

AISI 4140 ÇELİĞİ İÇİN KÜRESELLEŞTİRME TAVI SÜRESİNİN AKIŞ EĞRİSİNE ETKİSİ

Hakan ÇELİK, Erdal KARADENİZ

Özet - Yüksek mukavemetli cıvata imalat endüstrisinde, soğuk işlemle cıvata kafasının şekillendirilmesi sonrası istenen sertleştirilebilirliği sağlayabilecek alaşımlar kullanılır. Bu nedenle, araştırmada AISI 4140 çeliği kullanılmıştır.

Bu çalışmada, AISI 4140 çeliğine normalize edilmiş başlangıç koşulu sonrası 700°C de 2-4-8-12-24-48-72 saat olmak üzere 7 farklı süre için ayrı ayrı küreselleştirme tavı uygulanmıştır. Her bir durum için sertlik, akma dayanımı, çekme dayanımı, % uzama, % kesit daralması, malzeme mukavemet katsayısı, pekleşme üssü değerleri bulunmuştur. Ludwik denklemi kullanılarak gerçek gerilme değerleri tespit edilmiştir.

Gerçek gerilme - küreselleştirme süresi diyagramı ile küreselleştirme süresinin dövme presi kapasitesine etkisi incelenmiştir.

Anahtar kelimeler - Küreselleştirme, Gerçek gerilme, Soğuk dövme, Cıvata.

Abstract - In high strength bolts manufacturing, enough alloys to achieve the required hardenability after the forming of bolt heading by cold process are used. Therefore, the AISI 4140 steel was used in present research.

In this study, the specimens which were normalized before the experiments were exposed to spheroidization annealing with seven different times as 2-4-8-12-24-48 and 72 hours at 700 °C. The hardness, yield strength, the ultimate tensile strength, % elongation and % reduction of area, the coefficient of material strength and the strain-hardening exponent values were calculated for each situation. The true-stress values were determined by using Ludwik equation.

H. Çelik, İnci Ana Bakım Merkezi Komutanlığı, Arifiye, Sakarya
E. Karadeniz, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Esentepe Kampüsü, Sakarya

By using true stress vs. spheroidization time graph, the effect of spheroidization time to the pressing capacities of forging presses was investigated.

Keywords - Spheroidization, True stress, Cold forging, bolt.

I. GİRİŞ

Metallere şekil verme, genel olarak döküm, kaynak, plastik şekil verme, talaşlı imalat, toz metalürjisi yöntemlerinin biri veya birkaçının uygulanması ile gerçekleştirilir. Plastik şekil verme; dövme, haddeleme, ekstrüzyon, tel çekme, derin çekme, sıvama, bükme ve kesme gibi çeşitli işlemleri içerir. Bu işlemler şekil verme biçimine göre kütle şekil verme ve levha biçimlendirme işlemleri olarak sınıflandırılır. Buna göre, dövme, haddeleme, ekstrüzyon, tel çekme, kütle şekil verme işlemleri, derin çekme, sıvama, eğme, levha biçimlendirme işlemleri olarak tanımlanır. Dövme, metallere katı durumda akış sağlayacak mertebelerde basınç uygulayarak metalin istenilen biçimi almasını sağlayan bir üretim yöntemidir. Dövme yöntemiyle şekil verilmek istenen metal malzemelerin şekillendirilmelerini sınırlandıran etkenler vardır. Bir dövme işlemi hasarsız gerçekleştirilebilmek için şekil verilmek istenen malzemenin şekillendirilebilme kabiliyetinin bilinmesi istenir. Bu nedenle, dövme işlemlerinde malzemeyi hasara uğratmadan istenen şekli verebilmek için "Dövülebilirlik" terimi tanımlanmıştır.

Bir metalin dövülebilirliği, dövmede çatlamadan şekil değiştirme kabiliyeti olarak tanımlanır [1-3]. Düşük kuvvetlerde, çatlamaksızın dövülerek şekillendirilebilen bir malzeme için "Dövülebilirliği iyi" denir [1,4]. Bundan dolayı, soğuk dövme yöntemleri ile şekillendirilen malzemelerin hasara uğramaksızın büyük şekil değişimi değerlerine sahip olması ve aynı zamanda daha küçük kuvvet ve enerji harcanarak şekil değişiminin gerçekleşmesi istenir.

