

FARKLI ISIL İŞLEMLERİN 16Mo3 (1.5415) SAC MALZEMENİN İLERİ-GERİ ESNEME MİKTARINA ETKİSİNİN DENEYSEL VE MİKROYAPISAL OLARAK İNCELENMESİ

Mustafa ÖZDEMİR^{*1}, Hakan GÖKMEŞE², Hakan DİLİPAK³ and Volkan YILMAZ³

^{*1}Bozok Üniversitesi Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, YOZGAT, Türkiye

²Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Bölümü, ANKARA, Türkiye

³Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, İmalat Müh. Bölümü, ANKARA, Türkiye

Özet

Gerçekleştirilen çalışmada, 16Mo3 (1.5415) sac numuneler 90° lik V bükme kalıbında bükülerek, ileri-geri esneme miktarları arasındaki farklılıklar incelenmiştir. Deneysel 4 mm kalınlığındaki 30x60 mm ebadındaki sac numuneler, 6 mm uçarıçapına sahip olan zımba ile bükülmüştür. Bükme işlemlerinde deney numuneleri, ısıtma işlemi uygulanmadan, normalize edilerek ve (13 ve 30 dak) menevişleme işlemine tabi tutularak hazırlanmıştır. Deneysel, zımba parça üzerinde 30 sn bekleyerek ve bekletilmeden direk uzaklaştırılarak gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonucunda, ısıtma işlemi ve normalize işleminde ileri esneme, menevişleme işleminde ise geri esneme meydana geldiği tespit edilmiştir. Zımbanın numune üzerinde 30 sn bekletilmesi ileri ve geri esneme miktarını azalttığı tespit edilmiştir. Menevişleme süresinin artması geri esneme değerlerini arttırmıştır.

Anahtar kelimeler: İleri esneme, bükme kalıpları, ısıtma işlemi

INVESTIGATION AS EXPERIMENTAL AND MICRO-STRUCTURAL OF THE EFFECT TO SPRING BACK/FORWARD AMOUNT OF 16Mo3 (1.5415) SHEET MATERIALS OF DIFFERENT HEAT-TREATMENTS

Abstract

In the study performed, 16Mo3 (1.5415) steel specimens bending at 90° V-bending die, the differences between spring-back and spring-forward values were investigated. Experiments, sheet materials in 4 mm thickness and 30x60 mm size were bent by punch having 6 mm tip radius. Experimental samples in the bending process, un-heat-treatment, normalized and tempered processing (13 and 30 min) is prepared being subjected. Moreover, bending processes were performed without waiting and with waiting the punch on the part 30 s. As a result of experiments, while heat-treated and normalized process occurs spring-forward, in the tempering processes were determined spring-back. Waiting for 30 seconds on the specimens of the punch were decreased the amount of spring-forward/back. Increasing duration of tempering were increased the amount of spring-back.

Anahtar kelimeler: Spring-forward, bending dies, heat treatment

1. Giriş

Sac metal şekillendirme uygulamalarında, özellikle sac metal bükme işlemlerinde, istenilen açı ve ölçüye sahip ürünler elde edebilmek için geri-ileri esneme miktarının dikkate alınması gerekmektedir. Sac malzeme şekillendirme işleminde malzeme üzerinden yükün kaldırılması neticesinde, elastik geri dönüşten dolayı meydana gelen geri ve ileri esneme, çıkan ürünlerin kalitesini olumsuz yönde etkilemekte hatta ciddi geometrik hatalara sebep olabilmektedir [1]. Bu hataları minimum seviyeye indirebilmek için malzeme özellikleri, sac anizotropisi, bükme

*Corresponding author: Address: Machine and Metal Technology Department, Vocational High School, Bozok University, Yozgat 06600, TURKEY. E-mail address: mustafa.ozdemir58@bozok.edu.tr,

