

# AA 5754 Sacının Farklı Sıcaklıklarda Hidrolik Akışkanla Şekillendirilmesi

M.Yaşar, İ.Kadı, H.Evlen

Karabük Üniversitesi, Karabük/Türkiye, myasar@karabuk.edu.tr  
ikadi@karabuk.edu.tr  
hakgul@karabuk.edu.tr

## Hydroforming of AA5754 Al Alloy at Elevated Temperatures

**Abstract**—The hydroforming operation was carried out to characterize the formability of AA5754 aluminum sheet at elevated temperature (room temperature, 150°C and 250°C). Two different die geometries were used for hydroforming. The results of both dies bulging operations show the different changing tendency of the formability of aluminum sheet at elevated temperature. The appropriate hydroforming temperature of AA5754 aluminum sheet is about 150–250°C for temperature range of this study. The reasons for the considerable difference between the formability characterized by the two different die geometry and elevated temperatures are discussed.

**Keywords**—Hydroforming, AA5754, blank holder force, temperature, bulging height

### I. Giriş

YÜKSEK basınç altında şekillendirme (Hydroforming) işleminde kalıp tarafından sıkıştırılmış içi boş yapıya sahip borunun içine veya sac üzerine yüksek basınçlı akışkan gönderilerek borunun/sacın cidarlarının kalıbın geometrisine göre genişlemesi ve istenen şekle getirilmesidir.

Otomotiv, uçak ve uzay endüstrisinde kullanılan malzemenin önemi kadar bu malzemenin şekillendirilmesinde kullanılacak teknoloji ve hafif araçlar üretmek de şu an olduğu gibi gelecekte de önemini koruyacaktır. Diğer şekillendirme metotları kullanılarak üretilen karmaşık şekle sahip bir elemanda, kaynak işleminde olduğu gibi, ürün birkaç parçadan oluşmakta, daha ağır olmakta, boyutsal hassasiyeti çok iyi olmamakta ve dolayısıyla bunların hepsi maliyeti arttırmaktadır. Birkaç özel üretim yöntemi ile elde edilebilecek bir otomotiv yada uçak parçası yüksek basınç altında şekillendirme işlemi kullanılarak, bir defada şekillendirilebildiği için, bu tip malzemelerin üretilmesi konusunda diğer üretim yöntemlerine göre hidro şekillendirme işlemi büyük avantaj sağlamaktadır [1].

5xxx serisi alüminyum alaşımlarının düşük yoğunlukları, kaynak kabiliyeti, korozyon dayanımı, yüksek mukavemet-ağırlık oranı gibi avantajları büyük ebatlı geometrilerin oluşturulmasında tercih edilmelerini sağlamaktadır [2]. Bununla birlikte, geleneksel derin çekme kalitesindeki çelik saclarla kıyaslandıklarında zayıf şekillenebilme kabiliyetleri ve

şekillendirme sonrası iyi bir yüzey kalitesinin elde edilememesi bu alaşımları dezavantajlı duruma düşürmektedir [2]. Bu sorun özellikle kompleks geometri parçaların şekillendirilmesinde daha çok görülmektedir.

Bazı araştırmacılar, 5xxx serisi alaşımların yüksek dayanım ve iyi yüzey kalitesi gibi özelliklerin arandığı alanlarda kullanılabilirliğini sağlayabilmek için çeşitli çalışmalar yapmışlardır. Ancak oda sıcaklığında bu alaşımların şekillendirilebilirliğinin sınırlı olması araştırmacıları alternatif çözüm yolları aramaya yöneltmiştir. Son zamanlarda yapılan araştırmalara göre; şekillendirme işlemi boyunca yeniden kristalleşme sıcaklığının üstündeki sıcaklıklarda işlem yapılması alüminyum alaşımlarının akma noktasını ve deformasyon sertleşmesi üssünü düşürmekte, böylece daha iyi şekillendirme işlemi gerçekleştirilebilmekte, iyi bir yüzey kalitesi elde edilebilmektedir [2,3].

