



Geleneksel Üretim Yöntemlerine Alternatif Polimerik Sulu Çözelti Banyosunda Hortum Tellerinin Üretilebilirliğinin Araştırılması

Investigation of Productivity of Hose Wires in Polymeric Aqueous Solution Bath Alternative to Traditional Production Methods

Erkan KARAYİĞİT^{1,*} , Teslime AYMAN² , Barış GÜNAY³ 

¹ Güney Çelik Hasır Demir Mamulleri San. Tic. A.Ş., Adana, Türkiye, **Orcid:** 0000-0001-8171-1178

² Güney Çelik Hasır Demir Mamulleri San. Tic. A.Ş., Adana, Türkiye, **Orcid:** 0000-0002-7857-7227

³ Güney Çelik Hasır Demir Mamulleri San. Tic. A.Ş., Adana, Türkiye, **Orcid:** 0000-0002-5087-1280

Araştırma Makalesi

Gönderilme Tarihi : 21/12/2020

Kabul Tarihi : 26/03/2021

Anahtar Kelimeler

Hortum Teli
Patentleme
Aqua Çözelti
Çelik Tel

Özet

Ötektoid veya yüksek karbonlu çelik teller endüstride çelik kablo, kord, yay teli, hortum teli ve diğer benzeri tel ürünlerin üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu doğrultuda gerekli mekanik dayanımı sağlamak amacıyla mikro yapısal açıdan perlit lamelleri arası mesafenin azaltılması ile ince perlitik yapının elde edilmesi gerekmektedir. Hortum tellerinde ince perlitik yapının elde edilmesi, mekanik özelliklerin iyileştirilmesi için östenitleme ve ısıtma şartları kritik öneme sahiptir. En yüksek mekanik dayanım ve tel çekilebilme (çap küçültme) kabiliyeti, 480-600 C de kurşun banyosunda geleneksel patentleme işlemi ile gerçekleştirilmektedir. Bu ısıtma işlemi, gerek çevresel ve sağlık problemleri gerekse yüksek yatırım ve işletme maliyetleri nedeniyle sınırlanmaktadır. Bu çalışmada %0,76C lu çelik telin polimer esaslı sulu çözelti banyosundaki soğuma davranışları ile literatürdeki kurşun banyosundaki soğuma davranışları karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışmalarda yüksek karbonlu bu çeliğin polimerik sulu çözelti banyosunda tamamen ince perlitik bir yapıya dönüşümü sağladığı ve yüksek basınçlı ve orta basınçlı hortum tellerinin, sektörün talep ettiği EN 10324:2004 standartları çerçevesinde istenilen çap aralıklarında (0,5-0,8mm) mekanik dayanım sergilediği ortaya konmuştur. Bu çalışmada, 0,76%C'lu ve 2.30 mm çapındaki çelik telin polimerik çözelti banyosundan sonra mikro yapısal ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

Research Paper

Received Date : 21/12/2020

Accepted Date : 26/03/2021

Keywords

Hose Wire
Patenting
Aqueous Solution
Steel Wire

Abstract

Eutectoid or high carbon steel wires, steel cable, cord, spring wire, hose wire and other similar wire in industry. In this direction, it is to provide the necessary mechanical strength. How austenitizing and heat treatment is critical to achieve fine pearlite structure in hose wires and to improve mechanical properties. The highest mechanical strength and wire drawing ability (diameter reduction) is achieved by the traditional patenting process in a lead bath at 480-600 C. This heat treatment; it is transported due to environmental and health problems as well as high investment and operation. The cooling behavior of this tea 0.76% C steel wire in the polymer-based aqueous solution bath was compared with the cooling behavior in the lead bath in the literature. In experimental studies, the transformation of this high carbon steel into a polymeric aqueous solution bath into a completely perlitic structure and high and medium hose wires have been found to exhibit mechanical strength in various types of EN 10324: 2004 in various diameter ranges (0.5-0.8mm). The micro mesh and mechanical properties of this 0.76% C and 2.30 mm diameter steel wire were investigated after polymeric solution bath.

1. Giriş

Yüksek mukavemetli çelik teller; hızla gelişen bir pazara sahiptir. Endüstriyel olarak otomotiv, lastik telleri, yay telleri halat telleri, müzik aletleri ve bu tür tellerin tel çekme prosesi yardımıyla çap küçültülmesi sonucunda

üretilmektedir[1]. Yüksek mukavemetli yaylar hiper-ötektoid çelik tellerden imal edilmiştir. Bu teller çok ince perlitik mikroyapıya sahiptir. Bu perlitik mikro yapı, toplu üretim için kullanılan en iyi bilinen doğal nanomalzemedir. Hiper-ötektoid çelik tellerdeki perlitik mikro yapı, alternatif çok ince ferrit lameller ve sementit lamellerden oluşur. Ferrit lameller ve sementit lamellerin kalınlıklarının toplamı, lameller arası aralık olarak bilinir. Perlitik çelik

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author): erkan@guneycelik.com.tr



tellerin mekanik özelliklerinin, lameller arası boşlukla doğrudan bir ilişkisi vardır[2].

Ötektoid veya hiper-ötektoid bileşimlerin soğuk çekme perlitik çelik telleri, çok yüksek mukavemet, burulma ve eğilme mukavemeti, makul süneklik ve kabul edilebilir seviyenin benzersiz kombinasyonlarından dolayı, son birkaç on yılda önemli miktarda bilimsel araştırma konusu olarak kapsamlı bir şekilde çalışılmıştır[3].

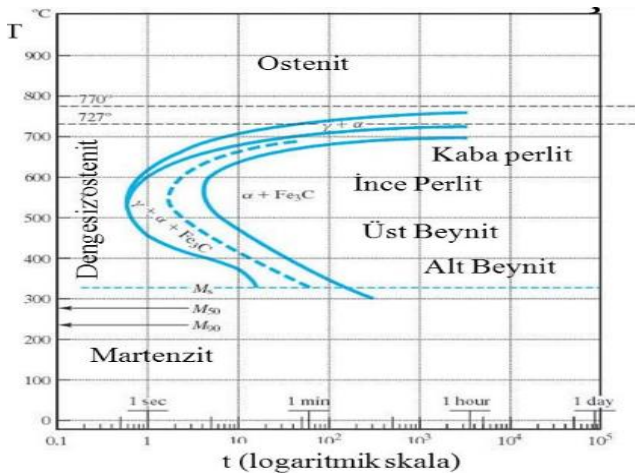
Soğuk çekmede esnasında telin kopması nedeni ile çekilebilirliği ortadan kalkmaktadır. Bu durumda daha küçük çaplara inilebilmesi ve mukavemetin koruyabilmesi için patentleme adı verilen bir ısıl işlem prosesi geliştirilmiştir[1].

Patentli çelik telin yaygın kullanımı, mekanik özelliklerini incelemeyi vazgeçilmez kılmaktadır. Literatürden bildirildiği gibi, soğuk çekilmiş patentli çelik telin mekanik davranışı, özellikle mukavemet ve tokluk özellikleri, büyük ölçüde işleme sırasında geliştirilen mikro yapı tarafından kontrol edilir[4].

Patentleme ısıl işlemi, orta ve yüksek karbona sahip ve de düşük alaşımlı çelik tellerin iç yapısında ince lamelli perlit yapısı elde etmek için uygulanan bir ısıl işlem prosedir[5].

Fluidbed (Ecoquench) patentleme fırınları, önemli ölçüde daha yüksek ısı transferi ve dolayısıyla daha hızlı tel hızı avantajına sahiptir, ancak atmosfer kontrolü ve ölçek oluşumu ile ilgili sorunları var. Günümüzde artan tel üretim kapasitesi nedeniyle, birçok tel üreticisi akışkan yatağın patentlenmesi sürecine daha fazla ilgi duymakta ve tercih edilmektedir. Akışkan yataktaki patentli işlem, erimiş kurşun banyosuna göre daha ekonomik ve çevre dostudur, ancak aynı zamanda daha yüksek hat hızlarında üretime izin verir[6].

Metallurjik açıdan, patentleme süreci bir izotermal dönüşüm (TTT) ile kontrol edilir. Bu sırada, Şekil 2'deki östenit faz yapısının perlit dönüşüm zamanı ve oranını belirlemek için sıcaklık ve dönüşüm grafikleri kullanılır[6].



Şekil 1. TTT diyagramı

İzotermal TTT diyagramı, telin östenitleme sıcaklığından çok hızlı bir şekilde $T < 550^\circ\text{C}$ 'ye kadar soğutulması ve ardından bu sıcaklığı birkaç saniye tutmanın gerekli olduğunu göstermektedir[6].

Sürekli tel çekme hatlarında akışkan yataklı proseslerde kullanılan kum sarfiyatı, aynı zamanda harcanan yüksek enerjiden dolayı daha temiz ve daha düşük enerji gerektiren bir proses arayışına girilmiştir. Bu doğrultuda polimerik sulu çözelti banyolarında patentleme işlemleri dikkat çekmektedir. Hayli düşük konsantrasyonlarda hazırlanan polimerik sulu çözeltilerdeki soğutma esnasında sıcak tel yüzeyi ile çözelti ortamı arasında oluşan buhar filmi sayesinde, telin soğuması sıvının, kendi kaynama noktasından belirgin bir şekilde daha sıcak olan yüzeye yaklaştırıldığında hemen kaynamasını önleyen, yalıtkan bir su buharı tabakası ürettiği fiziksel bir olay olan (Leidenfrost Etkisi) ile gerçekleşmektedir[1].

Çelik tellerdeki redüksiyon oranının artışına bağlı olarak düşürülen kesit alanı ile soğuma hızı çok yüksektir. Bundan dolayı polimerik çözeltilerde sürekli soğuma eğrisine, hava kontrolü ile ara verilerek kademeli olarak soğutma ortamı oluşturularak çelik tellerin gerek yapıya sahip olmasına neden olan martenzitik yapıdan kurtulmasını sağlamayı başarmak ve hava kontrolü ile de perlitik dönüşümün devam etmesine imkan sağlamaktır. YMK östenit fazının, kübik merkezi yapıya dönüşümü çelik tel üzerinde sıcaklığın yeniden artmasına sebebiyet verir. Bu neticede hatlarda nihai ürün kalitesine olumsuz etki etmesinden dolayı hava kontrolü kısa tutulup, ikinci bir polimerik banyo ortamı ile yapıda dönüşümün ince perlitik olması sağlanmıştır[7].

Bu çalışmada, 0,76% C'lu ve 2.30 mm çapındaki çelik telin polimerik çözelti banyosundan sonra mikro yapısal ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

2. Malzeme ve Yöntem

Deneyisel çalışmalarda 0,76% C'lu 6mm çapında filmanın (İsdemir A.Ş.) tel çekme prosesi sonrasında 2,30 mm (%84 redüksiyon) çapa indirilmiş numuneleri alınmıştır.

Çelik tellerin ısıl işlem öncesi ve sonrasında mekanik özellikleri Universal Mares TSE6301 model 10 ton kapasiteli çekme cihazında test edilmiştir. Çekme mukavemeti, % uzama ve % kesit daralması oranı değerleri ölçülmüştür.

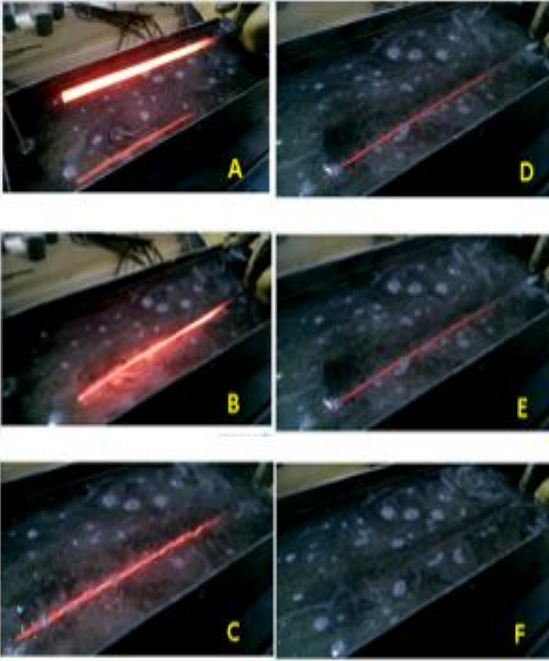
Tablo 1. 1076 kalite hammadde kimyasal analizi

| Kimyasal Kompozisyon (%) | | | | | | | | | | |
|--------------------------|------|------|------|-------|-------|------|-------|------|------|------|
| Kalite | Çap | C | Mn | P | S | Si | Al | Cu | Cr | Ni |
| 0.76 | 6 mm | 0,76 | 0,56 | 0,009 | 0,004 | 0,21 | 0,002 | 0,05 | 0,03 | 0,03 |

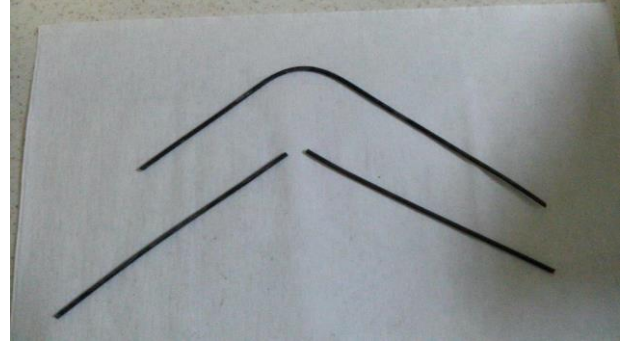
Tablo 2. 6mm filmaşinin redüksiyon oranları

| Giriş | 1.Kafa | 2.Kafa | 3.Kafa | 4.Kafa | 5.Kafa | 6.Kafa | 7.Kafa | 8.Kafa |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 6 | 5,2 | 4,53 | 3,97 | 3,51 | 3,12 | 2,79 | 2,51 | 2,27 |
| Redüksiyon | 0,25 | 0,24 | 0,23 | 0,22 | 0,21 | 0,2 | 0,19 | 0,18 |

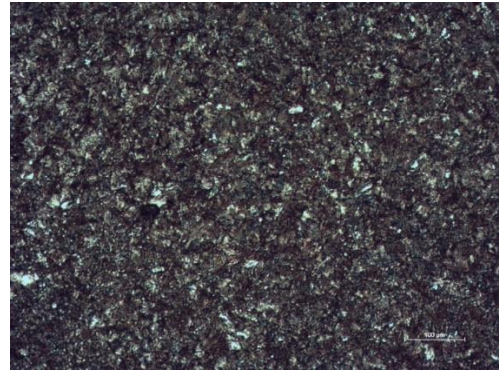
970°C de 60 saniye fırında bekletilmiş 2.30 mm çelik tel numuneleri %4'lük polimerik sulu banyo çözeltisi ile hazırlanan 85°C deki polimer banyosunda soğutulmuştur.

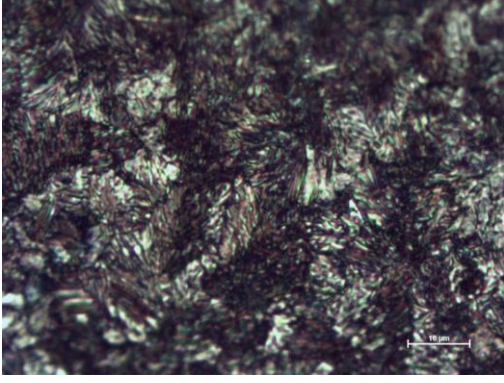
**Şekil 2.** 970°C deki telin 85°C deki %4 polimerik sulu banyo çözeltisi içerisindeki soğuma davranışı

Filmaşin mukavemeti (6mm) 1056 Mpa aralığında iken, deformasyona uğratılmış telin mukavemeti (2,30mm) 1850 Mpa aralığında gelmektedir. %4'lük polimerik sulu banyo çözeltisi içerisinde patentleme işlemi sonrasında tel mukavemeti 1180-1190MPa olarak ölçülmüştür.

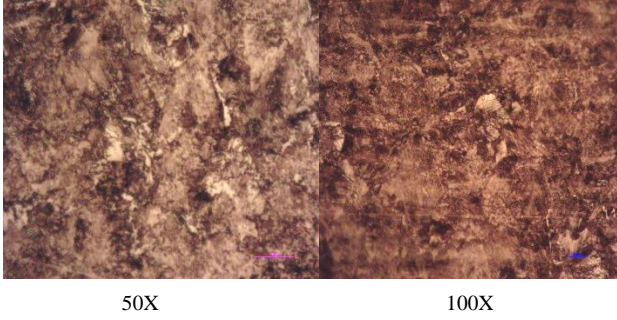
**Şekil 3.** 970°C deki telin 85°C deki su içerisindeki soğuma davranışı**Şekil 4.** 85°C de %4 lük polimerik sulu banyo çözeltisi ile (üstteki bükülebilir numune) ve şebeke suyu ile (alttaki kırılabilir numune) soğutulmuş numuneler.

Mikro yapısal olarak ise incelemeler için çelik tellerden numuneler alınarak sıcak bakelite alma cihazında kalıplanarak 240-600-1000 ve 2000 nolu zımparalardan geçirildikten sonra 6µ velüm elmas süspansiyon ile yüzeyleri parlatılmış sonrasında ASTM E 407 standartına göre 4g pikrik asit 100 mL etanol (95 %) or metanol (95 %) kullanılarak dağlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Mikroskopik çalışmalarda Nikon LV150 optik mikroskobu kullanılmıştır. SEM incelemeleri ise Çukurova Üniversitesi bünyesinde bulunan ÇÜMERLAB kurumunda gerçekleştirilmiştir.

**Şekil 5.** %4 polimerik sulu banyo çözeltisi ile 85°C de soğutulmuş tel numunesinin mikroyapısı (100X)

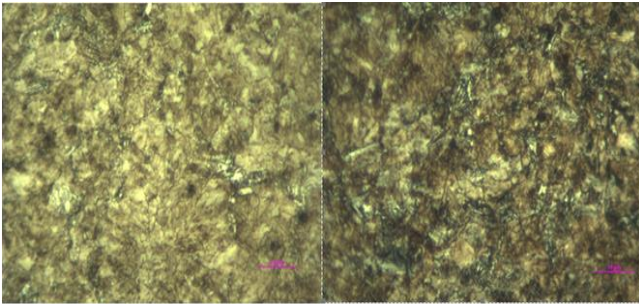


Şekil 6. %4 polimerik sulu banyo çözelti ile 85°C de soğutulan tel numune mikroyapısı (1000X)

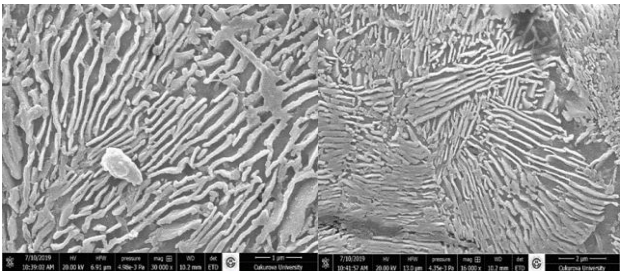


Şekil 7. 2.30 mm' e çekilen tellerin %4'lük polimerik sulu banyo çözeltisindeki mikro yapısı (50X-100X)

2,30mm'e çekilen teller %4'lük polimerik sulu banyo çözeltisinde sürekli soğutma ortamında perlitlenme işlemi sonrasında firma bünyesinde bulunan optik mikroskop ile incelenmiştir. Homojen bir şekilde perlit oluşumu sağlanmıştır. ASTM E 407 standartına göre 4g pikrik asit 100 mL ethanol (95 %) or methanol (95 %) kullanılarak dağlama işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 8. 2,30 mm çapındaki numune için yapılan çalışmalara ait mikro yapısı (50X)



Şekil 9. 2,30mm çapındaki numune için SEM analizi

Tablo 3. 6mm'lik filmaşinin patentleme öncesi ve sonrasında

| Kalite | Filmaşin | Deformasyon Sonrası | | Patentleme | |
|---------------|----------|---------------------|---------|----------------|--|
| | Çap(mm) | Mukavemeti(Mpa) | Çap(mm) | Mukavemet(Mpa) | |
| İsdemir-1076C | 6 | 1056 | 2,30 | 1185-1199 | |

Filmaşin mukavemeti (6mm) 1056 Mpa aralığında iken, deformasyona uğratılmış telin mukavemeti (2,30 mm) 1850 Mpa aralığında gelmektedir. %4'lük polimerik sulu banyo çözeltisi içerisinde patentleme işlemi sonrasında tel mukavemeti 1185-1199MPa olarak ölçülmüştür.

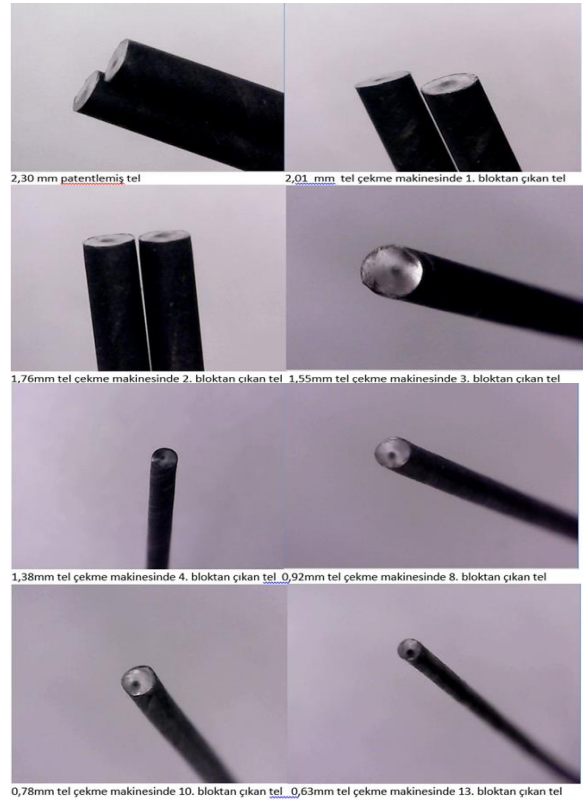
Tablo 4. Farklı sıcaklıklarda kurşun banyosundaki çekme, uzama ve kesit daralması

| Pb Banyo Sıcaklığı | Çekme Muk. (ort) | %Uzama (E) | %Kesit Daralması (R) |
|--------------------|------------------|------------|----------------------|
| 480°C | 1273 Mpa | E<7,2 | - |
| 530°C | 1239 Mpa | E<9 | R<38 |
| 560°C | 1190 Mpa | 10<E<12,5 | 38<R<44 |
| 590°C | 1158 Mpa | 11<E<13,3 | 42<R<48 |

Tablo 5. 2.30 mm patentlenmiş tellerin mekanik özellikleri

| | Çekme Muk. (N/mm ²) | %Kesit Daralması | Burulma (Torsion) |
|---|---------------------------------|------------------|-------------------|
| X | 1185<T<1215 | %44-50 | 38-42 |
| Y | 1150<T<1170 | %45-52 | 39-44 |
| Z | 1120<T<1150 | %46-52 | 42-47 |

Çekilen teller üzerinde burulma (torsion) testleri yapılmış ve standartlara göre karşılaştırma yapılmıştır.



Şekil 10. Çekilen teller üzerinde burulma(torsion) test sonuçları

Tablo 6. 2.30 mm için kopma mukavemeti verileri tablosu

| Tel çapı (mm) | Çekme Muk.(N/mm ²) | Akma Muk. (N/mm ²) | Burulma Sayısı |
|---------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------|
| 2.30 | 1199 | 933 | 65 |
| 2.01 | 1350 | 1280 | 35 |
| 1.76 | 1456 | 1367 | 32 |
| 1.55 | 1570 | 1428 | 30 |
| 1.38 | 1609 | 1441 | 29 |
| 1.24 | 1698 | 1551 | 27 |
| 1.11 | 1755 | 1619 | 27 |
| 1.01 | 1865 | 1772 | 30 |
| 0.92 | 1911 | 1834 | 34 |
| 0.84 | 1980 | 1872 | 28 |
| 0.78 | 2080 | 1980 | 29 |
| 0.72 | 2229 | 2150 | 28 |
| 0.67 | 2399 | 2200 | 29 |
| 0.63 | 2479 | 2358 | 29 |

3. Bulgular ve Tartışma

970°C de 60 saniye fırında bekletilmiş 2.30 mm çelik tel numuneleri %4'lük polimerik sulu banyo çözeltisi ile hazırlanan 85°C deki polimer banyosunda soğutulmuştur.

Filmaşın mukavemeti(6mm) 1056 Mpa aralığında iken, deformasyona uğratılmış telin mukavemeti (2,30mm) 1850 Mpa aralığında gelmektedir. %4'lük polimerik sulu banyo çözeltisi içerisinde patentleme işlemi sonrasında tel mukavemeti 1185-1199MPa olarak ölçülmüştür.

Elde edilen mekanik sonuçlarda, polimerik sulu banyo çözelti ile yapılan literatür araştırmaları ile kıyaslandığında kurşunda patentlenen teller ile benzer sonuçlar göstermiştir.

2,30mm'e çekilen teller %4'lük polimerik sulu banyo çözeltisinde sürekli soğutma ortamında perlitleme işlemi sonrasında firma bünyesinde bulunan optik mikroskop ile incelenmiştir. Homojen bir şekilde perlit oluşumu sağlanmıştır.

Çukurova Üniversitesi Merkez laboratuvarında 2,30mm çapındaki numune için SEM mikro yapı analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda homojen bir şekilde perlit oluşumunun sağlandığı gözlemlenmiştir.

Çekilen teller üzerinde burulma (torsion) testleri yapılmış ve standartlara göre karşılaştırma yapılmıştır. Test sonuçları "The fracture surface of wire is same with "1a" in the standard of ISO 7800." Standartına göre "1a" olarak gözlemlenmiştir.

Tel çekme ünitesinden gelen numuneler ile yapılan mekanik sonuçlar ile EN 10324:2004 "Steel Wire and Wire Products- Hose Reinforcement Wirestandardı" kıyaslanmıştır ve elde edilen verilerin standartlar içerisinde yer aldığı göstermektedir.

Şekil 14'te yer alan veriler; tel çekme prosesi sonrasında elde edilmesi istenen mekanik özelliklerin, başlangıçtaki patentlenmiş çelik telin çekme mukavemeti

ile doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir. Bunun dışında redüksiyon dağılımı ve tel çekme hızının da telin çekme mukavemetine önemli oranda etki ettiği bir gerçektir.

4. Sonuçlar

Elde edilen mekanik sonuçlarda, %4'lük polimerik sulu banyo çözeltisi ile yapılan denemeler kurşunda patentlenen teller ile benzer sonuçlar göstermiştir.

Fakat perlitik dönüşüm için gerekli ilk soğutma hızı, kurşunun konveksiyonel ısı transfer katsayısının çok yüksek olmasından dolayı (3500W/m²k) daha iyi sağlanmıştır.

Filmaşın mukavemeti (6mm) 1056 Mpa aralığında iken, deformasyona uğratılmış telin mukavemeti(2,30mm) 1850 Mpa aralığında gelmektedir. %4'lük polimerik sulu banyo çözeltisi içerisinde patentleme işlemi sonrasında tel mukavemeti 1185-1199MPa olarak ölçülmüştür.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

Etik Standartlar Beyanı

Bu çalışmada akademik etik kurallarına uyulduğu, bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiği ve yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada yazarlara ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm. İfade edilenlerin aksi ortaya çıktığında ise her türlü yasal sonucun kabul edileceğini beyan ederim.

Kaynaklar

- [1] Özdemir E.V., Karayığit E., Altuncu E., 2015. Geleneksel Kurşun Banyosunda Patentleme Yöntemine Alternatif Sulu Çözelti Banyosunda Patentleme Isıl İşleminin Uygulanabilirliğinin Araştırılması. İkinci Uluslararası Demir Çelik Sempozyumu (IISS'15), Karabük, Türkiye 1-3 Nisan.
- [2] Bargujer S.S., Suri N.M., Belokar R.M., 2016. Pearlitic Steel Wire: High Carbon Steel Based Natural Nanomaterial By Lead Patenting Process" MaterialToday's: Proceedings Journal, 6(3), 1553-1562.
- [3] Kistrane-Bouzidi A., Zidani M., Nebbar M.C., Abid T., Helbert A.L., Brisset F., Baudin T., 2020. Mechanical Properties and Texture Evolution of High-Carbon Steel Wires During Wire Drawing:

- Strand Manufacturing. International Journal of Engineering Research in Africa, 130-138.
- [4] Navaei E., Aghazadeh Mohandesi J., 2010. Fatigue Damage Accumulation in Cold-Drawn Patented Steel Wire Under Variable Loading'. Journal of Elsevier, 31(4), 2018-2024.
- [5] Branders R., Anelli E., Massai A.M., Perspectives in Energy Saving in Fludized Bed Patenting," Wire Journal International, pp. 114-118, The wire Association.
- [6] Esen S.G., Altuncu E., Üstel F., Savcıoğlu S., 2018. Influence of Different Ecoquench Temperature on High Carbon Steel Wire Mechanical Properties. Acta Materialia Turcica, 2, 1-5.
- [7] Meersschant D., Vanneste G., Heat Treatment of Steel Wire. United States Patent 6228188; 2001