

Ç4140 ÇELİĞİNDEN ÇİFT-FAZLI ÇELİK ÜRETİLEBİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

Bilge DEMİR

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, 78200, Karabük, Türkiye

ÖZET

Bu çalışmada, %0.44C, %0.35Si, %0.71Mn, %1.13Cr, %0.17Mo kimyasal kompozisyonuna sahip Ç4140 çeliğinden çift-fazlı çelik üretilebilirliği incelenmiştir. Kritik sıcaklıklar arasındaki bölgede ($\alpha+\gamma$, 740°C ve 775°C) tavlama sonrasında suda su verme işlemleri ile çift-fazlı çelik üretimi gerçekleştirilmiş ve bu çift-fazlı çelikler üzerinden martensit hacim oranının (MHO) kritik tavlama sıcaklığına bağlı olarak değişimi tespit edilmiştir. Martensit morfolojisini değiştirmek için 900°Cden suda su verilmiş (S), 900°Cden havada soğutulmuş (N), ve ısıt işlem görmemiş başlangıç numuneleri (B) 743°C ve 748°C'lerde kritik tavlama+suda su verme işlemlerine tabi tutulmuşlardır. Sonuçta S başlangıç yapısından ince (SS) N başlangıç yapısından orta (NS) ve B başlangıç yapısından kaba (BS) martensit parçacık boyutuna sahip çift-fazlı çelikler elde edilmiştir. Çekme deney numunelerinde farklı martensit dağılımları ve %38 sabit MHO elde edilmiştir. Sonuç olarak mikroyapı-mekanik özellikler arasındaki ilişki değerlendirilmiştir. Çift-fazlı çelikler orijinal Ç4140 çeliğine göre oldukça yüksek uzama değerleri sağlamışlardır. Çift-fazlı çelikler içerisinde SS çift-fazlı çelikleri en iyi dayanım ve uzama değerlerini göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Çift-fazlı çelik, Martensit morfolojisi, Ç4140

INVESTIGATION OF PRODUCIBIL OF DUAL-PHASE STEEL FROM SAE 4140 STEEL

ABSTRACT

In this study, producible of dual-phase steel from SAE 4140 steel, having 0.44 C%, 0.35Si%, 0.71Mn%, 1.13Cr%, 0.17 Mo % chemical composition, have been investigated. Dual-phase steel production was accomplished by intercritically annealing at intercritical temperatures area ($\alpha+\gamma$, 740°C ve 775°C) after that water quenching, and change of martensite volume fraction (MVF) with intercritical annealing temperatures was determined on dual phase steels. To change martensite morphologies in ferrit matrix, quenched (S), normalized (N) from 900°C and as-received structure were used as initial structure at dual-phase heat treatment. These specimens annealed at 743°C and 748°C after that water quenched. As a result, dual phase steels having finer martensite (SS) from S initial structure, middle size (NS) from N initial structure and course (BS) from B initial structure, were obtained. On tensile specimens different martensite dispersion and %38 MVF were obtained. As a results, relationships between tensile properties and microstructures were evaluated. Dual phase steel provided exactly higher elongation than original SAE 4140 steel. In dual phase steels, SS dual phase steels showed best strengths and elongations values.

Key Words: Dual phase steels, martensite morphologies, SAE 4140

1. GİRİŞ

1970'li yıllarda üretilmeye başlanan, çift-fazlı çelikler HSLA (yüksek dayanımlı düşük alaşımlı) çeliklerinin bir çeşididir [1,2,3]. Kritik sıcaklıklarda ($\alpha+\gamma$ bölgesi) tavlama sonrasında su verme ısıl işlemi ile üretilirler. Mikroyapıları yumuşak ferrit anayapı içerisinde dağılmış ikinci faz sert martensit parçacıklarından oluşmaktadır. Üretildikleri çeliklerle kıyaslandıklarında; düşük akma dayanımı, yüksek pekleşme oranı, çekme dayanımı, düzgün ve toplam uzama değerleri gösterirler [4,5,6,7]. Pekleşme oranlarının yüksek olması şekillendirme sonrası dayanımlarının yüksek olmasını sağlamaktadır. Üretildikleri çeliklere oranla parça ağırlığını %15-20 miktarında azaltarak taşıt ağırlığının azalmasını dolayısıyla yakıt tasarrufu sağladıkları için otomotiv endüstrisinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar [1,2,8,9,10,11].

