



## AISI 304 PASLANMAZ ÇELİK SACIN HİDROMEKANİK DERİN ÇEKİLMESİ

Mevlüt TÜRKÖZ

*Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Konya,  
TÜRKİYE*  
[mturkoz@ktun.edu.tr](mailto:mturkoz@ktun.edu.tr)

**(Geliş/Received: 01.09.2019; Kabul/Accepted in Revised Form: 11.10.2019)**

**ÖZ:** Korozyona karşı üstün dirençleri nedeniyle gıda, mutfak eşyaları, ev eşyaları, otomotiv, uzay ve havacılık ile tıp endüstrisinde sıklıkla kullanılan paslanmaz çelik sac malzemeler, genellikle klasik derin çekme yöntemi ile şekillendirilmektedir. Klasik yöntemlerle yapılan derin çekme işlemlerinde, kalıp yapımının maliyetli, zaman alıcı ve zahmetli olmasından dolayı bu yöntem ile üretim özellikle az sayıda parça üretiminde ekonomik olmamaktadır. Hidromekanik Derin Çekme (HDC) yönteminde ise sıvı basıncı yardımıyla tek bir kalıp kullanılarak üretim yapmak mümkündür. Böylece karmaşık geometriye ve farklı kalınlığa sahip saclar, kalıp uyumu aranmadan daha ekonomik ve daha kaliteli olarak şekillendirilebilmektedir. Bu çalışmada, AISI 304 kalite paslanmaz sac malzemedeki silindirik bir parçanın HDC yöntemiyle şekillendirilmesi sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak sanal ortamda incelenmiştir. İncelemeler sonucunda, sacda yırtılma ve buruşma oluşturmayacak en uygun kalıp tasarım parametreleri belirlenmiş ve bu parametreler kullanılarak deneysel olarak parça üretiminde tatbik edilmiştir. Sonuç olarak AISI 304 paslanmaz çelik sacın, HDC prosesiyle başarıyla şekillendirilmesi için gerekli olan optimum parametreler belirlenmiş ve sonlu eleman analizlerinin prostedeki optimum parametrelerin belirlenmesinde güvenle kullanılabileceği ortaya konulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Sac metal şekillendirme, Hidroşekillendirme, Kalıp tasarımı

### Hydromechanical Deep Drawing Of Aisi 304 Stainless Steel Blank

**ABSTRACT:** Stainless steel sheet materials, which are frequently used in food, kitchenware, household appliances, automotive, aerospace and medical industries with their superior resistance to corrosion, are generally formed by the classical deep drawing method. Due to costly, time consuming and troublesome manufacturing of dies in deep drawing, production with this method is not economical especially when producing a small number of parts. It is possible to produce such parts by Hydromechanical Deep Drawing (HDD) method which uses a single tool, and pressurized liquid. Thus, sheets with complex geometries and different thicknesses can be manufactured economically and with better quality without requiring mold compatibility. In this study, forming of a cylindrical part of AISI 304 quality stainless steel by HDD method was investigated numerically using finite element method. As a result of these examinations, the most suitable die design parameters that will not cause tearing and wrinkling in the sheet metal were determined and the parts were experimentally manufactured based on these parameters. As a result, it has been determined that the finite element analysis can be used safely in order to form the AISI 304 stainless steel sheet successfully with HDD process and in determining the optimum parameters in the process.

**Keywords:** Sheet metal forming, Hydroforming, Die design

## GİRİŞ (INTRODUCTION)

Otomotiv, uçak, beyaz eşya ve savunma endüstrisinde yoğunlukla kullanılan sac metal parçalar genellikle kesme, bükme ve derin çekme gibi klasik işlemlerle şekillendirilmektedir. Bu işlemlerde her parça için kalıp tasarımı ve imalatı, özellikle az sayıda ürünün üretileceği durumlarda ekonomik olmamaktadır. Geleneksel yöntemlerden farklı olarak, hidroşekillendirme yönteminde erkek ya da dişi kalıptan biri üretilip, diğer kalıbın yerini yüksek basınçlı sıvı almaktadır. Tek bir kalıbın üretilmesi, alt-üst kalıp uyumu aranmaması, farklı kalınlıklı sacların tek bir kalıpta üretilmesi ve kalıbın daha az maliyetli malzemelerden üretilmesi nedeniyle kalıp maliyetleri %90'a varan oranda azalmaktadır. Bu nedenle hidroşekillendirme prosesi özellikle az sayıdaki parçaların üretiminde ekonomik olmaktadır. Bunun yanında üretilen parçaların yüzey kalitelerindeki artış, üretim kademe sayısında azalma ve parça konsolidasyonu sağlama gibi avantajları ile orta ve yüksek üretim kapasitelerinde de teknolojik avantajı yüksek olan parçalarda tercih edilmektedir.

