

**T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**ÇELİK TEL ÇEKME HADDE GEOMETRİSİNİN TELİN FİZİKSEL
VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ekrem ÇELİK

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ**
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Salim ASLANLAR

Aralık 2019

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ÇELİK TEL ÇEKME HADDE GEOMETRİSİNİN TELİN
FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

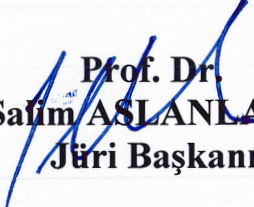
YÜKSEK LİSANS TEZİ

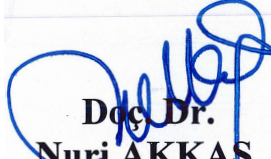
Ekrem ÇELİK

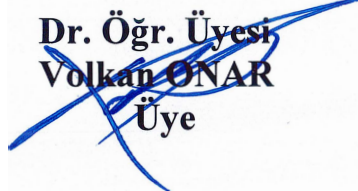
Enstitü Anabilim Dalı

METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 20/12/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr.
Salim ASLANLAR
Jüri Başkanı


Doç. Dr.
Nuri AKKAS
Üye


Dr. Öğr. Üyesi
Volkan ONAR
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim

Ekrem ÇELİK

20/12/2019

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Prof. Dr. Salim ASLANLAR 'a teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar olanakları konusunda anlayış ve yardımlarını esirgemeyen Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Özkan ÖZDEMİR 'e teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışmanın maddi açıdan desteklenmesine ve uygulamaların yürütülmesindeki desteklerin sağlanmasına katkılarından dolayı Çokyaşar Halat A.Ş. çalışanlarına teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
KISALTMALAR	iv
TABLolar DİZİNİ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÖZET.....	viii
SUMMARY	ix

BÖLÜM 1.

GİRİŞ.....	1
1.1 Filmaşın	1
1.2 Filmaşın Kangal Demir Kullanım Alanları	2
1.3 Tel Çekme	2
1.4 Kuru Tel Çekme	4
1.5 Sulu Tel Çekme	5

BÖLÜM 2.

HADDE MALZEMELERİ VE İMAL YÖNTEMLERİ	7
2.1 Hadde Profilinin Kısımları ve Görevleri	9

BÖLÜM 3.

HADDE İŞLEME METODU	15
3.1 Buluşma Noktası Seçimi	15
3.2 Açık Verme İşlemi	16
3.2.1 Açık Verme Ucu Bileme	16
3.2.2 Pötez Makinesinde Haddeye Açık Verme	17
3.2.3 Kademeli Olarak Silindir Boyu Açma	18
3.2.4 Parlatma ve Temizlik	18

BÖLÜM 4.

TEL ÇEKMEDE HADDE KAYNAKLI YAŞANAN SORUNLAR.....	20
4.1 Fosfat Kaplamanın Sıyırılması	20

4.2	Çapta Ovalite	22
4.3	Tel Çekmede Kopuk	23
4.4	Galvanizli Tellerde Çinko Sıyırması	24
BÖLÜM 5.		
TEL ÇEKMEDE YAPILAN TESTLER		26
5.1	Çekme Testi	26
5.1.2	Tel Çekme Deneyi İşlemi	31
5.2	Fosfat Kaplama Kalınlığı Tayini	32
5.3	Çinko Kaplama Testi	32
5.3.1	Gravimetrik Metot	32
5.3.2	Volümetrik Metot	34
5.4	Burma Testi	37
BÖLÜM 6.		
DENEYSEL ÇALIŞMALAR		43
6.1	Silindir Boyu Denemesi	43
6.2	Açının Verimliliğe Etkisi Denemesi	47
6.3	Silindir Boyunun Kaplama ve Mukavemete Etkisi	47
6.4	Hadde Açısının Galvanizli Telde Sıyırma İşlemine Etkisi	57
BÖLÜM 7.		
SONUÇLAR		60
KAYNAKLAR		63
ÖZGEÇMİŞ		65

KISALTMALAR

S	: Kesit, mm ²
V	: Tel çekme hızı, m/s
R _{P0,2}	: Akma dayanımı, MPa
R _m	: Çekme dayanımı, MPa
A ₅	: % kopma uzaması
K	: Malzeme sabiti
N	: Pekleşme üsteli
σ	: Gerilme
Z	: % kesit daralması
V	: Hacim
KD	: Kesit daralması
E	: Elastik modül
ε	: Uzama
P	: Kuvvet

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 3.1 : Temas noktası seçimi (Thomas Maxwell, 1989).....	15
Tablo 5.1 : Çekme numune bilgileri.	29
Tablo 5.2 : Çekme deney sonuçları.....	30
Tablo 5.3 : Burma testi çap ve numune ölçü tablosu	39
Tablo 5.4 : Burma testi tel çapı ve maksimum. deney hızı tablosu.	40
Tablo 6.1 : Silindir boyu değişikliğine mukavemet sonuçları.	47
Tablo 6.2 : 9 derece aç denemesi sonucu.....	47

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 : Filmaşın örneği.	1
Şekil 1.2 : Tel çekmenin prensip şeması.	3
Şekil 1.3 : Uç açma ve haddeden geçirme.	4
Şekil 1.4 : Bloğa tel sarma.	5
Şekil 1.5 : Sulu çekim makinesine tel yükleme işlemi.	6
Şekil 2.1 : Çekme matrisleri (Agir, 2006).	8
Şekil 2.2 : Hadde dizaynı (Balın, 2004).	9
Şekil 2.3 : Doğru temas noktası (Özer ve Yurci, 1997).	11
Şekil 2.4 : Hatalı temas noktası (Özer ve Yurci, 1997).	11
Şekil 2.5 : Hatalı temas noktası (Özer ve Yurci, 1997).	12
Şekil 2.6 : Tel çekme kuvveti ve matris açısı değerleri (Dove vd., 1980).	13
Şekil 2.7: Piyasada kullanılan matris çekirdeği açıları ve boyları (Balın, 2004).	14
Şekil 3.1 : Uç bileme makinesi.	16
Şekil 3.2 : Açık verme ucu.	16
Şekil 3.3 : Açık verme (pötez) makinesi.	17
Şekil 3.4 : Hadde silindir boyu verme işlemi.	18
Şekil 3.5 : Parlatılmış ve temizlenmiş imalata hazır hadde.	19
Şekil 4.1 : Hadde kaynaklı fosfat kaplaması soyulan tel örneği.	21
Şekil 4.2 : Geometrisi bozuk hadde örneği. (Silindiri aşırı uzun, açısı çok geniş).	21
Şekil 4.3 : 2,20 mm fosfat kaplı SM kalite telde hadde kaynaklı hasarlı ve sünek kopma yüzeyi.	23
Şekil 5.1 : Çekme deney grafiği.	30
Şekil 5.2 : (a) Gevrek malzemenin kırılma şekli, (b) sünek malzemenin kırılma şekli.	31
Şekil 5.3 : Tel çekme testi.	31
Şekil 5.4 : Volümetrik metot ile çinko kaplama kalınlığı ölçme yöntemi.	35
Şekil 5.5: Burma öncesi	38
Şekil 5.6 : Burma sonrası	38
Şekil 5.7 : Torsiyon ve Mukavemet Kontrol Tablosu DIN 12773.	41
Şekil 5.8 : Basit burulma testinde kopma yüzeylerinin değerlendirilmesi.	42
Şekil 6.1 : %50 silindir boyu ile hazırlanmış 12 derece 1,63 mm çapında haddeden geçmiş telin bloktaki görüntüsü.	44
Şekil 6.2 : %35 silindir boyuna sahip 12 derece 1,63 mm tel yüzey görüntüsü. (uygun görülen).	44
Şekil 6.3 : Silindir boyu %50 olan haddenin tel çekme işleminde hadde çıkışında fosfat sıyırması.	45
Şekil 6.4 : Silindir boyu %50 olan 1.63 mm haddenin çekilmiş tel görüntüsü.	45
Şekil 6.5 : Silindir boyu %50 olan 1.63 mm haddeden çekilen telin makro görüntüsü.	46
Şekil 6.6 : Silindir boyu %35 olan 1.63 mm haddeden çekilen telin makro görüntüsü.	46
Şekil 6.7 : %50 silindir boyuna sahip 1,10 mm hadde ile çekilen tel görüntüsü.	48
Şekil 6.8 : %30 silindir boyuna sahip 1,10 mm hadde ile çekilen tel görüntüsü.	49

Şekil 6.9 : 1,10 mm %30 silindir boyuna sahip haddeden çekilen telin çekme testi sonucu.....	50
Şekil 6.10 : 1,10 mm %50 silindir boyuna sahip haddeden çekilen telin çekme testi sonucu.....	51
Şekil 6.11 : % 50 silindir boyuna ait haddeden çekilmiş telin görüntüsü.....	52
Şekil 6.12 : % 50 silindir boyuna ait haddeden çekilmiş telin makro görüntüsü.....	53
Şekil 6.13 : % 30 silindir boyuna ait haddeden çekilmiş telin görüntüsü.....	53
Şekil 6.14 : % 30 silindir boyuna ait haddeden çekilmiş telin makro görüntüsü.....	54
Şekil 6.15 : % 30 silindir boyuna sahip hadde çıkan telin mikroyapısı.....	55
Şekil 6.16 : % 50 silindir boyuna sahip hadde çıkan telin mikro yapısı.....	56
Şekil 6.17 : %30 silindir boyuna ait numunenin mikro sertlik ölçümü.....	56
Şekil 6.18 : %50 silindir boyuna sahip numunenin mikro sertliği.....	57
Şekil 6.19 : 9 derece ile çekilen galvanizli 1,63 mm telde uygun sabunlu mat yüzey...	58
Şekil 6.20 :12 derece hadde ile çekilen galvanizli 1,63 mm telde çinko çapaklanması ve yüzey bozukluğu.....	59



TEL ÇEKME HADDESİNİN TELİN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

ÖZET

İmalat sanayisinde plastik şekil verme yöntemleri çokça kullanılan bir metottur. Tel çekme işlemi de plastik şekil verme yöntemleri arasında önem taşıyan bir metottur. Bu çalışmada çelik tel çekme işleminde büyük bir önem taşıyan ve çelik tele doğrudan etki eden çelik tel çekme haddeleri (matris) üzerinde çalışılacaktır. Çelik tel çekme haddelerinin geometrisindeki değişikliğin çelik telin fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi araştırılacaktır. Farklı çaplarda ve mukavemetlerdeki yüksek karbonlu çelik tellerde aynı koşullarda sadece hadde geometrisi değiştirilerek çelik tellerdeki fiziksel ve mekanik özellikler ölçülerek sonuçlar grafik ve tablolarla beraber incelenecektir. Fosfat kaplı yüksek karbonlu çelik tellerde çekim işleminde hadde geometrileri değiştirilerek çelik tellerden numuneler alınmış ve sertlik, mikro yapı, mukavemet, kaplama kalınlığı, makro incelemeler yapılarak elde edilen bulgular görüntüler ile birlikte sunulmuştur. Haddenin silindir boyu değişikliği yapıldığında fosfat kaplamayı ve sıcaklığı etkilediği için çekme testi, fosfat kaplama testi, mikro (vickers) sertlik testi, makro inceleme ve gözle kontrol yapılmıştır. Galvaniz kaplı tellerde ise yüzeyin yumuşak olmasından dolayı hadde geometrisindeki değişiklik galvaniz kaplamaya etki ettiğinden sadece kaplama kalınlığı ve yüzey kontrolü yapılmıştır. Tüm bulgular değerlendirilerek sonucunda optimum hadde geometrisi galvaniz kaplı teller ve fosfat kaplı teller için belirlenmiştir. Sonuç olarak fosfat kaplı tellerde optimum hadde geometrisi on iki derece giriş açıcı ve yüzde otuz silindir boyudur. Galvaniz kaplı çelik tellerde ise dokuz derece giriş açıcı ve yüzde otuz silindir boyu optimum hadde geometrisidir.

Anahtar Kelimeler: Çelik Tel, Hadde, Açı, Silindir Boyu, Mukavemet

EFFECT OF WIRE DRAWING ROLL ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF WIRE

SUMMARY

Plastic forming methods are widely used in the manufacturing industry. Wire drawing is also an important method among plastic forming methods. In this study, steel wire drawing rollers (matrix) which have a great importance in steel wire drawing process and which directly affect the steel wire will be studied. The effect of the change in the geometry of the steel wire drawing dies on the physical and mechanical properties of the steel wire will be investigated. In high carbon steel wires of different diameters and strengths, the physical and mechanical properties of steel wires shall be measured by changing the die geometry only under the same conditions and the results shall be examined together with graphs and tables. In the drawing process of phosphate coated high carbon steel wires, the die geometries were changed and samples were taken from the steel wires and the findings so obtained by making hardness, microstructure, strength, coating thickness and macro investigations were presented with the images. As the roller length of the roll was changed, tensile test, phosphate coating test, micro (vickers) hardness test, macro inspection and visual inspection were performed since it affects phosphate coating and temperature. In galvanized wires, because of the softness of the surface, only the thickness and surface control of the coating was carried out as the change in the die geometry affected the galvanized coating. All findings were evaluated and the optimum die geometry was determined for galvanized and phosphated wires. As a result, the optimum die geometry for phosphated coated wires is twelve degrees input opening and thirty percent cylinder length. In galvanized steel wires, it is a nine-degree input opening and thirty percent cylinder length with optimum die geometry.

Keywords: Steel Wire, Die, Angle, Cylinder Length, Resistance

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1 Filmaşın



Şekil 1.1 : Filmaşın örneği.

Sıcak haddeleme prosesi ile üretilen, dairesel geometriye sahip soğuk tel çekme için kullanılan kangal halindeki ambalajlanmış yarı mamüle filmaşın denir. Çelik yapı içerisinde; karbon oranı %1,8 'den düşük olan demir ve karbon alaşımı; mekanik ve ısı işlemleriyle çok çeşitli özellikler kazanabilir. İşte bu sertliği ve esnekliği yüksek olan çelikler, yorulmaya karşı dayanıklı olmasından lamalı yay yapımında, beton kırıcı gibi aşınma ve darbeye dayanıklı parçalarda, tarım makinelerinde disklerde ve frezelerde kullanılır.

Filmaşın, üretilen çelik tellerin hammaddesidir.

Kullanılan çap aralığı genelde 4,50 mm - 16,0 mm arasındadır.

% C oranlarına göre filmaşınlar aşağıdaki gibi sınıflandırılırlar.

- 0,43 – 0,48 45 C
- 0,48 – 0,52 50 C

- 0,53 – 0,57 55 C
- 0,57 – 0,62 60 C
- 0,63 – 0,67 65 C
- 0,68 – 0,72 70 C
- 0,73 – 0,77 75 C
- 0,78 – 0,81 80 C
- 0,82 – 0,84 82 C
- 0,85 – 0,87 85 C

1.2 Filmaşın Kangal Demir Kullanım Alanları

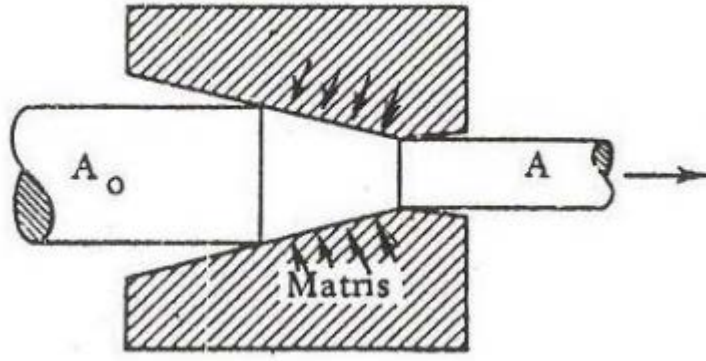
Fore kazık donatılarında, çiroz, pilye, gönye ve etriye gibi alanlarda kullanılır.

