

# DUAL FAZLI ÇELİKLERDE MARTENZİT VE YÜKLEME HIZININ MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

Ali BAYRAM

Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Görükle/Bursa

## ÖZET

Bu çalışmada, dual fazlı çelik elde etmek için çelik sac malzemeler kullanılmıştır. Deneysel çalışmaların gerektirdiği ölçülerde hazırlanan numuneler ferrit + ostenit bölgesinde farklı sıcaklıklarda (740, 760, 800, 820 °C) tavlansmışlardır. Herbir sıcaklıkta numuneler 20, 40 ve 60 dakika tavlama sürelerinde tavlansarak suda su verilmiştir. Seçilen tavlama programına bağlı olarak martenzit ve ferrit oranları farklı dual fazlı çelikler elde edilmiştir. Sac numuneler 10, 50 ve 250 mm/dak'lık yükleme hızlarında testlere tabi tutularak çekme dayanımları belirlenmiştir. Söz konusu dual fazlı çeliklerin çekme özellikleri tavlama sıcaklığına, martenzit oranına ve yükleme hızına bağlı olarak incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler :** Dual faz, Martenzit, Yükleme hızı

## EFFECT OF MECHANICAL PROPERTIES OF MARTENSITE AND LOADING RATE ON DUAL PHASE STEELS

### ABSTRACT

In this study, steel sheet materials were used in order to obtain dual-phase steel. Specimens for this purpose have been annealed in ferrite + astatine regions at the temperatures of 740, 760, 800 and 820 °C. The specimens were annealed at the different temperatures with corresponding times 20, 40 and 60 minutes and quenched into water. As a result of this dual-phase steels at different ferrite + martensite ratio were produced. Sheet specimens were tested at the range of loading rates of 10, 50 and 259 mm/min. Strength properties of dual-phase steels were investigated depending on annealing temperature, ratio of martensite and loading rate.

**Key Words :** Dual phase, Martensite, Loading rate

### 1. GİRİŞ

1970'li yılların ortalarında yaşanan petrol krizi, otomobillerde yakıt tüketimini azaltıcı yönde önlemler alınmasını gerektirmiştir. Bu amaçla daha hafif otomobillerin üretimi için mukavemet/ağırlık oranları yüksek çeliklerin kullanımı gündeme gelmiştir. Konvansiyonel karbon çelikleri ile mukayese edildiğinde plastik şekil verilebilirlik özellikleri iyi olmayan yüksek mukavemetli ve düşük alaşımlı çeliklerin (HSLA) dezavantajı, bu alanda yeni malzemelerin gerekliliğini ortaya koymuştur. Bu itibarla dual fazlı

çelikler geliştirilmiştir (Cai, Garratt ve Owen, 1985; Chen ve Cheng, 1989; Cai, Feng ve Owen, 1985; Ishihara, 1983; Aksakal ve Arıkan, 1988; Ball, Chauhan ve Schaffer, 1987).

Dual fazlı çelikler sünek ve küçük taneli ferrit ve sert martenzit fazlarından oluşan bir yapıya sahiptir. Plastik şekil verilebilirlik özellikleri yanında oldukça yüksek mukavemetlidirler. Bu iki özellik martenzit miktarı ile kontrol edilebilmektedir (Yang ve Chen, 1991). Bu kompozit sistemde gerekli mikroyapıya mekanik ve termodinamik işlemlere

başvurmaksızın katı-hal dönüşümlerinden yararlanılarak ulaşmak mümkündür.

HSLA çeliklerine göre gerek plastik özellikler gerekse üretim maliyetleri düşüklüğü açısından üstünlük sağlayan dual fazlı çeliklerin otomatik sanayiinde tercih edilmesi nedeniyle bu çelikler üzerinde yoğun araştırmalar yapılmaktadır.

