

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

**TEL ÇEKME MATRİSLERİNDE AŞINMA MEKANİZMALARININ
İNCELENMESİ**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet GÖKHAN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Malzeme ve İmalat Yüksek Lisans Programı

Tez Danışmanı: Doç.Dr. Turgut GÜLMEZ

ŞUBAT, 2024

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

**TEL ÇEKME MATRİSLERİNDE AŞINMA MEKANİZMALARININ
İNCELENMESİ**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet GÖKHAN

503201320

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Malzeme ve İmalat Yüksek Lisans Programı

Tez Danışmanı: Doç.Dr. Turgut GÜLMEZ

ŞUBAT, 2024

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL

INVESTIGATION OF WEAR MECHANISMS IN WIRE DRAWING DIES



M.Sc. THESIS

Ahmet GÖKHAN

503201320

Department of Mechanical Engineering

Materials and Manufacture Programme

Thesis Advisor: Doç.Dr. Turgut GÜLMEZ

FEBRUARY, 2024

İTÜ, Fen Bilimler Enstitüsü'nün 503201320 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Ahmet GÖKHAN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**TEL ÇEKME MATRİSLERİNDE AŞINMA MEKANİZMALARININ İNCELENMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Turgut GÜLMEZ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Ali GÖKŞENLİ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Umut KARAGÜZEL
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi :
Savunma Tarihi : Mayıs 2024



ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca her konuda yardımlarını esirgemeyen, kıymetli fikir ve düşünceleri ile yol gösteren değerli danışman hocam Doç. Dr. Turgut GÜLMEZ'e, hayatımda elde etmiş olduğum bir çok başarı gibi bu başarısında mimarları olan annem Zehra ECEVİT ve babam Tuncer GÖKHAN'a ve yüksek lisans eğitimim boyunca her konuda desteğini en içten hissettiğim ve bu yolda benimle yürüyen Cansu GÖKHAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2024

Ahmet GÖKHAN



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ.....	V
İÇİNDEKİLER	vii
SEMBOLLER	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ÖZET	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
2. SOĞUK TEL ÇEKME İŞLEMİ	5
2.1 Tel Çekme Makineleri	5
2.1.1 Kuru tel çekme makineleri.....	5
2.1.2 Sulu çekme makineleri	9
3. TEL ÇEKME İŞLEMİNDE KULLANILAN YAĞLAYICILAR.....	13
3.1 Kaplama Modelleri	13
3.1.1 Çok ince / bölgesel kaplama	14
3.1.2 Sürekli / tam kaplama	14
3.1.3 Kalın / fazla kaplama	14
3.2 Yağlama Mekanizmaları.....	15
3.2.1 Ara yüzey (sınır) yağlama.....	15
3.2.2 Hidrodinamik yağlama	15
3.2.3 Karışık yağlama	15
3.3 Yağlayıcıların Özellikleri ve Görevleri.....	16
3.4 Yağlayıcıların Seçimi	17
4. TEL ÇEKME MATRİSLERİ	19
4.1 Malzeme ve Genel Özellikleri	19
4.2 Çekme Matrisi Geometrisi	20
4.2.1 Giriş açısı.....	21
4.2.2 Matris açısı	21
4.2.3 Yatak / silindir uzunluğu(kavrama)	22
4.3 Delta Faktörü ve Temas Noktası.....	23
4.3.1 Delta faktörü (Δ).....	25
5. TEL ÇEKME MATRİSLERİNİN İŞLENMESİ.....	27
5.1 Yüzey Temizliği ve Kontrolü	28
5.2 Yüzey Taşlama İşlemi	29
5.3 Yüzey Parlatma İşlemi.....	30
5.4 Yüzey Temizleme İşlemi	32
5.5 Yüzey ve Yatak Uzunluk Kontrolü.....	32
5.6 Nihai Çapa Getirme	33
6. TUNGSTEN KARBÜR TEL ÇEKME MATRİSLERİNDE AŞINMA.....	35
6.1 Aşınma Mekanizması	35
6.2 Aşınmayı Etkileyen Faktörler	37
6.2.1 Çekilecek malzemenin yüzey durumu	37
6.2.2 Çekme matrisi malzemesi	38
6.2.3 Çekme matrisi yatak uzunluğu	38
6.2.4 Temas noktası ve delta faktörü	39
6.2.5 Yüzey kalitesi	39
6.2.6 Yağlayıcı performansı	40
6.2.7 Titreşim.....	40
6.2.8 Tel çekme hızı	42

6.2.9 Soğutma sistemleri	42
7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	45
7.1 Kullanılan Malzemeler	45
7.1.1 Çekme matrisleri	45
7.1.2 Kaplama malzemeleri.....	45
7.1.3 Çekme deneylerinde kullanılan telin malzemesi	46
7.1.4 Çekme deneylerinde kullanılan yağlayıcı malzemesi	46
7.2 Numune Hazırlığı	47
7.2.1 PVD kaplama işlemi	47
7.2.2 Kesit alma işlemi	47
7.3 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Ölçüm ve Analizler	48
7.3.1 SEM analizi	48
7.3.2 Yüzey pürüzlülük ölçümleri	49
7.3.3 Mikrosertlik testleri	50
7.3.4 XRF analizleri	50
7.4. Deneysel Çalışmaların Yapılışı	51
7.4.1 Deneylerin hazırlanışı.....	51
7.4.2 Deneylerin gerçekleştirilmesi	52
7.5 Deneysel Çalışmaların Sonuçları.....	53
7.5.1 SEM analiz sonuçları.....	53
7.5.2 Çekme matris numunelerinin yüzey pürüzlülük test sonuçları	58
7.5.3 Çekme matris numunelerinin mikrosertlik test sonuçları	59
7.5.4 Çekme deneylerinde kullanılan tellere ait XRF analizi sonuçları.....	60
7.5.4 Çekme deneylerinin sonuçları	61
7.5.5 Çekme numuneleri XRF yağlayıcı kaynaklı Ca ölçüm sonuçları.....	62
8. GENEL SONUÇ VE ÖNERİLER	63
KAYNAKLAR	67
ÖZGEÇMİŞ.....	71

SEMBOLLER

U	: Tambur Hızı
S	: Kayma
u	: Sürtünme Katsayısı
Co	: Kobalt
WC	: Tungsten Karbür
α	: Matris Açısı
Δ	: Delta Faktörü
C	: Karbon
TiN	: Titanyum Nitrür
AlTiN	: Alüminyum Titanyum Nitrür
TiAlCN	: Titanyum Alüminyum Karbon Nitrür
PVD	: Fiziksel buhar biriktirme



ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1 : Kaplama modellerinin karakterize edilmesi [1].	14
Çizelge 3.2 : Sabun seçiminde muhtelif malzemeler için örnek uygulamalar [14]... ..	18
Çizelge 5.1 : Dokuz matrisli seri örneği ve redüksiyon oranları.	27
Çizelge 7.1 : Tungsten karbür matrislerine ait teknik bilgiler.	45
Çizelge 7.2 : PVD yöntemi ile kaplanan malzemeler.	45
Çizelge 7.3 : Kaplamaların vickers mikrosertlik değerleri.	60
Çizelge 7.4 : Çekme deneylerinde kullanılan tellere ait kimyasal kompozisyonlar..	61
Çizelge 7.5 : Çekme deneyleri sonuçları.	61
Çizelge 7.6 : Numunelere ait XRF ca ölçüm sonuçları.	62



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1: Ortaçağda tel çekme işleminin resimlemesi [2].	1
Şekil 1.2: Tel çekme şematik gösterimi.	2
Şekil 1.3 : Filmaşın örneği.	3
Şekil 2.1: Açıcı gösterimi.	6
Şekil 2.2 : Tufal kırıcı gösterimi.	6
Şekil 2.3 : Tufal tabakasının tel yüzeyinden ayrılmasının şematik gösterimi [5]	7
Şekil 2.4 : Zımpara tip mekanik yüzey temizleme ünitesi gösterimi.	8
Şekil 2.5 : Tel fırça tip mekanik yüzey temizleme ünitesi gösterimi.	8
Şekil 2.6 : Çekme bloğu gösterimi.	9
Şekil 2.7 : Daldırma tipi konik tamburlu sulu çekme makine gösterimi.	10
Şekil 2.9 : Püskürtme tipi çoklu tamburlu sulu çekme makine gösterimi.	11
Şekil 2.10 : Sıcaklık değişimi gösterimi [6].	11
Şekil 3.1 : Karışık yağlama gösterimi.	15
Şekil 3.2 : Tel çekme esnasında yağlayıcı akış gösterimi [13].	17
Şekil 4.1 : Çekme matrisi kesit görüntüsü.	20
Şekil 4.2 : Çekme matrisi kısımlar gösterimi.	21
Şekil 4.3 : Matris açısının kesit daralması değerlerinde çekme kuvvetine etkisi [17].	22
Şekil 4.4 : Çekme matrisi kısa-uzun yatak/silindir boyu kesit gösterimi.	22
Şekil 4.5 : Farklı yatak boyu uzunluğuna ait çekilmiş tel yüzey görünümü: a) %50 silindir boyu 1.63 mm tel yüzey görüntüsü, b) %30 silindir boyu 1.63 mm tel yüzey görüntüsü [3].	23
Şekil 4.6 : Doğru seçilmiş temas noktası gösterimi [14].	24
Şekil 4.7 : Hatalı seçilmiş temas noktası gösterimi [14].	24
Şekil 4.8 : Hatalı seçilmiş temas noktası gösterimi [14].	24
Şekil 4.9 : Tel çekme matrisi gösterimi [19].	25
Şekil 5.1 : Kırık matris kesit gösterimi.	28
Şekil 5.2 : Taşlama kalemi.	29
Şekil 5.3 : Taşlama işlemi makine görünümü.	30
Şekil 5.4 : Parlatma kalemi.	31
Şekil 5.5 : Matris yüzey temizleme işlemi.	32
Şekil 5.6 : Ovalite meydana gelmiş matris mikroskop görüntüsü.	33
Şekil 5.7 : İşlem sonrası matris yatak boylarının mikroskop görüntüleri. a) Yatak Boyu Sıfırlanmış (uygun) , b) Yatak Boyu Sıfırlanmamış (uygun olmayan).	33
Şekil 5.8 : Nihai çapa getirme işlemi makine görüntüsü.	34
Şekil 5.9 : Elmas sıvısı ile doldurulmuş matris görüntüsü.	34
Şekil 6.1 : Matris çekirdek boyunca aşınma miktarı [24].	36
Şekil 6.2 : Tungsten karbür matris aşınma mekanizması [26].	36
Şekil 6.3 : Tungsten karbür matris abrazyif ve adhezif aşınma mekanizması [22].	37
Şekil 6.4 : Aşınma hacmi-kobalt oranı ilişki grafiği [29].	38

Şekil 6.5 : Yatak uzunluğu-çekme kuvveti ilişkisi [18].....	38
Şekil 6.6 : Farklı temas noktası sematik gösterimi [30].	39
Şekil 6.7 : Yüzey pürüzlülüğü ile çekme kuvveti ilişkisi [7].....	39
Şekil 6.8 : Çekme matrisi girişi tel salınım gösterimi [32].	41
Şekil 6.9 : Çekme işleminde titreşimin basınç dağılımına etkisi [33].	41
Şekil 6.10 : Çekme işleminde titreşimin aşınmaya olan etkisi [33].....	42
Şekil 6.11 : Çekme işleminde matris yüzeyindeki sıcaklık dağılımı [34].	43
Şekil 6.12 : Çekme bloğu sıcaklık dağılımı gösterimi [35].	43
Şekil 7.1 : Yağlayıcı görüntüsü.....	46
Şekil 7.2 : PVD kaplanmış çekme matrislerinin görüntüsü.....	47
Şekil 7.3 : Kesit alınmış matrislerin mikroskop görüntüleri.....	48
Şekil 7.4 : SEM analizi numune görüntüsü.	49
Şekil 7.5 : Yüzey Pürüzlülük Açılı Ölçüm Tablası.	49
Şekil 7.6 : Mikrosertlik cihazı görüntüsü.....	50
Şekil 7.7 : Portatif XRF cihaz görüntüsü.....	50
Şekil 7.8 : Çekme matrisi montajı.	51
Şekil 7.9 : Uç açma ve tambur sarma işlemi.....	52
Şekil 7.10 : Alın kaynak ve taşlama işlemi.....	52
Şekil 7.11 : Veri toplama sistemi.....	53
Şekil 7.12 : TiN kaplamalı tel çekme matrisinin giriş SEM görüntüsü.....	54
Şekil 7.13 : TiN kaplamalı tel çekme matrisinin çıkış SEM görüntüsü.....	54
Şekil 7.14 : TiN kaplamalı tel çekme matrisinin yatak boyu SEM görüntüsü.	55
Şekil 7.15 : AlTiN kaplamalı tel çekme matrisinin giriş SEM görüntüsü.....	55
Şekil 7.16 : AlTiN kaplamalı tel çekme matrisinin çıkış SEM görüntüsü.	56
Şekil 7.17 : AlTiN kaplamalı tel çekme matrisinin yatak boyu SEM görüntüsü.	56
Şekil 7.18 : TiAlCN kaplamalı tel çekme matrisinin giriş SEM görüntüsü.....	57
Şekil 7.19 : TiAlCN kaplamalı tel çekme matrisinin çıkış SEM görüntüsü.....	57
Şekil 7.20 : TiAlCN kaplamalı tel çekme matrisinin yatak boyu SEM görüntüsü....	58
Şekil 7.21 : TiN kaplamalı numuneye ait yüzey pürüzlülük grafiği.....	58
Şekil 7.22 : AlTiN kaplamalı numuneye ait yüzey pürüzlülük grafiği.....	59
Şekil 7.23 : TiAlCN kaplamalı numuneye ait yüzey pürüzlülük grafiği.....	59
Şekil 7.24 : Mikrosertlik test yüzey görüntüleri.	60
Şekil 7.25 : XRF ca ölçüm görselleri.....	62

TEL ÇEKME MATRİSLERİNDE AŞINMA MEKANİZMALARININ İNCELENMESİ

ÖZET

Günümüzde imalat sektöründe plastik şekil verme yöntemleri sık kullanılmaktadır. Tel çekme işlemi de bu yöntemlerden biridir. Bir çok farklı malzeme farklı ihtiyaçlar doğrultusunda tel çekme işlemi ile şekillendirilerek kullanılmaktadır. Tel çekme işlemi esnasında kesiti daralan malzemenin uzunluğu artmakta ve mekanik özellikleri değişmektedir. Kesit daralma işlemi, malzemenin çekme matrisi adı verilen belirli geometrilere sahip kalıplardan çekme tamburları tarafından çekilmesi ile gerçekleştirilir. Çekme matrisleri genel olarak giriş açısı, matris açısı, silindir/yatak boyu ve çıkış açısı bölümlerinden oluşmaktadır. Bahsi geçen tüm bölümlerin proses üzerinde farklı görev ve etkileri mevcuttur. Özellikle matris açısı ve silindir/yatak uzunluğu bölümleri çekilen malzeme ile temas halinde olan bölümlerdir. Bu temas miktarlarının azaltılarak çekme işleminin daha kolay ve sürekli bir şekilde devam ettirilebilmesi amacıyla yağlayıcı adı verilen malzemeler kullanılmaktadır. Yağlayıcı malzemeler çekilen malzeme ile çekme matrisi arasında ince film tabakası oluşturmaktadır. Yağlayıcıların bu oluşturduğu film tabakasına rağmen bu işlem esnasında çekme matrisleri ile çekilen malzemeler arasında temas kaçınılmazdır. Bu temas noktalarında yüksek sıcaklık ve basınç oluşmaktadır. Çekme matrislerinin bu koşullar altında uzun süre hatasız olarak çalışması proses devamlılığı ve ekonomisi açısından çok kritik öneme sahiptir. Bu nedenle tungsten karbür malzemeler iletkenlik, aşınma direnci, kolay işlenebilirlik gibi bir çok üstün özelliği ve finansal açıdan sağlamış olduğu avantaj ile çekme matrisi imalatında yoğun olarak kullanılmaktadır.

Son yıllarda imalat sektöründe artan rekabet ve maliyet baskısı firmaların daha verimli çalışma yollarını aramasına neden olmaktadır. Tel çekme işleminde çekme

matrislerinin değişim sıklığı ve değişim sürelerinin verimliliğe etkisi oldukça yüksektir. Bu nedenle tel çekme işlemi esnasında çekme matrislerinde meydana gelen aşınmalar ve bunları tetikleyen konular üzerinde hem endüstri hem de akademik alanda bir çok çalışma gerçekleştirilmektedir. Çalışmaların bir çoğu tel çekme işlemi esnasında kullanılan yağlayıcılar ve çekme matrislerinin geometrisi üzerinde yoğunlaşmaktadır.

Artan teknolojik gelişmeler ile tel çekme işleminde yüksek hızlı makineler kullanılmaya başlanmıştır. Bu gelişme ile birlikte verimlilik artışı sağlanmasına rağmen gerçekleşen bu hız artışı kesit daralması ile oluşan sıcaklık, basınç değerlerini ve aşınma hızlarının artmasına neden olmuştur. Meydana gelen bu aşınma hızlarındaki artış çekme matrislerinin değişim periyotlarının kısalmasına bununla birlikte verimliliğin düşmesine neden olurken, arzu edilen nihai ürün çapı ve yüzey kalitesine de olumsuz etki yaratmaktadır. Tüm bu gelişmeler ile birlikte çekme matrislerindeki aşınma konusu çok daha önemli olmaya başlamıştır. Genel olarak bakıldığında aşınmalar adhesif ve abrazif olmak üzere iki ana türde gerçekleşmektedir. Her bir aşınma türü için geçerli farklı mekanizmalar olduğu görölmüştür. Meydana gelen bu aşınmaları iyileştirebilmek amacıyla bu çalışmada, öncelikle aşınma mekanizmaları ve bu mekanizmalara etki eden faktörler ayrıntılı şekilde ele alınmış ve incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucu çekme matrisinin yüzey pürüzlülüğü, sertliği ve kimyasal ilgi seviyesinin aşınma mekanizması üzerinde önemli etkiye sahip olduğu anlaşılmıştır. Bir çok plastik şekil verme işleminde takımlarda sertlik değerlerini yükseltmek ve aşınma performansını iyileştirmek için kullanılan PVD yöntemi ile 4.70mm çapında 15x14 mm boyutlarında tungsten karbür çekme matrislerinin yüzeyleri kaplanmıştır. Elde edilen kaplamalara ait kaplama kalınlığı ölçümleri gerçekleştirilerek hem kalınlık hem de homojenlik durumu irdelenmiştir. Aşınma mekanizması üzerindeki etkisi bilinen sertlik ve yüzey pürüzlülük değeri de ölçölmüş elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Yapılan aşınma testleri ile kaplanan yüzeylerin aşınma performansları hesaplanmış ve ilk durum ile karşılaştırmalar yapılmıştır.

INVESTIGATION OF WEAR MECHANISMS IN WIRE DRAWING DIES

SUMMARY

Nowadays, plastic forming methods are used very frequently in the manufacturing industry. wire drawing is one of these methods. Many different materials are used by shaping with wire drawing process in line with different needs. During the wire drawing process, while the cross-section of the drawn material decreases, the length of the material increases and its mechanical properties also change. Section area reduction in the drawn material occurs when the material is drawn with drawing blocks from molds with certain geometries called the dies. Dies generally consist of entry angle, die angle, cylinder/bearing length and exit angle sections. All the mentioned sections have different duties and effects on the process. Especially the die angle and cylinder/bearing length sections are in contact with the drawn material. Materials called lubricants are used to reduce these contact amounts and to continue the drawing process more easily and continuously. Lubricating materials form a film layer between the drawn material and the dies. Despite the film layer formed by the lubricants, contact between the dies and the drawn materials is inevitable during this process. High temperature and pressure occur at these contact points. It is of critical importance for the dies to operate flawlessly for a long time under these conditions in terms of process continuity and economy. For this reason, tungsten carbide materials are widely used in dies manufacturing with their many superior properties such as conductivity, wear resistance, easy machinability and financial advantage.

Increasing competition and cost pressure in the manufacturing sector in recent years cause companies to look for more efficient ways of working. In the wire drawing process, the change frequency and change times of drawing dies have a very high impact on productivity. For this reason, many studies are carried out in both industry

and academic fields on the wear that occurs in the drawing dies during the wire drawing process and the issues that trigger them. Most of the studies focus on the lubricants used during the wire drawing process and the geometry of the drawing dies.

With increasing technological developments, high-speed machines have begun to be used in wire drawing process. Although the efficiency increase was achieved with this development, this speed increase caused the temperature and pressure values and wear rates to increase due to the reduction of the cross section. While this increase in wear rates causes the change periods of the dies to shorten and thus the efficiency to decrease, it also has a negative impact on the desired final product diameter and surface quality. With all these developments, the issue of wear in dies has become much more important.

Generally, there are two main types of wear: adhesive and abrasive. It has been observed that there are different mechanisms valid for each type of wear. In order to improve these wears, in this study, firstly, the wear mechanisms and the factors affecting these mechanisms were discussed and examined in detail. As a result of the investigations, it was understood that the surface roughness, hardness and chemical affinity level of the dies had a significant effect on the wear mechanism.

The surfaces of the tungsten carbide molds, which are 4.70 mm in diameter and 15x14 mm in size, are coated with three different materials using the PVD method, which is used to increase the hardness values of the tools and wear performance in many plastic forming processes. In the selection of coating materials, features such as usage areas, average coating thickness and friction coefficient were taken into consideration.

In order to measure the coating thickness, hardness and surface roughness of the coatings obtained on tungsten carbide matrix samples coated with different materials, cross-sectioning was carried out by the wire erosion method.

SEM analysis was used to determine coating thicknesses. In this way, both the coating thicknesses obtained and the thickness distribution along the coated surface were examined.

Hardness levels known to affect the wear mechanism were also obtained by performing microhardness measurements. In addition, surface roughness values were also measured. In the experiments carried out in the production area, the wear performances of the coated matrices as well as the lubricant and drawability

performances were monitored. In the light of all the results obtained after the experiments, coated matrices were compared both among themselves and with tungsten carbide matrices and the results were expressed.





1. GİRİŞ

Tel çekme işlemi tarihi milattan öncesi yıllara dayanmaktadır. Bir çok farklı malzeme bu yöntem ile şekillendirilmiştir. Bunların en başında ise altın gelmektedir. Farklı geometrilere sahip taşlar arasından geçirilen altın, şeritler haline getirilmiştir. Daha sonraki yüzyıllarda şekillendirilecek malzemelerdeki farklılaşmadan ve taşların hızlı aşınmasından kaynaklı olarak şekillendirme işleminde malzemeye nihai çapı ve şekli verecek olan matris malzemesinde farklı kullanım ihtiyacı doğmuştur.

Mısır'da firavunların kullandığı bilinen altın teller, Homeros'un Odesa'sında Perslilerin bronz teli 0,55 mm'ye kadar çekmesi ve 1200'lerde Paris'te bulunan bir yazılı eserde tel çekme işleminden ve tel çekme ustalarından bahsedilmesi, çok geçmiş dönemlerde bile tel çekme ile alakalı oldukça fazla çalışmanın yer aldığını ve bu konu ile yoğun ilgilenildiğini göstermektedir [1].

Tel çekme prosesinin günümüzde gelmiş olduğu son duruma en yakın bulgular Almanya' da ortaya çıkmıştır. Rudolph Von Nuremberg 14. Yüzyılda teli, mil ile tahriklediği matrislerden geçirerek birden fazla pasolama işlemi ile istediği çapa indirgemıştır (Şekil 1.1).

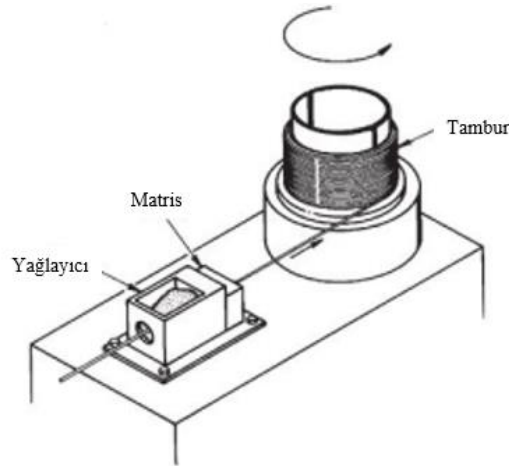


Şekil 1.1: Ortaçağda tel çekme işleminin resimlemesi [2].

Bu gelişmeler ile birlikte proses esnasında oluşan çekme zorluklarının üstesinden gelebilmek amacıyla yağlayıcı malzemelerin kullanımının önemi keşfedilmiştir. İlk zamanlarda çekme ustaları kayganlaştırıcı olarak çeşitli hayvansal yağlar kullanmış olup daha ilerleyen zamanlar da ise farklı karbon içeriklere sahip malzemelerin kullanımı denenmiştir.

Endüstri devri ile birlikte tel çekme sektörü de oldukça ilerlemiş ve tel çekme fabrikaları kurulmaya başlanmıştır. Teknolojik gelişmeler ile birlikte yüksek kapasiteye sahip çekme işlemini yüksek hızlarda gerçekleştirebilen otomatik yağlama sistemlerine ve kontrol ünitelerine sahip makineler geliştirilmiştir.

Günümüze gelindiğinde ise bir çok farklı alanda, farklı malzemeler kullanım alanlarına göre uygun çaplara indirgenerek kullanılmaktadır. Tel çekme prosesinde farklı tip ve kapasiteye sahip makine kullanımları mevcuttur. Bu makinelerin değişmeyen kısımları çekme blokları, çekme matrisleri ve yağlayıcı bloklarıdır. Makineler özellikle çekilen malzemenin yüzeyinin hazırlanması amacıyla tasarlanmış mekanik ve kimyasal ünitelere sahip olma durumlarına göre birbirinden ayrılmaktadır. Bahsi geçen kısımlar tel çekme işleminde çekilen malzemenin yüzeyini prosese hazırlayarak meydana gelen aşınmalar ve yağlayıcı performansını iyileştirmek amacıyla geliştirilmiştir. Genel anlamda bakıldığında tel çekme işlemi çekilen malzemenin kesitinin çekme blokları, çekme matrisleri ve yağlayıcılar yardımıyla istenilen çapa indirgenmesi işlemidir (Şekil 1.2). Çekme blokları motorlar tarafından tahriklenerek çekilen malzemenin makinenin girişinden çıkışına doğru hareketini sağlarken, bu hareket esnasında çekme matrisleri ve yağlayıcı yardımıyla kesit daralma işleminin de gerçekleşmesini sağlamaktadır.



Şekil 1.2: Tel çekme şematik gösterimi.

Yağlayıcıların varlığı sayesinde çekilen malzeme ile çekme matrisi arasında kesit daralması esnasında oluşan temas nedenli basınç ve sıcaklığın etkisinin azaltılmasını amaçlamaktadır. Malzeme ile matris arasında oluşturdıkları film tabakası sayesinde temas durumu azaltılmaya çalışılır. Yağlayıcıların kritik görevi nedeniyle yağlayıcı imalatı yapan firmalar bu konu üzerinde yoğun çalışmalar gerçekleştirmektedir.

Çekme matrisleri günümüzde yoğun olarak tungsten karbür malzemelerden imal edilmektedir. Tungsten karbür malzemelerin sahip olduğu bir çok üstün özelliği tel çekme sektöründe bu malzemenin popüler hale gelmesini sağlamıştır. Kesit daralması esnasında yüksek basınç ve sıcaklığa maruz kalan çekme matrislerinin aşınması kaçınılmazdır. Aşınma durumlarının proses verimliliğine etkisi oldukça yüksektir. Aşınan matrislerin istenilen nihai çap toleransı ve yüzey kalitesi nedeniyle değiştirilmesi gerekmektedir. Aşınma hızlarının artışı değişim periyotlarının kısalmasına ve verimliliğin düşmesine sebebiyet vermektedir. Tüm bu sebeplerden dolayı tel çekme sektöründe ve akademik alanda bu konuyla alakalı çalışmalar yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalar incelendiğinde çalışma miktarı ve kapsamlarının yeterli olmadığı görülmektedir.



Şekil 1.3 : Filmaşın örneği.

Tel çekme işleminde çekilecek malzemeler sıcak haddeleme yöntemi kullanılarak üretilmiş ve belirli çapa sahip filmaşın adı verilen kangal formu ile prosese girer (Şekil 1.3) . Sürekli döküm ile üretilmiş kütükler, haddeleme işlemi ile istenilen nihai çapa indirgenir. Bu işlem esnasında proses sıcaklığı homojenizasyon sıcaklığı olan 1200-1250 dereceye çıkarılır ve daha sonra haddeleme tezgahına beslenir. Haddeleme esnasında medanelere farklı kuvvetler uygulanarak kesit daralması aşamalı olarak

sağlanırken boy artışı da gerçekleşmektedir. Nihai çapa ulaşan tel basınçlı kaplarda su verme işlemine girer. Yüksek hızlara ulaşan tel halkalar halinde konveyöre boşaltılarak kangal formunda elde edilir. Kangal formuna ve istenilen nihai çapa getirilen tel paketlenme işlemleri sonrası müşteri talebine göre sevk edilir [3].



2. TEL ÇEKME İŞLEMİ

Tel çekme prosesi çekme işlemi uygulanacak malzemenin çapının çekme tamburları, matrisler ve yağlayıcılar yardımıyla arzu edilen nihai çaplara indirgenmesi işlemidir. Kesit daralması ile birlikte malzemenin boyunda uzama ile birlikte mukavemetinde artış gerçekleşmektedir. Tel çekme işlemi sırasında uygulanan çekme kuvveti ile birlikte çekme matrisi ve tel temas yüzeyleri arasında basma gerilmeleri meydana gelir. Oluşan bu gerilmeler sayesinde plastik şekil verme sağlanmış olur. Tel çekme işleminde kullanılacak tel çekme tambur ve matris sayısı, malzeme tipi, arzu edilen nihai çapa ve redüksiyon oranlarına göre değişiklik göstermektedir. Tel çekme işlemi esnasında çekme matrisi ile çekilen malzeme arasındaki etkileşimi azaltmak amacıyla yağlayıcılar kullanılmaktadır. Çekme esnasında kullanılan bu yağlayıcıların fiziksel yapısına göre de Kuru Tel Çekme ve Sulu Tel Çekme olarak 2 gruba ayrılır.

2.1 Tel Çekme Makineleri

Tel çekme işleminde uzun yıllardır teknolojik gelişmeler ile birlikte kullanılan makinelerde değişmektedir. Genel anlamda bakıldığında eski yıllarda tel çekme işleminde tek bir motor tarafından tahrik edilen tek tamburlu makinelerin kullanımı mevcutken günümüzde çok tamburlu ve senkronize çalışan birden fazla motor ile tahriklenen makinelerin kullanımı popüler hale gelmiştir.

Çekme esnasında kullanılan yağlayıcıların fiziksel yapısına göre de kuru tel çekme makineleri ve sulu tel çekme makineleri olarak 2 gruba ayrılır.

2.1.1 Kuru tel çekme makineleri

Kuru tel çekme makineleri sırasıyla açıcı, tufal kırıcı, zımpara ünitesi, çekme tamburları, çekme matrisleri ve sarma puntası gibi farklı bölümlere sahiptir. İstenilen nihai yüzey kalitesi, ikincil işlemlerden dolayı kimyasal temizleme, sıcak su temizleme üniteleri gibi ekstra bölümlere sahip olabilmektedirler. Bu bölümde ele alınacak ve anlatılacak kuru tel çekme makineleri bu ekstra bölümlere sahip değildir.

5,5 mm çapa sahip filmaşınler ilk olarak şekil 2.1’de gösterilen açıcı adı verilen filmaşının kangal yapısından makineye düzgün bir şekilde beslenmesini sağlayan bölümüne forklift yardımıyla yerleştirilir.



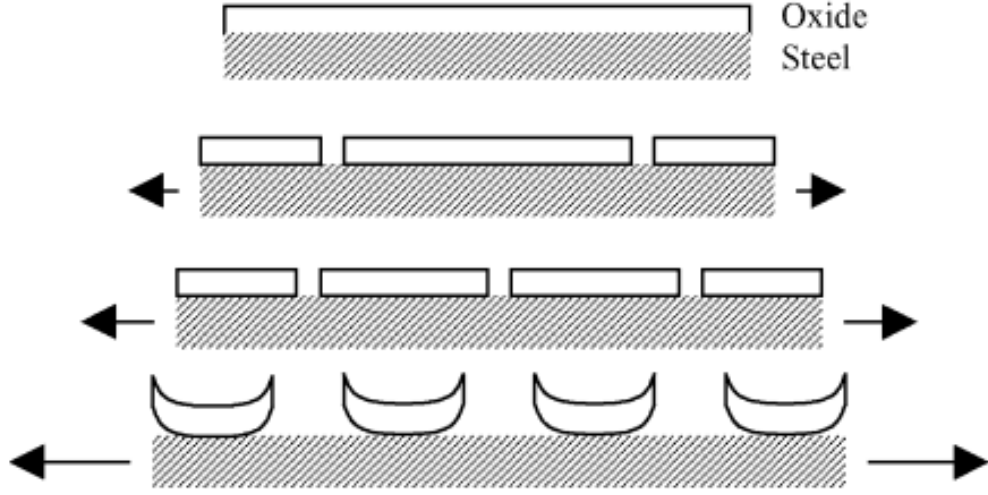
şekil 2.1: Açıcı gösterimi.

Daha sonrasında aıcıda düzgün bir şekilde açılan ve makineye beslenen tel şekil 2.2’de gösterilen farklı makara sayılarına sahip olabilen mekanik tufal kırıcı bölümüne gelir. Bu bölümde yüzeyde bulunan hematit tufal yapısı tel de meydana getirilecek kesit daralması ile kırılır (şekil 2.3). Telin mekanik tufal kırıcılarda yapmış olduğu bükülme hareketleri yüzeyde gerilmelere neden olarak bu kırılmaları hızlandırmaktadır. Mekanik tufal kırıcılarda kullanılan makaralarda farklı sert kaplama yöntemleri kullanılarak aşınmaların önüne geçilir. Ayrıca burada bulunan makara sayısı, makara çapı, makara açısı ve makara yüzey yapısı mekanik temizlemenin performansına etki eden unsurlardandır [4].



şekil 2.2 : Tufal kırıcı gösterimi.

Özellikle mekanik kırıcılarda kullanılan makara çaplarının çok düşük veya yüksek olması teldeki gerilmeleri direkt olarak etkilemektedir. Düşük çaplarda yüksek deformasyon oluşumu, yüksek çaplarda ise yetersiz gerilme nedeniyle tufal yapısının yeterli temizlenememesi durumları meydana gelmektedir [4]



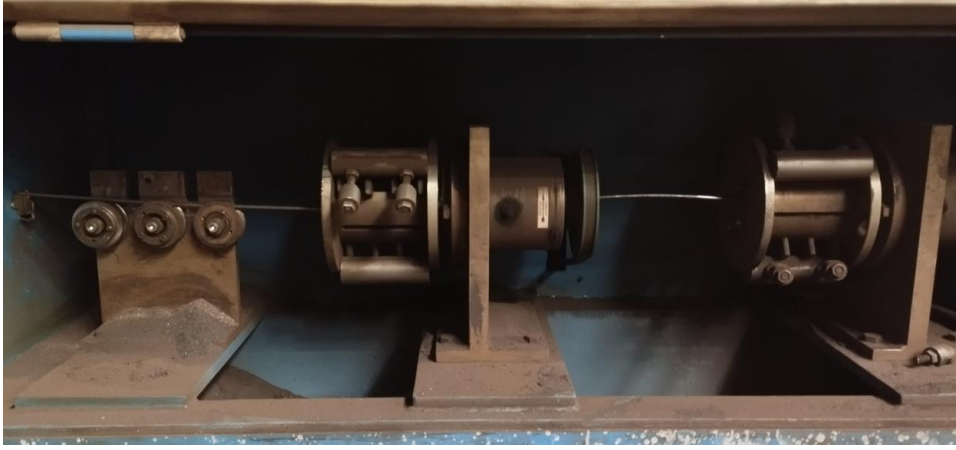
Şekil 2.3 : Tufal tabakasının tel yüzeyinden ayrılmasının şematik gösterimi [5]

Mekanik tufal kırıcılarda atılamayan tufal bir çok yönden hem kuru çekme prosesini hem de daha sonrasında uygulanacak işlemlerin performansını olumsuz yönde etkiler. Yüzeyde bulunan tufal yapısı malzemeden daha sert özelliğe sahip olmasından dolayı proseste kullanılan yağlayıcıların ve matrislerin ömürlerini olumsuz etkiler.

Tufal kırıcıdan çıkan tel son zamanlarda popüler hale gelen mekanik yüzey temizleme yöntemlerinden biri olan zımparalama ünitelerine girer. Bu işlem esnasında Şekil 2.4 ve Şekil 2.5’de gösterildiği gibi telin yüzeyi kağıt veya farklı tip zımparalar ile aşındırılarak yüzeydeki tufal yapısı tamamen ortadan kaldırılır. Kullanılan kağıt zımparaların yüzey tanecik boyutu zımparalama performansını ve kesitte meydana gelecek daralmayı etkilemektedir. Düzgün bir zımparalama işlemi için merkezlemenin ve zımparalama işleminin dairesel olarak her yüzeye eşit miktarda gerçekleştirilmesi önemli bir husustur. Proses esnasında oluşan çok yoğun toz ve tanecikler güçlü emiş sistemleri ile ortamdan uzaklaştırılır.



Şekil 2.4 : Zımpara tip mekanik yüzey temizleme ünitesi gösterimi.



Şekil 2.5 : Tel fırça tip mekanik yüzey temizleme ünitesi gösterimi.

Yüzey hazırlama/temizleme işlemi sonrası telin çapında ortalama %3-5 arası bir daralma meydana gelmektedir. Daha sonraki kesit daralma işleminde meydana gelen bu çap düşüşü göz önünde bulundurularak matris serisi hazırlanır.

Çekme bölümüne ulaşan tel sırayla indirgenecek nihai çapa ve redüksiyon oranlarına göre hazırlanan matrislerden oluşan seriye girer. Telin çapı arzu edilen çapa ulaşana kadar sırayla çapı büyükten küçüğe olacak şekilde matrislerden geçer. Her bir çekme bloğu Şekil 2.6'da gösterildiği üzere çekme tamburu, balerin, çekme matrisi ve yağlayıcı bloğundan oluşur. Her çekme tamburu kendine ait bağımsız motorlardan tahriklenir. Ayrıca tambur yüzeylerine haddelenen teldeki aşırı sıcaklık ve sürtünme nedeniyle oluşabilecek aşınmaları önlemek amacıyla sert malzeme ile kaplama işlemi gerçekleştirilir. Tamburlara dolanan tel, motor tahriki ile dönen tamburun yapmış olduğu dairesel hareket ile birlikte ileriye doğru hareketini sağlar.

Tel tamburlar sayesinde ileri doğru hareketi esnasında yağlayıcı haznesinden geçer ve yüzeyine ince tabaka yağlayıcı filmi kaplanır. Bu sayede kesit daralması esnasında oluşacak aşırı sürtünme ve ısı oluşumunun önüne geçilir. Yüzeyi yağlayıcı ile kaplanmış tel daha sonra matrise girer ve kesit daralma işlemi meydana gelir. Hem tambur hem de matris girişlerinde telin merkezlemesine dikkat edilir. Telin çekme tamburuna, yağlayıcı haznesine ve çekme matrisine giriş açısı ve konumu , matris ve yağlayıcı bloğunun sağa sola ve aşağı yukarı olacak şekilde 2 eksenli hareketi ile ayarlanır. Blok çıkışlarında bulunan dengeleyici makaralar (Balerin) çekme esnasında farklı nedenlerden dolayı meydana gelebilecek kuvvet ve gerilim dalgalanmalarını sensörler yardımıyla hesaplayarak çekme tamburları arasında senkronizasyonu sağlayarak dönüş hızlarını ayarlar.



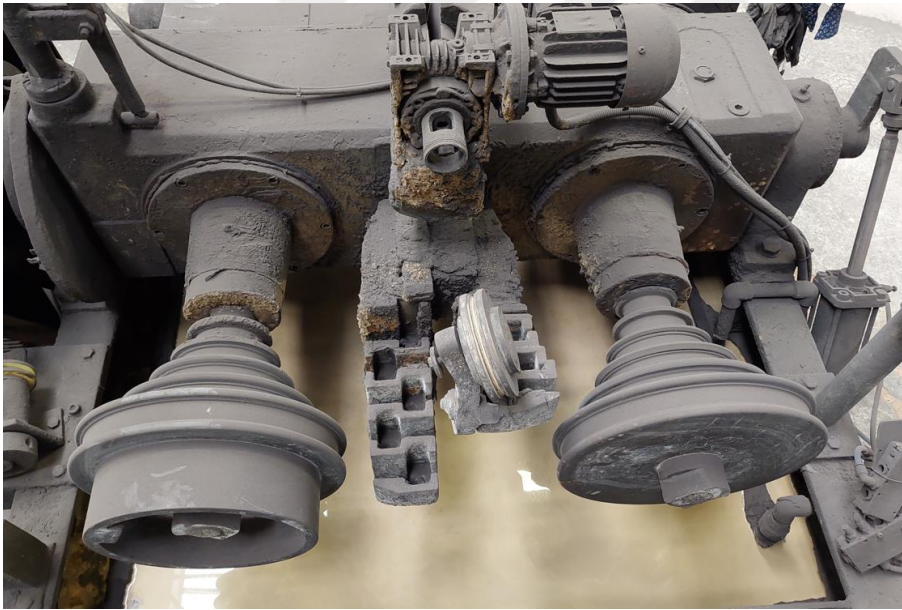
Şekil 2.6 : Çekme bloğu gösterimi.

2.1.2 Sulu çekme makineleri

Sulu tel çekme prosesinde kullanılan yağlayıcılar, farklı oranlarda su ile karışım haline getirilerek kullanılır. Sulu çekme prosesinde genellikle kuru tel çekme işleminden çıkmış yüksek çaplardaki filmaşınlerden daha düşük çaplara indirgenmiş yüzeylerinde belirli oranlarda kuru çekme işleminde kullanılan yağlayıcılardan oluşan yağlayıcı film tabakasına sahip teller kullanılmaktadır. Proseste kullanılacak matris sayısı çekilecek telin ilk çapı, arzu edilen nihai çap ve belirlenen redüksiyon oranlarına göre değişiklik göstermektedir. Sulu çekme makineleri matrislerin yağlayıcılara maruz kalma yöntemlerine, tambur modellerine ve sayısına göre değişiklik göstermektedir. Daldırma Tipi Konik Tamburlu Sulu Çekme makineleri ve Püskürtme Tipi Çoklu Tamburlu Sulu Çekme makineleri olarak 2 tipi bulunmaktadır.

Daldırma tipi konik tamburlu sulu çekme makineleri

Bu tip sulu çekme makinelerinde Şekil 2.7’de gösterildiği gibi çekme tamburları farklı çaplara sahip katmanlı ve konik şeklindedir. Her tambur birden fazla matris ve kesit daralması işleminde görev almaktadır. Bu çap farkının amacı, her matris sonrası telde meydana gelen farklı uzama miktarlarına göre telin daha fazla çekilerek, uzamalar arasındaki farkın tel üzerindeki gerginlik azalış veya artışlarına sebebiyet vermesi sonucu kopmalara neden olmasını engelleyerek prosesin devamlılığını sağlamasıdır. Her tekli konik tambur tek bir motordan tahriklenmektedir. Çekme tamburu su ve sıvı yağlayıcı karışımından oluşan solüsyon ile dolu bir havuzda yer almaktadır. Çekme matrisleri konik şeklindeki tamburun karşısına en büyük çapa sahip matrisin koniğin en düşük çapına, en küçük çapa sahip matrisin ise koniğin en büyük çapına denk gelecek şekilde yerleştirilir. Tel çekme tamburunun yüzeyinin çiziksiz ve aşınmamış olması önemli bir husustur.

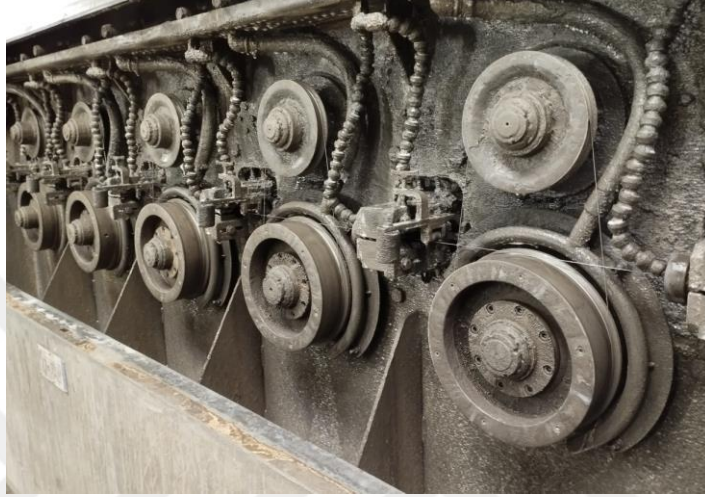


Şekil 2.7 : Daldırma tipi konik tamburlu sulu çekme makine gösterimi.

Püskürtme tipi çoklu tamburlu sulu çekme makineleri

Şekil 2.9’da gösterimi verilen birden fazla tel çekme tamburuna sahip bu makinelerde telin çekileceği nihai çapa ve matris sayısına göre tambur sayısı değişkenlik göstermektedir. Her tambur tek bir kesit daralma işleminde görev almaktadır. Kullanılacak yağlayıcı, püskürtme yöntemi ile telin kesitinde meydana gelen daralmanın gerçekleşeceği matris yatağının girişine ve tambur yüzeylerine püskürtülerek kullanılır.

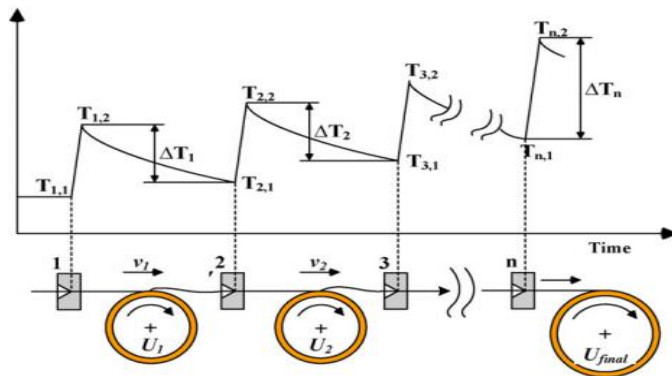
Kesit daralma işlemi sonrası sıcaklık artışı yaşayan tel tambura sarılır ve yağlayıcıların püskürtülmesi ile sıcaklığının bir miktarından kurtularak bir sonraki çekme matrisine geçer. Her tel çekme tamburu kendine ait bağımsız motor ile tahrik edilmektedir. Kuru tel çekme makinelerine benzer çalışma prensibine sahip bu makinelerde tamburları tahrikleyen motorlar senkronize olarak çalışmakta ve tel uzama miktarlarına göre hızlarını ayarlamaktadır.



Şekil 2.9 : Püskürtme tipi çoklu tamburlu sulu çekme makine gösterimi.

Tel ve tambur hızları kesit daralması sonrası telde meydana gelen uzama oranlarına göre ilk pasodan son pasoya doğru artış göstermektedir. Tamburlar çekilen tele göre daha hızlı olmaktadır. Bu hız farkı Denklem 2.1’de gösterildiği üzere S ile ifade edilmekte ve 'Kayma' olarak adlandırılmaktadır [6]. U tambur hızı v ise tel hızını simgelemektedir. U_{son} ise son çıkış tamburunun hızıdır.

$$S = \left(\frac{U-v}{U_{son}} \right) \times 100[\%] \quad (2.1)$$



Şekil 2.10 : Sıcaklık değişimi gösterimi [6].



3. TEL ÇEKME İŞLEMİNDE KULLANILAN YAĞLAYICILAR

Malzemelerin yüzeylerinde atomik boyutlarda bulunan çukur ve tümseklerin tel çekme esnasında birbirleri üzerinde kayması ile oluşan etkileşim sonucu sürtünme meydana gelmektedir. Sürtünme sıcaklık artışı ve aşınmalara sebebiyet vermektedir. Bu durum tel çekme performansını, yüzey kalitesini ve matris ömrünü olumsuz etkilemektedir. Oluşacak yüksek sürtünme kuvvetleri nedeniyle çekme kuvvetinde artış ve bunun sonucu olarak da çok sık tel kopmaları meydana gelmektedir. Bu etkileşimi azaltmak için yüzeyler arasında yağlayıcı film tabakası oluşturulması önem arz etmektedir. Tel yüzeyinde arzu edilen bu film tabakası farklı malzemeler ile oluşturulabilmektedir. Yağlayıcı olarak kullanılacak malzemenin performansı; tanecik boyutu, viskozite, erime sıcaklığı, yağ oranı gibi bir çok kimyasal ve fiziksel özellikler ile alakalıdır [7].

Kuru tel çekme işleminde her çekme matrisinin önünde bulunan yağlayıcı haznelere koyulan katı fazlı yağlayıcılar yüzeye tutunur ve kesit daralma işlemi sonrası yüzeye sıvanarak yüzeyde bir film oluşturur. Sulu çekme işleminde kullanılan sıvı fazlı yağlayıcılar, matris girişine püskürtme ile veya matrislerin direkt olarak yağlayıcı solüsyonun içinde çalışması ile prosese katılmaktadır. Bu tür yağlayıcılar tel yüzeyine sıvanmadığı için çok ince bir film tabakası olarak yağlayıcılık ve soğutma işlemini yerine getirmektedir [7].

3.1 Kaplama Modelleri

Çizelge 3.1’de görüldüğü üzere yağlayıcının tel yüzeyindeki miktarı, film kalınlığı, görünümü ve oluşturduğu sürtünme katsayısı farklılık gösterebilmektedir. Bu duruma tel yüzeyinin yapısı, tufal durumu, matris geometrisi, matris aşınmaları, proses hızı gibi çeşitli etkenler sebebiyet verebilmektedir. Tüm bunların sonucunda tel yüzeyinde farklı kaplama görüntüleri ve modelleri oluşmaktadır.

Çizelge 3.1 : Kaplama modellerinin karakterize edilmesi [1].

Kaplama Modeli	Sürtünme Katsayısı	Yüzey Görünümü
Bölgesel Kaplama	$0,15 < u < 0,25$	Karga ayağı, çizik
Tam Kaplama	$0,10 < u < 0,15$	Pürüzsüz, mat
Kalın Kaplama	$u < 0,33$	Nervür, Bölgesel yeterli olmayan kesit daralması

3.1.1 Çok ince / bölgesel kaplama

Bu tarz modellerde bölgesel olarak yağlayıcı filmleri oluşmaktadır. Tel ile matris arasında çok fazla etkileşim meydana geldiği için sürtünme oldukça yüksektir. Bu sürtünme sebepli telin yüzeyinde çizikler, yırtılmalar ve karga ayağı oluşumları görülmektedir [8].

Özellikle kuru tel çekme prosesinde kullanılan tanecik boyutu büyük yağlayıcılar ile yapılan deneyler bu tarz kaplama model sonuçlarını vermiştir [9].

3.1.2 Sürekli / tam kaplama

Tel ile matris arasında homojen ve sürekli bir yağlayıcı filmi oluşmaktadır. Film kalınlığı homojene yakın bir görüntüdedir. Bu film sayesinde tel ile matris arasındaki etkileşim minimum olmaktadır. Bu tür kaplamalarda tel çekme performansı olumlu olmak ile birlikte tel yüzeyinde istenmeyen durumlar ile karşılaşılma oranı oldukça düşüktür [8].

3.1.3 Kalın / fazla kaplama

Bu model kaplama kalınlığı sürekli kaplama modelinde oluşan kaplama kalınlığına göre 1,5 kat fazla ve kesme kuvvetlerinin oluşturmayacak boyutlarda olan model olarak tanımlanmıştır [8]. Teorik olarak kaplama modelleri ele alınmasına rağmen tel çekme işlemi esnasında yüzeyler arasındaki tepe ve çukurların etkileşimi nedeniyle bu modellerin birden fazlası aynı anda yüzeylerde oluşabilmektedir.

3.2 Yağlama Mekanizmaları

Tel çekme işleminde yağlama mekanizmaları matris ile çekilen tel arasında oluşan yağlayıcı filmin yapısı ve miktarına göre 3 ana rejimde meydana gelmektedir [10].

3.2.1 Ara yüzey (sınır) yağlama

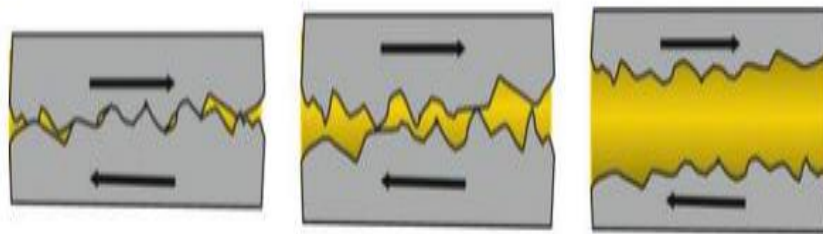
Çekilen tel ile matris arasında bölgesel ve çok ince film şeklinde gerçekleşen ve kaplama modellerinden ‘‘Çok İnce Film Kaplama’’ modelini meydana getiren yağlama tipidir. Oluşan bu yetersiz yağlama nedeniyle iki yüzey arasındaki sürtünme yüksek olmak da ve yüzey kusurları, matris aşınmaları, tel kopmaları gibi tel çekme işlemini olumsuz etkileyen durumlar meydana gelmektedir.

3.2.2 Hidrodinamik yağlama

Çekilen tel ile matris arasında kesintisiz ve sürekli bir yağlayıcı varlığı oluşturan ve ‘‘Sürekli/Tam Kaplama’’ veya ‘‘Kalın/Fazla Kaplama’’ modellerini meydana getiren mekanizmadır. Deformasyon yükü ve sürtünme, yağlayıcı tarafından oluşturulan film tabakası tarafından kontrol edilerek meydana gelebilecek yüzey kusurları ve kopmalar azaltılır. Tel çekme proseslerinde arzu edilen yağlama mekanizmasıdır [10].

3.3.3 Karışık yağlama

Şekil 3.1’de şematik gösterimi verilen bu yağlama mekanizmasında iki yüzey arasında bir film oluşmasına rağmen bölgesel olarak yeterli kalınlık elde edilemediği ve bu nedenle etkileşimin arttığı bir türdür. Bu tür yağlama mekanizmaları ile tel çekme işlemlerinde çok sık karşılaşılmaktadır.



Şekil 3.1 : Karışık yağlama gösterimi.

3.3 Yağlayıcıların Özellikleri ve Görevleri

Tel çekme prosesinde popüler olarak kullanılan yağlayıcılar, aktif polar gruplarına sahip uzun zincirli ve yağ asidi içeriği bulunan malzemelerdir. Yağ asit moleküllerinin kutup başları temas ettikleri yüzey ile reaksiyona girme aktifliği yüksek olup, bu sayede yüzeyde bir film tabakası oluşturma eğilimindedirler. Tel çekme işleminde kullanılan yağlayıcıların polaritesi, aktifliği üreticiler tarafından yağ bileşimleri ve katkı malzemeleri ile yönetilmektedir [11,12].

Tel çekme prosesinde kullanılacak yağlayıcılar hidrodinamik yağlama performansı göstererek, yüzeyler arasında tam ve sürekli bir film oluşturmalıdır. Bunun yanı sıra proses esnasında deformasyon gerilmeleri, basınç ve sıcaklık gibi ortaya çıkan etkilere karşı dayanıklı olmalıdır.

Yağlayıcıların performansı bir çok farklı unsurdan etkilenmektedir. Bunlar arasında redüksiyon oranı, matris geometrisi, soğutma sistemleri, çekilecek telin malzemesi, çekme hızı yer almaktadır. Yağlayıcı olarak kullanılacak malzemenin seçimi bu gibi unsurlar göz önünde bulundurularak en uygun optimizasyon ile gerçekleştirilmelidir.

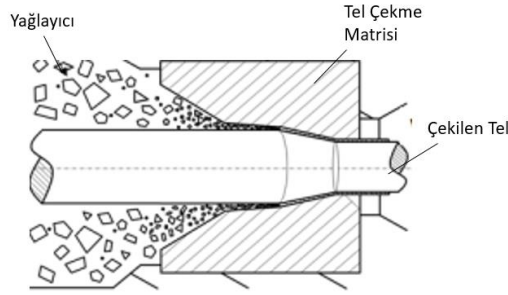
Tel çekme yağlayıcıları sodyum ve kalsiyum ana baz maddelerine göre 2 ana gruba ayrılmaktadır.

Kalsiyum bazlı yağlayıcılar tel yüzeyinde daha kalın film tabakası oluşturma eğilimindedir. Suda çözünmedikleri için çekilen tel daha sonrasında farklı kaplama gibi proseslerde kullanılacak ise telin yüzeyinin temizlenmesi önem arz etmektedir.

Sodyum bazlı yağlayıcılar ise daha ince film tabakası oluşturma ve suda çözünme eğilimindedirler. Bu nedenle temiz yüzey kalitesi istenilen, çekme prosesi sonrası çekilen tel yüzeyinde farklı işlemlerin uygulanacağı durumlarda tercih edilmektedirler.

Yağlayıcıları oluşturan baz maddelerin dışında kullanılan yağın cinsi ve miktarı yağlayıcının özelliklerini değiştirmektedir. Yağ asidi cinsi yağlayıcının yumuşama noktasını belirlerken, miktarı ise sıvanma özelliğini ve bununla birlikte yüzeyde oluşturacağı film kalınlığını etkiler [12].

3.4 Yağlayıcıların Seçimi



Şekil 3.2 : Tel çekme esnasında yağlayıcı akış gösterimi [13].

Şekil 3.2’de yağlayıcı malzemenin tel çekme işlemindeki prosese katılışı şematik olarak gösterilmiştir. Yağlayıcıların varlığı tel çekme işleminde olmazsa olmaz olduğu ve bir çok noktaya etki ettiği için uygun yağlayıcı seçimi kritik öneme sahiptir. Günümüzde bir çok farklı yağlayıcı üreticisi bulunmakta ve her biri farklı çözüm önerileri ile müşterilerinin çekme performanslarını iyileştirmeyi amaçlamaktadırlar. Bu çeşitlilik içerisinde proses parametlerine göre en uygun sabunun seçimi tel çekme işleminin verimliliğini arttıracak ve arzu edilen sonuçların alınmasını sağlayacaktır (Çizelge 3.2).

Yağlayıcı seçimi yapılırken;

- En önemli faktör kesit daralması gerçekleşecek telin malzemesidir. Özellikle malzemedeki karbon miktarı belirleyici ana unsurlardandır.
- Yağlayıcı ile temasa geçmeden önce çekilecek telin yüzey durumu önemli bir etkidir. Telin yüzeyinde bulunan tufal yapısı yağlama performansını düşürmektedir. Bu nedenle bir çok proseste mekanik tufal kırıcı, fırçalama , zımparalama ve kimyasal reaksiyon ile temizleme (Asit/Sıcak Su) üniteleri mevcuttur.
- Çekilecek telin başlangıç ve nihai istenen çapı, redüksiyon oranları ve prosesin kaç tambur, matris ile tamamlanacağı önemli bir unsurdur.
- Çekme hızı ve istenilen yüzey kalitesi. Çekme hızı arttıkça redüksiyon sonrası açığa çıkan sıcaklık arttığı için yağlayıcı malzemenin yüzeye yapışma ve film oluşturma performansı düşmekte ve yüzey kalitesinde bozulmalar meydana gelmektedir.

- Prosesin gerçekleştirildiği makinedeki hem matris hem de tel çekme tamburlarındaki soğutma suyu sistemleri. Telin her kesit indirgenmesi sonrası sıcaklığı artış göstermektedir. Matris çıkışında tambura sarılan tel sıcaklığının bir kısmını tambur yüzeyine aktarır.
- Matris geometrisi de sabun seçiminin en önemli unsurlarındandır. Özellikle yatak uzunluğu, temas noktası ve matris açısı önemli geometrik boyutlardandır.
- Çekme prosesi sonrası telin farklı bir prosese daha tabii tutulup tutulmayacağı da önemli bir husustur.

Çizelge 3.2 : Sabun seçiminde muhtelif malzemeler için örnek uygulamalar [14].

Malzeme	Yüzey Hazırlama	Tel Çekme Hızı (m/dk)	Matris Sayısı	Nihai Kullanım	Tavsiye Edilen Yağlayıcı
Düşük Karbonlu Çelik	Mekanik Kırma	450	1-3	İnşaat çivisi,tel örgü	Yağ oranı düşük,yumuşama sıcaklığı orta değerlerde olan kalsiyum bazlı sabunlar
Düşük Karbonlu Çelik	Mekanik Kırma	450-1350	3-8	Kaynak teli,çok ince tel örgü	Yağ oranı düşük/orta Yumuşama sıcaklığı yüksek kalsiyum bazlı sabunlar
Düşük Karbonlu Çelik	Asitle temizlenmiş,sabun taşıyıcı ile kaplanmış	300-1500	2-8		Yağ oranı düşük,yumuşama sıcaklığı orta derece kalsiyum bazı sabun
Muhtelif Metaller	Mekanik Kırma	Yavaş	1	Vida,civata	Alüminyum sitearat bazlı sabun
Yüksek Karbonlu Çelik	Asitle temizlenmiş,sabun taşıyıcı ile kaplanmış	<600	1 den fazla	Yay	Yağ oranı orta,yumuşama sıcaklığı yüksek kalsiyum bazlı sabun
Yüksek Karbonlu Çelik	Asitle temizlenmiş,sabun taşıyıcı ile kaplanmış	Muhtelif	1 den fazla	Yay ,Çelik halat	Yağ oranı yüksek,yumuşama sıcaklığı orta derece kalsiyum bazı sabun

4. TEL ÇEKME MATRİSLERİ

4.1 Malzeme ve Genel Özellikleri

Tel çekme işleminde amaç, çekilecek telin kesitini arzu edilen nihai daha düşük bir kesite indirgenmektir. Tel çekme işlemi bir çok sektörde yüzbinlerce metrelik ve yüksek tonajlarda gerçekleşmektedir. Proses esnasında çekilen tel ile kesit daralma işlemini gerçekleştiren çekme matrisi arasında yüksek basma gerilmeleri, sürtünme, sıcaklık gibi farklı durumlar meydana gelmektedir. Bu nedenle çekme işleminde kullanılacak matrislerin malzeme özellikleri bu koşullara uygun olmalıdır.

Günümüzde tel çekme prosesinde çekme matrisi olarak 3 yaygın malzeme kullanımı mevcuttur.

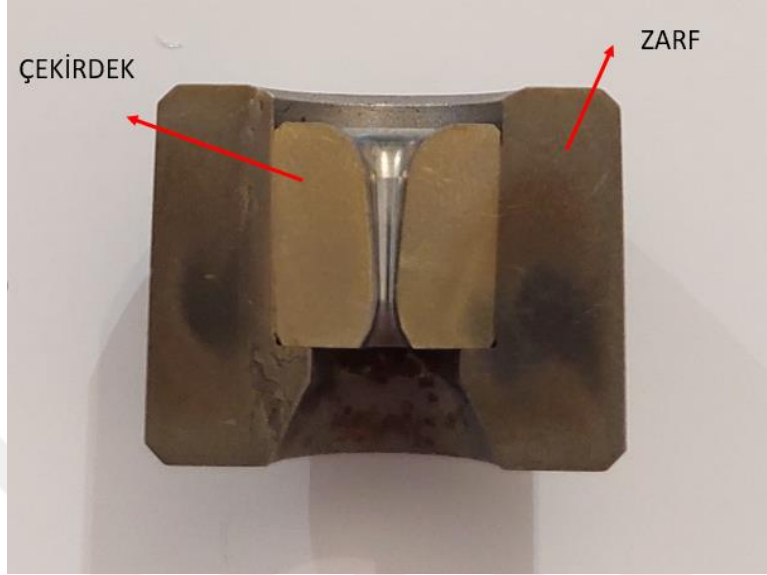
- Doğal Elmaslar
- Sinterlenmiş Karbürler
- Sentetik PCD elmaslar

Çekilecek telin sertliğine, malzemesine ve istenilen yüzey kalitesine göre kullanılacak matrisin malzemesi seçilmektedir. Tungsten karbür matrislerin sertlikleri 600-1000 HV arasında değişmektedir [15].

Tel çekme prosesinde kullanılacak matrislerden beklenen özellikler:

- Aşınma Dayanımı
- Düşük kimyasal ilgi (Çekilecek malzeme ile alakalı)
- Yüksek Termal İletkenlik
- Yüksek Sertlik (Çekilecek malzemeye göre)
- Hassas yüzey işlenebilirliği

Çekme işleminde kullanılan matrisler Şekil 4.1’de gösterildiği gibi çekirdek ve çekirdeğin dış kısmını kaplayan zarf adı verilen 2 kısımdan oluşmaktadır. Proseste asıl işi yapan çekirdek kısımdır ve verilen malzeme türleri bu çekirdek için geçerlidir.

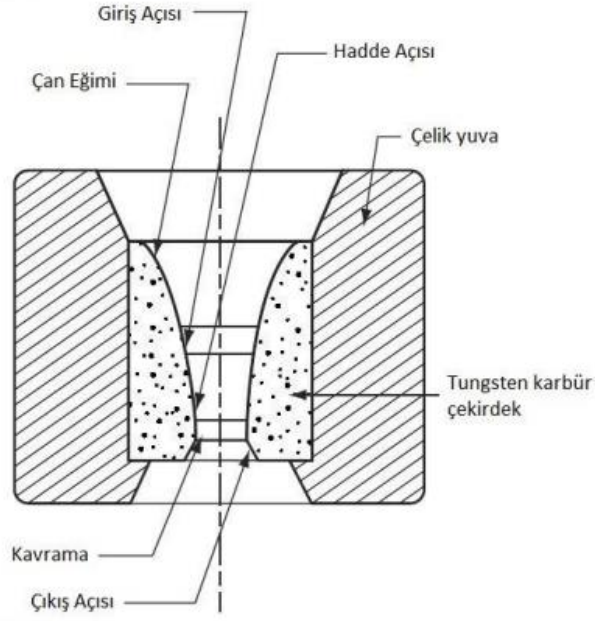


Şekil 4.1 : Çekme matrisi kesit görüntüsü.

Tungsten karbür matrislerin imalatında, karbür ve kobaltın toz halindeki farklı oranlarda birleştirilmesi ile farklı özellikler elde edilmektedir. Elde edilen bu karışım sıkıştırılır ve arzu edilen geometrik ölçülere sahip bir kalıp vasıtasıyla istenilen geometriler elde edilir. Vakumlu ve yüksek sıcaklık altında sinterleme işlemi yapılır. Bu işlem de meydana gelecek boyutsal çekmeler dikkate alınarak imalat işlemi gerçekleştirilir. Ardından elde edilen matris taşlama parlatma işlemlerine tabi tutulur [16].

4.2 Çekme Matrisi Geometrisi

Şekil 4.2’ de gösterildiği üzere matrisler geometrik olarak karmaşık olmamak ile birlikte farklı amaçlara hizmet eden 5 farklı kısımdan oluşmaktadır. Tüm kısımların tel çekme performansı üzerinde farklı etkileri ve sonuçları mevcuttur. Bu nedenle matrislerin kısımlarının, görevlerinin ve etkilerinin neler olduğunun bilinmesi proses açısından çok önemlidir. Bu kısımların her biri ile alakalı akademik alanda bir çok çalışma mevcuttur. Ayrıca bu yapılan çalışmalarda matris geometrisinin kısımlarının diğer proses parametreleri ile arasında ilişkiler değerlendirilmiştir.



Şekil 4.2 : Çekme matrisi kısımlar gösterimi.

4.2.1 Giriş açısı

Giriş açısı tel ile çekme matrisi arasında yağlayıcı film oluşumunda görev almaktadır. Bu kısım kullanılan yağlayıcının matris içerisine aktarılarak tel ile matris arasında film oluşturmaya yardımcı olmakta ve prosesin devamlılığında büyük rol oynamaktadır. Ayrıca tel yüzeyinde hasara neden olmaması amacıyla keskin köşelerin olmaması önemlidir.

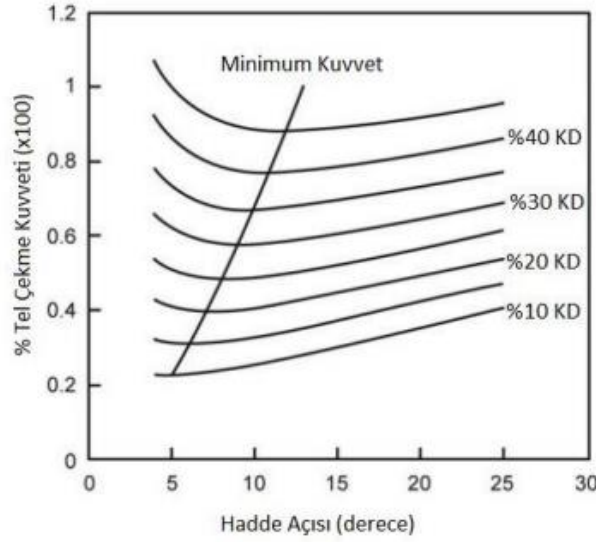
4.2.2 Matris açısı

Redüksiyonun gerçekleştiği bu alanda matris açısı ve yüzey pürüzlülüğü önemli rol oynamaktadır. Matris açısı redüksiyon alanını ve temas noktasının belirlenmesinde rol oynadığı için oluşacak çekme kuvveti, sıcaklık, deformasyon performansı üzerinde kritik etkiye sahiptir.

Matris açısı redüksiyon oranına göre uygun redüksiyon alanı ve temas noktası sağlanması amacıyla optimize edilir. Tel ile matris arasındaki temas noktasını, temas boyunu ve redüksiyon alanını belirleyen matris açısı ve redüksiyon oranıdır.

Yüksek temas boyunda oluşacak yüksek sürtünme nedeniyle çekme gerilmeleri ve kuvveti artmaktadır. Düşük temas boyunda ise yüksek torsiyon nedeniyle yine çekme gerilmeleri ve kuvveti artmaktadır.

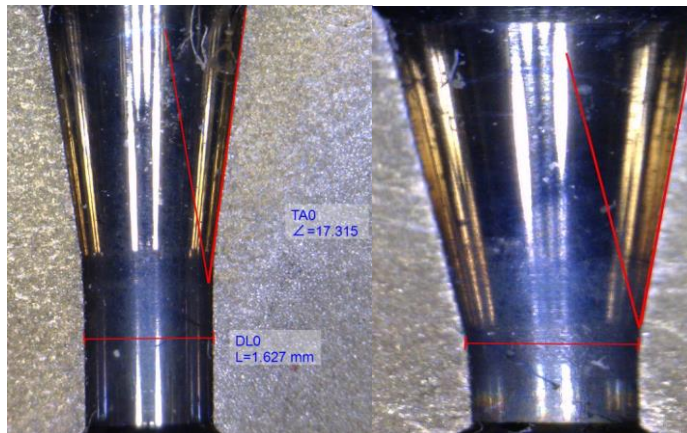
Çekilecek malzemenin sertliği arttıkça, daha kısa temas mesafesinde redüksiyon gerekmekte ve bu nedenle daha düşük matris açıları ile çekme işlemi yapılmalıdır [7]. Şekil 4.3’de gösterilen grafikte farklı redüksiyon oranları ve matris açıları ile elde edilen çekme kuvveti yer almaktadır.



Şekil 4.3 : Matris açısının kesit daralması değerlerinde çekme kuvvetine etkisi [17].

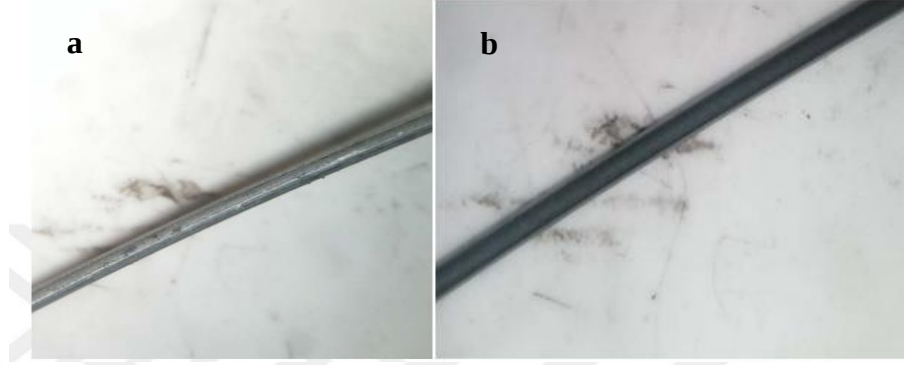
4.2.3 Yatak / silindir uzunluğu(kavrama)

Bir çok kaynakta farklı isim ile bahsedilen matrisin bu bölümü çekilen malzemeye ve nihai çapını ve yüzey kalitesini sağlamaktadır. Silindir boyunun yüzdesel ifadesi matris çapının yüzdesel değeri olarak ifade edilmektedir. Matris çapının %30 u ile %50 si arasında tutulması önerilmektedir [15].



Şekil 4.4 : Çekme matrisi kısa-yatak/silindir boyu kesit gösterimi.

Şekil 4.4’ de gösterildiği üzere silindir uzunluğunun arttığı durumlarda artan sürtünme ile birlikte çekme kuvvetinde artış ve aşırı sıcaklık oluşumu ile birlikte tel yüzeyinde istenmeyen deformasyonlar ve kopmalar meydana gelmektedir. Yüksek sürtünme ile artan sıcaklık artışı yağlayıcı mekanizmasını bozar ve oluşacak yağ filmini olumsuz etkilemektedir [18].



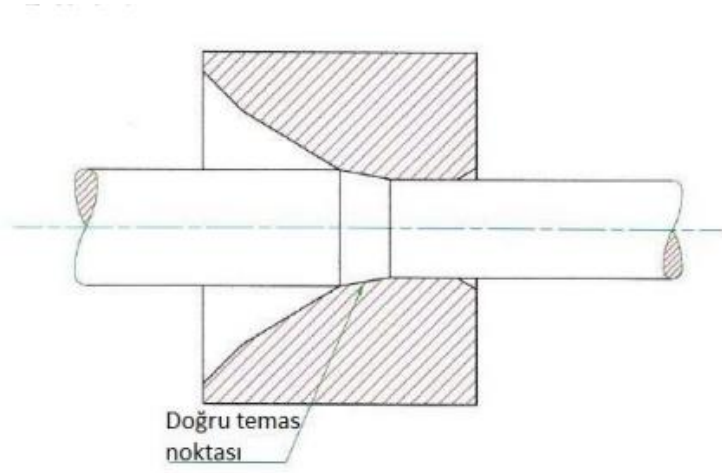
Şekil 4.5 : Farklı yatak boyu uzunluğuna ait çekilmiş tel yüzey görünümü: a) %50 silindir boyu 1.63 mm tel yüzey görüntüsü, b) %30 silindir boyu 1.63 mm tel yüzey görüntüsü [3].

Silindir boyunun matris çapına göre belirtilen aralıklardan daha küçük olması durumunda hızlı aşınma ve matris ömründe kısalma meydana gelmektedir (Şekil 4.4). Bununla birlikte Şekil 4.5’de verildiği gibi çekme işlemi sonrası elde edilen yüzey kalitesini etkilemektedir.

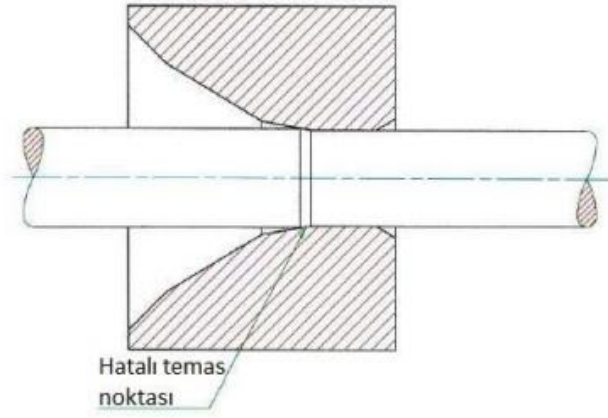
4.3 Delta Faktörü ve Temas Noktası

Temas noktası ve delta faktörünün, gerilmeler ve kuvvetlerin yanı sıra yağlayıcı olarak kullanılan malzemenin yağlama performansı üzerinde de büyük etkisi vardır. Temas noktası girişe çok yakın olan proseslerde yağlayıcının tel ile matris arasında film oluşturması için gerekli süre, basınç ve mesafe yetersiz olmaktadır.

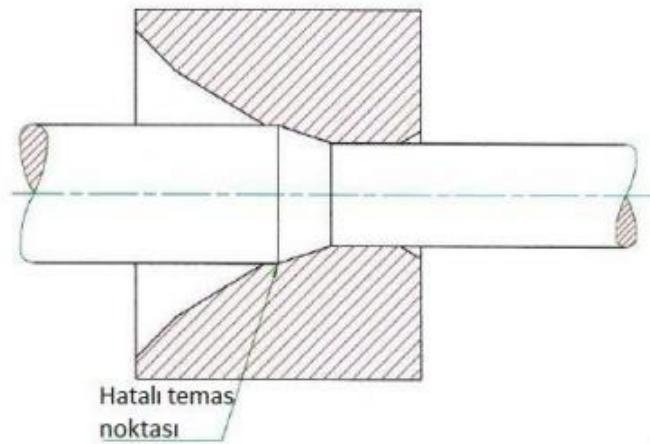
Şekil 4.6’da gösterildiği üzere, redüksiyon oranına uygun bir matris açısı seçilerek doğru bir temas noktası ve mesafesi elde edilmiştir. Şekil 4.7’de ise redüksiyon oranına göre uygun olmayan büyük bir matris açısı seçilen ve bu nedenle temas noktasının matris yatağına çok yakın ve kısa olan kesit daralması ifade edilmiştir. Son olarak Şekil 4.8’de redüksiyon oranına uygun olmayacak şekilde çok küçük seçilen matris açısı temas noktasının girişe çok yakın ve bu nedenle uzun olmasına sebep olduğu gösterilmiştir. Bu durum hem gerilmeler, kuvvetler hem de yağlama performansını olumsuz etkilemektedir.



Şekil 4.6 : Doğru seçilmiş temas noktası gösterimi [14].



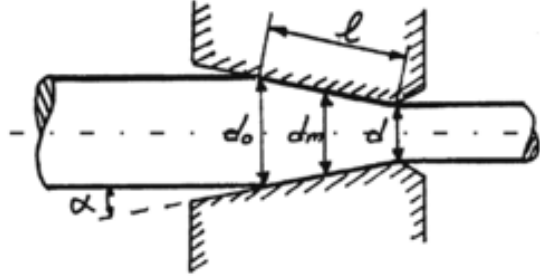
Şekil 4.7 : Hatalı seçilmiş temas noktası gösterimi [14].



Şekil 4.8 : Hatalı seçilmiş temas noktası gösterimi [14].

4.3.1 Delta faktörü (Δ)

Matris açısı ve redüksiyon oranının ilişkisini simgeleyen bu faktör temas noktası ve boyu hakkında bilgi vermektedir (Şekil 4.9). Bir çok çalışmada konu olan bu faktör uygun açı ve redüksiyon belirlemede kritik bir göstergedir [19].



Şekil 4.9 : Tel çekme matrisi gösterimi [19].

$$\Delta = \frac{dm}{l} = \left(\frac{d_o+d}{d_o-d} \right) \times \sin \alpha \quad (4.1)$$

d_o : Tel Giriş Çapı

d : Kesit Daralması Sonrası Tel Çapı

l : Temas Uzunluğu(Deformasyon Alanı)

α : Matris Açısı

Denklem 4.1’de verilen ifadeye göre redüksiyon oranındaki artış Δ değerinin azalmasına yol açmaktadır. Matris açısındaki artış ise Δ değerinin artışına neden olmaktadır.

İdeal bir kesit daralması için redüksiyon oranı ile matris açısı birlikte artırılıp azaltılarak Δ değeri sabit tutulmalıdır. Aksi durumda yüksek veya düşük Δ değerleri yüksek yetersiz yağlayıcı performansına, yüksek gerilmelere ve sürtünme sonucu oluşan kuvvetlere sebebiyet verecektir.

Düşük Δ değeri ile çalışma durumlarında oluşacak bu olumsuz durumları tolere edebilmek için daha iyi bir yağlama performansına ve yüzey pürüzlülüğüne ihtiyaç vardır. Daha iyi bir yağlama performansı ile düşük Δ değeri kullanımı matris ömürlerini arttıracaktır [19]. Sayısal olarak bakıldığında Δ değerinin 1,5 ile 3 arasında olduğu durumların ideale en yakın durumlar olduğu belirtilmiştir [20].



5. TEL ÇEKME MATRİSLERİNİN İŞLENMESİ

Çekme prosesinde kullanılan çekme matrisleri zamanla tel ile matris yüzeyi arasında oluşan etkenlerden kaynaklı aşınır. Aşınan matrislerin nihai çapları büyür ve yüzeylerinde istenmeyen aşınma ve yüzeysel kopmalardan kaynaklı boşluklu yapılar oluşur. Aşınan ve çapı büyüyen matrisler ile yapılacak tel çekme işlemi sonrası arzu edilen nihai çap elde edilemeyecektir. Bunun yanı sıra çekilen tel yüzeyinde matris yüzeyinde oluşan aşınmadan olumsuz etkilenir. Aşamalı ve farklı çekme prosesi gerçekleştiren firmalarda kullanılan nihai çap toleransları proseslerin birbirlerini etkilememesi adına oldukça dar aralığa sahiptir.

Çizelge 5.1’de örneklendiği gibi çekme işleminde matrisler seriler halinde birlikte kullanılmaktadır. Serilerde kullanılacak çekme matrisi sayısı çekilecek malzeme, kullanılacak yağlayıcı, tercih edilen redüksiyon oranı ve matris açısı gibi bir çok etkene göre değişiklik göstermektedir.

Çizelge 5.1 : Dokuz matrisli seri örneği ve redüksiyon oranları.

Filmaşın Çapı (Giriş Çap)	1. Matris	2. Matris	3. Matris	4. Matris	5. Matris	6. Matris	7. Matris	8. Matris	9. Matris (Nihai Çap)
5,5	4,7	4,08	3,57	3,1	2,75	2,48	2,25	2,05	1,87

Tungsten karbür matrislerin çekme sektöründe çekme matrisi olarak oldukça fazla tercih edilmesinin en önemli sebeplerinden birisi de yüksek işlenebilirlik özelliğidir. Bir çok yüksek tonajlarda üretim gerçekleştiren işletme için matris aşınmaları oldukça yüksek olmakta ve maliyet açısından çok kritik bir öneme sahiptir.

Seri olarak kullanılan matrisler aşınma ve çap büyümesi sonrası tekrar işlenerek uygun olan bir sonraki büyük çap için tekrar kullanılmaktadır. Fakat işlem sonrası matrislerin

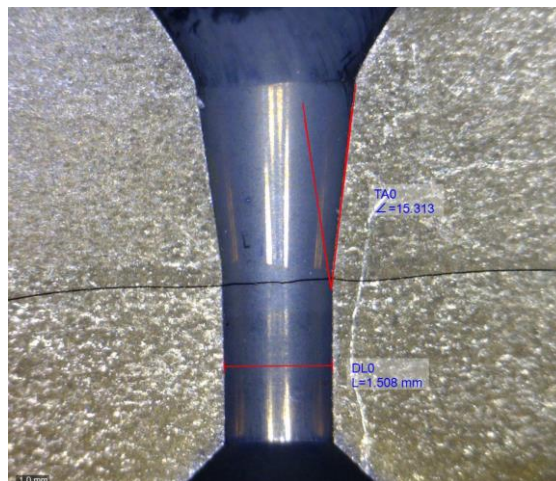
geometrilerinin ve yüzey kalitesinin uygun bir şekilde tekrar elde edilmesi gerekmektedir. Aksi durumda hatalı geometrilere sahip matrisler çekme performansını düşürmekte ve verimliliği olumsuz etkilemektedir.

Çekme matrisleri işlenirken aşağıdaki adımlar izlenir.

- Matrisin işleme öncesi yüzeyinin temizlenmesi ve kontrol edilmesi
- Matrisin bir önceki yatak boyunun ve yüzey aşınmalarının yok edilmesi için özel kalemler ile taşlanması
- Taşlanan matrisin elmas sıvısı ve parlatma kalemi ile yüzeyinin parlatılması
- Parlatma işlemi sonrası matris yüzeyinin manuel temizlenmesi
- Taşlama ve parlatma sonrası yüzey ve yatak boyu kontrolü
- İstenilen yatak boyu uzunluğuna göre uygun bir üst çapa elmas sıvısı yardımıyla büyütme işlemi ve son temizlik

5.1 Yüzey Temizliği ve Kontrolü

Tel çekme prosesinde gelen kullanılmış matrislerin içleri özel solüsyonlar ile yüzeyleri temizlenir. Daha sonra mikroskop yardımıyla yüzey kontrolleri gerçekleştirilir. Bu kontrollerde derin kırık,çatlak veya izler mevcut ise matris işlemeye alınmadan hurdalanır (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 : Kırık matris kesit gösterimi.

5.2 Yüzey Taşlama İşlemi

Yüzeyleri temizlenen ve kontrol edilen matrisler açılarına uygun açılara sahip özel taşlama kalemleri ile taşlanmak üzere matris işleme makinesine yüklenirler (Şekil 5.2).

Bu işlemde önemli unsurlar aşağıdaki gibidir.

- Taşlama kaleminin yüzey tanecik boyutu
- Taşlama kaleminin açısı
- Taşlama prosesinin süresi
- Taşlama işlemini yapan milin merkezlemesi
- Proses parametreleri (Basınç, Mil Dönüş Hızı, Strok)



Şekil 5.2 : Taşlama kalemi.

Taşlama kaleminin yüzey tanecik boyutu ve proses süresi direkt olarak taşlama işlemi sonrası matriste meydana gelecek çap büyümesini etkilemektedir. Matrisler yüzeyleri temizlenecek ve yatak boyları yok olacak şekilde ideal miktarlarda büyütülmek istenmektedir. Bunun en büyük nedeni matrisin kullanım miktarını arttırmak ve maliyet avantajı sağlamaktır. Bunun yanı sıra taşlama kaleminin açısı matris açısına uygun olarak seçilmelidir. Küçük veya büyük olması durumunda iki farklı açılı matris geometrileri elde edilmekte ve bu durum tüm çekme prosesini olumsuz etkilemektedir. Merkezleme hataları ise direkt olarak matris geometrisinde kaçıklıklara ve yüzeylerin farklı miktarlarda aşınarak ovalite problemlerine neden olmaktadır.



Şekil 5.3 : Taşlama işlemi makine görünümü.

Şekil 5.3’de gösterilen taşlama işleminde proses parametrelerinden basınç ve strok değerlerinin yüksek olması matrislerde işleme esnasında kırılmalar ve çatlamalara neden olmaktadır. Ayrıca matris açısında bozulmalara ve matris çapında orantısız büyümelere sebebiyet vermektedir.

5.3 Yüzey Parlatma İşlemi

Taşlama işlemi sonrasında yüzey pürüzlülüğü oldukça artan matris yüzeyi parlatma işlemine alınır. Bu işlem ile yüzey pürüzlülüğü artan matris yüzeyi temizlenerek ideal yüzey pürüzlülüğü ve parlaklığı elde edilir.

Bu işlemde önemli unsurlar aşağıdaki gibidir.

- Parlatma kaleminin açısı
- Parlatma işleminin süresi
- Mil merkezlemesi
- Kullanılan elmas sıvısının tanecik boyutu
- Proses parametreleri (Basınç,Mil Dönüş Hızı,Strok)



Şekil 5.4 : Parlatma kalemi.

Parlatma işleminin süresi bir önceki işlem olan taşlama işlemi ile doğru orantılı değişmektedir. Taşlama işlemi ne kadar kaba yapılırsa parlatma işlemi o kadar zor ve uzun sürmektedir. Merkezleme problemleri bu adımda yüzeylerin farklı pürüzlülük oranlarına sahip olmasına ve parlatma işleminin verimli gerçekleşmemesine neden olmaktadır.

Elmas sıvısı bu işlemde en kritik öneme sahip malzemedir. Parlatma işleminde kullanılan kalemin yüzey parlaklığı ile direkt olarak bir ilişkisi bulunmamaktadır (Şekil 5.4). Yüzey parlatma işlemini elmas sıvısı gerçekleştirmektedir. Kalem ise elmas ile matris yüzeyi arasında basıncı ve akışı sağlayan destek unsurudur. Bu nedenle elde edilecek yüzey pürüzlülük değeri direkt olarak elmas sıvısının tanecik boyutu ile ilişkilidir. Fakat çok düşük tanecik boyutu kullanımlarında, parlatma işlemi çok uzun sürmekte ve yetersiz gelmektedir.

Proses parametrelerinden basınç ve strok değerleri proses süresini ve performansını etkilemektedir. Yüksek basınç ve storklu çalışmalarda parlatma işlemini gerçekleştiren elmas sıvısının oluşturduğu film yapısını bozarak kalem ile matris arasında teması sebebiyet vermektedir. Bunun sonucu olarakta yüzeyde çizikler ve istenmeyen izler meydana gelmektedir. Dönüş hızı ise yine elmas sıvısının oluşturduğu filmi etkilemektedir. Yüksek dönüş hızlarında elmas sıvısı matris içerisinden uzaklaşmakta ve istenilen yüzey kalitesi elde edilememektedir.

5.4 Yüzey Temizleme İşlemi

Parlatma işlemi sonrası kullanılan elmas sıvısı nedeniyle matris yüzeyi oldukça kirlenmektedir. Bu kirliliği ortadan kaldırmak adına manuel olarak pamuklu mil ve mengene yardımıyla temizleme işlemi gerçekleştirilir (Şekil 5.5).



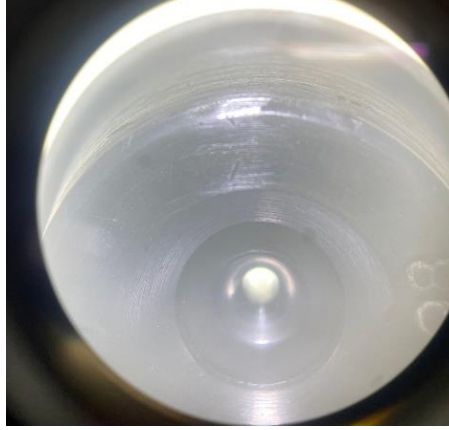
Şekil 5.5 : Matris yüzey temizleme işlemi.

5.5 Yüzey ve Yatak Uzunluk Kontrolü

Parlatma işlemi sonrası temizlenen matrisler mikroskop yardımıyla kontrol edilir. Kontrol aşağıdaki kriterlere göre gerçekleştirilir.

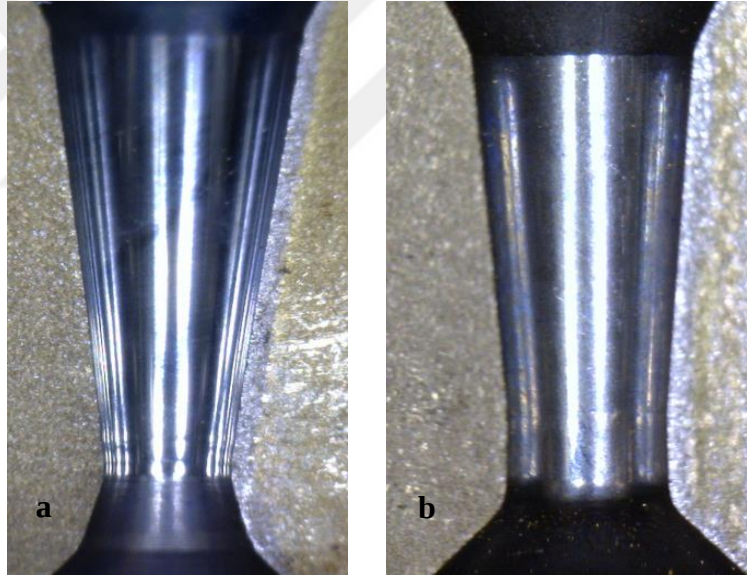
- Matris yüzey parlaklığı
- Yüzeyde yatay ve dikey aşınma çizgilerinin varlığı
- Matris çap ovalite kontrolü
- Çatlak ve kırık kontrolü
- Yatak boyunun varlığı

Parlatma işlemi sonrası elde edilen matris yüzeyinde kırık, çatlak veya aşınma izlerinin bulunmaması gerekmektedir. Çekme matrisi yüzeyinde oluşacak kırık, çatlak ve ovalite durumunda matrisler hurdalanmaktadır (Şekil 5.6). Aşınma izlerinin varlığında ise matris tekrar parlatma işlemine alınmaktadır.



Şekil 5.6 : Ovalite meydana gelmiş matris mikroskop görüntüsü.

Şekil 5.7’de verilen a görselinde uygun ve yatak boyunun tam olarak yok edildiği bir matrisin kesit görüntüsü bulurken, b görselinde ise yatak boyunun tam olarak yok olmadığı görülmektedir. Bu tarz durumlarda matrisler taşlama işlemine tekrar alınır. Burada tekrar taşlanarak yatak boyunun yok olması amaçlanır.



Şekil 5.7 : İşlem sonrası matris yatak boylarının mikroskop görüntüleri. a) Yatak Boyu Sıfırlanmış (uygun) , b) Yatak Boyu Sıfırlanmamış (uygun olmayan)

5.6 Nihai Çapa Getirme

Parlatma işlemi sonrası istenilen yüzey kalitesine ulaşmış ve bir önceki yatak boyunun yok edildiği matrisler istenilen yatak boyu toleranslarına uygun olarak Şekil 5.8’de gösterildiği gibi bir sonraki uygun çapa elmas sıvısı ve master yardımıyla büyütülür (Şekil 5.9).



Şekil 5.8 : Nihai çapa getirme işlemi makine görüntüsü.



Şekil 5.9 : Elmas sıvısı ile doldurulmuş matris görüntüsü.

İşlem esnasında dikkat edilmesi gereken hususlar;

- Kullanılan mastarın çap ve eğrilik kontrolü
- Elması sıvısının tanecik boyutu
- Nihai çap seçimi
- Mil dönüş hızı

Kullanılacak mastarların çapları zamanla aşınmalardan dolayı değişmektedir. Bu nedenle her işlem öncesi çap ve yüzey kontrolleri yapılmalıdır. Ayrıca kullanımlardan kaynaklı eğrilikler ve merkezi kaçıklıklar meydana gelebilmektedir. Elmas sıvısının tanecik boyutu direkt olarak yüzey kalitesini ve işlem süresini etkilemektedir.

Nihai çap seçimi elde edilecek yatak boyunun belirlenmesinde kullanılır. Var olan çap ile nihai çap arasındaki fark küçüldükçe yatak boyu kısalırken, fark büyüdükçe tam tersi uzamaktadır.

6. TUNGSTEN KARBÜR TEL ÇEKME MATRİSLERİNDE AŞINMA

Tel çekme prosesi oldukça geleneksel ve eski bir tarihe sahiptir. Bir çok farklı malzeme için endüstriyel bir işlemdir. Çekme prosesinin performansını etkileyecek bir çok etken mevcuttur.

Çekme matrisleri, mekanik ve tribolojik özellikleri, kullanım ömrü, yüzey kalitesi ve çekilen malzemelerin boyutsal hassasiyeti ile birlikte üretim stabilitesi üzerinde büyük etkiye sahip olan kritik sarf malzemeleri olarak görev yapar [21].

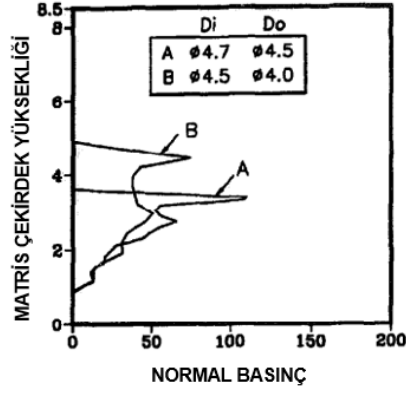
Çekme matrislerinin aşınması tel çekme prosesinde temel bir sınırlamadır. Aşınmış matrisler doğrudan maliyete neden olmakla kalmaz, aşınan matrislerin değiştirilmesi ve yenilenmesi zaman alır. Önemli miktarlarda boyut dışı veya kusurlu tel üretilmeden önce matris aşınmasının tespit edilmesi gerekir [22].

6.1 Aşınma Mekanizması

Tel çekme işleminde yağlayıcıların kullanımı sayesinde çekilen malzeme ile çekme matrisleri arasında temas önlenmeye çalışılmaktadır. Hidrodinamik yağlama arzu edilen bu proseste gerçekte karışık yağlama meydana gelmektedir. Çekilen malzeme ile matris arasında meydana gelen sıcaklık ve basınç dağılımları nedeniyle sürekli, kesintisiz ve aynı kalınlıkta bir yağlama mümkün olmamaktadır. Bu nedenle çekilen malzeme ile çekme matrisi arasında temas kaçınılmazdır.

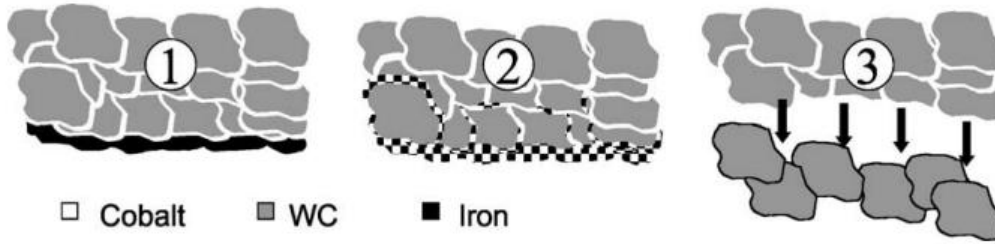
Aşınma mekanizması genel olarak mikro ve makro aşınma olarak iki türde incelenebilir. Makro aşınma abrazif türde olup mikro aşınma ise adhezif aşınma türündedir [23].

Tel çekme işlemi boyunca Şekil 6.1’de gösterildiği gibi basınç, sıcaklık ve yağlayıcı film kalınlığı sabit olmamasından dolayı çekme matrislerindeki aşınma mekanizması sabit olmamaktadır [22].



Şekil 6.1 : Matris çekirdek boyunca aşınma miktarı [24].

Şekil 6.2’de ifade edildiği gibi kuru koşullar sırasında çekme matrislerinin mikro/adhezif aşınma mekanizması temel olarak, kobalt bağlayıcının aşınması ardından uzaklaştırılması ve bunun sonucu olarak WC aşınması ile devam etmektedir. Son olarak taneler arası sınırların kırılmasından kaynaklı tanelerin parçalanması ile tamamlanmaktadır [25].

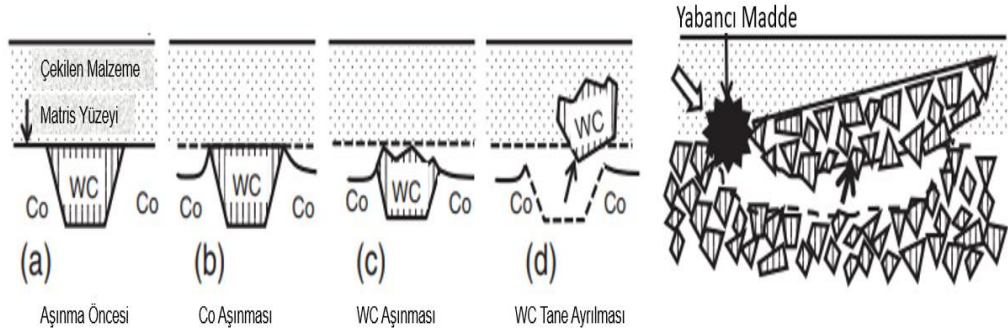


Şekil 6.2 : Tungsten karbür matris aşınma mekanizması [26].

Çelik malzemelerin çekme işlemi esnasında kesit daralması ile birlikte deformasyonu dislokasyon hareketleri ile oluşur. Bu dislokasyonlar tel yüzeyinde kayma bantları ve yeni yüzeyler oluşturacaktır. Meydana gelen yeni bu yüzeyler yetersiz yağlama ve difüzyon nedeniyle mikro yani adhezif aşınma mekanizmasını hızlandırmaktadır [27].

Abrazif/makro aşınma mekanizması temel olarak çekme matrislerinin yabancı malzemeler ile yüzey teması ile meydana gelmektedir. Çekilen tel yüzeyindeki oksit tabakalarının sertliği malzemeden daha fazla olmasına rağmen çekme matrislerine göre oldukça düşüktür. Bu nedenle bu oksit yapılar abrazif aşınmadan çok yağlama performansını olumsuz etkileyerek adhezif aşınmayı hızlandırmaktadır (Şekil 6.3).

Çekme matrisinin telin ilk temas ettiği ve yüksek basınç meydana gelen giriş düzlemlerinde oluşan abhezif aşınma mekanizması sonrası serbest kalan karbür tanecikleri eğer yağlayıcı film kalınlığı yetersiz ise matris açısı ve yatağında abrazif yani makro aşınmaya sebebiyet vermektedir [22].



Şekil 6.3 : Tungsten karbür matris abrazif ve adhezif aşınma mekanizması [22].

6.2 Aşınmayı Etkileyen Faktörler

Tungsten karbür çekme matrislerinde çekme işlemi esnasında meydana gelen aşınma durumunu etkileyen bir çok faktör mevcuttur. Bu faktörler hem sektör hem de akademik alanda yapılan bir çok araştırmaya konu olmuştur. Aşınma durumunu etkileyen faktörler çekme matrisi malzemesi yanı sıra bir çok proses girdisini kapsamaktadır.

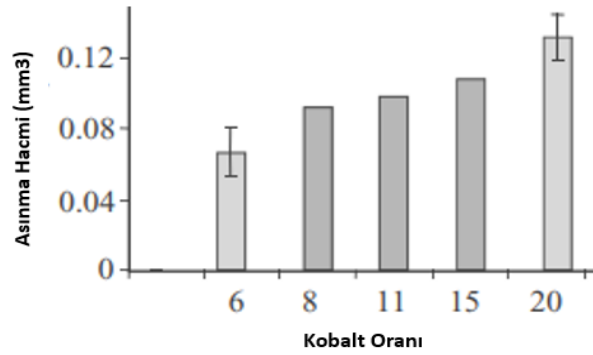
6.2.1 Çekilecek malzemenin yüzey durumu

Tel çekme işleminden önce çekilecek malzemelerin yüzeyleri mekanik ve kimyasal farklı yöntemler ile ön işleminden geçirilir. Bu işlemler ile tel yüzeyindeki oksit tufal tabakalarının yüzeyden uzaklaştırılması amaçlanmaktadır. Oksit tabakasının yüzeyden uzaklaştırılmaması yağlayıcı performansını düşürerek çekme matrislerindeki aşınma mekanizmasını hızlandıracaktır. Çekilen malzemelerin yüzeylerindeki oksit tabakaları matris malzemelerine göre daha yumuşak malzemeler olduğu için abrazif aşınmaya sebebiyet vermemektedir.

6.2.2 Çekme matrisi malzemesi

Özellikle birinci dünya savaşından sonra kullanımı artarak devam eden tunsten karbür malzemelerin günümüzde çekme matris malzemesi olarak kullanımı oldukça yaygın bir hale gelmiştir. Çekme matrisi üreticileri tarafından çok geniş mekanik özelliklerin kombinasyonlarına sahip üretimler gerçekleştirilmektedir.

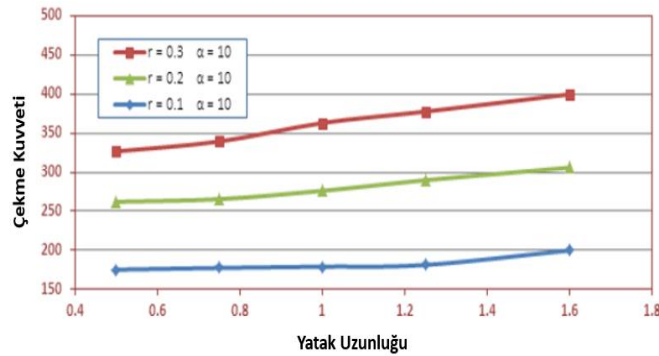
Çekme matrisi üretiminde genel olarak Karbür tozu tane boyutu 1 ila 3 mikron arasında değişirken, kobalt oranı ise %3 ile %17 arasında değişiklik göstermektedir. Şekil 6.4’ de görüldüğü gibi kobalt oranının ve tane boyutunun artışı malzeme sertliğini azaltmakta ve aşınmayı hızlandırmaktadır [28,29].



Şekil 6.4 : Aşınma hacmi-kobalt oranı ilişkisi grafiği [29].

6.2.3 Çekme matrisi yatak uzunluğu

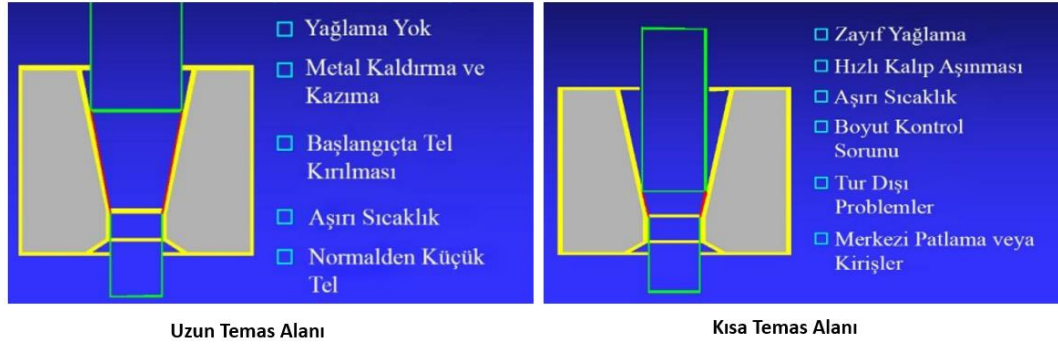
Tel çekme matrislerinde çekilen tele nihai çapı ve yüzey kalitesini tayin eden bölgedir. Matris çapının %30 u ile %50 si arasında tutulması önerilmektedir [15]. Yüksek oranlarda yatak uzunluğuna sahip çekme matrislerinde artan sürtünme ile birlikte oluşan sıcaklık ve çekme kuvvetini artmaktadır (Şekil 6.5). Bu durum çekme matrislerindeki aşınma hızını arttıracakı düşünülmektedir.



Şekil 6.5 : Yatak uzunluğu-çekme kuvveti ilişkisi [18].

6.2.4 Temas noktası ve delta faktörü

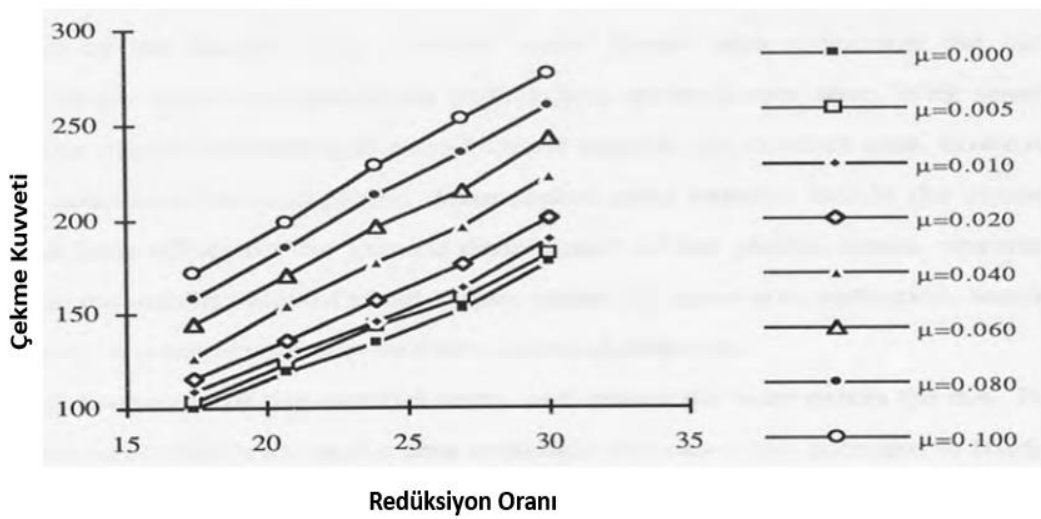
Matris açısı ve redüksiyon oranı ile elde edilen temas noktası ve delta faktörü direkt olarak oluşan basınç ve sıcaklığı etkilemektedir. Hatalı temas noktası seçimleri temas alanlarını yani redüksiyon alanını değiştireceği için yüksek basınç, sıcaklık veya yetersiz yağlama performansı ile sonuçlanmaktadır (Şekil 6.6). Meydana gelen bu durumların tamamı çekme matrislerinin aşınmasına olumsuz etkiye sahiptir.



Şekil 6.6 : Farklı temas noktası sematik gösterimi [30].

6.2.5 Yüzey kalitesi

Tel çekme prosesinde çekilen malzeme ile çekme matrisi arasında yağlayıcı film varlığı bulunmasına rağmen temas kaçınılmazdır. Meydana gelen bu temas esnasında yüzeylerin pürüzlülük değerleri iki yüzey arasındaki sürtünme değerlerini ve çekme kuvvetini arttıracaktır (Şekil 6.7).



Şekil 6.7 : Yüzey pürüzlülüğü ile çekme kuvveti ilişkisi [7].

Artan sürtünme ve onun oluşturduğu yüksek sıcaklık nedeniyle çekme matrisinde meydana gelen adhezif aşınma mekanizması hızlanmaktadır. Çekme matrislerindeki aşınmayı iyileştirmek ve ömürlerini arttırmak için özellikle temas noktalarının kademeli olarak farklı mikronlarda elmas sıvıları ile parlatılarak 1-2 mikron seviyelerine kadar indirilmesi gerekmektedir.

6.2.6 Yağlayıcı performansı

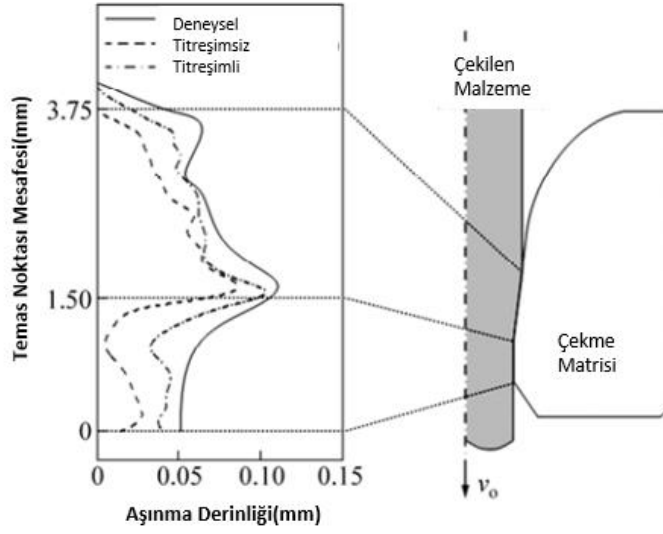
Tel ekme işleminde yağlayıcı performansı tel çekme işlemini ve çekme matrislerinde meydana gelen aşınmayı direkt olarak etikelemektedir. Bu nedenle tel çekme sektörüne yağlayıcı üretimi gerçekleştiren firmalar yağlayıcıların kimyasal yapıları üzerine bir çok çalışma gerçekleştirmektedirler. Teoride proses esnasında istenilen hidrodinamik yağlama yerini karışık yağlamaya bırakmaktadır.

Çekilen tel ile çekme matrisi arasındaki yağlayıcıların film kalınlıklarının değişkenliği ve yetersizliği hem adhezif aşınmayı hemde abrazif aşınmayı hızlandırmaktadır. Yüzeyler arasındaki temasın artması ile meydana gelen adhezif aşınma ve bunun yanı sıra yabancı parçacıkların boyutlarının yağlayıcı film kalınlığından yüksek olduğu durumlarda meydana gelen abrazif aşınma yağlayıcıların çekme matrislerindeki aşınma mekanizması üzerindeki etkinin ne kadar önemli olduğunu göstermektedir [26].

6.2.7 Titreşim

Tel ekme prosesinde kullanılan çok tamburlu yüksek hızlı makinelerde hız dalgalanmaları ve tel çekme işlemindeki giriş ve çıkış arasındaki mesefasının olduğa yüksek olması gibi farklı sebeplerden kaynaklı olarak titreşim varlığı mevcuttur.

Telde meydana gelen titreşim yağlayıcının dahil olduğu çekme matrislerinin giriş bölgesinde basınç dalgalanmalarına neden olarak yağlama performansını bozulmasına sebep olur [31].



Şekil 6.10 : Çekme işleminde titreşimin aşınmaya olan etkisi [33].

6.2.8 Tel çekme hızı

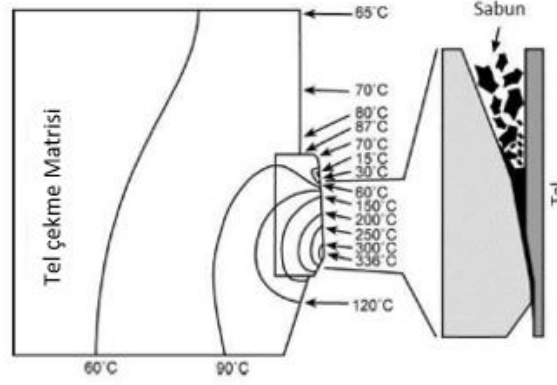
Malzemelerin çekme işlemi esnasında tel yüzeyinde kayma bantları ve yeni yüzeyler oluşmaktadır. Tel çekme hızının artışı bu kesit daralma işleminin süresini azaltacağı için bu yüzeylerin oluşum hızında artacaktır. Oluşan yeni yüzeylerin yağlayıcı ile difüze olabilmesi için gerekli olan sürenin yetersiz kalması durumunda ise yetersiz yağlama, hidrodinamik yağlamanın bozulması ve bununla birlikte tel çekme matrislerinde hızlı aşınmaya sebebiyet verecektir.

Çekme hızındaki artış kesit daralması ile ortaya çıkan ısının giderilmesi için gerekli olan süreyi kısaltacağı için işlem sonrası meydana gelen sıcaklık değeri artacaktır [26,27].

6.2.9 Soğutma sistemleri

Günümüz teknolojisi tel çekme makineleri çok tamburlu ve yüksek hızlı olarak sektörlerin ihtiyaçlarına cevap vermeye çalışmaktadırlar. Tel çekme prosesinin doğası gereği malzemeler arasındaki temaslar sonucu ortaya çıkan işlemin en önemli unsurlarından olan sıcaklığa ve oluşturabileceği olumsuz etkilere karşı tel çekme makineleri soğutma sistemlerine sahiptirler.

Kesit daralması sonrası oluşan yüksek sıcaklık çekme de görev alan üç ana unsur olan çekme matrisi, malzeme ve yağlayıcıya etki etmektedir. Soğutma sistemleri hem çekme tamburları hem de matrisler için görev almaktadırlar (Şekil 6.11).

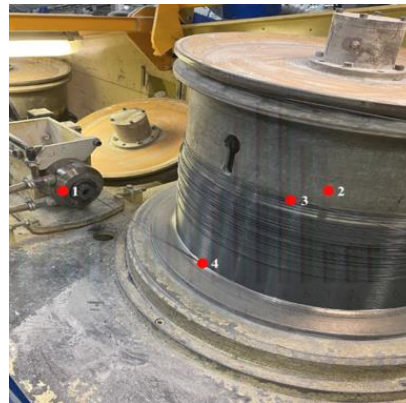


Şekil 6.11 : Çekme işleminde matris yüzeyindeki sıcaklık dağılımı [34].

Çekme matrisleri için görev yapan su soğutma sistemleri direkt olarak kesit daralması ile oluşan ve tel çekme matrisine etki eden sıcaklığa karşı görev olarak sadece tel çekme matrisi için değil dolaylı olarak prosesin diğer iki ana unsuru olan çekilen malzeme ve yağlayıcı için de soğutma işlemi gerçekleştirir. Yetersiz soğutma durumuna meydana gelecek yüksek sıcaklıklar yağlayıcının film oluşumunu ve hidrodinamik yağlamayı bozmaktadır. Bunun sonucu olarak tel çekme matrisinde meydana gelen aşınmayı hızlandırmaktadır.

Çekme matrislerinden çıkan ve tel çekme tamburlarına sarılan telin bir sonraki matrise girmeden önce soğuması amaçlanmaktadır. Bu işlem tamburların iç yüzeylerinde oluşturulan su tabakası ile gerçekleştirilmektedir. Şekil 6.12’de görülen çekme matris çıkışındaki 1 noktasındaki sıcaklık maksimum iken tamburda belirli süre kalmış ve yüzeyden soğutmaya maruz kalmış 3 noktasındaki telin sıcaklığı minimum olmuştur.

Soğutma sistemlerindeki soğutma sıvılarının giriş-çıkış sıcaklığı ve basıncı soğutma sistemlerinin performansını belirlemektedir [35].



Şekil 6.12 : Çekme bloğu sıcaklık dağılımı gösterimi [35].



7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

7.1 Kullanılan Malzemeler

Gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda, çekme matrisleri, kaplama malzemeleri, düşük karbonlu çelik ve yağlayıcı kullanılmıştır.

7.1.1 Çekme matrisleri

Deneysel çalışmalarda kaplama işlemi için kullanılan alt malzeme tungsten karbür çekme matrisleridir. Kullanılan tungsten karbür matrislere ait teknik Çizelge 7.1’ de verilmiştir.

Çizelge 7.1 : Tungsten karbür matrislerine ait teknik bilgiler.

Co Oranı	Tanecik Boyutu(Mikron)	Sertlik (HV0.1)	Yüzey Pürüzlülüğü(Mikron)	Nihai Çap (mm)	Giriş Açısı(Derece)
6%	0.5-1.2	1300	2	4.7	14

7.1.2 Kaplama malzemeleri

Tungsten karbür çekme matrisleri Çizelge 7.2’ de verilen 3 farklı malzeme ile PVD yöntemi kullanılarak kaplanmıştır.

Çizelge 7.2 : PVD yöntemi ile kaplanan malzemeler.

Malzeme	Yöntem
TiAlCN	PVD
TiN	PVD
AlTiN	PVD

TiN (Titanyum Nitrür)

Demir bazlı malzemelerin kesme ve işlenmesinde çok sık kullanılan bir kaplama tipidir. Çeliğe karşı ortalama sürtünme katsayısı 0.4 ile 0.6 aralığında olmaktadır.

Mikrosertlik değeri 2000 HV_{0.1} seviyelerindedir. PVD yöntemi ile ortalama kaplama kalınlıkları 2 ile 5 micron arası değişiklik göstermektedir.

TiAlCN (Titanyum Alüminyum Carbon Nitrür)

Yüksek mukavemetli çeliklerin işlenmesinde çekme, presleme gibi şekillendirme yöntemlerinde çok sık tercih edilen bir kaplama malzemesidir. Çeliğe karşı ortalama sürtünme katsayısı 0.6-0.8 aralığında olmaktadır. Mikrosertlik değeri 3000 HV_{0.1} seviyelerindedir. PVD yöntemi ile ortalama kaplama kalınlıkları 2 ile 5 micron arası değişiklik göstermektedir.

AlTiN (Alüminyum Titanyum Nitrür)

Sertleştirilmiş çelik iş parçalarının işlenmesinde ve özellikle karbür kesici takımların kaplanmasında sık kullanılan bir kaplama malzemesidir. Yüksek hızlı ve kuru işleme yöntemlerine elverişli bir kaplamadır. Çeliğe karşı ortalama sürtünme katsayısı 0.6 ile 0.8 aralığında olmaktadır. Mikrosertlik değeri 2500 HV_{0.1} seviyelerindedir. PVD yöntemi ile ortalama kaplama kalınlıkları 2 ile 5 micron arası değişiklik göstermektedir.

7.1.3 Çekme deneylerinde kullanılan telin malzemesi

Gerçekleştirilen tel çekme deneylerinde test sonuçlarında sapmalar ve farklılıklar meydana gelmemesi amacıyla aynı tedarikçinin tek lot üretimine ait EN 440 ve TS EN ISO 14341:2010(E) standartlarına uygun 3Si1 kalite teller kullanılmıştır. Tellere ait kimyasal kompozisyonlar karakterizasyon çalışmalarında verilmiştir.

7.1.4 Çekme deneylerinde kullanılan yağlayıcı malzemesi

Çekme denemelerinde kalsiyum bazlı tanecik boyutu orta sınıfında yer alan düşük karbonlu çeliklerin kuru çekme işleminde sıkça kullanılan Şekil 7.1’ de görüldüğü gibi tek tip bir yağlayıcı malzeme kullanılmıştır.



Şekil 7.1 : Yağlayıcı görüntüsü.

7.2 Numune Hazırlığı

7.2.1 PVD kaplama işlemi

Şekil 7.2’ de görüldüğü gibi 12 adet tungsten karbür çekme matrisi her bir kaplama tipinden 4 er adet olacak şekilde 3 farklı kaplama malzemesi kullanılarak fiziksel buhar biriktirme (PVD) kaplama yöntemi ile ortalama 400-450 derece aralığında yüksek vakum altında ve döner tablalı sistem içerisinde kaplanmıştır. Kaplama malzemelerinin seçiminde bu malzemelere ait kullanım alanları, kaplama kalınlık aralıkları, sürtünme katsayıları ve çalışma koşulları göz önünde bulundurulmuştur.

PVD Yöntemi

Oluşturulan vakum altında malzemelerin buharlaştırma veya sıçratma metodları ile atomların yüzeyden uzaklaştırılması ve kaplama yapılacak malzeme yüzeyinde atomsal veya iyonik olarak biriktirilmesi esasına dayanır. Bu yöntem ile malzeme yüzeyinde mikron seviyelerinde yüksek sertlik, aşınma dayanımı ve tokluk gibi farklı ileri özelliklere sahip kaplama filmleri oluşturulabilmektedir.



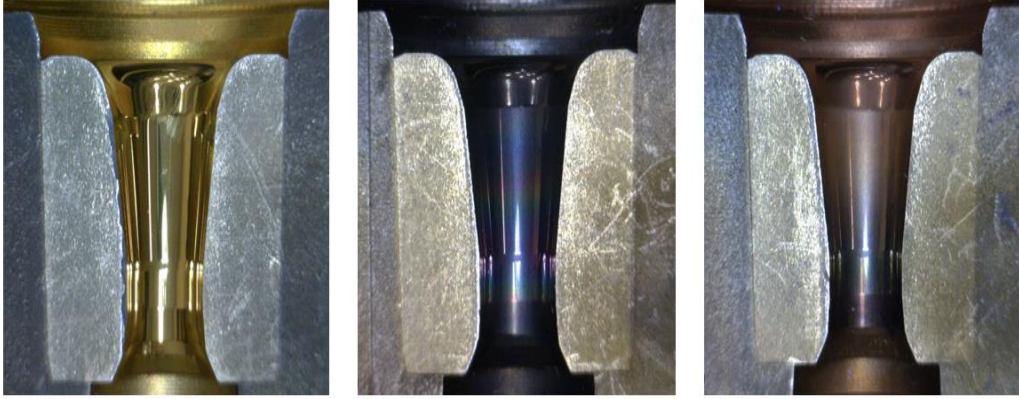
Şekil 7.2 : PVD kaplanmış çekme matrislerinin görüntüsü.

7.2.2 Kesit alma işlemi

Şekil 7.3’ de görüldüğü gibi PVD kaplama işlemi uygulanan tel çekme matrislerinin çekirdek iç yüzeylerinden kaplama kalınlığı, yüzey pürüzlülüğü gibi verileri ölçmek amacıyla kesit alma işlemi gerçekleştirilmiştir. Kesit alma işlemi, kaplamanın zarar görmemesi ve kaplama kalınlığı analiz sonuçlarının sağlıklı olması amacıyla tel erezyon yöntemi ile 0.05 mm çapında tel elektrot ile gerçekleştirilmiştir. Kesilen matrislerden dijital stereo mikroskop cihazı ile görüntüler alınmıştır.

Tel Erezyon Yöntemi

Bu yöntem basit olarak üzerinden yüksek akım geçirilen bir tel yardımıyla iletken malzemeleri kesme yöntemidir. Sert ve karmaşık geometrilere sahip parçaların mikron hassasiyetinde işlenebilmesini mümkün kılar. Tezgahlarda farklı elektriksel kutuplara bağlı tel elektrot, işlenecek malzemeye yaklaştırıldığında meydana gelen ark sonucu yüksek sıcaklıklar oluşur ve ergime yolu ile talaş kaldırılır.



Şekil 7.3 : Kesit alınmış matrislerin mikroskop görüntüleri.

7.3 Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Ölçüm ve Analizler

7.3.1 SEM analizi

PVD kaplama işlemi gerçekleştirilen tel çekme matrislerinin iç geometrilerinde elde edilen kaplama kalınlıklarının tespit edilebilmesi amacıyla tel erezyon yöntemi ile boyuna kesiti alınmıştır. Kesilen yüzeyin daha az zarar görmesi için hassas bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Kesilen çekme matrislerinin tungsten karbür çekirdekleri kalıplarından çıkarılmıştır. Sem analizi ile kesit bölgesinden kaplama kalınlığı bakılmak üzere Şekil 7.4’ de görüleceği gibi önce epoksi altlık ile sabitlenen çekirdekler daha sonra kademeli parlatma işlemi ile hassas bir şekilde parlatılmış ve kesme sonucu oluşan yüzey hasarı ortadan kaldırılmıştır. Daha sonrasında ise püskürtme yöntemi ile yüzeyi altın kaplanan numunelerin SEM görüntüleri alınmıştır.



Şekil 7.4 : SEM analizi numune görüntüsü.

7.3.2 Yüzey pürüzlülük ölçümleri

Tel erezyon yöntemi ile boyuna kesiti alınan kaplama işlemi uygulanmış çekme matrislerinin iç yüzeylerinde yüzey pürüzlülük ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Çekme matrislerinin yüzeylerinde bulunan giriş açıları nedeniyle doğru ölçüm alınabilmesi için Şekil 7.5’ de görülen gerekli düz yüzeyi sağlamak amacıyla açılı altlık tasarlanmış ve ölçüm için kullanılmıştır.

Ölçümler Surftest Sj-210 cihazı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 7.5 : Yüzey Pürüzlülük Açılı Ölçüm Tablası.

7.3.3 Mikrosertlik testleri

Şekil 7.6’ da görüldüğü üzere tungsten karbür çekirdeklerin kaplamalı yüzeylerinde farklı yükler altında gerçekleştirilen tekrarlı mikrosertlik testleri ile her kaplama malzemesi için sertlik seviyeleri vickers cinsinden elde edilmiştir.



Şekil 7.6 : Mikrosertlik cihazı görüntüsü.

7.3.4 XRF analizleri

Tel çekme işleminde kullanılacak 3Si1 kalite düşük karbonlu çelik filmaşınların kimyasal kompozisyonlarının belirlenmesi için X-Ray Floresans Spektrometre (XRF) cihazı kullanılmıştır.

Ayrıca Şekil 7.7’ de görüldüğü gibi tel çekme işlemi sonrası tel yüzeyindeki yağlayıcıya ait kalsiyum değerlerinin makine üzerinde ve anlık olarak ölçümü ise portatif XRF cihazı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 7.7 : Portatif XRF cihaz görüntüsü.

7.4. Deneysel Çalışmaların Yapılışı

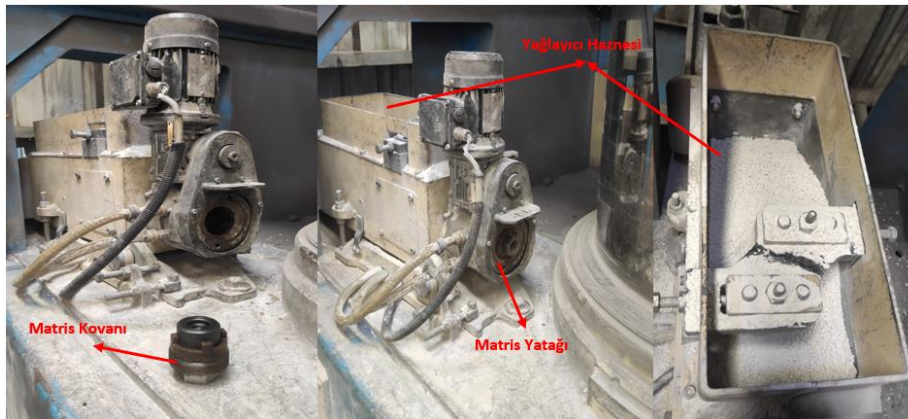
3 farklı kaplama malzemesi kullanılarak kaplama işlemi gerçekleştirilen çekme matrisleri üretim hattında kullanılmıştır.

Yapılan deneyler, alınacak sonuçlardaki sapmaları ve farklılıkları azaltmak amacıyla aynı makinede, aynı yağlayıcı , aynı tür ve parti üretimli filmaşınlar ile sabit hızlarda gerçekleştirilmiştir.

Deneylerde 9 adet senkronize çekme tamburuna sahip kuru tel çekme makinesi kullanılmıştır. Kullanılan makinede mekanik yüzey hazırlama metodlarından olan tufal kırıcı mevcuttur.

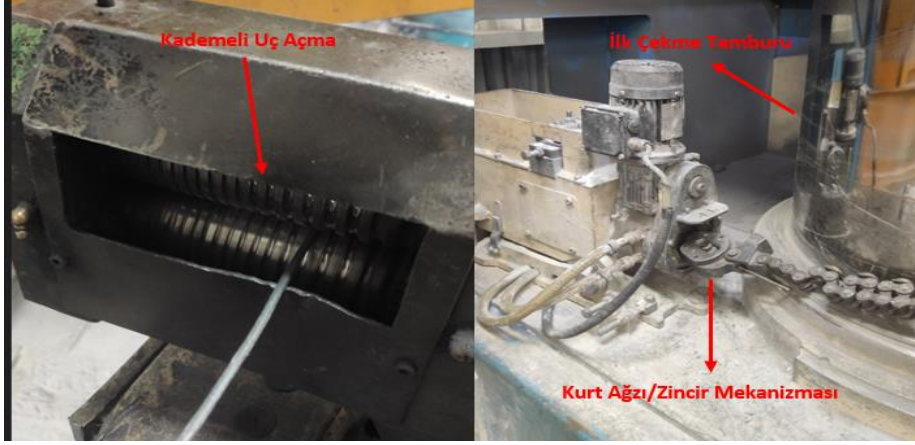
7.4.1 Deneylerin hazırlanışı

Şekil 7.8’ de görüleceği üzere kaplama işlemi uygulanmış tel çekme matris numuneleri önce kovanına daha sonra ise kovan ile birlikte çekme bloğunda bulunan matris yatağına yerleştirilmiştir. Daha sonrasında yağlayıcı haznesi belirli seviyeye kadar kalsiyum bazlı orta tanecik boyutuna sahip yağlayıcı ile doldurulmuştur.



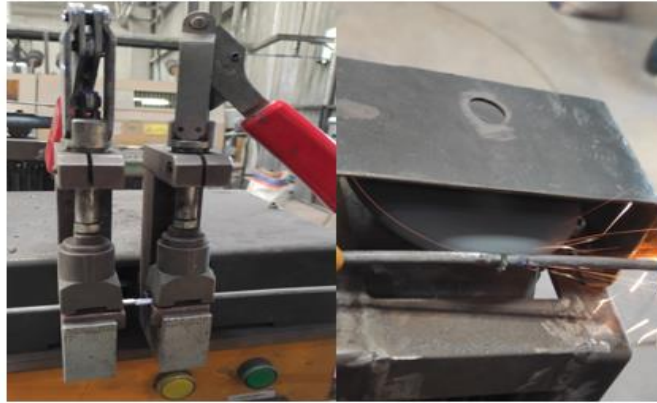
Şekil 7.8 : Çekme matrisi montajı.

Çekme matrisinden telin geçirilmesi işlemi öncesi Şekil 7.9’ da görüldüğü gibi, telin uç kısmında kademeli olarak uç açma/çap inceltme işlemi gerçekleştirilmiş ve ardından kurt ağzı adı verilen tambura telin sarılması için kullanılan zincir mekanizması ile matristen geçirilen tel ilk çekme tamburuna sarılmıştır.



Şekil 7.9 : Uç açma ve tambur sarma işlemi.

İlk tambura sarılan telin ucu makinede bir önceki filmâşinden kalan tel ile Şekil 7.10’ da görüldüğü gibi alın kaynak işlemi ile birleştirilip taşlandıktan sonra makine çalışmaya hazır hale getirilmiştir. Makine çalıştırılmadan önce makinenin diğer tüm ayarları ve parametreleri kontrol edilmiştir.



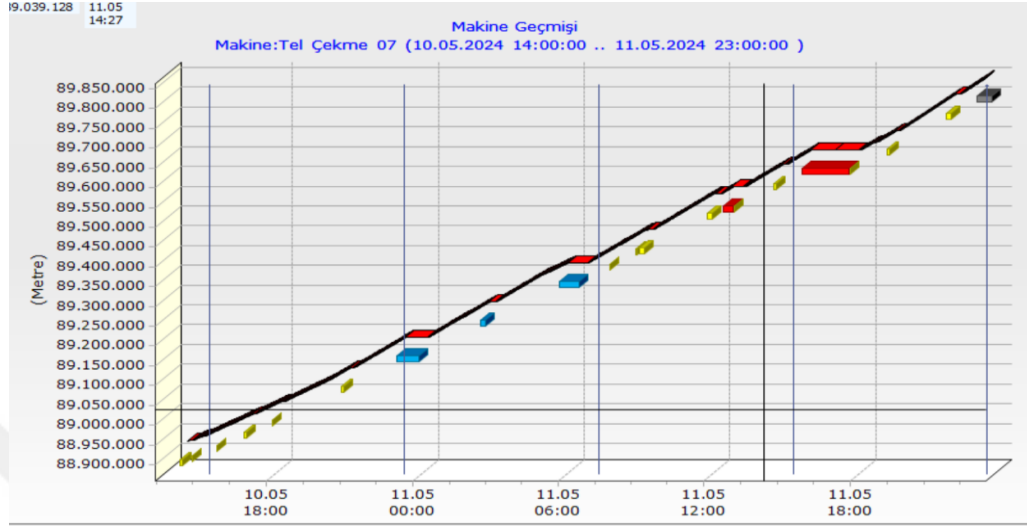
Şekil 7.10 : Alın kaynak ve taşlama işlemi.

7.4.2 Deneylerin gerçekleştirilmesi

Hazır hale getirilen makine 4 m/sn de çalıştırılmıştır. Yaklaşık yarım saat sonra makine hızı kademeli olarak denemenin gerçekleştirilmesi planlanan 10 m/sn hıza çıkarılmıştır.

10 m/sn hıza ulaştıktan sonra her 500 kg üretimde dijital mikrometre ile çap ölçümleri tekrarlı ve farklı bölgelerden olacak şekilde gerçekleştirilerek takip edilmiştir. Her ölçüm sonrası denemenin sonuçlarının sapmaması amacıyla tüm makine ayarları ve parametreleri kontrol edilmiştir. Ayrıca numune çekme matrisinden çıkan tellerden belirli aralıklar ile portatif XRF cihazı ile kalsiyum ölçümleri alınmıştır.

Tel çekme işlemi esnasında gerçekleşen duruşlar ve metraj bilgisi veri toplama sistemi üzerinden Şekil 7.11’ de görüldüğü üzere takip edilmiştir. Bu işlemler tüm numuneler için tekrarlanmış ve veri toplama işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 7.11 : Veri toplama sistemi.

7.5 Deneysel Çalışmaların Sonuçları

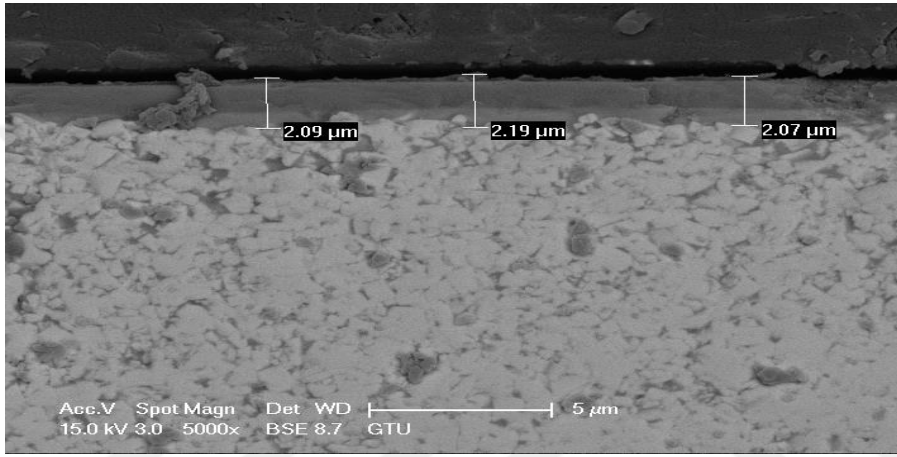
7.5.1 SEM analiz sonuçları

Tüm kaplama tipleri için tel erezyon yöntemi ile kesilerek hazırlanan çekme matris çekirdek numunelerinin kesit bölgelerinden alınan SEM görüntüleri kaplama kalınlığının değişimi ve performansının değerlendirilmesinde kullanılmıştır.

PVD yönteminin silindirik geometrilere sahip parçalardaki uygulamalarında, parçanın iç yüzeyindeki kaplama performansının ve kalınlığının parçanın giriş ve çıkış çapları ile doğru orantılı olduğu bilinmektedir. Ayrıca kaplama malzemelerine ait ortalama kaplama kalınlık bilgileri literatürde yer almasına rağmen uygulanan parçanın malzemesi, geometrisi ve yüzey durumu bu kalınlığı etkilemektedir. Tüm bu nedenlerden dolayı tüm kaplama tipleri için gerçek kaplama kalınlıklarının parça içerisindeki dağılımı ve performansının doğru değerlendirilmesi amacıyla her kaplama tipi için hazırlanan ve kesiti alınan 6.5 mm giriş ve 5.5 mm çıkış çaplarına sahip tel çekme matris numunelerinin SEM analizleri gerçekleştirilmiştir.

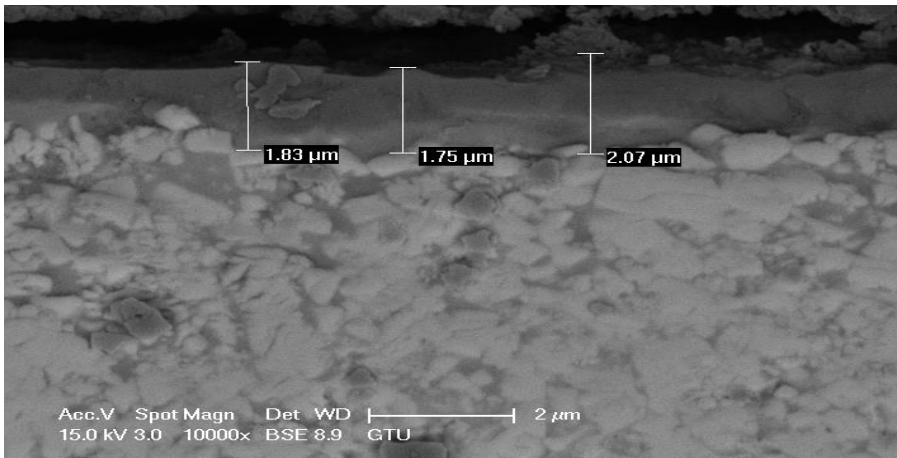
TiN Kaplamalı Tel Çekme Matrislerinin SEM Analiz Sonuçları

İncelemeler tel çekme matrislerine ait giriş, çıkış ve yatak bölgelerinde gerçekleştirilmiştir. Yapılan incelemeler sonucu elde edilen farklı bölgelerdeki kaplama kalınlığı ve görüntüleri PVD yönteminin silindirik parçalardaki kaplama kısıtının tel çekme matrislerinde de gerçekleştiğini göstermektedir. Şekil 7.12’ de görüldüğü üzere tel çekme matrisinin 6.5 mm giriş çapından sonra gelen giriş bölgesi olarak bilinen ve kesit daralma işleminin başladığı açılı yüzeyinde yapılan incelemelerde ortalama 2 mikronluk homojen bir kaplama kalınlığı görülmektedir.



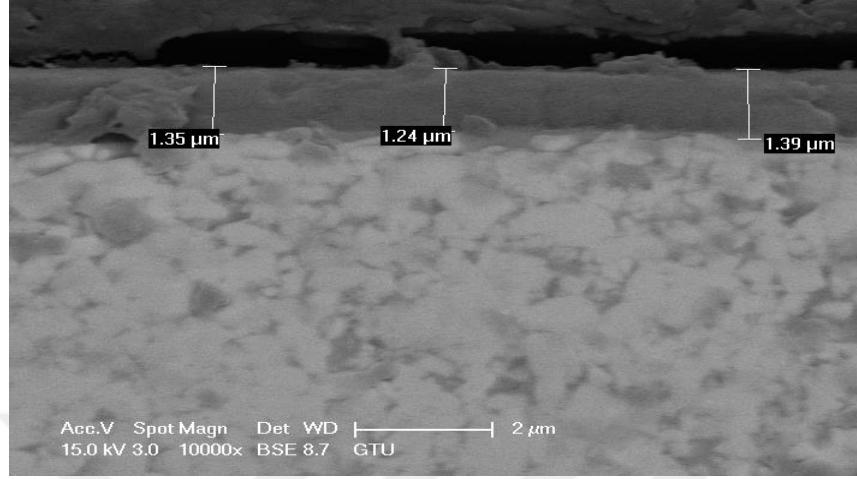
Şekil 7.12 : TiN kaplamalı tel çekme matrisinin giriş SEM görüntüsü.

Şekil 7.13’ de görüleceği üzere tel çekme matrisinin 5.5 mm çapa sahip çıkış açılı bölgesinden alınan görüntülerde ise ortalama 1.8 ile 2 mikron arasında bir kaplama kalınlığı ölçülmüştür.



Şekil 7.13 : TiN kaplamalı tel çekme matrisinin çıkış SEM görüntüsü.

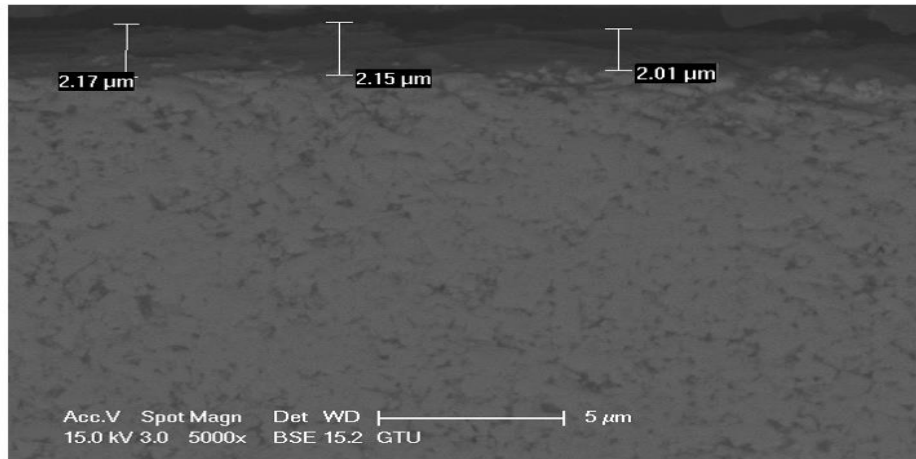
Son olarak Şekil 7.14’ de görüldüğü gibi tel çekme matrisinin yatak uzunluğu olarak bilinen bölgesinden alınan görüntülerde ise kaplama kalınlığının 1.3 ile 1.5 mikron seviyelerinde olduğu ve giriş ile çıkış bölgelerine göre bir düşüş olduğu görülmektedir.



Şekil 7.14 : TiN kaplamalı tel çekme matrisinin yatak boyu SEM görüntüsü.

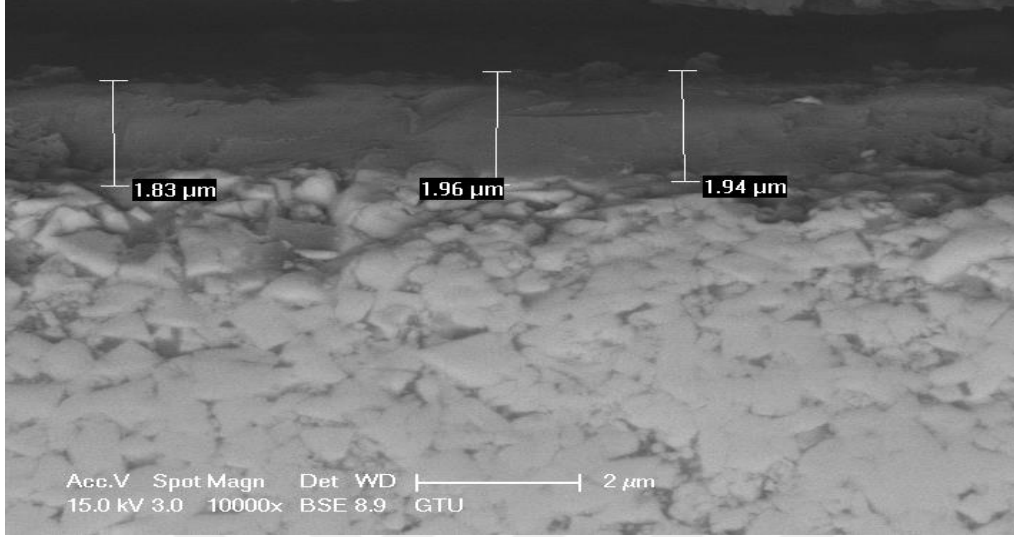
AlTiN Kaplamalı Tel Çekme Matrislerinin SEM Analiz Sonuçları

Şekil 7.15’ de görüldüğü üzere tel çekme matrisinin 6.5 mm giriş çapından sonra gelen giriş bölgesi olarak bilinen ve kesit daralma işleminin başladığı açılı yüzeyinde yapılan incelemeler de 2.0 ile 2.2 mikron aralığında homojen bir kaplama kalınlığı görülmektedir.



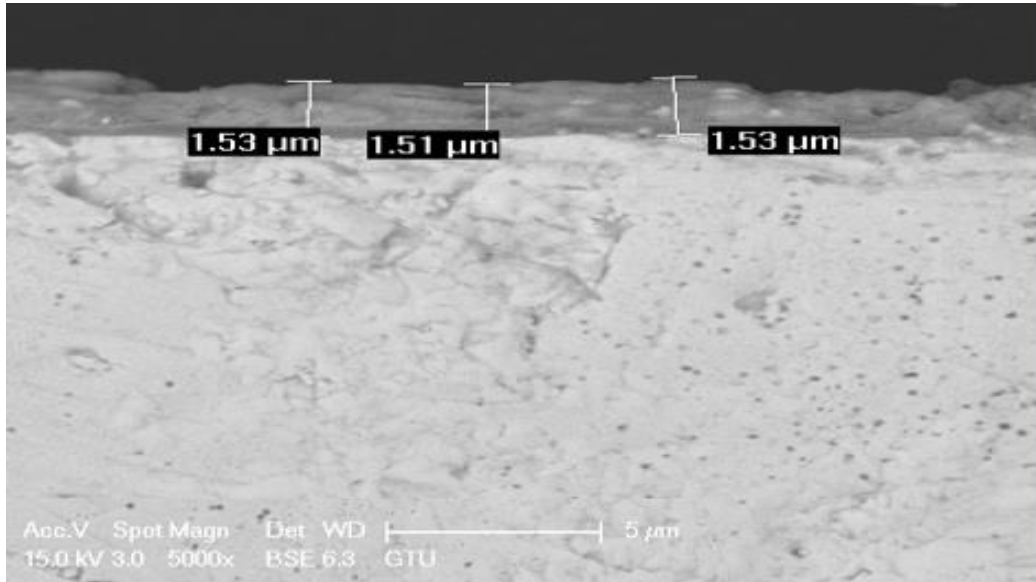
Şekil 7.15 : AlTiN kaplamalı tel çekme matrisinin giriş SEM görüntüsü.

Şekil 7.16’ da görüleceği üzere tel çekme matrisinin 5.5 mm çapa sahip çıkış açılı bölgesinden alınan görüntülerde ise ortalama 1.8 ile 2 mikron bir kaplama kalınlığı ölçülmüştür.



Şekil 7.16 : AlTiN kaplamalı tel çekme matrisinin çıkış SEM görüntüsü.

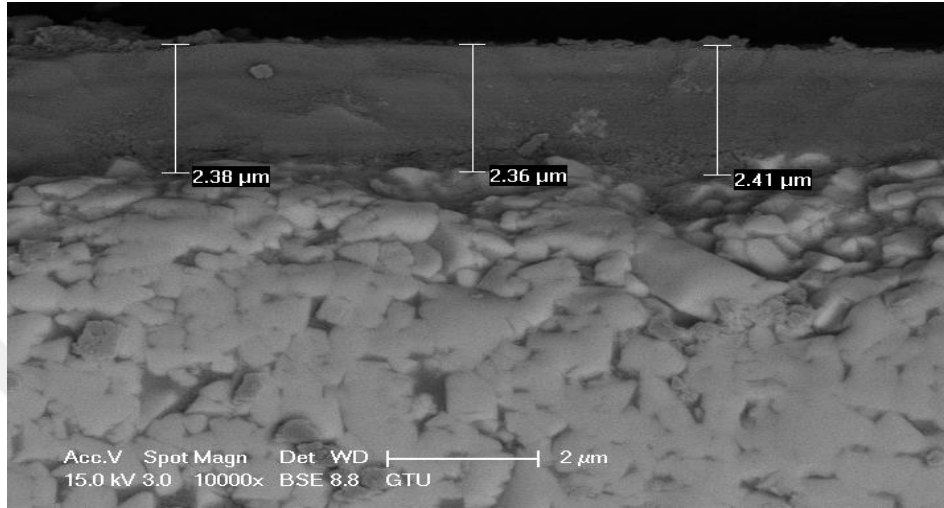
Son olarak Şekil 7.17’ de görüldüğü gibi tel çekme matris numunesinin yatak uzunluğu olarak bilinen ve çekilen malzemede son çap ölçüsünü temin eden bölgesinden alınan görüntülerde ise kaplama kalınlığının ortalama 1.5 mikron seviyelerinde olduğu ve giriş ile çıkış bölgelerine göre bir düşüş olduğu görülmektedir.



Şekil 7.17 : AlTiN kaplamalı tel çekme matrisinin yatak boyu SEM görüntüsü.

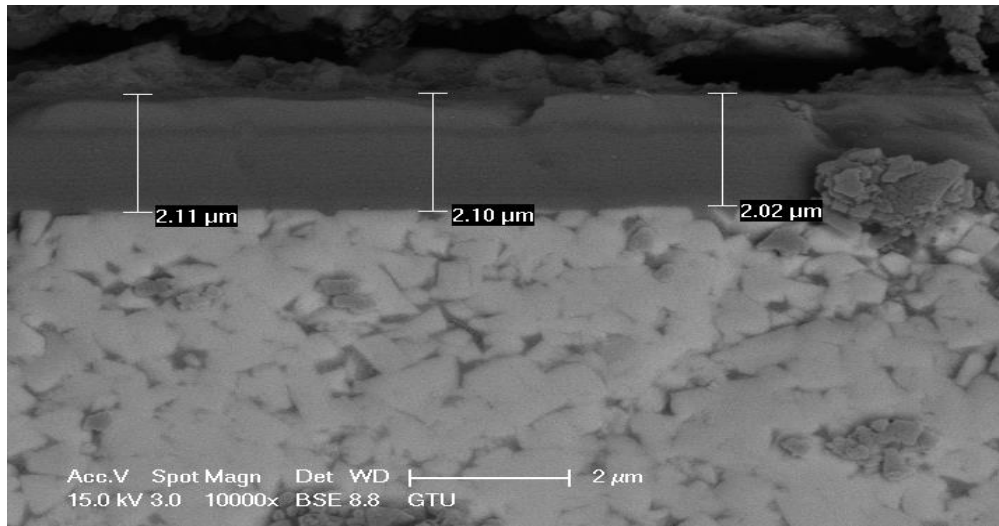
TiAlCN Kaplamalı Tel Çekme Matrislerinin SEM Analiz Sonuçları

Şekil 7.18’ de görüldüğü üzere tel çekme matrisinin 6.5 mm lik giriş çapından sonra gelen giriş bölgesi olarak bilinen ve kesit daralma işleminin başladığı açılı yüzeyinde yapılan incelemeler de 2.3 ile 2.5 mikron aralığında homojen bir kaplama kalınlığı görülmektedir.



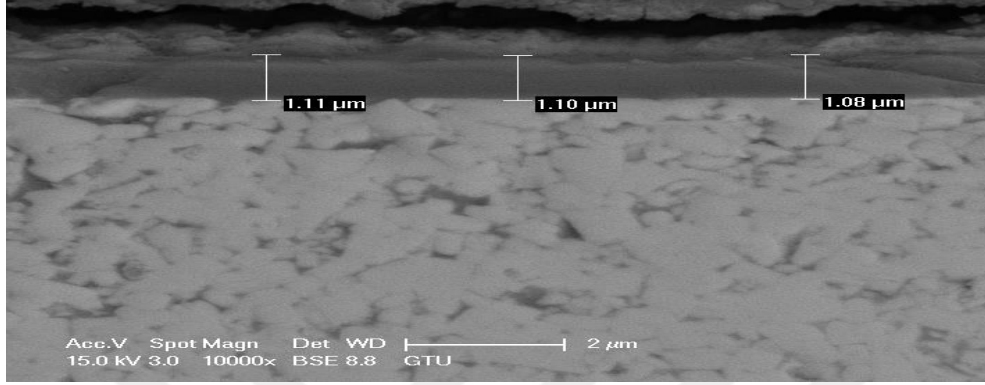
Şekil 7.18 : TiAlCN kaplamalı tel çekme matrisinin giriş SEM görüntüsü.

Şekil 7.19’ da görüleceği üzere tel çekme matrisinin 5.5 mm çapa sahip çıkış açılı bölgesinden alınan görüntülerde ise ortalama 2 mikron bir kaplama kalınlığı ölçülmüştür.



Şekil 7.19 : TiAlCN kaplamalı tel çekme matrisinin çıkış SEM görüntüsü.

Numunenin yatak boyu bölgesinden alınan ölçümlerde kaplama kalınlıklarında giriş ile çıkış bölgelerine göre ciddi bir düşüş olduğu görülmüştür. Ortalama 1 mikron kaplama kalınlığı görüntülenen analizde kaplama kalınlığının yer yer 1 mikron altına düştüğü de görülmüştür. Bu durum kesiti alınan numunelere ait mikroskop görüntülerinde renk dalgalanmaları olarak gözlemlenmiştir.



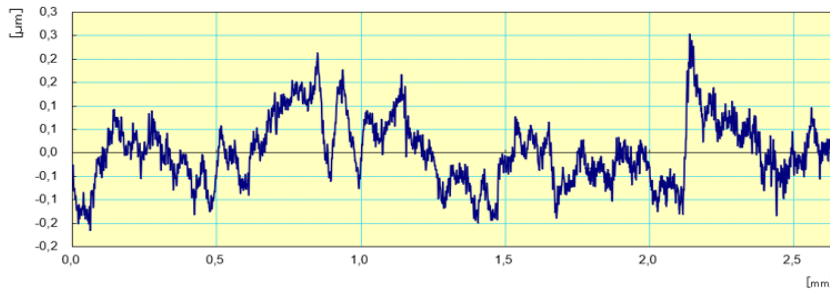
Şekil 7.20 : TiAlCN kaplamalı tel çekme matrisinin yatak boyu SEM görüntüsü.

7.5.2 Çekme matris numunelerinin yüzey pürüzlülük test sonuçları

Tel çekme işleminde yüzey pürüzlülüğünün çekme performansına ve aşınmaya etkisi çalışmada geniş bir şekilde ifade edilmiştir. Elde edilen kaplamalı yüzeylerin yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçümü SurfTest Sj-210 cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Ölçüm alınan yüzeyin açılı olması sebebi ile alınan değerlerin doğruluğunu sağlamak amacıyla 14 derecelik kalıp imal edilerek düz bir yüzeyden ölçüm alınması sağlanmıştır.

TiN Kaplamalı Tel Çekme Matrisinin Yüzey Pürüzlülük Analiz Sonuçları

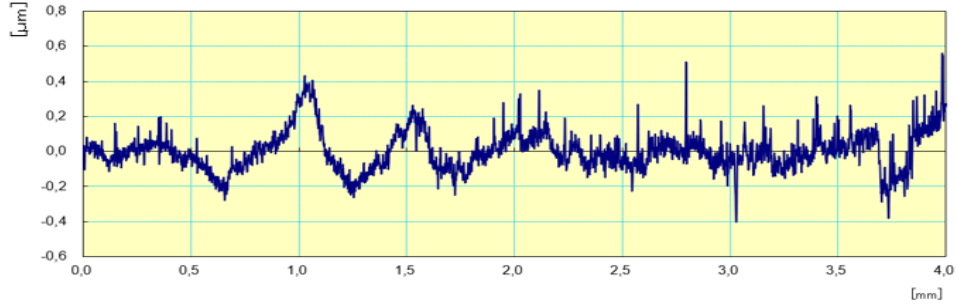
Şekil 7.21’ de yapılan testlere ait grafik yer almaktadır. Yapılan tekrarlı testler sonucu elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri $R_a=0.162 \mu\text{m}$, $R_z=0.371 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür.



Şekil 7.21 : TiN kaplamalı numuneye ait yüzey pürüzlülük grafiği.

AlTiN Kaplamalı Tel Çekme Matrisinin Yüzey Pürüzlülük Analiz Sonuçları

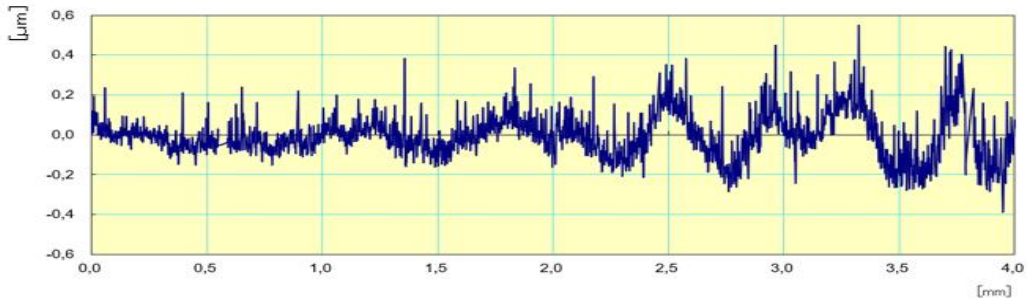
Şekil 7.22’ de yapılan testlere ait grafik yer almaktadır. Numune yüzeyinden alınan tekrarlı testler sonucu elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri $R_a=0.185 \mu\text{m}$, $R_z=0.523 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür.



Şekil 7.22 : AlTiN kaplamalı numuneye ait yüzey pürüzlülük grafiği.

TiAlCN Kaplamalı Tel Çekme Matrisinin Yüzey Pürüzlülük Analiz Sonuçları

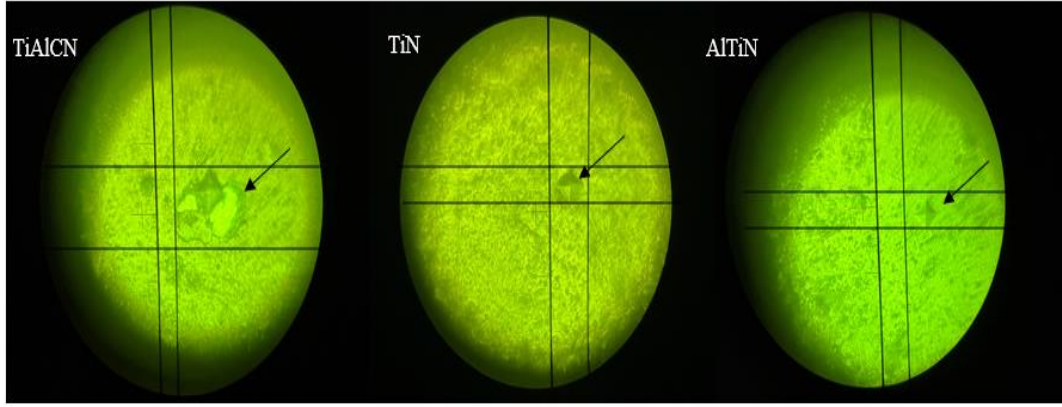
Şekil 7.23’ de yapılan testlere ait grafik yer almaktadır. Numuneye ait giriş bölgesi adı verilen bölgeden iç yüzeyden alınan tekrarlı testler sonucu elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri $R_a=0.189 \mu\text{m}$, $R_z=1,182 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür



Şekil 7.23 : TiAlCN kaplamalı numuneye ait yüzey pürüzlülük grafiği.

7.5.3 Çekme matris numunelerinin mikrosertlik test sonuçları

Farklı kaplama malzemeleri ile elde edilen numunelerde farklı yükler altında mikrosertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Numunelerde elde edilen kaplama kalınlıklarının oldukça ince olmasından kaynaklı ölçümlerde sapmalar meydana gelmiştir. Bu nedenle ölçümler farklı bölgelerden farklı yükler altında ve tekrarlı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Şekil 7.24’ de gerçekleştirilen sertlik testlerine ait yüzey görüntüleri verilmiştir.



Şekil 7.24 : Mikrosertlik test yüzey görüntüleri.

Beklendiği üzere her kaplama malzemesi için farklı ortalama değerler elde edilmiştir. Testler 0.05, 0.1, 0.2, 0.5 gibi farklı yükler altında gerçekleştirilmiştir. Amaç elde edilen yüzeyin sadece kaplama içerisinde oluşması ve ana malzemeye ulaşmadan ölçümü sağlamaktır. Elde edilen ortalama sertlik değerleri vickers cinsinden Çizelge 7.3’ de verilmiştir.

Çizelge 7.3 : Kaplamaların vickers mikrosertlik değerleri.

Kaplama	HV _{0.1}
TiAlCN	2635
TiN	1830
AlTiN	2210

Elde edilen değerler tüm kaplama tipleri için nominal değerlerin altında olmak ile beraber birbirleri ile aralarındaki farklar ise nominal değerler ile örtüşmektedir. Özellikle TiAlCN numunesinin testlerinde yüzeyde kırılmalar ve çok parçalı kırılmalar gözlemlenmiştir.

7.5.4 Çekme deneylerinde kullanılan tellere ait XRF analizi sonuçları

Çekme deneylerinde aynı tedarikçiye ait aynı parti üretiminden filmaşınlar kullanılmıştır. Yapılan denemelerde düşük karbonlu 3Si1 kalite teller kullanılmıştır. Tellere ait kimyasal kompozisyonlar XRF cihazı ile ölçülmüş ve Çizelge 7.4’ de verilmiştir.

Çizelge 7.4 : Çekme deneylerinde kullanılan tellere ait kimyasal kompozisyonlar.

	MN	C	SI	P	S	CU	NI	CR	AL	V	MO
3Si1	1,45	0,06	0,83	0,00	0,01	0,06	0,05	0,04	0,00	0,00	0,01
3Si1	1,47	0,07	0,82	0,01	0,01	0,07	0,04	0,05	0,01	0,01	0,01
3Si1	1,46	0,08	0,88	0,00	0,02	0,06	0,04	0,04	0,02	0,01	0,01

7.5.4 Çekme deneylerinin sonuçları

Her bir kaplama malzemesinden 3 er adet numune ile tel çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çekme deneyleri 9 adet senkronize tambura sahip tel çekme makinelerinde ve %27 lik alan daralması ile gerçekleştirilmiştir. Ayrıca çekme deneylerinde aynı tedarikçi ve aynı parti numarasına sahip hammaddeler kullanılmıştır. Numunelerdeki aşınma hızı, numunelerden çıkan telin sabun durumu, tel kopma sayıları ve seriye ait diğer kaplamasız tungsten karbür tel çekme matrislerindeki aşınma durumları manuel ve veri toplama sistemi yardımıyla takip edilmiştir.

Çekme deneylerinde alınan çap ölçümleri mikron mertebesinde gerçekleştirilmiştir. Fakat çekme sonrası oluşan mikron boyutlarındaki ovalite ve sabun film kalınlığı ölçümleri zorlaştırmıştır. Tüm değerlendirmeler 10 mikron büyüme miktarında çekilen tel miktarı ve genel çekme performansına göre yapılmıştır. Çizelge 7.5’ de 3 farklı kaplama malzemesi ile hazırlanan çekme matrisleri ile yapılan üretimlerden toplanan veriler gösterilmiştir.

Çizelge 7.5 : Çekme deneyleri sonuçları.

Kaplama	Çekme Hızı (m/sn)	Aşınma Hızı (Mikron)	Kopma Sayısı	Seri Büyüme Davranışı	Yüzey Durumu
TiN	10	930 kg/um	0	Normal	Yoğun Sabun Filmi
AlTiN	10	1170 kg/um	0	Normal	Yoğun Sabun Filmi
TiAlCN	8	680 kg/um	4	Yüksek	Yetersiz Sabunlu Parlak Yüzey

7.5.5 Çekme numuneleri XRF yağlayıcı kaynaklı Ca ölçüm sonuçları

Şekil 7.25’ de görüldüğü gibi 3 farklı numune için gerçekleştirilen çekme deneyleri boyunca çekme matrisinden çıkan tellerin yüzeylerinden portatif XRF cihazı ile kalsiyum ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Alınan tekrarlı ölçümlerden elde edilen ortalama yağlayıcı kaynaklı kalsiyum % oranları Çizelge 7.6’ da verilmiştir.

Mining #	Ca %	Sample
1344	4.729	TiAlCN
1337	11.527	TiN
1335	13.816	AlTiN

Şekil 7.25 : XRF Ca ölçüm görselleri.

Alınan tekrarlı ölçümlerden elde edilen ortalama yağlayıcı kaynaklı kalsiyum % oranları Çizelge 7.6’ da verilmiştir.

Çizelge 7.6 : Numunelere ait XRF Ca ölçüm sonuçları.

Kaplama	Yüzey Ca %
TiN	11,5
AlTiN	14
TiAlCN	4,5

8. GENEL SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada malzemenin kademeli olarak kesitinin daraltılması ve boyunun artması ile sonuçlanan tel çekme işlemi ve bahsi geçen bu kesit daralması işlemini gerçekleştiren çekme matrisleri detaylı şekilde incelenmiştir. Çekme matrislerinde çekme işlemi esnasında gerçekleşen aşınma mekanizmaları ve bunlara etki eden faktörler incelenmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalarda 4.70 mm çapında 15x14 çekirdek boyutlarında ve %93 W %6 Co kimyasal kompozisyona sahip tungsten karbür tel çekme matrisleri kullanılmıştır. 12 adet matris PVD kaplama yöntemi ile 3 farklı kaplama malzemesi kullanılarak kaplanmıştır.

Kaplama işlemi sonrası tel erezyon yöntemi ile kesitleri alınan numuneler de SEM analizi (Kaplama Kalınlığı), yüzey pürüzlülüğü , mikrosertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Kaplamalı çekme matrisleri kullanılarak 3Si1 düşük karbonlu çelik hammadesinin çekme işlemi gerçekleştirilmiştir.

SEM analizleri ile kaplama yapılan çekme matrislerinin iç yüzeylerinde elde edilen kaplama kalınlıkları tespit edilmiştir. Bu ölçümlere göre TiN kaplamalı numuneden yapılan analizlerde matris giriş ve çıkış bölgelerinde ortalama 1.8 mikronluk bir kaplama kalınlığı elde edilirken yatak boyunda ise ortalama 1.3 mikronluk bir kaplama kalınlığı elde edilmiştir. Aynı analizler sonucunda AlTiN kaplamalı numunede giriş ve çıkış bölgelerinde ortalama 2 mikron, yatak boyu kısmında ise ortalama 1.5 mikron bir kaplama kalınlığı ölçülmüştür. Son numune olan TiAlCN kaplamalı çekme matris numunesinde ise giriş ve çıkış bölgelerinde ortalama 2.3 mikronluk, yatak kısmında ise ortalama 1 mikronluk bir kaplama kalınlığı tespit edilmiştir.

SEM analiz sonuçlarından elde edilen kaplama kalınlık verilerine bakıldığında AlTiN malzemesinin kaplama kalınlığı ve homojenliği açısından diğer kaplama tiplerine göre daha iyi bir performans sergilediği görülürken, TiAlCN malzemesinin ise özellikle çekme matrisinin orta bölgesine yakın bir konumda bulunan ve tel çekme işleminde asıl sürtünmenin, aşınmanın meydana geldiği bölgesi olan yatak boyunda kaplama

kalınlığının 1 mikron seviyelerinin altına düşerek yetersiz bir performans sergilediği söylenebilmektedir. Bu durum mikroskop görüntülerinde kaplamalı bölgelerde renk dalgalanmaları ve geçişleri olarak da ortaya çıkmıştır.

Kesiti alınan numunelerin iç yüzeylerinde gerçekleştirilen yüzey pürüzlülük ölçümlerine göre TiN ve AlTiN kaplamalı numuneler benzer davranış sergilerken, TiAlCN ise daha yüksek bir davranış sergilemiştir. Özellikle Rz değeri olarak tekrarlı ölçümler sonucu elde edilen 1.1 mikron değeri dikkat çekmiştir.

Son olarak hazırlanan numunelerin kaplamalı yüzeylerinden alınan mikrosertlik ölçümlerinin sonuçlarına bakıldığında, TiN kaplamalı numunelerin mikrosertlik değeri 1800 HV_{0.1} , AlTiN kaplamalı numunelerde 2200 HV_{0.1} , TiAlCN kaplamalı numunelerde ise 2650 HV_{0.1} ortalama değerlerine ulaşmıştır.

Tel çekme deneyleri boyunca her bir çekme matris numunesine ait çekilebilirlik performansları değerlendirildiğinde, TiN ve AlTiN kaplı çekme matris numunelerinin denemeler boyunca kopma meydana gelmeden ve belirlenen 10 m/sn hızlarında çekme işlemini sorunsuz tamamladığı görülmektedir. Ayrıca denemeler esnasında makineye takılan ve numuneler ile birlikte çalışan diğer çekme matrislerinden alınan ölçümler büyüme oranlarının normal seviyelerde gerçekleştiğini göstermiştir. TiAlCN kaplı çekme matrisine ait denemelerde 4 adet kopma meydana gelmiş ve belirlenen 10 m/sn hızlarda çalışamamıştır. Bunun yanı sıra birlikte çalıştığı diğer matrislere ait büyüme oranları incelendiğinde normalin aksine hızlı bir aşınma ve büyüme olduğu görülmüştür. Denemeler boyunca numune çekme matrislerinden çıkan kesiti daraltılmış ve yağlayıcı filmi kaplanmış tellerden XRF ölçümleri alınmış ve tel yüzeylerindeki kaynağı yağlayıcı olan kalsiyum miktarları değerlendirilmiştir. Bu ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde özellikle TiAlCN kaplı numune denemelerinden gelen değerlerin diğer numunelere göre 3 kat daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Çekme deneyleri sonrası çekilen tel miktarı ile aşınma arasında kurulan ilişkiye göre en iyi aşınma performansını AlTiN kaplamalı çekme matris numunesi ortalama 1170 kg/um aşınma davranışı ile göstermiştir. TiN kaplamalı çekme matris numunesi ise 930 kg/um aşınma hızı ile ikinci en iyi performansı gösterirken TiAlCN kaplamalı numune 680 kg/um aşınma davranışı sergilemiştir.

Aşınma hızlarındaki bu farklılıkların özellikle çekme matrislerinde elde edilen kaplama kalınlıkları, kaplamalı yüzeylerin çekme işlemi esnasında kullanılan

yağlayıcı ile tribolojik ilişkisi ve yüzey pürüzlülük durumları ile alakalı olduğu düşünülmektedir.

TiAlCN özelinde konu irdelendiğinde kaplamaya ait sertlik seviyesinin diğer kaplamalı matrislere göre daha yüksek olmasına rağmen, çekme matrisinin yatak kısmında kaplama kalınlıklarının 1 mikron seviyesinin altında olması ve çekilen telin yüzeyindeki kalsiyum miktarının diğer kaplamalı numunelere göre 3 kat daha az olması aşınma hızının artışına yol açtığı düşünülmektedir. Ayrıca bahsi geçen bu etkenlerin TiAlCN çekme denemelerinde birlikte çalıştığı diğer çekme matrislerindeki hızlı aşınma ve çaplardaki hızlı büyümeyi açıklamaktadır.

Tel çekme işleminde kullanılan aynı çapa sahip kaplama işlemi uygulanmamış tungsten karbür çekme matrislerinin aynı koşullarda aşınma hızlarının ortalama 480 kg/um olduğu bilinmektedir. Kaplamalı çekme matris numuneleri ile tungsten karbür matrislerinin aşınma davranışları karşılaştırıldığında AlTiN kaplamalı çekme matrisi yaklaşık 2.5 kat, TiN kaplamalı çekme matrisi yaklaşık 2 kat, TiAlCN ise yaklaşık 1.5 kat daha iyi performans sergilediği tespit edilmiştir. Özellikle AlTiN ve TiN ün çekilebilirlik açısından da sergilediği iyi performans bu kaplama malzemelerinin daha başarılı sonuçlar verdiğini ve daha ideal bir çözüm sunduğunu göstermektedir. Elde edilen bu başarılı sonuçların kaplama malzemelerinin sağladığı yüksek sertlik ve artan yüzey kalitesi ile alakalı olduğu düşünülmektedir.

Her ne kadar iyi sonuçlar vermesine rağmen kaplama ile elde edilen kaplama kalınlıklarının oldukça düşük kalması en büyük kısıtlardandır. Özellikle yüksek aşınma toleransı ile çalışılabilen düşük karbonlu çeliklerin çekme işlemi için bu kaplama kalınlıklarının yetersiz kaldığı görülmektedir. Kaplama işlemi ile elde edilen film kalınlıklarının farklı kaplama yöntem veya metodları ile daha yüksek seviyelere çıkartılması ile bu tarz uygulamaların tel çekme matrislerinde kullanılabilirliğini arttıracakları öngörülmüştür. Ayrıca daha düşük aşınma toleransları ile çalışılması gereken tel çekme işlemleri (Bakır-Alüminyum) için bu tarz uygulamaların daha uygun olacağı öngörülmektedir.



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] **Çelik, E.** (2019). Çelik Tel Çekme Hadde Geometrisinin Telin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi , Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sakarya.
- [4] **Gillström, P. ve Jarl, M.** (2006). Mechanical descaling of wire rod using reverse bending and brushing, Journal of Materials Processing Technology, 172, 332-340.
- [5] **Yang, W.** (2001). The Structure and Properties of Mill Scale in Relation To Easy Removal, Doktora Tezi, University of Sheffield, Sheffield, England.
- [6] **Sang-Kon, L. ve Seon-Bong, L. ve Byung-Min, K.** (2010). Process design of multi-stage wet wire drawing for improving the drawing speed for 0.72 wt% C steel wire, South Korea.
- [7] **Bingshu, H.** (1997). Lubrication Efficiency and Die Design in Wire Drawing ,Bingshu Huo, Doctor of Philosophy, The University Of Aston, Birmingham.
- [8] **Wright, R. N. ve Male, A. T.** (1978). ASME Transactions, Journal for Lubrication Engineering, 97, 134.
- [9] **Byon, S. M. ve Lee, S. J. ve Lee, D. W. ve Lee, Y. H. ve Lee, Y.** (2011). Effect of coating material and lubricant on forming force and surface defects in wire drawing process, Transactions of Nonferrous Metals Society of China, Volume 21.
- [10] **James, L. ve Gracious, N.** (2017). Analytical modeling of hydrodynamic lubrication in a multiple-reduction drawing die, Journal of Manufacturing Processes, Volume 27.
- [11] **Jumara, A. M. ve Aku, S. Y. ve Anafi, F. O. ve Suleiman, R. B. O.** (2011). Assessment of mechanical properties of mild steel drawn using vegetable fatty-based oils as lubricants, Global Journal of Pure and Applied Sciences, Volume 17.
- [12] **Ünseren, M.,** (2006). Tel Çekme Matrisleri Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [13] **Kim, S. H. ve Jang, G. C. ve Lee, C. W.** (2014). Development and Evaluation of Dry Lubricant Recycle Technologies for Wire Drawing Process, Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Volume 13.
- [14] **Özer, Ö.** (1993). Tel Çekme İşlemine Etki Eden Faktörlerin Mekanik ve Teknolojik Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [15] **Koner, S.** (1992). Tungsten Carbide Wire Drawing Dies, Wire Industry

- [16] **Balin, B.** (2004). Seçilen Karakteristiklerin Tel Çekme İşlemi Üzerindeki Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [17] **Wistreich, J. G.** (1958). The Fundamentals of Wire Drawing, Metallurgical Reviews, 3, 10, 97–141.
- [18] **Hassan, A. K. F. ve Hashim, A. S.** (2015). Three Dimensional Finite Element Analysis of Wire Drawing Process, Universal Journal of Mechanical Engineering 3(3): 71-82, Department of Mechanical Engineering, University of Basrah, Irak.
- [19] **Tittel, V. ve Zelenay, M. ve Kubelas, L.** (2012). Effect of Drawing Angle Size of A Die on Wire Drawing and Bunching Process, Çek Cumhuriyeti.
- [20] **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.
- [21] **Wang, X. ve Wang, C. ve Sun, F. ve Ding, C.** (2018). Simulation and experimental researches on HFCVD diamond film growth on small inner-hole surface of wire-drawing die with no filament through the hole, Surface and Coatings Technology, Volume 339, Pages 1-13.
- [22] **Gillström, P. ve Jarl, M.** (2007). Wear of die after drawing of pickled or reverse bent wire rod, Volume 262, Pages 858-867.
- [23] **Takada, M. ve Matsubara, H. ve Kawagishi, Y.** (2013). Wear of Cemented Carbide Dies for Steel Cord Wire Drawing, Materials Transactions, Vol. 54, Japonya.
- [24] **Kim, T. H. ve Kim, B. M. ve Choi, J. C.** (1997). Prediction of die wear in the wire-drawing process, Journal of Materials Processing Technology, Volume 65, Pages 11-17.
- [25] **Pirso, J. ve Letunovits, M.** (2004). Friction and wear behaviour of cemented carbides, Wear 257 257–265.
- [26] **Hollinger, S. ve Depraetere, E. ve Giroux, O.** (2003). Wear mechanism of tungsten carbide dies during wet drawing of steel tyre cords, Volume 255, Pages 1291-1299, France.
- [27] **McClintock, F. A. ve Argon, A. S.** (1966). Mechanical Behavior of Materials, AddisonWesley Publishing Company, Inc.
- [28] **Shatynski, S. R. ve Wright, R. N.** (1979). Die wear during wire drawing operations, Wire Technol. 7 (4) 59–62, 64, 66–69.
- [29] **Pirso, J. ve Letunovits, S. ve Viljus, M.** (2004). Friction and wear behaviour of cemented carbides, Wear, Volume 257, Pages 257-265.
- [30] **Thomas, H. M.**, Theories of Die Design, Die Quip Corporation 5360 Enterprise Boulevard Bethel Park, PA.
- [31] **Omaç, F.** (2010). Bakırın Tel Çekme Esnasında Meydana Gelen Tozlanma Sorununun İncelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [32] **Baker, G. ve Pops, H.** (2008). Formulation, Analysis and Measurement of Fines, Wire Expo Conference Proceedings, Wire Journal International, Eylül.
- [33] **Lee, K. H. ve Lee, S. K. ve Kim, B. Y.** (2012). Advanced simulation of die wear caused by wire vibrations during wire-drawing process, Transactions of Nonferrous Metals Society of China, Volume 22, Pages 1723-1731.
- [34] **Dove, A. ve Moritz, J. ve Smigel, W.** (1980). Steel Wire Handbook, 250-263, Wire Association International, USA.

- [35] **Bornström, A. L. ve Viklund, F.** (2022). The Influence of Drawing Speed on Steel Wire Surface Quality, Master of Science in Industrial Engineering and Management Örebro, İsviçre.





ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Ahmet GÖKHAN

Lisans: Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği

