

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SOĞUK ÇEKME METODUYLA ÜRETİLEN KAYNAK TELLERİNDE
GÖRÜLEN HATALARIN BELİRLENMESİ VE GİDERİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kıvanç ALTUN

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Üretim Metalurjisi ve Teknolojileri Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mahmut Ercan AÇMA

MAYIS 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SOĞUK ÇEKME METODUYLA ÜRETİLEN KAYNAK TELLERİNDE
GÖRÜLEN HATALARIN BELİRLENMESİ VE GİDERİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kıvanç ALTUN

506131209

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Üretim Metalurjisi ve Teknolojileri Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mahmut Ercan AÇMA

MAYIS 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 506131209 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Kıvanç ALTUN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**SOĞUK ÇEKME METODUYLA ÜRETİLEN KAYNAK TELLERİNDE GÖRÜLEN HATALARIN BELİRLENMESİ VE GİDERİLMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. M. Ercan AÇMA**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri :

Teslim Tarihi : **04 Mayıs 2015**
Savunma Tarihi : **25-29 Mayıs 2015**

ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim ve tezim sırasında, hem mesleğim hem hayata dair çok şey öğrendiğim ve benden yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. M. Ercan AÇMA'ya çok teşekkür ederim.

Çalışmamın yürütülmesi sırasında beni her konuda destekleyen Sn. Erkan YEGEN ve Sn. Semih OTMAN'a çok teşekkür ederim.

Hayatım boyunca bana hep destek olan, bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi annem İlter ALTUN ve babam Bilgehan ALTUN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2015

Kıvanç Altun
(Metalurji ve Malzeme Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK İŞLEMİNİN VE SOĞUK TEL ÇEKME İŞLEMİNİN TARİHÇESİ	3
2.1 Kaynak İşleminin Tarihçesi.....	3
2.2 Soğuk Tel Çekme İşleminin Tarihçesi	4
3. ÇELİK ÜRETİMİ.....	9
3.1 Yüksek Fırın ile Cevherden Üretim	9
3.2 Ark Ocağı ile Sünger Demir ve Hurdadan Üretim.....	10
3.3 İkincil Metalurji İşlemleri	13
3.3.1 Desülfürizasyon	13
3.3.2 Deoksidasyon.....	13
3.4 Çeliğin Filmaşın Haline Getirilmesi.....	14
3.4.1 Sürekli döküm.....	14
3.4.2 Haddelme prosesi	15
4. FİLMAŞININ KAYNAK TELİ HALİNE GETİRİLMESİ.....	17
4.1 Tel Çekme Makineleri.....	17
4.1.1 Kuru tel çekme makinesi	17
4.1.2 Sulu tel çekme makinesi	21
4.1.3 Sarma Makinesi	22
5. TEL ÇEKME İŞLEMİNDE TEMEL MÜHENDİSLİK DEĞİŞKENLERİ ..	23
5.1 Uzunluk Ölçüleri	23
5.2 İş, Enerji ve Güç	23

5.3 Gerilme ve Gerinim	25
5.4 Çekme Gerilmesi ve Ters Gerilme	26
5.5 Haddeye Etkiyen Kuvvet.....	27
5.6 Deformasyon Merkezinde Oluşan Gerilme	27
5.7 Çekme Sırasında Oluşan Isı ve Sıcaklık.....	27
6. TEL ÇEKME İŞLEMİNDE KULLANILAN SABUNLAR.....	31
6.1 Sabun Kaplama Modelleri	32
6.1.1 Hiç kaplama almamış veya çok ince film tabakası	32
6.1.2 Bölgesel sabun kaplanmış.....	32
6.1.3 Tam kaplama.....	32
6.1.4 Kalın film tabakası.....	32
6.2 Sabunların Özellikleri.....	34
6.3 Tel Çekme Sırasında Kullanılan Sabunların Görevleri	36
6.4 Sabun Seçimi	37
6.4.1 Kuru çekme sabunları	39
6.4.2 Sulu çekme sabunları	41
6.5 Tellerin Tel Çekme İşlemi Sırasındaki Sabun Alma Davranışları	42
6.6 Çekme Hızının Sabun Almaya Etkisi	42
7. TEL ÇEKME İŞLEMİNDE HADDELER VE HADDE SERİSİ DİZAYNI..	43
7.1 Hadde Malzemeleri ve Üretim Yöntemleri	43
7.2 Haddenin Kısımları.....	43
7.2.1 Çan eğimi	44
7.2.2 Giriş açısı	44
7.2.3 Hadde açısı.....	45
7.2.4 Kavrama.....	48
7.2.5 Çıkış açısı.....	48
7.3 Deformasyon Alanı ve Delta Faktörü.....	48
7.4 Hadde Serisi Dizaynında Etkili Olan Faktörler	49
8. FARKLI ETKENLERİN TEL ÇEKME İŞLEMİNE ETKİSİ.....	53
8.1 Cevher, Sünger Demir ve Hurdadan Kaynak Teli Kalitesinde Çelik Üretimi Arasındaki Farkların Tel Çekme İşlemi Üzerine Etkisi.....	53
8.2 Açık ve Kapalı Dökümün Farkı ve Bunların Soğuk Tel Çekme İşlemi Üzerine Etkisi	53
8.3 3Si1 ve 4Si1 Kalite Çeliğinin Yapısında Bulunan Elementlerin Soğuk Tel Çekme İşlemine Etkileri	54
8.3.1 Karbon.....	55

8.3.2 Mangan	55
8.3.3 Silisyum	56
8.3.4 Kükürt	57
8.3.5 Fosfor	57
8.3.6 Bakır.....	57
8.3.7 Hidrojen	58
8.3.8 Azot.....	58
8.3.9 Oksijen	59
9. İNKLÜZYONLARIN SOĞUK TEL ÇEKME İŞLEMİNE ETKİSİ.....	61
9.1 İç Kaynaklı İnküzyonlar	61
9.2 Dış Kaynaklı İnküzyonlar	62
9.3 3Si1 ve 4Si1 Kalite Filmaşinde Görülebilecek Önemli İnküzyonlar	63
9.3.1 Sülfürler	63
9.3.1.1 Mangan sülfür (MnS).....	63
9.3.1.2 Kalsiyum sülfür (CaS)	65
9.3.1.3 Titanyum sülfür (TiS)	65
9.4 Oksitler	65
9.4.1 Alümina (Al ₂ O ₃)	66
9.4.2 Kalsiyum alüminatlar (CaO.Al ₂ O ₃)	66
9.5 Nitrürler	67
9.6 İnküzyonların Telde Kopma Sorununa Etkisi	67
10. KOPMA TÜRLERİ	71
10.1 Noktasal İnküzyon Kaynaklı Kopma	71
10.2 Bölgesel İnküzyon Kaynaklı Kopma	71
10.3 Delaminasyon Kopması	72
10.4 Boyun Vererek Kopma.....	72
11. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	73
11.1 Deneyisel Çalışmalarda Kullanılan Hammaddeler.....	73
11.2 Deneyisel Çalışmalarda Kullanılan Cihazlar.....	73
11.3 Deneylerin Yapılışı.....	77
11.4 Deney Sonuçları ve İrdelemeler	79
11.4.1 Kimyasal kompozisyonun tel çekmeye etkisi.....	79
11.4.2 Mekanik testler sonucunda alınan değerlerin tel çekmeye etkisi	83
11.4.3 Metalografik inceleme sonuçlarının tel çekmeye etkisi	86
11.4.5 Stereo mikroskop analizi sonuçlarının tel çekmeye etkisi.....	94

11.4.4 Taramalı elektron mikroskobu analizlerinin tel çekmeye etkisi	98
12. GENEL SONUÇLAR	101
KAYNAKLAR.....	105
ÖZGEÇMİŞ	109

KISALTMALAR

Btu	: British thermal unit
CDRI	: Cold reduced iron
DRI	: Direct reduced iron
EN	: European Norm
HBI	: Hot briquetted iron
HDRI	: Hot direct reduced iron
HV	: Hardness vickers
ISO	: International Organization for Standardization
ITAB	: Isı tesiri altındaki bölge
Ksi	: Kilopound per square inch
MIG	: Metal inert gas
MPa	: Megapascal
Pa	: Pascal
Psi	: Pounds per square inch
SEM	: Scanning electron microscope
SEN	: Submerged entry nozzle
TS	: Türk Standartları

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : CDRI, HBI ve HDRI ürünleri için kimyasal kompozisyonlar	12
Çizelge 6.1 : Kaplama modellerinin karakterize edilmesi.....	33
Çizelge 6.2 : Sabun seçiminde muhtelif malzemeler için örnek uygulamalar	38
Çizelge 7.1 : Farklı hadde açıları ve redüksiyon oranları için Δ değerleri	49
Çizelge 8.1 : TS EN ISO 14341 standardında elementlerin oranları (%ağırlık)	54
Çizelge 9.1 : Çeşitli çelikler için önerilen maksimum inklüzyon boyutları	68
Çizelge 11.1 : EN 440'a göre 3Si1 ve 4Si1 için kimyasal kompozisyonlar.....	73
Çizelge 11.2 : Tedarikçi A 3Si1 kalite filmaşın için kimyasal analiz sonuçları.....	80
Çizelge 11.3 : Tedarikçi B 3Si1 kalite filmaşın için kimyasal analiz sonuçları	80
Çizelge 11.4 : Tedarikçi C 3Si1 kalite filmaşın için kimyasal analiz sonuçları.....	80
Çizelge 11.5 : Tedarikçi D 3Si1 kalite filmaşın için kimyasal analiz sonuçları.....	81
Çizelge 11.6 : Tedarikçi B 4Si1 kalite filmaşın için kimyasal analiz sonuçları	81
Çizelge 11.7 : Tedarikçi C 4Si1 kalite filmaşın için kimyasal analiz sonuçları.....	81
Çizelge 11.8 : Tedarikçi D 4Si1 kalite filmaşın için kimyasal analiz sonuçları.....	82
Çizelge 11.9 : Tedarikçi A 3Si1 kalite filmaşın için mekanik analiz sonuçları	83
Çizelge 11.10 : Tedarikçi B 3Si1 kalite filmaşın için mekanik analiz sonuçları.....	84
Çizelge 11.11 : Tedarikçi C 3Si1 kalite filmaşın için mekanik analiz sonuçları.....	84
Çizelge 11.12 : Tedarikçi D 3Si1 kalite filmaşın için mekanik analiz sonuçları	84
Çizelge 11.13 : Tedarikçi B 4Si1 kalite filmaşın için mekanik analiz sonuçları.....	84
Çizelge 11.14 : Tedarikçi C 4Si1 kalite filmaşın için mekanik analiz sonuçları.....	85
Çizelge 11.15 : Tedarikçi D 4Si1 kalite filmaşın için mekanik analiz sonuçları	85
Çizelge 11.16 : Azot oranının artması ile % kesit daralmasında düşüş.....	85

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Benardos ve Olszewski'nin patent aldıkları karbon elektrod aparatı.....	4
Şekil 2.2 : Ortaçağda tel çekme işleminin resimlemesi.....	6
Şekil 3.1 : Midrex sünger demir üretim prosesinde işlem basamakları.....	11
Şekil 3.2 : Sürekli döküm işleminde bulunan ana elemanlar.....	14
Şekil 4.1 : 5 makaralı bir tufal kırıcı.....	18
Şekil 4.2 : Tufal tabakasının tel yüzeyinden ayrılmasının şematik gösterimi	19
Şekil 4.3 : Kuru tel çekme makinesi.....	19
Şekil 4.4 : Balerin fotoğrafı (1- sabun kutusu 2- balerin 3- hadde kutusu)	20
Şekil 4.5 : Kademeli koni fotoğrafı	21
Şekil 4.6 : Skin pass'den önce ve sonra elde edilen gerilme-gerinim eğrileri.....	22
Şekil 5.1 : Tel çekme sırasında yapılan işin sınıflandırılması	24
Şekil 5.2 : Tel çekme sırasında yapılan işe bağlı akış rejimleri.....	25
Şekil 5.3 : Tel çekme sırasında haddeye ve tele etkiyen kuvvetler	26
Şekil 5.4 : Sıcaklık dağılımı; a) tel boyunca b) tel kesitinde	28
Şekil 5.5 : 7 m/s'de haddede tahmini sıcaklık dağılımı.....	29
Şekil 6.1 : Sürtünme katsayısının çekme hızına bağlı olarak değişmesi	34
Şekil 6.2 : Tel yüzeyinde görülen sabun modeli	34
Şekil 6.2 : Tel ve hadde arasındaki sabun tabakasının basit gösterimi.....	37
Şekil 6.3 : Film kalınlığının çekme hızına bağlı olarak değişmesi.....	42
Şekil 7.1 : Çekme haddesinin şematik görünümü	44
Şekil 7.2 : Hadde açısının kesit daralması değerlerinde çekme kuvvetine etkisi	45
Şekil 7.3 : Doğru seçilmiş bir temas noktası	46
Şekil 7.4 : Hatalı seçilmiş bir temas noktası sonucu kısa yüzeyde deformasyon.....	47
Şekil 7.5 : Hatalı seçilmiş bir temas noktası.....	47
Şekil 7.6 : Çekilen tele uygulanan σ_d ve σ_b kuvvetleri.....	51
Şekil 8.1 : Kapalı döküm işleminde ana elemanlar	54
Şekil 8.2 : Karbon oranının çeliğin farklı mekanik özelliklerine etkisi.....	55
Şekil 8.3 : Mn oranının akma dayanımına etkisi	56

Şekil 8.4 : Fe-Si diyagramı	56
Şekil 8.5 : %1,53 Cu içeren çelikte 8-16 nm boyutunda çöken ϵ -Cu taneleri	58
Şekil 8.6 : Azot oranının akma dayanımı, r değeri ve % uzamaya etkisi	59
Şekil 9.1 : 3Si1 ve 4Si1 kalite filmaşinde görülebilecek bazı inklüzyonlar	67
Şekil 9.2 : Gerilme değerlerinin b/a değerine bağlı olarak artışı	69
Şekil 10.1 : Noktasal inklüzyon kaynaklı kopma	71
Şekil 10.2 : Boyun vererek kopma.....	72
Şekil 11.1 : X-Ray floresans spektrometre analiz cihazı	74
Şekil 11.2 : Schenck Trebel çekme cihazı	74
Şekil 11.3 : Struers soğuk kalıplama kiti	75
Şekil 11.4 : Metkon Forcipol 2V zımparalama parlatma cihazı	75
Şekil 11.5 : Nikon metal mikroskobu	76
Şekil 11.6 : DinoLite AM413T Dijital Stereo Mikroskop.....	76
Şekil 11.7 : XRF analizi için hazırlanan numuneler	77
Şekil 11.8 : Soğuk kalıplanmış numuneler	78
Şekil 11.9 : Numunelerin çekme testi öncesinde ve sonrasında görünüşleri	79
Şekil 11.10 : Tedarikçi A 3Si1 mikroyapı görüntüsü	86
Şekil 11.11 : Tedarikçi B 3Si1 mikroyapı görüntüsü	86
Şekil 11.12 : Tedarikçi C 3Si1 mikroyapı görüntüsü	87
Şekil 11.13 : Tedarikçi D 3Si1 mikroyapı görüntüsü	87
Şekil 11.14 : Tedarikçi B 4Si1 mikroyapı görüntüsü	88
Şekil 11.15 : Tedarikçi C 4Si1 mikroyapı görüntüsü	88
Şekil 11.16 : Tedarikçi D 4Si1 mikroyapı görüntüsü	89
Şekil 11.17 : Tedarikçi B inklüzyon analizinde görülen MnS inklüzyonları	89
Şekil 11.18 : Tedarikçi C inklüzyon analizinde görülen MnS inklüzyonları	90
Şekil 11.19 : Tedarikçi A’da görülen 38 μ m büyüklüğünde dış kaynaklı inklüzyon	90
Şekil 11.20 : Tedarikçi C’de görülen 41 μ m büyüklüğünde dış kaynaklı inklüzyon	91
Şekil 11.21 : Tedarikçi C’de görülen 16 μ m ve 20 μ m büyüklüğünde dış kaynaklı inklüzyon	91
Şekil 11.22 : Tedarikçi D’de görülen 40 μ m büyüklüğünde dış kaynaklı inklüzyon	92
Şekil 11.23 : Tedarikçi C’de görülen 44 μ m büyüklüğünde dış kaynaklı inklüzyon	92
Şekil 11.24 : Tedarikçi C’de görülen 18 μ m büyüklüğünde dış kaynaklı inklüzyon.	93
Şekil 11.25 : D tedarikçisi açık döküm ile üretilen kangaldan inklüzyon incelemesi	94
Şekil 11.26 : A tedarikçisinden gelen kangaldan inklüzyon incelemesi.....	94
Şekil 11.27 : Noktasal inklüzyon kaynaklı kopma örneği	95

Şekil 11.28 : Delaminasyon kopması örneği	95
Şekil 11.29 : Bölgesel inklüzyon kaynaklı kopma örneği	96
Şekil 11.30 : Boyun vererek kopma örneği	96
Şekil 11.31 : Çok fazla tufal oluşumuna izin verilmeyen filmaşın.....	97
Şekil 11.32 : Tufal oluşumuna izin verilen filmaşın	97
Şekil 11.33 : Noktasal inklüzyon kaynaklı kopma örneği.....	98
Şekil 11.34 : Noktasal inklüzyon kaynaklı kopma örneği.....	98
Şekil 11.35 : Delaminasyon kopma türü.....	99
Şekil 11.36 : Bölgesel inklüzyon kaynaklı kopma türü.....	99
Şekil 11.37 : Mukavemet kaynaklı boyun vererek kopma	100

SOĞUK ÇEKME METODUYLA ÜRETİLEN KAYNAK TELLERİNDE GÖRÜLEN HATALARIN BELİRLENMESİ VE GİDERİLMESİ

ÖZET

Günümüzde kullanılan kaynak teknolojisi geliştirilmeden önce insanoğlu, yüzyıllar boyunca tek kaynak yöntemi olarak dövme işlemini kullanıyordu. Isıtıldıktan sonra dövülen metaller soğuyana kadar sıkışık biçimde tutularak birbirine kaynatılmış olurdu. Bu yöntemin icadının nasıl olduğu bilinmemekle beraber günümüze kadar ulaşmış metaller bize bu sonucu göstermektedir. Rönesans dönemi ile beraber ilerleyen teknoloji sayesinde dövme kaynağında yeni yöntemler geliştirilmiş, parçaların ısıtılması ve dövülmesi fırınlar içinde olmaya başlamıştır. Bu sayede işlem kolaylaşmış ve verimli hale getirilerek daha büyük parçaların da dövülmesine olanak sağlanmıştır.

Günümüze ulaşan elektrik ark kaynağı teknolojisinin temeli 1782 yılında Prof. G. Lichtenberg tarafından atılmıştır. Elektriği kullanarak ark oluşturabilen ilk bilim adamı Sir Humphrey Davy olmakla birlikte, elektrik ark kaynağı ilk olarak 1865’de Wilde tarafından yapılmıştır. Bilim çevrelerinde büyük yankı uyandıran bu gelişmeler sonucunda günümüze en yakın ark kaynağını yapmayı başaran bilim adamları Benardos ve Olszewski’dir. 1887’de bu işlemleri için patent alan Benardos ve Olszewski kaynak işlemini karbon elektrod kullanarak yapmışlardır.

Bu çalışmada izlenen gazaltı kaynak telleri için en önemli gelişmeyi gösteren kişi ise John C. Lincoln’dür. Koruyucu gaz olarak CO₂ kullanan Lincoln 1918’de bu işlem için patent almıştır. Ark kaynağındaki ilerlemeler Dünya Savaşları ile artış göstermiş, uzun menzilde için üretilen uçak ve gemilerde kullanılmaya başlanmıştır.

Soğuk tel çekme işlemi için ilk bulgular ise milattan önce 3000’li yıllarda Mısır’da kullanılan eşyalardan günümüze ulaşanlara dayanmaktadır. Bulgulara göre tel çekme için kullanılan ilk metallere en önemlisi altındır. Önce şeritler haline getirilen altın ardından taşlar içinden geçirilerek altın haline getirilmektedir. Zamanla diğer metaller için de tel çekme işlemi uygulanmış ve yeni yöntemler ortaya çıkarılmıştır. Bu yöntemlerin başında hadde malzemesi olarak demir kullanılması gelmektedir. Sert taşın sürekli aşınması ve kırılması teknolojiyi bu yöne doğru ilerlemeye zorunlu kılmıştır.

Hadde malzemesinin değişmesi ile birlikte işlemin daha da kolaylaşması için telin kayganlaştırılması üzerinde durulmuştur. İlk zamanlarda hayvan ve don yağları kullanılmıştır. Ardından toprak ve kil malzemelerin kayganlaştırmaya etkisi olduğu görülmüştür. Günümüz teknolojisinde ise kuru ve sulu çekme işlemleri için iki ayrı sabun çeşidi kullanılmaktadır. Kuru çekme sabunları genellikle kalsiyum sitearat ve

sodyum sitearat bileşikleridir. Sulu çekme sabunu olarak ise karbon bağları bulunduran endüstriyel yağlardır.

Bu çalışmada gazaltı kaynak teli üretimi sırasında görülen hatalar ve bunların giderilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda 4 ayrı tedarikçiden tedarik edilen 3Si1 ve 4 Si1 kalite filmaşinlere kimyasal analiz uygulanmış, mekanik testler yapılmış, metalografik incelemeler ve SEM incelemeleri ile mikroyapı ve inklüzyonlar araştırılmıştır.

Toplamda; 46 numunede mikroyapı ve 65 numunede inklüzyon analizi yapılmıştır. Mikroyapılar ve inklüzyonlar tanımlanmış, boyut sınıflandırması yapılmıştır. Farklı üretim yöntemleri için görülen farklı inklüzyonlar tanımlanmıştır.

Endüstriyel boyutlarda izlenen üretim sürecinde kopan tellerden, kopma bölgesine yakın olan yerden numuneler alınmıştır. Kopma yüzeyleri stereo mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir.

Sonuç olarak 4 farklı kopma türü tanımlanmıştır. Bu türler noktasal inklüzyon kaynaklı kopma, bölgesel inklüzyon kaynaklı kopma, delaminasyon kopması ve boyun vererek kopmadır. Kopma türlerinin tipik karakteristikleri belirlenmiş, nedenleri ve giderilmesi hakkında yorumlarda bulunulmuştur.

Bu 4 türden en çok görülen ve en önemli ikisinin inklüzyon kaynaklı kopmalar olduğu görülmüştür. Diğer iki kopma türü ise daha az görülmekle beraber sebebi; üretim sürecinde yaşanan makine, çekme haddeleri ve sabun çözeltileridir.

DETERMINING AND SOLVING THE PROBLEMS OF WELDING WIRES PRODUCED BY COLD DRAWING METHOD

SUMMARY

For centuries, forge welding is the only welding method that used by mankind until nowadays welding technology invented. It is a crude and cumbersome blacksmith-type operation in which heated metals were pounded or rammed together until they bonded. The invention of forge welding is still an unknown phenomena. A few implements of iron or steel can survive corrosion over hundreds of years, so there remains little direct evidence of early forge welding method.

By the time of Renaissance, technology and science has shown tremendous changes and craftsmen were highly skilled in forge welding. This came up with new methods for forge welding. New heating chambers, new technics and devices have been developed for pounding the metals. Thanks to this changes, forge welding has been a more effective technic and gave opportunities for pounding of bigger metal parts.

There is evidence that, Professor G. Lichtenberg may invent the electric arc welding technology in 1782. Although, Sir Humphrey Davy is the first scientist who created the arc by using electric. In 1801, Davy discovered that an arc could be created with a high voltage electric circuit by bringing the two opposite poles together. This arc that he created had a bright light, could heat the metal and its length could be set in different limits.

In the light of this inventions, Benardos and Olszewski are invented the most close electric arc welding in compare of nowadays technology. They used an apparatus which contains a carbon electrode and two opposite poles that attached to the metals and the electrode. A voltaic arc is formed by the approach of carbon electrode to the metal surface and welding start with this arc. Length and penetration of welding seam could be set.

John C. Lincoln is the most important scientists in the using of metal inert gas (MIG) welding and MIG welding wire technology which is the main topic of this thesis. Lincoln used the CO₂ gas as a protective atmosphere in welding. So, Lincoln cutted of the connection between welding seam and out atmosphere and this lead to better and safer welding seams.

By the World War I and World War II, welding technology has tremendous changes. The need for large transport ships, safe planes, submarines and tanks forced mankind to improve the welding technology.

Wire technologies and wire drawing lasts to ancient history. According to findings and evidences, gold is the most important and oldest known metal used as wire. In

the early methods of gold wire, in 3000 BC, Egyptians cut strips from hammered foils and then drew folded strips through stone dies as the initial step in wire making. Natural stones are the first known drawing dies. Craftsmen have been pulling the foils through dies and gave the gold a wire shape.

There are also interesting references to wire history. According to Homer's *Odyssey*; Persians were drawing 0,55 mm. bronze wire with iron draw plates, implying that they may have understood the concepts of multiple passes and interpass annealing. A document written in Paris around 1270 implies the importance of wire drawing and notes interesting rules about craftsmen. For example, document notes that; the wire drawer may have as many apprentices and servants as he wishes and may work nights as much as he pleases. The wire drawer need pay no taxes on anything relating to his trade which he buys or sells in Paris.

Nuremberg in Germany, was the capital of wire drawing technology in Renaissance Era. Developments in wire drawing technology are attributed to Rudolph von Nuremberg. Previous to him, only source for drawing the wire was man power, but he used the water power as a source and made the drawing easier for craftsmen. He is also first man to use the camshaft-driven draw benches.

As the years passed, craftsmen understood the importance of different die materials such as iron and steel plates. So, new materials have used as drawing die. Most important examples are iron, steel and wolfram carbide dies. The wolfram carbide is the last and most used die nowadays technology. It has a good wear resistance, effective, easy to product and medium benefit-cost ratio.

In the early technology, tallow and animal oil has been used as lubricants. By the using of iron dies, the importance of lubricants and lubrication has been seen. Scientists and craftsmen investigated different lubricant types. Natural clay and iron compounds can be seen as first materials for lubrication. Nowadays technology, there are 2 types of lubricants. These are dry drawing lubricants and wet drawing lubricants. Most important and widely used dry drawing lubricants are calcium stearate and sodium stearate. Industrial oils, water soluble oils and pure oils are the important wet drawing lubricants.

In this thesis; the problems which seen through production of cold drawn MIG welding wires investigated. Within this scope, mechanical tests, chemical analysis, metallographic investigations and scanning electron microscope investigations applied on specimens of 3Si1 and 4Si1 raw materials which have supplied from 4 different suppliers. Two of these suppliers are from Germany and two from Turkey. Suppliers named as Supplier A, Supplier B, Supplier C and Supplier D.

Inclusions and microstructure investigated by scanning electron microscope and metallographic microscope. In total; 46 specimens for microstructure and 65 specimens for inclusions has been investigated. Microstructures and inclusions classified by the production methods, by types and by dimensions. Hazardous and nonhazardous inclusions determined and classified. Wire breakages, have been observed in a welding wire and welding electrodes production factory. Specimens took from near areas of breakage field and analyzed.

As a result, 4 different breakage types defined. These are point inclusion originated breakage, sectional inclusion originated breakage, delamination breakage and tensile breaks. Point inclusion originated breakage and sectional inclusion originated breakage are the most hazardous ones. In this breakage types; inclusions sizes are

close to 20 μm or bigger than 20 μm . It has been found that, sectional inclusion originated breakage has not seen in the wire rods using by submerged entry nozzle method. Supplier D ensures this production method.

In delamination and tensile breaks, the reasons are drawing die, lubricant solution or a problem in drawing machine. So, if breakage types have been defined accurate, these breakage types will not be seen in a while.

Models of lubricant on wire defined by 4 types. Advantages and disadvantages of these 4 types investigated. The work and friction coefficient for models of lubricants are shown. Calcium stearate and sodium stearate found as appropriate lubricants for wire drawings. Calcium stearate usage recommended for the first 2 die. The mix of two lubricants can be used for other dies.

1. GİRİŞ

Günümüze ulaşan kanıtlara baktığımızda soğuk tel çekme işlemi, milattan önce 3000’li yıllara kadar dayanan tarihi ile insanoğlunun uzun süredir uğraşı olmuştur. Mısır’da firavunların kullandığı bilinen altın teller, Homeros’un Odesa’sında Perslilerin bronz teli 0,55 mm’ye kadar çekmesi ve 1200lerde Paris’te bulunan bir yazılı eserde tel çekme işleminden ve tel çekme ustalarından bahsedilmesi, tel çekme işleminin insanoğlunu sürekli meşgul ettiğini göstermektedir [1].

Bugüne baktığımızda ise farklı çaplara çekilen teller cerrahi uygulamalardan uçaklara, elektrik üretiminden tel çitlerin yapımına kadar büyük bir kullanım alanı bulmaktadır. Elektrik ark kaynağı işlemi için de nihai ürün olarak soğuk çekme metoduyla üretilen teller kullanılır.

Kaynak işlemi, iki metal veya termoplastiğin birbirine birleştirilmesi olarak tanımlanmaktadır. Günümüz teknolojisinden önce kaynak işlemi dövme kaynağı adı verilen işlem ile yapılmaktaydı. Bu işlemde demirci, ısıttığı iki metali birleşme noktalarından döverek birbirine kaynatırdı [1].

Günümüzde ise metaller için bu birleştirme yapılırken birleştirilmesi istenen iki parça birbirine yaklaştırılıp ve birleşme noktalarına uygulanan ark sayesinde ani ergimeleri sağlanırken, kaynak havuzunda ergiyen kaynak metalinin birleşme boşluğunu doldurup katılaşması ile kaynak işlemi tamamlanmış olur.

Bu çalışmada araştırılan teller; kaynak sektöründe kullanılan TS EN ISO 14341 standardına göre 3Si1 ve 4Si1 olarak adlandırılan çelik hammaddelerdir. 5,5 mm. çapında filmaşın formunda tedarik edilen tel hammaddeler nihai ürün olarak 0,8 mm, 1,00 mm, 1,20 mm ve 1,60 mm çapa çekilirler.

Filmaşın hammaddelerin karakterizasyonu için mekanik değerleri, kimyasal kompozisyonları araştırılmış, inklüzyon ve mikroyapı incelemeleri yapılmıştır. Soğuk tel çekme işlemi kuru ve sulu tel çekme makinelerinde incelenmiştir. Makine parametrelerinin, çekme sabunlarının ve hadde serisinin telin nihai özelliklerine etkisi araştırılmıştır.

Soğuk tel çekme işlemi sırasında görülen tel kopma sorunu araştırılmıştır. Bu bağlamda 4 farklı kopma türü tanımlanmıştır. Bu kopma türlerinin nedeni ve alınabilecek önlemler tartışılmıştır.

2. KAYNAK İŞLEMİNİN VE SOĞUK TEL ÇEKME İŞLEMİNİN TARİHÇESİ

2.1 Kaynak İşleminin Tarihçesi

Günümüz teknolojisinin sunduğu kaynak işlemlerinden önce insanoğlunun yüzyıllar boyunca kullandığı bilinen tek yöntem dövme ile yapılan kaynak işlemiydi. Bu işlemde demirci, ısıtıp akkor haline getirdiği iki metali döverek ve ardından soğuyana kadar sıkışık biçimde tutarak metalleri birbirine kaynatırdı. Bu yöntemin nasıl öğrenildiği ile ilgili literatürde net bir bilgi bulunmamasına rağmen yıllar içinde çeşitli ortamlarda korozyona karşı direnç gösterip günümüze kadar ulaşmış olan döverek kaynatılmış parçalar kanıt olarak karşımıza çıkmaktadır [2].

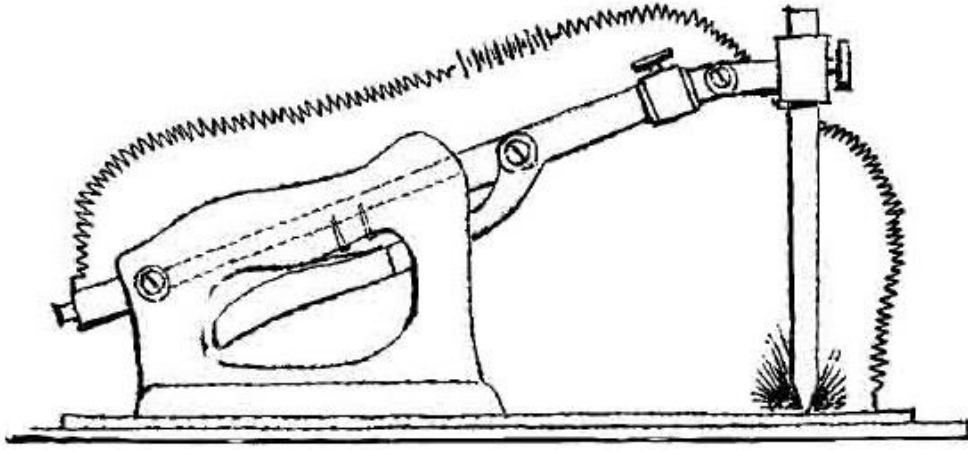
Rönesans ile başlayan ve bunu izleyen sanat ve teknoloji alanındaki gelişmeler ile birlikte dövme kaynağı da gelişmeye başladı. Vannoccio Biringuccio 1540 yılında Venedik'te basılan Pyrotechnica adlı kitabında kaynak tekniğine değinmiştir. Biringuccio kaynak işlemi ile ilgili olarak “Bu çok zekice, çok kullanılmayan fakat büyük faydaları olan bir işlem.” demiştir. Bu işlemde en büyük sorun büyük parçalara uygun yeterince büyük fırın bulunamaması ve ateşin ısısının bazı durumlarda yeterli olmamasıdır. Yine de 1800’lerin ortalarına kadar geçerliliğini korumuş olan bu yöntem, günümüz teknolojilerinin geliştirilmesi ile geçerliliğini yitirmiştir [1].

