

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEL ÇEKME İŞLEMİNE
ETKİ EDEN FAKTÖRLERİN MEKANİK
VE TEKNOLOJİK OLARAK İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAK. MÜH. ÖZCAN ÖZER

TEZ YÖNETİCİSİ : Prof. M. Emin YURCİ

İSTANBUL

1993

İÇİNDEKİLER

SAYFA

- Özet	
- Summary	
1- Tel Çekme	1
1.1 - Tel Endüstrisinin Tarihi	1
1.2 - Tanım ve İşlemin Esasları	4
2- Tel Çekme İşlemine Etki Eden Mekanik Faktörler	5
2.1 - Tel Çekmeye Uygun Malzemeler	5
2.1.1 - Çelik Yapısında Bulunması Mümkün Element- lerin Çekmeye Etkileri	5
2.1.2 - Çelik Tel Çekmede Uygun Bileşim	6
2.1.3 - Demir Olmayan Metalden Teller	7
2.2 - Yüzey Hazırlama	8
2.2.1 - Kimyasal Yüzey Hazırlama	8
2.2.2 - Mekanik Yüzey Hazırlama	9
2.3 - Çekme Matrisleri	10
2.3.1 - Matris Malzemeleri ve İmal Yöntemleri	10
2.3.2 - Matris Profiline Kısımları ve Görevleri	11
2.4 - Çekme Sırasında Kullanılan Sabunlar	16
2.4.1 - Sabunların Görevleri	16
2.4.2 - Sabunların Özellikleri	17
2.4.3 - Sabunların Seçimi	18
2.5 - Çekme Sırasında Oluşan Isı ve Sıcaklık	20
2.6 - Tel Çekmede Tavlama İşlemi	22
2.7 - Tel Çekme Makinaları	26
3- Tel Çekme İşlemine Etki Eden Teknolojik Faktörler	29
3.1 - Akış Tipleri	29
3.2 - Analiz Teknikleri	31
3.2.1 - Üst Sınır Yaklaşımı	33
3.2.1.1 - Hız Alanı ve Teorem	33
3.2.1.2 - İdeal Şekillendirme Gücü	35
3.2.1.3 - Hız Süreksizlikleri ve Sürtünme Kayıpları	36
3.2.1.4 - Uygulanan Gerilmeler	37
3.2.2 - Optimal Matris Açısı	39
3.2.3 - Denge Yaklaşımı	43
3.2.3.1 - Sıfır Sürtünme Durumu	44

3.2.3.2 - Sabit Kayma Faktörüyle Sürtünme	45
4- Tel Çekmede Oluşan Hatalar	47
4.1 - Sıcak Haddelenmeden Gelen Hatalar	47
4.1.1 - Çatlaklar	47
4.1.2 - Örtülenmeler	49
4.1.3 - Yığılmalar	51
4.1.4 - Haddeleme Esnasında Yabancı Maddeler	51
4.1.5 - Kazınmalar	52
4.1.6 - Hadde İzleri	53
4.1.7 - Ateş Çatlağı Geçiş İzleri	53
4.1.8 - Sertlik	54
4.1.9 - Dış Kabuk	55
4.1.10- Çekirdek Ayırma	56
4.1.11- Yüzey Karbonsuzluğu	56
4.1.12- Sert Bölgeler	57
4.2 - İşlemden Gelen Hatalar	58
4.2.1 - Malzeme Akışı Sırasında Oluşan Hatalar	58
4.2.2 - Tavlama İşlemi Sarısında Oluşan Hatalar	61
5- Tel Çekmede Kuvvet Ölçümleri	62
6- Sonuçlar	75

Kaynaklar

Özgeçmiş

Teşekkür

ÖZET

Tel çekme işlemi, plastik şekil verme yöntemleri arasında önemli bir yer tutmaktadır. Verimliliğin arttırılması, kaliteli bir ürün elde edilmesi güç sarfiyatının düşürülmesi ve kullanılabilir malzeme çeşitlerinin arttırılabilmesi için birçok araştırmalar yapılmaktadır.

Bu çalışmamızda tel çekmeye etki eden faktörler teknolojik ve mekanik olarak iki grupta toplanmıştır. Teknolojik faktörler kısmında tel çekmede analiz tekniklerini, optimal matris açılarını ve sürtünme; mekanik faktörler kısmında da tel çekme işlemi ve kullanılan yardımcı malzemeler incelenmiştir.

Deneysel bölümse ise, tel çekmede önemli bir kriter teşkil eden, optimal matris açının tayini için kuvvet ölçümleri yapılmıştır.

SUNMARY

Wire drawing is a very important in plastic deformation processes. A lot of researches have been doing to rise profit, to improve products of quality, to reduce the power that using in manufacture and to rise materials that using in wire drawing process.

In this study, the facts that effectingi the wire drawing process have been reserched. These are technological and mechanical factors. In technological part, analysises of wire drawing technigues, optimal die angles and friction have been researched. In mechanical part, wire drawing process anda auxiliray materials have been researched.

In expremintal part, to determine the optimal die angle that being very important in wire drawing has been dane force measures.

I - TEL ÇEKME

1.1 - TEL ENDÜSTRİSİNİN TARİHİ

Tel, günümüzde hemen her yerde kullanılan, genellikle dairesel kesitli bir mamüldür. Telin en çok kullanıldığı, iletken ve direnç telleri, müzik aletleri ve ambalaj sanayi telleri v.b. gibi alanlar dışında, yay, perçin, çivi, elektrod, zincir, iğne, halat v.b. imalattada yarı mamül olarak değerlendirildiği görülmektedir. Tel olmadan, çağımızın kabul edilen bir çok başarıları tamamen imkansız olacaktır.

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

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

Endüstriye ilk makinalaşmış (Su kuvvetiyle çalışan) tel çekme donatımını getiren, Nuremberg'li Rudolph olmuştur. (1350 yıllarında) Aynı yıllarda İngiltere'de Londra, York, Coventry ve Bristol de bir grup sanatkar, önemli bir ulusal endüstri haline gelmiş olan bu endüstriyi meydana çıkarmışlardır. Yünlü mamüller endüstrisinin gelişmesi, yün taraqları yapmak amacıyla tel imalatını teşvik etmiş ve bu sanat erbabı, Yorkshire gibi yünlü mamüllerin çok olduğu bölgelerde kendi kendilerini teşvik etmiştir ki, bu gün bile bu bölgeler İngiltere'de, çok miktarda tel çekme atölyelerinin bir araya toptandıkları yerlerdir. 16.yy.'ın ortalarına kadar, her ne kadar Rudolph yaklaşık 200 yıl önce su gücü ile çalışan makinasını kurduysa da bununla beraber, İngiltere'de tel çekme, hala el ile yapılır sayılmaktaydı.

1564 yılında Saxony'de tel imalatı konusunda isim yapmış; maharetli tel çekicilerden bir grup kraliçe I. Elizabeth tarafından İngiltere de yerleşip çalışmalarını için davet edilmişlerdir. Bu Alman sanatkarlar Mountshire'da su gücü ile çalışmışlar ve Alman tecrübesinin, bilgi ve mahareti nedeni ile nispeten daha kısa bir zaman zarfında karlı bir

endüstri tesis etmişlerdir. Önceleri Kral IV. Edward'ın himaye politikası Bristol bölgesindeki endüstriyi oldukça himaye etmiş ve tel çekme endüstrisi kadar tel çekicileri de koruyan bir çok kanun vaz edilmiştir. Örneğin, çıraklığa kabul edilebilmek, müracat sahibinin hür olmasına bağlıdır ve çıraklık yedi yıllık çalışma süresiyle sınırlandırılmıştır. Bu sürenin bitiminde, çırak ya hemen ya da haftalıkla bir ustanın emri altında bir kaç yıl kalfa olarak çalıştıktan sonra usta olabilecektir.

Sonraları Bristol bölgesindeki esnaf loncası üyelerini dışarı ile rekabetten korumuştur. Seçilen muhafızlar, esnaf loncasının idari görevlerinden başka, üretilen malların kalitesine nezaret ederler, kusurlu malzemeleri araştırarak resmi olarak el koyarlardı.

Tintern tel mekanizmalarının kurulmasının etkileri tüm dünyada duyulmuştur. İlk olarak atölyelere sahip olan Mineral and Battery Works birliği, demir ve prinç tel üretiminde tekelleşmişlerdi.

İkinci olarak, teknik düşünce ile su gücü ilk defa tel çekmeye tatbik edilmiştir.

İsveç'li Cristopher Polhem haddeler üzerinde kalibreler açmış, fakat kullanım alanında başarılı olamamıştır.

Amarika'da ise atölyeler Philadelphia, Connecticut ve Massechusetta yakınlarında yerleşmişlerdi fakat, 1812'ye kadar bunlar küçük girişimler olarak görünür ki, bu atölyeler 1812 savaşlarının sonrasına kadar Amerikan tekstil endüstrinin yıkılmasını önlemişlerdir. Tel endüstrisi her ne kadar, bu zor yıllarda gümrük vergisinden korunuyor gibi görünüyorsa da ve keza, Treasury'deki Washington'un sekreteri Alexander Hamilton küçük sanayicilerin koruma ve büyütülmesine inanmış fakat, tel mamullerine gümrük konmasına politik nedenlerden dolayı gücü yetmemiştir.

1850'ye kadar spesiyalize edilmiş özel mamulleri oluşturmak için gerekli küçük bir tel talebi mevcuttu. Seguin ilk defa tel'i 1825 yılında

Fransa'da Lyons yakınlarında asma köprü yapımında kullanmıştır. Tel halatların bir çeşidi de 1821 yılında Almanya'da yapılmıştır. Fakat bu halatlar, 1837 yılına kadar tanıtılmamıştır ve halatların gelişmesine boyları kısa olan tellerin fazla miktarda bir araya birleştirilmesi mani olmuştur. İlk tel halat atölyesi Amerika Birleşik Devletlerinde 1840 yılında Roebling tarafından kurulmuştur.

1862'de George Bedson ilk defa sürekli haddelerde çubuk çekilmesini sağlamıştır. Bu muhtemelen tel tarihindeki en önemli gelişmelerden biridir ve şimdi 45 kg. ağırlığında kangallar elde edilebilmektedir. Washburn ve Moen, Bedson haddelerinden bir adedini almışlar ve bunu 1869'da Worcester de tesis etmişlerdir.

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

1870'lerdeki gelişmelerde Garret 70 kg'lık kangalın oluşumunu sağlamış ve endüstri böylece sürekli çekme tezgahlarına hazır hale gelmiştir. İlk sürekli çekme makinalarının 1871 yılında İngiltere ve Almanya'da geliştiği görülmüştür. Sonra Amerika'da patent ofisi kayıtlarında bir kaç şirketin kayıtlarına rastlanmıştır.

Tel çekme matrislerinin, yüksek hıza ve aşınmaya karşı koyacak şekilde imal edilmeleri kaçınılmazdır. Osram ve Krupp şirketleri birbiriyle yakın ilişki kurarak lamba flamanlarının seri imalatçısı olmuşlardır. Matrisler elmas'a benzer bir malzemeden yapılarak ilk defa 1925 yılında Amerika'da işletmeye konulmuştur. 1929'dan beri Amerika'da General Electric, Firth Sterling gibi şirketler halihazırda tungsten karbür matrisler üretmektedirler.

Tel çekme tekniğinde, sürekli ısı işlemlerin uygulanmasına imkan tanıyan, el ile yapılan işlemleri minimuma indiren gelişmelere son 30 yıl içerisinde ulaşılmıştır. Gelecek ne getirecek ve gelecekte daha fazla neler umabiliriz? Tel imalat tarihinin ilk günlerinden itibaren telcilerin başlıca gayeleri olan; endüstride işlemlerin tamamen otomatize olmaya başlamasını daha uzun ve ağır tel kangalların kullanılmasını geliştirmiş kaynak tekniklerini, daha iyi matrisleri ve yüksek metalurjik kaliteyi görebilmekteyiz.

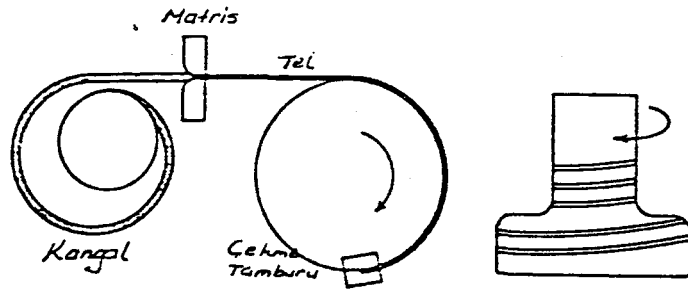
1.2- TANIM VE İŞLEMİN ESASLARI

Plastik şekil verme usullerinden olan haddeleme ile çapı 5-3,5 mm'ye kadar olan telleri imal etmek mümkündür. Ama bundan daha küçük çaptaki teller haddeleme ile istenilen hassasiyetle imal edilemezler. Çünkü tellerin kesiti azaldığında soğuma hızlı olur ve bunun yanında sıcaklıktan dolayı tel yüzeylerinde arzu edilmeyen kav tabakaları oluşur. Ayrıca sıcak şekillendirmeye malzemenin mukavemeti büyük ölçüde düşeceğinden ince kesitli tel kolayca kopacaktır.

Tüm bu nedenlerden dolayı hassas ölçü, iyi yüzey belirli bir mukavemet özelliklerine ancak soğuk şekillendirme olan tel çekme ile ulaşabiliriz.

Tel çekme işlemi sıcak haddelenmiş filmaşın tellerden (8 ± 5.5 mm) başlamaktadır. Filmaşın tel önce matrise zarar vermemesi ve yüzey pürüzlülükleri olmaması için asitle yıkanarak veya mekanik yolla soyulup temizlenmektedir. Kuru çekmede yağlayıcı olarak gres veya sabun tozu, ıslak çekmede ise yağlayıcı sıvı kullanılır.

Tel istenilen çapa getirilinceye kadar, sürekli olarak ardışık matrislerden geçirilir. Metale uygulanan redüksiyona bağlı olarak, ara tavlamalara ihtiyaç duyulmaktadır.



Şekil 1.1

2. TEL ÇEKME İŞLEMİNE ETKİ EDEN MEKANİK FAKTÖRLER

2.1- TEL ÇEKMEYE UYGUN MALZEMELER

2.1.1- ÇELİK YAPISINDA BULUNMASI MÜMKÜN ELEMENTLERİN ÇEKMEYE ETKİLERİ

KARBON (C)

Çelik bünyesine giren alaşım elementlerinin en önemlisi ve en çok etki yapanıdır. Karbon oranının artmasıyla çeliğin sertliği, dayanımı su alma yeteneği artar, buna karşılık sıcakta şekillendirme, uzama, kaynak yapılma, talaşlı işleme yeteneği azalır. Çeliğin rutubete sıcak gazlara karşı korozyon dayanımına herhangi bir etki yapmaz. Genelde C oranı % 0.2 den düşük olan çelikler çekme işlemine uygundur. C oranı arttıkça çekme işlemi sırasında kopma meydana gelir.

MANGANEZ (Mn)

Manganez çeliğin çekme dayanımını, akma sınırını sıcak şekillendirme ve kaynak yapılma yeteneğini yükseltir. % 3'e varan Mn ilavesinde, her % 1 Mn ilavesi için dayanım artışı 10 kg/mm^2 olur. % 3-8 arası Mn ilave edildiğinde, dayanım artışı daha düşüktür. % 8'in üzerinde ise dayanım düşmesine neden olur. Daha yüksek orandaki Mn (% 12-14) Mn östenitik yapı oluşturur ve yüksek orandaki C ile beraber aşınmaya karşı çok dayanım gösteren çelikler elde edilir. Tel çekmede Mn'nın % 0.50 den düşük olması tercih edilir.

SİLİSYUM (Si)

Silisyum, çelik yapısında eser miktarda da olsa her zaman bulunan, çelik üretiminde dezoksidan olarak en çok kullanılan ve birçok çeliklerde alaşım elementi olarak yer alan bir metaloiddir. Alaşım elementi olarak, çelikte sertliği, akma sınırını ve çekme dayanımını yükseltir. Sıcakta tufallaşmayı azaltır, mıknatıslaştırma özelliği gösterir ve % 12'nin üzerinde, sıcakta ve soğukta asitlere dayanımı artırır. Bu nedenle, yaylık çeliklerde, transformatör sacı yapımında ve asitlere dayanıklı döküm ve çeliklerde alaşım elemanı olarak kullanılır.

KÜKÜRT (S)

Hammaddelerde bulunması dolayısıyla üretim sırasında her zaman çelik yapısına geçen, çeliği gevrek ve kıvılcıklı yapan, genelde zararlı ve giderilmesine çalışılan bir elementtir. Çekme sırasında kopma neden olur. Vida teli olarak kullanılacak malzemelerde bulunması çatlaklara sebep olur.

