

Tavlama İşleminin Al7075-T6 Sac Malzemesinin Mekanik Özellikleri ve Bükme ile Şekillendirilebilirliğine Etkisinin Deneysel Araştırılması

An Experimental Investigation of Annealing Parameters Effects on Al7075-T6 Materials' Mechanical Properties and Formability

Mehmet Okan KABAKÇI^{1*}, İbrahim KARAAĞAÇ¹, Mehmet Yasin DEMİREL²

¹Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

²İmalat Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Türkiye

*Mehmet Okan KABAKÇI: mokabakci@gazi.edu.tr

Öz

Al7075-T6 alaşımları, oda sıcaklığında yüksek mekanik ve düşük süneklik özellikleri nedeniyle kısıtlı miktarda şekillendirilebilirlik kabiliyetine sahip malzemelerdir. Yapılan çalışmada, farklı parametrelerde uygulanan tavlama işlemlerinin; Al7075-T6 malzemesinin mekanik özelliklerine ve bükme ile şekillendirilebilirliğine etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Deney numuneleri, RT – 100°C – 200°C – 300°C – 400°C sıcaklıklarında ve 6 dk. 30 dk. 60 dk. bekletme sürelerinde tavlama işlemine tabi tutulmuştur. Deney numunelerinin şekillendirilebilirlikleri 30°, 60°, 90°, 120° kalıp açılarında V bükülerek araştırılmıştır. Mekanik özellikleri sertlik ölçme ve çekme testleriyle belirlenmiştir. Tavlama işlemleri ile malzemenin mekanik özelliklerindeki azalmaya bağlı olarak bükme ile şekillendirilebilme kabiliyetinin arttığı gözlemlenmiştir. RT ve 100°C sıcaklıklarda tavllanmış olan numunelerin 30° büküm açılı kalıpta dahi şekillendirilemezken, 400 °C sıcaklık ve 60dk. bekletme süresinde tavllanmış olan numunelerin ise 120° büküm açısında herhangi bir kırılma ya da çatlama kusuru oluşmadan şekillendirilebildiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Al7075-T6, Şekillendirilebilirlik, Tavlama

Abstract

Al7075-T6 alloys have limited formability because of their high strength and low ductility properties at room temperature. In this study, the effect of annealing parameters on mechanical properties and formability of the Al7075-T6 sheet metal

material were investigated experimentally. The test specimens were annealed at RT - 100 °C - 200 °C - 300 °C - 400 °C variable temperature and at 6, 30 and 60 minutes values. Formability of the test specimens was investigated by V bending at 30°, 60°, 90°, 120° die angles. Mechanical properties of the material were determined by hardness measurement and tensile tests. It has been observed that the mechanical properties of the material are reduced as a result of the annealing process and formability was increased. Consequently, it has been observed that the specimens which were annealed at RT and 100 °C temperatures could not be formed even at the 30° bending angle die, but the specimens annealed at high temperatures and at holding times (400 °C – 60 min.) can be formed without any defect in the bending angle of 120°.

Key words: Al7075-T6, Formability, Annealing

1. Giriş

Alüminyum alaşımları düşük yoğunlukları, yüksek dayanım özellikleri, düşük süneklik değerleri ve iyi korozyon direnci gibi faydalar sağlayan bir malzemedir. Bu nedenlerden dolayı otomotiv, savunma, uzay ve havacılık gibi önemli endüstri alanlarında Alüminyum alaşımları sıklıkla tercih edilmektedir. Al7xxx serisi alüminyum alaşımları sahip oldukları üstün özelliklerden dolayı endüstrinin birçok önemli alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak bu alaşımların plastik şekillendirme yöntemleri kullanılarak şekillendirilmesini kısıtlayan çeşitli problemler ile karşılaşılabilir. Oda sıcaklığında düşük süneklik ve zor şekillendirilebilme özellikleri ise Al7075 malzemesinin şekillendirilebilmesini önemli ölçüde kısıtlayan faktörlerdendir. Al7075 alaşımına, çatlaklar ve kırılmalar gibi şekillendirme kusurlarının oluşumuna izin vermeden şekillendirme kabiliyetlerini arttırmak için şekil verme işlemlerinden önce ısı işlem uygulamak ya da şekil verme işlemleri sırasında ısı girdisi oluşturmak gerekmektedir [1-3]. Yaşlandırma işlemi yüksek dayanım özelliklerine sahip alüminyum alaşımlarına şekillendirilebilirliği arttırmak için sıklıkla uygulanmakta olan bir ısı işlem yöntemidir. Bu proseste sırasıyla; fazların çözündürüldüğü bir çözeltiye alma işlemi, aşırı doymuş yapıların meydana geldiği su verme işlemi ve çözünmüş olan atomların oda sıcaklığı ya da daha yüksek sıcaklıklarda çöktüğü yaşlandırma işlemi aşamalarından oluşmaktadır. Literatürde, çeşitli ısı işlem adımları uygulanarak Al7075 malzemesinin şekillendirilebilirliğinin ve mekanik özelliklerinin değişiminin