Günümüzdeki elektrik ark kaynağı teknolojilerinin temeli ise elektriğin bulunması ve doğru akım ile paralel akım üzerinde yapılan geliştirmeler ile birlikte 20. yüzyıl başlarına dayansa da bundan önce elektriği kullanarak kaynak işlemine yapıldığına dair bilgiler bulunmaktadır. 1782 yılında Alman Profesör G. Lichtenberg elektriği kullanarak metalleri ani olarak ergitip birleştirmeyi başardığına dair kanıtlar literatürde görülmektedir[2].

Elektriği kullanarak ark oluşturabilen ilk bilim adamı ise Sir Humphrey Davy’dir. Davy, 1808 yılında İngiltere Kraliyet Enstitüsü’nde yüksek voltaj kullanarak iki kutbu birbirine yaklaştırıp ark oluşturmuş ve bilim dünyasında büyük yankı

uyandırmıştır. Arkı kullanarak iki metali birbirine birleştiren ilk kişi ise İngiliz bilim adamı Wilde'dır. 1860'da ilk elektrik ark kaynağını yapan Wilde 1865'de bu işleme patent almıştır [2].

Elektrik ark kaynağını endüstriyel anlamda kullanılması için geliştiren ilk bilim adamları ise Benardos ve Olszewski'dir. Geliştirdikleri yöntemde DC akım üzerinde iş parçasını (+) kutba ve karbon elektrotu (-) kutba bağlamışlardır (Şekil 2.1). Karbon elektrot manuel olarak hareket ettirilebilmektedir. Benardos ve Olszewski, 1887'de bu işlem için İngiliz Patent Enstitüsü'nden patent almışlardır [2].



Şekil 2.1 : Benardos ve Olszewski'nin patent aldıkları karbon elektrod aparatı [2].

Dezavantaj olarak görülen en önemli durum ark kaynağında koruyucu olarak kullanılan gazlar olan argon ve helyumun işlem maliyetini arttırmasıdır. Koruyucu gaz olarak CO₂ kullanan ve maliyeti düşüren John C. Lincoln 1918'de bunun için patent almıştır [2].

Ark kaynağındaki teknolojik ilerlemeler buna paralel olarak I. ve II. Dünya Savaşları ile birlikte artış göstermiştir. Bu sırada özellikle uzun mesafe gemilerinde kullanılan ark kaynağı, köprülerde, gökdelenlerde ve depo ile tanklarda da kullanılmıştır. Otomotiv endüstrisinin de kaynak yöntemini kullanmaya başlaması ile birlikte gelişmeler hızlanmış ve kaynak işlemi günümüze kadar bir üretim yöntemi olarak geçerliliğini korumuştur.

2.2 Soğuk Tel Çekme İşleminin Tarihçesi

Tel çekme; kalın kesitli olan bir telin, çekme haddesi içinden geçirilerek kesitini küçültme işlemidir. Genel olarak bakıldığında tel çekme işlemi için gerekli minimum

şartlarda deforme olabilen her malzeme, çekme işlemine tabi tutulabilir. Dairesel kesitli olan tel, başta çelik endüstrisi ve kaynak endüstrisi olmak üzere iletken teller, müzik aletleri ve ambalaj sanayi telleri alanlarında karşımıza çıkar [3].

Tel çekme teknolojisi genellikle demir-çelik malzemeler, demir dışı malzemeler ve elektriksel malzemeler (genellikle bakır ve alüminyum) olmak 3 üzere gruba ayrılır. Daha maliyetli teller olan termokupllar, süper iletken teller ve biyomedikal uygulamalara yönelik teller de tel çekme teknolojisinde kendilerine yer bulurlar.

Tel üretimi ve tel çekme prosesi antik çağlara kadar dayanır. Milattan önce 3000’li yıllarda Mısır’da firavunların altın teller kullandığı bilinmektedir. Bulgulara göre ilk tel çekme işlemlerinde kullanılan proste; çekilecek olan tel öncelikle dövme işlemi ile sac haline getirilir. Ardından bu sacdan şeritler kesilir ve bu şeritler taşların içine açılan deliklerden geçirilerek tel haline getirilir. Taşlara delik açılması; taşlardan yontulmuş ince uçlu çubuklar yardımı ile belli bir yüzeye kum ve donyağı dökülmesi ve bir nokta üzerinde sürekli aşınma sağlanması şeklinde olurdu. Fakat bu taşların aşınma dayanımı çok düşük olup sürekli olarak değiştirilmeyi zorunlu kılıyordu [1].

Ayrıca tel çekme prosesi için ilginç bilgiler de eski eserlerde mevcuttur. Örneğin; Homeros Odesa’sında Perslilerin, bronz 0,55 mm’ye demir haddeler kullanarak çektiği ve bunu yaparken çoklu paso kullanıp pasolar arasında ısıtma yaptığını söylemektedir.

1270’de Paris’te yazılan bir eserde de şu maddeler ile tel çekme işini yapanların önemi vurgulanmaktadır:

1. Tel çekme işini yapan kişi işinin gereklerini tamamen anlamalı ve yeterli sermayesi olmalıdır.
2. Tel çekme işini yapan kişinin istediği kadar çırağı ve hizmetçisi olmalıdır ve istediği zaman da gece çalışması için şartlar sağlanmalıdır.
3. Tel çekme işini yapan kişinin Paris içinde yaptığı alışverişlerde ve değiş-tokuşlarda vergi ödeme zorunluluğu yoktur.
4. Çıraklarına 10 yıl boyunca ücret verme zorunluluğu yoktur. 10 yıldan sonra ise isterse 20 Sou (4,5 gramlık altın sikke) ödül verebilir.

Tel çekme prosesi ile ilgili günümüz teknolojisine en yakın ilk bulgular Almanya’nın Nürnberg şehrine dayanmaktadır. Rudolph von Nuremberg 14. yüzyıl başlarında teli,

kam mili ile tahrik verdiği hadde serilerinden birkaç pasoda geçirerek istediği çapa indirmiştir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 : Ortaçağda tel çekme işleminin resimlemesi [2].

Ardından telin kayganlaştırılmasının önemli olduğunun farkına varan tel çekme ustaları yağlayıcı olarak hayvan yağları, donyağı, demir oksitler, grafit, zift ve benzeri karbon içeren malzemeler kullanmışlardır. Leonardo da Vinci'nin de çekme haddeleri ve proses ile ilgili çizimleri bulunmaktadır. Notlarının arasında okunan “Çektiğiniz demirin haddeye gerçekten nasıl bir kuvvet uyguladığını, çekme işlemini tecrübe etmedikçe bilemezsiniz” cümlesi ile de tel çekme işleminin zorluğuna dikkat çekmiştir [2].

18. yüzyılın sonunda endüstri devriminin başlaması ile birlikte tel çekme işleminde ilerlemeler görülmüştür. 1862’de sürekli olarak tel sarabilen ilk teknolojik proses Bradford Demir Fabrikası’nda kurulmuştur. Diğer örnekleri de ilerleyen yıllarda Almanya’da görülmeye başlanmıştır. Pazara çıkan ilk ürünler; çelik teller, telefon telleri, telgraf telleri, çelik yaylar ve örülmüş çelik tellerdir. 20. yüzyılda ise tellerin pasolar arasında ısıtılmasının çekilebilirliği olumlu etkilediği görülmüştür. Ayrıca

otomatik tel çekme sistemleri geliştirilerek işlem hızlandırılmış ve hem teoride hem pratikte tel çekme prosesi üzerine daha çok çalışmalar yapılmıştır. Bununla birlikte 20. yüzyılda tel çekme için söylenebilecek en önemli gelişmeler haddeler ve çekme sabunlarında görülmüştür. Hadde malzemesi olarak karbür içerikli ve sentetik elmasların kullanılması ile birlikte haddelerde aşınma oranı azalmış ve aynı hadde ile daha uzun süre tel çekilebilme olanağı mümkün kılınmıştır. Çekme sabunlarının da önemi daha çok göz önüne alınmış ve geliştirilen kimyasallar ile birlikte yağlanma oranı artırılarak daha az pasoda daha çok kesit daralması sağlanmıştır [1].

3. ÇELİK ÜRETİMİ

Kaynak teli üretiminde hammadde olarak kullanılan çeliğin üretim prosesi ergitme işlemi ile başlar ve sürekli döküm ile üretilen kütüklerin haddeleme işlemlerinden geçirilerek 5,50 mm.'lik filmaşın haline getirilmesi ile sona erer. Kangallar halinde kaynak teli üretim tesisine gelen filmaşınlar burada kuru ve yaş çekme proseslerinden geçirilerek kaynak teli haline getirilir. Çelik üretimi için hammadde olarak cevher veya sünger demir (DRI) ve hurdanın aynı anda kullanıldığı 2 ayrı yöntem görülür.

Ergiyik metale uygulanan alaşımlama ikincil metalurji işlemlerinden sonra sürekli döküm ile kütük haline getirilir ve devamında haddeleme ile 5,50 mm.'lik filmaşınlar haline getirilir. Yarı ürün olarak tesise gelen 5,50 mm.'lik filmaşınlar kuru ve sulu çekme işlemlerine tabi tutularak 0,80, 1,00, 1,20 ve 1,60 mm. çaplarında kaynak telleri haline getirilirler.

3.1 Yüksek Fırın ile Cevherden Üretim

Yüksek fırın ürünü pik demire, bazik oksijen fırınlarında oksijen üflenerek karbonu istenen seviyeye getirilir ve çelik, alaşımlama ve ikincil metalurji işlemleri ile döküme hazır hale gelir. Ardından da sürekli döküm sayesinde kütükler halinde filmaşın üretimine hazır hale getirir.

Yüksek fırına parça demir cevheri Fe_2O_3 ve bunun haricinde sinterlenmiş ve peletlenmiş demir cevheri, cürufılaştırıcılar ve kok da eklenir. Kok sayesinde ortamda cevherin ergimesi için gerekli sıcaklığa ulaşılırken, cüruf yapıcılar sayesinde de demir safsızlıklarından arındırılır [4].

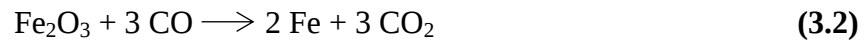
Cevher olarak Fe_2O_3 kullanımının amacı; hem basma mukavemetinin daha iyi olması hem de dolaylı redüklenmeye imkan sağlayarak kok kullanımını azaltmasıdır. Ayrıca cevher tane boyutu 10 – 200 mm arasında olmalı ve tenörü %58 – 65 aralığında olmalıdır [4].

Demir cevherinin kimyasal bileşiminde, kok veya oksijen ile redüklenemeyecek bakır, kalay ve gümüş gibi metaller olması istenmez. Bu metaller pik demirin çeliğe dönüşümü sırasında da yapıdan giderilemezler ve istenmeyen element olarak nihai üründe kalırlar. Bunların dışında defosforizasyon ve desülfürizasyon işlemleri ile bir miktar giderilebilen fosfor ve kükürdün de çelikte mümkün olduğunca düşük bir uygun değerde olması istenir [4].

3.2 Ark Ocağı ile Sünger Demir ve Hurdadan Üretim

İlk olarak sünger demir üretiminden bahsetmekte fayda vardır. Toz parça ya da pelet halindeki Fe_2O_3 cevherinin gaz ya da katı redükleyici kullanılarak ergime sıcaklığının altında $950 - 1100^\circ\text{C}$ 'de redüklenmesi sonucu elde edilen ürüne sünger demir adı verilir. Elde edilen bu ürün yüksek oranda demir içermesinin yanında, indirgenmemiş demir oksitler ile bir miktar karbon ve cevherden gelen gang bileşenlerini taşımaktadır. Yoğunluğu $3,4 - 3,6 \text{ g/cm}^3$ 'dür. Sünger demirde 5 mm. altı tane boyutu oranı %5'den az olmalıdır. Genel tane aralığı $4 - 20 \text{ mm.}$ 'dir. Pelet halindeki sünger demirler sıcak briketlenmiş demir (HBI) haline getirilip şarj edilebilirler [5].

Sünger demir üretmek için en çok kullanılan üretim yöntemi Midrex prosesidir. Bu proseste şaft fırınına beslenen demir oksit cevheri farklı sıcaklık rejimleri uygulanarak redüklenir ve son ürün olarak soğuk direkt indirgenmiş demir (CDRI), sıcak direkt indirgenmiş demir (HDRI) ve sıcak briketlenmiş demir (HBI) olarak fırın sonundan alınır (Şekil 3.1). DRI üretilirken gerçekleşen reaksiyonların toplamı 3.1 ve 3.2 numaralı denklemlerde verilmiştir.





Şekil 3.1 : Midrex sünger demir üretim prosesinde işlem basamakları [5].

Dünyada bu ürünleri üreten tesis sayısı toplamda 69 olmakla birlikte, en çok tercih edilen nihai ürün çeşidi 50 tesis ile CDRI'a aittir [5]. CDRI, HBI ve HDRI ürünleri için kimyasal kompozisyonlar Çizelge 3.1'deki gibidir.

Ark ocağı ile üretimde potaya sünger demir ve hurda şarj olarak beslenir. Şarjdan sonra ocağa indirilen 3 adet grafit elektrot arasında ark oluşturulur ve arkın sağladığı ısı sayesinde ergime başlar. Argonla karıştırılan ergiyikte homojen bir yapı sağlanır ve çelik buradan potaya alınarak ikincil metalurji işlemleri başlatılır. Yüksek fırından farklı olarak bu yöntemde kok ile indirgenme olmadığı için, çelikteki karbon değeri yüksek değildir.

Hurda kullanımında ise karşılaşılan en büyük sorunlardan biri hurdanın temizliğidir. Çelikler kimyasal olarak korozyondan korunmak için galvaniz ve metal kaplama gibi işlemlere tabi tutulabilirler, özel alaşımlarla üretilebilirler. Bu yüzden şarj edilen hurdadan gelebilecek bakır, kalay, kurşun gibi elementlerin minimum seviyede bulunması tercih sebebidir. Aksi takdirde bu metaller cürufa da alınamadığından dolayı nihai üründe kalır ve filmaşinlerde çekilebilirlik ve kaynak performansında sorunlara yol açar.

Çizelge 3.1 : CDRI, HBI ve HDRI ürünleri için kimyasal kompozisyonlar [5].

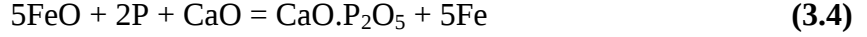
Özellik	CDRI	HBI	HDRI
Toplam Fe (%)	90 - 94	90 - 94	90 – 94
Metalik Fe (%)	83 - 90	83 - 90	83 – 90
Metalizasyon (%)	92 - 97	92 - 96	92 – 96
Karbon (%)	1,0 – 3,0	0,5 – 1,5	1,0 – 3,0
Fosfor* (%)	0,005 – 0,09	0,005 – 0,09	0,005 – 0,09
Kükürt* (%)	0,001 – 0,03	0,001 – 0,03	0,001 – 0,03
Gang* (%)	2,8 – 6,0	2,8 – 6,0	2,8 – 6,0
Mn, Cu, Ni, Cr, Mo, Sn, Pb, Zn	Az miktarda	Az miktarda	Az miktarda
Kütle Yoğunluğu(kg/m ³)	1600 - 1900	1900 - 2400	1600 – 1900
Görünür Yoğunluk (g/cm ³)	3,4 – 3,6	5,0 – 5,50	3,4 – 3,6
Üretim Sıcaklığı (°C)	40	80	600 – 700
Boyutlar (mm)	4 – 20	30 x 50 x 110	4 – 20

Her iki üretim yönteminde de çelik bünyesinde fosfor, oksijen ve kükürt bulunmaktadır. Nihai üründe oldukça düşük kimyasal aralıklarda bulunması istenen bu elementleri bünyeden almak için çeşitli işlemler uygulanmaktadır. Bunlardan oksijen ve kükürt ikincil metalurji işlemlerine girmekte fosfor giderme ise çelik üretimi aşamasındaki yeri sebebi ile ikincil metalurji işlemi olarak tanımlanmamaktadır.

Çelik üretiminde, ham demirden fosforun giderilmesi için ark ocağında uygulanan bu yöntemde fosfor oksidasyon yolu ile cürufa alınır. P₂O₅ asidik karakterli olduğu için cürufun bazik karakterde olması zorunludur [4,6]. Fosforun oksidasyonuna ait temel reaksiyon aşağıdaki gibidir (3.3).



Oluşan P_2O_5 tek başına cürufa geçemez. Bunun için cüruf yapıcı CaO sayesinde aşağıdaki reaksiyon (3.4) ile CaO 'e bağlanarak cürufa geçer [4,6].



3.3 İkincil Metalurji İşlemleri

Hem yüksek fırından hem de ark ocaklı üretimden elde edilebilen ergiyik pota ocağına alınıp ikincil metalurji işlemi görürler. Bu işlemler ile amaçlanan; çeliğin nihai kimyasal bileşimini ayarlamak, inklüzyonları cürufa çekmek veya ergiyik içinde kalacak inklüzyonları modifiye ederek etkilerini azaltmaktır.

3.3.1 Desülfürizasyon

Kükürt gidermede ilk işlem çeliğe yapılan ilaveler ile kükürdü cürufa almaktır. Bu ilaveler CaO , CaC_2 , $CaSi$, Na_2CO_3 gibi cüruf yapıcılarıdır. Bu sayede S aşağıdaki reaksiyon (3.5) ile cürufa alınır.



Bu işlem düşük $FeO + MnO$ seviyelerinde daha rahat gerçekleşir. Çünkü FeO içindeki oksijenin cüruf yapıcılara afinitesi kükürde kıyasla daha yüksektir ve bunun sonucunda cürufa kükürt yerine oksijen alınarak işlem verimsiz hale gelir.

Desülfürizasyondan sonra çelik içerisinde kalan kükürdün olumsuz etkilerini gidermek için Mn ilavesi yapılır. Kükürdün en azı 2 katı kadar eklenen Mn sayesinde, S elementi FeS bileşiği yapmak yerine zararsız tip olan 3. tip MnS bileşiği yapar ve inklüzyonlar halinde çelikte yer alır [4,6].

3.3.2 Deoksidasyon

Çelikteki oksijenin giderilmesi için yapılan işleme deoksidasyon adı verilmektedir. Bu işlemin esası çeliğe deoksidant elementler ekleyerek oksijeni, oksitli bileşikler halinde cürufa çekmektir. Bunun için çeliğe sırası ile Mn, Si, Al elementleri ilave edilir. Bu işlemler sonucunda çelikler, kütlece % oksijen oranlarına göre söndürülmemiş, yarı söndürülmüş ve söndürülmüş çelikler olarak 3 gruba ayrılır. [4,6].

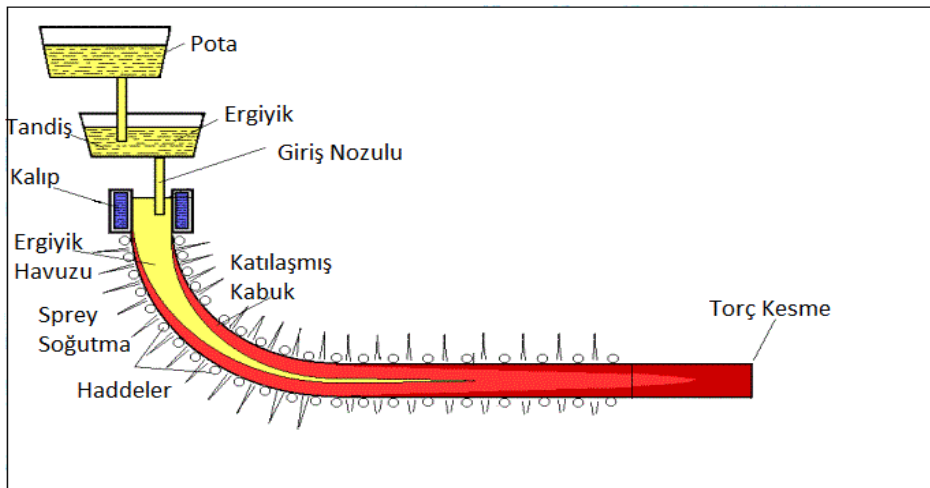
3.4 Çeliğin Filmaşın Haline Getirilmesi

3.4.1 Sürekli döküm

Çelikte istenen kompozisyon ve kalite elde edildikten sonra ergiyik sürekli döküm prosesi için tandişe verilir. Tandişte, ergiyiğe kimyasal bileşimi değiştirecek herhangi bir işlem uygulanmaz. Sürekli döküm prosesinde amaç; ergiyik çeliği soğutarak aynı anda şekillendirmek ve kütük haline getirme işlemi için tekrardan haddelemeye ihtiyaç duyulmamasını sağlamaktır. Bu sayede hem iş gücü hem de enerjiden maksimum verim elde edilir.

Sürekli döküm işleminde ergiyik potadan tandişe dökülür. Ardından su soğutmalı bakır kalıplara giren çelik katılaşmaya başlar. Soğuma ve çeliğin geçişi sırasında kalıplarda sallanma (osilasyon) hareketi uygulanır. Osilasyon hareketi; kalıpların sinüsoidal hareket ile sallanmasıdır. Bu sayede soğuma sırasında homojen dağılım sağlanır, ani soğumadan kaynaklanabilecek kırılmalar engellenir. Osilasyon sıklığı 50 – 300 devir/dakika arasında değişmektedir [7,8].

Yolluklardan aşağıya doğru inen çelik katılaşmaya başlar ve hadde blokları sayesinde nihai boyutlarını alırlar. Ardından kesme torçları ile istenen uzunlukta kesilir ve soğuması için role yoluna bırakılırlar [7,8]. Tüm işlemin şematik gösterimi Şekil 3.2'deki gibidir.



Şekil 3.2 : Sürekli döküm işleminde bulunan ana elemanlar [49].

Sürekli döküm işleminde dikkat edilmesi gereken bir diğer konu da tandiş değişme sıklığıdır. Tandiş değişimlerinin sayısı azaldıkça tandiş duvarlarındaki refrakterler daha sık aşınacak ve çelik içinde dış kaynaklı inklüzyon görülme olasılığı artacaktır.

3.4.2 Haddeleme prosesi

Sürekli döküm ile yarı ürün olarak üretilmiş kütükler, haddeleme işlemi ile 5,50 mm. çapa indirilirler. Bunun için ilk olarak homojenizasyon sıcaklığına çıkartılır (1200 – 1250 °C) ve sonrasında hadde tezgâhlarından geçerler. Haddelemeler sırasında her haddeye ayrı güç uygulanmakta bu sayede çap azaldıkça artan tel ilerleme hızına uygun olarak hadde merdaneleri farklı hızlarda dönmektedir. Ayrıca, son haddelere doğru tele belli aralıklarla, şeklini bozmayacak şekilde hafif bir eğim (loop) verilmekte ve bu yöntemle tel kopmalarının önüne geçilmektedir.

Devamında monoblok hadde sistemine girerek istenen nihai çapa ulaşan tele daha sonra basınçlı su kutularından geçerken su verme (quenching) işlemi uygulanır. Yaklaşık 100 m/s’lik bir hıza ulaşan tel halkalar şeklinde konveyöre boşaltılır ve fanlar yardımı ile soğutularak 5,50 mm.’lik filmaşınlar halinde kangal formuna getirilir.

4. FİLMAŞININ KAYNAK TELİ HALİNE GETİRİLMESİ

İncelenen kaynak teli üretim prosesinde; tel çekme işlemi 5,50 mm.'lik filmaşın halindeki kangallar ile başlar. Filmaşın kangalları haddeye zarar vermemesi ve üzerindeki tufal tabakasının kırılması amacı ile yüzey temizleme işlemine tabi tutulur. Yakın bir tarihe kadar yüzeyi kimyasal işlemlerle temizlenen teller, günümüzde çevre kirlenmesinin önüne geçilmesi ve pratik olmasının verdiği kazanımlar sayesinde sadece mekanik yöntem ile temizlenmektedir. Temizlenen kangal sırası ile kuru ve sulu çekme işlemlerinden geçirilerek çapları 0,80, 1,00 ve 1,20 mm.'ye kadar indirilirler. Çekilen tellerin yüzeylerine, sulu çekme sırasında CuSO_4 çözeltisi sayesinde bakır kaplanır ve kaynak teli hattın sonundaki makaraya sarılır. Ardından büyük makaralar sarma makinelerinde istenen ağırlıkta küçük makaralara sarılarak kullanıma hazır hale getirilirler. Bu bölümde filmaşının, nihai ürün haline gelene kadar izlediği bu proses ve prosese etki eden faktörler incelenecektir.

4.1 Tel Çekme Makineleri

Kaynak teli üretimi için izlenen proseste teller sırası ile kuru tel çekme makinesi ve sulu tel çekme makinesi olmak üzere iki tip tel çekme makinesi kullanılarak nihai çapa indirilirler ve sarma makinelerinde sarılarak ürün haline getirilirler.

4.1.1 Kuru tel çekme makinesi

5,50 mm.'lik kangallar halinde tedarikçilerden gelen filmaşınlar öncelikle mekanik tufal kırma işleminden geçirilirler. Mekanik tufal kırıcılar 5, 7 veya 12 makaralıdır. Mekanik tufal kırıcıda (Şekil 4.1) amaç telin üzerindeki hematit tabakasını, telde %3-5 oranında kesit daralması sağlayarak kırmaktır. Bu sayede hematitin yerine kuru çekme sabununun girmesini sağlar ve daha iyi bir tel çekme performansına imkan tanınır. Ayrıca tufal tabakasının kırılması sulu tel çekme sırasında telin bakır kaplamasında da en önemli etkidir. Tufal tabakasının

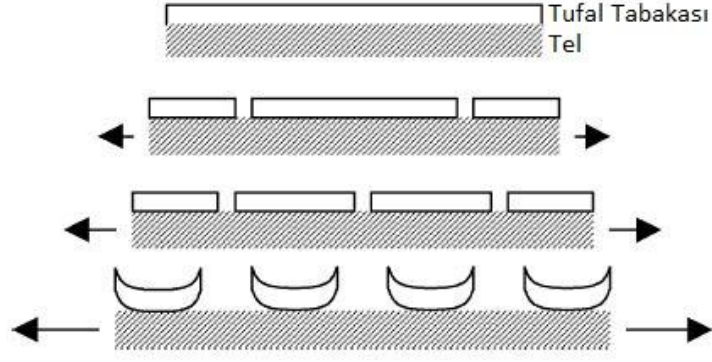
atılamadığı yerlerde serbest bir demir iyonu bulunamadığı için o bölgeler bakır kaplanmayacak ve nihai üründe kalite sorununa yol açacaktır.



Şekil 4.1 : 5 makaralı bir tufal kırıcı.

Tel yüzeyinden atılamayan tufal, sabun kutusuna kadar taşınır. Bu tufalin kutudaki sabun ömrüne olumsuz etkisi vardır. Ayrıca çelikten daha sert yapıda olan tufal tabakası haddede görülen deformasyonların da nedenlerinden biridir.

Tufal tabakasının temizlenmesinde en önemli etken telin içe ve dışa bükülmesi ile yüzeyde meydana getirilen gerilmelerdir. Bu gerilmelerin etkisinde kalan tufal tabakası önce kırılır ve ardından da yüzeyden uzaklaşır (Şekil 4.2). Bu işlemten sonra yüzeye noktasal olarak tutulu olan tufallerin basınçlı hava püskürtülerek temizlenmesi önerilir [9,10].



Şekil 4.2 : Tufal tabakasının tel yüzeyinden ayrılmasının şematik gösterimi [11].

Tufal kırıcılarda makara çaplarının, tel çapının 18 – 23 katı olmasının tufalin temizlenmesinde en uygun ölçüler olduğu görülmüştür. Daha düşük çaplarda çok fazla gerilmeye maruz kalan telde istenmeyen deformasyonlar meydana gelirken, daha yüksek çaplar kullanıldığında da istenen tufal giderme işlemi gerçekleştirilememektedir [9,10].

Tufal kırıcıdan sonra kuru çekme makinesinde (Şekil 4.3) ilk haddeye giren teller istenilen çapa gelene kadar sürekli olarak ardışık haddelerden geçerler. Her haddenin çapı, telde kesit daralmasını sağlamak amacı ile giriş çapından küçüktür ve telin kesiti her bir haddeden geçtikçe küçülmektedir. İşlem sonunda sulu tel çekme için istenen çapa indirilen teller makaralara sarılırlar.



Şekil 4.3 : Kuru tel çekme makinesi.

Kuru tel çekme makinelerindeki eğik blokların her biri balerin olarak da adlandırılır (Şekil 4.4). Her balerin ayrı motora bağlıdır ve dönme kuvvetini bu motorlardan alır. Tel diğer haddeye girmeden önce bu balerin çevresinde birkaç sıra sarılır ve sonra diğer haddeye girer. Bu işlem her hadde ve balerin için tekrarlanır.

Balerinlerin yüzeyi, balerine ve tel yüzeyine zarar verebilecek sürtünme kaynaklı kuvvetleri minimize etmek için tungsten karbür kaplanmıştır. Her hadde, telin ısınma etkilerinden olumsuz etkilenmemek ve telin aşırı ısınmasını önlemek için su soğutmalı sistem ile soğutulmaktadır [12].

Ayrıca her balerine bağlı bir sensör bulunmakta ve bu sensör sayesinde teldeki çap daralmasından kaynaklanan tel uzaması anlık olarak hesaplanıp bir sonraki balerinin dönme hızı kontrol edilmektedir. Bu sayede kuru tel çekme işleminde telden kaynaklanan kopmalar çok daha az görülmektedir.



Şekil 4.4 : Balerin fotoğrafı (1- sabun kutusu 2- balerin 3- hadde kutusu).

4.1.2 Sulu tel çekme makinesi

Kuru tel çekmeden çıkan tellerin çapları, nihai çap olan 0,80 mm. 1,00 mm. ve 1,20 mm. çap için 3 ayrı en yüksek çap değerine sahiptir.

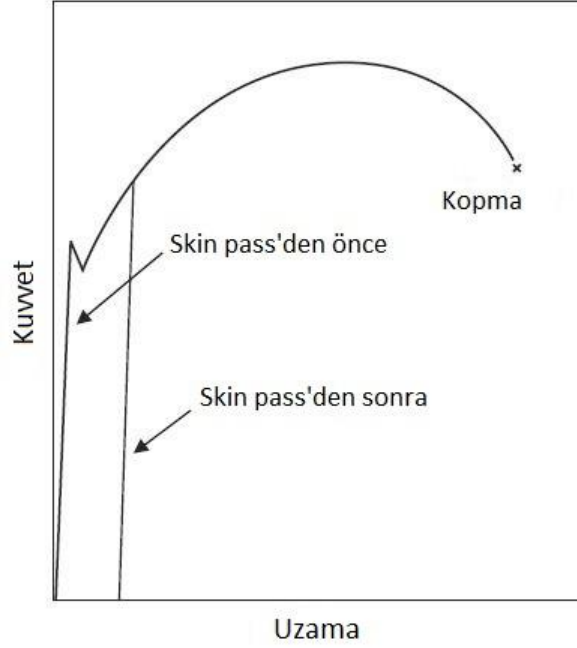
Tel vericilere takılan makaralardan gelen tel öncelikle sulu çekme havuzuna girer. Sulu çekme sabununun sulu çözeltisi ile dolu olan havuzda tel çapı, doğrultma haddesine girerken istenilen değere kadar düşürülür. Buradaki sistem kuru çekme makinesinden farklıdır. Çoklu balerin sistemi yerine tek bir motora bağlı olan kademeli koni adı verilen bir sistem vardır (Şekil 4.5). Kuru tel çekmeden farklı olarak tel uzaması burada hesaplanamamaktadır. Bunun önüne geçmek için de koninin altına doğru disklerin çapı artmakta ve bu sayede bir önceki haddede çapı düşürülen telin uzamasından kaynaklanabilecek sorun bir sonraki diskte daha büyük bir çevreye sarılarak bu uzama tolere edilebilmektedir.



Şekil 4.5 : Kademeli koni fotoğrafı [1].

Sulu çekme havuzundan çıkan tel bakırlama havuzuna girer. Burada CuSO_4 ve H_2SO_4 sulu çözeltisi bulunan havuza giren tel bakır kaplanır. Tel, havuzda daha uzun kalması ve doğrultulması için banyo içindeki makaralar çevresinde döndürülür. Yüzeyine sementasyon yolu ile bakır kaplanan tele nihai yüzey özelliklerinin verilmesi ve bakırın tel yüzeyine sıvanması için haddeden geçirilir. Bu son haddeye bakırlama haddesi adı da verilmektedir. Bu hadde ile nihai çapa indirilen ve doğrultulan tel balerine birkaç tur sarılır ve dikey duran bir makara sistemine gider. Bu sistemde tel son kez doğrultulur ve makaralara sarılır. Bakır kaplamadan sonraki

tüm bu işleme skin pass adı verilir. Skin pass işleminde bir diğer amaç da; telin çekme gerilmesinden kaynaklanan yaşlanmasının etkilerini en aza indirerek telde delaminasyon (yapraklanarak kopma) kopmalarını önlemektir. Şekil 4.6'da iki telin skin pass'den önce ve sonra çizilen gerilme-gerinim eğrisi görülmektedir. Skin pass'den sonra, telde akma gerilmesi değerinin arttığı açıkça görülmektedir.



Şekil 4.6 : Skin pass'den önce ve sonra elde edilen gerilme-gerinim eğrileri [1].

4.1.3 Sarma makinesi

Sarma makinesinde amaç kaynak telini, belirlenen ağırlıklarda makaralara sararak nihai ürün haline getirmektir. Sarma makinesinde en önemli konu kaynak işlemi sırasında çok büyük öneme sahip olan cast ve helix değerlerini ayarlamaktır. Sarma makinesinin rulmanları düzenli olarak kontrol edilmelidir. Yüzeyi deforme olan rulmanlar tel yüzeyinde çiziklere sebep olurlar.

5. TEL ÇEKME İŞLEMİNDE TEMEL MÜHENDİSLİK DEĞİŞKENLERİ

5.1 Uzunluk Ölçüleri

Tel çekme işlemi sırasında en çok karşılaşılan uzunluk ölçüsü filmaşinin veya telin çapıdır. Bu ölçü genellikle milimetre (mm.) olarak verilmekle beraber bazı durumlarda inç (in.) olarak da verilir ve 1 inç 25,4 mm.'ye eşittir. Bununla birlikte tel çapları çoğu zaman Amerikan Tel Ölçeği birimi olan “gauge” ile de verilirler. Bu çizelgeye göre tellerin gauge numarası arttıkça çapları azalmaktadır. Örneğin; 12 gauge 2,052 mm. çapını belirtirken 24 gauge 0,511 mm.'yi belirtmektedir [13].

5.2 İş, Enerji ve Güç

Tel çekme işleminde kuvvete bağlı olarak tele uygulanan bir çekme gerilmesi vardır. Bu gerilme formülünde (5.1); TS_{i-1} i. haddeye giren telin mühendislik çekme gerilmesi, TS_i i. haddeden sonra telin mühendislik çekme gerilmesi ve d_{i-1} ve d_i de ilgili haddelerden sonraki tel çapı olarak tanımlanmıştır ve aşağıdaki gibi verilmektedir [14].

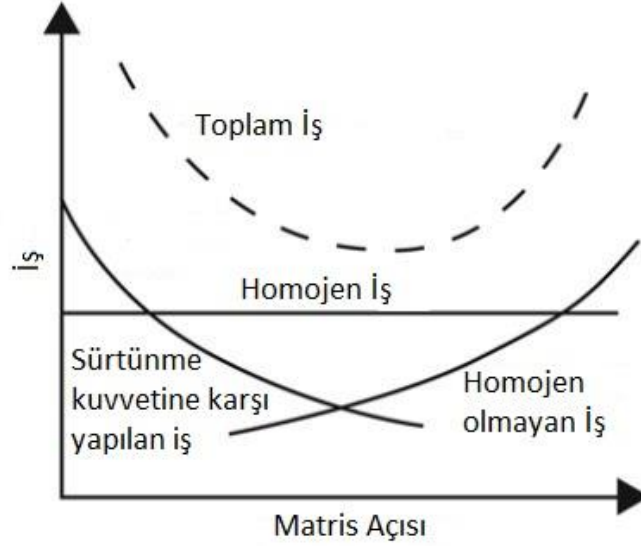
$$\sigma_{çekme} = 1,6 (TS_{i-1} - TS_i) \left[\frac{(3,14159)d_i^2}{4} \right] \ln \frac{d_{i-1}}{d_i} \quad (5.1)$$

Çekme işlemleri sırasında, hesaplanan iş ve enerjinin birimleri joule (J) ile gösterilir. Amerikan ve İngiliz sistemlerinde iş genellikle foot-pound (ft-lb) birimi ile gösterilir ve 1 foot-pound 1,3558 J'e eşittir. Enerji ise Btu ile gösterilir ve 1 Btu 1,0543 x 10³ J'e eşittir. Tel çekme sırasında yapılan iş; homojen, homojen olmayan ve sürtünmeye karşı yapılan iş olarak 3 şekilde sınıflandırılır (Şekil 5.1) [15].

Homojen iş kesit daralmasının toleranslar arasında uygulandığı ve enerjinin en verimli olarak kullanıldığı iştir. Homojen olmayan ve sürtünmeye karşı yapılan işlerde ise hem tel özelliklerinde kötü sonuçlar elde edilir hem de enerji verimli olarak kullanılamaz. Sürtünmeye karşı uygulanan kuvvet hadde açısının düşmesi ile artacaktır. Ayrıca belli bir kesit daralması olduğundan dolayı çok iyi bir sabun alma

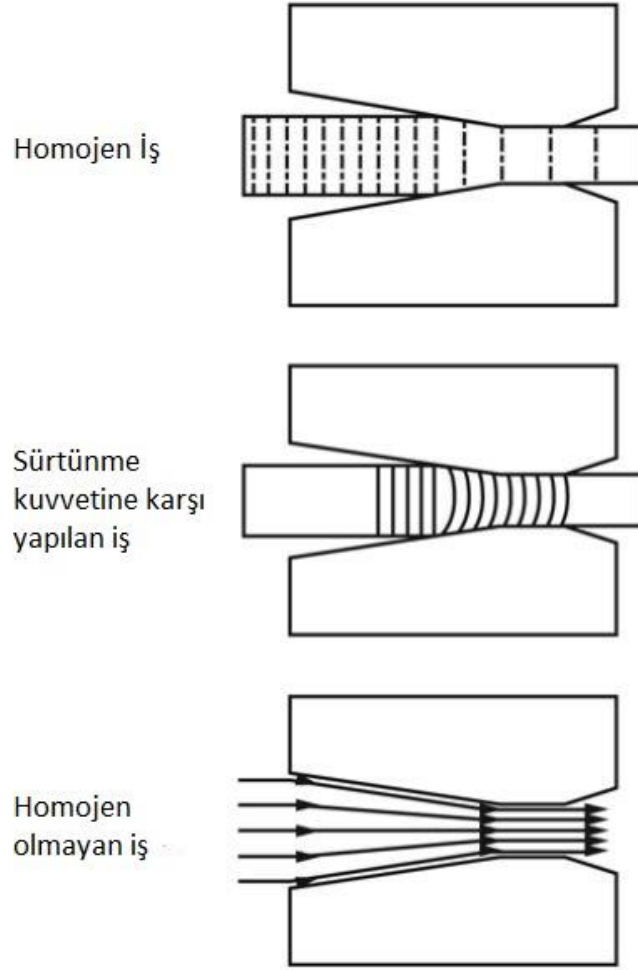
veya ayarlanan hadde açısı olsa da görülecektir. Optimum değerler dışında görülen bu kuvvet arttıkça istenmeyen bir tel yüzeyi ortaya çıkacaktır.

Sürtünme katsayısı kuru çekme için 0,1 ile 0,7 arasında değişirken, sulu çekme için bu değer 0,08 ile 0,15 arasındadır [16]. Bu kuvvet, hadde açısının düşürülmesi, kavrama alanının azaltılması ve yağlamanın optimize edilmesi ile düşürülür.



Şekil 5.1 : Tel çekme sırasında yapılan işin sınıflandırılması [15].

Homojen olmayan iş ise hadde açısının artması ile daha ön plana çıkar. Hadde açısı arttıkça yüzey ve telin merkezi arasındaki deformasyon gradyanı artacağından telin yüzeyinde çekme gerilmesi ve merkezinde ise baskı gerilmesi artacaktır. Farklı şekilde oluşan gerilmeler telin merkezinde çatlaklara yol açar. Bu iş çeşitleri sırasında teldeki akış rejimleri Şekil 5.2’de görülmektedir.



Şekil 5.2 : Tel çekme sırasında yapılan işe bağlı akış rejimleri [15].

Birim zamanda yapılan işe veya üretilen enerjiye güç adı verilir. Çekme işlemi için hesaplanan güç büyüklüklerinin birimi watt (W) olarak verilir ve 1 watt; 1 saniyede harcanan J miktarını temsil eder. [14,17]

5.3 Gerilme ve Gerinim

Gerilme ve gerinim değerleri bir malzemenin kimlikleridirler ve malzeme seçimi yapılırken dikkate alınan ilk olgulardandır. Bu yüzden mühendisliğin her dalı için önemlidir.

Gerilme; birim alana etki eden kuvveti temsil eder. SI birim sistemi için gerilme Pascal (Pa) ile temsil edilir ve 1 Pa 1 N/m²'ye eşittir. Çekme işleminde de işlem sırasında oluşan gerilme çok yüksek olmakta ve bunun için megapaskal (MPa) ile gösterilmektedir. Amerikan ve İngiliz sistemlerinde gerilme psi veya ksi olarak gösterilir ve 1 ksi 6,894 MPa'a eşittir [1].

Gerinim ise yük altındaki bir malzemenin, yük uygulanmadan önceki duruma kıyasla boyutlarını ne oranda değiştirdiğini ifade etmektedir. Gerinim ayrıca boyuttaki değişimin orijinal boyuta oranı olarak da verilir. Tel çekme işleminde gerinimi hesaplarken, telin hacminin sabit kaldığı ve tel uzunluğunun artarak kesit alanının daraldığı göz önüne alınır, (ε_e) mühendislik gerinimi, l_1 ilk uzunluk ve l_0 son uzunluğu göstermek üzere aşağıdaki denklem (5.2) ile hesaplanır [1].

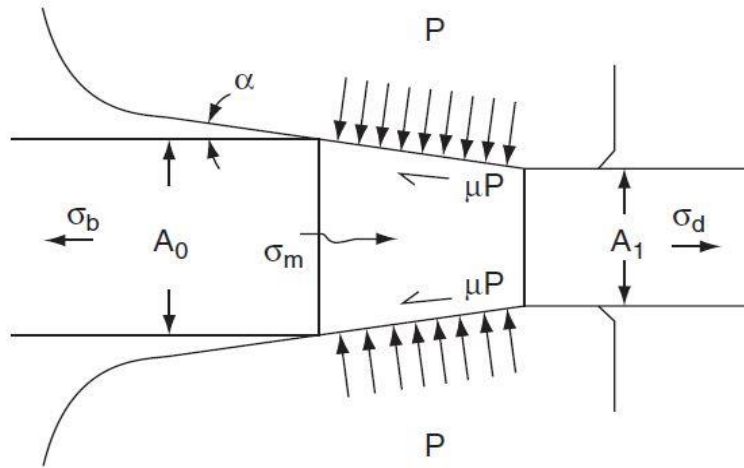
$$\varepsilon_e = (l_1 - l_0) / l_0 \quad (5.2)$$

Mühendislik gerilmesi teoride doğru olmakla beraber pratikte bu formüle dayanarak hesaplama yapmak yanlış sonuçlar verir. Bunun için gerçek gerilme formülünü kullanmak gerekecektir. l_1 ilk uzunluk ve l_0 son uzunluğu göstermek üzere gerçek gerilme (ε_t) aşağıdaki denklem ile hesaplanır (5.3) [1].

$$\varepsilon_t = \ln l_1 / l_0 \quad (5.3)$$

Gerinim oranı, tel çekme işleminde, telin uzama oranının diğer haddelere geçerken tolere edilebilmesinin hesaplanması açısından önemlidir. Ortalama gerinim oranı çekme gerilmesi ve çekme hızının, deformasyon alanına bölünmesi ile bulunur [1].

5.4 Çekme Gerilmesi ve Ters Gerilme



Şekil 5.3 : Tel çekme sırasında haddeye ve tele etkiyen kuvvetler [1].

Çekme gerilmesi; tele çekme yönünde etkiyen kuvvetin telin çıkış çapına bölünmesi ile bulunur (5.4). σ_d ile gösterilir (Şekil 5.3).

$$\sigma_d = F / A_1 \quad (5.4)$$

Ters gerilmeyi oluşturan kuvvet ise, telin çekme doğrultusuna karşı direnç gösteren ve ters yönde oluşan kuvvetlerin toplamıdır. Ters gerilme ise bu kuvvetin telin giriş çapına bölünmesi ile bulunur (5.5).

$$\sigma_b = F / A_0 \quad (5.5)$$

5.5 Haddeye Etkiyen Kuvvet

Şekil 5.3’de deformasyon alanında haddeye etkiyen kuvvetlerin toplamı P ile gösterilmiştir. Bu kuvvet; tel ile hadde arasındaki toplam kuvvetin, telin hadde ile birebir temas halinde olduğu alana bölünmesi sonucu olarak tanımlanır. Uygulanan hadde simülasyonları, bu kuvvetin telin giriş ve çıkışlarında daha çok ve ortalarında ise daha az olduğunu göstermektedir. μP ile gösterilen ise ortalama sürtünme kuvvetidir. Sürtünme gerilmesi, telin çekme doğrultusuna ters yönde hadde ile temas halinde bulunduğu alanlarda etki eden gerilme olup; sürtünme kuvvetinin, temas alanlarının toplamına bölünmesi ile bulunur. Sürtünme kuvveti hadde içinde farklı noktalarda farklı değerler almakla birlikte, işlem sırasında çekme sabunlarının kullanılması ile değeri belli bir optimuma düşürülmektedir. Hadde üzerinde oluşan basınç kuvvetinin çekme işleminde telin özellikleri için çok fazla önemli olmasa da hadde ömrü için büyük önem taşımaktadır. σ_{akma} telin akma gerilmesi, Δ haddenin delta açısını belirtmek üzere hadde üzerine etkiyen kuvvet aşağıdaki gibidir (5.6) [18].

$$P = \sigma_{çekme} \left(\frac{\Delta}{4} + 0,6 \right) \quad (5.6)$$

5.6 Deformasyon Merkezinde Oluşan Gerilme

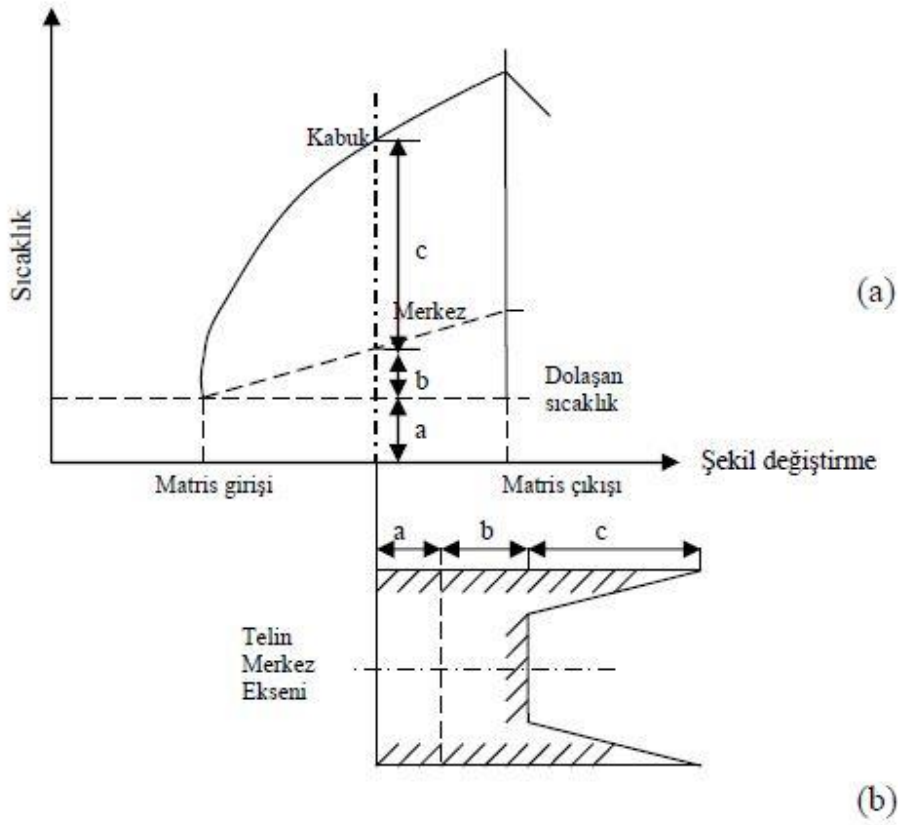
Şekil 5.3’de σ_m ile gösterilen gerilme, deformasyon alanına yani diğer bir deyişle telin merkezine yakın yerlerde görülen gerilmeyi ifade eder. Bu gerilmenin kontrol edilememesi telin merkezinde iç çatlaklara sebep olur.

5.7 Çekme Sırasında Oluşan Isı ve Sıcaklık

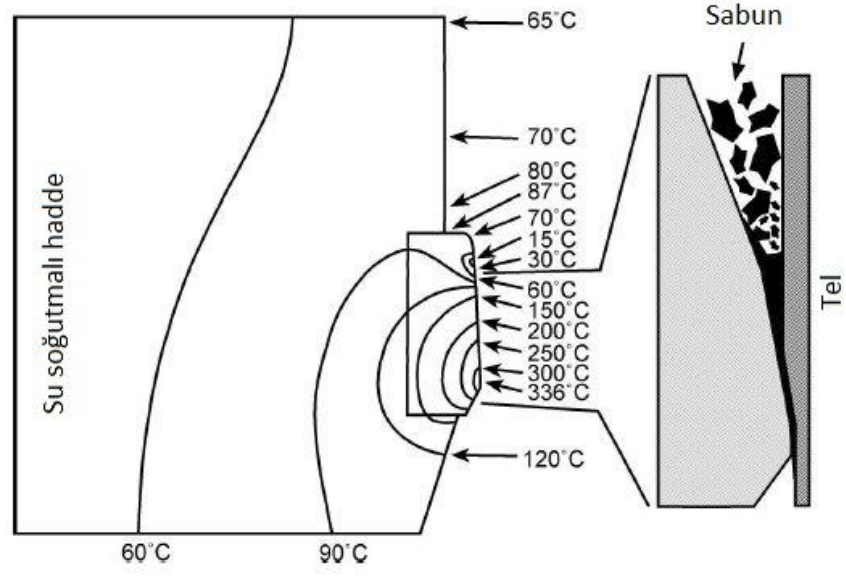
Tel çekme işlemi sırasında, şekil değiştirme ve sürtünmenin ikisi birden ısı kaynağı rolü oynar. Bu ısı çok yüksek çekme hızlarında milisaniyelik bir zaman periyodunda ortaya çıkar. Bu nedenle ısı, yüksek sıcaklıklar ve haddedeki dik sıcaklık gradyanları ile hesaplanmaktadır. Şekil değiştiren telin içindeki sıcaklık dağılımı Şekil 5.4’de

gösterilmiş ve tel eksenı boyunca ve tel kesitinde dik sıcaklık gradyanları ile karşılaştırılmıştır [19]. 7 m/s'lik bir çekme hızı için haddedeki sıcaklık dağılımı Şekil 5.5'de gösterilmiştir [20].

Tel çekme sabunlarının ana karakteristiği; hadde içinde çalışma koşullarından dolayı oluşan ısı altında yüksek viskozite sıvılaşmasıdır. Tel çekme ısısının %5'ini deformasyon ısısı, %95'ini de sürtünme ısısı oluşturmaktadır. Hadde üzerindeki ısı, madde özelliğine bağlıdır. Ayrıca hadde açısı da ısı üzerinde etkilidir [20].



Şekil 5.4 : Sıcaklık dağılımı; a) tel boyunca b) tel kesitinde [19].



Şekil 5.5 : 7 m/s’de haddede tahmini sıcaklık dağılımı [20].

6. TEL ÇEKME İŞLEMİNDE KULLANILAN SABUNLAR

Tel çekme işleminin uygulanmaya başladığı ilk zamanlarda tel çekme ustaları hiçbir yağlayıcı kullanmamakta ve teli sadece haddeden geçirmektedirler. Ardından teli kayganlaştırmamanın önemli olduğunun farkına varıldı ve yağlayıcı olarak hayvan yağları, donyağı, demir oksitler, grafit, zift ve benzeri karbon içeren malzemeler kullanılmaya başlandı. Günümüzde ise bu yağlayıcılar yerini tel çekme için özel olarak üretilen sabun bileşiklerine bırakmıştır [1].

Sabunların öncelikli görevleri haddeyle tel arasında bir ara katman oluşturarak sürtünmeyi uygun seviyelere ayarlamaktır. Bu sayede işlem, uygulanan kuvvet açısından kolaylaşır, tel kopma sorunları önlenir ve tel yüzeyinde çizik oluşumu engellenir.

Tel çekme sabunları kuru çekme için her hadde öncesinde sabun kutusunda katı bileşikler halinde, sulu çekme işlemi için ise çekme havuzunda sulu bileşikler halinde bulunur. Sabun, kuru çekme sırasında tel yüzeyine kaplanmakta, sulu çekmede ise sadece çap daralmasına yardım etmekte ve tel yüzeyine kaplanmamaktadır. Bu kaplanma; çekme sırasında meydana gelen ısı sayesinde sabunun viskozitesinin artması ve haddenin sabunu tel yüzeyine sıvaması ile olmaktadır.

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 [3].

Tel çekmede hadde girişindeki aşınma, çıkışındakine göre daha çok olmaktadır. Bu durum, giriş bölgesindeki sürtünmenin daha çok olduğunu göstermektedir. Bundan dolayı malzemenin haddeden geçmesi bazen zor olur ve tel çıkışta kopar. Bunun nedeni, ya pasolar arasında tele yeterli bir soğutma yapılmaması sonucu telin iç ısıl gerilimler taşınması ya da yağlayıcı olarak kullanılan karışımın iyi filtre edilmemesi sonucu toz, çapak gibi yabancı maddeler içermesidir [21].

6.1 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.

6.1.1 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 [22,23].

6.1.2 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 [22,23].

6.1.3 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 [22,23].

6.1.4 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 oluşturmeyen kaplama kalınlığı tanımlanmaktadır [22,23].

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.

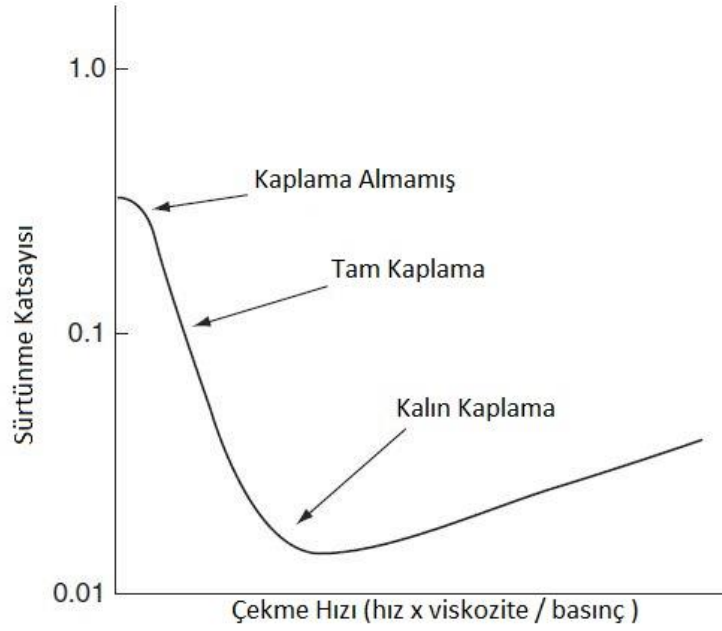
Kalın film tabakasında tel yüzeyi mat bir görünümde ve bölgesel olarak mikroskobik tümsekler görülür. Bu tümsekler haddeden geçerken telin yeteri kadar kesme kuvveti almasını engeller ve kesit daralmasının yeteri kadar gerçekleştirilememesi, haddede deformasyon ve tel yüzeyinde nervüre sebebiyet verir [9].

Kaplama modelleri için sürtünme katsayısının değişimi ve tipik yüzey görünümü Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1 : Kaplama modellerinin karakterize edilmesi [1].

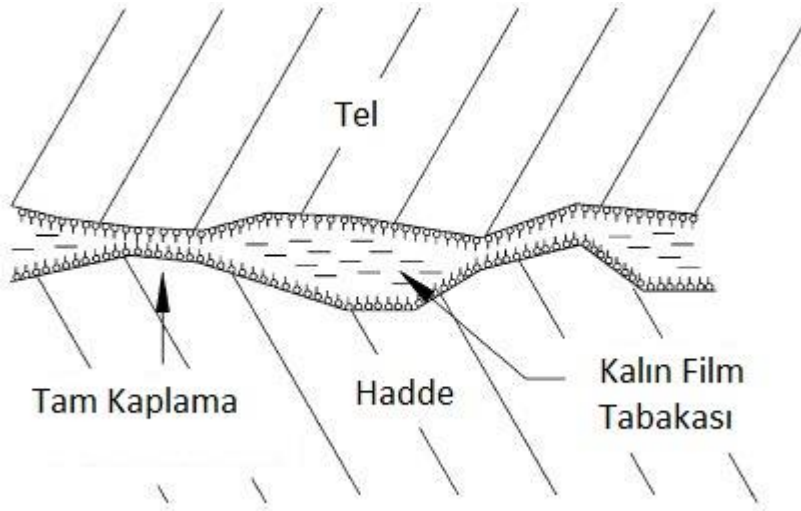
Kaplama Modeli	Sürtünme Katsayısı	Yüzey Görünümü
Hiç Kaplama Almamış	$\mu > 0,25$	Çizik, nervür, çatlak ve kopma
Bölgesel Kaplama	$0,15 < \mu < 0,25$	Karga ayağı, çizik
Tam Kaplama	$0,10 < \mu < 0,15$	Pürüzsüz, mat
Kalın Kaplama	$\mu < 0,03$	Nervür, bölgesel yeterli olmayan kesit daralma

Sürtünme katsayısının tel çekme hızına ve kaplama modellerine bağlı olarak nasıl değişeceği Şekil 6.1’de verilmiştir. Sürtünme katsayısının belli bir tel çekme hızını aşıldığında tekrar artmasının sebebi ise yüksek çekme hızlarında ulaşılan yüksek ısı sebebi ile sabunun tel yüzeyine kaplanamaması ve telin hadde ile doğrudan temas etmesidir [1].



Şekil 6.1 : Sürtünme katsayısının çekme hızına bağlı olarak değişmesi [1].

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 6.2) tanımlanan modellerin en az birinin görüldüğü modellerdir [9,24].



Şekil 6.2 : Tel yüzeyinde görülen sabun modeli [1].

6.2 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 moleküllü olanlar, kendiliğinden metal yüzeyine yönlenir 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 [12].

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 [12].

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 [12].

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 [25].

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 [25].

Hadde sabunları esas itibarıyla kalsiyum bazlı, sodyum bazlı ve alüminyum bazlı sabunlar olmak üzere üç ana gruba ayrılır [26].

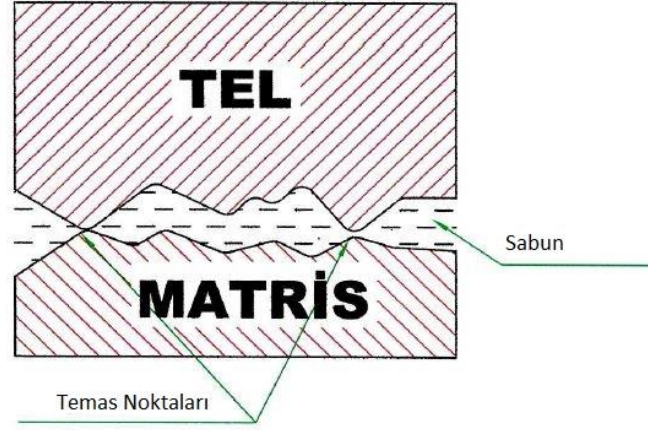
Kalsiyum bazlı sabunlar suda çözünmezler. Saf halde yumuşama sıcaklıkları 145°C ile 165°C arasındadır ve düşük tel çekme hızlarında, özellikle hiç çekilmemiş olan filmaşine verilecek ilk pasolarda kullanılır [26].

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 [26].

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

6.3 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 görülmese 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 6.2’de şematik olarak görülen tel ve hadde ilişkisinde sabun ara kısma girerek bu sürtünmeyi en aza indirmeyi hedefler [12].



Şekil 6.2 : Tel ve hadde arasındaki sabun tabakasının basit gösterimi [12].

Haddeleme sırasında hadde sıcaklığı merkezde 380°C 'ye kadar çıkmaktadır. Bu sırada telde meydana gelebilecek olası ısı 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 sıvayan sabunun bakır kaplanmadan önce telden uzaklaştırılması gerekmektedir. Sabun bileşiminin, bu uzaklaştırmanın en pratik ve düşük maliyetle yapılmasına elverişli olması da önemli bir unsurdur [12].

6.4 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 Çizelge 6.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.2 : Sabun seçiminde muhtelif malzemeler için örnek uygulamalar [25].

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 sitarat bazlı sabun
Yüksek karbonlu çelik	Mekanik kırma	< 600	1’den fazla	Yay	Yağ oranı orta, yumuşama sıcaklığı yüksek kalsiyum bazlı sabun
Yüksek karbonlu sabun	Asitle temizlenmiş sabun taşıyıcıyla	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 akmaz. Kullanılan haddenin dizaynı da sabun seçiminde dikkate alınmalıdır. Son olarak da seçilen sabunun telini nihai kullanımına uygun olması gerektiği unutulmamalıdır.

6.4.1 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 [3,25].

Dolgu maddeleri toz halindedir ve suda çözülenler ve çözülmeyenler olarak iki gruba ayrılmaktadır. Suda çözülenler; 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 [3,25].

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 [3,25].

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 ısısı 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 [3,25].

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 etkindir. Taşıyıcılar ve yağlayıcılar hassas yüzeylere göre daha kolay nüfuz ettikleri için basit işlenmiş yüzeylere nüfuz ederken taşıyıcıların türü ve polarlık şartı dikkate alınmalıdır [3,25].

6.4.2 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 [27].

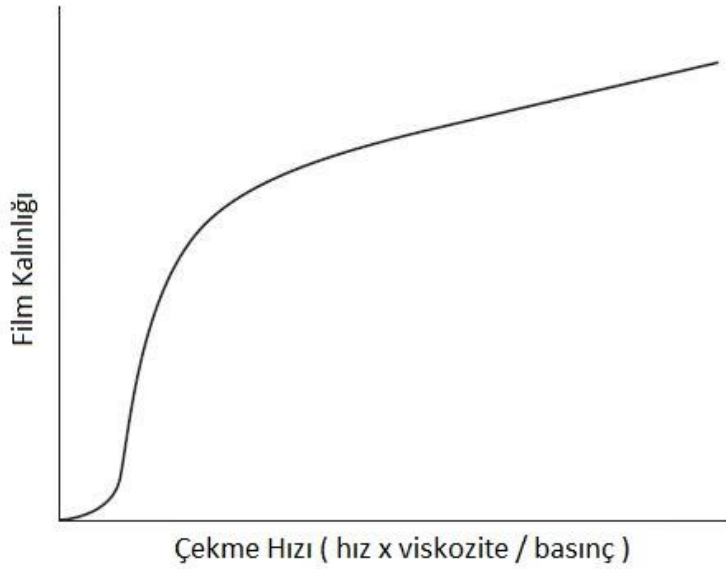
Saf yağlar ise konsantre yağlardır, genellikle yüksek oranda katkı içerirler ve suda çözünmezler. Bunlar yüksek derecede yağlamaya katkı sağlar ve su içindeki yağın yeterli olmadığı ürünlerde kullanılır [3].

6.5 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.

6.6 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 [1]. 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 6.3).



Şekil 6.3 : Film kalınlığının çekme hızına bağlı olarak değişmesi [1].

