teğetsel gerilmeleri azaltmasıdır[7]. Yine sıcaklık göz önüne alındığında her iki bilezikte de sıcaklık arttıkça geri yaylanma miktarının düştüğü görülmektedir. Özellikle sıcaklık 250°C’ye çıktığında çok daha belirgin olmaktadır. Açılma miktarı, sıcaklığın sertlikle olan ilişkisini de ortaya koymaktadır. Sıcaklık arttıkça sertlik ve açılma miktarının düştüğü görülmektedir.



Şekil 9. Sıcaklığın bileziklerdeki acılma miktarına etkisi

#### 4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Bu çalışma, belirlenen sıcaklıklar, baskı plakası kuvvetleri ve kalıp yüzey açılarının elde edilen kapların sertliğine etkisinin belirlenmesi amacı ile yapılmıştır. Çalışma neticesinde çıkarılan genel sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Üretilen kaplarda deformasyon sonucu oluşan sertlik kaplardaki geri yaylanma ve dolayısı ile de gerilmeler hakkında önemli bilgiler vermektedir[7]. Çalışmadan sıcaklık arttıkça sertliğin düştüğü, kalıp açısı arttıkça sertliğin  $\alpha=10^\circ$ ’ye kadar düştüğü daha sonra yeniden arttığı ve bu çalışma için seçilen baskı plakası kuvvetlerinin etkisinin çok az olduğu belirlenmiştir. Yine çalışmadan en düşük sertliğin kap tabanında en büyük sertliğin de en fazla deformasyona uğrayan kap ağızında olduğu görülmüştür. Ayrıca LÇO 2,14’de 2,75’e çıkarak %28,5’luk bir artış olmasına rağmen sıcaklığında etkisi ile sertlik değerinde bir artış olmamıştır. Yapılan çalışma neticesinde sertliği etkileyen parametreler; sıcaklık, kalıp açısı ve baskı plakası kuvveti olarak sıralanabilir.

#### KAYNAKLAR

- [1]. N. Şen and N. Kurgan, “Improving deep drawability of HC300LA sheet metal by warm forming” The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2016, Volume 82, Issue 5–8, pp 985–995
- [2]. O. Seçgin and V. Savaş, “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)

[3]. C. Özek and E. Ünal, “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).

[4]. D.L. Greene and J. DiCicco, “Engineering-economic analyses of automotive fuel economy potential in the United States”. ORNL/TM-2000/26, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN, (2000).

[5]. M. Cotterell, J. Schambergerova, J. Ziegelheim and J. Janovec, “Dependence of micro-hardness on deformation of deep-drawing sheet metal”, *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 124, Issue 3, 20 June 2002, Pages 293-296.

[6]. G. Kim and O. Kwon, Formation of abnormally coarse grain structure in cold rolled strip, in: *Proceedings of the THERMEC’88 International Conference on Physical Metallurgy of Thermo-mechanical Processing of Steels and Other Metals*, 1988, pp. 668–673.

[7]. C. Özek and V. Taşdemir, “Experimental investigation of the effects of blank holder force and die surface angle on

the warm deep drawing of AA5754-O alloy”, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 32:1 (2017) 193-201.

[8]. S. Tsuchida, K. Ito, H. Tanaka and N. Kanetake, “Strain and hardness distributions in the cup wall drawn with ironing of 3004-H19 aluminum alloy sheets”, *Journal of Japan Institute of Light Metals*, Vol. 59, No. 1, 2009, pp. 24–29.

[9]. B. Lela, I. Duplančić and D. Bajić, “Parametric and non-parametric modelling of earing and hardness of deep drawn cups”, *Materials Science and Technology*, 2009, Vol.25 No: 8.

[10]. W.C. Emmens “Hardening in Deep Drawing”, *IDDRG Working Group Meetings*, June 8-9, 2000, Ann Arbor, MI, USA.

[11]. K. Farhoud, A.S. Khan and A. Pandey, “Negative to positive strain rate sensitivity in 5xxx series aluminum alloys: experiment and constitutive model”, *Int. J. Plast.*, 55 (0), 232–46, 2014.

[12]. C. Bernard, J. Coër, H. Laurent, P. Chauvelon and P.Y. Manach, “Relationship between local strain jump and temperature bursts due to the Portevin–Le Chatelier effect in an Al–Mg alloy”, *Exp. Mech.*, 53 (6), 1025–32, 2013.