

Hardox-500 Sac Malzemenin Şekillendirilebilirlik Davranışı Üzerinde Isıl İşlemin Etkisi

Hakan GÖKMEŞE^{1,*}, Mustafa ÖZDEMİR²

¹*Konya Necmettin Erbakan Üniversitesi Seydişehir Ahmet Cengiz Müh. Fak. Met. ve Mlz. Müh. Böl., Konya/TÜRKİYE*

²*Bozok Üniversitesi Teknik Bilimler M. Y.O. Mak. ve Met. Tekn. Böl., Yozgat/TÜRKİYE*

Başvuru: 08/11/2016

Düzeltilme: 20/11/2016

Kabul: 30/11/2016

ÖZ

Gerçekleştirilen çalışmada, Hardox 500 sac malzeme oda sıcaklığında 90° V dip bükme kalıbında şekillendirildiğinde, kırılma ve çatlamlar meydana gelmiştir. Sac malzemenin şekillendirilebilirliğini arttırmak amacıyla farklı sıcaklıklarda (850°C, 900°C, 950°C ve 1000°C) normalizasyon ısıl işlemi uygulanmıştır. Normalizasyon ısıl işlemi sonrasında sac malzemelere, V dip bükme kalıbı kullanılarak direk ve ezerek bükme işlemleri uygulanmıştır. Bükme işlemleri sonrası sac malzemelerde, makro ve mikro boyutta herhangi bir kırılma veya çatlak oluşumlarının meydana gelmediği tespit edilmiştir. Artan normalizasyon ısıl işlem sıcaklıklarında, geri esneme miktarlarının azaldığı belirlenmiştir. Ezerek bükme işlemlerinde ise, geri esneme değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Geri esneme, V dip bükme, normalizasyon ısıl işlemi

The Effect Of Heat Treatment On The Formability Behavior Of Hardox-500 Sheet Material

ABSTRACT

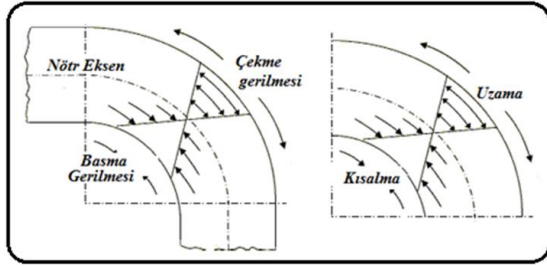
In this study, fracture and cracking were occurred when Hardox 500 sheet material formed at 90 V bottoming bending dies at room temperature. Hardox 500 sheet materials were normalized at different temperatures (850°C, 900°C, 950°C and 1000°C) to increase formability. Direct and crushed bending processing were made using the V bottoming bending die on the sheet materials after the normalization heat treatment. After macro and micro analyses of bended sheet materials, any crack and fracture formation were not observed. The amount of spring back decreased with increasing normalization temperatures. In the crushed bending process, it is also determined that the amount of spring-back value decreased.

Keywords: Spring back, V bottoming bending, normalization heat treatment

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Bükme işlemi, sac metal şekillendirme tekniklerinde talaş kaldırmadan yapılan en önemli uygulama alanlarından bir tanesidir. Bükme; işleme uygun bir kalıp aracılığıyla iş parçasına istenilen şekli ve profili kazandırmak amacıyla bir eksen etrafında döndürülmesi işlemidir. Bükme işlemleri neticesinde, sac malzeme üzerine kuvvet uygulandığında elastik ve plastik deformasyon meydana gelmektedir. Uygulanan kuvvete bağlı olarak malzeme üzerinde akma gerilmesi aşılamadığı takdirde elastik deformasyon (kalıcı olmayan şekil değiştirme), akma gerilmesi aşıldığı takdirde ise, kalıcı şekil değiştirme plastik deformasyon meydana gelmektedir.

Sac metal şekillendirme işlemlerinde, zımba sac malzeme üzerinden kaldırıldığında sac malzemenin iç kısmında basma, dış kısmında ise çekme gerilmesi meydana gelmektedir. Çekme ve basma gerilmelerini birbirinden ayıran çizgiye nötr eksen denilmektedir (Şekil 1). Bükme uygulanan bölgede sac kalınlığı değişmediği kabul edilecek olursa, nötr eksen sac malzemenin ortasından geçmektedir. Malzeme üzerinde meydana gelen gerilmelerden dolayı, iç deformasyon bölgesinde kısalma, dış deformasyon bölgesinde ise uzama meydana gelmektedir[1]



Şekil 1. Bükme işlemi neticesinde meydana gelen basma ve çekme gerilmesi (Compressive and tensile stresses occurring during the bending process)

Hardox 500 sac malzeme aşınmaya karşı dirençli çeliklerdir. Aşınmaya karşı dirençli sac malzemeler endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle; yüksek sertlik, yüksek mukavemet ve üstün tokluk özellikleri neticesinde tercih edilmektedirler.

