

**316L KALİTEYE SAHİP PASLANMAZ ÇELİK TELLERİN TEL
ÇEKME VE PARLAK TAVLAMA PROSESLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YILMAZ YILDIRIM

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**MERSİN
MART- 2019**

**316L KALİTEYE SAHİP PASLANMAZ ÇELİK TELLERİN TEL
ÇEKME VE PARLAK TAVLAMA PROSESLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YILMAZ YILDIRIM

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**


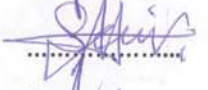
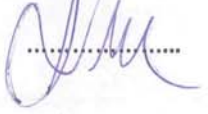
**METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**Danışman
Doç. Dr. Hüseyin ŞEVİK**

**MERSİN
MART - 2019**

ONAY

Yılmaz YILDIRIM tarafından Doç. Dr. Hüseyin ŞEVİK danışmanlığında hazırlanan "316L Kaliteye Sahip Paslanmaz Çelik Tellerin Tel Çekme ve Parlak Tavlama Proseslerinin Araştırılması" başlıklı çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından 31.03.2019 tarihinde yapılan Tez Savunma Sınavı sonucunda oy birliği/çokluğu ile Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

| Görevi | Ünvanı, Adı ve Soyadı | İmza |
|--------|--------------------------------|---|
| Başkan | Doç. Dr. Levent Cenk KUMRUOĞLU |  |
| Üye | Doç. Dr. Hüseyin ŞEVİK |  |
| Üye | Doç. Dr. Güven YARKADAŞ |  |

Yukarıdaki Jüri kararı Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 14.10.2019 tarih ve 2019.24./687 sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, tablo ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

ETİK BEYAN

Mersin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğinde belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlâk kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak kullandığımı,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Bu tezin herhangi bir bölümünü Mersin Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı,
- Tezin tüm telif haklarını Mersin Üniversitesi'ne devrettiğimi

beyan ederim.

ETHICAL DECLARATION

This thesis is prepared in accordance with the rules specified in Mersin University Graduate Education Regulation and I declare to comply with the following conditions:

- I have obtained all the information and the documents of the thesis in accordance with the academic rules.
- I presented all the visual, auditory and written informations and results in accordance with scientific ethics.
- I refer in accordance with the norms of scientific works about the case of exploitation of others' works.
- I used all of the referred works as the references.
- I did not do any tampering in the used data.
- I did not present any part of this thesis as an another thesis at Mersin University or another university.
- I transfer all copyrights of this thesis to the Mersin University.

31.08/2019

İmza / Signature

Yılmaz YILDIRIM

ÖZET

316L KALİTEYE SAHİP PASLANMAZ ÇELİK TELLERİN TEL ÇEKME VE PARLAK TAHLAMA PROSESLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Tüm dünyada yaygın olarak kullanılmakta olan paslanmaz çelik, ülkemizde de endüstriyel toplumun her alanında kullanılmaktadır. Türkiye’de paslanmaz çelik üretimi yapılmamakta, bu alandaki ihtiyaçların tamamı yurtdışından karşılanmaktadır.

Bu çalışmada yurt dışından ithal edilen 316L kaliteye sahip olan ve 5,5 mm çapında olan filmaşine soğuk deformasyonla tel çekme uygulanması ve tel çekme sonrasında parlak tavlama yapılması çalışılmıştır. Öncelikle gelen filmaşin çinko-fosfat kaplama prosesinden geçirilmiş ve kuru yağlayıcılar ile belirlenen redüksiyon oranları ile haddelerden geçirilmiştir. Telin her haddeden geçişi sonrasında telden numuneler alınmış ve proses boyunca teldeki mekanik ve mikroyapısal değişimler incelenmiştir. İç yapıda deformasyon kaynaklı olarak α' -martenzitik yapının oluştuğu gözlemlenmiştir. Martenzitik dönüşüme uğrayan teller H₂ içeren inert ortamda tavllanmış ve tavlama sonrasında ithal edildiği hali olan filmaşin ile aynı mikroyapı elde edilmiş, ASTM A 580-13b standardının istemiş olduğu özelliklere uygun teller üretilmiştir.

Anahtar Kelimeler: 316L, Paslanmaz Çelik, Parlak Tavlama, Tel Çekme.

Danışman: Doç. Dr. Hüseyin ŞEVİK, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF WIRE DRAWING AND BRIGHT ANNEALING PROCESSES OF 316L QUALITY STAINLESS STEEL WIRES

Stainless steel, which is widely used all over the world, it is also used in our country in all areas of the industrial society. There is no stainless steel production in Turkey and all the needs in this field are met from abroad.

In this study, it was tried to apply wire drawing with cold deformation of wire rod having a diameter of 5,5 mm and having 316L quality imported from abroad and to perform bright annealing after wire drawing. First, the incoming wire rod is passed through a zinc-phosphate coating process and then passed through drawing dies with reduction ratios determined by dry lubricants. After each pass of the wire, samples of drawn wires were taken and mechanical and microstructural changes during the process were investigated. It has been observed that in the microstructure, α' -martensitic structure occurs as a result of deformation. The Martensitic transformed wires were annealed in an inert atmosphere containing H₂ and the same microstructure as the imported wire rod was obtained after annealing, and the appropriate wires were produced according to the specifications of ASTM A 580-13b.

Keywords: 316L, *Stainless Steel*, Bright Annealing, Wire Drawing.

Advisor: Assoc. Dr. Huseyin SEVIK, Institute of Science and Technology of Mersin, Mersin.

TEŞEKKÜR

Tez alıŐmalarım boyunca bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren, farklı bakıŐ açıları kazanmamı sağlayan, bana vaktini ayırıp yol gösteren, çalıŐmalarım sonuçlanması için benimle yakından ilgilenen değerli hocam Doç. Dr. Hüseyin ŞEVİK'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimimin başlangıcından itibaren her zaman yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen çok kıymetli Güney elik A. Ő. ailesine minnet ve Őükranlarımı sunarım.



İÇİNDEKİLER

| | Sayfa |
|--|-----------|
| İÇ KAPAK | i |
| ONAY | ii |
| ETİK BEYAN | iii |
| ÖZET | iv |
| ABSTRACT | v |
| TEŞEKKÜR | vi |
| İÇİNDEKİLER | vii |
| TABLolar DİZİNİ | viii |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | ix |
| KISALTMALAR ve SİMGELER | x |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI | 2 |
| 2.1. PASLANMAZ ÇELİKLER | 2 |
| 2.1.1. Genel | 2 |
| 2.1.2. Paslanmaz Çeliklerin Tarihçesi | 3 |
| 2.1.3. Paslanmaz Çelik Türleri | 3 |
| 2.1.3.1. Ferritik Paslanmaz Çelikler | 4 |
| 2.1.3.2. Martenzitik Paslanmaz Çelikler | 6 |
| 2.1.3.3. Östenitik Paslanmaz Çelikler | 6 |
| 2.1.3.4. Dubleks Paslanmaz Çelikler | 10 |
| 2.1.3.5. Çökme ile Sertleştirilmiş Paslanmaz Çelikler | 10 |
| 2.1.3.5.1. Yarı Östenitik Tip | 10 |
| 2.1.3.5.2. Martenzitik Tip | 11 |
| 2.1.4. Paslanmaz Çeliklerde Görülen Korozyon Türleri | 11 |
| 2.1.4.1. Üniform (Tek Düzey) Korozyon | 12 |
| 2.1.4.2. Pitting (Oyuklanma) Korozyonu | 13 |
| 2.1.4.3. Aralık Korozyonu | 14 |
| 2.1.4.4. Gerilmeli Korozyonu | 14 |
| 2.1.4.5. Taneler Arası Korozyon | 15 |
| 2.1.4.6. Galvanik Korozyon | 16 |
| 2.1.5. AISI 316L Paslanmaz Çelikler | 17 |
| 2.2. TEL ÇEKME | 18 |
| 2.2.1. Tel Endüstrisinin Tarihi | 18 |
| 2.2.2. Tanım ve Tel Çekmenin Esasları | 20 |
| 2.2.3. Tel Çekme Prosesini Etkileyen Parametreler | 22 |
| 2.2.3.1. Tel Çekme Haddesi | 22 |
| 2.2.3.2. Çekme Sabunları ve Etkileri | 26 |
| 2.2.3.3. Sabun Kaplama Modelleri | 26 |
| 2.2.3.3.1. Hiç kaplama almamış veya çok ince film tabakası | 27 |
| 2.2.3.3.2. Bölgesel sabun kaplanmış | 27 |
| 2.2.3.3.3. Tam kaplama | 27 |
| 2.2.3.3.4. Kalın film tabakası | 27 |
| 2.2.3.4. Sabunların Özellikleri | 29 |
| 2.2.3.5. Tel Çekme Sırasında Kullanılan Sabunların Görevleri | 31 |
| 2.2.3.6. Sabun Seçimi | 32 |
| 2.2.3.6.1. Kuru Çekme Sabunları | 34 |
| 2.2.3.6.2. Sulu Çekme Sabunları | 36 |
| 2.2.3.7. Tellerin Tel Çekme İşlemi Sırasındaki Sabun Alma Davranışları | 36 |
| 2.2.3.8. Çekme Hızının Sabun Almaya Etkisi | 36 |
| 2.2.4. Soğuk Deformasyon Ve Yeniden Kristalleşme | 37 |
| 2.2.4.1. Toparlanma | 38 |

| | Sayfa |
|--|--------------|
| 2.2.4.2. Yeniden Kristalleşme | 39 |
| 2.2.4.3. Tane Büyümesi | 40 |
| 2.3. ISIL İŞLEM | 41 |
| 2.3.1. Parlak Tavlama | 41 |
| 3. MATERYAL VE YÖNTEM | 42 |
| 3.1. Giriş | 42 |
| 3.2. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Hammaddeler | 42 |
| 3.3. Çinko Fosfat Kaplama Prosesi | 43 |
| 3.4. Tel Çekme Prosesi | 44 |
| 3.5. Metalografik Numune Hazırlama ve Mikroyapı İnceleme | 47 |
| 3.6. Mikro Sertlik Testleri | 49 |
| 3.7. Çekme Testleri | 50 |
| 3.8. Parlak Tavlama | 51 |
| 4. BULGULAR VE TARTIŞMA | 56 |
| 4.1. Mikroyapı Çalışmaları | 56 |
| 4.2. Çekme Testleri | 61 |
| 4.3. Mikro Sertlik Testleri | 64 |
| 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER | 65 |
| KAYNAKLAR | 68 |
| ÖZGEÇMİŞ | 70 |

TABLolar DİZİNİ

| | Sayfa |
|---|--------------|
| Tablo 2.1. Ferritik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri | 5 |
| Tablo 2.2. Östenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri | 8 |
| Tablo 2.3. Östenitik paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri | 9 |
| Tablo 2.4. Ticari dubleks paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri | 10 |
| Tablo 2.5. Bazı Çökelti Sertleştirilmiş yarı östenitik paslanmaz çeliklerin nominal kimyasal bileşimleri | 11 |
| Tablo 2.6. Bazı çökelti sertleştirilmiş martenzitik paslanmaz çeliklerin nominal kimyasal bileşimleri | 11 |
| Tablo 2.7. 316L Paslanmaz Çelik Kimyasal Bileşimi | 18 |
| Tablo 2.8. Kaplama modellerinin karakterize edilmesi | 28 |
| Tablo 2.9. Sabun seçiminde muhtelif malzemeler için örnek uygulamalar | 33 |
| Tablo 2.10. Bazı metallerin yeniden kristalleşme ve ergime sıcaklıkları | 40 |
| Tablo 3.1. Hammadde Kimyasal Analiz Sonuçları | 42 |
| Tablo 3.2. Hammadde Mekanik Özellikler | 42 |
| Tablo 3.3. Hadde Dizisinin Detaylı Hesabı | 45 |
| Tablo 3.4. ASTM A 580-13b Standardı 316L Kalite Paslanmaz Çelik Tel Tav Sonrası Olması Gereken Mekanik Özellikler | 51 |
| Tablo 4.1. Şekil 4.5.'de görünen Noktasal EDX Analizlerinin Element Yüzdeleri | 59 |
| Tablo 4.2. Çekme Mukavemeti Değerleri | 61 |
| Tablo 4.3. Tavlama Sonrası Hava Ortamında Soğutulan Tellerin Çekme Test Sonuçları | 62 |
| Tablo 4.4. Tavlama Sonrası Su Ortamında Soğutulan Tellerin Çekme Test Sonuçları | 63 |
| Tablo 4.5. Parlak Tavlama Sonrası Tel Mukavemeti | 64 |
| Tablo 4.6. 316L Kalite Paslanmaz Çelik Mikro Sertlik Sonuçları | 64 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | Sayfa |
|--|-------|
| Şekil 2.1. İnce krom oksit tabakası paslanmaz çeliğin korozyon direncinin kaynağıdır. | 2 |
| Şekil 2.2. Değişik paslanmaz çelik türleri için nikel ve krom miktarları (Ç.S: Çökeltme Sertleşmesi uygulanabilen alaşımlar) | 4 |
| Şekil 2.3. AISI 301 ve 304 çeliklerinin çekme eğrileri | 9 |
| Şekil 2.4. Paslanmaz çeliklerde korozyon mekanizması | 12 |
| Şekil 2.5. Pitting (Oyuklanma) Korozyonu Mikroyapı SEM Görüntüsü | 14 |
| Şekil 2.6. Aralık Korozyonu Örnek Görüntüsü | 15 |
| Şekil 2.7. Gerilmeli Korozyon Örnek Mikroyapı Görüntüsü | 16 |
| Şekil 2.8. Taneler Arası Korozyon Örnek Mikroyapı Görüntüsü | 17 |
| Şekil 2.9. Galvanik Korozyon Örnek Görüntüsü | 17 |
| Şekil 2.10. 316L Paslanmaz Çelik Mikroyapı Örnek Görüntüsü | 18 |
| Şekil 2.11. Tel Çekme Prosesi Geometrisi | 20 |
| Şekil 2.12. Şematik tel çekme | 21 |
| Şekil 2.13. Telin matrinden geçişi | 21 |
| Şekil 2.14. Tipik tel çekme makineleri | 22 |
| Şekil 2.15. Tel Çekme Haddesi Kısımları | 24 |
| Şekil 2.16. Telin Haddeye Doğru Temas Noktası Örneği | 25 |
| Şekil 2.17. Hadde Yarı Açısı - Tel Çekme Kuvveti Grafiği | 25 |
| Şekil 2.18. Sürtünme katsayısının çekme hızına bağlı olarak değişmesi | 28 |
| Şekil 2.19. Tel yüzeyinde görülen sabun modeli | 29 |
| Şekil 2.20. Tel ve hadde arasındaki sabun tabakasının basit gösterimi | 31 |
| Şekil 2.21. 7 m/s'de haddede tahmini sıcaklık dağılımı | 32 |
| Şekil 2.22. Film kalınlığının çekme hızına bağlı olarak değişmesi | 37 |
| Şekil 2.23. Soğuk deformasyon ve tavlama ile malzemede meydana gelen değişikliklerin şematik gösterilişi | 38 |
| Şekil 2.24. Tane birleşmesiyle tane büyümesinin şematik gösterilişi | 41 |
| Şekil 2.25. Örnek Parlak Tavlama Proses Hattı Şematik Görüntüsü | 41 |
| Şekil 3.1. Çinko Fosfat Kaplama Sonrası Oluşan Kaplamanın Yapısı | 43 |
| Şekil 3.2. Çinko Fosfat Kaplama Tesisi | 44 |
| Şekil 3.3. Tel üzerine sıvayan sabunun hadde geçişi sırasındaki görüntüsü | 44 |
| Şekil 3.4. Tungsten Karbür Basınç Haddesi ve Basınçlı Hadde Sistemi | 45 |
| Şekil 3.5. Filmaşinin Tel Çekme Makinasına Beslemesi Öncesi Yapılan İşlemler | 46 |
| Şekil 3.6. Tel Çekme Makinası 1. Kafadan Geçen Tel ve Tel Çekme Makinası Görünüm | 46 |
| Şekil 3.7. Metkon Microcut 151 Hassas Kesme Cihazı | 47 |
| Şekil 3.8. Metkon Ecopress 50 Bakalit Cihazı | 47 |
| Şekil 3.9. Metkon Forcipol 2V Zımparalama ve Parlatma Cihazı | 48 |
| Şekil 3.10. Nikon LV150 Optik Mikroskop | 48 |
| Şekil 3.11. Bruker ZEISS Gemini SEM Cihazı | 49 |
| Şekil 3.12. Mitutoyo HM-100 Mikro Sertlik Ölçüm Cihazı | 49 |
| Şekil 3.13. Bakalite alınmış numuneleri ve test noktaları | 50 |
| Şekil 3.14. Mares Marka 10 Ton Kapasiteli Çekme Test Cihazı ve Kontrol Paneli | 50 |
| Şekil 3.15. Elektra marka rezistanslı fırın | 51 |
| Şekil 3.16. Akışkan Yataklı Fırın | 52 |
| Şekil 3.17. Parlak Tavlama Prosesinin Basit Şematik Görüntüsü | 52 |
| Şekil 3.18. a) Ön Temizlik Ünitesi b) Telin Fırına Girişi c) Telin Soğuma Ünitesi d) İnert Ortam Gaz Girişi e) İnert Ortam Gazının Tel Giriş Kısımında Gösterdiği Yanma | 54 |
| Şekil 3.19. Parlak Tavlama Sonrası Paslanmaz Çelik Tel | 55 |
| Şekil 4.1. Optik Mikroskop Mikroyapı Görüntüleri a) Filmaşin (20x) b) Filmaşin (50x) c) 3. Kafa Sonrası (20x) d) 3. Kafa Sonrası (50x) e) 6. Kafa Sonrası (20x) f) 6. Kafa Sonrası (50x) | 56 |

| | Sayfa |
|---|--------------|
| Şekil 4.2. SEM Cihazı Mikroyapı Görüntüleri a) Filmaşın b) Filmaşın c) 3. Kafa Sonrası d) 3. Kafa Sonrası e) 6. Kafa Sonrası f) 6. Kafa Sonrası | 57 |
| Şekil 4.3. Hadde İzleri Optik Mikroskop Görüntüleri a) 1. Kafa Sonrası b) 2. Kafa Sonrası c) 3. Kafa Sonrası d) 4. Kafa Sonrası e) 5. Kafa Sonrası f) 6. Kafa Sonrası | 58 |
| Şekil 4.4. Hadde İzleri SEM Görüntüleri a) 1. Kafa Sonrası b) 2. Kafa Sonrası c) 3. Kafa Sonrası d) 4. Kafa Sonrası e) 5. Kafa Sonrası f) 6. Kafa Sonrası | 58 |
| Şekil 4.5. Hadde İzleri SEM Görüntülerinin EDX Analizleri a) 1. Kafa Sonrası b) 2. Kafa Sonrası c) 3. Kafa Sonrası d) 4. Kafa Sonrası e) 5. Kafa Sonrası f) 6. Kafa Sonrası | 59 |
| Şekil 4.6. Tavlama Sonrası Paslanmaz Çelik Tel Mikroyapısı Optik Mikroskop Görüntüsü | 60 |
| Şekil 4.7. Tavlama Sonrası Paslanmaz Çelik Tel Mikroyapısı SEM Görüntüsü | 60 |
| Şekil 4.8. Akma-Çekme Mukavemeti Test Sonuçları Grafiği | 61 |
| Şekil 4.9. Tavlama Sonrası Hava Ortamında Soğutulan Tellerin Çekme Test Sonuçları Grafiği | 62 |
| Şekil 4.10. Tavlama Sonrası Su ile Soğutulan Tellerin Çekme Test Sonuçları Grafiği | 63 |
| Şekil 4.11. Mikro Sertlik Test Sonuçları Grafiği | 65 |
| Şekil 5.1. Deformasyon Prosesinin Şematik Gösterimi | 66 |

KISALTMALAR ve SİMGELER

| Kısaltma/Simgesi | Tanım |
|------------------|---|
| SEM | Taramalı Elektron Mikroskobu |
| EDX | Energy-Dispersive X-ray spectroscopy |
| HRAP | Sıcak Şekillendirilmiş Tavlanmış & Asitle Temizlenmiş (Hot Rolled Annealed & Pickled) |



1. GİRİŞ

Hızla gelişen dünyamızda, tüketim de buna paralel olarak artmaktadır. İnsanlar artık bedelini ödeyerek aldıkları bir maldan, hem ekonomiklik hem de yüksek kalite ve uzun ömür beklemektedir. İçinde bulunduğumuz çağda insanların bu beklentileri yönünde ve yapılan araştırmalarla birlikte biriken teknik bilgilerin sonucu malzeme alanında çok büyük teknolojik gelişmeler olmuştur ve hala olmaktadır. Paslanmaz çelikler, içinde yaşadığımız bu çağda, tasarımdan beklenen kaliteyi, estetiği ve ekonomikliği verebilen sınırlı sayıdaki malzemelerin en önemlilerinden birisidir.

Paslanmaz çelik (FeNiCr alaşımı) teller; yüksek korozyon direnci ve mekanik dayanımı nedeniyle uygulama alanı hızla genişleyen yüksek dayanımlı ve katma değerli tel ürün grubunda yer almaktadır. Ülkemizde paslanmaz çelik tel ihtiyacı sürekli artmakta olup, önemli oranda yurtdışından ithalat yolu ile sağlanmaktadır.

TÜİK verileri incelendiğinde ülkemizin paslanmaz çelik tüketimi ortalama %70 civarında östenitik paslanmaz çelik grubu üzerine olduğu görülmektedir.

Bu çalışmanın amacı 316L kaliteye sahip 5,5 mm çapında tavllanmış paslanmaz çelik telin sektörün talep ettiği standartlar (ASTM A 580) doğrultusunda istenilen yüzey kalitesinde çekilebilirliğini ve parlak tavlama prosesini araştırmayı hedeflemektedir. Bu doğrultuda paslanmaz çelik tel çekme prosesi temel parametrelerine (çekme hızı, redüksiyon oranı, hadde türü/ sayısı, sabun türü, parlak tavlama işlem parametreleri) bağlı olarak hedeflenen mekanik dayanım (akma, çekme mukavemeti, uzama oranı) kazandırılmaya çalışılacaktır.

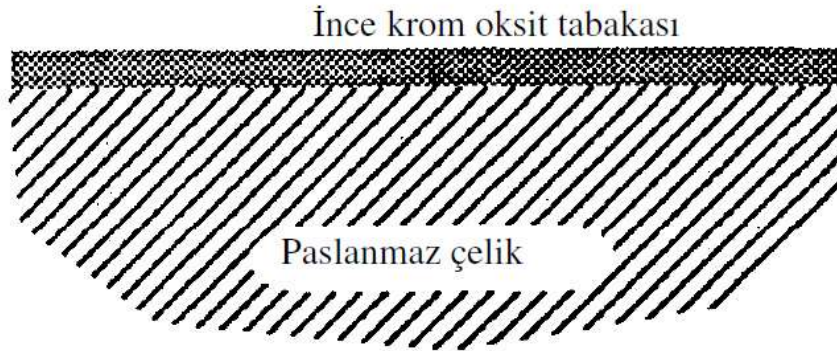
2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

2.1. Paslanmaz Çelikler

2.1.1. Genel

Açık hava şartlarında, korozif maddelerin (gazlı ve sulu ortamlar) etkisinde ve yüksek sıcaklıklara dayanıklı, esas olarak demir, krom, nikel, karbon içeren malzemelere paslanmaz çelik denir. Mekanik özellikler açısından ferritik çeliklerden pek farklılık göstermeyen paslanmaz çeliklerin yüksek maliyetlerine karşın, uygulamada çok kullanılmalarının ana nedeni, yüksek korozyon direncine sahip olmalarıdır. Kromun varlığı paslanmaz çeliklere iyi korozyon direnci verir. Çeliğin bünyesinde yer almış krom, hava, oksijenle temas ettiği yüzeyde gözle görülmeyen bir krom oksit tabakası oluşturur [1].

Bu tabaka; ince, sıkı, geçirimsiz ve metalin yüzeysel davranışlarında çok önemli elektrokimyasal değişiklikler yaparak çeliği, korozif ortamdan koruyan özelliklere sahiptir. Bu şematik olarak Şekil 2.1'de gösterilmiştir [1].



Şekil 2.1. İnce krom oksit tabakası paslanmaz çeliğin korozyon direncinin kaynağıdır.

Günümüzde 170'e yakın türü bulunan paslanmaz çelikler, değişik amaçlar için endüstride oldukça yaygın uygulama alanı bulmuşlardır. Değişik endüstri dallarında kullanılan çelik türlerinin bazılarında krom yüzdesi %30'a ulaşmakta, bazılarında yeni elementler katılarak değişik özellikler elde edilmekte ve işlenebilme kolaylığı sağlanılmaktadır. Örneğin; nikel ve molibden korozyon dayanımını, karbon-molibden-titanyum-alüminyum-bakır dayanımı artırıcı yönde etkilemekte, selenyum-kükürt ise talaşlı işlenebilme kabiliyetini geliştirmektedir [2].

2.1.2. Paslanmaz Çeliklerin Tarihçesi

Stodert ve M. Faraday İngiltere’de 1820 yılında yayınladıkları bir kitapta ilk defa korozyona karşı direnç gösteren demir alaşımlarından ve demir-krom alaşımından söz etmiştir. Fakat önerdikleri % krom pasivasyonu meydana getirecek miktardan daha azdı. Bu sebepten dolayı başarılı olamamıştır [3].

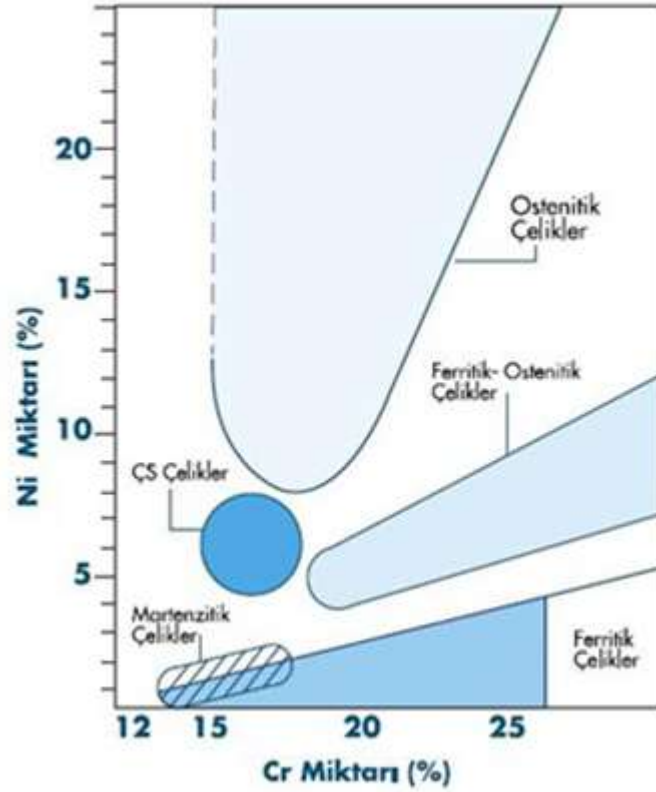
I. Dünya Savaşından sonra Avrupalı bir hurdacı paslı hurdalar arasında parlayan bir top namlusu görür. Bunun neden diğer çelikler gibi paslanmadığını merak ederek analiz ettirir. Sonuçta çeliğin içeriğinde yüksek oranda Cr bulunduğunu öğrenir. Kesiften sonra Avrupa’da paslanmaz çelik üretimi başlar. 1911 yılında C. Dantsizen, General Elektrik firmasında, elektrik ampullerinde flaman olarak kullanılmak üzere % 14 - 16 Cr içeren bir Fe - Cr alaşımı üretmiştir. Aynı yıllarda İngiltere’de Harry Brearley Fe - Cr alaşımlarının yüksek korozyon direncinden yararlanarak çatal, kasık, bıçak yapmak üzere %12,8 Cr içeren bir alaşım geliştirmiştir. Aynı araştırmacı bu alaşımların metalografik dağlama ayraçlarına dirençleri nedeni ile bunlara “paslanmaz çelik” adını vermiştir [4,5].