Al alaşımlarının sıcak şekillendirilmesi konusu farklı görüşleri de beraberinde getirmiştir. Koç ve arkadaşları [4] yaptıkları çalışmada AA5083 alaşımını warm forming ile şekillendirmişler ve kalıp sıcaklığının yağdan daha yüksek olduğu durumlarda daha iyi bir şekillendirmenin gerçekleştiğini savunmuşlardır.

Quan ve arkadaşları 7075 alüminyum alaşımının sıcak deformasyon boyunca dinamik gevşeme (sertliğin giderilmesi) davranışını izotermal sıcak sıkıştırma testleri ile 250°C~450°C sıcaklık değerleri arasındaki 5 farklı sıcaklıkta ve dört farklı deformasyon hızıyla (0.01, 0.1, 1 ve 10s<sup>-1</sup>) incelemişlerdir. Sonuçlar sıcaklık değişiminin alaşımın dinamik gevşeme davranışında önemli bir etkisinin olduğunu göstermiştir. Dinamik gevşeme oranı ile dinamik yeniden kristalleşmenin birleşerek akma gerilmesinin düşmesine neden olduğu görülmüştür. Optik mikro yapılar; sıkıştırılan numunenin tane yapısının dinamik gevşeme, deformasyon sertleşmesi ve deformasyon oranının artışıyla daha homojen hale geldiği görülmüştür [5].

Palumbo ve Tricarico ise matris ve baskı plakasını ısıtıp zımbayı soğutma sıvısı kullanarak oda sıcaklığında tutmuşlardır. Çalışmanın sonucunda, uygulanan bu metotla şekillendirme işleminin şişme yüksekliği ve deformasyon açısından daha verimli olduğunu savunmuşlardır [6].

Schmoeckel ise sadece matris veya sadece baskı plakasının ısıtılarak hidro şekillendirme işleminin yapılmasının daha

verimli olduğunu, bu yöntemin malzemenin sınır şekillendirme oranını artırdığını savunmuşlardır [7,9].

Bu çalışmada alüminyum-magnezyum alaşımı AA5754 sacının termal hidro şekillendirme yöntemiyle şekillendirilebilir kabiliyetinin artırılması, şekillenebilirlik limitlerinin deneysel olarak tespiti hedeflenmiştir. Alaşım, oda sıcaklığı, 150 ve 250°C sıcaklığa kadar ısıtılmış; basınç, pot baskı plakası kuvveti ve sıcaklık gibi parametreler değiştirilerek hidrolik sac şekillendirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

## II. DENEYSEL ÇALIŞMA

Çalışmanın deneysel uygulamaları Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi bünyesinde kurulmuş olan hidro şekillendirme ünitesinde gerçekleştirilmiştir. Sac hidro şekillendirme işlemi için Ç1040 orta karbonlu imalat çeliğinden Ø100mm çapında biri 50mm derinliğinde (Şekil 1.) diğeri 30mm derinliğinde silindirik geometri iki dışı kalıp hazırlanmıştır.



Şekil 1: Dış kalıp görünüşü

Şekillendirme esnasında kalıp ve sac malzeme arasındaki sürtünmeyi azaltmak ve sacın kalıp yüzeyine sıvanmasını engellemek için kalıp yüzeylerine 55Rc (Rockwell) değerinde sertleştirme işlemi yapılmıştır. Hidrolik akışkanla şekillendirme işlemi için hazırlanan kalıp sistemi 30 Ton yük uygulayabilme kapasiteli, 40 MPa yağ basıncı ve 380mm strok uzunluğuna sahip Hidroliksan marka doğrultma presine bağlanarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2: Hidro şekillendirme pres ve kalıp

Sistemde pot basıncını tek eksenli yük uygulayan pres koçu sağlamaktadır. Kalıp alt ve üst yarımları birbirine çevrede 3 adet sütun ile merkezlenmektedir. Şekillendirmeyi sağlayan hidrolik akışkan basıncı 160 MPa basınç kapasiteli hidrolik

güç ünitesi ile sağlanmaktadır. Kalıp ve yağ sıcaklığını kontrol etmek için sıcaklık kontrol ünitesi tasarlanmıştır. Sistem kalıp sıcaklığını ayarlanan değerde otomatik olarak PID kontrol ile sağlamaktadır. Sıcaklıklar kalıp içine ve yağ haznesine monte edilen J Tipi termokupl ile ölçülmektedir. Elde edilen sıcaklık değeri kontrol ünitesi üzerinden dijital olarak okunabilmektedir.

Çalışmada kimyasal bileşimi Tablo 1.'de verilen 1mm kalınlığındaki AA5754 alüminyum alaşımı sac malzeme kullanılmıştır.

Tablo 1: Deneylerde kullanılan sac malzemenin kimyasal bileşimi

Al	Mg	Si	Cu	Fe	Mn	Cr	Ti
Kalan	2.6-3.6	<0.4	<0.1	<0.4	<0.5	<0.3	<0.1

Bu çalışmada kullanılan AA5754 sacının diğer standartlardaki karşılığı Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2: AA5754 Alüminyum malzemesinin diğer standartlardaki karşılığı

Etial	T.S.E.	Almanya (DIN)	A.B.D (AA)	Fransa (NF)
Etial-53	AlMg3	AlMg3	5754	A-G3
Etial	İngiltere (BS)	İtalya (UNI)	ISO	
Etial-53	N5	P-ALMg3,5	AlMg3	

AlMg sertleştirilemeyen bir alaşımdır. % 0,6-0,7 Mg ve % 0,2-0,6 ihtiva eder. Deniz suyuna dayanıklılığı fazladır. Mg oranına göre çok farklı yerlerde kullanılır. AlMg, saf alüminyum gibidir. Mg'un % 5'den fazla olması halinde, kaynak yapılması ve işlenmesi zorlaşır, gerilme nedeniyle korozyona uğrar ve çok iyi olan anot oksitlenmesi yapabilme özelliğine sahiptir.

Sac malzeme ilkel pul çapı;

$$D = \sqrt{(Df^2 + 4dh - 3,44rd)} \quad (1)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. Formülasyona göre; D ilkel pul çapı, Df flanş çapı, d kalıp iç çapı, h kalıp derinliği, r ise kalıp köşe radiusüdür. Buna göre sac malzeme lazer kesim metodu ile 195mm ilkel pul çapında kesilmiştir.

Hazırlanan sac malzemeler farklı sıcaklık, farklı pot baskı kuvveti ve basınç değerlerinde hidro şekillendirme işlemine tabi tutulmuştur. Deney parametreleri tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3: Deney parametreleri

Parametre	Deney No		
	1	2	3
Pot Baskı Kuvveti	221972N	235841N	235841N
Yağ Basıncı	5.6 MPa	7.5 MPa	9.5 MPa
Sıcaklık	Oda Sıcaklığı	Oda Sıcaklığı	Oda Sıcaklığı
Parametre	Deney No		
	4	5	6
Pot Baskı Kuvveti	235841N	208095N	235841N
Yağ Basıncı	9 MPa	7 MPa	6 MPa
Sıcaklık	Oda Sıcaklığı	150°C	250°C

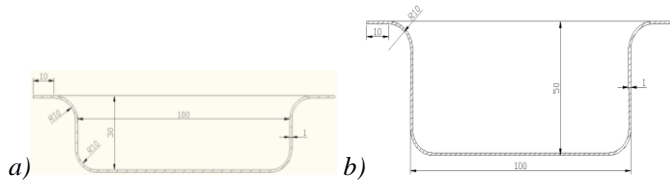
Çalışmanın deneysel uygulamaları üç aşamada gerçekleştirilmiştir:

İlk aşamada sac malzeme **oda sıcaklığında ve 50mm** derinliğindeki kalıpta şekillendirilmiştir.

İlk aşamanın sonuçları değerlendirildikten sonra ikinci aşamada şekillendirme işlemi **oda sıcaklığında** aynı pot baskı kuvveti ile fakat **30mm** derinliğe sahip kalıpta şekillendirilmiştir.

Son olarak kalıp **150°C ve 250°C** sıcaklığa kadar ısıtılarak şekillendirme işlemi **50mm** derinlikteki kalıpta tekrar denenmiştir.

Sac malzeme ile şekillendirme işlemi sonucunda Şekil 3 de gösterilen parçalar üretilmiştir.



Şekil 3: Deneysel çalışma sonucunda üretilecek parça geometrileri (a)Şişme yüksekliği 30mm, (b)Şişme yüksekliği 50mm

Gerçekleştirilen hidro şekillendirme işlemi neticesinde elde edilen numunelerin şişme yükseklikleri ve kalınlık dağılımları ölçülmüştür. Şişme yükseklikleri atölye ortamında mihengir ile ölçülürken, kalınlık dağılımları her bir numune üzerinden 19 farklı noktadan 0.01mm hassasiyetindeki mikrometre ile ölçülmüştür.

### III. DENEYSEL BULGULAR

Oda sıcaklığında 50mm derinliğindeki kalıpta gerçekleştirilen şekillendirme işlemiyle malzemenin 30mm' ye kadar aşırı incelmeler görülmeden şişebildiği (Şekil 10), şişirme işlemine devam edildiğinde kısa bir süre (birinci numune 38,5mm ve ikinci numune 32,4mm) sonra tepe bölgesinden patladığı görülmüştür (1 ve 2 nolu numuneler) (Şekil 4). Ayrıca malzemede flanş bölgesinde kulaklanmalar oluşmuş ve malzemenin yan duvarlarında aşırı incelmeler meydana gelmiştir.

Tablo 4: 1 ve 2 nolu numunelerin deney şartları

Numune No		
Parametre	1	2
Pot Baskı Kuvveti	221972N	235841N
Yağ Basıncı	5.6 MPa	7.5 MPa
Sıcaklık	Oda Sıcaklığı	Oda Sıcaklığı

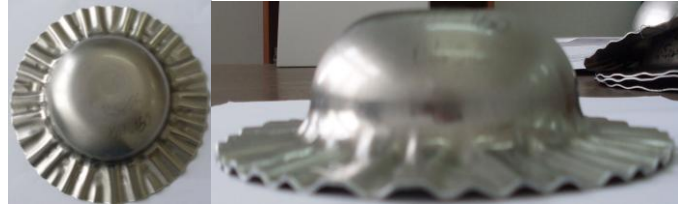


Şekil 4: 1 nolu numunenin şekillendirme işlemi sonrası fotoğraf görüntüsü

Aynı malzeme oda sıcaklığında 30mm şişme yüksekliğine sahip kalıpta şekillendirildiğinde malzeme 30mm yüksekliğe kadar herhangi bir deformasyon hatasıyla karşılaşmadan şekillenmiştir (3 ve 4 nolu numuneler).

Tablo 5: 3 ve 4 nolu numunelerin deney parametreleri

Numune No		
Parametre	3	4
Pot Baskı Kuvveti	235841N	235841N
Yağ Basıncı	9.5 MPa	9 MPa
Sıcaklık	Oda Sıcaklığı	Oda Sıcaklığı



Şekil 5: 4 nolu numunenin şekillendirme işlemi sonrası fotoğraf görüntüsü

30mm yüksekliğe kadar şekillendirilebilen 4 nolu numunenin flanş bölgesinde pot baskı kuvvetinin yetersiz kalmasından dolayı kırışıklıklar olduğu deneysel uygulamalarda görülmektedir. Malzeme şekillendirme işlemi boyunca yırtılma gerçekleşmeden şekillendirilebilmiştir. Sonuç olarak, AA5754 alaşımlı malzeme için oda sıcaklığında en fazla 30mm derinliğin elde edilebildiği, üzerine çıkıldığında malzemenin tepe noktasında patlama meydana geldiği görülmüştür.

Malzemenin sıcak deformasyonla maksimum şişme yüksekliğini ve deformasyon davranışını tespit edebilmek için kalıp alt ve üst yarımaları ile basınçlı akışkan 150 C ve ardından 250 C sıcaklığa ısıtılmış, Tablo6. 'da belirtilen parametrelerle hidro şekillendirme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 6: 5 ve 6 nolu numunelerin deney parametreleri

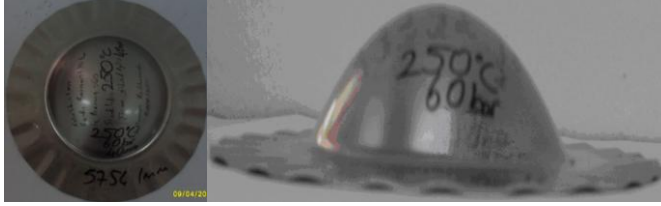
Numune No		
Parametre	5	6
Pot Baskı Kuvveti	208095N	235841N
Yağ Basıncı	7 MPa	6 MPa
Sıcaklık	150°C	250°C



Şekil 6: 5 nolu numunenin şekillendirme işlemi sonrası fotoğraf görüntüsü

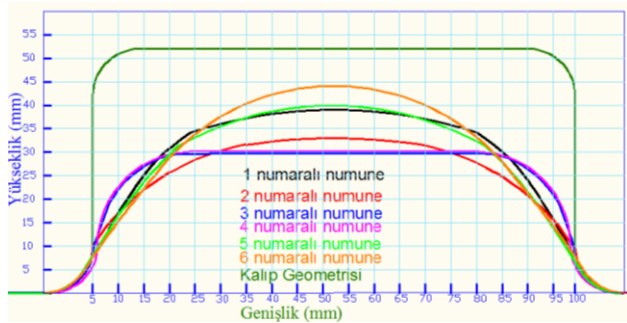
150 C sıcaklıkta 39mm yüksekliğe kadar şişirilebilen ve tepe noktasından yırtılan 5 numaralı parçaya bakıldığında ise malzemede kırışıklık ve ani incelmelerin olduğu ve şekillenme esnasında yırtıldığı görülmektedir (Şekil 6,8,10).

250 C sıcaklıkta ise malzeme 44mm derinliğe kadar hidro şekillendirme metodu ile şekillendirilebilmiştir.



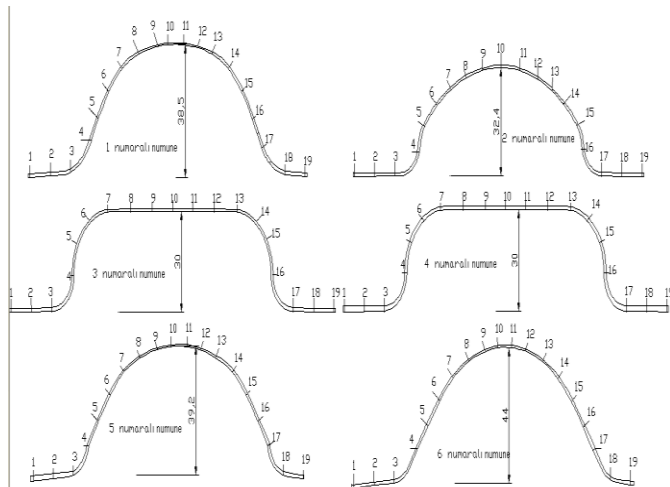
Şekil 7. 6 nolu numunenin fotoğraf görüntüsü

DeneySEL uygulamalar sonucu elde edilen numuneler şişme yüksekliği açısından birbirleriyle kıyaslandıklarında; 150°C ve 250°C sıcaklıklarda hidro şekillendirme işlemine tabi tutulan alaşımların şişme yüksekliği değerlerinin, oda sıcaklığında şekillendirilen alaşımların şişme değerlerinden pot baskı plakası kuvveti ve akışkan basıncı düşürülmesine rağmen; daha fazla olduğu görülmektedir (Şekil 8).



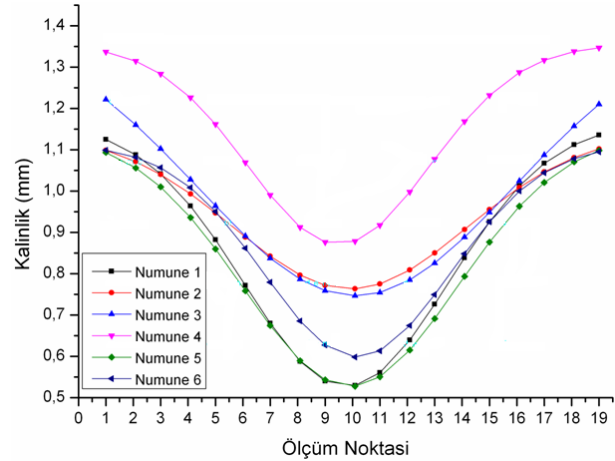
Şekil 8: Hidro şekillendirme işlemi sonucu elde edilen şişme yüksekliği-parça genişliği diyagramı

Deney sonucu elde edilen numuneler merkezden uzaklaşan bir çizgi boyunca kesilerek numune kalınlık ölçümü gerçekleştirilmiştir. Her bir numune üzerinden 19 farklı noktadan (Şekil 9) kalınlık ölçümü yapılmıştır. Kalınlık ölçüm değerleri Şekil 10.'da verilmiştir.



Şekil 9: Kalınlık değerleri ölçülen noktalar

Bu sonuçlara göre ise sıcak şekillendirme işlemi neticesinde kalınlık değişiminin daha homojen dağıldığı görülmektedir.



Şekil 10: Kalınlık değişimi

Ayrıca malzeme kalınlığının flanş bölgesinde arttığı, tepe noktasına doğru homojen olarak azaldığı grafiklerden görülmektedir (Şekil 10). Kalınlık ölçüm değerlerine göre malzeme flanş bölgelerinde (3 ve 4 nolu bölgeler) ani kalınlık değişimlerinin meydana geldiği görülmektedir. Bu da şekillendirme işlemi esnasında flanş bölgelerinde kırışıklıkların oluşmasından ve kalıp kavislerindeki zorlanmadan ötürü meydana gelen malzeme yığılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Literatüre göre hidro şekillendirme işlemi neticesinde flanş bölgesinde malzeme yığılmasından dolayı kalınlığın yüksek çıkmasının beklenen bir davranış olduğu belirlenmiştir [8]. Ayrıca şekillenen malzemelerin radüs bölgelerinde ani incelmeler görülmüştür.

#### IV. SONUÇLAR

Yapılan çalışmada AA 5754 alaşımı farklı sıcaklıklarda hidro şekillendirme işlemine tabi tutulmuş, elde edilen sonuçlar şişme yüksekliği, kalınlık değişimi ve sonlu elemanlar analizleri açısından değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre;

- 1) Alaşımın oda sıcaklığında şekillendirilebilirliğinin sınırlı olduğu görülmüştür. Bunun alaşımın içinde yer alan alaşım elementlerinin, özellikle magnezyumun etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Magnezyum hegzagonal sıkı paket yapısına sahip bir elementtir. Sıkı paket yapısı magnezyumun şekillendirilebilirliğini kısıtlamaktadır. Bu durum magnezyumun birincil alaşım elementi olarak yer aldığı alaşım sistemlerinde de geçerlidir. Dolayısıyla AA5754 alaşımına sahip sacının oda sıcaklığında şekillendirilebilirliği sınırlıdır.
- 2) Alaşımın oda sıcaklığındaki şekillenebilirlik konusundaki sınırlılığını ortadan kaldırmak amacıyla alaşım, önce 150°C ve ardından 250°C sıcaklıklara kadar ısıtılarak hidro şekillendirme işlemine tabi tutulmuştur.

Gerçekleştirilen bütün işlemler değerlendirildiğinde yeniden kristalleşme sıcaklığının üstündeki sıcaklık değerlerinde, daha yüksek bir şişme derinliğinin ve daha homojen kalınlık dağılımının elde edilmesine dayanılarak daha iyi bir şekillendirmenin gerçekleştirildiği yorumu yapılabilmektedir.

- 3) Oda sıcaklığında 30mm şişme yüksekliğine sağlıklı ulaşım 38mm yükseklikten sonra patlayan malzeme, 150°C sıcaklıkta 39mm, 250°C sıcaklıkta 44mm şişme yüksekliğine kadar başarıyla şişirilebilmiştir.
- 4) Bundan sonra gerçekleştirilecek çalışmalarda araştırmacıların yeniden kristalleşme sıcaklığının üstündeki sıcaklık değerlerinde (örneğin 300°C-400°C arası) farklı parametrelerle malzemenin şekillenme limitinin değişimi ve optimum şekillenebilirlik parametrelerinin tespitinin araştırılabileceği yazarlar tarafından önerilmektedir.

### TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın hazırlanmasında gayretlerini ve sabırlarını esirgemeyen, her noktada katkıları bulunan, maddi ve manevi destek olan Sayın Sertaç NANTU ve Sayın Erdoğan Aybars UNCU' ya sonsuz saygı ve sevgilerimizi sunarak, teşekkürü bir borç biliriz.

### V. KAYNAKLAR

- [1] G. Çelikayar, "Yüksek basınç altında metallerin şekillendirilmesi", III. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi ve Sergisi, s29
- [2] S. Toros, F. Öztürk, İ. Kaçar, "Review of warm forming of aluminum–magnesium alloys", Journal of Materials Processing Technology 207 (2008 )1–12
- [3] S. Kaya, T. Altan, P. Groche, C. Klo, "Determination of the flow stress of magnesium AZ31-O sheet at elevated temperatures using the hydraulic bulge test", International Journal of Machine Tools & Manufacture 48 (2008) 550–557
- [4] W. Ramberg, W. R. Osgood, "Description of stress-strain curves by three parameters, National Advisory Committee for Aeronautics", Technical note no 902
- [5] R. Neugebauer, T. Altan, M. Geiger, M. Kleiner, A. Sterzing, "Sheet metal forming at elevated temperatures", Annals of the CIRP, Vol55,2,2006
- [6] G. Palumbo, L. Tricarico, "Numerical and experimental investigations on the warm deep drawing process of circular aluminum alloy specimens". J. Mater. Process. Technol. 184, (2007)115–123.
- [7] D. Schmoekkel, "Temperaturgefu" hrte Prozeßsteuerung beim Umformen von Aluminiumblechen. EFB-Forschungsbericht Nr. 55, (1994).
- [8] X. Xu, S. Li, W. Zhang, Z. Lin, "Analysis of thickness distribution of square-sectional hydroformed parts", Journal of Materials Processing Technology 209 (2009) 158–164
- [9] D. Schmoekkel, B.C. Leibler, F.D. Speck, Grundlagen und Modellversuche—Temperaturgefu" hrterStofffluß beim tiefziehen von Al-blech-realversuche. B'ander Bleche Rohre 36, (1995)14–21.