Çift-fazlı çelikler ve diğer tüm metallerin mekanik özellikleri ikinci faz morfolojisi (şekil, boyut, dağılım) ve hacim oranına bağlı olarak değişmektedir. Bundan dolayı çift-fazlı çeliklerde ısıl işlem yöntemleri ve parametrelerinin optimize edilmesi gereklidir. Çift fazlı çeliklerin optimum özellikleri için ikinci faz martensitin ince taneli ve homojen dağılmış bir morfolojiye sahip olması arzu edilir [8,12,13].

Çift-fazlı çelik üretimi sırasında optimum çift-fazlı çelik özelliklerinin sağlanabilmesi için %0.3'ten az karbonlu çelikler önerilmektedir. Ayrıca, dayanımı büyük oranda belirleyen martensit hacim oranının %10-25 civarında olması arzu edilmektedir [1,2,3,4,5,9,10,]. Bununla birlikte %0.3'ten daha yüksek karbon içeriğine, belli bir kritik bölgeye sahip ötekoit altı çeliklerden de çift-fazlı çelik üretilebilmesi teorik olarak mümkündür. Ancak, üretilecek olan çift-fazlı çelik ideal özellikleri göstermeyebilir. Bunun yanında çift-fazlı çelik yapısından dolayı bu çeliklerde de dayanım-süneklik değerlerinin iyileşerek tokluğun artması sağlanabilir. Bu şekilde dayanım-süneklik ilişkisi geliştirilerek, yüksek dayanımlı bunun yanında düşük süneklige sahip çeliklerden dayanımdan fazla kayıp olmadan daha sünek çelikler üretilebilir.

Ç4140 çeliği ticari olarak en çok kullanılan ıslah çeliklerinden bir tanesidir. Endüstriyel kullanım sırasında işlenebilirlik özelliklerinin ve tokluğunun iyi olmamasından kaynaklanan sıkıntılar vardır. Bu çalışmada, Ç4140 çeliğinden çift-fazlı çelik üretimi ile özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Ç4140 çeliği yaklaşık olarak 50°Clik bir kritik bölgeye sahiptir. Literatürde Ç4140 çeliğinden çift-fazlı çelik üretimi çalışması mevcut değildir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

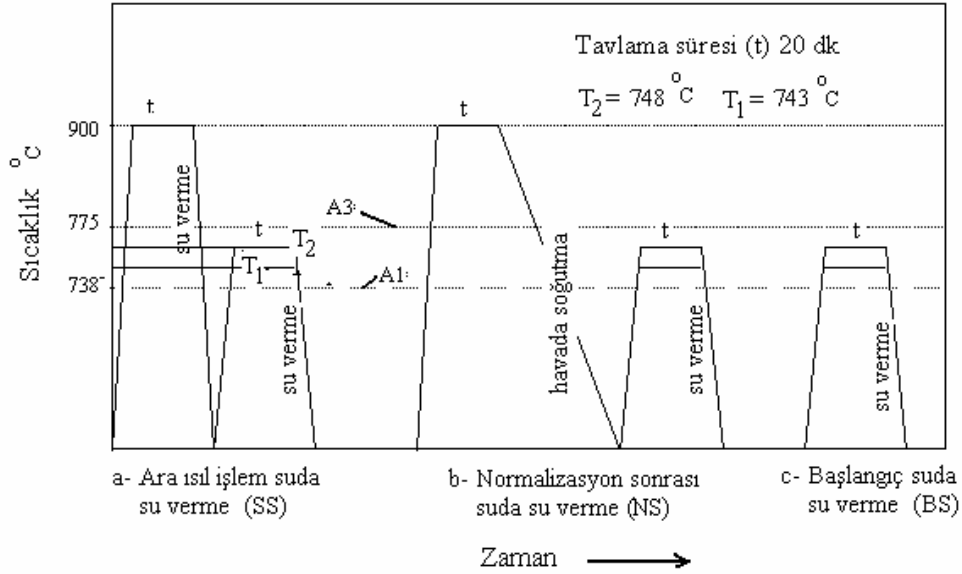
Deneylerde kullanılan Ç4140 çeliğinin kimyasal kompozisyonu Tablo 1.'de verilmiştir. Isıl işlem deney numuneleri, Ø25 mm sıcak haddelenmiş çubuktan haddelene yönüne dik olarak 2x10x10mm ebatlarında hazırlanmıştır.

