

Prizmatik Derin Çekme İşlemlerinde Farklı Malzemelere Uygulanan Tavlama İşleminin Biçimlendirilebilirliğe Etkisi

Kamil DELİKANLI¹, Mert ENGİN², Osman TUNÇ³

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

^{2,3}Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Öğrencisi, Isparta, Türkiye

(Alınış / Received: 15.06.2021, Kabul / Accepted: 18.07.2021)

Araştırma Makalesi

Anahtar Kelimeler

Prizmatik derin çekme,
HRP,
DKP,
CuZn37

Özet: Derin çekme işlemi sac levhaların şekillendirilmesinde kullanılan etkin yöntemlerden biridir. Günümüz ihtiyaçları arttıkça üretime çeşitlilik kazandırılması amacıyla farklı malzemelerin işlenmesi ve imalata kazandırılması kaçınılmaz olmuştur. Bu makalede derin çekmenin bir çeşidi olan prizmatik derin çekme işlemi kullanılarak farklı malzemeler olan; sıcak dökülmüş (HRP), soğuk haddelenmiş (DKP) ve pirinç alaşımının bu prosesle işlenebilirlik kabiliyetleri deneysel olarak araştırılmıştır. Malzemelerden alınan numunelere uygulanan farklı tavlama sıcaklıkları ve sürelerine bağlı olarak malzemelerin işlenebilirlikleri yapılan deneylerle gözlemlenmiştir. Gözlemlenen verilerden elde edilen grafikler yorumlanarak tavlama parametrelerinin yapılan farklı deneyler üzerindeki etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Bu etkilerin belirlenmesi ile prizmatik derin çekme ile imalatın verimliliğini artırmak amaçlanmıştır. Yapılan tavlama işlemlerinin, farklı malzemelerin farklı özellikleri üzerinde %5 ila %200 arasında bir değişime sebep olabileceği saptanmıştır.

The Annealing Effect of Different Materials on Formability in Prismatic Deep Drawing Processes

Keywords

Prismatic deep drawing,
HRP,
DKP,
CuZn37

Abstract: Deep drawing is one of the effective methods used in shaping sheet metal. Nowadays, as the needs increase, it has become inevitable to process different materials and add them to production in order to gain variety in production. In this article, the machinability capabilities of different materials HRP (hot rolled), DKP (cold rolled) and brass alloys were experimentally investigated by using the prismatic deep drawing process, which is a type of deep drawing. Depending on different annealing temperatures and times applied on samples taken from materials the machinability of the materials has been observed with the experiments. Interpreting the graphs obtained from the observed data, the effects of annealing parameters on different experiments were tried to be determined. With the determination of these effects, it is aimed to increase the productivity of the production with prismatic deep drawing. It has been determined that the annealing processes can cause a change between 5% and 200% on the different properties of different materials.

1. Giriş

Tavlama işlemi, imalat sektöründe kullanılan birçok malzemenin farklı endüstrilerde kullanılmasını sağlar. Ham malzemelerin mekanik özellikleri, tavlama işlemine tabi tutulduktan sonra tavlama parametrelerine bağlı olarak değişime uğrar [3]. Bu değişim ile malzemelerin farklı endüstrilerde

kullanılmasının ve farklı ürünler imal edilmesinin önü açılır.

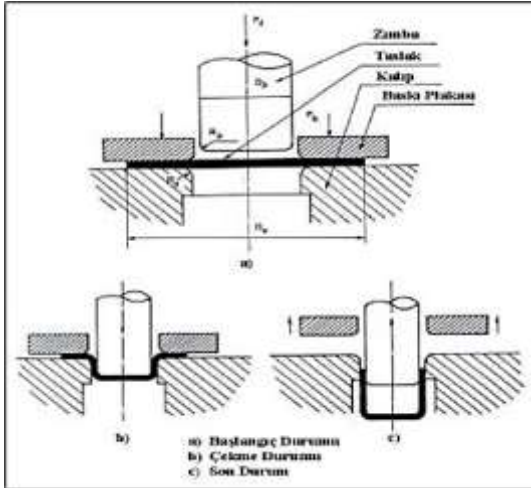
İmal edilecek malzemenin farklı geometrilerde olması veya farklı mekanik özelliklere sahip olması istenebilir. Aynı zamanda malzemenin mekanik özelliklerinin imalat yöntemine uygun olması da göz

önünde bulundurulmuş bir diğer unsurdur. Bu şartlar, tavlama işlemini imalat sektöründe zorunlu kılar.