Phone: +90 354 217 17 81 Fax: +90 354 217 17 80

açısı, bükme kavisi, bükme kuvveti ve işlem etkileri gibi parametrelerin bilinmesi gerekmektedir. Bu parametreler kontrol altına alındığında uygun açı ve ölçüye sahip ürünler elde edilebilmektedir [2]. Literatürde geri ve ileri esneme üzerine birçok araştırmanın yapıldığı görülmektedir. İlk olarak geri esneme üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde; Tekaslan ve diğerleri, modüler bir V bükme kalıbı tasarlayarak, çelik sac, bakır ve paslanmaz çelik malzemelerde, zımbanın bekleme süresi ve malzeme kalınlığının geri esneme üzerine etkisini araştırmışlardır. Ayrıca zımbanın malzeme üzerinde bekletilmesinin geri esnemeyi azalttığı, artan malzeme kalınlığının ve bükme açısının geri esneme miktarını arttırdığını tespit etmişlerdir [3-5]. Benzer bir çalışmada Tekiner tarafından gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, serbest V bükme kalıplarında geri esnemenin deneysel olarak tespiti ve sonlu elemanlar yöntemi ile tahmini üzerine çalışmalar yapmıştır. Elde edilen veriler, Marc-Mentat programı ile değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, bütün numunelerde bükme açısının artmasıyla geri esneme miktarının arttığı tespit edilmiştir [6]. Ötü ve arkadaşları, AA 5754 ve AL 1050 alüminyum sac numuneleri, 60°'lik V bükme kalıbında bükerek ön gerilmelerin geri esnemeye olan etkisini araştırmışlardır. Çalışmada kullanılan zımbaların uç yarıçaplarının artması ile zımbanın bükülen malzeme üzerinde bekletilme süresinin geri esnemeyi azalttığı, sac malzeme kalınlığının artmasının geri esnemeyi azalttığı tespit edilmiştir [7]. Öztürk ve diğerleri, DP600 yüksek mukavemetli çeliğin geri esneme ve gerilmesinin incelenmesi üzerine deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir [8]. Asgari ve diğerleri, iki farklı çeliğin DynaForm ve AutoForm sonlu elemanlar yazılımlarında geri esneme davranışlarını tespit ederek, deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Ayrıca analizleri farklı elastik modülü ve sürtünme katsayısına göre uygulayarak bu özelliklerin geri esneme sonuçları üzerindeki etkilerini incelemişlerdir [9]. Fei ve Hodgson, soğuk haddelenmiş TRIP çeliğinin, V bükme işlemiyle deneysel ve sayısal olarak geri esneme miktarını araştırmışlardır. Ayrıca çalışmada, değişken ve sabit elastik modül ile sürtünmenin geri esneme analizleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir [10]. Mkaddem ve arkadaşları, kenar bükme işleminde geri esnemenin deneysel ve teorik yaklaşımlar kullanarak tespit edilmesi üzerine deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Farklı kalıp radyüsü ve kalıp inme değerleri ile geri esneme değeri tahmin edilmiştir [11]. Choi ve Chin, yüksek mukavemetli düşük karbonlu çeliklerde geri esneme davranışının tahmini üzerine araştırmalar yapmıştır. Bu çalışmada, çok kristalli malzemenin geri esneme miktarını elastik ve viskoplastik kristal plastisite modeli kullanarak sayısal olarak tahmin etmişlerdir [12]. İleri esneme üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde; Ozdemir ve arkadaşları, bükmede ileri esneme miktarlarını araştırmak amacıyla S235JR sac malzemeyi ısıtılmadan, normalize ve menevişlenmiş olarak farklı zımba uç yarıçapları kullanarak ileri esneme miktarlarını araştırmışlardır. Deneyler, zımba parça üzerinde 30 sn bekletilerek ve bekletilmeden direk uzaklaştırılarak gerçekleştirilmiştir [13,14]. Bakhshi ve diğerleri, U ve V bükme işlemlerinde CK67 sac malzemeyi 0°, 45°, 90° haddelene yönünde kesmiş ve bükülmesi neticesinde meydana gelen geri-ileri esnemeyi araştırmışlardır [15]. Ragai ve arkadaşları çalışmalarında, sac kalınlığı, sac anizotropisi, malzeme özellikleri, sürtünme katsayısı, zımba ucu ve ölçüsünün ileri-geri esnemeye etkisini araştırmışlardır [16]. Thipprakmas ve arkadaşı, 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]. Branko ve diğerleri, St1403 sac malzemenin V bükme kalıplarında bükülmesi neticesinde oluşan geri-ileri esnemeyi sonlu elemanlar yöntemiyle incelemişlerdir [20].