Hardox, enerji sektöründe buhar kazanları, havalandırma kazanları, eşanjör imalatlarında; taş ve maden taşıma gibi ağır işler yapan kamyon kasası, kırıcı-delici-yükleyici gibi iş makinesi parçaları, maden araçları, damper kasaları, kırıcı donanım gibi alanlarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu gibi yüksek mukavemetli sac malzemelerin oda sıcaklıklarında şekillendirme işlemleri neticesinde yırtılma, çatlama ve kırılma gibi istenmeyen durumlar meydana gelmektedir. Bu istenmeyen durumlar çeşitli ısıtma işlemleri neticesinde çözüldüklerinde ise, sac metal endüstrisinin en önemli problemi olan geri esneme davranışı meydana gelmektedir [2-4].

Geri esneme istenen ölçü ve hassasiyetteki ürünlerin şekillendirme işlemleri sonrasında elde edilmesine etki etmektedir. İstenen ölçü ve hassasiyetteki ürünlerin elde edilmemesi deneme-yanılma yöntemi ile harcanan zaman, maliyet ve iş gücü gibi maddi kayıplara sebep olmaktadır. Geri esneme değerinin bilinmesi ile uygun açı ve ölçüde ürünler elde edilebilmektedir. Son yıllarda bükme işlemleri sonrasında meydana gelen geri esneme üzerine bir çok çalışmalar yapıldığı yapılan literatür incelemesi neticesinde belirlenmiştir.

Özdemir ve arkadaşları, S235JR ve 16Mo3 sac malzeme üzerine uygulanan ısıtma işlemlerinin sac malzemenin mekanik özelliklerini ve şekillendirilmesi sonucunda meydana gelen geri ve ileri esneme davranışını incelemiştirler [1, 5-8]. Tekaslan ve arkadaşları, bükme kalıplarında farklı kalınlık ve özellikteki sac malzemelerin geri esneme durumlarının incelenmesi üzerine deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir [9, 10]. Tekiner, serbest V bükme yöntemi kullanarak geri esnemenin deneysel olarak tespiti ve sonlu elemanlar yöntemiyle tahmini üzerine deneysel çalışmalar gerçekleştirmişlerdir [11]. Kılıç ve arkadaşları, 60° V bükme kalıbı kullanarak, farklı kalınlık ve genişlikteki DP600 sac malzemeyi, farklı deformasyon hızlarında şekillendirilmesi neticesinde meydana gelen geri esneme davranışlarını deneysel ve sayısal olarak incelemiştir [12, 13]. Thippakmas ve arkadaşları, V bükme işlemlerinde, Taguchi ve ANOVA tekniği kullanarak; geri ve ileri esnemede bükme açısı, malzeme kalınlığı ve zımba radyüsü, zımba bükme derinliği gibi işlem parametrelerinin sonlu elemanlar yöntemi kullanarak uygun kalıp tasarımı üzerine deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir [14-17]. Shukla ve Gautam, düşük karbonlu çeliğin ileri esneme davranışının deneysel ve sayısal analizi üzerine çalışma gerçekleştirmişlerdir [18]. Fei ve Hodgson, soğuk haddelenmiş TRIP çeliğinin, serbest V bükme işlemiyle deneysel ve sayısal olarak geri esneme davranışını incelemiştirler [19].

Ling ve arkadaşları, AL2024-T4 sac malzemenin L kenar bükme işlemi neticesinde, geri esneme analizini Sonlu elemanlar yöntemi (SEY) kullanarak incelemiştirler [20]. Chan ve arkadaşları, sac metal şekillendirme işlemlerinde V bükmenin geri esneme davranışının SEY analizi üzerine çalışma gerçekleştirilmiştir. Zımba radyüsü, zımba açısı ve kalıp uç radyüsü parametrelerinin geri esneme üzerindeki etkisi araştırılmıştır [21].

Gerçekleştirilen çalışmada, aşınmaya karşı dayanıklı Hardox sac malzeme kullanılmıştır. Oda sıcaklıklarında şekillendirildiklerinde kırılma (ikiye ayrılma) meydana gelmektedir. Bu olumsuz durumu ortadan kaldırmak amacıyla 850, 900, 950 ve 1000°C sıcaklıklarda normalizasyon işlemi uygulanmıştır. Uygulanan ısıtma işlemleri neticesinde sac malzemelere bükme işlemi uygulandığında çatlama ve kırılma davranışının makro ve mikro yapısal olarak meydana gelmediği belirlenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (MATERIAL AND METHOD)