Tavlama ana hatları ile bir malzemenin belirli bir sıcaklığa belirli bir süre maruz bırakılmasına verilen isimdir. Bu süreçte yüksek sıcaklığa ulaşan malzemenin tane yapısı ve tane sınırları, tavlama parametrelerine bağlı olarak değişime uğrayıp malzemenin mekanik özelliklerini etkileyebilir [6]. Farklı sıcaklık ve süreler farklı etkiler yaratabilir [15]. Mevcut değişim malzemenin kontrollü olarak soğutulması ile kalıcı hale gelir ve malzemenin mekanik özellikleri bu işlem sonucunda farklılaşır [7].

Derin çekme işleminde kullanılan malzemelerin de bu imalat yöntemine uygun özelliklere kavuşturulmaları için tavlama işleminden geçirilmeleri gerekebilir [4].

Derin çekme işlemi, yassı formdaki bir malzemenin Şekil 1'deki gibi bir kalıp içerisinde bir zımba yardımı ile çekilerek üç boyutlu (3B) geometriler imal edilmesine verilen addır.[8] Bu imalat yöntemi birçok endüstride yoğunlukla kullanılmaktadır. Otomotiv endüstrisinde otomobillerin kaporta aksamı, beyaz eşya endüstrisinde bazı makinelerin parçaları gibi imalatlar buna örneklerdir [13].



Şekil 1. Derin çekme kalıbı ve derin çekme prensibi [1]

Derin çekme işlemi ile imal edilen parçaların geometrik biçimi, işlem sırasında istenmeyen deformasyonlara sebep olabilir [11]. Bu deformasyonların önlenmesi ve istenilen nitelikte bir imalatın yapılabilmesi için kullanılan malzemeler tavlama işleminden geçirilebilir. Bu tavlama işlemi neticesinde istenmeyen deformasyonların gerçekleşmesinin önüne geçilebilir ve imalatın istenilen kalitede gerçekleşmesi sağlanabilir [10].

2. Materyal ve Metot

2.1. Malzeme özelliklerinin belirlenmesi

Çalışmada 1,5 mm kalınlığındaki HRP, DKP ve Pirinç malzemelerin tavlama işlemi sonucunda değişim gösteren mekanik özelliklerinin, bu malzemelerin

derin çekilebilirlik özelliklerine etkisinin araştırılması amaçlanmıştır.

Kullanılan malzemelerin kimyasal bileşim özellikleri Tablo 1'de görülmektedir.

Tablo 1. Malzemelerin kimyasal özellikleri

Malzeme	%C	%Mn	%P	%S
HRP (S235JR)	0,17	1,40	0,035	0,035
DKP (6112)	0,12	0,60	0,045	0,045

Malzeme	%Cu	%Fe	%Ni	%Pb	%Sn	%Al
Pirinç (CuZn37)	64	0,10	0,30	0,10	0,10	0,05

2.2. Deney numunelerinin hazırlanması

Derin çekme işlemi ve uygulanacak diğer deneyler için tavlama işlemlerinden geçirilecek malzemeler, her biri 80 x 80 x 1,5mm ebatlarında olacak biçimde, lazer kesim cihazı yardımı ile kesilerek numuneler elde edilmiştir.

2.3. Malzemeler üzerinde yapılan tavlama işlemi

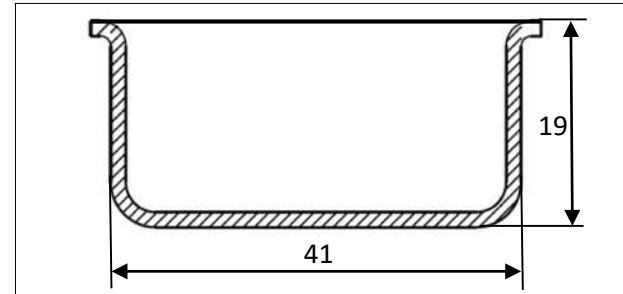
Hazırlanan deney numuneleri Tablo 2'de görülen şartlardaki tavlama işlemlerinden geçirilmiştir.

Tablo 2. Tavlama parametreleri

	HRP	DKP	Pirinç
Ham	-	-	-
300°C	30'	30'	30'
450°C	60'	60'	60'
600°C	90'	90'	90'

2.4. Malzemeler üzerinde yapılacak prizmatik derin çekme işlemi

Aynı şartlar altında hazırlanan derin çekme deneyi numuneleri, prizmatik derin çekme kalıbı kullanılarak Şekil 2'de görülen 41 x 41 x 19,5mm ebatlarında üç boyutlu (3B) bir forma kavuşturulmak amaçlanmıştır.



