

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KARBON ORANININ ALAŞIMSIZ ÇELİK FİLMAŞINLERDEN
ELDE EDİLEN TEL ÜRÜNLERİN PERFORMANSINA ETKİSİ**

EFKAN ÇİÇEK

KOCAELİ 2019

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

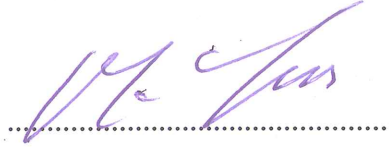
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

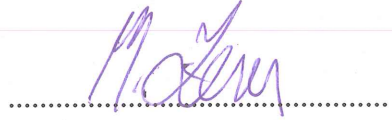
KARBON ORANININ ALAŞIMSIZ ÇELİK FİLMAŞINLERDEN
ELDE EDİLEN TEL ÜRÜNLERİN PERFORMANSINA ETKİSİ

EFKAN ÇİÇEK

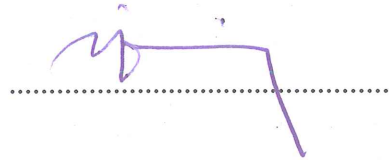
Prof. Dr. Muharrem YILMAZ
Danışman, Kocaeli Üniversitesi



Prof. Dr. Muzaffer ZEREN
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi



Prof. Dr. İbrahim SEVİM
Jüri Üyesi, Yalova Üniversitesi



Tezin Savunulduğu Tarih: 04.12.2019

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Plastik şekil verme yöntemlerinden olan tel çekme işlemi ilk çağlarda uygulanmaya başlanmış ve son yüzyıl içerisinde gelişerek kendini bir sektör haline getirmiştir. Bilimsel araştırmalar sayesinde sektör hızla gelişmiştir. Bu çalışmada tel çekme işlemi ile üretilen tellerin performansları üzerinde durulmuş ve performansa etki eden faktörle ortaya konulmaya çalışılmıştır. Söz konusu faktörler göz önüne alınarak performansı niteleyen bir modelleme üzerine çalışılmıştır.

Çalışmalarım sırasında desteklerini esirgemeyen, maddi manevi yanımda olan herkese minnettarım. Bu süreçteki yapıcı eleştiriler ve samimi tavsiyeler sayesinde çok şey öğrendim.

Hayatım boyunca ve özellikle üniversite öğrenimimde her koşulda beni destekleyen, sorgusuz güvenen ve daima yanımda olan aileme,

tanıdığım günden itibaren her türlü yardımı sağlayan, bilgi ve tecrübeleri ile çalışmalarına ışık tutan, değerli hocam Sayın Prof. Dr. Muharrem YILMAZ'a,

çalışmalarım sırasında destek ve yardımlarını esirgemeyen Çelik Halat ve Tel Sanayi A.Ş ailesine,

teşekkürü bir borç bilirim.

Aralık – 2019

Efkan ÇİÇEK

İÇİNDEKİLER

| | |
|---|------|
| ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR | i |
| İÇİNDEKİLER | ii |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | iv |
| TABLolar DİZİNİ | v |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ | vi |
| ÖZET..... | viii |
| ABSTRACT..... | ix |
| GİRİŞ | 1 |
| 1. İLK ÇAĞLARDA TEL ÇEKME İŞLEMİ | 3 |
| 2. ÇELİĞİN FİLMAŞİN HALİNE GETİRİLMESİ | 5 |
| 3. FİLMAŞİNİN TEL HALİNE GETİRİLMESİ | 7 |
| 3.1. Filmaşin Kalite Kontrolü | 7 |
| 3.2. Yüzey Hazırlama | 8 |
| 3.2.1. Kimyasal yüzey hazırlama | 8 |
| 3.2.2. Mekanik yüzey hazırlama | 9 |
| 3.2.2.1. Makara yöntemi..... | 9 |
| 3.2.2.2. Basınçlı su yöntemi | 9 |
| 3.2.2.3. İndüksiyon yöntemi..... | 10 |
| 3.3. Tel Çekme İşlemi..... | 10 |
| 3.3.1. Kuru tel çekme makinesi..... | 11 |
| 3.3.2. Sulu tel çekme makinesi..... | 12 |
| 3.4. Tavlama | 14 |
| 4. TEL ÇEKME İŞLEMİNDE TELİN PERFORMANSI ETKİLEYEN FAKTÖRLER | 16 |
| 4.1. Yapıda Bulunan Elementlerin Etkisi | 16 |
| 4.1.1. Karbon..... | 16 |
| 4.1.2. Mangan..... | 16 |
| 4.1.3. Silisyum..... | 17 |
| 4.1.4. Fosfor | 17 |
| 4.1.5. Kükürt..... | 17 |
| 4.1.6. Bakır | 17 |
| 4.2. Malzemede Bulunan İnküzyonların Etkisi | 17 |
| 4.2.1. İç kaynaklı inküzyonlar | 18 |
| 4.2.2. Dış kaynaklı inküzyonlar | 18 |
| 4.2.3. İnküzyon tipleri | 19 |
| 4.2.3.1. Silikat tipi inküzyonlar | 20 |
| 4.2.3.2. Alümina tipi inküzyonlar | 20 |
| 4.2.3.3. Sülfür tipi inküzyonlar | 21 |
| 4.2.3.4. Oksit tipi inküzyonlar..... | 22 |
| 4.3. Yağlayıcıların Etkisi | 22 |
| 4.3.1. Sabunların özellikleri ve türleri..... | 23 |
| 4.3.2. Sabun seçimi | 24 |
| 4.4. Çekme Haddeleri ve Hadde Dizaynı | 27 |

| | |
|--|----|
| 4.4.1. Hadde malzemesi | 27 |
| 4.4.2. Haddenin kısımları | 27 |
| 4.5. Isı Kontrolü..... | 30 |
| 5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI VE ÇALIŞMA KONUSUNUN TANIMLANMASI..... | 33 |
| 6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR | 36 |
| 6.1. Numune Temini ve Numunelerin Kompozisyonları | 36 |
| 6.2. Mikroyapı Analizi..... | 37 |
| 6.3. Kalıntı Analizi | 43 |
| 6.4. Sertlik Analizi..... | 44 |
| 6.5. Çekme Testi | 46 |
| 6.6. Torsiyon Testi..... | 49 |
| 6.7. SEM Analizi | 51 |
| 6.8. Torsiyon Testinin Modellenmesi..... | 53 |
| 6.9. Torsiyon Testi Regresyon Analizi..... | 55 |
| 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER | 60 |
| KAYNAKLAR | 62 |
| KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER | 65 |
| ÖZGEÇMİŞ | 66 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | | |
|-------------|--|----|
| Şekil 1.1. | Geçmişte tel çekme işleminin yapılışı | 3 |
| Şekil 2.1. | Filmaşın üretimi akış şeması..... | 5 |
| Şekil 3.1. | Tel üretimi akış şeması | 7 |
| Şekil 3.2. | Hadde dizaynı | 11 |
| Şekil 3.3. | Kuru tel çekme makinesinin şematik gösterimi..... | 11 |
| Şekil 3.4. | Kuru tel çekme makinesi düzeneği | 12 |
| Şekil 3.5. | Tel ve hadde arasında yağlayıcının konumu..... | 12 |
| Şekil 3.6. | Sulu tel çekme makinesi şematik gösterimi..... | 13 |
| Şekil 3.7. | Sulu tel çekme makinesindeki haddeler..... | 13 |
| Şekil 3.8. | Sulu tel çekme makinesi | 14 |
| Şekil 4.1. | Çelikteki karbon oranının mekanik özelliklere etkisi. | 16 |
| Şekil 4.2. | İnklüzyon tipleri..... | 19 |
| Şekil 4.3. | İnklüzyon tipleri ve dereceleri | 20 |
| Şekil 4.4. | Tungsten karbür çekme malzemeleri | 27 |
| Şekil 4.5. | Hadde dizaynı | 28 |
| Şekil 4.6. | Doğru temas noktası | 29 |
| Şekil 4.7. | Hatalı temas noktası..... | 29 |
| Şekil 4.8. | Hatalı temas noktası..... | 30 |
| Şekil 4.9. | Tel boyunca ve tel kesitinde sıcaklık dağılımları | 31 |
| Şekil 4.10. | 7 m/s tel çekme hızında haddedeki sıcaklık dağılımı | 31 |
| Şekil 5.1. | % soğuk deformasyon ve mekanik özelliklerin ilişkisi | 33 |
| Şekil 6.1. | Deneylerde kullanılan çelik filmaşın ve nihai çelik tel numuneleri | 37 |
| Şekil 6.2. | Kesme cihazı..... | 38 |
| Şekil 6.3. | Kesimi yapılan numuneler | 38 |
| Şekil 6.4. | Sıcak bakalit cihazı | 38 |
| Şekil 6.5. | Zımpara ve parlatma cihazı..... | 39 |
| Şekil 6.6. | Zımpara ve parlatma işlemi yapılan numuneler | 39 |
| Şekil 6.7. | Optik mikroskop | 40 |
| Şekil 6.8. | A, B ve C çelik filmaşın numunelerinin mikroyapı görüntüleri..... | 41 |
| Şekil 6.9. | A, B ve C çelik nihai tel numunelerinin mikroyapı görüntüleri | 42 |
| Şekil 6.10. | A, B ve C numunelerinin kalıntı uzunlukları..... | 44 |
| Şekil 6.11. | Sertlik ölçüm noktaları..... | 45 |
| Şekil 6.12. | Sertlik ölçme cihazı | 45 |
| Şekil 6.13. | Çekme testi numuneleri | 47 |
| Şekil 6.14. | Çekme cihazları | 48 |
| Şekil 6.15. | Torsiyon test cihazı | 50 |
| Şekil 6.16. | Torsiyon testinde karşılaşılan kopma türleri..... | 51 |
| Şekil 6.17. | Numunelerin SEM görüntüleri | 52 |

TABLULAR DİZİNİ

| | |
|---|----|
| Tablo 3.1. Banyo ortam koşulları ve malzemenin bekleme süresi | 8 |
| Tablo 4.1. Farklı ortamlar için sabun seçimi..... | 26 |
| Tablo 6.1. Numunelerin kimyasal kompozisyonları | 36 |
| Tablo 6.2. Numunelerin kalıntı oranı ve kalıntı çapı | 44 |
| Tablo 6.3. Numunelerin sertlik değerleri | 46 |
| Tablo 6.4. A, B ve C numunelerinin çekme test sonuçları | 49 |
| Tablo 6.5. A, B ve C numunelerinin torsiyon performansları | 50 |
| Tablo 6.6. Tüm numunelerin deneysel sonuçları | 54 |
| Tablo 6.7. Regresyon analizinde kullanılan veriler | 55 |
| Tablo 6.8. Kademeli regresyon sonuçları | 56 |
| Tablo 6.9. P değerinin yorumlanması | 57 |
| Tablo 6.10. Regresyon analizi ile bulunan torsiyon tur sayıları | 58 |
| Tablo 6.11. Torsiyon tur sayılarının karşılaştırılması | 59 |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

| | |
|---|--|
| °C | : Santigrat derece |
| ϵ_p | : Soğuk deformasyon oranı, (%) |
| 3MnO.Al ₂ O ₃ .SiO ₂ | : Spersortit |
| A ₀ | : Telin haddeye giriş kesiti, (mm) |
| A ₁ | : Telin haddeden çıkış kesiti, (mm) |
| A ₁₀₀ | : Kopma uzaması, (%) |
| Al | : Alüminyum |
| Al ₂ O ₃ | : Alümina |
| AlN | : Alüminyum Nitrür |
| C | : Karbon |
| CaO.SiO ₂ | : Pisedo-Vallastonit |
| CaS | : Kalsiyum Sülfür |
| Cr | : Krom |
| Cu | : Bakır |
| F ₂ O ₃ | : Hematit |
| Fe ₃ O ₄ | : Manyetit |
| FeCl ₂ | : Demir II Klorür |
| FeO | : Demiroksit |
| FeS | : Demir sülfür |
| H ₂ SO ₄ | : Sülfürik Asit |
| HCl | : Hidroklorik Asit |
| HV | : Vickers Sertliği |
| J | : Joule |
| Mn | : Mangan |
| MnO | : Mangan Oksit |
| MnO.SiO ₂ | : Radonit |
| MnS | : Mangan Sülfür |
| Mo | : Molibden |
| Ni | : Nikel |
| P | : Fosfor |
| R _{P0,2} | : %0,2 plastik şekil değişimindeki akma noktası, (MPa) |
| S ₀ | : Telin ilk kesit alanı, (mm ²) |
| S ₁ | : Telin son kesit alanı, (mm ²) |
| Si | : Silisyum |
| TiN | : Titanyum Nitrür |
| TiS | : Titanyum Sülfür |

Kısaltmalar

| | |
|-----|---------------|
| µm | : Mikro metre |
| Ağr | : Ağırlıkça |

| | |
|------|---|
| ASTM | : American Society for Testing and Materials (Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu) |
| Dk | : Dakika |
| EN | : Euro Norm (Avrupa Standartı) |
| IF | : Interstitial Free (Arayer Atomu İçermeyen Çelikler) |
| ISO | : International Organization for Standardization (Uluslararası Standartlar Teşkilatı) |
| Kg | : Kilogram |
| M | : Metre |
| Mm | : Milimetre |
| MPa | : Mega Paskal |
| S | : Saniye |
| SEM | : Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu) |
| SEN | : Submerged Entry Nozzle (Gizli Giriş Nozulu) |
| TS | : Türk Standartı |
| Vb | : Ve benzeri |

KARBON ORANININ ALAŞIMSIZ ÇELİK FİLMAŞINLERDEN ELDE EDİLEN TEL ÜRÜNLERİN PERFORMANSINA ETKİSİ

ÖZET

Bu çalışmada alaşimsız çelik filmaşinlerden elde edilen tel numunelerin servis performansına etki eden faktörlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla % 0,70, % 0,75 ve % 0,86 C içeren farklı üretim filmaşinlere (farklı mikroyapı ve kalıntı dağılımı gösteren filmaşinler) kuru tel çekme işlemi uygulanarak farklı özelliklere sahip teller üretilmiştir. Tel çekme işleminde her bir filmaşin için başlangıç filmaşin çapı, nihai ürün tel çapı gibi ortam parametreleri sabit tutulmuş, yalnızca filmaşin kompozisyonu ve mikroyapısı farklı olan tel üretimi gerçekleştirilmiştir. Teste tabi tutulan her bir grup filmaşin için öncelikle mikroyapı incelemeleri ve mekanik testler gerçekleştirilmiştir. Mikroyapı incelemeleriyle performans testleri öncesi filmaşinlerin başlangıç mikroyapısı ve kalıntı dağılımları belirlenmiştir. Takiben aynı numunelere çekme testi ve sertlik testleri uygulanarak mikroyapıdaki ve karbon oranındaki farklılıkların beraberce etkileri ortaya konmuştur. Ayrıca nihai ürün olan tellerin performansının belirlenmesi için her bir gruptaki tellere ayrıca torsiyon (burulma) testi uygulanmıştır. Performansı belirleyecek olan burulma testi sonuçları mekanik testlerle birlikte değerlendirilmiştir. Nihai çelik tellere uygulanan burulma testi sonuçları modellenerek karbon oranı, mikroyapı, kalıntı dağılımı ve kalıntı büyüklüğü parametrelerinin performans üzerindeki etkileri belirlenmeye çalışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Alaşimsız Çelik Filmaşin, Çelik Tel, Modelleme, Tel Çekme, Torsiyon.

THE EFFECT OF CARBON RATE ON PERFORMANCE OF WIRE PRODUCT MANUFACTURED FROM UNALLOY STEEL ROD

ABSTRACT

In this study, it was aimed to determine the factors affecting the service performance of wire samples obtained from unalloyed steel wire rods. For this purpose, different types of wire rods (0.70%, 0.75% and 0.86% C) (wire rods showing different microstructure and residue distribution) were applied to dry wire drawing process and wires with different properties were produced. In the wire drawing process, ambient parameters such as starting wire diameter, end product wire diameter were kept constant for each wire rod, only wire production with different wire composition and microstructure was realized. Microstructure examinations and mechanical tests were performed for each group of wire rods tested. Initial microstructure and residue distributions of the wire rods were determined by microstructure examinations before the performance tests. Then, tensile test and hardness tests were applied to the same samples and the effects of the differences in microstructure and carbon ratio were demonstrated together. In addition, torsion test was applied to the wires in each group to determine the performance of the final product wires. The results of torsion test which will determine the performance were evaluated together with mechanical tests. Torsion test results applied to the final steel wires were modeled to determine the effects of carbon content, microstructure, residue distribution and residue size parameters on performance.

Keywords: Unalloy Steel Wire Rod, Steel Wire, Modeling, Wire Drawing, Torsion.

GİRİŞ

Eski zamanlarda tel çekme işleminin yumuşak metallerin dövülüp şekil verildikten sonra bir delikten geçirilerek yapıldığı düşünülmektedir. Günümüz yöntemlerine bakıldığında ise filmaşın olarak adlandırılan tel çekme işlemine giren kalın çelik teller çok daha gelişmiş teknikler kullanılarak daha ince tel haline getirilmektedir [1].

Tel çekme işlemi, istenilen nihai çapta ve istenilen mekanik özelliklere sahip çelik tel elde etmek için en etkili yöntemlerden biri olduğu kabul edilir [2]. İşlem, dökümü yapılan çeliğin haddelenerek filmaşın haline getirilmesi ile başlar. Çelik filmaşın daha sonra asit banyolarında yıkanarak tufal tabakasından arındırılır. Temizlenen filmaşın tel çekme makinesinde istenilen nihai çapa gelinceye kadar ardışık haddelerden geçirilir. Bu aşamada deformasyon oranına bağlı olarak ara tavlama işlemine ihtiyaç duyulabilir [1].

Tel çekme işlemi, çelik telin konik biçimli ardışık kalıp serisinden geçerek hacmi aynı kalacak şekilde enine kesitinin düşürülmesinden oluşur. Çekme işlemi sırasında, malzemeye plastik bir deformasyon uygulanır [3]. Tel çekme işlemiyle birlikte çelik tellerde bu deformasyon kaçınılmazdır. Bu deformasyon sırasında metal, yüzeyinden başlayarak sertleşir, dayanıklılık ve mukavemet değerlerinde artış gözlenir [4].

Çelik teller günümüzde her sektörde kullanılan bir malzemedir. Bu çelik teller nihai ürün halinde veya ara ürün halinde şekil verilerek kullanılabilir. Bunlar, tel formu başta olmak üzere otomotiv, beyaz eşya, yatak ve koltuklarda, araç lastiklerinde ve halat imalatı gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır [3].

Çelik tellerin kullanım alanına göre yeterli mukavemette olması istenmektedir. Tel ürünler kullanım esnasında çekme, basma, kayma, yorulma gibi çeşitli gerilmelere maruz kalırlar. Yüksek çekme mukavemeti, çelik tellerin bu gerilmelere dayanmasını sağlar. Bununla birlikte, çelik tellerin kullanım yerine göre, belirli bir kayma direnci seviyesine sahip olmaları istenmektedir [5].

Çelik tellerin kayma dayanımını ve kayma kırılma gerilimini değerlendirmek için torsiyon testleri yapılmaktadır. Bu testler, malzemenin kendi etrafında ne kadar burulduktan sonra kaymaya uğradıklarını dolayısıyla kaç turdan sonra kırıldıklarını göstermektedir. [6].

Çelik tellerin performansını gerilmeler karşısında gösterdikleri direnç ortaya koyar. Nihai ürün olarak kullanılan çelik teller servis esnasında ağırlıklı olarak burulma, yorulma gibi etkilere maruz kalırlar. Bu çalışmada çelik tellerin performansı belirlemek amacıyla çelik tellere torsiyon testini yapılarak performansın belirlenmesi amaçlanmıştır. Torsiyon test cihazı ile ölçülen performansa değerleri modellenerek yukarıda sayılan parametrelere göre tellerin performansı ortaya konmuştur.

1. İLK ÇAĞLARDA TEL ÇEKME İŞLEMİ

Tel, günümüzde hemen her alanda kullanılan bir ürün olarak hayatımıza girmiştir. Müzik aletleri, ambalaj sektörü, iletkenlik uygulamaları vb. gibi direkt kullanımının dışında Yarı mamul olarak halat, yay, çivi, perçin gibi uygulamalarda da kullanımı yaygındır.

Telin kullanımına bakıldığında milattan önce 3000'li yıllara kadar uzanan bir geçmişi olduğu düşünülmektedir. O zamanlarda telin, yumuşak metallerin dövülüp şekil verildikten sonra bir delikten (haddeden) geçirilmesi ile inceltildiği olasılığı üzerinde durulmaktadır [1].

Günümüz tel çekme prosesine yakın sayılabilecek ilk tel çekme işlemi bulguları Nurembergli Rudolph'un çalışmalarında rastlanmıştır. 1350'li yıllarda kullanılan bu yöntemde teli birkaç haddeden geçirerek incelttiği bilinmektedir. Şekil 1.1'de bu işlemin figüre dökülmüş hali verilmiştir [7]. Daha sonra bu mekanizmayı su kuvveti ile çalışan bir mekanizma haline getiren Rudolph ve başka sanatkârlar ile bu işlemi önemli bir endüstriyel işlem haline getirmişlerdir.



Şekil 1.1. Geçmişte tel çekme işleminin yapılışı [7]

Tel çekme işlemi endüstriyel boyut kazandıktan sonra üreticiler daha nitelikli ürünler üretmek için çaba göstermişlerdir. Bunun için öncelikle metalin haddelerden daha kolay geçmesi gerektiğini ve yüzeyinde oluşan ısının azaltılması gerektiğini düşünmüşlerdir. Bunun sonucunda yağlayıcı kullanımına geçilmiştir. Yağlayıcı olarak ilk olarak hayvan yağları kullanarak üretim yapılmıştır. Bunun yanı sıra donyağı ve zift benzeri maddeler kullanmışlardır.

1800'lü yıllarda endüstri devrimi ile birlikte tel çekme işleminde de yenilikler görülmeye başlanmıştır. İlk ardışık hadde serisi kullanımı 1862 yılında George Bedson tarafında gerçekleştirilmiş ve başarılı sonuçlar alınmıştır [1]. Bu çalışma sonucunda 45kg'lık kangalların üretimi mümkün kılınmıştır.

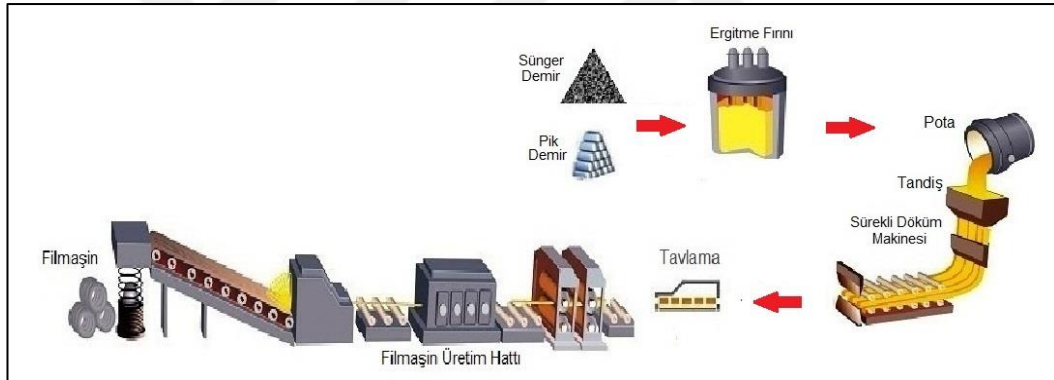
Tel çekme işlemi, endüstride kendine yer buldukça üretim kapasitelerinin artışı da kaçınılmaz olmuştur. Ancak o günkü kullanılan hadde malzemeleri yeterince sert değildi ve üretim miktarlarının artmasıyla birlikte çok çabuk eskiyorlardı. Bu problemin giderilmesi için ilk kez 1925 yılında hadde malzemesi olarak elmasa benzer bir malzeme Amerika'da kullanılmaya başlanmıştır. 1929 yılından itibaren ise tungsten karbürden yapılmış haddeler Amerika'da üretilmeye başlanmıştır [1].

Tel çekme işleminde sürtünmeyi azaltan, haddenin daha uzun ömürlü olmasını sağlayan ve teli dış ortamdan koruyan yağlayıcı kimyasallar ise her geçen gün geliştirilmektedir. Günümüz endüstrilerinde katı (toz) sabunların yoğunlukla kullanıldığı ancak sıvı yağlayıcıların da proseslerde kendini gösterdiği bilinmektedir.

Geçmişte yapılan işlemlerden günümüz teknolojisine gelinceğinde tel çekme işleminin ne kadar değiştiği ve kullanılan tekniklerin gelişimini görebiliriz. Gelecekte tel çekme işleminde neler olur bilinmez ancak yapılan her şeyin ürün kalitesinin artırılması ve insanların refahı için olduğu aşikâr.

2. ÇELİĞİN FİLMAŞIN HALİNE GETİRİLMESİ

Filmaşinin istenen kompozisyonlarda olabilmesi için uygun hammaddelere ihtiyaç vardır. Üreticiler, müşteri isteklerine göre değişik kompozisyonlarda filmaşin üretebilirler. İstenilen kompozisyonda filmaşin üretmek için tüm hammaddeler ergitme fırınına atılarak ergitme işlemine tabi tutulur. Ergimiş metal bir potaya boşaltılır ve oradan sürekli döküm makinesinin tandişine aktarılır. Ergiyik sürekli döküm makinesinden geçerken kalıpların şeklini alarak katılaşmaya başlar. Katılaşması sona eren metal, filmaşin üretimi için istenen uzunluklarda kesilir. Ergiyik metalin katılaşması için havada soğutma veya suyla sprey soğutma gibi değişik prosesler mevcuttur. Filmaşin üretimi akış şeması Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Filmaşin üretimi akış şeması [8]

İstenen uzunlukta kesilen metal, filmaşin üretim hattına girmeden önce tavlama işlemine tabi tutulur. Bu tavlama metal homojenizasyon sıcaklığına çıkartılır. Bu tavlama işleminde malzeme içerisinde kimyasal bileşim farklılıklarını gidermek ve malzemenin daha iyi şekil alabilmesi amaçlanır [9]. Uzun bir işlem (6-50 saat) olması sebebiyle maliyetlidir. Ancak yapılmadığı takdirde ciddi problemlere yol açmaktadır. Tavlama işlemi biten metal filmaşin üretim hattına verilir. Burada metale hem merdanelerle hem de karbür haddelerle şekillendirme işlemi uygulanır. Merdanelerde osilasyon (salınım) hareketi sağlayarak metalin ilerlerken dönmesini sağlar. Bu sayede metalin yuvarlaklaştırılması sağlanır. Karbürli haddeler ise metali istenilen çapa getirmek için kullanılır. Bu yöntemle istenilen çapta filmaşin üretimi

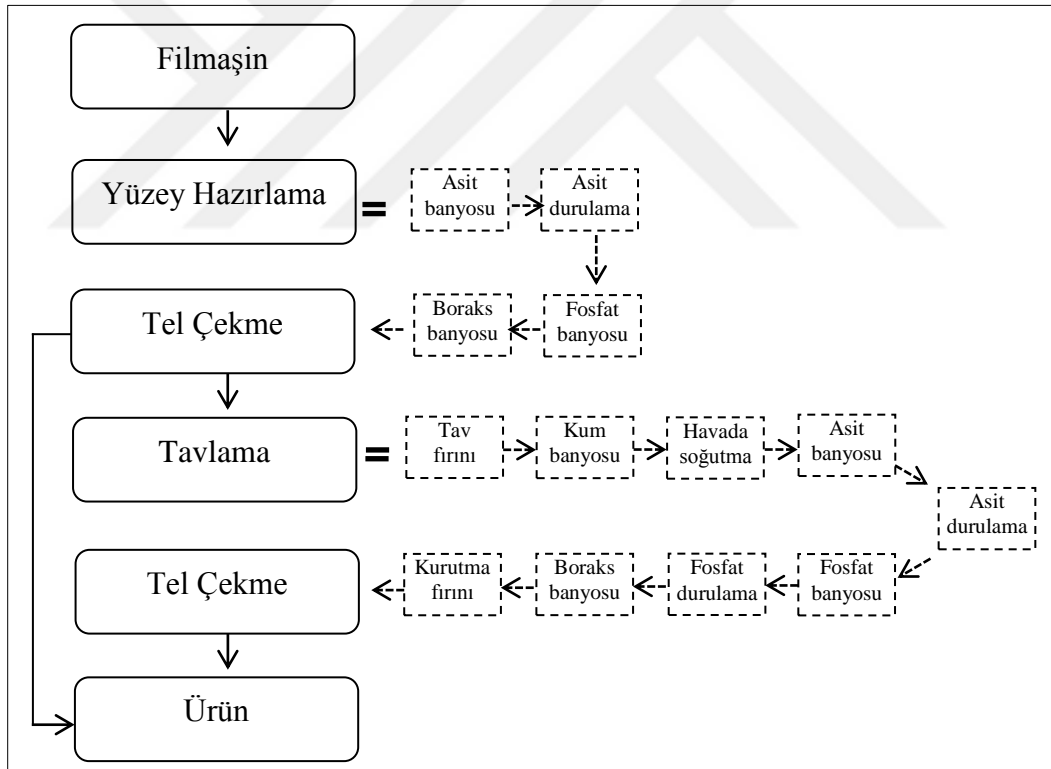
mümkündür. Genellikle 5,50 mm çapında üretimi olsa da çok bu çaptan küçük olmamak koşuluyla çok daha büyük çaplarda filmaşınların üretimi sağlanabilir. Filmaşınlar istenen ağırlıkta kangallar halinde üretilebilir ancak genel üretimi kangal ağırlığı 1200-1300 kg civarındadır [1]. Buradaki karbürlü haddelerle filmaşın üretimi ve filmaşının tel haline getirilmesini sağlayan makinelerin çalışma mantığı aynıdır. Bu makinelere ve çalışma mantıklarına bir sonraki konuda değinilecektir.



3. FİLMAŞININ TEL HALİNE GETİRİLMESİ

Tel çekme prosesinde izlenen adımlar kadar malzemenin tedarigi de büyük önem taşımaktadır. Güvenilir bir firmadan alınan filmaşinlerle yapılan çalışmalarda ürünler daha stabil ve kaliteli çıkarken, güvenilirliği tartışılan bir firmadan tedarik edilen filmaşinlerden kaliteli ürün çıkmayabilir. Bu da gösteriyor ki iyi bir tel üretebilmek için tedarik adımı da oldukça önemlidir.

Tedarigi gerçekleştirilen filmaşin, tel haline gelinceye kadar bazı işlemlerden geçer. Yapılan bu işlemler Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Tel üretimi akış şeması

3.1. Filmaşin Kalite Kontrolü

Tel çekme prosesinde kullanılacak filmaşinler ilk olarak kalite kontrol testlerine tabii tutulur. Burada mikroyapı analizi, sertli ve çekme testi gibi testler yapılarak tedarik

edilen malzemenin üretimi yapılacak olan ürünler için yeterli özellikte olup olmadığına karar verilir. Filmaşınların test sonuçları istenen aralıkta değerler verdiği takdirde tel çekme proses aşamalarına geçilebilir.

3.2. Yüzey Hazırlama

Tedarik edilen filmaşın kangallarında dökümle üretilmelerinden kaynaklı yüzeylerinde bir tufal tabakası vardır. Bu tabaka farklı katmanlardan oluşmaktadır. Bu katmanlar filmaşından dışa doğru; FeO, Fe₃O₄, F₂O₃ olarak sıralanır. Bu tabakanın tel çekme işlemi öncesi temizlenmesi gerekmektedir. Aksi takdirde tel yüzeyinde çatlamlar, telin korozyon direncinin düşmesi, hadde hasarları gibi problemler olabilir. Bu tabakanın temizlenmesi farklı yollarla yapılabilir.

3.2.1. Kimyasal yüzey hazırlama

Tufal tabakasını kaldırmak için asitli çözeltiler (banyolar) kullanılmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta tufal tabakasının kalınlığıdır. Bu kalınlığa göre asit banyosunun derişimi, kangalların çözeltide tutulma süresi ve çözelti sıcaklığı ayarlanır belirlenir. Banyo çözelti şartları ve malzemenin banyoda bekleme süresi Tablo 3.1’de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Banyo ortam koşulları ve malzemenin bekleme süresi [1]

| Asit | Karışım miktarı (%) | Banyoda bekleme süresi (dk) | Banyonun sıcaklığı (°C) |
|--------------------------------|---------------------|-----------------------------|-------------------------|
| H ₂ SO ₄ | 8-20 | 20-40 | 50-90 |
| HCl | 8-15 | 20-30 | 15-30 |

Kangallar asit banyosuna daldırıldığında birbirleri üzerine yığılmalar yaşanabilir. Bu durumun önüne geçmek için kangalları banyoya daldırırken kullanılan aparattan hava üflenerek banyonun karışması ve asidin eş zamanlı olarak kangalın iç yüzeyinde her yere teması sağlanabilir. Tufal tabakasının filmaşın üzerinde eşit kalınlık göstermemesi durumlarında malzemenin bazı bölgelerinde henüz tufal tabakası kalkmazken diğer bölgelerinde tufal tabakası çoktan kalkmış ve malzeme asitle temasa geçmiş olabilir ve bu durum dekapaj kırılabilirliği meydana getirebilir. Bu durumu ortadan kaldırmak için banyoya stabilizör denilen dekapaj katkıları eklenir [1].

Banyodan çıkarılan kangallar asitten temizlenmek amacıyla sıcak suyla durulanır. Burada sıcak su, filmaşın üzerinde kalan $FeCl_2$ ' ü daha iyi temizler ve bir sonraki aşama olan fosfat banyosuna kangalın sıcak olarak girmesini sağlayarak fosfat kaplamasının daha hızlı gerçekleşmesine olanak sağlar.

Durulaması yapılan kangallar sıcaklığı 65-75 °C olan fosfat banyosuna alınır. Filmaşın yüzeyine fosfat kaplamanın amacı, teli korozyona karşı korumak ve tel çekme sırasında sabunun tel yüzeyine daha iyi yapışmasını sağlayarak sürtünmeyi ve dolayısıyla oluşacak ısıyı azaltmaktır.

Kangallar, fosfat banyosunun ardından boraks banyosuna daldırılır. Boraks banyosu diğer banyolara göre pahalı olmasına rağmen vazgeçilmezdir. Çünkü filmaşın yüzeyinde daha önceki banyolardan asit kalmışsa boraks banyosu onu nötralize eder. Boraks banyosundan sonra filmaşın yüzeyinde asit kalmaz ve malzemeler bir sonraki adım için hazırdır.

3.2.2. Mekanik yüzey hazırlama

Asit banyolarının, insan ve hayvan sağlığına zararlı etkileri olduğu kadar çevresel sorunlara da yol açtığı bilinmektedir. Bu yüzden bu yöntemin yerine mekanik işlemlerle yüzey temizleme yöntemleri geliştirilmiştir.

3.2.2.1. Makara yöntemi

Makaralar ile tufal tabakasının temizlenmesi yönteminde artarda sıralı ve altlı üstlü dizilmiş makara düzeneği kullanılır. Filmaşının ucu bu makaralara verilir ve filmaşın yön değiştirdikçe tufal tabakası dökülür. Tüm kangalın makaralardan geçmesini beklemek uzun bir işlem olacağı için yüksek tonajlı işletmelerde tercih edilmez.

3.2.2.2. Basınçlı su yöntemi

Bu yöntem, malzeme yüzeyine eş eksenli su püskürmesi uygulayarak tufal tabakasının dökülmesi esasına dayanır. Filmaşının bütün yüzeyine işlem uygulanmalıdır aksi takdirde tufal tabakası kaldırılamaz ve prosesin ilerleyen adımlarında aksaklıklar meydana gelir.

3.2.2.3. İndüksiyon yöntemi

Alternatif akım uygulayarak malzeme üzerinde elektrik alan oluşturma esasına dayanır. Oluşturulan indüksiyon akımları malzeme yüzeyinde faklı genleşmelere sebep olur ve tufal tabakası bu genleşmelerle yüzeyden ayrılır. Diğer mekanik yüzey temizleme yöntemlerine göre pratik bir yöntem olsa da daha maliyetlidir.

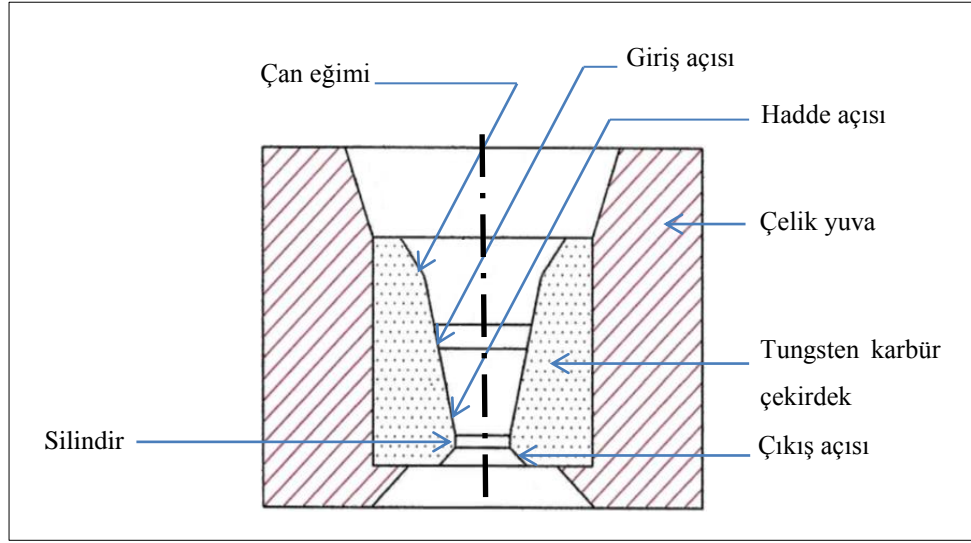
3.3. Tel Çekme İşlemi

Tel çekme işlemi, çelik telin konik biçimli ardışık kalıp serisinden geçerek hacmi aynı kalacak şekilde enine kesitinin düşürülmesinden oluşur. Çekme işlemi sırasında, malzemeye plastik bir deformasyon uygulanır [3].

Tel çekme işlemiyle birlikte çelik tellerde plastik deformasyon kaçınılmazdır. Bu deformasyon sırasında metal, yüzeyinden başlayarak sertleşir, dayanıklılık ve mukavemet değerlerinde artış gözlenir [4].

Yüzey temizleme işlemi yapılmış olan filmaşinler artık tel çekme işlemi için hazırdır. Tel çekme işlemi iki farklı makinede yapılabilir. Genel olarak istenen nihai çap 1,5 mm ve üzeri ise bu işlemde kuru tel çekme makineleri kullanılırken, daha ince çaplara inmek için sulu tel çekme makineleri kullanılmaktadır. Kuru tel çekme veya sulu tel çekme makinesi olsun her makinenin inebileceği çap değeri farklılık göstermektedir. Küçük çap farklılıkları için makine üzerinde ince ayarlamalar yapılabilir.

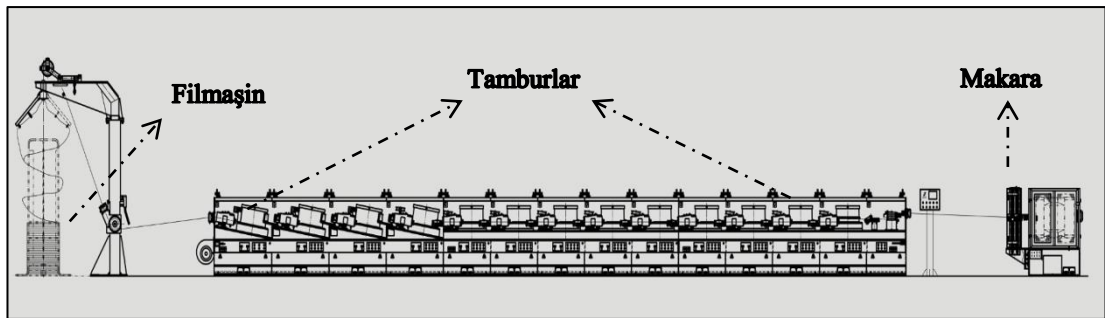
Tel çekme işlemi yapılırken telin çapını incelten yapıya çekme matrisi (hadde) denir. Tel bu haddelerden geçerek nihai çapa iner. Ardışık haddeler kullanılarak bu işlem tekrarlanır. Tel çekme haddesinin şematik gösterimi Şekil 3.2'de verilmiştir [10]. Hadde dizaynının yanlış yapıldığı durumlar çekme işleminin performansını dolayısıyla ürünün performans ve kalitesini etkiler.