Yüksek mukavemetli cıvata üretim endüstrisinde % 0,35 - 0,5 C ve istenen sertleştirilebilirliği sağlayabilecek çelikler kullanılır. Soğuk işlem ile şekillendirilen cıvata hammaddeleri tel çubuk kantal

şeklinde. Tel çubuk sıcak haddeleme işlemi ile cıvata ölçülerine indirilir, soğutulur ve kantal şeklinde sarılır. Oksit giderme ve kaplama (kireç) işlemlerini takiben, kangallar gerekli şekil alabilme kabiliyeti ve düşük kuvvetlerde şekillendirilebilme özelliğini sağlamak için küreselleştirme işlemine tabi tutulur. Daha sonra kesme ve soğuk işlemle cıvata kafasının şekillendirilmesi ve gövde kısmına diş açılması işlemleri yapılır. Son olarak bitirme işlemleri ve takiben ostentleme, soğutma ve temperleme işlemleri yapılır [5].

Soğuk işlemle cıvata kafasının şekillendirilmesinde gövde kısmı kontrol altında tutulur. Eğer malzeme yeteri kadar sünek değilse bozulmalar oluşur. Aynı zamanda akış gerilmesi değerleri yüksek olacağından kalıp ömrünü azaltır. Küreselleştirme soğuk işlem için gerekli sünekliği ve akış gerilmesi değerlerini sağlar [6].

Endüstriyel uygulamalarda, kantal şeklindeki hammaddelere iki farklı şekilde küreselleştirme işlemi uygulandığı tespit edilmiştir [5]. Bunlardan biri, interkritik yöntem, diğeri ise subkritik yöntemdir. İnterkritik yöntem; A₁' in üzerinde bir süre tavlama ve A₁' in hemen altında uzun süre tavlama şeklindedir. Subkritik yöntem ise; A₁' in hemen altında uzun süre tavlama şeklindedir.

Laboratuvar çalışmalarında normalize başlangıç şartlarına sahip subkritik yöntem ve interkritik yöntemlerinden farklı olarak martenzitik yapıda başlangıç şartları ile subkritik yöntemde uygulanmaktadır [7].

Kuvvet ve gerilme tayininde çekme ve basma eğrileri kullanılır. Deneyler kuvvet-uzama eğrileri şeklinde verileri içerir. Bu eğrilerden yararlanılarak Gerilme-Birim şekil değiştirme eğrileri elde edilir. Bu eğriler mühendislik ve gerçek gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri olmak üzere iki çeşittir. Bunlardan mühendislik gerilme-birim şekil değiştirme eğrilerinin hazırlanmasında, gerilme hesaplamaları yapılırken başlangıç kesit alanı A₀ kullanılır, birim şekil değiştirme hesaplamaları için ise başlangıç ölçü uzunluğu kullanılır. Gerçekte ise deney süresince hacim sabitliğinden dolayı kesit alanı ve başlangıç ölçü uzunluğu sürekli değişir. Bundan dolayı plastik bölgedeki herhangi bir noktanın gerçek gerilme-birim şekil değiştirme değerleri mühendislik gerilme-birim şekil değiştirme eğrisi değerleri ile aynı değildir. Bu nedenle, soğuk dövme işleminin uygulanacağı herhangi bir birim şekil değiştirme değerinde gerekli kuvvet (gerilme) değerinin tayin edilebilmesi için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bunlar gerçek gerilme-gerçek birim şekil değiştirme eğrileri için yaklaşık denklemler yöntemleridir [4,8,9,10].

Plastik bölgedeki pekleşme nedeniyle meydana gelen eğriselliğin sonucu oluşan belirsizliğin tayini üzerine yapılan araştırmalarda Holloman denklemi yaygın olarak kullanılır [11-13]. Gerçek gerilme-gerçek şekil değiştirme

eğrileri için yaklaşık denklemler olarak Ludwik denklemleri de kullanılır [9,12,14]. İki denklem arasındaki fark akma sınırı değeri ilavesidir.

Bu çalışmada, normalize başlangıç koşullarına sahip subkritik yöntem uygulanarak farklı küreselleştirme sürelerinin gerçek gerilme değerlerine etkisi araştırılmıştır. Deney numuneleri 700 °C de 2, 4, 8, 12, 24, 48, 72 saat şeklinde 7 farklı sürede tavlammıştır. Numunelerden sertlik ve çekme deneyi sonuçları elde edilmiştir. Çekme deneyi sonuçları ile Ludwik denklemleri kullanılarak küreselleştirme süresi ile AISI 4140 çeliğinin soğuk dövme işlemi için gerçek gerilme değerleri değişimi araştırılmıştır.

II. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneyisel çalışmalar için Asil Çelik üretimi sıcak haddelemiş ϕ 22 mm AISI 4140 çelik seçilmiştir. Bu malzemenin spektral analiz cihazında kimyasal analizleri yapılarak standartlara uygunluğu görülmüştür. Analizlerden elde edilen sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Kimyasal analiz sonuçları

Malz.	C	Si	Mn	S	P	Cr	Mo
AISI 4140	0,409	0,228	0,765	0,010	0,021	1,080	0,176

AISI 4140 çeliği, cıvata üretiminde, istenen yüksek mukavemet değerlerini sağlayabilecek Cr ve Mo alaşımlarını içeren bir çeliktir.

Deneyisel çalışmalarda kullanılan AISI 4140 çeliğinden farklı mekanik özellikler elde edilerek şekillendirme için gerekli gerilme değerleri değişimi araştırılmıştır. Bu farklı mekanik özellikler ısı işlem çalışmaları ile elde edilmiştir. Bu nedenle 32 adet deney numunesinin tamamına normalizasyon işlemi uygulanmış, normalizasyon koşulları literatürden belirlenmiştir [15]. Normalizasyon tavlama için numunelerin her biri 870°C'de 45 dk. tavlandıktan sonra sakın havada (fırın dışı) soğutulmuştur. Normalizasyon işleminden sonra 28 adet numune ayrılarak küreselleştirme tavı 2, 4, 8, 12, 24, 48 ve 72 saat tavlama süreleri için 700°C'de uygulanmıştır. Isıl işlem çalışmaları için ϕ 18 mm ve 124 mm uzunluğunda numuneler talaşlı imalat yöntemi ile elde edilmiştir. Isıl işlemler 35 kW' lık Dr. Scmmith APELT marka ısı işlem fırınında numuneler kendi talaşına gömülerek gerçekleştirilmiştir.

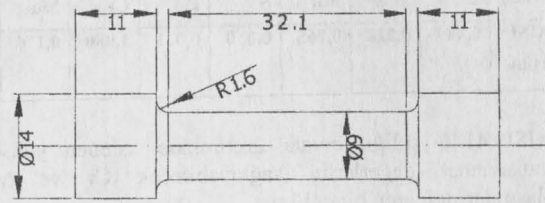
Sertlik değerleri 8 farklı ısı işlem durumu için numunelerin eksene paralel olmak üzere ikiye bölünmüş yüzeylerinden Brinell sertlik ölçme yöntemi ile alınmıştır. Sertlik ölçümleri DIA TESTOR 751 cihazında 187,5 kg yükün 20 sn 2 μ ' luk elmas pasta ile parlatılmış yüzeylere 2,5 mm' lik bilye uç kullanılarak uygulanmıştır. İki

ölçüm noktası arasında 3 mm mesafe esas alınarak çalışılmıştır.

Çekme deneyleri 1994 model 200 kN kapasiteli Dartec marka çekme cihazında 0,35 mm/dakika çekme hızında ve oda sıcaklığında ASTM E8 standardı esas alınarak hazırlanan numuneler kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Numuneler CNC torna tezgahında işlenmiştir. 8 farklı ısıl işlem durumu için yapılan deneyler ile değerlendirmeler üçer adet numuneden elde edilen sonuçların ortalaması alınarak yapılmıştır. Deneylerden elde edilen verilerden akma dayanımı, çekme dayanımı, % uzama, % kesit daralması, malzeme mukavemet katsayısı, pekleşme üssü ve gerçek gerilme değerleri her bir ısıl işlem durumu için hesaplanmıştır. Gerçek gerilme değerleri aşağıdaki Ludwik denkleminde hesaplanmıştır:

$$\sigma_g = \sigma_a + K\epsilon^n$$

Hesaplamlarda, homojen şekil değiştirme maksimum noktası ϵ değerleri kullanılmıştır.



Şekil 1. Çekme Deneyi Numunesi

III. DENEYSEL SONUÇLAR

III.1 Sertlik Deneyi Sonuçları

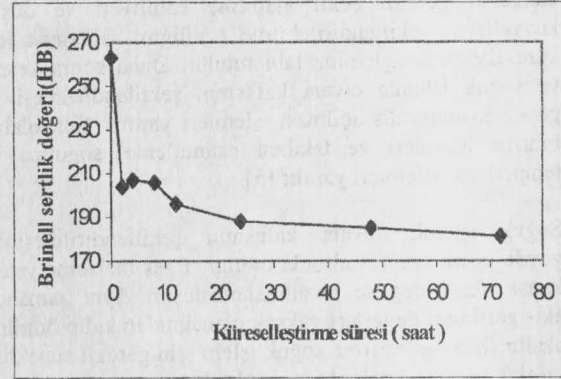
Normalize edilmiş ve farklı süreler için küreselleştirilmiş AISI 4140 çeliğinin sertlik değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Normalize edilmiş ve farklı süreler için küreselleştirilmiş AISI 4140 çeliğinin sertlik değerleri

