

Aşınmaya Karşı Dirençli Sac Malzemenin Mikro Yapısal Karakterizasyonu ve Şekillendirilebilirliğinin İncelenmesi

Mustafa ÖZDEMİR¹, Hakan GÖKMEŞE², Hakan DİLİPAK³, Volkan YILMAZ³

¹*Bozok Üniversitesi, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Yozgat*

²*Necmettin Erbakan Üniversitesi, Seydişehir Ahmet Cengiz Müh. Fak., Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü, Konya*

³*Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, İmalat Müh. Bölümü, Ankara*

Başvuru:28/11/2014 Düzeltme: 29/12/2014 Kabul: 13/01/2015

ÖZET

Gerçekleştirilen çalışmada, aşınmaya karşı dirençli olan Hardox 500 sac malzeme kullanılmıştır. Hardox 500 sac malzemeler sert ve gevrek bir yapıya sahip olmaları nedeniyle oda sıcaklıklarında şekillendirilmeleri esnasında çatlama ve yırtılma meydana gelmektedir. Bu istenmeyen durumu ortadan kaldırmak ve malzemenin şekillendirilebilirliğini arttırmak amacıyla farklı sıcaklıklarda 850°, 900°, 950° ve 1000°C de normalizasyon ısı işlemi uygulanarak şekillendirme (bükme) işlemleri uygulanmıştır. Bükme işlemleri 30° bükme açısında ve 4.5 mm zımba uç yarıçapında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde serbest V bükme kuvveti uygulanmıştır. Bükme işlemleri, zımba sac malzeme üzerinde bekletilmeden direk uzaklaştırılarak ve zımbanın sac malzeme kesit alanını ezmesine müsaade edilerek gerçekleştirilmiştir. Bükme işlemleri neticesinde, oda sıcaklığında bükülen numunelerde geri esneme, normalizasyon ısı işlemi uygulanıp bükülen numunelerde ise ileri esneme meydana geldiği tespit edilmiştir. Zımbanın sac malzeme kesit alanını ezmesi sonucunda ise, ileri ve geri esneme değerlerinin azaldığı belirlenmiştir. Uygulanan normalizasyon ısı işlemi ile numune deformasyon bölgelerinde makro ve mikro boyutta herhangi bir çatlak meydana gelmediği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bükme, Hardox 500, Normalizasyon ısı işlemi

ABSTRACT

In this study, Hardox 500 that we are resistant sheet material was used. Because of Hardox 500 steel materials have a hard and brittle structure, cracking and tearing occur at room temperature during their bending. Bending operations were applied after normalizing heat treatment at different temperatures (850, 900, 950 and 1000°C) to eliminate this undesirable situation and increase the ductility of the material. Bending operations were performed in 4.5 mm punch tip radius and angle of 30° bending. Free V-bending force was applied in the experiments. Bending operations were carried out by removed directly without waiting on sheet metal of punch and allowed to crush sheet material the cross-sectional area of the punch. As a result of bending operations, While the spring-back in the samples bending at room temperature, It was determined that occur spring-go in the samples bending after normalizing heat treatment. As a result of crushing to the sheet material cross-sectional area of punch, decrease of the spring back and go values was determined. In the deformation regions of the samples with the normalizing heat treatment were determined not occur any cracks at the macro and micro sizes.

Keywords: Bending, Hardox 500, Normalizing heat treatment

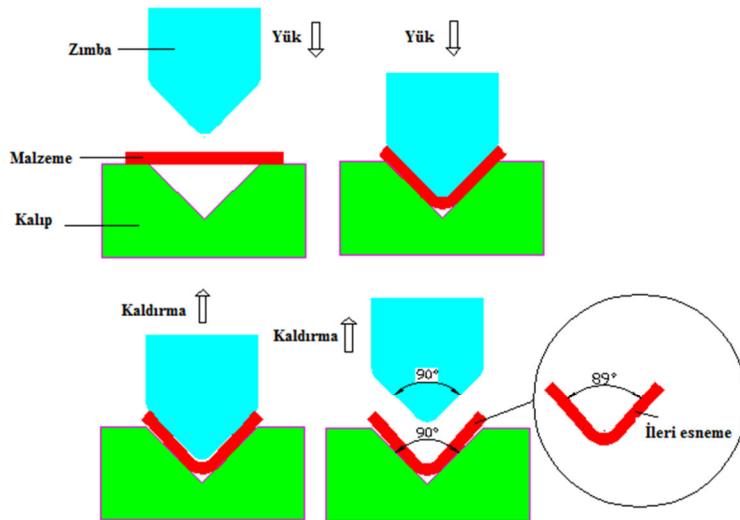
1. GİRİŞ (INTRODCUTION)