Şekil 2. Prizmatik derin çekme işlemi ile oluşturulmuş istenen geometri

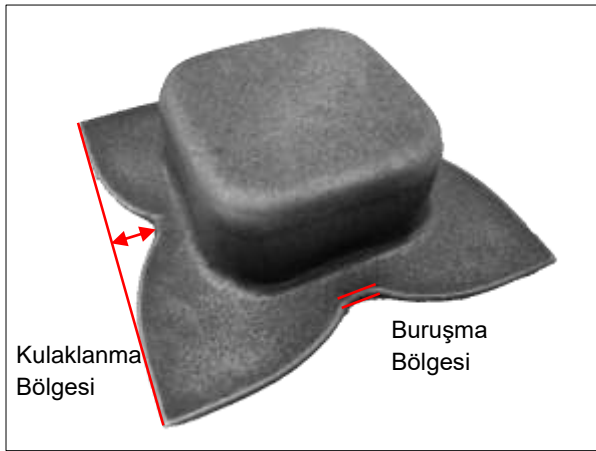
Derin çekme işlemleri sonucunda farklı tavlama parametrelerine sahip numuneler üzerinde farklı deformasyonlar gözlemlenebilir [12].

Yapılan çalışmalarda derin çekme işlemi ile imalatı yapılan kaplarda meydana gelen kulaklanma ve buruşma değerlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Diğer deformasyonlar göz ardı edilmiştir ve çalışmada bunlara değinilmeyecektir.

Derin çekme işlemi sonrası malzemelerde meydana gelen kulaklanma ve buruşma değerlerinin ölçümü Şekil 3'teki gibi yapılmıştır.

Kulaklanma miktarı belirlenirken imal edilen kabın kenarlarındaki maksimum çıkıntı – derinlik miktarı ölçülmüştür.

Buruşma miktarı belirlenirken maksimum kulaklanmanın olduğu bölgedeki kesit kalınlığı değeri ölçülmüştür.



Şekil 3. Derin çekme işlemi sonucunda oluşan kulaklanma ve buruşma bölgeleri

Her bir numune üzerinde yapılan ölçümler sonucunda Tablo 3 düzenlenmiştir.

Tablo 3. Derin çekme işlemi sonrası ölçülen değerler

Malzeme	Tav Parametresi	Durum	Strok (mm)	Kulaklanma (mm)	Buruşma (mm)
HRP	Ham	Kırılmadı	19,5	7,3	0,5
	300°C 90'	Kırıldı	17	5,33	0,4
	450°C 90'	Kırılmadı	19,5	7,61	0,5
	600°C 90'	Kırılmadı	19,5	7,96	0,65
DKP	Ham	Kırıldı	11	2,13	0,15
	300°C 90'	Kırıldı	10	2,33	0,1
	450°C 90'	Kırıldı	14,5	3,38	0,3
	600°C 90'	Kırıldı	16,5	4,4	0,4
Pirinç	Ham	Kırılmadı	19,5	7	0,3
	300°C 90'	Kırıldı	14	2,3	0,4
	450°C 90'	Kırıldı	13,5	3,9	0,2
	600°C 90'	Kırıldı	19,5	7,9	0,5

2.5. Malzemeler üzerinde yapılacak testler

Malzemeler çeşitli testlerden geçirilmiştir. Tavllanmış ve ham malzemeler üzerinde yapılan yüzey sertliği, yüzey pürüzlülüğü ve Erichsen çökertme deneyi

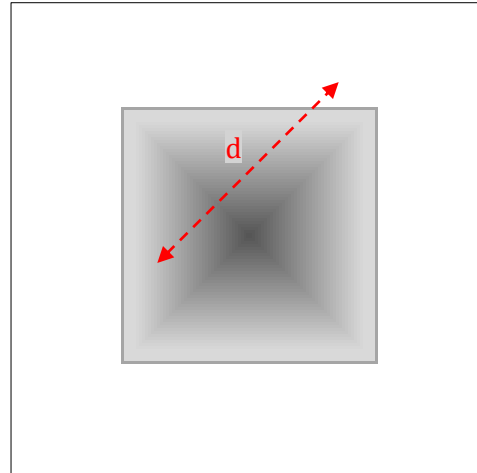
sonuçları, yapılan derin çekme deneyi sonuçları ile karşılaştırılarak tavlama ile değişen mekanik özelliklerin derin çekmeye etkisi belirlenmeye çalışılmıştır.

Derin çekme işlemi sonucunda elde edilen numuneler göz önüne alınarak farklı sıcaklıklarda 90'ar dakika tavlanan numunelerin 30 ve 60'ar dakika tavlanan numunelere kıyasla daha fazla farklılaşmaya uğradığı saptanmıştır. Bu nedenle malzemeler üzerinde yapılan deneylerde 300°C, 450°C ve 600°C sıcaklıklarda 90'ar dakika tavlama işlemine tabi tutulmuş numuneler kullanılmıştır.

2.5.1. Yüzey sertliği

Malzemelerin yüzey sertlik değerinin derin çekme işlemine olan olası etkisinin araştırılması için ham ve tavllanmış numuneler üzerinde micro vickers yüzey sertliği deneyleri yapılmıştır.

Micro vickers yöntemi elmas uçlu, tepe açısı 136° olan kare piramit formunda bir zımba ucunun sabit bir kuvvet ile malzeme yüzeyine bastırılması ile yapılmaktadır [14]. Bu kuvvet neticesinde zımba ucu malzeme yüzeyinde Şekil 4'te görüldüğü gibi bir iz bırakır. Bu iz optik mikroskop yardımı ile ölçülerek malzemenin yüzey sertlik değeri belirlenmeye çalışılır.



Şekil 4. Zımba ucunun malzeme üzerinde bıraktığı iz

Ölçülen iz köşegenleri değerleri (d) ve uygulanan yük (kg) değerleri vickers sertlik değeri formülünde yerine yazılarak sertlik değeri hesaplanır.

Vickers sertlik değeri formülü şu şekildedir [5]:

$$VSD = 1,8544 \cdot \frac{F}{d^2} \quad (1)$$

Deneylerde her bir malzemenin farklı üçer bölgesindeki sertlik değerleri ölçülerek ortalama değerleri hesaplanmıştır ve Tablo 4 bu değerlere göre hazırlanmıştır.

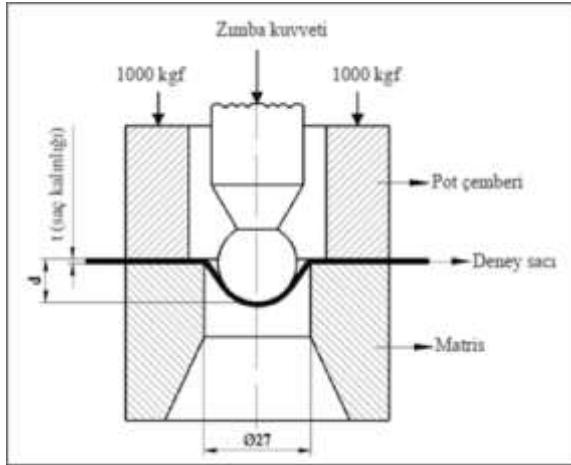
Tablo 4. Malzemelerin micro vickers sertlik değerleri

	Ham	300°C 90'	450°C 90'	600°C 90'
HRP	150,267	151,733	141,267	134,733
DKP	148,266	158,6	156,7	154,766
Pirinç	120,4	120,9	105,5	83,3

2.5.2. Erichsen çökertme deneyi

Malzemelerin farklı tav parametrelerinde derin çekme işlemi sırasında oluşacak sonuçları, malzemeye uygulanan kuvvet paralelinde maksimum çökme miktarının hesaplanması amaçlanarak Erichsen çökertme deneyi yapılmıştır. Bu deney malzemenin derin çekme yeteneğini belirlemek için dikkat edilen bir standarttır. Ulaşılan veriler ile malzemenin derin çekme kabiliyeti tespit edilmiştir.

Erichsen çökertme deneyi temelde yassı malzemelerin derin çekilebilirlik kabiliyetlerini ölçmeye yarayan bir deneydir [9]. Deneyde yassı malzeme Şekil 5'te görüldüğü üzere tıpkı bir derin çekme kalıbındaki gibi alt tabla ve üst tabla arasında sıkıştırılarak yüzeyine küresel bir zımba ucu ile bastırılır. Bastırma kuvveti ile malzeme çökmeye başlayarak üç boyutlu (3B) bir form almaya başlar. Deney malzeme yırtılışına kadar devam eder ve malzemenin çatlamasıyla sonlanır. Deney sonunda çatlamanın gerçekleştiği maksimum kuvvet (kN) ve maksimum çökme miktarı (mm) kayıt altına alınır.

**Şekil 5.** Erichsen deney düzeneği [2]

Yapılan deney sonucunda malzemelerin tavlama parametresi – baskı kuvvet ve tavlama parametresi – çökertme derinliği değerleri elde edilmiş olup bu değerler Tablo 5'te görülmektedir.