Kritik sıcaklıklar olarak ifade edilen A_1 ve A_3 , Andrew [14] formülü kullanılarak 738 °C ve 775 °C olarak hesaplanmıştır. Isıl işlemlerin birinci aşamasında çift-fazlı çelik üretiminin esasını oluşturan %martensit (östenit) hacim oranının kritik tavlama sıcaklığına bağlı olarak değişimini tespit etmek için A_1 ve A_3 arasında bulunan 743°C, 748°C, 752°C, 760°C ve 770°C kritik sıcaklıklarda tavlama+suda su verme işlemleri yapılmıştır.

İkinci aşamada; Şekil 1'de şematik olarak görülen üç farklı grup ısıl işlem uygulanmıştır. Şekilde görüldüğü gibi öncelikle üç farklı başlangıç mikroyapısı elde edilmiştir. Bunlar; ısıl işlem görmemiş (B), 900 °C'den normalize edilmiş (N) ve 900°Cden suda su verilmiş (S) olarak kodlanmıştır. Çift-fazlı çelik üretimi her üç grup içinde 743°C ve 748°C'de yapılmıştır. Şekil 1a'da şematik olarak görüldüğü gibi S başlangıç yapısı elde edildikten sonra kritik sıcaklıklarında tavlama ve suda su verme işlemi SS, N başlangıç yapısı elde edildikten sonra kritik sıcaklıklarında tavlama ve suda su verme işlemi NS (Şekil 1b) ve B başlangıç yapısına kritik tavlama sonrasında suda su verme işlemi BS (Şekil 1c)olarak kodlanmıştır. Üretilen çift-fazlı çeliklerin faz hacim oranları, martensit parçacık boyutu (μm) ve parçacıkları arasındaki mesafe (μm) çizgisel kesişme [15] metodu ile hesaplanmıştır.

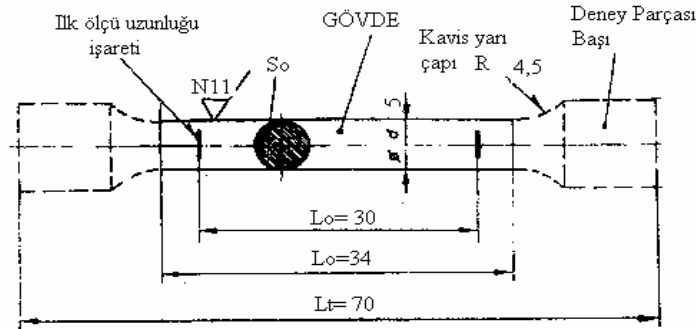
Tablo 1 Ç 4140 çeliğinin kimyasal kompozisyonu (% ağırlık)

C	Si	Mn	Cr	Mo	P	S	Fe
0,44	0,35	0,71	1,13	0,17	0.0109	0.0201	Geriye kalan



Şekil 1. Uygulanan ısı işlemlerin şematik gösterimi

Çekme deney numunelerine de Şekil 1'de gösterilen ısı işlemleri uygulanmıştır. Burada kritik tavlama sıcaklığı 743°C olarak sabit tutulmuştur. Çekme deney numunesinin boyutları Şekil 2.'de görülmektedir [16]. Çekme deneyi $0,2\text{ cm/dk}$ çene hızında "Instron 1185" model cihazda yapılmıştır.