7. TEL ÇEKME İŞLEMİNDE HADDELER VE HADDE SERİSİ DİZAYNI

7.1 Hadde Malzemeleri ve Üretim Yöntemleri

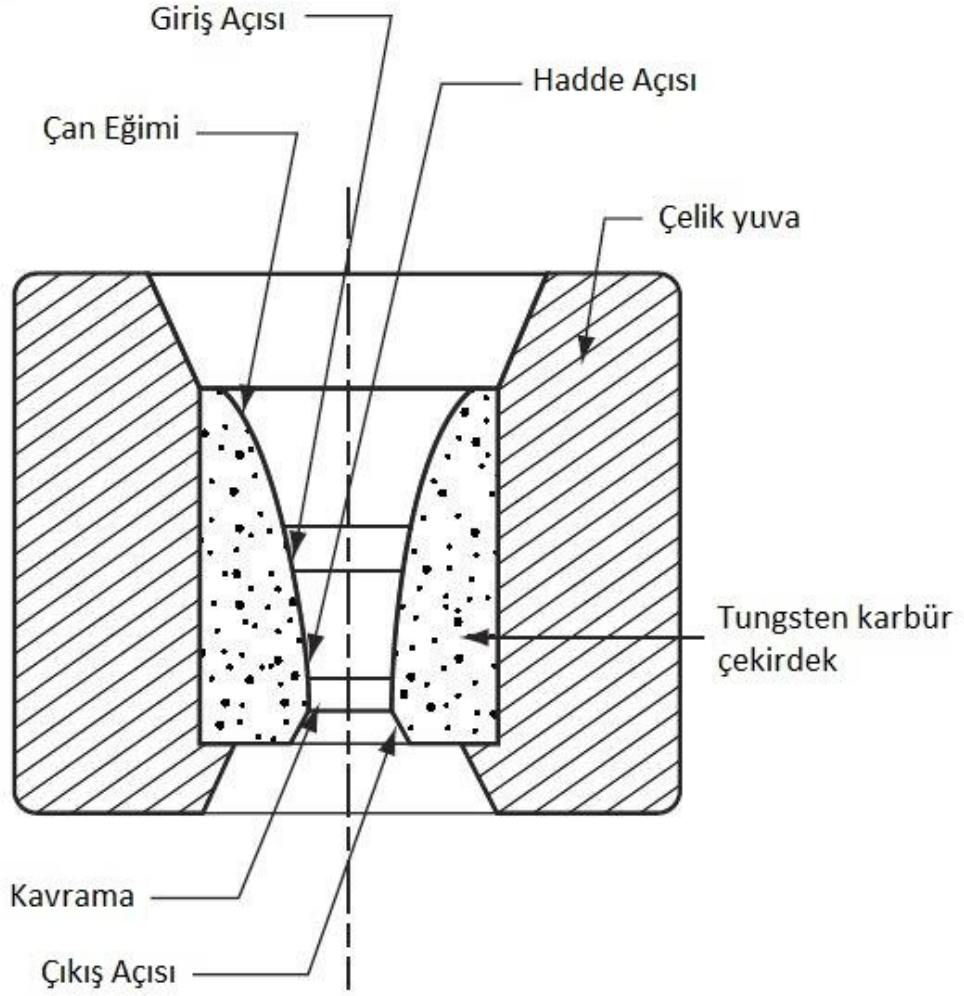
Tel çekmede kullanılan hadde malzemelerinin belli bir sürtünme kuvveti altında özelliklerini kaybetmeyecek kadar sert olması ve sıcaklık etkisi altında belli bir yüke dayanacak kadar da tok olması gerekmektedir. Buna dayanarak bir hadde malzemesinde; yüksek sertlik dayanımı, yüksek darbe dayanımı, yüksek aşınma dayanımı ve düşük sürtünme katsayısı olmalıdır.

Tel çekme işleminde tarihte bilinen ilk hadde malzemeleri doğada bulunan sert taşlardır. Teknoloji ilerleyip ihtiyaçlar arttıkça; dökme demir, takım çelikleri, karbür ve kobalt bileşimli haddeler ve elmaslar hadde malzemesi olarak kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde ekonomiklik ve kullanım ömrü göz önüne alındığında en çok tercih edilen hadde malzemesi tungsten karbür çekirdekli çelik haddelerdir [28] .

Tungsten karbür çekirdekli haddeler tungsten karbür ve kobalt kompozitlerinden üretilmiş olup 20. yüzyılda Almanya'da geliştirilmişlerdir. Haddedeki tungsten karbür taneleri birkaç mikrometre büyüklüğündedir. Kobalt ise ağırlıkça ortalama %25 oranında bulunur. Tungsten karbür parçacıklarının sertliği 2000 HV değerlerine kadar çıkmakla birlikte, haddelerin sertlikleri 600 – 1000 HV arasında değişmektedir. Bu sayede hadde, bir takım çeliğinin sünekliğini ve bir elmasın aşınma direncini bünyesinde barındırmaktadır [1,28].

7.2 Haddenin Kısımları

Bir hadde 5 ana kısımdan oluşur ve her birinin görevi farklı olup tel çekme işlemi işleminde büyük önem taşır. Telin çekilebilirliğini ve kaynak kabiliyetini büyük ölçüde etkileyen bu kısımlar Şekil 7.1'de gösterilmiştir.



Şekil 7.1 : Çekme haddesinin şematik görünümü [1].

7.2.1 Çan eğimi

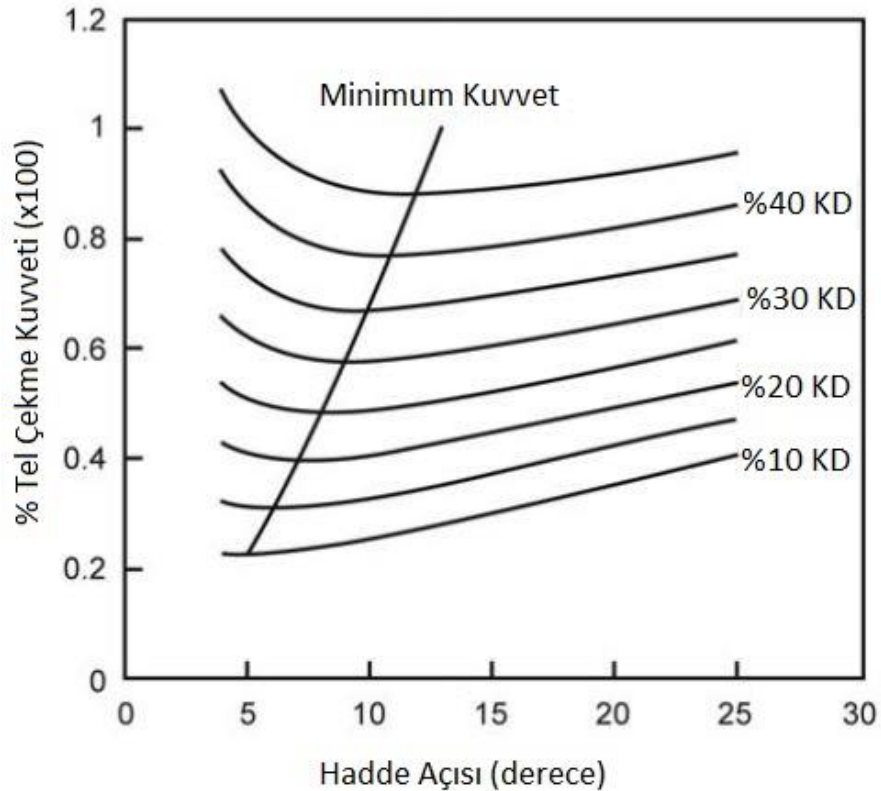
Gelen telin haddenin merkezine doğru yönlendirilmesini ve doğrusal olarak girmesini sağlayan kısımdır. Tel giriş açısına gelmeden önce bu kısma anlık olarak temas etmektedir [26].

7.2.2 Giriş açısı

Sabun akışının hadde açısı kısmına doğru yönlendirilmesini sağlar. Giriş açısı genellikle 60° ile 90° arasında değişirken, geniş ölçekli çekirdekler için uzunluk toplam uzunluğun $1/6$ 'sından, dar ölçekli çekirdekler için toplam uzunluğun $1/3$ 'üne kadar değişebilmektedir. Telin hasara uğramaması için giriş açısı kısmında hiç bir keskin kenar bulunmamalıdır [27,29].

7.2.3 Hadde açısı

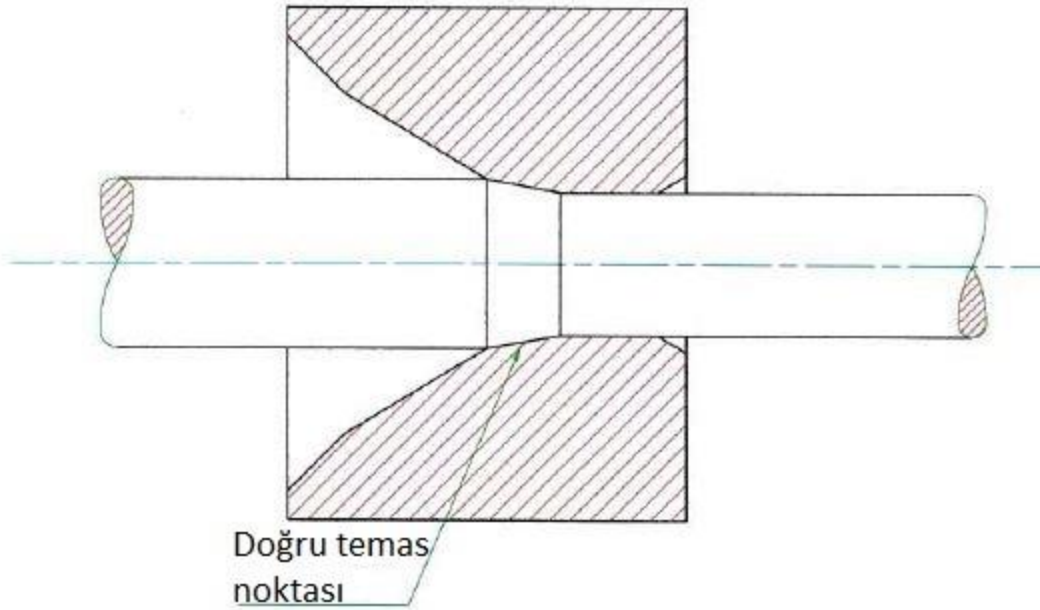
Telde nihai ürünün çapı, sabunun yüzeye sıvanması ve hadde ömrü büyük ölçüde hadde açısına bağlıdır. Hadde açısı bazı kaynaklarda yarı açı olarak da adlandırılmaktadır. Hadde açısının doğru seçimi, seçilecek malzemenin mukavemetinin aksine, telin nihai çapa indirilmesi sırasında kullanılacak paso sayısına bağlıdır. Aynı kesit daralmasına maruz kalacak tellerde paso sayısının artması ile hadde açısı artarken, paso sayısının azalması ile hadde açısı azalmaktadır. Hadde açısının farklı değerlerde olması tele uygulanan kuvveti de değiştirecektir [30]. Wistreich'ın yaptığı çalışmada elde ettiği veriler Şekil 7.2'de verilmiştir. Grafikten de görüleceği üzere herhangi bir kesit daralması için gerekli kuvveti en aza indiren uygun bir hadde açısı vardır. Aynı % kesit daralması için hadde açısı arttıkça uygulanması gereken kuvvet de artmaktadır. Uygun olmayan hadde açısı seçiminde ise gereksiz iş veya sürtünme kuvvetinin yaptığı iş ortaya çıkmakta ve nihai üründe sorun oluşturmaktadır. Hadde açısının uygun değerinin altında ayarlanması ile sürtünme kuvveti artarken, üstünde ayarlanması ile de gereksiz iş artmaktadır [16].



Şekil 7.2 : Hadde açısının kesit daralması değerlerinde çekme kuvvetine etkisi [16].

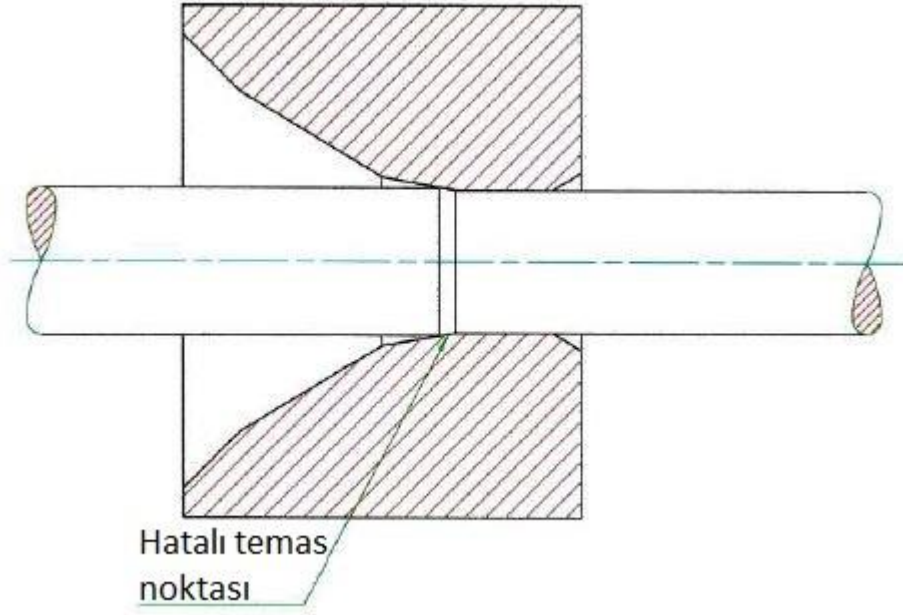
Bu verilere bağılı olarak kuru çekmede kullanılan çekme haddelerinde 16° ve sulu çekmede kullanılan çekme haddelerinde 12° 'lik açılar en uygun açılar olduğu görülmüştür [26].

Hadde açısının seçiminde en önemli etkenlerden birisi de temas noktasıdır. Haddede verilen pasoya bağılı olarak, tel hadde açısı kısmının ortasında veya mümkün olduğu kadar ortaya yakın bir noktada hadde cidarıyla temas etmelidir. Böylece; yeterli sabun akışı için gerekli basıncın oluşmasına ve telin mümkün olduğunca geniş bir yüzey üzerinde deforme edilmesi sağlanır. Şekil 7.3'de gösterilen temas noktası doğru seçilmiş bir hadde açısının sonucudur. Bu temas noktası seçildiğinde % kesit daralması, sabunun tel yüzeyine sıvanması ve harcanan işin optimum seviyede olması beklenir.



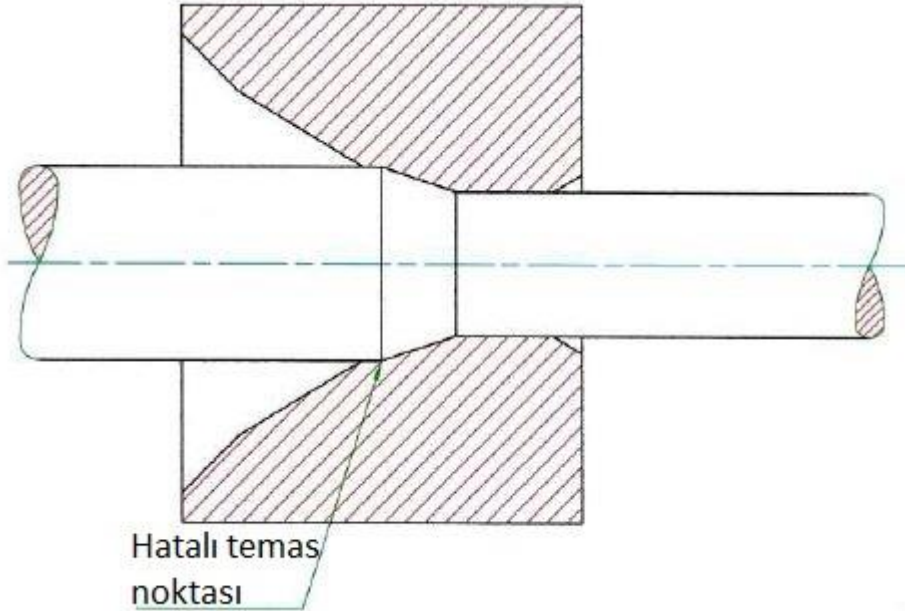
Şekil 7.3 : Doğru seçilmiş bir temas noktası [26].

Şekil 7.4'de ise hatalı seçilmiş bir temas noktası görülmektedir. Hadde açısı paso için çok büyük seçilmiştir ve telin deforme olduğu yüzey çok kısadır. Bunun sonucu olarak hadde kısa sürede büyür.



Şekil 7.4 : Hatalı seçilmiş bir temas noktası sonucu kısa yüzeyde deformasyon [26].

Şekil 7.5’de ise yine hatalı seçilmiş bir temas noktası görülmektedir. Paso için çok büyük seçilen temas noktası sonucunda tel hadde cidarına çok erken temas etmekte ve sabun akışı için yeterli basıncın oluşmasına izin vermemektedir. Bunun sonucunda sulu çekme işlemi için uygun olmayan yüzeyi parlak teller üretilmektedir.



Şekil 7.5 : Hatalı seçilmiş bir temas noktası [26].

7.2.4 Kavrama

Kavrama kısmı bazı kaynaklarda silindir olarak da adlandırılmaktadır. Bu kısımda çekilmiş telin çapının son kontrolü yapılır ve yüzey mümkün olduğunca homojen bir düzgünlüğe getirilir. Dolayısıyla, kavrama kısmında hadde yüzeyinin çok hassas olarak işlenmiş olması gerekmektedir. Haddenin normalden daha hızlı aşınarak büyümesini önlemek için, bu kısmın uzunluğu genellikle hadde çapının %35'i ile %50'si arasında tutulur [29].

7.2.5 Çıkış açısı

Konik şekilli bu kısmın amacı haddeden geçebilecek olan fazla sabun parçacıklarının haddeden uzaklaştırılmasını sağlamak, çekirdek içinde açığa çıkan ısıнын dağılmasını sağlamak ve hadde çekirdeğinin kırılmasını önlemektir. Ayrıca teli deforme eden kısmın ve hadde çekirdeğinin bütünüyle ortak merkezde kalmasına yardımcı olur [20].

7.3 Deformasyon Alanı ve Delta Faktörü

Telin çekme işlemi sırasında hadde duvarı ile ilk temas ettiği yerden, çıkış açısının başladığı yere kadar olan alana deformasyon alanı denir. Deformasyon alanı kavrama ve giriş açısı kavramlarını içinde barındırmaktadır. Telin üzerine sabunun sıvandığı, nihai yüzey ve çap özelliklerinin verildiği alan burasıdır. Deformasyon alanının uzunluğu (7.1) d_0 ilk çap, d_1 son çap ve α hadde açısı olmakla birlikte aşağıdaki gibi verilmektedir [1].

$$L_d = (d_0 - d_1) / (2 \tan \alpha) \quad (7.1)$$

Buna rağmen deformasyon alanı basit bir ikizkenar yamuk şeklinde yorumlanamamaktadır. Bu yüzden, deformasyon alanını karakterize ederken delta faktörü (Δ) kullanılır. En genel tanımı ile deformasyon alanı yüksekliğinin uzunluğuna oranı olarak tanımlanan delta faktörü (7.2) α radyan cinsinden hadde açısı ve r haddedeki kesit daralması oranı olmak üzere şu denklemlerle verilmektedir [31].

$$\Delta = \frac{\alpha}{r} [1 + \sqrt{1 - r}]^2 \quad (7.2)$$

Δ değerinin optimize edilmesi çekme sırasında karşılaşılabilecek sorunlar için büyük önem arz etmektedir. Δ değerinin 1'den düşük olması üniform olmayan metal akışına sebep olacaktır. Ayrıca yine düşük Δ değerlerinde sürtünme katsayısı artar ve tel çok ısınır. Bunun sonucunda yüzeyde bölgesel olarak ısı değişiminden kaynaklı sertleşmeler ve merkezde basma gerilmeleri sonucunda oluşan karga ayağı çatlakları (center bursting) görülür. Eğer telde sabun alma özellikleri çok iyi optimize edildiyse düşük Δ değerleri hadde ömrünün artmasını sağlar. Çünkü yüksek Δ değerlerinde haddeye uygulanan basınç arttığı için hadde ömrü kısalmıştır [1].

Çizelge 7.1'de farklı hadde açılı ve redüksiyon oranları için Δ değerleri görülmektedir. Pratikte 1,5 altındaki değerlerde çok tercih edilmezken, 1,5 – 3 arasındaki değerler idealdir ve 3'ün üstündeki değerlerden kaçınılmaya çalışılır [17].

Çizelge 7.1 : Farklı hadde açılı ve redüksiyon oranları için Δ değerleri [14].

Hadde Açılı	% Kesit Daralması							
	5	10	15	20	25	30	35	40
2	2,72	1,33	0,86	0,63	0,49	0,39	0,33	0,27
4	5,44	2,65	1,72	1,25	0,97	0,78	0,65	0,55
6	8,17	3,98	2,58	1,88	1,46	1,18	0,98	0,82
8	10,89	5,30	3,44	2,51	1,94	1,57	1,30	1,10
10	13,61	6,63	4,30	3,13	2,43	1,96	1,63	1,37
12	16,33	7,95	5,16	3,76	2,92	2,35	1,95	1,65
14	19,06	9,28	6,02	4,38	3,40	2,75	2,28	1,92
16	21,78	10,60	6,88	5,01	3,89	3,14	2,60	2,20
18	24,50	11,93	7,74	5,64	4,38	3,53	2,93	2,47
20	27,22	13,26	8,60	6,26	4,86	3,92	3,25	2,75

7.4 Hadde Serisi Dizaynında Etkili Olan Faktörler

Hadde serisi dizaynı tel çekme işlemi için en önemli olgudur. Nihai telin özelliklerinin optimum seviyede olması ve çekme işleminde yaşanan zorlukların minimuma indirilerek zamandan ve malzeme kaybından tasarruf edilmesi hadde serisi dizaynı ile doğrudan ilişkilidir. Hadde serisi dizaynında kaynak teli üretimi için

kabul edilen en basit ve etkili yöntem kesit daralması yöntemidir. Çekme makineleri her pasoda tele uygulanacak kesit daralması oranına göre dizayn edilmişlerdir.

Hadde açısının ve kesit daralmasının her hadde için aynı kalmasıyla birlikte sabit bir Δ değeri elde edilir. Bu değer belirleyicilerinden biri olan kesit daralmasının da her haddeye sabit olması telin her pasoda istenen standart çap değerlerinden olmasını sağlar [1].

Bazı durumlarda ise farklı redüksiyon oranları için Δ değerinin sabit kalması istenir. Δ 'nın uygun bir sabit değerde kalması yapılan işin cinsine, sabun kaplama modeline, haddeye etki eden basınca, tel merkezinde oluşacak gerilmeye etki edecek ve yüzeydeki istenmeyen deformasyonlarla karşılaşma riskini en aza indirecektir. Daha önce verilen Δ formülü yeniden düzenlenip aşağıdaki gibi yazılır (7.3) [1].

$$\alpha = r[1 + (1 - r)^{1/2}]^{-2} \Delta \quad (7.3)$$

Hadde serilerinin, optimum kesit daralması değerlerine göre dizayn edilmesinin yanında, bu kesit daralmasına maruz kalan tellerin, değişen çekme gerilmesi oranlarına hangi akma gerilmesi değerleri ile karşılık vereceği de önemlidir. Çapları daralan tellerde çekme dayanımı da düşecektir. Bunun için çekme gerilmesinin akma gerilmesine oranı hadde serisi dizaynında önemli bir olgu olmuştur. Bu oranın 0,7 değerinden az olması istenmekle birlikte, 0,6 değeri pratikteki maksimum değer olarak kabul edilmektedir. Bu oran; σ_d çekme gerilmesi, σ_{01} akma gerilmesi, N deformasyon sertleşmesi üssü, olmak üzere aşağıdaki şekilde ifade edilir (7.4). Bunun için değer her pasodan sonra tekrar ifade edilmesi gerekmektedir [1].

$$\sigma_d / \sigma_{01} = (N + 1)^{-1} [(3,2/\Delta) + 0,9] (\alpha + \mu) \quad (7.4)$$

Hadde serisi dizaynında önemli olan bir diğer faktör de telin balerin üzerinde kayması durumudur. Genellikle, hattında sensör olmayan kuru çekme hatlarında göz önünde bulunan bu faktörde tel hızının, balerin tel ile temas eden yüzeyine olan göreceli hızı hesaplanır. Bu iki hızın birbirine eşit olması zorunlu değildir ve buna bağlı olan % kayma oranının ayarlanması ile telin her haddede uzamasına bağlı olan farklı dönme hızları ayarlanarak kopma sorunlarının önüne geçilir. Bu durumda balerin hızı aşağıdaki formülle verilir (7.5) [1].

$$V_{balerin} = \pi D \omega \quad (7.5)$$

Telin $n + 1$. pasodaki hızı aşağıdaki denklemle ifade edilir (7.6) [1].

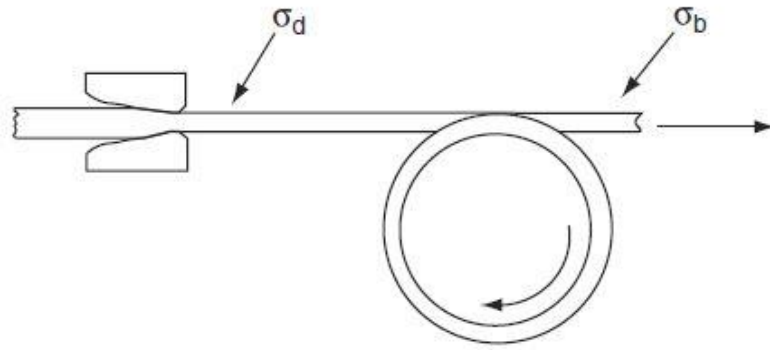
$$V_{n+1} = V_n / (1 - r) \quad (7.6)$$

Bir diğer önemli faktör olan % kayma oranı da aşağıdaki gibi formülize edilir (7.7) [1].

$$\% \text{ kayma} = 100(V_{balerin} - V_1) / V_{balerin} \quad (7.7)$$

Pratikte balerin hızı tel hızına eşitlenerek kayma oranı sıfıra indirilebilir. Ama kaymaya müsaade edilen uygulamalarda haddeden kaynaklanabilecek durumlara tel hızı daha çabuk adapte olacağı için telde istenmeyen yüzey özellikleri ve kopmalarla karşılaşılmaz. Çok az kayma oranlarında tel kopma riski varken, çok yüksek kayma oranlarında da yüzey özelliklerinin kötüleşmesi ve hadde aşındırma oranı artmaktadır [1].

Balerinden çıkan tele ters gerilme (σ_b) uygulanır (Şekil 7.6). Çekme gerilmesinin ters gerilmeye oranı telde kopma sorunlarının yaşanmaması açısından önemlidir ve bu oranın %40'ı geçmesi istenmez.



Şekil 7.6 : Çekilen tele uygulanan σ_d ve σ_b kuvvetleri [1].

Bunun için; N telin balerindeki sarım sayısı ve μ sürtünme katsayısı olmak üzere aşağıdaki şekilde formülize edilen bir yöntem ile σ_d 'nin σ_b 'ye oranı hesaplanır (7.8).

$$\sigma_d / \sigma_b = \exp(2 \pi N \mu) \quad (7.8)$$

8. FARKLI ETKENLERİN TEL ÇEKME İŞLEMİNE ETKİSİ

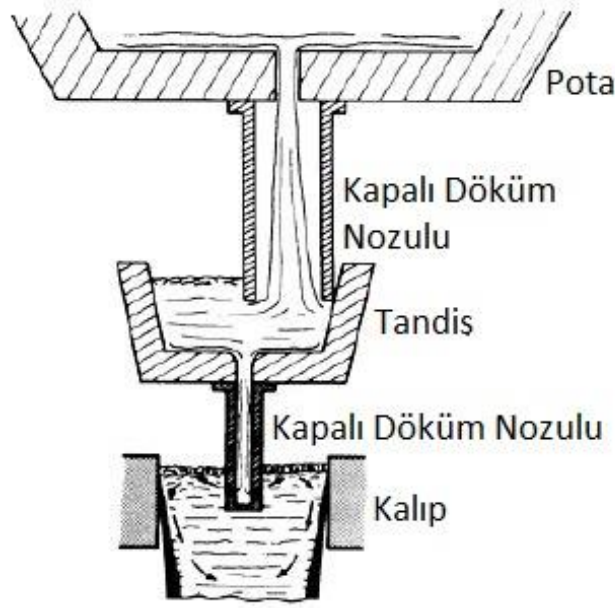
8.1 Cevher, Sünger Demir ve Hurdadan Kaynak Teli Kalitesinde Çelik Üretimi Arasındaki Farkların Tel Çekme İşlemi Üzerine Etkisi

Alman tedarikçilerden A tedarikçisi cevherden, B ise kendi tesislerinde ürettiği sünger demir ve hurdadan üretim yapmaktadır. Türk tedarikçiler de sünger demir ve hurdayı ortak olarak besledikleri karışımdan üretim yapmaktadır.

Demir cevheri ile üretim sayesinde; hurdadan üretime kıyasla kimyasal kompozisyonu 3Si1 ve 4Si1 kalite çeliğin şartname aralığına daha uygun ve daha az miktarda kalıntı element bulunduran bir çelik üretileceği kesindir.

8.2 Açık ve Kapalı Dökümün Farkı ve Bunların Soğuk Tel Çekme İşlemi Üzerine Etkisi

Ergiyik çelik sürekli döküm kalıplarına girmeden önce tandişe dökülür ve üzeri tandiş örtüsü ile kapatılır. Çeliğin, tandiştan sürekli döküm kalıplarına geçişi sırasında hava ile temasının kesilmesine kapalı döküm adı verilmektedir. Hava ile temasın kesilmesi kapalı döküm nozulu (SEN) adı verilen nozullar sayesinde olmaktadır (Şekil 8.1). Bu sayede yüksek sıcaklıklarda çeliğe afinitesi yüksek olan oksijen ve azot elementleri çelik bünyesine giremeyeceklerdir. Açık dökümde ise ergiyik hava ile temas halinde tandişe ve oradan da yine hava ile temas halinde sürekli döküm yolluklarına aktarılır ve bu nedenle bünyesine havadan oksijen ve azot girer.



Şekil 8.1 : Kapalı döküm işleminde ana elemanlar [7].

Bu nozullar grafit veya preslenmiş alüminadan yapılmaktadırlar ve tek parça halinde olmaları tercih edilir. Nozulların erozyon dayanımı yüksek olmalı, yüksek sıcaklığa ve ani sıcaklık değişimlerine dayanıklı olmalıdırlar [33]. Havadan bünyeye geçen oksijen ve azot, oksit ve nitrür inklüzyonları yapmaktadır.

8.3 3Si1 ve 4Si1 Kalite Çeliğinin Yapısında Bulunan Elementlerin Soğuk Tel Çekme İşlemine Etkileri

Kaynak teli kalitesindeki çelikte alaşım elementi olarak bulunan elementler C, Mn ve Si'dir. Bundan farklı olarak kalıntı elementler olarak tanımlanan elementlerin, 3Si1 ve 4Si1 için TS EN ISO 14341 standardında tanımlanan kimyasal kompozisyon aralıkları Çizelge 8.1'de gösterildiği gibidir.

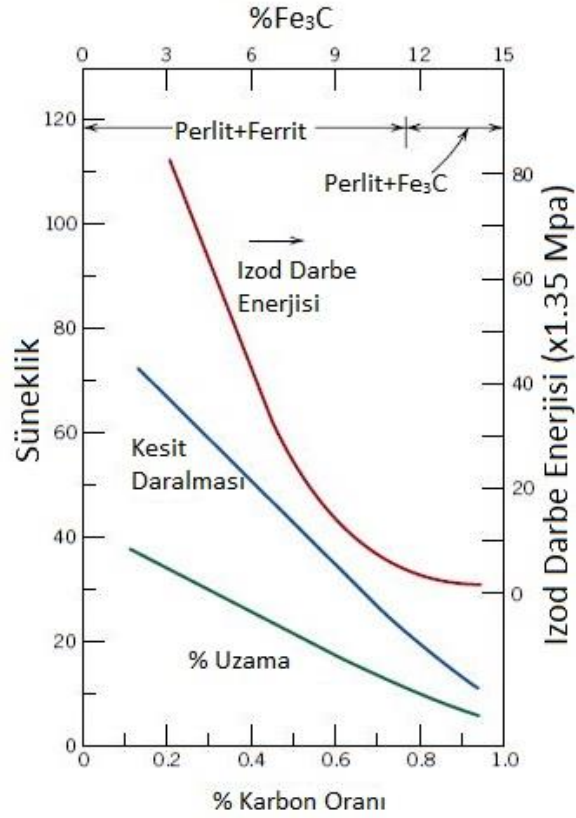
Çizelge 8.1 : TS EN ISO 14341 standardında elementlerin oranları (%ağırlık)

Kalite	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Cu	Al	Ti+Zr
3Si1	0,06- 0,14	0,70- 1,00	1,30- 1,60	0,025	0,025	0,15	0,15	0,15	0,03	0,35	0,02	0,15
4Si1	0,06- 0,14	0,80- 1,20	1,60- 1,90	0,025	0,025	0,15	0,15	0,15	0,03	0,35	0,02	0,15

* Tek değerler maksimum oranı temsil etmektedir.

8.3.1 Karbon

Karbon, çeliğin ana alaşım elementi olarak mekanik özelliklerinin belirlenmesinde en etkili rolü oynar (Şekil 8.2). Karbon oranının artması ile birlikte çelikte akma dayanımı, çekme dayanımı ve sertlik artarken, % kesit daralması, % uzama ve tokluk azalır. Tel çekme prosesi için en önemli değer olan % kesit daralması değerinin karbon oranı ile artması istenmeyen bir durumdur. Soğuk tel çekme için bu değer en az %79 değerinde olması istenmektedir.

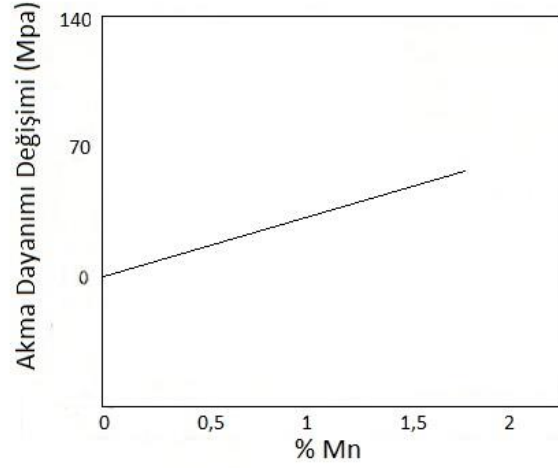


Şekil 8.2 : Karbon oranının çeliğin farklı mekanik özelliklerine etkisi [50].