Endüstride, Hardox sac malzemeler aşınmaya karşı dayanıklı olmaları, yüksek tokluk, işlenebilirlik özelliği, kaynak edilebilirlik ve yüksek sertlik özelliklerine sahip olmaları nedeniyle yaygın olarak tercih edilmektedir [1]. Endüstride çeşitli uygulamalarda kullanılan makine parçalarının işleyişleri esnasında parçaların birbiri ile teması ya da zorlu çalışma şartları nedeniyle aşınarak orijinal ölçülerini kaybetmesi, hem makinenin çalışma düzenini bozmakta hem de makinenin verimini düşürerek kaliteli ürün elde edilmesini engellemektedir [2,3]. Aşınmada olduğu gibi, korozyon, darbe, iç gerilmeler ve yorulma nedeniyle hasar meydana gelen makine elemanları, sistemin tamamen yavaşlamasına hatta durmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, özellikle, taş ve maden taşıma gibi ağır işler yapan kamyonların kasası, kırıcı-delici-yükleyici gibi iş makinesi parçaları, maden araçları, kırıcı ekipmanları, damper kasaları, ekskavatör kepçeleri ve benzeri ekipmanlarda parçaların çalışma ömürlerinde artış sağlayarak darbe, iç gerilme, yorulma, sürtünme ve korozyonla oluşan malzeme kayıplarını da en aza indirmektedir [4-8].

Son yıllarda sac malzemelerin şekillendirilebilirliği üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde, Dilipak ve arkadaşları, farklı kalınlık ve özelliklere sahip sac malzemeleri farklı bükme açıları ve zımba radyüslerinde şekillendirilmesi neticesinde meydana gelen geri ve ileri esneme miktarları üzerine deneysel çalışmalar gerçekleştirmişlerdir [9-12]. Benzer bir çalışmada, Tekaslan ve arkadaşları tarafından, modüler bir V bükme kalıbı tasarlanarak farklı sac malzeme, kalınlık ve bükme açıları kullanılarak geri esneme değerlerinin tespiti üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir [13, 14]. Fei ve Hodgson, soğuk haddelenmiş TRIP çeliğinin, V bükme kalıbıyla şekillendirilmesi neticesinde deneysel ve sayısal olarak geri esneme miktarını araştırmışlardır [15]. Öztürk ve diğerleri, DP600 yüksek mukavemetli çeliğin geri

esneme ve gerilmesinin incelenmesi üzerine deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir [16]. Thipprakmas ve arkadaşları, V bükme işlemlerinde, coined-bead ve taguchi tekniği kullanarak geri ve ileri esnemede bükme açısı, malzeme kalınlığı ve zımba radyüsü gibi işlem parametrelerinin sonlu elemanlar yöntemi kullanarak uygun kalıp tasarımı üzerine deneysel bir çalışma yapmışlardır [17-19]. Bakhshi ve diğerleri, U ve V bükme işlemlerinde CK67 sac malzemeyi farklı haddelene yönlerinde bükülmesi neticesinde meydana gelen geri-ileri esnemeyi araştırmışlardır [20]. Choi ve Chin, yüksek mukavemetli düşük karbonlu çeliklerde geri esneme davranışının tahmini üzerine araştırmalar yapmıştır [21]. Ragai ve arkadaşları çalışmalarında, sac kalınlığı, sac anizotropisi, malzeme özellikleri, sürtünme katsayısı, zımba ucu ve ölçüsünün ileri-geri esnemeye etkisini araştırmışlardır [22]. Ötü ve arkadaşları, AA 5754 ve AL 1050 alüminyum sac numuneleri, 60°'lik V bükme kalıbında bükerek ön gerilmelerin geri esnemeye olan etkisini araştırmışlardır [23]. Mkaddem ve arkadaşları, kenar bükme işleminde geri esnemenin deneysel ve teorik yaklaşımlar kullanarak tespit edilmesi üzerine deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir [24].

Deneysel çalışmada kullanılan V dip bükme tekniğinde, V dip bükme süresince zımba (ıstampa-erkek kalıp) aşağı doğru inerken ilk olarak desteksiz sac ile temas eder. Zımba iş parçasının merkezinden, malzeme kalınlığı kadar aşağı bastırır. Bu durumda bükme kollarının uçları yukarı esneyerek kalıp radyüsleri etrafında çok az bir miktar hareket ederek reaksiyon gösterirler. Bükme olayı ilerledikçe sürüklenme ve dolayısı ile malzemenin reaksiyonu daha da artmaktadır. Bu durumda kollar bir öncesine göre daha da yukarıya kalkmış bulunmaktadır. Son safhada yalnız zımba ucu değil artık yan yüzeyleri de temas halinde ve zımba parçayı kalıp içine yatırmış durumdadır. Zımba sac malzeme üzerinden kaldırdığında bükme işlemi tamamlanmaktadır. Şekil 1' de V dip bükme olayı yer almıştır [25].



Şekil 1. V dip bükme tekniği

Gerçekleştirilen çalışmada, Hardox 500 aşınmaya dayanıklı çelik sac malzemeler oda sıcaklıklarında şekillendirilmesi neticesinde çatlama ve yırtılma meydana geldiği belirlenmiştir. Malzemenin şekillendirilebilirliğini incelemek amacıyla farklı normalizasyon sıcaklıkları (850°, 900°, 950° ve 1000°C) uygulanarak oda sıcaklığında, 30° bükme kalıbında 4.5 mm zımba uç yarıçapı ile bükülmüştür.