Gerçekleştirilen çalışmada, enerji sektöründe bükme işlemlerinde yaygın olarak kullanılan 4 mm kalınlığındaki, 16Mo3 (1.5415) numuneler (ısıtılmadan, normalize ve 13 ve 30 dak menevişlenmiş olarak); 90° V bükme kalıbında ve 6 mm zımba uç yarıçapına sahip zımba ile

bükme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bükme işlemleri, zımba sac malzeme üzerinde bekletilmeden ve 30 sn bekletilerek gerçekleştirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Deneyisel çalışmada, 4 mm kalınlığında 16Mo3 sac numune kullanılmıştır. Numuneler ısıtılmış, normalize ve menevişlenmiş olarak hazırlanmıştır. Numuneler 30x60 mm boyutlarında haddeleme yönünde (0°), hidrolik makas ile kesilerek hazırlanmıştır. Kesme sonucunda oluşan çapaklar temizlenmiştir.

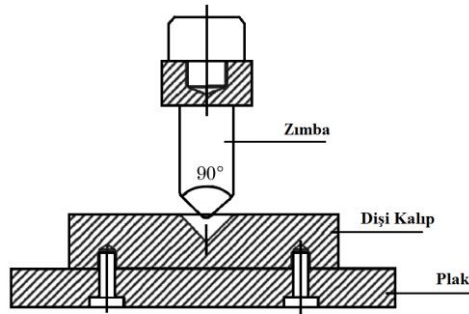
Deneyler, malzemeye uygulanan ısıtılmış işlemler açısından 3 yöntemle gerçekleştirilmiştir. Deneyisel çalışmada kullanılan yöntemlerinden birincisi olan, ısıtılmış bükme işleminde, numune üzerine herhangi bir işlem uygulanmamıştır. İkinci yöntem olan normalizasyon işleminde ötektoidaltı çeliklere A_{c3} sıcaklığının 30-50° C üzerindeki östenitleme sıcaklığında su verildiğinden dolayı, numuneler, 890°C'ye kadar ısıtılmış ve daha sonra serbest havada oda sıcaklığına kadar soğumaya bırakılmıştır. Üçüncü yöntem (Menevişleme işlemi) için ise, numuneler, 850°C'ye kadar ısıtılmış, sıcaklığı 20-40°C olan saf su içerisine daldırılmıştır. Su verilen parçanın tamamen soğuması çatlamaya sebep olması nedeniyle, numuneler 60-80°C sıcaklığa düştükten sonra, menevişleme işlemi için tav fırınına yerleştirilmiştir. Numuneler, 400°C sıcaklığındaki tav fırınında, 13 ve 30 dak menevişleme sürelerinde bekletilerek tav fırınından alınmış ve soğumaya bırakılmıştır. Isıtılmış, normalize ve menevişleme işlemi sonucunda elde edilen numunelerden örnekler alınarak spektral analiz yaptırılmıştır. Bu analiz neticesinde elde edilen kimyasal kompozisyon Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Numunenin ağırlıkça kimyasal kompozisyonu

Malzeme	C	Si	Mn	P	S	Cr	Co	Ni	Mo	Cu
Isıtılmış	0.149	0.230	0.737	0.011	0.007	0.042	0.014	0.039	0.286	0.006
Normalize	0.136	0.254	0.774	0.012	0.006	0.059	0.015	0.062	0.296	0.049
Menevişlenmiş	0.053	0.246	0.757	0.007	0.008	0.070	0,015	0.057	0.277	0.017

2.1. Deneyisel Çalışmada Kullanılan Bükme Kalıbı ve Bükme Parametreleri

Deneyisel çalışmada kullanılan bükme kalıbının erkek zımbası ve dişi kalıbı Ç1390 makas çeliğinden, CNC dik işleme merkezinde hassas olarak yapılmıştır. Bükme kalıbı malzemesinde darbeden dolayı çatlama ve kırılma meydana gelebileceğinden dolayı, malzemenin iç yapısındaki gerilmeleri gidermek için menevişleme işlemi uygulanmıştır. Şekil 1'de bükme kalıbı ve zımbası görülmektedir.