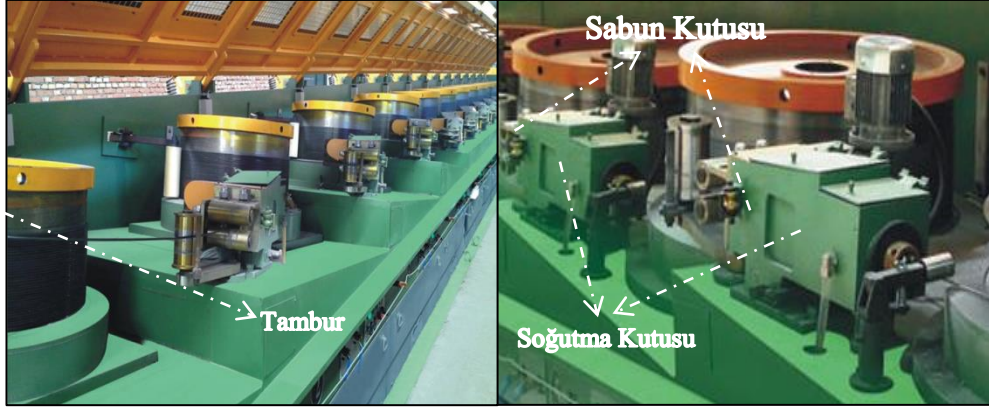
Şekil 3.2. Hadde dizaynı [10]

3.3.1. Kuru tel çekme makinesi

Kuru tel çekme makinesinin şematik gösterimi Şekil 3.3'te verilmiştir. Burada filmaşın kangalları bir sepet düzeneği ile makineye bağlanır. Filmaşınların makineye bağlanmasında öncelikle filmaşına uç açma işlemi uygulanarak makineye rahat girmesi amaçlanır. Daha sonra bu uç ilk haddeden geçirilerek tambura sarılır (Şekil 3.4). Tambura sarılmasındaki amaç, telin bir sonraki haddeye girene kadar soğumasını ve iç yapının iyileşmesini sağlamaktır. Tel, tamburun 2/3'üne kadar sarılmalıdır. Bu nokta çok önemlidir çünkü tambura yeterli yükseklikte sarılmayan teller soğumaya vakit bulamazlar ve bu durum problemlere yol açar. Ardışık tamburlara bağlanan teller son tamburdan geçirildikten sonra makaraya bağlanır ve makine çalıştırılır. Burada makinenin çalışma hızı prosese göre değişkenlik gösterse de çalışma aralığı 1-7 m/s arasındadır.

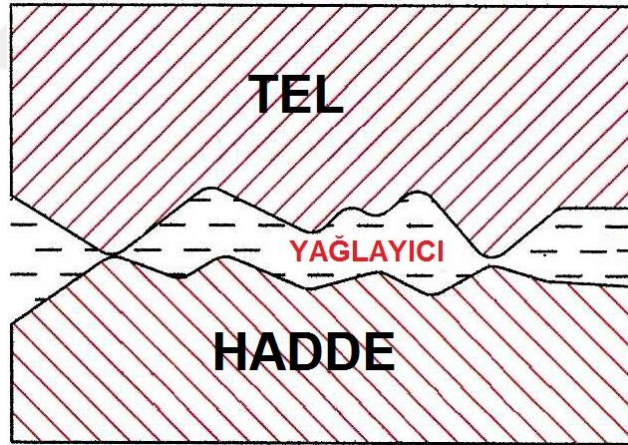


Şekil 3.3. Kuru tel çekme makinesinin şematik gösterimi [11]



Şekil 3.4. Kuru tel çekme makinesi düzeneği [11]

Kuru tel çekme makinesini sulu tel çekme makinesinden ayıran unsurların başında yağlayıcı (sabun) türü, çalışma ortamı ve ürün çapı vardır. Kuru tel çekme makinelerinde genellikle sodyum bazlı sabunlar kullanılmaktadır. Ürün kalitesini artırmak amaçlı kalsiyum bazlı sabunlarla da karışım yapıldığı görülmüştür. Bu sabunlar tel ve hadde arasında yerleşerek sürtünmeyi azaltıcı etki yapar (Şekil 3.5) [10].

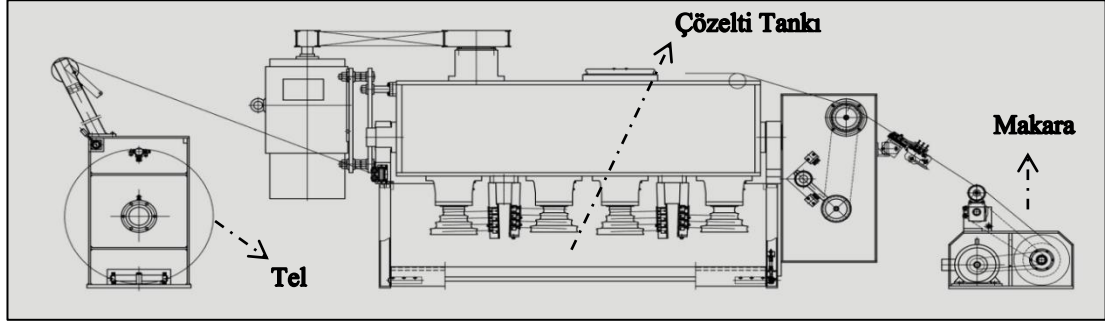


Şekil 3.5. Tel ve hadde arasında yağlayıcının konumu [10]

3.3.2. Sulu tel çekme makinesi

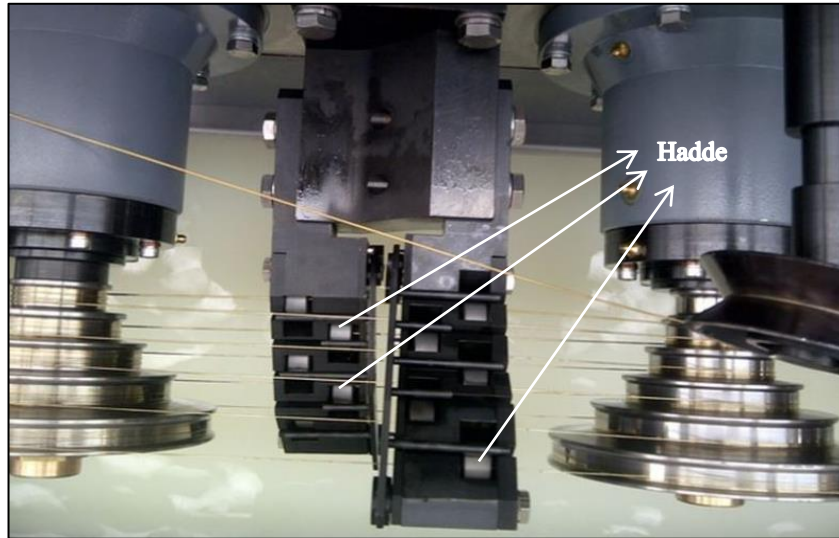
Sulu tel çekme makinesinin şematik gösterimi Şekil 3.6'da verilmiştir. Bu makinelerin kuru tel çekme makinelerinden en bariz farkı tambur, sabun ve soğutma kutularının olmaması bunun yerine bir çözelti tankı olmasıdır. Buradaki bir başka fark ise makineye filmaşın değil tel bağlanarak üretim yapılır. Bu tel, kuru tel çekme makinelerinden çıkıp tavlama işlemine tabi tutulduktan sonra da burada

kullanılabildiği gibi tavlama işlemi olmadan da burada kullanılabilir. Bu durum tamamen malzemedeki pekleşmeyle alakalıdır. Bu durum prosesten prose değişkenlik gösterir.



Şekil 3.6. Sulu tel çekme makinesi şematik gösterimi [12]

Tele, kuru tel çekme makinesinde olduğu gibi uç açılır, haddelerden geçirilir ve makaraya sarımı elle yapılır. Daha sonra makaraların bulunduğu silindirler çözeltiye daldırılır ve makine çalıştırılır. Makine çalışırken haddeler çözeltinin içerisindedir ve soğuma bu şekilde sağlanır. Buradaki çözeltinin içeriğinde yağlayıcı olarak sodyum bazlı sabunlar kullanılmaktadır. Şekil 3.7'de sulu tel çekme makinesindeki haddeler gösterilmiştir. Şekil 3.8'de sulu tel çekme makinesini çalışır vaziyetteki hali verilmiştir.



Şekil 3.7. Sulu tel çekme makinesindeki haddeler [13]



Şekil 3.8. Sulu tel çekme makinesi [14]

3.4. Tavlama

Tavlama işlemi, tel çekme prosesinin gerekli olduğu aşamalarda uygulanır. Kuru tel çekme işleminde beslenecek filmanın çapı ile çıkacak ürün çapı arasındaki soğuk deformasyon oranına (ϵ_p) göre işlem yapılır. Tel çekme işlemi hiç tavlama işlemi olmadan yapılabildiği gibi, belirli bir çapa kadar inildikten sonra teller ara tavlama kademesine tabi tutularak da tel çekme işlemine devam edilebilir. Ara tavlama kademesi yapılmadığı takdirde deformasyon oranının artmasıyla malzemenin akma dayanımı ve sertliği yükselmektedir. Soğuk deformasyon miktarı büyüdükçe malzeme daha da sertleşecek ve şekil alma kabiliyetinde azalma yaşanacaktır. Soğuk deformasyon oranı hesaplanarak ara kademe tavlamaya ihtiyaç olup olmadığına karar verilir. Soğuk deformasyon oranı Denklem (3.1)'e göre hesaplanmaktadır [10].

$$\text{Soğuk deformasyon oranı} = \epsilon_p = \ln \frac{S_0}{S_1} \quad (3.1)$$

Burada S_0 telin ilk kesiti, S_1 telin son kesitini ifade etmektedir.

Tavlama işlemi 850-1100 °C aralığında yapılır. Fırında ilerleyen teller daha sonra 400-500 °C aralığındaki akışkan kum yatağa girerek soğuma sağlanır. Soğuyan tellerde sorbit yapısının elde edilmesi amaçlanır. İşletmelerde eskiden akışkan kum yatağın yerine kurşun banyoları tercih edilmekteydi. Kurşunun insan sağlığına zararı düşünüldüğünde artık bu uygulamadan vazgeçilmiştir.

Akışkan kum yataktan çıkan teller çözelti banyolarına giderken havada soğuması sağlanır. Bu banyolar sırasıyla asit banyosu, fosfat banyosu ve boraks banyosudur. Banyolardan çıkan teller kurutma fırının ardından tel çekme işlemi için hazırdır. Bu banyolarla yüzey temizlemede kullanılan banyoların amaçları aynıdır. Tel çekme işlemi öncesi bu banyoların kullanılması şarttır.

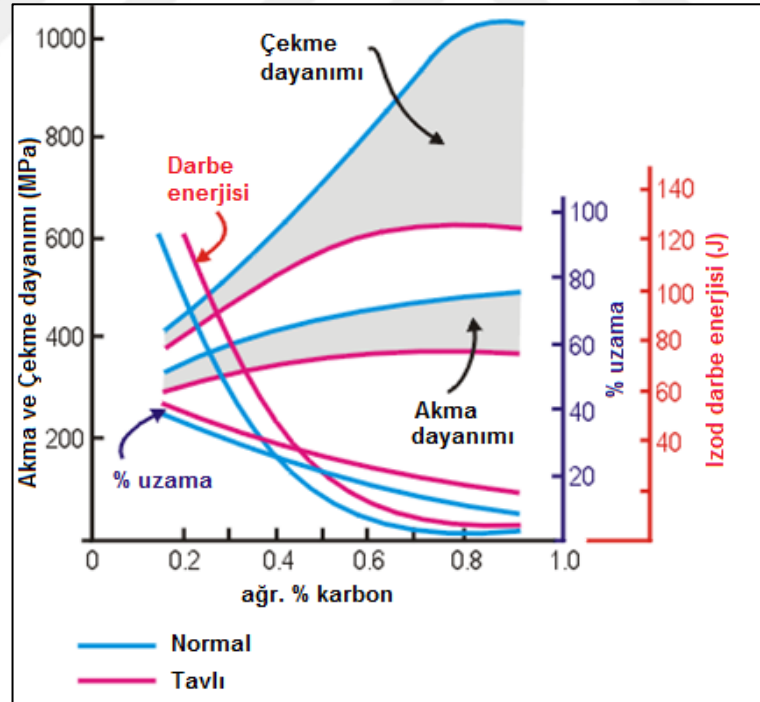


4. TEL ÇEKME İŞLEMİNDE TELİN PERFORMANSI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

4.1. Yapıda Bulunan Elementlerin Etkisi

4.1.1. Karbon

Karbon, çelikte ana alaşım elementi olarak bulunur ve mekanik özelliklere etkisi en çok olandır. Yapıda karbon oranının artmasıyla birlikte çeliğin, sertliği, akma ve çekme dayanımı artar. Bununla birlikte % uzama, ve darbe enerjisi değerlerinde azalma görülür. Şekil 4.1’de çelikteki karbon oranının mekanik özelliklere etkisi toplu halde gösterilmiştir. Bunlara ek olarak karbon oranının artmasıyla tel malzemenin kaynak kabiliyetinde ve talaşlı işleme kabiliyetinde azalmalar olduğu bilinmektedir.



Şekil 4.1. Çelikteki karbon oranının mekanik özelliklere etkisi [15]

4.1.2. Manganez

Yapıya katıldığında çeliğin akma ve çekme dayanımını, sıcak şekillendirme ve kaynak kabiliyetini artırıcı yönde etki yapmaktadır. %3'e kadar olan Mn ilavelerinde

her bir %1'lik mangan ilavesi yapıya 100 N/mm²'lik bir akma dayanımı artışı sağlamaktadır. %3-8 mangan ilavesinde dayanım artışı daha düşük oranlarda olurken, mangan oranı %8 ve üzerine çıkıldığında dayanım düşer. %12-14 oranlarında mangan ilavesi malzemede östenit yapı oluşturarak karbonla birlikte aşınmaya karşı yüksek dayanım gösteren malzemeler elde edilir [1].

4.1.3. Silisyum

Çeliklerin yapısında düşük oranlarda da olsa her zaman bulunan elementlerden biridir. Çelik üretiminde deoksidan olarak kullanılır. Yapısına katıldığı çeliğin sertliğini, akma ve çekme dayanımı artırır. Silisyum oranı %12'nin üzerinde olursa malzemenin sıcak ve soğuk ortamlarda asite karşı dayanımını yükseltir [1].

4.1.4. Fosfor

Çeliğin yapısına girdiği takdirde giderilmeye çalışılan oldukça zararlı bir elementtir. Çeliğin tokluğunu düşürerek kırılgan olmasına yol açar. Tel çekme işleminde istenmeyen bir elementtir. Fosfor, sadece otomat çeliklerinde talaşları kırılgan yapması ve pik dökümlerde akışkanlığı artırdığı için istenen bir elementtir.

4.1.5. Kükürt

Hammaddelerde bulunduğu için çelik üretimi sırasında genellikle yapıya katılan istenmeyen bir elementtir. Malzemeyi gevrek ve kırılgan yapar. Malzemenin sertliğini artırarak % uzama oranını düşürür. Bu durumun tel çekme işlemlerinde kopmalara neden olduğu bilinmektedir.

4.1.6. Bakır

Yapısına katıldığı çeliğin akma ve çekme dayanımını artırmakla birlikte, % uzama ve sıcak şekillendirme kabiliyetini düşürür. Bakır, korozyona karşı dirençli bir element olduğundan yapısına katıldığı çeliği de korozyona karşı korur.

4.2. Malzemede Bulunan İnküzyonların Etkisi

İnküzyon veya bir başka deyişle kalıntı, çeliğin katılaşması sırasında iç veya dış kaynaklı olarak yapıya katılan safsızlıklardır. Bu safsızlıklar, çeliğin yapısında bulunan elementlerin yol açtığı oksit, silikat ve sülfür kalıntıları olabileceği gibi, dökümden gelen safsızlıklar da olabilir. Safsızlıkların oluşturacağı bu inküzyonlar çeliğin yapısında genellikle katı halde bulunurlar. İnküzyonların termal genişleme

katsayıları, % uzama değerleri, sertlik ve mukavemet gibi mekanik özellikleri yapısına katıldığı çeliğin mekanik özellikleriyle farklı olması sebebiyle tel çekme işlemi esnasında problemlerle karşılaşılır.

İç kaynaklı inklüzyonlar, demir içerisinde çözünemeyen, metalik olmayan fazların katılaşmadan önce veya katılaşma sırasında oluşan doğal çökeltilerdir. Dış kaynaklı inklüzyonlar ise sıvı çelik içerisinde, yabancı maddelerden oluşan metal dışı bileşiklerdir. Gaz ile karıştırma ve cüruf kontrolü yolları ile inklüzyon sayısı ve yoğunluğu azaltılabilmekte, biçimleri değiştirilerek olumsuz etkileri azaltılabilmektedir [16].

4.2.1. İç kaynaklı inklüzyonlar

Çelik üretiminde reaksiyonlar sonucu yapıda oluşan bu kalıntılara iç kaynaklı inklüzyonlar denir. Inklüzyonun bileşimini çeliğin bileşimi belirler. Ancak bu durum alüminyum ile söndürülmüş çeliklerde, $Al \geq 0.008\%$ olan çeliklerde, Al_2O_3 ve Mn ve Si ile söndürülmüş çeliklerde SiO_2 veya $MnO \cdot SiO_2$ 'dir. Çeliğin yapısına titanyum katıldığı takdirde TiN yapısı oluşur ve bu yapı paslanmaz çelikler ile IF çeliklerinde problemlere yol açar. MnS, AlN ve çeşitli karbürler dökümün soğuması ve katılaşması esnasında oluşurlar. Bu tip iç kaynaklı inklüzyonlar daima kullanılan deoksidan ve oksijen miktarı ile dengelidir. İç kaynaklı inklüzyonlar, kullanılan deoksidanın tipine göre sıvı veya katı formda olabilir [17].

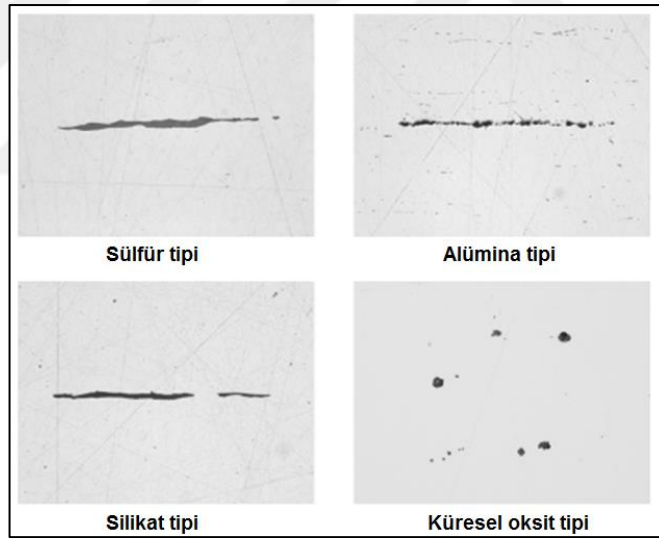
4.2.2. Dış kaynaklı inklüzyonlar

Bu tip inklüzyonlar refrakter erozyonu ve cüruf sıkışması gibi çeliğin dışından kaynaklanan inklüzyonlardır. Bu Inklüzyonların meydana gelmesi cüruf-metal ara yüzeyindeki hava akımı veya dökümü gerçekleştirilen çelikle refrakter arasındaki uygunsuzluklarla ilgilidir. Dış kaynaklı inklüzyonlar ya refrakter ya da cüruf tabakasının elementlerini içerebileceği gibi her ikisinin de elementlerini içerebilen kompleks oksitlerdir. Sıkışmış sıvı cüruf veya cüruf ve çeliğin refrakter ile reaksiyonu sonucu oluşan inklüzyonlar sıvı formda olurken termal şok veya aşınma gibi nedenlerle refrakterin hasara uğraması sonucu oluşan inklüzyonlar daha çok katı formdadırlar. Dış kaynaklı inklüzyonların boyutları kaynağına bağlı olarak 20-50 μ m aralığında değişmektedir [17].

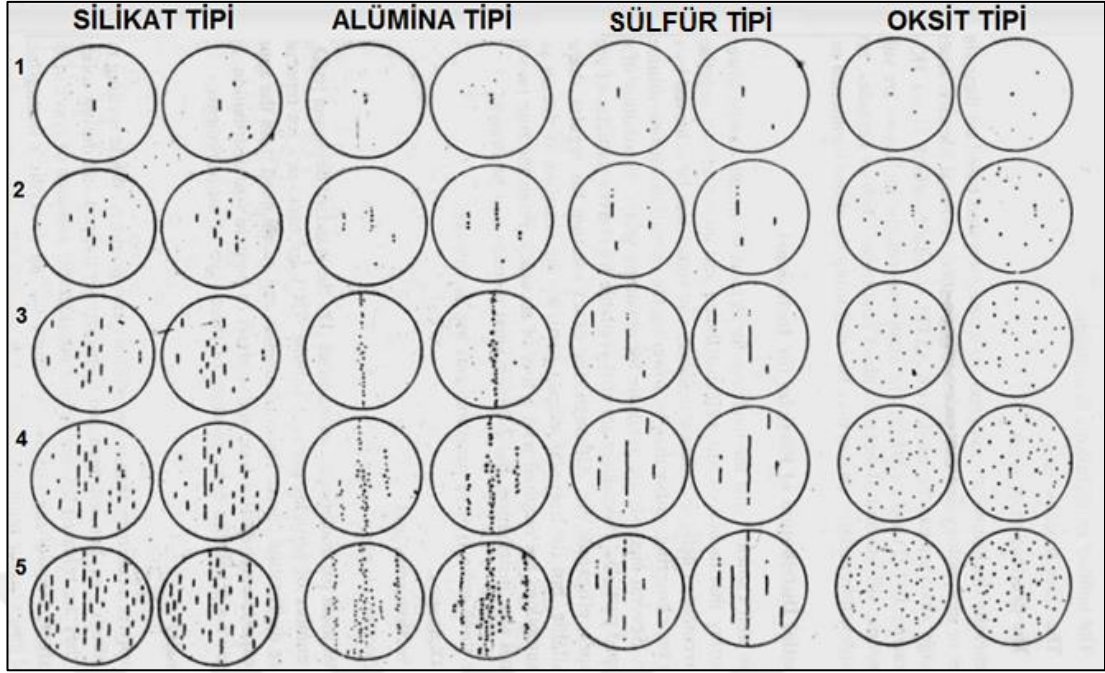
Sürekli döküm yöntemiyle elde edilen çeliklerde 20-150 µm aralığındaki kalıntıların artışı çelikte temizlik problemlerine yol açar. Böylesine büyük inklüzyonların sebepleri olarak, nispeten uygun olmayan karıştırma, refrakter erozyonu veya cüruf sıkışması gibi durumlar sayılabilir. Hiçbir problemle karşılaşmamak için 4 µm çapından küçük çapta inklüzyon içeren çelik üretmekten geçer [18].

4.2.3. İnküzyon tipleri

İnküzyonlar ASTM E45'e A, B, C ve D olarak 4 sınıfa ayrılırlar. Bunlar, Sülfür (A), Alümina (B), Silikat (C) ve Küresel oksit tipi (D) inklüzyonlardır (Şekil 4.2). Bu inklüzyonlar da derecesine göre ise 5 sınıfa ayrılır (Şekil 4.3). Malzemelerin kalite kontrolleri yapılırken birinci ve ikinci seviyede kalıntı içeren malzemeler az tehlikeli sınıfta görülerek proseslerde kullanılmasına izin verilir. İkinci seviyenin üzerindeki kalıntı içeren malzemeler ise tehlikeli sınıfına girer ve proseslerde kullanılmalarına izin verilmez.



Şekil 4.2. İnküzyon tipleri [19]



Şekil 4.3. İnküzyon tipleri ve dereceleri [20]

4.2.3.1. Silikat tipi inklüzyonlar

Silikatlar, özellikle daha sonraki bir aşamada ısıtılma işlem görmesi gerekiyorsa çeliklere çok zararlı olan inklüzyon tipidir. Silikatlara, demir, mangan, krom, alüminyum ve tungsten oksitler ve ayrıca kristalimsi silikatların katılmasıyla çeliğin yapısında gevrek bileşikler oluşturabilirler. Silikatlar, metalik olmayan inklüzyonlar arasındaki en büyük gruptur. Sıvı çelikte metalik olmayan inklüzyonlar katı veya sıvı haldedir.

4.2.3.2. Alümina tipi inklüzyonlar

Alümina, her ne kadar oksit bileşiği olsa da inklüzyonları ayrıca değerlendirilir. Dökümü gerçekleştirilen çelikler genellikle alüminyum ile söndürülmüştür. Buradaki alümina deoksidasyon ve yeniden oksitlenme proseslerinden gelmektedir. Tandışe dökümü açık olarak yapılan çeliğin yeniden oksitlenmesi buradaki ana problemdir. Eğer döküm esnasında ara verilirse ya da pota ve tandışe arası mesafe artırılsa oksitlenme daha da artar. Bu gibi faktörler yapıdaki alümina miktarını artırır. Bu artışın sonucunda kalıba dökülen alüminalı döküm tozu yağlanma özelliklerini olumsuz etkiler ve yollukta kanamaya sebep olabilir. Alümina oranını azaltıcı birçok yöntem denenmiş ancak potadan tandışe akan çeliği kapalı bir nozuldan geçiren,

SEN (Submerged Entry Nozzle) yönteminin verimi yüksek olduğundan en çok kullanılan yöntemdir [17].

Çok düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilen dökümlerde yoğun merkezi segregasyondan kaçınılmasına rağmen düşük tandiş sıcaklıkları inklüzyonların yüzmesini zorlaştırır. Alümina inklüzyonlarının oluşmaması için vakumda gaz giderme yöntemiyle inklüzyonların yüzdürülmesi sağlanır [17].

4.2.3.3. Sülfür tipi inklüzyonlar

Sülfür kalıntıları, tel çekme sırasında malzemede çatlama ve kırılma problemlerine yol açmaktadır. Proses anında çatlama veya tel kırıkları olmasa dahi kalıntılar tel çekme esnasında uzamış olurlar. Söz konusu uzayan kalıntılar nihai ürünün sertliğini artırır ve hadde yönüne dik doğrultudaki tokluğu önemli ölçüde düşürürler [21].

Sülfür kalıntılarının en tehlikelisi mangan sülfür (MnS) olmakla beraber diğer türleri demir sülfür (FeS), kalsiyum sülfür (CaS), titanyum sülfür (TiS)'dür.

Mangan Sülfür (MnS): Mangan sülfür inklüzyonları yapıda üç şekilde bulunur.

1.tip MnS, çeliğin katılaşması sırasında oluşan iç kaynaklı inklüzyonlardır. Haddeleme sıcaklığında plastiktirler ve deforme olurlar. Yapıda bulunan mangan ve sülfür içeriği arttıkça inklüzyon miktarında da artış görülür [22].

2.tip MnS, bu inklüzyon tipi ise tamamen söndürülmüş çeliklerin yapısında bulunur. Bundan dolayı sürekli dökümü gerçekleştirilen çoğu çelikte görülmektedirler. 1.tip MnS inklüzyonlarına nazaran daha yumuşaktırlar. 2.tip MnS'ler haddeleme esnasında doğrusal dizilim gösterirler ve boyuna çatlamalara sebep olurlar. Haddelemede görülen bu durum, mamülün kesitinin daraltıldığı durumlarda çok daha tehlikelidir. Bu durumlarda MnS'lerin boyu uzar ve dolayısıyla mekanik özelliklere olumsuz yönde etki yaparlar. Bundan dolayı %0.005 S olarak sınırlandırma getirilmiştir [17].

3.tip MnS, alüminyum ile söndürülmüş çeliklerin yapısında interdendritik katı partiküller halinde görülen yapılar 3.tip MnS'lerdir. Bu yapılar çok iyi şekil alabilme özelliğine sahiptir. Çelikteki niyobyum içeriğinin artışı ile 2.tip MnS'ler 3.tip MnS'ye dönüşür. Düşük Mn/S oranı sebebiyle FeS'ler de MnS'lerle birlikte bulunabilir. İç çatlakları beraberinde getiren bu durumdan kurtulmak için sülfürler

homojen olarak dağıtılmalıdır. Bu sağlamak için nisbeten daha yavaş ve sabit hızda döküm yapılmalıdır [17].

4.2.3.4. Oksit tipi inklüzyonlar

Çelik bünyesinde her zaman karışık oksitler bulunmaktadır. Sürekli dökümle üretilen çeliklerde yaygın olarak görülen oksitli inklüzyonlardan bazıları,

Spersortit ($3\text{MnO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2$), Derin çekilebilirliği etkilemeyen, sıcak deforme olabilen yumuşak bir inklüzyon tipidir. Bu inklüzyon tipine bazik oksijen fırınından sonra alınan ray çeliği numunelerinde rastlanmıştır. Bu inklüzyon tipinin önlenmesi için çeliğin oksidasyonu önlenmelidir.

Radonit ($\text{MnO}\cdot\text{SiO}_2$), Silikatın çökmesi sonucu 1000°C 'nin üzerindeki sıcaklıklarda kırılındır. Deforme olmayan, kristal yapıda inklüzyonlardır. Sıcak işlem sırasında çatlak başlangıcı ve ilerlemesinden sorumludurlar [17].

Pisedo-Vallastonit ($\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$), Yüksek mukavemetli lastik tellerinin üretimi için özel geliştirilmiş pota rafinasyonu uygulamasında istenen inklüzyon türüdür. Erime noktaları düşüktür.

Tridimit (SiO_2), Yay çelikleri üretimi yapılırken tercih edilen inklüzyon tipidir. Bu durumda çalışma süresince yorulma ömrünü garanti etmek için alümina olmamalıdır. Bu durum düşük alüminalı refrakter ve sentetik flaks kullanımı için aşılmıştır.

Demiroksit (FeO), Uzun süre beklemiş slabların haddelenmiş ürünlerinde veya sürekli döküm makinesinde üretilen slablarda görülen bu oksit slab tablama prosesinde oluşmaktadır. Soğuk haddelenmiş bobinlerin yüzeyinde beyaz çizgisel yüzey kusuru oluşturur [17].

4.3. Yağlayıcıların Etkisi

Tel çekme işleminde yağlayıcı madde olarak genellikle sabunlar kullanılmaktadır. Bu sabunlar hadde sabunu adıyla da bilinir. Görevleri, tel ve hadde arasında kalarak (bkz. Şekil 3.5) sürtünmeyi en aza indirmektir. Tel, haddeye girmeden önce sabun kutusundan geçer. Burada telin üzerinde katı sabun tozları yapışır ve haddeye birlikte girerler. Haddeleme işlemi esnasında oluşan ısı telin üzerindeki sabun tozlarını eritir ve sabunun telin üzerinde sıvanarak haddeden çıkması sağlanır. Burada hem telin

haddeye sürtünmesinin önüne geçilir hem de telin haddeden daha kolay geçmesi sağlanır.

Sabunların görevi sadece tel ve hadde arasında kalarak yüzeyler arasındaki sürtünmeyi azaltmak değildir. Bilindiği üzere teller, tel olarak dahi birçok alanda kullanıldığı gibi tellerden de birçok ürün yapılmaktadır. Örneğin daha sonra çivi yapımında kullanılacak olan bir telin yüzeyinde mümkün olduğunca kalın bir sabun tabakasına ihtiyaç duyulurken, kaplama işlemine tabi tutulacak olan telin yüzeyinde daha ince bir sabun tabakası istenir [1].

4.3.1. Sabunların zellikleri ve türleri

Çalışma ortamı dşnldğinde sabunlar, yüksek ısıya ve basınca maruz kaldıkları için bu ortamlara dayanıklı olmaları en temel özellikleridir. Bu zelliklerinin dışında hadde sabunlarının özelliklerini belirleyen başlıca faktörler vardır. Bunlar, sabunun baz metali, kullanılan yağın cinsi ve miktarı, tanecik büyüklüğü, katkı maddeleri ve imalat yöntemidir.

Haddeleme işleminde kullanılan sabunlar baz metaline göre 3 ana gruba ayrılır,

Kalsiyum bazlı sabunlar, suda znmeyen sabunlardır. Saf halde yumuşama sıcaklıkları 145-165°C civarında olup düşük tel çekme hızlarında kullanılır. Genellikle tel çekme makinesinde ilk haddelerinde kullanılır.

Sodyum bazlı sabunlar, suda znen sabunlardır. Saf halde yumuşama sıcaklıkları 140-160°C civarında olup yüksek tel çekme hızlarında kullanılır. Sodyum bazlı sabunlara belirli oranlarda kireçle reaksiyona girerek kalsiyum sabunlarını oluşturur.

Alüminyum bazlı sabunlar, suda znmeyen sabunlardır. Saf halde yumuşama sıcaklıkları 140-160 °C civarında olup genellikle vida, civata üretiminde kullanılacak tellerin çekilmesinde kullanılır [1].

Kullanılacak yağ cinsi sabunun yumuşama noktasını belirler. Bu yumuşama noktası genellikle 40-60°C aralığında olup yağın cinsine göre değişmektedir. Yağın miktarına gelindiğinde ise, yağın miktar arttıka tel çekme işleminde sonra tel yüzeyinde kalan sabun tabakası inceleşir. Genel olarak oluşabilecek yüksek ısının etkilerini indirgemek için yağ miktarı yüksek tutulur. Bir başka deyişle yüksek karbonlu çeliğin çekilmesi işleminde yağ miktarı yüksek sabunlar tercih edilir [23].

Tanecik büyüklüğü ise sabun tozlarının sabun kutusunda hareketini kolay yapmasında ve telin üzerinde homojen yapışmasında büyük öneme sahiptir. Sabun tozları genellikle küçük taneciklerden oluşmaktadır. Ancak çok küçük tanecikler sabunun kalıplaşarak tel üzerine yapışmasına engel olabilir.

Katkı maddeleri, farklı prosesler için sabunların özelliklerini değiştirmek için çeşitli maddeler ilave edilebilir. En sık kullanılan katkı maddeleri, kireç, boraks, kalsiyum karbonat ve sodyum karbonattır. Örneğin, yapıya kireç ilavesi yapılarak sabun tabakasının kalınlığı kontrol edilebilir. Yapılan araştırmalara göre sabuna %75 civarında kireç katılmışken sabun tabakasının en kalın haline ulaştığını göstermiştir. Aynı çalışmada kireç oranı %30'un altına indiğinde sabun tabakasının incelendiği gözlenmiştir.

Son faktör ise imalat yöntemidir. Aynı malzemeleri farklı yöntemlerle işleyerek birbirinden tamamen ayrı iki ürün üretmek mümkündür.

4.3.2. Sabun seçimi

Sabun seçimi yaparken göz önünde bulundurulması gereken bazı faktörler vardır. Bunların en başında çekme işlemi yapılacak olan malzeme gelmektedir. Malzemenin karbon oranına göre kullanılacak sabun türü de değişmektedir. İkinci bir nokta ise yüzey hazırlama işleminin nasıl yapıldığıdır. Eğer yüzey hazırlama işlemi asitler ve banyolar kullanılmadan yapılmışsa yani tel mekanik yüzey hazırlama maruz bırakıldıysa telin yüzeyine fosfat ve boraks olmadığı için bu gibi durumlarda kullanılan sabunlarla, asitli çözeltiler kullanılarak yüzey hazırlama işlemi gerçekleştirilen tellere kullanılacak sabunlar farklılık göstermektedir.

Bir başka önemli nokta ise tel çekme işleminde telin kaç adet haddeden geçtiğidir. Telin her bir haddeden geçişi telin ısınımsını artıracak için kullanılacak sabun da o ısıya göre olmalıdır. Ayrıca çekme makinesinin soğutma tipinin hava mı yoksa su mu olduğunu bilmek de bu noktada önemlidir. Bununla alakalı olarak tel çekme hızı da kullanılacak sabunun türünü belirleme bir faktördür. Dakikada 300 metre tel çeken makinede kullanılacak sabunlar dakikada 1200 metre tel çeken makinede kullanılacak sabun farklı olmalıdır. Çünkü haddelerin ısınması dolayısıyla sabunun eriyip erimemesi söz konusudur. 1200 m/dk'da kullanılan sabun 300 m/dk ile çalışan makinede kullanıldığında sabunun erimemesi ve tele iyi sıvanmaması söz konusu

olabilir. Sabun seçiminde dikkat edilmesi gereken son nokta ise nihai üründür. Üretilecek her ürünün sabunu aynı değildir. Örneğin daha sonra çivi yapımında kullanılacak olan bir telin yüzeyinde mümkün olduğunca kalın bir sabun tabakasına ihtiyaç duyulurken, kaplama işlemine tabi tutulacak olan telin yüzeyinde daha ince bir sabun tabakası istenir. Farklı durumlar ve ortamlarda kullanılacak sabunlar Tablo 4.1’de verilmiştir.



Tablo 4.1. Farklı ortamlar için sabun seçimi [1]

| Malzeme | Yüzey Hazırlama | Tel Çekme Hızı | Toplam Hadde Sayısı | Kullanım Yeri | Tavsiye Edilen Sabun |
|-----------------------|---|----------------|---------------------|---------------------------|---|
| Düşük karbonlu çelik | Mekanik kırma | 450 m/dk | 1-3 | İnşaat çivisi, tel örgü | Yağ oranı düşük, yumuşama sıcaklığı orta değerde olan kalsiyum sabunu iken Makinenin eski olması, malzemenin kötü kalite olması halinde basınç yükseltici bazı katkı maddeleri kullanılabilir. |
| Düşük karbonlu çelik | Mekanik kırma | 450-1350 m/dk | 3-8 | Çivi, çok ince tel örgüsü | Yağ oranı düşük veya orta, yumuşama sıcaklığı yüksek kalsiyum sabunu. |
| Düşük karbonlu çelik | Asitle temizlenip, sabun taşıyıcı ile kaplanmış | 300-1500 m/dk | 2-8 | Kaplanacak tel | Sodyum bazlı sabun, kalın sabun tabakası gerekiyorsa yağ oranı düşük, yumuşama sıcaklığı orta değerde, kalsiyum sabunu; ince sabun tabakası gerekiyorsa yağ oranı yüksek, yumuşama sıcaklığı orta değerde kalsiyum sabunu |
| Muhtelif metaller | Asitle temizlenip, sabun taşıyıcı ile kaplanmış | Yavaş | 1 | Vida, civata | Alüminyum stearatlı sabun |
| Yüksek karbonlu çelik | Mekanik kırma | < 600 m/dk | Birden fazla | Yay | Yağ oranı orta, yumuşama sıcaklığı yüksek, kalsiyum sabunu |
| Yüksek karbonlu çelik | Asitle temizlenip, sabun taşıyıcı ile kaplanmış | İsteğe bağlı | Birden fazla | Yay, çelik halat | 600 m/d veya daha düşük hızlarda ilk paso için yağ oranı yüksek, yumuşama sıcaklığı orta değerde olan kalsiyum sabunu 300-1200 m/d arası hızlarda müteakip kafalarda çekmek için yağ oranı yüksek, yumuşama sıcaklığı orta veya yüksek olan sodyum bazlı sabun. |

4.4. Çekme Haddeleri ve Hadde Dizaynı

4.4.1. Hadde malzemesi

Tel çekme işleminde kullanılacak olan hadde malzemesinin sürtünmelerden dolayı aşınamayacak kadar sert ve yüksek akma ve çekme dayanımına sahip olması istenir. Bu özellikleri taşıyan ve genellikle kullanılan hadde malzemesi tungsten karbürdür. Tungsten karbürün bu alanda kullanılmasında bu özelliklerinin dışında başka özellikleri de vardır. Basma kuvveti sertleştirilmiş çelikten bile daha fazladır, genişleme katsayısı çeliğin yarısı kadardır, ayrıca tungsten karbürün yüzeyi çok hassas şekilde dahi kolaylıkla işlenebilir. İşte bu özelliklerinden dolayı tungsten karbür hadde malzemesi olarak kullanılmaktadır ve haddenin ömrünü uzatmaktadır. Şekil 4.4'te tungsten karbür çekme matrisleri verilmiştir.

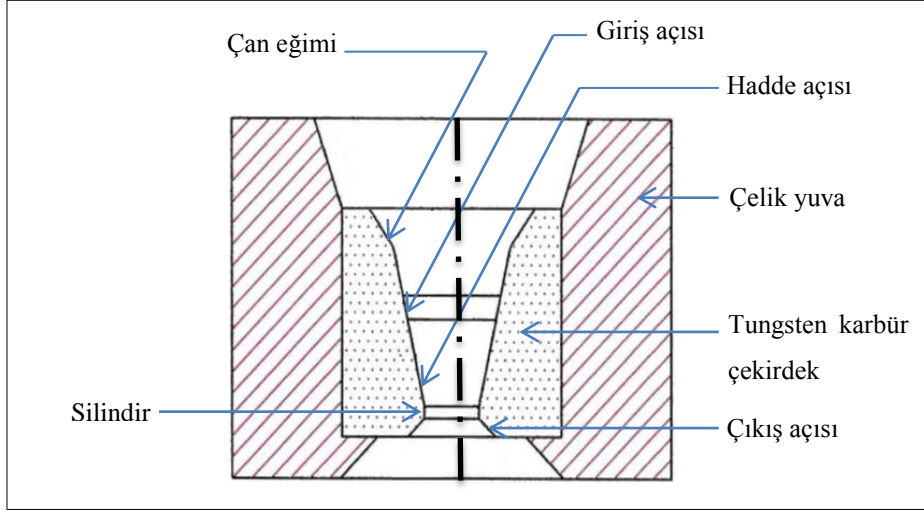


Şekil 4.4. Tungsten karbür çekme malzemeleri [24]

Tungsten karbür dışında haddenin yapısında bağlayıcılık görevi görmesi için belirli oranlarda kobalt kullanılmaktadır. Bu oranda değişiklik yaparak farklı özellikte çekme haddeleri yapmak mümkündür. Haddenin çekirdeği tungsten karbür ve kobaltın toz halde vakumlanıp sinterlenmesi ile üretilir [25].

4.4.2. Haddenin kısımları

Bir tel çekme haddesini oluşturan ana unsurlar çan eğimi, giriş açısı, hadde açısı, silindir (kavrama) ve çıkış açısı olarak sıralanabilir. Şekil 4.5'te hadde dizaynının şematik çizimi verilmiştir.



Şekil 4.5. Hadde dizaynı [10]

Çan eğimi, tel çekme işleminde haddeye doğru gelen tele bir anlık temas ederek telin hadde açısına uygun biçimde yönlendirilmesinde görevlidir.

Giriş açısı, tel çekme işlemi esnasında sabun tozlarının akışını hadde açısına doğru iletmede görevlidir. Bir haddenin giriş açısı genellikle 60-90° aralığındadır. Geniş ölçekli çekirdekler için uzunluk, toplam uzunluğun 1/6'sından, dar ölçekli çekirdekler için toplam uzunluğun 1/3'üne kadar değişebilmektedir [25].

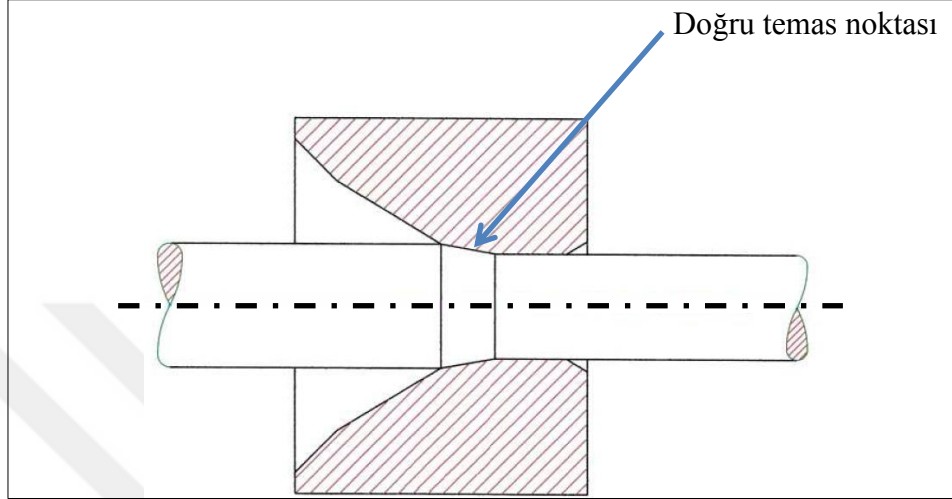
Hadde açısı, hadde dizaynında en önemli kısım burasıdır. Tel çekme işleminde telin inceltildiği ve sabunun tel yüzeyine sıvandığı kısımdır. Hadde açısının dizaynı çekilecek olan malzemeye ve malzemedeki gerçekleşecek %redüksiyona göre yapılır. Optimum matris açısı Denklem (4.1)'e göre hesaplanır.

$$X = \frac{1}{2} \left\{ 3\mu \ln \frac{A_0}{A_1} \cdot \frac{1 + \ln \frac{A_0}{A_1}}{2 + \ln \frac{A_0}{A_1}} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (4.1)$$

Burada μ , sürtünme katsayısı, A_0 t elin haddeye giriş kesiti, A_1 telin haddeden çıkış kesitidir. Hadde açısı genellikle 6-15° aralığında alınır [25].

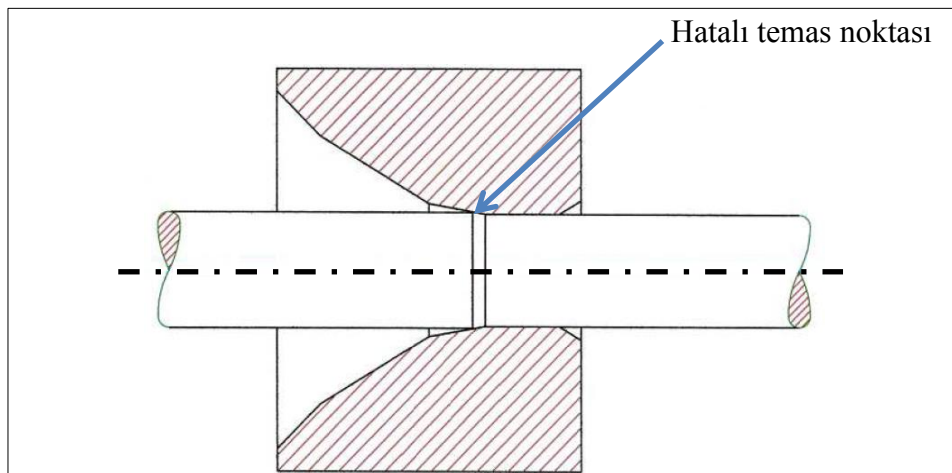
Hadde açısını dizaynında göz önünde bulundurulması gereken bir diğer önemli faktör "Temas Noktası"dır. Tel hadde açısı kısmının ortasında veya mümkün olduğunca orta kısmına doğru bir noktada hadde cidarıyla temas etmelidir. Bu sayede

hem yeterli sabunun akışına izin verilir hem de yeterli basınç sağlanarak sabunun en iyi şekilde sıvanması sağlanır. Ayrıca bu sayede telin mümkün olan en geniş yüzeyde deformasyonuna izin verilir. Şekil 4.6'da olması gereken temas noktası gösterilmiştir.



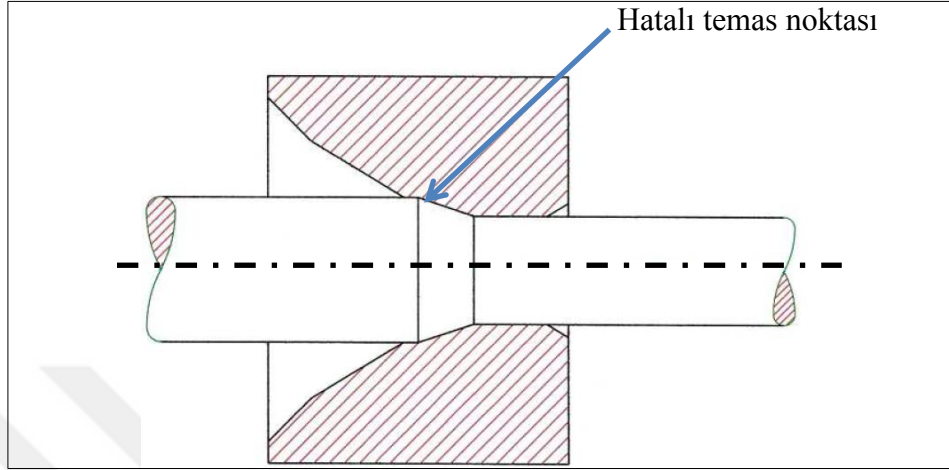
Şekil 4.6. Doğru temas noktası [10]

Şekil 4.7'de hadde açısı olması gerekenden daha büyük dizayn edilmiş ve bunun sonucunda telin deformasyonu küçük bir alanda ve kısa bir sürede gerçekleştirilmiştir. Bu koşullarda çalışan bir haddenin ömrü kısa olmakla birlikte elde edilecek ürün istenen özelliklerde olmamaktadır.



Şekil 4.7. Hatalı temas noktası [10]

Şekil 4.8’de ise hadde açısı olması gerekenden küçük dizayn edilmiştir. Burada tel yeterince sabun alamaz ve sürtünme fazla olur. Bu durum hadde ömrünün kısa süreli olmasına ve elde edilen ürünün istenen özellikleri taşınamasına sebep olur.



Şekil 4.8. Hatalı temas noktası [10]

Silindir (kavrama), çeline telin nihai çapının kontrolü yapmakla görevlidir. Bunu yaparken tel yüzeyinin kalitesine ve telin ovalitesine son halini verir. Hadde aşınmasının azalması, çekilen telde boyutsal homojenliğin daha doğru olmasını sağlar. Kuru yağlayıcılar kullanılması durumunda, silindirik kısmın uzunluğu çıkış çapının yarısını, sıvı yağlayıcılar kullanılması halinde ise çıkış çapının dörtte birini aşmamalıdır [25].

Çıkış açısı, konik şekilde olan bu kısımda tel yüzeyinde kalan fazla sabunların uzaklaştırılması yapılır. Ayrıca açığa çıkan ısı bu kısım sayesinde dağıtılarak hadde çekirdeğinin kırılmasının önüne geçilir.

Haddeyi oluşturan herhangi bir kısmın yanlış veya eksik dizayn edilmesi üretilen ürünün mekanik ve fiziksel özelliklerini etkileyerek performanslarında bir kayıp yaratır.

4.5. Isı Kontrolü

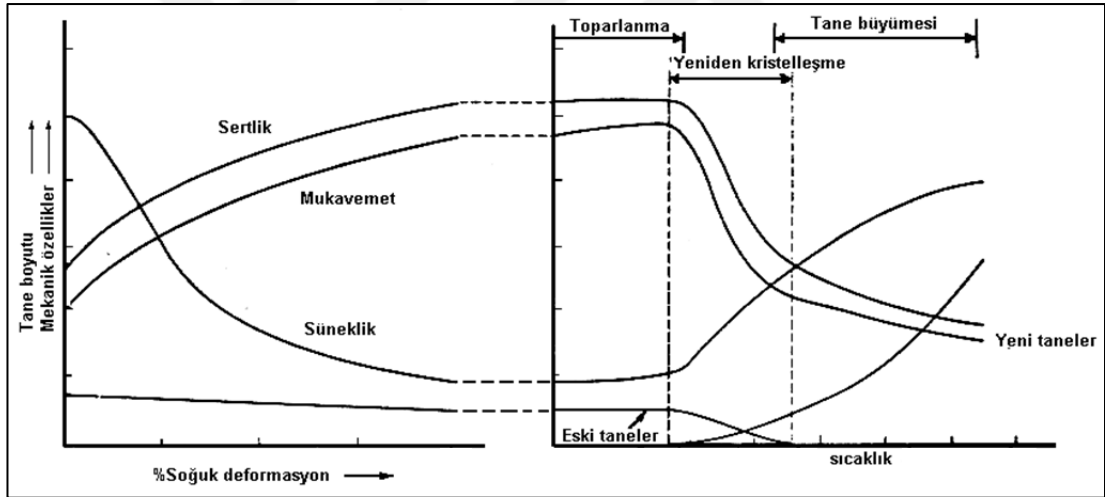
Tel çekme işlemi esnasına şekil değişimi ve sürtünmeler başlıca ısı kaynağı olarak görev yapmaktadır. Bu sebeple ısı, yüksek sıcaklıklar ve matristeki dik sıcaklık gradyanları ile hesaplanmaktadır. Şekil değişimi yaşanan telin içerisindeki sıcaklık

Haddeden çıkan teli, tamburun 2/3'üne kadar sarılması ve bir sonraki haddeye girene kadar telin sıcaklığının düşürülmesi etkili bir yoldur. Haddenin su vasıtasıyla soğutulması ise daha etkilidir ve oluşan ısının yaklaşık %5'ini yok ettiği yapılan çalışmalarla kanıtlanmıştır [1]. Bu yöntemlerle ısının kontrolü sağlanmaz ise hadde kullanılamaz hale gelir ve tel, aşırı ısıya maruz kalır yapısı bozularak istenen özellikleri gösteremez. Yine aynı şekilde oluşan yüksek ısı sabunun viskozitesini düşürerek telin performansını etkiler.



5. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI VE ÇALIŞMA KONUSUNUN TANIMLANMASI

Bilindiği gibi tel çekme işlemi malzemeyi soğuk deformasyona maruz bırakarak yapılan bir işlemdir. Ardışık haddelerden oluşan tel çekme makinelerinde ise malzeme peş peşe deformasyona uğrar ve malzemenin nihai hali en yüksek deformasyona maruz kalmış halidir. Malzemenin her bir haddeden geçişinde mekanik özellikleri değişir. Soğuk deformasyon miktarı arttıkça malzemenin sertlik ve mukavemet değerlerinde artış yaşanır. Buna karşın malzeme daha kırılğan bir hal alır. Şekil 5.1’de % soğuk deformasyon miktarı ile malzemenin mekanik özellikleri arasındaki ilişki gösterilmiştir.



Şekil 5.1. % soğuk deformasyon ve mekanik özelliklerin ilişkisi [26]

Çelik tellerin kullanım alanına göre yeterli mukavemette olması istenmektedir. Tel ürünler kullanım esnasında çekme, basma, kayma, yorulma gibi çeşitli gerilmelere maruz kalırlar. Yüksek çekme mukavemeti, çelik tellerin bu gerilmelere dayanmasını sağlar. Zhou ve arkadaşları çelik tellerin kullanım yerine göre, belirli bir kayma direnci seviyesine sahip olmaları gerektiğini gösteren çalışmalarda bulunmuşlardır [5].

Genellikle alaşımsız çelik teller kullanılsa da alaşımlı çelik teller de yaygın olarak kullanılmaktadır. Alaşımlama ile malzemelerin mekanik özellikleri artırıldığı gibi

servis performansları da artırılabilir. Bu mekanik özellikleri ve servis performansını kullanılacak alaşım elementlerinin yapıda bulunma durumu etkilemektedir. Pallarés-Santasmartas ve arkadaşları alaşımli çelik tellerin torsiyon yorulmaları hakkında çalışmalarda bulunmuşlardır. Bu çalışmalarda farklı kombinasyonlarda alaşım elementi içeren malzemeler kullanmışlar ancak sonuç olarak Cr, Ni ve Mo alaşım elementlerini içeren bir malzeme kullanarak bu malzemenin en yüksek yorulma dayanımına sahip olduğunu göstermişlerdir [6].

Raji ve Oluwale düşük karbonlu çeliklerin soğuk tel çekme sonrası performanslarını inceledikleri çalışmalarında çarpıcı sonuçlarla karşılaşmışlardır. Tırnak imalatında kullanılan düşük karbonlu çeliğin tokluğunun, çekme deformasyon derecesi arttıkça azaldığını, malzemenin sünekliğinin de artan çekme deformasyon derecesi ile azaldığını görmüşlerdir. Düşük karbonlu çeliğin tokluğunun, malzemenin esnekliğinden ödün verilmeksizin artırılması, bölgesel olarak üretilen tırnağın kalitesinin artırılmasında öncelikli bir husus olduğunu bulmuşlardır. Dolayısıyla çalışmakta olan bazı tırnakların kırılma olmaları ve burkulmaları, tırnak imalat işleminin genel etkisinden kaynaklandığı sonucuna ulaşmışlardır [27].

Soğuk tel çekme işlemiyle elde edilen tellerin kopma dayanımı ve tokluğu, tek yönlü ters burulma testleri yapılarak kontrol edilmektedir. Asma köprülerin kablo telleri, taşıma için sargı işlemi ve kablo hazırlama için bobin açma işlemi sırasında bir miktar burulma deformasyonuna maruz kalabilirler. Bu durumu kontrol altında tutmak için tellerin tokluğu kontrol edilmelidir ve bu kontrol tellere burulma testi yaparak sağlanır [28].

Çelik tellerin kayma dayanımını ve kayma kırılma gerilimini değerlendirmek için malzemelere torsiyon (burulma) testleri uygulanmaktadır. Goes ve arkadaşları çalışmalarında numunelerini torsiyon testine maruz bırakmış ve bu testlerde kırılan numunelerin kırılma davranışı incelemişlerdir. Kendi malzemeleri için kırılmayı tetikleyen maksimum gerilmeleri hesaplamışlardır [29].

Patil, yapmış olduğu çalışmada tel burulma testinin tellerin performansı hakkında etkili bir araç olabileceği hakkında bize bilgi vermektedir. Tel numunelerine uygulamış olduğu torsiyon testi sonucunda delaminasyona maruz kalan numunelerin sarmal çatlaklarla çalışan yırtık bir kırık gösterdiğini, ancak delaminasyon

görülmeyen tellerin tel eksenine dik düz bir kırılma gösterdiğini ortaya koymuştur. Kırılmaya neden olan bükülmelerin sayısı (torsiyon tur sayısı), telin içsel bükülme esnekliği hakkında daha kesin bilgi verdiği için kırığın görünümünün önemli sayılamayacağına dikkat çekmiştir. Spiral çatlakları olmayan düz, pürüzsüz, dik açılı bir kırılma, iyi burulma kalitesi ile gerçekleşirken, düzensiz kırıklar, dikişler ve delaminasyon düşük kaliteli telin kanıtıdır. Çalışmanın sonucu olarak, burulma testi bu nedenlerle tel sünekliğini ölçmenin etkili bir yolu olmakla birlikte birçok çelik tel uygulamasının kalitesini ve burulma yeteneğini belirlemek için hızlı, kolay ve ucuz bir yöntem olduğunu savunmuştur [30].

Çelik tellerin performansına bu gerilmeler karşısında gösterdikleri direnç ortaya koymaktadır. Bu çalışmada alaşımsız çelik teller kullanarak performansı belirlemek adına çelik tellere torsiyon testini yapıldı. Deneysel çalışmalar sonucunda bu gerilmeye karşı gösterdikleri direnci, dolayısıyla performansları belirlendi.

Daha sonraki aşama olarak malzemelerin torsiyon testini daha kolay ve pratik yapabilmek adına bir modelleme geliştirildi. Malzemenin yapısındaki belirli parametrelere göre yapılan bu modelleme ile cihaz kullanılarak yapılan torsiyon testinin sonuçları karşılaştırıldı ve modelin kullanışlı olup olmadığı sorgulandı. Bu çalışmada tel üretimine orijin oluşturan filmaşınların mikro yapı ve özellikle kalıntı karakterizasyonunun tellerin performansının belirlendiği burulma dayanımı üzerindeki etkisi bir model de oluşturularak incelenmiştir.

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneyleerde 5,50 mm çaplı 3 farklı karbon oranına sahip alaşımsız çelik filmaşınler kullanıldı. Çelik filmaşınlerin deney öncesi mikroyapıları belirlenip mekanik özellikleri tespit edildi. Takiben çelik filmaşınler 10 adet ardışık hadde sisteminde çekilerek 1,60 mm çapa indirildi ve bu çap kullanım çapı olarak kabul edildi. Proses dâhilindeki tüm değişkenlerin aynı olması sağlandı ve deney sonucuna etkisi olabilecek parametreler saf dışı bırakılmaya çalışıldı. Numuneler karbon oranlarına göre A, B ve C olarak isimlendirildi. Daha sonra hem filmaşın halindeki hem de nihai çaptaki numunelerin mikroyapıları ve mekanik özellikleri belirlendi. Takiben nihai tellerin serviste kullanılmaları durumunda maruz kalacakları gerilme şartlarını temsil etmek üzere torsiyon testleri uygulandı. Torsiyon testlerinden anlamlı sonuçlar aldıktan sonra Minitab programı kullanılarak bilgisayar modellemesi ile parametrelerin etkisi açık bir biçimde ortaya konuldu.

6.1. Numune Temini ve Numunelerin Kompozisyonları

Tel çekme prosesinde kullanılan çelik filmaşın malzemeler ve işlem sonucu üretilen nihai çelik teller Şekil 6.1'de, gösterilmiştir. Bu çelik filmaşın malzemelerin kimyasal kompozisyonları Tablo 6.1'de paylaşılmıştır. Tabloda sadece karbon oranlarında bariz bir farklılık bulunmaktadır.

Tablo 6.1. Numunelerin kimyasal kompozisyonları

| Numune | C | Mn | Si | P | S | Cu | Cr | N | Ni | V |
|--------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| A | 0,70 | 0,61 | 0,22 | 0,009 | 0,009 | 0,014 | 0,053 | 0,0053 | 0,018 | 0,002 |
| B | 0,75 | 0,58 | 0,21 | 0,008 | 0,016 | 0,009 | 0,049 | 0,0049 | 0,017 | 0,002 |
| C | 0,86 | 0,58 | 0,20 | 0,008 | 0,014 | 0,012 | 0,033 | 0,0062 | 0,014 | 0,001 |



Şekil 6.1. Deneylerde kullanılan çelik filmaşın ve nihai çelik tel numuneleri

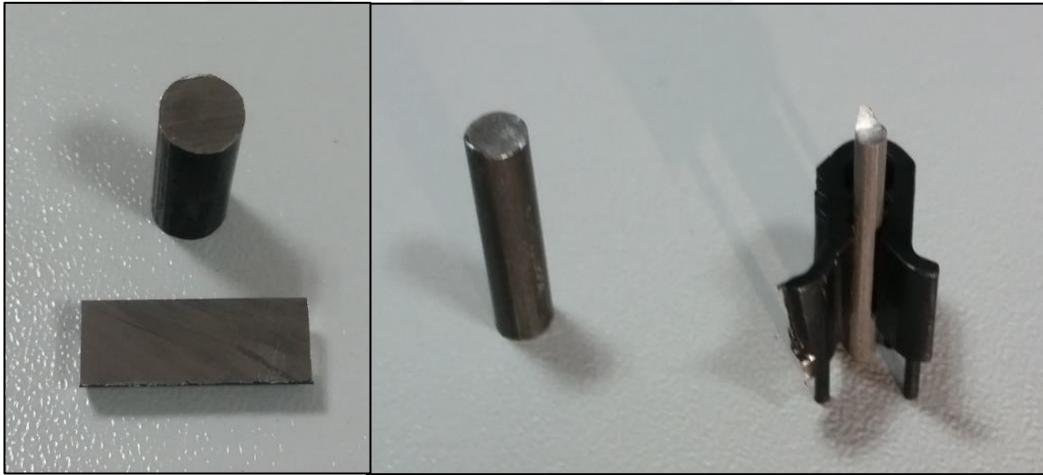
6.2. Mikroyapı Analizi

Numunelerin metalografik hazırlanmasına öncelikle her bir numune Şekil 6.2’de gösterilen kesme cihazı kullanılarak numunelerin uygun boyutlara getirilmesi ile başlandı. Uygun boyutlara getirilen numuneler Şekil 6.3’te gösterilmiştir. Burada 1,60 mm çapındaki numune sıcak bakalit cihazına alınmadan önce klipsle tutturuldu ve bakalite düzgün alınmasını sağlandı. 5,50 mm çaplı numune enine ve boyuna kesitlere ayrılarak bakalite alındı, 1,60 mm numune ise ince olması sebebiyle boyuna kesite ayrılamadı, zımpara kademesi uzun tutuldu.

Daha sonra bu kesilen parçalar Şekil 6.4’te gösterilen sıcak bakalit cihazı ile bakalite alındı. Bu işlem, 2 dk 180°C ısıtma ve 3 dk oda sıcaklığına kadar soğutma olarak 5 dk’da yapıldı. Bakalite alınmış numuneler Şekil 6.5’te gösterilen zımpara makinesine alınarak üç kademeli zımpara (P320, P800, P1250) işlemine tabi tutuldu. Daha sonraki işlem olarak yine aynı cihazda üç kademeli parlatma işleminden geçirildi. Parlatma işleminde 6, 3 ve 1 mikronluk çuhalar ve bu çuhalara özel elmas pastalar kullanıldı. Parlatma işlemi biten numuneler Şekil 6.6’de gösterilmiştir.



Şekil 6.2. Kesme cihazı



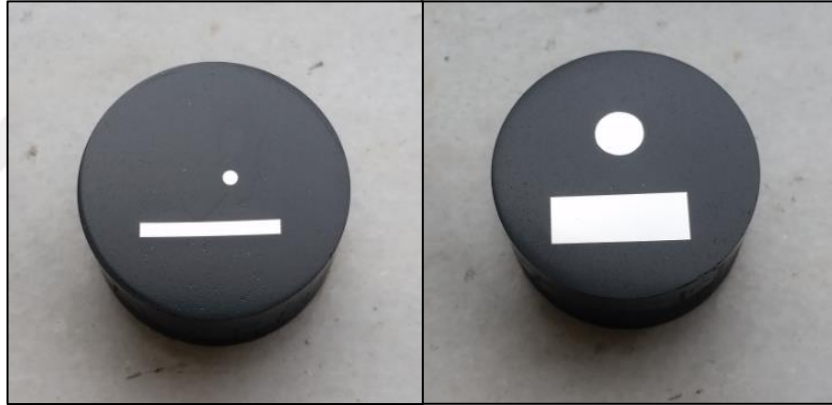
Şekil 6.3. Kesimi yapılan numuneler



Şekil 6.4. Sıcak bakalit cihazı



Şekil 6.5. Zımpara ve parlatma cihazı



Şekil 6.6. Zımpara ve parlatma işlemi yapılan numuneler

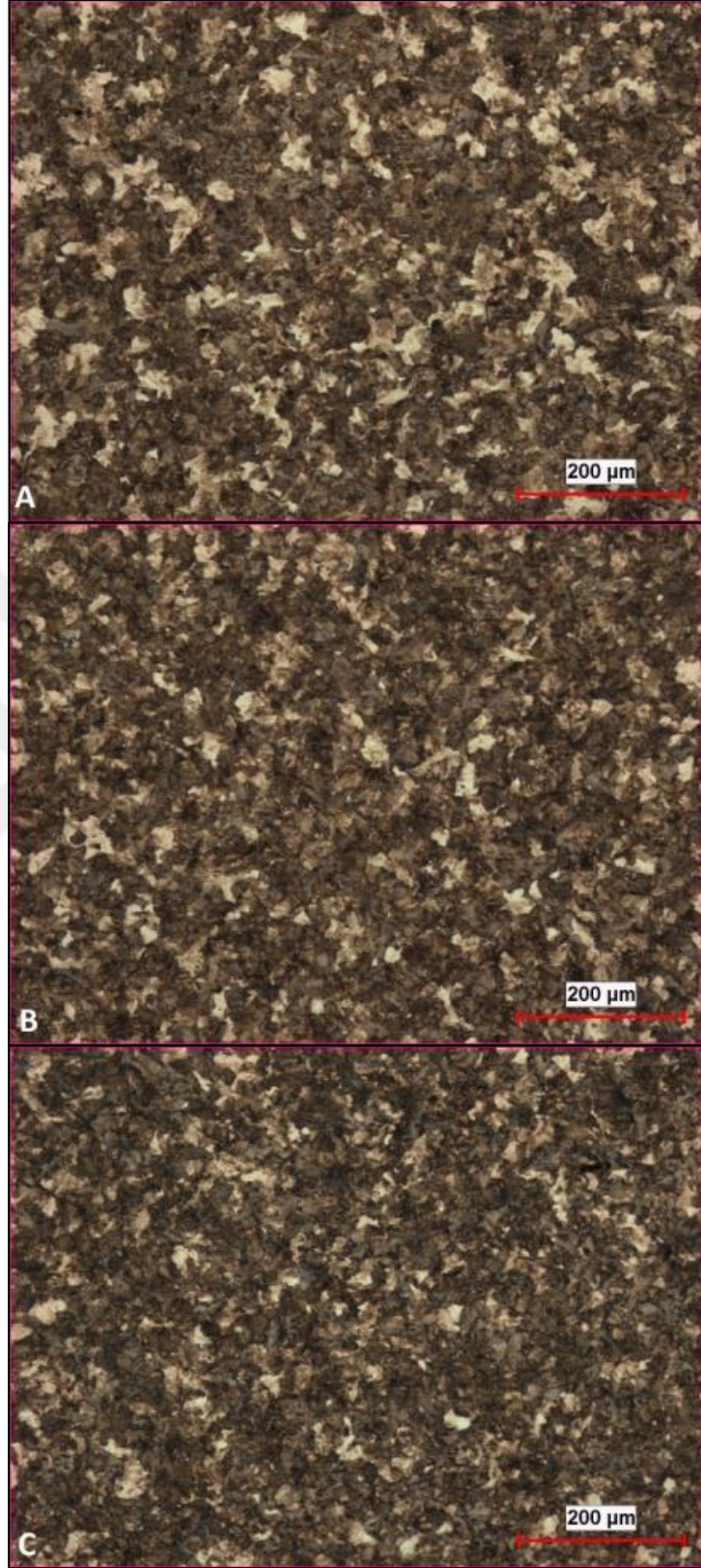
Parlatma işleminin ardından numuneler, %3 nital çözeltisi kullanılarak yüzeyleri dağlandı. Bu dağlamanın ardından numuneler Şekil 6.7'de gösterilen optik mikroskopta Clemex Vision Lite programı kullanılarak mikroyapı görüntüleri alındı.



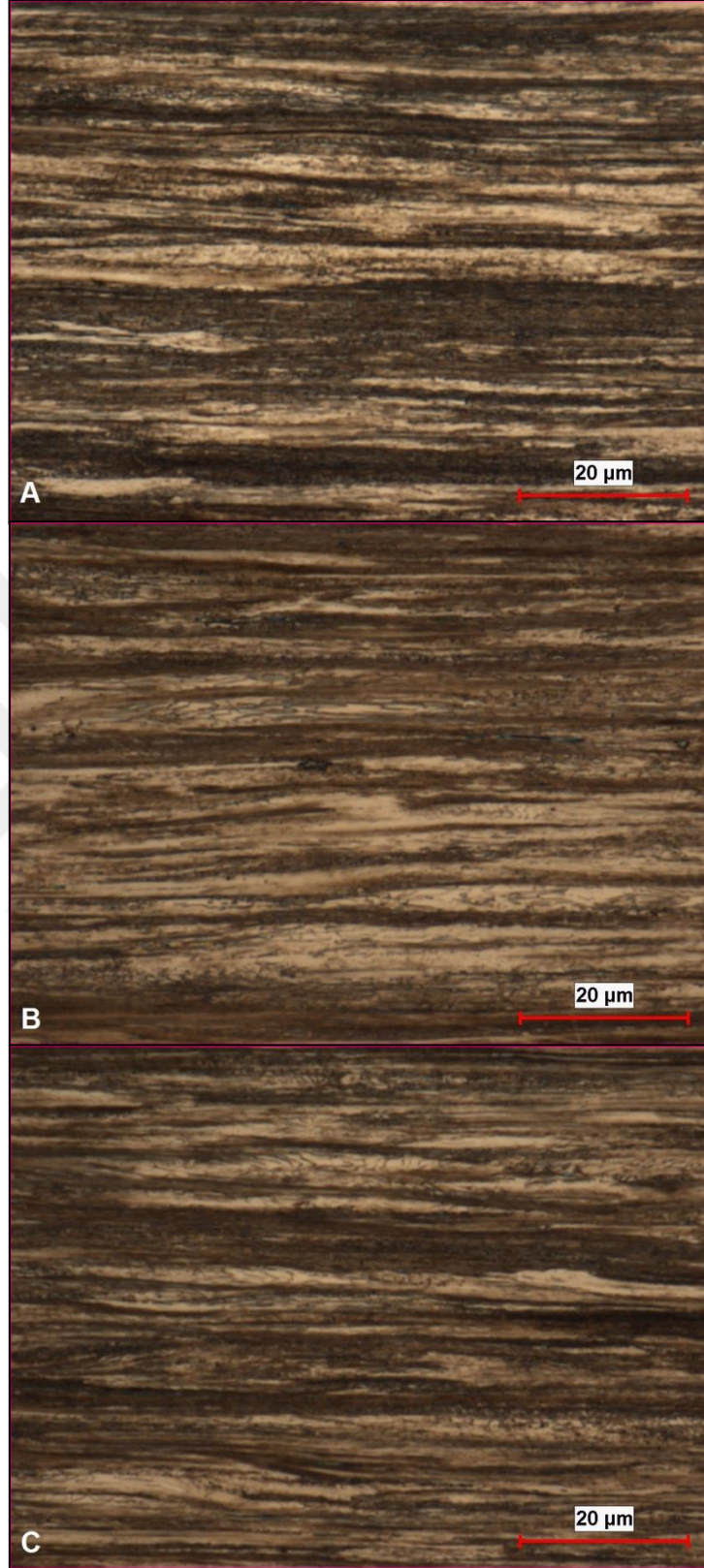
Şekil 6.7. Optik mikroskop

Farklı karbon oranlarındaki çelik filmaşınların optik mikroskoptan elde edilmiş mikroyapı görüntüleri Şekil 6.8’de görülmektedir. Bu şekilden farklı karbon oranının mikroyapıya yansıdığı açıkça görülmektedir. Artan karbon oranıyla ferrit oranı da bariz bir biçimde azalmıştır. % 0,86 karbonlu çelik ötektoid çelik olup, teorik olarak perlit ve çok az sementit içermesi beklenirken, yapıda kaçınılmaz bir biçimde daha perlit oluşmadan kinetik nedenlerden ötürü tane sınırlarında tane sınırı ferriti oluşumu gözlenmektedir.

Tel çekme işlemi sonrasında çelik filmaşınlerden elde edilen çelik teller yine optik mikroskopta incelendi. Elde edilen mikroyapı görüntüleri Şekil 6.9’da görülmektedir. Beklendiği gibi düşen karbon oranına bağlı olarak filmaşın ve tellerde ferrit oranı da düşmüştür.



Şekil 6.8. A, B ve C çelik filmaşın numunelerinin mikroyapı görüntüleri

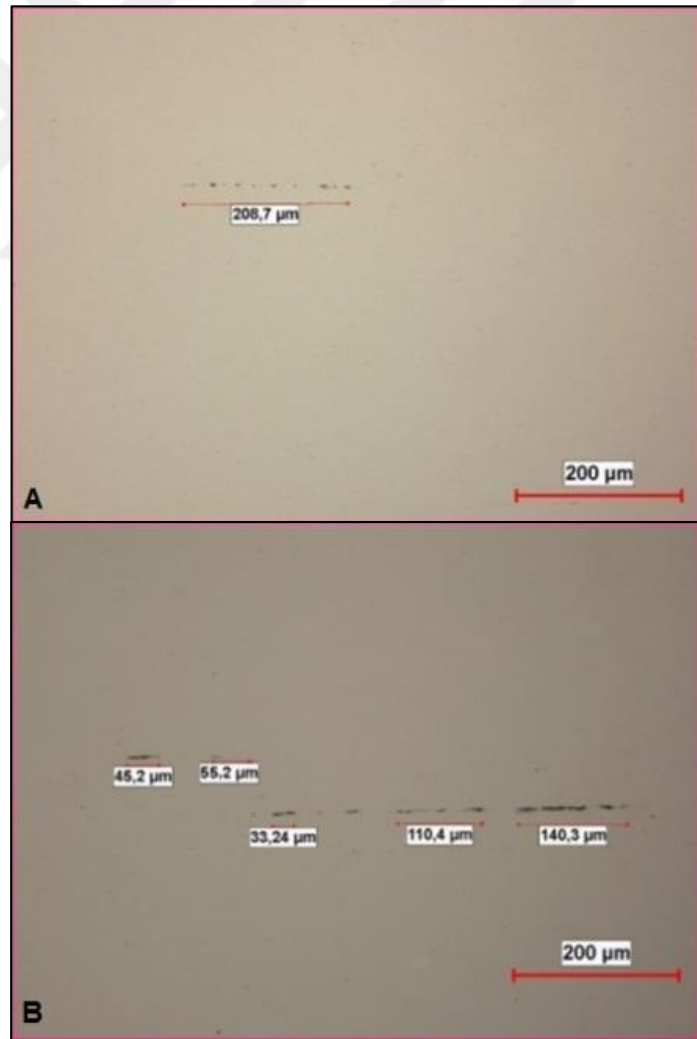


Şekil 6.9. A, B ve C çelik nihai tel numunelerinin mikroyapı görüntüleri

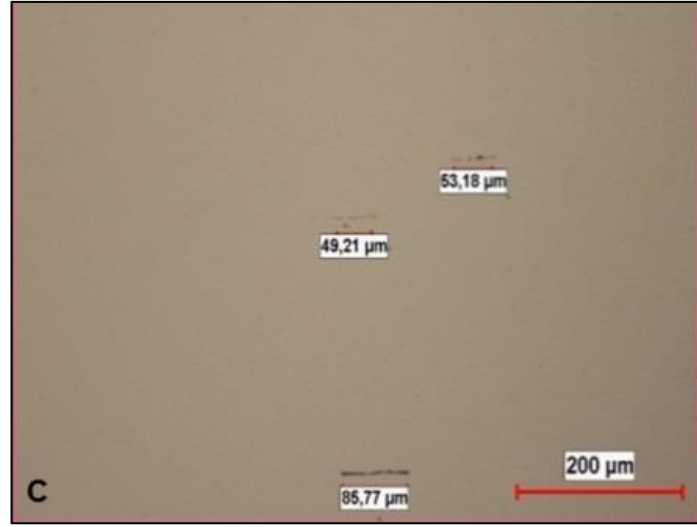
6.3. Kalıntı Analizi

Bu çalışmada başlangıç malzemesi olarak seçilen farklı karbon oranlarındaki çelik filmaşinlerden numuneler alınarak bu numunelerde öncelikle ASTM E45-18a standardında bulunan JK kalıntı çizelgesine göre kalıntı türünün tespiti yapıldı [31]. Bu tespitler optik mikroskopta Clemex Vision Lite programı kullanılarak yapıldı ve tespit edilen kalıntılar ve boyutları Şekil 6.10'da gösterilmiştir. Daha sonra aynı numunelerin alansal kalıntı dağılımı ve ortalama kalıntı büyüklükleri belirlendi. Sonuçlar Tablo 6.2'de görülmektedir.

Şekil 6.10 incelendiğinde A numunesinde yalnızca alümina türü kalıntılar tespit edilirken, B ve C numunelerinde hem alümina ve hem de sülfür türü kalıntılar tespit edildi [31].



Şekil 6.10. A, B ve C numunelerinin kalıntı uzunlukları



Şekil 6.10. (Devamı) A, B ve C numunelerinin kalıntı uzunlukları

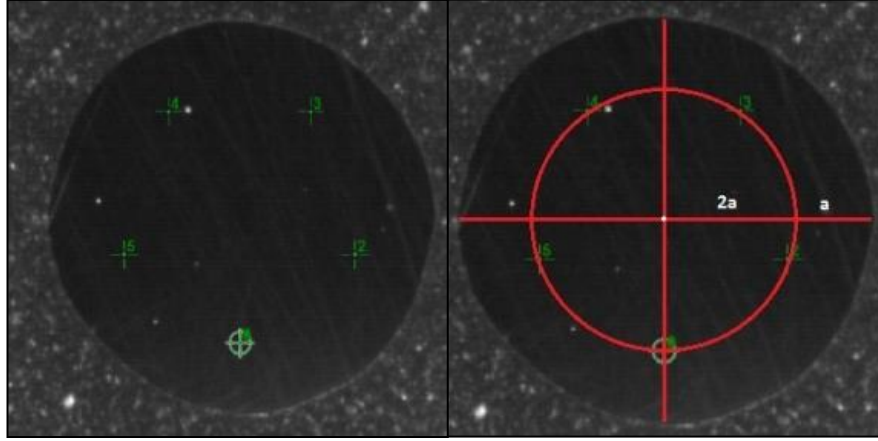
Yapılan kalıntı analizine göre Tablo 6.2 incelendiğinde %kalıntı oranının B numunesinde en yoğun çıktığı aynı zamanda bu numunenin ortalama kalıntı çapı ve maksimum kalıntı çaplarının diğer numunelerden çok daha büyük olduğu görüldü.

Tablo 6.2. Numunelerin kalıntı oranı ve kalıntı çapı

| Numune | Çap (mm) | % Karbon Oranı | % Kalıntı Oranı | Ortalama Kalıntı Çapı (µm) | Maksimum Kalıntı Çapı(µm) |
|--------|----------|----------------|-----------------|----------------------------|---------------------------|
| A | 5,50 | 0,70 | 0,111 | 22,75 | 48,20 |
| B | 5,50 | 0,75 | 0,230 | 55,39 | 162,30 |
| C | 5,50 | 0,86 | 0,126 | 23,04 | 88,41 |

6.4. Sertlik Analizi

Sertlik analizi, Şekil 6.11'de gösterildiği gibi numunenin merkezinden $2r/3$ uzaklıktaki alanlarda gerçekleştirildi. Böylelikle iç kısımlardaki olası daha fazla kalıntı ve dış kısımlardaki olası pekleşme nedenli etkilerin de bertaraf edilmesi sağlandı.



Şekil 6.11. Sertlik ölçüm noktaları

Sertlik ölçme deneyleri, Şekil 6.12’de gösterilen sertlik ölçüm cihazında 1 kg yük altında Vickers sertlik ölçme yöntemi, HV1 kullanılarak TS EN ISO 6507-1 standardına uygun olarak Ecos Workflow programı kullanılarak yapıldı [32].



Şekil 6.12. Sertlik ölçme cihazı

Sertlik test sonuçları Tablo 6.3’te paylaşılmıştır. Doğal olarak hem başlangıç malzemesi filmaşinlerde ve hem de bunlardan elde edilen çelik tellerde artan karbon oranına bağlı olarak sertliğin de arttığı görülmektedir. Ayrıca yine doğal olarak çelik tellerin pekleşmeden dolayı çelik filmaşinlerden daha yüksek sertlik değerleri vermiştir. Numunelerin tel çekme öncesindeki sertlik değerlerinin sapma aralığının dar olduğu görüldü. Bu da numunelerde homojenliğin oldukça iyi olduğunu göstermektedir.

Tablo 6.3'e bakıldığında tel çekme işlemi öncesi ve sonrası numuneler karşılaştırıldığında soğuk deformasyonla birlikte her numune için sertlik değerlerinin arttığı görülmektedir. Nihai ürünlerdeki tüm sonuçlara bakıldığında karbon miktarının artışına bağlı olarak sertlik değerlerinin de arttığı saptandı.

Tablo 6.2 incelendiğinde B numunesinin kalıntı oranı daha fazla çıkmıştır. Karbon oranlarına göre tel çekmeyle sağlanan sertlik artışları karşılaştırıldığında ise, en fazla artışın B numunesinde olduğu görüldü. Bu artış miktarının diğer numunelere kıyasla daha fazla olması, içerdiği kalıntı miktarının fazla olmasından ve basılan noktaların bu kalıntılara denk gelmesinden kaynaklanabileceği öngörülmüştür.

Tablo 6.3. Numunelerin sertlik değerleri

| Numune | Sertlik (HV1) | Ortalama sertlik (HV1) | Sertlik (HV1) | Ortalama sertlik (HV1) |
|--------|------------------|---------------------------|------------------|---------------------------|
| | 5,50 mm | | 1,60 mm | |
| A | 317 | 318 ± 8 | 470 | 466 ± 10 |
| | 312 | | 467 | |
| | 326 | | 475 | |
| | 318 | | 462 | |
| | 318 | | 456 | |
| | 317 | | 495 | |
| B | 322 | 317 ± 6 | 470 | 475 ± 20 |
| | 319 | | 479 | |
| | 317 | | 478 | |
| | 311 | | 457 | |
| | 348 | | 504 | |
| | 360 | | 508 | |
| C | 343 | 357 ± 10 | 510 | 504 ± 9 |
| | 366 | | 507 | |
| | 367 | | 495 | |
| | | | | |

6.5. Çekme Testi

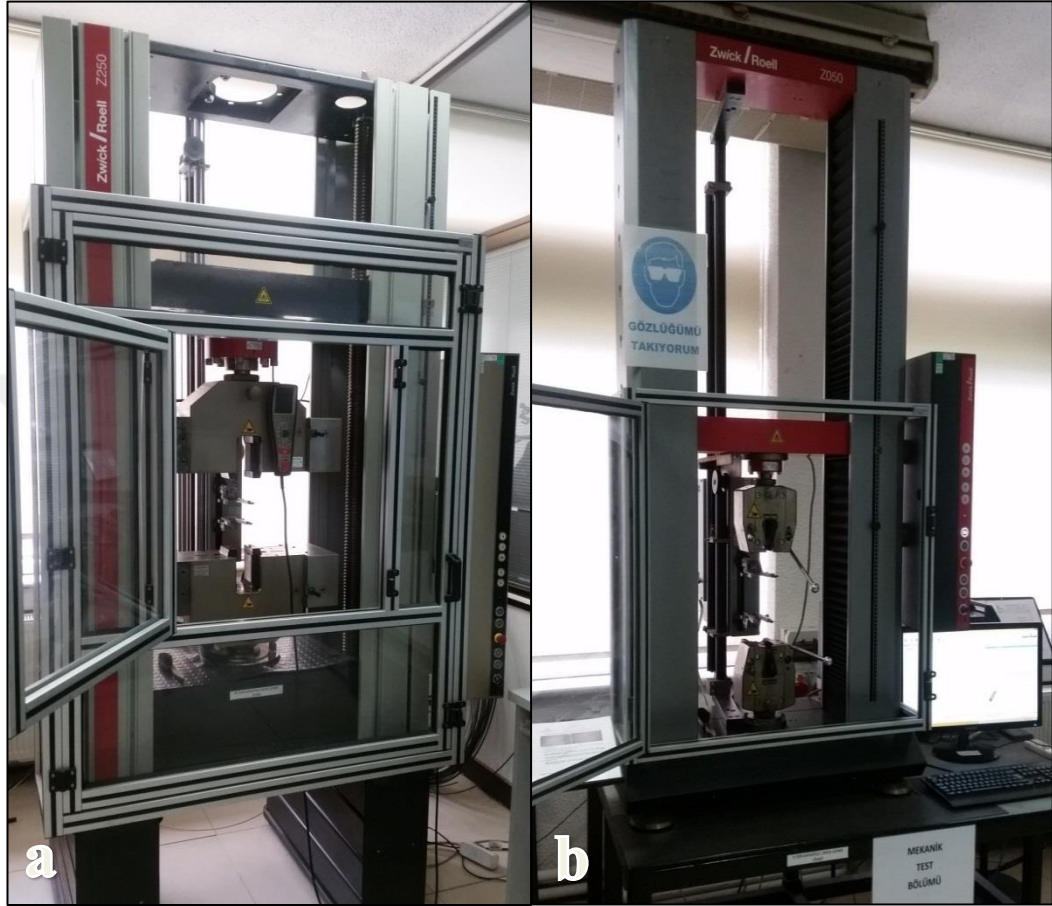
Başlangıç malzemesi olan çelik filmaşın numunelere ve nihai çelik tel numunelerine mekanik özelliklerini görmek amacıyla çekme testi uygulandı. Üç farklı karbon oranına sahip her çelik filmaşın ve çelik tel numuneleri 30 cm uzunluğunda kesilerek çekme testine tabi tutuldu (Şekil 6.13).



Şekil 6.13. Çekme testi numuneleri

5,50 mm çapındaki numuneler için 25 ton kapasiteli çekme cihazı, 1,60 mm çaplı numuneler için ise 5 ton kapasiteli çekme cihazı kullanıldı (Şekil 6.14). Çekme deneyleri oda sıcaklığında ve 0,006 m/s çekme hızında gerçekleştirildi. Çekme testleri çelik filmaşın numunelere ve çelik filmaşınlerden elde edilen nihai çelik tellere uygulandı. Tüm testler TS EN ISO 6892-1 standardına uygun olarak yapıldı [33]. Bu testlerde sağlıklı sonuç almak adına ekstansometre çeneleri arasından

kopan numunelerin sonucu dikkate alındı. Tüm çekme testleri Zwick Roell marka çekme cihazlarında Testxpert II programı kullanılarak yapıldı. Çelik filmaşinlerin ve nihai çelik tellerin çekme test sonuçları Tablo 6.4’te özetlenmiştir.



Şekil 6.14. Çekme cihazları a) 25 ton kapasiteli, b) 5 ton kapasiteli

Çekme testi için A, B ve C numunelerinden sağlıklı sonuç almak adına birden fazla numune ile çalışıldı. Her bir numuneye aynı koşullarda ve standartlarda test uygulandı. Akma mukavemeti ve yüzde uzama değerleri Tablo 6.4’te gösterilmiştir.

Beklendiği gibi artan karbon oranı ile $R_{p0.2}$ akma mukavemeti değerleri de arttı. Ve yine beklenildiği gibi uzama değerleri de azaldı. Bu durum tel çekme işlemi sonrası tel numunelerde de kendini göstermiştir. Ayrıca tel numunelerde akma mukavemeti değerlerinin daha yüksek % uzama değerlerinin ise daha küçük olduğu görülmektedir. Bu da pekleşme nedenli doğal bir sonuçtur.

Tablo 6.4. A, B ve C numunelerinin çekme test sonuçları

| Numune | % C | R _{P0,2} (MPa) | | %A ₁₀₀ | |
|-----------------------------|------|----------------------------|----------------|-------------------|-------------|
| | | 5,50 mm | 1,60 mm | 5,50 mm | 1,60 mm |
| A1 | 0,70 | 785,00 | 1740,00 | 8,20 | 2,10 |
| A2 | | 787,00 | 1727,00 | 8,60 | 2,20 |
| A3 | | 786,00 | 1710,00 | 8,50 | 1,90 |
| A_{ortalama} | | 786,00 | 1725,66 | 8,43 | 2,06 |
| B1 | 0,75 | 789,00 | 1728,00 | 6,90 | 1,80 |
| B2 | | 788,00 | 1727,00 | 7,10 | 1,70 |
| B3 | | 791,00 | 1743,00 | 7,20 | 1,70 |
| B_{ortalama} | | 789,33 | 1732,66 | 7,07 | 1,73 |
| C1 | 0,86 | 813,00 | 1751,00 | 5,10 | 2,00 |
| C2 | | 821,00 | 1782,00 | 5,10 | 1,40 |
| C3 | | 807,00 | 1799,00 | 5,60 | 1,60 |
| C_{ortalama} | | 808,67 | 1777,33 | 5,26 | 1,66 |

Beklendiği gibi artan karbon oranı ile R_{P0,2} değerleri de arttı. Fakat A ve B numunesi arasındaki R_{P0,2} değerindeki artışın, C numunesinin değerlerine göre fazla olmadığı görüldü. Bunun sebebinin B numunesindeki kalıntıların olduğu öngörülmüştür.

6.6. Torsiyon Testi

Tel çekme işlemi ile üretilen çelik teller yarı mamul olup, önce çeşitli amaçlara yönelik olarak tel ürünler haline getirilirler. İşte bu tel ürünler servis esnasında yorulma, burulma gibi çeşitli gerilmelere maruz kalırlar. Çelik tellerin performansına da bu gerilmeler karşısında gösterdikleri direnç ortaya koyar. Biz bu çalışmada performansı belirlemek adına çelik tellere torsiyon (burulma) testini yaparak bu gerilmeye karşı gösterdikleri direnci, dolayısıyla performansı belirledik.

İlgili test için Şekil 6.15'te gösterilen torsiyon test cihazı kullanılmış olup cihazın çeneleri arası mesafe numune çapının 100 katı uzunluğunda olacak şekilde ISO 7800 standardına göre yapıldı [34]. Filmaşinlerin ve nihai çelik tellerin torsiyon test sonuçları Tablo 6.5'te özetlenmiştir.



Şekil 6.15. Torsiyon test cihazı

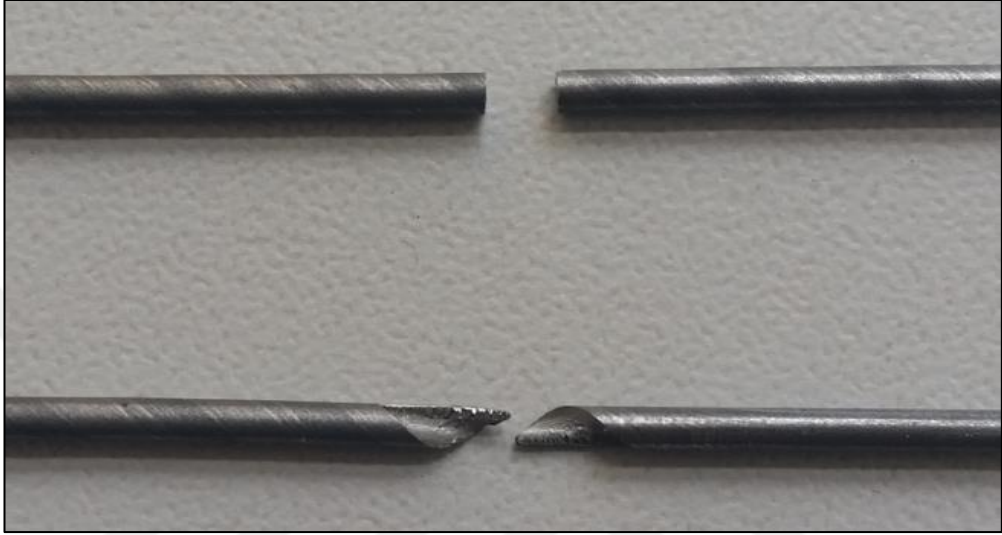
Tablo 6.5. A, B ve C numunelerinin torsiyon performansları

| Numune | Filmaşın | | Tel | |
|--------|---------------------|------------------------------|---------------------|------------------------------|
| | Torsiyon tur sayısı | Ortalama torsiyon tur sayısı | Torsiyon tur sayısı | Ortalama torsiyon tur sayısı |
| A | 21 | 22 ± 2 | 49 | 46 ± 3 |
| | 22 | | 45 | |
| | 24 | | 44 | |
| B | 19 | 20 ± 1 | 47 | 44 ± 3 |
| | 21 | | 43 | |
| | 21 | | 42 | |
| C | 12 | 13 ± 1 | 34 | 36 ± 3 |
| | 14 | | 39 | |
| | 13 | | 35 | |

Sonuçlardan görüldüğü gibi tel çekme işlemi sonrasında torsiyon tur sayılarında büyük bir artış yaşandı. Daha ince çaplı numunelerin doğaları gereği daha fazla burulmayı kaldırabildikleri görüldü. Ayrıca karbon oranının artması ile torsiyon tur sayısında düşüş yaşanması numunelerin pekleşmesi ve burulmaya direnç göstermesinden kaynaklanmaktadır. Bu da tel çekme sonrasında mekanik özelliklerin daha iyi ancak performansın bu doğrultuda olmadığını gösterdi.

Artan karbon oranları mukavemeti artırmakla birlikte, pekleşmeden dolayı çelik teller servis esnasında burulma türü gerilmelere maruz kaldığında performanslarının bu doğrultuda düştüğü görüldü.

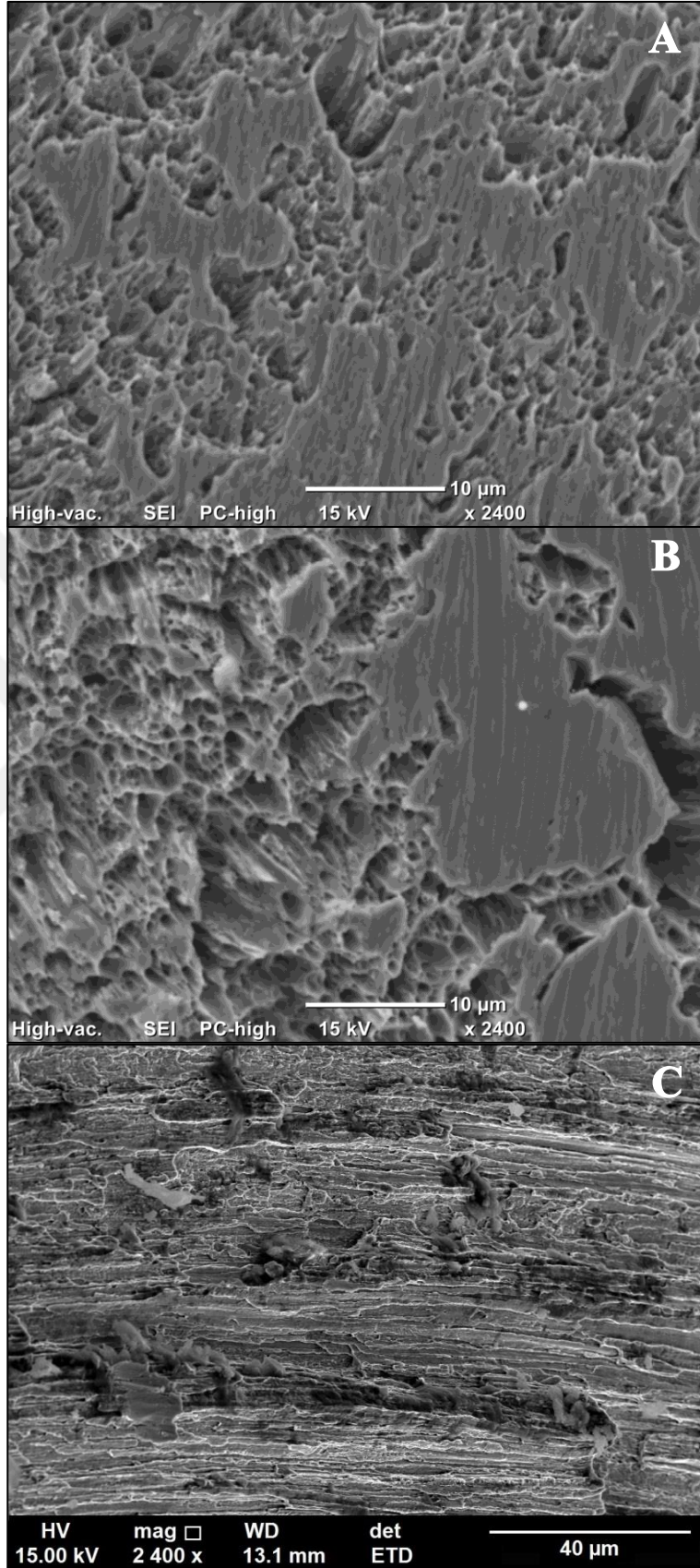
Torsiyon testi esnasında numunelerde farklı kırılma türleri gözlemlendi. A ve B numunelerinin örneklerinde küt bir kırılma görülürken C numunelerin örnekleri ise burulma esnasında delaminasyon göstererek koptu ve kesitte bir dağılım gözlemlendi. Bu durum artan karbon oranı ile artan gevrekliğin bir sonucu olarak öngörülmüştür. Şekil 6.16’da karşılaşılan farklı kopma tipleri gösterilmiştir.



Şekil 6.16. Torsiyon testinde karşılaşılan kopma türleri

6.7. SEM Analizi

Torsiyon testinde karşılaşılan farklı kopma türleri ile SEM analizi gerçekleştirildi. Numunelerin kopan kısımları hazırlandı ve taramalı elektron mikroskopunda kırık yüzey analizleri yapılması sağlandı. Her bir numuneye ayrı ayrı analiz yapılarak görüntülemeler sağlandı. Numunelerin 2/3 bölgesinden alınan görüntüler Şekil 6.17’de verilmiştir.



Şekil 6.17. Numunelerin SEM görüntüleri

Şekil 6.17 incelendiğinde her üç numune de aynı tip kırılma karakteristiği sergilendiği görülmektedir. Numunelerde hem bal peteği bölgelerin hem de düz bölgelerin birlikte olduğu görüldü. Söz konusu bal peteği yapılar sünek kırılma davranışının göstergesi olup, düz yapılar ise gevrek kırılmanın göstergesidir. A, B ve C numunelerinin hepsinde hem gevrek hem de sünek kırılmalar görüldü ve numunelerin genel kırılma tipinin karışık kırılma olduğu sonucuna varıldı. A ve B numunesinde yaklaşık olarak aynı oranda bir karışık kırılma gözlenirken, C numunesinin ağırlıklı olarak gevrek kırıldığı görüldü. Bu durum kırılma kesitindeki dağılma ile de kendini göstermiş olup, artan karbon içeriğinin bir sonucu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Yapılan testler üç farklı karbon oranı içeren numune ile yapıldı. Testler, karbon oranının artması ile yapının pekleşmesini dolayısıyla mekanik özelliklerin iyileşmesini doğrular nitelikte oldu. Çelik tellerin performansını ölçmek adına uygulanan torsiyon testinde de bu pekleşme kendini gösterdi. Artan karbon oranı dolayısıyla pekleşme ile torsiyon tur sayılarında bir düşüş yaşandı. Yapılan çalışmalar tellerin performansının belirlendiği torsiyon testi üzerinde ana etkinin karbon oranı olduğu, kalıntıların ise ancak çok büyük farklılıklar olması durumunda torsiyon direncini etkilediği görülmüştür.

Hem torsiyon test sonucunu daha kolay elde etmek hem de test sonucuna etki eden parametreleri daha iyi incelemek için test sonuçları Minitab programı yardımıyla modellendi.

6.8. Torsiyon Testinin Modellenmesi

Modelleme programı için yeterli veri olması adına numuneler farklı özellikteki başka numunelerle çeşitlendirildi. Tüm numunelerin deneysel sonuçları toplu olarak Tablo 6.6'da gösterilmiştir.

Tablo 6.6. Tüm numunelerin deneysel sonuçları

| Numune | Çap (mm) | % Karbon Oranı | % Kalıntı Oranı | Ort. Kalıntı Çapı (µm) | Maks. Kalıntı Çapı (µm) | Akma (MPa) | Sertlik (HV1) | Torsiyon Tur Sayısı |
|----------------|----------|----------------|-----------------|------------------------|-------------------------|------------|---------------|---------------------|
| A | 5,50 | 0,70 | 0,111 | 22,75 | 48,20 | 786 | 318 | 22 |
| | 1,60 | | | | | 1725 | 466 | 46 |
| B ₁ | 5,50 | 0,75 | 0,230 | 55,39 | 162,30 | 789 | 317 | 20 |
| | 1,60 | | | | | 1732 | 475 | 44 |
| B ₂ | 5,50 | 0,75 | 0,170 | 38,80 | 94,33 | 795 | 320 | 21 |
| | 1,60 | | | | | 1735 | 482 | 45 |
| B ₃ | 5,50 | 0,75 | 0,047 | 15,73 | 24,09 | 795 | 320 | 19 |
| | 2,12 | | | | | 1337 | 416 | 40 |
| C | 5,50 | 0,86 | 0,126 | 23,04 | 88,41 | 808 | 357 | 13 |
| | 1,60 | | | | | 1777 | 504 | 36 |

Yalnızca deneysel sonuçlara bakılarak yorum yapıldığında, Tablo 6.5'e bakarak numune çapının torsiyon tur sayısında en etkili faktör olduğu yorumuna ulaşıldı. Ancak Tablo 6.6'ya bakıldığında kalıntı oranları ve boyutlarının yakın olması sebebiyle A ve C numuneleri kıyasladığımızda karbon oranının torsiyon sayılarına etkisini görmekteyiz. B numunelerinde ise kalıntı büyüklüğü ve dağılımının daha fazla olması bu numunelerde torsiyon direnci üzerine kalıntı dağılımının hissedilir bir etkisinin olduğu açıkça görülmektedir. Bu gözlemler ışığında torsiyon test cihazı ile yapılan çalışmalar sonucunda tur sayılarına etkisi en fazla olan parametrenin numune çapı olduğunu, daha sonra sırasıyla karbon oranı ve yapıdaki kalıntılar olduğu görüldü.

Bu deneysel sonuçlar ışığında modelleme işlemine geçildi. Modelleme için torsiyon test sonucuna etki eden parametreler belirlendi. Bu parametrelerin bağımsız parametreler olması gerektiği için bunlar, numune çapı, %karbon oranı, %kalıntı miktarı, ortalama kalıntı çapı ve maksimum kalıntı çapı olarak tespit edildikten sonra modelleme programına gerekli veriler girilerek çalışma gerçekleştirildi. Modelleme programı için Minitab programı kullanıldı.

6.9. Torsiyon Testi Regresyon Analizi

Yapılan torsiyon testlerinde değişken parametrelerin etki değerlerini öğrenmek ve torsiyon tur sayısını bir denklemle ifade etmek için regresyon analizi metoduna başvuruldu.

Regresyon analizi için Minitab programı kullanıldı. Programa girilen veriler Tablo 6.7’de verilmiştir.

Tablo 6.7. Regresyon analizinde kullanılan veriler

| Numune | Çap (mm) | % Karbon Oranı | % Kalıntı Oranı | Ort. Kalıntı Çapı (µm) | Maks. Kalıntı Çapı (µm) | Torsiyon Tur Sayısı |
|----------------|----------|----------------|-----------------|------------------------|-------------------------|---------------------|
| A | 5,50 | 0,70 | 0,111 | 22,75 | 48,20 | 22 |
| | 1,60 | | | | | 46 |
| B ₁ | 5,50 | 0,75 | 0,230 | 55,39 | 162,30 | 20 |
| | 1,60 | | | | | 44 |
| B ₂ | 5,50 | 0,75 | 0,170 | 38,80 | 94,33 | 21 |
| | 1,60 | | | | | 45 |
| B ₃ | 5,50 | 0,75 | 0,047 | 15,73 | 24,09 | 19 |
| | 2,12 | | | | | 40 |
| C | 5,50 | 0,86 | 0,126 | 23,04 | 88,41 | 13 |
| | 1,60 | | | | | 36 |

A-1,60 mm, ve B₃-5,50 mm kodlu numunelerin verileri regresyon analizi esnasında işlenmedi ve regresyon analizi sonucunda oluşturulan denklem üzerinde bu verilerle sağlama yapıldı. Veriler kullanılarak oluşturulan kademeli regresyon sonuçları Tablo 6.8’de, oluşturulan regresyon denklemi sonucunda bulunan torsiyon değerleri Tablo 6.10’da gösterilmiştir.

Tablo 6.8. Kademeli regresyon sonuçları

| Adım | 1 | 2 | 3 |
|--------------------|--------|--------|--------|
| Sabit | 33,73 | 47,14 | 77,02 |
| % Kalıntı oranı | -344 | 12 | 18 |
| T-Value | -0,72 | 0,24 | 1,22 |
| P-Value | 0,525 | 0,798 | 0,337 |
| Ort. kalıntı çapı | 1,346 | 0,616 | 0,276 |
| T-Value | 0,91 | 5,04 | 3,50 |
| P-Value | 0,413 | 0,012 | 0,078 |
| Maks. kalıntı çapı | 0,027 | -0,194 | -0,098 |
| T-Value | 0,08 | -5,37 | -4,17 |
| P-Value | 0,958 | 0,019 | 0,050 |
| Çap | | -5,934 | -6,068 |
| T-Value | | -24,21 | -71,10 |
| P-Value | | 0,002 | 0,007 |
| % Karbon | | | -36,0 |
| T-Value | | | -5,04 |
| P-Value | | | 0,037 |
| S | 15,0 | 1,23 | 0,408 |
| R-Sq | 18,02 | 99,58 | 99,97 |
| R-Sq(adj) | 0,00 | 99,02 | 99,89 |
| Mallows Cp | 5365,8 | 29,4 | 6,0 |

Tablo 6.8’de görülen bazı değerlerin anlamlarını aşağıdaki gibi açıklayabiliriz.

P-Value, Her analiz sonucunda kullanılan P değeri, test istatistiğine aittir. Bu P değeri “ilgili hipotez testi sonucunda anlamlı fark vardır” denileceği durumda hatalı karar verme olasılığının ne olduğunu gösterir. Genel olarak P değerinin 0,05 den küçük olması literatürde “istatistiksel olarak anlamlı” olarak geçmiş olup araştırmacılara göre göre 0,01 olarak da kabul edilebilmektedir [35]. P değerinin yorumlanması Tablo 6.9’da ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

T-Value, T değeri, P değerini kontrol etmek için kullanılır. P değeri, Hesaplanan T değeri ile ilişkilidir. Hesaplanan daha büyük bir T değeri, daha küçük bir P değerine karşılık gelir.

Tablo 6.9. P değerinin yorumlanması [35]

| P değeri | Yorumu |
|-----------------------|---|
| $0,01 \leq p < 0,05$ | İstatistiksel anlamlılık |
| $0,001 \leq p < 0,01$ | Yüksek düzeyde istatistiksel anlamlılık |
| $p < 0,001$ | Çok yüksek istatistiksel anlamlılık |
| $0,05 \leq p < 0,10$ | Anlamlılık eğilimi (sınırdan anlamlılık) |
| $p > 0,10$ | Fark tesadüften ileri gelmiştir (istatistiksel olarak anlamlı farklılık saptanmamıştır) |

S, Gözlenen değerlerin regresyon çizgisinden düştüğü ortalama mesafeyi temsil eder. Başka bir deyişle tüm değerleri nokta olarak düşünüp aralarından bir doğru geçtiğini düşündüğümüzde noktaların doğruya olan ortalama uzaklıklarıdır. S değeri büyüdüğünde kullanılan denklemin sapmasının büyüdüğü anlamına gelir. Daha küçük S değerleri verilerin tutarlı olduğuna bir işarettir.

R-Sq ve R-Sq(adj), R^2 ve düzeltilmiş R^2 olarak ifade edilir. R^2 değeri 100'e ne kadar yakın ise oluşturulan denklem o derece tutarlıdır ve sağlıklı sonuç verir anlamını taşımaktadır. R^2 ve düzeltilmiş R^2 'nin birbirlerine mümkün olduğunca yakın olması istenir aksi takdirde denklemde uyuşmazlıklar görülebilir.

Mallows C_p , İstatistiksel modelleri kıyaslamada kullanılabilecek faydalı bir kriterdir. Böyle bir kıyaslama yapılırken en küçük C_p değerine sahip model seçilmelidir [36].

Tablo 6.9 incelendiğinde, %karbon oranı, çap, maksimum kalıntı çapı, ortalama kalıntı çapı ve % kalıntı oranı verilerinin tamamını kapsayacak bir denklem oluşturulmak istendi. Bu verileri kapsayan denklemin en yüksek R^2 değerinin olduğu, mallow C_p değerinin küçük olduğu dolayısıyla seçilen denklemin tutarlı ve anlamlı bir denklem olduğu kanısına varıldı.

P değerlerine baktığımızda torsiyon tur sayılarının belirlenmesinde, çap parametresinin yüksek düzeyde istatistiksel anlamlılık gösterdiğini, % karbon parametresinin istatistiksel anlamlılık gösterdiğini, maksimum kalıntı çapı ve ortalama kalıntı çapı parametrelerinin anlamlılık eğilimi (sınırdan anlamlılık) gösterdiğini, % kalıntı oranı parametresinde ise istatistiksel olarak anlamlı farklılık saptanmadı.

Bu bilgiler ve veriler ışığında 3. Adımda oluşturulan denklemin seçilmesi uygun görüldü. Çalışmalar sonucunda torsiyon tur sayısı Denklem (6.1)'e göre hesaplanır.

$$\text{Torsiyon tur sayısı} = 77,02 - 6,068 \cdot \text{çap} - 36,0 \cdot \% \text{karbon} + 18,0 \cdot \% \text{kalıntı} \quad (6.1) \\ \text{oranı} + 0,276 \cdot \text{ort. kalıntı çapı} - 0,098 \cdot \text{maks. kalıntı çapı}$$

Denklemden bazı parametrelerin negatif çarpanlı olmasının anlamı, bu değerler arttıkça torsiyon tur sayısının azaldığı, diğerleri arttığında ise torsiyon tur sayısının arttığı şeklinde yorumlanmaktadır.

Denklemin yardımıyla oluşturulan torsiyon tur sayıları değerleri Tablo 6.10'da verilmiştir.

Tablo 6.10. Regresyon analizi ile bulunan torsiyon tur sayıları

| Numune | Çap (mm) | Torsiyon tur sayısı |
|----------------|----------|---------------------|
| A | 5,50 | 21,99 |
| | 1,60 | 45,66 |
| B ₁ | 5,50 | 20,16 |
| | 1,60 | 43,83 |
| B ₂ | 5,50 | 21,17 |
| | 1,60 | 44,83 |
| B ₃ | 5,50 | 19,47 |
| | 2,12 | 39,98 |
| C | 5,50 | 12,64 |
| | 1,60 | 36,31 |

Torsiyon test cihazı ile saptanan tur sayıları ve regresyon analizi sonucu ulaşılan torsiyon tur sayılarının karşılaştırılması Tablo 6.11'de verilmiştir.

Tablo 6.11. Torsiyon tur sayılarının karşılaştırılması

| Numune | Çap (mm) | Torsiyon test cihazı ile torsiyon tur sayısı | Regresyon analizi ile torsiyon tur sayısı |
|----------------|----------|--|---|
| A | 5,50 | 22 | 21,99 |
| | 1,60 | 46 | 45,66 |
| B ₁ | 5,50 | 20 | 20,16 |
| | 1,60 | 44 | 43,83 |
| B ₂ | 5,50 | 21 | 21,17 |
| | 1,60 | 45 | 44,83 |
| B ₃ | 5,50 | 19 | 19,47 |
| | 2,12 | 40 | 39,98 |
| C | 5,50 | 13 | 12,64 |
| | 1,60 | 36 | 36,31 |

Tablodan görüldüğü gibi yapılan deneysel çalışmaların sonuçları ile bilgisayar ortamından elde edilen sonuçlar yakın bir ilişki içindedir. Bu yakın ilişki, bilgisayar ortamında elde edilen sonuçların da deneysel sonuçlar olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Buradan şu sonuca ulaşıyor ki, malzemenin çapını, içerdiği karbon oranını, sahip olduğu ortalama, maksimum ve % kalıntı oranını bildiğimiz takdirde torsiyon test cihazına gerek duyulmadan bilgisayar ortamında da doğru sonuçlara ulaşabiliriz.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çelik filmaşinlerde ve tel ürünlerin mikroyapılarına bakıldığında, artan karbon oranının ferrit oranını düşürdüğü açıkça görülmektedir. Karbonun bu etkisi yapılan testlerde görüldüğü üzere mekanik özelliklere de yansımaktadır. Artan karbon oranına bağlı olarak filmaşinlerde ve tellerde sertliğin de arttığı görülmektedir. Ayrıca yine doğal olarak çelik tellerin pekleşmeden dolayı çelik filmaşinlerden daha yüksek sertlik değerleri verdiği sonuçlar elde edilmiştir. Numunelerin tel çekme öncesindeki sertlik değerlerinin sapma aralığının dar olduğu bunun da numunelerde homojenliğin oldukça iyi olduğunu göstermektedir.

Beklendiği gibi artan karbon oranı ile $R_{P0.2}$ akma mukavemeti değerleri arttı, uzama değerleri azaldı. Bu durum tel çekme işlemi sonrası tel numunelerde de kendini gösterdi. Ayrıca tel numunelerde akma mukavemeti değerlerinin daha yüksek % uzama değerlerinin ise daha küçük olduğu görülmektedir. Bu da pekleşme nedenli doğal bir sonuçtur. A ve B filmaşin numuneleri kıyaslandığında akma mukavemetlerinin çok yakın çıktığı görüldü. B numunesinin kalıntı oranının fazla olması ve kalıntı çapının daha büyük olmasının akma mukavemeti sonuçlarının bu doğrultuda etkilediği düşünüldü.

Yapılan kalıntı analizine göre kalıntı oranının ve kalıntı büyüklüklerinin B numunesinde en yüksek düzeyde çıktığı görüldü. Bu düzeyde kalıntıların malzemenin mekanik özelliklerini etkileyebilecek düzeyde olduğu öngörüldü. B numunesindeki sertlik dağılımının geniş bir aralıkta çıkması içerdiği kalıntı oranıyla bağlantılı olabileceği ve basılan noktaların bu kalıntılara denk gelmesinden kaynaklanabileceği öngörülmüştür.

Sonuçlardan görüldüğü gibi tel çekme işlemi sonrasında torsiyon tur sayılarında büyük bir artış yaşandı. Daha ince çaplı numuneler doğaları gereği daha fazla burulmayı kaldırabilmektedirler. Ayrıca karbon oranının artması ile torsiyon tur sayısında düşüş yaşanması numunelerin pekleşmesi ve burulmaya direnç göstermesinden kaynaklanmaktadır. Artan karbon oranıyla birlikte mukavemet ve

sertlik değerlerinin artmasına rağmen torsiyona olan dayanımın dūştüęü, dolayısıyla artan karbon oranının serviste bu tür zorlanmalara maruz kalacak tellerde performansı iyileştirmediği görüldü.

Torsiyon testinde A ve B numunelerinde küt, C numunesinde ise dağınık olmak üzere iki farklı kopma türü görüldü. Alınan SEM görüntüleri incelendiğinde A ve B numunesinde yaklaşık olarak aynı oranda bir karışık kırılma gözlenirken, C numunesinin ağırlıklı olarak gevrek kırıldığı görüldü. Bu da her üç numunede de sünek ve gevrek kırılmanın bir arada olduğu karışık kırılma tipinin varlığını gösterdi. C numunesinde karbon oranının yüksek olması gevrekliği arttırmaktadır. Nitekim C numunesi de karışık bir kırılma göstermekle birlikte kırılma kesiti dağılarak kırılmış bir görünüm arz etmekte ve kırılma kesitindeki gevrek bölgelerin oranı A ve B'ye nazaran daha yüksek olmuştur.

Torsiyon test cihazı ile yapılan çalışmalar sonucunda tur sayılarına etkisi en fazla olan parametrenin numune çapı olduğunu daha sonra sırasıyla karbon oranı ve kalıntılar olduğu görüldü. Kesin bir şey söyleyebilmek için bu sonuçların istatistiksel bir programla karşılaştırılması gerekmektedir. Bu nedenle elde edilen sonuçların modellenmesi yapıldı.

Bilgisayar destekli yapılan çalışma ile torsiyon tur sayılarının belirlenmesinde, çap parametresinin yüksek düzeyde istatistiksel anlamlılık gösterdiği, % karbon parametresinin istatistiksel anlamlılık gösterdiği, maksimum kalıntı çapı ve ortalama kalıntı çapı parametrelerinin anlamlılık eğilimi (sınırdan anlamlılık) gösterdiği görüldü buna karşın, % kalıntı oranı parametresinde ise istatistiksel olarak anlamlı farklılık saptanmadı.

Bulunan denklem incelendiğinde kalıntı oranının artmasıyla torsiyon tur sayısı artmaktadır. Ancak kalıntı oranının artmasıyla torsiyon tur sayısının dūřmesi gerektiği dūřünüldüęünde bulunan denklemle bu bilginin çakıştığı görülmektedir. Bu anlamda daha kesin sonuçlara ulaşmak için test ve numune sayısı artırılması gerektiği dūřünülmektedir. Daha fazla sayıda ve aynı prosesten çıkmış farklı özelliklerde numune temin edilmesi, yapılacak testlerde daha doğru sonuç elde etmemizi sağlayacaktır. Daha fazla numune ile oluşturulan denklem geliştirilebilir ve gerçeğe daha yakın sonuçlar almamız mümkün olabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Özer Ö., Tel Çekme İşlemine Etki Eden Faktörlerin Mekanik ve Teknolojik Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1993, 29172.
- [2] Sawamiphakdi K., Lahoti G. D., Gunasekara J. S., Kartik R., Development of Utility Programs for a Cold Drawing Process, *Journal of Materials Processing and Technology*, 1998, **80**(81), 392-397.
- [3] Akpari A., Hasani G. H., Jam M. J., An Experimental Investigation of the Effect of Annealing Treatment on Strain Inhomogeneity in the Cross-Section of Drawn Copper Wires, 2010, *Metal*, Roznov pod Radhostem, 18-20.
- [4] Humphreys F. J., Hatherly M., *Recrystallization and Related Annealing Phenomena Second Edition*, Elsevier, Oxford, 2004.
- [5] Zhou L., Fang F., Wang L., Hu X., Xie Z., Jiang J., Torsion performance of pearlitic steel wires: Effects of morphology and crystallinity of cementite, *Materials Science & Engineering A*, DOI:10.1016/j.msea.
- [6] Pallarés-Santasmartas L., Albizuri J., Avilés A., Saintier N., Merzeau J., Influence of mean shear stress on the torsional fatigue behaviour of 34CrNiMo6 steel, *International Journal of Fatigue*, DOI:10.1016/j.ijfatigue.
- [7] Wright N. R., *Wire Technology Process Engineering And Metallurgy*, Elsevier, Oxford, 2011.
- [8] http://sarthak.group/images/manufacturing_process.jpg (Ziyaret tarihi: 10.06.2019).
- [9] Akdoğan A., Çeliğin Isıl İşlemleri Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 8-10, 2008.
- [10] Ünseren M., Tel Çekme Matrisleri Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2006, 185112.
- [11] <http://www.hzharbor.com/en/product/id-4.html> (Ziyaret tarihi 14.06.2019).
- [12] <http://www.hzharbor.com/en/product/id-5.html> (Ziyaret tarihi 14.06.2019).
- [13] <https://www.eurolls.com/en/main/products/wire-products/item/55-multipass-wire-drawing-machine/91-wet-drawing> (Ziyaret tarihi 14.06.2019).
- [14] <http://mekosan.com.tr/machine.php?id=29>, (Ziyaret tarihi 14.06.2019).
- [15] <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=400> (Ziyaret tarihi 20.08.2019).

- [16] Perez J., Inclusion Control Model In The Ladle Metallurgy Furnace, Master Thesis, McMaster University, Hamilton, Canada, 2012.
- [17] Ünal L. M., *Çelik Üretiminde İnküzyon ve Azaltılması*, Erdemir Bilim Teknoloji Serisi, Rota Yayıncılık, İstanbul, 2001.
- [18] Zhang L., Thomas B. G., Inclusions In Continuous Casting Of Steel, Xx1v *National Steelmaking Symposium*, Morelia, Mich, Mexico, 26-28, Nov.2003.
- [19] <https://www.olympus-ims.com/en/nonmetallic-inclusion-analysis-in-steel/> (Ziyaret tarihi 22.08.2019).
- [20] Das G., Image Analysis In Quantitative Metallography, *Materials Characterization Techniques-Principles And Applications*, 1999, 135-150.
- [21] Lis T., Modification Of Oxygen And Sulphur Inclusions In Steel By Calcium Treatment, *Metalurgija* 48, 2009, **48**(2), 95-98.
- [22] Kim H. S., Lee H. G., Oh K. S., Mns Precipitation İn Association With Manganese Silicate Inclusions İn Si/Mn Deoxidized Steel, *Metallurgical And Materials Transactions A*, 2001, **32a**, 1519-1525.
- [23] Balin B., Seçilen Karakteristiklerin Tel Çekme İşlemi Üzerindeki Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2004, 154377.
- [24] <http://www.guvenhadde.com/tel-ve-cubuk-cekme> (Ziyaret tarihi 28.08.2019).
- [25] Çapan L., *Metallere Plastik Şekil Verme*, Çağlayan Kitabevi, İstanbul, 1989.
- [26] http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/48928/45935/5__mukavemet_artt%C4%B1rma_i%C5%9Flemleri_2016.ppt (Ziyaret tarihi 02.09.2019).
- [27] Raji N. A., Oluwole O. O., Influence of Degree of Cold-Drawing on the Mechanical Properties of Low Carbon Steel, *Materials Sciences and Application*, 2011, **2**, 1556-1563.
- [28] Guo N., Luan B., Liu Q., Influence of pre-torsion deformation on microstructures and properties of cold drawing pearlitic steel wires, *Materials and Design*, DOI:10.1016/j.matdes.
- [29] Goes B., Martín-Meizoso A., Gil-Sevillano J., Lefever I., Aernoudt E., Fragmentation of as-drawn pearlitic steel wires during torsion test, *Engineering Fracture Mechanics*, 1998, **60-3**, 255-272.
- [30] Patil N., Torsion Test: An Effective Tool To Evaluate Wire Ductility, Master Thesis, Lamar University, Beaumont, Texas, 2006.
- [31] ASTM E45 - 13, Standard Test Methods for Determining the Inclusion Content of Steel, *ASTM International*, Pennsylvania, 2013.

- [32] TS EN ISO 6507-1 Metallic materials - Vickers hardness test - Part 1: Test Method, *International Organization for Standardization*, Geneva, 1997.
- [33] TS EN ISO 6892-1 Metallic materials - Tensile testing - Part 1: Method of test at room temperature, *International Organization for Standardization*, Geneva, 2016.
- [34] ISO 7800: - Metallic materials - Wire - Simple torsion test, *International Organization for Standardization*, Geneva, 2003.
- [35] Kul S., İstatistik Sonuçlarının Yorumu: P Değeri ve Güven Aralığı Nedir?, *Türk Toraks Derneği*, DOI:10.5152/Pb.
- [36] <http://kisi.deu.edu.tr/kemal.sehirli/RK%20Bolum%207%202010.pdf> (Ziyaret tarihi 12.09.2019).



KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] **Çiçek E.**, Yılmaz M., Alaşimsız Çelik Filmaşınların Soğuk Tel Çekme İşlemi Sonrası Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, *The Internatınonal Conference on Materials Science, Mechanical and Automotive Engineerings and Technology*, Kapadokya, 21-23 Haziran 2019.



ÖZGEÇMİŞ

1990 yılında Çorum'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Çorum'da tamamladı. 2011 yılında girdiği Yıldız Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nden 2016 yılında, 2014 yılında girdiği Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nden 2018 yılında mezun oldu. Yüksek lisans eğitimi için Kocaeli Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı'na 2017 kayıt yaptırdı. Kasım 2018 - Haziran 2019 ayları arasında Çelik Halat ve Tel Sanayi A.Ş. bünyesinde çalıştı. Günümüzde yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.