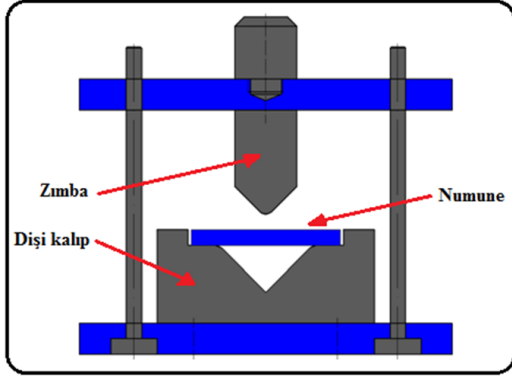
Deneysel çalışmada; 4 mm kalınlığında, 30x60 mm boyutunda olan Hardox-500 sac malzemeler kullanılmıştır. Hardox-500 sac malzemesinin kimyasal bileşimi Çizelge 1'de gösterilmiştir. Malzemeler (0°) haddeleme yönünde, hidrolik makas ile kesilerek hazırlanmıştır. Kesme işlemi sonucunda, malzeme yüzeyinde ortaya çıkan çapak ve talaş oluşumları, malzeme yüzeyinden uzaklaştırılmıştır.

Çizelge 1. Hardox sac malzemenin kimyasal bileşimi (%)

(Chemical composition of hardox sheet material (%))

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
0,29	0,78	1,66	0,025	0,009	1,11	0,22	0,27

DeneySEL çalışmalarda 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, gerilim giderme ısıl işlemi (660°C-75dakika) uygulanmıştır. Şekil 2'de deneySEL çalışmalarda kullanılan bükme kalıbı, zımba (uç radyüsü 4,5 mm) ve deney numunesi şekli gösterilmiştir.



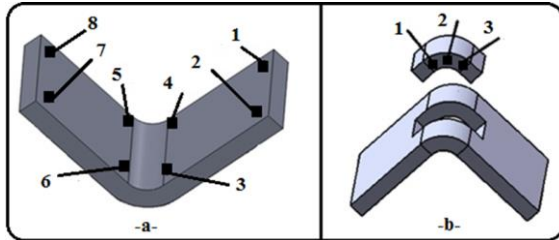
Şekil 2. DeneySEL çalışmalarda kullanılan bükme kalıbı

(The bending die used in the experimental study) Oda sıcaklığında şekillendirme işlemi neticesinde kırılma meydana gelen malzemelerin, iç gerginliklerini azaltmak amacıyla normalizasyon ısıl işlemi, 850, 900, 950 ve 1000°C sıcaklıklarda 60 dakika, deney numunelerine uygulanmıştır. Daha sonra deney numuneleri fırın atmosferinden bağımsız olarak, sakin hava ortamında soğutmaya bırakılmıştır. Soğuma işleminin etkinliğinde, oda sıcaklığına ulaşan sac malzemeler, bükme işlemine tabii tutulmuştur. Bükme işlemlerinde zımba, sac malzeme kalınlığı kadar yaklaşarak ve zımbanın sac malzeme kesit alanını ezmesine müsaade edilerek, deneySEL çalışmalarda gerçekleştirilmiştir. Bükme işlemlerinde kullanılan parametreler Çizelge 2'de gösterilmiştir. Deney numunelerine uygulanan, 850, 900, 950 ve 1000°C farklı normalizasyon ısıl işlem sıcaklıklarının, özellikle bükme işlemlerinde elde edilen değerlerin güvenilirliğini sağlamak amacıyla, her bir deney her bir normalizasyon sıcaklığı bakımından 5 defa tekrarlanmıştır. Bu bağlamda bükme yoluyla deformasyon çalışmaları açısından toplam 40 adet deney yapılmıştır. Deneyler, serbest bükme kuvvetinde ve zımba inme hızı 20 m/s de gerçekleştirilmiştir. DeneySEL çalışmada tekrarlanan değerlerin aritmetik ortalamaları alınarak, ileri ve geri esneme eğrileri oluşturulmuştur. Ayrıca, deney serilerinden çıkan sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Çizelge 2. DeneySEL çalışmada kullanılan bükme parametreleri (Bending parameters used experimental studies)

Bükme Parametresi	Normalizasyon Sıcaklığı (°C)	Bükme İşlemi	Sac Kalınlığı (mm)	Bükme Açısı (derece)	Deney Sayısı
Isıl işlem	850-900-950-1000	Direk Ezerek	4	90	40
Toplam deney sayısı					40

Bükme işlemleri sonucunda elde edilen deney numuneleri, açılmeölçerle ön bir ölçme işlemine tabii tutulmuş ve daha sonra her bir parça DEA marka koordinat ölçme cihazı (CMM) kullanılarak hassas olarak ölçülmüştür. Ölçme işlemlerinde numune üzerinden 8 nokta alınarak, bu noktalar arasındaki açı değerleri hassas olarak ölçülmüştür (Şekil 3-a). Bu sayede ölçmede meydana gelebilecek hata en aza indirilmiş ve sonuçların güvenilirliği sağlanmıştır.