8.3.2 Mangan

Mangan mekanik özellikleri iyileştirmesi amacıyla çeliğe alaşım elementi olarak ilave edildiği gibi temel alaşım elementi olarak da kendisini gösterir. Akma ve çekme dayanımlarında, toklukta, sertleşebilirlikte, kaynaklanabilirlikte ve sıcak şekillendirmede malzeme özelliklerini iyileştirir, sünekliği ise azaltır (Şekil 8.3). Sünekliği azaltmasının % kesit daralması değerinin azalmasına da etkisi olduğu için standartlardaki değerlerin dışına çıkılması istenmez. %3 Mn miktarına kadar, her %1 Mn için çekme dayanımı yaklaşık 100 Mpa kadar artar. %3-8 arası artış azalır. %8 den itibaren düşüş görülür. 3Si1 ve 4Si1 kalite filmaşinde sırasıyla %1,30-1,60 ve

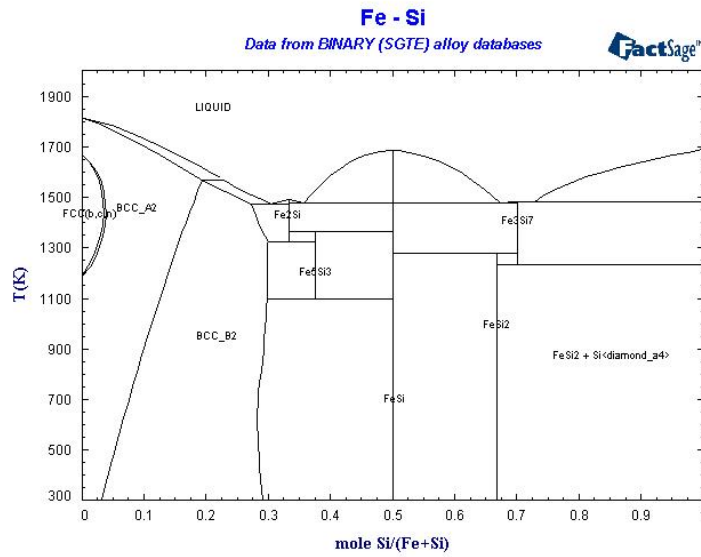
%1,60-1,90 oranları arasında bulunan manganın amacı dayanım değerini arttırmanın yanında, soğuk tel çekme sırasında sorun olarak karşılaşılabileceğimiz FeS oluşumunu engellemektir [34,35].



Şekil 8.3 : Mn oranının akma dayanımına etkisi [50].

8.3.3 Silisyum

Silisyum da mangan ve karbon gibi her çelikte alaşım elementi olarak bulunur. Fe – Si faz diyagramında (Şekil 8.4), 3Si1 ve 4Si1 kaynak teli kalitesindeki çelik için belirtilen aralıklara baktığımızda silisyumun demir içinde tamamen çözündüğünü görürüz. Silisyum, ferrit içerisinde tamamen çözünme özelliğine sahiptir ve bu sayede süneklik ve tokluğu düşürmeden dayanım ve sertliği arttırır. %0,8-0,9 aralığında Fe ile Si kübik hacim merkezli bir kafes oluştururlar.



Şekil 8.4 : Fe-Si diyagramı [51].

8.3.4 Kükürt

Kükürt elementi, otomat çelikleri haricinde istenen bir element değildir. Otomat çeliklerinde %0,3 oranında bulunurken, diğer çeliklerde oranının maksimum %0,06 olması istenmektedir. Otomat çelikleri takım çelikleri olarak kullanıldığı için bu yüksek oran talaş kaldırmayı kolaylaştırır ve sertliği arttırarak parçanın daha rahat şekillendirilmesini sağlar.

Yüksek kükürt oranının akma ve çekme dayanımına olumlu etkisi çok azdır ve sertliği arttırarak kopma, % uzama ve % kesit daralma oranlarını düşürür, bu da soğuk çekme sırasında sorun olarak karşımıza çıkar. Ayrıca; çelik soğumaya başladığında kükürdün demir içerisindeki çözünürlüğü düşer ve kükürdü bağlamak için başka elementler ilave edilmezse ötektik FeS bileşiği oluşturarak tane sınırlarında katılaşır [36].

8.3.5 Fosfor

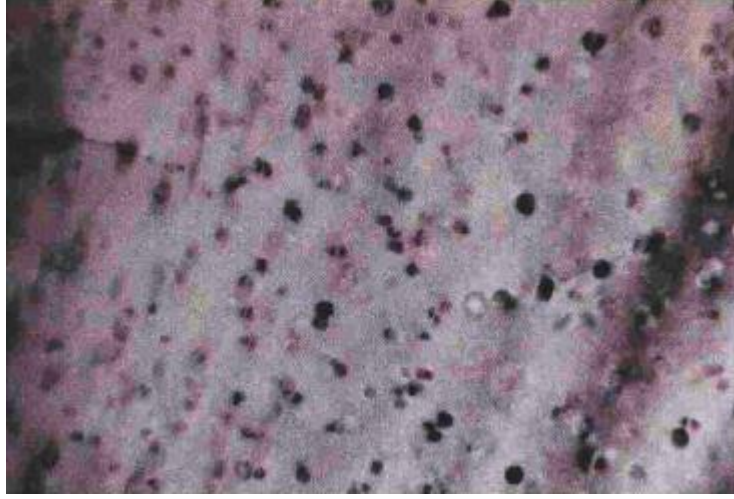
Demir-çelik üretiminde fosfor bazı uygulamalar haricinde istenmeyen bir elementtir. Fosforun alaşımlanarak kullanıldığı alan; özel çeliklerde ferrit tanelerinin dayanımını arttırmaktır ve bunun için özel çeliklerde belli bir oranda istenmektedir.

Özel çelikler haricinde ve özellikle düşük karbonlu düşük alaşımlı çeliklerde mümkün olduğu kadar minimum seviyeye indirilmesi istenir. Düşük alaşımlı çeliklerde fosforun yarattığı olumsuz etkiyi engelleyecek bir alaşım elementi bulunmadığı için milyonda bir (ppm) mertebesinde artışlar bile sünekliği düşürmekte ve dayanımı çok fazla arttırmaktadır [36].

8.3.6 Bakır

Bakır oranındaki ufak değişimlerin sıcak ve soğuk tel çekmeye olumsuz etkisi oldukça fazladır. Sıcak tel çekmede kangal üretimi sırasında Cu, çelik kütüğün çekme sıcaklığı olan 1200°C’de ergiyip Fe tane sınırlarında birikir ve çekme sırasında yüzeyde yırtılma ve boşluklara yol açar. Bunun nedeni bakırın ergime derecesinin 1084°C olmasıdır.

Yavaş soğutma yapılırsa da demir taneleri bakırı tane sınırlarına doğru atar ve bakır tane sınırlarında katılaşır (Şekil 8.5).



Şekil 8.5 : %1,53 Cu içeren çelikte 8-16 nm boyutunda çöken ϵ -Cu taneleri [37].

8.3.7 Hidrojen

Hidrojen; çeliklerde şekillendirme ve döküm sırasında istenmeyen bir element olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle döküm sırasında hidrojen boşlukları yapının içinde kalarak çeliğin mukavemetini azaltır. Bu boşluklar ile sürekli döküm sırasında karşılaşılması dahilinde haddeleme prosesi sırasında çatlaklar ve hatta kırılmalar oluşur. Filmaşinde kalan hidrojen kaynaklı boşluklar soğuk çekmede de aynı sorunlarla karşılaşılmasına neden olur.

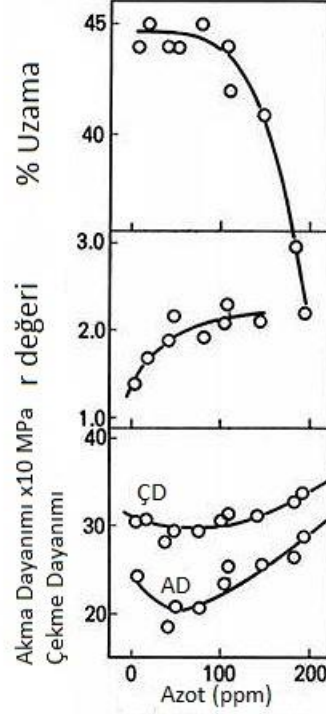
Hidrojenin demir kafesinde çözünabilirliği sıcaklığın düşmesiyle azalmaktadır. Çözünmeyen hidrojen atomları da yapıları gereği H_2 formunda bulunmak isteyeceklerdir ve bunun için birleşerek büyüyen atomlar tane sınırlarını zorlarlar ve çatlama neden olurlar [38].

8.3.8 Azot

Çelik üretiminde azot; ergitme, pota fırını, hava ile temas ve döküm operasyonları başta olmak üzere birçok kaynaktan gelmektedir ve tüm çelikler yapılarında azot bulundurulur. Azot çelikte çok ince taneli nitrürler halinde kalabilirse mekanik ve korozyona dayanım özelliklerini arttırırlar. Östenitik veya özel olmayan çeliklerde azot oranının belli bir seviyenin altında olması istenir. Çünkü bu çeliklerde azotu bağlayacak kadar fazla alaşım elementi yoktur ve azot mekanik özelliklerde düşmeye sebep olur [50].

Şekil 8.6'da görüldüğü üzere % uzama değeri azot oranı ile düşmektedir. % uzama 3Si1 ve 4Si1 kalite filmaşinler için önemli bir değerdir ve % uzamanın yüksek

olması istenir. İkinci grafikte görüldüğü üzere r değeri artmaktadır. Bu değer şekil alabilirliğin tersini ifade eden bir değerdir ve yüksek azot oranı çeliklerin soğuk çekilebilirliğine etki eder [50].



Şekil 8.6 : Azot oranının akma dayanımı, r değeri ve % uzamaya etkisi [50].

8.3.9 Oksijen

Çelik içerisinde oksijenin minimum seviyede olması istenir. Bunun sebebi FeO bileşikleri yapmasıdır. Çelikte kalmış FeO bileşikleri metalik bağlarla bağlanmazlar ve ayrı olarak kristalleşirler. Bu durumda da ferrit ve perlit yapılarının yanında bir de tane sınırlarında FeO bulunur ki bunlar soğuma esnasında yapıdan uzaklaştırılmazlar, çok sert ve kırılgandır [39].

9. İNKLÜZYONLARIN SOĞUK TEL ÇEKME İŞLEMİNE ETKİSİ

İnklüzyon; oksit, sülfür ve silikat bileşiklerinin, katılaşma sırasında oluşan veya katı metal içinde katılaşma sonucunda oluşan empüritelerin partikülleridir. İnklüzyonlar, çelik içindeki safsızlıklar olarak tanımlandığından çelik temizliğine olumsuz etki ederler. Gaz ile karıştırma ve cüruf kontrolü yolları ile inklüzyon sayısı azaltılabilmekte, morfolojileri değiştirilebilmekte ve bu sayede olumsuz etkileri azaltılabilmektedir [40]

Dış kaynaklı inklüzyonlar, sıvı çelik içerisinde, yabancı maddelerin sıkışması ile oluşan metal dışı bileşiklerdir. İç kaynaklı inklüzyonlar ise demir içerisinde çözünmeyen, metalik olmayan fazların katılaşma veya katılaşmadan sonra, katılaşmadan önce veya katılaşma sırasında katılaşan kalıntı oksijenle birleşmesinden oluşan doğal çökeltilerdir. İç kaynaklı inklüzyonlar tip ve kalınlıklarına göre ASTM E45'e göre A, B, C ve D olarak 4 sınıfa ayrılırlar [41].

İnklüzyonlar, çelik içerisinde genellikle katı fazda bulunurlar. Döküm aşamasında herhangi bir şekilde çelik içerisinde hapsolan inklüzyonlar, çeşitli şekil, bileşim, yoğunluk ve miktarlarda bulunabilirler. İnklüzyonlar, mekanik özelliklerinin ve termal genleşme katsayılarının çelikten farklı olması sebebi ile tel çekme işlemine olumsuz etki ederler. Çeliğin yüzey özellikleri, tokluk, derin çekme, kopma ve yorulma direncini büyük oranda düşürürler. Günümüz teknolojisi ile inklüzyonsuz çelik üretimi mümkün olmamakla birlikte, üretim aşamasında uygulanan çeşitli prosesler ile bunların etkilerini azaltılır, modifikasyona uğratarak zararsız hale getirilir. Temiz çelik uygulamasında genellikle 20 µm ve küçük inklüzyonlarla ilgilenilmektedir. Boyut haricinde bu inklüzyonların kimyasal yapısını ve özelliklerini saptamak da çok önemlidir [41].

9.1 İç Kaynaklı İnklüzyonlar

Çelik üretimi sırasında reaksiyon etkisiyle oluşan inklüzyonlar iç kaynaklı inklüzyonlardır. Al ile söndürülmüş çeliklerde Al_2O_3 , Mn ve Si ile söndürülmüş

eliklerde ise SiO_2 veya MnO.SiO_2 'dir. MnS , AlN ve çeşitli karbürler de dökümün soğuma ve katılaşması sırasında oluşurlar. İ kaynaklı inklüzyonlar her zaman oksijen giderici ve deoksidan miktarı ile denge halindedir. Ayrıca, kullanılan deoksidan tipine bağlı olarak sıvı veya katı fazda olurlar. Sürekli dökümle dökülen bütün çelikler oksitli inklüzyonları içermektedir.

9.2 Dış Kaynaklı Inkl zyonlar

Dış kaynaklı inklüzyonlar; refrakter erozyonu ve cüruf sıkışması gibi çeliğin dışından kaynaklanan ve bunlardan biri veya her ikisinin elementlerini içeren kompleks oksitlerdir. Dış kaynaklı inklüzyonların oluşumları cüruf-metal ara yüzeyindeki türbülans veya dökümü yapılan elik ve refrakter arasındaki uygunsuzluklarla ilgilidir. Dış kaynaklı inklüzyonlar sıvı veya katı formdadırlar. Sıvı inklüzyonlar, cüruftan gelen veya cüruf ve çeliğin refrakter ile reaksiyonu sonucu oluşan reaksiyon ürünleri oldukları için sıvı formda, katı inklüzyonlar ise termal çok veya aşınma gibi sebeplerle refrakter hasarı sonucu oluştuklarından katı formda karşımıza çıkarlar. Boyutları 20 – 50 μm arasında değişir [41].

Sürekli dökümle üretilen çeliklerde 20 – 150 μm arasındaki inklüzyonların miktarı arttığında çeliğin temizlik problemi artar. Bu tür büyük boyutlu inkl zyonlara elik banyosunun yeniden oksitlenmesi, uygun olmayan karıştırma, cüruf sıkışması veya refrakter erozyonu sebep olmaktadır. Amaç 4 μm 'dan küçük çaplı en az inkl zyonlu söndürülmüş elik üretmektir [42].

Söndürülmüş elik deokside edilmiş anlamına gelmektedir. Tamamen söndürülmüş çelikte oksijen oranı 2 – 4 ppm mertebesindedir. Çelikte oksijen çözünmemiş halde FeO şeklinde veya oksit inklüzyonları halinde bulunur. Serbest halde bulunmaz. Katılaşma sırasında bu FeO tane sınırlarına giderek film oluşturur ve kırılganlık yapar. Bu da soğuk tel çekme için istenmeyen bir durumdur. Bunun için deoksidasyon uygulanması gerekmektedir. Deoksidasyon işlemi ikincil metalurji işlemi olup deoksidanlar ve ardından vakum gaz giderme ile gerçekleştirilir. Sadece deoksidan ilavesi inklüzyon giderilmesi için yeterli değildir, vakum gaz giderme ile bu inklüzyonların cürufa geçirilip yüzdürülmesi gerekmektedir. Deoksidan ilavesi inklüzyonların morfolojisinin istenen şekilde ayarlanmasına yardımcı olur [42].

İnklüzyonlar sıcak haddeleme sırasında çelikten daha farklı şekillerde deforme olurlar. Bu deformasyon çeşitleri 4 başlık altında şu şekilde sınıflandırılmıştır;

- Sıcak haddeleme sırasında kırılan kırılğan inklüzyonlar
- Deformasyona uğramayıp haddeleme yönüne göre dizilen inklüzyonlar
- İnklüzyon giderme yöntemi ile kontrol altına alınmış ve etrafındaki kabuk sayesinde çok az deforme olabilen inklüzyonlar
- Deforme olabilen sünek inklüzyonlar

Oksitli inklüzyonların miktarı deoksidasyon uygulamalarındaki gelişmeler ve yeniden oksitlenmenin önlenmesi ile azaltılmaktadır. Oksitli inklüzyonlar serttir ve haddeleme yönünde uzamalarına rağmen ısı işlem ile deforme olmazlar [43].

9.3 3Si1 ve 4Si1 Kalite Filmaşinde Görülebilecek Önemli İnklüzyonlar

9.3.1 Sülfürler

Sülfür kalıntılarının biçimi en çok şekil verilebilme özelliğini etkiler, sülfür türü ise çeliğin haddeleme yönüne dik yönde çatlama, kırılma ve çeliğin sıcak şekillendirilmesi sırasında kalıntıların bozunuma uğramalarını etkiler. Kalıntıların boy uzamaları çeliğin boyuna dik yöndeki tokluğunu düşürür. Sülfür kalıntıları içeren çelikler 1400⁰C civarında ısıtıldıklarında, sülfür kalıntılarının kısmi erimesi başlar ve böylece oluşan kükürt içeriği yüksek olan östenit tane sınırları boyunca ince bir zar oluşturur. Bunun soğuyup, katılaşması süresinde tane sınırlarında 2. tip MnS çöker. Bu oluşum çeliğin tokluğunu en düşük seviyeye indirir. Kalıntılar; çevrelerinde oluşturdukları boşluklar ile sünek kırılma ve ayrılma oluşumu ile gevrek kırılmaya yol açarlar. Kalıntıların en tehlikelileri iri ve köşeli olanlarıdır. Özellikle tel çekiminde kılcal çatlaklıklara yol açarlar ve kılcal çatlaklar kopma sorunlarına yol açarlar [41].

9.3.1.1 Mangan sülfür (MnS)

Sürekli döküm yöntemi ile dökümü yapılan çeliklerde sülfürler çoğunlukla ve en basit formlardan olan MnS şeklinde görülürler. 3Si1 ve 4Si1 kalite filmaşinde sıklıkla görülen mangan sülfürler sıcak haddeleme şartları altında plastik özellik gösterirler, uzarlar ve yassılaşırlar. Büyük çapta uzamış MnS inklüzyonları, şekillendirme sırasında küçük parçalara bölündüğü için küçük şekilli inklüzyonların

sıklığı büyük miktarda artmaktadır. Sülfür türlerinin oluşumu çeliğin oksijen içeriğine bağlıdır ve alüminyumun önemli bir rolü vardır. Deoksidant olarak Al oranı arttıkça 1. Tip MnS kalıntılarından, 2. ve 3. tip kalıntılara doğru bir değişme olur. Uygun oranda Mn ve S arttıkça MnS oranı da artar [44].

Mangan sülfürler 3 şekilde bulunurlar. 1.tip MnS Katılma sırasında çelik oluşumunun bir fonksiyonu olarak oluşan iç kaynaklı inklüzyonlardır. Küreseldirler ve çelikte %0,01 üzerindeki oksijen seviyelerinde oluşurlar. En az deforme olan türdür. Yalnızca yüksek haddeleme sıcaklıklarında deforme olurlar. Bu tip inklüzyonlar 3Si1 ve 4Si1 kalite çelikte bulunurlar [41,44].

2.tip MnS'ler tamamen söndürülmüş çeliklerde bulunurlar ve bu yüzden sürekli dökümü yapılan çeliklerin çoğunda vardır. 1. tipten daha yumuşaktırlar. Sıcak haddeleme sırasında, haddeleme doğrultusunda dizilirler ve sülfürler boyunca çatlamlar olur. Ayrıca 2. tip MnS'ler Nb elementi ilavesi ile 3. tipe dönüştürülürler. Özellikle köşebent kaynağında kullanılan çeliklerin performansını bozmaktadır. Ayrıca kesit daralma oranı arttıkça MnS'lerin de boyu artacak ve mekanik özelliklerde düşüşler görülecektir. Bu yüzden tamamen söndürülmüş çeliklerde en yüksek %S oranı 0,005 olması istenir. 3Si1 ve 4Si1 kalite filmaşın tamamen söndürülmüş çelik sınıfına girmemektedir. Bu yüzden, 2. tip MnS olacağı düşünülmemektedir [41,44].

3.tip MnS'ler Al ile söndürülmüş çeliklerde interdendritik katı partikül halindedirler ve çok iyi şekil alırlar. Çeliğin Nb içeriği arttırıldığında 2.tip MnS'ler, 3.tip MnS'e dönüşürler. Bunlar FeS ile birlikte bulunurlar. Bu durum sülfürlerin yerel olarak yüksek konsantrasyonuna sebep olduğundan, iç çatlaklardan sakınmak için uygun şerit mikroyapısı elde etmek amacıyla sülfürler üniform olarak dağıtılmalıdır. Bunu yapabilmek için sürekli dökümde rollar arasındaki eğriselliği ve slab köşelerinin aşırı soğumasını önleyerek, yavaş ve sabit hızda döküm yapılmalıdır. 3Si1 ve 4Si1 kalitede filmaşınlerde görülen MnS inklüzyonu 3. tip inklüzyondur [41,44].

Pratikte çok az da olsa MnS'e bağlı FeS görünmektedir. Bunlar (Fe, Mn)S şeklinde gösterilirler. Fakat kükürdün mangana ilgisi demirden yüksektir ve bu nedenle kükürt önce mangan ile bileşik yapmak ister. $Mn/S > 40$ ise kükürdün tamamına yakınının mangan ile bileşik yaptığı varsayılır. 3Si1 ve 4Si1 kalite filmaşinde de bu oranlar

sırası ile ortalama olarak 100 ve 115 değerlerinde olduğu için MnS inklüzyonları görülür.

9.3.1.2 Kalsiyum sülfür (CaS)

CaS, Ca prosesi ile oluşan dış kaynaklı inklüzyondur. Ca prosesinden sonra S'ün tam modifikasyonunu gerçekleştirmek için S değeri 50 ppm'den düşük olmalıdır.

CaS iki durumdan dolayı çelikte bulunur. Bunlardan ilki çeliğin dökülebilirliğini artırmak, ikincisi ise inklüzyonların modifiye edilerek çelikten uzaklaştırılmasını sağlamaktır. 1. durumda Ca prosesinin esas amacı, mevcut alüminayı döküm sıcaklığında sıvı olan kalsiyum alüminata çevirmek ve böylece nozul tıkanma problemini önlemektir. 2. durumda ise Al_2O_3 ve MnS'i $CaO.Al_2O_3$ ve CaS'e dönüştürmek ve böylece inklüzyonları uzaklaştırarak mekanik özellikleri artırmaktır. Ca çeliğe tel halinde (wire feeding) veya potaya saf Ca tozları ara ara püskürtülerek (şutlama) verilir. S oranının 50 ppm'den az olması Ca prosesi ile inklüzyonları yüzdürmek için maksimum sınırdır.

9.3.1.3 Titanyum sülfür (TiS)

Titanyumsülfür oluşumu için Ti oranı 3Si1 ve 4Si1 kalite filmaşın için yeterli değildir. Bu yüzden TiS görülmemektedir. TiS inklüzyonuna özel çeliklerden olan IF çeliklerinde rastlanır [41].

9.4 Oksitler

Oksitlenme, metalurjik işlemler devam ederken, sıvı çeliğin toplam oksijen düzeyinin Fe ile reaksiyona girmesi sonucu oluşur. Çelik içinde çözülmüş bazı elementlerin atmosfer, refrakter ve cüruftaki oksitler ile reaksiyona girmesi sonucu da oksijen oranı artmaktadır. Yani oksitlenme bir iç kaynaklı inklüzyon olarak değerlendirilir. Yeniden oksitlenme ile oluşan oksitler yarattığı büyük boyutlu inklüzyonlar soğuk çekme işleminde karşılaşılan kopma sorunlarının en büyük nedenlerindendir. Ayrıca alaşım ve deoksidasyon ürünlerinin kaybına, inklüzyonda şekil kontrolünün kontrol edilememesine, dökümde gaz boşluğu oluşumuna, çeliğe oksijen transferinin ise refrakterin bozulmasına neden olduğu için pota ve tandiş refrakter ömürlerinin azalmasına ve akışı kontrol nozulların tıkanmasına neden olur [41,45].

9.4.1 Alümina (Al_2O_3)

Dökümü yapılan çeliklerin çoğunluğu Al ile söndürülmektedir. Alümina deoksidasyon ve yeniden oksitlenme proseslerinden gelmektedir. Ana problem ise çeliğin, tandişe potadan açık döküm ile yapılmasından dolayı yeniden oksitlenmesidir. Akışa ara verilmesi ve tandişe düşme yüksekliği yeniden oksitlenmeyi arttıran büyük faktörlerdir. Alümina oranını azaltmak için kapalı döküm nozulu (SEN) kullanımı çok yaygındır ve şu ana kadar verimli olarak kabul edilen tek yöntemdir [33,41,45].

Son üründe filmaşın çapı incelidikçe alüminanın verebileceği hasar daha belirgin hale gelir ve belirli bir seviyeyi aştığında yırtılmalar olur. Alüminaya ilaveten uzamış (Mn, Fe)S ve kompleks oksitler mekanik özellikleri düşürürler. Plastisite veya kesit daralması oranı arttıkça çatlama eğilimi artar. Alüminanın bu olumsuz etkisini ortadan kaldırmak için de Ca prosesi ile kalsiyum alüminat ($\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$) oluşturarak olumsuz bu etki azaltılmaya çalışılır [41,45].

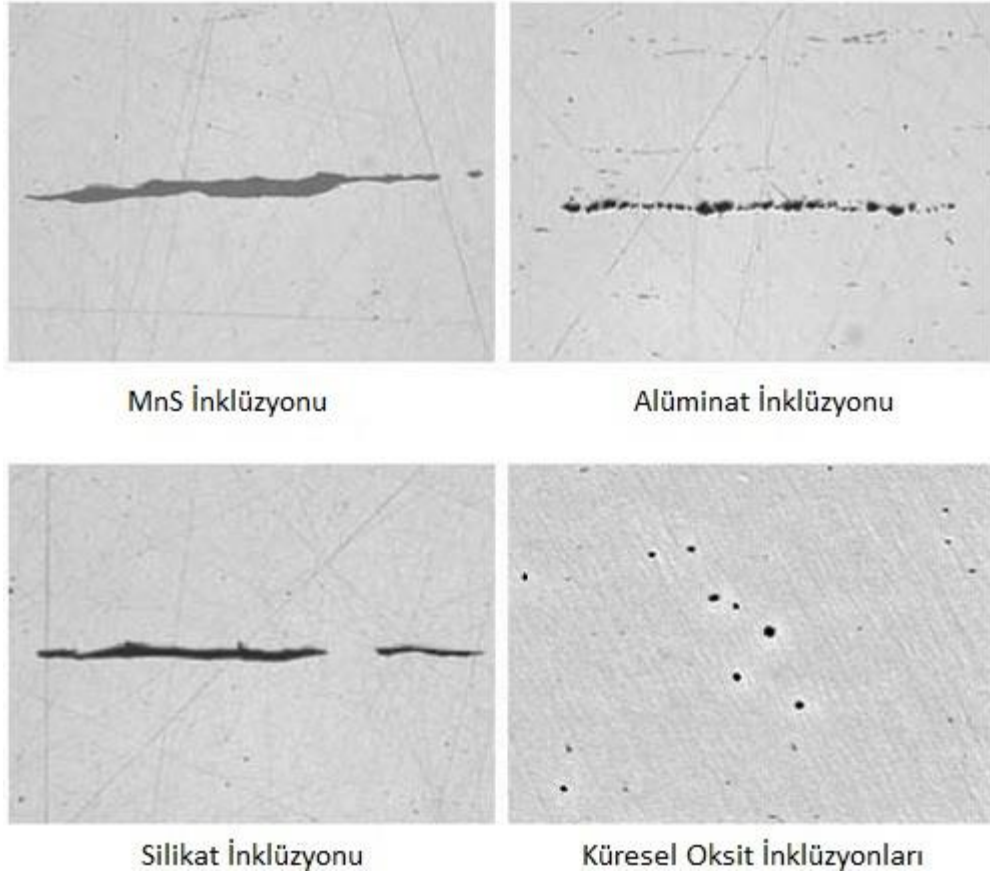
Düşük tandiş sıcaklıkları inklüzyonun yüzdürülmesini zorlaştırır. Alümina oluşumunu engellemek için, vakumda gaz giderme yöntemi ile inklüzyonlar yüzdürülür veya yüksek alümina absorpsiyonlu cüruflla pota fırını prosesine tabi tutulur [41,45].

9.4.2 Kalsiyum alüminatlar ($\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$)

Çelikteki kalsiyum alüminatların iki ana kaynağı vardır. İlki; döküm sırasında alüminatın çeşitli cüruflarla etkileşimi, ikinci ise kaynak Al_2O_3 'ün $\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$ 'a, MnS'ün CaS'e dönüştürüldüğü Ca prosesidir. Çelikteki Al ve bazik oksijen fırınından döküm sırasında potaya kaçan yeni silika arasında oluşan reaksiyon kalsiyum alüminatı oluşturur [41,45].

Bindirme süresince pota değişiminde, pota cürufu tandişe girdiğinde Al ile tandiş cürufunun redüksiyonu sonucu kalsiyum alüminatlar oluşmaktadır. Bu problemin çözümünden birisi set kullanımı ile tandişte çeliğin minimum kalma süresini uzatarak, inklüzyonların çelikten ayrılma potansiyelini artırmaktadır. Dış kaynaklı inklüzyonların ana kaynakları; pota cürufu, pota refrakter kırıntısı, düşük tandiş çelik seviyeleri, kalıp tozu ve türbülans bölgesinden tandiş cürufunun kaçması nedenli safsızlıklardır [41,45].

Kalsiyum alüminatların C2A ve CA6 iki tipi vardır. Bunlar çelik döküm sıcaklığında katıdırlar ve tıkanmaya sebep olurlar. Mn-Si-Al ile söndürülmüş çeliklerde Al %0,005-0,008 oranlarında ise tandış nozulunda tıkanmalara sebep olur [41,45]. 3Si1 ve 4Si1 kalite filmaşinde görülebilecek bazı inklüzyonlar Şekil 9.1’de verilmiştir.



Şekil 9.1 : 3Si1 ve 4Si1 kalite filmaşinde görülebilecek bazı inklüzyonlar [50].

9.5 Nitrürler

Sıvı çelikte mevcut olmalarına rağmen katı fazda inklüzyon olarak çökerler [41]. Fakat bunun için gerekli olan N bağlayıcı elementlerden Ti, B, Zr elementleri oranı 3Si1 ve 4Si1 kalite filmaşinde yeterli olmadığı için nitrür inklüzyonları görülmemektedir.

9.6 Inklüzyonların Telde Kopma Sorununa Etkisi

Soğuk tel çekme işleminde kopma sorunlarının en önemli sebebi inklüzyonlardır. Metal-inklüzyon sistemi bir kompozit malzeme gibi düşünülebilir ve bu sistemde metal matris olarak, inklüzyonlar da matris dağılmış taneler olarak görülür. Bu göz

önüne alındığında inklüzyonların şekli, dağılımı, hadde yönüne göre dizilimi ve mekanik özellikleri çekme performansını etkileyecektir [46].

Deforme olmayan inklüzyonlar oksit inklüzyonları ve FeS inklüzyonudur. Sert olan bu inklüzyonlar sıcak haddeleme ve soğuk tel çekme sırasında deforme olmazlar ve kopma sorunlarına yol açarlar. Kırılmayan bu inklüzyonlar tel çekme işlemi devam ettikçe teldeki kesit daralmasından dolayı telin dışına yaklaşmaktadırlar. Tel yüzeyine yaklaşan bu inklüzyonlar boyut ve uzama yönlerine göre kopmalara yol açarlar. Çekme doğrultusuna dik olarak yönlenmiş inklüzyonlarda kopmalar daha sık görülmektedir.

Yatay doğrultuda ise inklüzyonun büyüklüğünün yanında dağılım faktörü de ortaya çıkmaktadır. Özellikle küçük boyutlu inklüzyonlar için aynı doğrultuda dağılım arttığından kopma sorunları daha çok görülecektir [46].

Aynı tür inklüzyonları göz önüne aldığımızda ise inklüzyon boyutu arttıkça kopma sorunu daha çok görülecektir. Inklüzyon boyutu arttıkça telin o bölgesinde inklüzyondan kaynaklanan mukavemet azalması artacaktır. Çeşitli çelikler için izin verilen maksimum inklüzyon boyutları Çizelge 9.1’de verilmiştir [42].