Hidroşekillendirme ilk olarak 1890 yılında tatbik edilmiştir. Ancak asıl gelişimini 2. Dünya Savaşı'ndan sonra yaşamıştır. Endüstriyel uygulamalarda yaygınlaşması ise 1990'lardan sonradır (Şahin, 2004). Proses, sac ya da tüp malzemelerin şekillendirilmesinde kullanılabilir. Sac malzemelerin şekillendirilmesinde, kalıbın erkek ya da dişi kalıp olmasına göre iki farklı uygulama bulunmaktadır. Erkek kalıbın kullanıldığı yöntem Hidromekanik Derin Çekme (HDC) olarak isimlendirilmekte ve bu yöntemle diğerine göre çok daha derin parçalar üretilmektedir. HDC ile klasik derin çekme işleminde 2,2 olan sınır çekme oranı 2,7'ye kadar yükseltilebilmektedir (Zhang ve Danckert 1998; Lin ve diğ., 2009). Böylece derin çekme ile 3-4 kademede üretilebilecek bir parçanın tek kademede üretilmesi mümkün olmaktadır.



Şekil 1. Hidromekanik derin çekme prosesi (Akay ve diğ., 2014)

Figure 1. Process of hydromechanical deep drawing (Akay et al., 2014)

Sac malzeme, HDC prosesinde ıstampa ile şekillendirilirken klasik derin çekmeden farklı olarak ıstampanın karşı tarafından sacın diğer yüzeyine Şekil 1'de görüldüğü gibi yüksek basınçta sıvı uygulanır. Proseste sıvı basıncının ıstampa konumuna göre değişken değerlere sahip olması gerekmektedir (Yossifon ve Tirosh, 1988). Yine proses sırasında, klasik şekillendirmede olduğu gibi baskı plakası kuvveti ile sacın buruşmasının önüne geçilmesi gerekmektedir. HDC'de baskı plakası kuvvetinin sacın buruşmasını engellemenin yanında sızdırmazlığın sağlanması görevi de bulunmaktadır.

Başarılı bir parça üretimi için kontrol edilmesi gereken parametreler, değerleri ıstampa konumuna göre değişen sıvı basıncı ile baskı plakası kuvveti, sac ve kalıplar arasındaki sürtünme ve kalıp geometrik parametreleridir (Zhang ve diğ., 2000; Lang ve diğ., 2004). HDC prosesinde sıvı basıncının optimum eğrisinin uygulanmadığı durumda başarılı bir şekillendirme yapmak mümkün olmamaktadır. Bu nedenle kullanılan malzemeye ve parça geometrisine bağlı olarak değişen sıvı basıncı eğrisi ve baskı plakası kuvveti başta olmak üzere Şekil 1'de görülen kalıp giriş yarıçapı, ıstampa burun yarıçapı ve kalıpla

ıstampa arasındaki tek taraflı boşluk değeri gibi geometrik parametrelerin en uygun değerlerinin kalıplar imal edilmeden önce belirlenmesi gerekmektedir. Bu da HDCÇ prosesinin uygulanmasını zorlaştırmaktadır. En uygun parametrelerin deneme yanılma ile belirlenmesi çok zor, zahmetli ve maliyetli bir iştir. Bu nedenle proses için en uygun parametrelerin Sonlu Elemanlar Analizleri (SEA) ile belirlenmesi zaman ve maliyetten önemli derecede tasarruf sağlamaktadır.

Yazar tarafından daha önce gerçekleştirilen araştırmalarda AA 5754 alaşımlı alüminyum sac malzemenin HDCÇ prosesi ile şekillendirilmesinde, parametrelerin prosese etkilerinin belirlenmesi üzerine çalışmalar yapılmıştır (Tinkir ve diğ., 2015; Akay ve diğ., 2014; Halkacı ve diğ., 2014; Turkoz ve diğ., 2013; Halkacı ve diğ. 2012; Halkacı ve diğ., 2011). Bu çalışmalarda AA 5754 alaşımı için en uygun sıvı basıncı ve baskı plakası kuvveti eğrileri SEA ile tespit edilmiş, tek taraflı boşluk, ön şişirme yüksekliği ve basıncı, kalıp ve ıstampa yarıçapı, ıstampa yüzey pürüzlülüğü gibi parametrelerin prosese etkileri deneysel çalışmalarla ortaya konulmuştur.