Genellikle dual fazlı çeliklerde, deformasyon davranışı-yapısal özellikler arasındaki ilişkiyi belirlemeye yönelik çalışmalar yapılmaktadır (Chang ve Preban, 1985; Jiang, Liu ve Lian, 1992). Bu konuda ikinci faz martenzitin miktarının dual fazlı çeliklerin mukavemetine ve sünekliliğine etkisi araştırılmış, martenzit miktarı arttıkça malzeme mukavemetinin ve sertliğinin arttığı ve sünekliliğin düştüğü gözlenmiştir (Aksakal ve Arıkan, 1988; Sarvar ve Priester, 1996; Tomita, 1990). Ayrıca martenzit oluşumunun şekli ve dağılımının mekanik özellikler üzerinde etkileri incelenmiştir (Bhattacharyya, Sakaki ve Weng, 1993).

Bu amaçla çelik saç numuneler ferrit + ostenit bölgesinde farklı sıcaklıklarda tavlansak, suda hızla su verilmiştir. Değişik oranlarda martenzit ve ferrit içeren dual fazlı çelikler üretilmiştir. Dual fazlı çeliklerin çekme özellikleri tavlama sıcaklığına, bu sıcaklıkta tutma süresine, martenzit miktarına ve yükleme hızına bağlı olarak belirlenmeye çalışılmıştır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2. 1. Deney Malzemesi

Deneyisel çalışmalarda bileşimi Tablo 1’de verilen çelik saç numuneler kullanılmıştır.

Tablo 1. Deney Malzemesinin Kimyasal Kompozisyonu

Alaşım Elemanı	C	Mn	Si	S	P
% Ağırlık	0.12	0.34	0.2	0.01	0.01

Çekme deneylerinde kullanılan numuneler TSE 138’e göre hazırlanmıştır.

Dual faz oluşturulmadan önce çelik saç numunelerin çekme özellikleri Tablo 2’de verilmektedir.

Tablo 2. Çelik Saç Numunelerin Çekme Özellikleri

Çekme Dayanımı (MPa)	% Uzama Miktarı
430.5	16.25

### 2. 2. Isıl İşlemler

Saç numunelerin ısıl işlemlerinde  $\pm 5$  °C’lık sapma gösteren elektrik direnç fırını kullanılmıştır. Tavlama esnasında oksitlenmeyi minimum düzeye indirebilmek için numuneler demir tozu içersine gömülmüştür. Ferrit + ostenit bölgesinde dört farklı tavlama sıcaklığı seçildi (740, 760, 800, 820 °C). Tavlama sıcaklıklarının seçiminde martenzitin oluşumu göz önüne alındı (Aksakal ve Arıkan, 1988).  $\alpha + \gamma$  bölgesinde seçilen sıcaklıklarda 20, 40 ve 60 dakikalık tavlama yapıldı. Müteakiben numunelere suda su verilerek hızla soğutuldu.

### 2. 3. Metalografik Muayeneler

740, 760, 800 ve 820 °C sıcaklıklarda 60 dakika tutulan numuneler standart metalografik yöntemlerle parlatılarak % 5’lik nital ile dağlandı. Optik mikroskop altında içyapı muayeneleri yapıldı. Yukarıda belirtilen şartlarda ısıl işlem uygulanıp suda hızla su verilen çelik numunelerde alan hesabı yapılarak martenzit hacim oranları tesbit edilmeye çalışıldı.

### 2. 4. Mekanik Muayeneler

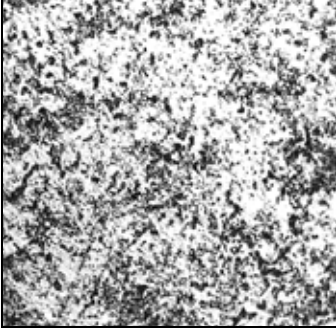
Çekme deneyleri bilgisayar destekli INSTRON 4301 cihazında gerçekleştirildi. Çekme deneylerinde yükleme hızları 10, 50 ve 250 mm /dak şeklinde değiştirildi. Bütün gruplarda 5’er adet numune çekme testine tabi tutuldu.

Vickers sertlik ölçme metodu kullanılarak numunelerin sertlikleri ölçüldü ( $F = 2.941$  N). Numune üzerinde sertlik ölçümleri 5 farklı bölgede yapılip ortalaması alındı.

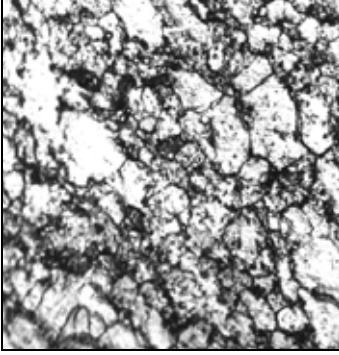
## 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

### 3. 1. Mikroyapı

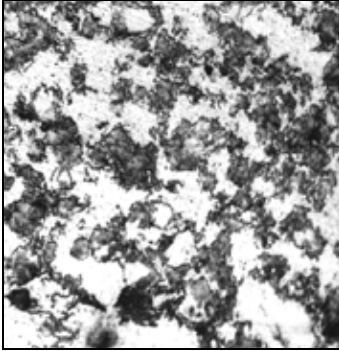
Farklı sıcaklıklarda ve 60 dakika tavlansak elde edilen dual fazlı çeliklerin optik mikroskop görüntüleri Şekil 1’de verilmektedir. Koyu renk alanlar martenzit açık renk alanlar ferrit fazını göstermektedir. Mikroyapı fotoğrafları incelendiğinde ferrit fazının martenzit fazı tarafından çevrelendiği görülmektedir. Ancak 740 °C ve 60 dakika tavlama süresinde elde edilen mikroyapının belirtilen bu özelliği gösterdiği söylenemez (Şekil 1.a) Tavlama sıcaklığı arttıkça martenzit miktarının arttığı mikroyapı fotoğraflarından görmek mümkündür.



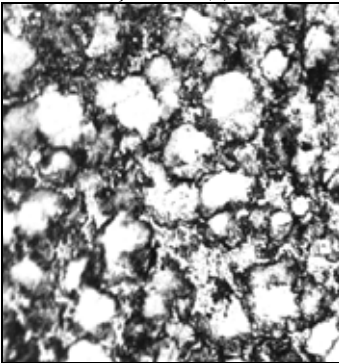
Şekil 1. (a)



Şekil 1. (b)



Şekil 1. (c)



Şekil 1. (d)

Şekil 1. a) 740 °C, b) 760 °C, c) 800 °C, d) 820 °C sıcaklıklarda ve 60 dakika tavlanaarak ve suda su verilerek elde edilen dual fazlı çeliklerin mikroyapıları (600X)

### 3. 2. Çekme Özellikleri

Değişik oranlarda martenzit içeren dual fazlı çeliklerin a+perlit yapısında çelik saç malzemelere göre çekme mukavemetlerinin arttığı Tablo 3, 4, 5'de ve süneklik değerlerinde genel olarak artışlar kaydedildiği Tablo 6'da görülmektedir.

Tablo 3. Değişik Sıcaklıklarda 20 Dakika Tavlanaarak Elde Edilen Dual Fazlı Çeliklerin Çekme Mukavemetleri

Tav. S.	10 mm/dak (MPa)	50 mm/dak (MPa)	250 mm/dak (MPa)
740°C	446	460	472
760°C	454	457	465
800°C	484	541	520
820°C	549	575	586

Dual fazlı çeliklerin sürekli akma özelliği, yüksek oranda deformasyon sertleşmesi, düşük akma mukavemeti, yüksek çekme mukavemeti, iyi süneklik ve şekil verilebilirlik özellikleri gösterdikleri bilinmektedir (Meyers ve İnal, 1985; Sarvar ve Priestner, 1996).