FOSFOR (P)

Üretim sırasında her zaman çelik yapısına giren ve giderilmesine çalışılan genelde zararlı bir elementtir. Yalnız otomat çeliklerinde, talaşları kırılğan yapması ve pik dökümlerde akışkanları arttırması bakımından fosfor oranı normalin üstünde tutulur. Çekmede S gibi istenmeyen bir elementtir.

BAKIR (Cu)

Çeliklerde çekme dayanımını ve akma sınırını yükseltir. Uzamayı azaltır. Sıcakta şekil vermeyi güçleştirir. En karakteristik özelliği az miktarda bulunsa bile, çeliği atmosferik etkilere karşı dayanımını yükseltmesidir.

2.1.2 - ÇELİK TEL ÇEKMEDE UYGUN BİLEŞİM

Çivi ve tel halat için kullanılan tel malzemesi, bahçe teli yada bağlama teli için kullanılanlardan daha kaliteli olmalıdır. Pota çeliği ve daha ucuz olarak elektro-ark ocağı çelikleri bu amaç için yeterlidir. Tomas çeliği ise ancak özel bir kalite istenmeyen tel imalinde kullanılabilir. Çelik tel malzemesi olarak çok düşük oranlardan % 1,6'ya kadar karbon içeren çelikler uygundur. Sonradan sertleştirilerek kullanılan bazı parçalar (örneğin iğneler, delici ve kesici takımlar) için gerekli karbon miktarları daha yüksektir. Beklenen çekme mukavemetine göre çelik halat tellerinde % 0,35-0,90 karbon bulunmalıdır. Dikiş iğnesi için % 0,8-0,9 ve ince testere içinde % 1,0-1,3 karbon içeren takım çelikleri kullanılır.

Tel çekme işlemi için en çok ST 37 kullanılmaktadır. Bu malzemede C miktarı düşük, S ve P'da eser miktarda bulunduğundan soğuk şekil verme işlemi olan tel çekmeye uygunluk gösterir.

ST 37 malzeminin kimyasal bileşimi şöyledir;

<u>% C</u>	<u>% Mn</u>	<u>% Si</u>	<u>% S</u>	<u>% P</u>
0,20	0.20-0.50	0.01	0.050	0.050

Malzeme uygun bir çekme kademelendirmesi yapılacak hangi kademedен sonra tavlama yapılacağı tesbit edilir. Piyasada genellikle 5.50 mm'den 1.80 mm'e 8 kademede indirilir.

Ayrıca ince çaplara indirmek için (0.70 mm gibi) 3.00 mm'de bir ara tavlama yapılır.

ST 37 malzemesi yanı sıra SAE 1010 malzemede çekmeye uygunluk göstermektedir. Bu malzemenin kimyasal bileşimi şöyledir;

<u>% C</u>	<u>% Mn</u>	<u>% Si</u>	<u>% S</u>	<u>% P</u>
0.08±0.13	0.30±0.60	0.10	0.050	0.040

Bu malzeme ST 37'ye göre daha iyi sonuçlar vermektedir. Çünkü içerisindeki C oranı daha az Mn miktarı daha fazladır. Bu da çekmede kolaylık sağlamaktadır.

2.1.3- DEMİR OLMAYAN METALDEN TELLER

Fosfor bronzundan tel imal etmek için, 50 mm çapında ve 2500 mm boyunda dökülmüş kütükler 675 °C'de 5 saat tavllanır. Herhangi bir çekme işleminden önce 8.8 mm çapa kadar haddelenir. Her hadde kademesinden en çok % 15'lik bir deformasyon sağlanmalı ve ara ısıtmasında ön görülme-lidir. Kuru olara bronz tel çekme en az 2.5 mm'ye kadar yapılır. Daha önce teller için ıslak çekme yöntemi ile her kademedede % 20 ve toplam olarak % 94 redoksion elde edilebilir. Islak çekmede kullanılan çekme sıvısı % 7-8'lik su ve yağ emilsiyonudur. Son tavlama 200 °C'de ve mümkünse koruyucu gaz atmosferinde yapılırsa soğuk sertleşme de önlenmiş olur. (K.1)

İnce alüminyum teller (0.12 mm Ø), 20 m/s gibi yüksek çekme hızıyla ve en inci tellerde (0.07 mm Ø) % 10 bor yağı karışımıyla hızlı çekilebilir. Çok ince tellerin çekilmesi için uygulanan, ardışık matrislerden geçirme yöntemi ile elde edilebilecek en ince teller 2 m/s çekme hızıyla 0.01 - 0.0075 mm kadar olabilmektedir. Ancak, bu amaçla kullanılan elmas matrislerin çok pahalı oluşu daha ekonomik yöntemlerin gelişmesini zorunlu kılmıştır. Daha da ince tellerin imalinde bazı özel kimyasal yöntemler uygulanır. Bir banyodan sabit hızla geçirilen tel elektro polisaj yöntemine göre sabit tutulan elektriksel şartlar altında, çok ince ve homojen kesitli olarak elde edilmektedir. İyi sonuç veren bir banyo bileşimi olarak şu reçete verilmektedir. % 85'lik fosforik asitten 125 cm³, 30 cm³ su, % 95'lik etilen alkolden 10 cm³, 50 gr limon asidi, soğuk çekilmiş 0,01 mm çapında ince tel bile elde edilmektedir. Amerika'da geliştirilen bir panent yönteme göre telin ya da çekme

matrisinin çok yüksek frekansta titreşime maruz bırakılmasıyla daha yüksek çekme hızlarında daha iyi sonuç alınabilmektedir. (K.1)

2.2 - YÜZEY HAZIRLAMA

Tel çekme atelyesine haddehaneden gelen teller 5,50-8,00 mm çapında ve 1200-1300 kg ağırlığında kangallar halindedirler. Bu kangalların üzerinde sıcak haddelemeden meydana gelen bir kav tabakası vardır. Bu kav tabakası çekme sırasında yüzeyin bozulmasına, haddelerin aşınmasına neden olur. Saydığımız nedenlerden dolayı bu kav tabakası temizlenmelidir. Kav tabakasının temizlenmesi iki yolla yapılır.

- 1- Kimyasal yüzey temizleme
- 2- Mekaniksel yüzey temizleme

2.2.1- KİMYASAL YÜZEY TEMİZLEME

Tufal giderme; dekapaj adı verilen bir işlemle kimyasal banyolarda yapılır. Kimyasal banyolarda belli oranlarda H_2SO_4 ve HCl'in suyla karışımı bulunur. Filmaşın kangalları; kav tabakasının kalınlığına ve asitlik derecesine göre belli bir süre banyoda tutulur. (30-60 dakika arasında). Bu süreyi kısaltmak için banyoyu 50-60 °C'ye kadar ısıtmak yeterlidir. Kullanılan asitin cinsine göre karıştırılacak su oranı, malzeminin banyoda kalma süresi ve banyonun ısı derecesi değişmektedir. (K.1)

ASİT CİNSİ	% KARIŞTIRILACAK MİKTAR	MALZEMİNİN KANGALDA KALMA SÜ.	BANYONUN ISI DERECE Sİ °C
H_2SO_4	8.....20	20.....40	50 ÷ 90
HCl	8 ÷ 15	20 ÷ 30	15 ÷ 30

Hadde tufal tabakasının malzeminin her tarafında aynı kalınlıkta olmadığı için bazı kısımlarda tufal erken erir ve asit çeliğe etki ederek dekapaj kırılmasını meydana getirebilir. Bu durumu önlemek için banyoya stabilizatör denilen bazı dekapaj katıkları ilave edilir.

Filmaşın kangallar asit banyosuna konurken birbiri üzerine yığılırsa, birbiriyle temasta olan yüzeylerin tufalı temizlenmeyeceğinden malzemeler tarak şeklindeki mesnetlere yerleştirilip üst üste indirilmelidir. Bu mesnetler asidin etkilemeyeceği malzemedir yapılmalıdır. Ayrıca asit banyosu asitten etkilenmeyecek bir malzeme ile yapılmalıdır.

(Krom-Nikel sac veya Polyester).

Asit banyosundan çıkarılan filmaşınların yüzeyine asit yapışmıştır. Bu asitleri temizlemek için filmaşın kangallar basınçlı soğuk su ile yıkanır. Filmaşın kangallar yüzeylerinde esmer bir oksit tabakası meydana gelinceye kadar havada tutulurlar.

Yüzeyde kalan son asit artıklarınının notralize edilmesi ve yüzey paslanmalarına engel olmak için kangallar son olarak sıcak kireç-boraks veya fosfat tuzu banyosuna daldırılırlar. Fosfat banyosu korozyona karşı iyi bir koruyucu tabaka oluşturur. Bu banyonun sıcaklığı yaklaşık 80 °C olmalıdır.

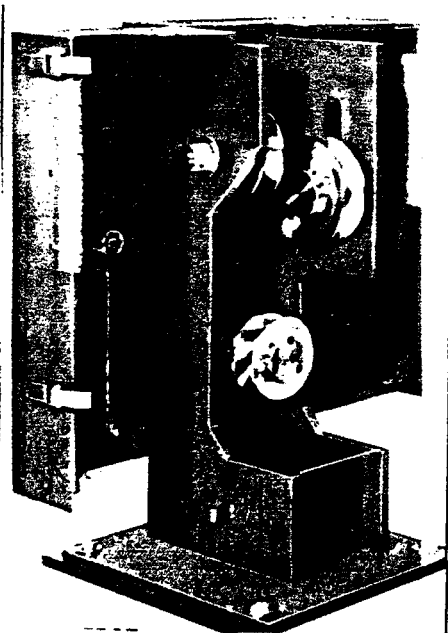
Boraks banyosu biraz pahalı olmasına rağmen dayanıklı ve tutucu bir tabaka meydana getirmesi nedeniyle tercih edilmektedir.

Tüm bu işlemlerden sonra filmaşınlar tekrar su ile durulanır ve 100 °C'ye sahip bir fırında kurutulur. bu şekildeki bir kurutma ile, asit banyosunda çeliğin yüzeyine yayılmış olan hidrojen giderilerek kırılabilirliğin meydana gelmesi önlenmiş olur.

2.2.2- MEKANİK YÜZEY HAZIRLAMA

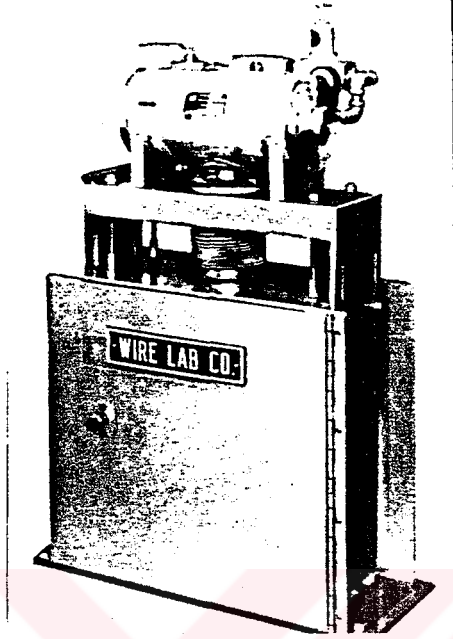
Çevre sağlığının gündemde olduğu dönemimizde artık asit banyoları yavaş yavaş tarihe karışmaktadır. Bunların yerine mekanik yollarla yüzey temizleme almaktadır. Mekanik olarak yüzey temizlemenin birkaç değişik yolu vardır.

1- Sıra makaralar yardımıyla ard arda yönü değiştirerek bükülmeye marız kalan tellerden tufal dökülebilir. Bu yön değiştirme işlemide birkaç şekilde yapılabilir.



Şekil 2.1- Makaralarla mekanik yüzey hazırlama.

2- Basınçlı sıvı püskürtme yoluyla, telin üzerindeki oksit tabakası giderilir.



Şekil 2.2- Basınçlı sıvı ile tufal tabakasının temizlenmesi.

3- Alternatif akım ile meydana getirilen manyetik alan içindeki indüksiyon akımları, tel üzerinde farklı genleşmelere neden olur ve bu yüzden oksid tabakası ufalanarak dökülür. Bu arada tel ısınmadığı gibi elektrik de iletmez.

2.3 - ÇEKME MATRİSLERİ

2.3.1 - MATRİS MALZEMELERİ VE İMAL YÖNTEMLERİ

Tel çekme işleminde belli bir mukavemeti ve sertliği olan çelik malzeme matristen geçirilmek suretiyle istenilen çapa düşürülür.

Matris malzemesi olarak tungsten karbür kullanılır. Ancak, matris yapımında bağlayıcı eleman olarak da belirli bir oranda kobalt kullanılmaktadır. Matris çekirdeği, tungsten karbür ve kobaltı toz halde belirli oranlarda karıştırmak ve daha sonra vakum altında yüksek sıcaklıkta sinterlemek suretiyle imal edilir.

Tungsten karbürün, matris yapımı için en uygun malzeme olmasını sağlayan özelliklerini ise kısaca şöyle özetleyebiliriz; Sertliği, yoğunluğu ve basma mukavemeti sertleştirilmiş çeliklerden bile daha yüksektir. Genleşme katsayısı ise çeliğin yarısı kadardır, dolayısıyla tel

çekme işlemi sırasında varılan yüksek sıcaklıklarda matris deforme olmaz. Ayrıca, tungsten karbürün cüruf tozu gibi yabancı maddelerin aşındırmasına karşı dayanımı oldukça yüksektir ve bunun muhtelif tecrübelerde çeliklerin 50 katına çıktığı gözlenmiştir. Tungsten karbürün yüzeyini çok yüksek bir hassasiyette işleminin mümkün olduğunuda unutmamak gerekir. Bu özelliklerden dolayı da matris ömrü uzar ve telin çizilme riski azalır.

Matris imalatının ilk aşaması, tungsten karbür ve kobaltı toz halde belirli oranlarda karıştırmaktır. Bu oranları değiştirirler, farklı özelliklerde malzemeler elde etmek mümkündür.

Daha sonra bu karışım istenilen şekli alacak biçimde sıkıştırılır ve tebişir kıvamında bir çekirdek elde edene kadar ısıtılır. Tungsten karbür, bu haldeyken arzu edilen ölçülere tornalanabilir, taşlanabilir veya delinebilir.

Son işlem olarak da, çekirdekler vakumla (veya hidrofın atmosferinde) 1350 °C ila 1500 °C'ye kadar sinterlenirler. Sinterleme esnasında çekirdeklerde ölçüsel olarak % 15-20 civarında bir çekme olur ve çekirdekler oldukça sıkı, sert ve homojen bir malzeme haline gelirler.

Sinterlemeden sonra çekirdekleri taşıyarak veya parlatarak, hassas toleranslar içerisinde kontrol edilebilen oldukça pürüzsüz yüzeyler elde etmek mümkündür.

2.3.2 - MATRİS PROFİLİNİN KISIMLARI VE GÖREVLERİ

Bir matris, esas itibariyle beş ayrı kısımdan oluşur ve bunların hepsinin görevleri farklıdır. Bu kısımları teli matris içerisinde ilerleyiş sırasına göre şöyle sıralayabiliriz.

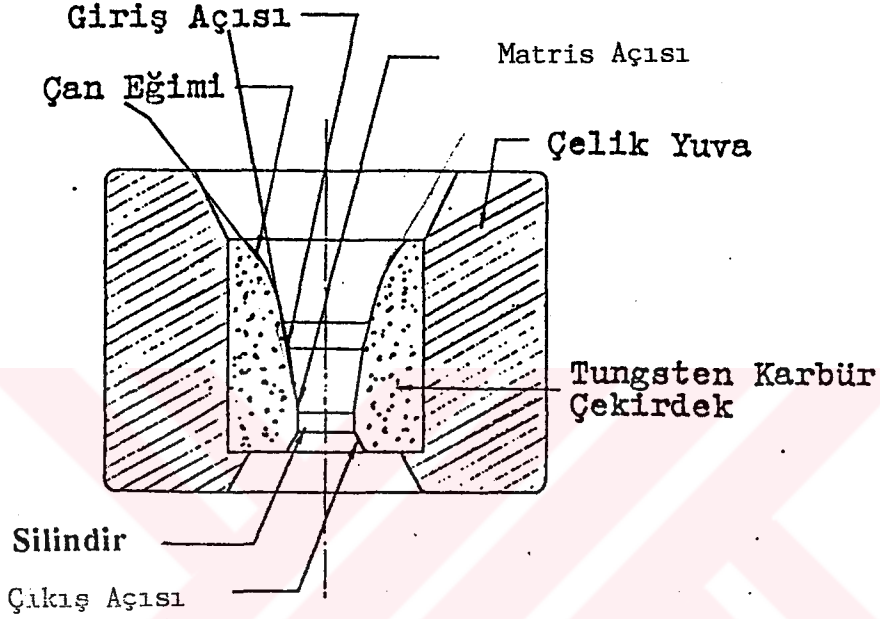
- 1- Çan eğimi
- 2- Giriş açısı
- 3- Matris açısı
- 4- Kavrama
- 5- Çıkış açısı

Şekil 2.3'de gösterilmekte olan bu kısımların görevleri ise kısaca şöyle özetlenebilir;

1- ÇAN EĞİMİ : Gelen teli matrise doğrusal olarak girmemesi halinde telin yönlendirilmesini sağlar. Tel, matris açısı kısmında ortalan-

madan önce, bu yüzeyle sadece bir anlık temas eder.

