

Farklı Hız ve Sabit Oranda Uygulanan Redüksiyonun Fren Borularının Mekanik Özelliklerine Etkisinin Araştırılması

Investigation of the Effect of Reduction Applied at Different Speeds and Constant Rates on the Mechanical Properties of Brake Pipes

Ozan KOYUNCU ¹ , Burak ÇELİK ¹ , Yasin AKGÜL ^{2,3} , Alper İNCESU ^{2,3} 

¹Bant Boru San. ve Tic. A.Ş., Ar-Ge Departmanı, 41480 Gebze/Kocaeli, Türkiye

²K-O Faktör Teknoloji ve Mühendislik, 78050, Karabük, Türkiye

³Karabük Üniversitesi, Demir Çelik Enstitüsü, 78050, Karabük, Türkiye

Başvuru: 14/07/2023

Kabul: 08/08/2023

Çevrimiçi Basım: 05/09/2023

Öz

Bu çalışmada bakır kaplı çelik saclardan üretilen fren borularına 3 farklı hızda (27 m/dk, 36 m/dk ve 45 m/dk) redüksiyon işlemi uygulanarak redüksiyon uygulanmamış fren borusu ile mikroyapı ve mekanik özellikleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Mikroyapısal farklılıkları ortaya çıkarabilmek için optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskopunda mikro yapısal analiz yapılmıştır. Mekanik özelliklerin belirlenebilmesi için de çekme testi, mikro sertlik testi ve patlatma testi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre redüksiyon hızına bağlı olarak mikroyapısal bir farklılaşmanın meydana gelmediği gözlemlenmiştir. Çekme testi sonuçlarına göre 27 m/dk, 36 m/dk hızlarda uygulanan redüksiyon işleminde daha yüksek oranda (akma mukavemetinde ~%33, çekme mukavemetinde ise ~%13), 45 m/dk hızında uygulanan redüksiyon işleminde ise daha düşük oranda (akma mukavemetinde ~%27,9, çekme mukavemetinde ise ~%11,1) bir dayanım artışı tespit edilmiştir. Patlatma testi sonuçları da çekme testinde elde edilen mukavemet değerlerindeki farklılaşmaya paralel bir davranış göstermiştir. Akma mukavemeti ve çekme mukavemeti farklılaşmalarının tam tersi ve bunlara paralel olarak kopma uzaması değerlerinin değişim gözlenmiştir (27 m/dk, 36 m/dk hızlarda uygulanan redüksiyon işleminde ~%30, 45 m/dk hızında uygulanan redüksiyon işleminde ise ~%16,7 süneklikte azalma tespit edilmiştir). Sertlik değerlerinde tüm hızlar için sertlik artışının (~%5) meydana geldiği ancak redüksiyon hızına bağlı olarak anlamlı bir farklılaşmanın gözlemlenmediği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler

Fren borusu, redüksiyon, dislokasyon yoğunluğu.

Abstract

In this study, the brake pipes produced from copper-coated steel sheets were reduced at 3 different speeds (27 m/min, 36 m/min and 45 m/min) and the microstructure and mechanical properties of the non-reduced brake pipe were investigated comparatively. In order to reveal microstructural differences, microstructural analysis was performed under optical microscope and scanning electron microscope. In order to determine the mechanical properties, tensile test, microhardness test and blast test were applied. According to the results obtained, it was observed that a microstructural differentiation did not occur depending on the reduction rate. According to the tensile test results, in the reduction process applied at speeds of 27 m/min, 36 m/min, the reduction applied at a higher rate (~33 % in yield strength, nearly ~13% in tensile strength), 45 m/min. In the process, a lower increase in strength (27.9% in yield strength and 11.1% in tensile strength) was detected. The results of the blasting test also showed a behavior parallel to the variation in the strength values obtained in the tensile test. The opposite of the yield strength and tensile strength variations, and parallel to these, the change in elongation at break values was observed (~ 30 % in the reduction process applied at speeds of 27 m/min, 36 m/min, and in the reduction, process applied at 45 m/min whereas a decrease in ductility of 16.7% was detected). In the hardness values, it was determined that the hardness increase (~ 5 %) occurred for all speeds, but no significant difference was observed depending on the reduction speed.