Tablo 4. Değişik Sıcaklıklarda 40 Dakika Tavlanaarak Elde Edilen Dual Fazlı Çeliklerin Çekme Mukavemetleri

Tav. S.	10 mm/dak (MPa)	50 mm/dak (MPa)	250 mm/dak (MPa)
740°C	440	474	466
760°C	420	436	477
800°C	555	567	584
820°C	556	576	601

Tablo 5. Değişik Sıcaklıklarda 60 Dakika Tavlanaarak Elde Edilen Dual Fazlı Çeliklerin Çekme Mukavemetleri

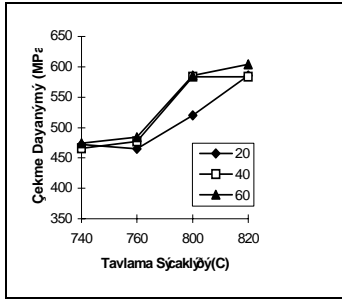
Tav. S.	10 mm/dak (MPa)	50 mm/dak (MPa)	250 mm/dak (MPa)
740°C	451	447	474
760°C	464	460	484
800°C	552	541	586
820°C	563	517	604

Tablo 6. Dual Fazlı Çeliklerde Tavlama Sıcaklığına Bağlı Olarak Martenzit Oranı, Çekme Dayanımı ve Uzama Miktarı Değişimi

Tavlama Sıcaklığı	Martenzit Oranı	Çekme Daya. (MPa)	% Uzama
740°C	21	451	21
760°C	39	464	20
800°C	54	552	18
820°C	65	563	15

Deneysel çalışmalarda kullanılan numunelerde sürekli akma olayı görülmüş ve akma mukavemeti değerlerinin çekme mukavemeti değerlerine göre oldukça düşük değerlerde olduğu gözlenmiştir. Ostenitin martensite dönüşümü esnasında ve de martenzitin çevrelediği poligonal ferrit matrisi içerisinde meydana gelen hareketli ve yüksek yoğunluğa sahip dislokasyonlar ve artık gerilmelerin sürekli akma olayı meydana getirdiği, bu dislokasyonlar ve yumuşak ferritin düşük akma mukavemetine yol açtığı bilinmektedir (Meyers ve İnal, 1985; Sarvar ve Priestner, 1996). Sert ve yumuşak fazların bir arada olmasının verdiği tezatlık deformasyon sertleşmesini doğurmakta ve bunun sonucu olarak çekme mukavemetinin artması, plastik bölgede boyun vermenin bastırılması, süneklik ve şekil verilebilme kabiliyetinin artmasını sağlamaktadır.

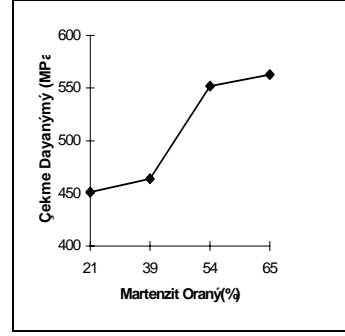
Tavlama sıcaklığı ve süresi artarken dual fazlı çeliklerin çekme mukavemetlerinde artışlar görülmektedir (Şekil 2). Mukavemet değerlerindeki artışlar dual fazlı yapıda bulunan martenzit miktarı ile ilgilidir. Martenzit miktarının tavlama sıcaklığı ve süresi ile artacağı açıktır.



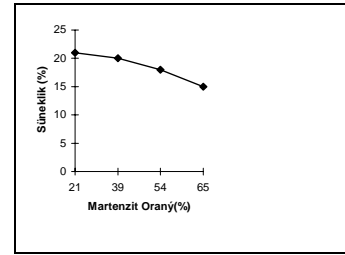
Şekil 2. Tavlama sıcaklığına göre dual fazlı çeliklerin çekme mukavemetleri (Deformasyon hızı: 250 mm/dak)

Martenzit teşekkülü  $\alpha + \gamma$  bölgesinde oluşan ostenit miktarı ve bileşimine bağlıdır.  $\alpha + \text{perlit} \rightarrow \alpha + \gamma$  dönüşümü difüzyon kontrollü bir reaksiyondur. Bu sebeple karbon atomlarının ostenit fazına yayılma hızı zaman ve sıcaklığa bağlıdır. Dolayısıyla yüksek oranda martenzit oluşumu ancak yüksek sıcaklık ve tavlama süresine bağlıdır.