2- GİRİŞ AÇISI : Sabun akışının matris açısı kısmına doğru yönlendirilmesini sağlar. Telin doğrudan kangaldan beslenmesi durumu hariç matrise giren tel giriş açısıyla hiç temas etmeden matris açısına yöneltilmelidir.

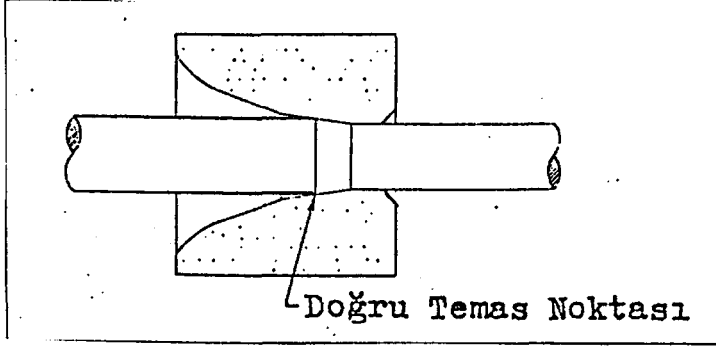


Şekil 2.3 - Matris dizaynı.

3- MATRİS AÇISI : Matrisin en önemli kısmıdır. Telin çapını düşürme işlemi ve sabunun sıkıştırılarak telin dış yüzeyine sıvanması burada gerçekleşir. Herhangi bir haddenin verimi, bu kısmın dizaynının doğru luğuna ve yüzey işleme hassasiyetine bağlıdır.

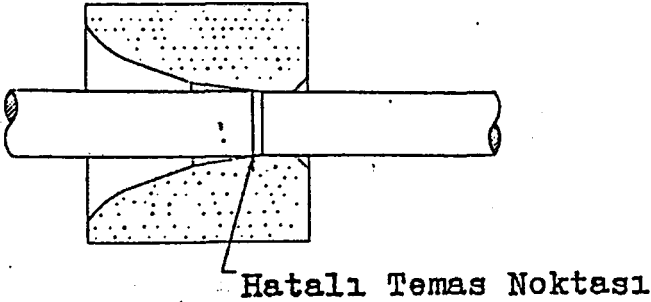
Matris açısının doğru seçimi, çekilecek malzemenin mukavemetinden (Karbon oranından) ziyade, matris başına düşen paso miktarına bağlıdır. Ancak telin nihai kullanımına göre, her tel çekme işleminin farklı özellikleri olduğunda unutmamak gerekir. Örneğin; düşük karbonlu çeliğin (Piyasada devamlı kullanılan ST-37'de bu gruba girmektedir.) çekilmesi için 16'lık bir matris açısı standart olarak tüm dünyada kabul edilmektedir. Nihai olarak kaplama işlemine tabii tutulacak telde mümkün olduğunca parlak bir yüzey arzu edildiğinden üzerinde çok ince bir sabun tabakası kalmalıdır. Çivi, vida veya civata yapımında kullanılacak telde ise kalın bir sabun tabakası kalması arzu edilir.

Yukarıda örneklerde tüm durumlarda aynı hammadde kullanılsa dahi, herbiri için matris açıları farklı matrisler gerekmektedir. Matris açısının doğru seçimi tel çekme veriminin yükselmesini ve matris ümrünün uzamasını sağlar.



Şekil 2.4 - Doğru temas noktası.

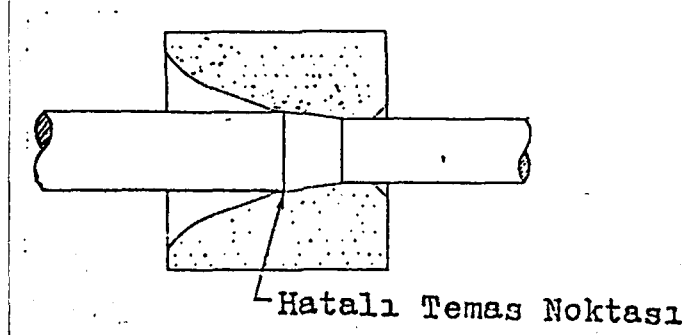
Matris açısının seçiminde en önemli etkenlerden biriside "Temas Noktası" dır. Matrisde verilen pasoya bağlı olarak, tel matris açısı kısmının ortasında (veya mümkün olduğu kadar ortaya yakın bir noktada) matris civarıyla temas etmelidir. Böylece; yeterli sabun akışı için gerekli basıncın oluşmasına ve telin mümkün olduğunca geniş bir yüzey üzerinde deforme edilmesi sağlanır. Şekil 2.4'de gösterilen temas noktası doğru seçilmiş bir matris açısının sonucudur.



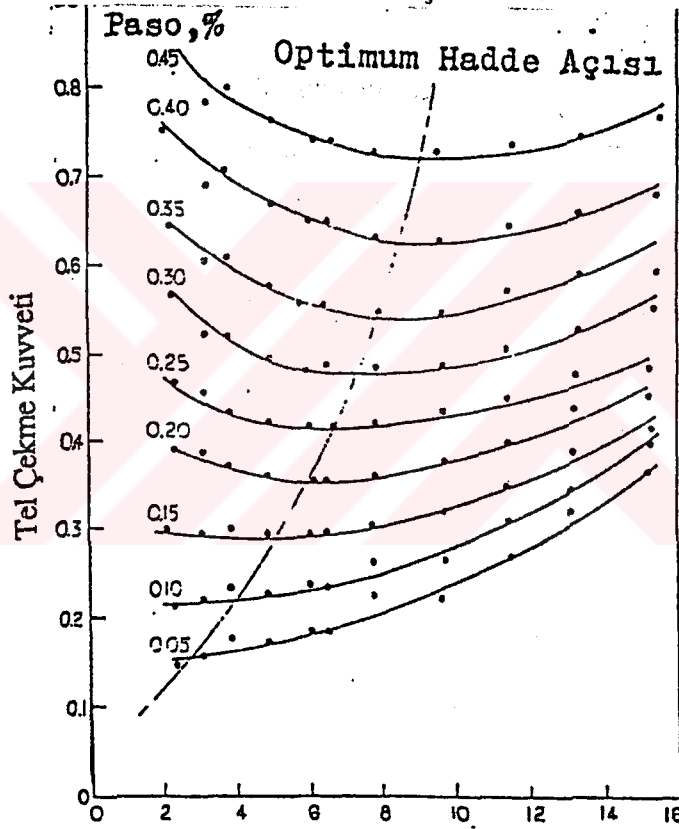
Şekil 2.5.

Şekil 2.5'de matris açısı hafif bir paso için çok büyük seçilmiştir ve böylece telin deforme edilmesi çok kısa bir yüzey üzerinde gerçekleşmektedir. Bunun sonucu olarak matris kısa sürede büyür.

Şekil 2.6 ise büyükçe bir paso için küçük seçilmiş bir matris açısını göstermektedir. Burada tel, matris cidarına çok erken temas etmekte ve sabun akışı için yeterli basıncın oluşmasına izin vermemektedir. Bunun sonucu da yine matris ömrünün kısalmasıdır.



Şekil 2.6.

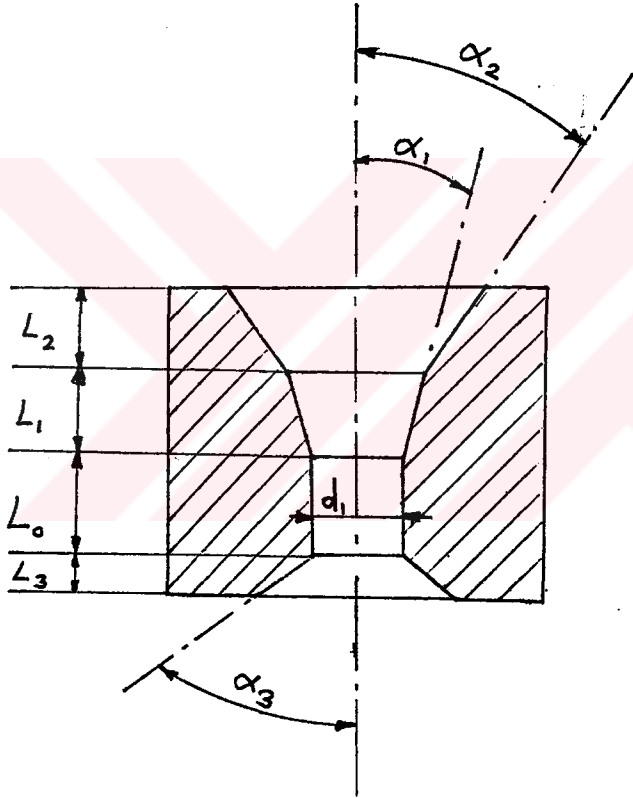


Şekil 2.7.

Matris açısı ile tel çekme için gerekli kuvvet arasında yakın bir ilişki vardır. Şekil 2.7'de dikey eksen tel çekme kuvveti, yatay eksen ise matris yarı açısı verilmiştir. Paso değerleri ise eğriler halinde gösterilmiştir. Görüldüğü gibi, herhangi bir paso için gerekli kuvveti en aza indiren optimum bir matris açısı vardır. Bu açının altında veya üstündeki değerlerde, gerekli kuvvet büyümektedir. Örneğin % 35'lik bir pasoda en az kuvvet gerektiren matris yarı açısı değeri 8 dir ve yaklaşık olarak 0.54 birimdir. Oysa ayrı pasoda 4' veya 14'lik yarı açı kullanıldığında gerekli kuvvet 0.6 birime yükselmektedir ki bu da motorun daha çok zorlanması demektir.

4- KAVRAMA : Çekilmiş telin çapının son kontrolünü yapar. Bundan amaçlanan telin yuvarlaklığının, doğruluğunun ve yüzey kalitesinin garantiye alınmasıdır. Dolayısıyla, kavrama kısmında matris yüzeyinin çok hassas olarak işlenmiş olması gerekmektedir. Matrisin normalden daha hızlı aşınarak büyümesini önlemek için, bu kısmın uzunluğu genellikle matris çapının % 35'i ile % 150'si arasında tutulur.

5- ÇIKIŞ AÇISI : Bu kısmın şekli konik olup, görevi matrisin çıkış tarafını kuvvetlendirmek ve matris çekirdeğinin kırılmasını önlemektir. Ayrıca teli deforme eden kısmın, matris çekirdeğinin bütünüyle ortak merkezde kalmasına yardımcı olur.



d_1 = Tel Çıkış Çapı	$L_0 = 0.60 d_1$
$\alpha_1 = 7^\circ - 8^\circ$	$L_1 = 0.80 d_1$
$\alpha_2 = 15^\circ - 16^\circ$	$L_2 \geq d_1$
$\alpha_3 = 30^\circ$	$L_3 \geq 0.5 d_1$

Şekil 2.8- Piyasada kullanılan matris çekirdeği açıları ve boyları.

telde mümkün olduğunca kalın bir sabun tabakası kalması arzu edilirken, daha sonra kaplama işlemine tabi tutulacak telin mümkün olduğunca parlak ve temiz olması istenir. Dalayısıyla, her ürün içi tel çekme işleminden sonra telin üzerinde farklı bileşimde ve miktarda bir sabun tabakası oluşması arzu edilir. Bir başka deyişle, hadda sabununun görevlerinden birisi de, teli çekildikten sonra tabi tutulacağı işlere hazırlamaktır.

2.4.2 - SABUNLARIN ÖZELLİKLERİ

Sabun, bir yağ asidinin alkali ile reaksiyona girmesi sonucu elde edilir. Sabunlar tel çekme sırasında hadde içerisinde meydana gelen yüksek basınca, sıcaklığa ve kayma gerilimine dayanabilecek özellikte olmalıdırlar.

Hadde sabunları esas itibariyle üç ana gruba ayrılır. Bunların isimlerini ve özelliklerini şöyle özetleyebiliriz;

A- KALSİYUM SABUNLARI : Suda çözünmezler, saf halde yumuşama sıcaklıkları 145-165 °C arasındadır ve düşük tel çekme hızların, özellikle hiç çekilmemiş olan filmaşine verilecek ilk pasolarda kullanılır.

B- SODYUM BAZLI SABUNLAR : Suda çözünürler, saf haldeki yumuşama sıcaklıkları 140 °C ila 160 °C arasındadır. Genellikle yüksek tel çekme hızlarında veya telin temiz olmasının ve yüzey şartlarının önem taşıdığı durumlarda kullanılır.

C- ALÜMİNYUM BAZLI SABUNLAR : Bunlarda suda çözünmezler ve saf haldeki yumuşama sıcaklıkları 140 °C ila 160 °C arasındadır. Bu sabunlar özellikle vida, civata yapımında kullanılacak telin çekilmesi için uygundur.

Herhangi bir hadde sabununun nihai özelliklerini belirleyen belli başlı faktörler vardır. Bunların üzerinde kısaca duralım : Birinci faktör, sabun yapımında kullanılan baz malzemedir. Bunları yukarıda kalsiyum, sodyum ve alüminyum olarak saymıştık.

İkinci faktör, kullanılan yağın cinsidir. Bu faktörler, sabunun yumuşama noktasını belirler. Yağların cinslerine göre yumuşama sıcaklıkları 40 °C ila 60 °C arasındadır.

Üçüncü faktör, kullanılan yağın miktarıdır. Sabundaki yağ miktarı yükseldikçe çekmeden sonra telin üzerinde daha ince bir sabun tabakası

kalır. Genel olarak, tel çekme sırasında meydana gelen ısının etkilerini telafi edebilmek için yağ miktarı artırılır. Dolayısıyla, yüksek karbonlu çeliğin çekilmesinde düşük karbonlu olanlara göre yağ miktarı daha fazla olan sabunlar kullanılır.

Dördüncü faktör, katkı maddeleridir. Sabundan beklenen özelliklere göre, muhtelif minareller katkı maddesi olarak sabuna ilave edilebilir. Böylece sabunun yumuşama noktasını, sabun tabakası kalınlığını ve sıvanma yeteneğini değiştirmek mümkündür. En sık kullanılan katkı maddeleri kireç, kalsiyum karbonat, sodyum karbonat ve borakstır. Örneğin kireç, sabun tabakasının kalınlığını belirler. Yapılan araştırmalar sabundaki kireç oranı % 75 civarında iken, sabun tabakasının en kalın haline ulaştığını göstermiştir. (Sabun tabakasının yeterince kalın olmaması, doğal olarak hadde ömrünü kısaltır.) Kireç oranının % 30'un altına inmesi durumunda ise, sabun tabakası daha da inceleşmektedir.

Beşinci faktör, imalat yöntemidir. Aynı malzemeleri farklı proseslerden geçirerek, tamamen farklı iki ürün elde etmek mümkündür.

Altıncı ve son faktör ise, tanecik büyüklüğü, şekli ve büyüklük dağılımıdır. Bu faktörler sabunun, sabun kutusu içerisindeki hareketini ve hadde içine doğru akışını belirler. Genellikle küçük taneciklerden oluşan bir sabun hadde içine doğru daha kolay akar ancak, taneciklerin fazla küçük olması da sabunun kalıplaşmasına yol açabilir.

2.4.3 - SABUN SEÇİMİ

Belli bir tel çekme işlemi için sabun seçerken dikkate alınması gereken bazı noktalar vardır. Bunların üzerinde sırayla duralım : En önemli noktalardan biri, çekilecek olan telin malzemesidir. Düşük karbonlu ve yüksek karbonlu çeliklerin çekilmesi için oldukça farklı sabunlar kullanılabilir.

Bir diğer nokta, yüzey hazırlamadır. Mekanik kırmadan geçirilmiş tel ile, asit banyosunda temizlenmiş ve daha sonra sabun taşıyıcı bir maddeyle kaplanmış tel, çekilme arasında farklı özellikler gösterir. Her iki durumdaki tel için geliştirilmiş ayrı ayrı sabunlar vardır. Genel olarak, bükerek kırma ile yüzeyi temizlenmiş bir telde fosfat, boraks gibi sabun taşıyıcı bir ortamın yokluğunu telafi edebilmek için kalınca bir tabaka oluşturabilecek sabunlar tercih edilmelidir.

Tel çekme süresince telin toplam kaç haddeden geçtiği ve kullanılan makinanın durumu da dikkate alınmalıdır. Toplam hadde sayısı, tel çekme

süresince ne kadar ısıнын ortaya çıkacağını belirler. Kullanılan makinalarda ne tip soğutma (su/hava) olduğu da bilinmelidir.

Dikkate alınması gereken bir diğer nokta ise, tel çekme hızıdır. Dakikada 300 metre tel çekebilmek için gerekli olan sabunla, 1200 metre tel çekebilmek için gerekli olan sabun farklıdır. 1200 m/dk hızda çok iyi iş gören bir sabun 300 m/dk hızda erimeyebilir ve hadde içerisine yeterli miktarda akmayabilir.

Kullanılan haddenin dizaynı da sabun seçiminde dikkate alınmalıdır. Son olarak da seçilen sabunun telin nihai kullanımına uygun olması gerektiği unutulmamalıdır. Örneğin inşaat çivisi yapımında kullanılacak telde orta kalınlıkta, kaplama işlemine tabi tutulacak telde ise çok ince bir sabun tabakası kalması arzu edilir. Farklı koşullar için sabun seçimine bazı örnekler, Tablo 1'de gösterilmiştir.

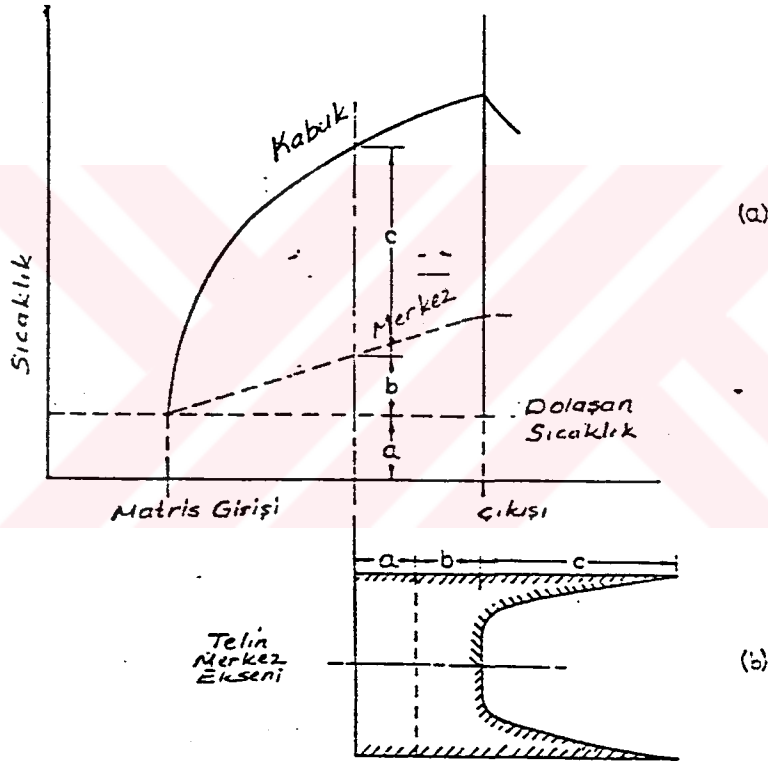
MALZEME	YÜZEY HAZIRLAMA	TEL ÇEKME HIZI	TOPLAM HADDE SAYISI	NİHAİ KULLANIM	TAVSİYE EDİLEN SABUN
DÜŞÜK KARBONLU ÇELİK	MEKANİK KIRMA	450 m/dk'dan	1 İLA 3	İNŞAAT ÇİVİSİ TEL ÖRGÜ	1- YAĞ ORANI DÜŞÜK, YUMUŞAMA SICAKLIĞI ORTA DEĞERLERDE OLAN KALSİYUM SABUNU 2- MAKİNANIN ESKİ OLMASI, MALZEMENİN KÖTÜ KALİTE OLMASI HALİNDE BASINÇ YÜKSELTİCİ BAZI KATKI MADDELERİ KULLANILABİLİR. YAĞ ORANI DÜŞÜK VEYA ORTA, YUMUŞAMA SICAKLIĞI YÜKSEK KALSİYUM SABUNU
DÜŞÜK KARBONLU ÇELİK	MEKANİK KIRMA	450 - 1350 m/dk ARASI	3 İLA 8	ÇİVİ, ÇOK İNCE TEL ÖRGÜSÜ	KAPLANACAK TEL İÇİN: SONYUM BAZLI SABUN KALIN SABUN TABAKASI GEREKİYORSA: YAĞ ORANI DÜŞÜK, YUMUŞAMA SICAKLIĞI ORTA DEĞERDE, KALSİYUM SABUNU İNCE SABUN TABAKASI GEREKİYORSA: YAĞ ORANI YÜKSEK, YUMUŞAMA SICAKLIĞI ORTA DEĞERDE KALSİYUM SABUNU
DÜŞÜK KARBONLU ÇELİK	ASİTLE TEMİZLENMİŞ, SABUN TAŞIYICILYLA KAPLANMIŞ	300 - 1500 m/dk ARASI	2 İLA 8	YAN SÜTUNDA VERİLMİŞTİR.	ALÜMİNYUM STEARATLI SABUN
MUHTELİF METALLER	ASİTLE TEMİZLENMİŞ, SABUN TAŞIYICILYLA KAPLANMIŞ	YAVAŞ	1	VİDA, CIVATA	YAĞ ORANI ORTA, YUMUŞAMA SICAKLIĞI YÜKSEK, KALSİYUM SABUNU
YÜKSEK KARBONLU ÇELİK	MEKANİK KIRMA	600 m/dk'DAN AZ	BİRDEN FAZLA	YAY	A- 600 m/dk VEYA DAHA DÜŞÜK HIZLARDA İLK PASO İÇİN: YAĞ ORANI YÜKSEK, YUMUŞAMA SICAKLIĞI ORTA DEĞERLERDE OLAN KALSİYUM SABUNU B- 300-1200 m/dk ARASI HIZLARDA MÜTEAKİP KAFALARDA ÇEKMEK İÇİN: YAĞ ORANI YÜKSEK, YUMUŞAMA SICAKLIĞI ORTA VEYA YÜKSEK OLAN SODYUM BAZLI SABUN
YÜKSEK KARBONLU ÇELİK	ASİTLE TEMİZLENMİŞ SABUN TAŞIYICILYLA	MUHTELİF	BİRDEN FAZLA	YAY, ÇELİK HALAT	

TABLO - 1

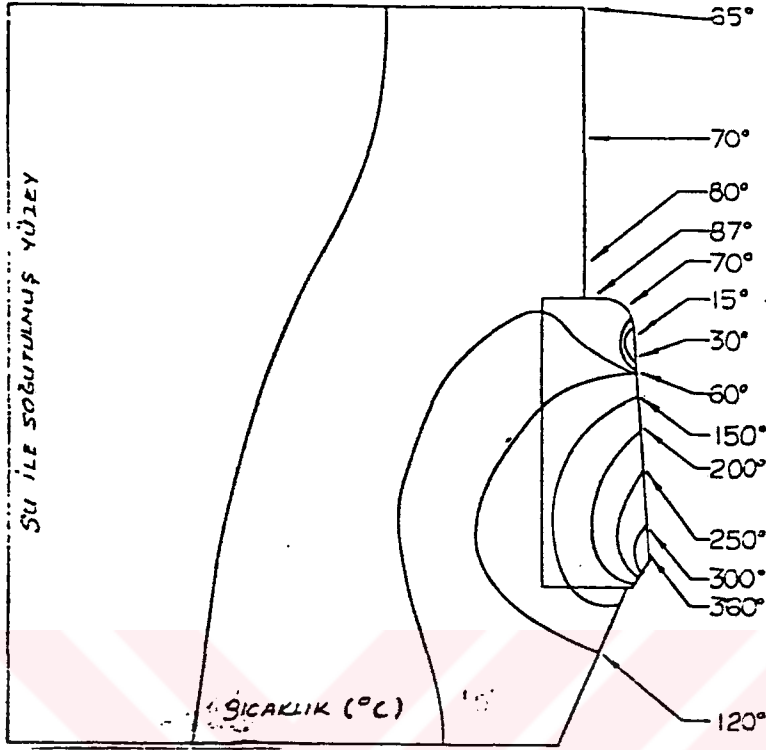
(K.1)

2.5 - ÇEKME SIRASINDA OLUŞAN ISI VE SICAKLIK

Tel çekme işlemi sırasında, şekil değiştirme ve sürtünme her ikisi birden ısı kaynağı rolü oynar. Çok yüksek çekme hızlarında bu ısı milisaniyelik bir zaman periyodunda ortaya çıkar. Bu nedenle ısı, yüksek sıcaklıklar ve matrisesi dik sıcaklık gradyanları ile hesaplanmalıdır. Şekil değiştiren telin içindeki sıcaklık dağılımı şekil 2.9'da gösterilmiştir. Tel eksenı boyunca ve tel kesitinde dik sıcaklık gradyanları ile karşılaşılmıştır. 7 m/s'lik bir çekme hızı için matristedeki sıcaklık dağılımı Şekil 2.10'da gösterilmiştir.

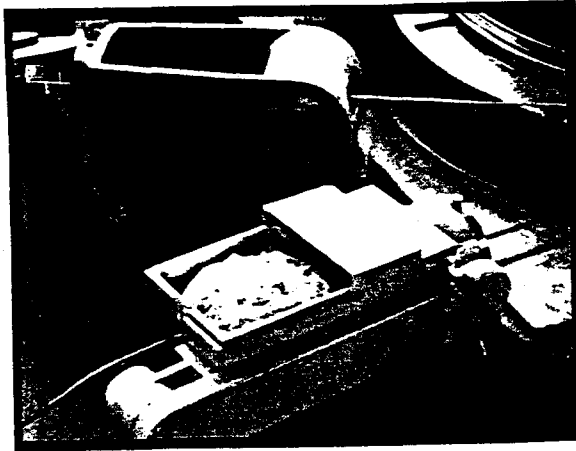


Şekil 2.9 - Sıcaklık dağılımı : a) Tel boyunca b) Tel kesidinde



Şekil 2.10 - 7 m/s de matriste sıcaklık dağılımı.

Matrisin su ile soğutulmasıyla telde ortaya çıkan ısının yaklaşık % 5'inin yok edilebildiği hesaplanmış ve deneysel olarak ispatlanmıştır. Bununla beraber, matrisin suyla soğutulması karbür ve çeliğin kat sayı- larındaki farklılıktan dolayı hasar görmesi açısından olumlu bir etki yapar

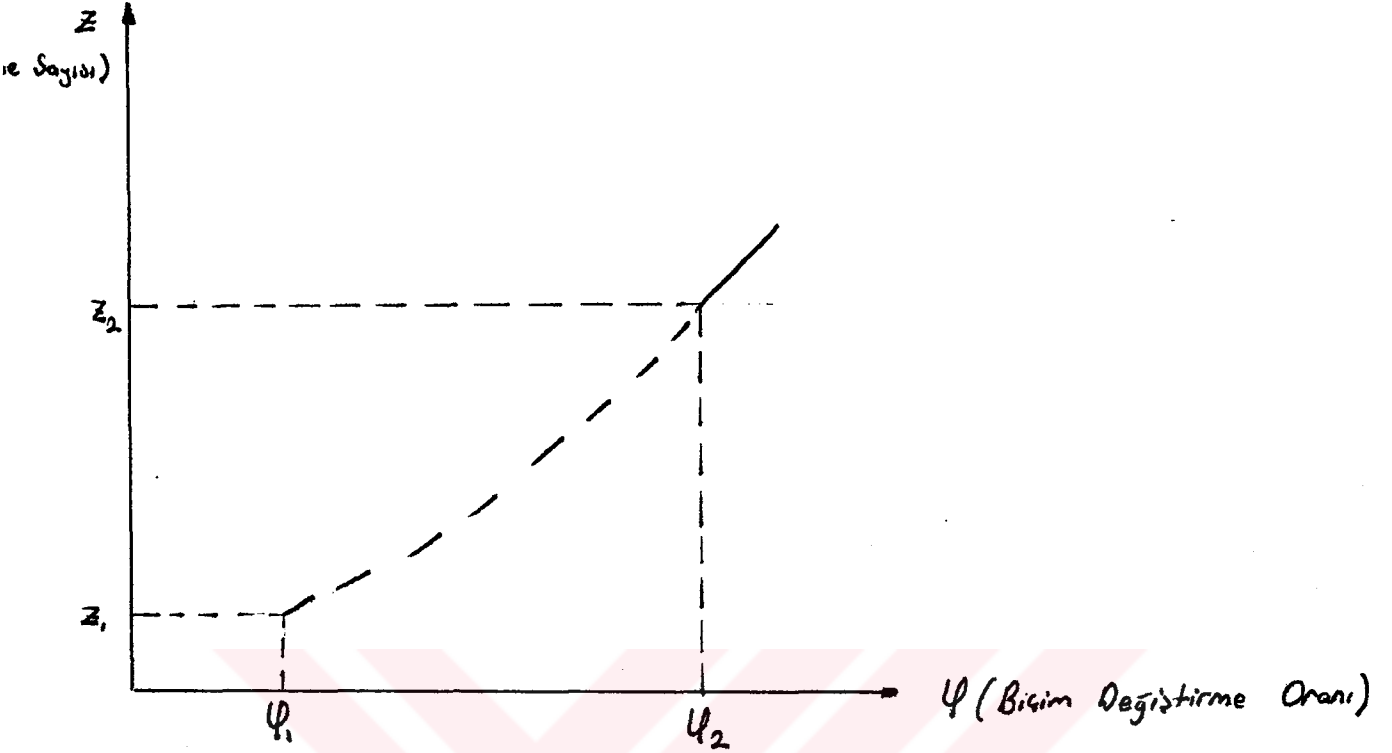


Şekil 2.11 - Su ile hadde soğutma.

2.6 - TEL ÇEKMEDE TAVLAMA İŞLEMİ

Plastik deformasyona uğrayan metalsel bir malzemede biçim değiştirme eğer soğuk da yapılmışsa, malzemenin makro şekil değiştirmesi her bir kristalinin tek tek kuvvet etkime yönündeki biçim değişimlerinin toplamına eşittir. Tek bir kristal göz önüne alınırsa, zorlama biçimi ne olursa olsun, kristalin göbek bölgesi en düşük oranda, kristal sınır bölgeleri ise en yüksek oranda biçim değiştirir; dolayısıyla biçim değişimi malzeme kesiti boyunca, dahası kristal kesiti boyunca homojen değildir.

Metalsel malzemelerdeki biçim değiştirme mekanizması dislokasyon adı verilen düzlemsel hataların malzeme içinde akmasına bağlıdır. Soğukta biçim verme sırasında, biçim değiştirmeye katkıda bulunan her bir dislokasyon aynı zamanda bir dislokasyon kaynağı rolü oynayarak, dış uyarı kuvvetinin etkimesi süresince yeni yeni dislokasyonlar üretilir. Bilindiği gibi kafes ve düzlem hatalarının bulunduğu bölgeler yüksek serbest enejili bölgeler durumuna gelir. O halde yukarıdaki açıklamalara göre kristal sınır bölgelerinden başlayarak giderek yüksel serbest enerjili bir duruma gelir. Bu bölgeler kararlılıklarını yitirmiş, yarı kararlı bölgelerdir. Belli düzeydeki bir ısı enerjili bu bölgelerde atomların yerlerinden sökülerek yeniden kusursuz kafes oluşturmak üzere harekete geçmesini sağlar. O halde metalsel malzemede serbest enerjisi yüksek nedenli çok bölge bulunursa o denli çok sayıda kusursuz kafes bölgeleri oluşturulabilir. İşte bu kafes bölgeleri yeni bir kristalin çekirdeği görevini üstlenirler. Isı enerjisi verildiği sürece atomlar bu çekirdek bölgeler etrafına gelip yerleşerek bu bölgeleri geliştirirler. Bölgeler temas haline geldiğinde yeniden kristalleşme tamamlanmış olur

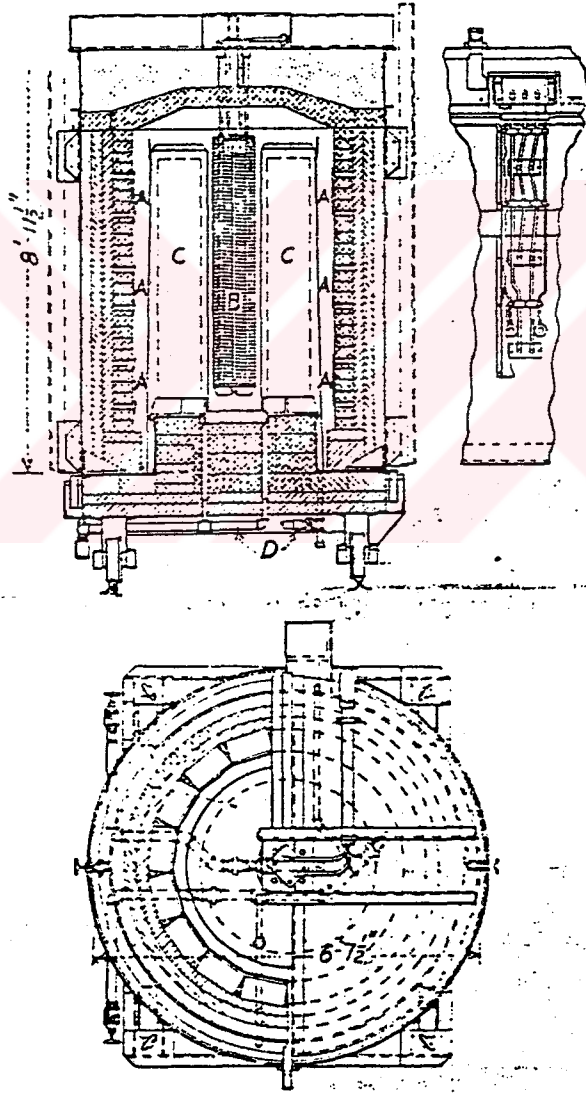


Şekil 2.12.