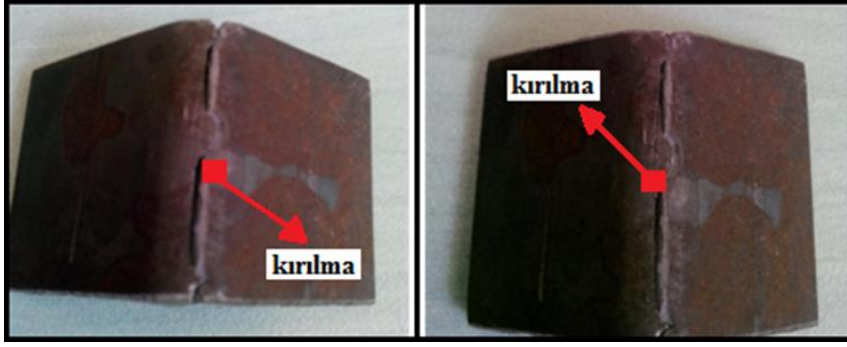
Şekil 3. Bükme işlemi sonrası deney numunelerinin gösterimi; a) CMM cihazında alınan noktalar, b) Tel erozyonda kesilen bölge (Samples after bending process; a) Points taken in CMM device, b) the area cut at wire erosion)

Bükme işlemi sonrasında, normalizasyon ısıl işlemi uygulanan numunelerin iç yapılarında deformasyona bağlı

olarak mikro yapı oluşumlarını incelemek amacıyla, numune deformasyon bölgesinden tel erozyon tezgâhi ile parçalar kesilmiştir (Şekil 3-b). Kesilen parçalar, metalografik incelemelere tabii tutulmuştur. Bu işlem aşaması için, numunelere sırasıyla zımparalama, parlatma ve dağlama işlemleri uygulanmıştır. İlk olarak numunelere, 600, 800, 1000, 1200 grid SiC abrasif zımparalama işlemi uygulanmıştır. Daha sonra 3 µm elmas süspansiyon kullanılarak parlatma işlemi yapılmıştır. Son olarak numuneler, %2' lik nital (2ml HNO₃, 98 ml H₂O) çözeltisi ile dağlanmıştır. Belirtilen metalografik çalışmalar sonrası, malzemelerin mikro yapısal karakterizasyonu değerlendirilmiştir.

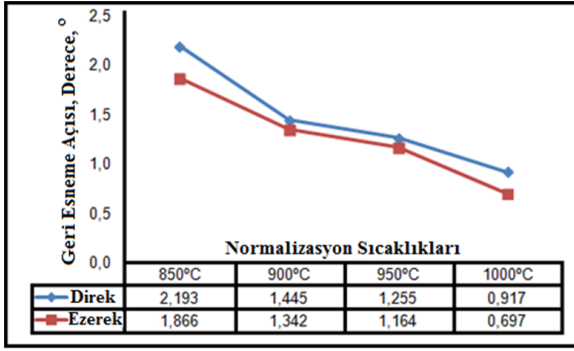
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Hardox-500 sac malzemesinin oda sıcaklığında 90° bükme kalıbı ve zımba (uç radyüsü 4,5 mm) ile bükülmesi neticesinde, kırılmalar meydana geldiği belirlenmiştir. Bükme işlemleri neticesinde kırılma meydana gelen deney numuneleri Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Oda sıcaklığında bükme işlemi sonrası deney numuneleri (Test samples after bending process at room temperature)

İstenmeyen bu durumu ortadan kaldırmak ve geri esneme üzerine olan etkisini incelemek amacıyla 850, 900, 950 ve 1000°C normalizasyon ısıl işlemi uygulanmıştır. Uygulanan ısıl işlemler neticesinde, bükme işlemleri uygulanan malzemelerde herhangi bir çatlak ve kırılma meydana gelmediği belirlenmiştir.

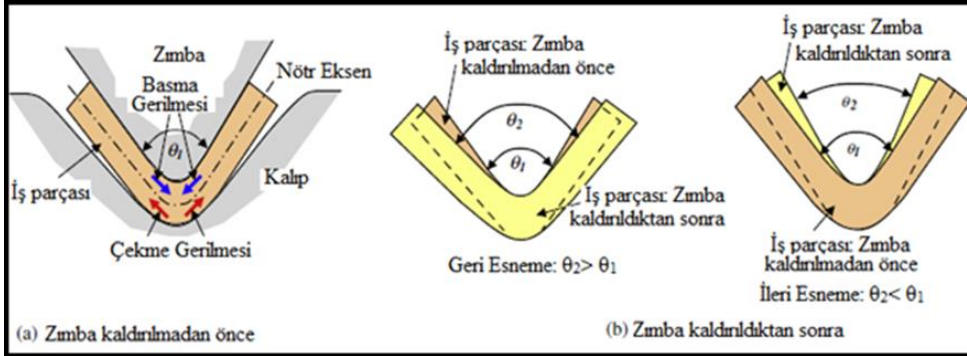


Şekil 5. Bükme işlemi sonrasında elde edilen geri esneme miktarları (The spring-back amounts obtained after the bending process)

Herhangi bir olumsuz durumun meydana gelmediği numunelerden, elde edilen geri esneme değerleri Şekil 5'te gösterilmektedir.