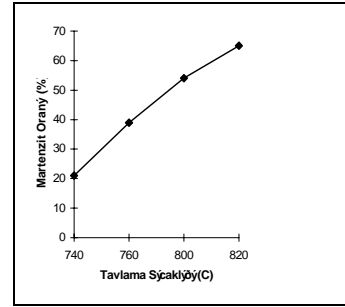
Dual fazlı çeliklerde oluşturulan martenzit miktarı artarken çekme mukavemetinin arttığı, sünekliğin ise düştüğü Tablo 6, Şekil 3 ve 4'den de görülmektedir. Artan tavlama sıcaklığı ile martenzit miktarının arttığı (Şekil 5) buna paralel olarak çekme mukavemetinin arttığı gözlenmektedir. Ancak artan tavlama sıcaklığı ile martenzit miktarının artışına bağlı olarak sünekliğin düştüğü görülmektedir.



Şekil 3. Dual fazlı çeliklerde martenzit miktarı ile çekme dayanımının değişimi



Şekil 4. Dual fazlı çeliklerde martenzit oranı ile uzama miktarı değişimi

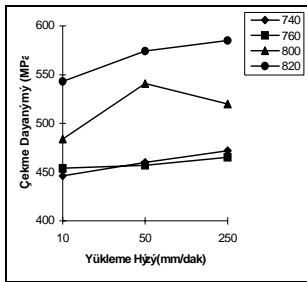


Şekil 5. Dual fazlı çeliklerde tavlama sıcaklığına göre martenzit oranı değişimi

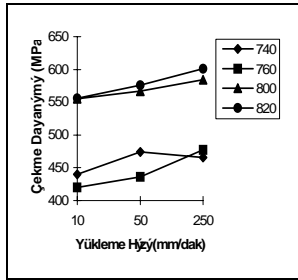
Bu sonuçlar oluşturulan mikroyapının mekanik özellikler üzerindeki etkisinin önemini açıkça ortaya koymaktadır. Bu durumun şöyle izah edilmesi mümkündür, yüksek sünekliğe ve düşük mukavemet değerlerine sahip lifler (ferrit fazı), düşük süneklik ve yüksek mukavemet özelliği olan liflerin (martenzit fazı) birbirlerine ağ şeklinde bağlanmış olduğu düşünülebilir. Böyle bir yapı çeki gerilmelerine maruz bırakılırsa, liflerdeki gerilmeler eşit fakat uzamalar farklı olacak ve uzama her iki lifteki toplam uzama kadar olacaktır. Ancak sünekliği düşük olan martenzit lifleri ferrit kadar deforme olmayacak ve kopacaktır.

Bu durumda iyi süneklik özelliği olan ferrit lifleri gerilmeleri taşımak zorunda kalacak ve dayanım değerleri düşük süneklik özelliği iyi bir yapı elde edilmiş olacaktır. Martenzit miktarının fazla olması

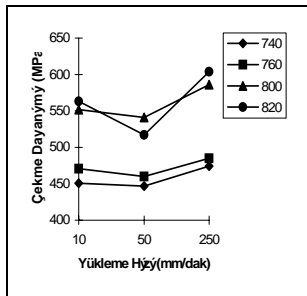
durumunda ise ağımsı yapıya gerilme uygulandığında, martenzit fazının artması ile yapıda ferriti çepeçevre saran martenzit (Şekil 1) ağının kuvvetlenmesi çekme sırasında ferritin uzamasına engel olacaktır (Aksakal ve Arıkan, 1988). Böylece yüksek mukavemetli ve süneklği düşük yapı elde edilmiş olur. Elde edilen bütün dual fazlı çeliklerde genellikle yükleme hızı artarken çekme mukavemetlerinin arttığı gözlenmektedir (Şekil 6, 7, 8). Genel olarak kristal yapı malzemelerde deformasyon hızı arttıkça mukavemetinin arttığı buna karşılık süneklilik değerlerinin düştüğü bilinmektedir. Ancak malzeme türüne ve kristal yapıya göre farklılık gösterdiği belirlenmiştir (Duff, 1979).



Şekil 6. Yükleme hızına bağlı olarak çekme dayanımı değişimi (20 dakika tavlama süresi)



Şekil 7. Yükleme hızına bağlı olarak çekme dayanımı değişimi (40 dakika tavlama süresi)



Şekil 8. Yükleme hızına bağlı olarak çekme dayanımı değişimi (60 dakika tavlama süresi)

### 3. 3. Sertlik Özellikleri

Farklı mikroyapılara sahip dual fazlı çeliklerin sertlik değerlerinin değişimi Tablo 7, 8, 9 ve Şekil 9'dan görülmektedir. Tavlama sıcaklıkları

artarken sertlik değerlerinin yükseldiği, ayrıca tavlama süresinin artması ile de sertlik değerlerinin arttığı görülmektedir.

Tablo 7. Tavlama Sıcaklığına Göre Sertlik Değişimi (20 Dakika Tavlama Süresi)

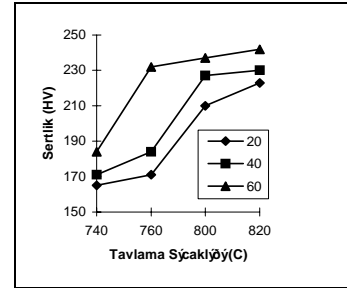
Tavlama Sıcaklığı	Sertlik (HV)
740 °C	165
760 °C	171
800 °C	210
820 °C	223

Tablo 8. Tavlama Sıcaklığına Göre Sertlik Değişimi (40 dakika tavlama süresi)

Tavlama Sıcaklığı	Sertlik (HV)
740 °C	171
760 °C	184
800 °C	227
820 °C	230

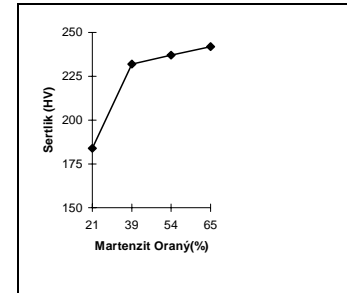
Tablo 9. Tavlama Sıcaklığına Göre Sertlik Değişimi (60 dakika tavlama süresi)

Tavlama sıcaklığı	Sertlik (HV)
740 °C	184
760 °C	232
800 °C	237
820 °C	242



Şekil 9. Dual fazlı çeliklerin tavlama sıcaklığına bağlı olarak sertlik değerleri

Tavlama sıcaklığının ve süresinin artması ile martenzit miktarı artmaktadır (Şekil 10). Sertlik değerlerindeki değişimlerin dual fazlı yapıdaki sert martenzit fazından ileri geldiği açıktır.



Şekil 10. Dual fazlı çeliklerde martenzit oranına bağlı olarak sertlik değerlerinin değişimleri

## 4. SONUÇ

Sunulan bu çalışmada, mikroyapıda oluşturulan martenzit miktarının dual fazlı çeliklerin mekanik özellikler üzerine etkisi araştırıldı. Şu sonuçlar verilebilir,

1.  $\alpha$  + perlit yapısından başlayarak elde edilen dual fazlı çeliklerde ferrit fazının martenzit fazı tarafından çevrelendiği bir mikroyapıya ulaşılmıştır.
2. Tavlama sıcaklığı arttıkça oluşan martenzit miktarında artışlar gözlenmiş ve buna bağlı olarak da çekme mukavemeti değerlerinde artışlar, uzama değerlerinde düşüşler kaydedilmiştir. Yine tavlama süresi arttıkça çekme mukavemeti değerlerinde artışlar gözlenmiştir. Mekanik özelliklerin kontrolü elde edilen mikroyapıya yani martenzit fazının miktarı ile belirlendiği sonucunu çıkarmak mümkün olmaktadır.
3. Çekme deneyleri esnasında uygulanan yükleme hızının büyüklüğüne göre mukavemet değerlerinde değişimler gözlenmiş, yükleme hızı arttıkça çekme mukavemeti değerlerinde genel olarak artışlar tesbit edilmiştir.
4. Dual fazlı çeliklerde sertlik değerleri tavlama sıcaklıklarına ve süresine göre farklılıklar göstermiş, artan martenzit miktarı ile sertlik değerlerinde artışlar görülmüştür.

## 5. KAYNAKLAR

- Aksakal, B. ve Arıkan, R. 1988. Dual-Faz Çelikte Mekanik Özellik-Mikroyapı İlişkisinin İncelenmesi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 27-50.
- Ball, A., Chauhan, Y. and Schaffer, G.B. 1987. Microstructure, Phase Equilibria, and Transformations in Corrosion Resistant Dual Phase Steel Designated 3CR12, Materials Sci. and Tech., (3), 189-196.
- Bhattacharyya, T., Sakaki, T. and Weng, G. J. 1993. The Influence of Martensite Shape, Concentration, and Phase Transformation Strain on the Deformation

Behavior of Stable Dual-Phase Steels, Metallurgical Transactions A, (24), 301-314.

Cai, X. L., Garratt, A. J. and Owen, W. S. 1985. The Development of Some Dual-phase Steel Structures from Different Starting Microstructures, Metallurgical Transactions A, (16), 543-557.

Cai, X. L., Feng, J. and Owen, W. S. 1985. The Dependence of Some Tensile and Fatigue Properties of a Dual - Phase Steel on Its Microstructure, Metallurgical Transactions A, (16), 1405-1415.

Chang, P. H. and Preban, A. G. 1985. The Effect of Ferrite Grain Size and Martensite Volume on the Tensile Properties of Dual Phase Steel, Acta Metall. Mater., (33), 897-903.

Chen, H. C. and Cheng, G. H. 1989. Effect of Martensite Strength on the Tensile Strength of Dual Phase Steels, Journal of Mater. Sci., (24), 1991-1994.

Duff, Y. 1979. Pro. Conf. on Mechanical Properties at High Rates of Strain (Ed. J. Hardening), The Institute of Physics, London

Ishihara, T. 1983. Microstructural Effect of Fatigue Crack Growth in a Two-Phase Steel, Journal of Mater. Sci., (18), 103-108.

Jiang, Z., Liu, J. and Lian, J. 1992. A New Relationship between the Flow Stress and the Microstructural Parameters for Dual Phase Steel, Acta Metall. Mater., (40), 1587-1597.

Meyers, A. M. and Inal, O. T. 1985. Frontiers in Materials Technologies, Elsevier.

Sarwar, M and Priestner, R. 1996. Influence of Ferrite-Martensite Microstructural Morphology on Tensile Properties of Dual-Phase Steel, Journal of Mater. Sci., (31), 2091-2095.

Tomita, Y. 1990. Effect of Morphology of Second-Phase Martensite on Tensile Properties of Fe-0.1 C Dual-Phase Steels, Journal of Mater. Sci., (25), 5179-5184.

Yang, J. R. and Chen, L. J. 1991. Dual Ferrite-Martensite of a High-Strength Low-Alloy ASTM A588 Steel, Journal of Mater. Sci., (26), 889-898.