Bükme işlemleri zımba sac malzeme üzerinde bekletilmeden ve bekletilerek gerçekleştirilmiştir. Bükme neticesinde malzemelerin orta deformasyon

bölgeleri tel erozyon tezgâhında kesilerek mikro-yapısal karakterizasyonu incelenmiştir.

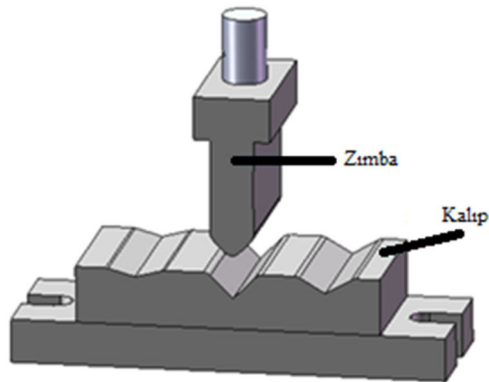
2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDIES)

Deneysel çalışmada kullanılan aşınmaya karşı dirençli Hardox 500 sac malzemenin kimyasal bileşimi Çizelge 1’de verilmiştir. Numuneler 30x60 mm boyutlarında (0°) haddeleme yönünde, hidrolik makas ile kesilerek hazırlanmıştır. Kesme sonucunda oluşan çapaklar temizlenmiştir.

Çizelge 1. Numunelerin ağırlıkça % kimyasal kompozisyonu

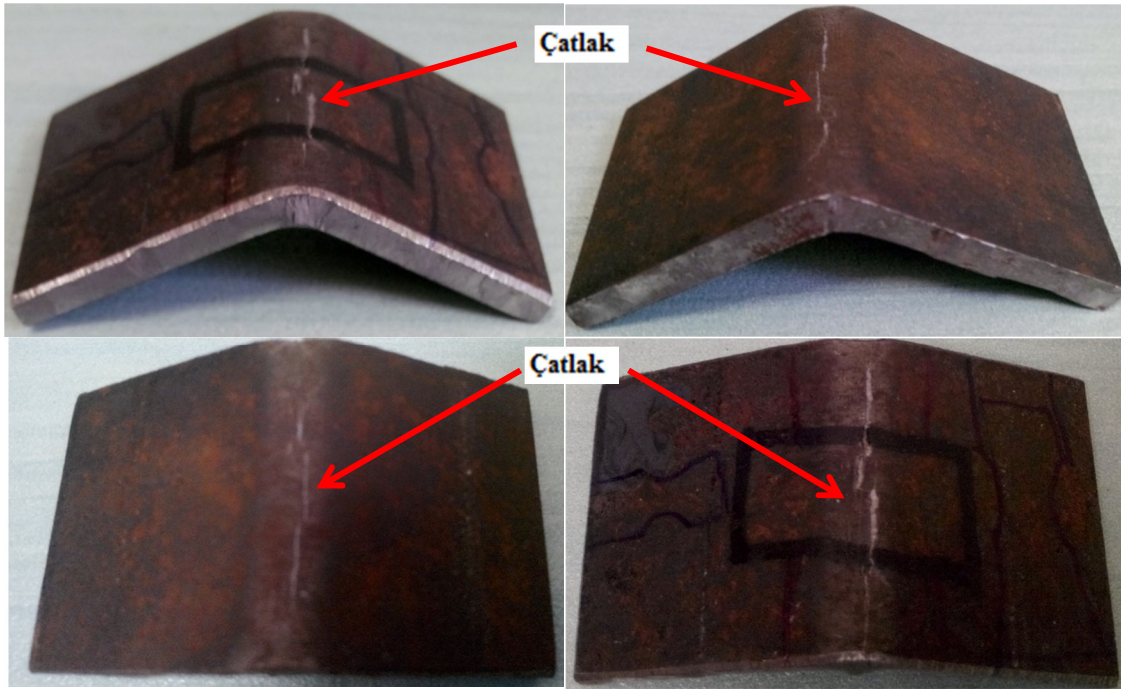
Malzeme	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
Hardox 500	0.29	0.78	1.66	0.025	0.009	1.11	0.22	0.27

Deneysel çalışmada kullanılan bükme kalıbının erkek zımbası ve dişi kalıbı C1390 makas çeliğinden, CNC Dik İşleme merkezinde hassas olarak imal edilmiştir. Bükme kalıbı malzemesinde, darbeden dolayı çatlama ve kırılma meydana gelebilmektedir. Bu nedenle, kalıp malzemesinin iç yapısındaki gerilmeleri gidermek için menevişleme işlemi uygulanmıştır. Şekil 2’de bükme kalıbı gösterilmektedir.