incelendiği gözlemlenmiştir. Ortiz vd. [4] endüstride sıklıkla kullanılmakta olan farklı temperleme sınıflarında (T-O, T3, T6, T8) çeşitli alüminyum alaşımlarına (Al2024, Al6061, Al7075-T6) oda sıcaklığında plastik deformasyon uygulayarak malzemelerin uzama limitlerini ölçmeyi hedeflemişlerdir. Bununla birlikte alaşımların; çekme özellikleri, tane büyüklükleri, süneklikleri ve sertlikleri gibi çeşitli özellikleri de incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmalar sonucu, bu alüminyum alaşımlarına yüksek süneklik değerleri ve düşük dayanım özellikleri kazandıracak şekilde uygulanan tavlama işlemleriyle şekillendirme operasyonlarının daha başarılı olacağı ifade edilmiştir. Çetin vd. [5] yaptıkları çalışmalarında farklı sıcaklıklarda (RT, 100°C, 150°C, 200°C, 250°C, 300°C) Al7075-T6 alaşımının çekme davranışını deneysel ve nümerik olarak incelemişlerdir. Deneylerden elde ettikleri akma ve çekme mukavemeti verileri ile yüzde uzama değişimlerini yorumlamışlardır. Yapılan çalışma sonucunda, 100°C sıcaklığa kadar malzemenin mekanik özelliklerinde önemli bir değişimin olmadığını, 250°C sıcaklığa kadar akma ve çekme dayanımlarının belirli bir miktar azalıp sünekliğin ise arttığını, ancak 300°C sıcaklıkta ise akma ve çekme dayanımlarında ciddi bir azalma meydana geldiğini belirtmişlerdir. Kumar [6] yaptığı çalışmada Al7075-T6 malzemesine öncelikle ani olarak ısıtarak (shock heat treatment –SHT-) bir ısıtma işlemi uygulamış ardından oda sıcaklığında şekillendirme işlemi uygulamıştır. Yapılan şok ısıtma işlemi 200-480 °C aralığında çeşitli sıcaklık değerlerinde gerçekleştirilmiştir. Uygulanan mekanik testler ve şekillendirme işlemleri sonucunda ise 400 °C sıcaklığa kadar artan SHT uygulamaları ile malzemenin akma dayanımında belirli oranlarda düşüşler olurken 300-480 °C aralığında ki değişken sıcaklıklarda uygulanan SHT işlemiyle yüzde uzamada önemli artışlar meydana geldiği tespit edilmiştir. Zou vd. [7] çözeltiliye alma ısıtma işlemi uygulanan Al7075 alaşımının mekanik özelliklerini ve ikinci faz oluşumunu deneysel araştırmışlardır. Çözeltiliye alma ısıtma işlemi sıcaklığa bağlı etkilerini analiz edebilmek için numunelere 450 °C, 460 °C, 470 °C ve 480 °C sıcaklıklarında 5 saat süre ile ısıtma işlemi uygulamışlardır. Çözeltiliye alma ısıtma işlemi süreye bağlı etkilerinin analiz edilebilmesi için ise en uygun değer 460 °C sıcaklığında 4, 5, 6 ve 7 saat süre ile ısıtma işlemi uygulanmıştır. Daha sonra ise tüm numunelere 25 °C sıcaklıkta ki su içinde su verme işlemi uygulanmıştır. Hazırlanan numunelerine uyguladıkları mekanik testler sonucunda ise malzemenin 146.82 HV olan mikro sertliğinde %55.1 oranında, 285.22 MPa olan çekme dayanımında %40.9

