

% 0.03 Nb ve % 0.05 V'lu bir boru hattı çeliğinde mikroyapı-mekanik özellik ilişkisi

M. Zeki MAHMUTOĞLU*, Hüseyin ÇİMENOĞLU

İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Petrol ve doğal gaz taşımacılığında kullanılan borular, API (American Petroleum Institute) standartları doğrultusunda yüksek mukavemetli, tok ve yüksek kaynaklanabilirlik kabiliyetine sahip çeliklerden üretilmektedir. Bu çelikler, Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşım (YMDA) çelikler olup, termomekanik haddeleme yöntemiyle, ilgili standartlardan daha üstün özelliklerde üretilmektedir. Petrol ve gaz boru hattı çeliğini üreten bütün çelik firmaları, proses parametrelerini kendi işletme şartlarına göre tespit ederek üretimlerini gerçekleştirmektedir. Bu çalışmada, Ar-Ge faaliyetleri kapsamında Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş.'de (ERDEMİR) üretilen API X60 kalite boru hattı çeliğinin, mikroyapı-mekanik özellik ilişkisi incelenmiştir. Ferrit tane boyutu küçüldükçe; akma ve çekme mukavemeti ile sertliğin arttığı, uzamanın ise değişmediği görülmüştür. **Anahtar Kelimeler:** Mekanik özellikler, boru hattı çeliği, Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşım (YMDA) çelikler, Hall-Petch bağıntısı, ferrit tane boyutu.

Microstructure-mechanical property characterization of a line pipe steel containing 0.03 % Nb and 0.05 % V

Abstract

Line pipes used in the oil and natural gas transportation are produced from high strength steels, which should exhibit high toughness with better weldability according to API (American Petroleum Institute) standards. These steels are typically classified as High Strength Low Alloy (HSLA) steels and produced controlling chemical composition and microstructure (i.e. thermomechanical rolling process). High strength is achieved by the small additions of carbide forming alloying elements to low carbon steel such as V, Nb and Ti. These microalloying elements retard the growth of the austenite grains and encourage development of fine-grained ferritic microstructure upon cooling. Steel producers first establish their processing parameters according to their mill conditions, and then realize commercial productions by taking into account the relevant standards. In this study, the relationship between microstructure and mechanical properties of API X60 quality line pipe steel produced in Ereğli Iron and Steel Works Co. (ERDEMİR) under research activities have been investigated. The composition of the examined steel was 0.09 % C, 1.24 % Mn, 0.22 % Si, 0.06 % Al, 0.006 % S, 0.001 % P, 0.03 % Nb and 0.05% V. After continuous casting, 200 mm thick slabs were hot rolled to 8, 12, 15 and 17.5 mm thickness. It was seen that yield strength, tensile strength and hardness increased, however percent elongation did not change with decreasing grain size of ferrite.

Keywords: Mechanical properties, line pipe steel, High Strength Low Alloy (HSLA) steels, Hall-Petch relationship, ferrite grain size.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: M.Zeki MAHMUTOĞLU. mzmahmutoglu@erdemir.com.tr; Tel: (372) 329 30 82.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi'nde tamamlanmış olan "Niyobyum ve vanadyumlu bir boru hattı çeliğinde mikroyapı-mekanik özellik karakterizasyonu" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 14.08.2003 tarihinde dergiye ulaşılmış, 01.09.2003 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 30.04.2004 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Giriş

Özellikle 1980'li yıllardan sonra ve günümüzde, yüksek mukavemetli düşük alaşımlı (YMDA) çelikler çok geniş bir alanda kullanılmaya başlanmıştır (DeArdo, 1992). Mikroalaşımlama elementlerinin (Nb, V, Ti, Mo ve B) ilavesi, bu çeliklerin, termomekanik haddelemeye uygun olmasını sağlamış, aynı zamanda düşük karbonlu olmasından dolayı da tokluk ve kaynaklanabilirlik özellikleri iyileşmiştir (Gladman vd., 1977). Son yıllarda, doğal gaz kullanımının artmasıyla birlikte doğal gaz taşımacılığı da çok önemli hale gelmiştir. Bu durum, çok uzun mesafelerde ve yüksek basınçlı şartlar altında kullanılan geniş çaplı boruların üretimini, montajını ve işletmesini, ekonomiklik ve emniyet yönünden önemli hale getirmiştir (Sun vd., 1999). Bunun neticesinde, YMDA yassı çelik ürünlerinden yapılan dikişli boru üretimi hem Türkiye'de hem de tüm dünyada artmıştır. Boru hattı çelikleri, dünyada en yaygın olan API standartları kullanılarak üretilmektedir. Bu tip çeliklerin gelişiminde müşteri özel istekleri yönlendirici olmakla birlikte, genel karakterler aynı kalmak şartıyla, standartlardan daha üstün özellikler (yüksek akma mukavemeti ve tokluk ile çok iyi kaynaklanabilirlik) talep edilmektedir (Bıyıklı, 1993; Hulka vd., 1996).

Türkiye'nin tek entegre yassı çelik üreticisi olan Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş.'de (ERDEMİR), petrol ve doğal gaz taşımacılığında kullanılan ve API standartlarına uygun YMDA çelik üretimi alanında çok yönlü çalışmalar yapılmaktadır. Bu nedenle, boru üreticilerinin taleplerini karşılamak amacıyla ERDEMİR'de, deneme üretimleri ve sonra da ticari üretimler gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada ERDEMİR'de API standardına göre deneme üretimi yapılan API X60 çeliğinin, termomekanik haddeleme pratiğine bağlı olarak mikroyapı-mekanik özellik ilişkileri incelenmiştir.

Deneyel çalışmalar

Bu çalışmada, % 0.095 C, % 1.24 Mn, % 0.215 Si, % 0.056 Al, % 0.006 S, % 0.0013 P, % 0.028 Nb ve % 0.051 V bileşimindeki bir dökümden elde edilen dört adet 200 mm kalınlığındaki slab; 1.Sıcak Haddehane-Tersinir

Şerit Haddede 8, 12, 15 ve 17.5 mm'lik nihai kalınlıklara haddelenmiştir. Bu bobinlere ait ikmal ve sarılma sıcaklıkları bilgisayar kayıtları altına alınmıştır.

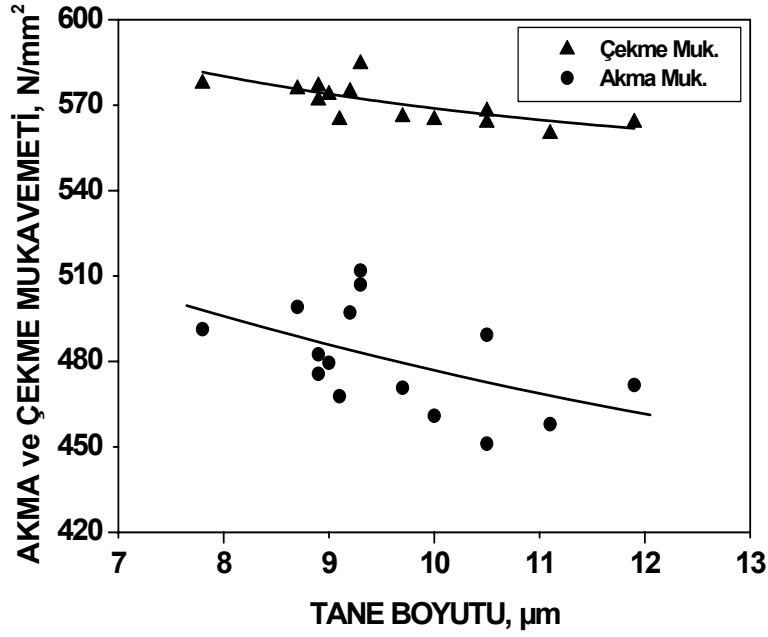
Bobinlerin farklı uzunluklarına tekabül eden yerlerinden, metalografik inceleme ve mekanik testler için numuneler alınmıştır. Bobinlerden çıkarılan numuneler, haddeleme yönüne paralel olarak kalınlık kesitlerinden bakılacak şekilde hazırlanmıştır. Bu numuneler, standart metalografik yöntemlerle zımparalanmış ve parlatılmıştır. Ferrit tane boyutu LECO-500 marka optik mikroskop ve Görüntü Analiz Sistemi (Clemex Quantitative Image Analysis System) ile belirlenmiştir. Numuneler; % 3'lük nital ile dağlanarak incelenmiş ve alınan görüntüler üzerinde, lineer kesişim metodu kullanılarak ferrit tane büyüklüğü belirlenmiştir. Çekme deneyleri, API spesifikasyonuna göre Satec marka çekme testi cihazında ve 4 mm/dak deformasyon hızı verilerek yapılmıştır (API, 2000). Numunelerin sertlikleri, Mettest-HT marka sertlik ölçme cihazında Rockwell B cinsinden ölçülmüştür. Her numune için üç ölçüm yapılmış ve bu ölçümlerin ortalamaları alınmıştır.

Deneyel sonuçların irdelenmesi

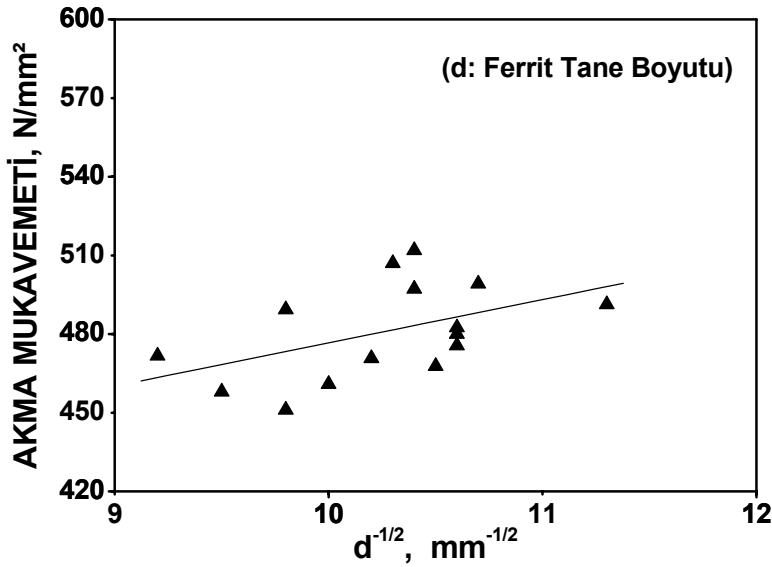
Ferrit tane boyutunun mekanik özellikler üzerine etkisini belirlemek amacıyla 775-780 °C ikmal sıcaklığı ve 470-610 °C sarılma sıcaklığı aralığındaki üretim koşulları irdelenmiştir. Ferrit tane boyutunun çekme ve akma mukavemeti üzerine etkisi Şekil 1'de verilmiştir. Ferrit tane boyutu küçüldükçe akma ve çekme mukavemeti artmaktadır. Bu durum, tane boyutunun küçülmesi neticesinde tane sınırları yoğunluğunun artması ve bu tane sınırlarının da dislokasyon hareketlerini engellemesinden kaynaklanmaktadır (Österle, 1994; Watanabe vd., 1992). İncelenen çelik için, tane boyutu akma mukavemeti ilişkisini gösteren Hall-Petch bağıntısı (Çimenoglu v.d., 2003):

$$\sigma = 312 + 16.5 \times d^{-1/2} \quad (1)$$

olarak Şekil 2'den çıkarılmıştır. İncelenen çelik için Hall-Petch bağıntısındaki iç sürtünme gerilmesi (σ_0): 312 N/mm² ve tane sınırı direnci ile ilgili sabit (k): 16.5 N.mm^{-3/2} olarak hesaplanmıştır.



Şekil 1. Ferit tane boyutunun akma ve çekme mukavemetine etkisi

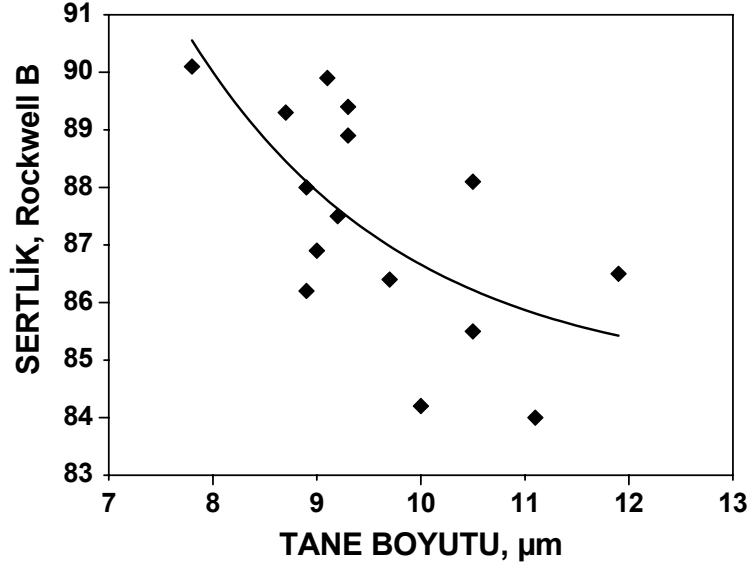


Şekil 2. API X60 çeliği için Hall-Petch ilişkisi

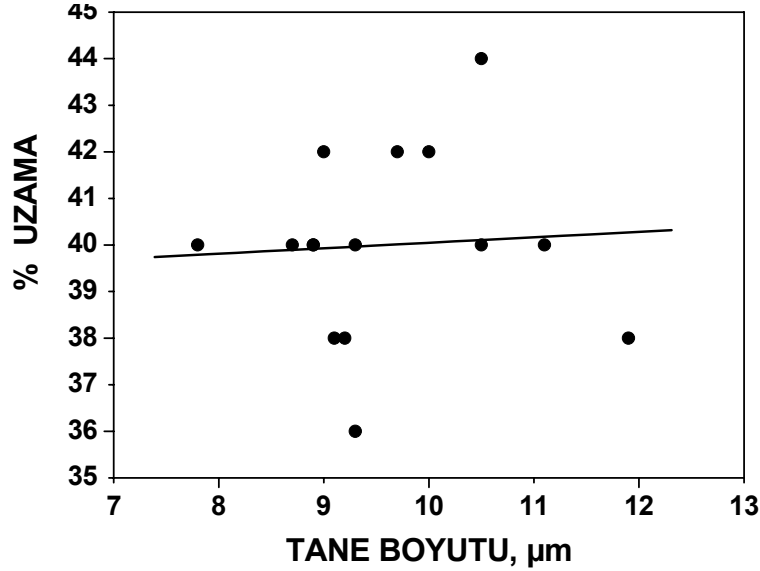
W. Österle, düşük karbonlu ve vanadyumlu mikroalaşımli çeliklerde mikroyapı ile akma mukavemeti ilişkisini detaylı ve çok geniş bir tane boyutu aralığında incelemiştir (Österle, 1994). Bu çalışmada, 3.3 - 100 µm tane boyutu ile 200-650 N/mm² aralığındaki akma mukavemeti için Hall-Petch bağıntısından elde edilen k sabiti 19 N.mm^{-3/2} dir. Başka bir çalışmada ise Nb'li çelik için sabitler $\sigma_0 = 288$ N/mm² ve $k = 15.9$ N.mm^{-3/2} olarak elde edilmiştir (DeArdo, 1992).

Şekil 3'te ise tane boyutunun sertliğe etkisi verilmektedir. Burada, tane boyutu düştükçe malzeme sertliğinde artış olmaktadır. Bu durum, tane boyutunun mukavemet üzerindeki etkisi ile uyumludur.

Şekil 4'te tane boyutunun kopma uzamasına etkisi görülmektedir. Tane boyutu arttıkça kopma uzamasında belirgin bir değişim görülmemiştir.



Şekil 3. Ferrit tane boyutunun sertliğe etkisi



Şekil 4. Ferrit tane boyutunun kopma uzamasına etkisi

Sonuçlar

İncelenen API X60 çeliğinin tane boyutu küçüldükçe akma ve çekme mukavemeti ile sertliği artmakta, sünekliği ifade eden kopma uzamasında ise belirgin bir değişim görülmemektedir. Hall-Petch bağıntısındaki iç sürtünme gerilmesi (σ_0) 312 N/mm² ve tane sınırı direnci ile ilgili sabiti (k) ise 16.5 N.mm^{-3/2} olarak bulunmuştur.

Teşekkür

Türkiye’de sanayii ve üniversite işbirliğinin gelişmesine çok değerli katkıları olan Genel Müdürümüz Sayın A. Kerim DERVİŞOĞLU

başta olmak üzere, doktora tezimi hazırlama sürecinde bana desteğini esirgemeyen Erdemir’deki tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Kaynaklar

- American Petroleum Institute (API), (2000). *Specification 5L-2000*,. Specification for Line Pipe, Washington DC.
- Bıyıklı, M. (1993). Petrol Borusu Çelikleri, Erdemir-Kalite Metalurji Daire Başkanlığı, Kdz.Ereğli.
- Çimenoğlu, H. ve Baydođan, M. (2003). Çeliklerde Mikroyapı-Mekanik Özellik İlişkisi, Bölüm 6, *Çelik Seçimi Semineri*, TMMOB, 22-24 Ocak, İskenderun.

- DeArdo, A. J., (1992). New Developments in the Alloy Design of Microalloyed and Other Modern HSLA Steels, *Proceedings of the Second International Conference on HSLA Steels*, October 28 - November 2, 1990, sf. 21-30, Beijing.
- Gladman, T., Dulieu, D. ve McIvor, I. D. (1977). Structure-Property Relationships in High-Strength Microalloyed Steels, Microalloying'75, *Proceedings of International Symposium on High Strength, Low-Alloy Steels*, 1-3 October, sf. 32-54, New York.
- Hulka, K., Heisterkamp, F. ve Peters, A. P. (1996). The Development Trend in Steels for Large Diameter Pipe, *Niobium Products Company GmbH*, Düsseldorf.
- Österle, W. (1994). Microstructure-Strength Relationships for LC and HSLA Steels, *Steel Research*, **65**, 8, 338-344.
- Sun, W. P., Snyder, R. J. ve Smith, G. M. (1999). Effects of Hot Rolling Process Parameters on the Microstructure and Properties of Line Pipe Steels, 41st MWSP Conference Proceedings, ISS, XXXVII, 525-535.
- Watanabe, Y., Shimomura, S., Funato, K., Nishioka, K., Yoshie A. ve Fujioka, M. (1992). Integrated Model for Microstructural Evolution and Properties of Steel Plates Manufactured in Production Line, *ISIJ*, **32**, 3, 405-413.