Şekil 2. Deneysel çalışmada kullanılan bükme kalıbı

Hardox sac malzemelerin oda sıcaklığında zımba yarıçapı 4.5 mm olan zımba ile 30° bükülmesi neticesinde yırtılma ve çatlama meydana geldiği belirlenmiştir (Şekil 3). Bükme işlemi neticesinde meydana gelen bu olumsuz durumun etkisini ortadan kaldırmak ve sac malzemenin şekillendirilebilirliğini arttırmak amacıyla 850, 900, 950 ve 1000°C sıcaklık değerlerinde (A₃ sıcaklığı üzerinde) normalizasyon ısıl işlemi uygulanarak, oda sıcaklığında bükülen sac malzemenin şekillendirilebilirliği mikro-yapısal olarak incelenmiştir. Ayrıca, numuneler üzerine bükme kalıplarıyla zımbanın sac malzeme üzerinde bekletilmeden direk uzaklaştırılarak ve kesit alanını ezmesine müsaade edilerek bükme işlemleri oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Bükme işlemi neticesinde, 850°, 900°C, 950°C ve 1000°C normalizasyon ısıl işlemi uygulanan numunelerin mikro yapı görüntüleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 3. Hardox 500 sac malzemenin 30° bükülmesi neticesinde elde edilen numune resmi

Deney serilerinde, 30x60 mm ebatlarındaki numunelere farklı sıcaklıklarda normalizasyon ısıl işlemi uygulanmıştır. Bükme işlemleri, zımba ve kalıp arasında sac kalınlığı kadar boşluk bırakılarak ve zımbanın sac malzeme kesit alanını ezmesine izin verilerek gerçekleştirilmiştir. Deneyler, serbest bükme kuvvetinde, zımba inme hızı 50 m/dk da gerçekleştirilmiştir. Bükme işlemlerinde kullanılan parametreler Çizelge 2’de gösterilmiştir. Farklı

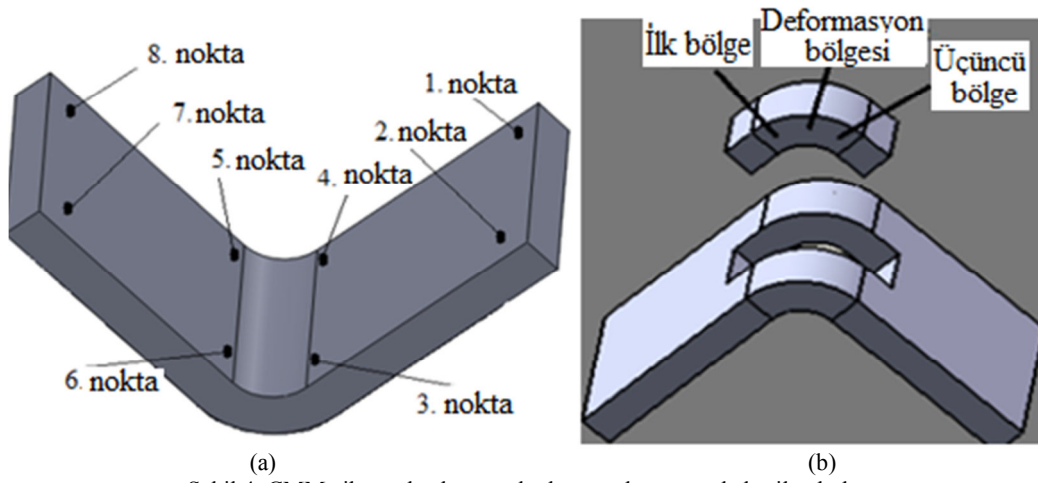
parametrelerin kullanıldığı bu çalışmada, toplam 40 adet deney yapılmıştır. Çalışmada, elde edilen değerlerin güvenilirliğini sağlamak amacıyla her bir deney 5 defa tekrarlanmıştır. Deneysel çalışmada tekrarlanan değerlerin aritmetik ortalamaları alınarak ileri ve geri esneme grafikleri oluşturulmuştur. Ayrıca, deney serilerinden çıkan sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Çizelge 2. Deneysel çalışmada kullanılan bükme parametreleri

Malzeme	Bükme parametresi	Normalizasyon sıcaklığı, (°C)	Bükme işlemi	Sac kalınlığı (mm)	Bükme Açısı (°)	Deney sayısı
Hardox 500	Isıl işlem	850	Direk Ezerek	4	30	40
		900				
		950				
		1000				
Toplam deney sayısı						40

Bükme işlemleri sonucunda elde edilen numuneler, açıölçerle ön bir ölçme işlemine tabi tutulmuş ve daha sonra her bir parça CMM cihazı kullanılarak hassas olarak ölçülmüştür. Ölçme işlemlerinde numune üzerinden 8 nokta alınarak bu noktalar arasındaki açı değerleri hassas olarak ölçülmüştür (Şekil 4-a). Bu sayede ölçmede meydana gelebilecek hata en aza indirilmiş ve sonuçların güvenilirliği sağlanmıştır.

Bükme işlemleri neticesinde, numune içyapılarında deformasyona bağlı olarak mikro çatlak oluşumlarını incelemek amacıyla, numune deformasyon bölgesinden tel erozyon tezgâhı ile parça kesilerek, malzeme mikro yapısal karakterizasyonu incelenmiştir (Şekil 4-b). Bu amaç için Leica marka optik mikroskop kullanılarak, özellikle bükme bölgesi malzeme deformasyonu açısından değerlendirilmiştir.



Şekil 4. CMM cihazında alınan noktalar ve tel erozyonda kesilen bölge

3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

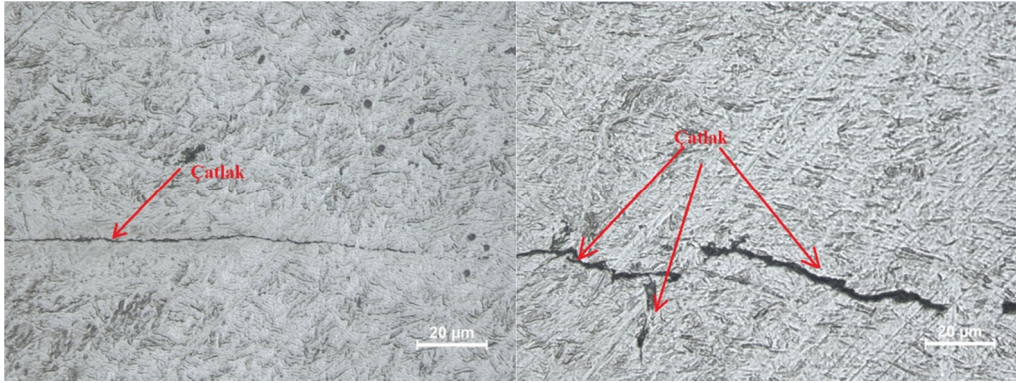
Deneyel çalışmada, 4 mm kalınlığındaki Hardox 500 numuneler zımba yarıçapı 4.5 mm olan 30° kalıp ile bükme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Oda sıcaklığında bükülen malzemelerde yırtılma ve çatlama meydana geldiği tespit edilmiştir. Sac malzemenin şekillendirilebilirliğini arttırmak amacıyla farklı sıcaklıklarda (850°, 900°, 950° ve 1000°C) normalizasyon ısı işlemleri uygulanmıştır. Gerçekleştirilen ısı işlemleri takiben bükme işlemleri uygulanmıştır. Deneyler, zımba sac malzeme üzerinde bekletilmeden direk uzaklaştırılarak ve zımbanın sac malzeme kesit alanını ezmesine müsaade edilerek gerçekleştirilmiştir. Deneyler neticesinde, elde edilen bükme değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak numunelerden geri ve ileri esneme değerleri elde edilmiştir.

Hardox 500 sac malzemenin oda sıcaklığında 30° bükme işlemleri sonucu elde edilen geri esneme değerleri ve bu değerlerin aritmetik ortalaması Çizelge 3'te verilmektedir.

Çizelge 3. 30° bükme uygulamalarında elde edilen geri esneme değerleri

Malzeme	Bükme Açısı (30°)	
	Direk	Ezme
Hardox-500	22.665	23.881
	22.585	24.972
	23.200	24.748
	22.686	25.631
	22.550	25.075
Ort. Esneme Değeri	22.737	24.861
Esneme Açısı	7.2630	5.139

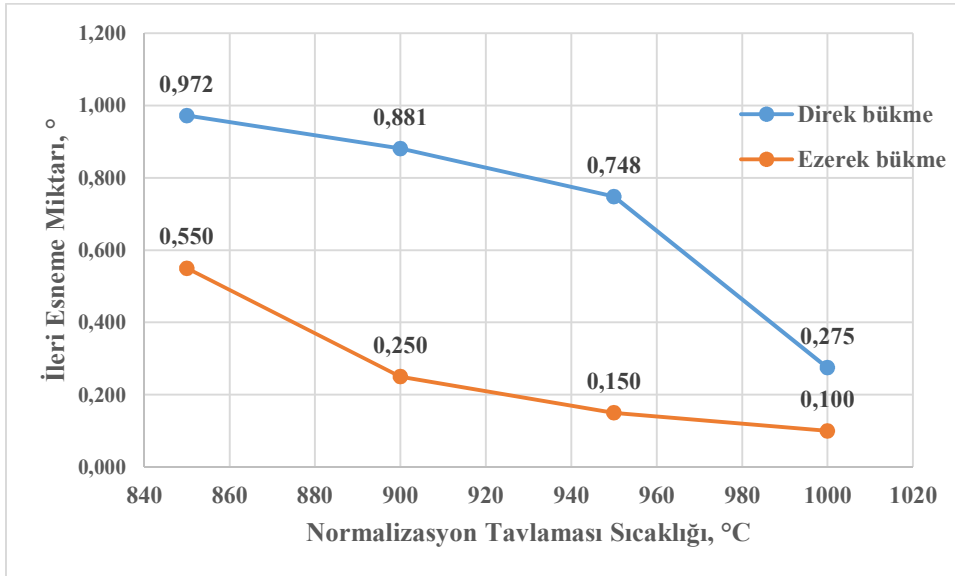
Çizelge 3 incelendiğinde, zımbanın sac malzeme bükme bölgesini ezerek yapılan uygulamaların, zımbanın sac malzeme üzerinde bekletilmeden direk kaldırıldığı uygulamalara göre geri esneme miktarının yaklaşık % 29.2daha az olduğu tespit edilmiştir. Bu durum bükme işlemi sonucunda malzeme içyapısında meydana gelen iç gerilmelerin azalması ve kesit alanının ezilmesi neticesinde malzemede kalıcı plastik deformasyon meydana gelmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Geri esneme değeri zımba bükme açısından çıkarılarak ideal bükme açısı elde edilir. Herhangi bir ısı işlemi uygulanmadan oda sıcaklığında 30° bükme işlemleri sonrasında, numunenin orta deformasyon bölgesinden alınan mikro yapısal görüntüsü Şekil 5'de gösterilmiştir.