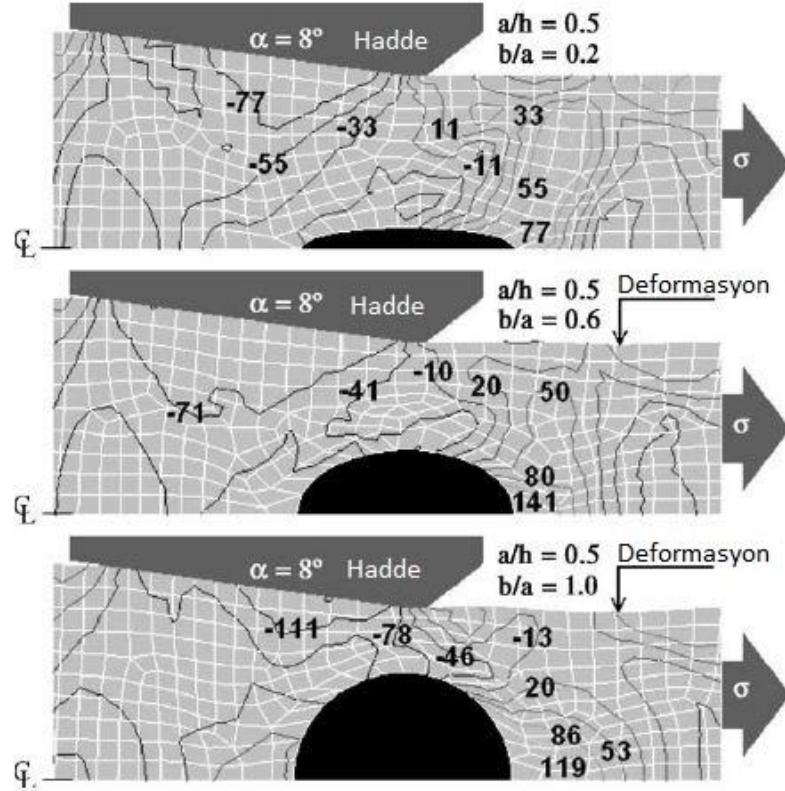
Çizelge 9.1 : Çeşitli çelikler için önerilen maksimum inklüzyon boyutları [42].

Çelik Ürün	Maksimum Inklüzyon Boyutu (µm)
Otomotive ve derin çekme çelikleri	100
Konserve ürünleri	20
Boru ürünleri	100
Bilyalı rulman	15
Lastik telleri	10
Tel ürünleri	20

Inklüzyonlar haddeleme sırasında kuvvetin etkisine dayanamaz ve çatlak başlatıcı olarak rol oynarlar. Bu çatlak, çekme işleminin de etkisiyle büyür ve mukavemeti azaltarak kopma sorununa yol açar. Bu yüzden, kopan tellerde tipik çatlak görüntüleri tel yüzeyinde görülebilmektedir.

İnklüzyon miktarının artması ile soğuk şekillendirme ile üretilmiş malzemelerde süneklik ve tokluk azalmaktadır. Küçük kesitli malzemelerde daha çok görülen bu durumda, inklüzyon bölgesinde gerilme değerlerinde artışlar görülmektedir.

İnklüzyonlu alan haddeden geçerken, inklüzyona bağlı olarak görülen orantısız uzama, inklüzyonun önünde veya yakınlarında inklüzyon yarıçapının tel yarıçapına oranına bağlı olarak artmaktadır. Buna bağlı olarak bu alandaki gerilme değerleri de artacaktır. Gerilmedeki artışı taşıyamayacak kesitteki tellerde de kopma görülmektedir. Şekil 9.2’de gerilme değerlerinin; b inklüzyon yüksekliğinin yarısı, a inklüzyon yarıçapı ve h tel yarıçapı olmak üzere, b/a değerine bağlı olarak arttığı görülmektedir [46].



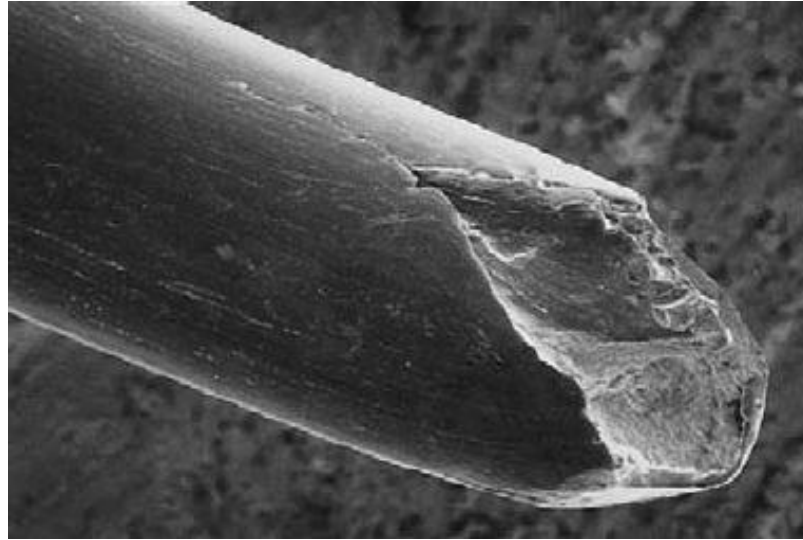
Şekil 9.2 : Gerilme değerlerinin b/a değerine bağlı olarak artışı [46].

10. KOPMA T RLER 

Üretim süreci boyunca toplamda 4 farklı kopma türü tespit edilmiştir. Bu kopma türleri noktasal inklüzyon kaynaklı kopma, bölgesel inklüzyon kaynaklı kopma, delaminasyon kopması ve boyun vererek kopma olarak tanımlanmıştır.

10.1 Noktasal  inkl zyon Kaynaklı Kopma

Bu kopma türü i  veya dış kaynaklı inklüzyonlardan kaynaklanmaktadır. 4 ayrı tedarik ide de görülen bu kopma türünde inklüzyon, literatürde belirtilen en büyük inklüzyon boyutu olan 20  m'dan büyük veya çok yakındır. Bu durumda uzamayan inklüzyon telde o bölgede mukavemetin düşmesine sebep olur ve inklüzyon çatlak başlatır. Bu  atlak, üzerine gelen kuvvete karşı telin mukavemetini düşürür ve kopmaya sebep olur (şekil 10.1).



şekil 10.1 : Noktasal inklüzyon kaynaklı kopma [1].

10.2 Bölgesel  inkl zyon Kaynaklı Kopma

Bu kopma türü iç kaynaklı inklüzyonlardan kaynaklanmaktadır. 4 ayrı tedarik ide de görülen bu kopma türünde inklüzyonların oksit inklüzyonları olduğu görülmüştür. Bu kopmanın en belirleyici etkeni olarak açık ve kapalı döküm gösterilir. Tedarikçi

C'den gelen açık ve kapalı döküm takip edildiğinde bu kopma türüne kapalı dökümde hiç rastlanılmadığı görülmüştür. Bunun sebebi açık dökümde çeliğin bünyesine giren oksijendir.

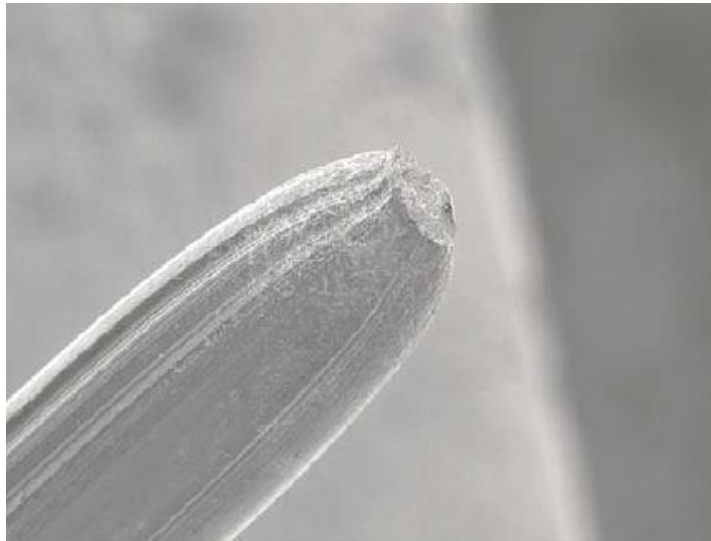
Bu kopma türünün bir diğer tipik özelliği ise kopma yüzeyi ve mukavemetinin kopma bölgesine yakın yerlerde çok düşmesidir. Kopma bölgesinden önce ve sonra alınan örneklerde telin 1.20 mm çapta bile el ile kıvrıldığında telin buna karşı koyamadığı ve kolayca koptuğu gözlenmiştir. Ayrıca bu bölge telde genellikle 1 km. uzunluğunda devam etmektedir. Bu da bize uzayamayan ve çap daraldıkça daha büyük alana yayılan oksit inklüzyonlarının varlığına işaret etmektedir.

10.3 Delaminasyon Kopması

Bu kopma türünün sebebi; hadde morfolojisindeki bozulma veya banyodaki sabun derişimine bağılı olarak telin iyi sabun almamasıdır. Genellikle skin-pass haddesinde görülen bu tür, kopmadan hemen sonra iyi tanımlanır ve makinede önlemler alınırsa önüne geçilebilecek bir kopma türüdür.

10.4 Boyun Vererek Kopma

Bu kopma türünün sebebi telin iyi sabun almamasından kaynaklı olarak çekme kuvvetine karşılık gösterememesi ve çekme testine maruz kalır şekilde kopmasıdır (Şekil 10.2). Kolayca tanımlanan bu türde hadde veya sabun konsantrasyonunda yapılacak değışiklikler bir sonraki kopmayı önleyecektir.



Şekil 10.2 : Boyun vererek kopma [48].

11. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalarda İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya-Metalurji Fakültesi ve kaynak teli üretim tesisindeki aletler kullanılmış ve deneylerle tamamlanmıştır.

11.1 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Hammaddeler

Deneyde; soğuk tel çekme işlemi uygulanan ve 4 ayrı tedarikçiden gelen, kaynak teli üretimi için uygun filmaşınlar kullanılmıştır. İncelenen filmaşınlar EN 440 ve TS EN ISO 14341:2010(E) standardında olup, standarttaki kimyasal aralıkları Çizelge 11.1'deki gibidir.

Çizelge 11.1 : EN 440'a göre 3Si1 ve 4Si1 için kimyasal kompozisyonlar.

Kalite	C	Si	Mn	P*	S*	Ni*	Cr*	Mo*	V*	Cu*	Al*	Ti+Zr*
3Si1	0,06- 0,14	0.70- 1,00	1,30- 1,60	0,025	0,025	0,15	0,15	0,15	0,03	0,35	0,02	0,15
4Si1	0,06- 0,14	0,80- 1,20	1,60- 1,90	0,025	0,025	0,15	0,15	0,15	0,03	0,35	0,02	0,15

* Tek değerler maksimum oranı temsil etmektedir.

Metalografik incelemeler, mekanik testler ve kopan tel incelemesi için de aynı kalite filmaşınlerden alınan örneklerden faydalanılmıştır. Kopan tel incelemesinde örnekler sulu çekme hattından alınmıştır.

11.2 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Cihazlar

Tedarikçilerden gelen filmaşınlerin kimyasal kompozisyonunun belirlenmesi için Rigaku marka RIX 2000 model X-Ray floresans spektrometre (XRF) cihazı kullanılmıştır (Şekil 11.1).



Şekil 11.1 : X-Ray floresans spektrometre analiz cihazı.

Mekanik testler için Schenck Trebel model universal çekme cihazı (Şekil 11.2) kullanılmıştır. Mekanik testlerde akma dayanımı, çekme dayanımı, % uzama ve % kesit daralması değerleri ölçülmüştür.



Şekil 11.2 : Schenck Trebel çekme cihazı.

Metalografik incelemeler için 5,5 mm. kangallardan alınan örnekler kullanılmıştır. Örneklerden inklüzyon analizi için boyuna ve mikroyapı analizi için enine kesit alınmıştır. Numuneler zımparalama işleminde kolaylık sağlaması amacıyla soğuk kalıplama işlemine tabi tutulmuşlardır. Soğuk kalıplamada Struers ClaroCit soğuk kalıplama kiti (Şekil 11.3) kullanılmıştır.



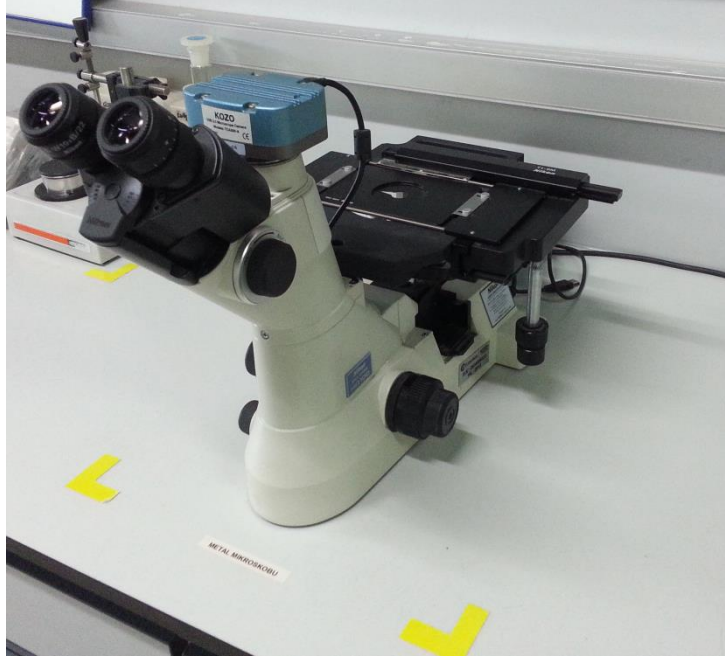
Şekil 11.3 : Struers soğuk kalıplama kiti.

Soğuk kalıplanan numunelerin (Şekil 11.4) zımparalanması ve parlatılması için Metkon Forcipol 2V cihazı kullanılmıştır.



Şekil 11.4 : Metkon Forcipol 2V zımparalama parlatma cihazı.

Metalografik incelemeler için Nikon Eclipse MA100 model metal mikroskobu (Şekil 11.5) ve bilgisayara görüntü aktarımı için ise Kozo TCA300-A model mikroskop kamerası kullanılmıştır. Mikroskop 50, 100, 200, 500 ve 1000 büyütme yapabilmektedir.



Şekil 11.5 : Nikon metal mikroskobu.

Kopan tellerin incelenmesi için DinoLite AM413T dijital stereo mikroskop (Şekil 11.6) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır.



Şekil 11.6 : DinoLite AM413T Dijital Stereo Mikroskop.

11.3 Deneylerin Yapılışı

Deneylerin yapılışında izlenen iş akışında; filmaşınlerden 20 cm. boyunda ve her döküm numarasından en az 1 tane olmak üzere numuneler alınmıştır. Bu numunelerden, kimyasal analiz için 2 cm. uzunluğunda örnekler kesilmiştir. Kalan parçaya çekme testi uygulanmıştır. Ayrıca yine her ayrı döküm numarasından alınan filmaşın numuneler metalografik incelemeler için soğuk kalıplanmış ve zımparalama-parlatma işlemi uygulanmıştır. Kopan tellerin ise kopma bölgesinden 10 cm uzunluğunda numuneler alınmış ve kopma bölgesi stereo mikroskop ve taramalı elektron mikroskobunda incelenmiştir.

Kimyasal analiz için kangallardan alınan numuneler analize girmeden önce preslenip, cihaz için dizayn edilen numune tutuculara yerleştirilmiştir (Şekil 11.7).



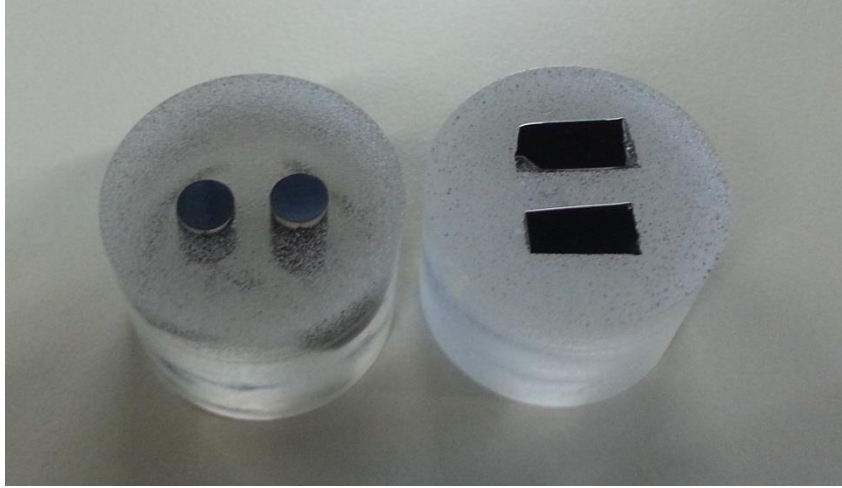
Şekil 11.7 : XRF analizi için hazırlanan numuneler.

XRF cihazında, numune X ışınları gibi yüksek enerjili bir radyasyonla uyarılırsa, bu yüksek enerji girişı yakın yörüngelerdeki elektronları daha yüksek enerji düzeyine çıkarır. Uyarılan elektronlar ilk enerji düzeylerine döndüklerinde kazanmış oldukları fazla enerjiyi dalga boyu 0,1-50 Å olan X ışınları şeklinde geri verirler. Bu ikincil X ışınları yayımına floresans ışımada adı verilir. Elementlerin verdiği bu ışımaların dalga boyu her element için farklıdır. Diğer bir ifadeyle bu ışımalar o elementin parmak izi gibidir. Işımanın dalga boyunun saptanmasıyla elementin cinsi (nitel), saptanan bu

ışının yoğunluğunun ölçülmesiyle element konsantrasyonu (nicel) belirlenmektedir [52].

Metalografik incelemeler için alınan örneklerden inklüzyon analizi için boyuna kesit alınmıştır. Inklüzyon analizi için incelenen numunelerin boyutları 5,5 mm uzunluğunda ve 1,0 mm genişliğinde dikdörtgen kesitlidir.

Mikroyapı analizi için ise enine kesit alınmıştır. İncelenen numunelerin boyutları ise 5,5 mm çapında ve 15 mm boyunda silindir halindedir (Şekil 11.8).



Şekil 11.8 : Soğuk kalıplanmış numuneler.

Numunelerin soğuk kalıplanması için Struers soğuk kalıplama kiti kullanılmıştır. Uygun ölçekte karıştırılan akrilik tozu ve metil metakrilat çözeltisi içinde numunelerin olduğu kalıplama kabına dökülmüş ve sertleşmesi için 30 dakika beklenmiştir.

Zımparalama işleminde sırası ile 180, 320, 600, 800 ve 1200 mesh zımpara kağıtları kullanılmıştır. Her biri için 4 dakika zımpara yapılmış ve baskı kuvveti 6 bar olarak uygulanmıştır. Parlatma işlemi için ise 3 mikronluk parlatma çuhası kullanılmış, 5 dakikalık işlem süresinde baskı kuvveti 6 bar olarak uygulanmıştır.

Mekanik deneylerde ise gelen kangallardan her farklı döküm numarası için en az 1 tane ve gelen kangaal sayısının en az onda biri sayıda numune alınmıştır. Çekme cihazı için numuneler 17-18 cm. uzunluğunda kesilmiş ve her iki uca eşit uzaklıkta araları 11 cm. olan iki nokta işaretlenmiştir. Numune, çekme işlemine tabi tutulmadan önce çapı ölçülmüş ve çapa bağlı olarak kesiti hesaplanmıştır. Çekme işleminden sonra, işaretlenen iki nokta arası uzaklık ölçülerek % uzama değeri,

kopan ucun çapı ölçülerek % kesit daralması değeri bulunmuştur (Şekil 11.9). Akma ve çekme dayanımları da işlem sırasında cihaz üzerinden okunarak mekanik değerler hesaplanmıştır.



Şekil 11.9 : Numunelerin çekme testi öncesinde ve sonrasında görünüşleri.

Kopan tel numuneler için ise sulu çekme makineleri incelenmiştir. Tüm hatlarda yapılan incelemelerde üretim tesisinde kullanılan veri takip sistemi, her makineye bırakılan izleme çizelgeleri ve kopma numunesi poşetleri kullanılmıştır. Çizelge ve poşetler günlük olarak toplanmış ve kayıt altına alınmıştır. Makine tel çekme hızları, nihai ürün çap değerine bağlı olarak en yüksek hıza ayarlanmış ve sürekliliği için özen gösterilmiştir.

11.4 Deney Sonuçları ve İrdelemeler

11.4.1 Kimyasal kompozisyonun tel çekmeye etkisi

XRF cihazında; her tedarikçiden tedarik edilen 3S1 ve 4Si1 standardındaki filmaşınların son 5 partisinin analizi istem numaralarına göre yapılmış ve ortalama değerleri alınmıştır. Tedarikçi A'dan 4Si1 kalite filmaşın tedarik edilmediği için incelemeye alınamamıştır.

Çizelge 11.2 : Tedarikçi A 3Si1 kalite filmaşın için kimyasal analiz sonuçları.

İstem No	Mn	C	Si	P	S	Cu	Ni	Cr	Al	V	Mo	Zr + Ti	Pb	Sn	Ca	N	O
997	1,45	0,080	0,846	0,008	0,013	0,012	0,018	0,034	0,003	0,001	0,003	-	-	-	-	-	-
1010	1,44	0,078	0,853	0,009	0,013	0,013	0,018	0,030	0,001	0,001	0,004	-	0,001	0,002	0,001	0,003	-
1024	1,45	0,071	0,874	0,008	0,012	0,012	0,016	0,028	0,001	0,001	0,007	-	0,001	0,001	0,001	0,003	-
1050	1,44	0,076	0,860	0,010	0,013	0,011	0,016	0,030	0,001	0,001	0,007	-	0,001	0,001	0,001	0,003	-
1130	1,44	0,074	0,848	0,009	0,014	0,011	0,017	0,031	0,001	0,001	0,005	0,001	0,001	0,002	0,001	0,003	-

Çizelge 11.3 : Tedarikçi B 3Si1 kalite filmaşın için kimyasal analiz sonuçları.

İstem No	Mn	C	Si	P	S	Cu	Ni	Cr	Al	V	Mo	Zr + Ti	Pb	Sn	Ca	N	O
1092	1,44	0,068	0,857	0,012	0,018	0,081	0,051	0,050	0,002	0,002	0,013	-	-	0,006	0,001	0,004	-
1153	1,44	0,068	0,867	0,010	0,018	0,079	0,049	0,055	0,002	0,002	0,011	0,003	-	0,008	0,001	0,005	-
1176	1,45	0,069	0,862	0,010	0,019	0,084	0,047	0,046	0,002	0,002	0,012	0,003	0,001	0,009	0,001	0,005	-
1226	1,46	0,069	0,852	0,014	0,018	0,064	0,034	0,035	0,002	0,003	0,008	-	0,001	0,005	0,000	0,004	-
1266	1,44	0,074	0,833	0,012	0,019	0,071	0,039	0,046	0,002	0,003	0,008	0,009	-	0,007	0,001	0,004	-

Çizelge 11.4 : Tedarikçi C 3Si1 kalite filmaşın için kimyasal analiz sonuçları.

İstem No	Mn	C	Si	P	S	Cu	Ni	Cr	Al	V	Mo	Zr + Ti	Pb	Sn	Ca	N	O
1243	1,46	0,080	0,85	0,009	0,018	0,055	0,030	0,048	0,003	0,003	0,009	0,003	0,0004	0,006	0,001	0,001	0,010
1256	1,45	0,078	0,85	0,009	0,018	0,054	0,030	0,044	0,003	0,003	0,009	-	0,0004	0,007	0,001	0,001	0,010
1257	1,46	0,079	0,85	0,009	0,018	0,055	0,030	0,046	0,003	0,003	0,009	-	0,0004	0,007	0,001	0,001	0,010
1288	1,46	0,082	0,85	0,010	0,017	0,049	0,027	0,049	0,003	0,004	0,008	0,003	0,0004	0,007	0,000	0,005	0,010
1292	1,46	0,081	0,85	0,010	0,017	0,044	0,023	0,046	0,003	0,004	0,008	0,003	0,0004	0,007	0,000	0,005	0,010

Çizelge 11.5 : Tedarikçi D 3Si1 kalite filmaşın için kimyasal analiz sonuçları.

İstem No	Mn	C	Si	P	S	Cu	Ni	Cr	Al	V	Mo	Zr + Ti	Pb	Sn	Ca	N	O
6	1,46	0,079	0,863	0,010	0,013	0,057	0,041	0,051	0,003	0,003	0,008	-	-	0,005	0,001	0,01	-
13	1,45	0,075	0,862	0,010	0,011	0,059	0,043	0,057	0,003	0,003	0,007	-	0,002	0,004	0,001	0,01	-
53	1,43	0,070	0,857	0,010	0,010	0,043	0,040	0,043	0,003	0,002	0,004	-	0,002	0,003	0,001	0,01	-
61	1,46	0,068	0,859	0,010	0,011	0,055	0,043	0,054	0,003	0,005	0,009	-	0,002	0,004	-	-	-
90	1,45	0,070	0,850	0,009	0,008	0,070	0,040	0,070	0,004	0,005	0,009	-	0,002	0,010	-	-	-

Çizelge 11.6 : Tedarikçi B 4Si1 kalite filmaşın için kimyasal analiz sonuçları.

İstem No	Mn	C	Si	P	S	Cu	Ni	Cr	Al	V	Mo	Zr + Ti	Pb	Sn	Ca	N	O
1131	1,664	0,061	0,960	0,008	0,020	0,045	0,053	0,065	-	0,008	0,008	0,002	-	-	-	-	-
1154	1,632	0,068	0,974	0,011	0,018	0,064	0,029	0,035	0,002	0,003	0,005	0,009	-	-	-	0,004	-
1177	1,632	0,067	0,974	0,010	0,018	0,043	0,023	0,031	0,002	0,003	0,005	0,010	-	0,006	0,001	0,005	-
1227	1,635	0,067	0,973	0,012	0,017	0,052	0,025	0,030	0,002	0,004	0,006	-	0,001	-	-	0,005	-
1267	1,649	0,068	0,974	0,007	0,018	0,035	0,024	0,029	0,002	0,003	0,005	0,009	-	-	-	0,003	-

Çizelge 11.7 : Tedarikçi C 4Si1 kalite filmaşın için kimyasal analiz sonuçları.

İstem No	Mn	C	Si	P	S	Cu	Ni	Cr	Al	V	Mo	Zr + Ti	Pb	Sn	Ca	N	O
1190	1,64	0,090	1,01	0,010	0,014	0,040	0,020	0,050	0,003	0,004	0,009	-	0,0004	0,006	0,0004	0,005	0,010
1229	1,64	0,090	1,01	0,010	0,014	0,040	0,020	0,050	0,003	0,004	0,009	-	0,0004	0,006	0,0004	0,005	0,010

Çizelge 11.8 : Tedarikçi D 4Si1 kalite filmaşın için kimyasal analiz sonuçları.

İstem No	Mn	C	Si	P	S	Cu	Ni	Cr	Al	V	Mo	Zr + Ti	Pb	Sn	Ca	N	O
981	1,66	0,070	0,858	0,011	0,012	0,058	0,038	0,038	0,003	0,002	0,006	-	0,002	0,010	0,001	0,008	-
1041	1,65	0,075	0,933	0,011	0,013	0,068	0,045	0,043	0,003	0,003	0,007	-	0,002	0,006	0,0006	0,01	-
1062	1,72	0,080	0,930	0,011	0,020	0,050	0,030	0,050	0,003	0,004	0,006	-	0,002	0,004	0,001	0,008	-
1122	1,69	0,060	0,880	0,007	0,013	0,060	0,050	0,050	0,003	0,002	0,009	-	0,002	0,005	0,001	0,01	-
1134	1,64	0,073	0,853	0,009	0,014	0,047	0,040	0,043	0,004	0,002	0,005	-	0,002	0,004	0,001	0,01	-

Yüksek fırından üretim yapan A tedarikçisinde kalıntı elementlerin oranının diğerlerinden düşük olduğu açıkça görülmektedir. Filmaşınların kesit daralması ve çekme mukavemeti çekme işlemi sırasında önemli olan kükürt, fosfor, bakır, kalay gibi elementlerin olumsuz etkileri cevherden üretim sayesinde minimum seviyede tutulacaktır. Çünkü bu elementler demir cevherinde hurda ve sünger demire oranla daha az bulunurlar.

Sünger demir 3. bölümde anlatıldığı gibi demir cevherinin indirgenmesi ile oluşmaktadır. Sünger demir kullanımındaki amaçlardan biri de hurda ile beraber kullanılması sayesinde hurdadaki istenmeyen elementlerin genel kompozisyon içindeki oranını minimuma indirmektir. Ayrıca sünger demir elektrikli ark ocağına direkt beslenebildiği için üretim maliyetini de azaltmaktadır.

Hurdadan üretimde ise istenmeyen elementlerin oranı kaynak teli kalitesindeki çelik üretimi için şartnamedeki maksimum değerlere yaklaşmaktadır. Bunun için kullanılan hurdanın temiz olması istenmektedir. DKP ve Ekstra kalite hurda kullanılması kimyasal kompozisyonun temizliği için önem taşımaktadır.

Safsızlık olarak tanımlanan ve şarjdan gelen elementler çekme işlemi haricinde kaynak performansına da olumsuz etki etmekte ve kaynak dikişinde çatlamalara yol açmaktadır. Cevherden üretim yapan A tedarikçisinde tellerin hem çekilebilirlik hem de kaynak performansı açısından çok iyi olmasının bir sebebinin de cevherden üretim yapmasıdır.

11.4.2 Mekanik testler sonucunda alınan değerlerin tel çekmeye etkisi

Mekanik testler 5,5 mm. çapındaki filmaşınlerden alınan örneklerden yapılmıştır ve %uzama, %kesit daralması, akma ve çekme dayanımları hesaplanmıştır.

Çizelge 11.9 : Tedarikçi A 3Si1 kalite filmaşın için mekanik analiz sonuçları.

İstem No	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Kesit Daralması (%)
997	368	511	25	83
1010	358	507	26	83
1024	371	507	25	84
1050	391	514	21	81
1130	376	504	23	84

Çizelge 11.10 : Tedarikçi B 3Si1 kalite filmaşın için mekanik analiz sonuçları.

İstem No	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Kesit Daralması (%)
1092	390	506	25	83
1153	388	509	22	81
1176	391	516	24	80
1226	394	518	23	80
1266	397	520	23	82

Çizelge 11.11 : Tedarikçi C 3Si1 kalite filmaşın için mekanik analiz sonuçları.

İstem No	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Kesit Daralması (%)
1243	377	508	20	75
1256	364	518	24	82
1257	380	510	24	82
1288	384	516	24	81
1292	389	517	24	82

Çizelge 11.12 : Tedarikçi D 3Si1 kalite filmaşın için mekanik analiz sonuçları.

İstem No	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Kesit Daralması (%)
6	380	516	22	86
13	381	511	23	80
53	381	507	24	81
61	374	501	24	81
90	374	503	24	80

Çizelge 11.13 : Tedarikçi B 4Si1 kalite filmaşın için mekanik analiz sonuçları.

İstem No	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Kesit Daralması (%)
1131	378	524	25	80
1154	385	529	22	81
1177	388	526	24	80
1227	380	530	24	81
1267	394	524	23	81

Çizelge 11.14 : Tedarikçi C 4Si1 kalite filmaşın için mekanik analiz sonuçları.

İstem No	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Kesit Daralması (%)
1190	370	540	25	80
1229	383	534	23	80

Çizelge 11.15 : Tedarikçi D 4Si1 kalite filmaşın için mekanik analiz sonuçları.

İstem No	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Kesit Daralması (%)
981	380	506	25	81
1041	390	540	21	79
1062	382	535	21	78
1122	343	520	26	74
1134	375	517	20	80

3Si1 kalite filmaşın için Tedarikçi A'nın, soğuk tel çekme işleminde önemli olan % kesit daralması ve % uzama değerlerinde en yüksek rakamları verdiği görülmektedir. Bunun en önemli sebebi, Tedarikçi A'nın cevherden üretim yapması ve bu sayede çelikteki safsızlık elementlerinin en düşük seviyede olmasıdır.

4Si1 kalite filmaşın için ise Tedarikçi B'nin en yüksek değerleri verdiği görülmektedir. Tedarikçi C ise Tedarikçi D'den daha iyi sonuçlar göstermektedir.

Çizelge 11.16 : Azot oranının artması ile % kesit daralmasındaki değişim.