Tablo 5. Malzemelerin Erichsen çökertme deneyi sonuçları

Malzeme	Tav Parametresi	Derinlik (mm)	Kuvvet (kN)
HRP	Ham	13,5	25,2
	300°C 90'	13,4	25,3
	450°C 90'	13,4	25,7
	600°C 90'	13,5	25,8
DKP	Ham	14,3	23,4
	300°C 90'	13,2	23
	450°C 90'	13,2	23,1
	600°C 90'	13,4	23,7
Pirinç	Ham	14,5	25,1
	300°C 90'	14,3	24,7
	450°C 90'	15,3	24
	600°C 90'	18,7	24,2

2.5.3. Derin çekme işlemi sonrası yüzey pürüzlülüğü ölçümü

Derin çekme işleminden geçirilen ham ve tavllanmış malzemelerin yan yüzeylerinde oluşan düzensiz yapıların gözlemlenmesi amacıyla malzemeler üzerinde derin çekme doğrultusuna dik yönde yüzey pürüzlülük ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçümler sonucunda R_{max} (Maksimum pürüzlülük derinliği) değerleri belirlenmiştir.

Derin çekme imalat yöntemi ile üretilen malzemelerin yüzey kaliteleri çoğu zaman büyük önem arz eder. İmalat sonrası kaplama – boyama gibi işlemlerin istenilen düzeyde yapılabilmesi için pürüzlülük değerinin uygun değerde olması şarttır.

Her bir numuneden elde edilen yüzey pürüzlülük ölçümleri ile Tablo 6 hazırlanmıştır.

Tablo 6. Yüzey pürüzlülük ölçümleri

	Ham	300°C 90'	450°C 90'	600°C 90'
HRP	2,55 μm	1,48 μm	1,27 μm	1,32 μm
DKP	1,42 μm	0,94 μm	1,45 μm	1,36 μm
Pirinç	0,62 μm	0,64 μm	0,57 μm	1,74 μm

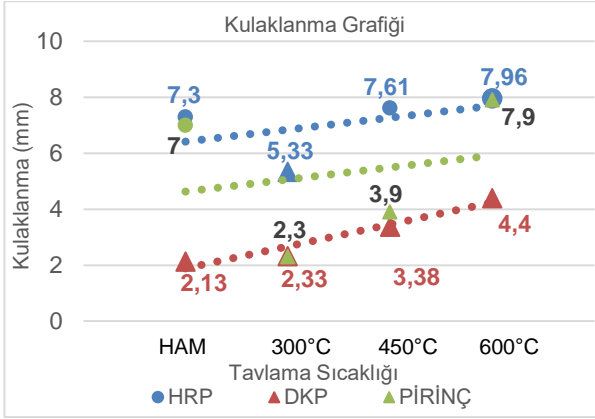
3. Bulgular

Yapılan derin çekme işlemi ve testlerden elde edilen sonuçlar ışığında tabloların birer grafiği çizilmiştir.

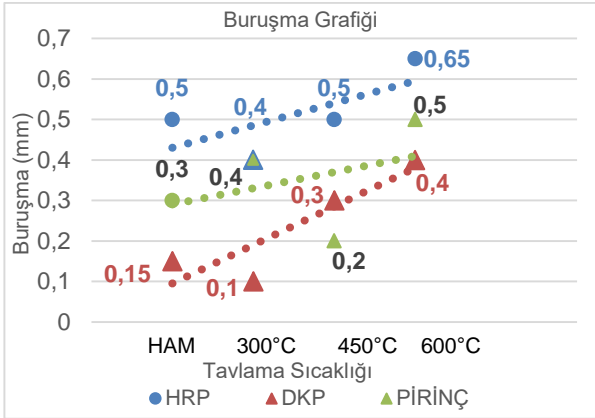
Grafiklerde; üçgen işaretçiye sahip veriler, derin çekme işlemi sonucunda kırılmış numuneleri temsil etmektedir.

Derin çekme işlemi sonrası elde edilen malzemelerdeki kulaklanma ve buruşma değerleri Şekil 6 ve Şekil 7'deki grafiklerde görülmektedir.

Farklı şartlardaki tavlama işlemlerinin derin çekme işlemi ile imal edilen kaplar üzerindeki etkisi bu şekilde belirlenmeye çalışılmıştır.



Şekil 6. Tavlama sıcaklığı - kulaklanma grafiği

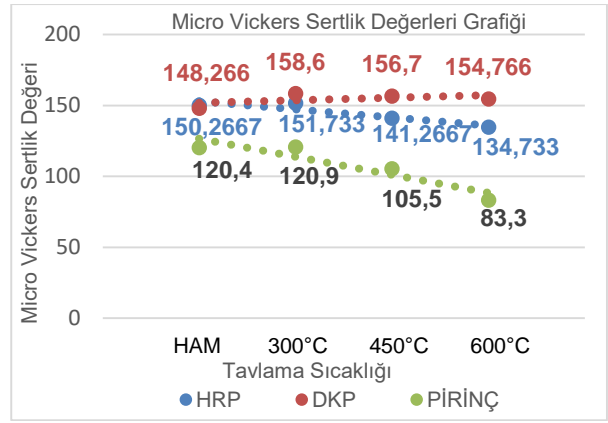


Şekil 7. Tavlama sıcaklığı - buruşma grafiği

Şekil 6'daki grafikte görüldüğü üzere malzemelere etkiyen tavlama sıcaklığı arttıkça imal edilen kapta meydana gelen kulaklanma artma eğilimine girmektedir.