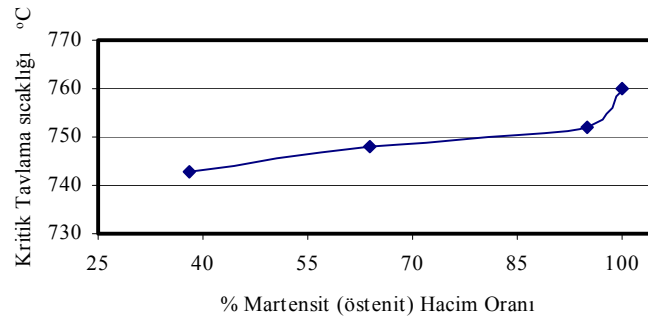
Şekil 2. Çekme deney numunesi

3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

3.1. Isıl İşlemler ve Mikroyapı Oluşumları

Martensit (östenit) hacim oranının sıcaklığa bağlı olarak değişimi Şekil 3.'de şematik olarak verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi sıcaklığın artması ile MHO çok hızlı bir şekilde artmaktadır. Andrews formülünden elde edilen teorik A_3 sıcaklığı 775°C olmakla birlikte MHO 760°C civarında %100'e (kalıntı östenit dahil) yaklaşmaktadır. Dolayısıyla A_3 sıcaklığının 760°C civarında gerçekleştiği kabul edilebilir. Literatürde özellikle düşük karbonlu çelikler söz konusu olduğunda kritik bölgedeki levye kuralına yakın faz oranlarının elde edildiği bildirilmiştir [6,7]. Bu farklı durum Ç4140 çeliğinin yüksek karbon ve diğer alaşım elementi içermesinin bir sonucu olabilir. Sonuç olarak Ç4140 çeliği pratik olarak oldukça dar bir kritik bölge göstermiştir. Buda çift-fazlı çelik üretimi için bir dezavantaj oluşturmaktadır.

Farklı MHO ve morfolojileri elde etmek için uygulanan (Şekil 1) ısıl işlemler sonucunda üretilen mikroyapılar Şekil 4. ve 5.'de görülmektedir. Bu numunelere ait faz hacim oranları, martensit parçacık boyutu (μm) ve parçacıkları arasındaki mesafe (μm) Tablo 2.'de verilmiştir. SS ısıl işlemi ile üretilen çift-fazlı çelikler diğerlerine göre daha homojen, eşeksnel ve ince taneli martensit fazı içermektedir. Ayrıca bu işlem ana yapıyı da inceltmiştir. Martensit parçacık boyutunun ve anayapının incelmesinin kritik tavlama sırasında östenitin, başlangıç S mikroyapısındaki lath (çita) ve iğnesel martensit tane sınırlarında çekirdeklenmesi ve büyümesinden kaynaklandığı kabul edilmektedir [8,12]. Çünkü martensitik yapıda normal taneli yapılara göre oldukça fazla lath ve iğnesel martensit sınırı vardır. Dolayısıyla kritik tavlama sırasında diğerlerine göre (N ve B başlangıç yapıları) daha çok östenit ve ferrit tanesi çekirdeklenip büyüyeceği için sonuçta incelmış daha fazla taneli bir çift-fazlı çelik yapısı elde edilmiştir. NS numuneleri orta ve BS numuneleri daha kaba bir martensit partikül boyutun göstermişlerdir (Tablo 2).