oranında ve %2.3 miktarında olan yüzde uzamasında ise %109.1 oranında bir artışın olduğu söylenmiştir. Yılmaz vd. [8] 7075-T6 alüminyum alaşımlarının yeniden çözeltiye alınması işleminin malzemenin sertlik davranışlarına etkilerini bir deneysel çalışma ile araştırmışlardır. Çalışmalarında, öncelikle 7075 alaşımlarını T6 temperine ulaştırmak için 480 °C sıcaklıkta 2 saat süreyle çözeltiye almışlar ardından suda soğutarak bir saat oda sıcaklığında doğal yaşlandırma işlemine daha sonrasında ise 120 °C sıcaklıkta 24 saat yaşlandırma işlemine tabi tutmuşlardır. Bu işlemlerden sonra alaşım 180-260 °C değişken sıcaklıklarda ve 15-75 dk. arasında farklı bekletme sürelerinde tekrar çözeltiye alınmış ve hemen ardından 120 °C sıcaklıkta 24 saat yeniden yaşlandırma işlemi uygulanmıştır. Elde ettikleri numunelerine uyguladıkları testler sonucunda ise 220 °C sıcaklıktan daha yüksek sıcaklıklarda yeniden çözeltiye alınarak yeniden yaşlandırma işlemi uygulanmış olan alaşımların sertlik değerlerinde azalma olduğu belirtilmiştir. Kılıç ve Kacar [9] ise yaptıkları çalışmalarında farklı ısıtma işlemi uygulanmış olan Al7075 alaşımlarının şekillendirilebilirlik sınır diyagramının belirlenmesini deneysel olarak araştırmışlardır. Çalışmalarında 2 mm kalınlığında Al7075-T6 temperinde ve 500 °C sıcaklıkta 2 saat süre ile çözeltiye alınıp oda sıcaklığında su verilmiş Al7075-T6 numuneler kullanarak deneysel çalışmalarını yapmışlardır. Al7075-T6 temperinde ki malzemeye 10kN baskı plakası kuvveti ve 10mm/dk sabit deformasyon hızı; çözeltiye alma ve su verme işlemi uygulanmış numunelere ise 30kN baskı plakası kuvveti ve 10mm/dk sabit deformasyon hızı uygulanmıştır. Yapılan testler sonucu ısıtma işlemi uygulamasının malzemenin mekanik dayanım değerlerinde azalmaya sebep olarak şekillendirmeyi arttırdığını ifade etmişlerdir. Yapılan literatür araştırmaları sonucunda tavlama işlemlerinin Al7075 malzemesinin mikro-yapısal özellikleri ve mekanik dayanım değerleri üzerindeki etkileri birçok kez araştırılmış olduğu ancak tavlama işlemlerinin Al7075 malzemesinin şekillendirilebilirlik kabiliyetlerine etkileri üzerine araştırmalar yapılmadığı gözlemlenmiştir. Ayrıca tavlama işleminde uygulanan ve malzeme özellikleri üzerinde önemli değişimlere yol açan parametrelerden biri olan tavlama süresinin de araştırmalarda çok yer almadığı belirlenmiştir.

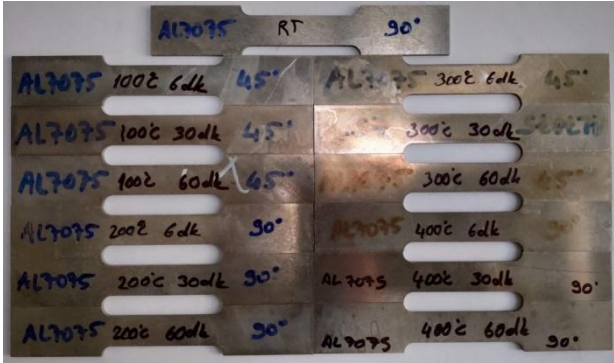
Yapılan bu çalışmada, ticari olarak hizmete sunulmuş olan çözeltiye alma ısıtma işlemi görmüş ve suni olarak yaşlandırılmış Al7075-T6 malzemesi endüstriden hazır olarak

temin edilip kullanılmıştır. Al7075-T6 alaşımı numunelerin farklı tavlama sıcaklıkları ve farklı tavlama sürelerinde tavlınması sonucu malzemenin mekanik özelliklerinde ve şekillendirilebilirlik kabiliyetinde görülen değişimlerin deneysel olarak araştırılması hedeflenmiştir. Ayrıca, yapılan çalışmalar sonucu elde edilen verilerin sonlu elemanlar analizleri çalışmalarında kullanılmak üzere yol gösterici bir örnek olması hedeflenmiştir.

2. Materyal ve Metod

2.1 Materyal

Deneysel çalışmalarda, T6 ısıl işleme tabi tutulmuş 3 mm kalınlığa sahip olan Al7075 sac malzeme kullanılmıştır. Öncelikle mekanik özelliklerin tespit edilmesi için kullanılan çekme test numuneleri tel erozyon tezgâhı yardımıyla ASTM-E8M standardına uygun olarak 0° hadde yönünde kesilerek hazırlanmıştır. Hazırlanan çekme testi deney numuneleri Şekil 1 ile gösterilmiştir. Daha sonrasında ise hazır temin edilmiş sac plaka, şekillendirmenin inceleneceği büküm operasyonlarında kullanılmak üzere giyotin makas kullanılarak 20 mm x 40mm ölçülerinde ve 0° hadde yönünde dilimlenerek hazırlanmıştır. Mekanik testlerin uygulandığı çekme test numuneleri ve büküm işlemlerinin uygulandığı deney numuneleri PID kontrollü fırında bir arada tavlama işlemine tabi tutulmuşlardır. Ayrıca deneysel çalışmalarda kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimi de kimyasal spektrometre cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Kimyasal bileşimin analiz sonuçları Tablo 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Farklı Tavlama Sıcaklıklarında ve Tavlama Sürelerinde Tavlınmış Çekme Test Numuneleri

Tablo 1

Al7075-T6 malzemesinin kimyasal analiz sonuçları

Element (%)	Al	Zn	Cu	Cr	Ti	Fe	Mn	Zr	Ni	Diğer
Al 7075-T6	92,432	5,481	1,534	0,169	0,144	0,112	0,037	0,035	0,016	0,04

2.2 Tavlama İşlemi ve Tavlama Parametreleri

Tel erozyon tezgâhında kesilen çekme deneyi numuneleri ve giyotin makas ile hazırlanan deney numuneleri farklı tavlama sıcaklıklarında (100 °C, 200 °C, 300 °C, 400 °C) ve farklı tavlama sürelerinde (6 dk, 30 dk, 60 dk) çözündürme işlemine maruz bırakılmıştır. Literatürde tavlama sıcaklıklarında bekleme sürelerinin 1 inch (25,4 mm) parça kalınlığı başına 60 dakika olarak uygulanmakta olduğu belirlenmiştir [10]. Yapılan çalışma kapsamında 3 mm kalınlığında numuneler kullanılmıştır. Bu nedenle tavlama sıcaklığında bekleme süresi de 6 dakika olarak belirlenmiştir. Ancak, tavlama prosesinin şekillendirilebilirlik üzerindeki etkilerinin daha iyi kavranabilmesi hedeflenerek 30 dakika ve 60 dakika tavlama süreleri de çalışma kapsamına dâhil edilmiştir. Tavlama işlemlerinde kullanılmış olan ısıtma oranı parametreleri de Tablo 2 ile verilmiştir. Ayrıca tavlama işleminin gerçekleştirildiği ortam Şekil 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2
Farklı Tavlama Sıcaklıkları için Değişen Isıtma Oranları

Isıtma Oranı			
100 °C	200 °C	300 °C	400 °C
1,33 °C/dk	3,00 °C/dk	4,66 °C/dk	6,33 °C/dk



Şekil 2. Tavlama ortamı (a) PID Üniteli Fırın; (b) Deney ve Test Numuneleri

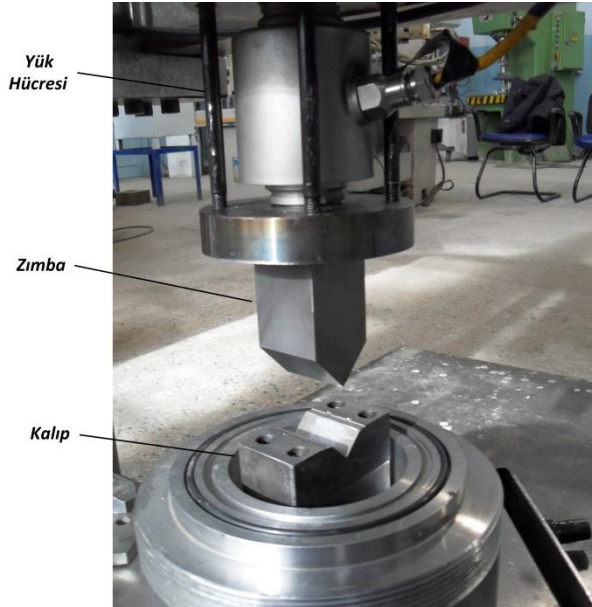
2.3 Deneysel Çalışma Ortamı ve Deney Parametreleri

Deney numunelerine, tavlama işleminden sonra bilgisayar kontrollü deney düzeneği kullanılarak bükme işlemi yapılmıştır. Şekillendirme deneylerinin yapıldığı ortam Şekil

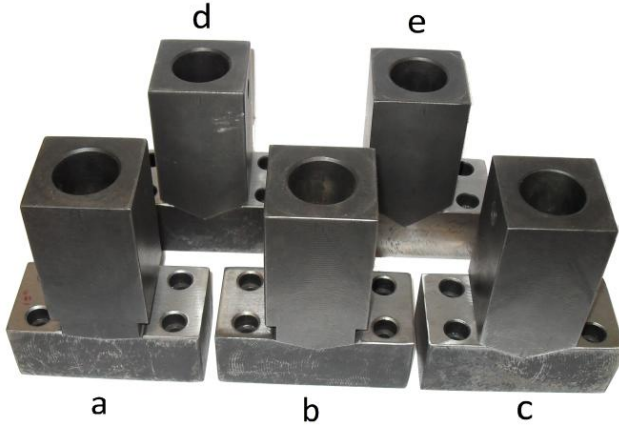
3 ve Şekil 4’te gösterilmiştir. Şekillendirme operasyonları 10 mm/sn sabit deformasyon hızında ve 30°, 60°, 90°, 120° açılı V bükme kalıplarında 0 mm uç radyüsüne sahip olan zimbalar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekillendirme işlemlerinin gerçekleştirildiği kalıp-zimba çiftleri Şekil 5’te gösterilmiştir. Her bir bükme operasyonunda meydana gelen zamana bağlı kuvvet değişimleri cihaz üzerinde bulunan yük hücrelerinin sağladığı veriler ile eş zamanlı olarak gözlemlenmiştir. Yapılan deneylerin ve elde edilen verilerin daha güvenilir olması açısından uygulanan her bükme işlemi iki kez tekrar edilmiştir.



Şekil 3. Deney Setinin Genel Yapısı



Şekil 4. Kalıp ve Zimbanın Detay Görünüşü

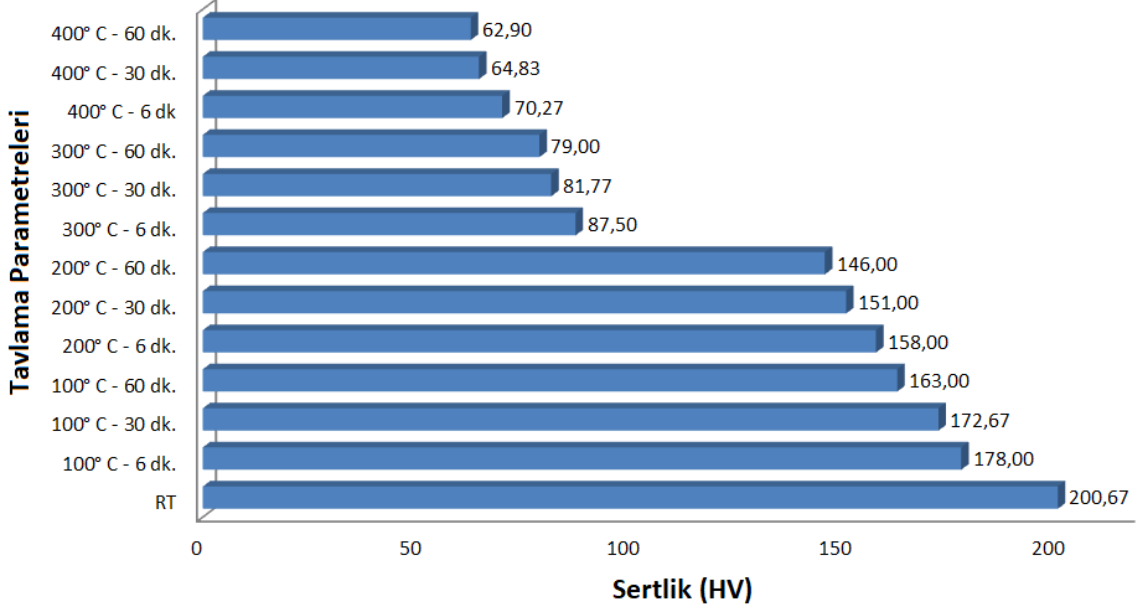


Şekil 5. Kalıp – Zımba Setleri; a: 15°, b: 30°, c: 60°, d: 90°, e: 120°

3. Tartışma ve Sonuç

Al7075-T6 alüminyum alaşımından hazırlanan deney numunelerine, RT-400 °C aralığında değişken tavlama sıcaklıklarında ve 6 dk, 30 dk, 60 dk. tavlama sürelerinde elektronik PID kontrollü tavlama fırınında ısıl işlem uygulanmıştır. Tavlanan numuneler, farklı büküm açlarına sahip V bükme kalıplarında bükülerek şekillendirilebilirlik özellikleri deneysel olarak incelenmiştir. Değişken parametrelerde tavllanmış olan deney numunelerinin şekillendirilebilirlik özelliklerinde oluşan farklılıkların daha iyi yorumlanabilmesi için sertlik ölçüm testleri ve çekme testleri uygulanarak mekanik özellikleri de araştırılmıştır. Al7075-T6 alaşımına, 100 °C tavlama sıcaklığında 60 dk. tavlama süresi parametrelerinde uygulanan ısıl işlem sonucu malzemenin mekanik özelliklerinde önemli bir değişimin olmadığı ve sonuçların birbirlerine \pm %3 sapma ile yakın değerlerde olduğu görülmüştür. 200 °C tavlama sıcaklığı ve 60 dk. tavlama süresi parametrelerinde uygulanan ısıl işlemler sonucunda ise malzemenin akma gerilmesinde yaklaşık olarak %16,75 oranında bir düşüş olduğu gözlemlenmiştir. Ancak, Al7075-T6 alaşımına uygulanan ısıl işlem parametrelerinin 300 °C tavlama sıcaklığı ve 6 dk. tavlama süresi olarak değiştirilmesi ile malzemenin mekanik özelliklerinde yaklaşık olarak %59,15 oranlarında belirgin bir azalmanın gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Isıl işlemde uygulanan tavlama sıcaklığının 400 °C'ye çıkarılması sonucunda malzemenin mekanik özelliklerinin giderek azaldığı tespit edilmiştir. Tavlama işleminin mekanik özelliklerde oluşturduğu değişimler çekme testleri ile belirlenmiştir. Çekme testi sonuçları Tablo 3 ile gösterilmiştir. Çekme testlerine ek olarak malzemeye sertlik ölçüm testleri de uygulanmıştır. Bu testler

parçanın uzun kenarında 10 mm eşit aralıklar ile 3 tekrarlı olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Yapılan sertlik ölçümü test sonuçları da Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Değişken Tavlama Parametrelerinde Görülen Sertlik Değişimi

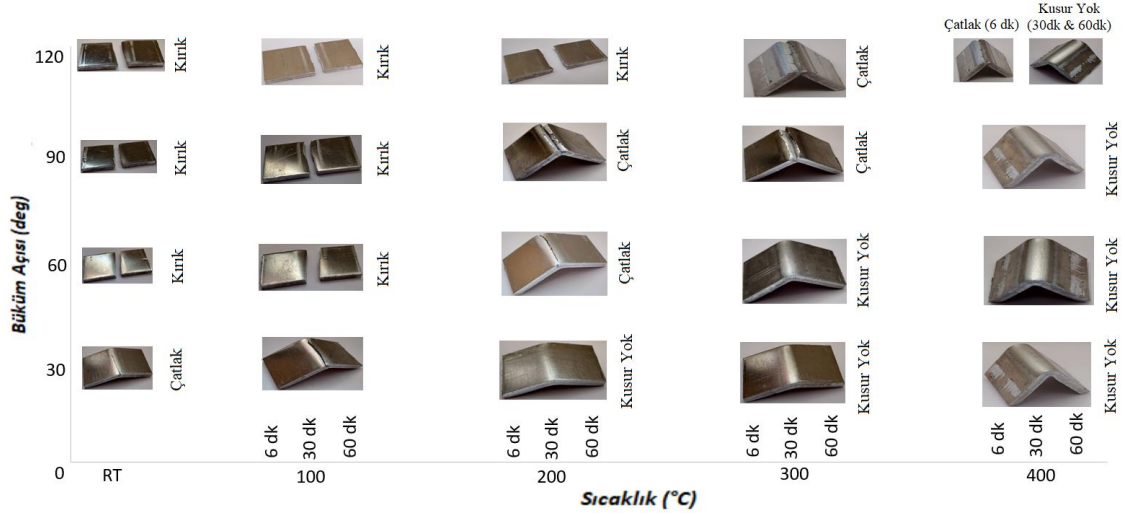
Tablo 3

Değişken Tavlama Parametrelerinde Görülen Mekanik Dayanım Değişimleri

Sıcaklık (°C)	Süre (dk.)	Akma Dayanımı (Mpa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Maksimum Çekmedeki Çekme Gerinimi (%)	Kopmadaki Çekme Gerinimi (%)
20	-	542,253	579,336	0,163	0,191
	6	539,156	583,438	0,159	0,191
100	30	538,755	581,581	0,159	0,200
	60	538,688	583,365	0,153	0,194
200	6	493,425	548,164	0,136	0,162
	30	482,021	533,840	0,127	0,155
	60	451,467	513,534	0,128	0,156
300	6	221,437	319,663	0,116	0,154
	30	172,125	277,109	0,127	0,171
	60	148,134	265,356	0,130	0,175
400	6	123,105	241,977	0,146	0,192
	30	113,081	223,914	0,168	0,216
	60	108,317	218,203	0,177	0,225

sürelerinde sadece 30° açılı bükme kalıbında başarılı bir şekillendirme işlemi gerçekleştirilebilirken diğer büküm açılarda ise malzemede büyük çatlamlar ve

kırılmalar gözlemlenmiştir. RT ve 100°C tavlama sıcaklığında ısıl işlem uygulanmış numunelerde ise bütün kalıplarda şekillendirme işlemine kırılmalar ve derin çatlaklar gözlemlenmiştir. Şekillendirme işlemleri sonucu elde edilmiş olan sonuçlar Şekil 7 ile gösterilmiştir.



Şekil 7. Al7075-T6 Alaşımının Farklı Tavlama Parametrelerinde Şekillendirilebilirlik Özellikleri

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, Al7075-T6 sac malzemesine farklı tavlama sıcaklıklarında ve farklı tavlama uygulanan tavlama işleminin sac malzemenin mekanik özelliklerine ve şekillendirilebilirliklerine etkileri açısından bükülerek incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucu elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir.