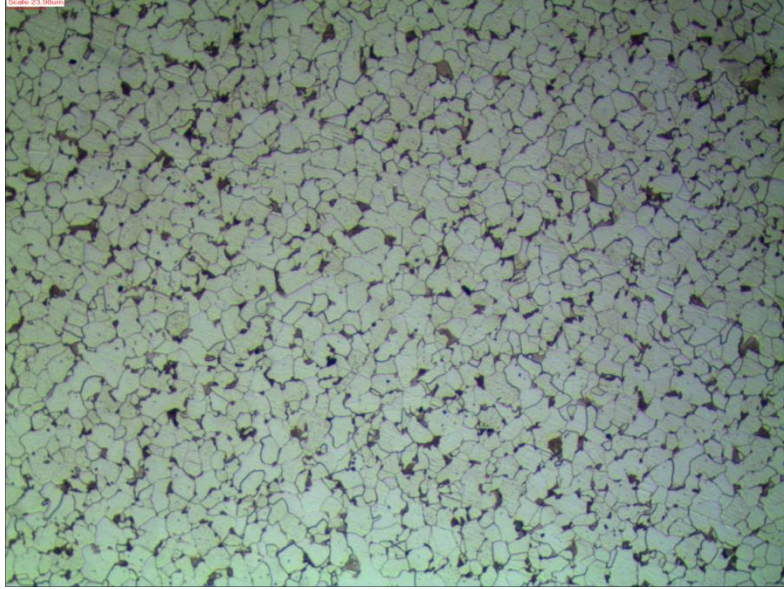
Tedarikçi	% N Oranı (ppm)*	% Kesit Daralması*
A	30	82,95
B	46	81,73
C	47	81,79
D	95	79,28
D Kapalı Döküm	100	80,63

*Tedarikçilerden alınan ortalama değerlerdir.

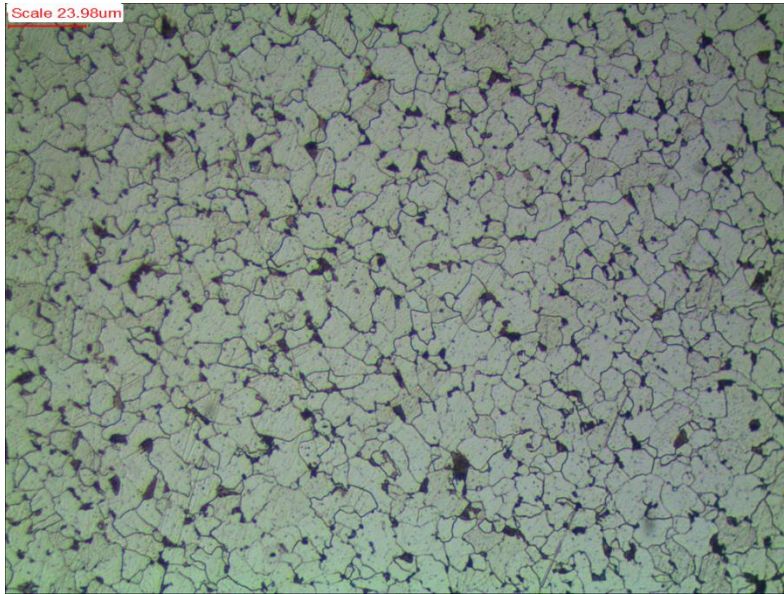
Azot oranının artması ile soğuk tel çekme işleminde önemli mekanik özelliklerden biri olan kesit daralması değerinin düştüğü açıkça görülmektedir. Düşen kesit daralması değerlerinin tel çekme işlemi sırasında sorunları beraberinde getireceği kaçınılmazdır.

11.4.3 Metalografik inceleme sonuçlarının tel çekmeye etkisi

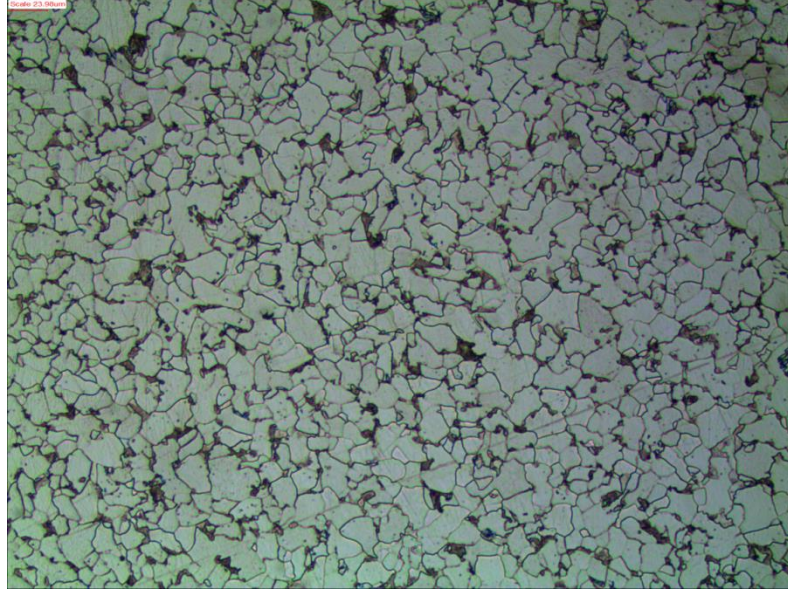
Metal mikroskobunda, soğuk kalıplanmış numuneler incelenmiştir. Toplamda; 46 numunede mikroyapı ve 65 numunede inklüzyon analizi yapılmıştır. Mikroyapıyı ortaya çıkarmak için yapılan dağlamada numuneler Nital 3 çözeltisine 5 saniye daldırılmıştır. Inklüzyon incelemesinde dağlama yapılmamıştır.



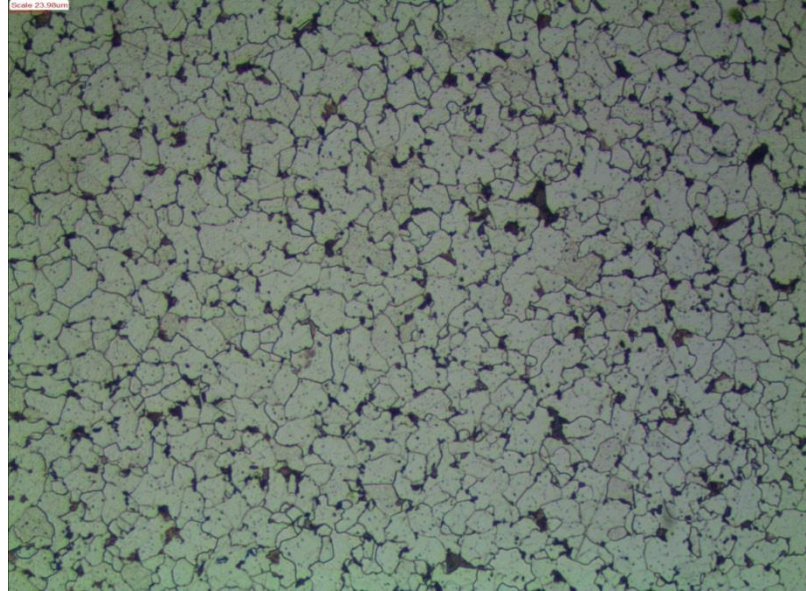
Şekil 11.10 : Tedarikçi A 3Si1 mikroyapı görüntüsü.



Şekil 11.11 : Tedarikçi B 3Si1 mikroyapı görüntüsü.



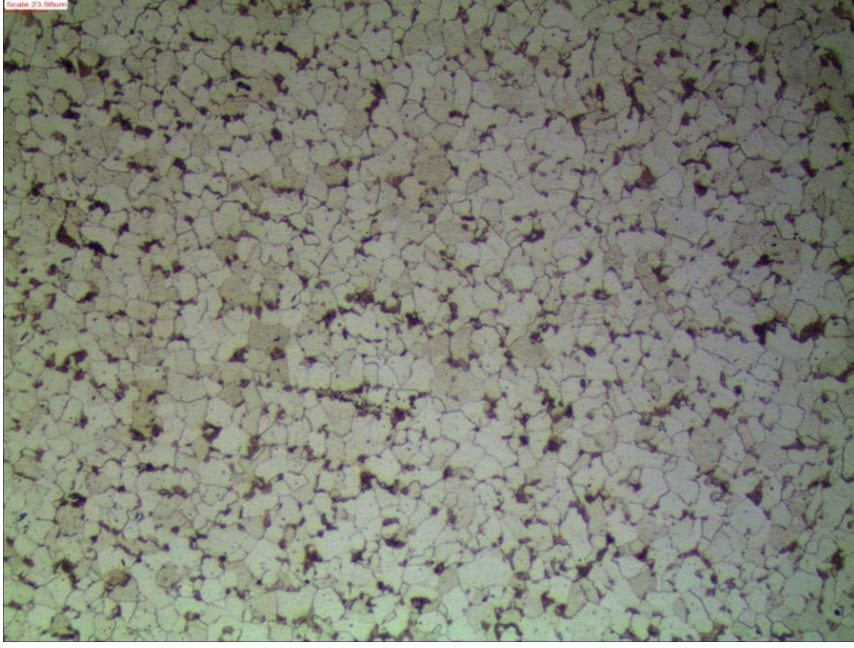
Şekil 11.12 : Tedarikçi C 3Si1 mikroyapı görüntüsü.



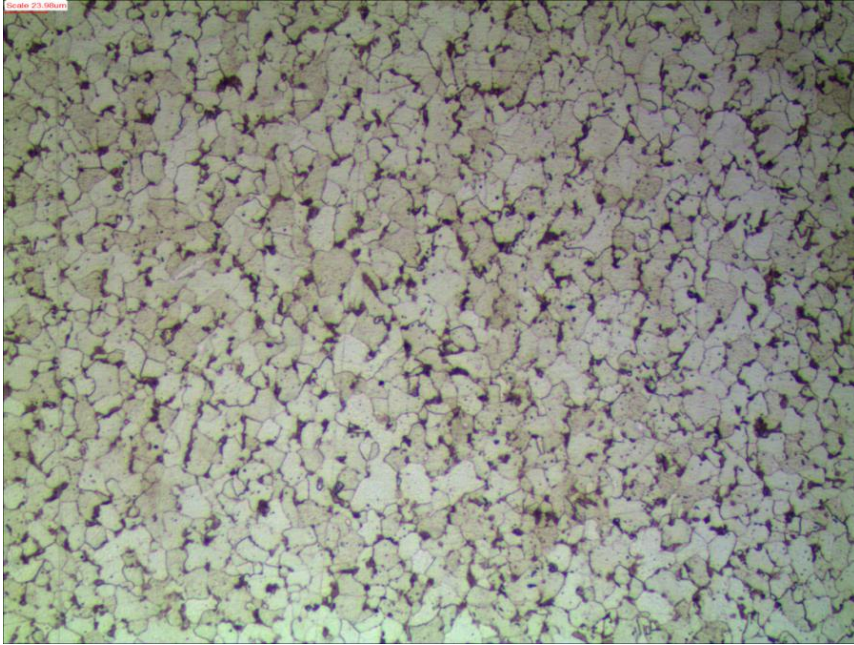
Şekil 11.13 : Tedarikçi D 3Si1 mikroyapı görüntüsü.

Şekil 11.10, Şekil 11.11, Şekil 11.12 ve Şekil 11.13’de 4 tedarikçiden alınan numunelerin mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Tedarikçiler arasında mikroyapı bakımından, soğuk tel çekme işlemine etki edecek bir fark bulunmamaktadır.

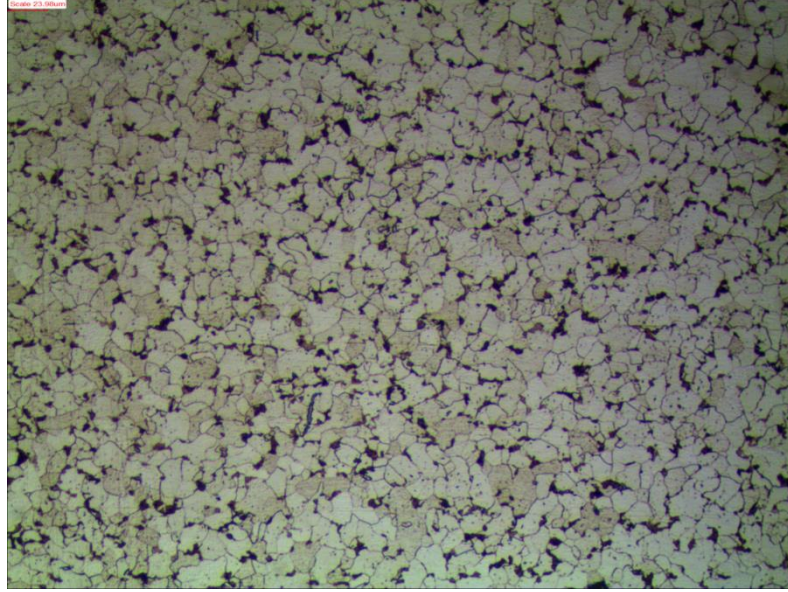
Şekil 11.14, Şekil 11.15 ve Şekil 11.16’da ise 3 tedarikçiden alınan numunelerin mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Tedarikçiler arasında mikroyapı bakımından soğuk tel çekme işlemine etki edecek bir fark bulunmamaktadır.



Şekil 11.14 : Tedarikçi B 4Si1 mikroyapı görüntüsü.

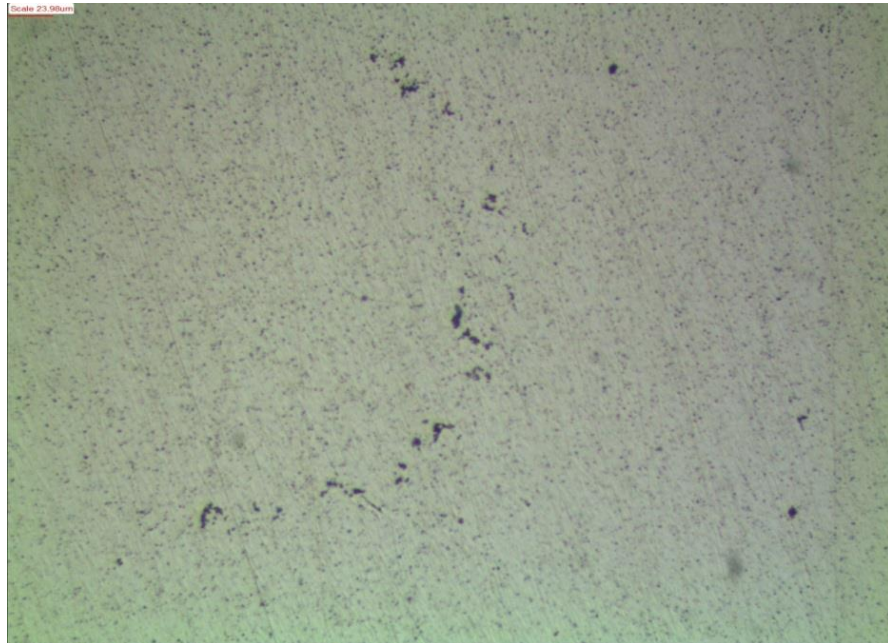


Şekil 11.15 : Tedarikçi C 4Si1 mikroyapı görüntüsü.

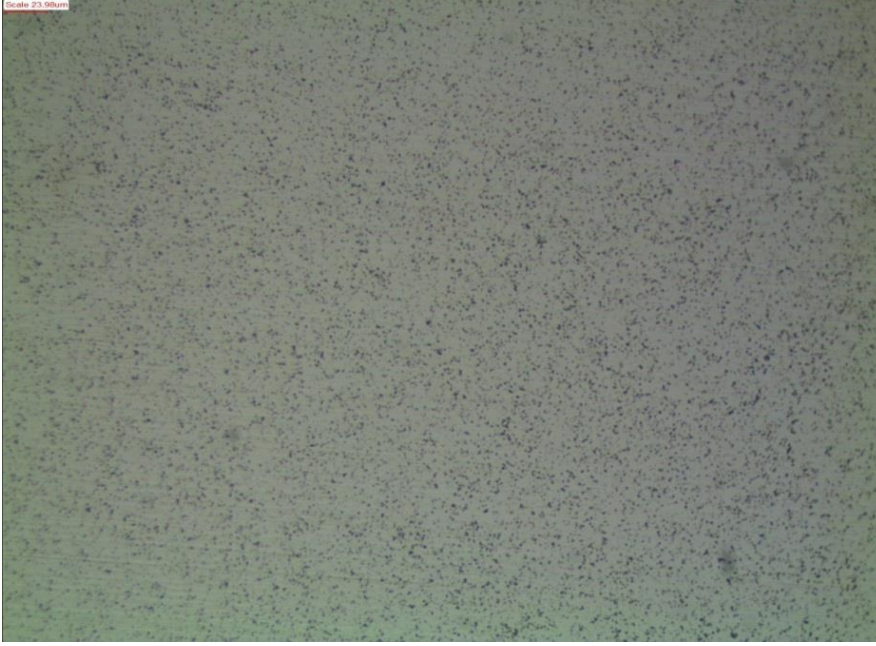


Şekil 11.16 : Tedarikçi D 4Si1 mikroyapı görüntüsü.

Şekil 11.17 ve Şekil 11.18’de B ve C tedarikçilerinden alınan numunelerden yapılan inklüzyon analizi görülmektedir. Bu inklüzyonlar iç kaynaklı 3. Tip MnS inklüzyonları olup diğer tedarikçilerde de gözlenmiştir. Çapları ve 1 – 3 mikron arasında olan bu inklüzyonlar uzama özelliğine sahip olup, bu boyutlar için soğuk tel çekme işlemine olumsuz bir etkileri olacağı düşünülmemektedir.

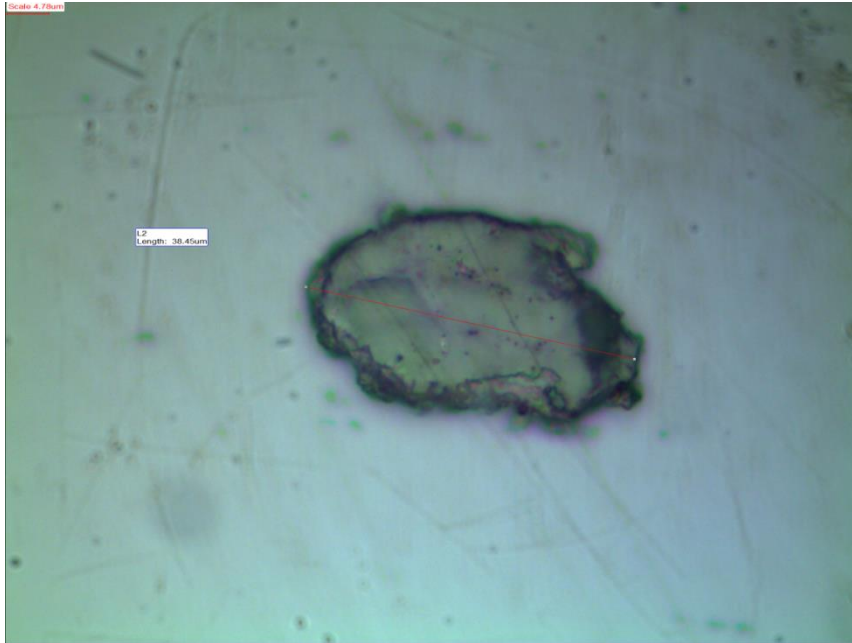


Şekil 11.17 : Tedarikçi B inklüzyon analizinde görülen MnS inklüzyonları.

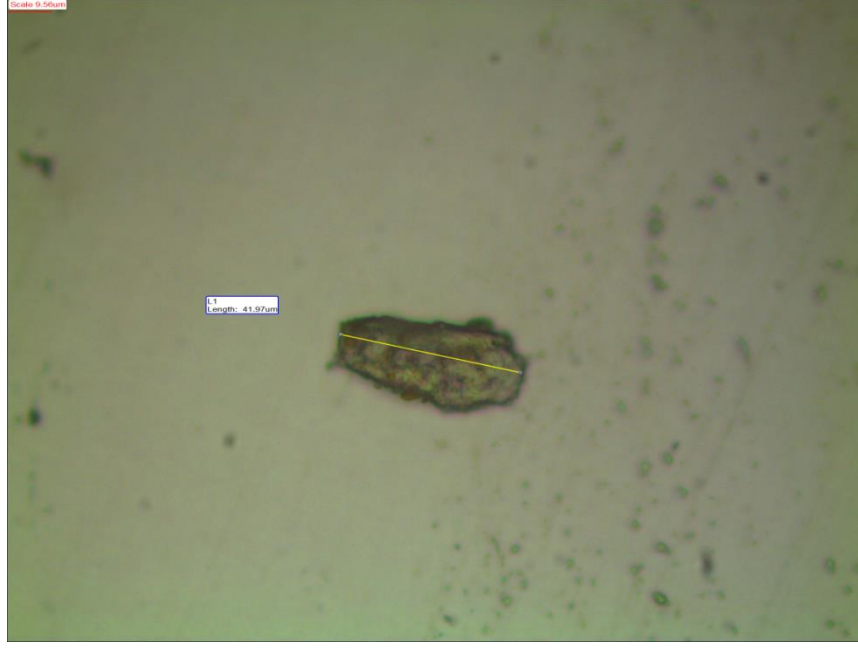


Şekil 11.18 : Tedarikçi C inklüzyon analizinde görülen MnS inklüzyonları.

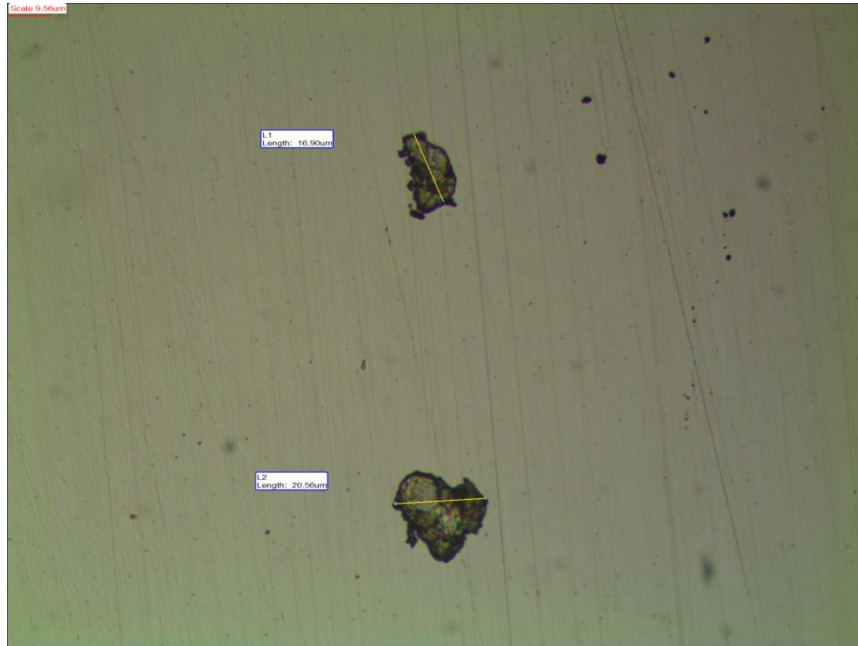
Şekil 11.19, Şekil 11.20, Şekil 11.21, Şekil 11.22, Şekil 11.23 ve Şekil 11.24’de farklı tedarikçilerden alınan numunelerin inklüzyon analizlerinde dikkat çeken inklüzyonlardan örnekler verilmiştir. Inklüzyon boyutları önerilen en büyük inklüzyon boyutu olan 20 μm ’dan büyük veya 20 μm sınırına [42] çok yakındır. Bu boyutlar; proses ve kopan tel incelemeleri yapıldığında, soğuk çekme işleminde kopmaların en önemli sebebi olarak görülmektedir.



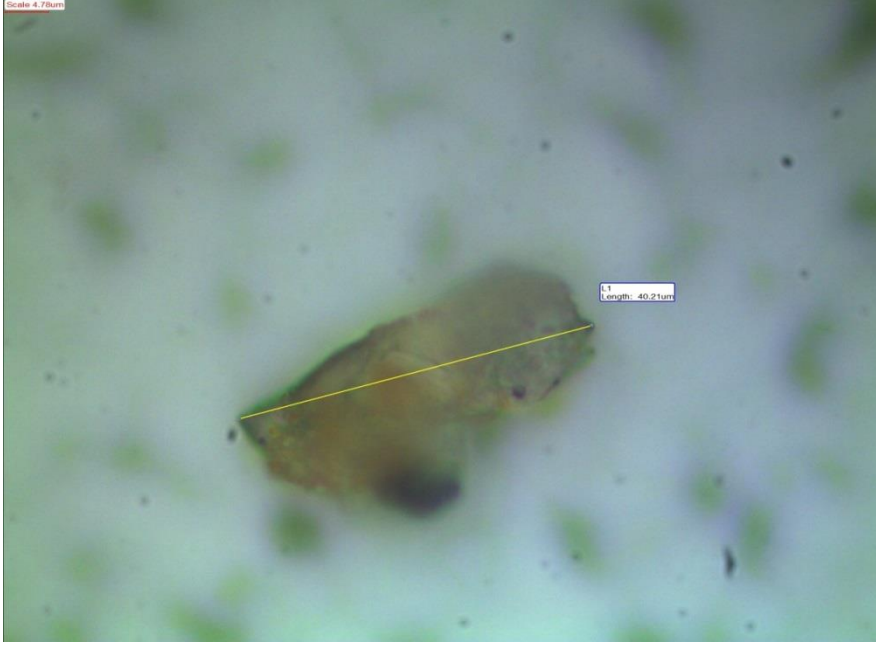
Şekil 11.19 : Tedarikçi A’da görülen 38 μm büyüklüğünde dış kaynaklı inklüzyon.



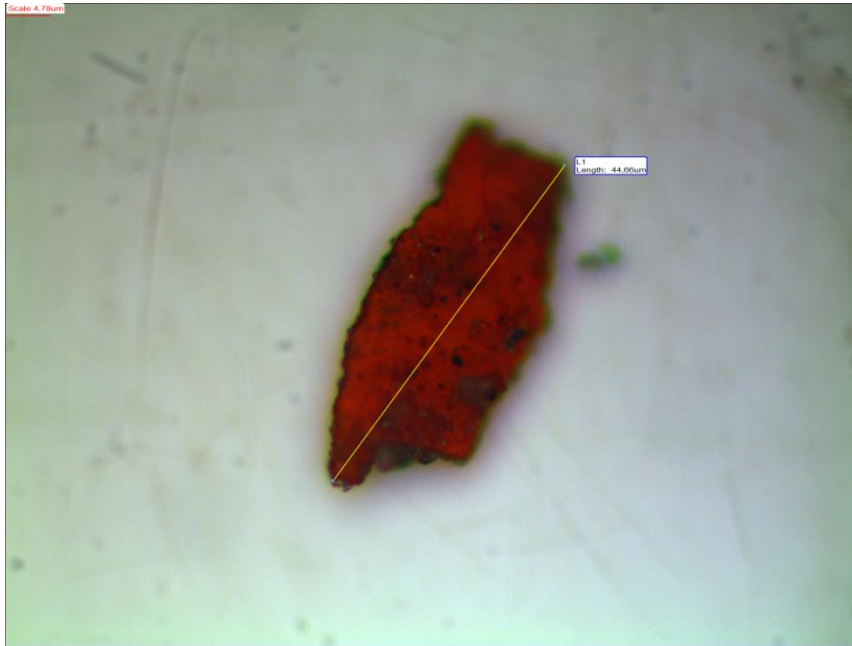
Şekil 11.20 : Tedarikçi C’de görülen 41 μm büyüklüğünde dış kaynaklı inklüzyon.



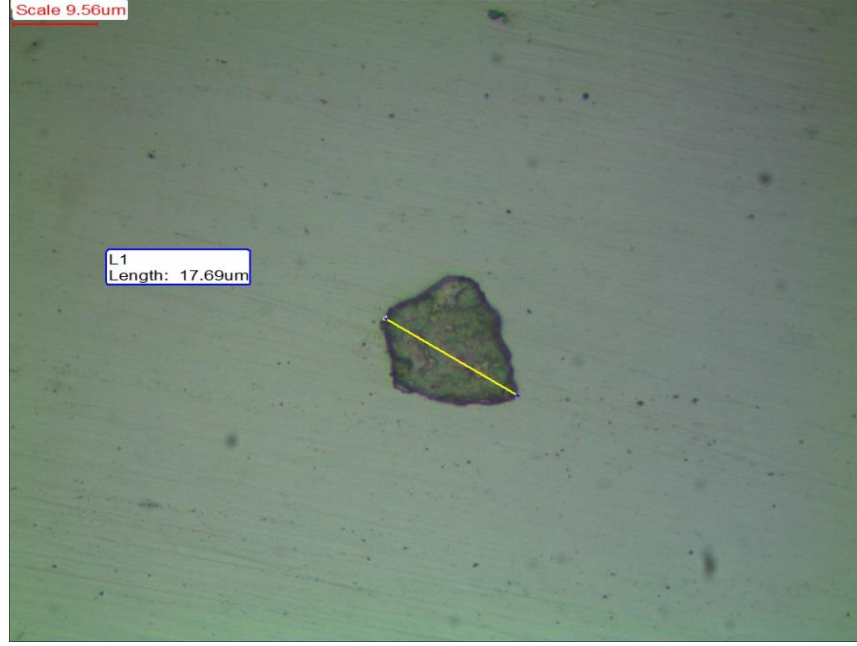
Şekil 11.21 : Tedarikçi C’de görülen 16 μm ve 20 μm büyüklüğünde dış kaynaklı inklüzyon.



Şekil 11.22 : Tedarikçi D’de görülen 40 µm büyüklüğünde dış kaynaklı inklüzyon.

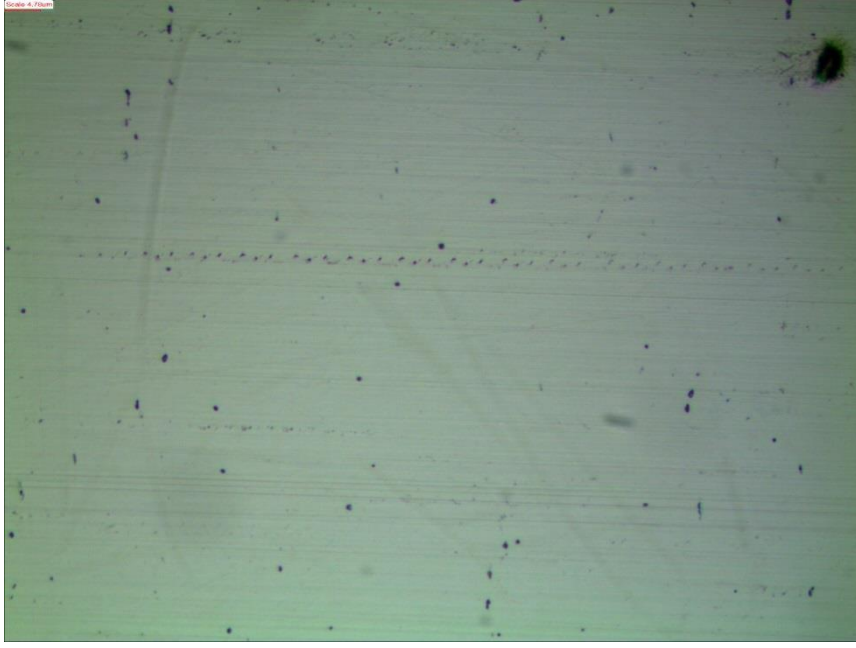


Şekil 11.23 : Tedarikçi C’de görülen 44 µm büyüklüğünde dış kaynaklı inklüzyon.

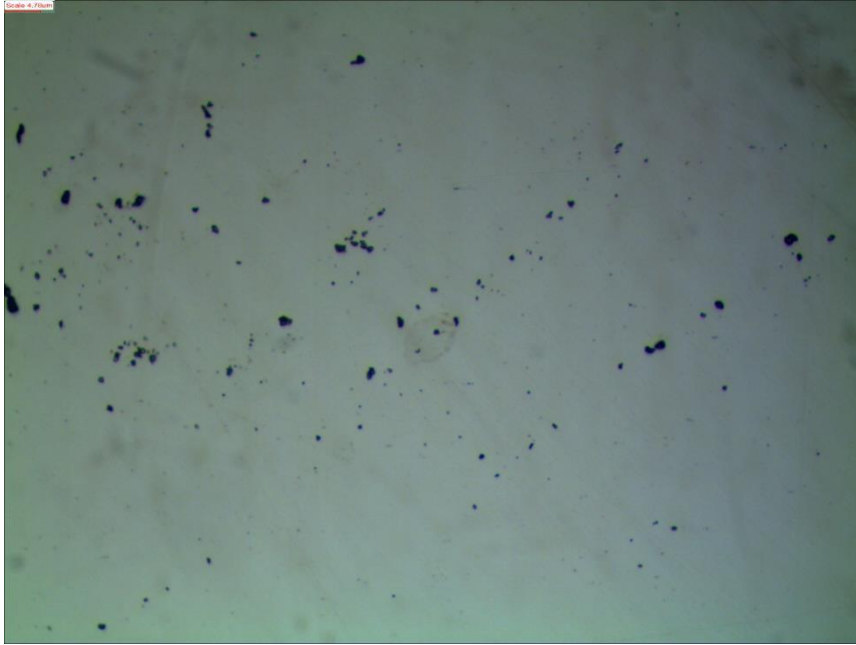


Şekil 11.24 : Tedarikçi C’de görülen 18 μm büyüklüğünde dış kaynaklı inklüzyon.

Açık döküm ve kapalı döküm ile üretilmiş filmaşınlerden alınan örneklerde de inklüzyon incelemesi yapılmıştır. Açık döküm ile üretilen kangallarda yapılan inklüzyon incelemelerinde oksit inklüzyonlarına rastlanmıştır. Fakat D tedarikçisinden gelen kapalı döküm ile üretilen kangalda ise bu inklüzyonların görülme sıklığı çok daha azdır. Şekil 11.25’de D tedarikçisinin açık döküm yöntemi ile ürettiği kangaldan alınan bir görüntü vardır. Görüntünün ortasında dizilen inklüzyonlar tipik oksit inklüzyonları olup uzamaya eğilimli olmadıkları için kırılmış ve şekildeki gibi dizilmişlerdir. Şekil 11.26’da ise A tedarikçisinden gelen kangaldaki inklüzyonlar görülmektedir. Buradaki inklüzyonlar da küresel oksit inklüzyonlarının örnekleridir. Kapalı döküm sayesinde soğuk tel çekme sırasında karşımıza problem olarak çıkan oksijen ve azot oranları minimumda tutulur.



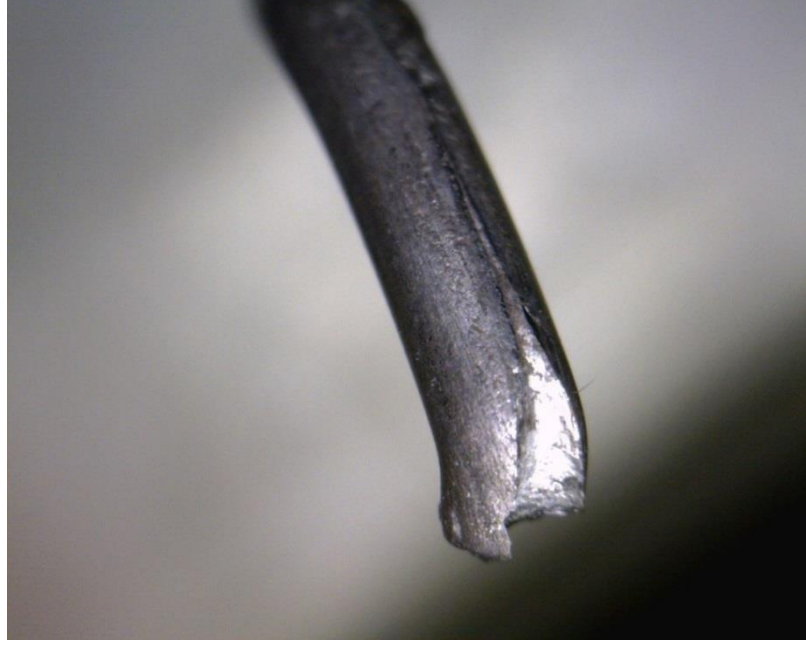
Şekil 11.25 : D tedarikçisi açık döküm ile üretilen kangaldan inklüzyon incelemesi.



Şekil 11.26 : A tedarikçisinden gelen kangaldan inklüzyon incelemesi.

11.4.5 Stereo mikroskop analizi sonuçlarının tel çekmeye etkisi

Bu incelemenin avantajı; tel çekme prosesinde yaşanan bir soruna hızlı ve etkili çözüm bulmaktır. Yüksek büyütmelelere çıkılamayan bu incelemelerde de tel kopma tipleri rahatlıkla tanımlanabilmektedir. Şekil 11.27, Şekil 11.28, Şekil 11.29 ve Şekil 11.30’da her kopma türü için stereo mikroskopta incelenen görüntüler verilmiştir.



Şekil 11.27 : Noktasal inklüzyon kaynaklı kopma örneği.



Şekil 11.28 : Delaminasyon kopması örneği.



Şekil 11.29 : Bölgesel inklüzyon kaynaklı kopma örneği.



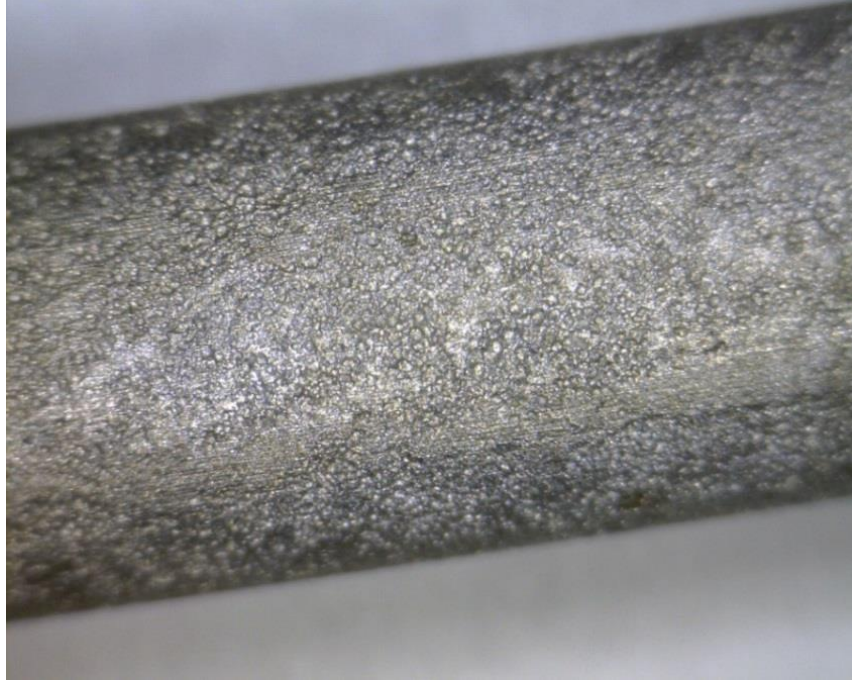
Şekil 11.30 : Boyun vererek kopma örneği.

Şekil 11.31 ve Şekil 11.32’de iki ayrı tel yüzeyi HCl ile temizlenip incelenmiştir. Şekil 11.31’deki filmaşinde çok fazla tufal oluşumuna izin verilmemiştir ve görüldüğü üzere yüzeydeki gözeneklerin hem sayısı sayısı hem de derinlik ve genişlikleri azdır. Şekil 11.32’deki filmaşinde ise tufal oluşumuna izin verilmiştir ve

görüldüğü üzere yüzeydeki gözeneklerin sayısının ve boyutlarının diğer telden daha çok olduğu açıkça görülmektedir.



Şekil 11.31 : Çok fazla tufal oluşumuna izin verilmeyen filmaşın.

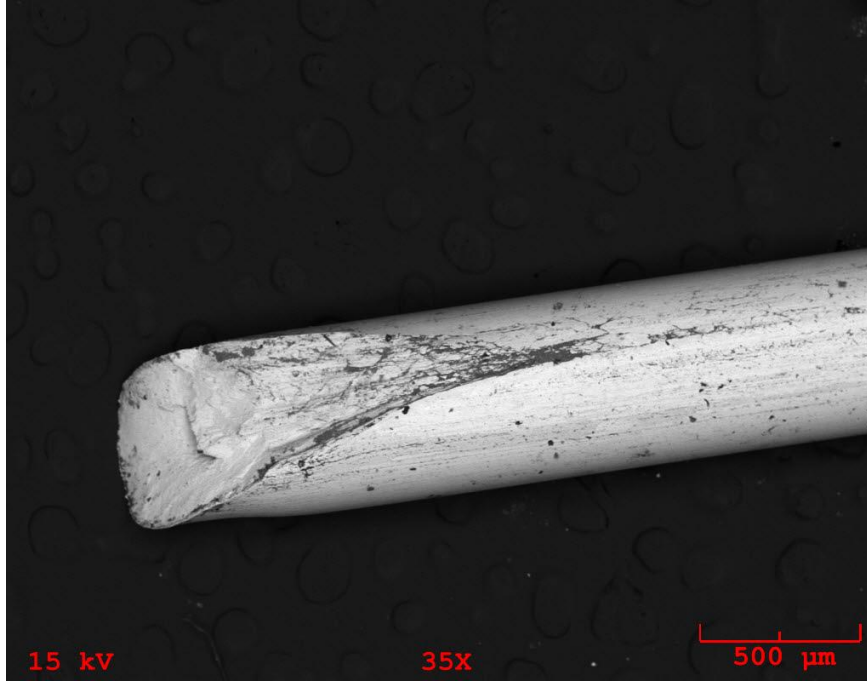


Şekil 11.32 : Tufal oluşumuna izin verilen filmaşın.

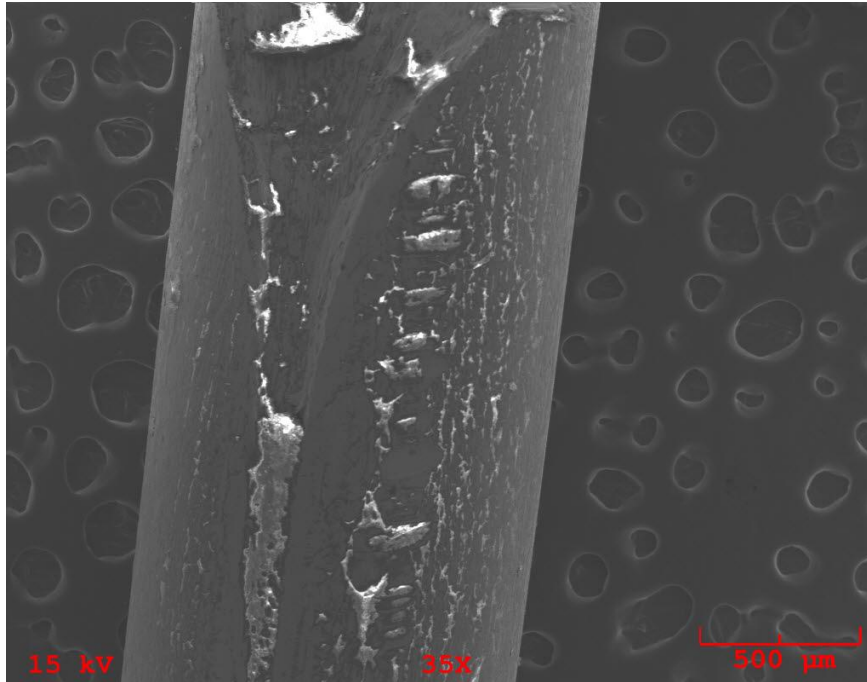
Üretim sırasında; yüzeylerinde tufaldan kaynaklanan farklı yapılar gözlenen filmaşın çekilirken büyük farklılıklar gözlenmektedir. Şekil 11.31'deki filmaşında kaplama alma Şekil 11.32'dekine göre daha azdır.

11.4.4 Taramalı elektron mikroskobu analizlerinin tel çekmeye etkisi

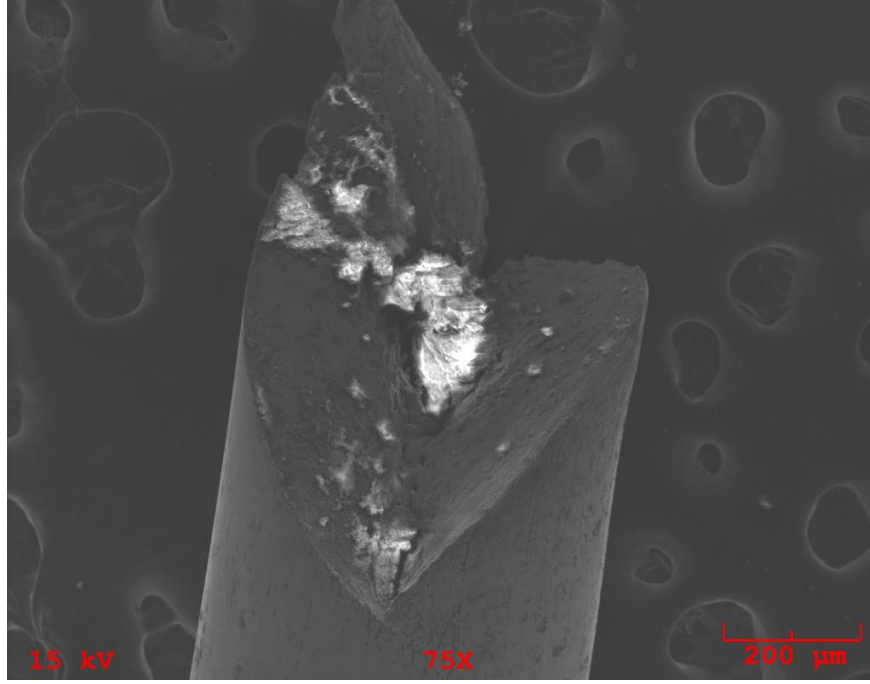
Taramalı elektron mikroskobuna ait analizlerde 4 farklı kopma türünde görülen tipik kopmalardan alınan numuneler incelenmiştir. Şekil 11.33, Şekil 11.34, Şekil 11.35, Şekil 11.36 ve Şekil 11.37’de bu kopmaların görüntüleri verilmiştir.



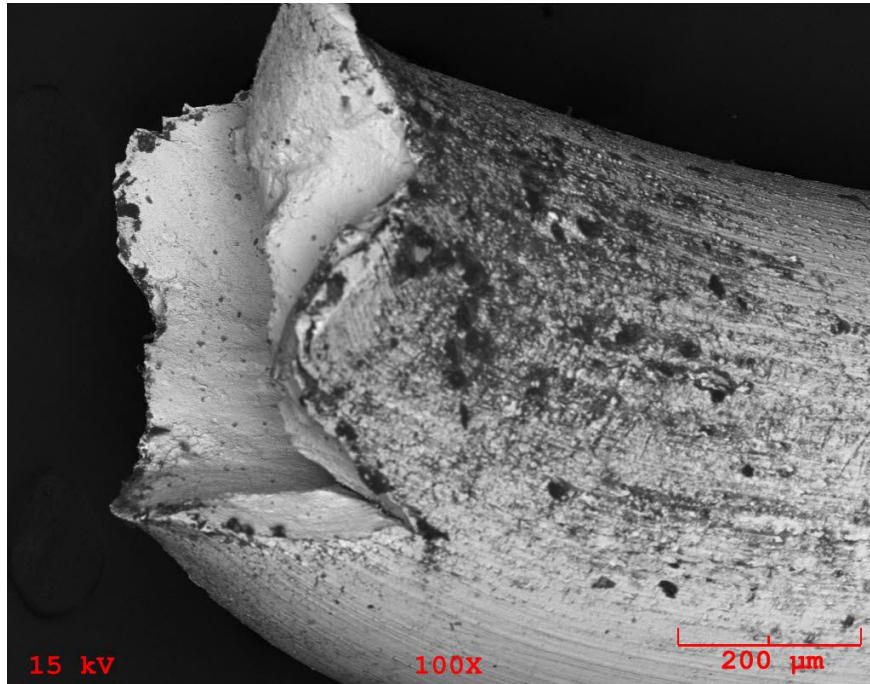
Şekil 11.33 : Noktasal inklüzyon kaynaklı kopma örneği.



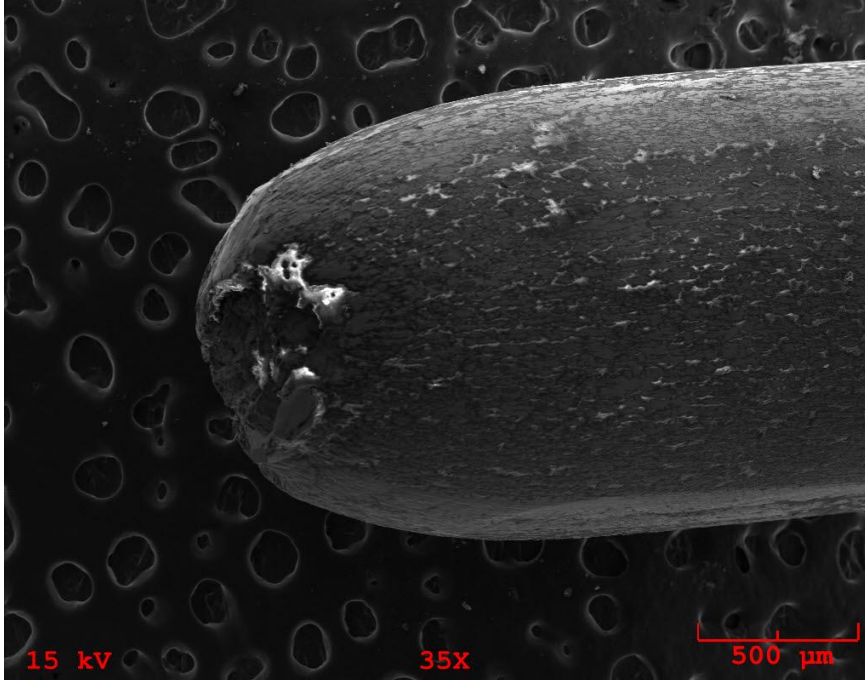
Şekil 11.34 : Noktasal inklüzyon kaynaklı kopma örneği.



Şekil 11.35 : Delaminasyon kopma türü.



Şekil 11.36 : Bölgesel inklüzyon kaynaklı kopma türü.



Şekil 11.37 : Mukavemet kaynaklı boyun vererek kopma.

12. GENEL SONUÇLAR

Yapılan çalışmada, ticari olarak kaynak teli yapımında kullanılan 3Si1 ve 4Si1 kalite filmaşınların soğuk çekme metoduyla üretimi sırasında görülen hatalar incelenmiştir.

Tedarik edilen filmaşın hammaddeler; kimyasal analizler, mekanik testler, metalografik analiz, SEM’de yapılan analizler ile incelenmiştir.

Çalışma sırasında çekilebilirlik performansı en iyi olan tedarikçilerin sırası ile Tedarikçi A, Tedarikçi B, Tedarikçi C ve Tedarikçi D olduğu görülmüştür.

Karbon, fosfor ve kükürt oranının her tedarikçide standart sınırlar arasında ve kimyasal şartnameye uygun olduğu görülmüştür. Standart sınırlar dışındaki karbon oranında çeliğin dayanımı artacak ve % kesit daralması değerleri düşecektir. Fosfor ve kükürdün tane sınırlarında segrege olarak gevrekliğe yol açtığı bilinmektedir. Bu durumlarda soğuk tel çekme işleminde sorunlar yaşanacaktır.

Hurdadan üretimde, safsızlık elementleri olarak tanımlanan elementlerin soğuk tel çekme işlemine olumsuz etki ettiği görülmüştür. Bu elementler içinde bakır çekilebilirliğe etki eden en önemli elementlerdendir. Demir atom kafesinde çözünemeyen bakır tane sınırlarına yayılır ve ϵ -Cu fazında çözünmeden tane sınırlarına dağılarak gevrekliğe yol açar [37]. Tedarikçi A’dan gelen filmaşınların %Cu oranı diğer tedarikçilere oranla 4-6 kat arasında daha azdır. Bu da Tedarikçi A’nın çekilebilirliğinin daha iyi olmasının bir sebebidir.

Tedarikçi D’nin sağladığı kapalı döküm üretim aynı tedarikçinin açık döküm ile karşılaştırılmıştır. 0,80 mm. çapta üretim göz önüne alındığında açık dökümde ton başına 2,1 kopma olurken kapalı dökümde bu sayı 0,7’dir. Kalite ve üretim verimliliği açısından çok büyük bir fark olan bu rakamların sebebi; azot ve oksijenin çelik bünyesine girmemesi ve oksit inklüzyonlarının görülmemesidir. Oksijen sonucunda oluşan FeO bileşikler malzemenin soğuk şekil verilebilirliğini azaltır.

Azot oranının artması ile kesit daralması değerlerinin %2’ye kadar düştüğü görülmüştür. Çözünmeyen azotun demir ile yaptığı Fe_4N bileşiği bu düşüşün sebebidir. Kesit daralmasındaki %2’lik düşüşün üretim sırasında verimliliği

azaltacağı kaçınılmazdır. Literatür araştırmalarında ise nitrür inklüzyonlarının çelikte dayanım değerlerini düşürdüğü açıkça belirtilmektedir. Bunların da soğuk çekme işlemine doğrudan etki edeceği tahmin edilmektedir.

İncelemeler sırasında 4 farklı kopma türü tanımlanmıştır. Bunlar noktasal inklüzyon kaynaklı kopmalar, bölgesel inklüzyon kaynaklı kopmalar, delaminasyon kopması ve boyun vererek kopmadır.

Kopma sorunlarının en önemli sebebinin inklüzyonlar olduğu görülmüştür. En çok görülen kopma türü olan noktasal inklüzyon kaynaklı kopmaların sebebi iç ve dış inklüzyonlardır. İç inklüzyonlarda en önemli sebep kalsiyum alüminatlar ve küresel oksit inklüzyonları olarak belirlenmiştir. Yoğun olarak görülen MnS inklüzyonlarının ise 3. tip olduğu ve morfolojisi gereği çekilebilirliğe etkisinin olmadığı görülmüştür. Kopmaya sebep olan dış inklüzyonların ise pota ocağı veya tandiştan kopan refrakterler olduğu belirlenmiştir. Tandiştan düzenli olarak değıştirilmemesi, tandiştan refrakterlerinin koparak dış inklüzyon sayısını arttırmasına sebep olacaktır.

Yapılan metalografik incelemelerde dış inklüzyon boyutları önerilen en büyük inklüzyon boyutu olan 20 µm'dan büyük veya 20 µm sınırındadır. Bu boyutlardaki inklüzyonlar kopmaların asıl sebebidir. Çekme işlemi sırasında teldeki kesit daralması sebebi ile yüzeye doğru çıkan inklüzyonlar haddeden geçerken telin yırtılarak kopmasına sebep olurlar.

Bölgesel inklüzyon kaynaklı kopma ise en çok görülen ikinci kopma türü olup sebebi iç kaynaklı inklüzyonlardır. Özellikle açık döküm ve kapalı döküm karşılaştırıldığında önemi açığa çıkan bu inklüzyonlar oksit inklüzyonlarıdır. Kapalı dökümde bölgesel kaynaklı inklüzyon hiç görölmezken, açık dökümde birçok kez rastlanmıştır. Kütük hammaddeden filmaşine ve kaynak teli çapına çekilen tellerde, bölgesel inklüzyonlar 2 kilometre uzunluğu kadar yayılabilirler. Bunun için; bu kopmanın görüldüğü bölgenin gerisinde de aynı şekilde kopmaların yaşandığı, hatta telin elle bükme sayesinde bile kolayca koparıldığı görülmüştür.

Delaminasyon kopması ise en çok karşılaşılan 3. kopma türü olarak belirlenmiştir. Bu kopma türünün sebebi, haddedeki çatlaklar veya banyodaki sabun derişimine bağılı olarak telin iyi sabun almaması olarak tanımlanmıştır. Çoğunlukla bakırlamadan sonraki haddede görülen bu kopma türü kopmadan hemen sonra belirlenebilecek bir türdür ve gerekli önlemler alınırsa tekrar yaşanması beklenmez.

Boyun vererek kopma türünde ise sebep telin iyi sabun almaması ve haddeden geçerken çekme mukavemetini taşıyamamasıdır. Bunun sebebi ise haddenin tel yüzeyine sabunu iyi sıvayamaması olarak tanımlanmıştır. Hadde değişimi ile kolaylıkla önüne geçilebilecek bir kopma türüdür.

HCl asit ile temizlenip yüzeyinde daha çok gözenek görülen filmaşinde sabun alma karakteristiği daha farklıdır. Bu tip filmaşin daha çok sabun almakta ve yüzeye daha iyi sıvayan sabun sayesinde tel çekme işleminin verimli hale geldiği görülmüştür. Daha az sabun alan tellerde aynı hız ve çap değerleri için hadde ömürlerinin azaldığı, haddede oluşan deformasyonlara bağlı olarak kopma sayılarının arttığı gözlenmiştir.

Yapılan SEM incelemeleri ile kopma türleri tanımlanmış ve desteklenmiştir.

Yapılan metalografik incelemelerde; tüm tedarikçilerde görülen mikroyapıların benzer olduğu görülmüştür. Fakat Tedarikçi A'daki mikroyapıda ferrit ve perlit taneleri daha düzgün dağıtılmış ve üniform yapıdadır. Bunu sırası ile Tedarikçi C, Tedarikçi B ve Tedarikçi D izlemektedir. Mikroyapıda görülen dağılımının soğuk tel çekme işlemini doğrudan etkileyecek bir faktör olup olmadığı sonucuna varılamamıştır.

KAYNAKLAR

- [1] **Wright, R.N.** (2011). *Wire Technology: Process Engineering and Metallurgy*, doi:10.1016/B978-0-12-382092-1.00002-6, Elsevier, Oxford, UK.
- [2] **The James F. Lincoln Arc Welding Foundation.** (2000). *The Procedure Handbook of Arc Welding*, **14**, Cleveland, USA
- [3] **Güzey, A.** (2009). Demirsel Tellerin Üretim Sürecinin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- [4] **Sarıdede, M. N.** Demir Çelik Üretimi, Alındığı Tarih: 02.03.2015, adres: <http://www.yarbis.yildiz.edu.tr/saridede/course/viewCourse/id/4785>
- [5] **Midrex Technologies Inc.** (2012). The Midrex Process, Charlotte, USA.
- [6] **Smith, W. F.** (2006). Malzeme Bilimi ve Mühendisliği (Çev. Kınıkoğlu N. G.), **3**, 452-453, Literatür Yayıncılık, İstanbul.
- [7] **The Materials Information Company.** (1992). *ASM Handbook*, vol. 15, 661-674, ASM International, USA.
- [8] **Clark, R.** (1970). *Continuous Casting of Steel*, Institute for Iron and Steel Studies.
- [9] **Gillström, P. ve Jarl, M.** (2007). Wear of die after drawing of pickled or reverse bent wire rod, *Wear*, **262**, 858-867.
- [10] **Gillström, P. ve Jarl, M.** (2006). Mechanical descaling of wire rod using reverse bending and brushing, *Journal of Materials Processing Technology*, **172**, 332-340.
- [11] **Yang, W.** (2001). The Structure and Properties of Mill Scale in Relation To Easy Removal, *Doktora Tezi*, University of Sheffield, Sheffield, England .
- [12] **Ünseren, M.**, (2006). Tel Çekme Matrisleri Üzerine Bir Araştırma, *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [13] **Lewis, K.B.** (1952). *Steel Wire in America*, The Wire Association Inc., Bradford, CT.
- [14] **Theory of Wiredrawing**, (t.y.) <http://www.academia.edu/7871380>, alındığı tarih: 12.11.2014.
- [15] **Flanders, N. A. ve E. M. Alexander.** (1979). Analysis of Wire Temperature and Power Requirements on Multi-Pass Drawing Productivity, *Wire Journal International*, **12**, 4, 60–64, The Wire Association International, Inc., Guilford, Connecticut.
- [16] **Wistreich, J. G.** (1958). The Fundamentals of Wire Drawing, *Metallurgical Reviews*, **3**, 10, 97–141.

- [17] **Caddell, R. M. ve Atkins, A. G.** (1968). The Influence of Redundant Work When Drawing Rods through Conical Dies, *Journal of Engineering for Industry*, **90**, 411–419.
- [18] **Wright, R. N.** (1970). Factors to Consider in Wire Die and Pass Schedule Design: Technical Paper MF77-960, *Society of Manufacturing Engineers*, **10**, Dearborn, Michigan.
- [19] **Ranger, A. E.** (1957). An Electrical Analogue for Estimating Die Temperatures during Wire Drawing, *Journal of the Iron and Steel Institute*, **185**, 383–388.
- [20] **Dove, A. ve Moritz, J. ve Smigel W.** (1980). *Steel Wire Handbook*, 250-263, Wire Association International, USA
- [21] **Alcansoy, A. ve Özdamar, E. ve Türkmen, G.** (1981). Sürtünme, Aşınma, Yatak ve Dişlerde Yağlama ve Uygulamaları., SEGEM, Yayın no: 74. Ankara.
- [22] **Wright, R. N. ve Male, A. T.** (1978). ASME Transactions, *Journal for Lubrication Engineering*, **97**, 134.
- [23] **Wright, R. N.** (1978). Metal Progress, **114**, 49.
- [24] **Schey J.A.** (1983) Tribology in Metalworking, Friction, Lubrication and Wear, *United States of America: American Society for Metal*, doi:0-87170-155-3, Ohio, USA.
- [25] **Özer, Ö.** (1993). Tel Çekme İşlemine Etki Eden Faktörlerin Mekanik ve Teknolojik Olarak İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [26] **Özer, Ö. ve Yurci, M.** (1997). Tel Çekme İşleminde Matris Açılarının Optimizasyonu ve Sapmaların Belirlenmesi, ODTÜ Makine Fakültesi 1. Makine Mühendisliği Kongresi, 4–6 Haziran 1997, İstanbul.
- [27] **Çapan, L.** (1989). Metallere Plastik Şekil Verme Usulleri, Çağlayan Kitabevi, İstanbul.
- [28] **Balin, B.** (2004). Seçilen Karakteristiklerin Tel Çekme İşlemi Üzerindeki Etkileri, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [29] **Koner, S.** (1992). Tungsten Carbide Wire Drawing Dies, *Wire Industry*, 350-356.
- [30] **Lange, K.** (1985). Drawing and Ironing, *Handbook of Metalforming*, 14.27, McGraw-Hill Book Company, New York, USA.
- [31] **Wright, R. N.** (1984). Workability in Extrusion and Wire Drawing, *Workability Testing Techniques*, 255, ASM International, Materials Park, Ohio,
- [32] **Pehlke, R.D.** (1981). Reoxidation of Liquid Steel, *Radex Rundsch.* 349-367
- [33] **Memarpour, Arashk.** (2011). An Experimental Study of Submerged Entry Nozzles (SEN) Focusing on Decarburization and Clogging, *Doktora Tezi*, Royal Institute of Technology, Stockholm.

- [34] **Rawdon, H. S. ve Rawdon ve Siller F. J.** (t.y.) Preparation and Properties of Pure Iron Alloys: Effect of Manganese on The Structure Of Alloys of The Iron-Carbon System, *Scientific Papers of Bureau of Standard*.
- [35] **Evans, G.M.** (1980). Effect of Manganese on The Microstructure and Properties of All-Weld-Metal Deposits, *Welding Journal*, **Mart**, 67-75
- [36] **Séblin. B, Jahazeeah. Y, Sujeebun. S, Manohar, Wong, K.** (2014). Alloying of Iron, alındığı tarih: 04.02.2015, adres: http://www.uom.ac.mu/faculties/foe/mped/students_corner/notes/enggmateri als/steelbklet.pdf
- [37] **Rod, O. Becker, C. Nylén, M.** (2006). Opportunities and dangers of using residual elements in steels: a literature survey, *Jernkontorets Forskning*, **124**, 1-53.
- [38] **Toribio, J. Lorenzo, M. Vergara, D.** (2014). On The Use of Varying Die Angle for Improving The Resistance to Hydrogen Embrittlement of Cold Drawn Prestressing Steel Wires, *Engineering Failure Analysis*, **47**, 273-282
- [39] **Lee, S. Y. Oh, Y. J. Yi, K. W.** (2002). Effects of Titanium and Oxygen Content on Microstructure in Low Carbon Steels, *Materials Transactions*, **43**, 3, 518-522
- [40] **Perez, J.** (2012). Inclusion Control Model in The Ladle Metallurgy Furnace, *Yüksek Lisans Tezi*, Ontario, Canada.
- [41] **Ünal L.M.** (2001) Çelik Üretiminde İnküzyon ve Azaltılması, Erdemir Bilim Teknoloji Serisi, Rota Yayıncılık, İstanbul.
- [42] **Zhang, L. ve Thomas B.G.** (2003) Inclusions in Continuous Casting of Steel, *XXIV National Steelmaking Symposium*, Mexico, 138-183
- [43] **Wijk, O.** (1995) Inclusion Engineering, *Scaninject VII. 7th International Conference on Refining Process*, **I**, 35-67
- [44] **Kim, H.S. Lee, H. Oh, K.** (2001) MnS Precipitation in Association with Manganese Silicate Inclusions in Si/Mn Deoxidized Steel, *Metallurgical and Materials Transactions A*, **32A**, 1519-1525.
- [45] **Lis, T.** (2009) Modification of Oxygen And Sulphur Inclusions in Steel by Calcium Treatment, *Metalurgija*, **48**, 2, 95-98
- [46] **Norasethaspon, S. ve Yoshida, K.** (2006). Influences of Inclusion Shape and size in drawing of copper shaped wire, *Journal of Materials Processing Technology*, **172**, 400-406.
- [47] **Reed, T.B.** (1971) Ellingham Diagram for Selected Sulfides, *Free Energy of Formation of Binary Compounds*, MIT Press, Cambridge.
- [48] **Chia, E. H. ve Tassi, O. J.** (1981). Wire Breaks - Causes and Characteristics, *Nonferrous Wire Handbook*, **2**, 60, The Wire Association, Inc., Guilford, CT
- [49] **Url-1** <http://www.jd-met.com/webcontent/pageID=95>, alındığı tarih: 09.03.2015
- [50] **Url-2** <http://www.keytometals.com>, alındığı tarih: 23.10.2014
- [51] **Url-3** <http://www.crct.polymtl.ca/fact/documentation/FSlite>, alındığı tarih: 19.01.2015

- [52] **Url-4** <http://merlab.metu.edu.tr/x-isini-floresans-spektometresi>, alındığı tarih: 25.02.2015

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad : Kıvanç ALTUN

Doğum Yeri ve Tarihi : Söke / 1991

E-posta : kivancaltun@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

- **Lisans** : 2013, Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği