



ÇİFT FAZLI ÇELİK SACLARDA ŞEKİL ALABİLİRLİK
(*FORMABILITY OF DUAL PHASE STEEL SHEETS*)

Hakan ÇETİNEL*

ÖZET / *ABSTRACT*

Ülkemizde ve dünyada bol miktarda üretilmekte olan yapı çelikleri diğer çelik türlerine göre daha ucuzdur. Yapı çeliklerine ısıtma işlemleriyle çift (dual) fazlı mikroyapı kazandırarak malzeme tasarrufu ve imalat tekniği açısından önemli avantajlar sağlanmaktadır. Yapısında ferrit ve martenzit fazlarını bulunduran çift fazlı çelikler ferritten dolayı yüksek sünekliğe ve martenzit nedeniyle de yüksek mukavemete sahiptir.

Bu çalışmada, ısıtma işlemi (su verme, küreleştirme tavlama) görmüş ve görmemiş malzemeler derin çekme ve germe işlemlerine tabi tutulmuş, uygun ısıtma işlem yöntemleri araştırılmıştır.

Structural steels which are cheaper than variety of other steels are widely produced in our country and the world. Important advantages from the point of view economics and manufacturing technique can be provided by forming dual phase microstructure by heat treatments in structural steels. The dual phase steels which have ferrite and martensite phases in their microstructures have high strength due to martensite and high ductility because of ferrite phases.

In this study, heat treated (quenching, spheroidizing) and non-treated materials were deep drawn and stretched, and appropriate heat treatment procedures were investigated.

ANAHTAR KELİMELER / *KEYWORDS*

Çift fazlı çelik, Derin çekme, Germe, Şekil alabilirlik, Küreleştirme tavlama
Dual phase steel, Deep drawing, Stretching, Formability, Spheroidizing.

* DEÜ, Mühendislik Fak., Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Bornova, İZMİR.

1. GİRİŞ

Ülkemizde bol miktarda üretilen biçimlenebilir çelik saclar; dayanıklı tüketim malları ve otomotiv endüstrisinin önemli bir hammaddesini oluşturmaktadır. Özellikle taşımacılık endüstrisinde hafif konstruksiyonlar enerji ve malzeme tasarrufu sağlamaktadır. Günümüzde teknolojinin hızla gelişmesi; zaten sınırlı olan malzeme kaynaklarının daha verimli kullanılmasına yönelik çalışmaların artmasına yol açmıştır. Çift (dual, duel) fazlı çelikler de bu çalışmaların ürünü olarak adlandırılabilir. Yüksek performanslı yapı çeliklerinden beklenen özellik; optimum mukavemet ve süneklik birleşimini (tokluk) verecek şekilde gelişmeleri olmuştur (Sönmez ve Bakkaloğlu, 1989; Aksoy, 1989; Askeland, 1996).

Mikroyapılarında ferrit ve martenzit fazlarını bir arada bulduran çift fazlı çelikler ferritin sağladığı özellikten dolayı yüksek sünekliğe, martenzitin sağladığı özellikten dolayı da yüksek mukavemete sahiptir (Schaffer vd, 1999; Hanyalıoğlu ve Önel, 1989).

Bu çalışmada, su verilmiş ve küreleştirme tavlmasına tabi tutulmuş numunelerin derin çekme ve germe testlerinden elde edilen sonuçlara göre hangi sıcaklıktan su vermenin uygun olacağı ve küreleştirme tavlmasının bu sonuçlara etkisi araştırılmıştır. Bunun için derin çekme işleminde malzemenin bu işleme uygunluğunu belirleyen R değerleri her bir ısıl işlem için tespit edilmiştir (Hosford ve Caddell, 1993). Germe işleminde de malzemenin yırtılmadan çöktürülebileceği maksimum derinlikler belirlenmiştir. Bu derinlikler malzemenin şekil alabilirliğinin bir ölçüsüdür (Hecker vd., 1978; Meyers ve Chawla, 1999).