Sac metal şekillendirme işlemlerinde zımba sac malzeme üzerinden kaldırıldığında sac malzeme özelliklerine bağlı olarak geri esneme meydana gelmektedir. Bükme işlemleri neticesinde; sac malzemenin iç kısmında basma dış kısmında ise çekme gerilmeleri meydana gelmektedir. Basma gerilmeleri çekme gerilmelerinden büyük olduğunda sac malzemelerde geri esneme meydana gelmektedir (Şekil 6).

90° V bükme işlemi neticesinde oda sıcaklığında şekillendirilen numunelerde kırılma meydana geldiği belirlenmiştir. Ancak dört farklı sıcaklık altında uygulanan normalizasyon ısıl işlemleri sonrası, numunelerde makro boyutta herhangi bir olumsuz davranış meydana gelmediği belirlenmiştir. Numunelerin bükme işlemi sonrasında elde edilen geri esneme miktarları incelendiğinde (Şekil 5), normalizasyon ısıl işlemi sıcaklıklarında (850, 900, 950 ve 1000°C) direk ve ezerek bükme işlemleri sonrasında elde edilen geri esneme değerlerini göstermektedir.



Şekil 6. Basma ve çekme gerilmeleri neticesinde oluşan geri esneme [14] (Spring-back occurring in compression and tensile stresses)

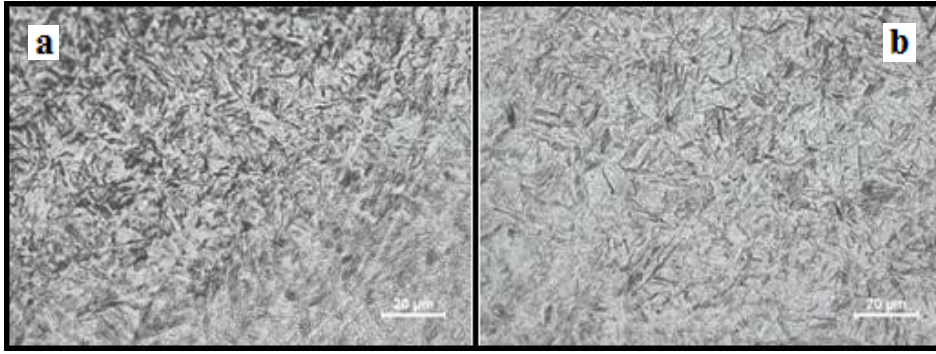
Normalizasyon ısıl işlem sıcaklıkları arttıkça, sac malzemelerin geri esneme değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Uygulanan ısıl işlem sıcaklıklarının artması ve sac malzemelerin daha homojen bir hal alması nedeniyle iç gerginlikler azalmıştır. Gerginlikleri azalan sac malzemelerin geri esneme değerleri azalmıştır. Normalizasyon ısıl işlemi sonrası en yüksek sertlik değeri 384 HV olarak belirlenmiştir. Isıl işlem öncesine göre (520 HV) azalan bu sertlik değeri, malzeme geri esneme değerlerinin azalmasında bir diğer etkili parametre olarak gösterilebilir.

Malzemenin dış ve iç yüzeyinde mevcut olan sırasıyla çekme ve basma kalıntı gerilmeleri, bükme ile şekillendirme işlemi neticesinde, ilave çekme ve basma kalıntı gerilmeleri ile karşılaşmaktadır. Bu durumda kalıntı gerilmeler büyümekte ve malzemede daha büyük geri esneme açılarının oluşmasına neden olmaktadır. Zımba sac malzeme deformasyon bölgesini ezerek şekil değiştirdiğinde ise malzeme iç yapısında kalıntı gerilmeler azalmaktadır. Bu nedenle, gerilmeleri azalan malzemede daha düşük bir yaylanma değeri meydana gelmektedir [22].

Zımbanın sac malzeme deformasyon bölgesini ezmesi neticesinde elde edilen geri esneme deneyleri direk bükme ile kıyaslandığında, geri esnemenin daha düşük değerlerde yer aldığı ve aynı zamanda azalma eğiliminde olduğu Şekil 5'te gösterilmektedir.

Direk bükme işlemlerinde; 1000°C' de normalizasyon ısıl işlemi uygulanmış numunelerin esneme değerleri, diğer 850°C, 900°C ve 950°C' de normalizasyon ısıl işlemi uygulanmış numuneler ile kıyaslandığında, sırasıyla %58.18, %42.77 ve % 34.10 geri esneme değerleri azalmıştır. Ezerek bükme işlemlerinde ise; normalizasyon sıcaklıkları arttıkça geri esneme değerleri azalmıştır. 1000°C' de normalizasyon ısıl işlemi uygulanmış numuneler, 850°C, 900°C ve 950°C' de normalizasyon ısıl işlemi uygulanmış numuneler ile kıyaslandığında,