Şekil 7'de derin çekme işlemi ile imal edilen kaplarda meydana gelen buruşma değeri görülmektedir. Daha yüksek tavlama sıcaklığının beraberinde daha yüksek buruşma değerini de meydana getirdiği gözlemlenmektedir.

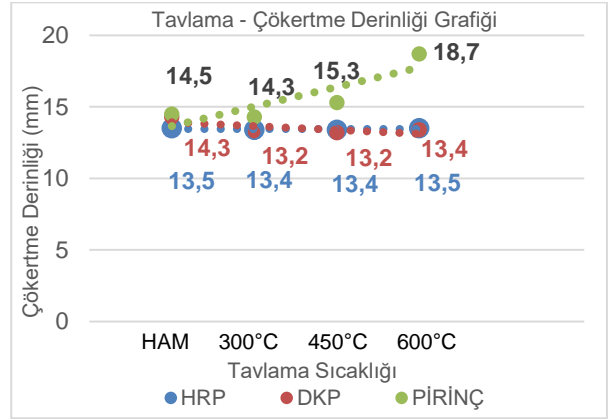
Derin çekme işlemine tabi tutulacak ham ve tavllanmış malzemeler üzerinde yapılmış yüzey sertliği ölçümü değerleri ile elde edilen grafik Şekil 8'de verilmiştir.



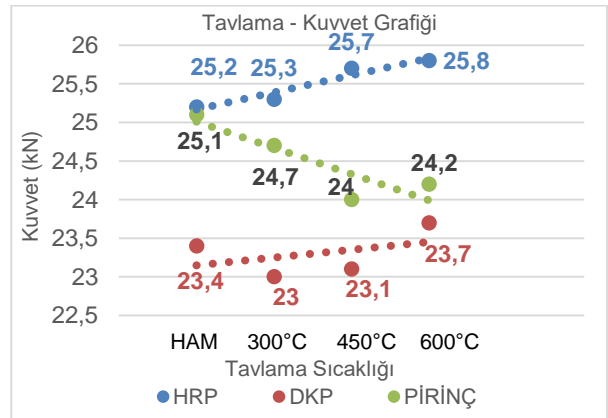
Şekil 8. Tavlama sıcaklığı - micro vickers sertlik değeri grafiği

Şekil 8'deki grafikte malzemelere uygulanan tavlama sıcaklığındaki değişimin yüzey sertliği değeri üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir. Grafik incelendiğinde HRP ve pirinç malzemenin yüzey sertliği değerinin tavlamanın etkisi ile azalma eğiliminde olduğu gözlemlenmektedir. Öte yandan DKP malzemenin yüzey sertliği ham haline oranla yaklaşık %5 ile %6 oranında sertleşmiştir.

Derin çekme işlemi uygulanacak ham ve tavllanmış numuneler üzerinde yapılan Erichsen çökertme deneyi sonuçlarından elde edilen grafikler Şekil 9 ve Şekil 10'da görülmektedir.



Şekil 9. Tavlama sıcaklığı - çökertme derinliği grafiği

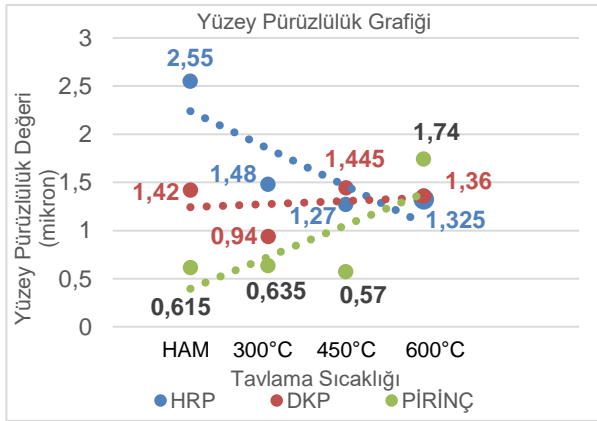


Şekil 10. Tavlama sıcaklığı - kuvvet grafiği

Şekil 9'da görülen grafikte tavlama sıcaklık parametresinin Erichsen deneyindeki zımba ucu derinliği üzerindeki etkisi gözlemlenmektedir. HRP ve DKP malzemelerde belirgin bir değişim gözlemlenemezken pirinç malzeme üzerinde meydana gelen derinlik sıcaklığın artması ile yaklaşık %30 artmıştır.

