

# Çeliklerde Dual Faz Yapısı Ve Mekanik Özelliklere Etkisi

İ. YÜKLER <sup>\*</sup>), A. H. ÜÇİŞİK <sup>\*\*</sup>), R. A. SAFOĞLU <sup>\*\*</sup>)

## 1 — GİRİŞ

Çekme ve akma mukavemeti ile kırılma tokluğu çeliklerin en önemli özelliklerindedir. Genellikle çekme mukavemeti arttıkça süneklik, dolayısıyla toklukta azalmaktadır. Ayrıca süneklik azaldığı için soğuk şekillendirilebilme oranı düşmekte ve akma gerilmesinin artışına bağlı olarak şekillendirme için gerekli kuvvet artmaktadır.

Asrımızın başından beri mukavemeti yüksek çelik üretimi için çalışmalar yapılmaktadır. Çeliğin mukavemeti arttıkça, konstrüksiyonun ağırlığı azalır. Bu avantajdan faydalanmak için HSLA (Yüksek - Mukavemetli Düşük Alaşımli) çelikleri üretilmektedir. Özellikle otomatik sanayiinde kullanılan HSLA çeliklerinin mukavemeti arttıkça sünekliği azaldığından şekillendirme problemi doğmaktadır. Bu problemi çözmek için, 5 - 10  $\mu$ m tane büyüklüğündeki ferrit matriksi içinde % 15 - 20 martensit ihtiva eden «Dual Faz» çelikleri üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. (1)

Dual Faz, lügatta «iki faz» anlamına gelmektedir. Dual Faz çeliklerinde ana prensip bir fazın avantajından faydalanırken, bu fazın menfi özelliklerini diğer faz yardımı ile kontrol altında tutmaktır. Fazlardan biri sert olup çeliğe mukavemet artışı sağlarken, yumuşak faz çeliğe süneklik sağlar. Bu tip çelikler bir nevi kompozit malzeme gibi düşünülebilir. «Ferrit + Martensit» dual faz çeliklerinde martensit sert faz, ferrit ise yumuşak faz olmaktadır.

## 2 — DUAL FAZ ÇELİK TÜRLERİ VE KİMYASAL BİLEŞENLERİ

Değişik kimyasal bileşimde ve fazları farklı olan dual faz çelikleri üretmek mümkündür. Genel dual faz türleri Tablo 1'de özetlenmiştir (2).

\* ) S.D.M.M.A. Malzeme Bilgisi Kürsüsü, Adapazarı.

\*\* ) I.T.U. Metalürji Fakültesi, Fiziksel Metalürji Kürsüsü, Teşvikiye, İstanbul.

Tablo. 1. — Dual faz çelik türleri (2).

Ana Grubu	Sünek Faz	Sert Faz
Fe—Cr—Ni	Ostenit	Ferrit
Fe—Ni—C	Ostenit	Martensit
Fe—C	Ferrit	Martensit

Yazımızda sadece Fe—C veya Ferrit + Martensit dual faz çeliği gruplarından bahsedilecektir. Bu çeliklerde alaşım elementi olarak başlıca C, Mn ve Si kullanıldığı için bunlara C—Mn—Si grubu da denilmektedir. Şimdiye kadar üretilen bu tür çeliklerin genel bileşimleri şöyledir :

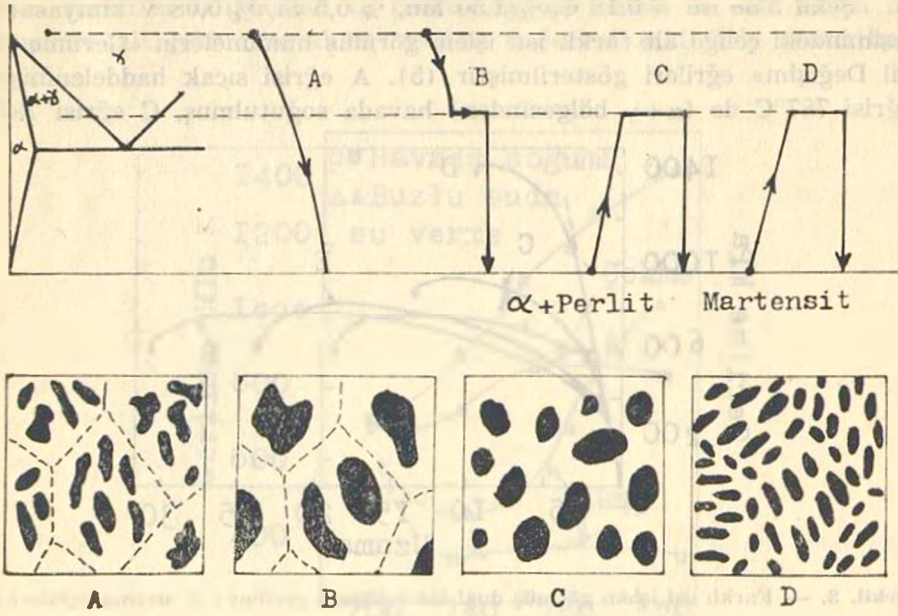
% C	% Mn	% Si	% Mo veya V
0,05—0,18	1—2	0,40—1,50	0,10 max

### 3 — DUAL FAZ ÇELİK ÜRETİM USULLERİ

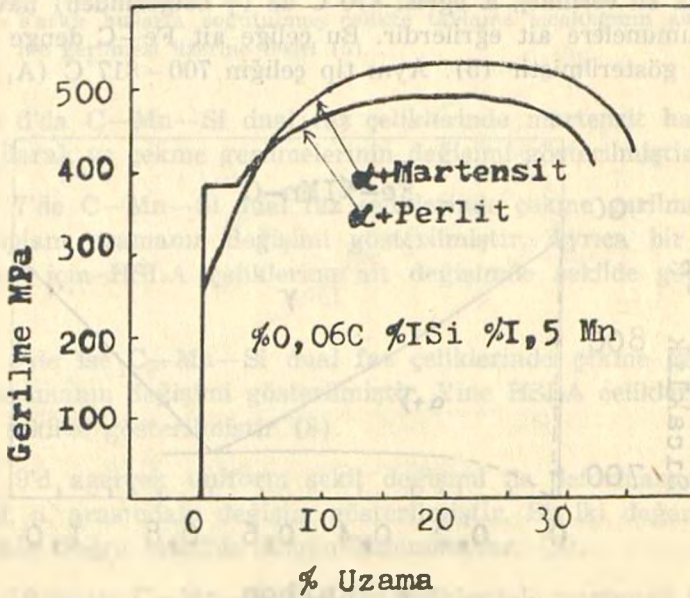
Genel olarak C miktarı düşük olan bu çelikler «A<sub>1</sub>—A<sub>3</sub>» kritik sıcaklıkları arasındaki «Ferrit + Ostenit» ( $\alpha + \gamma$ ) bölgesine ısıtılıp hızla soğutulduğunda, hızla soğuma sırasında ostenitten perlit dönüşümü meydana gelemez ve ostenit taneleri martensite dönüşür ve bir miktar da dönüşmemiş ostenit kalır. Böylece Ferrit + Martensit yapısı elde edilmiş olur. Ancak bileşimindeki alaşım elementlerine bağlı olarak 1 mm kalınlığa kadar saçlarda havada soğuma ile de dual faz yapısı elde edilebilir. Şekil 1'de Dual Faz üretim usulleri ve elde edilen mikro yapılar gösterilmiştir (3).

### 4 — DUAL FAZ ÇELİKLERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE AİT DENEY SONUÇLARI

Şekil 2'de kimyasal bileşenleri verilen çelikten iki grup numune alınmış olup bir kısmı Ostenit fazından yavaş olarak soğutulup «Ferrit + Perlit» yapısı elde edilmiştir. Diğer kısmı ise, kritik sıcaklıklar arasına ısıtıldıktan sonra hızla soğutulularak ferrit + martensit dual faz yapısı elde edilmiştir. Her iki gruba ait gerilme — % uzama eğrileri şekil 2'de gösterilmiştir (4). Dual faz çeliğinin akma gerilmesi düşmüş, akma uzaması yok olmuş, çekme mukavemeti artmış ve uzama miktarı ise çok az bir artış göstermiştir.

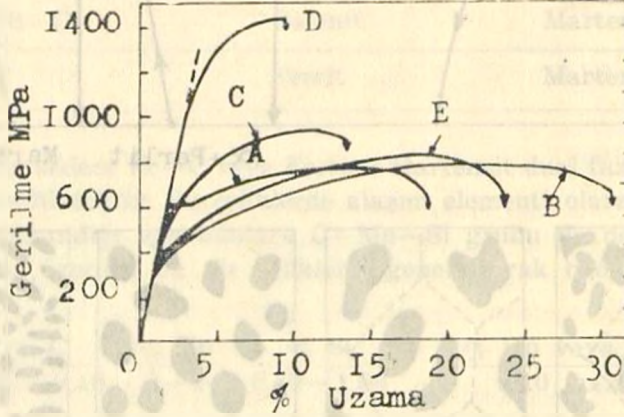


Şekil. 1. — Dual faz çelik üretim usulleri ve elde edilen yapılar. A havada soğutulmuştur, B, C ve D'ye su verilmiştir (3).



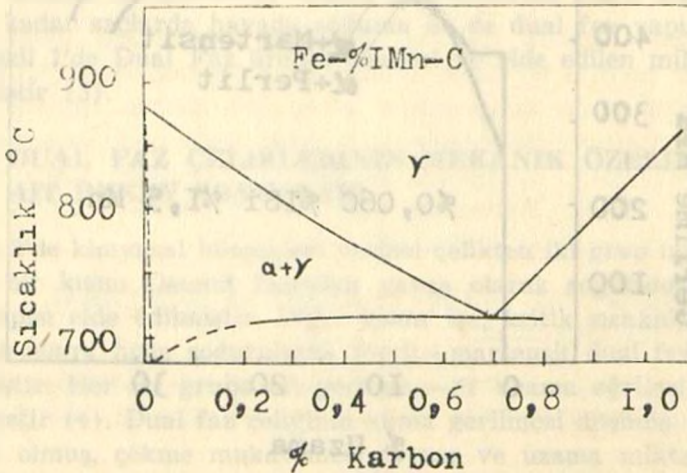
Şekil. 2. — Dual faz üretim ısıl işleminin çekme deney özellikleri üzerine etkisi (4).

Şekil 3'de ise % 0,18 C, % 1,50 Mn, % 0,5 Si, % 0,08 V kimyasal bileşimindeki çeliğe ait farklı ısıl işlem görmüş numunelerin «Gerilme - Şekil Değişim» eğrileri gösterilmiştir (5). A eğrisi sıcak haddelenmiş, B eğrisi 787°C de ( $\alpha + \gamma$  bölgesinden) havada soğutulmuş, C eğrisi 787°C



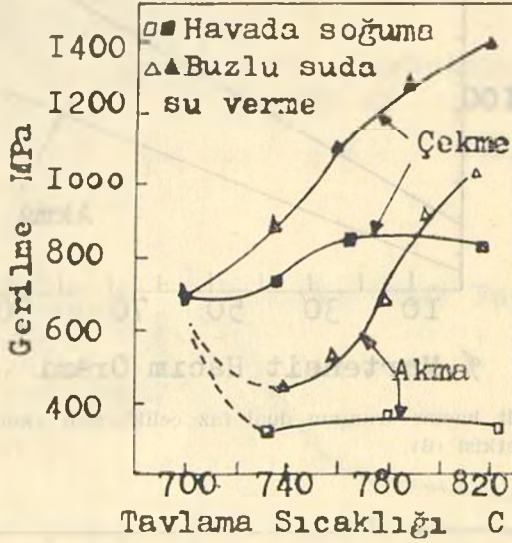
Şekil. 3. — Farklı ısıl işlem görmüş dual faz çeliğinin gerilme - % uzama eğrileri (5).

de yağda su verilmiş, D eğrisi 815°C ( $A_3$  sıcaklığının hemen altında) de buzlu suda su verilmiş, E eğrisi 870°C de ( $\gamma$  bölgesinden) havada soğutulmuş numunelere ait eğrilerdir. Bu çeliğe ait Fe-C denge diyagramı şekil 4'de gösterilmiştir (5). Aynı tip çeliğin 700–817°C ( $A_1$ – $A_3$ ) ara-



Şekil. 4. — Farklı gerilme - % uzama eğrileri şekil 3'de verilen çeliğe ait Fe-C denge diyagramı (5).

sında farklı sıcaklıklardan ve farklı soğuma hızları ile elde edilen numunelere ait çekme ve akma gerilme değerleri şekil 5'de gösterilmiştir (5).



Şekil. 5. — Farklı hızlarla soğutulmuş çelikte tavlama sıcaklığının akma ve çekme gerilmesi üzerine tesiri (5).

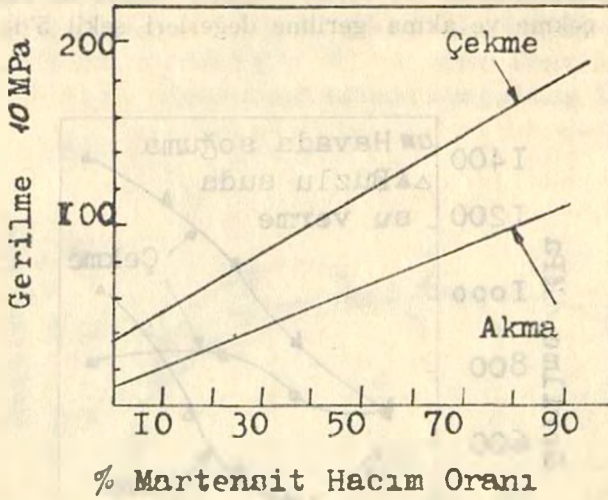
Şekil 6'da C—Mn—Si dual faz çeliklerinde martensit hacim oranına bağlı olarak ve çekme gerilmelerinin değişimi gösterilmiştir (6).

Şekil 7'de C—Mn—Si dual faz çeliklerinde çekme gerilmesine bağlı olarak toplam uzamanın değişimi gösterilmiştir. Ayrıca bir mukayese yapabilmek için HSLA çeliklerine ait değişimde şekilde gösterilmiştir (7).

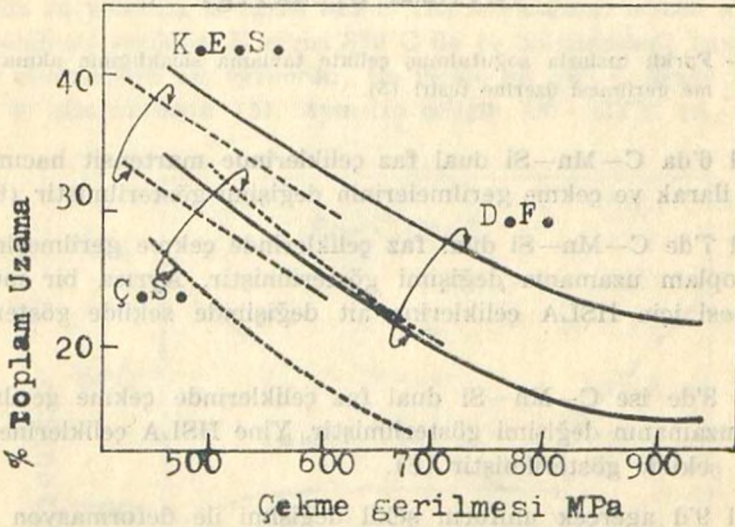
Şekil 8'de ise C—Mn—Si dual faz çeliklerinde çekme gerilmesi ile uniform uzamanın değişimi gösterilmiştir. Yine HSLA çeliklerine ait değişim de şekilde gösterilmiştir (8).

Şekil 9'da ağırlıklı uniform şekil değişimi ile deformasyon sertleşmesi üssü,  $n$ , arasındaki değişim gösterilmiştir. Bu iki değer arasındaki değişimin doğru orantılı olduğu bulunmuştur. (9).

Şekil 10'da ise C—Mn—Si dual faz çeliklerinde martensit hacim oranına bağlı olarak  $n$  değerinin değişimi gösterilmiştir (10).



Şekil 6. — Martensit hacim oranının dual faz çeliklerinin akma ve çekme gerilmesine etkisi (6).

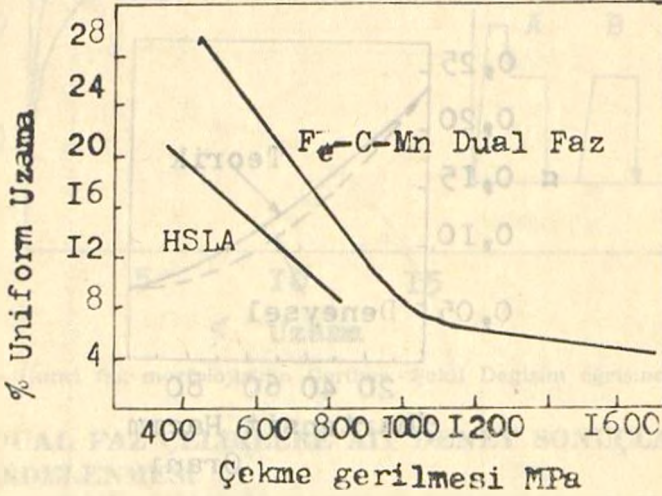


Şekil 7. — HSLA çelik türlerinde toplam uzamanın çekme gerilmesi ile değişimi. K.E.S. katı eriyik ile sertleşmiş, Ç.S. çökeltme ile sertleşmiş, D.F. dual faz çelikleridir (7).

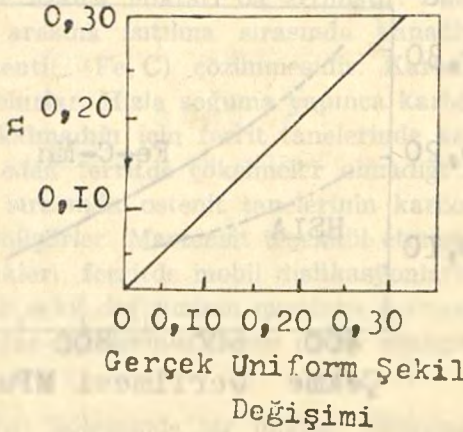
Şekil 11'de C—Mn—Si dual çeliklerinde ve HSLA çeliklerinde çekme gerilmesine bağlı olarak deformasyon sertleşmesi üssü değerinin değişimi gösterilmiştir (10).

Şekil 12'de dual faz çeliklerinde ikinci faz morfolojisinin çekme deneyi sonuçlarına tesiri gösterilmiştir (11).

Şekil 13'de dual faz çeliklerinde tane büyüklüğünün Gerilme - Şekil Değişim eğrisine olan tesiri gösterilmiştir (12).



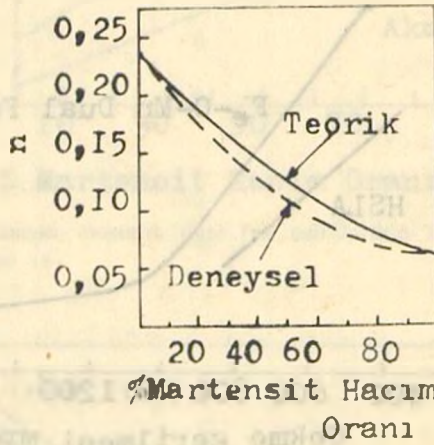
Şekil. 8. — Dual faz çeliklerinde uniform uzama ile çekme gerilmesi arasındaki bağıntı (8).



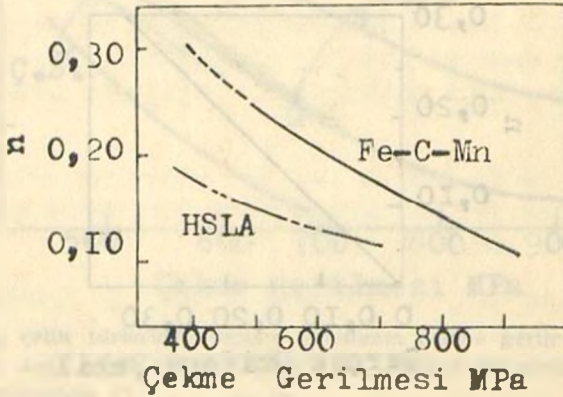
Şekil. 9. — Gerçek uniform uzama ile n arasındaki bağıntı (9).

Şekil 14'de su vermeden sonra temperlemenin ve kritik sıcaklıklar arasında tutma süresinin özellikler üzerine olan tesirleri gösterilmiştir (13). 0,8 mm kalınlıkta olan numuneler  $A_1$ — $A_2$  kritik sıcaklıklar arasındaki sabit bir sıcaklıkta farklı sürelerde tavlansın ve havada soğutulmuşlardır. Sertleşen numunelerin bir kısmı  $400^\circ\text{C}$ 'de 5 dakika temperlenmiştir.

Şekil 15'de dual faz ve çökeltme ile sertleşen HSLA çeliklerinde % uzama ve çekme gerilmesinin yönlere göre değişimi gösterilmiştir (8).

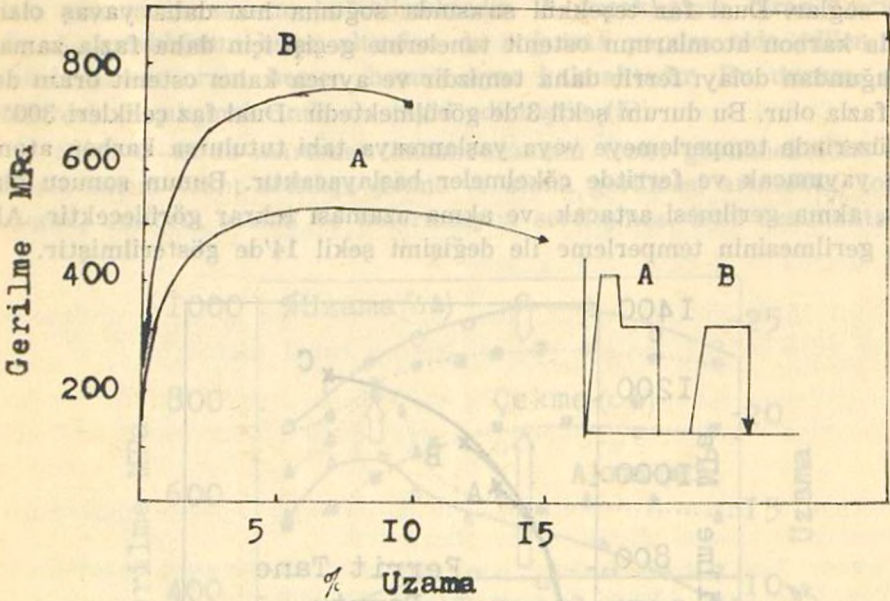


Şekil. 10. — Martensit hacim oranı ile dual faz çeliklerinde n değerinin değişimi (10).



Şekil. 11 — Dual faz çeliklerinde çekme gerilmesi ile n arasındaki bağıntı (10).





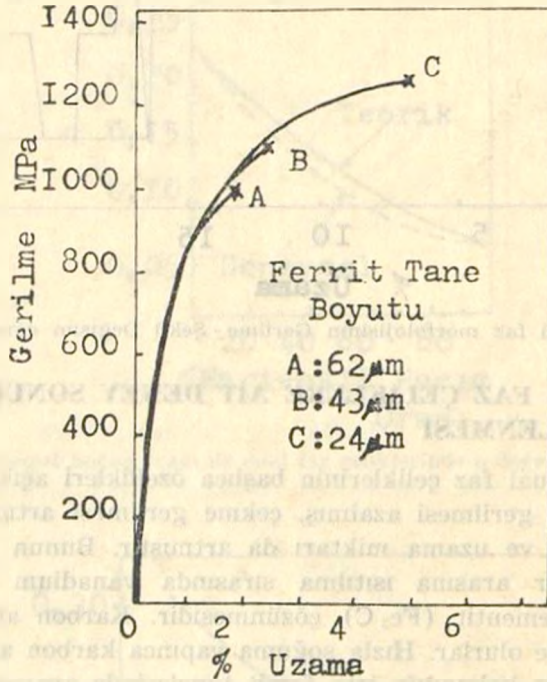
Şekil. 12. — İkinci faz morfolojisinin Gerilme - Şekil Değişim eğrisine tesiri (11).

### 5 — DUAL FAZ ÇELİKLERE AİT DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ

Şekil 2'de dual faz çeliklerinin başlıca özellikleri açık olarak görülmektedir. Akma gerilmesi azalmış, çekme gerilmesi artmış, akma uzaması yok olmuş ve uzama miktarı da artmıştır. Bunun sebebi  $A_1-A_3$  kritik sıcaklıklar arasına ısıtılma sırasında vanadium karbonitrürler (VC, N) veya sementit ( $Fe_3C$ ) çözünmesidir. Karbon atomları ostenit tanelerine diffüze olurlar. Hızla soğuma yapınca karbon atomlarının yayınmasına zaman kalmadığı için ferrit tanelerinde arayer atomları çok az olur. Teşekkül eden ferritte çökelmeler olmadığı için süneklik yüksek olur. Soğuma sırasında ostenit tanelerinin karbon miktarı yüksek olup martensite dönüşürler. Martensit teşekkül etmesinden meydana gelen hacim değişiklikleri, ferritte mobil dislokasyonların teşekkül etmesine ve ayrıca elastik şekil değişiminin meydana gelmesine sebep olur. İşte bu olaylar dual faz çeliklerinin çekme deney sonuçlarını kontrol ederler.

Ayrıca martensit bölgesinde bir miktar dönüşmemiş ostenit kalır. Ostenit ferritten daha yumuşak bir fazdır. Bu artık ostenit, uniform uza-

manın veya deformasyon sertleşmesi üssü değerinin daha fazla olmasını sağlar. Dual faz teşekkül sırasında soğuma hızı daha yavaş olanlarda karbon atomlarının ostenit tanelerine geçişi için daha fazla zaman olduğundan dolayı ferrit daha temizdir ve ayrıca kalıcı ostenit oranı daha fazla olur. Bu durum şekil 3'de görülmektedir. Dual faz çelikleri 300°C ve üzerinde temperlemeye veya yaşlanmaya tabi tutulursa karbon atomları yayınacak ve ferritde çökelmeler başlayacaktır. Bunun sonucu olarak, akma gerilmesi artacak, ve akma uzaması tekrar görülecektir. Akma gerilmesinin temperleme ile değişimi şekil 14'de gösterilmiştir.

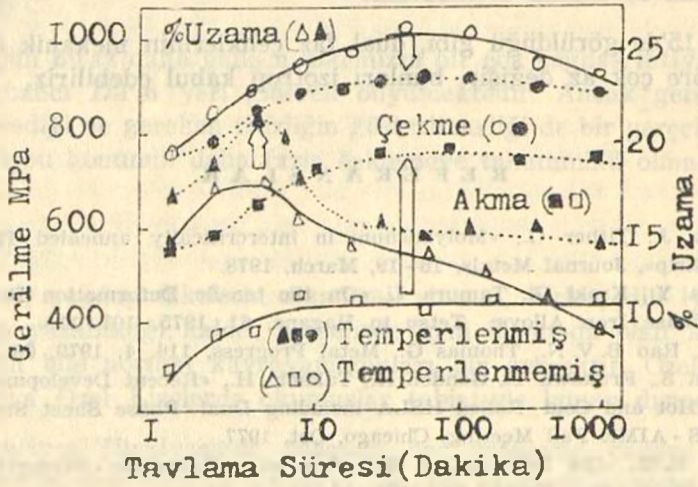


Şekil. 13. — Dual faz çeliklerinde tane büyüklüğünün etkileri (12).

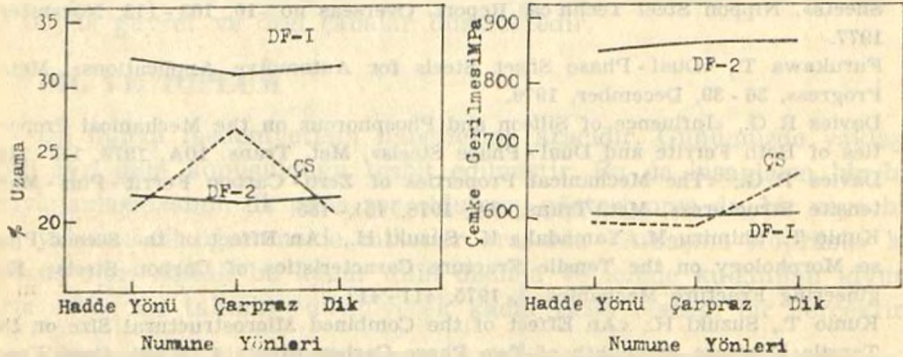
Şekil 4'de akma ve çekme gerilmelerinin tavlama sıcaklığına ve soğuma hızına bağlı olarak değişimleri ve teşekkül eden martensitin hacim oranı ile orantılı olduğu görülmüştür. Buzlu suda su verilen numunelerde martensit hacim oranı su verme sıcaklığındaki ferrit ve ostenit faz oranlarına göre değişmektedir.  $A_3$  sıcaklığına yaklaştıkça martensit hacim oranı, ostenit hacim oranının artış nedeni ile artmaktadır, ve gerilme değerleri şekil 6'ya uygun olarak değişmektedir. Ancak,

havada soğutulan numunelerde soğuma hızı yavaş olduğu için C atomları yayınacak zamanı bulabilmektedir.  $A_1$  sıcaklığının biraz üzerinden de,  $A_2$  sıcaklığının biraz altından da soğutma yapılırsa elde edilen martensit hacim oranı hemen hemen aynı kalmaktadır. Bu durum, optik mikroskop çalışmalarında da teyid edilmiştir (5).

Şekil 6 - 11'de martensit hacim oranının tesiri görülmektedir. Martensit hacim oranı arttıkça çekme ve akma gerilmesi artmakta, toplam uzama, uniform uzama ve deformasyon sertleşmesi üssü azalmaktadır.



Şekil. 14. — Dual faz çeliklerinde tavlama süresinin ve temperlemenin çekme teney sonuçlarına tesiri (13).



Şekil. 15. — Dual faz çeliklerinde (DF-1 ve DF-2) ve çökeltme ile sertleşmiş (Ç.S.) HSLA çeliklerinde % uzama ve çekme gerilmesinin yönlere göre değişimi. Çeliklerin bileşenleri: DF-1: % 0,9 C, % 0,9 Si, % 1 Mn. DF-2: % 0,12 C, % 1,4 Si, % 1,6 Mn. Ç.S.: % 0,1 C, 3 Si, % 0,9 Mn, % 0,05 Cb (8).

İkinci faz morfolojisinin tesiri Şekil 12'de görülmektedir. A ve B aynı tip elik olmasına rağmen, ferrit+ostenit bölgesine farklı sıcaklıklardan getirildikleri için su verme öncesi ve sonrasında fazların dağılımları farklı olmaktadır. A'da ferrit matriksi içinde martensit, B'de ise martensit matriksi içinde ferrit bulunmaktadır. Çekme gerilmeleri ve yüzde uzamaları bu sebeple farklı olmaktadır.

Diğer bütün Őartlar aynı kalmak üzere, ferrit tane boyutunun tesiri Şekil 13'de gösterilmiştir. Tane boyutu azaldıkça çekme mukavemeti, % uzama ve tokluk artmaktadır.

Şekil 15'de grldđi gibi, dual faz çeliklerinin mekanik özellikleri yönlere göre çok az deđiŐir, bunları izotrop kabul edebiliriz.

#### R E F E R A N S L A R

1. Morrow J., Titcher G., «Molybdenum in intercritically annealed Dual-Phase Steel Strip», Journal Metals, 16 - 19, March, 1978.
2. Tomoda Y., Kroki G., Tamura I., «On the tensile Deformation Behaviour of Two-Phase Iron Alloys», Tetsu to Hagane, 61, 1975, 107 - 118.
3. Koo J., Rao B. V. N., Thomas G., Metal Progress, 116, 4, 1979, 66 - 70.
4. Hayami S., Fukawa T., Gondoh H., Takachi H., «Recent Development in Formable Hot and Cold-Rolled HSLA Including Dual-Phase Sheet Steels», Proc. of TMS - AIME Fall Meeting, Chicago, Oct. 1977.
5. Davies R. G., «the Deformation Behaviour of a Vanadium - Strengthened Dual Phase Steel», Met. Trans., 9A, 1978, 41 - 52.
6. Davies R. G., «Influence of Martensite Composition and Content on the Properties of Dual Phase Steels», Met. Trans., 9A, 1978, 671 - 676.
7. Imamura J., Fukawa T., «Development of High-Strength Dual Phase Steel Sheets», Nippon Steel Technal Report. Overseas no: 10, 103 - 113, November, 1977.
8. Furukawa T., «Dual-Phase Sheet Steels for Automotive Applications», Metal Progress, 36 - 39, December, 1979.
9. Davies R. G., «Influence of Silicon and Phosphorous on the Mechanical Properties of Both Ferrite and Dual-Phase Steels», Met. Trans. 10A, 1979, 113 - 118.
10. Davies R. G., «The Mechanical Properties of Zero-Carbon Ferrit - Plus - Martensite Structures», Met. Trans., 9A, 1978, 451 - 455.
11. Kunio T., Shimizu M., Yamadaka K., Suzuki H., «An Effect of the Second Phase Morphology on the Tensile Fracture Characteristics of Carbon Steels», Engineering Fracture Mechanics, 7, 1975, 411 - 417.
12. Kunio T., Suzuki H., «An Effect of the Combined Microstructural Size on the Tensile Fracture Strength of Two Phase Carbon Steel», 4 th Int. Conf. Fracture, 1977, Vol. 2, 23 - 32.
13. Hayami S., Furukawa T., «A Family of High-Strength, Cold-Rolled Steels», Micro Alloying 75, Union Carbide, New York, 1977, 311 - 321.