Şekil 1. Deneyisel çalışmada kullanılan bükme kalıbı [13]

Bükme işlemleri esnasında, zımba ve kalıp arasında sac kalınlığı kadar boşluk bırakılarak numunenin kesit alanının ezilmesine izin verilmemiştir. Böylece, numunenin ezilerek ileri ve

geri esnemeye olan etkisi engellenmiştir. Deneyler, serbest bükme kuvvetinde ve zımba inme hızı 20 m/s de gerçekleştirilmiştir. Deney serilerinde, 30x60 mm ebatlarında 80 adet numune ısılsız işlemsiz, normalize, 13 ve 30 dak menevişleme işlemi uygulanarak bükülmüştür. Bükme parametreleri Çizelge 2’de gösterilmektedir. Her deney 10 kez tekrarlanmıştır. Ayrıca, deney serilerinden çıkan sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Isılsız işlemsiz, normalize ve menevişleme işlemi sonrasında, zımbanın kalıp üzerinde beklemeden ve 30 sn bekletildikten sonra kaldırıldığı uygulamalarda, zımba uç yarıçapı R6 mm için ileri ve geri esneme grafikleri oluşturulmuştur.

Çizelge 2. Deneysel çalışmada kullanılan bükme parametreleri

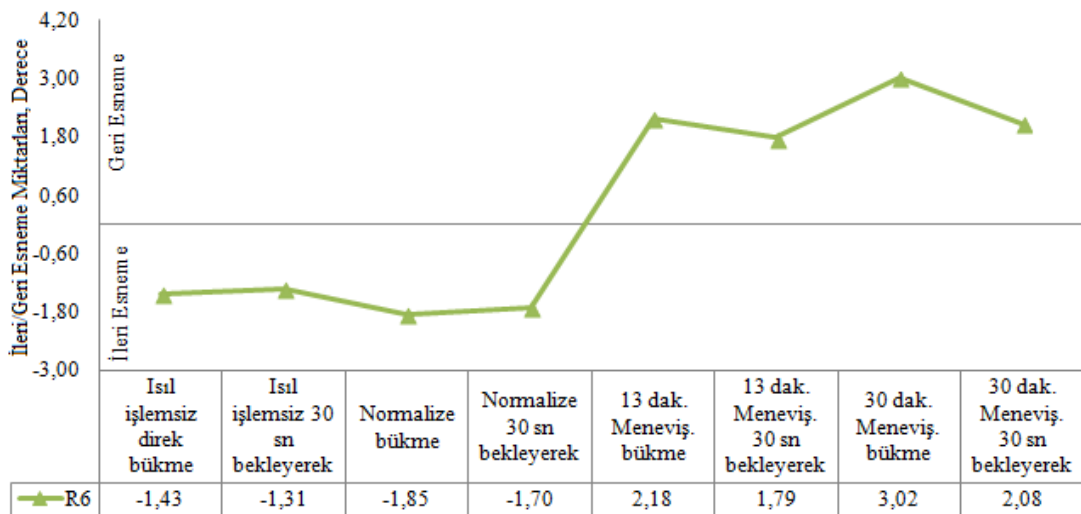
Bükme zımbası uç yarıçapı [R] mm	Bükme Parametreleri							
	Isılsız işlemsiz		Normalize		13 dak meneviş.		30 dak meneviş.	
	Direk	30 sn	Direk	30 sn	Direk	30 sn	Direk	30 sn
	Bükme Açısı							
	90°							
6								

Bükme işlemleri sonucunda elde edilen numuneler, açölçerle ön bir ölçme işlemine tabi tutulmuş ve daha sonra her bir parça ‘1 dakika hassasiyetindeki’ Profilometre kullanılarak hassas olarak ölçülmüştür. Bu sayede ölçmede meydana gelebilecek hata en aza indirilmiş ve sonuçların güvenilirliği sağlanmıştır.