Şekil 10'da verilen tavlama parametresi ile Erichsen deneyi kuvveti arasındaki bağıntıyı gösteren grafikte tavlama sıcaklığının maksimum zımba kuvveti üzerinde büyük ölçüde düzenli bir değişim gösteremediği saptanmıştır. Gözlenen değişim deneyin tolerans değerlerinin altında kalacak değerde küçük düzeyde gözlemlenmiştir.

Derin çekme işlemi sonucunda elde edilen malzemelerin yan yüzeylerinde derin çekme yönüne dik biçimde yapılan yüzey pürüzlülük ölçümlerinden elde edilen grafik Şekil 11 'de görülmektedir.



Şekil 11. Tavlama sıcaklığı - yüzey pürüzlülük değeri grafiği

Şekil 11'de derin çekme işlemi ile imalatı yapılmış kaplarda meydana gelen yüzey düzensizliklerinin tavlama parametresi ile değişimi gözlemlenmiştir. Tavlama sıcaklığının artması ile HRP malzeme meydana gelen pürüzlülük değeri azalma eğilimine girmiştir. DKP malzeme düzenli bir değişim gözlemlenemezken pirinç malzeme 600° C sıcaklığında yapılan tavlamanın ölçülen pürüzlülüğü yaklaşık %200 arttırdığı gözlemlenmiştir.

Bulgularda görüldüğü üzere tavlama işlemi yapılmış farklı malzemelere yapılan çeşitli deneyler ile malzemelerin belirlenen özellikleri, %5 ila %200 arasında bir farklılaşma göstermektedir.

4. Tartışma ve Sonuç

Yapılan çalışmalar sonucunda tavlama işleminin malzemelere olan etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Bu etkinin derin çekme üzerindeki yansımaları şu şekilde gözlemlenmiştir:

Tavlama işleminin optimum etkiyi gösterebilmesi için tavlama süresi 90 dakika olarak belirlenmiştir.

- Tavlama sıcaklığı üzerinde yapılan değişikliklerde; artan tavlama sıcaklığının derin çekme ile imalatı yapılan kaplarda oluşan kulaklanma değerini artırdığı, kulaklanma değerinin artmasına paralel olarak kulaklanma bölgesindeki buruşma değerinin de belirli oranda arttığı saptanmıştır.
- Artan tavlama sıcaklığının derin çekme stroğunu artırmasının, kulaklanma ve buruşma değerinin de aynı oranda artması ile derin çekme yeteneği ve kulaklanma, buruşma arasındaki ilişki açıklanabilir. DKP malzemedeki strok artışı ile kulaklanma ve buruşmadaki artış bu şekilde açıklanabilir.
- Artan tavlama sıcaklığının aynı zamanda HRP ve pirinç malzemenin yüzey sertliklerini belirli oranda azalttığı öte yandan DKP malzemenin ise yüzey sertliğini belirli oranda arttırdığı belirlenmiştir. HRP ve pirinç malzemelerin yüzey sertliklerinin azalması ile kulaklanma ve buruşma değerlerindeki artış bu bağıntı ile açıklanabilir.
- Malzemelere yapılan Erichsen deneylerinde ise HRP ve DKP malzemelerin derin çekilebilirlik kabiliyetlerine, tavlama işleminin makro düzeyde etkisinin az ölçüde olduğu belirlenmiştir. Pirinç malzeme ise tavlama sıcaklığının artması ile derin çekme stroğu değerinin arttığı saptanmıştır.
- Derin çekme işlemi ile imal edilmiş kapların yan yüzeylerinde, derin çekme doğrultusuna dik yönde yapılan pürüzlülük ölçümlerinde HRP malzemenin artan tavlama sıcaklığı değeri ile daha pürüzsüz bir yapıya sahip olduğu, pirinç malzeme ise yüksek sıcaklık değerinin pirincin ergime sıcaklığına yaklaşmasından dolayı pürüzlülük değerinin arttığı saptanmıştır. DKP malzeme ise düzenli bir değişim gözlemlenememiştir.

Belirlenen bu değerler ışığında;

1. HRP malzemenin tavlama sıcaklığının artması ile yüksek kulaklanma ve buruşma değerine ulaştığı ve buna karşın yüzey pürüzlülüğünün yüzey sertliği değeri ile birlikte azaldığı belirlenmiştir. Ferrit bölge içerisinde kalacak şekilde yapılan bu tavlama işlemi HRP malzemenin derin çekilebilirlik yeteneğini ise düşük ölçüde etkilemektedir.
2. DKP malzemenin tavlama sıcaklığının artması ile yüksek kulaklanma ve buruşma değerine ulaştığı belirlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü değerinin tavlama sıcaklığı parametresine bağıntısı belirlenememiş olup yüzey sertliği

değeri ise artma eğilime girmektedir. Ferrit bölge içerisinde kalacak şekilde yapılan bu tavlama işlemi DKP malzemenin derin çekilebilirlik yeteneğini ise düşük ölçüde etkilemektedir.