Key Words

Brake pipes, tube sinking, dislocation density.



*Sorumlu Yazar: alperincesu@karabuk.edu.tr

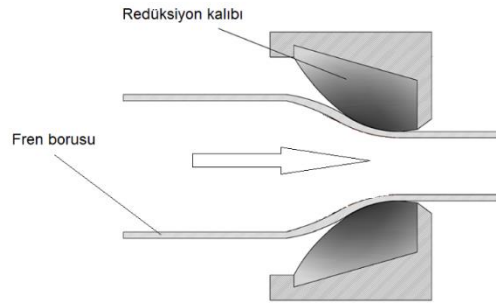
Not: Bu çalışmanın özeti 6. Uluslararası Demir Çelik Sempozyumunda bildiri olarak sunulmuş ve Proceeding Book'ta yayınlanmıştır. JESRED'in bu sayısında ise tam metni yayınlanmıştır.

Bu makaleyi alıntılar için; Alper İncesu ve ark., Farklı Hız ve Sabit Oranda Uygulanan Redüksiyonun Fren Borularının Mekanik Özelliklerine Etkisinin Araştırılması, Journal of Steel Research and Development, 4(1), 17-23.

1. Giriş

Otomobil hidrolik fren sistemlerinde kullanılan boruları genel olarak bakır kaplı çelik saclardan üretilmektedir. DC03 kalite 0,35 mm kalınlığa sahip çelik saclara 3-5 µm kalınlığında elektro kaplama yöntemi ile bakır kaplanmaktadır. Fren boruları ise bakır kaplı çelik sacların 720° kıvrılarak lehimlenmesinin ardından 1050 °C'ye ısıtıldıktan sonra yavaş soğutulması ile elde edilmektedirler (Bundy 1932). Bakır kaplı çelik boruların standart üretim ölçüleri dış çapı 365 mm, iç çapı ise 3,25 mm iken bazı özel durumlarda et kalınlığından taviz verilmeden üretilmiş olarak boruların dış çaplarının 4,60 mm'ye iç çaplarının ise 3,15 mm mekanik yöntemlerle düşürülmesi gerekmektedir. Böylelikle borulara hacimsel olarak yaklaşık %2,4 oranında bir ezme işlemi uygulanmış olmaktadır.

Boru et kalınlığından taviz vermeden borunun dış çapını düşürme işlemine redüksiyon (metal hollow drawing ya da tube sinking) denilmektedir (Salehi et al. 2018; Kishimoto et al. 2020a) ve borunun konik bir yakınsak kalıptan çekilmesinden oluşmaktadır (Palengat et al. 2013). Şekil 1'de redüksiyon işleminin şematik gösterimi verilmiştir. Bu işlem esnasında borunun toplam boyunda herhangi bir değişiklik meydana gelmiyor olup sadece borunun iç boşluğundaki daralmaya bağlı olarak borunun kesit alanında bir azalma meydana gelmektedir.



Şekil 1. Fren borusuna uygulanan redüksiyon işleminin şematik gösterimi

Redüksiyon işleminde her ne kadar boru et kalınlığında farklılaşma meydana gelmese de dış çap ve boru iç boşluğundaki azalmaya bağlı olarak hacimsel olarak bir ezme işlemi meydana gelmektedir. Bu da malzemenin iç yapısında farklılaşmalara yol açmaktadır. Hacim Merkezli Kübik (HMK) kristal yapıya sahip malzemeler deformasyon hızına oldukça duyarlıdır (Yücel 2017). Bundan dolayı redüksiyon işlemi esnasındaki hızın farklılaşmasına bağlı olarak fren borularındaki mekanik ve mikroyapısal değişiklikler incelenmesi literatüre katkı sağlayacak bir araştırma olarak öngörülmektedir. Bu çalışmada fren borularına farklı hızlarda uygulanan redüksiyon işleminin boruların mikroyapı ve mekanik özelliklerine etkileri araştırılmıştır.

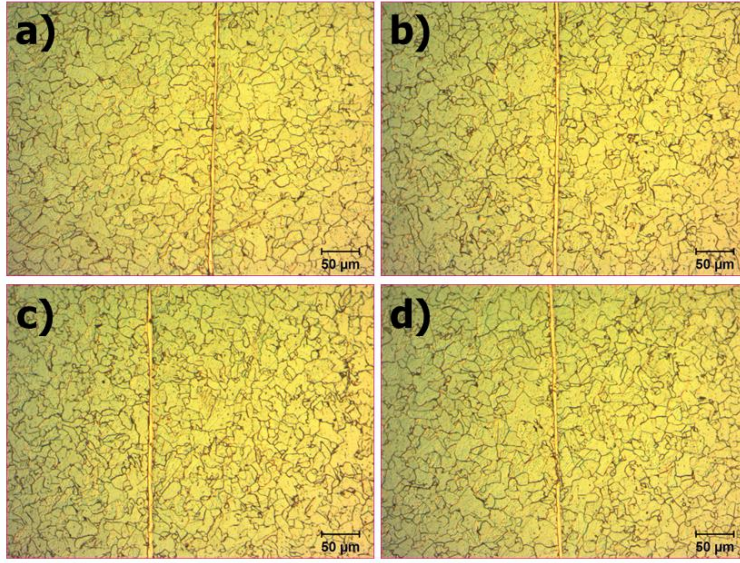
2. Deneysel Çalışmalar

Bu çalışmada kullanılan fren boruları Bant Boru A.Ş.'den temin edilmiştir. Fren borularına 3 farklı hızda (27 m/dk, 36 m/dk ve 45 m/dk) redüksiyon işlemi uygulanmıştır. Redüksiyon işlemi ile birlikte 365 mm dış çap ölçüsüne sahip fren borularının dış çapları 4,60 mm ölçüsüne getirilmiştir. Bu da hacimsel olarak yaklaşık %2,4'lük bir ezme oranına karşılık gelmektedir. Redüksiyona uğramamış fren borusu ile birlikte 4 farklı parametre olarak redüksiyon işleminin mikroyapı ve mekanik özellikler üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Numunelerin mikroyapı özellikleri Nikon Eclipse MA200 ters metalürjik optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Çekme testleri Zwick/Roell Z600 Üniversal Test Makinesinde 2 mm/dk test hızında TS EN ISO 6892-1 (ISO 2016) metalik malzemelerde çekme deney standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Boruların kesit alanına uygun olarak uzamanın ölçüldüğü test boyu 20 mm olarak alınmıştır. Vickers mikrosertlik testi, Q10 A+ QNESS mikrosertlik test cihazı ile 1000g yük ve 15 sn bekleme süresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Numunelerin ortalama sertlik değerleri 5 farklı noktadan alınan ölçümlerden hesaplanmıştır. Patlatma testi, ASTM A 254, SAE J 1677 (Air and International 2004, 2019) standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Patlatma testi için Enerpac firmasına ait pompanın içerisine DOT 3 hidrolik fren sıvısı doldurulmuş ve testi yapılacak olan parçanın bir ucu kör tapa ile kapatılmıştır. Uygulanan basınç ve patlama anındaki basınç değeri 2500 Bar'lık analog manometrede takip edilerek ölçülmüştür.

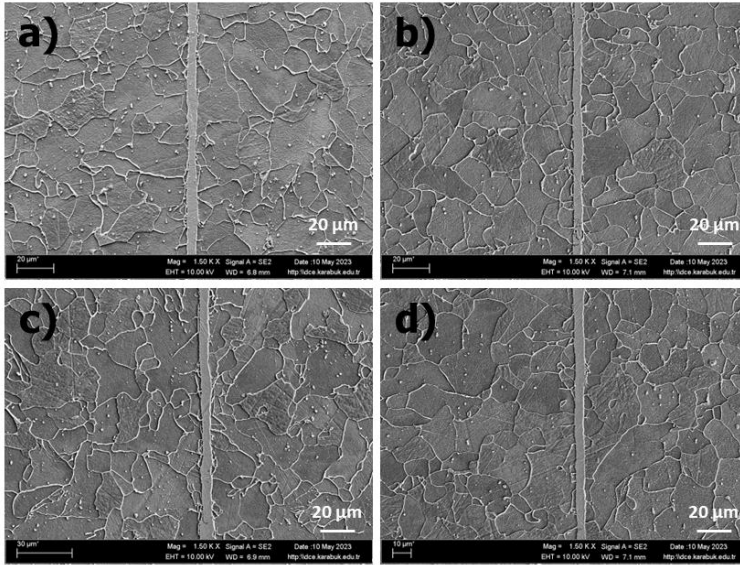
3. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

Fren borularının yan kesitinden alınan optik mikroskop görüntüleri Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Fren borularına ait optik mikroskop görüntüleri a) redüksiyonsuz numune, b) 27 m/dk hızla redüksiyona uğrayan numune, c) 36 m/dk hızla redüksiyona uğrayan numune, d) 45 m/dk hızla redüksiyona uğrayan numune

Fren borularının yan kesitinden alınan taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri Şekil 3’de verilmiştir.



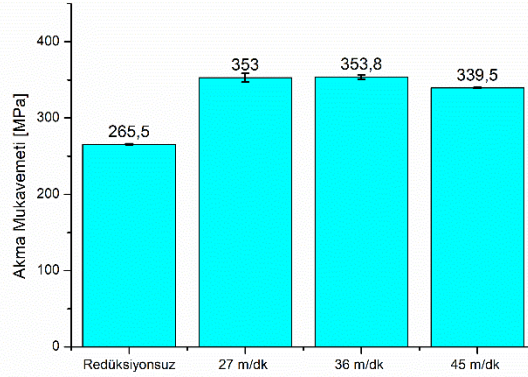
Şekil 3. Fren borularına ait SEM görüntüleri a) redüksiyonsuz numune, b) 27 m/dk hızla redüksiyona uğrayan numune, c) 36 m/dk hızla redüksiyona uğrayan numune, d) 45 m/dk hızla redüksiyona uğrayan numune

Hem Şekil 2’deki optik mikroskop görüntüleri hem de Şekil 3’teki SEM görüntüleri incelendiğinde uygulanan redüksiyon işlemindeki ezme oranının düşüklüğüne (~%2,4) ve et kalınlığının değişmemesine bağlı olarak tane boyut ve şekillerinde belirgin bir farklılaşmanın olmadığı görülmektedir.

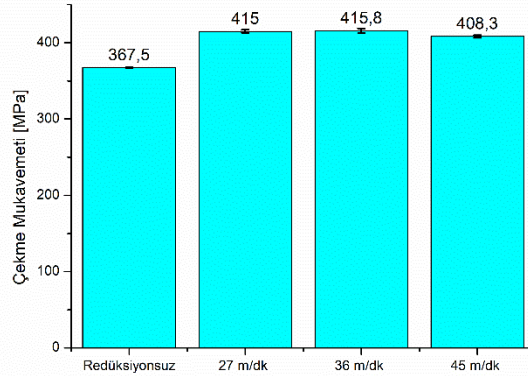
Fren borularına uygulanan çekme testi neticesinde elde edilen akma mukavemeti, çekme mukavemeti ve kopma uzaması verilerinin karşılaştırmalı sonuçları Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6’da sütun grafikleri şeklinde karşılaştırmalı olarak ayrı ayrı verilmiştir. Akma mukavemeti değerleri karşılaştırıldığında (Şekil 4) 27 m/dk ve 36 m/dk hızlarda uygulanan redüksiyon işlemi ile birlikte redüksiyonsuz numuneye göre yaklaşık %33,1 oranında bir mukavemet artışı gözlenmiştir. 45 m/dk hızda uygulanan redüksiyon işleminde ise mukavemetteki bu artış oranı yaklaşık %27,9’da kalmıştır. Nihai noktada redüksiyon işlemi ile birlikte mukavemet artışı beklenen bir durumdur çünkü uygulanan soğuk deformasyon işlemiyle malzeme içerisindeki dislokasyon yoğunluğu artar (Kishimoto et al. 2020b) ve bu artışla birlikte dislokasyonlar birbirlerinin hareketlerini engellemeye başladıkları için dayanımı artırıcı bir etki göstermektedirler (Bella et al. 2021). Tavlanmış bir çelik iç yapısı 104-106 1/cm² dislokasyon yoğunluğuna sahiptir. Soğuk şekil değiştirme ile birlikte

dislokasyon yoğunluğu 1010-1012 1/cm²'ye kadar çıkabilmektedir (Zhang 2016). Dislokasyon yoğunluğunun bir fonksiyonu olarak mukavemet grafiği Şekil 7'de verilmiştir.

Çekme mukavemeti değerleri karşılaştırıldığında (Şekil 5) 27 m/dk ve 36 m/dk hızlarda uygulanan redüksiyon işlemi ile birlikte redüksiyonsuz numuneye göre ~%13,0 oranında bir mukavemet artışı gözlenmiştir. 45 m/dk hızda uygulanan redüksiyon işleminde ise mukavemetteki bu artış oranı ~%11,1'de kalmıştır. Çekme mukavemeti değerlerindeki farklılaşma akma mukavemeti değerlerindeki farklılaşma ile tamamen örtüşmektedir. Nitekim dislokasyon yoğunluğundaki artışın hem akma hem de çekme mukavemetini arttırdığı bilinmektedir. 45 m/dk hızda uygulanan redüksiyon işlemindeki hem akma hem de çekme mukavemetindeki artışın 27 m/dk ve 36 m/dk uygulanan redüksiyon işlemlerine göre düşük kalmasının sebebi redüksiyon masterından geçiş hızının artmasına bağlı olarak malzeme içyapısındaki dislokasyon yoğunluk artışının diğer iki hız değerlerine göre düşük kalmasından kaynaklandığı öngörülmektedir.

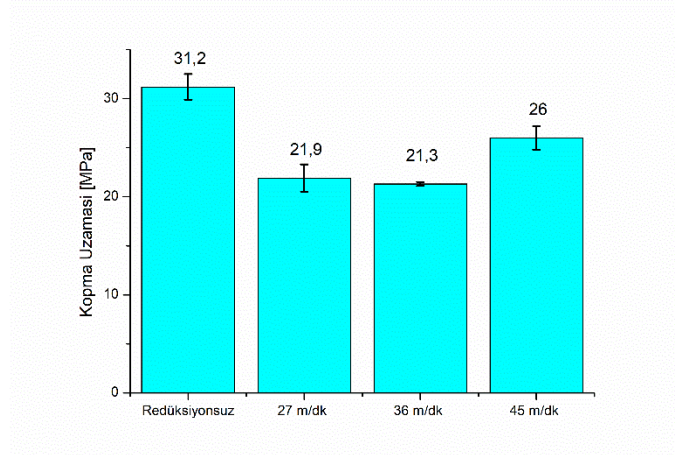


Şekil 4. Çekme testi sonrası elde edilen akma mukavemeti değerlerinin karşılaştırması

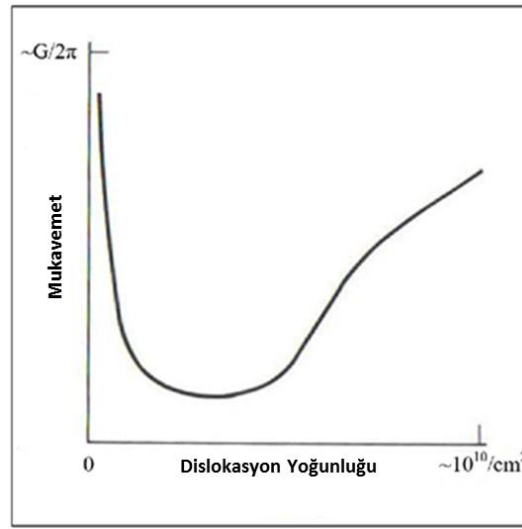


Şekil 5. Çekme testi sonrası elde edilen çekme mukavemeti değerlerinin karşılaştırması

Kopma uzaması değerleri karşılaştırıldığında (Şekil 6) 27 m/dk ve 36 m/dk hızlarda uygulanan redüksiyon işlemi ile birlikte redüksiyonsuz numuneye göre ~ %30 oranında bir süneklikte azalma gözlenmiştir. 45 m/dk hızda uygulanan redüksiyon işleminde ise süneklikte bu azalış oranı yaklaşık %16,7'de kalmıştır. Deformasyon sertleşmesi ile birlikte mukavemet artışı beraberinde süneklikten azalma eğilimini de getirmektedir. Akma mukavemeti ve çekme mukavemeti farklılaşmalarının tam tersi ve bunlara paralel olarak kopma uzaması değerlerinin değişimi ortaya çıkmaktadır.

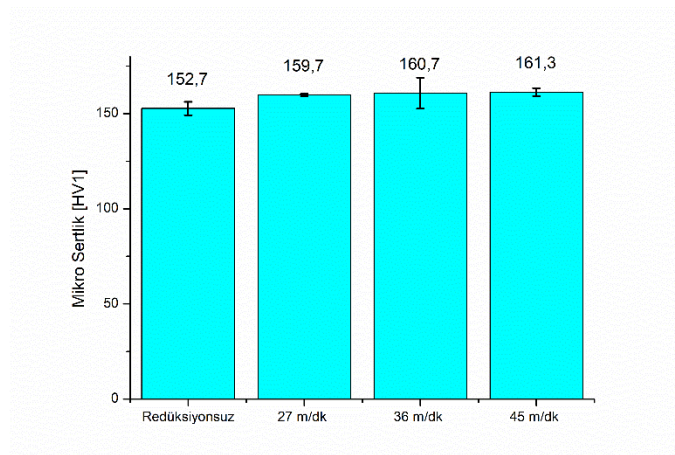


Şekil 6. Çekme testi sonrası elde edilen uzama değerlerinin karşılaştırması



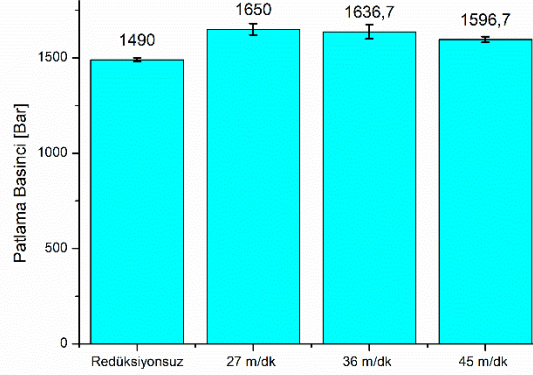
Şekil 7. Dislokasyon yoğunluğunun bir fonksiyonu olarak mukavemet grafiği (Zhang 2016)

Şekil 8’de fren borusu numunelerinden elde edilen mikrosertlik test sonuçları sütun grafiği şeklinde karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Sertlik değerleri standart sapma değerleri ile birlikte göz önünde bulundurulduğunda tüm redüksiyon hızları için yaklaşık aynı miktarda bir sertlik artışı (~%5 oranında) olduğu görülmektedir. Deformasyon sertleşmesi ile birlikte sertlik artışı beklenen bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 8. Numunelerden elde edilen Vickers sertlik değerlerinin karşılaştırması

Şekil 9’da redüksiyon uygulanmamış ve farklı hızlarda redüksiyon uygulanmış fren borularına uygulanan patlatma testi sonuçları sütun grafiği halinde karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Grafik incelendiğinde akma mukavemeti ve çekme mukavemeti sonuçlarına paralel olarak 27 m/dk ve 36 m/dk hızla redüksiyona uğratılan fren borularında, 45 m/dk hızla redüksiyona uğratılan fren borularından daha yüksek bir basınçta patlamanın meydana geldiği gözlemlenmektedir. Patlatma dayanım artışları yüzde olarak ifade edilecek olursa 27 m/dk ve 36 m/dk hızla redüksiyona uğratılan fren borularında $\sim\%10$ ’luk patlatma testinde basınç dayanım artışı, 45 m/dk hızla redüksiyona uğratılan fren borularında ise bu artış $\%7,2$ ’de kalmıştır. Patlatma testindeki dayanım doğrudan mukavemet ile alakalı olduğu mukavemet artışına yol açan deformasyon sertleşmesinden kaynaklı dislokasyon yoğunluğundaki değişim burada da etkili olduğu söylenebilmektedir.



Şekil 9. Patlatma testi sonuçlarının karşılaştırması

4. Genel Sonuçlar

Bu çalışmada bakır kaplı çelik saclardan üretilen fren borularına 3 farklı hızda (27 m/dk, 36 m/dk ve 45 m/dk) redüksiyon işlemi uygulanarak redüksiyon uygulanmamış fren borusu ile mikroyapı ve mekanik özellikleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Çalışma neticesinde elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

- Optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu görüntüleri karşılaştırmalı olarak incelendiğinde mikro düzeyde tane boyutu üzerinde anlamlı bir farklılık gözlemlenmemiştir.
- Çekme testi sonucunda elde edilen mekanik değerler karşılaştırmalı olarak göz önünde bulundurulduğunda 27 m/dk, 36 m/dk hızlarda uygulanan redüksiyon işleminde daha yüksek oranda (akma mukavemetinde $\sim\%33$, çekme mukavemetinde ise $\sim\%13$), 45 m/dk hızında uygulanan redüksiyon işleminde ise daha düşük oranda (akma mukavemetinde $\sim\%27,9$, çekme mukavemetinde ise $\sim\%11,1$) bir dayanım artışı tespit edilmiştir. Akma mukavemeti ve çekme mukavemeti farklılaşmalarının tam tersi ve bunlara paralel olarak kopma uzaması değerlerinin değişim gözlenmiştir (27 m/dk, 36 m/dk hızlarda uygulanan redüksiyon işleminde $\sim\%30$, 45 m/dk hızında uygulanan redüksiyon işleminde ise $\sim\%16,7$ süneklikte azalma tespit edilmiştir).
- Sertlik değerlerinde tüm hızlar için sertlik artışının ($\sim\%5$ oranında) meydana geldiği ancak redüksiyon hızına bağlı olarak anlamlı bir farklılaşmanın gözlemlenmediği tespit edilmiştir.
- Patlatma testi sonuçları da çekme testinde elde edilen mukavemet değerlerindeki farklılaşmaya paralel bir davranış göstermiştir.

Genel olarak deformasyon sertleşmesine bağlı olarak malzeme içyapısında meydana gelen dislokasyon yoğunluğu artışı fren borularında mukavemet artışına yol açmıştır. Kritik redüksiyon hızının olarak 36 m/dk ile 45 m/dk arasında bir hız olduğu öngörülmektedir.

Teşekkür / Bilgilendirme

Fren boruların temini, redüksiyon işleminin uygulanması ve patlatma testinin gerçekleştirilmesindeki katkılarından dolayı Bant Boru AŞ’ye teşekkürlerimizi sunarız.

Referanslar

- Air TES for AMLS, International S (2004) Sae J1677. Surface Vehicle Standard: Tests and Procedures for Steel and Copper Nickel Tubing. Society of Automotive Engineers. SAE International
- Bella P, Burik P, Bucek P, Ridzon M (2021) Influence of Deformation on Texture Development During Cold Drawing of Tubes. In: Forming the Future: Proceedings of the 13th International Conference on the Technology of Plasticity. Springer, pp 729–737
- Bundy HW (1932) Method for making a tube
- ISO E (2016) 6892-1: 2016. Met Mater Testing—part 1:
- Kishimoto T, Sakaguchi H, Suematsu S, et al (2020a) Outer diameter and surface quality of micro metal tubes in hollow sinking. *Procedia Manuf* 47:217–223
- Kishimoto T, Sakaguchi H, Suematsu S, et al (2020b) Deformation behavior causing excessive thinning of outer diameter of micro metal tubes in hollow sinking. *Metals* 10:1315
- Palengat M, Chagnon G, Favier D, et al (2013) Cold drawing of 316l stainless steel thin-walled tubes: experiments and finite element analysis. *Int J Mech Sci* 70:69–78
- Salehi J, Rezaeian A, Toroghinejad MR (2018) Fabrication and characterization of a bimetallic Al/Cu tube using the tube sinking process. *Int J Adv Manuf Technol* 96:153–159
- Yücel BC (2017) Kendiliğinden İlerleyen Yüksek Sıcaklık Sentezi Yöntemiyle Üretilen İntermetalik Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi
- Zhang W (2016) Rolling, partial and full annealing of 6061 characterization of microstructure, tensile strengths and ductility. *Mater Sci Appl* 7:453–464
- (2019) ASTM A254/A254M – 12 (Reapproved 2019): Standard Specification for Copper-Brazed Steel Tubing