Görülüyorki yeniden kristalleşmenin başlayabilmesi için yüksek serbest enerjili bölgelerin bulunması gerekli koşuldur. Ne varki alt biçim değiştirme oranı adı verilen eşik bir değer altında kaldığı sürece, tav sıcaklığı ne denli yüksek ve tav süresi ne denli uzun tutulursa tutulsun yeniden kristalleşme başlamaz. Çünkü çekirdek oluşumu için gerekli kararsız bölgeler heniz yoktur. Kuramsal olarak yeniden kristalleşme ψ_1 sınırında başlar ve tek bir kristal oluşur. Bu değer ile ψ_2 sınırları arasındaki bölgede ise işlem sonu tane adedi orjinaldekenden küçük olduğu için metelsel malzemeye düşük bir mukavemet verir. Bu bölgede yapılan işlemin tek yararı yalnızca işlem sonunda kristallerin küreselleşmiş olmasıdır. ψ_2 eşik değerinde ise yeniden kristalleşme olayında beklenen oluşum başlar. İşlem sonunda kristal geometrisi bir taraftan küreleşmiş olur. Diğer taraftan tane adedi orjinaldekenden yüksek olduğundan mukavemet değerleri yükselmiş olur. O halde anlamlı çalışma bölgesi yukarıdaki diyagrama göre ψ_2 eşik değerinin üzerindeki biçim değiştirme oranlarıdır.

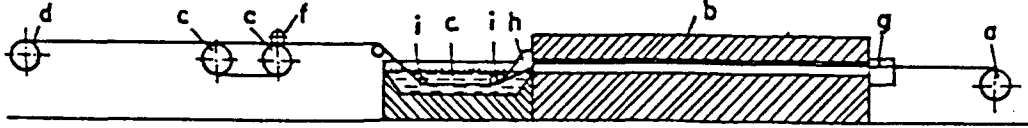
Tel çekmede ara tavlamanın önemi çok büyüktür. Bu tavlamanın telde yeniden oksitlenme olmaması için nötr atmosferli (serbest oksijen ihtiva etmeyen fırın) fırında yapılması ve yine aynı atmosfere haiz bir ortamda soğutulması gerekir. Tavlama potalı fırınlarda 4-8 saat 750' - 800 °C de tutularak yapılır. Bu amaçla, özel olarak hazırlanmış üç boyutlu grafiklerin kullanılması gerekir.

Tavlama fırınları, katı, sıvı ve gaz yakıtlar ile ısınır. Son zamanlarda en çok kullanılan elektrikli tav fırınları da yapılmıştır. Bu fırınlarda ısı kontrol altındadır ve fırın atmosferi nötrdür. Tavlama için gerekli olan ısı ve süre kolaylıkla ayarlanabilir.



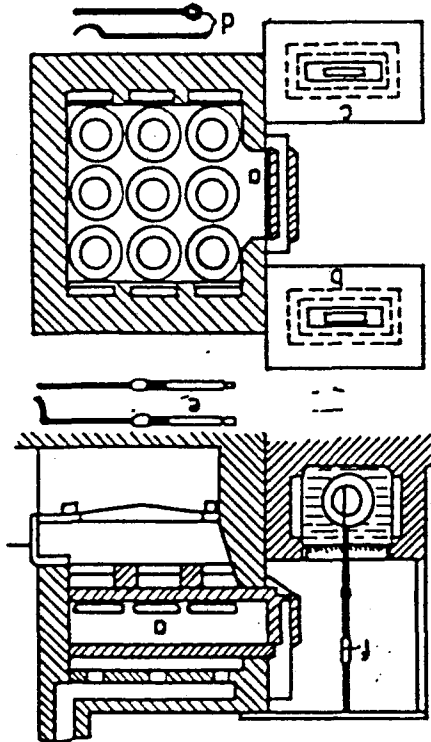
Şekil 2.13 - Çan tipi elektrikli fırın.

Patentleme denilen bir çelik tel ısıl işleminde, A_3 noktası üzerinde (850-1100 °C) tavlama sonra malzeme, 400-550 °C daki kurşun ya da hava patentlemesi denir. Şekil 2.14 ve Şekil 2.15'de iki türlü patentleme ısıl işlemi için tav fırınları görülmektedir. Hava patentlemesinde iri taneli iç çapı ve yüzeyde az miktarda karbon kaybı meydana gelir.



Şekil 2.14

Fırından çıkan tel kangallar hemen sıcak kum içine gömülerek çok yavaş soğuma sağlanır. Tellerin sertleşmesi ve ishali için özel sürekli geçiş fırınlarında, karbon miktarına göre 750-900 °C'da tavlanan malzeme yağda ya da suda sertleştirilir. Bu işlemden sonra aynı fırın içinde sıcak bölümlerden geçirilen teller temperlenerek ıslah edilmiş iç yapı elde edilir. Sert teller fırça ve iğne gibi parçaların imalinde kullanılmaktadır. Sübap yayları gibi parçalar ise şekillendirildikten sonra sertleştirme ısıl işlemine tabi tutulmaktadır.



Şekil 2.15.

2.7 - TEL ÇEKME MAKİNALARI

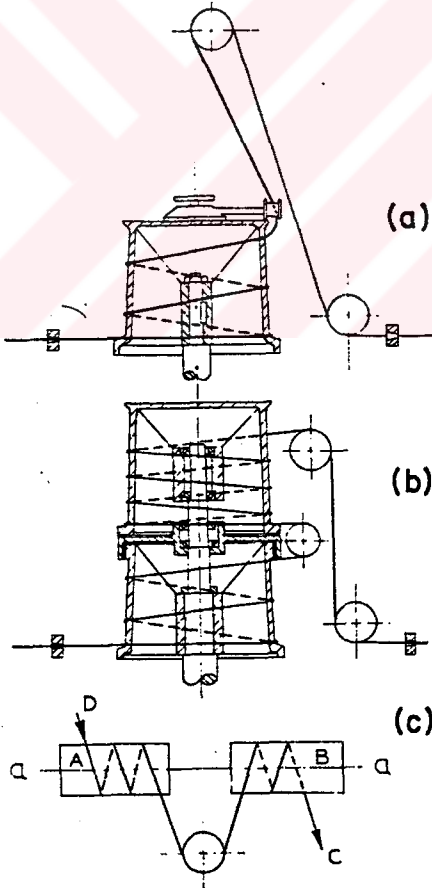
Telin matris içinden çekilmesini sağlayan kafalardan oluşur. Hızları 1 m/s ile 20 m/s arasında değişmektedir. Makinanın hızı ile çekilen telin kesiti arasındaki oran, sürekli kafalarda çok önemlidir.

$$V_1 \cdot V_1 = V_2 \cdot V_2 = \dots = V_n \cdot S_n$$

Eğer formüle uygun dizayn yapılmazsa ara kademelerde malzeme boşalabilir veya taşabilir.

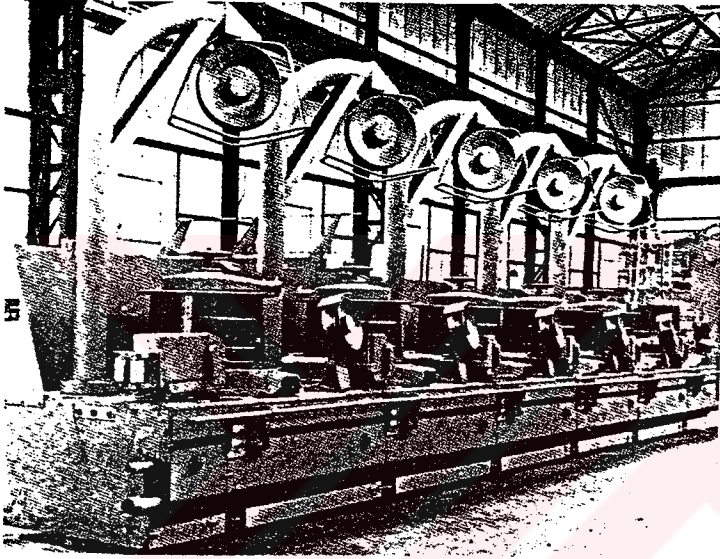
Çekme makinalarının çeşitli tipleri mevcuttur. Filmaşın kangalından (5.5 mm) 1.50 mm'ye kadar kuru çekme makinalar, daha inci çaplar için sulu çekme makinaları kullanılmaktadır.

Kuru çekme makinaları sarma çeşitlerine göre gruplandırılırlar.

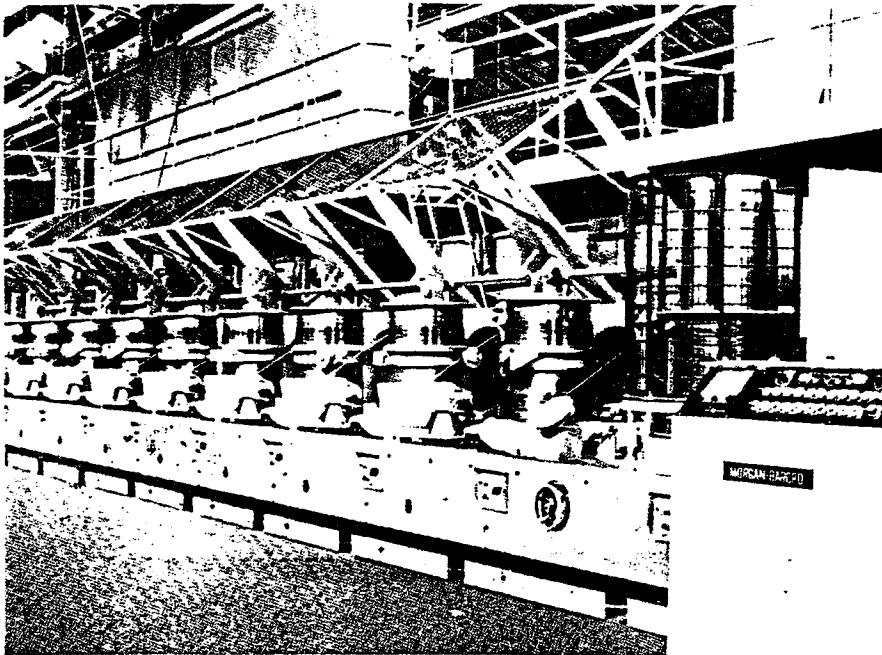


Şekil 2.16 - Sarma çeşitlerine göre çekme makinaları.

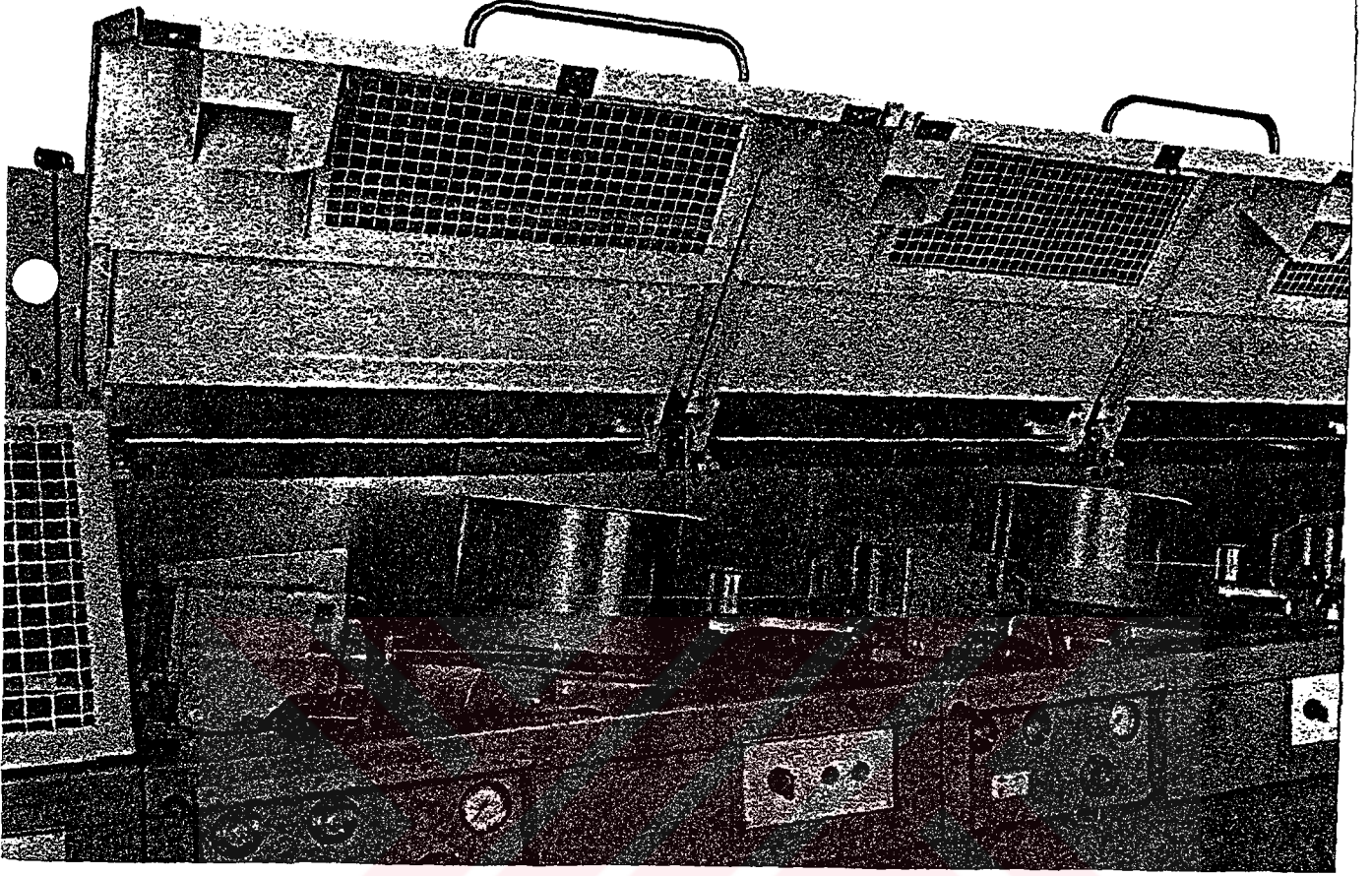
- a) Gerdirme kollu çekme makinasıdır. Piyasada en çok kullanılan makina türüdür. Fakat her dönüşte tel bir kez bükülür. İdeal bir sistem değildir.
- b) Çift bloklu bir makina resmidir. Her iki blok eş eksenli halkadan ibarettir. İki blok arasında hareket edebilen bir dengeleyici kol vardır. Her iki blok üzerine tel sarılır. Kafalar üzerine sarılmış olan spirallerin toplam miktarlarınının eşit olması önemlidir.
- c) Bu tür makinalarda tel burkulmaz. Arada bir makara yardımıyla aktarma sağlanır.



Şekil 2.17- Gerdirme kollu tel çekme makinası.

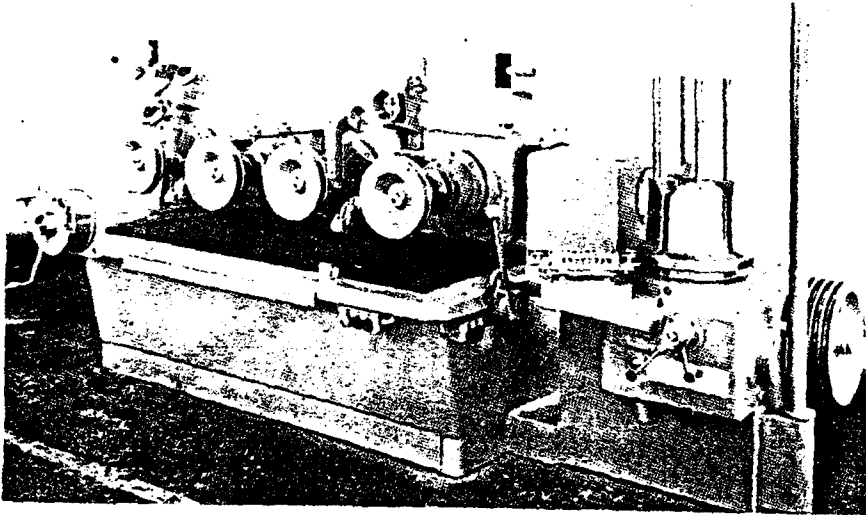


Şekil 2.18- Çift bloklu çekme makinası.



Şekil 2.19- Eğik bloklu çekme makinası.

Çok ince çaplardaki çelik teller için sulu çekme makinaları kullanılır. Bu makinalar kuru çekme makinalarına göre daha hızlıdır. Yağlayıcı olarak, sul ile sabunun karışığı bir emülsiyon kullanılır. Sulu çekme makinalarında 10 ila 16 arasında matris yuvası bulunur.



Şekil 2.20- Sulu çekme makinası.

3 . TEL ÇEKME İŞLEMİNE ETKİ EDEN TEKNOLOJİK FAKTÖRLER

Teknolojik olarak incelemede, tel çekme için esas olan malzeme akışı ele alınacaktır. Malzeme akışının düzenli olup olmaması, çekme kuvvetine, çekme işine ve bunların sonucu olarak çekilen telin kalitesine etkimektedir. Burada amaç minimum çekme kuvveti ve işi ile en hatasız mamulü elde etmektir. Tümü dikkate alındığında malzeme akışının önemi ortaya çıkmaktadır.

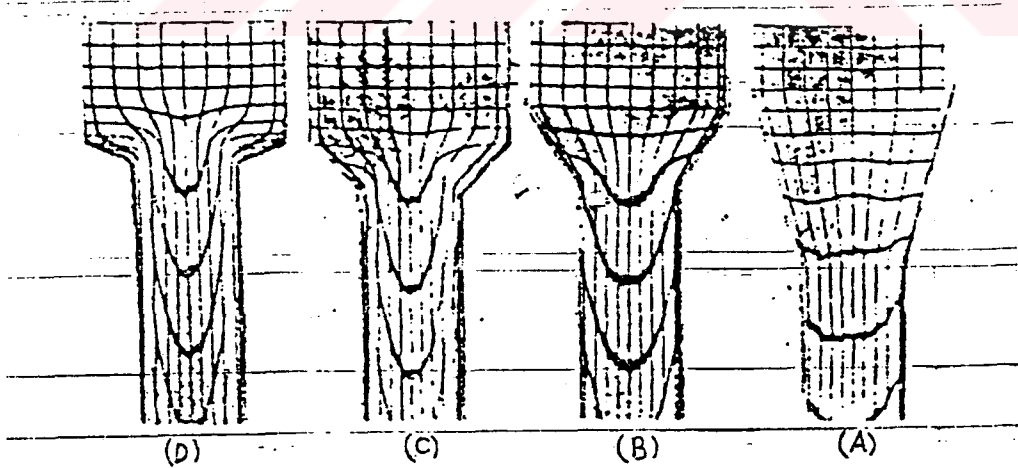
Tel çekmede malzeme akışına etki eden çeşitli faktörler vardır.

Bunlar :

- Çekilen malzeminin cinsi
- Yağlama
- % redüksiyon
- Matris ve matris açısı

3.1. AKIŞ TIPLERİ

Yukarıda saydığımız faktörler birbirleriyle iç içedir. Akışa etki eden bu faktörlerin incelenmesinde dört çeşit ana akış tipi kabul edilmiştir. Bu akış tipleri aşağıda incelenmiştir.



Şekil. 3.1. Akış Tipleri

AKIŞ TİPİ (A)

Homojen bir malzemenin matristeki sürtünmesiz hareketi A tipine uygun bir akış oluşturur. Bu tip, koordinat sistemindeki minimum biçim değiştirmeye tekabül eden fevkalade bir düzgünlük ile ifade edilmektedir. Ancak pratikte bu tipteki kadar ideal bir duruma rastlanmaz. Fakat bu tip basitleştirici kabuller nedeniyle, özellikle teorik incelemelere temel teşkil ettiği için uygun olmaktadır. Akışın meydana gelişi hakkındaki hesaplamalar bu ideal şartlardan harekete geçilerek bulunmuştur. Bu hesaplamalar pratik ile tatminkar benzerlikler göstermektedir.

AKIŞ TİPİ (B)

Akma tipi B, homojen malzemelerde, matriste sürtünmenin düşük olması şartının sağlandığı hallerde söz konusudur. Bu tip akma gösteren malzemeler; altın, gümüş, bakır gibi malzemelerdir.

Şekil değiştirme bölgesi ilk olarak matrise yakın konumda ortaya çıkar. Çekilen telin ortasındaki şekil değiştirme bağıl olarak düzgündür, yani koordinat karelerinin yalnızca uzama durumu söz konusudur. Çekilecek telin çevresel bölgelirinde matris civarında koordinat karelerini uzun paralelogramlar haline getiren kayma gerilmeleri doğar.

B tipi akışta pratikte büyük önemi olan, matris yüzeyi boyunca ortaya çıkan sürtünme kuvvetlerinin malzeme hareketini frenlemesi durumu ortaya çıkar. Bu frenleme matrisin kenar bölgesinde maximumdan ve bu şekilde harekete çok az katılan bir hacim oluşmaktadır. Matris yüzeyinde yapılan bir soğutma, şekil değiştirme direncinin yükselmesiyle açığı daha da büyütebilir. Ölü açığa etki eden diğer bir büyüklükte çekme oranıdır. Çekme oranıyla kenar bölge malzemesinin yolu uzar. Bu şekilde çekilen teldeki kofluk oluşumu azalır.

AKIŞ TİPİ (C)

C akma tipinde matris yüzeyinde sürtünme vardır. Bunun pratikte küçük veya büyük oranda ortaya çıkacağı düşüncesinden harekete geçilmelidir. Bu tipe göre akma gösteren malzemelerde şekil değiştirme yalnız matris civarında değil, çekilecek tel yüzeyinde belli bir bölgede de olmaktadır. Bu bölgenin kalınlığı bazı faktörlere bağlıdır. Örneğin; çekilen malzemenin ısı iletme kabiliyetine, sıcaklığa bağlı olarak şekil değiştirme direncine, yağlamaya v.b. matris civarında büyük ölçüde kayarak şekil değiştirme olmaktadır. Ölü açı yüksek sürtünme kuvvetleri telin merkezinin çabuk hareket etmesine neden olur ve bu şekilde bu bölgede telin kenarları ve sonuna nazaran şekil değiştirmeye **yüksektir**

AKIŞ TİPİ (D)

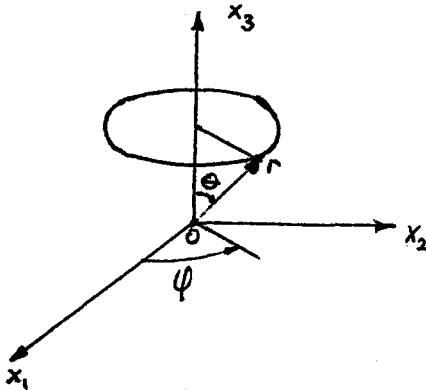
Bu çok komplike akma tipi büyük hatalara neden olduğundan üzerinde birçok araştırma yapılmaktadır.

D akma tipinin karakteristik özelliği, matris civarındaki sürtünmenin yanında, ya şekil değiştirme direncinin, ya da çekilecek telin kenar bölgelerinde oluşan faz değişimlerinin neden olduğu homojensizliktir. Bu akma tipinde ikiz oluşumu meydana gelmekte, bu tipe göre akan malzemelerin çekilmesinde büyük zorluklar ortaya çıkmakta ve yüksek maliyetli kullanılmayan malzeme oluşmaktadır. Akma durumu incelendiğinde büyük homojensizlikler nedeniyle, şekil değiştirmenin hem kesit hem de tel boyunca homojen olmadığı görülür.

3.2. ANALİZ TEKNİKLERİ

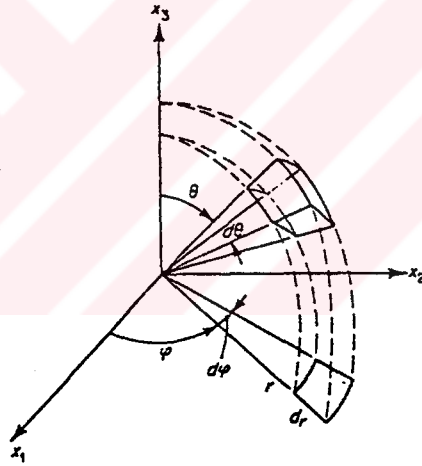
İlk yarı çapı R_0 olan bir tel, matrisin konik kısmından çekilmektedir. Matrisden geçiş esnasında, tel plastik deformasyona uğramakta ve çapı küçülmektedir. Matrisin silindirik kısmı ilaveten sürtünme kayıplarına neden olmakta, fakat bu sürtünme, son yarıçap R_1 'nin boyutsal stabilitesi (değişmezliği) için istenmektedir. Sabit kayma sürtünme faktörünün durumu için bir üst sınır çözümü, çekmede mevcut olan kuvvete uygulandığı şekilde türetilir. Üst sınır, daha sonra istenen çekme etkisine göre düzenlenmektedir. Denge denklemleri sıfır sürtünme ve sabit kayma, sürtünme faktörü halleri için belirlenmektedir.

Küresel koordinat sisteminin eksenleri şekil 3.2.'de radyal yönlerde (r) ve açısal pozisyonlarda (ψ , θ)dır. Hız bileşenleri, gerinim hızı bileşenleri i_j 'nin olağan tarzdaki indisleri bu kez r , ψ ve θ olduğu esnada $U_i(U_r, U_\psi, U_\theta)$ 'ya dönüşür. Hız bileşenlerinin fonksiyonları olarak gerinim hızları aşağıdaki şekilde verilmektedir.



Şekil 3.2. Küresel Koordinat Sistemi

$$\begin{aligned}\dot{\epsilon}_{rr} &= \frac{\partial \dot{U}_r}{\partial r} \\ \dot{\epsilon}_{\theta\theta} &= \frac{1}{r} \frac{\partial \dot{U}_\theta}{\partial \theta} + \frac{\dot{U}_r}{r} \\ \dot{\epsilon}_{\varphi\varphi} &= \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial \dot{U}_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{\dot{U}_r}{r} + \frac{\dot{U}_\theta}{r} \cot \theta \\ \dot{\epsilon}_{r\theta} &= \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \dot{U}_\theta}{\partial r} - \frac{\dot{U}_\theta}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \dot{U}_r}{\partial \theta} \right) \\ \dot{\epsilon}_{\theta\varphi} &= \frac{1}{2} \left(\frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial \dot{U}_\theta}{\partial \varphi} + \frac{1}{r} \frac{\partial \dot{U}_\varphi}{\partial \theta} - \frac{\cot \theta}{r} \dot{U}_\varphi \right) \\ \dot{\epsilon}_{\varphi r} &= \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \dot{U}_\varphi}{\partial r} - \frac{\dot{U}_\varphi}{r} + \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial \dot{U}_r}{\partial \varphi} \right)\end{aligned} \quad (3.1)$$



Şekil 3.3. Küresel koordinat sisteminde birim hacim elemanı.

Denge denklemleri;

$$\begin{aligned} \frac{\partial c_{rr}}{\partial r} + \frac{1}{r \cdot \sin \theta} \frac{\partial c_{r\varphi}}{\partial \varphi} + \frac{1}{r} \frac{d c_{r\theta}}{d \theta} + \frac{2c_{rr} - c_{\varphi\varphi} - c_{\theta\theta} + c_{r\theta} \cot \theta}{r} &= 0 \\ \frac{\partial c_{r\varphi}}{\partial r} + \frac{1}{r \cdot \sin \theta} \frac{\partial c_{\varphi\varphi}}{\partial \varphi} + \frac{1}{r} \frac{\partial c_{\varphi\theta}}{\partial \theta} + \frac{3c_{r\varphi} + 2c_{\varphi\theta} \cot \theta}{r} &= 0 \\ \frac{\partial c_{r\theta}}{\partial r} + \frac{1}{r \cdot \sin \theta} \frac{\partial c_{\theta\varphi}}{\partial \varphi} + \frac{1}{r} \frac{\partial c_{\theta\theta}}{\partial \theta} + \frac{3c_{r\theta} + (c_{\theta\theta} - c_{\varphi\varphi}) \cot \theta}{r} &= 0 \end{aligned} \quad (3,2)$$

haline dönüşür.

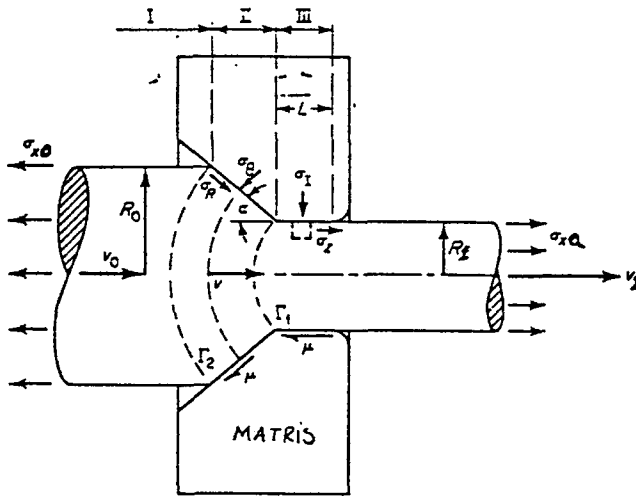
3.2.1-ÜST SINIR YAKLAŞIMI

3.2.1.1. HIZ ALANI VE TEOREM

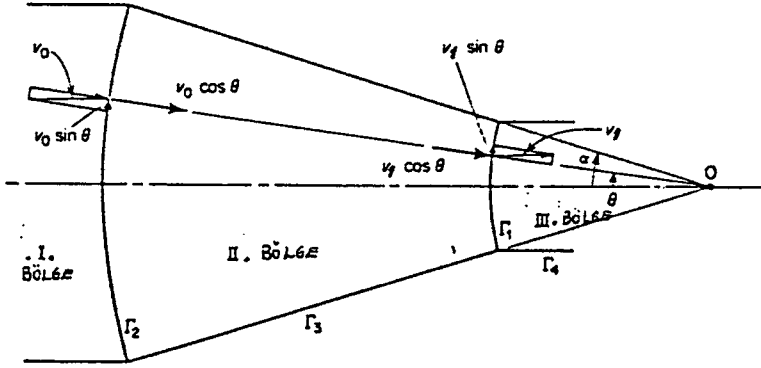
Matrisin, rijik ve geometrisinde şekil 3.4.'deki gibi olduğu kabul edilir. Kinematik olarak müsaade edilebilen hız alanı şekil 3.5.'de tariflenmiştir. Düzlemsel gerinim hali için daha genel bir alan türetilmiştir. Paso, hız alanının süreklilik gösterdiği üç bölgeye ayrılır.

I ve III. bölgede hız üniformdur ve sadece aksenal bileşene sahiptir. I. bölgede V_0 dir ve III. bölgede hız V_1 'dir. Hacim sabitliği nedeniyle,

$$V_0 = V_1 \left(\frac{R_1}{R_0} \right)^2 \quad (3.3)$$



Şekil 3.4. Matris ve tel.



Şekil 3.5. Hız Alanı

Küresel koordinat sisteminde (r, φ, θ) hız bileşenleri

$$\dot{U}_r = V = -V_1 \cdot r_1^2 \cdot \frac{\cos \theta}{r^2} \quad \dot{U}_\theta = \dot{U}_\varphi = 0 \quad (3.4)$$

Γ_1 ve Γ_2 sınırları boyunca, yüzeylere (V_0 ve V_1) normal hız bileşenleri süreklidirler. Bu yüzeylere paralel hız süreksizlikleri de vardır ve bu büyüklükler aşağıda belirtilmiştir.

$$\Gamma_1 \text{ boyunca} \quad \Delta V = V_1 \cdot \sin \theta \quad (3.5)$$

$$\Gamma_2 \text{ boyunca} \quad \Delta V = V_0 \cdot \sin \theta \quad (3.6)$$

Matrisin çalışması, başka bir deyimle işlem durduğunda, silindirik yüzey Γ_4 ve konik yüzey Γ_3 boyunca hız süreksizlikleri aşağıdaki gibidir.

$$\Gamma_3 \text{ boyunca} \quad \Delta V = V_1 \cdot r_1^2 \cdot \frac{\cos \alpha}{r^2} \quad (3.7)$$

$$\Gamma_4 \text{ boyunca} \quad \Delta V = V_1 \quad (3.8)$$

Daha önceki üst sınır teoreminden,

$$J^* = \frac{2}{13} \cdot c_A \cdot \int_V \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \dot{\epsilon}_{ij} \cdot \dot{\epsilon}_{ij}} \, dV + \int_{S^*} B \cdot dv \cdot dS - \int_{S^*} T_i \cdot V_i \cdot dS \quad (3.9)$$

Çekme için, yüzey çekilmelerine, sınırlar üzerindeki kuvvetler ile güç dahil edilmesi tavsiye edilir ke, bu olay karşı gerilme \dot{W}_b^1 içindir.

$$\dot{W}_b = - \int_{S^*} T_i \cdot V_i \, dS = \pi \cdot V_0 \cdot R_0^2 \cdot \dot{C}_{xb} = \pi \cdot V_1 \cdot R_1^2 \cdot \dot{C}_{xb} \quad (3.10)$$

3.2.1.2. İDEAL ŞEKİLLENDİRME GÜCÜ

I. ve III. bölgelerde deformasyon oluşmaz ve bununla beraber deformasyonun iç güçleride yoktur. II. bölgedeki gerinimler küresel koordinat sistemi (r, φ, θ) içinde görülürler. Denklem (3.1.) φ eksenine göre ekstenel silindirik simetri durumunda azalır.

$$\begin{aligned} \dot{\epsilon}_{rr} &= \frac{\partial \dot{u}_r}{\partial r} & \dot{\epsilon}_{\varphi\varphi} &= \frac{\dot{u}_r}{r} = -(\dot{\epsilon}_{rr} + \dot{\epsilon}_{\theta\theta}) & \dot{\epsilon}_{\theta\varphi} &= \dot{\epsilon}_{r\varphi} = 0 \\ \dot{\epsilon}_{\theta\theta} &= \frac{\dot{u}_r}{r} & \dot{\epsilon}_{r\theta} &= \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial \dot{u}_r}{\partial \theta} \end{aligned} \quad (3.11)$$

Denklem 3.3.'ün hız alanına, denklem 3.11.'e uygulandığında aşağıdaki gerinim oranları elde edilir.

$$\begin{aligned} \dot{\epsilon}_{rr} &= -2 \cdot \dot{\epsilon}_{\theta\theta} = -2 \cdot \dot{\epsilon}_{\varphi\varphi} = 2 \cdot v_1 \cdot r_1^2 \cdot \frac{\cos \theta}{r^3} \\ \dot{\epsilon}_{r\theta} &= \frac{1}{2} \cdot v_1 \cdot r_1^2 \cdot \frac{\sin \theta}{r^3} \\ \dot{\epsilon}_{\theta\varphi} &= \dot{\epsilon}_{r\varphi} = 0 \end{aligned} \quad (3.12)$$

Hareket radyal olduğu ve açısal pozisyon θ , II. bölgede hiçbir kısım için tesbit edilmediği zaman, gerinme her ne kadar orantılı ise de, $\dot{\epsilon}_{rr}$, $\dot{\epsilon}_{\varphi\varphi}$, $\dot{\epsilon}_{\varphi r}$, $\dot{\epsilon}_{\varphi\theta}$, $\dot{\epsilon}_{\theta r}$ 'nin anlamı sabitleri sağlayan orantılar düzenlemeleridir. Gerinme denklem 3.11'de tariflendiği gibi orantılı gerinme olarak adlandırılır.

$$\dot{W}_i = \frac{2}{13} \cdot c_A \cdot \int_V \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \dot{\epsilon}_{ij} \dot{\epsilon}_{ij}} \, dV \quad (3.13)$$

Denklem 3.12'deki gerinim hızlarının denklem 3.3'e uygulanmasıyla aşağıdaki ifadeler elde edilmektedir.

$$\dot{W}_i = 2 \cdot c_A \cdot v_1 \cdot r_1^2 \int_V \frac{1}{r^3} \cdot \sqrt{1 - \frac{11}{12} \cdot \sin^2 \theta} \, dV \quad (3.14)$$

$dV = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot \sin \theta \cdot r \cdot d\theta \cdot dr$, olduğu yerde, birim hacim elemanı dV 'nin bileşenleriyle yer değiştirmesi sonucunda,

$$\dot{W}_i = \frac{2}{13} \cdot c_A \cdot \int_V r_1^2 \cdot v_1 \cdot \frac{1}{r^3} \sqrt{3 \cos^2 \theta + \frac{1}{4} \cdot \sin^2 \theta} \, dV \quad (3.15)$$

$$\dot{W}_i = 4 \cdot \pi \cdot c_A \cdot v_1 \cdot r_1^2 \cdot \ln \left(\frac{r_0}{r_1} \right) \int_{\theta=0}^{\alpha} \sqrt{1 - \frac{11}{12} \cdot \sin^2 \theta} \cdot \sin \theta \cdot d\theta \quad (3.16)$$

integrasyondan sonra

$$\dot{W}_i = 2 \cdot \pi \cdot c_A \cdot v_1 \cdot r_1^2 \left(1 - \cos \alpha \sqrt{1 - \frac{11}{12} \cdot \sin^2 \alpha} + \frac{1 - \frac{11}{12}}{\sqrt{\frac{11}{12}}} \ln \frac{1 + \sqrt{\frac{11}{12}}}{\sqrt{\frac{11}{12}} \cdot \cos \alpha + \sqrt{1 - \frac{11}{12} \sin^2 \alpha}} \right) \ln \frac{r_0}{r_1} \quad (3.17)$$

$r_0/r_1 = R_0/R_1$ ve $r_1 = R_1/\sin \alpha$ olduğu zaman aşağıdaki denklem elde edilir.

$$\dot{W}_i = 2 \cdot \pi \cdot c_A \cdot v_1 \cdot R_1^2 \cdot f(\alpha) \cdot \ln \frac{R_0}{R_1} \quad (3.18)$$

olduğu yerde çok küçük için, $f(\alpha)$ teklik için bir noktaya yönelir ve denklem 3.19'a dönüşür.

$$\dot{W}_i = 2 \cdot \pi \cdot c_A \cdot v_1 \cdot R_1^2 \cdot \ln \frac{R_0}{R_1} \quad (3.15)$$

$f(\alpha)$ fonksiyonu, 1° lik değişimler için tablo 3.1'de verilmiştir. Denklem 3.19'da üniform hız alanı için hesaplanan ideal gücü verir.

3.2.1.3 HIZ SÜREKSİZLİKLERİ VE SÜRTÜNME KAYIPLARI

Γ_1 ve Γ_2 yüzeyleri hız süreksizliği yüzeyleridir. Bu yüzeylerden geçen malzeme miktarları, eğer yüzeylerin sağındaki veya solundaki hız alanını tarifleyen denklemden alınmışsa, eşit olacaktır. Bunun anlamı, dengede olduğudur. Örneğin; Γ_1 'in solundaki hız bileşeni Γ_1 'e normaldir. (Denklem 3.4) $|U_r| = v_1 \cdot \cos \theta$. Benzer olarak, Γ_1 yüzeyine normal olan III. bölgedeki aksenal hız v_1 'nin, bileşenleride aynı $v_1 \cdot \cos \theta$ dir. Bu yüzeylere paralel olan hız bileşenlerinin mutlaka eşit olması gerekmektedir. Bunların farklılığı, denklem 3.5 ile ifade edildiği gibi, büyüklüğün bir hız süreksizliği olarak adlandırılmalarıdır.

Sürtünmeye ilişkin kayma gerilmeleri, Von Misses'in akma kanunu ile ifade edilen kayma dayanımı ($\tau = c_A/\sqrt{3}$) değerini hiçbir zaman aşamaz.

Böylece bu yüzeyler boyunca türetilen geç,

$$\dot{W}_{S_{1,2}} = \int_{\Gamma_1} \tau \cdot \Delta v \, ds + \int_{\Gamma_2} \tau \cdot \Delta v \, dA = 4 \cdot \pi \cdot v_1 \cdot r_1^2 \cdot \frac{c_A}{\sqrt{3}} \int_{\theta=0}^{\alpha} \sin^2 \theta \, d\theta \quad (3.20)$$

$$\dot{W}_{S_{1,2}} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot c_A \cdot \pi \cdot v_1 \cdot r_1^2 \left[\alpha - (\sin \alpha) \cdot \cos \alpha \right] = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot c_A \cdot \pi \cdot v_1 \cdot r_1^2 \left(\frac{\alpha}{\sin \alpha} - \cot \alpha \right) \quad (3.21)$$

den daha fazla değildir.

Kayma gücü için bu sonuç Matsuura tarafından sunulmuştur.
sınırının konik kısmı boyunca hız süreksizliği;

$$\Delta V = V_1 \cdot \frac{r_1^2}{r^2} \cdot \cos \alpha = V_1 \cdot \left(\frac{R_1}{R} \right)^2 \cdot \cos \alpha \quad (3.22)$$

Temas bölgesinin elemanı;

$$dS = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot \frac{dR}{\sin \alpha} \quad (3.23)$$

ve eğer kayma sürtünmesi $\tau = m \cdot c_A / \sqrt{3}$ olarak kabul edilirse Γ_3
boyunca sürtünme kayıpları aşağıdaki gibi olur.

$$\dot{W}_{S3} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot c_A \cdot m \cdot \pi \cdot V_1 \cdot R_1^2 \cdot (\cot \alpha) \cdot \ln \frac{R_0}{R_1} \quad (3.24)$$

Sabit sürtünme faktörü için Γ_4 süreksizliğinin silindirik yüzeyi
boyunca gücün türetimi bulunur

$$\dot{W}_{S4} = \int_{\Gamma_4} \tau \cdot \Delta V \cdot dS = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot c_A \cdot m \cdot \pi \cdot V_1 \cdot R_1 \cdot L \quad (3.25)$$

Süreksizliğin yüzeyleri boyunca toplam güç,

$$\dot{W}_S = \dot{W}_{S1,2} + \dot{W}_{S3} + \dot{W}_{S4} \quad (3.26)$$

olur.

3.2.1.4. UYGULANAN GERİLMELER

Denklem 3.10, 3.18, 3.26'dan elde edilmiş çekme gerilmelerinin
üst sınır için çözümü;

$$\frac{c_{x_a}}{c_x} = \frac{c_{x_b}}{c_A} + 2 \cdot f(\alpha) \cdot \ln \left(\frac{R_0}{R_1} \right) + \frac{2}{\sqrt{3}} \left[\frac{\alpha}{\sin^2 \alpha} - \cot \alpha + m \cdot \cot \alpha \cdot \ln \left(\frac{R_0}{R_1} \right) + m \cdot \frac{L}{R_1} \right] \quad (3.27)$$

Denklem 3.27 diğer işlemlerin fonksiyonlarıymış gibi redüksiyon
için çözüldüğünde,

$$\frac{R_0}{R_1} = \exp \left\{ \frac{(c_{x_a} - c_{x_b})/c_A - (2/\sqrt{3}) \left[(\alpha/\sin^2 \alpha) - \cot \alpha + (mL/R_1) \right]}{2 \cdot [f(\alpha) + (m/\sqrt{3}) \cot \alpha]} \right\} \quad (3.28)$$

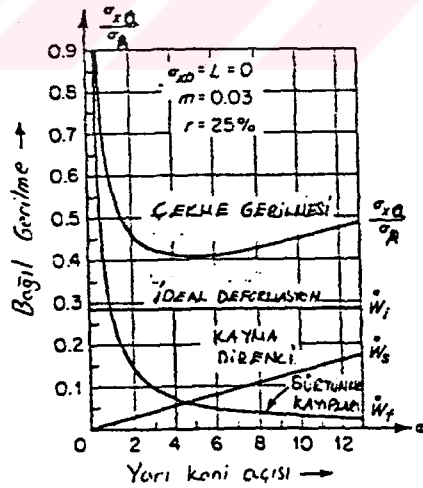
elde edilir.

Çekme şartlarının düzenlenmesi için denklem 3.27'nin sonuçları
Şekil 3.6'da verilmiştir. Arka germe etkileri ve alanın uzunluğu her
ikisi de 0 kabul etmek suretiyle ihmal edilmiştir. Redüksiyon ve sür-
tünme faktörleri sabittir.

Şekil 3.6 çekme gerilimine tesir eden 3 değişik faktör üzerinde absis gibi çizilmiş koni açısı α 'nın etkilerini göstermektedir.

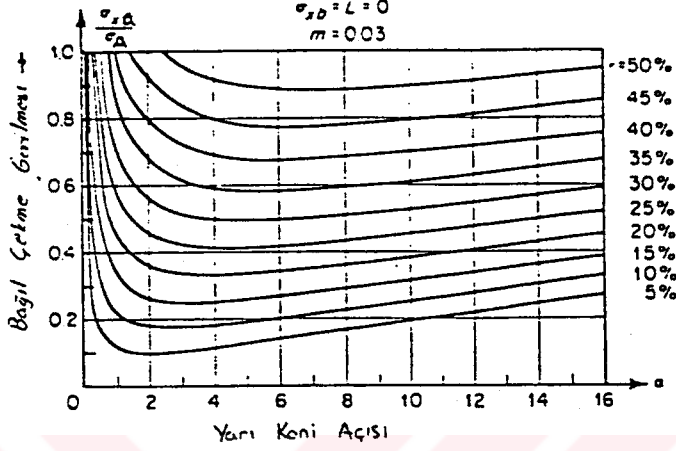
Bağıl çekme geriliminde, iç deformasyonun dağılımı (Γ_1 ve Γ_2 yüzeylerinin üzerindeki kesme hariç tutularak) $2f(\alpha) \cdot \ln(R_0/R_1)$ dir. Küçük koni açıları için $f(\alpha)$ tablo 3.1'de gösterilmiştir. İç güçler üzerindeki koni açıları etkileri hafifletilmiştir. Sürtünme kayıpları $(2/\sqrt{3}) m (\cot \alpha) \cdot \ln(R_0/R_1)$ ile verilmiştir. Aşırı sürtünme kayıpları çok küçük koni açılarıyla birleştirilmiştir. Çünkü matris ile iş parçası arasındaki temasın uzunluğu çok fazladır. Matris açısı α 'nın arttığı gibi, matris ile iş parçası arasındaki temas bölgesi ve relatif hız (ΔV_3) azalır ve sürtünme kayıpları düşer. Γ_1 ve Γ_2 üzerindeki kayma kayıpları $[(\alpha/\sin^2 \alpha) - \cot \alpha] \cdot (2/\sqrt{3})$ sıfır koni açısı için sıfırdır ve koni açısının artmasıyla artarlar.

Denklem 3.27'nin toplam relatif çekme gerilmelerinin kısmi dağılımları Şekil 3.6'da özetlenmiştir. Bu eğri aşırı sürtünme ve aşırı distorsiyon veya kayma arasında bulunan ilişkilerin minimumunu gösterir. Şekil 3.7'de absis yarı koni açısı ve ordinatla bir parametre gibi reduksiyon ile relatif çekme gerilmesidir.



Şekil 3.6. Aşırı direnç için çekme gerilmesinin parçaları.

Minimum her bir redüksiyon için bulunur. Optimal koni açısı olarak adlandırılan bu minimum çekme gerilmesini veren açı bir sonraki bölümde verilmiştir.



Şekil 3.7 - Bağlı çekme gerilmelerine redüksiyon ve koni açısının etkileri

3.2.2 - OPTİMAL MATRİS AÇISI

İşlem değişkenlerinin herhangi bir kombinasyonu için (α 'dan başka) çok uygun koni açısı (optimal açı) vardır. 0 koni açısının bir matrisi ile istenen kuvvet Şekil 3.6 ve Şekil 3.7'de ki gibi gösterilir. Çok küçük bir koni açısıyla tel ile matris arasındaki temas uzunluğu, fazlalılığı yüksek sürtünme kayıplarına neden olur. Çok büyük bir koni açısıyla distorsiyon üstün bir faktör haline gelir. Muayyen değişkenlerin düzenlenmesiyle mümkün olan redüksiyonun maksimize edilmesi veya gerekli kuvvetlerin minimize edilmesi koni açılarıyla işlem yapmayla ilgilidir. Bu açı başarılı yaklaşım metoduyla direkt olarak denklem 3.11 - 3.27'den bulunabilir.

Küçük redüksiyonlar için optimal koni açısı küçük bir koni açısıdır. Buna göre

$$\alpha \cdot \cot \alpha = \frac{\alpha \cos \alpha}{\sin \alpha} \quad (3.29)$$

bölme yapıldığında, sonuçlama serileri;

$$\frac{\alpha \cdot \cos \alpha}{\sin \alpha} = 1 - \frac{1}{3} \cdot \alpha^2 - \frac{1}{45} \alpha^4 \dots \quad (3.30)$$

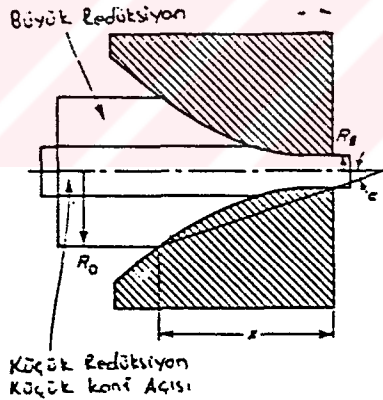
ile başlar.

$\alpha < 45^\circ$ için, $f(\alpha) \approx 1$ 'nin pratik sabit değerinde görülebileceği gibi yarı koni açısı 45° den daha küçük açılarda pratik olarak 0'dır.

$\frac{\partial}{\partial \alpha} [f(\alpha)] = 0$ 'ın düzenlenmesi ve denklem 3.29'un denklem 3.30'a dahil edilmesiyle bırakılan α sadece en düşük gücü sağlar. Buna göre sonuç;

$$\alpha_{opt} \cong \sqrt{\frac{3}{2} \cdot m \cdot \ln (R_0/R_1)}$$

Redüksiyonun azalması ile optimal koni açısı küçülür. Redüksiyon 0'a yaklaştığında optimal koni açısında sifıra yaklaşır. Eğer bir matris redüksiyonun geniş bölgeleri için kullanılmak zorundaysa o zaman Şekil 3.8'de gösterilen huni şeklindeki matrisin kullanılması daha avantajlı olacaktır.



