

HC300LA ve HC420LA Sac Malzemelerde Ilık Şekillendiriminin Geri Esnemeye Etkisinin Deneysel İncelenmesi

*¹Nuri ŞEN ve ²Naci KURGAN

*¹ Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Düzce / TÜRKİYE

² Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Samsun / TÜRKİYE

Özet

Yüksek mukavemetli sac malzemelerin otomotiv endüstrisinde kullanımları yüksek dayanım/ağırlık özelliklerinden dolayı giderek yaygınlaşmaktadır. Bu tür yüksek mukavemetli sac malzemelerin otomobillerin kapısında, kaputunda vb. bölgelerinde kullanılması durumunda araç emniyetinin artmış olacağı, mevcut kullanılan sac kalınlığını düşürerek araç ağırlığının azalmış olması bununla beraber yakıt sarfiyatında azalmaların olacağı bilinmektedir. Fakat bu tür yüksek mukavemetli çelik malzemeleri şekillendirme sonucunda kalıntı gerilmelerden dolayı geri esnemeler meydana gelmektedir. Yapılan bu çalışmada yüksek mukavemetli çeliklerden HC300LA ve HC420LA sac malzemeler oda sıcaklığı ve ılık sıcaklıklarda derin çekme yöntemiyle şekillendirilerek geri esneme değerleri incelenmiştir. Ilık şekillendirme yöntemiyle şekillendirilen derin çekme kaplarında, geri esnemenin oda sıcaklığında şekillendirilen kaplara göre 1 % oranında daha az olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: HC300LA ve HC420LA, ılık derin çekme, geri esneme

Abstract

The Experimental Investigation of the Effect of Warm Forming to the Springback in HC300LA and HC420LA Sheet Materials

The use of high-strength sheet material applications in the automotive industry has become widespread due to their high strength/weight ratios. Using of these high strength sheet materials in door panels and bonnet is known to be effective in safety of vehicle and fuel consumption as it decrease the thickness of parts for the same strength. But the springback occur in these materials due to the residual stresses. In this study, the springback values of HC300LA and HC420LA steels for deep drawing processes in room temperature(RT) and elevated temperatures were investigated. It is observed that warm deep drawn(WDD) cups in elevated temperatures showed 1% less springback value than the ones deep drawn in room temperature.

Key words: HC300LA and HC420LA, warm deep drawing, springback

1. Giriş

Sac levhaların derin çekme ile şekillendirilmesi işlemi özellikle otomotiv sanayinde geniş uygulama alanı olan şekillendirme yöntemidir[1]. Geri esneme sac metal şekillendirmede önemli bir kusurdur. Ürün geometrisi doğruluğunu büyük ölçüde etkiler. Şekillenme esnasında geri esnemeyi tahmin etmek zordur[2].

Yüksek mukavemetli çeliklerden DP600 çeliğine yüksek sıcaklıklarda çekme ve geri esneme davranışı üzerine yapılan çalışmada sıcaklığın artmasıyla şekillendirilebilirlik ve geri esnemenin azaldığı rapor edilmiştir[3].

Alüminyum alaşımlarının kalıntı gerilmesi ve geri esneme de sıcaklığın etkisi üzerine yapılan çalışmada ise ılık şekillendirme işleminde geri esnemeyi etkileyen ana faktörün şekillenmiş kap duvarlarındaki dairesel gerilmelerin dağılımı olduğu rapor edilmiştir[4].

yüksek mukavemetli çeliklerin sıcak ve ılık sac şekillendirme durumunda geri esnemesi üzerine yapılan çalışmada 750 K üzeri sıcaklıklarda yapılan şekillendirmelerde geri esnemenin belirgin bir şekilde azaldığı aynı zamanda bu kritik sıcaklık ise ferritik tanelerin yeniden kristalleşme sıcaklığı olduğu rapor edilmiştir[5], [6].

AZ31B malzemesinin ılık şekillendirme de geri esneme etkisi farklı zımba radyüslerinde V bükme yapılarak araştırılmıştır. Yapılan bu çalışmada zımba radyüsünün azalmasıyla ve şekillendirme sıcaklığının artmasıyla geri esnemenin azaldığı rapor edilmiştir[7]. Deneysel çalışmaların yanında sayısal çalışmalarda yapılmaktadır[8].

Bu çalışmada yüksek mukavemetli çeliklerin şekillendirilmesinde yenilikçi bir yöntem olan ılık şekillendirmenin geri esnemeye olan etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Bu çalışma sonucunda, ılık şekillendirmenin limit çekme oranını artırmasının yanında ılık şekillendirmenin geri esnemeye olan olumlu etkisi ortaya konmuştur.

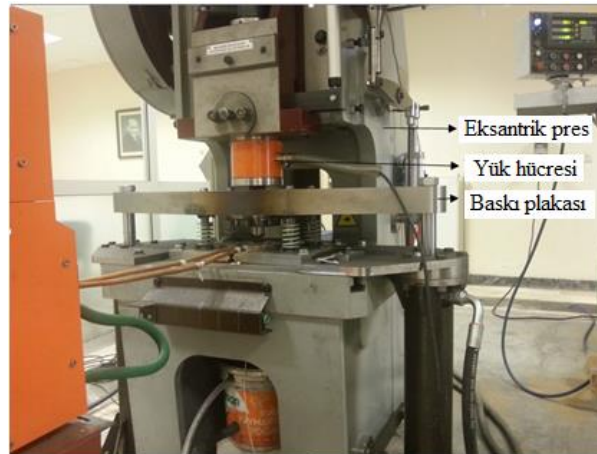
2. Malzeme ve Metot

2.1. Malzeme

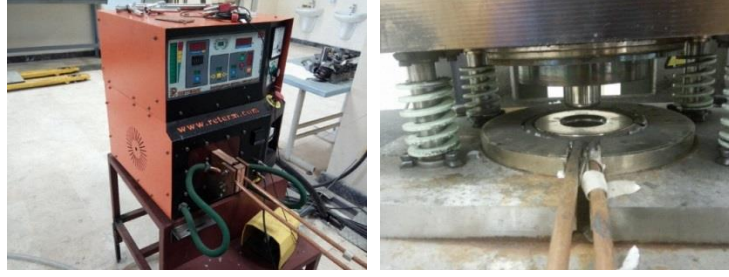
Bu çalışmada, otomotiv endüstrisinde kullanılan soğuk şekillendirmeye uygun, yüksek akma dayanımlı, soğuk haddelenmiş çeliklerden DIN EN 10268-2006 standartı HC300LA ve HC420LA kalitelerindeki (Erdemir 7128 ve 7140) sac malzeme kullanılmıştır.

2.2. Deney Düzeneği

RT ve WDD deneyleri Şekil 1’de verilen 80 ton kapasiteli mekanik eksantrik pres üzerine kurulan, ısıtma ve soğutma sistemi özel olarak tasarlanan deney düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. WDD deneylerinde deney numunesinin baskı flanş bölgesini ve kalıp sistemini ısıtmak için, Şekil 2’de gösterilen zaman ve sıcaklık değişkenleri, programlanabilir logic control system (PLC) tarafından kontrol edilen indüksiyon tavlama makinası (50 kW) kullanılmıştır.

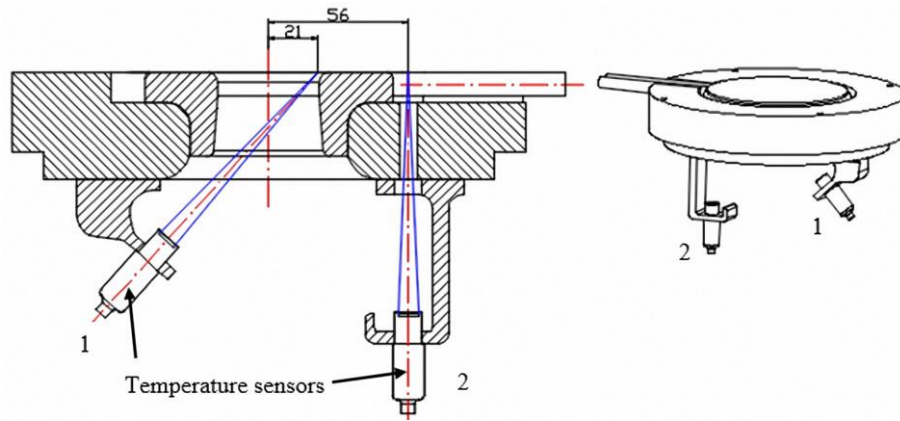


Şekil 1. Mekanik eksantrik pres ve derin çekme sistemi

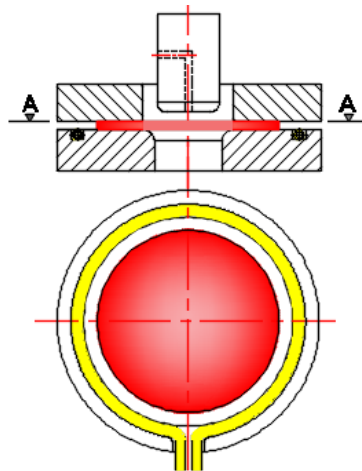


Şekik 2. İndüksiyon ısıtma sistemi

WDD deneylerinde deney numunesinin flanş bölgesinin sıcaklığını ölçmek için Şekil 3'te görüldüğü gibi kalıp sistemine iki adet kızıl ötesi sıcaklık sensörü monte edilmiştir. Bu sıcaklık sensörlerinden 1 nolu sensör flanş bölgesinin başlangıcındaki bir noktaya odaklanmıştır. 2 nolu sensör ise kalıp plakası üzerinde açılan bir deliğin içinden geçerek flanş bölgesinin dış noktasına odaklanmıştır. Böylece, flanş bölgesinin sıcaklığını ölçmek için yeni bir ölçüm yöntemi de geliştirilmiştir. Sensörlerin kalıp üzerindeki montajı ve sıcaklık ölçme yöntemi Şekil 3'de verilmiştir. Flanş bölgesinin ısıtılmasının şematik gösterimi, Şekil 4'de verilmiştir.



Şekik 3. Sıcaklık sensörlerinin montajı

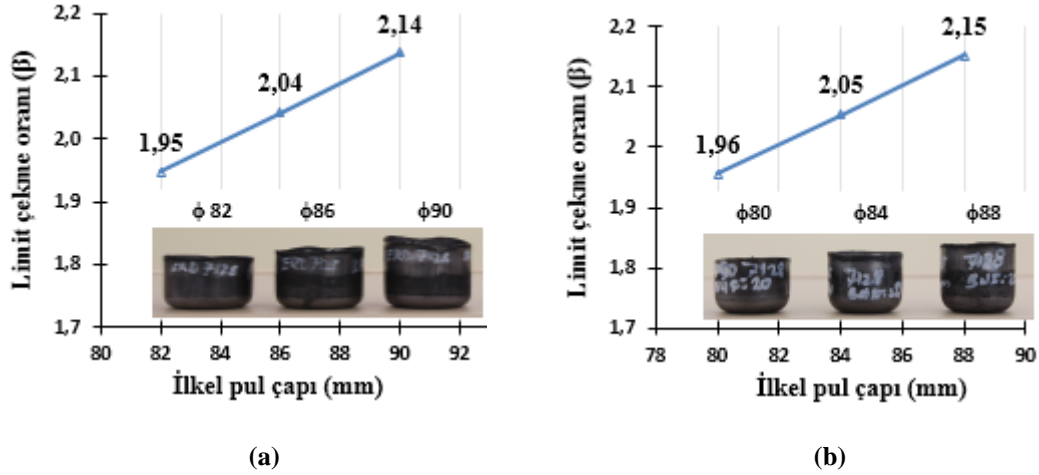


Şekik 4. Flanş ısıtma sisteminin şematik gösterimi

3. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

3.1. Limit Çekme Oranı (LDR)

Derin çekme oranının özel bir halidir. Tanım olarak, yırtılmadan ve buruşmadan ideal şekilde çekilebilecek en büyük dairesel is parçası çapının, bu işlemi gerçekleştirebilmesi öngörülen zımba çapına oranıdır [9]. LDR malzemenin şekillendirilebilirliğinin bir göstergesidir.



Şekil 5. HC300LA sacına ait, LDR ve ilkel pul çapı grafiği, a) t=1,2 mm kalınlık b) t=1,5 mm kalınlık.

HC300LA sac malzemesinin şekillendirilebilirliğini değerlendirmek için RT ve ılık sıcaklıklarda yapılan derin çekme deneylerinden elde edilen sonuçlar RT için Şekil 5 (a) ve (b) de verilmiştir. WDD prosesiyle şekillendirilmiş kaplar t=1,2 mm kalınlık için Şekil 6'da ve t=1,5 mm kalınlık için Şekil 7 de verilmiştir.

İlkel pul çapı	φ 94	φ96	φ98	φ100	φ102	φ104	φ106	φ108	φ110
DR (β)	2.23	2.28	2.33	2.37	2.42	2.47	2.52	2.56	2.61



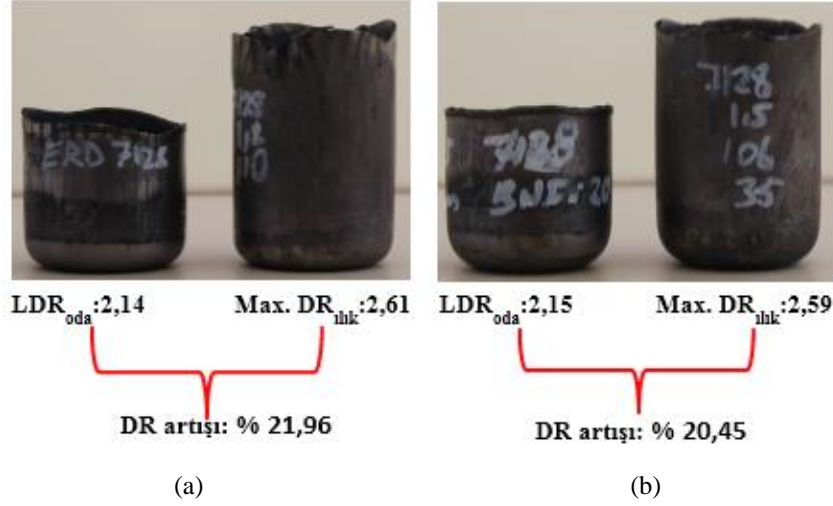
Şekil 6. HC300LA sacına ait, t=1,2 mm sac malzemesine ait, WDD prosesiyle şekillendirilmiş kaplar.

İlkel pul çapı	φ 90	φ92	φ94	φ96	φ98	φ100	φ102	φ104	φ106
DR (β)	2.20	2.25	2.30	2.35	2.40	2.45	2.46	2.54	2.59

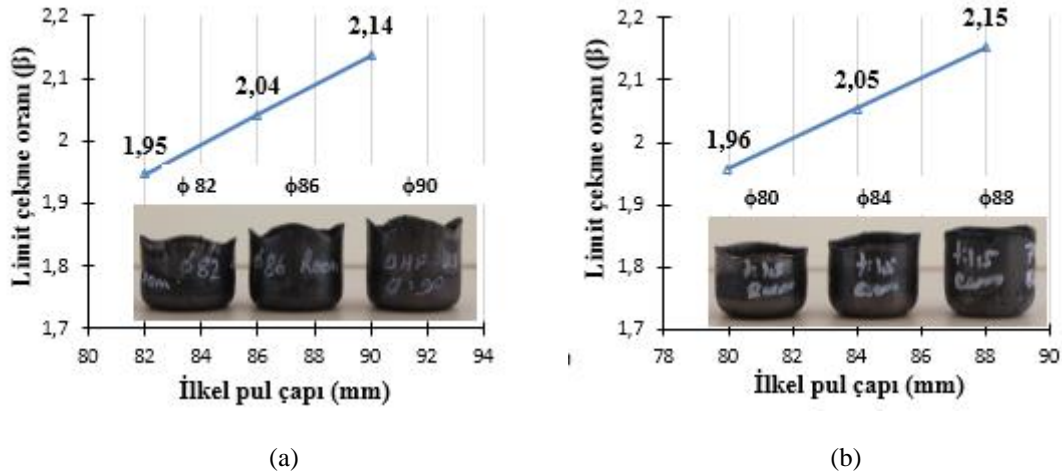


Şekil 7. HC300LA sacına ait, t=1,2 mm sac malzemesine ait, WDD prosesiyle şekillendirilmiş kaplar.

Yüksek mukavemetli sac malzemelerden HC300LA malzemesi RT şartlarında şekillendirilmesi sınırlı olmasına rağmen WDD prosesiyle, $t=1,2$ mm kalınlık için % 21,96 ve $t=1,5$ mm kalınlık için % 20,45 oranında önemli bir artış sağladığı Şekil 8’de görülmektedir.



Şekil 8. HC300LA, DR artış oranları. a) 1,2 mm kalınlık b) $t=1,5$ mm kalınlık.



Şekil 9. HC420LA sacına ait, LDR ve ilkel pul çapı grafiği, a) $t=1,2$ mm kalınlık b) $t=1,5$ mm kalınlık.

HC420LA sac malzemesinin şekillendirilebilirliğini değerlendirmek için RT ve ılık sıcaklıklarda yapılan derin çekme deneylerinden elde edilen sonuçlar RT için Şekil 9 (a) ve (b) de verilmiştir. WDD prosesiyle şekillendirilmiş kaplar $t=1,2$ mm kalınlık için Şekil 10’da ve $t=1,5$ mm kalınlık için Şekil 11 de verilmiştir.



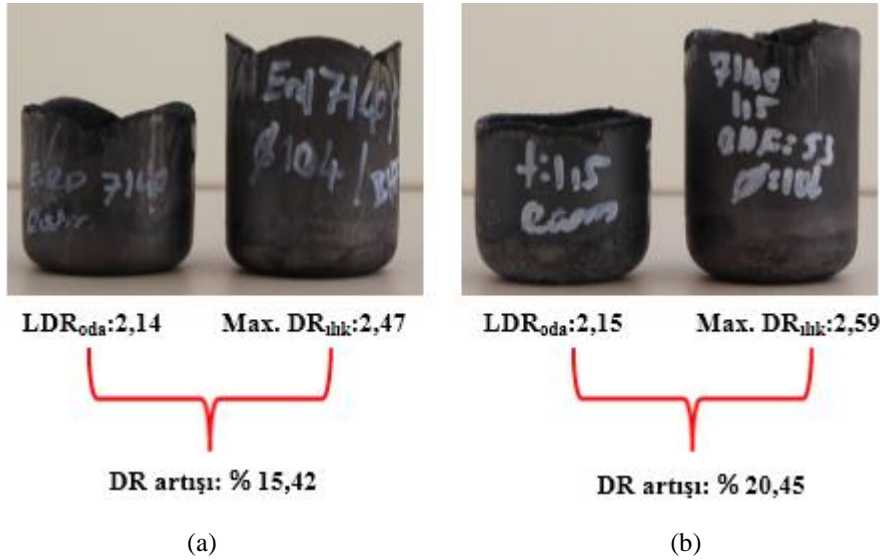
Şekil 10. HC420LA sacına ait, $t=1,2$ mm sac malzemesine ait, WDD prosesiyle şekillendirilmiş kaplar.

İlkel pul çapı	φ90	φ92	φ96	φ98	φ100	φ102	φ104	φ106
DR (β)	2.20	2.25	2.35	2.40	2.45	2.46	2.54	2.59



Şekil 11. HC420LA sacına ait, t=1,5 mm sac malzemesine ait, WDD prosesiyle şekillendirilmiş kaplar.

Yüksek mukavemetli sac malzemelerden HC420LA malzemesi RT şartlarında şekillendirilmesi sınırlı olmasına rağmen WDD prosesiyle, t =1,2 mm kalınlık için % 15.42 ve t=1,5 mm kalınlık için % 20.45 oranında önemli bir artış sağladığı Şekil 12’de görülmektedir.

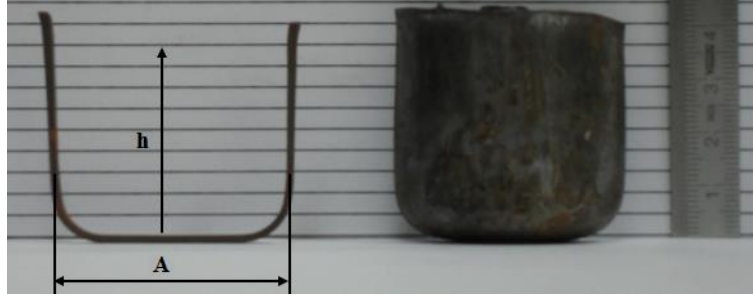


Şekil 12. HC420LA, DR artış oranları. a) 1,2 mm kalınlık b) t=1,5 mm kalınlık.

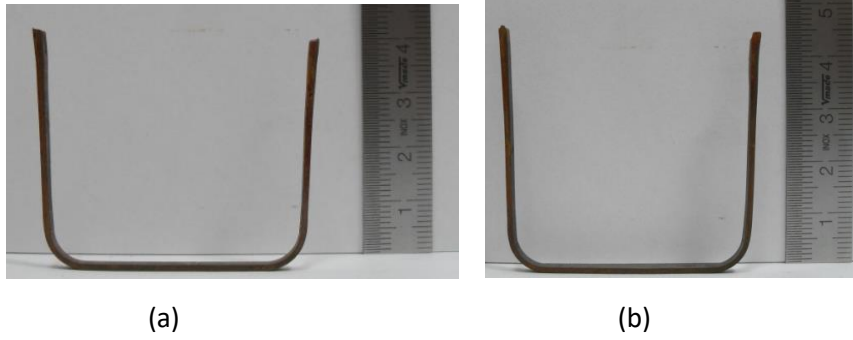
3.2 Sıcaklığın Geri Esneme Etkisi

Sac metal parçaların plastik ve elastik şekillendirme işlemleri sonucunda kalıntı gerilmelerden dolayı geri esneme meydana gelmektedir. Deneysel çalışmalarda, sıcaklığın geri esnemeye olan etkisi incelenmiştir. Yüksek sıcaklıklarda malzemenin mukavemetinin azalmasıyla 200 °C ve üzeri şekillendirme sıcaklıklarında geri esneme değeri azaldığı rapor edilmiştir[8]. RT ve WDD deneylerinde şekillendirilen kaplarda geri esnemenin ölçülmesi için şekillendirilen sac malzemeler tel erozyon tezgâhında şeritler (strips) halinde kesilmiştir. Geri esnemenin ölçüm noktaları Şekil 13’de verilmiştir. Bu ölçümlerde, 4 er mm aralıklarla çizilmiş paralel çizgiler üzerinden ölçüler alınmıştır. Elde edilen ölçüm sonuçları HC300LA sac malzeme ve 1,2 mm sac kalınlığı için ölçümü yapılan numuneler Şekil 14’de, geri esneme ölçüm grafikleri Şekil 15’de verilmiştir. 1,5 mm sac kalınlığı için ölçümü yapılan numuneler Şekil 16’da, geri esneme ölçüm grafikleri Şekil 17’de verilmiştir. HC420LA sac malzeme ve 1,2 mm sac kalınlığı için ölçümü yapılan numuneler Şekil 18’de, geri esneme ölçüm grafikleri Şekil 19’da verilmiştir. 1,5 mm sac kalınlığı için ölçümü yapılan numuneler Şekil 20’de, geri esneme ölçüm grafikleri Şekil 21’de verilmiştir. Her iki kalınlık değeri için de maksimum geri esneme

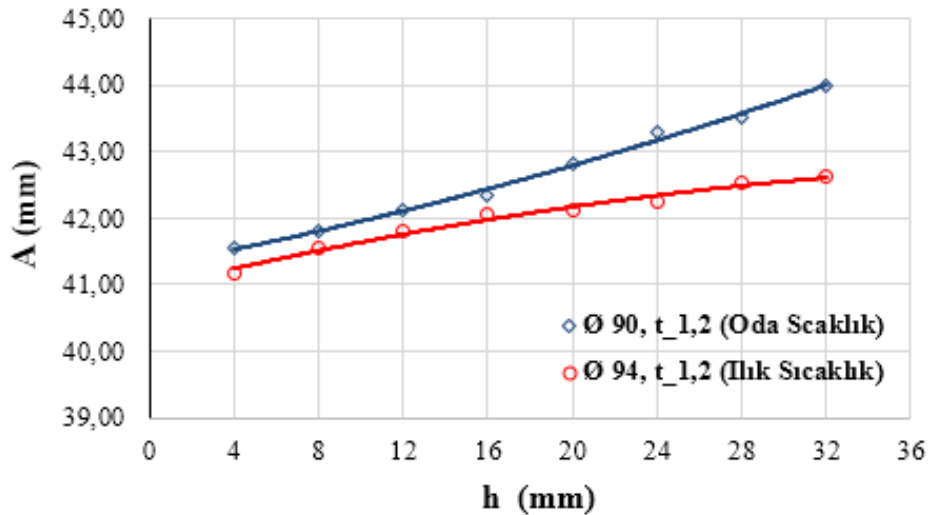
değeri RT'da % 1daha fazla ölçülmüştür. Bu durum gözle de belirgin bir şekilde Şekil 14, 16, 18 ve 20'de gözlemlenmektedir. Yüksek mukavemetli sac metal malzemelerden DP600 sacı şekillendirmede sıcaklığın artmasıyla geri esnemenin azaldığı rapor edilmiştir[3] [6]. AA5754-0 Alüminyum malzemeye oda sıcaklığından 200 °C sıcaklık aralığındaki şekillendirmeler sonucunda oluşan derin çekilmiş kaplarda geri esnemenin ana sebebi kap duvarlarındaki çevresel stresslerin dağılımı olduğu rapor edilmiştir[4].



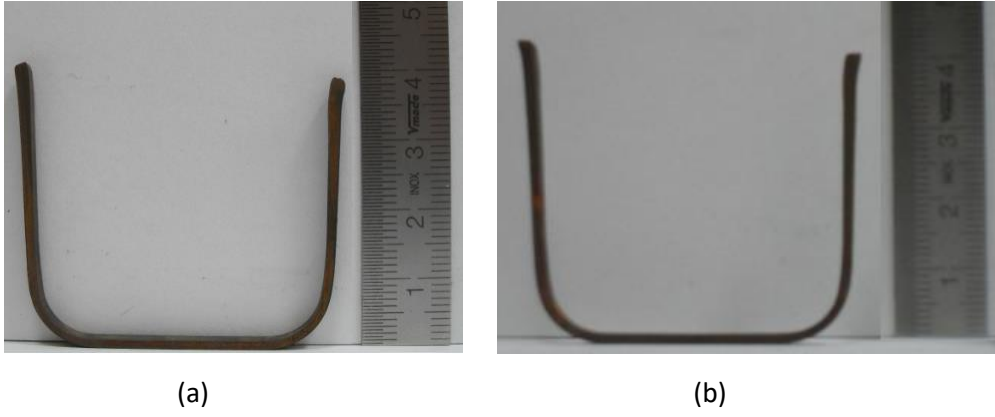
Şekil 13. Geri esneme ölçüm noktaları.



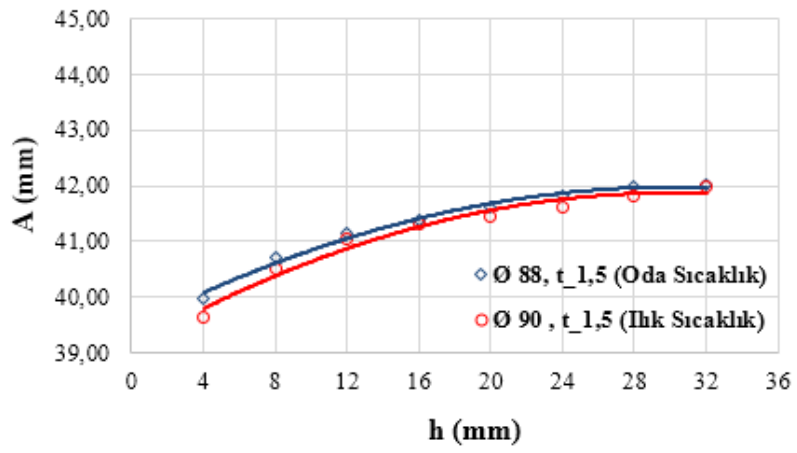
Şekil 14. HC300LA, $t= 1,2$ mm sac malzemesine ait numune; a) oda sıcaklığı $\phi 90$ b) ılık sıcaklık $\phi 94$.



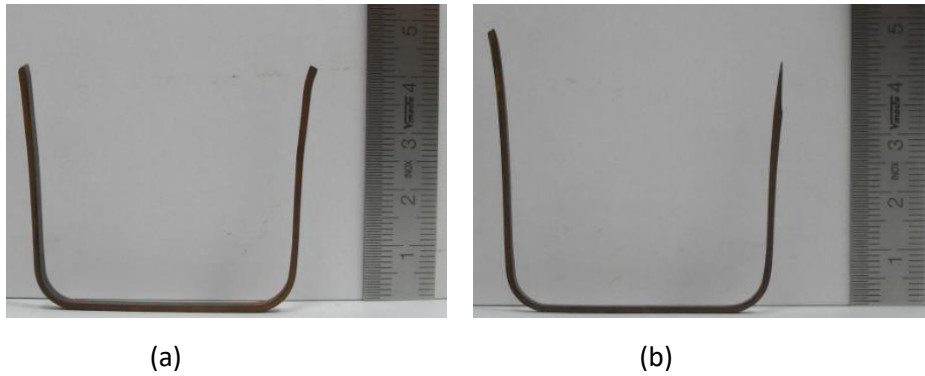
Şekil 15. HC300LA, $t= 1,2$ mm sac malzemesine ait, geri esneme ölçümü.



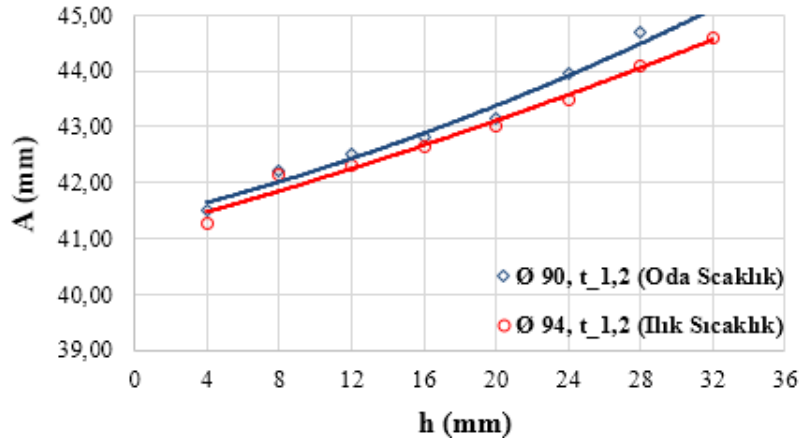
Şekil 16. HC300LA, $t=1,5$ mm sac malzemesine ait numune; a) oda sıcaklığı ϕ 88 b) ılık sıcaklık ϕ 90.



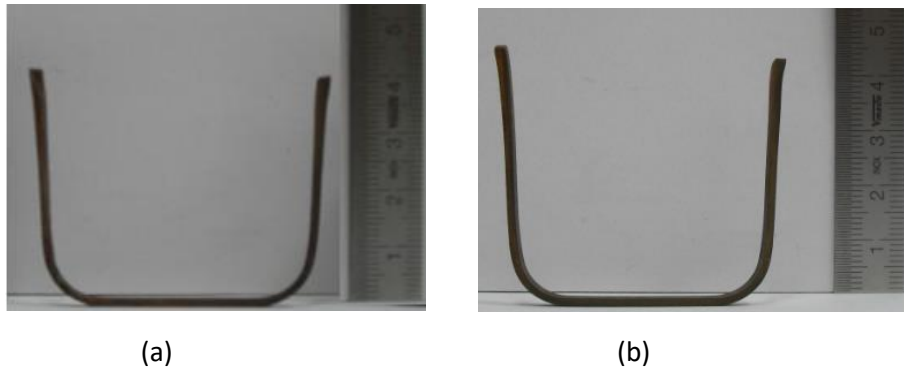
Şekil 17. HC300LA, $t=1,5$ mm sac malzemesine ait, geri esneme ölçümü.



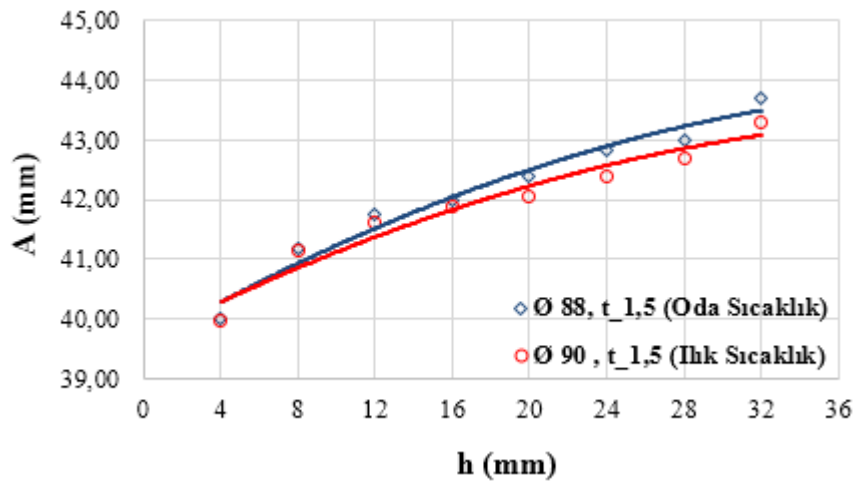
Şekil 18. HC420LA, $t=1,2$ mm sac malzemesine ait numune; a) oda sıcaklığı ϕ 90 b) ılık sıcaklık ϕ 94.



Şekil 19. HC420LA, t= 1,2 mm sac malzemesine ait, geri esneme ölçümü.



Şekil 20. HC420LA, t= 1.5 mm sac malzemesine ait numune; a) Oda sıcaklığı φ 88 b) Ilık sıcaklık φ 92.



Şekil 21. HC420LA, t= 1,5 mm sac malzemesine ait, geri esneme ölçümü.

4. Sonuçlar

WDD prosesi yüksek mukavemetli sac metal malzemelerin şekillendirilmesinde yenilikçi bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, WDD yöntemiyle şekillendirilen yüksek mukavemetli HC300LA ve HC420LA sac malzemenin geri esnemeye olan etkisi araştırılmıştır. Ayrıca deneysel çalışma için yeni bir ısıtma ve soğutma sistemi tasarlanmış ve

deneysel çalışmalarda kullanılmıştır. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- HC300LA sac malzemenin WDD ile şekillendirilmesinde RT ile şekillendirmeye göre $t=1,2$ için % 21.96, $t=1,5$ için % 20.45 DR artışı elde edilmiştir.
- HC420LA sac malzemenin WDD ile şekillendirilmesinde RT ile şekillendirmeye göre $t=1,2$ için % 15.42, $t=1,5$ için % 20.45 DR artışı elde edilmiştir.
- WDD prosesiyle şekillendirilen kaplarda geri esneme % 1 oranında daha az gözlemlenmiştir.

Teşekkür

Bu çalışmada, Atılım Üniversitesi İmalat Mühendisliği Bölümü, Laboratuvar Teknikerlerine, Metal Şekillendirme ve Mükemmeliyet Merkezi (MŞMM) ve personeline katkılarından dolayı teşekkür ederiz. Bu çalışma, Karabük Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından KBÜ-BAP-13/2-Dr-017 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

5. Kaynaklar

- [1] Cemil Günhan ERHUY, “Yüksek dayanımlı düşük alaşımlı çelik sac üzerinde geri esnemenin şekillendirmeye etkisini incelenmesi,” 2008.
- [2] N. Narasimhan and M. Lovell, “Predicting springback in sheet metal forming: An explicit to implicit sequential solution procedure,” *Finite Elem. Anal. Des.*, vol. 33, no. 1, pp. 29–42, 1999.
- [3] F. Ozturk, S. Toros, and S. Kilic, “Tensile and Spring-Back Behavior of DP600 Advanced High Strength Steel at Warm Temperatures,” *J. Iron Steel Res. Int.*, vol. 16, no. 6, pp. 41–46, 2009.
- [4] R. Grze, P. Y. Manach, H. Laurent, S. Thuillier, and L. F. Menezes, “Influence of the temperature on residual stresses and springback effect in an aluminium alloy,” *Int. J. Mech. Sci.*, vol. 52, no. 9, pp. 1094–1100, 2010.
- [5] J. Yanagimoto, K. Oyamada, and T. Nakagawa, “Springback of High-Strength Steel after Hot and Warm Sheet Formings,” *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 54, no. 1, pp. 213–216, 2005.
- [6] J. Yanagimoto and K. Oyamada, “Mechanism of springback-free bending of high-strength steel sheets under warm forming conditions,” *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 56, no. 1, pp. 265–268, 2007.
- [7] L. Wang, G. Huang, H. Zhang, Y. Wang, and L. Yin, “Evolution of springback and neutral layer of AZ31B magnesium alloy V-bending under warm forming conditions,” *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 213, no. 6, pp. 844–850, 2013.
- [8] H. S. Kim and M. Koç, “Numerical investigations on springback characteristics of aluminum sheet metal alloys in warm forming conditions,” *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 204, no. 1–3, pp. 370–383, 2008.
- [9] H. Sm, G. Ak, and S. Sk, “Investigation of Material Model for Simulations of Deep Drawing in Dynamic Strain Aging Region,” *Procedia Mater. Sci.*, vol. 6, no. Icmcp, pp. 1157–1160, 2014.