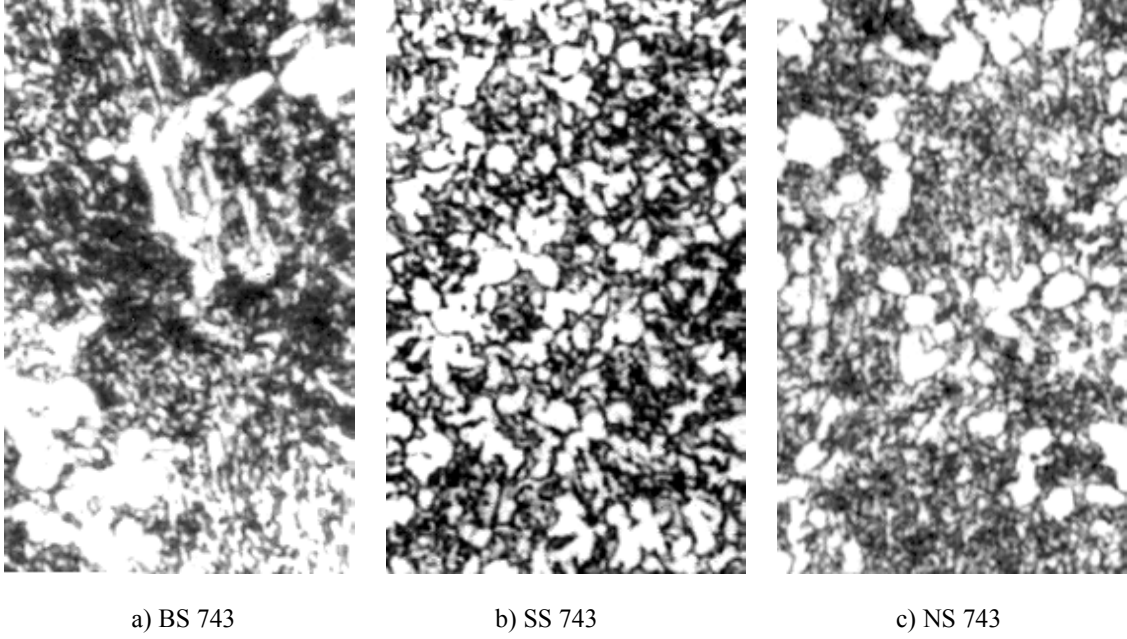
Şekil 3 % MHO'nun (γ) kritik tavlama sıcaklığına bağlı olarak değişimi

Tablo 2 Faz hacim oranı, martensit parçacık boyutu ve parçacıkları arasındaki mesafe

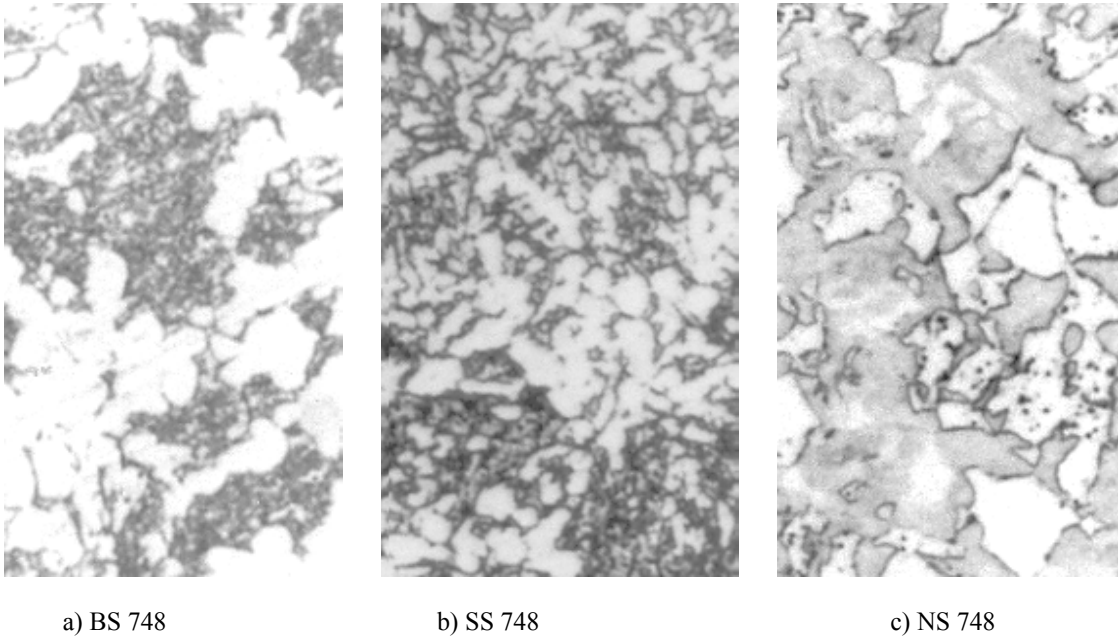
Numune kodu	KTS °C	MHO (%) (Geri kalan ferrit) $\pm\%6$	Martensit parçacık boyutu (μm)	Ferrit tane boyutu (μm)
Ç4140	--	38*	-	-
N-4140		80**	-	-
BS743	743	38	1,5	3.5
BS748	748	64	4	2.5
NS743	743	38	1.25	3
NS748	748	64	3	1.7
SS743	743	38	1	1.6
SS748	748	64	2	1