- Tel üretimi
- Çelik hasır imalatı
- Çivi ve beton teli
- Yüksek mukavemetli tel-yay-halat imalatı
- Cıvata-somun-vida imalatı
- Kaynak teli ve elektrot imalatı
- Ön gerilmeli beton teli imalatı

Tarım makinelerinin diskleri ve frezeleri, beton kırıcı gibi darbe ve aşınmaya dayanması gereken parçaların, ayrıca yorulmaya karşı dayanıklılığı nedeniyle lamalı yayların yapımında kullanılır.

1.3 Tel Çekme

Tel çekme, filmaşın ya da çapı yüksek ve mukavemeti düşük telin, tel çekme haddesinden blok yardımı ile çekilerek kesitini küçültme ve mukavemet kazandırma işlemidir. Tel çekme yönteminde teller blok yardımı ile hadde adı verilen kalıplardan çekilir ve tel kesiti daraltılarak tele dairesel bir geometri ve mukavemet kazandırılır. (Thomas Maxwell, 1989)



Şekil 1.2 : Tel çekmenin prensip şeması.

Tel çekme işleminde basma gerilmeleri telin hadde ile temas yüzeyinde ortaya çıkar ve plastik şekil verme sağlanır, Genellikle dairesel kesite sahip veya aksenal simetriye sahip olan ürünler çekme yöntemi ile elde edilir. Yüksek bir yüzey kalitesi ve boyutta hassasiyet için tel çekme yöntemi uygundur. Genelde dairesel kesitli ürünler kullanılır. Haddeleme ile tel çekmede nihai çapı 1,80-2,00 mm 'ye kadar filmaşinden tel elde etmek mümkündür. Bu çaplardan daha ince çapa sahip teller haddeleme ile üretimi istenilen hassasiyeti vermez. Sebebi ise, tellerin kesiti azaldığında soğumanın hızlı olması ve bunun yanında sıcaklıktan dolayı tel yüzeylerinde istenmeyen kav tabakaları oluşmasıdır. Ayrıca malzemenin mukavemeti büyük ölçüde düşeceğinden sıcak şekillendirme yöntemi ile ince kesitli tel çok kolay kopacaktır. Tüm bu nedenlerden dolayı ölçüde hassasiyet, yüzeyde kalite, istenilen mukavemet özelliklerine soğuk şekillendirme yöntemlerinden olan tel çekme prosesi ile ulaşılır. Tel çekme prosesi sıcak haddelenme ile üretilmiş filmaşinlerden (4,50 – 24,0 mm)başlamaktadır. (Thomas Maxwell, 1989)

Filmaşinler önce yüzey temizleme ünitesinde pastan arınır ve çinko fosfat kaplanarak matrise zarar vermez, pürüzsüz bir yüzey oluşur ve kayganlık sağlanır. Tel çekme işleminde ısı işlem uygulanmadığından soğuk şekillendirme ismi verilmektedir. Fakat, tel daha ince çaplara çekim işleminde, soğuk şekillendirmeye bağlı olarak telin mekanik özellikleri değişir, sıcaklık artar. Tel çekme prosesi için, tel çekme makinesi(kuru/sulu), çelik tel, tel çekme sabunu ve tel çekme haddesi gereklidir. Kullanılan tel çekme sabununun tipine göre; su ve solüsyon sabun kullanılırsa sulu çekme, kuru tip sabun tozu kullanılması halinde kuru tel çekme ismini alır.

1.4 Kuru Tel Çekme

Yüzeyi çinko fosfat kaplanan filmaşın forklift yoluyla veya vinç ile getirilip filmaşın verici sıpa denilen aparata takılır. Uç düzeltme aparatı ile kangal haldeki filmaşın düzeltilir. Kılavuz haddelerden yatay ve dikey haddelenerek 20 cm uzunluğundaki uç kısmın kesiti daralır. Ucu açılan filmaşın ilk matrizen geçirilir. Hadde kutularında sabun bölümü mevcuttur. Tel önce sabun kutusundan geçerek yüzeyi sabun kaplanır ve matrise girer. Çekme bloğuna çekirme çenesi takılır ve tel bloğa birkaç spin sarılır. Yeterince sarılan tel tekrar kılavuz haddede yatay ve dikey ezilip inceltilecek panten rulosundan geçirilerek bir diğer matrizen geçirilir. İstenilen mukavemete ve redüksiyon oranına göre bu işlem birkaç matrizen geçirilerek yapılır. Son matrizen geçen tel dresaj grubundan geçerek istenilen kangal ayarı verilir. Dresajı ayarlanan tel müşteri isteğine göre kangal şekilde veya bobinlere sarılır.



Şekil 1.3 : Uç açma ve haddeden geçirme.



Şekil 1.4 : Bloğa tel sarma.

1.5 Sulu Tel Çekme

Sulu tel çekme makineleri kuru kafa ve sulu çekim makinesi olmak üzere iki kısımdan oluşur. Kuru kafa kısmı tek blok ve ya iki blok kuru tel çekme prensibinde çalışır. Sulu tel çekimde filmaşinden çekim yapılamaz. Çünkü filmaşin sürekli haddelenerek tane boyutu iyice küçülür ve tane sınırlarından kırılmaya başlar böylece çekilemez hale gelir. Kuru çekim ile çekilmiş ve ısıtma işlemiyle tane boyutu büyütülüp mukavemeti düşürülmüş ince çaplı teller (1.30-3.00 mm gibi) Sulu çekimde hammadde olarak kullanılır. Sulu çekimde çekme işlemi sabunlu solüsyon içinde gerçekleşir. İşleme sabunlu su içinde gerçekleştiğinden sulu tel çekme denir. Sulu çekimde firmamızda 0,24 mm 'ye kadar modern teknoloji makinelerinde ise 0.10 mm 'ye kadar çok ince çaplarda tel çekilebilir.

Hammadde sepete yüklenilir. Kuru kafaya girişte hadde kutusunda ilk haddeden geçerek kuru kafa bloğuna sarılır. Hadde kutusunda kuru tel çekme sabunu ve haddesi bulunur. Daha sonra deve boynu kasnaktan sulu çekim makinesine tel yüklenir.

Sulu tel çekim makinesinde tek blok ve bu bloğa bağlı iki bloktan oluşur. Bu iki bloğa bağlı dört kasnak bulunur. İki kasnak arasında hadde bölümü bulunur. Bu kasnak sistemine tel yükleneceği zaman yan yatırılır ve solüsyon içinden havaya yükselir. Her kasnak arasında hadde mevcuttur. Giriş kasnağa tel dolanır ve ilk haddeden geçer sonra karşılıklı diğer kasnağa dolanır. 8 haddeden geçen tel çıkış bloğa dolanır ve buradan

bobine sarıma geçer. Yüklenen makine solüsyon içine daldırılır ve sabunlu su içinde çekme işlemi gerçekleşir.



Şekil 1.5 : Sulu çekim makinesine tel yükleme işlemi.

BÖLÜM 2. HADDE MALZEMELERİ VE İMAL YÖNTEMLERİ

Tel çekme işleminde belli bir mukavemeti ve sertliği olan çelik tel veya filmaşın, tel çekme haddelerinden geçirilmek suretiyle istenilen çapa düşürülüp mukavemet kazandırılmaktadır.

Hadde çekirdeğinden beklenen fiziksel ve mekanik özellikler aşağıdaki gibidir.

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

Hadde çekirdeklerinin üretiminde kullanılan malzemeler aşağıdaki gibidir.

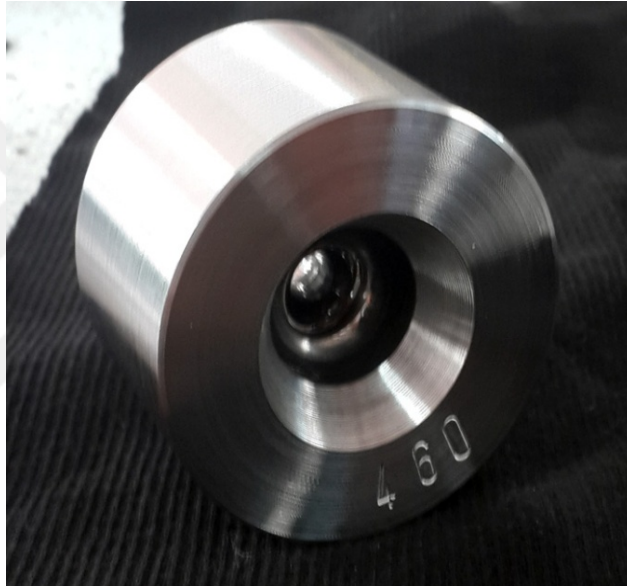
- Sinterlenmiş karbürler
- Doğal elmaslar,
- Sentetik (PCD) elmaslar.

Hadde imalatında genelde tungsten karbür malzeme kullanılır ve bağlayıcı görevini gören eleman olarak belirli bir oranda kobalt tozu kullanılır. Hadde çekirdeğinin üretimi, tungsten karbür ve kobalt malzemelerini toz haldeyken belirli bir oranlarda karıştırılarak ve vakum altında yüksek sıcaklıklarda sinterleme işlemi ile gerçekleşir. (Koner, 1992; Özer, 1993).

Sinterleme işleminde karbürlerin sınıflandırılması mikro yapıları ile yapılır ve sınıflandırma faktörleri aşağıda verilen etkenlere göre değişim göstermektedir;

- Karbür alaşım elementlerinin bileşimlerine,
- Tane boyutu ve toz yapısına,
- Karbür oranına ve alaşım element oranına,
- Karbon oranına bağlı olarak değişim gösterir. (Koner, 1992).

Sertleştirilmiş çeliklerden bile daha yüksek sertliğe, yoğunluğa ve basma mukavemetine sahip olan tungsten karbür hadde imalatı için uygun bir malzemedir ve Şekil 2.1’ de tungsten karbür çekme haddeleri görülmektedir. Haddelerde çeliğin yarısına sahip genişleme katsayısı vardır. Bu nedenle tel çekme işlemi sırasında ulaşılan yüksek sıcaklıklarda haddeyi deforme olmaktan kurtarmaktadır. Tungsten karbür haddenin cüruf tozu gibi yabancı maddelerin aşındırmasına karşı dayanımı oldukça yüksektir ve bazı denemelerde çeliklerin elli katına çıktığı gözlenmiştir. Tungsten karbür yüzeyinin çok yüksek bir hassasiyette işlenebilmesi ayrıca avantajdır. Bu özelliklerden dolayı da hadde ömrü uzamaktadır ve telin çizilme riski de azalmaktadır (Koner, 1992).



Şekil 2.1 : Çekme matrisleri (Agir, 2006).

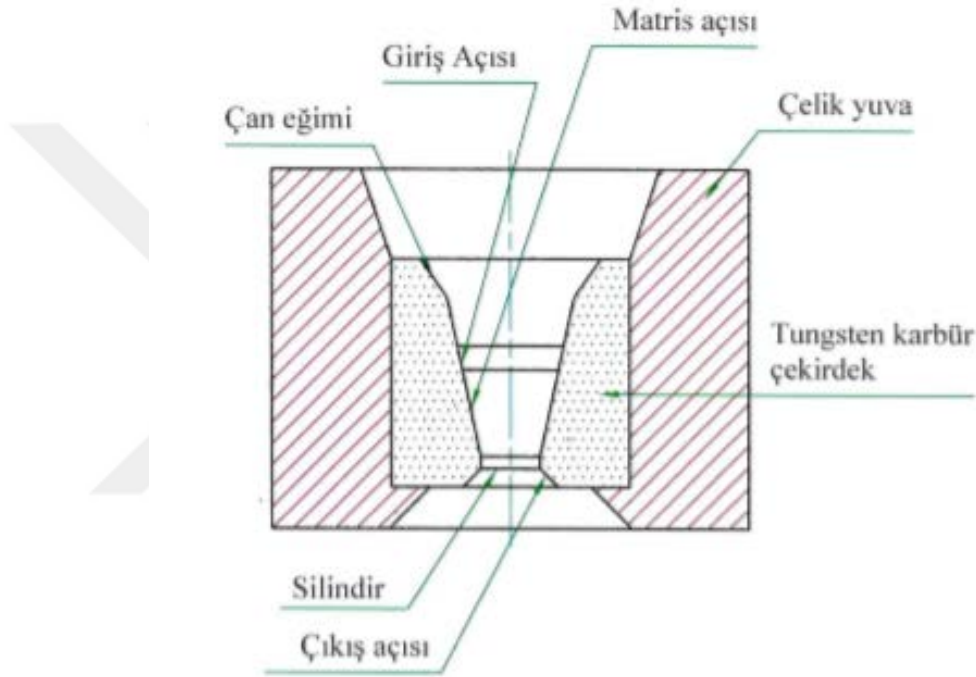
Hadde imalatının ilk aşamasında, wolfram karbür ve kobalt toz haldeyken belirli oranlarda karıştırılır. Bu oranlar değiştirilirse, farklı özelliklerde malzemeler üretilebilir. (Balin, 2004).

Daha sonrasında karışım istenilen şekli alacak biçimde sıkıştırılır ve tebeşir kıvamına gelene kadar ısıtılmaktadır. Tungsten karbür tebeşir kıvamındaki halde istenen ölçülere işlenebilir. Son işlem ise, çekirdeklerin 1350-1500 °C sıcaklıklarda vakumla (veya hidrofın atmosferinde) sinterleme işlemi yapılır. Sinterleme işlemi sırasında ölçüsel olarak % 15 – 20 civarında çekirdeklerde bir çekme olur ve oldukça sert, sıkı ve homojen şekilde bir malzeme haline gelmektedir. Sinterleme işleminden sonra taşlama

işlemi ile veya parlatma işlemi ile oldukça pürüzsüz ve hassas toleranslı yüzey elde edilebilir.(Koner, 1992).

2.1 Hadde Profiline Kısımları ve Görevleri

Bir hadde hepsinin görevleri farklı olan beş bölümden oluşur. Bu bölümler Şekil 2.2' de gösterilmiştir ve telin haddeye girişinden çıkışına ilerleyişindeki haddenin görevleri sırası ile aşağıda verilmiştir.(Balın, 2004).



Şekil 2.2 : Hadde dizaynı (Balın, 2004).

1 – Çan eğimi: Giren teli haddeye doğrusal olarak girmemesi durumunda telin doğrusal yönlendirilmesini sağlar. Tel, hadde açısı kısmında merkezlenmeden önce, bu yüzey ile sadece anlık temasta bulunur. (Özer ve Yurci, 1997).

2 – Giriş açısı: Kuru veya sulu tel sabunun akışının hadde açısına doğru yönlendirilmesinde görev alır. Tel haddeye girdiğinde giriş açısı ile temas etmeden hadde açısına gitmelidir, bu duruma telin direkt kangaldan beslenmesi hariçtir. Genelde 60° - 90° arasında giriş açısı kullanılır. Dar ölçekli çekirdekler için toplam uzunluğun $1/3'$ ünden, geniş ölçekli çekirdekler için uzunluk toplam uzunluğun $1/6'$ sına kadar değişebilmektedir. Hadde giriş kısmında telin hasarlanmaması için keskin kenar veya

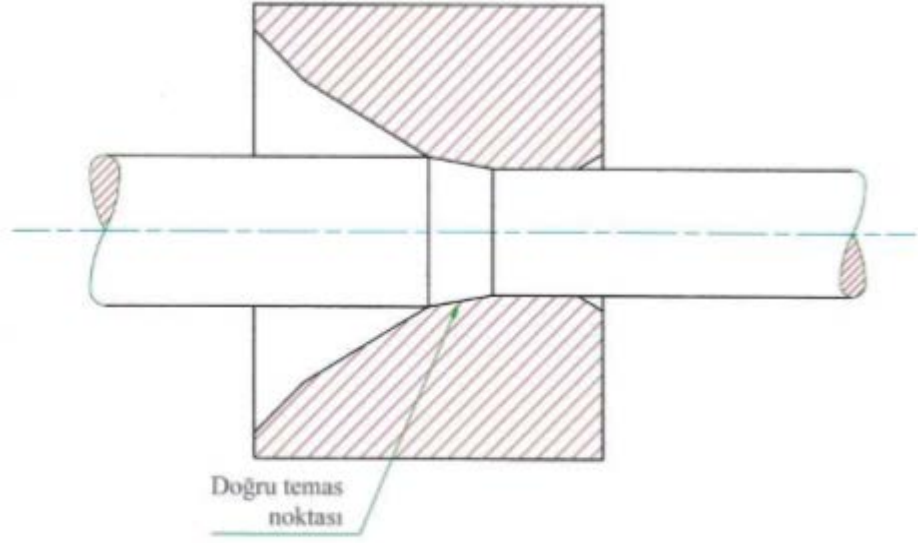
köşe bulunmamalıdır. Haddenin giriş açısı kısmı genellikle büyük bir itina ile parlatılsa da bunun uygulamada bir faydası olmaz. (Çapan, 1989; Koner, 1992).

3 – Hadde açısı: Haddenin en önemli kısmıdır. Hadde açısı, çekilen telin cinsi ve % kesit daralması olmak üzere iki temel faktöre göre seçilir. Tel çekme sabununun sıkıştırılarak telin yüzeyine sıvanması ve çekilecek telin nihai çapını düşürme işlemi hadde açısında gerçekleşir. Hadde açısının geometrisinin doğruluğu ve yüzey kalitesi hadde verimini belirleyen en önemli faktörlerdendir. (Koner, 1992).

Hadde açısının doğru seçimi, çekilecek malzemenin çekme dayanımına ve haddeye düşen paso miktarına bağlıdır. Her tel çekme işlemini telin nihai kullanımına göre farklı özellik gösterir. Örneğin 16° hadde açısını düşük karbonlu telde standart açı olarak tüm dünya kabul eder. Bazı ürünlerde sabun filminin az olması yani yüzeyin parlak olması istenir, örneğin kaplamaya tabi tutulacak malzemelerde yüzey parlak istenir. Yayıklık tel, halat teli, çivi teli, vida veya cıvata yapımında kullanılacak telde ise kalın bir sabun tabakası kalması arzu edilmektedir.

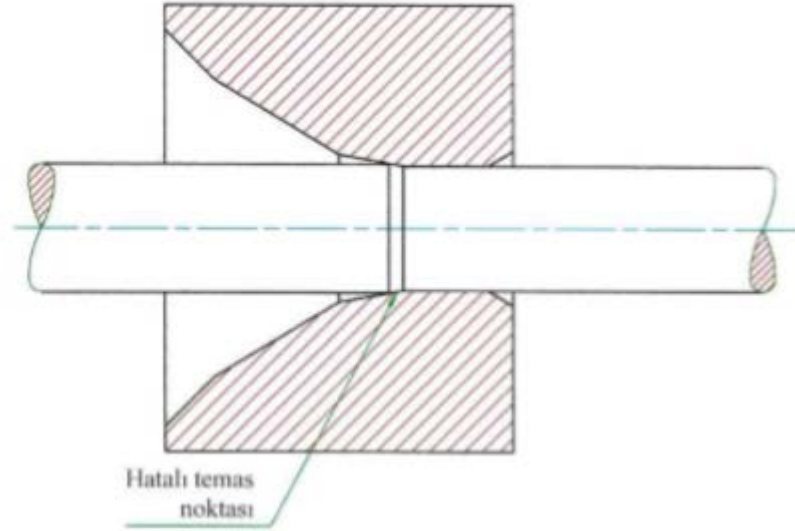
Yukarıdaki örneklerde tüm durumlarda aynı kangal demir kullanılsa dahi, her biri için açıları farklı haddeler gerekmektedir. Hadde açısının doğru seçimi tel çekmede verimin yükselmesini ve hadde ömrünün artmasını sağlar. (Özer ve Yurci, 1997).

Hadde açısının seçiminde en önemli etkenlerden birisi de “Temas Noktası”dır. Haddede verilen pasoya bağlı olarak, tel hadde açısı kısmının ortasında hadde cidarıyla temas etmelidir. Böylece; yeterli sabun akışı için gerekli basıncın oluşmasına ve telin mümkün olduğunca geniş bir yüzey üzerinde deforme edilmesi sağlanır. Şekil 2.3 'de gösterilen temas noktası doğru seçilmiş bir hadde açısının sonucudur.



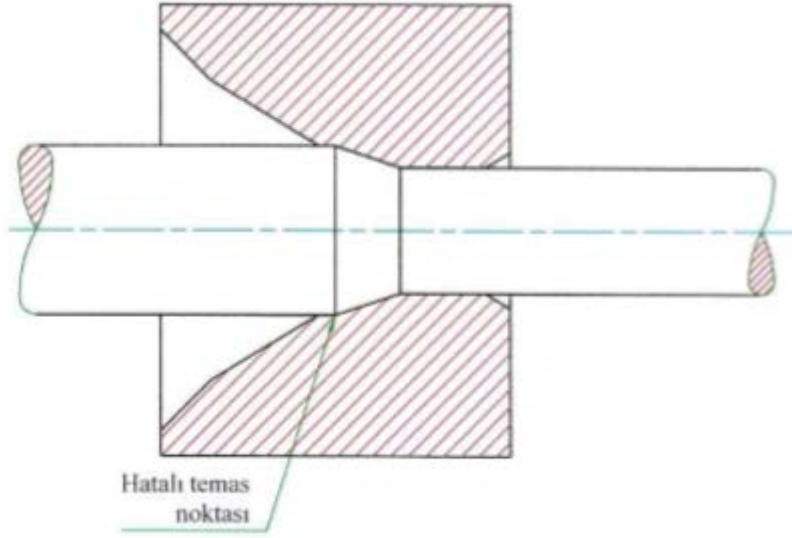
Şekil 2.3 : Doğru temas noktası (Özer ve Yurci, 1997).

Şekil 2.4 'de matris açısı hafif bir paso için çok fazla seçilmiştir ve böylece telin deforme edilmesi çok kısa bir yüzey üzerinde gerçekleşmektedir. Bunun sonucu olarak hadde çapı kısa sürede büyür ve hadde çapı ovalleşebilir.



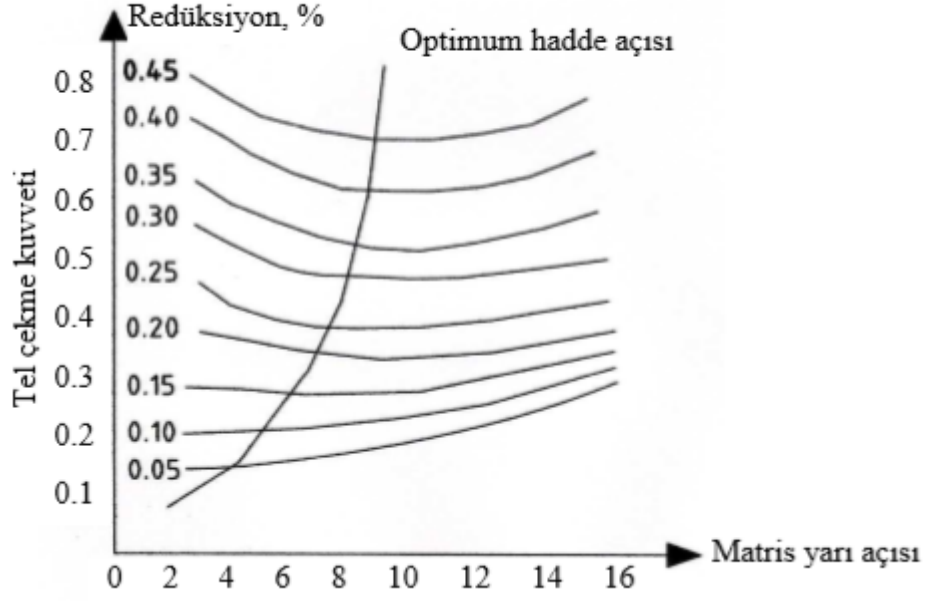
Şekil 2.4 : Hatalı temas noktası (Özer ve Yurci, 1997).

Şekil 2.5 ise büyükçe bir paso için küçük seçilmiş bir hadde açısını göstermektedir. Burada tel, hadde cidarına çok erken temas etmekte ve sabun akışı için yeterli basıncın oluşmasına müsaade etmemektedir. Bunun sonucu da yine hadde ömrünün kısılmasıdır.



Şekil 2.5 : Hatalı temas noktası (Özer ve Yurci, 1997).

Hadde açısı ile tel çekme için gereken kuvvet arasında yakın bir ilişki vardır. Şekil 2.6 'da düşey ekseninde tel çekme kuvveti, yatay ekseninde ise hadde yarı açısı verilmiştir. Paso değerleri ise eğriler halinde sunulmuştur. Görüldüğü gibi, herhangi bir paso için gerekli kuvveti en aza indiren optimum bir hadde açısı vardır. Bu hadde açısının altında veya üstündeki değerlerde, gerekli kuvvet büyümektedir. Örneğin %35' lik bir pasoda en az kuvvet gerektiren hadde yarı açısı değeri sekizdir ve yaklaşık olarak 0.54 birimdir. Fakat aynı pasoda 4° veya 14° lik yarı açı kullanıldığında gerekli kuvvet 0.6 birime yükselmektedir ki bu da motorun daha çok zorlanması ve elektrik sarfiyatının artması ile telin yapısının değişmesi demektir.

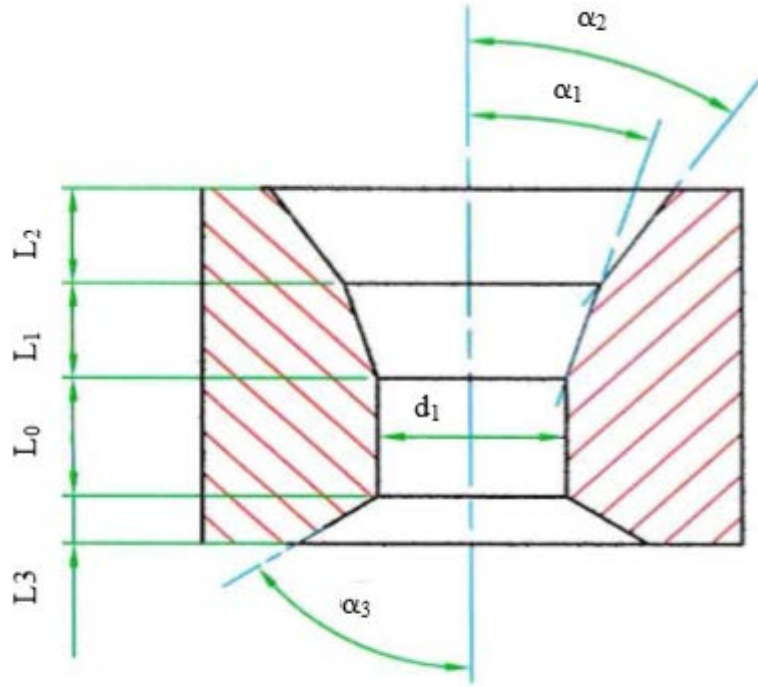


Şekil 2.6 : Tel çekme kuvveti ve matris açısı değerleri (Dove vd., 1980).

4 – Kavrama (Silindir boyu): Çekilmiş telin çapını sağlar ve muhafaza eder. Yani telin daireselliğinin, doğruluğunun, yüzey kalitesinin ve sabun filminin eriyerek yüzeye sıvanmasının sağlanmasıdır. Silindir boyu yüzeyinin çok hassas işlenmesi lazımdır. Haddenin normalden daha hızlı aşınarak çapının artmasını engellemek için, silindir boyunun uzunluğu genellikle hadde çapının %35' i ile %150' si arasında tutulur.(Koner, 1992).

5 – Çıkış açısı: Bu kısım konik şekildedir. İşlevi haddenin çıkış tarafını güçlendirmek, fazla sabundan arınmak, çekirdekte oluşan ısının dağılmasını sağlamak ve çekirdeğin kırılmasını engellemektir. Ayrıca teli deformasyona uğratan bölümdür ve hadde çekirdeğinin tamamı ile ortak merkezde kalmasına yardım eder. (Dove vd., 1980).

Piyasada kullanılan hadde çekirdeği ve açıları Şekil2.7'de verilmektedir.(Balin, 2004).



d_1 : Tel çıkış çapı

α_1 : $7^\circ - 8^\circ$

α_2 : $15^\circ - 16^\circ$

α_3 : 30°

L_0 : $0.60 d_1$

L_1 : $0.80 d_1$

$L_2 \geq d_1$

$L_3 \geq 0.5 d_1$

Şekil 2.7: Piyasada kullanılan matris çekirdeği açıları ve boyları (Balın, 2004).

BÖLÜM 3. HADDE İŞLEME METODU

Tel çekmede kullanılan haddeler, çalışıkça çapı büyür, silindir boyu uzar ve buna bağı olarak kullanılamaz hale gelir. Hadde işleme işlemi ile haddeler üst çaplara işlenerek tekrar kullanılabilir hale getirilir. Hadde işleme metodu aşağıdaki gibidir.

- Buluşma noktası seçimi,
- Haddeye açı vererek silindir boyu kısmını yok etme,
- Kademeli olarak silindir boyu açma,
- Parlatma ve temizlik.

3.1 Buluşma Noktası Seçimi

Buluşma noktası seçimi hadde geometrisinde en önemli parametrelerden biridir. Çünkü buluşma noktası haddenin silindir boyunu belirler ve silindir boyu da tel ve hadde ömrüne direkt etkilidir.

Buluşma noktası seçimi aşağıdaki parametreler dikkate alınarak seçilir.

- Çekilecek olan telin kaplaması, (fosfatlı, galvaniz),
- Çekilecek telin karbonu (Düşük karbon, yüksek karbon)
- Redüksiyon,
- Hadde açısı.

Tablo 3.1 : Temas noktası seçimi (Thomas Maxwell, 1989)

HADDE GİRİŞ AÇISINA-SİLİNDİR BOYUNA GÖRE BULUŞMA NOKTASI KATSAYILARI					
GİRİŞ AÇISI	SİLİNDİR BOYU				
	25%	35%	40%	50%	66%
8	0,97	0,95	0,95	0,93	0,91
10	0,96	0,94	0,94	0,92	0,88
12	0,95	0,93	0,93	0,9	0,87
14	0,95	0,92	0,92	0,89	0,85

3.2 Açı Verme İşlemi

Açı verme işlemi açı verme ucu bileme ve açı verme ucuna karbür sürerek açı vermeyi gerçekleştirme olarak iki aşamada gerçekleşir

3.2.1 Açı Verme Ucu Bileme

Açı verme makinesine uyumlu çaptaki doğrusal ve ovalitesiz teli bileme makinesi ile işlenecek açıya getirme işlemidir. Aşağıdaki Şekil 3.1 'de açı verme ucu bileme makinesi ve Şekil 3.2 'de açı verme ucu görülmektedir.



Şekil 3.1 : Uç bileme makinesi.



Şekil 3.2 : Açı verme ucu.

3.2.2 Pötez Makinesinde Haddeye Açı Verme

Uç bileme makinesinde hazırlanan uç pötez makinesine bağlanır. Silindir boyu ve açı dikkate alınarak temas noktasına uygun çapta hadde seçilir. Örneğin 1,60 mm haddenin silindir boyu %40 isteniyorsa temas noktası 1,52 mm olmalıdır. Yani 1,60 mm hadde alınıp açı verildiğinde çap 1,52 mm olmalıdır. Tablo 3.13 'de açı ve silindire göre temas noktası seçim katsayısı verilmiştir.

Hadde ve açı verme ucu bağlandıktan sonra aşındırma işleminin verimli olması için açı verme ucuna gres yağı ile karıştırılmış karbür sürülür ve böylece ucun zarara uğraması ve formunun bozulmaması sağlanır. Aşınmanın homojen ve verimli olması için açı verme ucu ile hadde ters yönde dönmelidir. Açı verme işleminde açı verme ucunun bağlı olduğu mandren eksantrik döner böylece sürekli vurma etkisi yaparak aşındırma sağlar. Hadde açı verme ucunun hadde çıkışına gelen mesafesine kadar getirilip makine çalıştırılır. Daha önceden kalan silindir kısmı bitene kadar yani haddenin girişinden çıkışına her yüzeyi işlenene kadar açı verme işlemi devam eder. Şekil 3.3. 'de açı verme makinesi (pötez) görülmektedir.

Şekil 3.3 : Açı verme (pötez) makinesi.

3.2.3 Kademeli Olarak Silindir Boyu Açma

Açı işlemleri biten hadde aynaya bağlanır ve master telleri yardımı ile 50-100 mikron arası kademeli olarak artacak şekilde karbür solüsyonu kullanılarak silindir boyu oluşturulur. Parlatma işlemi için yaklaşık 50 mikron kadar eksi çap toleransında silindir boyu bırakılır. Şekil 3.4 'de silindir boyu işleme işlemi gösterilmektedir.



Şekil 3.4 : Hadde silindir boyu verme işlemi.

3.2.4 Parlatma ve Temizlik

Silin boyu istenilen nihai çaptan yaklaşık 50 mikron aşağıda olarak parlatma işlemine bırakılan hadde, yumuşak ucu bilenmiş tahtaya elmas macunu sürülerek hadde işleme aynasında nihai çapa getirilene kadar parlatılır. Haddeden tel çektilerle çapı ölçülür ve uygun çap sağlandığında pamuk yardımı ile ve hava yardımı ile kalan kirlilik temizlenip hadde imalata hazır hale getirilir. Şekil 3.5 'de tüm işlemlerden geçmiş imalata hazır hadde görülmektedir.



Şekil 3.5 : Parlatılmış ve temizlenmiş imalata hazır hadde.

BÖLÜM 4. TEL ÇEKMEDE HADDE KAYNAKLI YAŞANAN SORUNLAR

4.1 Fosfat Kaplamanın Sıyırılması

Tel çekme işleminde fosfat kaplama filmaşinlere daldırma yöntemi ile kaplanır. Fosfat kaplama çekim öncesi filmaşinde ve çekim sonrası telde korozyona karşı direnç sağlar. Ayrıca tel çekme işleminde sabunun taşınarak haddede yüzeye bir film oluşturmasını sağlar ve çekimi kolaylaştırır, hadde ömrünü uzatır. Haddede çekim esnasında fosfat kaplama ve tel çekme sabunu sayesinde metal-metal kontaklı kesilir ve aşınma minimuma iner. Böylece hadde ömrü uzar, tel çekme verimliliği artar ve tel kalitesi yükselir. Haddenin geometrisinin bozukluğundan dolayı fosfat kaplamanın sıyırılması durumunda metal-metal kontaklı başlar ve hadde aşırı ısınmaya başlar. Haddenin aşırı ısınması nedeni ile soğutma yetersiz kalır ve tel çekme sabununun yanma derecesi olan 300-400 derece kadar sıcaklıklara ulaşılır. Bu sıcaklık sabun filmini yakar ve fosfat kaplamanın da sıyırılması ile yüzeyde aşırı ısınmadan dolayı sert bir yapı oluşur. Bu yapı telde kopuklara da sebep olur. Parlak olarak çekilen tel ısıtma işlemde ısının alınmamasını yani yansıtılmasını ve ısıtma işlemin uygun gerçekleşmemesini sağlar. Ayrıca fosfat kaplamanın olmaması çekim sonrası telde paslanmaya sebep olur.

Hadde kaynaklı parlayan tel örneği Şekil 4.1 'de verilmiştir.



Şekil 4.1 : Hadde kaynaklı fosfat kaplaması soyulan tel örneği.



Şekil 4.2 : Geometrisi bozuk hadde örneği. (Silindiri aşırı uzun, açısı çok geniş).

4.2 apta Ovalite

Tel ekme işlemine hadde çaplarındaki ovalite tel çapının belirli açılarda ölçülmesi sonucu farklı çaplarda gelmesine denir. Örneğın 1,80 mm haddeden çıkan tel çapı 1,80 mm ve belirli açılarda ölçüldüğünde yine 1,80 mm yerine 1,78-1.82 mm gibi değerlerde geliyorsa buna ovalite denilir.

Telin çapının oval olmaması yüzeyindeki fosfat veya galvaniz kaplamanın fazla gelen çapta fazla sıyrılmasına ve çapının değişik olmasına sebep olur. Halat tellerinde örümde ve kullanımında, yaylık ve fırça tellerinde ise form vermede problem oluşturur.

Tel çapının oval olması haddenin silindir kısmından kaynaklanır, silindir kısmı çok kısa olur ise hadde ovalleşir. Bunu engellemek için buluşma noktasına riayet edilmelidir.

4.3 Tel Çekmede Kopuk

Hadde geometrisinin uygun olmaması durumunda makine hızları normal seviyelerde iken telde aşırı ısınma, fosfat kaplamanın soyulması, aşırı yüklenme, sabun almama gibi nedenlerden dolayı tel kopukları yaşanmaktadır. Kırılgan tel sadece üretim verimliliğini etkilemeyip tel kalitesinin, mukavemetinin ve torsiyon kopma yüzeyinin uygun olmamasına da neden olmaktadır. Hadde kaynaklı kopuklarda genelde tel uzayarak ve fosfatı sıyrılarak kopar. Şekil 4.3 'de hadde kaynaklı tel çekme işleminde kopmanın makro görüntüsü her iki uç içinde görülmektedir.



Şekil 4.3 : 2,20 mm fosfat kaplı SM kalite telde hadde kaynaklı hasarlı ve sünek kopma yüzeyi.

4.4 Galvanizli Tellerde inko Sıyırması

Galvaniz kaplı elik tellerde hadde açısının fazla olması silindirin uzun olması gibi geometri hatalarından dolayı çinko kaplamanın fosfat kaplamaya göre daha yumuşak olmasından dolayı hadde girişinde çinko çapakları birikir. Bu çapaklar haddenin sabun almasını engeller, hadde girişinde teli çizer ve haddenin bozulmasına, telin çizilmesine ve çekme işleminde kopuğa neden olur. Galvanizli tel çekiminde optimum hadde açısı literatürde dokuz derece olarak verilmektedir. Ayrıca fazla sıyırma çıkışta kaplama miktarının düşmesine ve standart dışı kaplamalı ürün üretimine sebebiyet verir. Şekil 4.4 'de hatalı hadde geometrisi sonucu galvaniz kaplı yüksek karbon tellerde çinko sıyırması rneği gözükmektedir.





Şekil 4.4 : Hatalı hadde geometrisi kaynaklı yüksek karbon tellerde çinko sıyırılması.

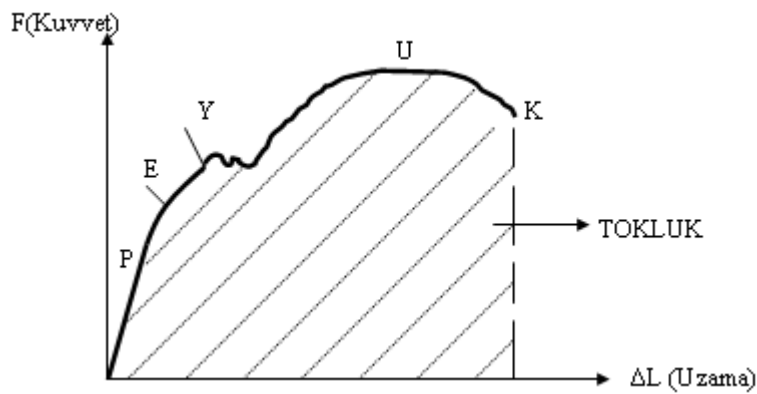
BÖLÜM 5. TEL ÇEKMEDE YAPILAN TESTLER

5.1 Çekme Testi

Mühendislik malzemeleri rijit değildir. Belirli kuvvet altında deforme olurlar, şekil ve boyut değişiklikleri gösterirler. Malzeme özelliklerini anlamak için mekanik testler yapılır. Bunlardan en önemlisi ve en çok kullanılanı çekme deneyidir.

Çekme deneyinin amacı; malzemelerin statik yük altındaki plastik ve elastik davranışlarını belirlemektir. Bunun için boyutları belirtilen standartlara uygun dikdörtgen veya dairesel kesitli deney parçası; çekme cihazına bağlanarak, aksenal ve değişken kuvvetler uygulanır.

Çekme cihazı esas olarak; birbirine göre aşağı ve yukarı hareket edebilen, deney parçasının bağlandığı iki çene ve bunlara kuvvet veya hareket veren, kuvvet ve hareketi ölçen bölümlerden oluşur. Çekme çenelerinden birisi sabit hızda hareket ettirilerek deney parçasına değişken miktarlarda çekme kuvveti uygulanır ve bu kuvvete karşılık gelen uzama kayıt altına alınır.



Şekil 5.1 : Kuvvet Uzama Diyagramı.

Düşük kuvvet seviyelerinde uzama ile kuvvet birimi doğru orantılıdır. Malzeme elastik özellik gösterir; yani kuvvet kaldırılırsa uzama sıfırlanır. Bu özellik P noktasına kadar

devam eder. Orantı limiti P den sonra lineer fonksiyon eğimini değiştirir. Ancak elastik davranış halen devam eder. Elastik davranış E “Elastik Limiti” noktasında sona erer. Elastik limitinden sonra plastik deformasyonlar başlar. Kuvvet azaltıldığında lineer fonksiyona paralel bir yol izler. Ancak kuvvetin sıfır olduğu yerde deformasyon artık sıfır olmaz, belirli bir plastik deformasyon kalır.

Malzeme yüklenmeye devam edilirse Y noktasında akma olur. Akma noktasında kuvvet aynı iken büyük miktarda plastik deformasyon oluşur. Akma yapan malzeme çalışma sertleşmesine maruz kalır ve daha mukavemetli hale gelir.

Malzeme üzerindeki kuvvet daha da arttırılarak U noktasına ulaşılır. U noktası “maksimum gerilme” noktasıdır, burada malzeme kesitinde bölgesel daralmalar başlar. Buna malzemenin “ boyun vermesi ” adı verilir. Boyun verme de malzemenin çalışma sertleşmesine uğramasına neden olur ve malzeme daha fazla gerilimler alabilir; ancak boyun bölgesinde kesit alanı daraldığından taşıdığı net kuvvet azalır. Numune genellikle kontrolsüz bir şekilde K noktasına ilerler ve orada kopar.

Kuvvet-uzama eğrisinin altında kalan alan o numuneyi bozunuma uğratmak için gereken enerjiye tokluk denir. Daha sonra kuvvet-uzama eğrisi yeniden ölçeklendirilir. Uzamalar malzemenin ilk boyuna bölünerek “birim-uzama” ‘ya çevrilir. Aynı şekilde kuvvet numunenin ilk kesit alanına bölünerek “gerilim” hesaplanır ve dikey eksen tekrar ölçeklendirilir. Malzeme kopana kadar önemli miktarda deformasyona uğradıysa “sünek” , az deforme olmuşsa “gevrek” yapı demektir.

5.1.1.1 Tanımlamalar Ve Teorik Bilgi

Gerilme (σ): Birim alana etkiyen yüküdür. Aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (5.1)$$

Birim Şekil Değiştirme (ε): Malzemeye kuvvet uygulandığında oluşan boy değişiminin kuvvet uygulanmadan önceki ilk boya oranıdır.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (5.2)$$

Elastisite Modülü (E): Malzemenin rijitliğinin ölçüsüdür. Birim uzama ile normal gerilme arasındaki doğrusal ilişkinin bir sonucu olup birim uzama başına gerilme olarak tanımlanır. Birim uzama ile normal gerilme (çekme ya da basma gerilmesi) arasındaki doğrusal ilişki şöyle tanımlanabilir.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (5.3)$$

Malzemeye kuvvet uygulandığında, malzemede meydana gelen uzamalar elastik sınırlar içinde gerilmelerle orantılıdır. Buna “*Hooke Kanunu*” adı verilmektedir. Elastisite modülü malzemeye ait karakteristik bir özelliktir.

Akma dayanımı (σ_a):Malzemeye uygulanan çekme kuvvetinin yaklaşık olarak sabit kalmasına karşın, plastik şekil değiştirmenin önemli ölçüde arttığı ve çekme diyagramının düzgünlük gösterdiği kısma karşı gelen gerilme değeridir.

$$\sigma_a = \frac{P_a}{A_0} \quad (5.4)$$

Çekme dayanımı (σ_ξ): Bir malzemenin kopana kadar dayanabileceği maksimum çekme gerilmesi olarak tanımlanır. Bu gerilme, çekme diyagramındaki en yüksek gerilme değeridir ve aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$\sigma_\xi = \frac{P_{\max}}{A_0} \quad (5.5)$$

Kopma Gerilmesi(σ_K): Numunenin koptuğundaki gerilme değeridir.

$$\sigma_K = \frac{P_K}{A_0} \quad (5.6)$$

Yüzde Kopma uzaması (KU): Çekme numunesinin boyunda meydana gelen en yüksek yüzde plastik uzama oranı olarak tanımlanır. Çekme deneyine tabi tutulan numunenin kopan kısımlarının bir araya getirilmesi ile son boy ölçülür ve boyda meydana gelen uzama $\Delta L = L_k - L_0$ bağıntısı ile bulunur. Burada L_0 numunenin ilk ölçü uzunluğunu, L_k ise numunenin kırılma anındaki boyunu gösterir. Kopma uzaması ise;

$$KU(\%) = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100 \quad (5.7)$$

bağıntısı yardımıyla belirlenir. Bu değer malzemenin sünekliğini gösterir.

Yüzde Kesit Daralması (KD): Çekme numunesinin kesit alanında oluşan en yüksek yüzde daralma oranına denir;

$$KD(\%) = \frac{A_0 - A_K}{A_0} \times 100 \quad (5.8)$$

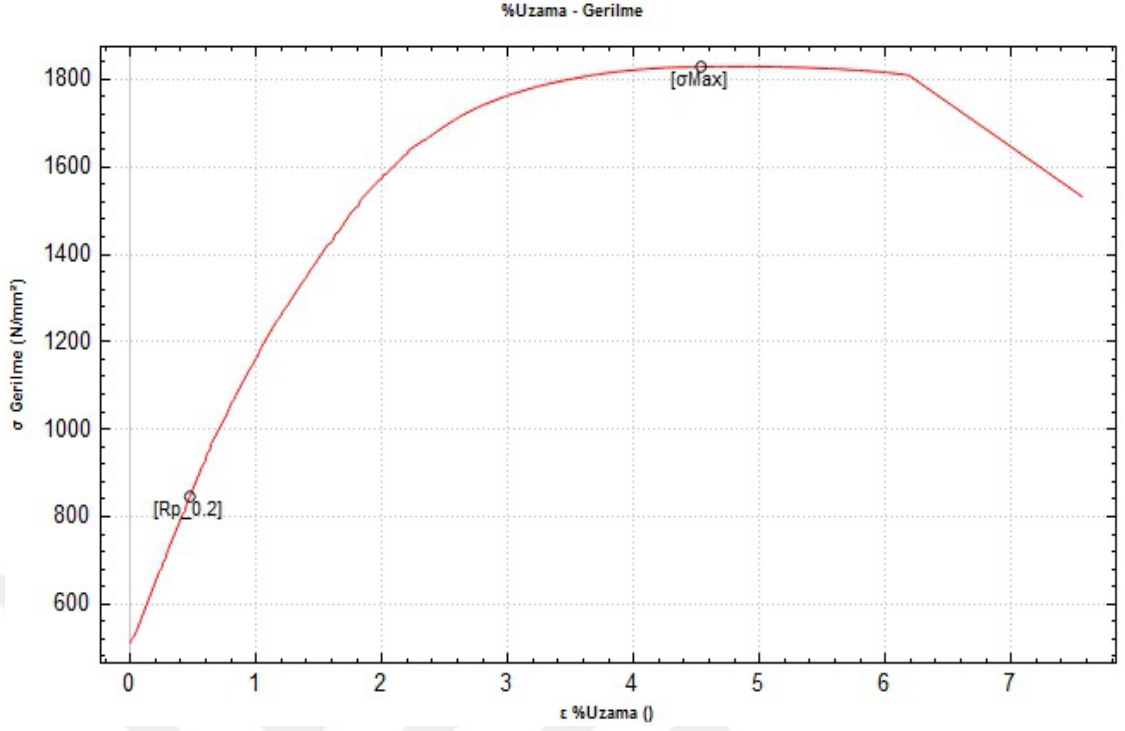
bağıntısı ile hesaplanır. Burada A_0 deney numunesinin ilk kesit alanını, A_K ise kırılma anındaki kesit alanını veya kırılma yüzeyinin alanını gösterir. A_K 'nın hesaplanması için hacmin sabit kalacağı ifadesi kullanılır.

$$V_0 = V_K \Rightarrow A_0 L_0 = A_K L_K \Rightarrow A_K = A_0 \frac{L_0}{L_K} \quad (5.9)$$

Kesit daralması, sünekliğin bir göstergesidir. Sünek malzemelerde belirgin bir büzülme meydana gelirken, gevrek malzemeler büzülme göstermezler. Şekil 5.2 'de gevrek ve sünek malzemelerin kırılma davranışları şematik olarak gösterilmiştir.

Tablo 5.1 : Çekme numune bilgileri.

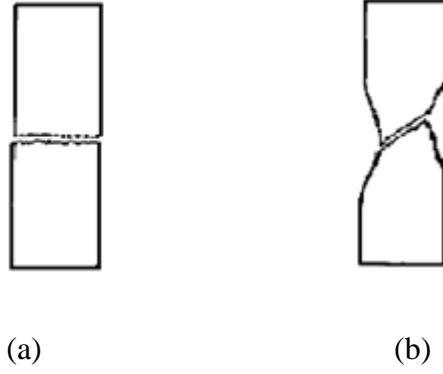
Müşteri		Tarih	: 11/04/17
Standart	Extansometresiz çekme	Malzeme	
Dosya no	D_1104_044935	Numune cinsi	
Seri No		Kesit alanı	: 4.485mm ²
İş emri		Çap	: 2.390mm
Döküm No		A Kesiti	: mm
Kaynak mukavemeti		B Kesiti	: mm



Şekil 5.1 : Çekme deney grafiği.

Tablo 5.2 : Çekme deney sonuçları.

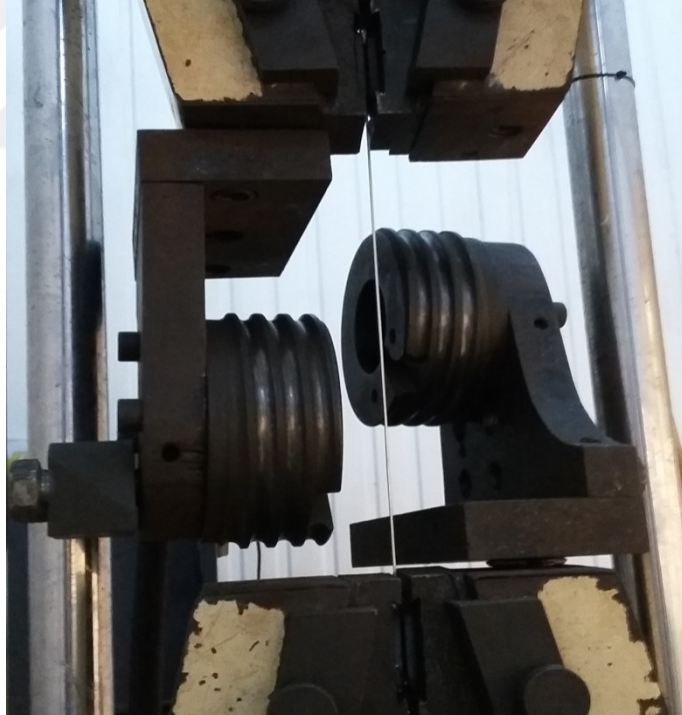
Fm	8.205 kN	Rmin	0.000
Rm	1829.3 N/mm^2	Rmax	0.000
L0 Boyu	250.00 mm	Ravg	0.000
L1 Boyu	267.726 mm	E modul	1526.25
Uzama %	% 7.1	Deney hızı	20 mm/dk
Rp02	890.9 N/mm^2		



Şekil 5.2 : (a) Gevrek malzemenin kırılma şekli, (b) sünek malzemenin kırılma şekli.

5.1.2 Tel Çekme Deneyi İşlemi

Tel çekme işleminde çapın 100 katı olacak şekilde tel numunesi kesilir. Düzeltme işlemi yapılır ve tel çenelere sıkıştırılır. İlk boy makineye girilir ve çekme işlemi tel kopana kadar devam eder.



Şekil 5.3 : Tel çekme testi.

5.2 Fosfat Kaplama Kalınlığı Tayini

Numune alanı m² olarak hesaplanır. Numune tartılarak ilk tartım kaydedilir. Beherde %5 lik CrO₃ çözeltisi hazırlanarak 70-80 °C ye ısıtılır. Numune sıcak çözeltide 15 dakika bekletilir. Numune yıkanıp kurutulduktan sonra ikinci tartım alınır. Fosfat kaplama kalınlığı hesaplaması denklem 5.10 'da gösterilen formül ile bulunur.

$$\text{İlk Tartım} - \text{Son Tartım} / \text{Alan (m}^2\text{)} = \text{Kaplama Ağırlığı (gr/m}^2\text{)} \quad (5.11)$$

5.3 Çinko Kaplama Testi

Çinko kaplama deneyi; tel yüzeyindeki çinko kaplamanın hidroklorik asit (HCl) çözeltisinde çözülerek birim kaplama miktarını bulmayı amaçlamaktadır.

Çözünen çinkonun ağırlığı iki yöntem ile bulunur.

- a) Kaplamanın çözünmesinden önce ve sonra numunenin ağırlığındaki farkı tayin etmek suretiyle (Gravimetrik Metot) veya
- b) Kaplamanın çözünmesi sırasında açığa çıkan hidrojen gazının hacmini ölçmek suretiyle bulunur.(Volümetrik Metot)

Gravimetrik metotta kaplama çözüldükten sonra yüzeyine kaplanan çinkonun ağırlığı hesaplanır. Volümetrik metotta 1 gr çinkonun hidroklorik asit çözeltisi ile reaksiyona girdiğinde standart şartlarda 0,343 litre hidrojen gazı çıkarması esas alınır.

Volümetrik metodun uygulanması daha kolaydır. Fakat anlaşmazlık halinde, kontrol muayenesi olarak gravimetrik metotla çinko kaplama miktarı tayin edilebilir. Gravimetrik metotta çinko tabakasının sıyırılmasından önce ve sonra muayene örneğinin ağırlığı doğru ve en az 0,01 gr hassas bir şekilde tayin edilmelidir.

Kaplama ağırlığı tespiti; Türk Standartları dikkate alındığında TS EN 10244-2/Ocak 2005 Çelik Tel ve Tel Mamüller – Çelik Tel Üzerine Demir dışı Metal Kaplama Bölüm-2 : Çinko veya Çinko Alaşımı Kaplama Standardında aşağıdaki şekilde yapılır.

5.3.1 Gravimetrik Metot

Çıplak telin birim yüzeyi başına düşen çinko ağırlığını bulmak için çinko kaplama, çelik etkilemeyen bileşimi aşağıda açıklanan kimyasal çözelti içinde tamamen çözülür.

Çelik telin, çinko kaplamalı ve çinko kaplamasız ağırlıkları tartılmak suretiyle aradaki fark bulunarak çinko ağırlığı elde edilir.

Numuneden kesilen deney parçalarının toplam boyu, deney cihazına uyacak şekilde en az 30 cm olmalı, 60 cm'ye kadar olması tercih edilmelidir. Deney parçası önce yeterince havalandırılan yerde karbon tetraklorür, benzin ya da benzol gibi kolay buharlaşabilir organik madde ile temizlendikten sonra alkol ya da asetonla çalkalanıp iyice kurutulur ve bundan sonra tartılır. Deney kabı küçük ise, tam dalmayı sağlamak için deney parçası küçük parçalara bölünebilir.

Yoğunluğu 1,13 – 1,19 olan 500 ml Hidroklorik asit (HCl) içerisine 2 gr Antimuan oksit (Sb_2O_3) ya da 3,2 gr Antimuanklorit ($SbCl_{13}$) katılarak antimuan klorür çözeltisi elde edilir; bu çözelti saf su ile 1000 ml'ye tamamlanır ve deneyde kullanılacak çözelti (deney çözeltisi) elde edilir.

Deney parçası yukarıda anlatıldığı gibi temizlenip kurutulduktan sonra, deney çözeltisi içerisine daldırılır. Numune yüzeyinden gaz kabarcıkları çıkması durduktan sonra parça alınır, sıcak su banyosuna daldırılır bez yada sıcak hava ile kurutulur.

Deney parçası yeniden tartılır ve çapı ölçülür.

Deney sonucunda bulunan değerlerden, aşağıdaki formül yardımı ile çinko kaplama ağırlığı hesaplanır.

$$A = 1962 \times D \times [(m_1 - m_2) / m_2] \quad (5.12)$$

A = Çinko kaplama miktarı (gr/m^2)

D = Çinko kaplamasız telin çapı (mm)

m_1 = Çinko kaplamalı telin ağırlığı (gr)

m_2 = Çinko kaplamasız telin ağırlığı (gr)

1962 = Katsayı ($gr/m^3 \cdot 10^3$)

Çinko kaplamanın tel yüzeyinden ayrılması uzunca bir zaman almaya başladığında, deney çözeltisi yenilenmelidir.

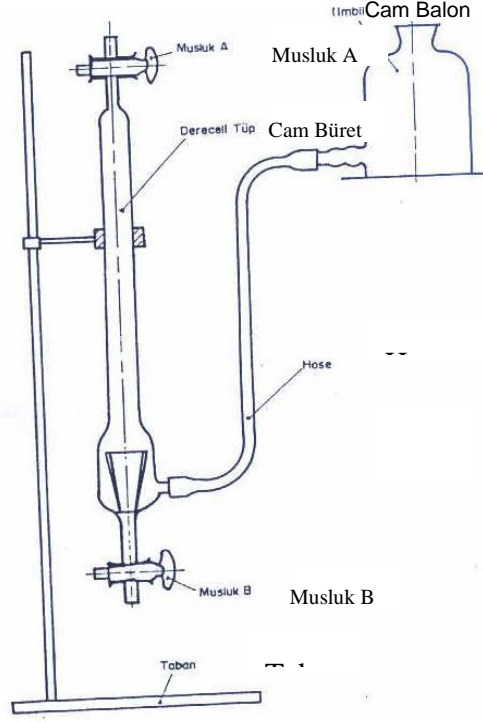
100 ml'lik deney çözeltisinin sıcaklığı 38 °C 'i aşmamalıdır ve bunun içerisine birlikte daldırılan deney parçası sayısı 3'ü geçmemelidir. Bir deney parçası için, 5 cm çapında

ve 15 cm derinliğinde bir cam silindir içerisine konulan, 100 ml hacmindeki çözelti yeterlidir. Ağırlık ölçüleri 0,001 gr ve çap ölçüleri 0,01 mm duyarlılıkla yapılmalıdır.

5.3.2 Volümetrik Metot

Galvaniz kaplı tellerde galvaniz kaplama miktarının tayini volümetrik metot kullanılarak hesaplanmak istendiğinde, yapılacak muayenede kullanılan cihaz şekil 5.4 'de gösterilmiş olup ana parçaları şunlardır.

- a) İki ucunda birer musluk bulunan ve en az ml cinsinden bölümlenmiş 10 ml 'lik cam büret
- b) Numuneleri çıkardıktan sonra koymak için bir beher
- c) Alt ucundaki memesi lastik boru ile bürete bağlanmış cam bir balon



Şekil 5.4 : Volümetrik metot ile çinko kaplama kalınlığı ölçme yöntemi.

Yoğunluğu 1,13 – 1,19 olan 500 ml Hidroklorik asit (HCl) içerisine 2 gr Sb_2O_3 ya da 3,2 gr $SbCl_3$ katılarak antimuan klorür çözeltisi elde edilir; bu çözelti saf su ile 1000 ml'ye tamamlanır ve deneyde kullanılacak çözelti (deney çözeltisi) elde edilir. İnhibitör olarak hegzametilen-tetramin veya formaldehit 'de kullanılabilir.

Yukarıda açıklaması yapılan cihazın "B" musluğu kapalıyken, büret (bölümlü şişe) ve balonun bir kısmı deney çözeltisi ile doldurulur.

Asit deposu halinde bulunan cam balonu yukarı kaldırmak sureti ile büretteki sıvının seviyesi büret içinde hemen "A" musluğunun altına kadar yükseltilir ve her iki seviyede aynı oluncaya kadar kaldırılır. Bu sırada alttaki "B" musluğu kapalıdır.

Deney parçası büret içine konduktan sonra "A" musluğu hemen kapatılır ve asidin çinko kaplama ile reaksiyonu sonucu açığa çıkan hidrojen gazı büretin üst kısmında toplanır.

Hidrojen çıkışı durduğu zaman fazla beklemeden bürete göre balon aşağı indirilir ve büretteki ve balondaki sıvı seviyeleri bir hizada olacak şekilde ayarlanır.

Büretteki sıvının seviye çizgisi, açığa çıkan gazın hacmini gösterir. Deney sonucu ortaya çıkan hidrojen gazı hacmi ve çıplak tel çapı dikkate alınarak aşağıda verilen formüle göre veya bu formüle uygun hazırlanmış tablolar kullanılarak çinko kaplama ağırlığı bulunur.

$$A = 2720 \times V \quad (5.13)$$

$\pi \cdot d \cdot l$ (*)

A = Çinko kaplama miktarı (gr/m²)

V = Deney sırasında çıkan hidrojen gazı hacmi (ml)

d = Çıplak tel çapı (mm)

l = Numune boyu (mm)

Deney esnasında sıcaklık 20 °C den fazla ise formülün sağ tarafı aşağıdaki değerle çarpılır.

$$\frac{293}{t + 273} \quad t = \text{deney sıcaklığı } (^{\circ}\text{C}) \quad (5.14)$$

Deney esnasında atmosferik basınç 987 – 1040 mbar arasında değil ise aynı formül aşağıdaki değerle çarpılır.

$$pp = \text{ortam basıncı} \quad (5.15)$$

1,014

Balonu masa üzerine yerleştirmek ve “A” musluğunu açmak suretiyle bürette kalan çözelti balonda toplanır. Daha sonra “B” musluğu açılır ve deney parçası behere alınır. Parça yıkanır ve boyutları ölçülmeden önce dikkatle kurulanır.

Burada belirtilen yöntemlerle bulunan gr/m² cinsinden kaplama ağırlığı, çıplak yani kaplamasız telin m²'si başına gr olarak kaplanan çinko miktarını verir.

5.4 Burma Testi

Deney parçasının uzunluk eksenini ile aynı düzlemde bulunmayan, birbirine paralel, ters yönde dik iki kuvvetin (burma momenti veya tork) uygulanışı ile deney parçasının bir kısmının diğer kısma göre eksenini etrafında açılabilir biçimde değiştirme halidir.

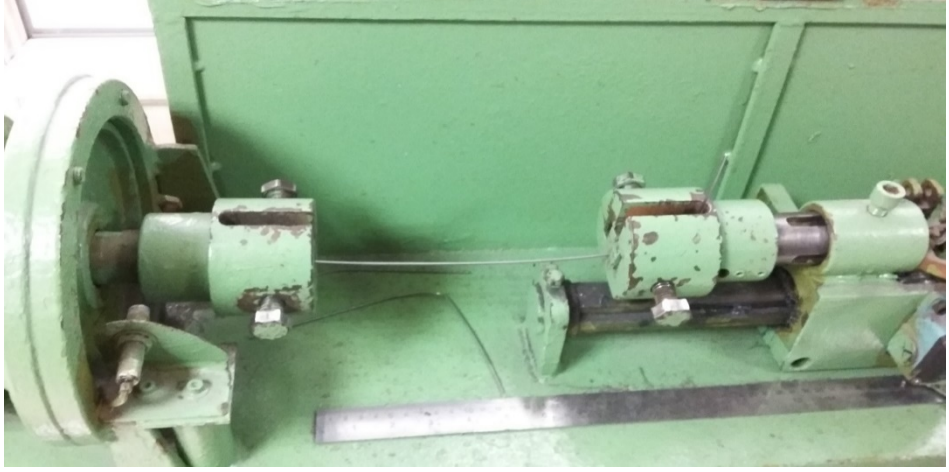
Burma deneyini müşteriden talep gelmesi halinde, malzemenin müşteri talebine uygunluğunu kontrol amacıyla yapılır.

Burma sayısı, deney sırasında deney parçasının eksenine göre 360 ° lik açıları ile tam devir halindeki burulma miktarıdır. Burma tek veya çift yönlü olarak yapılabilir. Türk Standartları göz önüne alındığında burma deneyi; “TS 10264-2 Burma Deneyi – Metalik Malzemeden Teller İçin” Standardında aşağıdaki şekilde uygulanır.

Deney numunesi Tablo 6.3. ‘uygun olarak hazırlanır. Deney ölçü uzunluğu parça cihaza takıldıktan sonra cihaz çeneleri arasında kalan serbest açıklıktır. Deney numunesini düzeltmek gerekiyorsa, elle, yumuşak bir parçanın üstünde tokmakla vurarak veya düzeltme makinesinde düzeltilir. Düzeltme esnasında deney numunesinin yüzeyinin hasara uğramamasına ve kesitinin değişmemesine dikkat edilmelidir. Deneyden önce deney numunesine herhangi bir burulma uygulanmamalıdır. Hazırlanan deney numunesi cihazın çenelerinin eksenini ile çakışacak ve deney sırasında düzgün kalacak şekilde cihaza bağlanır. Deney esnasında numunenin düzgün kalmasını sağlamak amacıyla ile aksi belirtilmedikçe sabit bir çekme kuvveti (test ağırlık) uygulanır. Bu çekme değeri demir tellerde telin anma çekme dayanımının %2’sinden çok olamaz. Test ağırlık, torsiyon testi için olması gereken ağırlık miktarıdır ve Denklem 5.11 ile hesaplanır. Deney parçası cihaza takıldıktan sonra, kavrama çenelerinden birisi mümkün olduğunca sabit bir hızda, numune kırılıncaya veya belirtilen burma değerine ulaşıncaya kadar döndürülür.

$$\text{Test Ağırlık} = \text{Tel kalınlık (mm)} \times 0,02 \text{ (katsayı)} \times \text{Çekme muk. (kgf)} \quad (5.16)$$

$$\text{İki Çene Arasındaki Mesafe} : 100 \times d \text{ (d= telin anma çapı) olmalıdır.} \quad (5.17)$$



Şekil 5.5: Burma öncesi



Şekil 5.6 : Burma sonrası

Tablo 5.3 : Burma testi çap ve numune li tablosu

Telin apı (mm)	Deney li uzunluğu (mm)
0,3 (dahil) – 1,0 (kadar)	200 d
1,0 (dahil) – 5,0 (kadar)	100 d – 1)
5,0 ve üstü	50 d – 2)

Cihaz 100 d 'ye eēit bir uzunluğun kullanılmasına elveriēli değil ise, önceden belirtilerek 50 d alınır. Cihaz 50 d'ye eēit bir uzunluğun kullanılmasına elveriēli değil ise, önceden belirtilerek 30 d alınır.

Deney sırasında burma hızı Tablo 5.4 'e uygun olmalıdır.



Tablo 5.4 : Burma testi tel çapı ve maksimum. deney hızı tablosu.

Tel çapı (mm)	Maksimum deney hızı (devir/saniye)
0,3 (dahil) – 1.0'a (kadar)	3
1,0 (dahil) – 1,5'a (kadar)	1
1,5 (dahil) – 3,0'a (kadar)	1
3,0 (dahil) - 5,0'a (kadar)	0,5 (L=100 d ise) 0,25 (L=50 d ise)
5,0 ve daha yukarı	0,25 (L=50 d ise) 0,15 (L=30 d ise)

Tel Çapı	Ağırlık	Tel Kalitelerine Göre Mukavemetler								Torsiyon	Tolerans DIN 2076	
		Rm (kg/mm ²)									EN AZ	A ve B
mm	kg/1000m	A (SL)		B (SM)		C (SH)		D (DH)				
0,50	1,54			224	252			253	279			
0,53	1,73			222	250			251	277			
0,56	1,93			221	248			249	275			
0,60	2,22			218	245			246	272			
0,63	2,45			217	243			244	270		±0.015	±0.01
0,65	2,60			216	242			243	269			
0,70	3,02			213	240			241	235			
0,75	3,47			211	236			238	263			
0,80	3,95			209	234			235	261			
0,85	4,45			207	232			233	258			
0,90	4,99			205	230			231	256			
0,95	5,59			204	228			229	254			
1,00	6,17	175	201	202	226			227	252	25		
1,05	6,80	174	199	200	224			225	250		±0.025	±0.015
1,10	7,46	172	198	199	223			224	248			
1,20	8,88	170	197	196	220			221	245			
1,25	9,63	169	194	195	218			219	243			
1,30	10,42	167	193	194	217			218	242			
1,40	12,08	165	190	191	214			215	239			
1,50	13,9	163	188	189	212			213	235			
1,60	15,8	162	186	187	209			210	233			
1,70	17,8	160	183	185	207			208	230			
1,80	20,0	158	181	182	205			206	228			
1,90	22,3	157	179	180	203			204	226			
2,00	24,7	155	178	179	201	202	224	202	224			
2,10	27,2	154	176	177	200	201	222	201	222	22	±0.035	±0.02
2,25	31,2	152	174	175	197	198	219	198	219			
2,40	35,5	150	172	173	195	196	217	196	217			
2,50	38,5	149	171	172	193	194	215	194	215			
2,60	41,7	148	169	170	192	193	214	193	214			
2,80	48,3	145	167	168	189	190	211	190	211			
3,00	55,5	144	165	166	187	188	208	188	208			
3,20	63,1	142	163	164	185	186	206	186	206			
3,40	71,3	140	161	153	181	182	203	182	202			
3,60	79,9	138	159	160	179	180	201	180	201	16		
3,80	89,0	137	157	158	177	179	200	178	199			
4,00	98,6	135	155	156	176	177	197	177	197			
4,35	111,0	134	153	154	173	176	194	174	194		±0.045	±0.025
4,50	125,0	131	152	153	171	172	192	172	192			
4,75	139,0	129	150	151	170	171	190	171	190	12		
5,00	154,0	128	148	149	168	169	188	169	188			
5,30	173,0	126	146	147	166	167	186	167	186	11		
5,60	193,0	125	145	146	164	165	183	165	183			
6,00	222,0	123	142	143	161	162	180	162	180	9		
6,30	245,0	121	141	142	159	160	179	160	178	9		
6,50	260,0	120	140	141	158	159	177	159	177	9		
7,00	302,0	118	137	138	156	157	174	157	174	7	±0.060	±0.035
7,50	347,0	116	135	136	153	154	171	154	171	7		
8,00	395,0	114	133	134	151	152	169	152	169	6		

Şekil 5.7 : Torsiyon ve Mukavemet Kontrol Tablosu DIN 12773.

Kopma tipi	Tip no	Görünüş	Tanım ve özellikler	Kopma düzlemi
	Mamul			
Normal burulma kopması	a		Pürüzsüz: Kopma düzlemi tel eksenine dik (veya hafif eğimli). Kopma düzlemi çatlaksız.	
	b		Gevrek: Kopma düzlemi tel eksenine 45° açılı. Kopma düzlemi çatlaksız.	
Yer yer çatlaklı kopma Düzenli kopma (malzeme kusuru)	a		Pürüzsüz: Kopma düzlemi tel eksenine dik ve kısmen çatlaklı.	
	b		Kademeli: Kopma düzleminin bir kısmı hâlâ pürüzsüz, kısmen çatlaklı.	
	c		Düzensiz kopma düzlemi: Kopma düzlemi çatlaksız.	
Bütün boyda (veya önemli bir kısmında) helezoni çatlaklı kopma Çatlak oluşumu az sayıdaki (3-5) burulmadan sonra başlar ve en iyi bu aşamada görülür	a		Pürüzsüz: Kopma düzlemi tel eksenine dik ve kısmen veya tamamen çatlaklı.	
	b		Kademeli: Kopma düzleminin bir kısmı hâlâ pürüzsüz, kısmen veya tamamen çatlaklı.	
	c		Gevrek: Kopma düzlemi tel eksenine 45° açılı ve kısmen veya tamamen çatlaklı. veya düzensiz kopma düzlemi ve kısmen veya tamamen çatlaklı.	

Şekil 5.8: Basit burulma testinde kopma yüzeylerinin değerlendirilmesi.

BÖLÜM 6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1 Silindir Boyu Denemesi

1,80 mm SAE 1065 Fosfat Kaplı Patenli telde teoride %30-40 arası silindir boyu tavsiye edilir. Yapılan denemede 1,46 mm haddeden 1,63 mm 12 derece hadde yapılarak %50 silindir boyunda elde edilmiştir. İşlenme sonucunda Şekil 6.3 ve Şekil 6.7 'de görüldüğü gibi silindir boyu aşırı uzun olduğundan telde aşırı ısınma sonucu sabun filmi yanmıştır ve metal-metal kontaklı sonrası fosfat kaplaması soyulmuştur. Şekil 6.4 'de olması gereken tel kaplaması görülmüştür. Böylece Tablo 6.2 'de görüldüğü gibi mukavemet 40-50 MPa arasında yükselmiştir ve üretim sırasında telde kopuklar gözlemlenmiştir.

1.51 mm haddeden işlenip %35 silindir boyunda yapılan 1.63 mm haddeden çekilen Şekil 7.2 bloktaki tel görüntüsünden ve Şekil 7.6. makro boyuttaki tel görüntüsünden anlaşıldığı gibi 12 derecelik aynı açığa sahip haddede silindir boyunun uzatılmasının etkisi fosfat kaplamasını sıyrıyor ve parlak bir yüzey ortaya çıkıyor. Silindir boyunun optimum %30-40 aralığında olması ise optimum sabun filmi oluşumunu, optimum tel çekme işleminin yapılmasını, sabun filminin yırtılmayarak ve fosfat kaplamanın sıyrılmayarak ideal tel çekme koşullarının sağlanmasını ve paslanma, hadde bozma gibi risklerin ortadan kalkmasını sağlıyor.



Şekil 6.1 : %50 silindir boyu ile hazırlanmış 12 derece 1,63 mm çapında haddeden geçmiş telin bloktaki görüntüsü.

Şekil 6.2 : %35 silindir boyuna sahip 12 derece 1,63 mm tel yüzey görüntüsü. (uygun görülen).



Şekil 6.3 : Silindir boyu %50 olan haddenin tel çekme işleminde hadde çıkışında fosfat sıyırması.



Şekil 6.4 : Silindir boyu %50 olan 1.63 mm haddenin çekilmiş tel görüntüsü.



Şekil 6.5 : Silindir boyu %50 olan 1.63 mm haddeden çekilen telin makro görüntüsü.



Şekil 6.6 : Silindir boyu %35 olan 1.63 mm haddeden çekilen telin makro görüntüsü.

Tablo 6.1 : Silindir boyu değişikliğine mukavemet sonuçları.

Çap (mm)	Silindir Boyu	Mukavemet (MPa)
1,63	30%	1158
1,63	50%	1197-1208

6.2 Açının Verimliliğe Etkisi Denemesi

2,70 mm SAE 1045 yarı mamülden 1,00 mm tel üretiminde 12 derecelik %35 silindir boylu haddeler ile tel çekiminde 5 m/s hız üzerinde üründe son iki haddede telin parladığını ve çap bozduğunu gözlemledik. Buna istinaden redüksiyonun %20 'nin altına indiği koşulda son iki haddede 9 derecelik %35 silindir boyuna sahip hadde işlenildi ve tablo 6.4 deneme tablosunda görüldüğü gibi 250.000 metre tel çekimi sonucunda gözlemlendiği gibi 7,00 m/s hız ile çalışılmasına rağmen yüzeyde bozukluk, parlama ve çap bozması gözlemlenmedi.

Tablo 6.2 : 9 derece aç denemesi sonucu.

DENEME ÖNCESİ									
HADDE SERİSİ	1	2	3	4	5	6	7	8	9
HADDE ÇAPLARI (mm)	2,39	2,12	1,90	1,68	1,53	1,35	1,22	1,08	0,98
DENEME SONRASI									
HADDE SERİSİ	1	2	3	4	5	6	7	8	9
HADDE ÇAPLARI (mm)	2,40	2,13	1,91	1,69	1,54	1,35	1,22	1,08	0,98

6.3 Silindir Boyunun Kaplama ve Mukavemete Etkisi

2.70 mm SAE 1045C yarı mamülden 1.10 mm çapa çekim esnasında %50 silindir boyunda ve %30 silindir boyunda 12 derecede hadde işlenerek kuru tel çekimde deneme yapılmıştır. Deneme sonucunda %50 silindir boyuna sahip telde sabun filminin yanması

sonucu fosfat kaplamanın kazınmasıyla oluşan parlak bir yüzey ve mukavemetin şekil Şekil 6.14 'te görüldüğü gibi 2338 MPa olarak beklenen değerden 100 MPa yüksek çıktığı görülmektedir. Ayrıca silindir boyunun uzun olması mukavemetin yanı sıra % uzama miktarını % 6 kadar düşürmektedir.

%30 silindir boyuna sahip hadde ile çekilen telde ise uygun sabun filminin oluşmasıyla beraber mat ve uygun fosfat kaplama yüzeyi ve Şekil 6.13 'de görüldüğü gibi mukavemet değeri 2238 MPa olarak beklenen aralıkta gelmiştir.

Şekil 6.11. ve şekil 6.12.'de %50 silindir boyuna sahip ve % 30 silindir boyuna sahip haddeden çekilen tel görüntüsü görülmektedir.

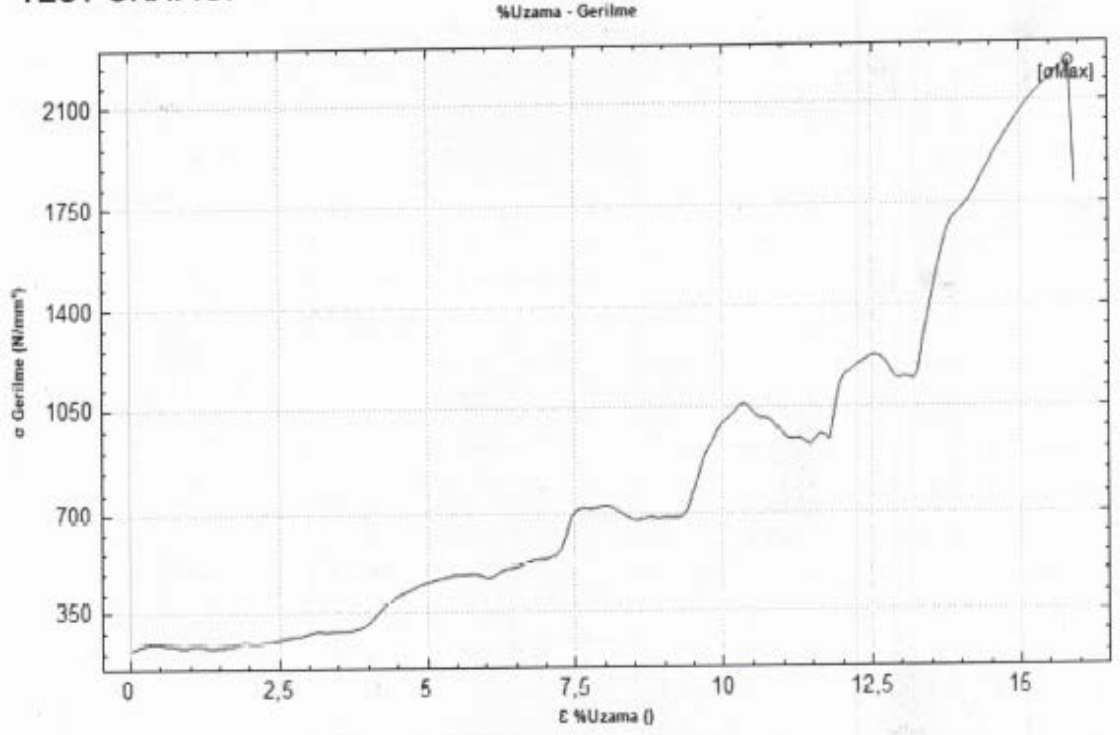


Şekil 6.7 : %50 silindir boyuna sahip 1,10 mm hadde ile çekilen tel görüntüsü.



Şekil 6.8 : %30 silindir boyuna sahip 1,10 mm hadde ile çekilen tel görüntüsü.

TEST GRAFIĞİ

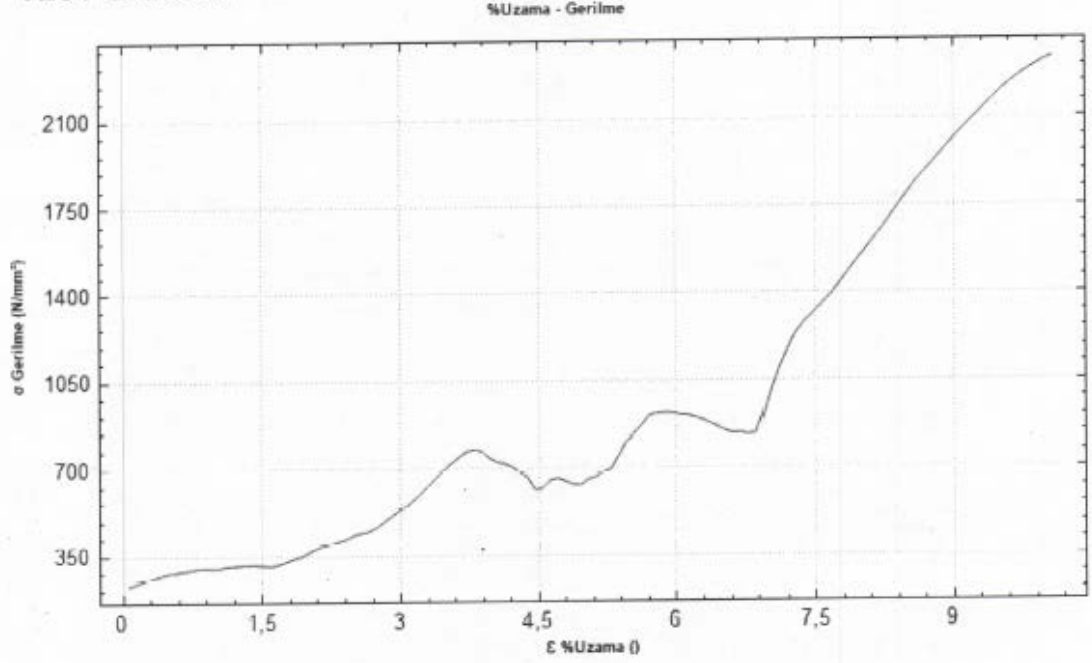


SONUÇLAR

Fm	2.050kN	Rmin	0.00N/mm ²
Rm	2238.20N/mm ²	RMax	0.00N/mm ²
L0 Boyu	100.000mm	RAvg	0.00N/mm ²
L1 Boyu	115.997mm	E modul	30.039
Uzama%	%16.0	Deney hızı	30mm/dk

Şekil 6.9 : 1,10 mm %30 silindir boyuna sahip haddeden çekilen telin çekme testi sonucu.

TEST GRAFİĞİ



SONUÇLAR

Fm	2.142kN	Rmin	0.00N/mm ²
Rm	2338.64N/mm ²	RMax	0.00N/mm ²
L0 Boyu	100.000mm	RAvg	0.00N/mm ²
L1 Boyu	110.205mm	E modul	1121.700
Uzama%	%10.2	Deney hızı	30mm/dk

Şekil 6.10 : 1,10 mm %50 silindir boyuna sahip haddeden çekilen telin çekme test sonucu.

%50 silindir boyuna ait haddeden çekilmiş telin fosfat kaplama değeri hesaplamalara göre 1.93 gr/m² iken %30 silindir boyuna sahip haddeden çekilmiş telin fosfat kaplama 3.76 gr/m² bulunmuştur. Makro ve fotoğraf görüntüsünden ve kaplama testinden de anlaşıldığı gibi silindir boyunun uzun olması kaplamayı sıyırdığı ve kaplama kalınlığını düşürdüğü görülmüştür.

Şekil 6.20 'de %30 silindir boyuna ait hadde ile çekilmiş 1,10 mm telin boyuna numuneden mikro yapısı görülmektedir. Mikro yapıda SAE 1055 çelik tel olduğu için ötektoid öncesi ferrit ve perlit yapısı görülmektedir. Tel soğuk haddeleme yapıldığı için

tane boyutunun homojen bir şekilde oluştuğu, dislokasyonların yeterince olduğu ve yapının homojen olduğu görülmektedir.

şekil 6.21 'da ise %50 silindir boyuna ait hadde ile çekilmiş 1,10 mm telin boyuna numunedeki mikro yapısında tane boyutlarının dengesiz dağıldığı, dislokasyonların yeterinde olmayıp yapının kararsız olduğu ve yapının dengesiz bir şekilde ve daha kk tane boyutunda olduğu görülmektedir.

şekil 6.21 'da %50 silindir boyuna ait hadde ile çekilmiş 1,10 mm telin boyuna numunedeki ve şekil 6.19 'te %30 silindir boyuna ait hadde ile çekilmiş 1,10 mm telin boyuna numunedeki mikro yapılardan anlaşılacağı üzere silindir boyunun uzun olması ısıl çarpılmalar sonucu ve hatalı haddeleme sonucu telin iç yapısını bozduğu görülmüştür.

şekil 6.22 'de %30 silindir boyuna ait numunenin mikro sertlik ölümünde 402 HV mikro sertlik ölçmüş iken şekil 6.23 'de % 50 silindir boyuna ait hadde ile çekilmiş 1,10 mm telin mikro sertlik ölümünde 556 HV mikro sertlik lldğ görülmüştür. Mukavemetin artması ile orantılı olarak mikro sertlikte artmıştır.

%50 silindir boyuna ait haddeden çekilmiş telin torsiyon değeri 22 tur olup kopma şekli 3 parça ve 45 ° olduğundan Tablo 5.5. 'e göre kopma şekli uygunsuzdur.

%30 silindir boyuna ait haddeden çekilmiş telin torsiyon değeri 37 olup kopma şekli tek ve düz kopma gerçekleşmiştir. Tablo 5.5 'e göre uygun kopma şeklidir.



şekil 6.11 : % 50 silindir boyuna ait haddeden çekilmiş telin grntş.



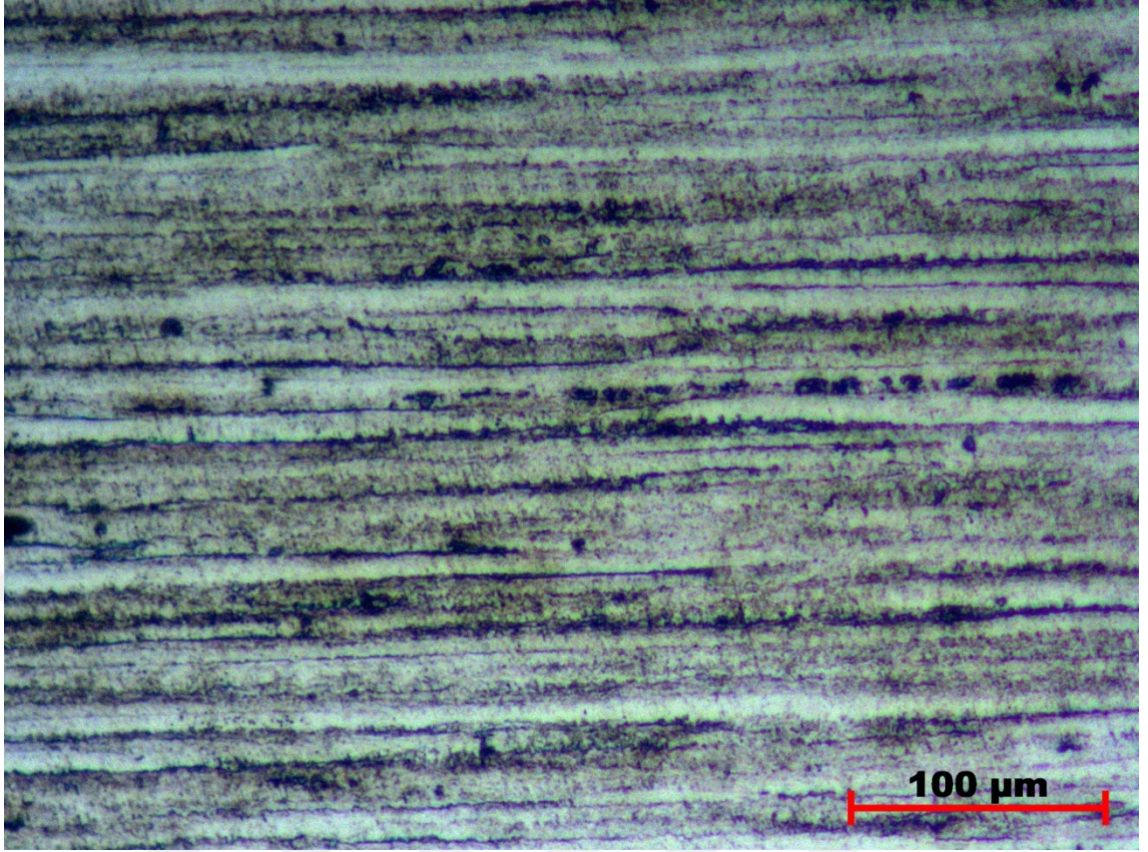
Şekil 6.12 : % 50 silindir boyuna ait haddeden çekilmiş telin makro görüntüsü.



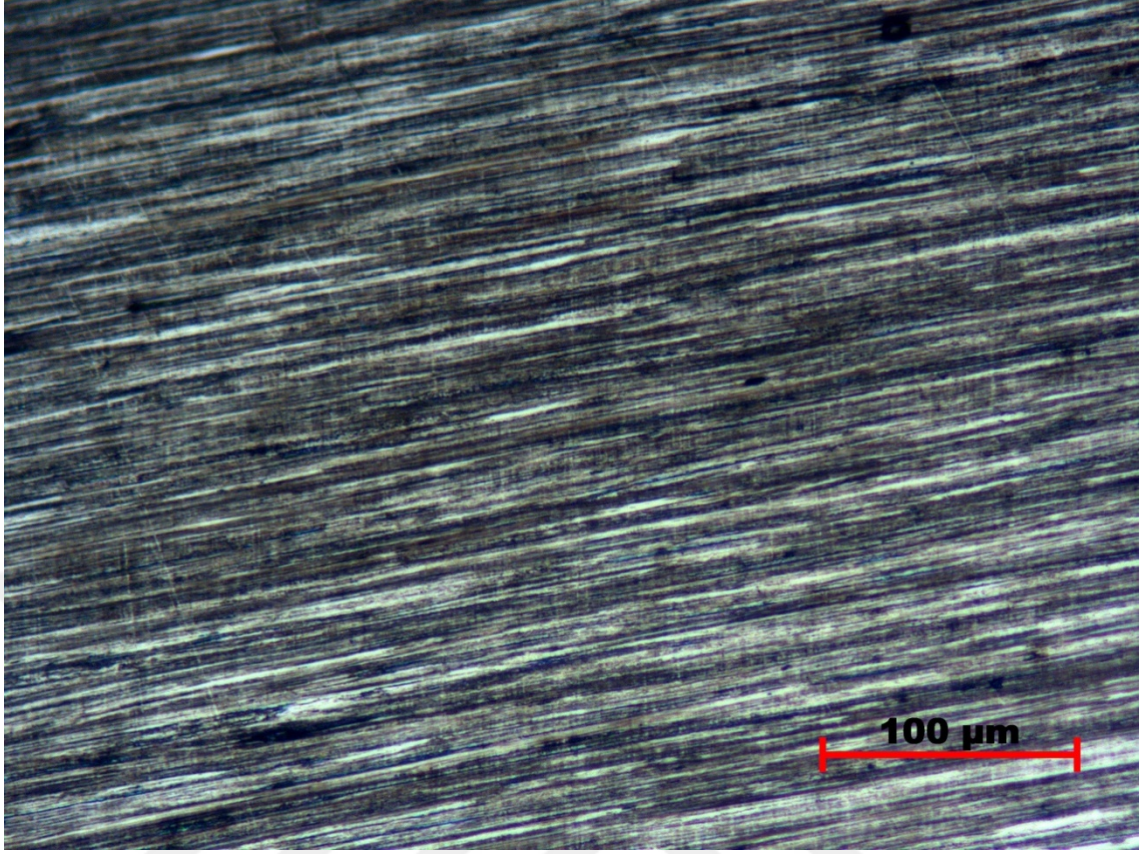
Şekil 6.13 : % 30 silindir boyuna ait haddeden çekilmiş telin görüntüsü.



Şekil 6.14 : % 30 silindir boyuna ait haddeden çekilmiş telin makro görüntüsü.



Şekil 6.15 : % 30 silindir boyuna sahip hadde çıkan telin mikroyapısı.



Şekil 6.16 : % 50 silindir boyuna sahip hadde çıkan telin mikro yapısı.

Şekil 6.17 : %30 silindir boyuna ait numunenin mikro sertlik ölçümü.

Şekil 6.18 : %50 silindir boyuna sahip numunenin mikro sertliği.

6.4 Hadde Açısının Galvanizli Telde Sıyırma İşlemine Etkisi

Galvanizli çelik tel çekme işleminde galvaniz kaplamanın sıyırılmaması için “Stone park” adlı kitap kaynağında belirtilmesi üzere sıyırılma sorununu çözmek için 9° hadde yapılıp tel çekme işleminde gözlenmiştir ve 14° hadde yapılıp tel çekme işleminde denenmiştir.

14° hadde ile 1,63 mm tel çekiminde Şekil 6.25. ‘de görüldüğü gibi galvaniz kaplamanın sıyırılması sorunu yaşanmıştır. Açının fazla olması telin daha sert şekilde deformasyon olmasına ve galvaniz kaplamanın yumuşak olmasından dolayı sıyırılmasına ve hadde girişinde çinko çapağının oluşarak telde çizilme, sabun almama sonucu yüzey bozukluğu ve kopuklar, galvaniz kaplama miktarının gereğinden fazla düşmesi gibi sorunlar yaşanmıştır.

9° derece hadde ile 1,63 mm galvanizli tel çekiminde Şekil 6.24 ‘de görüldüğü gibi kaplamanın sıyırılması durumu gözlenmemiştir. Makine çekim hızı %20 artmıştır ve tel yüzeyi daha uygun çıkmıştır.

Denklem 5.12 ‘ye göre yapılan hesaplamalarda da görüldüğü gibi 1,63 mm galvaniz kaplı tellerde alınan numunelerdeki kaplama sonuçları; dokuz derece hadde ile çekilen

telde 174,03 gr/m² iken 14 derece ile çekimde aşırı sıyırma olduğundan dolayı 67,33 gr/m² 'dir.

$$A_{9^{\circ}} = 1962 \times 1,57 \times [(187 - 177) / 177] = 174,03 \text{ gr/m}^2$$

$$A_{14^{\circ}} = 1962 \times 1,57 \times [(187 - 183) / 183] = 67,33 \text{ gr/m}^2$$



Şekil 6.19 : 9 derece ile çekilen galvanizli 1,63 mm telde uygun sabunlu mat yüzey



Şekil 6.20 : 12 derece hadde ile çekilen galvanizli 1,63 mm telde çinko çapaklanması ve yüzey bozukluğu

BÖLÜM 7. SONUÇLAR

1.51 mm haddeden işlenip %35 silindir boyunda yapılan 1.63 mm haddeden çekilen Şekil 7.2. bloktaki tel görüntüsünden ve Şekil 7.6. makro boyuttaki tel görüntüsünden anlaşıldığı gibi 12 derecelik aynı açığa sahip haddede silindir boyunun uzatılmasının etkisi fosfat kaplamasını sıyrıyor ve parlak bir yüzey ortaya çıkıyor. Silindir boyunun optimum %30-40 aralığında olması ise optimum sabun filmi oluşumunu, optimum tel çekme işleminin yapılmasını, sabun filminin yırtılmayarak ve fosfat kaplamanın sıyrılmayarak ideal tel çekme koşullarının sağlanmasını ve paslanma, hadde bozma gibi risklerin ortadan kalkmasını sağlıyor.

2,70 mm SAE 1045 yarı mamülden 1,00 mm tel üretiminde 12 derecelik %35 silindir boylu haddeler ile tel çekiminde 5 m/s hız üzerinde üründe son iki haddede telin parladığını ve çap bozduğunu gözlemledik. Buna istinaden redüksiyonun %20 'nin altına indiği koşulda son iki haddede 9 derecelik %35 silindir boyuna sahip hadde işlenildi ve Tablo 7.4 deneme tablosunda görüldüğü gibi 250.000 metre tel çekimi sonucunda gözlemlendiği gibi 7,00 m/s hız ile çalışılmasına rağmen yüzeyde bozukluk, parlama ve çap bozması gözlemlenmedi.

%50 silindir boyuna ait haddeden çekilmiş telin fosfat kaplama değeri 1.93 gr/m² iken %30 silindir boyuna sahip haddeden çekilmiş telin fosfat kaplama değeri 3.76 gr/m² bulunmuştur. Makro ve fotoğraf görüntüsünden ve kaplama testinden de anlaşıldığı gibi silindir boyunun uzun olması kaplamayı sıyırdığı ve kaplama kalınlığını düşürdüğü görülmüştür.

Şekil 6.20 'de %30 silindir boyuna ait hadde ile çekilmiş 1,10 mm telin boyuna numuneden mikro yapısı görülmektedir. Mikro yapıda SAE 1055 çelik tel olduğu için ötektoid öncesi ferrit ve perlit yapısı görülmektedir. Tel soğuk haddeleme yapıldığı için tane boyutunun homojen bir şekilde oluştuğu, dislokasyonların yeterince olduğu ve yapının homojen olduğu görülmektedir.

Şekil 6.21 'da ise %50 silindir boyuna ait hadde ile çekilmiş 1,10 mm telin boyuna numunedeki mikro yapısında tane boyutlarının dengesiz dağıldığı, dislokasyonların yeterinde olmayıp yapının kararsız olduğu ve yapının dengesiz bir şekilde ve daha küçük tane boyutunda olduğu görülmektedir.

Şekil 6.21 'da %50 silindir boyuna ait hadde ile çekilmiş 1,10 mm telin boyuna numunedeki ve Şekil 6.19 'te %30 silindir boyuna ait hadde ile çekilmiş 1,10 mm telin boyuna numunedeki mikro yapılardan anlaşılacağı üzere silindir boyunun uzun olması ısıl çarpılmalar sonucu ve hatalı haddeleme sonucu telin iç yapısını bozduğu görülmüştür.

Şekil 7.22 'de %30 silindir boyuna ait numunenin mikro sertlik ölçümünde 402 HV mikro sertlik ölçülmüş iken Şekil 6.23 'de % 50 silindir boyuna ait hadde ile çekilmiş 1,10 mm telin mikro sertlik ölçümünde 556 HV mikro sertlik ölçüldüğü görülmüştür. Mukavemetin artması ile orantılı olarak mikro sertlikte artmıştır.

%50 silindir boyuna ait haddeden çekilmiş telin torsiyon değeri 22 tur olup kopma şekli 3 parça ve 45 ° olduğundan Tablo 5.5 'e göre kopma şekli uygunsuzdur.

%30 silindir boyuna ait haddeden çekilmiş telin torsiyon değeri 37 olup kopma şekli tek ve düz kopma gerçekleşmiştir. Tablo 5.5 'e göre uygun kopma şeklidir.

14° hadde ile 1,63 mm tel çekiminde Şekil 6.25 'de görüldüğü gibi galvaniz kaplamanın sıyırılması sorunu yaşanmıştır. Açının fazla olması telin daha sert şekilde deformasyon olmasına ve galvaniz kaplamanın yumuşak olmasından dolayı sıyırılmasına ve hadde girişinde çinko çapağının oluşarak telde çizilme, sabun almama sonucu yüzey bozukluğu ve kopuklar, galvaniz kaplama miktarının gereğinden fazla düşmesi gibi sorunlar yaşanmıştır.

9° derece hadde ile 1,63 mm galvanizli tel çekiminde Şekil 6.24 'de görüldüğü gibi kaplamanın sıyırılması durumu gözlenmemiştir. Makine çekim hızı %20 artmıştır ve tel yüzeyi daha uygun çıkmıştır.

Denklem 5.12 'ye göre yapılan hesaplamalarda da görüldüğü gibi 1,63 mm galvaniz kaplı tellerde alınan numunelerdeki kaplama sonuçları; dokuz derece hadde ile çekilen telde 174,03 gr/m² iken 14 derece ile çekimde aşırı sıyırma olduğundan dolayı 67,33 gr/m² 'dir.

Yapılan denemeler, incelemeler ve testlerden çıkan bulgulara göre fosfatlı kaplı tellerde optimum hadde geometrisi yüksek karbonlu tellerde 12 derece ve %30-35 silindir boyudur. Açının fazla olması ve ya az olması ile silindir boyunun uzun olması telin optimum sabun almamasına ve buna bağlı olarak ani iç yapı değişikliklerine sıcaklıkların yükselmesine sebep olduğundan mukavemet yükselmesi, fosfat kaplamanın sıyrılması ve telde kopuklar yaşandığı gözlemlenmiştir.

Galvanizli yüksek karbon tellerde ise açının fazla olması galvaniz kaplamanın yumuşak olmasından dolayı aşırı sıyırmasından dolayı kaplama kalınlığının gereğinden fazla düştüğü ve telin sıyırma sonucu oluşan çinko çapaklarından dolayı sabun almadığı ve buna bağlı olarak telde çizikler ve kopuklar oluştuğu gözlemlenmiştir. 9 derece açı ile yapılan denemeler olumlu sonuçlar bulup kaplama kalınlığının normal olduğu ve kopuk, çizik gibi durumlarla karşılaşmadığı görülmüştür. Galvanizli yüksek karbon tellerde ise optimum hadde geometrisi 9 derece ve %30 silindir boyudur.

KAYNAKLAR

- AgirSpa Web Sayfası, Erişim:04 Temmuz 2019, <http://www.agir-technologies.com/uk/index.html>
- AtomatSpa Web Sayfası, Erişim:04 Temmuz 2019, <http://www.atomat.com>
- Balin, B., (2004). *Seçilen Karakteristiklerin Tel Çekme İşlemi Üzerindeki Etkileri*. (Y. Lisans Tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 71 s, İstanbul.
- Baustahlge we be Gmbh Ürün Kataloğu, 1995, Dusseldorf.
- Bitkov, V. (2006). Research of Wire Drawing Under Conditions of Hydrodynamic Friction, *Wireand Cable Technology*, 94-97.
- Beitragen, M., (1969). *Herstellung Von Stahldraht Teil 1*, Dusseldorf.
- Bodur, H., (1975). *Metallere Plastik Şekil Verme Usulleri*, Arpaz Matbaası, İstanbul.
- Brard, D., (1991). *Lubrication – Qualityand Innevation, Wire Industry*, 733-734.
- Çiğdem, M., (1996). *İmal Usulleri. Çağlayan Kitabevi*, 424 s, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Dove, A.,Moritz, J., Smigel, W., (1980). *Steel Wire Handbook*, 372 s, U.S.A.
- Dubar, L.,Dubois, L., Lazzarotto, L., (2001). A Multi – Step Lubricant Evaluation Strategy for Wire Drawing-Extrusion-Cold Heading Sequence. *Elsevier Science B.V.*,24982002, 951-961.
- Element Six Web Sayfası, Erişim: 14 Eylül 2019 <http://www.e6.com/e6/page.jsp?pageid=600406065>
- Koner, S., (1992). *Tungsten Carbide Wire Drawing Dies*, Wire Industry, 350-356.
- McNulty, M., 2006. *Spotlight on Drawing Machines, Wire and Cable Technology*, 54 – 56.
- Özer, Ö., (1993). *Tel Çekme İşlemine Etki Eden Faktörlerin Mekanik ve Teknolojik Olarak İncelenmesi*. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (Y. Lisans Tezi), 76 s, İstanbul
- Özer, Ö.,Yurci, M., (1997). *Tel Çekme İşleminde Matris Açılarının Optimizasyonu ve Sapmaların Belirlenmesi*. İTÜ Makine Fakültesi 1. Makine Mühendisliği Kongresi, 4-6
- Pilarczyk, J. W., (2006). *The Effect of Roller Die Drawing on the Mechanical Properties and Some ASTRO Characteristics of High Carbon Steel Wires*,

- WireIndustry*, 80-93.
- Sönmez, H., (1983), *Ekstrüzyon İşleminde Malzeme Akışı ve Ekstrüzyon Kuvveti Üzerinde İnceleme*. Yıldız Teknik Üniversitesi, (Doktora Tezi), 55 s, İstanbul.
- Thomas Maxwell, (1989), *Technical Paper, Die Design Coupled With Modern Finishing Techniques*
- Tripp, I., 1998. *Health and Safety Concerns for the Wire Drawing Industry, Wire and Cable Technology*, 55-56.
- TS 138, *Çekme Deneyleri (Metalik Malzeme İçin)*. (1978), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Vitanov, D.,Dimitrov, I., Charalanov, A., (1988). Carbide Drawing Dies for Cold Drawing of Formed Sections, *Wireworld*, 78-80.
- Wright, R., (1976). *Practical Use of Mechanical Analysis In Wire Drawing, Wire Technology, England*.
- Li, J.,Umemoto, M., Todaka, Y. &Tsuchiya, K. Nano crystallin estructure for mation in Carbon steel introduced by high speed drilling. *Materials Science and Engineering: A* 435, 383–388 (2006).

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Ekrem ÇELİK
Doğum Tarihi ve Yeri : 07/09/1995 Kadıköy
E-posta : ekrem9595@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2017, Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
- **Yüksek lisans** : 2019, Sakarya Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2017 Sakarya Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünü fakülte birincisi olarak bitirdi.
 - 2017 Ocak itibari ile Çokyaşar Halat A.Ş. firmasında üretim mühendisi olarak çalışıyor.
- 2019 yılında Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi'nde yüksek lisansını tamamlıyor.