Süre (saat)	0	2	4	8	12	24	48	72
BSD	263	204	207	206	196	188	185	181

Tablo 2'deki sonuçlardan ve Şekil 2'deki grafikten küreselleştirme ısıl işleminin sertlik değerlerinde büyük bir azalmaya neden olduğu, küreselleştirme tavı süresinin ise etkisini 8 saat'ten sonra daha belirgin gösterdiği ve

tavlama süresi artışı ile sertlik değerlerinin azalan değerler şeklinde olduğu görülmektedir.

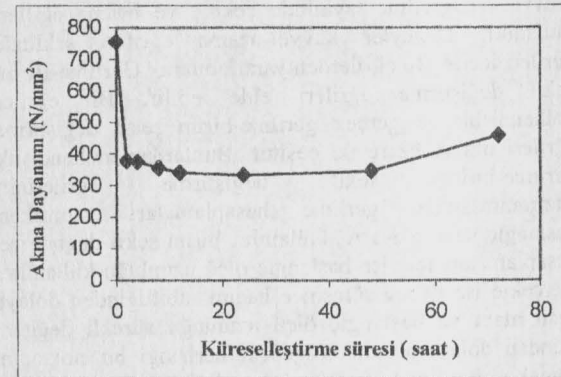


Şekil 2. Küreselleştirme tavı süresi - Brinell sertlik değeri değişimi.

III.2 Çekme Deneyi Sonuçları

Normalize edilmiş ve farklı süreler için küreselleştirilmiş AISI 4140 çeliğinin çekme deneyi değerleri Tablo 3'te verilmiştir.

Şekil 3'den küreselleştirme ısıl işleminin normalize koşula göre akma dayanımını yarı yarıya düşürdüğü, farklı küreselleştirme sürelerinin ise akma dayanımına 24 saat'e kadar azalan bir eğilim daha sonra artan bir eğilim şeklinde etkideği görülür.

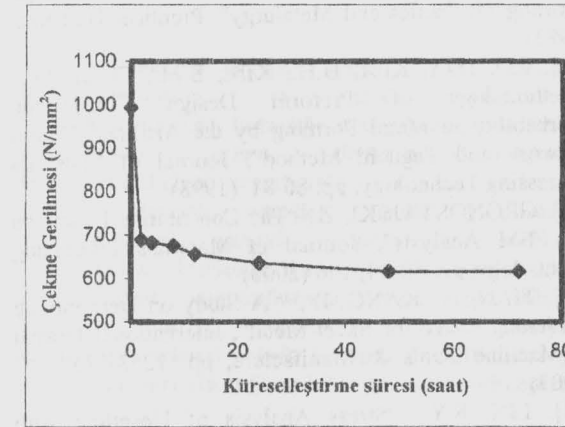


Şekil 3. Küreselleştirme tavı süresi - Akma dayanımı değeri değişimi

Çekme dayanımı değerleri incelendiğinde, normalize koşul ile küreselleştirilmiş koşul değişiminin akma dayanımı değişimi kadar olmadığı fakat yine de büyük bir azalma olduğu Şekil 4'den görülür. Küreselleştirme farklı süreleri için süre artışı ile sürekli bir değer azalışı görülür.

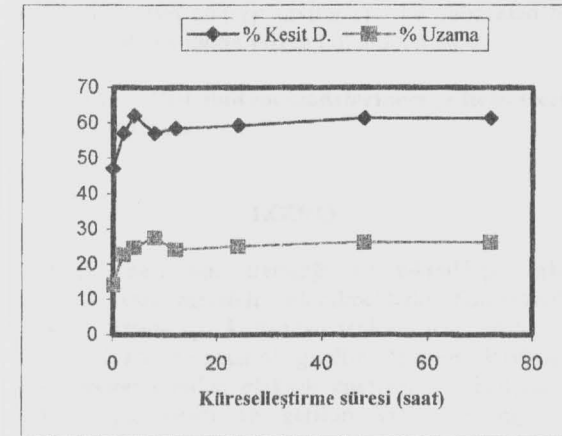
Tablo 3. Çekme deneyi sonuçları.