1. Tavlama sıcaklığı arttırıldıkça malzemenin sertlik değerlerinde ciddi miktarda azalmaların olduğu gözlemlenmiştir. Oda sıcaklığında 200.67 HV sertlik değerine sahip olan malzemedede, 100°C–6 dk tavlama parametrelerinde %11.30; 200°C–6 dk tavlama parametrelerinde %21.26; 300°C–6 dk tavlama parametrelerinde %56.40; 400°C–6 dk tavlama parametrelerinde ise sertlik değerinde %64.98 oranlarında azalmalar meydana gelmektedir.
2. Al7075-T6 alaşımının akma dayanımında, tavlama sıcaklığı ve tavlama sürelerinin arttırılmasıyla önemli ölçüde azalmalar gözlemlenmektedir. Oda sıcaklığında 542,253 MPa akma dayanımına sahip olan alaşımın 100 °C sıcaklıkta tavlama ile belirgin bir değişim gözlemlenmemiştir. Ancak,

200°C–60 dk parametrelerinde akma dayanımı %16.75; 300°C–6 dk parametrelerinde ise akma dayanımı %59.15 oranlarında azalmalar gözlenmiştir. 400°C –60 dk parametrelerinde ise akma dayanımında görülen azalma oranı %80.02 oranına yükseldiği belirlenmiştir.

3. Tavlama sıcaklığı ve tavlama sürelerinin artırılmasıyla Al7075-T6 sac malzemesinin sahip olduğu şekillendirilebilirlik kabiliyetleri de artmaktadır. RT ve 100 °C tavlama sıcaklıklarında ısıl işlem görmüş olan numunelerin 30° büküm açısında şekillendirilmesinde dahi çatlama kusuru gözlenirken; 400 °C – 30dk ve 400 °C – 60 dk tavlama parametrelerinde ısıl işlem uygulanan numuneler 120° büküm açısında çatlama ve kırılma kusuru oluşmadan şekillendirilebildiği gözlemlenmiştir.

4. Teşekkür

Bu makale, Karamanoğlu Mehmet Bey Üniversitesi tarafından 17-19 Ekim 2019 tarihlerinde düzenlenen 1.Ulusal Mühendislik Ve Teknoloji Kongresi'nde (UMTK) sunulmuştur. KMU UMTK'ya desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Polak, S., Kaczyński, P., Gronostajski, Z., Jaskiewicz, K., Krawczyk, J., Skwarski, M., ... & Chorzępa, W., “Warm forming of 7075 aluminum alloys”, *Procedia Engineering*, 207, 2399-2404, 2017.
- [2] Huo, W., Hou, L., Zhang, Y., & Zhang, J., “Warm formability and post-forming microstructure/property of high-strength AA 7075-T6 Al alloy”, *Materials Science and Engineering: A*, 675, 44-54, 2016.
- [3] Zheng, K., Politis, D. J., Wang, L., & Lin, J., “A review on forming techniques for manufacturing lightweight complex—shaped aluminium panel components”, *International Journal of Lightweight Materials and Manufacture*, 1(2), 55-80, 2018

- [4] Ortiz, D., Abdelshehid, M., Dalton, R., Soltero, J., Clark, R., Hahn, M., ... & Stoyanov, P., "Effect of cold work on the tensile properties of 6061, 2024, and 7075 Al alloys", *Journal of Materials Engineering and Performance*, 16(5), 515-520, 2007.
- [5] Çetin, M. H., Korkmaz, Ş., Çetin, M. E., & Belrzaeg, M. A. E., "AA7075-T6 Alaşımının Farklı Sıcaklıklardaki Çekme Davranışının Deneysel ve Nümerik Yöntemler ile İncelenmesi", *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(4), 902-915, 2018.
- [6] Kumar, M., "AW-7075-T6 sheet for shock heat treatment forming process", *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 27(10), 2156-2162, 2017
- [7] Zou, X. L., Hong, Y. A. N., & Chen, X. H., "Evolution of second phases and mechanical properties of 7075 Al alloy processed by solution heat treatment", *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 27(10), 2146-2155, 2017.
- [8] Yılmaz, R., Özyürek, D., & KİBAR, E., "Yeniden Çözeltiye Alma Parametrelerinin 7075 Alüminyum Alaşımının Sertlik Ve Aşınma Davranışlarına Etkisi", *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27(2), 2012.
- [9] KILIÇ, S., & KACAR, İ., "Farklı Isıl İşlem Uygulanmış 7075 Alüminyum Alaşımının Şekillendirilebilme Sınır Diyagramının Deneysel Olarak Belirlenmesi", *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(1), 512-520, 2019.
- [10] LeMaster R., Boggs, B., Hubbard, C., Watkins, T., "Grinding induced changes in residual stresses of carburized gears", *Gear Technology*, March/April, pp.42-49, 2015.