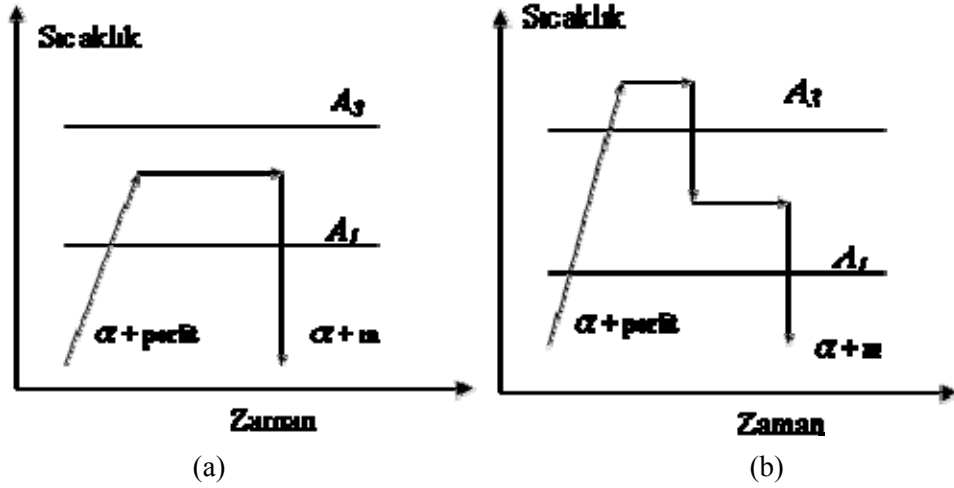
Deney sonuçlarına göre martenzitin ve ferritin optimum bir oranda olması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Tek başına martenzitin sağladığı mukavemet artışı germe ve derin çekme işlemleri için yeterli olmamaktadır. Mukavemet değerleri yüksek olmasına rağmen yırtılmalar meydana gelmektedir. Şekil alabilirliğin artması için yeteri oranda ferrit fazının da mikroyapıda bulunması gerekmektedir. Derin çekme ve germe işlemlerinde ferritin sünekliğinden ve martenzitin mukavemetinden optimum bir biçimde faydalanılması gerektiği görülmüştür.

2. ÇİFT FAZLI ÇELİKLER VE ELDESİ

Çift fazlı çelikler bileşim bakımından sade karbonlu çeliklere benzer. Çift fazlı mikroyapı uygulanan ısıl işlemlerle elde edilir. Çift fazlı çelikler sünek bir ferrit (α) yapı içinde odacıklar biçiminde dağılmış % 10-20 dolayında martenzit (m) fazı içeren çeliklerdir. Çift fazlı çelikler üstün özelliklerini; martenzitin yüksek mukavemete, ferritin iyi bir sünekliğe sahip olmasından almaktadır.

Eutektoid altı çelikler demir-karbon denge diyagramında A_1 ve A_3 arasındaki bölgeye kadar ısıtıldığında yapıda ferrit ve austenit (γ) fazları oluşur. Bu bölgede belli bir süre bekletildikten sonra suda ani olarak soğutulursa austenit martenzite dönüşür (Şekil 1a). Böylece ferrit ve martenzit fazlarından oluşan bir mikroyapı elde edilir. Bu IDP (Intercritical Dual-Phase) metodudur. Diğer bir metod ADP (Austenite Dual-Phase) metodudur. Burada malzeme austenit oluşturmak için A_3 ün biraz üzerine kadar ısıtılıp belli bir süre beklendikten sonra kademeli olarak soğutulur. Birinci basamakta A_1 - A_3 arasına soğutulur ve belli bir süre beklenilerek yapıda ferrit oluşturulur. Daha sonra hızlı bir soğumayla austenit martenzite dönüştürülür (Şekil 1b) (Aksoy, 1989).

ADP ve IDP numuneleri arasındaki fark sadece martenzit morfolojisi farklılığından ibarettir. Martenzit fazının bu değişik oluşum şekli, farklı şekilde ısıl işlem yapılan malzemelerin mekanik özelliklerini etkilemektedir (Callister, 2000).



Şekil 1. Çift fazlı çelik eldesinde (a) IDP (b) ADP metotları.

3. DERİN ÇEKME VE GERME İŞLEMLERİ

Derin çekme ve germe işlemlerinin analizi malzemelerin plastisite davranışı irdelenerek yapılır. Gerilme–birim şekil değiştirme ilişkileri malzemenin derin çekilebilirliği ve gerilebilirliği hakkında fikir verir (Hosford ve Backofen, 1964; Drucker, 1991).

3.1. Derin Çekme İşlemi

3.1.1. R Değerinin Tespiti

Derin çekme işleminde bir R değerinden söz edilir. Bu R değeri malzemenin incelmeye karşı gösterdiği direncin bir ölçüsüdür. Çekme deneyi yardımıyla ölçülen bu değer; çekme numunesinde belirli bir uzamada, genişlik boyunca olan şekil değişikliğinin kalınlık boyunca olan şekil değişimine oranıdır.

$$R = \frac{\ln \frac{w}{w_0}}{\ln \frac{t}{t_0}} \quad (1)$$

Burada; w_0 ve t_0 sırasıyla numunenin başlangıçtaki genişliği ve kalınlığını, w ve t ise belirli bir yükleme sonrasındaki genişlik ve kalınlığı göstermektedir. Pratikte t değerinin ölçümü zor olduğu için malzemedeki hacim değişiminin olmaması prensibiyle aşağıdaki eşitlik yazılabilir.

$$\frac{\Delta V}{V} = \varphi_w + \varphi_L + \varphi_t = 0 \quad (2)$$

φ_w , φ_L , φ_t sırasıyla genişlik, boy ve kalınlıktaki değişimdir.

$$\varphi_t = -(\varphi_w + \varphi_L) \quad (3)$$

$$\ln \frac{t}{t_0} = - \left(\ln \frac{w}{w_0} + \ln \frac{l}{l_0} \right) \quad (4)$$

Eşitlik 1 ve Eşitlik 4'den

$$R = \frac{\ln \frac{w}{w_0}}{\ln \frac{w_0}{w} + \ln \frac{l_0}{l}} = \frac{\ln \frac{w}{w_0}}{\ln \frac{w_0 l_0}{w l}} \quad (5)$$

Ortalama R değeri ise aşağıdaki gibi olur.

$$\bar{R} = \frac{R_0 + 2R_{45} + R_{90}}{4} \quad (6)$$

Burada; R_0 , R_{45} , R_{90} değerleri sırasıyla sacda hadde yönündeki, hadde yönüne 45° ve 90° deki numunelerden elde edilen \bar{R} değerleridir (Hosford ve Caddell, 1993).

Hadde yönünde ve hadde yönüne 90° deki numunelerden R değerleri tespit edildiğinde ortalama değer Eşitlik 7'de verilen hali alır.

$$\bar{R} = \frac{R_0 + R_{90}}{2} \quad (7)$$

Derin çekme işlemlerinde malzemenin yüksek R değerine sahip olması istenir. İzotropik malzemelerde $R=1$ dir. R değerinin sac düzleminde değişimini yansıtan ΔR değeri aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\Delta R = \frac{R_0 - 2R_{45} + R_{90}}{2} \quad (8)$$

Hadde ve hadde yönüne dik yönlerdeki değer

$$\Delta R = \frac{R_0 + R_{90}}{2} \quad (9)$$

ΔR ' nin sıfıra yakın olması tercih edilir.

Silindirik kap çekme işleminde sabit bir zımba çapı için başarılı bir şekilde çekilebilecek en büyük taslak çapı artan \bar{R} değeri ile belirgin bir artış göstermektedir. \bar{R} ve ΔR bir malzeme özelliğidir. Sacın cinsine ve üretimi sırasında gördüğü işlemlere bağlıdır.

3.1.2. Derin Çekme Kuvveti

Bu kuvvetin değeri parçanın büyüklüğüne, sac kalınlığına, malzemenin mukavemetine, çekme oranına, parça ve kalıp arasındaki sürtünmeye bağlıdır. Buna göre sırasıyla çekme oranı ve çekme kuvveti aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$M = \frac{\text{Çekilen parça çapı}}{\text{Levha çapı}} = \frac{d}{D} \quad (10)$$

$$F = f \cdot L \cdot t \cdot \sigma_{\checkmark} \cdot (N) \quad (11)$$

Burada;

L: Levha çevresi (mm),

t: Kalınlık (mm),

σ_c : Çekme mukavemeti (MPa) dir.

M = 0,55–0,95 ve f = 1–0,2 arasında değişmektedir (Hecker vd., 1978).

3.1.3. Plastik Şekillendirmede Yağlama Etkisi ve Sürtünme Katsayısı

Plastik şekillendirmede meydana gelen sürtünme gerilmeleri Coulomb kanunu ile ifade edilir:

$$\tau = \mu P \quad (12)$$

Burada;

τ : Sürtünme gerilmesi (MPa),

μ : Sürtünme katsayısı,

P: İki yüzey arasındaki basınç (MPa)'dır.

Basıncın çok artması halinde malzeme, kesmedeki akma gerilmesinden fazla bir kayma gerilmesi taşıyamaz. Sürtünme gerilmesi için sınır kesmedeki akma gerilmesidir.

3.2. Germe İşlemi

Sacın gerilebilir olması için sünek olması gereklidir. Süneklik malzemenin çatlaksızın ne kadar deforme edilebileceğini belirler. Sacın deformasyonu yayma yeteneği de önemlidir. Eğer sac incelme ile hızlı bir sertleşme gösteriyorsa yani sertleşme üsteli (n) yüksekse incelme nispeten düzgün bir dağılma gösterecek ve yırtılmaya neden olacak aşırı bölgesel incelmeler olmayacaktır.

Çekme deneyinden elde edilen değerlerle gerilme–birim şekil değiştirme diyagramından aşağıdaki bağıntıyla sertleşme üsteli tespit edilir.

$$\sigma = \sigma_a + K \varepsilon^n \quad (13)$$

Burada;

K: Gerilme düzeyi (MPa),

ε : Plastik birim şekil değiştirme (%),

σ_a : Akma gerilmesi (MPa),

σ : Gerilme (MPa)'dır.

Düşük akma dayanımı, yüksek uzama ve sertleşme üsteli değeri malzemenin iyi gerilebilirlik özelliklerine sahip olduğunu gösterir. Gerilebilirliğin diğer bir ölçüsü de Erichsen deneyinde ölçülecek çökertme derinliğidir. Yırtılıncaya kadar yüklenen malzeme ile artan çökme derinliği gerilebilirliğin arttığını göstergesidir. Gerilebilirlik artan sac kalınlığı ile de artmaktadır.

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Numunelerin kimyasal analiz sonucu Çizelge 1'de verilmiştir. 1 mm kalınlığındaki Fe24 saclardan TS 271'e göre Erichsen deneyi için 80 x 80 mm boyutlarında numuneler hazırlanmıştır. R ve n değerlerinin tespiti için TS 138'e göre çekme numuneleri hazırlanmıştır.