Şekil 5. 30° bükme işlemi sonrasında deformasyon bölgesi mikro yapı görüntüsü

Şekil 5 incelendiğinde, bükme işlemi neticesinde makro boyutta çatlak tespit edilemeyen bazı Hardox 500 malzemelerin orta deformasyon bölgesinden alınan parçalarda, mikro-yapısal düzeyde çatlak sergilediği tespit edilmiştir. 30° bükme uygulamaları esnasında malzemenin gevrek bir davranış göstermesi ve sertliğinden dolayı bükme işlemi esnasında çatlama ve yırtılma meydana gelmektedir (Şekil 5). Bu durumu elimine etmek ve malzeme sünekliğini arttırmak

amacıyla farklı sıcaklıklarda (850°, 900°, 950° ve 1000°C) normalizasyon ısıl işlemi uygulanmıştır. Bükme işlemleri, bükme kalıbı sac malzeme üzerinde bekletilmeden ve bükme kesit alanını ezerek gerçekleştirilmiştir. Bükme işlemi sonucunda, normalizasyon ısıl işlemi sıcaklıkları ve elde edilen ileri esneme değerlerinin aritmetik ortalaması Şekil 6 da gösterilmektedir.



Şekil 6. 30° bükme uygulamalarında elde edilen ileri esneme değerleri

Farklı sıcaklıklarda (850°, 900°, 950° ve 1000°C) normalizasyon ısıl işlemi yapılmış numuneler üzerine bükme işlemleri uygulanmıştır. Bükme işlemleri zımba sac malzeme üzerinden direk kaldırıldığı ve zımbanın bükme deformasyon alanını ezmesine izin verilerek gerçekleştirilmiştir. Şekil 6 incelendiğinde, normalizasyon ısıl işlemi sıcaklıkları arttıkça ileri esneme değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Ezerek bükme işlemleri direk bükme işlemlerine göre kıyaslandığında, ileri esneme miktarlarında düşüş meydana geldiği belirlenmiştir. Normalize edilmiş numunelerde, ezerek bükme işlemi direk bükme işlemine göre 850°C; %43.41, 900°C numunelerde; %71.6; 950°C de; %79.94; 1000°C de ise %63.63 ileri esneme değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Normalizasyon sıcaklığı arttıkça malzemelerin sertlik

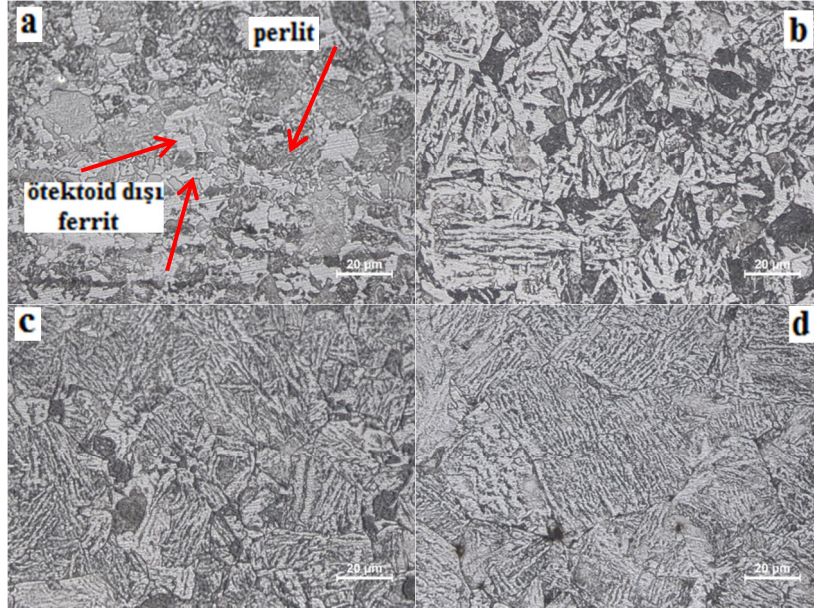
değerlerinin de azaldığı tespit edilmiştir. Bu durumdan dolayı, sertliği düşen malzemede yumuşama meydana gelmektedir. Bu bağlamda, ileri esneme değerlerinde de bir azalma meydana gelmiştir. İleri esneme miktarı, bükme işlemi neticesinde elde edilen açıdan, bükme açısı çıkarılarak elde edilir.

Örneğin, 900° uygulanan normalize sonrasında malzemenin 30° direk bükülmesi neticesinde elde edilen ileri esneme miktarı 0.881° (Şekil 6'dan alınmıştır), zımbanın bükme açısı olan 150° bükme açısına eklenerek ideal bükme açısı elde edilir. Buradan, erkek zımbaya verilmesi gereken açı miktarı hesabı aşağıda verilmektedir.

Erkek zımbaya verilmesi gereken açı = Bükülecek açı+ileri esneme miktarı
 $\alpha = 150^\circ + 0.881^\circ = 150,881^\circ$ olmaktadır.

Hardox 500 malzeme oda sıcaklığında büküldüğünde çatlama ve yırtılma meydana geldiği belirlenmiştir. Malzemenin şekil verilebilirliğini iyileştirmek amacıyla, farklı sıcaklıklarda normalizasyon ısı işlemi uygulanmış ve oda sıcaklığında bükme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan metalografik çalışmaların sonrasında 800, 850, 900 ve 1000 °C’ deki ısı işlem

uygulanmış malzemelerin mikro yapı görüntüleri verilmiştir (Şekil 7). Mikro yapı görüntüleri incelendiğinde, oda sıcaklığında yapılan bükme işlemlerinin aksine ısı işlemi etkisiyle malzemelerin homojen bir yapı ve çatlak oluşumunun yer almadığı bir morfoloji sergilediği belirlenmiştir. Normalizasyon ısı işlemi numunelere uygulanan havada soğumanın etkisiyle, Şekil 7-a ve b de çoğunlukla gözlenen ötektoid dışı ferrit ve bu yapının çevrelemiş olduğu perlitik yapının oluşumu belirlenmiştir [26].



Şekil 7. Isıl işlem uygulanan numunelerin mikro yapı görüntüleri;
a) 850°C, b) 900°C, c) 950° ve d) 1000°C

Şekil 7-c ve d mikro yapıları incelendiğinde, ötektoid ferrit yapısının perlit bölgelerini çevrelediği ağ yapısının oluşumunun yanı sıra yapının perlitik bir yapıda bulunduğu belirtilebilir. Yapılan ısı işlemi etkisiyle birlikte Hardox sac malzemesinde, iç yapıda oluşması muhtemel çatlak oluşumlarının giderildiği aynı zamanda homojen bir iç yapı morfolojisinde tane yapısının oluşumu tespit edilmiştir.

4. SONUÇLAR

4 mm kalınlığındaki Hardox 500 sac malzemenin 30° bükme kalıbında zımba yarıçapı 4.5 mm bükülmesi neticesinde elde edilen deney sonuçları aşağıda verilmiştir:

- ✓ Isıl işlem uygulanmadan, oda sıcaklığında bükülen numunelerde geri esneme meydana gelirken, ısı işlem uygulanmış numunelerde ise, ileri esneme meydana geldiği tespit edilmiştir.
- ✓ Sac malzemenin oda sıcaklığında ısı işlemleri yapılmadan, 30° bükülmesi neticesinde makro ve mikro boyutta çatlakların meydana geldiği belirlenmiştir.

- ✓ Ezerek bükme, direk bükme uygulamalarına göre ileri esneme değerini azalttığı tespit edilmiştir.
- ✓ Normalizasyon ısı işlemi uygulanan numunelerin mikro yapısında herhangi bir çatlama meydana gelmediği belirlenmiştir.
- ✓ Normalizasyon ısı işlem sıcaklığı arttıkça, malzemelerin ileri esneme değerlerinde ve sertlik değerlerinde azalma tespit edilmiştir.
- ✓ 850°C’de normalize edilmiş malzemede bükme işlemi sonunda 0.972°’lik esneme açısı ile ileri esneme en fazla gerçekleşirken; en az ileri esneme ise 0.1°’lik açıda, 1000°C’de normalize numunede elde edilmiştir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, finansal destek için BAP 07/2011-62 nolu proje ile Gazi Üniversitesi BAP Başkanlığına teşekkürlerini sunmaktadır.

REFERANSLAR

1. Yılmaz R., Türkmen M., Fıçıcı F., "Hardox 500 Çeliğinin Abrasif Aşınma Davranışının İncelenmesi", *International Iron & Steel Symposium*, Karabük, Türkiye, pp. 522-530.
2. Tülbentçi K., Kaluç E., "Kazı Makinelerinde Aşınan Parçaların Kaynakla Tamirinin Teknolojik ve Ekonomik Önemi", *Kaynak Dünyası*, 91, 2, 3-6, 1991.
3. Tylack J.H., "Abrasive wear", ASM Handbook, Vol. 18: Friction, Lubrication and Wear Technology, *ASM International*, 1992.
4. Milos S., Stanislav F., "Experimental research and analysis of selected technological parameters on the roughness of steel area surface hardox 500 with thickness 40 mm cut by awj technology", *Applied Mechanics and Materials*, Vol: 308, 13-17, 2013.
5. Frydman S., Konat L., Pekalski G., "Structure and hardness changes in welded joints of Hardox steels", *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 3:4, 15-27, 2008.
6. Pletz M., Davesa W., Yaob W., Ossberger H., "Rolling contact fatigue of three crossing nose materials multiscale FE approach", *Wear*, 314, 69-77, 2014.
7. Bicejova L., "Abrasive kind and granularity changes affects to water jet technology head vibration during cutting hardox material thickness alternation process", *Applied Mechanics and Materials*, Vol: 308, 75-79, 2013
8. Balos S., Sidjanin L., "Metallographic study of non-homogenous armour impacted by armour-piercing incendiary ammunition", *Materials and Design*, 32: 4022-4029, 2011.
9. Özdemir M., Dilipak H., Gökmeşe H., Yılmaz V., "Investigation as experimental and micro-structural of the effect to spring back/forward amount of 16Mo3 (1.5415) sheet materials of different heat-treatments", *ISITES*, vol. 2, p. 148-155, 2014.
10. Dilipak H., Özdemir M., Sarıkaya M., "Effects of Material Properties and Punch Tip Radius on Spring-Forward in 90° V Bending Processes", *Journal of Iron and Steel Research, International*, 20;64-69, 2013.
11. Özdemir M., Dilipak H., "S235JR (1.0038) Sac Malzemeye Uygulanan Isıl İşlemlerin İleri Esneme Miktarına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi", *Ulusal Talaşlı İmalat Sempozyumu*, 2012; 3;345-353.
12. Özdemir M., Gökmeşe H., Dilipak H., Yılmaz V., "Characterization of Microstructure and Bending Response of Sheet Material: Influence of Thickness", *Journal of Advanced Materials and Processing*, 3:3-14, 2015.
13. Tekaslan O, Şeker U, Gerger N., "Determination of Copper sheet metal in V bending dies", *J of The Faculty of Eng. And Arch. of Gazi Univ*, 23:201-38, 2008.
14. Tekaslan Ö, Gerger N, Şeker U., "Determination of spring-back of stainless steel sheet metal in V bending dies", *Mater Des*, 29:1043-50, 2008.
15. Fei D, Hodgson P., "Experimental and numerical studies of spring back in air V-bending process for coldrolled TRIP steels", *Nucl Engng and Des*, 236:1847-51, 2006.
16. Ozturk F, Toros S, Kilic S., "Tensile and spring-back behavior of DP600 advanced high strength steel at warm temperatures", *J Iron Steel Res Int*, 16:41-46, 2009.
17. Thipprakmas S, Rojananan S., "Investigation of spring-go phenomen on using finite element method", *Mater Des*, 29:1526-32, 2008.
18. Thipprakmas S., "Finite element analysis on the coined-bead mechanism during the V bending process", *Mater Des*, 32:4909-17, 2011.
19. Thipprakmas S, Phanitwong W., "Process parameter design of spring-back and spring-go in V-bending process using Taguchi technique", *Mater Des*, 32:4430-36, 2011.
20. Bakhshi J., Rahmani B., Daezade V., Gorji A., "The study of spring-back of CK67 steel sheet in V-die and U-die bending processes", *Materials and Design*, 30:2410-2419, 2009.
21. Choi SH, Chin KG., "Prediction of spring-back behavior in high strength low carbon steel sheets", *J Mater Proc Technol*, 171:385-92, 2006.
22. Ragai L, Lazim D, Nemes A., "Anisotropy and spring-back in draw-bending of stainless steel 410: experimental and numerical study", *J Mater Proc Technol*, 166:116-27, 2005.
23. Ötü R., Demirci H.I., "60°'lik V Bükme kalıbında AA5754 ve AL1050 sac malzemelerin farklı bükme metotları kullanılarak geri esneme miktarlarının tespiti", *International Iron & Steel Symposium*, 1006-1013, 2012.
24. Mkaddem A, Saidane D., "Experimental approach and RSM procedure on the examination of spring back in wiping-die bending processes", *J Mater Proc Technol*, 189:325-33, 2007.
25. Arslan B., "Geri Esnemenin Sac Parçaların Biçim Tamlığı Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi ve Sonlu Elemanlar Yöntemi Uygulamaları ile Değerlendirilmesi", *Yıldız Teknik Üniversitesi*

Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 10-20, 2007.

26. Savaşkan T., “Malzeme Bilgisi ve Muayenesi”, **Celepler Matbaacılık**, Trabzon, 2009.