Deneysel çalışmaların son aşamasında, bükme işlemleri neticesindeki, numune içyapılarında deformasyona bağlı olarak mikro yapısal değişimleri incelenmiştir. Bu amaçla, numune deformasyon bölgesinden tel erozyon tezgâhı ile parça kesilerek, malzemelerin mikro yapısal karakterizasyonu Leica marka optik mikroskop kullanılarak incelenmiştir. Elde edilen bulgular, özellikle bükme bölgesi malzeme deformasyonu açısından değerlendirilmiştir.

3. Deneysel Sonuçları

1.5415 sac malzemenin (ısılsız işlemsiz, normalize ve menevişlenmiş) 90° V bükme kalıbında 6 mm yarıçapa sahip zımba ile bükülmesi neticesinde elde edilen ileri-geri esneme değerlerini gösteren grafik Şekil 2 de toplu olarak gösterilmektedir.



Şekil 2. Bükme işlemi sonrasında elde edilen ileri-geri esneme grafiği ve miktarları

Şekil incelendiğinde ısıtılmış ve normalize edilmiş olarak bükülen numunelerde ileri esneme, menevişlenmiş (13 ve 30 dak) numunelerde ise geri esneme tespit edilmiştir. Bükme işlemleri neticesinde, malzemenin iç kısmında basma gerilmeleri, dış kısmında ise çekme gerilmeleri meydana geldiği bilinmektedir [21,22]. Genellikle, basma gerilmesi çekme gerilmesinden büyük olduğunda sac malzemelerde geri esneme, çekme gerilmesi basma gerilmesinden büyük olduğunda ise, ileri esneme meydana gelmektedir.

Zımbanın sac malzeme üzerinde bekleme süresi ileri-geri esneme miktarlarını azaltmaktadır. Bu durum dislokasyonların artan deformasyona bağlı olarak yoğunluğunun artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Dislokasyon yoğunluğunun artmasıyla dislokasyonların birbirlerinin hareketlerini engelleyerek ileri-geri yayılma değerlerini etkilemektedirler. Şekil 2' de zımbanın sac malzeme üzerinde 30 sn bekleme süresinin numunelerin ileri-geri esneme değerlerini düşürdüğü tespit edilmiştir. Şekil incelendiğinde, ısıtılmış ve normalize edilmiş 30 sn bekleyerek bükme işlemi, ısıtılmış ve normalize edilmiş direk bükme işlemine göre, ileri esneme değerini %8.4 azalttığı tespit edilmiştir. Normalize edilmiş 30 sn bekleyerek bükme uygulamalarında, normalize edilmiş direk bükmeye göre ileri esneme değerini %8.1 ileri esneme miktarlarını düşürmektedir.

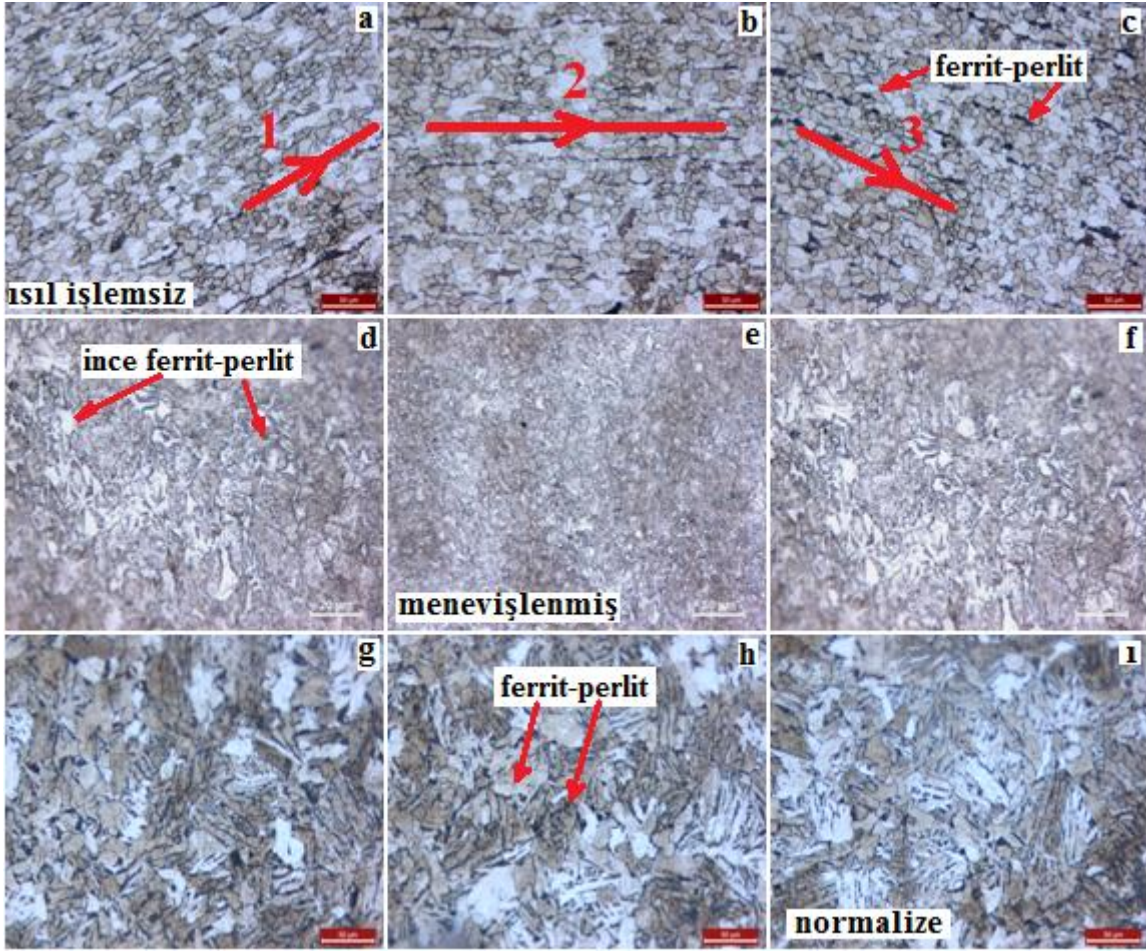
16Mo3 numunelere uygulanan menevişleme işlemi neticesinde bükme işlemi uygulandıktan sonra numunelerde geri esneme meydana geldiği belirlenmiştir. Bunun nedeni, 16Mo3 numunelerin içerisinde bulunan karbon, silis, mangan ve molibden gibi alaşım elementleri menevişleme işlemlerinden dolayı yay çeliği özelliğine sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu çeliklerin yayılma yeteneği, esnek şekil değiştirme özelliğine dayanmaktadır. Menevişleme sonucunda malzeme iç yapısında enerji depolanır. Bu enerji zımbanın etkisi altında büyük miktarlarda deformasyon gösterir ve bu deformasyon esnasında enerji biriktiren numune kendini bükme işlemi yapılmadan önceki haline dönmek için depolanan enerjiyi aynı miktarda geri vermektedir. Bu oluşan enerjinin yardımıyla geri esneme meydana geldiği düşünülmektedir.

16Mo3 numuneler yay özelliğine sahip olmasından dolayı iç gerginlikleri fazladır. Bu yüzden zımbanın numune üzerinde 30 sn bekletilmesiyle malzemenin iç yapısındaki iç gerginlikler azalmaktadır. Bu nedenle, zımba numune üzerinden kaldırıldığında geri esneme miktarları azalmaktadır.

Şekil 2 incelendiğinde, 13 dak menevişlenerek zımbanın 30 sn bekletildiği numuneler, 13 dak menevişlenerek direk bükülen numunelere göre, geri esneme değeri %17.88, 30 dak menevişlenmiş 30 sn bekletilerek bükülen numuneler, 30 dak menevişleme işlemi uygulayarak direk bükülen numunelere göre ise, geri esneme değeri %31.12 azalmıştır.