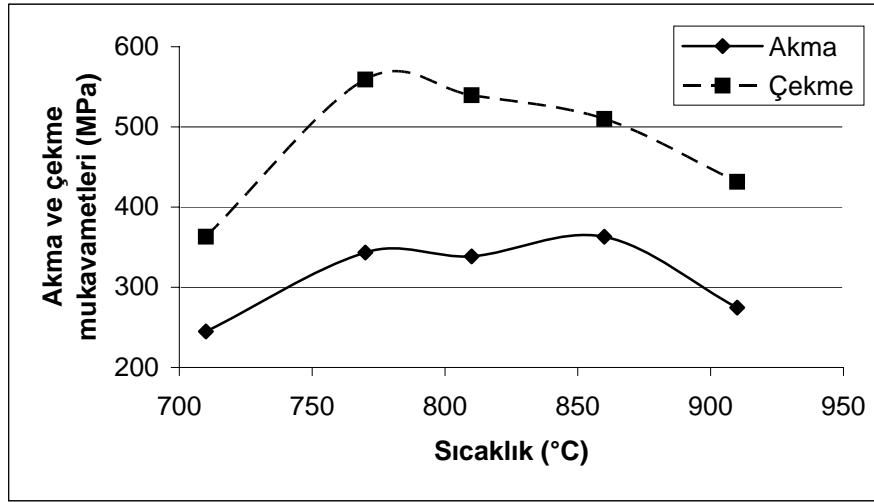
Çizelge 1. Numune kimyasal kompozisyonu

Element	C	Si	Mn	P	S	Cr
Derişim	0,05	0,04	0,42	0,008	0,02	0,07

Element	Ni	Cu	Mo	Sn	Al	V
Derişim	0,09	0,06	0,016	0,004	0,02	-

Germe ve çekme deneyleri için hadde yönüne dik olarak kesilmiş numunelere 770, 810, 860, ve 910 °C gibi 4 ayrı sıcaklık grubunda yirmişer dakika bekletildikten sonra su verilmiştir. Diğer numuneler 710 °C'de 2 saat tutularak yumuşatma (küreleştirme) tavlamasına tabi tutulmuşlardır.

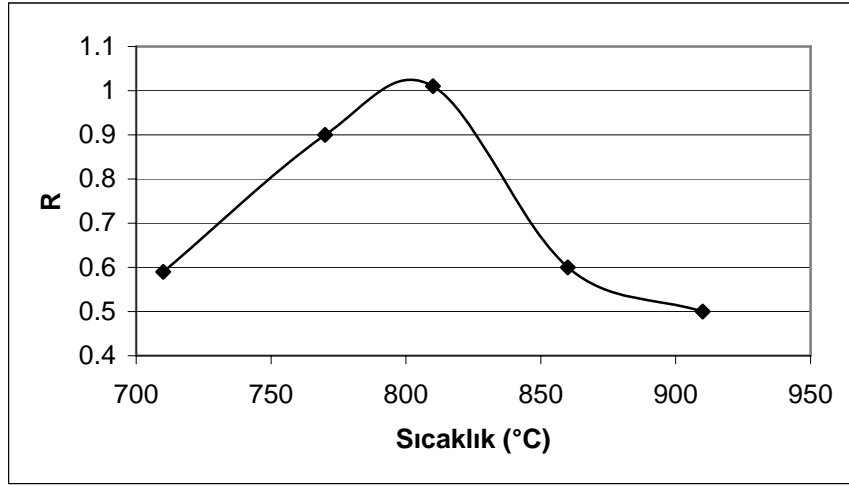
Uygulanan ısı işlemlere göre değişim gösteren akma ve çekme mukavemetleri Şekil 2'de görülmektedir. Küreleştirme tavlamasına tabi tutulan numunelerin akma mukavemetleri düşük çıkmıştır. 770 ile 860 °C sıcaklıklarda bekletilen ve su verilen numunelerde akma mukavemeti değerleri yüksek çıkmıştır.



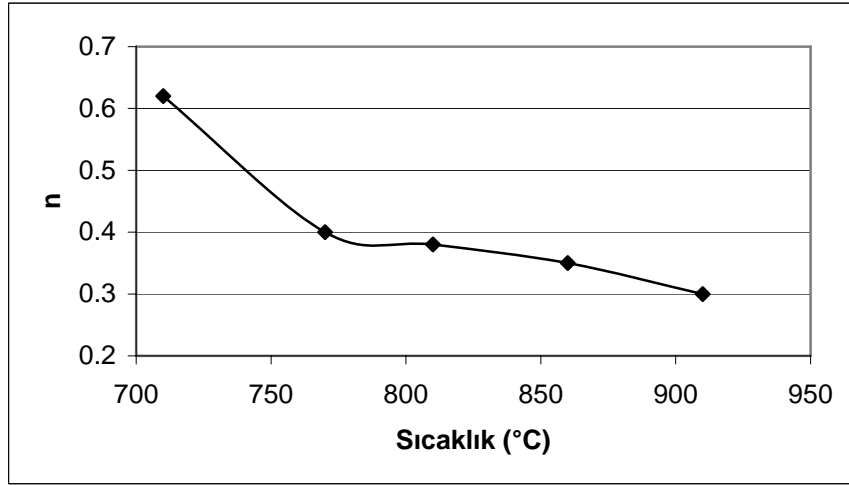
Şekil 2. Isıl işlem sıcaklıklarına bağlı olarak akma ve çekme mukavemetlerindeki değişim