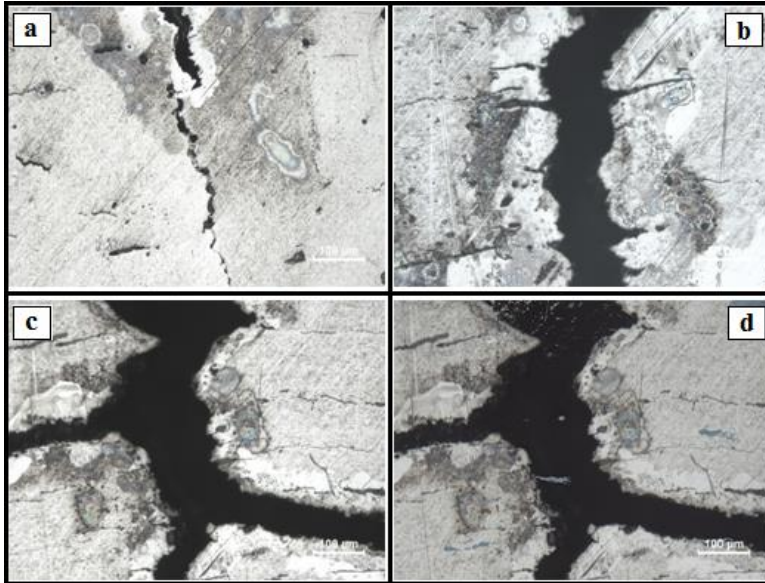
sırasıyla % 62.64, %48.06 ve %40.12 geri esneme değerlerini azaltmıştır. Soğuk şekillendirme işlemleri öncesinde Hardox 500 sac malzemesinin elde edilen mikroyapı görüntüsü Şekil 7' de gösterilmiştir. Hardox 500 ve benzer içerikli çelik malzemeler, asiküler martenitik yapısı ile karakterize edilirler. Mikroyapısal karakterizasyonları bakımından bu çelikler, martenitik yapı sonrası göstermektedir. Bu durum sertleşme ve temperleme sonrası elde edilen bir içyapıyı tanımlamaktadır. Özellikle temperleme sıcaklıkları, sac malzeme kalınlığı ve kalitesine bağlı olarak değişiklik göstermektedir [23-25]. Dolayısıyla malzeme mikro yapısının ana özellikleri, çok ince asiküler temperlenmiş martenit ve mikro yapısal homojenliği ortaya çıkarmaktadır (Şekil 7).



Şekil 7. Isıl işlem öncesi Hardox 500 mikroyapısı (The microstructure images of Hardox 500 before normalization heat treatment)

Hardox 500 sac malzemesinin ısıl işlemsiz olarak yani soğuk şekillendirme sonrası uygulanan 90° V bükme işlemi sonrası, numunelerde makro boyutta ciddi derecede kırılma ve kılcal çatlaklar meydana geldiği tespit edilmiştir (Şekil 8). Soğuk şekillendirme işleminde

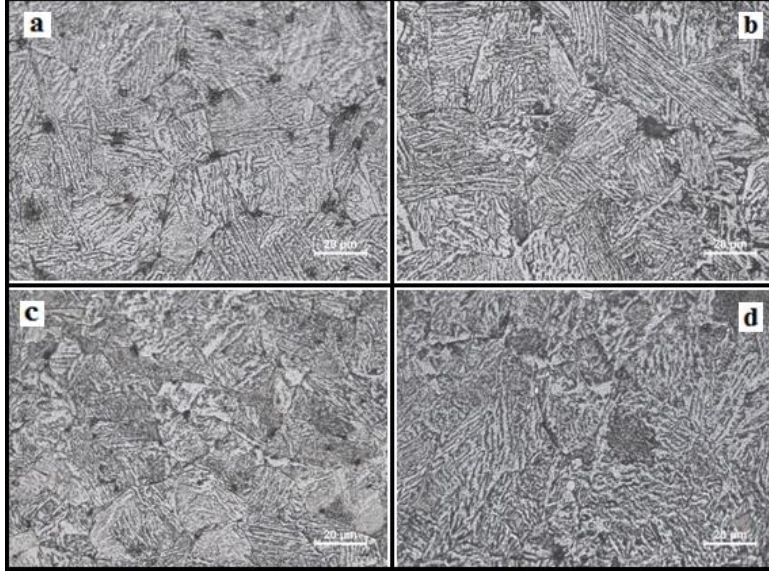
deformasyonun bir sonucu olarak, özellikle malzeme tane yapısında ortaya çıkardığı mikro yapısal değişimler, kırılmalar (Şekil 8-b-c-d) veya mikro düzeydeki kılcal çatlaklar (Şekil 8-a) şeklinde mikro yapı görüntüleri üzerinden tespit edilmiştir.



Şekil 8. Numunelerin oda sıcaklığında uygulanan bükme işlemi sonrası mikro yapı görüntüleri (The microstructure images of samples after bending process at room temperature)

Soğuk şekillendirme işlemi sonrasında Hardox 500 sac malzemesinde meydana gelen kılcal çatlak ve kırılmaları minimize etmek ve ortadan kaldırmak amacıyla numunelere normalizasyon ısıl işlemi uygulanmıştır. Farklı normalizasyon sıcaklıklarının (850°C, 900°C,

950°C ve 1000°C) etkisi altında, numunelere uygulanan bükme işlemleri neticesinde, bükülen numunelerin orta deformasyon bölgesinden tel erozyon tezgâhı kullanılarak kesilen numunelerin, optik mikroskop görüntüleri Şekil 9’ da gösterilmiştir.



Şekil 9. Isıl işlem uygulanan numunelerin mikro yapı görüntüleri; a) 850°C, b) 900°C, c) 950° ve d) 1000°C
(The microstructure images of the samples applied heat treatment; a) 850°C, b) 900°C, c) 950° and d) 1000°C)

Normalizasyon ısıl işlemi ile numunelere uygulanan havada soğutma işlemi ile fırında soğuma işlemine göre nispeten yüksek soğuma hızı ortaya çıkabilmektedir. Böylelikle östenit dönüşümü ve son ortaya çıkan malzeme mikro yapısı bu durumdan etkilenebilir. Uygulanan normalizasyon işlemi sonrası (Şekil 9), ferrit ve perlitin şerit halindeki içyapısı görülebilmektedir. Hardox 500 sac malzemesinde uygulanan normalizasyon ısıl işleminin etkinliğinde, ferrit yapısının çevrelediği perlit yapısının yer aldığı belirtilebilir [26]. Normalizasyon ısıl işlemi sonrası uygulanan şekillendirme işlemi ile iç gerginliklerin malzeme yapısından uzaklaştırıldığı, ısıl işlemsiz (ilk olarak elde edilen) Hardox 500 mikro yapısından farklı olan bir normalize edilmiş içyapısı ve bu durumun bir sonucu olarak mikro düzeyde herhangi bir çatlak veya kırılma meydana gelmediği belirlenmiştir. Bu bağlamda, Hardox 500 sac malzemesine uygulanan ısıl işlemlerin etkisiyle birlikte, sac malzeme şekillendirilebilirliği artırılabilir.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Hardox 500 sac malzemenin 90° V dip bükme kalıbında, zımba yarıçapı 4.5 mm olan kalıp ile bükülmesi sonrasında elde edilen deney sonuçları aşağıda verilmiştir;

Hardox 500 sac malzemenin 90° V dip bükme kalıbında, oda sıcaklığında bükülmesi sonrasında makro yapısal olarak kırılma meydana gelmiştir. Uygulanan normalizasyon ısıl işlemi sonrası, makro ve mikro boyutta çatlama veya kırılma oluşumlarının meydana gelmediği tespit edilmiştir.

Artan normalizasyon ısıl işlem sıcaklıklarında, geri esneme miktarlarının azaldığı belirlenmiştir. Normalizasyon ısıl işlemi sonrası en yüksek sertlik değeri 384 HV olarak belirlenmiştir. Isıl işlem öncesine göre azalan bu sertlik değeri malzeme geri esneme değerlerinin azalmasında etkili olmuştur. Ezerek bükme işlemlerinin direk bükme işlemlerine göre, geri esneme miktarlarını azalttığı tespit edilmiştir. Ezerek bükme işlemlerinde 850°C sıcaklıkta uygulanan normalizasyon ısıl işlemi etkisiyle, numuneler direk bükmeye göre; %14.9, 900°C’ de %7.12, 950°C’ de %7.25 ve 1000°C’ de ise %23.99 geri esneme değerlerini azalttığı belirlenmiştir.

CONFLICT OF INTEREST

No conflict of interest was declared by the authors.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1]. Özdemir, M., Gökmeşe, H., Yılmaz, V., Dilipak, H., (2015), “Characterization of Microstructure and Bending Response of Sheet Material: Influence of Thickness”, Journal of Advanced Materials and Processing, 3(1), 3-14.
- [2]. Chen P, Koc M, Wenner ML., 2008, “Experimental investigation of spring back variation in forming of high strength steels”, J ManufSciEng, 130:041006-1-9.
- [3]. Kim HS, Koc M., 2008, “Numerical investigations on spring back characteristics of aluminum sheet metal alloys in warm forming conditions”, J Mater Process Technol, 204:370-383.