Süre (saat)	σ_a (N/mm ²)	σ_g (N/mm ²)	% e _r	% q	K	n	ϵ	σ_g (N/mm ²)
0	754,9	993,16	14,24	47,03	1494,51	0,130	0,08735	1843,49
2	377,45	688,68	22,8	57,02	1355,19	0,267	0,15655	1203,44
4	374,3	682	24,7	61,97	1348,03	0,276	0,17188	1203,43
8	354,64	675,32	27,7	57,02	1368,04	0,275	0,16636	1190,03
12	339,7	655,5	24,2	58,47	1297,48	0,271	0,17227	1145,29
24	332,06	635,68	25,17	59,18	1324,65	0,289	0,17695	1135,09
48	344,26	615,71	26,35	61,28	1221,8	0,268	0,19034	1127,53
72	456,87	615,71	26,35	61,28	1017,19	0,186	0,17726	1194,17



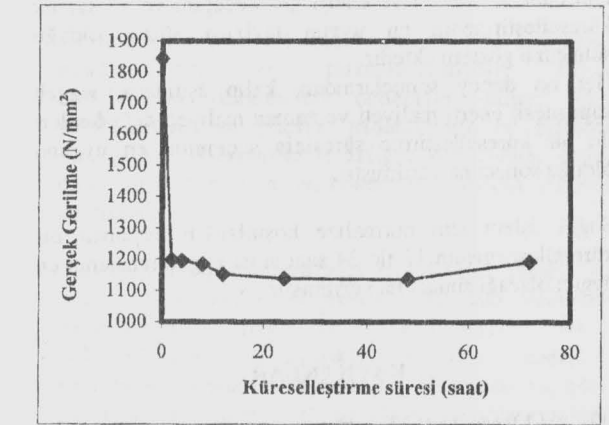
Şekil 4. Küreselleştirme tavı süresi - Çekme dayanımı değeri değişimi

Şekil 5'de küreselleştirme süresinin % uzama ve % kesit daralmasına etkisi görülmektedir. Normalize koşulların küreselleştirilmiş koşullara göre daha küçük % uzama ve % kesit daralması değerlerinde koptuğu açıkça görülmektedir. Küreselleştirilmiş koşullarda % uzamanın 8 saate kadar hızla arttığı, 12 saatte hızlı bir düşme ve bundan sonraki sürelerde daha yavaş arttığı görülmektedir. Benzer durum % kesit daralması eğrisinde 4 saat için görülmektedir.



Şekil 5. Küreselleştirme tavı süresi - Süneklik değerleri değişimi

Bu çalışmanın amacını oluşturan küreselleştirme süresinin, malzemenin soğuk şekillendirilmesinde istenen şekil değişimini gerçekleştirmek için gerekli kuvvet ve enerji hesaplamalarında kullanılan gerçek gerilme değerine etkisi Şekil 6'da gösterilmektedir. Şekil 6 incelendiğinde normalize koşullardan küreselleştirilmiş koşullara geçildiğinde gerçek gerilme değerlerinde çok büyük bir azalma görülmektedir. Bu değişim küreselleştirilmiş koşulların kendi aralarında o kadar etkili değildir. Bununla beraber, 12 saat küreselleştirmeye kadar gerçek gerilme değerlerindeki azalma hızı bu değerden sonra yavaş gelişmiştir. 72 saatlik küreselleştirmede gerçek gerilme değerinde yükselme görülmektedir.



Şekil 6. Küreselleştirme tavı süresi - Gerçek gerilme değerleri değişimi.

IV. İRDELEME

Sertlik deneyi sonuçları, küreselleştirme ısıl işleminin çeliğin sertliğini azalttığı ve tavlama süresi artışı ile sertlikteki azalmanın küçük değer değişimleri ile azalmaya devam ettiğini göstermiştir. Bu sonuçlar literatürdekilere benzer sonuçlardır [5,16]. Sertlik azalmasının, soğuk dövme kalıpları aşınmasını azaltıcı bir etki yapacağı açıktır. 24 saatlik küreselleştirme sonucu optimum değerleri vermektedir.