*Perlit ve beynit

**Perlit, beynit ve martensit



Şekil 4. %38 MHO'na sahip çift-fazlı çelik mikroyapı fotoğrafları, dağlama %2 Nital, x1550



Şekil 5. %64 MHO'na sahip çift-fazlı çelik mikroyapı fotoğrafları dağlama %2 Nital, x1550

3.2. Çekme Özellikleri

Çekme deneyi sonuçları Tablo 3.'de verilmiştir. Tabloda görüldüğü gibi en yüksek akma ve çekme dayanımı değerlerini normalize edilmiş numune göstermiştir. Bununla birlikte uzama değerlerinde belirgin bir artış

olmamıştır. Dayanımda görülen artış orijinal numuneye göre yapının bir miktar homojenleşmesi, tane yapısının incelenmesi ve ikinci faz olarak beynit ve martensit miktarlarının artması olabilir. Burada hadde şartlarına göre daha hızlı bir soğuma gerçekleşmiştir. Hadde şartlarında daha büyük kütle ve daha yavaş bir soğuma söz konusu olduğu için daha kaba bir tane yapısı ile birlikte ikinci fazın büyük bir kısmının perlitte oluştuğu kabul edilebilir. Optik incelemeleri de bu sonucu doğrulamaktadır.

Genel olarak çift-fazlı çelikler orijinal malzemeye göre daha düşük akma ve çekme dayanımı ve daha yüksek toplam uzama değerlerine sahiptir. Bütün numuneler sürekli akma davranışı göstermiştir. Çift-fazlı çeliklerin sürekli akma davranışı ve düşük akma dayanımı göstermeleri martensitik dönüşüm sırasında meydana gelen hacim artışı ve gerilmelerin sonucunda, martensite sınır ferrit içerisinde oluşan yüksek yoğunluktaki mobil dislokasyonlar ile ilişkilendirilmektedir. Yüksek yoğunluktaki mobil dislokasyonlar orijinal malzemeye göre daha erken gerilme düzeylerinde kaymaya yani akma dayanımının düşmesine sebep olmaktadır. Ayrıca çok yoğun mobil dislokasyonların varlığı C ve N gibi arayer atomlarının deformasyonda kesikliğe sebep olacak şekilde yeterli cötrell atmosferi oluşturmalarını önlemektedir. Bu nedenle deformasyonda herhangi bir kesiklik olmadan sürekli akma davranışı görüldüğü kabul edilmektedir [17,18,19]. Çift-fazlı çelikler içerisinde en yüksek akma dayanımı SS numunesi göstermiştir. Bunun sebebi SS743 numunesinde ferrit tane boyutunun daha düşük olması ve birinci aşama östenitleme sırasında alaşım elementlerinin bir miktar dağılımı ile ferritte çözünen alaşım elementleri miktarlarının artarak ferritin katı eriyik mukavemetlenmesinin etkisi olabilir.

Tablo 3 MHO'ları ile birlikte çekme deneyi sonuçları

Num. Kod.	MHO (%)	Çekme day. σ_c	Akma day. σ_a	%Toplam uzama $\%U_t$	Kopma day σ_k
Ç4140	38*	1091	720	10	1010
N-4140	80**	1125	750	12	1020
BS743	38	796	495	16	590
NS743	38	835	650	20	610
SS743	38	850	727	22	600

* Perlit, beynit, çok az martensite

** Perlit, beynit ve martensit

Üretilen bütün çift-fazlı çelikler orijinal malzemeye göre daha düşük çekme dayanımı göstermişlerdir. Tablo 2'de görüldüğü gibi benzer MHO ve farklı martensit partikül boyutuna (Tablo 1, Şekil 4) sahip olan numuneler farklı çekme özellikleri göstermiştir. Literatürde de benzer sonuçlar bildirilmiştir. İkinci faz morfolojisine bağlı olarak çift-fazlı çeliklerin çekme özellikleri değişmektedir [6,7,8,9,12,13]. SS 743 numunesi diğerlerine göre daha yüksek çekme dayanımı göstermiştir. Bunun sebebi ise benzer MHO'ları söz konusu olduğunda ince dağılmış martensit partiküllerinin kaymayı önlemek için daha etkili bir engel oluşturmasından kaynaklanmaktadır.

Çift-fazlı çelikler orijinal malzemeye göre daha yüksek toplam uzama göstermişlerdir. Burada sert martensit partiküllerinin yüksek uzama değerlerine kadar dayanımlarını koruyarak kopmayı geciktirdikleri düşünülmektedir. Kopma muhtemelen pekleşen ferrit üzerinde meydana gelen mikroboşlukların ilerlemesi sonrasında gerçekleşmiştir [19-21].

Düşük karbon içerikli çelikler üzerine yapılan araştırmalarda [1,2,3,4,5] toplam uzama değerlerinin %20-30 ve akma dayanımlarının üretildikleri çeliklere göre daha düşük olduğu bildirilmiştir..

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar tespit edilmiştir:

1. Ç 4140 çeliğinden çift-fazlı çelik üretilebilmektedir.
2. Teorikte hesaplanan aksine, pratikte kritik tavlama sınır sıcaklıkları oldukça dar çıkmıştır. Kritik sınır sıcaklık aralığı teorikte ~ 40 °C iken pratikte ~ 20 °C olarak tespit edilmiştir. Kritik sıcaklık bölgesinin dar çıkması ısı işlemleri güçleştirmektedir.
3. Düşük kritik sıcaklıkta üretilen ince (SS) orta (NS) ve kaba (BS) mikroyapaya sahip numunelerin hepsinde de orijinal malzemeye göre düşük akma ve çekme dayanımı ve yüksek uzama değerleri göstermişlerdir.
4. SS (900°C'den suda su verme + kritik sıcaklıklardan suda su verme)numuneleri diğer çift-fazlı çeliklere göre daha ince taneli ve homojen bir martensit morfolojisi göstermiştir. Bu mikroyapı dayanım-süneklik değerlerini geliştirmiştir.