3.1. Deformasyon esnasında Mikro yapısal değişim

16Mo3 sac malzemesinin yapılan bükme işlemleri sonrasında ısıtılmış ve normalize edilmiş numunelerdeki deformasyona bağlı olarak ortaya çıkan mikro yapısal değişimleri ile, normalize ve menevişlenmiş numunelerdeki farklılıklar incelenmiştir. Isıtılmış ve normalize edilmiş ve menevişlenmiş numunelerin orta deformasyon bölgesinden alınan parçaların, mikro yapı görüntüleri Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Isıl işlemsiz, menevişlenmiş ve normalize numunelerin bükme işlemleri sonrasında elde edilen mikro yapı görüntüleri a, b, c; ısıl işlemsiz, d,e,f; Menevişlenmiş,; g, h, ı Normalize edilmiş

Şekil 3 incelendiğinde, deformasyon sonrası tane yapısındaki değişim ve yönlendirme özellikle ısıl işlemsiz numunelerdeki belirtilen 1, 2 ve 3 yönlerinde daha yoğun olarak gözlemlenmiştir. Mikro yapısal açıdan bir değerlendirme yapıldığında, deformasyona bağlı olarak özellikle dislokasyon yoğunluğundaki artış ve çelik malzemelerde ortaya çıkan tane yapısındaki değişim, kalıntı gerilmeler ve kılcal çatlak oluşumu gibi olumsuz etkilerin yer aldığı bilinmektedir [23]. Bu sebeple Şekil 3' deki menevişleme ve normalize ısıl işlemi sonrasındaki numunelerin mikro yapı görüntüleri incelendiğinde, ortaya çıkan bu olumsuz etkilerin minimize edildiği belirtilebilir. 16Mo3 sac malzemesinin ısıl işlemsiz mikro yapısındaki düzensiz ve kaba taneli ferrit-perlit yapısından ziyade normalize ısıl işlemi ile birlikte ince taneli yapısının yer aldığı tespit edilmiştir. Menevişlenmiş numune mikro yapı görüntüleri incelendiğinde ise, mikro yapısal homojenliğinde getirmiş olduğu ve bunun sonucu olarak deformasyon etkisinin eşit dağılımından bahsedilebilir. Dolayısıyla diğer numunelerden farklı olarak menevişlenmiş numunelerdeki mikro yapısal farklılık, geri esneme miktarı açısından da önemli olduğu belirlenmiştir.

3.2. Sonuçlar ve Değerlendirme

16Mo3 (1.5415) sac malzemenin zımba yarıçapı 6 mm olan kalıp ile bükülmesi neticesinde elde edilen deneysel sonuçlar aşağıda verilmektedir.

Bükme işlemleri esnasında, zımbanın sac malzeme üzerinde 30 sn bekleme süresi ileri ve geri esneme miktarlarını azalttığı tespit edilmiştir.

Isıl işlemsiz ve normalize edilmiş olarak bükülen numunelerde ileri esneme, menevişlenmiş (13 ve 30 dak) numunelerde ise geri esneme belirlenmiştir.

Mikroyapı incelemeleri neticesinde, ısıl işlemsiz bükme işlemlerinde tane yönelmelerinin diğer bükme parametrelerine göre daha belirgin olduğu tespit edilmiştir.

İleri esnemenin meydana geldiği bükme parametrelerinden direk bükme işlemleri birbirleriyle kıyaslandığında, ısıl işlemsiz bükme normalize bükme göre %22.7 ileri esneme değerini azalttığı, zımbanın 30 sn bekletildiği uygulamalarda ise, ısıl işlemsiz bükmenin, normalize bükme göre ileri esneme miktarının %22.9 az olduğu tespit edilmiştir.

Menevişleme süresinin azalması geri esneme değerlerini azaltmaktadır. Uygulanan direk bükme işlemlerinde, 13 dak menevişleme, 30 dak menevişlenmiş numuneye göre geri esneme miktarını %27.8, zımba bekletilerek yapılan uygulamalarda ise, 13 dak menevişlenmiş numuneler, 30 dak menevişlenmiş numunelere göre %13.94 geri esneme değerlerini azaltmıştır.

Teşekkür

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde katkılarından dolayı *Efor Makina Sanayi ve Dış Tic. Ltd. Şti*'ne teşekkür ederiz.

REFERANSLAR

- 1) Baseri, H., Bakhshi-Jooybari, M., Rahmani, B. Modeling of spring-back in V-die bending process by using fuzzy learning back-propagation algorithm. *Expert Systems with Applications*, 2011;38;8894-8900.
- 2) Dilip Kumar, K., Appukuttan, K.K., Neelakantha, V.L., Padmayya, S.N. Experimental determination of spring back and thinning effect of aluminum sheet metal during L-bending operation. *Materials and Design*, 2014;56;613-619.
- 3) Tekaslan, Ö., Şeker, U., Özdemir, A. Determining springback amount of steel sheet metal has 0.5 mm thickness in bending dies. *Materials & Design*, 2006; 27;251-258.
- 4) Tekaslan, O., Şeker, U., Gerger, N. Determination of Copper sheet metal in "V" bending dies. *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 2008;23;201-238.
- 5) Tekaslan, Ö., Gerger, N., Şeker, U. Determination of spring-back of stainless steel sheet metal in "V" bending dies, *Materials & Design*, 2008;29;1043-1050.
- 6) Tekiner, Z. An experimental study of the examination of spring-back of sheet metals with several thicknesses and properties in bending dies. *Journal of Materials Processing Technology*, 2004;145; 109-117.

- 7) 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*, 2012;1006-1013.
- 8) 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.*, 2009;16;41-46.
- 9) Asgari, S.A., Pereira, M., Rolfe, B.F., Dingle, M., Hodgson, P.D. Statistical analysis of finite element modeling in sheet metal forming and springback analysis, *Journal of Materials Processing Technology*, 2008;203;129-136.
- 10) Fei, D., Hodgson, P. Experimental and numerical studies of springback in air V-bending process for cold rolled TRIP steels, *Nuclear Engineering and Design*, 2006; 236;1847-1851.
- 11) Mkaddem, A., Saidane, D. Experimental approach and RSM procedure on the examination of springback in wiping-die bending processes", *Journal of Materials Processing Technology*, 2007;189;325-333.
- 12) Choi, S.H., Chin, K.G. Prediction of spring-back behavior in high strength low carbon steel sheets. *Journal of Materials Processing Technology*, 2006;171;385-392.
- 13) Dilipak, H., Ozdemir, 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*, 2013;20;64-69.
- 14) Ozdemir, M., Dilipak, H. S235JR (1.0038) Sac Malzemeye Uygulanan Isıl İşlemlerin İleri Esneme Miktarına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi, *UTIS*, 2012; 3;345-353.
- 15) 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*, 2009;30;2410-2419.
- 16) Ragai, L., Lazim, D., Nemes, A. Anisotropy and spring-back in draw-bending of stainless steel 410: experimental and numerical study. *Journal of Materials Processing Technology*, 2005;166;116-127.
- 17) Thipprakmas, S., Rojananan, S. Investigation of spring-go phenomenon using finite element method. *Materials and Design*, 2008;29;1526-1532.
- 18) Thipprakmas, S. Finite element analysis on the coined-bead mechanism during the Vbending process. *Materials and Design*, 2011;32;4909-4917.
- 19) Thipprakmas S., Phanitwong, W. Process parameter design of spring-back and spring-go in V-bending process using Taguchi technique. *Materials and Design*, 2011;32;4430-4436.
- 20) Branko, G., Josip, C., Dejan, G. Effect of spring-back and spring-forward in V-die bending of St1403 sheet metal plates. *Strojarstvo: Journal for Theory and Application in Mech. Engineering*, 2010;52;181-186.
- 21) Erişkin, Y. Uygulamalı Sac Metal Kalıp Konstrüksiyonu, *Gazi Üniversitesi Eğitim Fak.*; Ankara;1986.
- 22) Uzun, İ., Erişkin, y. sac metal kalıpcılığı, *MEB*; Ankara;1997.
- 23) Hasırcı, H. AISI D6 Çeliğinin Adhesif Aşınma Davranışına Isıl İşlem Şartları ve Kayma Hızlarının Etkileri, 2010; 25;587-592.