Çekme deneyi sonuçlarından akma dayanımı değerlerindeki değişim, küreselleştirme ile kalıcı şekil değişiminin normalize koşula göre çok daha küçük kuvvetlerde başlayacağını göstermektedir. Normalize koşulun perlit-ferrit yapısındaki lamelli karbürler dislokasyon hareketini küreselleşmiş karbürlere nazaran daha fazla engelleyeceği için kalıcı şekil değişiminin küreselleşmiş koşullarda akmanın daha küçük değerlerde başlaması beklenen bir sonuçtur. Lamelli yapının bozulmaya başlamasından sonra tavlama süresi artışı ile karbürlerdeki küreselleşme miktarı artmaktadır. Bu artma, akma dayanımında küçük farklılıkları değerler şeklinde azalmaya neden olmaktadır.

Gerçek gerilme değerleri ise ; soğuk kalıcı şekil değişimi için normalize koşula göre küreselleştirilmiş koşulların daha az kuvvet ve enerji gerektirdiği sonucunu göstermektedir. Küreselleştirmenin 12 saatten sonra gerçek gerilme değerleri değişiminde etkin bir yararının olmadığı sonucuna varılabilir.

V. SONUÇ

Sertlik deneyi sonuçları, küreselleştirmenin soğuk dövme kalıplarının ömrünü artırıcı bir etkisi olduğu sonucunu ve 24 saatlik küreselleştirmenin en uygun tavlama süresi olduğu sonucunu göstermektedir.

Çekme deneyi sonuçları, küreselleştirmenin soğuk işlem için daha az kuvvet ve enerji gerekeceğini ve 12 saatlik küreselleştirmenin en uygun tavlama süresi olduğu sonucunu göstermektedir.

Her iki deney sonuçlarından, kalıp aşınması, tezgah kapasitesi, enerji maliyeti ve zaman maliyeti değişkenleri ile bir küreselleştirme süresinin seçiminin en uygunu olduğu sonucuna varılmıştır.

Soğuk işlem için normalize koşullardan başlanan bir küreselleştirmenin 12 ile 24 saat arası uygulanmasının en uygun olacağı sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1]. KALPAKJIAN, S., "Manufacturing Processes for Engineering Materials", Addison-Wesley, (1984)
- [2]. SHERIF, D. E. W., "Processes and Design Manufacturing", Prentice-Hall Inc., (1989)
- [3]. ALTAN, T., "Forging Equipment, Materials and Practices", Metals and Ceramics Information Center, (1973)
- [4]. ÇAPAN, L., "Metallere Plastik Şekil Verme", Çağlayan Kitabevi, İstanbul, (1990)
- [5]. O'BRIEN, J. M., HOSFORD, W. F., "Spheroidization Cycles for Medium Carbon Steels", Metallurgical and Materials Transactions A, Vol. 33 A, pp. 1255-1261, April 2002

[6]. G. KRAUSS, "Steel; Heat Treatment and Processing Principles"; ASM INTERNATIONAL, Materials Park, OH, (1990)

[7]. ZHOU, F., WANG, J.N., LIAN, J.S., "An Investigation of The Plastic Failure of Spheroidized Steels", Materials Science and Engineering, pp. 117-122, (2002)

[8]. KAYALI, E. S., ENSARİ, C., "Metallere Plastik Şekil Verme İlke ve Uygulamaları", İ.T.Ü. Kimya-Metalürji Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul, (1991)

[9]. DIETER, G.E., "Mechanical Metallurgy", McGraw-Hill, (1988)

[10]. HOSFORD, W. F., CADDELL, R. M., "Metal Forming Mechanics and Metallurgy", Prentice-Hall Inc., (1983)

[11]. KO, D.C., KIM, D.H., KIM, B.M., CHOI, J.C., "Methodology of Preform Design Considering Workability in Metal Forming by the Artificial Neural Network and Taguchi Method", Journal of Materials Processing Technology, pp. 80-81, (1998)

[12]. GRONOSTAJSKI, Z., "The Constitutive Equations for FEM Analysis", Journal of Materials Processing Technology, pp. 40-44, 106 (2000)

[13]. TIAN, H., KANG, D., "A Study on Determining Hardening Curve for Sheet Metal", International Journal of Machine Tools & Manufacture, pp. 1253-1257, 43 (2003)

[14]. LIN, S.Y., "Stress Analysis of Upsetting with Concave Curve Dies", Journal of Materials Processing Technology, pp. 36-41, 123 (2002)

[15]. Stahlschlüssel, (2001)

[16]. KARADENİZ, E., ÖZGİRGİN, M.C., FINDIK, F., OĞUR, A., "Ötektoid Altı Çeliklerin Küreselleştirilmesi Isıl İşleminin Çeşitli Yöntemler ile İncelenmesi", 6. Denizli Malzeme Sempozyumu, Syf. 170-176, Denizli, (1995)