Bu çalışmada, kalıp parametrelerinden olan ıstampa yarıçapı, kalıp yarıçapı ve tek taraflı boşluğun farklı değerlerinin AISI 304 paslanmaz çelik malzemenin şekillendirme işlemine etkisi SEA ile araştırılmış ve en uygun değerleri belirlenmiştir. Daha sonra, sayısal analizlerden elde edilen optimum proses parametre değerleri kullanılarak parçanın şekillendirilebilirliği deneysel olarak incelenmiştir. Böylece, AISI 304 paslanmaz çeliğin HDCÇ prosesiyle başarıyla şekillendirilmesi için kullanılması gereken optimum parametreler ortaya konulmuş ve HDCÇ prosesinin sayısal analizlerinin güvenilirliği kanıtlanarak yöntemin geliştirilmesi sağlanmıştır.

## MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

### Sonlu Elemanlar Analizleri (Finite Element Analysis)

Bu çalışmada, 100 mm dairesel kesitli ve 1 mm kalınlıklı AISI 304 sac kullanılarak, 40 mm çapındaki ıstampa ile HDCÇ prosesi ile parça şekillendirilebilirliği incelenmiştir. Bunun için öncelikle HDCÇ prosesinin SEA'leri gerçekleştirilmiştir. SEA'de geometrik modelleme için öncelikle kalıplar ve sac yüzey olarak modellenmiştir. Çünkü, sac şekillendirme işleminde en uygun analiz yöntemi sacın kabuk elemanlarla (shell) modellenmesidir. Daha sonra, geometri Ls-Prepost yazılımına aktararak sonlu elemanlara ayırma, malzeme modeli seçimi, sınır şartların ve temas şartlarının belirlenmesi adımları gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). Ls-Dyna çözücüsü ile sonuçlar alındıktan sonra yine Ls-prepost yazılımında sacda oluşan gerilmeler, birim şekil değişimi değerleri değerlendirilmiştir.

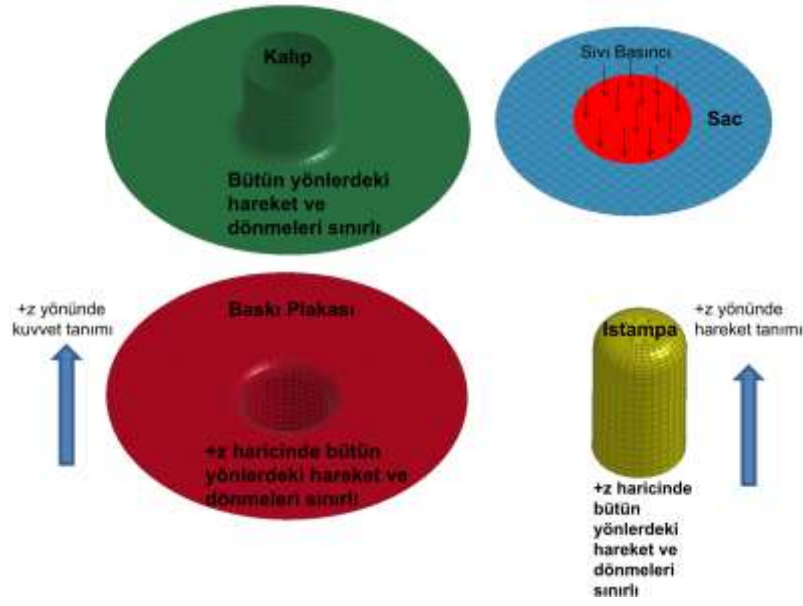
Çalışma kapsamında etkisi incelenen geometrik parametreler Çizelge 1'de verilmiştir.

**Çizelge 1.** İncelenen geometrik parametreler

*Table 1. Investigated geometrical parameters*

Parameter adı	Parametrelerin düzeyleri		
Istampa Burun Yarıçapı (mm)	4	5	6
Kalıp Giriş Yarıçapı (mm)	4	5	6
Tek Taraflı Boşluk (mm)	0.5	1	1.5

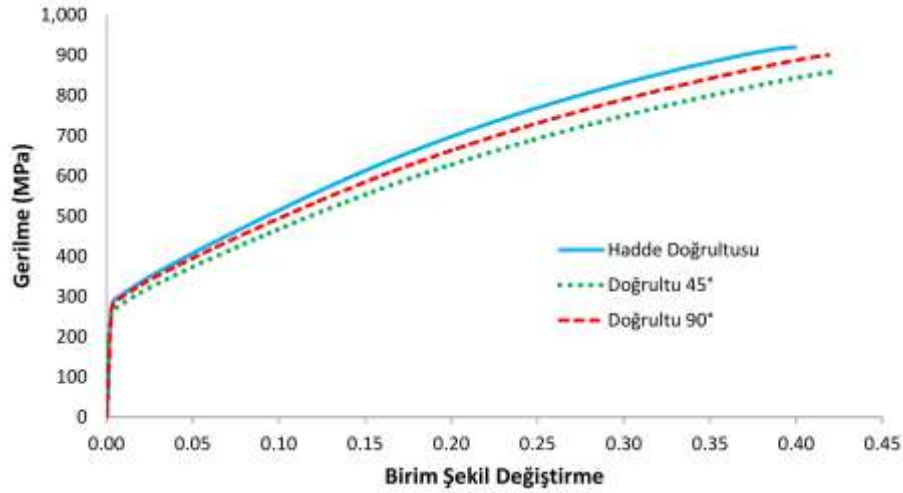
Kalıplar Çizelge 1'de belirtilen parametrelerle tasarlanmış ve 5 mm yarıçap değerleri ile 1 mm boşluk değeri sabit alınarak diğer parametrelerin değiştirilmesiyle toplamda 9 adet simülasyon gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 2.** Hidromekanik derin çekme prosesinin Sonlu Elemanlar Modeli ve sınır şartları

*Figure 2. Finite element model and boundary conditions of hydromechanical deep drawing process*

SE modelinde kalıplar rijit olarak tanımlanırken, sac ise “elasto-viscoplastik” olarak tanımlanmıştır. AISI 304 paslanmaz çelik için gerçek gerilme- gerçek birim şekil değiştirme eğrisi hadde doğrultusu ile hadde doğrultusuna göre 45° ve 90° doğrultularda çekme deneyi ile Şekil 3’teki gibi elde edilmiştir. Ortalamayı temsil eden 45° doğrultudaki malzeme verisi tablo olarak Ls-Prepost’ta 24 numaralı “Piecewise linear plasticity” malzeme kartına girilerek malzeme modellemesi yapılmıştır.

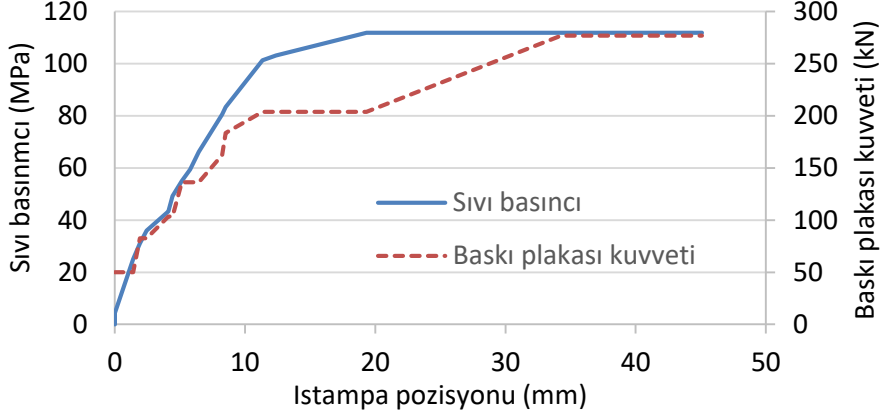


**Şekil 3.** AISI 304 paslanmaz çeliğin hadde doğrultusu ile hadde doğrultusuna göre 45° ve 90° doğrultulardaki gerçek gerilme ve gerçek BŞD grafiği

*Figure 3. True stress and true strain graph of AISI 304 stainless steel in the rolling direction and 45° and 90° directions according to the rolling direction*

Çalışmada geometrik parametreler incelenerek kalıp tasarımı araştırıldığı için HDC prosesinde sıvı basıncı ve baskı plakası kuvveti profilleri değiştirilmeden kullanılmıştır. Sıvı basıncı ve baskı plakası

kuvvetinin ıstampo pozisyonuyla değişimi grafiği Şekil 4'te verilmiştir. Eğriler elde edilirken daha önceki çalışmalarda aynı çaptaki silindirik parça için belirlenmiş olan AA 5754 alaşımına ait basınç değerleri, malzemelerin akma mukavemetlerinin oranı ile çarpılarak oluşturulmuştur.



**Şekil 4.** Malzemenin şekillendirilmesi için kullanılan sıvı basıncı ve baskı plakası kuvveti profilleri

*Figure 4. Fluid pressure and blank holder force profiles used for forming of the materials*

Sac ile kalıplar arasında Coloumb sürtünme modeli ve yağlama durumu için 0.05 sürtünme katsayısı tanımlanmıştır.

#### Deneysel alışma (Experimental Study)

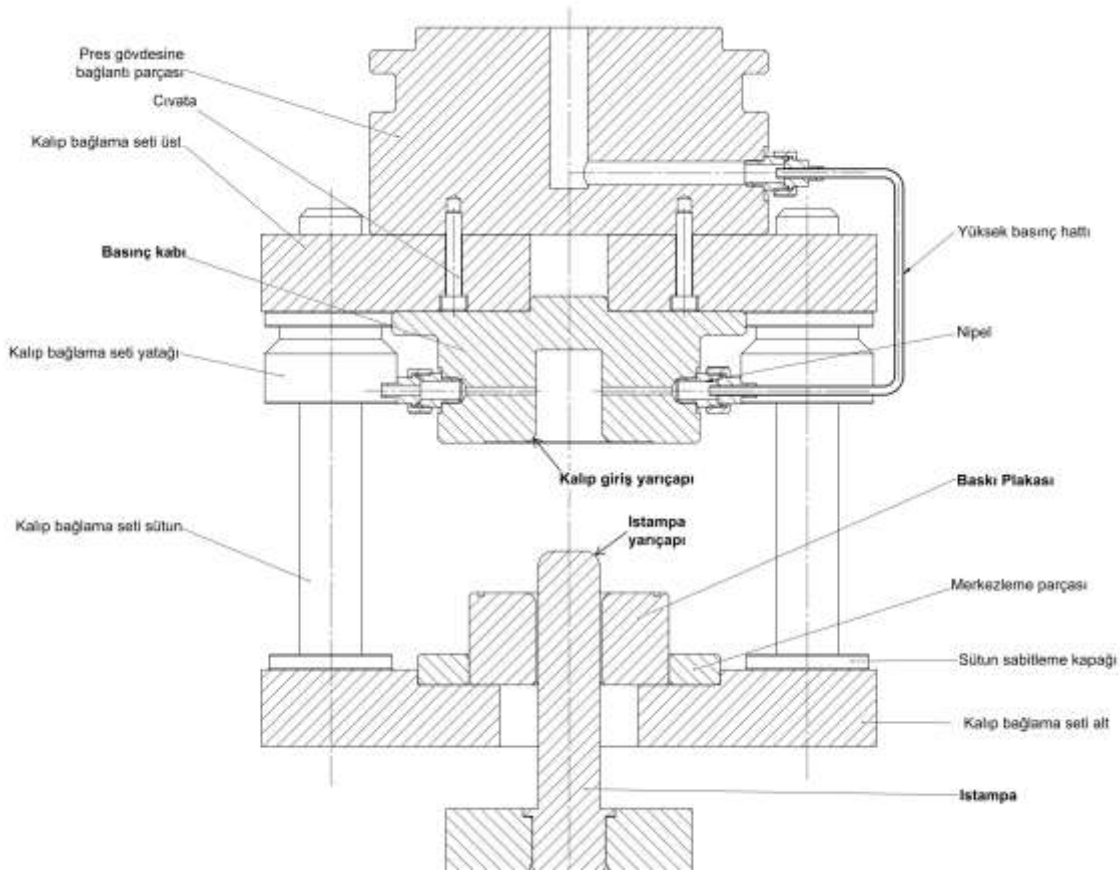
AISI 304 sac malzemedan 40 mm çapında silindirik bir parça üretilmesi için en uygun geometrik parametreler SEA ile belirlendikten sonra parçanın üretilirliği deneylerle test edilmiştir. Deneyler, Konya Teknik Üniversitesi Hidroşekillendirme Laboratuvarında bulunan 60 ton kapama kuvveti ve 1200 bar sıvı basıncı kapasiteli hidroşekillendirme presinde (Şekil 5) gerçekleştirilmiştir. Bu preste ıstampanın anlık konumuna karşılık gelen sıvı basıncı ve baskı plakası kuvveti değerleri interaktif olarak kontrol edilebilmektedir. SEA ile kalıplar için en uygun parametreler ıstampo burun yarıçapı için 4 mm, kalıp yarıçapı için 6 mm ve tek taraflı boşluk için 1.5 mm olarak belirlenmiştir. Kalıplar bu değerlere sahip olacak şekilde üretilip deney presine bağlanmıştır. Deney düzeneğinin resmi Şekil 6'da verilmiştir. Presin hidrolik nümerik kontrol (HNC) ünitesine, sayısal analizlerde de kullanılan Şekil 3'teki yüklenme eğrileri girildikten sonra sistem deney yapmaya hazır hale getirilmiştir. Başlangıç malzemesi olarak 1 mm kalınlığındaki AISI 304 kalite paslanmaz elik sacdan 100 mm çapında dairesel çapta numuneler hazırlanmış, sacın ıstampaya temas eden bölgesi haricindeki kısımları parafin ve polietilen film kullanılarak yağlanmış, böylece baskı plakası ve basınç kabı arasında sacın en az dirençle akması sağlanmıştir. Deneyler yapılırken:

- Sac, baskı plakası üzerine yerleştirilmiş,
- Baskı plakası yukarı yönde hareket ederek sac kalıpla baskı plakası arasında belirli bir kuvvetle sıkıştırılmış,
- Kalıp, sıvı ile doldurulmuş ve içerisindeki hava dışarı atıldıktan sonra çıkış hattındaki vana kapatılmış,
- ıstampo, sacla temas edeceği pozisyona konumlandırılmış,
- Ön basınç uygulandıktan sonra ıstampo HNC ünitesinden girilmiş olan hızla yine üniteneden girilmiş olan konuma ilerletilmiştir.
- ıstampo ilerlerken sıvı basıncı ve baskı plakası kuvveti daha önce üniteye girilmiş olan eğriye göre uygulanmıştır.