2.1.3. Paslanmaz Çelik Türleri

Paslanmaz çeliklerde kimyasal bileşim değiştirilerek farklı özelliklerde alaşımlar elde edilir. Krom miktarı yükseltilerek veya nikel ve molibden gibi alaşım elementleri katılarak korozyon dayanımı artırılabilir. Bunun dışında bakır, titanyum, alüminyum, silisyum, niyobyum, azot, kükürt ve selenyum gibi bazı elementlerle alaşımlama ile ilave olumlu etkiler sağlanabilir. Bu şekilde makine tasarımcıları ve imalatçıları değişik kullanımlar için en uygun paslanmaz çeliği seçme şansına sahip olurlar. Paslanmaz çeliklerde içyapıyı belirleyen en önemli alaşım elementleri, önem sırasına göre krom, nikel, molibden ve mangandır. Bunlardan öncelikle krom ve nikel içyapısının ferritik veya östenitik olmasını belirler [6].

Paslanmaz çelikler iç yapılarına göre beş ana grupta toplanırlar:

- Ferritik paslanmaz çelikler
- Martenzitik paslanmaz çelikler
- Östenitik paslanmaz çelikler
- Ferritik-Östenitik (dubleks) paslanmaz çelikler
- Çökeltme sertleşmesi uygulanabilen paslanmaz çelikler [7].



Şekil 2.2. Değişik paslanmaz çelik türleri için nikel ve krom miktarları (Ç.S: Çökelme Sertleşmesi uygulanabilen alaşımlar) [8].

Endüstride en yaygın olarak kullanılanlar östenitik ve ferritik çelikler olup, kullanımları tüm paslanmaz çelikler içinde % 95'e ulaşır [8].

2.1.3.1. Ferritik Paslanmaz Çelikler

Bileşiminde korozyon direncini sağlaması için yeterli düzeyde krom (% 16-30) veya kromun yanında yüksek sıcaklıklarda östenit oluşumunu önleyici Al, Nb, Mo ve Ti gibi ferrit yapıcı elementler içeren Fe-Cr-C alaşımlarına ferritik paslanmaz çelikler denir. Ferritik paslanmaz çelikler, ilk geliştirilen paslanmaz çelik türü olarak endüstride oldukça yaygın kullanım alanına sahiptir. Ferritik paslanmaz çelikler, paslanmaz çelik ailesinin önemli bir grubunu oluşturmaktadır. Kromun dar bir östenit alanı oluşturması, diğer bir deyişle ferritik yapıyı kararlılaştırması sebebiyle bu çelikler hiçbir dönüşüme uğramadan ya da kısmen dönüşüme uğrayarak sıvı faza kadar ısıtılabilirler. Dönüşüme uğramadıklarından ısıtılma işlemi sertleştirilmeleri veya normalleştirme tavlamaıyla tane küçültülmesi mümkün değildir. Ferritik paslanmaz çelikler, HMK yapıya sahip olduklarından dolayı nispeten yüksek akma sınırına ve her sıcaklıkta oldukça iyi manyetik özelliklere sahiptir. Ayrıca soğuk ve sıcak haddelenebilirliği, maksimum süneklik, tokluk ve korozyon dirençleri yalnız normalize hallerinde çok iyidir. Korozyon dirençleri, martenzitik paslanmaz çeliklere göre çok daha mükemmeldir.

Ferritik paslanmaz çeliklere Mo elementinin ilave edilmesi, korozyona karşı direncinin artmasını sağlar. Nb ve Ti ise, çelikte erimiş halde bulunan C ve N gibi elementlerin ferritik yapı içinde çözünürlüklerinin oldukça düşük olmasına, bu malzemelerin sünek-gevrek geçişinin çok dar bir sıcaklıkta oluşmasına neden olur, C ve N'nin oranlarını düşürerek taneler arası korozyona karşı çeliği kararlı hale getirir. Ferritik paslanmaz çelikler klorürlü ortamlardaki gerilmeli korozyon çatlamaına karşı oldukça dayanıklıdır.

Ferritik paslanmaz çelikler, pahalı ve stratejik bir element olan nikel içermemelerinden dolayı östenitik paslanmaz çeliklere göre daha ucuzdur. Tablo 2.1.'de yaygın olarak kullanılan ferritik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri verilmiştir. Ferritik paslanmaz çelikler oldukça parlak ve dekoratif görünüme sahiptirler. Bu tür paslanmaz çelikler dünya paslanmaz çelik tüketiminde östenitik paslanmaz çeliklerden sonra % 30'luk bir payla ikinci sırada yer almaktadır.

Tablo 2.1. Ferritik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri

| % Kimyasal Bileşimleri | | | | | |
|------------------------|------|------|----|-----|-----------|
| AISI | Cr | C | Mo | Al | Diğerleri |
| 405 | 13 | 0,08 | | 0,2 | |
| 409 | 11 | 0,08 | | | Ti 6xC |
| 430 | 17 | 0,12 | | | |
| 434 | 17 | 0,12 | 1 | | |
| 436 | 17 | 0,12 | 1 | | Nb 5xC |
| 442 | 20,5 | 0,20 | | | |
| 446 | 25 | 0,20 | | | |

Ferritik paslanmaz çelikler kolaylıkla soğuk şekillendirilerek, sac ve levha haline getirilebilmektedir. Atmosferik korozyona iyi direnç göstermelerinden dolayı mimaride, iç ve dış dekorasyonda; temizlik ve sterilizasyon maddelerinin korozif etkisine dirençleri ile toplu yaşam yerlerinde; mutfak tezgahları ve aletlerinin, yemek kaplarının, çamaşır ve kurutma makineleri kazanlarının, gıda endüstrisinde depolama kaplarının, sıcak su, süt ve bira tanklarının imalatında; ayrıca otomobil şase parçalarında, egzoz elemanlarında ferritik paslanmaz çelikler kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan ferritik paslanmaz çelik türleri 405-430"dur.

2.1.3.2. Martenzitik Paslanmaz Çelikler

Martenzitik paslanmaz çelikler, % 11,5-18 Cr içeren normal karbonlu çeliklerdir. Nispeten diğer çeliklere göre daha az Cr içermeleri sebebiyle korozyon dirençleri daha azdır (Doruk 2005). Ancak ısıtma-soğutma esnasında dönüşüme uğraması sayesinde ve yüksek karbon oranı nedeniyle havada soğutmada bile martenzit oluşur. Oluşan martenzit, klasik çeliklerdeki gibi gevrek ve yüksek dayanıma sahiptir. Menevişleme işlemi ile bir miktar tokluk elde edilmektedir. Bu çeliklerin ısıtma işleminde dikkat edilmesi gereken önemli konulardan birisi, düşük ısı iletkenlikleri nedeniyle ısıtma ve soğutma sırasında sıcaklık gradyanının oluşması ve bunun sonucunda oluşan çatlamalardır. Bu yüzden ısıtma kademeli olarak yapılmalıdır. Soğutma havada veya yağda yapılabilir. Yağda soğutma sonucunda daha iyi korozyon direnci ve tokluk elde edilir. Fakat çatlama riski yüksektir.

AISI normuna göre 4xx serisi şeklinde sembolize edilen martenzitik paslanmaz çelikler, DIN ve TSE standartlarına göre de yüksek alaşımlı çelikler grubuna girer ve X10Cr13, X105CrMo17 şeklinde gösterilirler. Martenzitik paslanmaz çelikler kalite olarak X10Cr13 (403), X15Cr13 (410), X12CrS13 (416), X20Cr13 (420), X90CrMoV18 (440 B) gösterilmektedir. 410, 416 ve 430 martenzitik paslanmaz çelikler düşük karbon içerir. 440 A, 440 B ve 440 C ise yüksek karbonlu martenzitik paslanmaz çelik alaşımlarıdır. Bu çelikler bıçaklar, ameliyat aletleri, mil ve pim yapımında kullanılırlar. 403 ve 416 martenzitik paslanmaz çelikleri türbin kanatları ve korozyona dirençli döküm parçalarında en yaygın olarak kullanılmaktadır.

Martenzitik paslanmaz çelikler manyetikler, zorluk göstermeksizin soğuk haddelenebilirler, hava ve kimyasal etkilere karşı iyi direnç gösterirler. Östenitik ve ferritik paslanmaz çelikler kadar olmasa da arzu edilen sıcaklıklardan itibaren sertleştirildikten sonra çok iyi korozyon direncine sahip olurlar. 815 °C'ye kadar paslanmazlık özelliklerini korurlar, ancak uzun süre yüksek sıcaklığa maruz kaldıkları zaman hafif korozyon başlangıcı olmasından dolayı endüstride sürekli olarak 700 °C'nin üzerinde kullanılmamaktadırlar [8].

2.1.3.3. Östenitik Paslanmaz Çelikler

Biçimlendirme, mekanik özellikler ve korozyon dayanımı bakımından çok uygun bir kombinasyona sahip olan östenitik paslanmaz çelikler, kullanım alanı ve alaşım çeşitliliği açısından paslanmaz çelik üretiminin yaklaşık olarak % 80-90'ını oluşturmaktadır. Bu çelikler hem oda sıcaklığında, hem de yüksek sıcaklıklarda yüzey merkezli kübik (YMK) kafese sahip oldukları ve östenitik iç yapılarını koruduklarından, normalleştirme ve sertleştirme ısıtma işlemi yapılamaz. Manyetik olmayan bu çeliklerin, tavllanmış halde süneklikleri, toklukları ve

şekillendirilebilme kabiliyetleri düşük sıcaklıklarda bile mükemmeldir. Mekanik dayanımları ancak soğuk şekillendirme ile artırılabilir.

Paslanmaz çeliğin bileşiminde yeterince nikel bulunduğundan, malzemenin iç yapısı oda sıcaklığında dahi östenitik olmaktadır. Östenitik paslanmaz çelikler % 16-25 Cr, % 10-24 Ni+Mn, % 0,4'e kadar C içermektedir. Sürünme dayanımı ve taneler arası korozyonu minimum seviyeye düşürmek için düşük miktarda Mo, Ti, Nb ve Ta gibi diğer alaşım elementleri katılmaktadır. Cr ve Ni+Mn oranları arasındaki denge % 90-100 östenitten oluşan bir mikroyapının elde edilebileceği şekilde oluşturulmuştur. Bu alaşımlar, geniş bir sıcaklık aralığında sahip oldukları yüksek tokluk ve yüksek dayanım değerlerini ön plana çıkarmakta olup, 540 °C'ye kadar olan sıcaklıklarda oksidasyona karşı iyi dayanım gösterirler.

Ayrıca östenitik paslanmaz çelikler, karbonlu çeliklere göre daha yüksek termal genişleme katsayısına, elektrik direncine ve daha düşük ergime noktasına, termal iletkenlik katsayısına sahiptirler. Korozyon dirençleri bakımından karşılaştığımızda; östenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin korozyon direnci, martenzitik ve ferritik kromlu paslanmaz çeliklerden daha yüksektir. İç yapının östenitik olması, geçiş sıcaklığı altında görülen gevrekleşmeyi ortadan kaldırır. Gerek sıfır altı (-270°C'ye kadar) ve gerekse yüksek sıcaklıklardaki korozyon dirençleri, mekanik özelliklerinin üstünlüğü, bu çelik grubunun birçok alanda rakipsiz bir yapı çeliği olarak kullanılmasına olanak sağlamıştır.

Östenitik krom-nikelli paslanmaz çelikler genellikle nemli ortamlarda kullanılır. Çelikte yüksek nikel içeriği, gerilmeli korozyon çatlamasına karşı riski azaltır. Katılan alaşım elementlerinin miktarına bağlı olarak bu çeliklerin, genel korozyona, çukur ve aralık korozyonuna dirençleri, artan molibden ve krom ile artar. Östenitik paslanmaz çelikler, soğuk haddelenmiş veya çekilmiş halde yüksek mukavemetli ve yüksek korozyon dirençli çeliklerdir.

En yaygın östenitik paslanmaz çelik türü 304 ve 316 tipleri gibi 300 serisi alaşımlardır. Yaygın olarak kullanılan bazı östenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri Tablo 2.2'de verilmiştir.

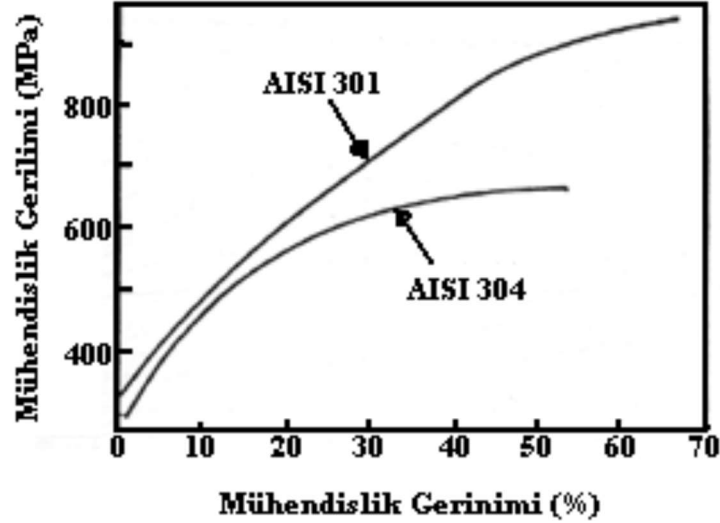
Tablo 2.2. Östenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri

| ASTM | Kimyasal Bileşim, % | | | | | | | | | |
|-------|---------------------|---------|------|-------|------|-------|---------|-----|----------|-------|
| | C | Mn | Si | P | S | Cr | Ni | Mo | N | Diğer |
| 201 | 0,15 | 5,5-7,5 | 1,00 | 0,06 | 0,03 | 16-18 | 3,5-5,5 | - | 0,25 | - |
| 304 | 0,08 | 2,00 | 1,00 | 0,045 | 0,03 | 18-20 | 8-10,5 | - | | - |
| 304L | 0,03 | 2,00 | 1,00 | 0,045 | 0,03 | 18-20 | 8-12 | - | | - |
| 304LN | 0,03 | 2,00 | 1,00 | 0,045 | 0,03 | 18-20 | 8-12 | - | 0,1-0,16 | - |
| 316 | 0,08 | 2,00 | 1,00 | 0,045 | 0,03 | 16-18 | 19-22 | 2-3 | | - |
| 316L | 0,03 | 2,00 | 1,00 | 0,045 | 0,03 | 16-18 | 10-14 | 2-3 | | - |
| 316LN | 0,03 | 2,00 | 1,00 | 0,045 | 0,03 | 16-18 | 10-14 | 2-3 | 0,1-0,16 | - |

Bu çeliklerin yaygın kullanım alanları;

1. Bilgisayar disket sürücüleri, kapakları ve yayları,
2. Mutfak lavabosu,
3. Yemek hazırlama ekipmanları,
4. Mimari uygulamalar,
5. Bilgisayar klavyesi ve tuşlarının yayları,
6. Kimyasal gübre hazırlama ekipmanlarıdır.

Östenitik paslanmaz çelikler, mikroyapıdaki östenitin kararlı hale gelmesine göre kararlı ve yarı kararlı östenitik çelikler olmak üzere iki grupta sınıflandırılabilir. Kararlı östenitik çeliklerin mikroyapıları soğuk deformasyondan sonra östenitik olarak kalmaktadır. Yarı kararlı östenitik paslanmaz çelikler ise soğuk deformasyonla belli bir düzeyde martenzite dönüşerek östenit-martenzit karışımından bir yapı oluşturmaktadırlar. Oda sıcaklığında yarı kararlı (AISI 301 tipi) ve kararlı (AISI 304 tipi) östenitik paslanmaz çeliklerin pekleşme davranışları arasındaki fark Şekil 2.3'de görüldüğü gibi mühendislik gerilim-gerinim eğrisiyle ifade edilmektedir. AISI 304 tipinde normal pekleşme davranışı sergilemekte ve gerilimin uygulandığı süreçte normal pekleşmeye işaret eden parabolik bir eğri sergilemektedir. Buna karşın AISI 301 tipinde yaklaşık % 10-15 deformasyondan sonra hızlandırılmış bir pekleşme davranışı göstermektedir. Bu davranış, kararsız östenit yapıdan, martenzit yapıya dönüşmesinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 2.3. AISI 301 ve 304 çeliklerinin çekme eğrileri

Karbon içeriğindeki küçük bir değişikliğin akma dayanımı üzerine etkisi AISI 304 ve AISI 304 L alaşımlarının akma dayanımları birbirleri ile karşılaştırılarak görülebilir. Tablo 2.3'e göre; yaklaşık % 0,08 C içerikli AISI 304 östenitik paslanmaz çelik 241 (N/mm²) akma dayanımına sahip iken, daha düşük % 0,03 C içerikli AISI 304 L östenitik paslanmaz çeliğin akma dayanımı 207 (N/mm²)'dir [8].

Tablo 2.3. Östenitik paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri [8].

| Çelik Türü | Isıl İşlem Şartı | Çekme Dayanımı (N/mm ²) | Akma Dayanımı (N/mm ²) | Uzama (%) | Kesit Daralması (%) | Sertlik (Rockwell) |
|------------|---------------------|-------------------------------------|------------------------------------|-----------|---------------------|--------------------|
| 201 | Tavlı | 793 | 379 | 55 | - | B90 |
| 201 | Tam Sertleştirilmiş | 1275 | 975 | 4 | - | C41 |
| 301 | Tavlı | 758 | 276 | 60 | - | B85 |
| 301 | Tam Sertleştirilmiş | 1275 | 965 | 8 | - | C41 |
| 304 | Tavlı | 586 | 241 | 55 | 65 | B80 |
| 304L | Tavlı | 552 | 207 | 55 | 65 | B76 |
| 316 | Tavlı | 586 | 241 | 55 | 70 | B80 |
| 316L | Tavlı | 538 | 207 | 55 | 65 | B76 |
| 316F | Tavlı | 586 | 241 | 55 | 70 | B80 |
| 317 | Tavlı | 620 | 276 | 50 | 55 | B85 |
| 317L | Tavlı | 586 | 241 | 50 | 55 | B80 |

2.1.3.4. Dupleks Paslanmaz Çelikler

Ferritik ve östenitik paslanmaz çeliklerin ortasında ayrı sınıf paslanmaz çeliklerdir. Bu nedenle dupleks paslanmaz çelikler ferritik ve östenitik paslanmaz çeliklerin bazı özelliklerini birleştirmektedirler. Dupleks çelikler ferritik çelikler kadar olmasa da gerilim korozyonuna karşı dirençlidir. Buna karşın dupleks çeliklerin dayanımı östenitik çeliklerden yüksektir.

Tablo 2.4. Ticari dupleks paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşenleri

| Alaşım | % Kimyasal Bileşim | | | | | | | Diğer |
|-----------------------|--------------------|------|-----|-----|-----|-------|-------|---------------------|
| | Fe | Cr | Ni | Mo | Mn | Si | C | |
| 329 | Geri Kalan | 26 | 5 | 1,5 | | | 0,08 | |
| Ferralium 255 | Geri Kalan | 25,5 | 5,5 | 3 | =2 | =2 | =0,08 | N: 0,1; Cu: 1,75 |
| 7 Mo | Geri Kalan | 25,5 | 3,7 | 0,5 | =1 | =0,75 | =0,08 | |
| U 50 | Geri Kalan | 21 | 7 | 2,5 | =2 | =1 | =0,03 | N:0.2; Cu:0.5 |
| AF 22 | Geri Kalan | 22,5 | 5,5 | 3 | =2 | =1 | =0,03 | |
| 25Cr-5Ni-2Mo-N | Geri Kalan | 25 | 5 | 2 | 0,5 | 0,5 | 0,025 | N:0.15; Cu:1 |
| 3 RE 60 | Geri Kalan | 18,5 | 4,7 | 2,7 | 1,5 | 1,7 | =0,03 | |
| SAF 2205 | Geri Kalan | 22 | 5,5 | 3 | < 2 | < 0,8 | 0,03 | |

Dupleks çeliklerin genel korozyon dirençleri krom, molibden ve azot içerikleriyle belirlenir. Bazı ticari dupleks paslanmaz çelikler ve bu çeliklerin kimyasal bileşenleri Tablo II.5' de verilmiştir. Krom içerik aralığı % 18-30 ve nikel %25 Cr ve %3 Mo içeren yüksek alaşımlandırılmış dupleks çelikler deniz suyuna karşı iyi korozyon direncine sahiptir. Dupleks çelikler bazı CO2 boru sistemlerinde ve petrol endüstrisindeki gaz borularında kullanılır [9].

2.1.3.5. Çökeltme ile Sertleştirilmiş Paslanmaz Çelikler

Bu paslanmaz çeliklerin en önemli özellikleri; kolay üretim, yüksek dayanım, nispeten yüksek süneklik ve mükemmel korozyon direncidir. Bu çelikler iki grupta incelenir. Bu gruplar yarı östenitik ve martenzitik tiplerdir.

2.1.3.5.1. Yarı Östenitik Tip

Bu alaşımlar tavllanmış şartlarda esas olarak östenitik ancak nispeten basit ısı ve termomekaniksel ısıl işlemlerle martenzite dönüşebildiği için yarı östenitik olarak adlandırılır. Bu tip alaşımı yapmak için östenit ve ferrit arasındaki dengenin çok sıkı korunması gerekir. Östenit ve

ferrit çok yüksekse östenit martenzite dönüşmeyecek kadar kararlı olacaktır. Östenit oranı çok düşükse kısmi veya tamamen martenzite dönüşüme direnç gösteren tavllanmış şartlardaki kararlı östenit üretilemez. Bu alaşımların bir avantajı olan yumuşak şartlarda üretimden sonra östenit, martenzite dönüşümü sağlamak için şartlandırılır. Şartlandırma işlemi karbonu katı eriyikten uzaklaştırmak için yeterince yüksek sıcaklığa ısıtma ve karbonu krom karbür (Cr_23C_6) şeklinde çökeltilmeden meydana gelir. Çökeltilme ilk olarak ferrit-östenit ara yüzeyinde olur. Östenitik matristen karbon ve bir miktar kromun uzaklaştırılması östeniti kararsız hale getirir ve Ms sıcaklığına soğutma sonucu östenit martenzite dönüşür.

Tablo 2.5. Bazı Çökelti Sertleştirilmiş yarı östenitik paslanmaz çeliklerin nominal kimyasal bileşimleri

| Sınıf | %C | %Mn | %Si | %Cr | %Ni | %Mo | %Al | %N |
|------------|------|------|------|------|------|------|-----|-------|
| 17-7PH | 0,07 | 0,50 | 0,30 | 17,0 | 7,1 | | 1,2 | 0,04 |
| PH 15-7 Mo | 0,07 | 0,50 | 0,30 | 15,2 | 7,1 | 2,2 | 1,2 | 0,04 |
| PH-14-8 Mo | 0,04 | 0,02 | 0,02 | 15,1 | 8,2 | 2,2 | 1,2 | 0,005 |
| AM-350 | 0,10 | 0,75 | 0,35 | 16,5 | 4,25 | 2,75 | | 0,10 |
| Am-355 | 0,13 | 0,85 | 0,35 | 15,5 | 4,25 | 2,75 | | 0,12 |

2.1.3.5.2. Martenzitik Tip

Kullanım ağırlığı bakımından martenzitik-çökeltilme sertleştirilmiş paslanmaz çelikler diğer çeliklerden daha fazla kullanılır. Çözündürme uygulanmış şartlardaki nispeten yüksek sertliklerinden dolayı, bu çelikler prensip olarak çubuk, tel ve ağır dövülmüş şekilde kullanılır. Levha şeklinde kullanımı ise azdır. Çözündürme ısı işlemi ve oda sıcaklığında soğutmadan sonraki bu çeliklerdeki östenit ve ferrit dengesi martenzitik şartlardadır [10].

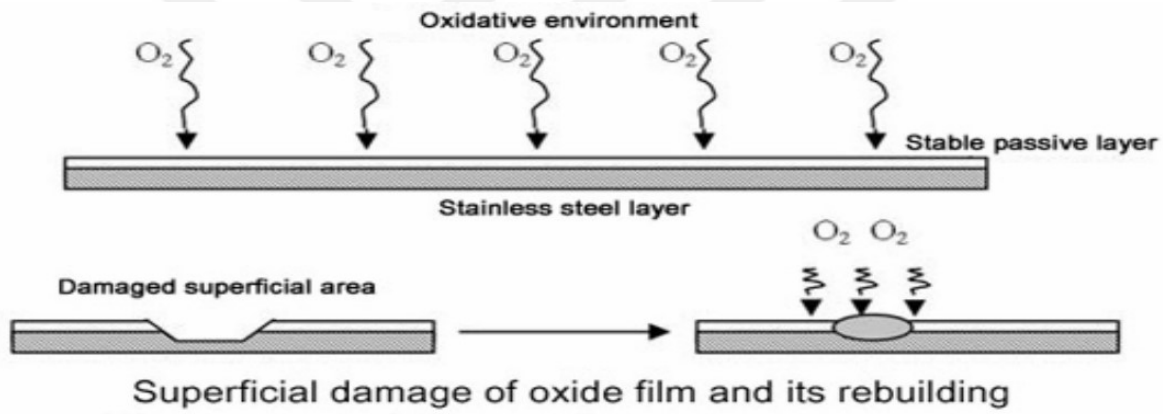
Tablo 2.6. Bazı çökelti sertleştirilmiş martensitik paslanmaz çeliklerin nominal kimyasal bileşimleri [10].

| Sınıf | %C | %Mn | %Si | %Cr | %Ni | %Mo | %Al | %Cu | %Ti | %Nb |
|-----------------------|------|------|------|-------|------|-----|-----|-----|-----|------|
| Orta Dayanım | | | | | | | | | | |
| 17-4PH | 0,04 | 0,30 | 0,60 | 16,0 | 4,2 | | | 3,4 | | 0,25 |
| 15-5PH | 0,04 | 0,30 | 0,40 | 16,0 | 4,5 | | | 3,4 | | 0,25 |
| Custom 450 | 0,03 | 0,25 | 0,25 | 15,0 | 6,0 | 0,8 | | 1,5 | | 0,3 |
| Paslanmaz W | 0,06 | 0,50 | 0,50 | 15,75 | 6,25 | | 0,2 | | 0,8 | |
| Yüksek Dayanım | | | | | | | | | | |
| PH 13-8 Mo | 0,04 | 0,03 | 0,03 | 12,7 | 8,2 | 2,2 | 1,1 | | | |
| Custom 455 | 0,03 | 0,25 | 0,25 | 11,75 | 8,4 | | | 2,5 | 1,2 | 0,3 |

2.4. Paslanmaz Çeliklerde Görülen Korozyon Türleri

Paslanmaz çeliklerin korozyonu; birinci derecede alaşımın içinde kullanıldığı ortama ve onun parametrelerine bağlı olarak gelişir. Paslanmaz çeliklerin korozyon direnci; pasifleşme özellikleri ile ilgili olduğundan ancak pasifleşmenin oluşmadığı koşullarda korozyona uğrarlar. Paslanmaz çeliklerin korozyona uğrayabilmeleri için pasivasyon bölgesinin dışındaki ortamlarda bulunmaları ya da pasif film tabakasının bir dış etken tarafından kaldırılması gerekmektedir. Aksi takdirde paslanmaz çeliklerde korozyon gözlenmez.

Pasivasyon mekanizması genel olarak metalin üzerinde bir oksit tabakasının oluşmasına ve oluşan bu oksit tabakasının korozyon reaksiyonunu devam ettirecek olan oksijen atomlarının ana metal ile temas etmesini önlemesi ile korozyonu durduran bir mekanizmadır. Paslanmaz çeliklerde pasivasyon mekanizması; yapıda bulunan krom atomlarının oksijen ile reaksiyona girmesi sonucu yüzeyde bir krom oksit filmi oluşturması şeklinde görülür.



Şekil 2.4. Paslanmaz çeliklerde korozyon mekanizması

Paslanmaz çeliklerde pasif filmin bölgesel tahribi sonucu oluşan korozyon çeşitlerine daha sık rastlanır. Örneğin; taneler arası, pitting, aralık korozyonu vb. Başlıca korozyon çeşitleri aşağıda verilmiştir;

- Üniform (Tek Düzey) korozyon
- Pitting (Oyuklanma) korozyonu
- Aralık korozyonu
- Gerilmeli korozyon
- Taneler arası korozyon
- Galvanik korozyon

2.1.4.1. Üniform (Tek Düzey) Korozyon

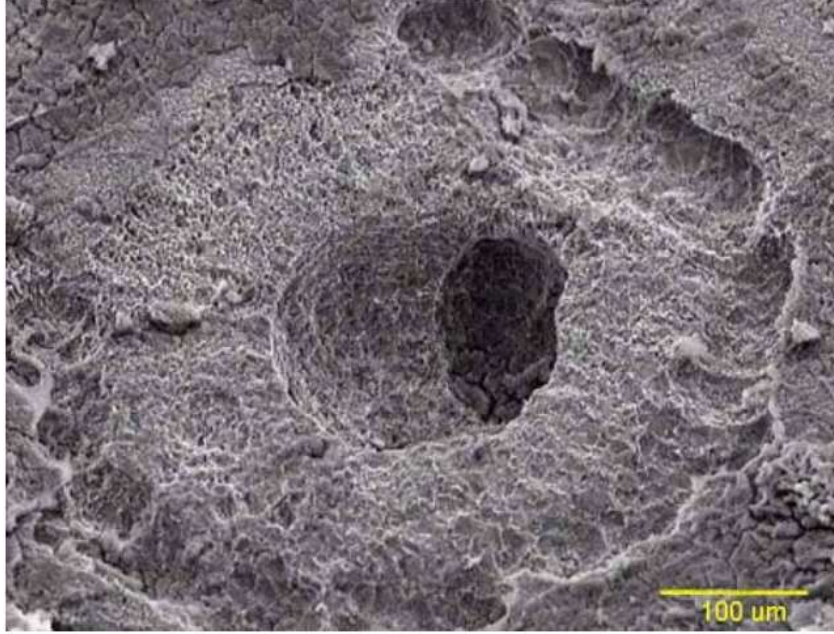
Paslanmaz çeliklerde çok sık rastlanmayan, rastlanması halinde ise kolayca kontrol altına alınabilen korozyon çeşididir. Sıvı içinde çalışan paslanmaz çeliklerde görülen ve çeliğin her noktasının eşit oranda korozyona uğradığı korozyon türüdür. Paslanmaz çeliğin bir süre sonra gerekli mukavemet özelliklerini gösteremeyecek kadar incilmesi neticesinde kullanılamaz hale gelmesine sebep olur.

2.1.4.2. Pitting (Oyuklanma) Korozyonu

Pitting korozyonu; metal ve alaşımların yüzeyinde ortamda halojenlerin varlığında noktasal derinleşen oyuklar halinde kendini gösteren korozyon çeşididir. Herhangi bir dış sebepten dolayı kalkan film tabakasından paslanmaz çeliğin iç kısımlarına halojenlerin (Cl, Fl...[7A grubu ametalleri]) sızmasına ve korozyonun hızla iç tabakalara kadar ilerlemesi şeklinde oluşur. Çok sık rastlanan korozyon çeşidinde; malzeme bölgesel olarak delinerek veya mekanik mukavemeti azalarak kısa sürede kullanılmaz hale gelebilir. paslanmaz çeliklerde çok sık rastlanan pitting korozyonu klorürlü ortamlarda daha çok ortaya çıkmaktadır. Genellikle içinden akışkan geçen borularda görülür.

Pitting korozyonunun önlenmesi için;

- Yüksek krom ve molibden gibi elementler içeren yüksek alaşımlı çelikler kullanılmalıdır,
- Karıştırma ve sık sık yıkama ile klorür iyon konsantrasyonunun bölgesel artışına fırsat verilmemeli,
- Mümkün olduğunca asit çözeltileri ile çalışmaktan kaçınılmalı,
- İnhibitör kullanılmalı,
- Çalışma sıcaklığı yüksek olmamalıdır.



Şekil 2.5. Pitting (Oyuklanma) Korozyonu Mikroyapı SEM Görüntüsü

2.1.4.3. Aralık Korozyonu

Sıvı ortam içindeki paslanmaz çeliklerde genellikle bağlantı elemanlarının oluşturduğu giderilemeyen aralıklarda görülür. Diğer bir deyişle; tam öpüşmeyen iki yüzey arası, kaynak hataları, conta aralıkları gibi ana çözeltinin farklılaşmalarının meydana geldiği bölgelerde görülen korozyon çeşididir. Bölgesel oksijen konsantrasyonu farklılaşması, oksijen konsantrasyonunun düşük olduğu bölgenin anot olarak davranıp çözünmesine neden olur. İçeriye sıvı girebilecek kadar büyük fakat iyonların çıkamayacağı kadar küçük boşlukların olması gereklidir. Metale temas eden iki sıvı bölgesi arasındaki potansiyel farkından dolayı korozyon oluşur. Paslanmaz çelikler için oluşma şartı film tabakasının kalkması ve bunu takiben bahsedilen küçük boşlukların içinde korozyonun ilerlemesidir. Paslanmaz çeliklerde sık rastlanan aralık korozyonu; yüksek molibden ve kromlu alaşımlar kullanılarak veya aralık türü hataların tasarım ve imalat sırasında oluşmamasına dikkat edilerek önlenir.



Şekil 2.6. Aralık Korozyonu Örnek Görüntüsü

2.1.4.4. Gerilmeli Korozyon

Ağır yükler altında ve korozyona elverişli ortamlarda çalışan parçalar için önemli bir korozyon çeşididir. Statik çekme yönündeki gerilme ve korozyonun birlikte etkisi sonucu malzemenin akma yükünün altında gerilmelerde gevrek olarak kırılmasına yol açan tehlikeli bir korozyondur. Ani ve gevrek kırılmalara dolayısıyla kazalara ve hasara sebep olabilir. Dışarıdan anlaşılması pek mümkün olmayan bir korozyon çeşididir. Yük altında film tabakasının hasara uğraması ve arasındaki boşluklardan her gerilme uygulandığında klor gibi korozyona sebep olan elementlerin girmesi şeklinde ilerler. Kırılma genellikle gerilme yönüne dik yönde gerçekleşir. Gerçekte çok saf metaller dışındaki tüm alaşımların klorür iyonları içeren çözeltiler ile bazik ortamlar gibi değişik ortamlarda gerilmeli korozyona rastlanır. Yüksek basınç altında çalışan boru hatlarında, sıvı içinde çalışan millerde ve nükleer reaktörlerde çalışan östenitik paslanmaz çeliklerde gözlenir. Ferritik paslanmaz çeliklerin gerilmeli korozyona uğradığı bir ortama görülmemiştir.

Gerilmeli korozyonu önlemek için;

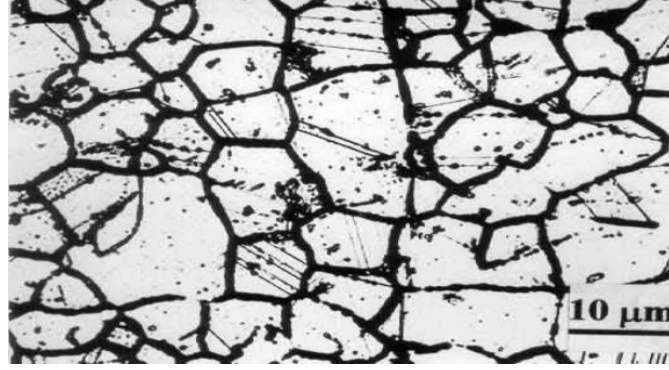
- Ortamda gerilme korozyona uğrama tehlikesi olmayan en iyi malzemenin seçilmesi,
- Sıcak klorürlü ortamlarda östenitik paslanmaz çelik yerine ferritik paslanmaz çelikler ya da yüksek oranda nikel ve molibden içeren paslanmaz çeliklerin seçilmelidir.



Şekil 2.7. Gerilmeli Korozyon Örnek Mikroyapı Görüntüsü

2.1.4.5. Taneler Arası Korozyon

Asidik, klorlu ve azotlu bileşikler içeren ortamlarda da görülebilen taneler arası korozyon; çeşidi modern paslanmaz çelik üretim yöntemleri ve uygun ısıl işlemlerle önlenmektedir. 800-900C arasına ısıtılan paslanmaz çeliklerde homojen yapı bozulur ve tane sınırlarına difüze olan krom atomları orada krom karbür bileşikleri oluştururlar. Homojenliği bozulmuş olan çeliğin yüzeyinde oluşması gereken film tabakasının bir kısmı da taneler arasında oluşur ve istenmeyen bir yapıya sebep olur. Yüzeyde yetersiz kalan krom atomları tam bir film tabakası oluşturamaz ve pasivasyon da tam anlamıyla gerçekleşmez ve paslanmaz çelik malzeme korozyona açık bir hal alır. Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynak edilmesindeki en önemli sorunlardan birisi bu korozyondur. Kaynak işleminden sonra tekrar difüzyon tavlaması yapılarak bu tipte bir korozyon oluşumunun önüne geçilir. Ayrıca karbür yapıcı özelliği daha fazla olan titanyum ve niyobyum içeren, karbon oranı %0.03'ün altında olması durumunda korozyon önlenabilir.



Şekil 2.8. Taneler Arası Korozyon Örnek Mikroyapı Görüntüsü

2.1.4.6. Galvanik Korozyon

Paslanmaz çeliklerin pek fazla uğramadığı fakat buldukları ortamlardaki diğer metallere uğrattıkları korozyon tipidir. Paslanmaz çelikler elektron verme özelliği kendisinden daha fazla olan metallerle bir arada buldukları ortamlarda diğer metal galvanik korozyona uğrar ve görevini yerine getiremez hale gelebilir. Özellikle paslanmaz çeliklerin alüminyum bağlantı elemanları ile bağlanması alüminyum elemanlarda çok şiddetli korozyonlara sebep olacağından galvanik seride birbirine yakın sıralarda olan bağlantı elemanları tercih edilmelidir [11].



Şekil 2.9. Galvanik Korozyon Örnek Görüntüsü

2.1.5. AISI 316L Paslanmaz Çelikler

316 kalite paslanmaz çelik, 304 kalite paslanmaz çeliğin içerisine molibden ve daha fazla nikel eklenerek elde edilen bir malzeme kalitesidir. 316 paslanmaz çelik malzemelerin korozyona dayanımı kimyasal içeriği sayesinde sert koşullu ortamlarda (deniz suyu, asidik sıvılar vs.) dahi

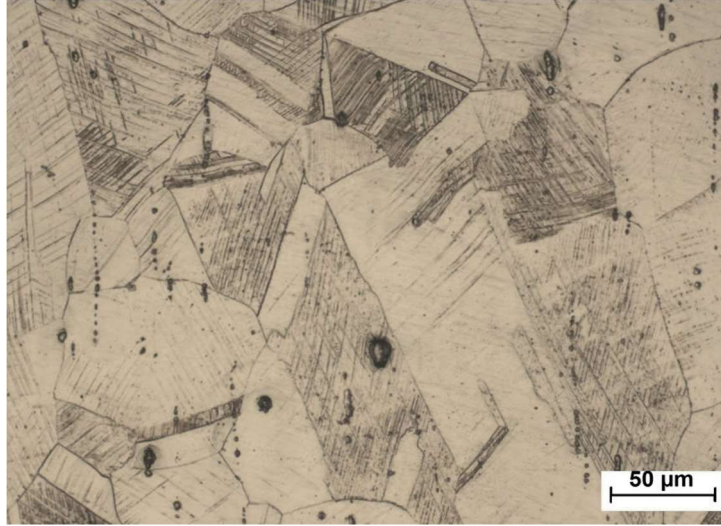
çok iyidir. Ayrıca 316 kalite malzemelerin kopma dayanımı (ultimate strength), 304 kalite malzemelere oranla çok daha yüksektir.

Parçalar kaynakla birleştirilecekse, o kısımlar ısınmadan ötürü korozyon riskiyle karşı karşıya kalırlar. Böyle durumlardan kaçınmak için, daha az karbon içerikli olan 316L (1.4404) kalite paslanmaz çelik malzeme kullanılmalıdır.

316L kalite paslanmaz çelik ise 316 kalite paslanmaz çelik ile kimyasal içeriği açısından benzeşse de daha düşük oranda karbon içermektedir. Dolayısıyla 316L paslanmaz çelik kalın kesitlerde de kaynak sonrası tavlama gerektirmez. Tablo 2.7'de 316L Paslanmaz Çelik Kimyasal Bileşimi verilmiştir [12].

Tablo 2.7. 316L Paslanmaz Çelik Kimyasal Bileşimi [12].

| Kalite | C | Mn | P | S | Si | Cr | Ni | Mo | Ti |
|---------------------------|--------------|-----|-------|-------|-----|-----------|-----------|---------|--------------|
| 316 (1.4401) | 0,08 max. | 2,0 | 0,045 | 0,030 | 1,0 | 16,0-18,0 | 10,0-14,0 | 2,0-3,0 | - |
| 316L (1.4404) | 0,03 max. | | | | | | | | - |
| 316Ti (1.4571) | 0,08 max. | | | | | | | | 0,70 max. |



Şekil 2.10. 316L Paslanmaz Çelik Mikroyapı Örnek Görüntüsü [8].

2.2. TEL ÇEKME

2.2.1. Tel Endüstrisinin Tarihi

Tel, günümüzde hemen her yerde kullanılan, genellikle dairesel kesitli bir mamuldür. Telin en çok kullanıldığı, iletken ve direnç telleri, müzik aletleri ve ambalaj sanayi telleri v. b. gibi

alanlar dışında, yay, perçin, çivi, elektrot, zincir, iğne, halat v. b. imalatta da yarı mamul olarak değerlendirildiği görülmektedir. Tel olmadan, çağımızın kabul edilen birçok başarıları tamamen imkânsız olacaktır.

Telin, M.Ö. 3000 yıllarından itibaren kullanılmaya başlandığı tahmin edilmektedir. O yıllarda telin, yumuşak metallerin önceden dövülüp, sonra da çekme matrisinden (haddesinden) çekilerek yapıldığı düşünülmektedir.

12. y. y. 'dan itibaren çekme matrislerinden bahsedilmeye başlandığı görülmektedir. O zamanlarda tel dövenlerle, tel çeken kişiler arasında belirgin bir fark vardır. Bir tel dövücü, çekiç ve örs kullanmak suretiyle tele basit olarak şekil vermekte; buna karşılık tel çeken kişiler çekme matrisi kullanmaktaydılar [13].

1350'li yıllarda endüstriye ilk makineleşmiş (su kuvvetiyle çalışan) tel çekme donatımını getiren, Nuremberg'li Rudolph olmuştur. Aynı yıllarda İngiltere'de Londra, York, Coventry ve Bristol'de bir grup sanatkâr, önemli bir ulusal endüstri haline gelmiş olan bu endüstriyi meydana çıkarmışlardır. Yünlü mamuller endüstrisinin gelişmesi, yün tarakları yapmak amacıyla tel imalatını teşvik etmiş ve bu sanat erbabı, Yorkshire gibi yünlü mamullerin çok olduğu bölgelerde kendi kendilerini teşvik etmiştir ki, bu gün bile bu bölgeler İngiltere'de, çok miktarda tel çekme atölyelerinin bir araya toplandıkları yerdir [13,14].

1862'de George Bedson ilk defa sürekli haddelerle çubuk çekilmesini sağlamıştır. Bu muhtemelen tel tarihindeki en önemli gelişmelerden biridir ve artık 45 kg ağırlığında kangallar elde edilebilmektedir.

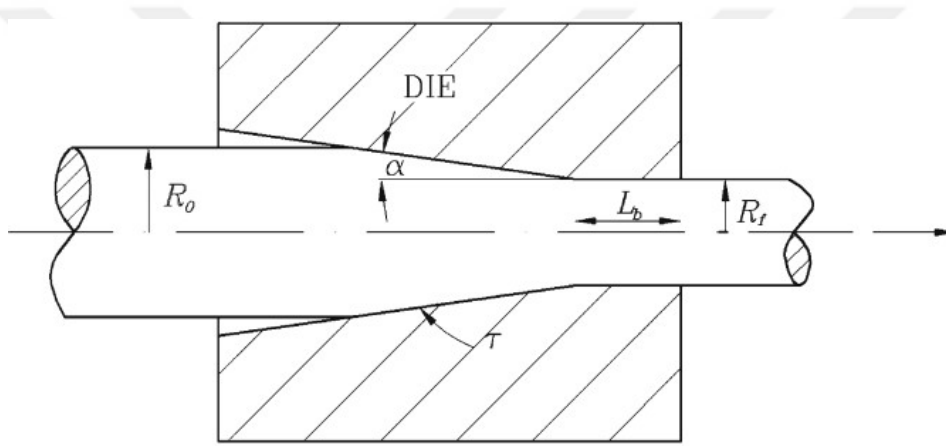
Morgan yatay makaraları, düşey hale getirerek kendi sürekli haddesini geliştirmiş ve her iki paso arasında uygun olarak parçayı döndürmek için hareketli yataklar kullanmıştır. Morgan'ın haddesi 1878' de devreye konmuş ve gelecekte Bedson haddesiyle yapılması mümkün olmayan yan yana iki çubuğun haddelenmesi gerçekleştirilmiştir.

Tel çekme matrislerinin, yüksek hıza ve aşınmaya karşı koyacak şekilde imal edilmeleri kaçınılmazdır. Osram ve Krup şirketleri birbirleriyle yakın ilişki kurarak lamba flamanlarının seri imalatçısı olmuşlardır. Matrisler elmasa benzer bir malzemedan yapıp, ilk defa 1925 yılında Amerika'da işletmeye konulmuştur. 1929'dan beri Amerika'da General Electric, Firth Sterling gibi şirketler halihazırda tungsten karbür matrisler üretmektedir [14].

Tel çekme tekniğinde, sürekli ısıtma işlemlerinin uygulanmasına imkân tanıyan, el ile yapılan işlemleri minimuma indiren gelişmelere son 30 yıl içerisinde ulaşılmıştır. Tel imalat tarihinin ilk günlerinden itibaren telcilerin başlıca gayeleri; endüstride işlemlerin tamamen otomatize olması, daha uzun ve ağır tel kangalların kullanılması, geliştirilmiş kaynak teknikleri, daha iyi matrisler ve yüksek metalürjik kalite olarak bilinmektedir [15].

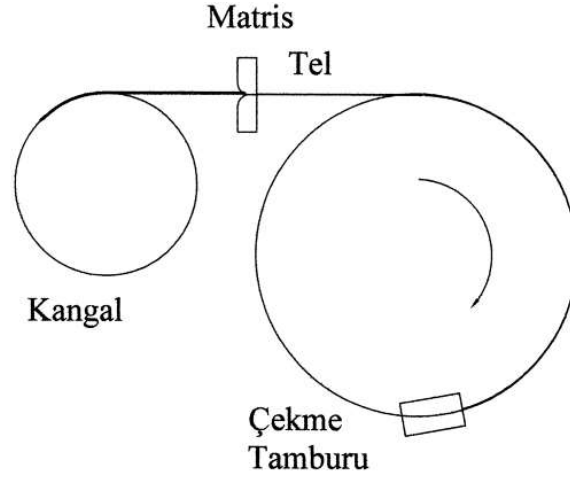
2.2.2. Tanım ve Tel Çekmenin Esasları

Tel çekme işleminde, enine kesit, bir dizi kalıp içinden telin zorlanmasıyla azaltılır. Burada hadde-tel ara yüzeyi boyunca sürtünmeyi ve çekme hızını temsil eden ana işlem parametreleri; hadde yarı açısı, enine kesit alanı indirilmesi ve sürtünme sabitidir [16].



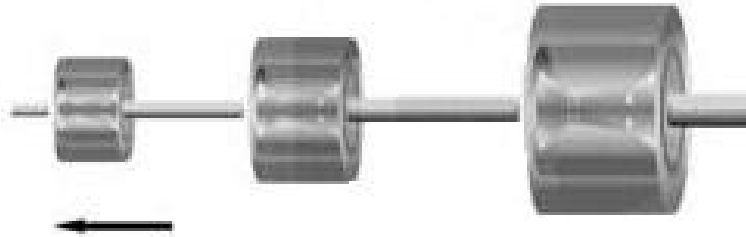
Şekil 2.11. Tel Çekme Prosesi Geometrisi [17].

Plastik şekil verme usullerinden olan haddeleme ile çok ince çaplara kadar olan telleri imal etmek mümkündür. Ama bundan daha küçük çaptaki teller haddeleme ile istenilen hassasiyetle imal edilemezler. Çünkü tellerin kesiti azaldığında soğuma hızlı olur ve bunun yanında sıcaklıktan dolayı tel yüzeylerinde arzu edilmeyen kav tabakaları oluşur. Ayrıca sıcak şekillendirmeyle malzemenin mukavemeti büyük ölçüde düşeceğinden ince kesitli tel kolayca kopacaktır. Tüm bu nedenlerden dolayı hassas ölçü, iyi yüzey belirli bir mukavemet özelliklerine ancak soğuk şekillendirme olan tel çekme ile ulaşabiliriz.



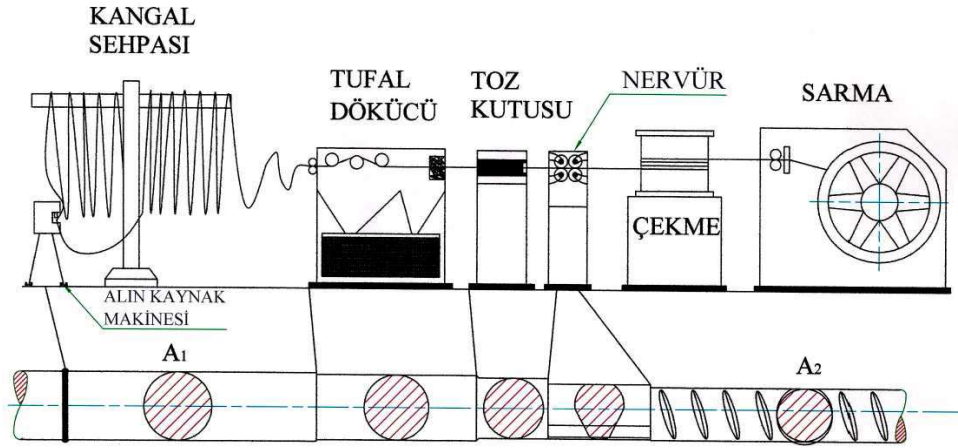
Şekil 2.12. Şematik tel çekme

Şekil 2.13.'de telin istenilen çapa getirilinceye kadar, sürekli olarak ardışık matrislerden geçirilmesi görülmektedir. Her bir matrisin ve ardışık matrislerin çapları materyalin giriş çapından küçüktür ve telin kesiti her bir matristen geçtikçe küçülmektedir. Teorik olarak, tel çekme işlemi, hiçbir materyalin atılmasının istenmediği atıksız bir işlemdir. Bu nedenle, telin hacmi çekilse bile aslında aynı kalırken, telin boyu uzamakta veya sünmektedir. Pratikte, çekilmiş materyale ve yağlama koşullarına bağlı olarak mekanik özelliklerde farklılıklara rastlanmaktadır. Metale uygulanan redüksiyona bağlı olarak, ara tavlamalara ihtiyaç duyulmaktadır.



Şekil 2.13. Telin matristen geçişi

Tel çekme işlemi metal şekillendirilirken ısı uygulanmadığı için soğuk şekillendirme olarak adlandırılmaktadır. Ancak, tel daha küçük çaplara çekilirken soğuk şekillendirmeye bağlı olarak kangal demirinin özellikleri değişirken sıcaklık da artmaktadır. Tel çekme işlemi için, çekme makinesi, tel, yağlayıcı ve matris gereklidir. Kullanılan yağlayıcının tipine göre; su veya sıvı yağ kullanılırsa ıslak, kuru tip yağlayıcılar kullanılırsa kuru tel çekme olarak adlandırılır. Şekil 2.14.'de kuru tip tel çekme işleminin makineleri gösterilmektedir [18].



Kangal demir = Ø 8 mm

% alan daralması = % 23, 4

Akma dayanımı = 300 MPa

Çekme dayanımı = 450 MPa

Kopma uzaması = % 33

Çubuk = Ø 7 mm

% alan daralması = % 7

Akma dayanımı = 570 MPa

Çekme dayanımı = 620 MPa

Kopma uzaması = % 7

Şekil 2.14. Tipik tel çekme makineleri [18].

2.2.3. Tel Çekme Prosesini Etkileyen Parametreler

2.2.3.1. Tel Çekme Haddesi

Piyasada "hadde" olarak da adlandırılan, tel çekme işlemlerinde kullanılan, belli bir mukavemeti ve sertliği olan çelik matris (hadde) malzemelerinin, fiziksel ve mekanik özellikleri şu şekilde olmalıdır.

- Yüksek sertlik dayanımı
- Yüksek darbe dayanımı
- Yüksek aşınma dayanımı
- Düşük sürtünme katsayısı

Hadde çekirdeklerinin kalitesi tel çekmeyi etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Tüm bu darbe, aşınma ve sürtünme olaylarına mukavemet gösterebilecek kalitede olması istenen matrisler, şu içeriklerle üretilir.

- Sinterlenmiş karbürler
- Doğal elmaslar
- Sentetik elmaslar

Piyasada en çok bulunan hadde çekirdekleri tungsten karbür esaslı çekirdeklerdir. Ancak, bağlayıcı eleman olarak da belirli bir oranda kobalt kullanılmaktadır. Daha sonra vakum altında

yüksek sıcaklıkta sinterlemek suretiyle imal edilmektedir. Sertliği, yoğunluğu ve basma mukavemeti sertleştirilmiş çeliklerden bile daha yüksek olan tungsten karbür matris yapımı için ideal bir malzemedir ve şekil 2.14' te tungsten karbür çekme matrisleri verilmektedir. Genleşme katsayısı ise çeliğin yarısı kadardır. Dolayısıyla tel çekme işlemi sırasında varılan yüksek sıcaklıklarda matris deforme olmamaktadır. Ayrıca, tungsten karbürün cüruf tozu gibi yabancı maddelerin aşındırmasına karşı dayanımı oldukça yüksektir ve muhtelif denemelerde çeliklerin elli katına çıktığı gözlenmiştir. Tungsten karbür yüzeyini çok yüksek bir hassasiyette işlemenin mümkün olması da ayrıca avantajıdır. Bu özelliklerden dolayı da matris ömrü uzamakta ve telin çizilme riski azalmaktadır [19].

Bir hadde, esas itibariyle 5 kısımdan oluşur ve bunların hepsinin görevleri farklıdır. Bu kısımlar telin hadde içerisinde ilerleyiş sırasına göre;

- Çan Eğimi
- Giriş Açısı
- Haddeleme Açısı
- Silindir
- Serbestleme

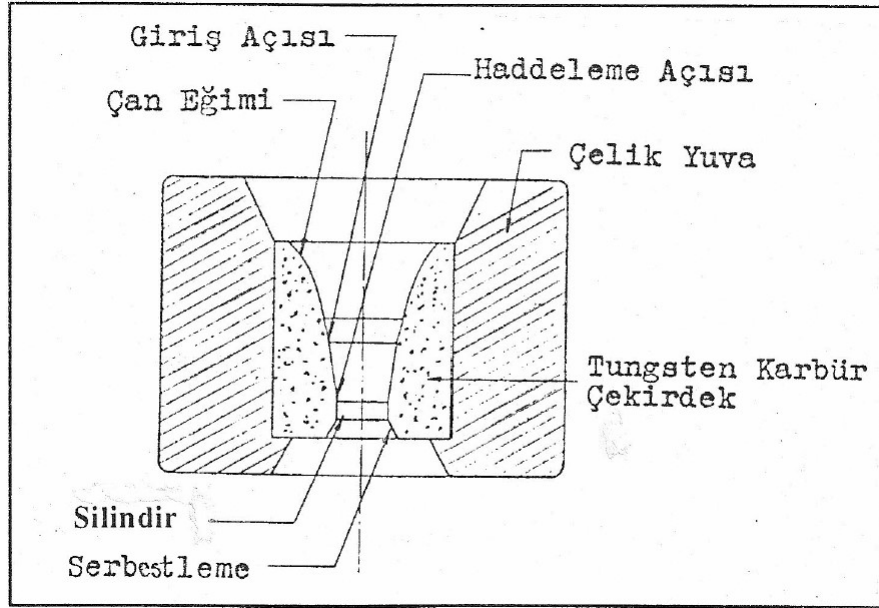
olarak sayılabilir. Şekil 3.5.'te görülmekte olan bu kısımların görevleri ise kısaca şöyle özetlenebilir;

Çan Eğimi: Gelen telin haddeye doğrusal olarak girmemesi halinde telin yönlendirilmesini sağlar. Tel, haddeleme açısı kısmında ortalanmadan önce, bu yüzeye sadece bir anlık temas eder.

Giriş Açısı: Sabun akışının haddeleme açısı kısmına doğru yönlendirilmesini sağlar. Telin doğrudan kangaldan beslenmesi durumu hariç, haddeye giren tel giriş açısıyla hiç temas etmeden haddeleme açısına yöneltilmelidir.

Haddeleme Açısı: Haddenin en önemli kısmıdır. Telin çapını düşürme işlemi ve sabunun sıkıştırılarak telin dış yüzeyine sıvanması burada gerçekleşir. Herhangi bir haddenin verimi, bu kısmın dizaynının doğruluğuna ve yüzey işleme hassasiyetine bağlıdır.

Haddeleme açısının doğru seçimi, çekilecek malzemenin mukavemetinden (karbon oranından) ziyade hadde başına düşen paso miktarına bağlıdır.



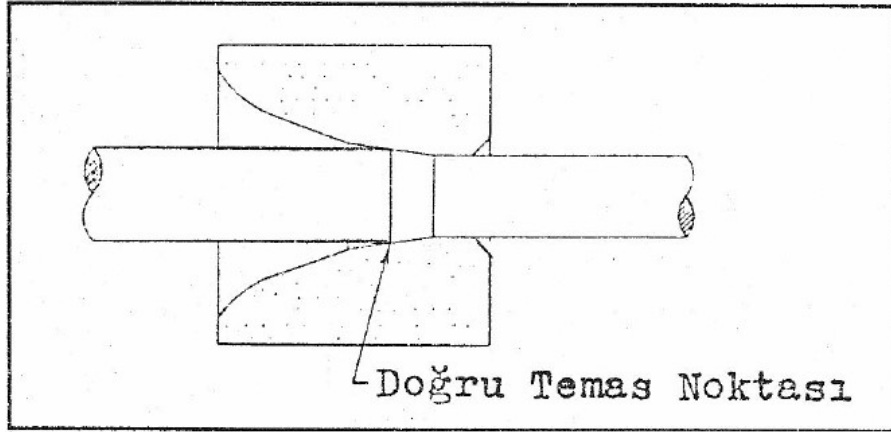
Şekil 2.15. Tel Çekme Haddesi Kısımları

Ancak telin nihai kullanımına göre, her tel çekme işleminin farklı özellikleri olduğunu da unutmamak gerekir. Örnek; düşük karbonlu çeliğin çekilmesi için 16°'lik bir haddeleme açısı standart olarak tüm dünyada kabul edilmektedir. Nihai olarak kaplama işlemine tabi tutulacak telde mümkün olduğunca parlak bir yüzey arzu edildiğinden üzerinde çok ince bir sabun tabakası kalmalıdır. Çivi, vida veya civata yapımında kullanılacak telde ise kalın bir sabun tabakası kalması arzu edilir.

Yukarıda örneklenen tüm durumlarda aynı hammadde kullanılsa dahi her biri için giriş açıları farklı olan haddeler gerekmektedir. Haddeleme açısının doğru seçimi tel çekme veriminin yükselmesini ve hadde ömrünün uzamasını sağlar.

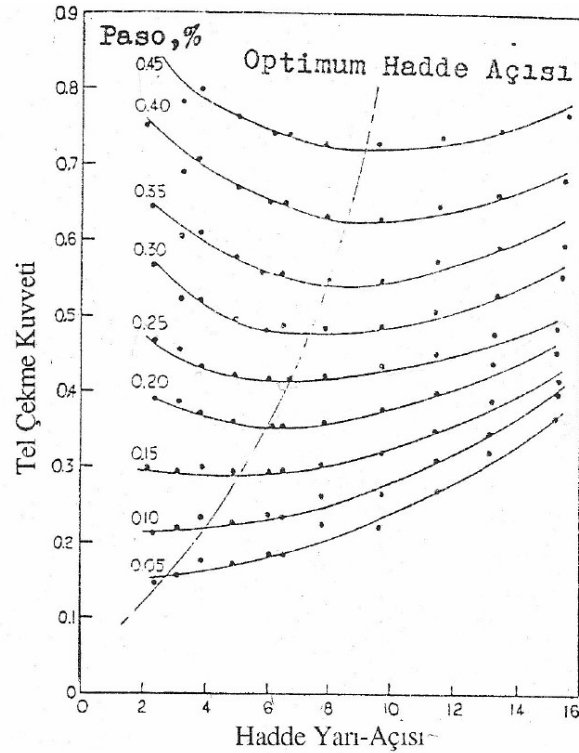
Haddeleme açısının seçiminde en önemli etkenlerden biriside 'Temas Noktası' dır. Haddeye verilen pasoya bağlı olarak, tel giriş açısı kısmının ortasında (veya mümkün olduğu kadar ortaya yakın bir noktada) hadde cidarıyla temas etmelidir. Böylece;

1. yeterli sabun akışı için gerekli basıncın oluşması
2. telin mümkün olduğunca geniş bir yüzey üzerinde deforme edilmesi sağlanır. Şekil 2.16.'da gösterilen temas noktası, doğru seçilmiş bir haddeleme açısının sonucudur.



Şekil 2.16. Telin Haddeye Doğru Temas Noktası Örneği

Son olarak haddeleme açısı ile tel çekme için gerekli kuvvet arasında yakın ilişkiye değinmek gerekir. Şekil 2.17.'de düşey eksende tel çekme kuvveti yatay eksende ise haddeleme yarı açısı verilmiştir. Paso değerleri ise eğriler halinde gösterilmiştir. Görüldüğü gibi, herhangi bir paso için gerekli kuvveti en aza indiren optimum bir haddeleme açısı vardır. Bu açının üstündeki veya altındaki değerlerde gerekli kuvvet büyümektedir. Örneğin %35'lik bir pasoda en az kuvvet gerektiren haddeleme yarı açısı 8°'dir ve yaklaşık olarak 0.54 birimdir. Oysa aynı pasoda 4 veya 14°'lik bir yarı açı kullanıldığında gerekli kuvvet 0.6 birime yükselmektedir ki bu da motorun daha çok zorlanması demektir.



Şekil 2.17. Hadde Yarı Açısı - Tel Çekme Kuvveti Grafiği

Silindir: çekilmiş telin çapının nihai kontrolünü yapar. Bundan amaçlanan telin yuvarlaklığının doğruluğunun ve yüzey kalitesinin garantiye alınmasıdır. Dolayısıyla, silindir kısmında hadde yüzeyinin çok hassas olarak işlenmiş olması gerekmektedir. Haddenin normalden daha hızlı aşınarak büyümesini önlemek için bu kısmın uzunluğu genellikle hadde çapının %35 ila %50 si arasında tutulur.

Serbestleme: Bu kısmın şekli konik olup, görevi haddenin çıkış tarafını kuvvetlendirmek, fazla yağlayıcıdan kurtulmak, çekirdek içinde üretilen ısının dağılmasını sağlamak ve matris çekirdeğinin kırılmasını önlemektir. Ayrıca teli deforme eden kısmın, hadde çekirdeğinin bütünüyle ortak merkezde kalmasına yardımcı olur [19].

2.2.3.2. Çekme Sabunları ve Etkileri

Günümüzde çekme yağı yerine toz sabun ve veya sabun bileşikleri kullanılmaktadır. Sabunların görevleri haddeyle tel arasında ara katman oluşturarak sürtünmeyi minimuma indirmektir. Sabun, çekme esnasında yüzeye nüfuz etmekte ve matrise tel aracılığıyla taşınmaktadır. Çekme işlemi sırasında meydana gelen ısı ve basıncın etkisiyle sabun, telin dış yüzeyine sıvanarak ince plastik bir film oluşturmaktadır. Bu tabaka, metalin matrisle temas etmesini engellediği gibi sürtünmeyi azaltıp çekilebilirlik verimini artırmaktadır.

Özellikle tel çekme için yapılan deneylerde elde edilen sonuçlara göre; tungsten karbür hadde ile yapılan çekme işleminde, saf malzemenin, hemen çekme başlangıcında kopmasına neden olacağı belirlenmiştir. Bu nedenle; tungsten karbür hadde ile çekme işlemi yapılırken su kullanılmaktan kaçınılmalıdır. Ancak yine tungsten karbür hadde ile ve düşük yağ konsantrasyonlarında çalışırken yağlayıcı içine bir miktar MoS katılırsa malzemede kopma olmamakta ancak malzeme yüzeyinde istenmeyen, küçük çizgiler oluşmaktadır. Hadde sabunun görevleri yalnızca yüzeyleri birbirinden ayırmak ve yüzeyler arasındaki sürtünmeyi azaltmak değildir. Her ürün için tel çekme işleminden sonra telin üzerinde farklı bileşimde ve miktarda bir sabun tabakası oluşması arzu edilir [20].

2.2.3.3. Sabun Kaplama Modelleri

Telin sertliğinden kaynaklanan ve hadde ile tel arasında oluşan sürtünme kuvvetinin etkisi sabunun yüzeye sıvanmasında en önemli etkidir. Bu kuvvetin az olması telde istenen kesit daralmasının oluşmamasına, çok olması ise nihai tel yüzeyinde istenmeyen özelliklere ve hatta işlem sırasında kopmalara yol açabilmektedir.

2.2.3.3.1. Hiç kaplama almamış veya çok ince film tabakası

Bu modelde tel ile hadde arasındaki sürtünme katsayısı çok yüksektir. Filmaşın yüzeyi ya hiç sabunla kaplanmamış ya da çok ince ve bölgesel sabun kaplamaları görülmektedir. Tel yüzeyinde karga ayağı oluşumunun, çiziklerin, yırtılmaların ve kopmaların en çok görüldüğü türdür [21,22].

2.2.3.3.2. Bölgesel sabun kaplanmış

Bu modelde sürtünme katsayısı daha azdır. Sabun yüzeyin her tarafına üniform olarak yayılmamıştır ve bölgesel olarak çeşitli yerlerde görülmektedir. Bunun sebebi tufalin iyi giderilememesi ve haddedeki deformasyondur. Bu modelde tel yüzeyinde karga ayağı deformasyonu görülür [21,22].

2.2.3.3.3. Tam kaplama

Bu modelde kaplama, tel ve hadde yüzeyini birbirinden tamamen ayırmaktadır. Tel üzerine üniform olarak dağılmıştır, telin farklı yerlerinde renk değişimi görünmez ve kalınlığı ideal düzeydedir. Sürtünme katsayısı düşüktür. Teoride, tam kaplama almış bir tel yüzeyinde bölgesel kaplama, karga ayağı ve deformasyonlar görülmemelidir [21,22].

2.2.3.3.4. Kalın film tabakası

Bu modelde sabun filmi tam kaplamadan daha fazla olup genelde kalınlık ile ilgili 2 tanım yapılmaktadır. Birisi; bu modelde kalınlığın tam kaplamanın 1,5 katı olduğu görüşüdür. Diğerinde ise tel ile hadde arasında kesme kuvveti oluşturmayan kaplama kalınlığı tanımlanmaktadır [21,22].

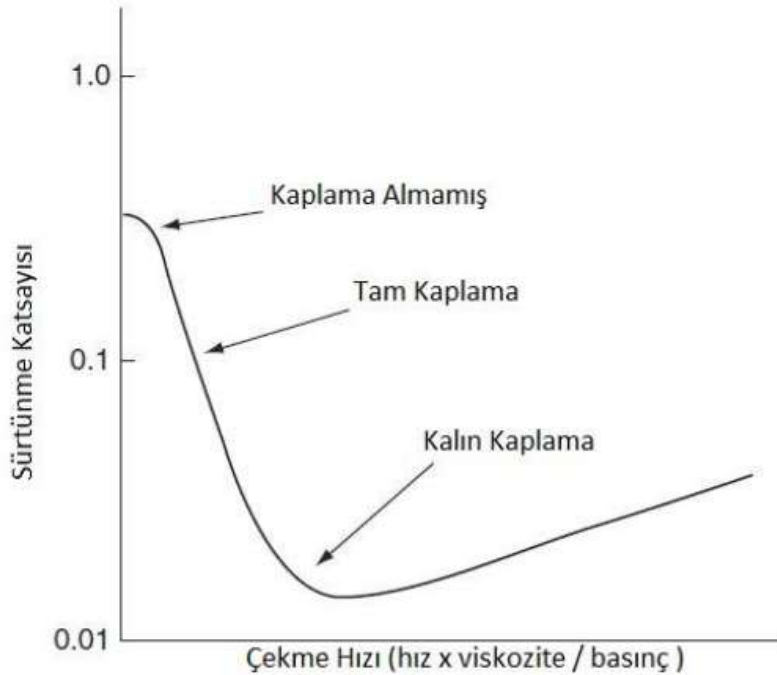
Kuru çekme işleminde kalın film tabakası oluşumunun nedenlerinden biri bazı sabunların gerektirdiği optimum hız ve sıcaklığın sağlanamamasıdır. Ayrıca hadde girişinde tel yüzeyine uygulanan sabun basıncının çeşitli etkenlerle arttırılması da buna sebebiyet verir. Kalın film tabakasında tel yüzeyi mat bir görünümündedir ve bölgesel olarak mikroskobik tümsekler görülür. Bu tümsekler haddeden geçerken telin yeteri kadar kesme kuvveti almasını engeller ve kesit daralmasının yeteri kadar gerçekleştirilememesi, haddede deformasyon ve tel yüzeyinde nervüre sebebiyet verir [23].

Kaplama modelleri için sürtünme katsayısının değişimi ve tipik yüzey görünümü Tablo 2.8.'de verilmiştir.

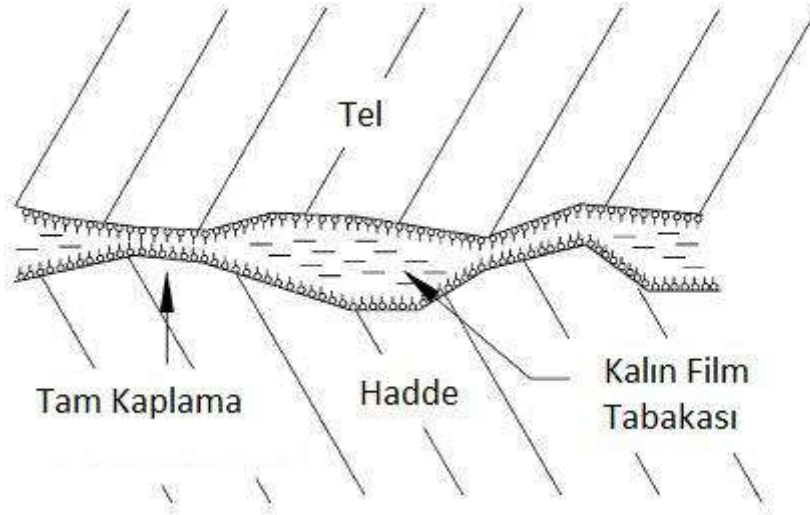
Tablo 2.8. Kaplama modellerinin karakterize edilmesi [24].

| Kaplama Modeli | Sürtünme Katsayısı | Yüzey Görünümü |
|---------------------|---------------------|--|
| Hiç Kaplama Almamış | $\mu > 0,25$ | Çizik, nervür, çatlak ve kopma |
| Bölgesel Kaplama | $0,15 < \mu < 0,25$ | Karga ayağı, çizik |
| Tam Kaplama | $0,10 < \mu < 0,15$ | Pürüzsüz, mat |
| Kalın Kaplama | $\mu < 0,03$ | Nervür, bölgesel yeterli olmayan kesit daralma |

Sürtünme katsayısının tel çekme hızına ve kaplama modellerine bağlı olarak nasıl değişeceği Şekil 2.18.'de verilmiştir. Sürtünme katsayısının belli bir tel çekme hızını aştığında tekrar artmasının sebebi ise yüksek çekme hızlarında ulaşılan yüksek ısı sebebi ile sabunun tel yüzeyine kaplanamaması ve telin hadde ile doğrudan temas etmesidir [24].

**Şekil 2.18.** Sürtünme katsayısının çekme hızına bağlı olarak değişmesi

Pratikte ise, tel yüzeyindeki girinti ve çıkıntılar imkan vermediği için, bu modellerin sadece bir tanesi telin tüm yüzeyi boyunca gözlenmez. Tel yüzeyinde görülen sabun modeli (Şekil 2.19) tanımlanan modellerin en az birinin görüldüğü modellerdir [24].



Şekil 2.19. Tel yüzeyinde görülen sabun modeli

2.2.3.4. Sabunların Özellikleri

Sabun, bir yağ asidinin alkali ile reaksiyona girmesi sonucu elde edilir. Sıvı olarak kabul edilebilecek yağlar ve sabunlar sıcaklık yardımıyla inceltilmekte ve basınç yardımıyla kalınlaştırılmaktadır. Sabunlar, yağlar ve mineral yağlara göre basınç altında çok daha az kalınlaşmaktadır. Uzun zincir molekülü olanlar, kendiliğinden metal yüzeyine yönelir ve baştan sona kadar metal atomuna bağlanırlar. Sabunlar tel çekme sırasında hadde içerisinde meydana gelen yüksek basınca, sıcaklığa ve kayma gerilimine dayanabilecek özellikte olmalıdırlar. Polar veya yüzey etkin yağlayıcıların kullanılması, tel çekme işleminde olduğu gibi bu tür metallerin yüzey kesit indirgemelerinde daha üniform sonuçlar vermektedir. Ancak, yağlayıcılar tel yüzeyine iyi yapışmazsa tel yüzeyi deforme olur.

Tel çekme işleminde yağlayıcıların polaritesi ve kimyasal reaktivitesi, yağ üreticileri tarafından yağ bileşimleri ve sabun tipi veya katkı maddeleri katılarak kontrol edilebilir. Kükürt bu konuda bilinen en eski bileşenlerdendir. Reaktif kimyasallar, spesifik tel bitirme işlemleri veya ara ısıl işlem şartlarını engelleyebileceği için kontrollü olarak kullanılmalıdır. Sabunun zenginliği, yumuşaklık oranı yüksek ve erime noktası düşük anlamına gelmektedir. Erime noktasına bakarak sabunun tamamen sıvı hale geçeceği algısı yanlıştır, katı halden sıvı hale keskin bir geçiş yoktur.

Sabun oranı yüksek ve kireç oranı düşük ise yumuşamanın olduğu alanda sıcaklık oranı düşüktür. Eğer tel çekme işleminde sabun tozu çok kuru veya yağsız ise işlem başarısız olacaktır. Çünkü yüzey tam olarak kaplanmaz ve yağlama tamamıyla gerçekleşmez [25].

Tel çekme işleminde sabunun zenginliğini etkileyen birçok faktör vardır. Bu zenginliği etkileyen ilk özellik yağ içeriğidir ve yağ içeriği ne kadar zenginse yağlayıcı da o kadar zengindir. Yüksek erime noktasına sahip kimyasallar sıcaklık aralığını arttırırlar ve böylece yumuşama sağlanır. Yağların cinsine göre kuru çekme sabunlarının yumuşama sıcaklığı 40°C ile 60°C arasında değişmektedir. Yağlayıcı çok zengin ise, sabun çok yumuşar ve sabun kutusu içinde topaklanır ve bu şartlar altında yapılan çekme işleminde telin parlaklığı azalır, telin yüzeyi tam olarak kaplanamaz ve bir süre sonra tel kopar. Ayrıca sabundaki yağ miktarı arttıkça çekme işlemi sonrasında sabun üzerinde daha ince bir sabun tabakası kalır. Genel olarak tel çekme sırasında meydana gelen ısının etkilerini telafi edebilmek için yağ miktarı arttırılır. Dolayısıyla, yüksek karbonlu çeliğin çekilmesinde düşük karbonlu olanlara göre yağ miktarı daha fazla olan sabunlar kullanılır.

Genelde alkali olan kimyasal tel çekme sabunları ana bileşim olarak kullanılmaktadır ve sabun üretimi özel bir karışımı da gerektirmektedir. Tel çekme sırasında sabun kutularına ufak miktarda kimyasallar da eklenebilmektedir. Örneğin daha az yağlı çalışan bir karışım için kireç eklenebilir. Genellikle fiziksel karışımlar, kimyasal birleşim sonucu ortaya çıkan yağlayıcılarla homojenlik açısından aynı sonuçları sağlayamamaktadır [14].

Hadde sabunları esas itibariyle kalsiyum bazlı, sodyum bazlı ve alüminyum bazlı sabunlar olmak üzere üç ana gruba ayrılır.

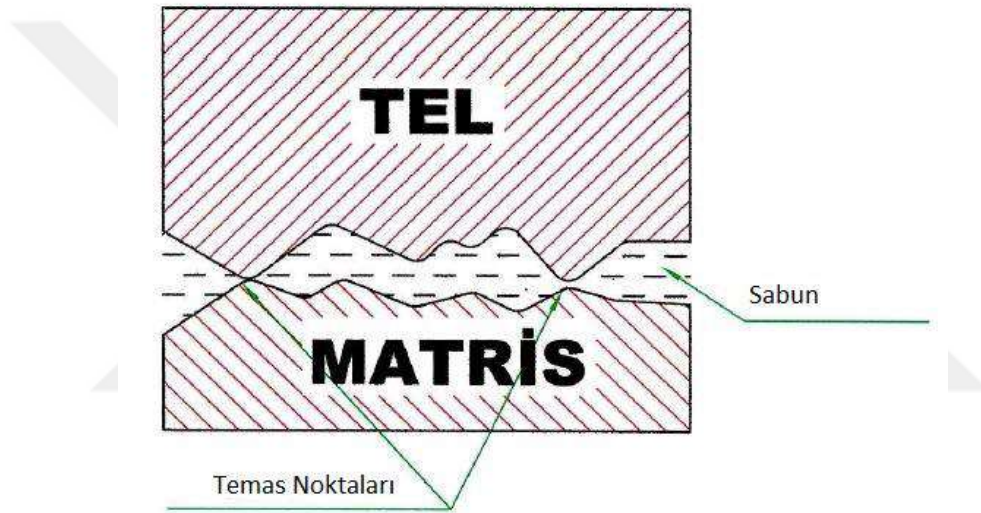
Kalsiyum bazlı sabunlar suda çözünmezler. Saf halde yumuşama sıcaklıkları 145°C ile 165°C arasındadır ve düşük tel çekme hızlarında, özellikle hiç çekilmemiş olan filmaşine verilecek ilk pasolarda kullanılır.

Sodyum bazlı sabunlar suda çözünürler. Saf haldeki yumuşama sıcaklıkları 140°C ile 160°C arasındadır. Genellikle yüksek tel çekme hızlarında veya telin temiz olmasının ve yüzey şartlarının önem taşıdığı durumlarda kullanılır. Sodyum sabunları belirli derecelerde kireç ile reaksiyona girerek kalsiyum sabunlarını oluşturmaktadır.

Alüminyum bazlı sabunlar suda çözünmezler. Saf haldeki yumuşama sıcaklıkları 140°C ile 160°C arasındadır. Bu sabunlar özellikle vida, civata yapımında kullanılacak telin çekilmesi için uygundur [26].

2.2.3.5. Tel Çekme Sırasında Kullanılan Sabunların Görevleri

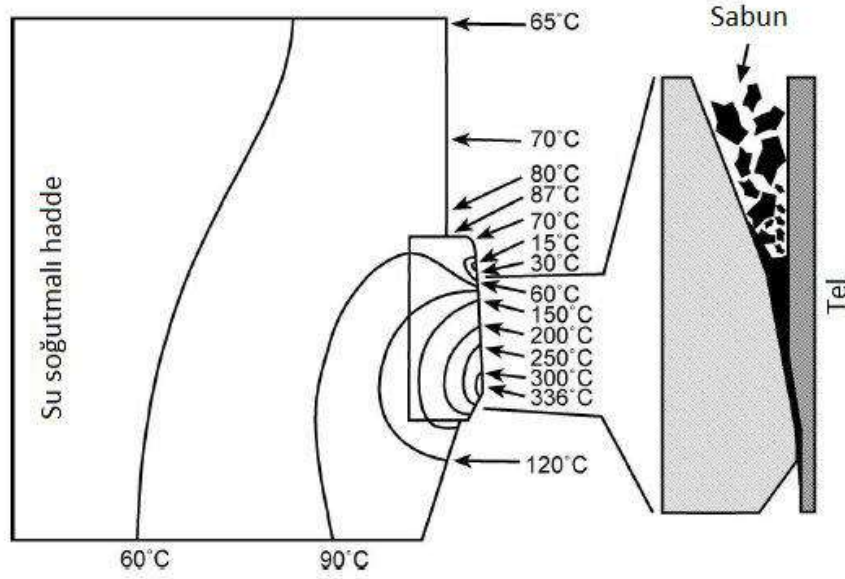
Çekme işlemi sırasında sabun kullanımının asıl amacı tel ve hadde arasında bir katman oluşturarak birbirlerine temas etmelerine engel olmaktır. Gözle görülmesi de mikroskobik olarak tel yüzeyinde ve haddede bulunan girinti ve çıkıntılar haddeleme sırasında tel yüzeyinde çizikler meydana getirmektedir. Ayrıca bu girinti çıkıntılar hadde ömrünü de azaltmaktadır. İyi bir sabun, haddede oluşan ısı altında yüksek viskoziteye ulaşarak tel ve hadde arasında plastik bir film oluşturarak sürtünmeyi azaltmalı ve şekillendirmeyi kolaylaştırmalıdır. Şekil 2.20.' da şematik olarak görülen tel ve hadde ilişkisinde sabun ara kısma girerek bu sürtünmeyi en aza indirmeyi hedefler [18].



Şekil 2.20. Tel ve hadde arasındaki sabun tabakasının basit gösterimi

Haddeleme sırasında hadde sıcaklığı merkezde 380°C'ye kadar çıkmaktadır. Bu sırada telde meydana gelebilecek olası ısıl etkileri minimuma indirmek için soğutma özelliğinin iyi olması gerekmektedir. Sabun ayrıca tel ve hadde üzerindeki kirletici maddeleri üzerine alarak filtreleme görevi yapmalı ve bu kirliliklerin tele geçmesini önlemelidir.

Kaynak teli üretimi sırasında nihai üründe tel yüzeyi, özel ürünler haricinde, bakırla kaplıdır. Bunun için haddeleme sırasında tel yüzeyine sıvanan sabunun bakır kaplanmadan önce telden uzaklaştırılması gerekmektedir. Sabun bileşiminin, bu uzaklaştırmanın en pratik ve düşük maliyette yapılmasına elverişli olması da önemli bir unsurdur [18].



Şekil 2.21. 7 m/s'de haddede tahmini sıcaklık dağılımı

2.2.3.6. Sabun Seçimi

Belli bir tel çekme işlemi için sabun seçerken dikkate alınması gereken bazı noktalar vardır. En önemli noktalardan biri, çekilecek olan telin malzemesidir. Düşük karbonlu çeliklerin çekilmesi için oldukça farklı sabunlar kullanılmaktadır. Bir diğer nokta, yüzey hazırlamadır. Mekanik tufal kırmadan geçirilmiş tel ile asit banyosunda temizlenmiş ve daha sonra sabun taşıyıcı bir maddeyle kaplanmış tel, çekilme arasında farklı özellikler gösterir. Her iki durumdaki tel için geliştirilmiş ayrı ayrı sabunlar vardır. Genel olarak, bükerek kırma ile yüzeyi temizlenmiş bir telde fosfat, boraks gibi sabun taşıyıcı bir ortamın yokluğunu telafi edebilmek için kalınca bir tabaka oluşturabilecek sabunlar tercih edilmelidir. Tel çekme süresince telin toplam kaç haddeden geçtiği ve kullanılan makinenin durumu da dikkate alınmalıdır.

Toplam hadde sayısı, tel çekme süresince ne kadar ısının ortaya çıkacağını belirler. Kullanılan makinelerdeki soğutma sistemi de bilinmelidir [12]. Farklı koşullar için sabun seçimine bazı örnekler Tablo 2.9.'de gösterilmiştir.

Tablo 2.9. Sabun seçiminde muhtelif malzemeler için örnek uygulamalar [14].

| Malzeme | Yüzey Hazırlama | Tel Çekme Hızı (m/dk) | Hadde Sayısı | Nihai Kullanım | Tavsiye Edilen Sabun |
|-----------------------|---|-----------------------|--------------|----------------------------------|---|
| Düşük Karbonlu Çelik | Mekanik Kırma | 450 | 1 - 3 | İnşaat çivisi, tel örgü | Yağ oranı düşük, yumuşama sıcaklığı orta değerlerde olan kalsiyum bazlı sabun |
| Düşük Karbonlu Çelik | Mekanik Kırma | 450 - 1350 | 3 - 8 | Kaynak teli, çok ince tel örgüsü | Yağ oranı düşük veya orta, yumuşama sıcaklığı yüksek kalsiyum bazlı sabun |
| Düşük Karbonlu Çelik | Asitle temizlenmiş, sabun taşıyıcıyla kaplanmış | 300 - 1500 | 2 - 8 | | Kaplanacak tel için; sodyum tabakası gerekiyorsa yağ oranı düşük, yumuşama sıcaklığı orta değerde kalsiyum bazlı sabun, ince sabun tabakası gerekiyorsa; yağ oranı yüksek, yumuşama sıcaklığı orta değerde kalsiyum bazlı sabun |
| Muhtelif Metaller | Asitle temizlenmiş, sabun kaplanmış | Yavaş | 1 | Vida, civata | Alüminyum sitearat bazlı sabun |
| Yüksek Karbonlu Çelik | Mekanik Kırma | < 600 | 1'den fazla | Yay | Yağ oranı orta, yumuşama sıcaklığı yüksek kalsiyum bazlı sabun |
| Yüksek Karbonlu Çelik | Asitle temizlenmiş, sabun taşıyıcıyla kaplanmış | Muhtelif | 1'den fazla | Yay, çelik halat | 600 m/dk ve daha düşük hızlarda ilk paso için; yağ oranı yüksek, yumuşama sıcaklığı orta kalsiyum bazlı sabun 300 -1200 m/dk arası hızlarda çekmek için; yağ oranı yüksek, yumuşama sıcaklığı yüksek olan sodyum bazlı sabun |

Dikkate alınması gereken bir diğer nokta ise, tel çekme hızıdır. Dakikada 300 metre tel çekebilmek için gerekli olan sabunla, dakikada 1200 metre tel çekebilmek için gerekli olan sabun farklıdır. 1200 m/d hızda çok iyi iş gören bir sabun 300 m/d hızda eriyemez ve hadde içerisine yeterli miktarda akamaz. Kullanılan haddenin dizaynı da sabun seçiminde dikkate alınmalıdır. Son olarak da seçilen sabunun telini nihai kullanımına uygun olması gerektiği unutulmamalıdır [27].

2.2.3.6.1. Kuru Çekme Sabunları

Kuru çekme işleminde kullanılan sabunlar her haddeden önce konumlanan sabun kutularına konur ve tel hareketi sayesinde haddeye doğru akarak, ısı ve basınç etkisi ile tel yüzeyine sıvanır. Kuru çekme sabun bileşimleri;

- Yağlı asitler
- Alkali metaller (Na, Ca, Al, Zn)
- Dolgu maddesi
- Katkı maddesi

olarak 4'e ayrılır. Yağlı asitler; doğal ve sentetik kombinasyonlar halinde olup, metallerle reaksiyon verirler. Son ürün yumuşaklığı yağlayıcı asitlerin kombinasyonu ile ilgilidir. Alkali metal; esas özellikte rol oynamaktadır. Yağlayıcı asitler de bağlayıcıdır. Kimyasal ve fiziksel tepkimeleri yağlayıcı özelliğini etkilemektedir. Dolgu maddesi; yağ asitleriyle, alkali metallerin yağlayıcı özelliği artırılmaktadır. Ana yağlayıcılar birçok uygulama için istenen düzeyde olmayabilir. Bunlar da kompresyon kuvveti ve erime noktalarının düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Dolgu maddeleri, bu özellikleri artırmak için kullanılmaktadır. Dolgu maddelerinin ana fonksiyonu, yağ filminin kalınlık ve incelik noktasını ayarlamaktır [27].

Dolgu maddeleri toz halindedir ve suda çözünenler ve çözülmeyenler olarak iki gruba ayrılmaktadır. Suda çözünenler; sodyum karbonat, sodyum sülfat ve suda çözülmeyenler ise kalsiyum karbonat, kireçtir. Ayrıca teflon gibi maddeler de kullanılmaktadır. Kuru çekme yağlayıcılarının karakteristikleri suda çözünürlük, erime noktası, yağ film tabakası kalınlığı, tane dağılımı büyüklüğü olmak üzere dört ana maddede toplanmaktadır.

Suda çözünürlük temiz tel üretmek için çok önemlidir. Sodyum sitearatlar genellikle suda %100 oranında çözünürler. Tek ve kalsiyumla birlikte kombinasyon yapılarak temiz ürün elde etmek için kullanılırlar. Diğer sitearatlar çözünmezler ve yağ giderici madde ile tel yüzeyinden alınabilirler [27].

Sodyum sitearatlar kalsiyum sitearatlarla birlikte kullanıldığında yağ filminin çözünürlük derecesini kontrol etmek mümkündür. Hadde ömrünü uzatmak ve çiziklerden korumak için yağlayıcı asitler ve kuru tip yağlayıcıların erime noktası önemlidir. Günümüzde bu sıcaklığı 110°C ile 250°C arasında tutmak mümkündür. Tel çekme makineleri ulaştıkları hızlar sebebiyle erime noktası kuru tip yağlayıcılar için kritik rol oynamaktadır. Yağlayıcı film kalınlığı çelik tellerde 0,50 ile 10 mikron arasında olup, yağlayıcı karışımı, yağ sıcaklığı, yağlayıcı tipi ve hadde basıncı ile alakalıdır. Yağın inceliği teldeki son işlemde avantaj sağlamaktadır. Kalın film tabakası, genellikle yüksek hızlı ve üniform yüzey istenen, kaplama yapılmayacak tel çekmelerde önemlidir [27].

İnce film tabakası, çekmeden sonra yüzey kaplama yapılacaksa ve kaynak işlemi gibi işlemler uygulanacaksa tercih edilmektedir. Yağlayıcılarda parçacık büyüklükleri genellikle farklı ölçülerde yayılmıştır. Tane parçacık büyüklüklerinin dağılımı, yağlayıcıların düzgün uygulanması için çok önemlidir. Tel ölçüsüne göre tane büyüklüğü en iyi performansı verir. Tane büyüklüklerini ince, orta, büyük şeklinde gruplamak mümkündür. Tel özelliğine, yapısına, hızına göre uygun seçim yapılmalıdır. Yağlayıcı seçiminde dikkate alınacak ilk unsur çekilecek telin bileşimidir. Benzer şartlarda yüksek karbon içerikli teller orta karbon içerikli tellere göre çekme sırasında daha yüksek ısı oluştururlar. Eğer bu dikkate alınan tek etken ise yüksek karbonlu telleri çekmek için daha yüksek erime noktasına sahip yağlayıcılar kullanılmalıdır. Belirli bir redüksiyon oranı için belli bir hızdaki toplam deformasyon ısı tel çapının karesiyle doğru orantılıdır. Çevresel yüzey tel çapına doğrusal orantılı olarak artar. Bu şartlar altında belli bir hız için daha kaba tellerin sıcaklığı daha yüksek olacaktır. Bu tipteki kaba tellerin çekiminde daha az yağlı yağlayıcılar kullanılmalıdır.

Blok ve çelik yuva tarafından yapılan soğutmanın etkinliği hadde çekirdeğine giren telin sıcaklığını etkileyecektir. Haddeye giren telin sıcaklığı ne kadar yüksek ise belli bir hız için çıkış sıcaklığı da yüksek olacaktır. Bu yüzden tel giriş sıcaklığı ne kadar yüksek ise sabun da yüksek erime noktasına sahip olmalıdır. Ağır şartlarda ve yüksek hızlarda genellikle artan tel sıcaklığını karşılamak için yüksek erime noktası olan yağlayıcılar tercih edilmektedir. Haddenin giriş açısı arttıkça, indirgeme daha küçük bir yüzeye taşınır. Bu da basınç ve sıcaklığı artırır. Bu şartlar altında, daha yüksek erime noktasına sahip yağlayıcılara ihtiyaç duyulmaktadır. Yüzey şartları da yağlayıcı seçiminde bir etkidir. Taşıyıcılar ve yağlayıcılar hassas yüzeylere göre daha kolay nüfuz ettikleri için basit işlenmiş yüzeylere nüfuz ederken taşıyıcıların türü ve polarlık şartı dikkate alınmalıdır.

2.2.3.6.2. Sulu Çekme Sabunları

Bu ürünler sıvı halde veya sulu çözelti halindedirler. Sulu çekme sabunları, hadde içinden geçerken yağlamaya imkân sağlar. Sulu çekme sabunları üç ana başlık altında toplanır.

- Suda çözünebilen yağlar
- Çözülmeden emülsiyon yapabilen yağlar
- Saf yağlar, gres ve pasta şeklindeki yağlar

Suda çözünebilen yağlayıcılar, sıvı haldedirler ve su içinde parçacıklar halinde çok iyi yayılırlar. Genellikle, çekilen tel yüzeyinde yüksek yüzey kalitesi elde edilmektedir. Çözülmeden emülsiyon yapabilen yağlayıcılar; karmaşık bileşiklerdir ve su formunda bileşenleri sabit dağılım gösterir. Bu emülsiyon, su yüzeyindeki küçük damlacıklar halindeki yağ formundadır ve genellikle yüksek derecede yağlama imkân sağlamaktadır. Bunun nedeni içeriğindeki birçok katkı maddesi, yağlayıcı geliştirerek ekstra yağ basıncı sağlamasıdır. Bu yağlayıcılar genellikle çelik tel, şerit çekme, bakır çubuk, bakır tel çekme ve yüksek çekme hızı istenen kaynak teli üretiminde kullanılmaktadır.

Saf yağlar ise konsantre yağlardır, genellikle yüksek oranda katkı içerirler ve suda çözünmezler. Bunlar yüksek derecede yağlamaya katkı sağlar ve su içindeki yağın yeterli olmadığı ürünlerde kullanılır [27].

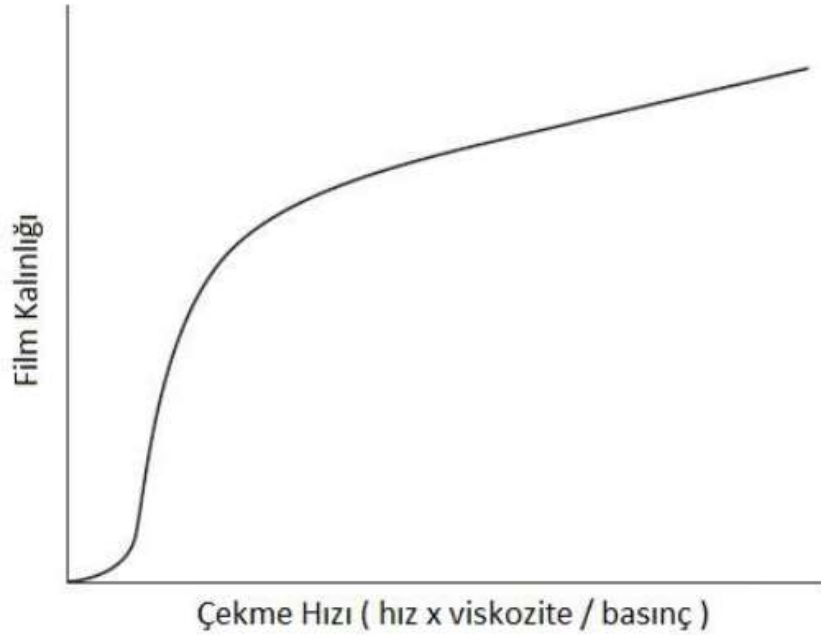
2.2.3.7. Tellerin Tel Çekme İşlemi Sırasındaki Sabun Alma Davranışları

Çekme sabunlarının seçim kriterleri ile ilgili bilgiler tam olarak değerlendirilip sabun seçimi iyi yapılırsa da telin sabun alma (sabun kaplanma) davranışını en çok etkileyen özellikler tel yüzeyinin yapısı ve haddenin tel ile temas eden yüzeyidir [27].

2.2.3.8. Çekme Hızının Sabun Almaya Etkisi

Daha önce de belirtildiği üzere çekme hızının artması haddede oluşan sıcaklığı arttırmaktadır. Sıcaklığın artması ile de kuru çekme işleminde sabunun tel yüzeyine sıvanmasının karakteristikleri değişmektedir. Daha yüksek sıcaklıklarda sabunun yüzeye daha iyi kaplandığı görülmüştür. Fakat uygun çekme hızı değerinden sonra en düşük pik değerine ulaşan kaplama kalınlığı ardından yine sürtünmenin artmasına yol açar. Aşağıdaki şekilde sürtünme katsayısının ve sabun filmi kalınlığının çekme hızı ile değişimi gösterilmektedir. Çekme hızı; hızın, sabun

viskozitesinin ve haddenin tele uyguladığı basınca bağlı bir fonksiyon olarak verilmiştir (Şekil 2.22.) [27].



Şekil 2.22. Film kalınlığının çekme hızına bağlı olarak değişmesi [27].

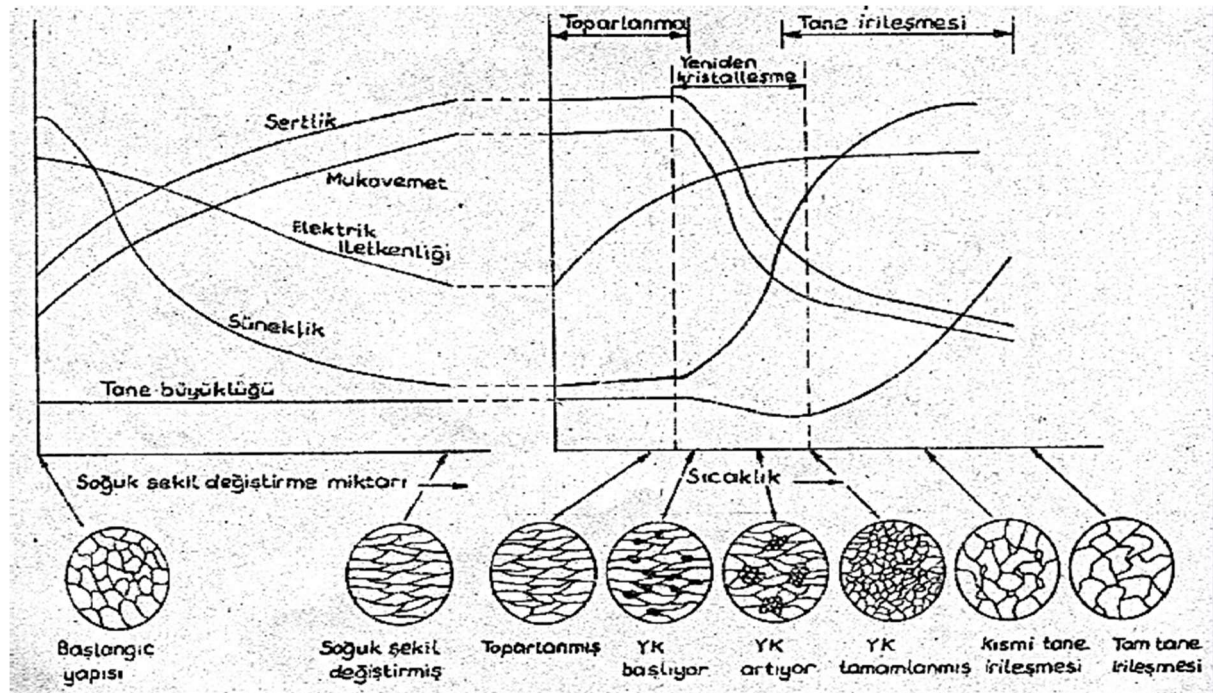
2.2.4. Soğuk Deformasyon Ve Yeniden Kristalleşme

Mutlak ergime sıcaklığının yarısından daha düşük sıcaklıklarda yapılan plastik deformasyonun soğuk işleme karşılık geldiği kaba kural olarak belirlenmiştir. Soğuk işlem genellikle haddelemede, tel ve boru çekmede, dövme veya basınçlı şekil vermede uygulanır.

Metale plastik deformasyon uygulandığında dislokasyon yoğunluğu ve buna bağlı olarak sertliği ve dayanımı artar, sünekliği ve tokluğu ise düşer. Hareket eden dislokasyonlar ya kaymayı oluşturur ya da başka dislokasyon, tane sınırı gibi engeller ile durdurulur. Engellerin önünde (mesela tane sınırlarında) dislokasyonların yığılması bitişik tanedeki gerilmeyi artırır. Artan gerilme, bitişik tane içindeki dislokasyon kaynaklarını harekete geçirir. Bu şekilde plastik deformasyon taneden taneye geçerek ilerler ve tüm malzeme plastik deformasyonla şekil değişimine uğrar. Plastik şekil değişimine uğramış metalin kristal tane yapısı bozulur; taneler şekil verme yönü doğrultusunda uzar.

Plastik deformasyon miktarı arttıkça dislokasyon yoğunluğu da artar. Dislokasyonlar birbirlerinin hareketlerini engelledikleri için dislokasyon hareketi zorlaşır. Bu olaya pekleşme veya deformasyon sertleşmesi denilir. Plastik şekil değiştirme miktarının artması ile öyle bir

noktaya gelinir ki, artık malzeme şekil değiştirmeye uğratılamaz, çatlaklar oluşur ve kırılır. Dislokasyon bölgesindeki atomlar denge durumundan uzaklaştıkları için dislokasyon yoğunluğunun artması (gerilmiş yay gibi) malzemelerin iç enerjisini artırır. Plastik deformasyon sırasında dislokasyon hareketlerinden kaynaklanan atom boşluklarının oluşması da soğuk deformasyona uğramış metallerde enerji kaynağı olarak kabul edilir. Soğuk işlemden harcanan enerjinin çoğu ısıya dönüşür, fakat bir kısmı deformasyonla oluşmuş çeşitli kafes hatalarına bağlı deformasyon enerjisi olarak metalde depolanır. Depolanan enerji miktarı, deformasyon şiddetine, metalin bileşimi, deformasyon hızı, sıcaklık gibi parametrelere bağlıdır. Yapılan araştırmalar sonucunda genel olarak depolanan enerji miktarının, soğuk işlemden harcanan enerji miktarının % 10'u kadar olduğunu göstermiştir [3,6].



Şekil 2.23. Soğuk deformasyon ve tavlama ile malzemede meydana gelen değişikliklerin şematik gösterilişi [3,6].

2.2.4.1. Toparlanma

Bir metal soğuk deformasyona uğradığında birçok fiziksel ve mekanik özelliği değişir. Soğuk deformasyon; mukavemet, sertlik ve elektrik direncini artırır, sünekliği azaltır. Denge durumu bozulan atomlar denge durumuna gelme eğilimindedir. Dışarıdan bir enerji (ısı) verilecek olursa, malzeme eski düzenli haline gelir. Orijinal hale dönüşün ilk aşaması olan toparlanma evresinde dislokasyonlar düzene girer ve malzemenin soğuk işlem mukavemetinde veya sertliğinde bir miktar düşüş kaydedilir. Bu olay ters işaretli dislokasyonların bir araya gelmesiyle meydana gelir [3,6].

2.2.4.2. Yeniden Kristalleşme

Soğuk deformasyona uğramış malzemenin tavlanması sırasında toparlanma evresini yeniden kristalleşme takip eder. Toparlanma ve yeniden kristalleşme temel olarak farklı iki olaydır. Yeniden kristalleşme, soğuk işlem sonucunda deforme olmuş tanelerin yerini tamamen yeni tanelerin almasıdır. Bu nedendir ki yeniden kristalleşme;

Katı (soğuk işlem görmüş) → Katı (yeniden kristalleşmiş)

şeklindeki bir katı-katı dönüşümüdür. Bunun sonucu olarak malzeme soğuk işlem ile kazandığı mekanik özelliklerini tamamen kaybeder.

Dislokasyon yoğunluğunun fazla olduğu yüksek enerjili bölgelerde yeni kristal çekirdekleri oluşur. Bu çekirdeklerin boyutlarının büyümesiyle malzemenin yeniden kristalleşmesi tamamlanır.

Yeniden kristalleşme sıcaklıkla aktive olan bir süreçtir. Bu nedenle yeniden kristalleşmeyi etkileyen en önemli parametre sıcaklık ve işlem süresidir. Yeniden kristalleşmeyi etkileyen diğer parametreler; deformasyon miktarı, metalin saflık derecesi ve başlangıç tane boyutudur. Deformasyon miktarının artması ile malzemede hatalı bölgeler çoğalır, buna bağlı olarak depolanan enerji artar, çekirdekleşme kolaylaşır ve bu nedenle yeniden kristalleşme için gerekli olan kuluçka süresi azalır. Aynı sıcaklıkta tavlendiğinde daha fazla soğuk deformasyon gören metal daha hızlı yeniden kristalleşmektedir. Yeniden kristalleşme hızı saf metallerde daha yüksektir. Metalin % 0,01 kadar dahi olsa az miktarda yabancı atom içermesi, yeniden kristalleşme sıcaklığını önemli ölçüde yükseltebilir. Çözünen atomun yeniden kristalleşme hızına etkisi, düşük konsantrasyonlarda çok daha fazladır.

Düşük miktardaki elementlerin yeniden kristalleşme sıcaklığına belirgin olarak etki etmesi, tane sınırlarıyla çözünen atom etkileşmesi sebebiyledir. Yabancı bir atomun tane sınırlarına yerleşmesiyle, tane sınırının hareket kabiliyeti düşer. Yeniden kristalleşmede tane sınırı hareketi çekirdek oluşup büyümesi için gereklidir. Bu sınırlarda yabancı atomların varlığı, ikinci faz veya empüritelere tane sınırı hareketini engeller ve bu yüzden yeniden kristalleşme hızını düşürür.

Çok kristalli bir metal soğuk şekillendirilirse, tane sınırları kristallerdeki kayma hareketini engeller. Sonuç olarak, tane sınırlarına yakın olan kristal kafesleri tane içindikilerden daha fazla distorse olurlar. Tane boyutunun azalması tane sınırı miktarını artırır ve böylece tane sınırlarına

yakın, distorse olmuş kafes miktarı artar. Böylece ince taneli yapıda, mümkün çekirdeklenme noktası sayısı artmış olur. Bu nedenle ince taneli malzemelerde çekirdeklenme hızı artar ve yeniden kristalleşmiş tanelerin boyutu küçülür.

Yeniden kristalleşme sıcaklığı; soğuk deformasyona uğramış metalin belirli bir standart sürede % 50'sinin yeniden kristalleştiği sıcaklık olarak tanımlanır. Standart süre genellikle bir saattir. Teorik olarak yeniden kristalleşme sıcaklığı bir metalin mutlak ergime sıcaklığının 0,3- 0,5 katı değerleri arasındadır. Yeniden kristalleşme sıcaklığındaki küçük artış ve yükselişler yeniden kristalleşme süresini oldukça etkilemektedir. Bazı metallerin ergime noktaları ve yeniden kristalleşme sıcaklıkları Tablo 2.10.'de verilmiştir [3,6].

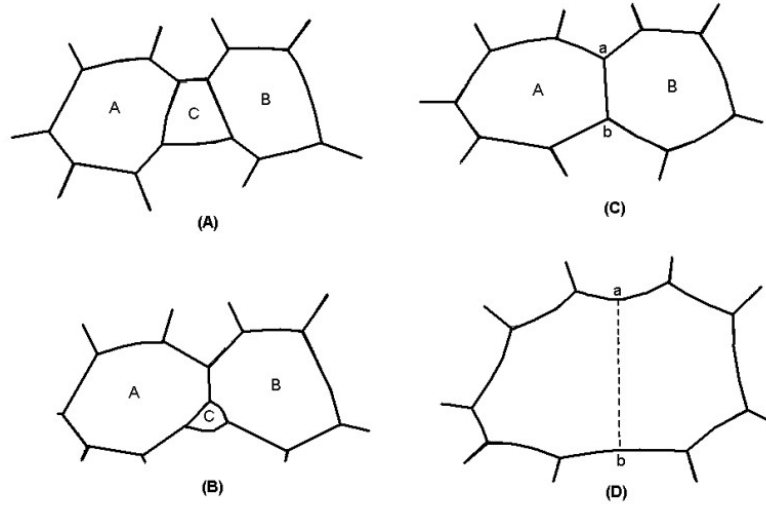
Tablo 2.10. Bazı metallerin yeniden kristalleşme ve ergime sıcaklıkları [3,6].

| Metal | Yeniden Kristalleşme Sıcaklığı (°C) | Ergime Noktası (°C) |
|-----------|-------------------------------------|---------------------|
| Alüminyum | 175 | 660 |
| Kurşun | 25 | 327 |
| Kalay | 25 | 232 |
| Bakır | 250 | 1083 |
| Nikel | 700 | 1453 |
| Magnezyum | 150 | 650 |
| Çinko | 50 | 420 |

2.2.4.3. Tane Büyümesi

Yeniden kristalleşen tanelerin uzun süre tavlınması sonucunda tane büyümesi meydana gelir. Büyük taneler küçük tanelerden daha düşük serbest enerjiye sahiptirler. İdeal koşullar altında bir metal için en düşük enerji hali tek kristaldir. Tamamen yeniden kristalleşmiş bir metalde tane büyümesi için gerekli kuvvet tane sınırlarının yüzey enerjisinden gelir. Taneler boyutça büyüyüp, sayıları azaldıkça, tane sınırları azalır. Böylece tane sınırlarının yüzey enerjisi azalmış olur. Tane büyümesini açıklayabilecek en basit örnek; yüzey enerjisini azaltmak için büyüyen sabun köpüğüdür. Sabun köpüğü, hücresel büyümeyi ideal şekilde gösterir. Sabun köpüğünün içindeki gazın basıncı yüzey gerilmesi sebebiyle dış kısımdan daha yüksektir.

Tane büyümesi tane sınırlarının hareketi ve tane birleşmesi mekanizmasıyla gerçekleşir. Tane birleşmesi basit olarak aralarında düşük enerjili tane sınırı bulunan iki tanenin birleşerek tek bir tane haline gelmesi esasına dayanır. Bu birleşmenin kademeleri Şekil 2.24.'de görülmektedir [3,6].



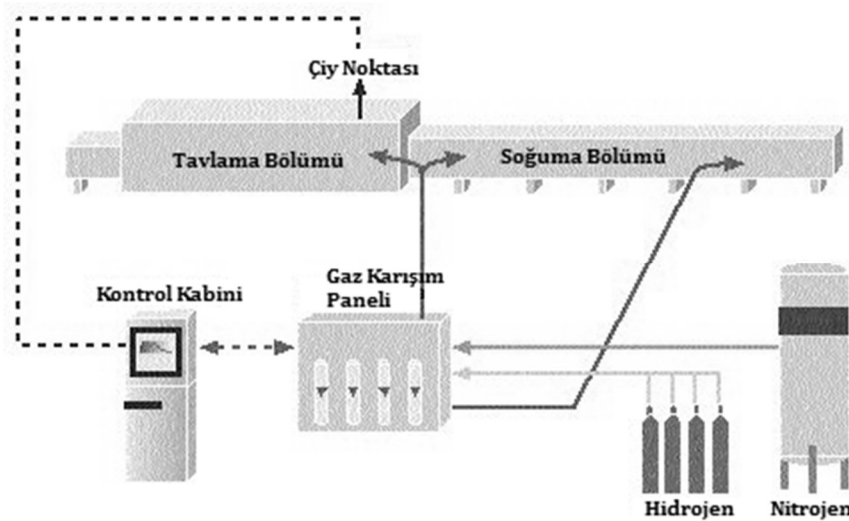
Şekil 2.24. Tane birleşmesiyle tane büyümesinin şematik gösterilişi [3,6].

2.3. ISIL İŞLEM

Tavlama, öncelikle metalik malzemelerin yumuşatılması için uygun bir sıcaklığa ısıtmak ve o sıcaklıkta tutmayı ve sonrasında uygun bir hızda soğumadan oluşan bir işlemi ifade eden jenerik bir terimdir [28].

2.3.1. Parlak Tavlama

Koruyucu gaz atmosferinde temiz, oksitsiz ve meneviş renklerini içermeyecek şekilde yapılan tam, normal veya gerilim giderme tavlamasıdır. Bu tavlama ile elde edilen temiz yüzeyler daha sonra yapılacak işlere kolaylık sağlar [29].



Şekil 2.25. Örnek Parlak Tavlama Proses Hattı Şematik Görüntüsü [30].

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Giriş

Bu çalışmada soğuk çekme ile redüksiyon uygulanan 316L tel için her hadde basamağında ayrı ayrı numune alınmış ve alınan numunelere sırasıyla;

- Metalografik Numune Hazırlama ve Mikroyapı İnceleme
- Isıl İşlem
- Mikro Sertlik Testleri
- Çekme Testleri

yapılmıştır.

3.2. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Hammaddeler

Deneyde; soğuk tel çekme işlemi uygulanan ve yurtdışından alınan soğuk tel çekme işlemine uygun HRAP (Hot-Rolled Annealed & Pickled) 316L kalite filmaşinler kullanılmıştır. İncelenen filmaşinler ASTM A 580 - 13b standardında olup, standarttaki kimyasal aralıklar ve gelen filmaşine yapılan kimyasal analiz sonuçları Tablo 3.1.'de ve ölçülen mekanik özellikler Tablo 3.2.'deki gibidir.

Tablo 3.1. Hammadde Kimyasal Analiz Sonuçları

| Kalite 316L | %C max. | %Si max. | %Mn max. | %P max. | %S max. | %Ni | %Cr | %N max. | %Co | %Mo max. |
|-------------------------|------------|-------------|-------------|------------|------------|-------|-------|------------|-------|-------------|
| ASTM A 580- 13b | 0,030 | 1,00 | 2,00 | 0,045 | 0,030 | 10-14 | 16-18 | 0,10 | - | 2,00 |
| HAMMADDE SERTİFİKASI | 0,02 | 0,40 | 1,33 | 0,029 | 0 | 10,02 | 16,04 | 0,04 | 0,24 | 2,03 |
| GÜNEY ÇELİK | 0,022 | 0,392 | 1,44 | 0,0431 | < 0,0010 | 11,5 | 16,08 | - | 0,231 | 1,99 |

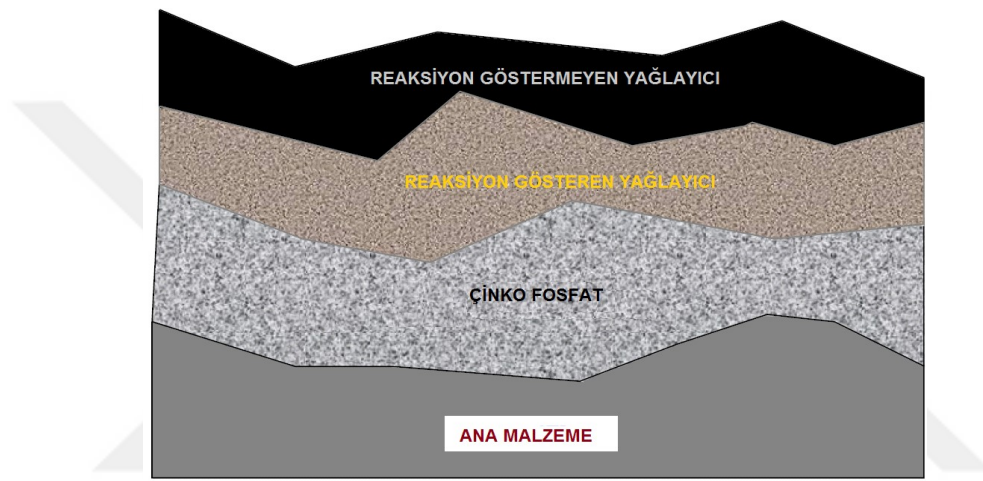
Tablo 3.2. Hammadde Mekanik Özellikler

| Kalite 316L | Akma Mukavemeti (MPa) | Çekme Mukavemeti (MPa) | Uzama (%) |
|----------------------|--------------------------|---------------------------|--------------|
| ASTM A 580-13b | min. 170 | min. 485 | 35 |
| HAMMADDE SERTİFİKASI | - | 583 | - |
| GÜNEY ÇELİK | 284,79 | 579,91 | 42,11 |

Yapılan testler neticesinde, standart ile gelen ürün özelliklerinin uyduğu gözlemlenmiştir.

3.3. Çinko Fosfat Kaplama Prosesi

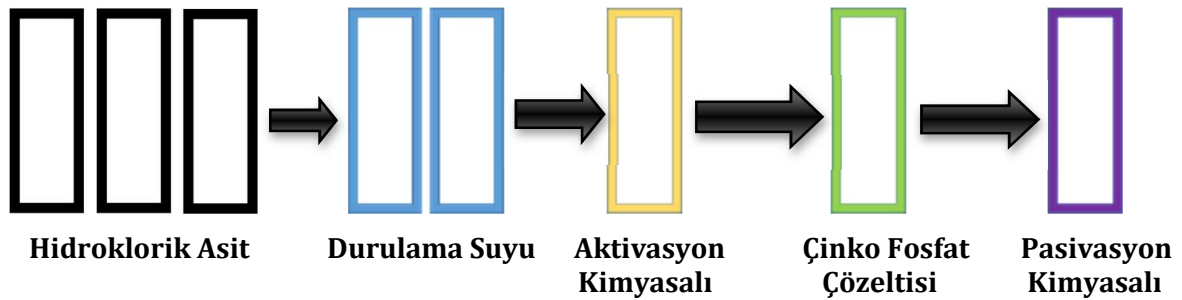
Literatürden elde edilen bilgiler ışığında soğuk tel çekme prosesinin ilk adımı olarak filmaşinlerin çinko fosfat çözeltisi ile ön kaplamaya tabi tutulması gerekliliği görülmüş, çinko fosfat çözeltisinin soğuk tel çekme esnasında, filmaşin üzerinde sabun tutabilmesi için gerekli olduğu kanısında vurgu yapılmıştır. Bu bağlamda ilk olarak kangallar Güney Çelik firmasının fosfat hattında çinko fosfat kaplamaya tabi tutulmuştur.



Şekil 3.1. Çinko Fosfat Kaplama Sonrası Oluşan Kaplamanın Yapısı

Kaplama proses adımları şu şekilde gerçekleşmiştir;

Yarım saatlik hidroklorik asit ile filmaşin üzerinde ki yağ, kir vb. temizlik yapılmış daha sonra durulama suyu ile filmaşin durulanmıştır. Akabinde filmaşinler aktivasyon kimyasalı olan CaCO_3 çözeltisine 60 saniye süresince daldırılmıştır. Sonrasında 60 derece sıcaklığında ki çinko fosfat çözeltisine 10 dakikalık süre daldırılmıştır. Çinko-Fosfat banyosundan çıkan filmaşin Boraks çözeltisinin olduğu pasivasyon banyosuna 60 saniye süresince daldırılmıştır.





Şekil 3.2. Çinko Fosfat Kaplama Tesisi

3.4. Tel Çekme Prosesi

Ön kaplaması yapılan filmaşın soğuk tel çekme işlemleri için tel çekme hattına getirilmiştir. Tel çekme hattına ayrıca proseste kullanılacak olan tel çekme sabunları yerleştirilmiştir. Proseste kullanılan sabunun tel çekme prosesinde sağladığı avantajlar şu şekilde sıralanabilir;

- Metalin yüzeyine verilen zararı minimize eder ve daha kaliteli bir yüzey elde edilmesini,
- Tel çekme sırasında oluşan ısının azaltılması,
- Kalıntı birikintisinin önlenmesi,
- Haddeleri soğuk tutma ve hadde ömrünü uzatma,
- Daha yüksek çekme hızı

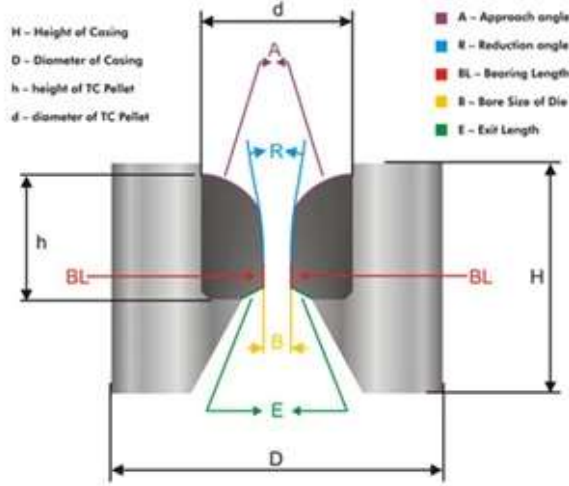
gibi özellikler sağlar.



Şekil 3.3. Tel üzerine sıvanan sabunun hadde geçişi sırasındaki görüntüsü

Literatür araştırmasında görülemeyen bir nokta da, 5,5 mm'lik bir çaptan çok daha düşük çaplardaki tel çapının sağlanması yolunda öncelikle ara bir çapa inilmesi ve bunun düşük

redüksiyonlar ile olması gerektirir. Ara bir çapa inilerek malzemenin daha az redüksiyona uğraması ile deformasyon sertleşmesi belli bir seviyede tutulabilecek, yapılacak tavlama çalışması ile de bu çaptan daha düşük çaplara inilmesi sağlanacaktır. Yaptığımız araştırmalar ve fabrikamızın tel çekme konusunda ki tecrübeleri ışığında ara çap olarak 3 mm baz alınmıştır. Tel çekme prosesinde daha önce öngörüldüğü gibi basınçlı hadde sistemleri kullanılarak hazırlanmıştır.



Şekil 3.4. Tungsten Karbür Basınç Haddesi ve Basınçlı Hadde Sistemi

Östenitik paslanmaz çelikler için her hadde de verilmesi gereken redüksiyon ve çap hesabı yapılmış ve yapılan çalışmanın sonucu aşağıdaki tabloda verilmiştir;

Tablo 3.3. Hadde Dizisinin Detaylı Hesabı

| Kafa No | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Hadde Çapı (mm) | 5,50 | 4,85 | 4,35 | 3,92 | 3,56 | 3,25 | 3,00 |
| Hadde Açısı | | 12° | 10° | 10° | 10° | 10° | 10° |
| Kesit Alanı (mm²) | 23,76 | 18,47 | 14,86 | 12,07 | 9,95 | 8,30 | 7,07 |
| Redüksiyon (%) | | 22,24 | 19,56 | 18,79 | 17,52 | 16,66 | 14,79 |
| Toplam Redüksiyon (%) | | 22,24 | 37,45 | 49,20 | 58,10 | 65,08 | 70,25 |

Filmaşın öncelikle mevcut tel çekme makinalarının yükleme istasyonuna yüklenmiş olup açıcılar yardımıyla tel çekme makinasına beslemesi yapılmıştır.



Şekil 3.5. Filmaşinin Tel Çekme Makinasına Beslemesi Öncesi Yapılan İşlemler

Makinaya beslenen filmaşinler için basınçlı haddeler hazırlanmış ve sabun yardımıyla sırasıyla her bir haddeden geçirilmiştir.



Şekil 3.6. Tel Çekme Makinası 1. Kafadan Geçen Tel ve Tel Çekme Makinası Görünüm

316L kalite paslanmaz çelik için her haddeden geçiş sonrası numune alınmıştır ve tel çekme prosesi sorunsuz şekilde gerçekleşmiştir.

3.5. Metalografik Numune Hazırlama ve Mikroyapı İnceleme

Alınan tel numuneleri öncelikle Metkon marka MicroCut-151 model hassas kesme cihazı ile kesilmiştir.



Şekil 3.7. Metkon Microcut 151 Hassas Kesme Cihazı

Kesilen numuneler yine Metkon marka Ecopress 50 model bakalit cihazı ile kalıplanmıştır.



Şekil 3.8. Metkon Ecopress 50 Bakalit Cihazı

Bakalite alınan numuneler Metkon marka Forcipol 2V model zımparalama ve parlatma cihazında işlem görmüş ve sonrasında mikro sertlik testine tabi tutulmuştur.

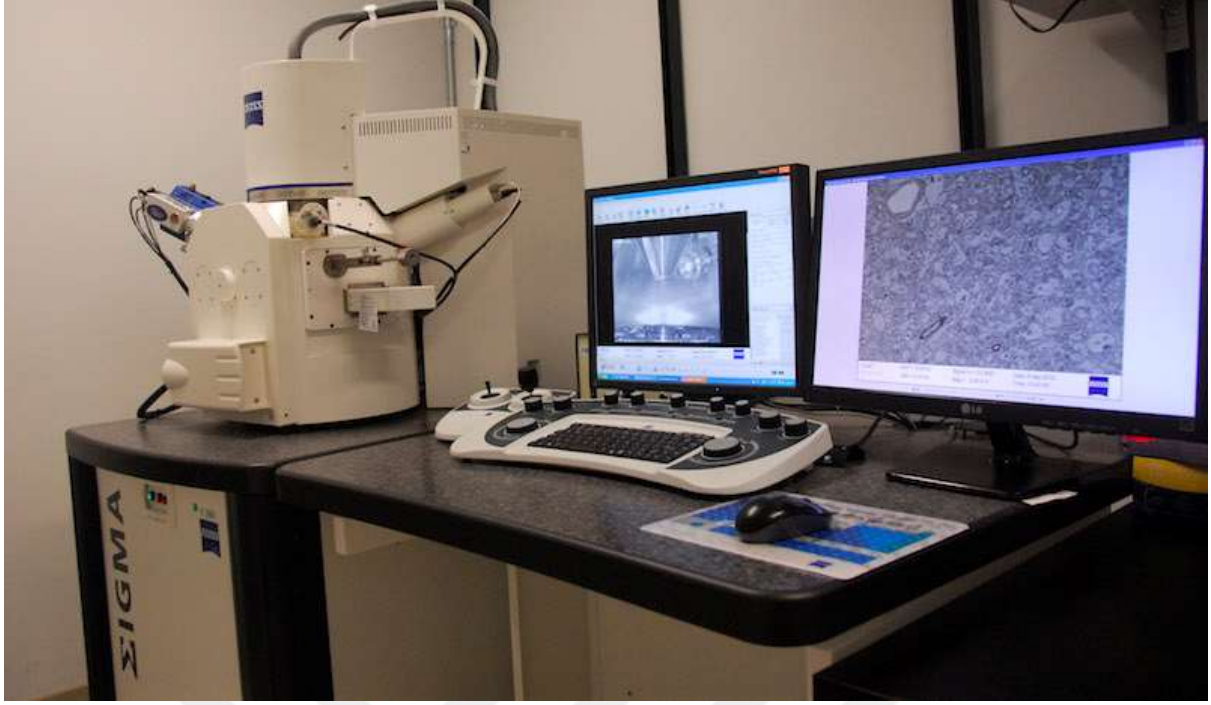


Şekil 3.9. Metkon Forcipol 2V Zımparalama ve Parlatma Cihazı

Her haddeden çıkan tel numuneleri üzerlerinde hadde sabununun sıvanmış hali ile Nikon marka LV150 model optik mikroskopta (bkz. Şekil 3.10.) ve Bruker marka ZEISS Gemini model taramalı elektron mikroskobu (bkz. Şekil 3.11.) ile incelenmiş ve ayrıca taramalı elektron mikroskobunda (SEM) EDX analizleri yapılmıştır.



Şekil 3.10. Nikon LV150 Optik Mikroskop



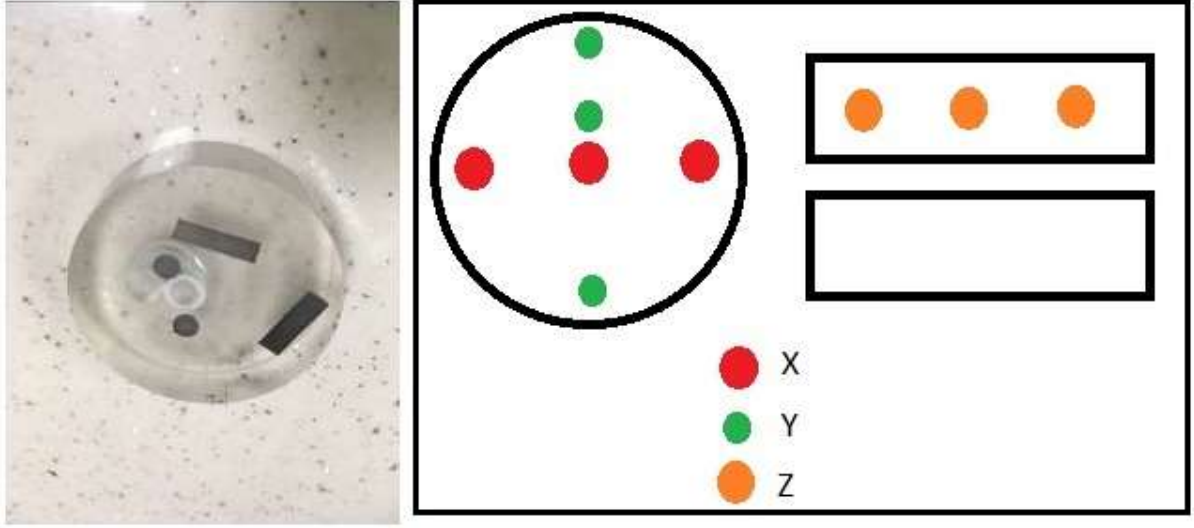
Şekil 3.11. Bruker ZEISS Gemini SEM Cihazı

3.6. Mikro Sertlik Testleri

Mikro sertlik testleri Mitutoyo marka ve HM-100 model (bkz. Şekil 3.12) cihazda, 3 farklı doğrultuda yapılmıştır. Bakalite alınmış numune üzerinde belirlenen doğrultular Şekil 3.13'da görülmektedir.



Şekil 3.12. Mitutoyo HM-100 Mikro Sertlik Ölçüm Cihazı



Şekil 3.13. Bakalite alınmış numuneleri ve test noktaları

3.7. Çekme Testleri

Çekme testleri Mares marka 10 ton kapasiteli test cihazında (bkz. Şekil 3.14.) yapılmıştır. Çekme hızı 5 mm/dakika olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.14. Mares Marka 10 Ton Kapasiteli Çekme Test Cihazı ve Kontrol Paneli

3.8. Parlak Tavlama

Yapılan prosedür anlatılacak bu kısımda. Aşağıdaki sonuçlar bir sonraki bölüme alınacak bu nedenle sertlik ve çekme testi başlığının altında parlak tavlama sonuçları da verilebilir.

İlgili standart olan ASTM A 580-13b standardında 316L kalite paslanmaz çelik telde tavlandıktan sonra olması gereken mekanik özellikler Tablo 3.4.'te verilmiştir.

Tablo 3.4. ASTM A 580-13b Standardı 316L Kalite Paslanmaz Çelik Tel Tav Sonrası Olması Gereken Mekanik Özellikler

| Standart | Durum | Akma Mukavemeti (MPa) | Çekme Mukavemeti (MPa) | Uzama (%) |
|----------------|-----------|-----------------------|------------------------|-----------|
| ASTM A 580-13b | Tavlanmış | Min. 170 | Min. 485 | Min. 25 |

Olması gereken bu değerlere istinaden tavlama prosesi için ön laboratuvar çalışmaları yapılmış ve bu çalışmalarda soğuk deformasyona uğrayan telin 1050°C sıcaklıktaki bir ortamda maruz kalması gereken sürenin bulunması amaçlanmıştır. Bu kapsamda Elektra marka rezistanslı fırınında (bkz. Şekil 3.15.) farklı sürelerde ortalama 40 cm boyutunda kesilmiş tellerle tavlama denemeleri yapılmış, süresi dolan tel çıkışta su ve hava ortamında ayrı ayrı soğutulmuştur.

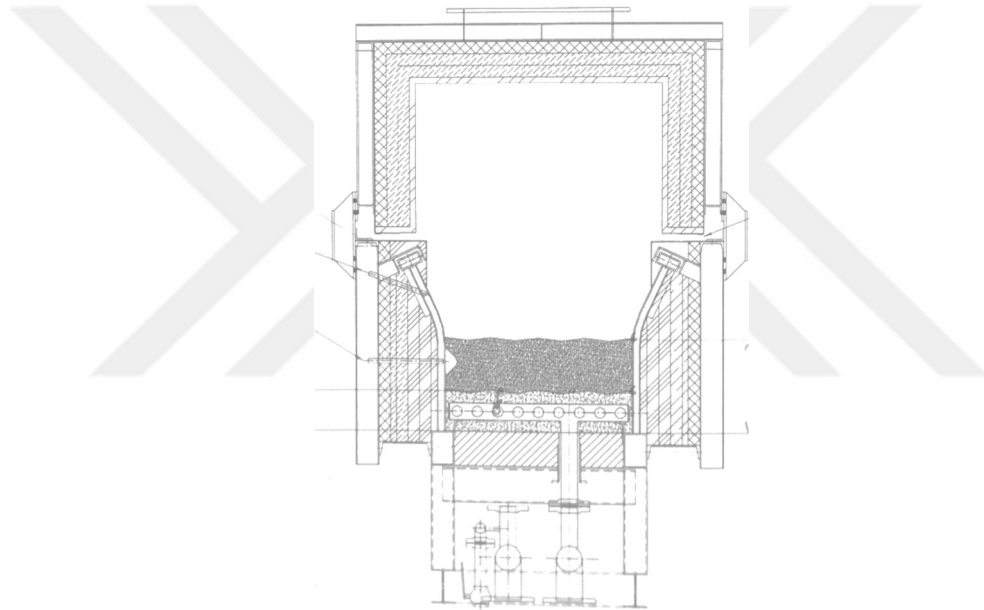


Şekil 3.15. Elektra marka rezistanslı fırın

Soğutma sonrası numuneler çekme testine tabi tutulmuştur. Hava ve su ortamında soğutulan numunelere dair çekme test sonuçları 4. bölümde detaylıca tartışılmıştır.

Tellerin soğuması sonrasında yüzeylerinde renkli oksit tabakasının zaman zaman gözlemlendiği görülmüştür. Bunun üzerine yapılan araştırmalar neticesinde parlak tavlama için saf hidrojen (H₂) kullanılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Hidrojen gazının bir özelliği de yüzeyde oluşan tüm oksit tabakasını yakmasıdır böylece renkli veya renksiz bir oksit tabakasının oluşmasını engellemektedir.

Parlak tavlama için süre etütleri tamamlanan paslanmaz çelik teller Güney Çelik A. Ş. firmasının 1. Galvanizli tel üretim hattında bulunan 14 metre boyundaki “Akışkan Yataklı” fırın (bkz. Şekil 3.16.) kullanılmıştır. Bu süreçte hazırlanmış olan tavlama prosesinin basit şematik gösterimi Şekil 3.17.’da ki gibidir.



Şekil 3.16. Akışkan Yataklı Fırın



Şekil 3.17. Parlak Tavlama Prosesinin Basit Şematik Görüntüsü

Yapılan literatür araştırmaları ve elde edilen bilgi birikimi sonrasında sistem hazırlanmıştır. Tel çekmeden gelen tellerin üzerine sıvanmış vaziyetteki sabunun temizlenmesi için etkin sülfürik

asit kullanılmıştır. Sülfürik asit ile temizliği yapılan telin su ile durulanması sağlanmış ve sonrasında paslanmaz boru içerisine girmiştir. 1050°C sıcaklığına alınan fırın içerisine paslanmaz boru döşenmiştir. Boru fırından çıkmakta ve su dolu bir banyonun içerisinden geçmektedir. Boru içerisinde ısınan tel tavlanamakta ve fırın sonrası soğuk su havuzuna girerek soğuyan boru içerisinde soğuması sağlanmıştır. Boru içerisine saf H₂ gazı su havuzunun içerisinden geçen boru üzerine kaynaklanan bir vana yardımıyla verilmiş ve boru içerisinde tavlanan telin inert ortamda tavlama ve soğuması sağlanmıştır.





Şekil 3.18. a) Ön Temizlik Ünitesi b) Telin Fırına Girişi c) Telin Soğuma Ünitesi d) İnert Ortam Gaz Girişi e) İnert Ortam Gazının Tel Giriş Kısmında Gösterdiği Yanma

Yapılan çalışmalar neticesinde 14 metre boyunda olan fırın içerisinde 35 saniye kalacak şekilde tel için hesaplamaları yapıldığında;

$$14 \text{ metre} = V(\text{Hız}) \times \frac{35 \text{ sn.}}{60 \text{ sn.}} = 24,03 \text{ metre/dk.}$$

Telin çekim hızı 25 metre/dakika olarak ayarlanmış ve tavlama prosesi bu şekilde tamamlanmıştır.

Parlak tavlama sonrası alınan tel numunesinin mekanik özellikleri 4. bölümde detaylandırılmıştır.

Elde edilen verilerin ilgili standart olan ASTM A 580-13b'ye uygun olduğu görülmüştür. Tel çekme ve parlak tavlama prosesi tamamlanan teller (bkz. Şekil 3.19.) metalografik olarak hazırlanarak tekrar VGA çözeltisinde dağlanmış ve mikroyapıları optik mikroskop ve SEM incelemesi 4. Bölümde detaylandırılmıştır.

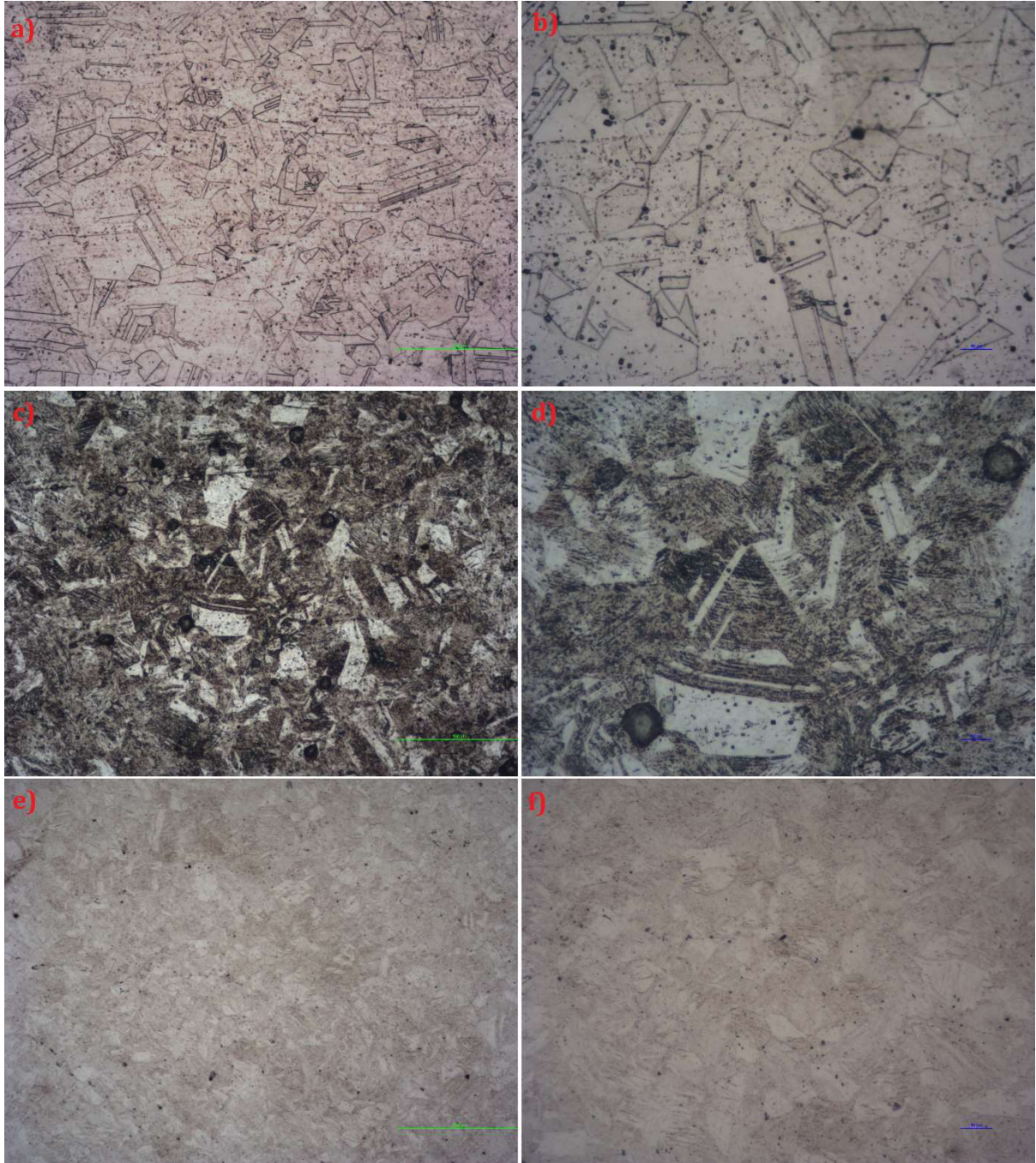


Şekil 3.19. Parlak Tavlama Sonrası Paslanmaz Çelik Tel

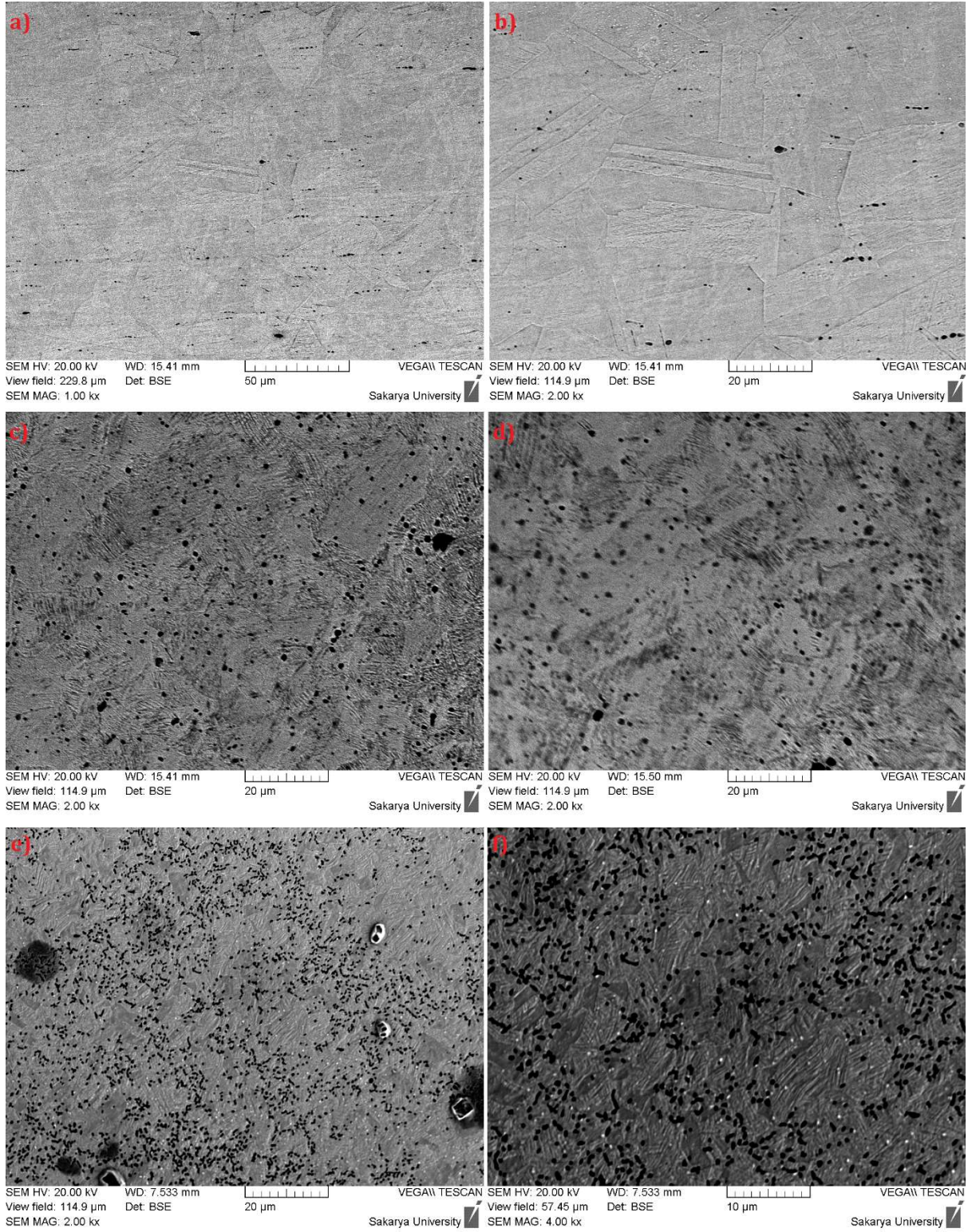
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Mikroyapı Çalışmaları

Metalografik olarak hazırlanan numuneler VGA çözeltisi ile farklı sürelerde dağlanmış ve sonrasında optik mikroskop (bkz. Şekil 4.1.) ve SEM cihazı yardımıyla (bkz. Şekil 4.2.) mikroyapı görüntüleri alınmıştır.

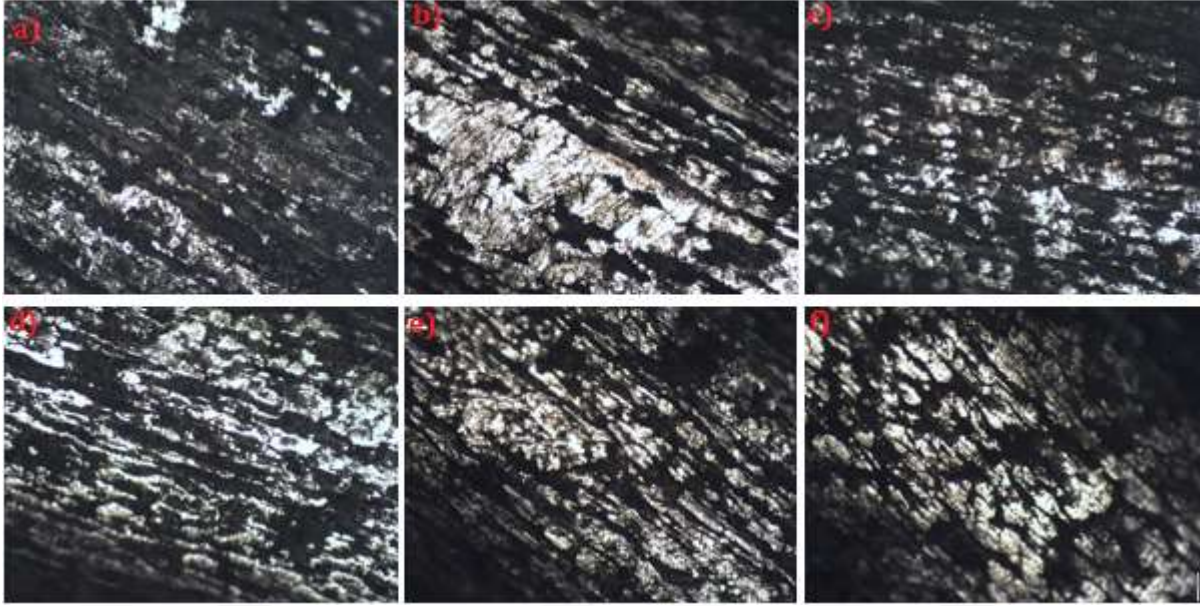


Şekil 4.1. Optik Mikroskop Mikroyapı Görüntüleri a) Filmaşın (20x) b) Filmaşın (50x) c) 3. Kafa Sonrası (20x) d) 3. Kafa Sonrası (50x) e) 6. Kafa Sonrası (20x) f) 6. Kafa Sonrası (50x)

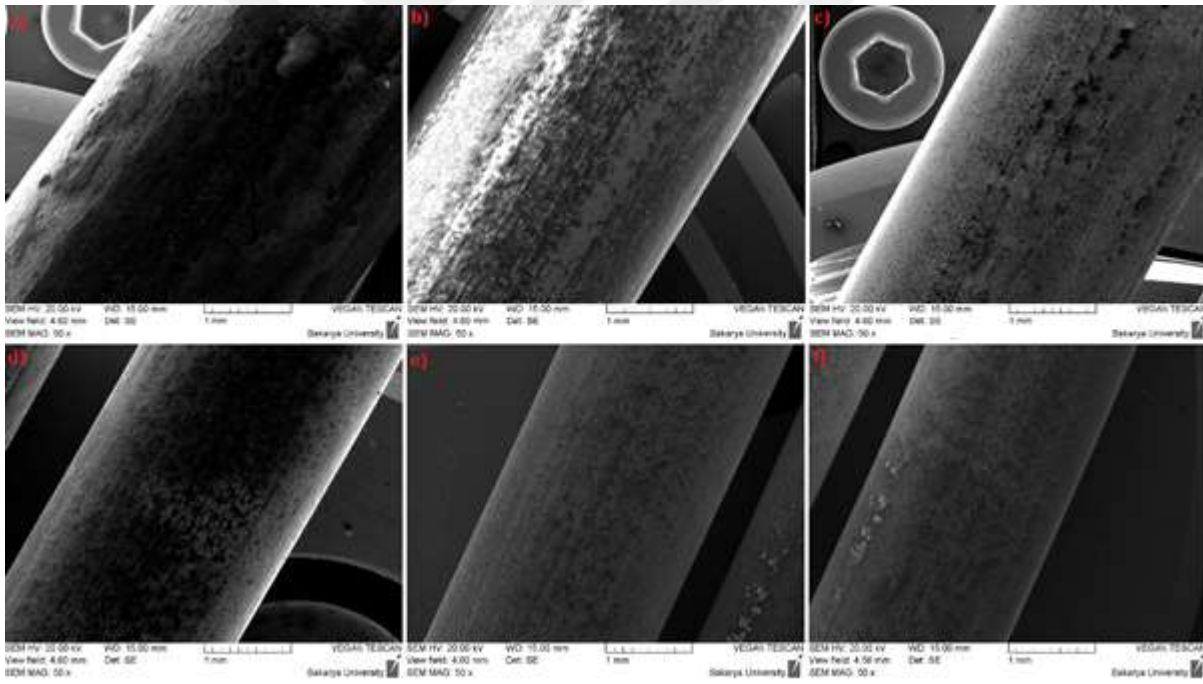


Şekil 4.2. SEM Cihazı Mikroyapı Görüntüleri a) Filmaşın b) Filmaşın c) 3. Kafa Sonrası d) 3. Kafa Sonrası e) 6. Kafa Sonrası f) 6. Kafa Sonrası

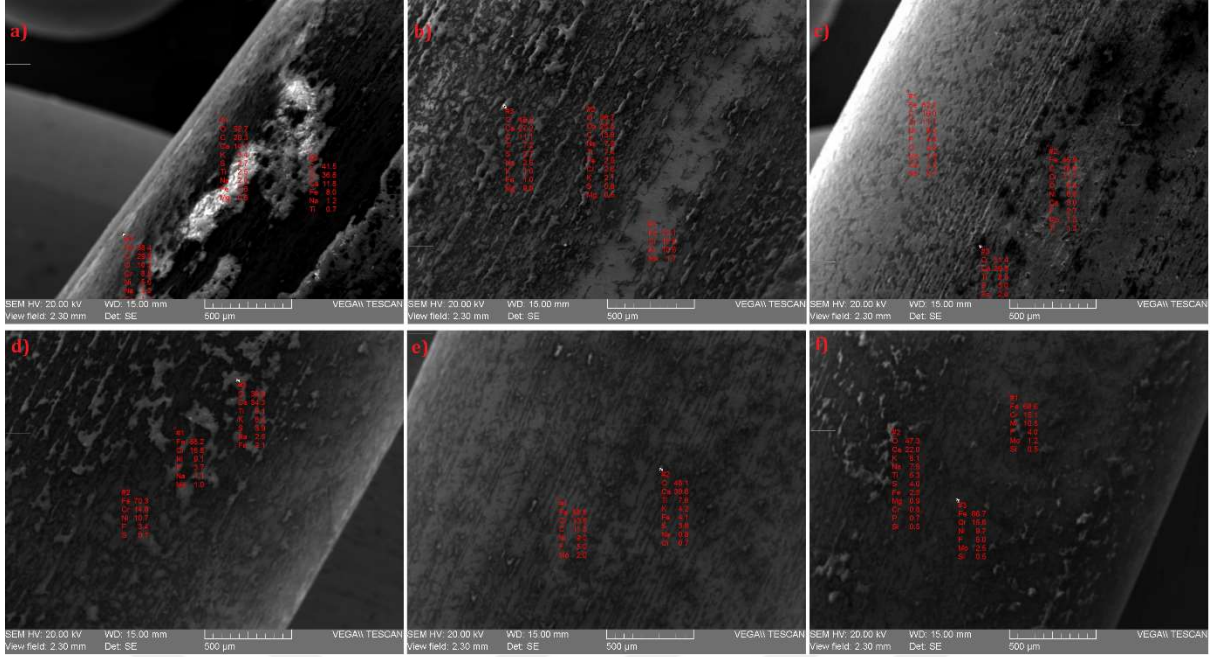
Yapılan hadde izlerinin optik mikroskop görüntüleri Şekil 4.3.'de SEM görüntüleri Şekil 4.4.'de ve EDX analizleri Şekil 4.5.'de görülmektedir.



Şekil 4.3. Hadde İzleri Optik Mikroskop Görüntüleri a) 1. Kafa Sonrası b) 2. Kafa Sonrası c) 3. Kafa Sonrası d) 4. Kafa Sonrası e) 5. Kafa Sonrası f) 6. Kafa Sonrası



Şekil 4.4. Hadde İzleri SEM Görüntüleri a) 1. Kafa Sonrası b) 2. Kafa Sonrası c) 3. Kafa Sonrası d) 4. Kafa Sonrası e) 5. Kafa Sonrası f) 6. Kafa Sonrası

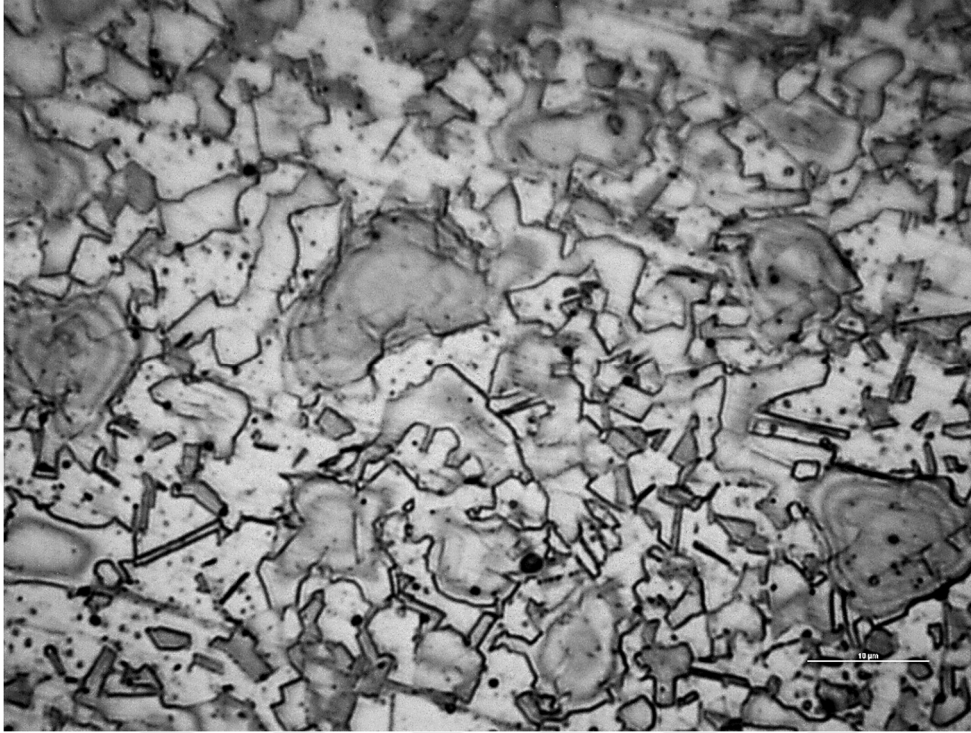


Şekil 4.5. Hadde İzleri SEM Görüntülerinin EDX Analizleri a) 1. Kafa Sonrası b) 2. Kafa Sonrası c) 3. Kafa Sonrası d) 4. Kafa Sonrası e) 5. Kafa Sonrası f) 6. Kafa Sonrası

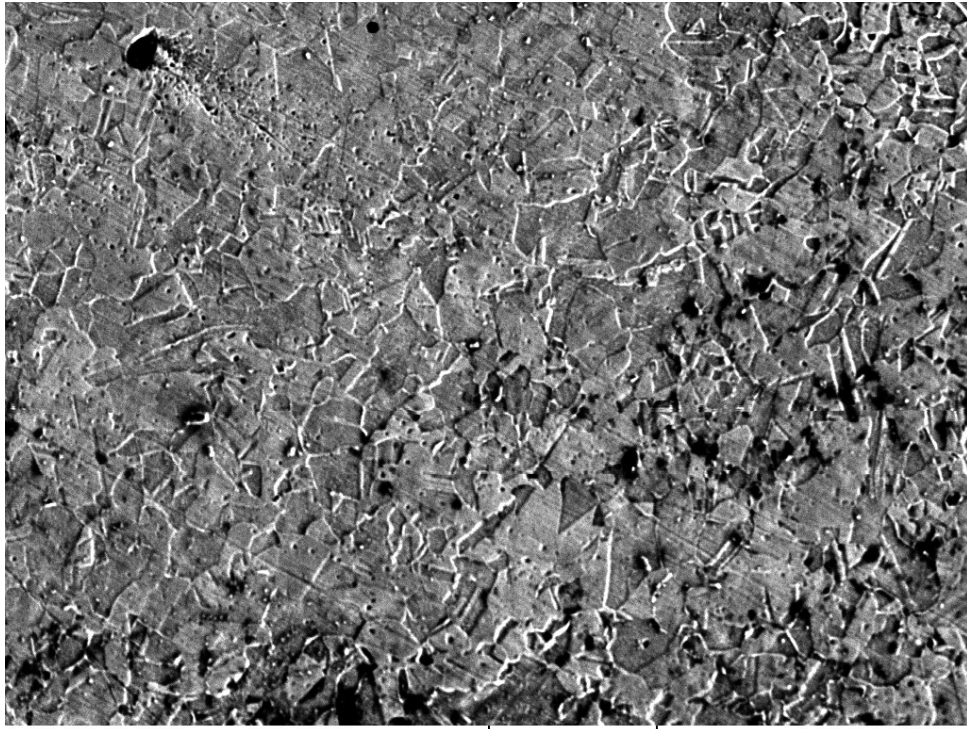
Tablo 4.1. Şekil 4.5.'de görünen Noktasal EDX Analizlerinin Element Yüzdeleri

| % Kimyasal Bileşim | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|----------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|------|-----|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Numune | | O | C | Ca | K | S | Ti | Na | Fe | Mg | Cr | Ni | Mo | Cl | F | Si | P |
| a) | 1. Nokta | 52,7 | 20,3 | 14,1 | 3,4 | 2,7 | 2,5 | 2,0 | 1,6 | 0,6 | | | | | | | |
| | 2. Nokta | 36,8 | 41,5 | 11,8 | | | 0,7 | 1,2 | 8,0 | | | | | | | | |
| | 3. Nokta | 10,3 | 29,9 | 1,4 | | | | 3,0 | 38,4 | | 8,8 | | | | | | |
| b) | 1. Nokta | | | | | | | | 72,1 | | 15,5 | 10,6 | 1,7 | | | | |
| | 2. Nokta | 36,7 | 13,6 | 25,5 | 2,1 | 0,8 | 7,4 | 7,9 | 2,9 | 0,6 | | | | 2,6 | | | |
| | 3. Nokta | 46,5 | 11,1 | 27,2 | 1 | 2,7 | 7,2 | 2,6 | 1 | 0,8 | | | 0,8 | | | | |
| c) | 1. Nokta | 2,8 | 16 | 1,2 | | | | 0,7 | 52,4 | | 11,1 | 9 | 1,8 | | 4,9 | | |
| | 2. Nokta | 8,8 | 18,6 | 3 | | | 1,3 | | 45,9 | | 11,7 | 6,5 | 1,5 | | 2,7 | | |
| | 3. Nokta | 51,4 | | 29,8 | | 3 | 8,4 | | 2,6 | | | | | | | | |
| d) | 1. Nokta | | | | | | | 1,1 | 62,8 | | 16,8 | 9,1 | 1 | | 3,7 | | |
| | 2. Nokta | | | | | 0,7 | | | 70,3 | | 14,8 | 10,7 | | | 3,4 | | |
| | 3. Nokta | 39,9 | | 34,3 | 8,4 | 3,9 | 9,1 | 2,5 | 2,1 | | | | | | | | |
| e) | 1. Nokta | | 11,3 | | | | | | 58,8 | | 13,8 | 9 | 2 | | 5 | | |
| | 2. Nokta | 48,1 | | 30,6 | 4,2 | 3,9 | 7,6 | 0,8 | 4,1 | | 0,7 | | | | | | |
| f) | 1. Nokta | | | | | | | | 68,6 | | 15,1 | 10,5 | 1,2 | | 4 | 0,5 | |
| | 2. Nokta | 47,3 | | 22 | 8,1 | 4 | 5,3 | 7,9 | 2,5 | 0,9 | 0,8 | | | | | 0,5 | 0,7 |
| | 3. Nokta | | | | | | | | 66,7 | | 15,6 | 9,7 | 2,5 | | 5 | 0,5 | |

Tel çekme ve parlak tavlama prosesi tamamlanan teller metalografik olarak hazırlanarak tekrar VGA çözeltisinde dağlanmış ve mikroyapıları optik mikroskop ve SEM ile incelenmiştir ve sırasıyla Şekil 4.6. ve Şekil 4.7.'da görülmektedir.



Şekil 4.6. Tavlama Sonrası Paslanmaz Çelik Tel Mikroyapısı Optik Mikroskop Görüntüsü



SEM HV: 20.00 kV WD: 9.000 mm View field: 57.45 µm Det: BSE SEM MAG: 4.00 kx VEGA\\ TESCAN Sakarya University

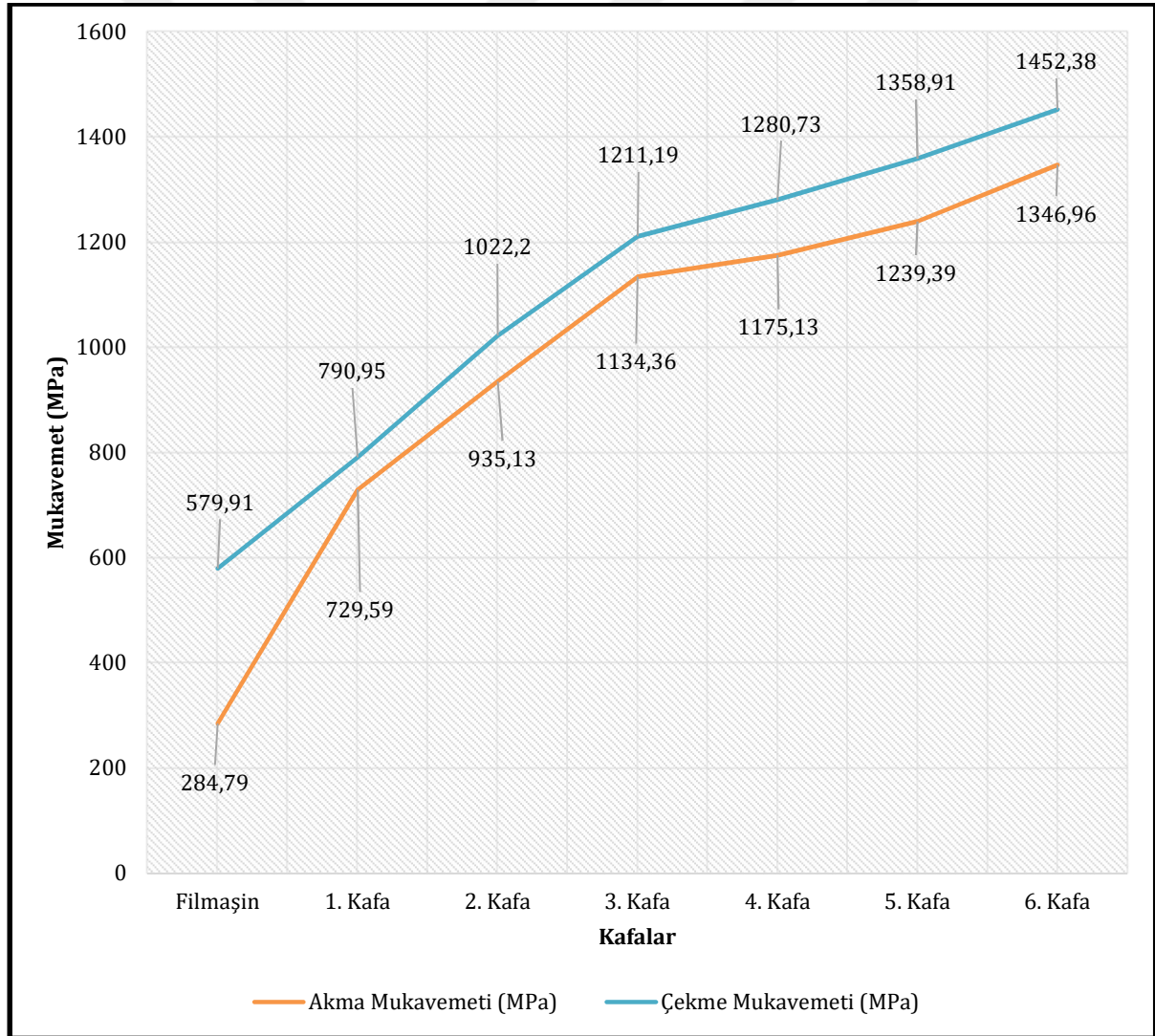
Şekil 4.7. Tavlama Sonrası Paslanmaz Çelik Tel Mikroyapısı SEM Görüntüsü

4.2. Çekme Testleri

Tel çekme prosesinde her haddeden alınan tellerin çekme test sonuçları Tablo 4.2.'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Çekme Mukavemeti Değerleri

| Kafa Numarası | Çap (mm) | Akma Mukavemeti (MPa) | Akma Mukavemeti Yüzde Artış | Çekme Mukavemeti (MPa) | Çekme Mukavemeti Yüzde Artış |
|---------------|----------|-----------------------|-----------------------------|------------------------|------------------------------|
| Filmaşın | 5,50 | 284,79 | % 0,00 | 579,91 | % 0,00 |
| 1. Kafa | 4,90 | 729,59 | % 156,19 | 790,95 | % 36,39 |
| 2. Kafa | 4,40 | 935,13 | % 28,17 | 1022,2 | % 29,24 |
| 3. Kafa | 3,98 | 1134,36 | % 21,31 | 1211,19 | % 18,49 |
| 4. Kafa | 3,60 | 1175,13 | % 3,59 | 1280,73 | % 5,74 |
| 5. Kafa | 3,28 | 1239,39 | % 5,47 | 1358,91 | % 6,10 |
| 6. Kafa | 3,00 | 1346,96 | % 8,68 | 1452,38 | % 6,88 |

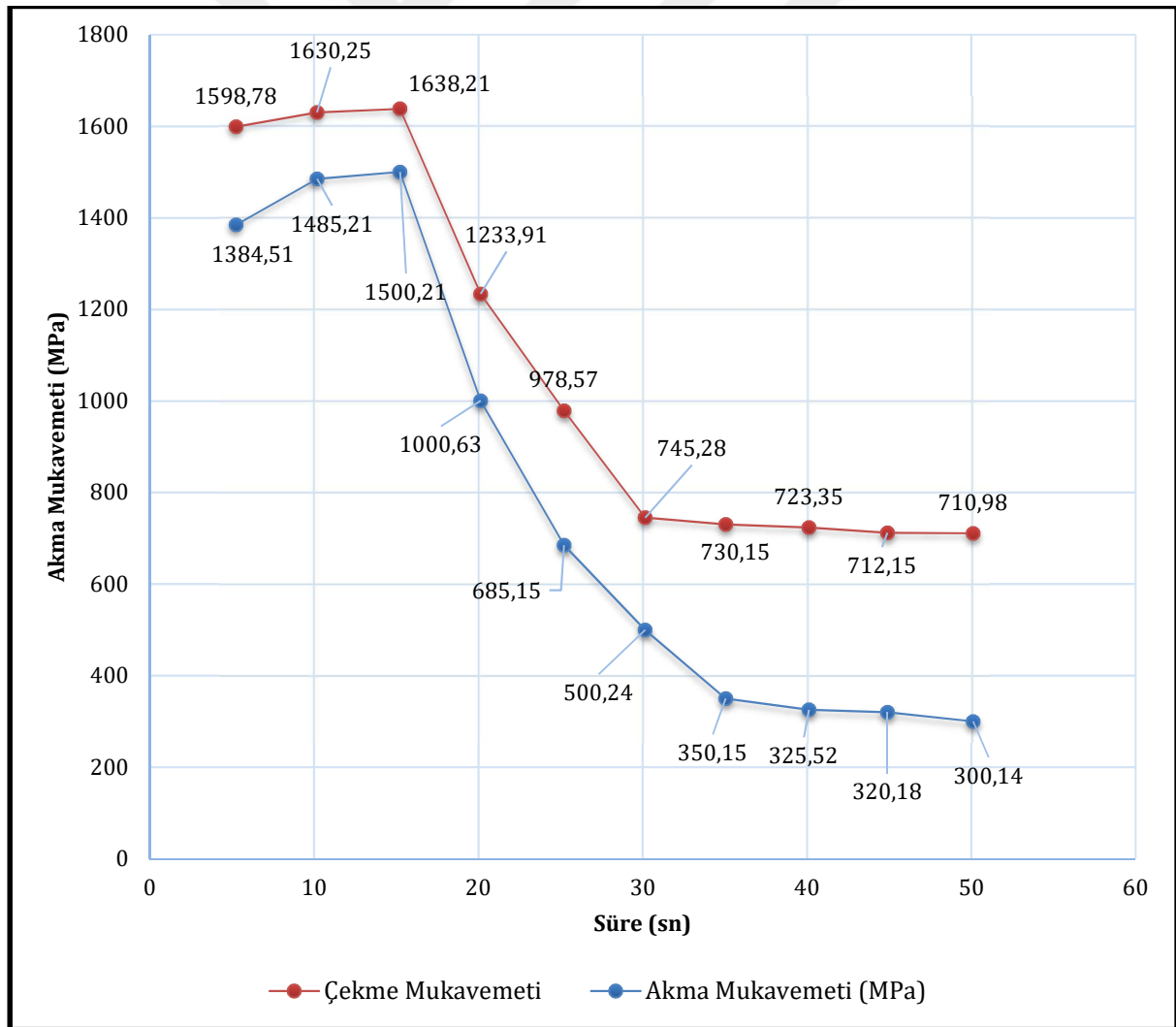


Şekil 4.8. Akma-Çekme Mukavemeti Test Sonuçları Grafiği

Soğutma sonrası numuneler çekme testine tabi tutulmuştur. Hava ve su ortamında soğutulan numunelere dair çekme test sonuçları Tablo 4.3. ve Tablo 4.4.'de sırasıyla verilmiştir.

Tablo 4.3. Tavlama Sonrası Hava Ortamında Soğutulan Tellerin Çekme Test Sonuçları

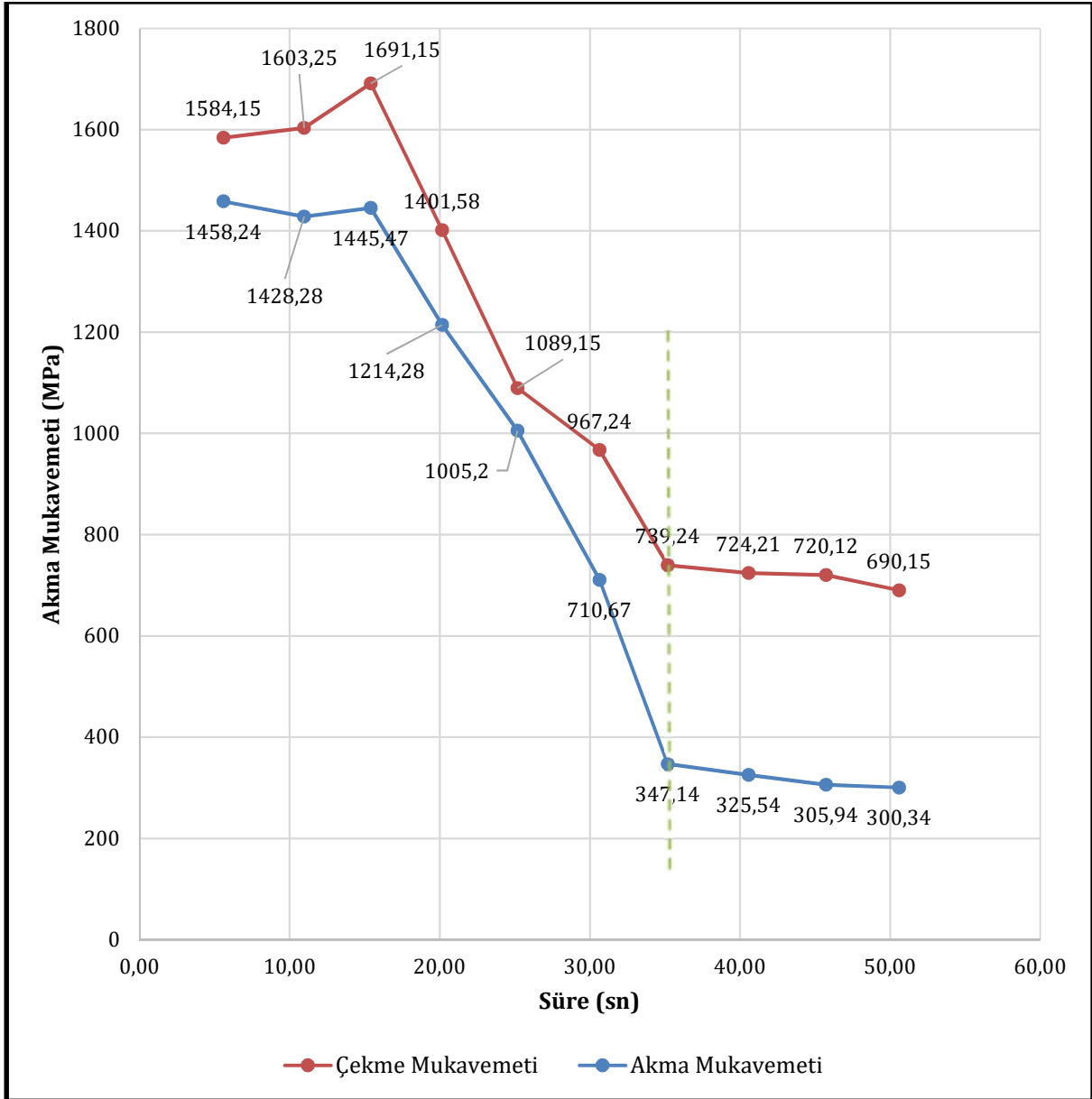
| Numune No | Tavlama Sıcaklığı (°C) | Tavlama Süresi (sn.) | Akma Mukavemeti (MPa) | Çekme Mukavemeti (MPa) |
|-----------|------------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|
| 0 | 0 | 0 | 1346,96 | 1452,38 |
| 1 | 1052 | 5,26 | 1251,34 | 1598,78 |
| 2 | 1051 | 10,18 | 1485,21 | 1630,25 |
| 3 | 1051 | 15,23 | 1500,21 | 1638,21 |
| 4 | 1051 | 20,14 | 1000,63 | 1233,91 |
| 5 | 1052 | 25,21 | 685,15 | 978,57 |
| 6 | 1051 | 30,15 | 500,24 | 745,28 |
| 7 | 1051 | 35,05 | 350,15 | 730,15 |
| 8 | 1052 | 40,12 | 325,52 | 723,35 |
| 9 | 1052 | 44,89 | 320,18 | 712,15 |
| 10 | 1051 | 50,11 | 300,14 | 710,98 |



Şekil 4.9. Tavlama Sonrası Hava Ortamında Soğutulan Tellerin Çekme Test Sonuçları Grafiği

Tablo 4.4. Tavlama Sonrası Su ile Soğutulan Tellerin Çekme Test Sonuçları

| Numune No | Tavlama Sıcaklığı (°C) | Tavlama Süresi (sn.) | Akma Mukavemeti (MPa) | Çekme Mukavemeti (MPa) |
|-----------|------------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|
| 0 | 0 | 0 | 1346,96 | 1452,38 |
| 1 | 1052 | 5,58 | 1458,24 | 1584,15 |
| 2 | 1051 | 10,96 | 1428,28 | 1603,25 |
| 3 | 1051 | 15,41 | 1445,47 | 1691,15 |
| 4 | 1051 | 20,15 | 1214,28 | 1401,58 |
| 5 | 1052 | 25,17 | 1005,2 | 1089,15 |
| 6 | 1051 | 30,65 | 710,67 | 967,24 |
| 7 | 1051 | 35,18 | 347,14 | 739,24 |
| 8 | 1051 | 40,58 | 325,54 | 724,21 |
| 9 | 1052 | 45,74 | 305,94 | 720,12 |
| 10 | 1051 | 50,61 | 300,34 | 690,15 |

**Şekil 4.10.** Tavlama Sonrası Su ile Soğutulan Tellerin Çekme Test Sonuçları Grafiği

Parlak tavlama sonrası alınan tel numunesine yapılmış çekme testi sonucu Tablo 4.5.'de verilmiştir.

Tablo 4.5. Parlak Tavlama Sonrası Tel Mukavemeti

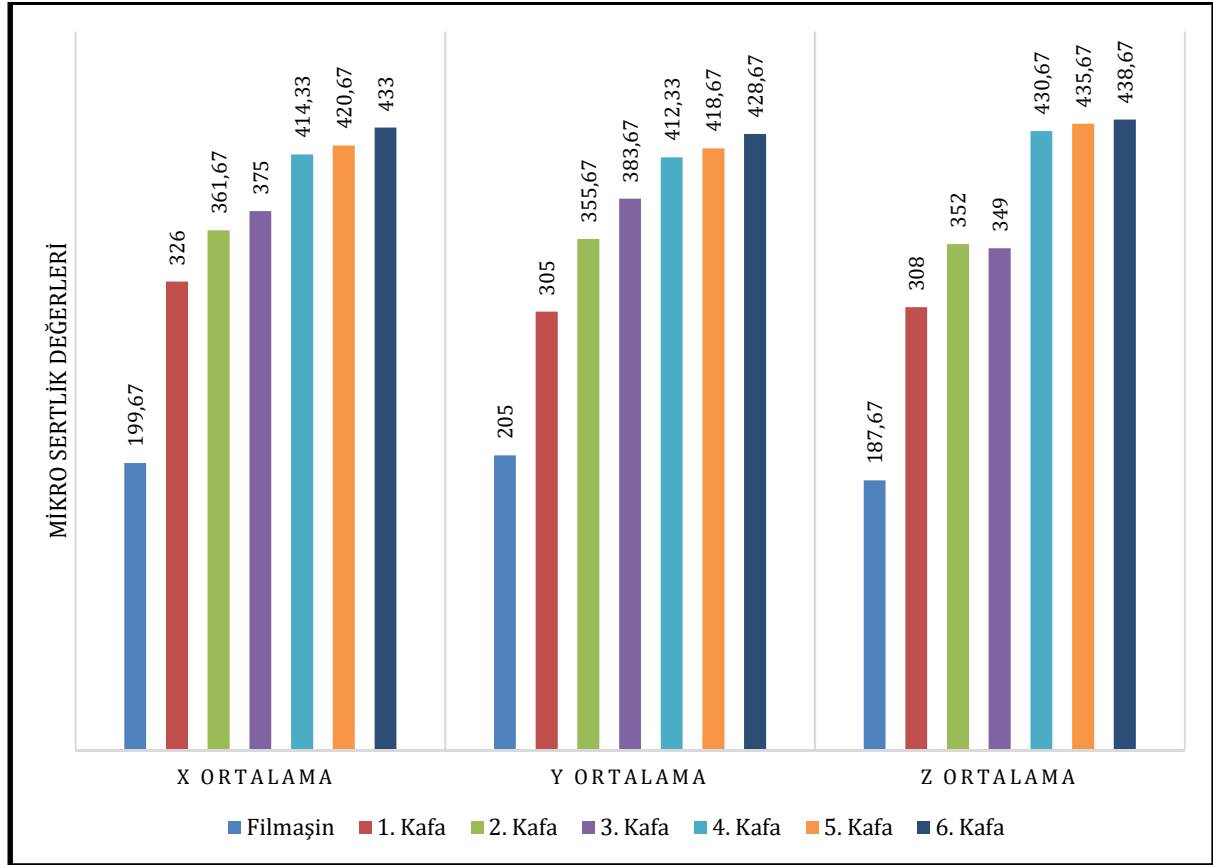
| Kalite | Çap | Akma Mukavemeti (MPa) | Çekme Mukavemeti (MPa) | Uzama (%) |
|--------|---------|-----------------------|------------------------|-----------|
| 316L | 3,00 mm | 485,37 | 758,98 | 79 |

4.3. Mikro Sertlik Testleri

Tel çekme prosesinde her haddeden alınan tellerin mikro sertlik test sonuçları Tablo 4.6.'de verilmiştir.

Tablo 4.6. 316L Kalite Paslanmaz Çelik Mikro Sertlik Sonuçları

| Numune No | X1 | X2 | X3 | X Ortalama | Y1 | Y2 | Y3 | Y Ortalama | Z1 | Z2 | Z3 | Z Ortalama |
|-----------|-----|-----|-----|------------|-----|-----|-----|------------|-----|-----|-----|------------|
| Filmaşın | 201 | 198 | 200 | 199,67 | 204 | 195 | 216 | 205,00 | 185 | 190 | 188 | 187,67 |
| 1. Kafa | 318 | 333 | 327 | 326,00 | 317 | 315 | 283 | 305,00 | 322 | 295 | 307 | 308,00 |
| 2. Kafa | 361 | 353 | 371 | 361,67 | 352 | 351 | 364 | 355,67 | 369 | 331 | 356 | 352,00 |
| 3. Kafa | 384 | 367 | 374 | 375,00 | 384 | 376 | 391 | 383,67 | 343 | 348 | 356 | 349,00 |
| 4. Kafa | 412 | 412 | 419 | 414,33 | 400 | 415 | 422 | 412,33 | 434 | 423 | 435 | 430,67 |
| 5. Kafa | 408 | 415 | 439 | 420,67 | 412 | 426 | 418 | 418,67 | 437 | 435 | 435 | 435,67 |
| 6. Kafa | 431 | 433 | 435 | 433,00 | 432 | 430 | 424 | 428,67 | 426 | 441 | 449 | 438,67 |



Şekil 4.11. Mikro Sertlik Test Sonuçları Grafiği

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

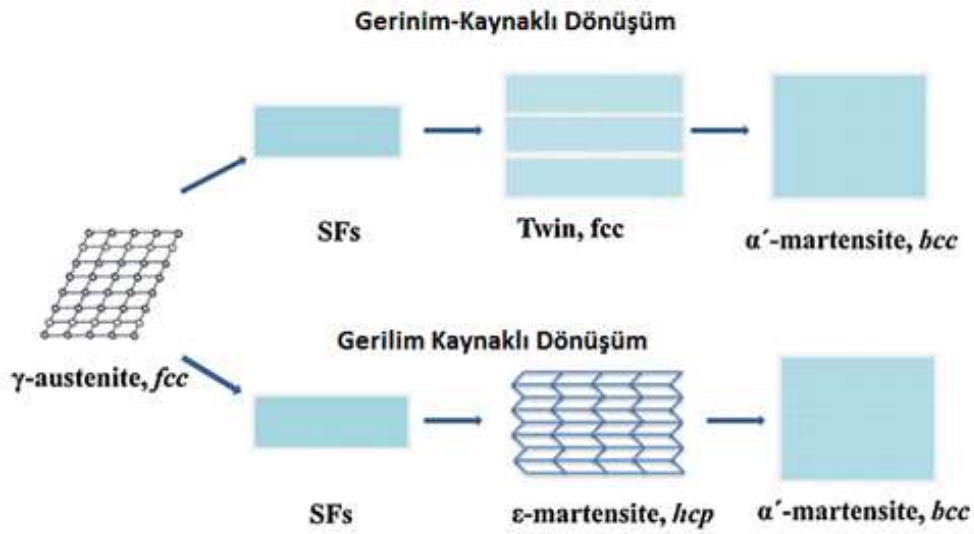
Tel çekme soğuk deformasyon mekanizması ile malzemeye uygulanan plastik şekil verme yöntemlerinden birisidir. Plastik şekillendirme hem dislokasyonların hareketini sağlar hem de yeni dislokasyonların oluşumuna sebep olur. Soğuk işlem sonunda mukavemetin artması deformasyon sertleşmesi nedeniyledir. Deformasyon sertleşmesi dislokasyonların birbiri ile ve dislokasyonların hareketini zorlaştıran çeşitli engeller ile etkileşim sonucunda oluşur.

Bütün test sonuçları da göstermektedir ki soğuk işlem ile malzeme mukavemetinde ki ve sertliğinde ki artış soğuk işlem miktarı ile orantılıdır. Soğuk işlem sonucunda malzemenin taneleri uzar ve belirli bir kristalografik doğrultuda yönelirler. Tanelerde dislokasyon yoğunluğunun artmasının yanında birçok atom boşluğu da meydana gelir aynı zamanda malzemenin yoğunluğunda bir miktar azalma meydana gelir.

Soğuk işlem sonucunda sarf edilen enerjinin bir kısmı dislokasyon enerjisine çevrilir, bir kısmı ise ısı halinde kaybolur. Böylece enerjinin büyük bir kısmı dislokasyon enerjisi halinde malzeme içinde depo edilir.

Bu çalışmada 316L kaliteye sahip paslanmaz filmaşinden soğuk deformasyonla tel çekme ve parlak tavlama prosesleri araştırılmış olup bu süreçte birden çok testler yapılmış ve aşağıdaki genel sonuçlara ulaşılmıştır;

- 1) Bu çalışmada kullanılan östenitik paslanmaz çelikler grubuna dahil olan 316L kalite paslanmaz çelik telde meydana gelen martenzitik dönüşüm mekanizması (bkz. Şekil 5.1.) gerinim ve gerilim kaynaklı olup α' martenzit olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.1. Deformasyon Prosesinin Şematik Gösterimi [31].

- 2) Östenitik paslanmaz çelik grubuna dahil olan 316L kalite paslanmaz çelik filmaşinden tel çekme gerçekleşirken sürekli olarak sertlik ve mukavemette artış gözlemlenmiştir.
- 3) Yapılan parlak tavlama ısı işlemi ile süreç içerisinde meydana gelen deformasyon sertleşmesi ortadan kaldırılmıştır.
- 4) Parlak tavlama prosesinde koruyucu atmosfer olarak yüksek safiyette hidrojen (H_2) gazı kullanılmış ve tel yüzey kalitesi sağlanmıştır.
- 5) Parlak tavlama sonucunda elde edilen mekanik özelliklerin ilgili standart olan ASTM A 580-13b standardına uygun olduğu gözlemlenmiştir.

- 6) Soğuk deformasyon arttıkça yüzeyde ki sabunun daha fazla sıvandığı ve tel üzerindeki sabun birikintisinin azaldığı görülmektedir.



KAYNAKLAR

- [1]. Kocabekir, B., Isı Girdisi ve Kaynak Atmosferinin 316L Paslanmaz Çeliklerin Direnç Kaynak Birleştirmelerine Etkisi, Bilim Uzmanlığı Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2006.
- [2]. Ceyhun, V., Ferritik Ve Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Karbonlu Çelik ile Nokta Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Bağlantının Çekme - Makaslama Dayanımına Ve Taneler Arası Korozyona Etkisi, Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1992.
- [3]. Koydul, H., 316L Paslanmaz Çelik Thompson Protezinin Ringer Solisyonu İçindeki Yorulma Korozyonu, Bitirme Projesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir, 1994.
- [4]. Kölük, F., Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağında Kaynak Yönteminin Isı Tesiri Altında Kalan Bölgeye Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1992.
- [5]. Kuştutan, G., Paslanmaz Çeliklerin Direnç Kaynağında Soğuma Hızının Birleştirmenin Mekanik Özelliklerine Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2003.
- [6]. Temiz, D., İmplant İmalatında Kullanılan AISI 316L Alaşımın Mekanik-Tribolojik Özellikleri ve Talaşlı İşlenebilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2011.
- [7]. Soncu, M., G-X10CrNiMoNb18-10 Östenitik Paslanmaz Çeliğin Asidik Çözeltilerdeki Korozyon Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2008.
- [8]. Kayalı, Y., Borlanmış AISI 316L Paslanmaz Çeliğin Korozyon ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, Doktora Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, 2011.
- [9]. Er, Ö., Bor Katkılı 316L Paslanmaz Çeliklerin Korozyon Davranışlarının Elektrokimyasal Yöntemle İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012.
- [10]. Kaplan, M., N., 316L Paslanmaz Çelik Üzerine İndüksiyon Kaynak Yöntemiyle Gözenekli NiTi'nin Kaplanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2014.
- [11]. Eker, A., Paslanmaz Çelikler ve Paslanmaz Çeliklerin Korozyonu, Yıldız Teknik Üniversitesi Ders Notları
- [12]. http://www.bircelik.com/316l_paslanmaz_celik-687_tr_lc.html, Mayıs, 2018
- [13]. Balin, B., Seçilen Karakteristiklerin Tel Çekme İşlemi Üzerindeki Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2004.
- [14]. Özer, Ö., Tel Çekme İşlemine Etki Eden Faktörlerin Mekanik ve Teknolojik Olarak İncelenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 1993.
- [15]. McNulty, M., Spotlight on Drawing Machines. *Wire and Cable Technology* **2006**, 54-56.
- [16]. Vega, G., Haddi, A., Imad, A., Temperature effects on wire-drawing process: experimental investigation. *International Journal of Metal Forming* **2009**, 229-232.
- [17]. Panteghini, A., Genna, F., An engineering analytical approach to the design of cold wire drawing processes for strain-hardening materials. *International Journal of Metal Forming* **2010**, 279-289.
- [18]. Ünseren, M., Tel Çekme Matrisleri Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2006.
- [19]. Steel Wire Handbook Committee, *Steel Wire Handbook* Wire Association International, 1965; Vol. 1 & 4.
- [20]. Güzey, A., Demirsel Tellerin Üretim Sürecinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, 2009.
- [21]. Wright, R. N., Male, A. T., ASME Transactions, *Journal for Lubrication Engineering* **1978**, 97, 134.
- [22]. Wright, R. N., *Metal Progress*, 1978, 114, 49.

- [23]. Gillström, P., Jarl, M., Wear of die after drawing of pickled or reverse bent wire rod, *Wear*, **2007**, 262, 858-867.
- [24]. Wright, R. N., *Wire Technology: Process Engineering and Metallurgy*, Elsevier, Oxford, 2011.
- [25]. Lewis, K. B., *Steel Wire in America*, The Wire Association Inc., Bradford, CT, 1952.
- [26]. Özer, Ö., Yurci, M., *Tel Çekme İşleminde Matris Açılarının Optimizasyonu ve Sapmaların Belirlenmesi*, ODTÜ Makine Fakültesi 1. Makine Mühendisliği Kongresi, 4-6 Haziran 1997, İstanbul.
- [27]. Altun, K., Soğuk Çekme Metoduyla Üretilen Kaynak Tellerinde Görülen Hataların Belirlenmesi Ve Giderilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2015.
- [28]. ASM Handbook Heat Treating *ASM International* Volume 4, 1998; p102.
- [29]. <https://www.bicaksanati.com/forum/index.php?topic=76.0>, Mayıs, 2018.
- [30]. <http://www.tubenet.org.uk/technical/linde.shtml>, Nisan, 2018.
- [31]. Shena, Y. F., Li, X. X., Sunb, X., Wanga, Y. D., Zuoa, L., Twinning and martensite in a 304 austenitic stainless steel. *Materials Science and Engineering A* **2012**, 514-522.



ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı :Yılmaz YILDIRIM

Doğum Tarihi :03.01.1988

E-mail :yilmazyildirim1987@gmail.com

Öğrenim Durumu :

| Derece | Bölüm/Program | Üniversite | Yıl |
|---------------|-----------------------------------|----------------------|-----------|
| Lisans | Metalurji ve Malzeme Mühendisliği | Sakarya Üniversitesi | 2007-2011 |
| Yüksek Lisans | Metalurji ve Malzeme Mühendisliği | Mersin Üniversitesi | 2016-2019 |
| Doktora | | | |

Görevler :

| Görev Ünvanı | Görev Yeri | Yıl |
|--------------------------|--|-----------|
| Kalite Kontrol Mühendisi | Berdan Makina Cıvata Somun Sanayi Ltd. Şti. | 2012-2013 |
| Kalite Kontrol Şefi | Şa-Ra Enerji İnşaat Tic. ve San. A.Ş. | 2013-2014 |
| AR-GE Mühendisi | Güney Çelik Hasır ve Demir Mamulleri San. Tic. A. Ş. | 2014- |

ESERLER (Makaleler ve Bildiriler)

Comparison Of The Mechanical Properties Of Different Quality Austenitic Stainless Steels After Wire Drawing, 3. Uluslararası Demir-Çelik Sempozyumu, Karabük, 2017.

Comparison Of The Mechanical Properties Of Different Quality Austenitic Stainless Steels After Wire Drawing, Materials, Science & Technology. Amerika, 2018.