Çekme mukavemetleri de Şekil 2'de yer almaktadır. 770-860 °C arası sıcaklıklarda çekme mukavemeti yüksek, küreleştirme tavlamasına tabi tutulan ve 910 °C de bekletildikten sonra su verilen numunelerde ise bu değer düşüktür. R değerleri Şekil 3'de gösterilmiştir. 810 °C'de bekletildikten sonra su verilen numunelerin R değerleri en yüksektir. Burada derin çekme işlemi için optimum martenzit-ferrit oranının sağlandığı anlamı ortaya çıkmaktadır.

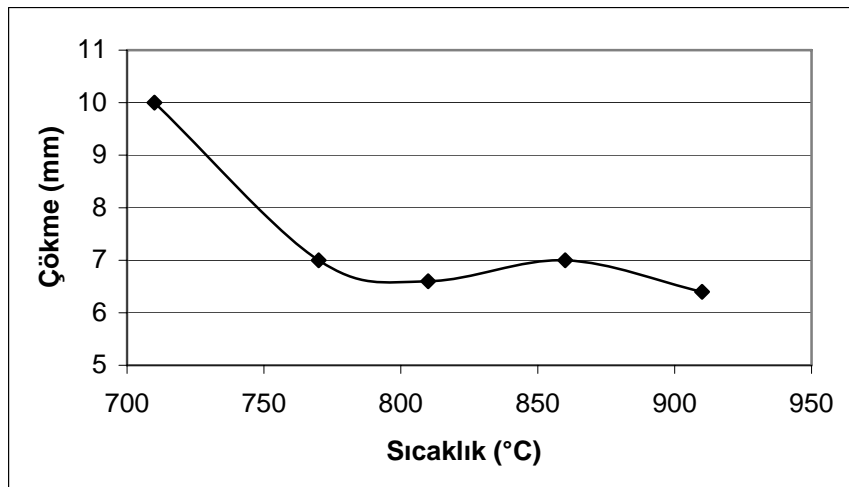
n değerleri Şekil 4'de gösterilmiştir. Küreleştirme tavlamasına tabi tutulmuş numunelerde sertleşme üsteli değeri en yüksektir. Su verme sıcaklıkları yükseldikçe malzemelerin n değerleri düşmektedir. Çökme derinlikleri Şekil 5'te gösterilmiştir. Malzemelerin yırtılmadan deforme edilebilirliğinin göstergesi olan maksimum çökme derinliği miktarı; küreleştirme tavlamasına tabi tutulan numunelerde en yüksek değerine ulaşmıştır.



Şekil 3. Isıl işlem sıcaklıklarına bağlı olarak R değerindeki değişim



Şekil 4. Isıl işlem sıcaklıklarına bağlı olarak n değerindeki değişim



Şekil 5. Isıl işlem sıcaklıklarına bağlı olarak çökme derinliklerindeki değişim.

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

İçinde martenzit fazı olmayan, küreleştirme tavlamasına tabi tutulmuş numunelerde doğal olarak akma ve çekme mukavemeti değerleri minimum olmaktadır. 770-860 °C lerde bekletildikten sonra su verilen numunelerin akma ve çekme mukavemetleri yüksek çıkmıştır (Şekil 2). Yalnızca ferrit ve martenzit germe ve derin çekme işlemlerinde yeterli olmadığı için R ve n değerleri önemlidir. 810 °C sıcaklıkta 20 dakika bekleyen numunelerin R değeri maksimum olmaktadır. Daha farklı sıcaklıklarda ısıl işleme tabi tutulan numunelere göre daha iyi bir R değerinin çıkması yapıdaki ferritin sağladığı süneklik ve martenzitin sağladığı yüksek mukavemet sayesinde. Bu sonucun ışığı altında derin çekme işlemi için bu sıcaklıkta ısıl işlem ile optimum ferrit-martenzit oranı sağlanmıştır denebilir.

Öte yandan, sertleşme üsteli 710 °C civarında küreleştirme tavlamasına tabi tutulan numunelerde maksimum değerini almaktadır. Yapıda bulunan ferrit sayesinde deformasyona tabi tutulduğunda iyi bir gerilebilirlik özelliği sergilemektedir. Yapıda martenzit miktarının artması ile gerilebilirlik özelliğinde bir kötüleşme söz konusudur. Çünkü malzemelerin yırtılmadan deformasyona uğraması imkan dahilinden çıkmaktadır. Daha yüksek sıcaklıklardan su verildiğinde sertleşme üstelinde, dolayısı ile gerilebilirlikte düşme olmaktadır (Şekil 4). Bunun bir belirtisi de malzemelerin yırtılmadan çöktürülebilecekleri derinliklerin düşmesidir (Şekil 5).

Germe ağırlıklı bir işlemde n değeri önemli olurken, derin çekme ağırlıklı bir işlemde sacın R değeri önem kazanmaktadır. Bütün bu sonuçların ışığı altında; 810 °C’de tavllanmış olan sacın derin çekme özelliği, 710 °C’de küreleştirme tavlamasına tabi tutulan sacın germe özelliği iyidir” denebilir. Şekil 3 ve Şekil 4 incelendiğinde görülmektedir ki; germe ve derin çekme işlemlerinin her ikisine birden tabi tutulacak malzemeler için 750 °C civarında bekletilip su verilerek optimum ferrit-martenzit oranı sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- Aksoy M. (1989): “Düel-Faz Çeliklerinin Mekanik Özelliklerine Mikroyapının Etkisi”; 3. Denizli Malzeme Sempozyumu, Denizli, s. 33-44.
- Askeland D.R. (1996): “The Science and Engin. of Materials”; Chapmanall, China, p. 518.
- Callister W.D. (2000): “Materials Science and Engineering An Introduction”, John Wiley & Sons Inc., p. 500.
- Drucker D.C. (1991): “A More Fundamental Approach to Plastic Stress-Strain Relations”, Proceedings of 1st U.S. Congr. Appl. Mech., ASM, New York, p. 487- 491.
- Hanyaloğlu C., Önel K. (1989): “Düşük Karbonlu Çeliklerde Yüksek Mukavemet ve Düktilite İçin Uygun Mikroyapı Araştırması”, 3. Denizli Malzeme Sem., Denizli, s. 157-162.
- Hecker S.S., Ghosh A.K., Gegel H.L. (1978): “Formability: Analysis, Modeling and Experimentation”, TMS-AIME, New York, p. 122-178.
- Hosford W.F., Caddell R.M. (1993): “Metal Forming”; Prentice-Hall, Inc., NJ, p. 272-273.
- Hosford W.F., Backofen W.A. (1964): “Strength and Plasticity of Textured Metals”, Fundamentals of Deformation Processing, Syracuse, N.Y., Syracuse Univ. Press, p. 259
- Meyers M.A., Chawla K.K. (1999): “Mechanical Behaviours of Materials”, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, p. 172-178.
- Schaffer J.P., Saxena A., Antolovich D., Sanders T.H., Warner S.B. (1999): “The Science and Design of Engineering Materials”; Mc Graw-Hill, Singapore, p. 194.
- Sönmez N., Bakkaloğlu A. (1989): “Çift Fazlı Çeliklerin Makina Konstruksiyonlarında Kullanılabilirlik Sınırları”, 3. Denizli Malzeme Sempozyumu, Denizli, s. 23-32.