- Istampacı son pozisyonuna gelinceye kadar basınçta ani bir düşme ve kalıplarda sızdırma olmamışsa parçanın başarıyla şekillendirildiği anlaşılmış, basınç değeri sıfırlanarak kalıplar açılmış ve parça kalıplar arasından alınmıştır.



**Şekil 5.** Çalışma kapsamında kullanılan hidroşekillendirme presi  
*Figure 5. Hydroforming press used in current study*

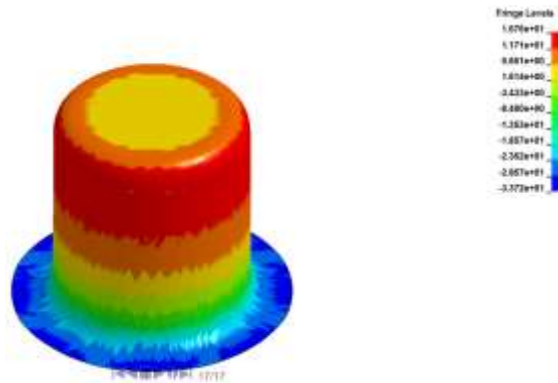


Şekil 6. Hidroşekillendirme kalıpları

Figure 6. Hydroforming tools

#### BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSION)

Farklı geometrik parametrelerle gerçekleştirilen sayısal analizlerden sonra, Şekil 7'de görüldüğü gibi kalıp yarıçapı için 4 mm ve ıstampa burun yarıçapı için 6 mm optimum parametre değerleriyle sac malzemenin 2.5 çekme oranına sahip olacak şekilde başarıyla şekillendirilebildiği görülmüştür.



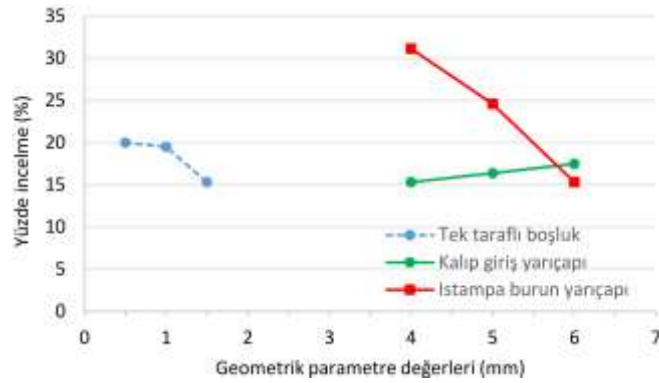
Şekil 7. 4 mm kalıp radyüsü 6 mm Stampa radyüsü için elde edilen SEA sonucu

Figure 7. FEA result obtained with 6 mm punch radius and 4 mm die radius

Tüm analizlerde parçalar başarıyla şekilleniyor gözükse de, sac parçada oluşan maksimum incelme değerleri değişkenlik arz etmektedir. Sac şekillendirmede malzemenin minimum oranda incelmesi arzu edilir. Çünkü minimum incelmeye daha mukavemetli bir parça elde edilmiş olur. Bunun yanında parçanın daha ince sac kullanılarak elde edilmesi de mümkün hale gelir. Kalıp ve ıstampa burun yarıçapı



ile tek taraflı boşluk değerinin sac parçanın maksimum incelme değerine olan etkisi Şekil 8’de verilmiştir. Sonuçlara göre şekillendirilebilirlik üzerinde en etkili parametre ıstampa burun yarıçapıdır. ıstampa burun yarıçapı 4 mm değerinde iken incelme %31 olarak gerçekleşirken, 6 mm ye çıkartıldığında bu değer %15.3’e kadar azalmıştır. Bunun yanında kalıp giriş yarıçapının farklı değerlerinde yüzde incelme çok daha az değişiklik göstermiştir. Kalıp giriş yarıçapı arttıkça az da olsa sacda oluşan maksimum yüzde incelme değerinde artış gözlemlenmiştir. Kalıp giriş yarıçapı 4 mm iken %15.3 olan incelme değeri, 6 mm değerinde %17.5’e çıkmıştır. Klasik derin çekmede, kalıp giriş yarıçapı arttıkça sacda oluşan incelmenin daha az eğme gerilmesi nedeniyle azalması beklenirken HDCÇ prosesinde bunun tam tersi gözlemlenmiştir. Bu duruma, kalıp yarıçapının artmasıyla sacın desteksiz durduğu bölgenin artmasının neden olduğu düşünülmektedir. Farklı tek taraflı boşluk değerlerinde, en az incelme 1.5 mm değerinde meydana gelirken 0.5 ve 1 mm değerlerinde birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Sonuç olarak, sacda en az incelme meydana getiren ve kalıp tasarımında kullanılması en uygun olan geometrik parametreler; tek taraflı boşluk için 1.5 mm, kalıp yarıçapı için 4 mm ve ıstampa burun yarıçapı için 6 mm olarak elde edilmiştir.



**Şekil 8.** Farklı kalıp tasarım parametreleriyle sac parçada oluşan maksimum yüzde incelme değerleri

*Figure 8. Maximum thickness reduction values that were obtained with different tool design parameters*

Deneyisel çalışmada ise, sayısal analizlerden elde edilen bilgiler ışığında 1 mm kalınlığında ve 100 mm çapında AISI 304 paslanmaz çelik malzeme kullanılarak hidromekanik derin çekme yöntemiyle sac parçalar üretilmiştir. Üretimde SE analizleriyle belirlenen parametreler kullanılmıştır. Deneyler sonunda Şekil 9’da görüldüğü gibi parçalar 2.5 Sınır Çekme Oranına (SÇO) sahip ve 3 tekrarlı olacak şekilde başarıyla üretilmiştir. Klasik derin çekmede sınır çekme oranı bilindiği gibi 2 olarak alınmaktadır. 2 değerini aşan çekme oranlarında birden fazla kademede parça üretilebilmektedir. HDCÇ prosesi ile 2.5 sınır çekme oranıyla parçanın başarıyla şekillendirilebilmesi, prosesin avantajını ortaya koymaktadır.

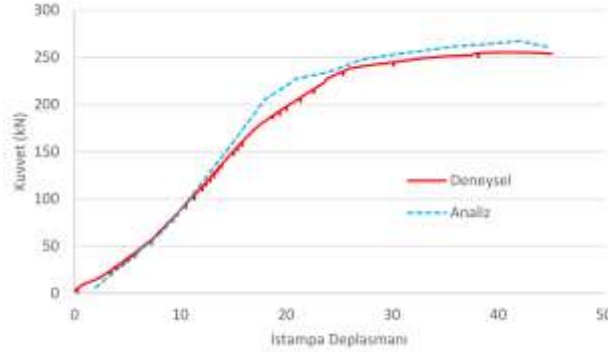




**Şekil 9.** Deneylerden elde edilen AISI 304 paslanmaz çelik malzemeden 40 mm çapında ve 2.5 SÇO değerine sahip silindirik parçalar

*Figure 9. Cylindrical cups made of AISI 304 stainless steel with a diameter of 40 mm and with LDR value of 2.5s obtained from the experiments*

SE analizlerinden belirlenen parametrelerle deneysel olarak başarılı şekillendirmelerin yapılması, analizlerin güvenilirliğini ortaya koysa da daha somut bir değerlendirme için ıstampa üzerine gelen kuvvetler Şekil 10'daki gibi karşılaştırılmıştır. ıstampa üzerine gelen kuvvet, kalıbın altındaki yük hücresi ile deneysel olarak ölçülmüştür. Ölçülen bu değerler ile analizlerden elde edilen değerlerin şekilde görüldüğü gibi oldukça yakın olduğu belirlenmiştir. Deneylerde ıstampa üzerine gelen maksimum kuvvet 255 kN iken analizlerde bu değer 267 kN olarak elde edilmiştir. Böylece, SE analizleri ile deneyler arasında sadece ~%5'lik bir fark olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Böylece SE analizlerinin doğruluk derecesi net bir şekilde ortaya koyulmuş olup, daha farklı malzemelerin şekillendirilmesi ve optimum kalıp geometrilerin elde edilmesinde SE analizlerinin güvenle kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.



**Şekil 10.** Deney ve SE analizlerinde ıstampa üzerine gelen kuvvetin karşılaştırması

*Figure 10. Comparison of the force on the punch in Experiment and FE analyses*

## SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada AISI 304 paslanmaz çelik sacın Hidromekanik Derin Çekme (HDÇ) prosesiyle şekillendirilmesinde, geometrik parametrelerin prosese olan etkisi, SE analizleri ile araştırılmış ve kalıp tasarımında kullanılması en uygun olan geometrik parametre değerleri belirlenmiştir. Daha sonra uygun parametre değerleri ile sac parçalar şekillendirilebilirliği deneysel olarak da araştırılmış ve SE analizleri ile deney sonuçları karşılaştırılmıştır.

SS 304 malzeme kullanılarak 40 mm çapında ve 2.5 sınır çekme oranına sahip silindirik bir parça üretilirken en uygun kalıp tasarım parametrelerinin tek taraflı boşluk için 1.5 mm, kalıp yarıçapı için 4 mm ve ıstampa burun yarıçapı için 6 mm olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu değerlerle sacda oluşan maksimum incelmenin %15.3 olduğu belirlenmiştir. Sayılan parametrelerden ıstampa yarıçapının, malzemenin şekillendirilebilirliği üzerinde diğer iki parametreye göre çok daha etkili olduğu bulunmuştur. ıstampa yarıçapının artmasıyla, kalıp yarıçapının ise azalmasıyla sacda meydana gelen

yüzde inceleme değerinin azaldığı yani şekillendirilebilirliğin arttığı görülmüştür. Klasik derin çekmede, kalıp yarıçapı arttıkça sacda oluşan incelmenin daha az eğme gerilmesi nedeniyle azalması beklenirken HDÇ prosesinde bunun tam tersi gözlemlenmiştir. Bu duruma, kalıp yarıçapının artmasıyla sacın desteksiz durduğu bölgenin artmasının neden olduğu düşünülmektedir. SE analizleri ve deneylerden elde edilen sonuçlar arasında büyük bir uyum olduğu bulunmuştur. Analiz ve deneylerde ölçülen istampa kuvveti arasında sadece %5 bir fark olduğu belirlenmiştir. Böylece daha farklı malzemelerin şekillendirilmesi ve optimum kalıp geometrilerinin elde edilmesinde SE analizlerinin güvenle kullanılabilmesi sonucuna ulaşılmıştır.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Akay S.B., Şükür E.F., Turkoz M., Halkacı S., Koç M., Avcı S., "Determination of Proper Loading Profiles for Hydro-mechanical Deep Drawing Process using FEA", ITMS 2014, 16-17 Sept 2014, Singapore.
- Halkacı, M., Türköz, M., Dilmec, M., Halkacı, H. S., Dağhan, B., "Increasing the Limiting Drawing Ratio of AA 5754 Aluminum Sheet by Hydromechanical Deep Drawing Process", 10th International Conference Technology Plasticity (ICTP 2011), 25-30 Sep 2011, pp. 472-476, 2011, Aachen, Germany.
- Halkacı M., Halkacı H. S., Türköz M., Dağhan B., "A Study on DOE Methods for Hydromechanical Deep Drawing Process Parameters", ADME 2012, Taiyuan, China, 16-18 August 2012.
- Halkacı H.S., Turkoz M., Dilmec M., 2014, "Enhancing Formability in Hydromechanical Deep Drawing Process Adding a Shallow Drawbead to the Blank Holder, Journal of Material Processing Technology", Vol. 214, No: 8, pp. 1638-1646.
- Lang L., Danckert J., Nielsen K. B., 2004, "Investigation into the effect of pre-bulging during hydromechanical deep drawing with uniform pressure onto the blank, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 44, pp. 649-657.
- Lin J., Zhao S.D., Zhang Z.Y., Wang Z.W., 2009, "Deep drawing using a novel hydromechanical tooling", International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 49, pp. 73-80.
- Şahin S., 2004, "Hidrolik şekillendirme yönteminin esasları ve sınıflandırılması", Mühendis ve Makina, 45, 533
- Tinkir M., Dilmec M., Türköz M., Halkacı H. S., 2015, "Investigation of the effect of hydromechanical deep drawing process parameters on formability of AA5754 sheets metals by using neuro-fuzzy forecasting approach", Journal of Intelligent and Fuzzy Systems Vol.28, No:2, pp. 647-659.
- Turkoz M., Halkacı H.S., Dilmec M., "Investigation on the Effect of the Part Shape to the Optimal Fluid Pressure Path in Hydromechanical Deep Drawing Process", MS&T 13, Montreal, Kanada, 27-31 October 2013
- Yossifon S., Tirosh J., 1988, "On the permissible fluid-pressure path in hydroforming deep drawing process- Analysis of failures and experiments", Transactions of the ASME, Vol. 110, pp.146-152.
- Zhang S. H., Danckert J., 1998, "Development of hydro-mechanical deep drawing", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 83, pp. 14-25.
- Zhang S.H., Jensen M.R., Danckert J., Nielsen K.B., Kang D.C., Lang L.H., 2000, "Analysis of the hydro-mechanical deep drawing of cylindrical cups", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 103, pp.367-373.