- [4]. Özdemir, M., Gökmeşe, H., Dilipak, H., Yılmaz, V., (2015), "Aşınmaya Karşı Dirençli Sac Malzemenin Mikro Yapısal Karakterizasyonu ve Şekillendirilebilirliğinin İncelenmesi", GU J SciPart:C 3(1):385-393.
- [5]. Dilipak, H., Özdemir, M., Sarıkaya, M., (2013), "Effects of Material Properties and Punch Tip Radius on Spring-Forward in 90° V Bending Processes. Journal of Ironand Steel Research, International, 20(10), 64-69.
- [6]. Özdemir, M., Gökmeşe, H., Dilipak, H., Yılmaz, V., (2014), "Investigation as Experimental and Micro-Structural of The Effect to Spring Back/Forward Amount of 16mo3 (1.5415) Sheet Materials of DifferentHeat-Treatments", 2. International Symposium on Innovative Technologies in Engineering And Science (ISITES2014), 148-155.
- [7]. Özdemir, M., Dilipak, H., Bostan, B., Gökmeşe, H., (2015), "Effect on Formability, Micro-Structural and Mechanical Properties of 16Mo3 Sheet Material of Heat Treatment", International Ironand Steel Symposium (İİSS2015), 187-192.
- [8]. Özdemir, M., Gökmeşe, H., Dilipak, H., Yılmaz, V., Arıkan, H., (2015), "Effect on Mechanical Properties and Micro Structure Behavior of S235JR Sheet Material of Applied Heat Treatments", International Iron and Steel Symposium (IIS2015), 781-784.
- [9]. Tekaslan, Ö., Seker, U. and Özdemir, A., (2006), "Determining Spring back Amount of Steel Sheet Metal has 0,5 mm Thickness in Bending Dies", Materials and Design, 27, 251-258.
- [10]. Tekaslan, Ö., Gerger N. and Şeker, U., (2008), "Determination of Spring-Back of Stainless Steel Sheet Metal in V Bending Dies", Materials and Design, 29, 1043-1050.
- [11]. Tekiner, Z., (2004), "An Experimental Study on The Examination of Spring back of Sheet Metals with Several Thicknesses and Properties in Bending Dies", Journal of Materials Processing Technology, 145, 109-117.
- [12]. Toros, S., Kılıç, S. ve Öztürk, F., (2011), "The Effects of Material Thickness and Deformation Speed on Spring back Behavior of DP600 Steel", Advances in Materials and Processing Technologies, 264, 636-645.
- [13]. Öztürk, F., Toros, S. ve Kılıç, S., (2009), "Tensile and Spring-Back Behavior of DP600 Advanced High Strength Steel at Warm Temperatures", Journal of Iron and Steel Research, International, 16, 41-46.
- [14]. Thipprakmas, S. and Rojananan, S., (2008), "Investigation of spring-go phenom on using finite element method", Materials and Design, 29, 1526-1532.
- [15]. Thipprakmas, S. and Phanitwong, W., (2011), "Process Parameter Design of Spring-back and Spring-go in V-Bending Process using Taguchi Technique", Materials and Design, 32, 4430-4436.
- [16]. Thipprakmas, S., (2010), "Finite Element Analysis of Punch Height Effect on V-Bending Angle", Materials and Design, 31, 1593-1598.
- [17]. Thipprakmas, S., (2011), "Finite Element Analysis on The Coined-Bead Mechanism During The V Bending Process", Materials and Design, 32, 4909-4917.
- [18]. Shukla, R. and Gautam, V., (2014), "Experimental and Numerical Analysis of Negative Spring back in Interstitial Free (IF) Steel", International Journal of Advance Research and Innovation, 2, 232-236.
- [19]. Fei, D. And Hodgson, P., (2006), "Experimental and Numerical Studies of Spring back in Air V-Bending Process for Cold Rolled TRIP Steels", Nuclear Engineering and Design, 236, 1847-1851.
- [20]. Ling, Y.E., Lee, H.P. and Cheok, B.T., (2005), "Finite Element Analysis of Spring back in L Bending of Sheet Metal", Journal of Materials Processing Technology, 168, 296-302.
- [21]. Chan, W.W., Chew, H.I, Lee, H.P. and Cheok, B.T., (2004), "Finite element analysis of spring-back of V-bending sheet metal forming processes", Journal of Materials Processing Technology, 148, 15-24.
- [22]. Özdemir, M., (2015), "1.5415 (16Mo3) Sac Malzemenin Geri-İleri Esneme Miktarı ve Deformasyon İlişkisinin Deneysel ve Matematiksel Olarak İncelenmesi", Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- [23]. Ulewicz, R., Mazur, M., Bokuvka O., (2013), "Structure and mechanical properties of fine-grained steels", Transportation Engineering, 41/2, 111-115
- [24]. Dudziński, W., Konat, L., Pękalski, G., (2008), "Structural and strength characteristics of wear-resistant martensitic steels", Archives of Foundry Engineering, 8:2, 21-26.
- [25]. Frydman S., Pękalski G., (2010), "Modern Low-Alloy Wear-Resistant Steels –Structure And Impact Strength", International Scientific Journal Machines. Technologies. Materials, 4-5, 45-47.
- [26]. Pawlak, K., "A review of high-strength wear-resistant steel – Hardox", Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny, Katedra Materiałoznawstwa, Wytrzymałości i Spawalnictwa, ul. Smoluchowskiego 25, 50 – 370.