KAYNAKLAR

1. Hayami S. and Furukawa T., "A Family of High Strength Cold Rolled Steels", Proceedings of Microalloying (**International Symposium on HSLA**) Washington D.C., pp : 311-320 1975
2. Rashid M.S., " GM980X-A Unique High Strength Sheet Steel with Superior Formability", **SAE**, Preprint 760306, 1976
3. Davies R.G., "Influence of Martensite Composition and the Properties of Dual-Phase Steels", **Met. Trans.**, Vol : 18A, pp : 671-679
4. Davies R.G. and Magee C.L., "Physical Metallurgy of Automotive High Strength Steels", **Structure and Properties of Dual-Phase Steels**, Ed. by Kott R.A. and Morris, pp : 1-19 AIME, 1979
5. Rashid M.S., "Relationship between Steel Microstructure and Formability", **Formable HSLA and Dual-Phase Steels**, Ed by Davenport A.T., pp : 1-29, 1979
6. Baucher J.H. and Hamburg E.G., "High Strength Formable Sheet Steel", **SAE**, Preprint 770164, pp:730-735, (1977)
7. Davies R.G., "On the Ductility of Dual-Phase Steels", **Formable HSLA and Dual Phase Steels**, Ed. By Davenport, AIME, pp: 25-39, (1977)
8. Thomas G. And Koo, J.Y., " Developments in Strong, Ductile Duplex Ferritic-Martensitic Steels", **Formable HSLA and Dual-Phase Steels**, Ed by Davenport A.T., pp : 183-201, 1979
9. Yükler A.İ. ve Üçışık H, "Temperlenmiş Dual-Fazlı Çeliklerde Karbon Miktarı ve Martensit Hacim Oranının Mekanik Özelliklere Tesiri", **M.Ü. Fen Bilimleri Ens. Dergisi**, Sayfa : 207-230
10. Kunio T. Shimizo M., Yamuda K. Nad Suzuki H., " An Effect the Second Phase Morphology on the Tensile Fracture Characteristic of Carbon Steels", **Engineering Fracture Mechanics**, Vol : 7, pp : 411-432, 1975
11. Araki K., Fukunaka S and Uchida K. "Development of continuously Annealed High Strength Cold Rolled Sheet steels", **Transaction of the Iron And steel Institute of Japan**, 17 PP : 701,1977
12. Kim N.J. and Thomas, " Effects of Morphology on the Mechanical Properties of a Dual-Phase Fe/2Si/0.1C Steel", **Met Trans A** Vol : 12A, pp : 483-489, 1981
13. Tomita Y., "Effect of Morphology of Second-Phase Morphology on Tensile Properties of Fe-0.1C Dual-Phase Steel", **Journal of Mat. Sci.**, Vol : 25, pp : 5179-5184
14. Vool Vander G.F. "Metallography Principle and Practice", **Mc Graw Hill**, Chapter : 6, Newyork, 1984
15. **ASM Handbook**, "Metallography and Microstructures ", Vol : 9 pp : 170, 1992
16. **TSE 138,EN-10002 Çekme Deneyleri** (metalik malzemeler için) Ankara 1978
17. Speich G.R., " Physical Metallurgy of Dual Phase Steels", **Fundamentals of Dual Phase Steels**, Ed By R.A. Kott and B.L. Bromfitt, **AIME**, pp:3-45 Newyork, (1981)
18. Mould. P.R. and Skena C.C., "Structure and Properties of Cold Rolled Ferrit Phase Martensite (Dual-Phase) Steels Sheets", **Formable HSLA and Dual-Steels**, Ed. By. A.T. Davenport, **AIME**, pp: 183-203, (1977)
19. Çimenoğlu H., Kayalı E.S. and Dikeç F., "The Occurrence of Yield Point after Steel Relaxation in A Plain Carbon Dual-Phase Steel", **Scripta. Met.**, vol: 25, pp: 3011-3021, (1985)
20. Steinbrunner D.L., Matlock D.K. and Krauss G., "Void Formation during Tensile Testing of Dual-phase Steels", **Met.Trans.**, 19 A, pp: 579-589, (1988)
21. Jiang Z., Guan Z. And Lian J., "Effects of Microstructural variables on deformation behaviour of Dual-Phase Steel", **Mat. Sci. And Eng.**, A 190, pp: 55-64, (1995)