3. Pirinç malzemenin tavlama sıcaklığının artması ile yüksek kulaklanma ve buruşma değerine ulaştığı belirlenmiştir. Yüzey sertliği değerinin ise büyük oranda azaldığı saptanmış olup yüzey pürüzlülüğü değeri ergime noktasına yaklaşılmaması ile artmıştır. Tavlama sıcaklığının artması ile malzemenin derin çekilebilirlik yeteneğinin de arttığı tespit edilmiştir.
4. Farklı malzemeler kullanılarak yapılan bu çalışmada, malzemelerin tavlama sıcaklığına verdiği tepki belirlenmeye çalışılmıştır. Her bir malzeme ile yapılacak olan derin çekme ile imalatta, farklı tavlama parametrelerinin istenen imalata uygun biçimde seçilmesi gerekmektedir.
5. Yapılan deneylerde yüksek tavlama sıcaklığının kullanılan malzemelerden bağımsız olarak kulaklanma ve buruşmayı arttırdığı tespit edilirken diğer sonuçların malzemeye bağımlı olarak değiştiği tespit edilmiştir.

Kaynakça

- [1] Çetin, H. 2005. Alüminyum Alaşımı Hafif Metal Levhaların Prizmatik Derin Çekmede Biçimlendirilebilirlik Özelliklerinin Araştırılması. SDÜ, FBE, Yüksek Lisans Tezi, 163s, Isparta.
- [2] Dengiz, C.G. 2014. Desenli Çelik Sacların Şekil Alma Kabiliyetlerinin Araştırılması. Mühendis ve Makine Dergisi, cilt 55, sayı 650, s. 47-55.
- [3] Erdem, G. 1999. Sürekli Tavlama Prosesi ile Tavlanaçak Derin Çekme Çelik Kalitelerin Sıcak Haddeleme Proses Parametrelerinin Optimizasyonu. İTÜ, FBE, Doktora Tezi, 125s, İstanbul.
- [4] Gürün, H. 2008. Derin Çekme Kalıplarındaki Parametrelerin Deneysel Olarak İncelenmesi ve Bulanık Mantık ile Tahmini. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 154 s, Ankara.
- [5] Kayalı, E.S. 1990. Metalik Malzemelerin Mekanik Deneyleri, 168s, İstanbul.
- [6] Kayalı, E.S., Ensari, C. 2000. Metallerde Plastik Şekil Verme İlke ve Uygulamaları, 420s, İstanbul.
- [7] Özkan, S. 2013. Alaşımli Bakır Levhaların Derin Çekme Prosesinde Gerilme Analizi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, YL Tezi, 130s, Ankara.
- [8] Öztürk, T. 1984. Çelik Sacların Biçimlendirme Özellikleri. Mühendis ve Makina Dergisi, cilt 25, sayı 292, s. 12-17.
- [9] Singh, M., Choubey, A.K., Sasikumar, C. 2017. Formability Analysis of Aluminium Alloy by Erichsen Cupping Test Method, Materialstoday Proceedings, cilt 4, sayı 2, s.805-810.
- [10] Sümer, H. 2018. Derin Çekme Yöntemi. 30.09.2020. <https://argevetasarim.com/derin-cekme-yontemi>
- [11] Şener, B. 2012. Otomotiv Sektöründe Kullanılan Derin Çekme Saclarının Şekillendirilebilirliğinin Analizi. İTÜ, FBE, Yüksek Lisans Tezi, 140s, İstanbul.
- [12] Takalkar, A.S., Chinnapandi, L.B.M. 2019. Deep Drawing Process At The Elevated Temperature: A Critical Review And Future Research Directions, CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, sayı 27, s. 56-67.
- [13] Taşdemir, V. 2013. Derin Çekme İşlemi Üzerine Kalıp Geometrisinin Etkisinin Sonlu Elemanlar Analizi, KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi,16(1), s. 43-47.
- [14] Zamfirova, G., Dimitrova, A. 2000. Some methodological contributions to the Vickers microhardness technique, Polymer Testing, cilt 19, sayı 5, s. 533-542.
- [15] Zheng, K., Zhu, L., Lin, J., Dean, T.A., Li, N. 2019. An Experimental Investigation of The Drawability Of AA6082 Sheet Under Different Elevated Temperature Forming Processes. Journal of Materials Processing Tech, sayı 273.