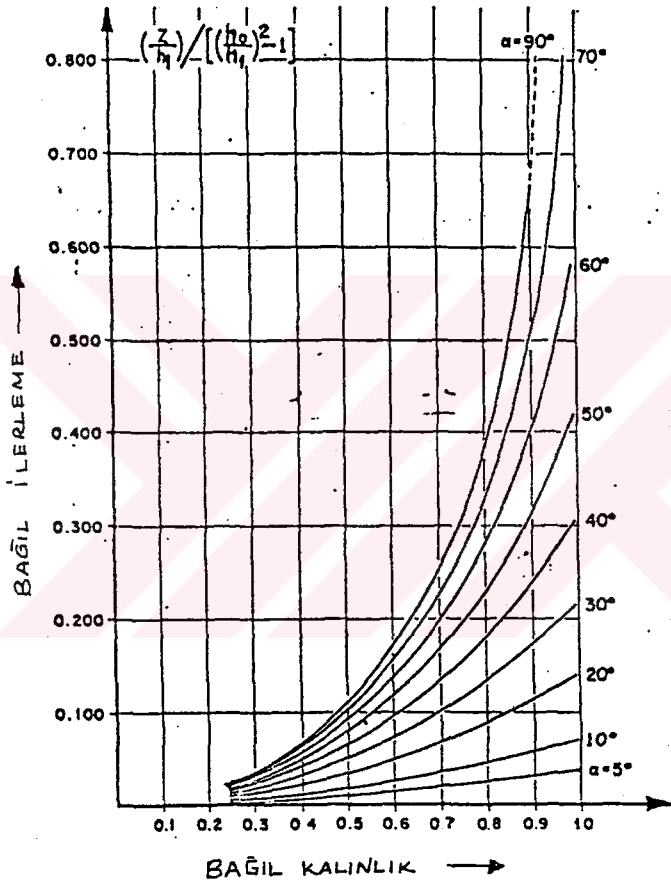
Şekil 3.8 - Huni şeklindeki matris.

Matris koni açısı yeterince küçük olduğu zaman, akış şekli 3.9'daki gibidir. İşlem gerilmeleri (c'_{xa} , c'_{xb}) sonradan denklem 3.27'den hesaplanmıştır. Eğer açı çok büyükse Şekil 3.10'daki gibi ölü bölge oluşur.

Şekil 3.10'a göre malzeme matrisle birleşerek ona yapışır ve hareketsizleşir. Bir yarı koni açısının kayma yüzeyi şekilleri ve ölü bölge

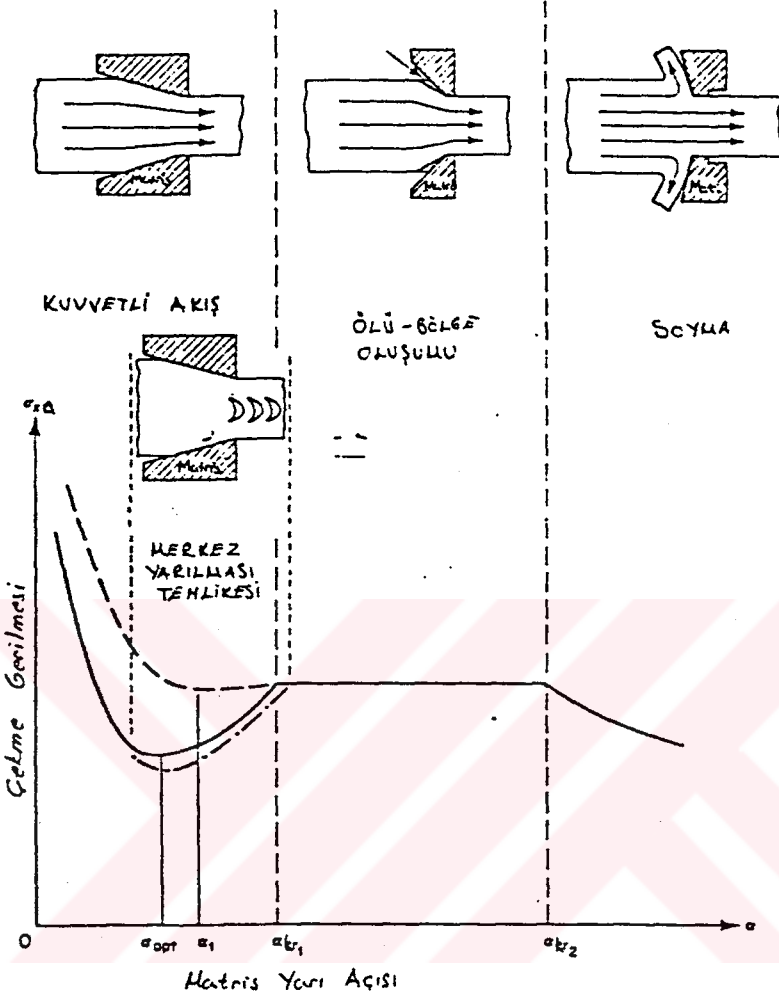
yüzeyi arasındaki sürtünme, α_1 , de malzemenin kayma direnci ($\tau = c_A / \sqrt{3}$) değerinden daha büyük değildir. Çekme gerilimindeki üst sınır sonra denklem 3.27'den $\alpha = \alpha_1$ ve konik yüzey üzerinde $m=1$ değerlerinin yerine konmasıyla türetilir. Çekme için,

$$\frac{c_{xA}}{c_A} = \frac{c_{xb}}{c_A} + 2 \cdot f(\alpha_1) \cdot \ln \left(\frac{R_o}{R_i} \right) + \frac{2}{\sqrt{3}} \left[\frac{\alpha_1}{\sin^2 \alpha_1} - \cot \alpha_1 + \left(\cot \alpha_1 \cdot \ln \left(\frac{R_o}{R_i} \right) \right) + m \cdot \frac{L}{R_i} \right] \quad (3.3)$$



Şekil 3.9 - Bağıl kalınlık ve yarı açıya göre distorsiyona uğramış kafesin bağıl pozisyonu.

Ölü bölge yarım koni açısı yukarıdaki denklemin özgül değerini minimize eder. Çünkü, malzeme akışın en kolay yolunu takip eder. Şekil 3.10'daki gibi akışın örneklerle çözümü bir üst sınır çözümüdür.



Şekil 3.10 - Matris yarı açısının bir fonksiyonu olarak çekme gerilimi.

Bu yüzden ölü bölge yarı koni açısı denklem 3.31'in diferansiyeli ile bulunur ve türev sıfıra gider.

Eğer ölü bölge koni açısı küçük ise, optimal koni açısına benzer şekilde,

$$\alpha_1 \approx \sqrt{\frac{3}{2} \cdot \ln(R_0/R_1)} \quad (3.32)$$

ile yaklaşımlandırılabilir.

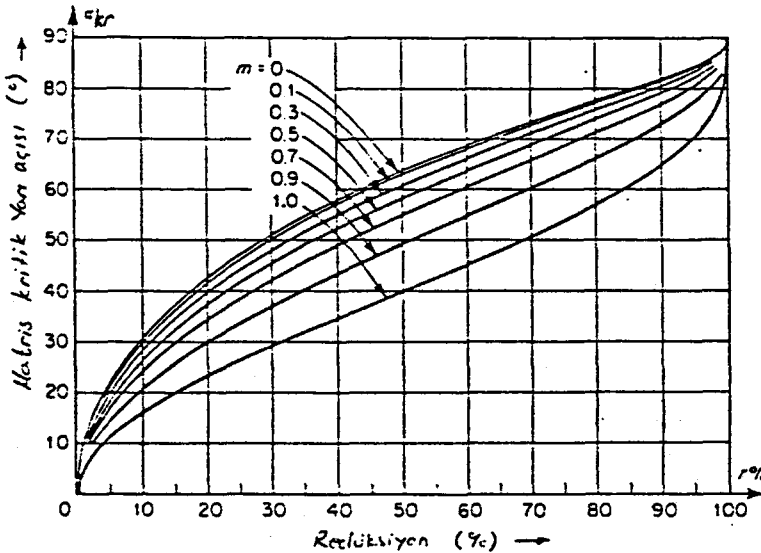
Kritik matris açısı, ölü bölge oluşumu sebebi ile sınırlanan açı gibi tariflenir. Eğer matris koni açısı kritik değerden daha küçük ise, akış Şekil 3.6'ya göre olacak ve denklem 3.27'den hesaplanan çekme gerilmeleri beklenen gerilmeler olacaktır. Eğer matris koni açısı kritik değerden daha büyükse, akış Şekil 3.10'a göre olacak ve çekme gerilmeleri denklem 3.31'den hesaplanacaktır. Ölü bölgenin sınırları boyunca akış için bu gerilimler denklem 3.32 ile verilenlerden daha düşük olacaktır.

Denklem 3.27 ile önceden verilen gerilmeler kritik yarı koni açısında denklem 3.31'le gösterildiği gibi birbirlerine denktir. Denklem 3.31'in, denklem 3.27 ile eşitlenmesiyle;

$$2 \cdot \left[f(\alpha_{kr}) - f(\alpha_1) \right] \cdot \ln \left(\frac{R_0}{R_1} \right) + \frac{2}{13} \left[\left(\frac{\alpha_{kr}}{\sin^2 \alpha_{kr}} - \cot \alpha_{kr} \right) - \left(\frac{\alpha_1}{\sin^2 \alpha_1} - \cot \alpha_1 \right) + (m \cdot \cot \alpha_{kr} - \cot \alpha_1) \cdot \ln \left(\frac{R_0}{R_1} \right) \right] = 0 \quad (3.32)$$

olur.

Kritik yarı koni açısı (α_{kr}), α 'in 3.32'de tariflenmesiyle ve denklem 3.32'den yaklaşımlarla elde edilir. 0 ve 90° arasındaki bölgede denklem 3.32'nin herhangi bir $m < 1$ değeri için iki çözümü vardır. $m = 1$ olduğu zaman her iki çözümde α_{kr} için bir değere yaklaşır. Bu değer 3.32'nin $\alpha_{kr} = \alpha$ değeridir.



Şekil 3.11 - Redüksiyon ve sabit kesme faktörüne karşı, kritik yarı koni açısı.

Denklem 3.32 ve Şekil 3.11'in incelenmesiyle aşağıdaki sonuçlar çıkartılabilir.

- 1- Kritik koni açısı, sürtünmenin azalması ve redüksiyonun artmasıyla artar.
- 2- Ölü bölge koni açısı redüksiyonla artar.
- 3- Kritik koni açısı daima 90°'den küçüktür.

3.2.3 - DENGİ YAKLAŞIMI

3.2.3.1 - SIFIR SÜRTÜNME DURUMU

Sürtünme sıfır kabul edildiğinde, II. bölgedeki gerilim dağılımlar için çözüm, Hoffman ve Sochs tarafından verilmiştir. II. bölge, r_1 ve r_2 sınırlarını ihmak etmeye yetecek kadar uzun kabul edilmiştir. Küresel simetriyle, küresel koordinat sisteminde denge denklemleri;

$$\frac{\partial \sigma_{rr}}{\partial r} + 2 \cdot \frac{\sigma_{rr} - \sigma_{\theta\theta}}{r} = 0 \quad (3.33)$$

olmaktadır.

Küresel simetriyle, küresel koordinat sisteminde (r, θ, θ) , Von Mises ve Tresca akma kriterlerinin her ikisinin de varlığından dolayı,

$$\sigma_{rr} - \sigma_{\theta\theta} = \sigma_A \quad (3.34)$$

Denklem 3.34'ün denklem 3.33'e ilave edilmesiyle, sadece (r) değişkenin fonksiyonu olan farklı bir denge denklemine dönüşür.

$$\frac{d\sigma_{rr}}{dr} + 2 \frac{\sigma_A}{r} = 0 \quad (3.35)$$

Denklem 3.35'in, denklem 3.34 ile çözümüyle sınır durumlarından bulunan C , integrasyon sabitidir. Böylece denklem;

$$\sigma_{rr} = C - \sigma_A \cdot \ln r^2 \quad \sigma_{\theta\theta} = C - \sigma_A (1 + \ln r^2) \quad (3.36)$$

ya dönüşür.

Çekmede, uygulanan arka germe keyfidir (σ_{xb}) ve küçük koni açıları için girişteki sınır durumu,

$$\sigma_{rr} |_{r=r_0} \approx \sigma_{xb} \quad (3.37)$$

dir.

Bu durumda integrasyon sabiti

$$C = \sigma_{xb} + \sigma_A \cdot \ln r_0^2 \quad (3.38)$$

olmaktadır.

Böylece çekme için gerilme dağılımı,

$$\begin{aligned} \sigma_r &= \sigma_{xb} + c_A \ln \left(\frac{r_0}{r} \right)^2 \\ \sigma_{\theta\theta} &= \sigma_{xb} + c_A \left[\ln \left(\frac{r_0}{r} \right)^2 - 1 \right] \end{aligned} \quad (3.39)$$

olmaktadır.

Küçük koni açıları için, matrisin çıkışındaki radyal gerilim σ_r , ön gerilme σ_{xp} ile hemen hemen aynıdır ve denklem 3.39'un ilk ifadesi

$$\frac{\sigma_{xa}}{c_A} = \frac{\sigma_{xb}}{c_A} + \ln \left(\frac{R_0}{R_1} \right)^2 \quad (3.40)$$

olmaktadır.

3.2.3.2 - SABİT KAYMA FAKTÖRÜYLE SÜRTÜNME

Gerçek durumlarda sürtünmenin etkileri mevcuttur, Shield bir yaklaşım olarak konik kanalda plastik akış problemi için bir çözüm sunmuştur. Burada, koninin tepesine doğru akış Şekil 3.5'in II. bölgesi için, kabulü edilir. Çözüm sadece koni açıları için yapılır. II. bölgede hız alanı:

$$\dot{u}_r = f(r, \theta) \quad \dot{u}_\varphi = \dot{u}_\theta = 0 \quad (3.41)$$

dır.

$f(r, \theta)$ fonksiyonu sıkıştırılamaz ve denge denklemleriyle ilişkili gerilme-gerinme oranının yeterli olarak alınmasıyla çözülür. II. bölge Γ_1 ve Γ_2 sınırları ve bu sınırların üzerinde istenen devamlılıkları ihmal edebilmek için yetedli uzunlukta kabul edilir. Bilinmeyen fonksiyon $f(r, \theta)$, bir tek diferansiyel ifadeye denge eşitliklerinin redüksiyonunu götürür.

$$\Gamma'(\theta) + \Gamma \cot \theta + 2\sqrt{3} \cdot \sqrt{1-\Gamma^2} = c \quad (2.42)$$

$$\Gamma|_{\theta=0} = \Gamma(c), \quad \Gamma|_{\theta=0} = 0 \quad \text{ve} \quad \Gamma|_{\theta=\alpha} = m \cdot \frac{c_A}{\sqrt{3}}$$

sınır şartlarında integrasyon sabitidir.

Denklem çözüldüğü zaman, denge denklemi ve $\Gamma = m \cdot c_A / \sqrt{3}$ sınır sürtünme şartları yeterlidir. Tepeye karşı hız komponenti şu şekle dönüşür.

$$\dot{U}_r = \frac{B}{r^2} \exp\left(-2\sqrt{3} \int_{\theta=0}^{\theta} \frac{z}{\sqrt{1-r^2}} d\theta\right) \quad (2.43)$$

Burada negatif sabittir. Bu çözümde de, giriş ve çıkışta gerekenden fazla olan güç harcaması ihmal edilir.

3.42 ve 3.43 denklemleri ile ifade edildiği gibi, hız dağılımı tüm elde edilebilir. Çözümlerin gerçek hız alanlarına çok yaklaşır ve denklem 3.42'nin çözümü için nümerik metodlara sık sık başvurma ihtiyacı ile sınırlanır. Çekme kuvvetlerini hesaplamak için, çözümün kullanımı, r_1 ve r_2 sınırlarını ihmal etmekle daha fazla engellenir.

4 - TEL ÇEKMEDE OLUŞAN HATALAR

4-1 - SICAK HADDELEMEDEN GELEN HATALAR

Son yıllarda sıcak haddelenmiş tel üretiminde çok ilerleme kaydedilmiştir. Bu gelişmelere rağmen sıcak haddelenmiş tellerdeki hata olasılığı devam etmektedir.

Genel oluşumuna göre bu hataları şöyle sıralayabiliriz.

- 1- Çatlaklar
- 2- Örtülenmeler
- 3- Yığılmalar
- 4- Haddelerdeki yabancı maddeler
- 5- Kazınmalar
- 6- Hadde izleri
- 7- Ateş çatlağı geçiş izleri
- 8- Sertlik
- 9- Kabul hataları
- 10- Çekirdek ayırma
- 11- Yüzey karbonsuzluğu
- 12- Sert bölgeler

4.1-1 ÇATLAKLAR

Çatlaklar, malzeme içinde tel çubuğun boyunca veya yüzeylerin köşe kısımlarında oluşur. Genellikle düz çizgi halindedir, bazen köşe kısımlarda enine çizgi halinde de rastlanabilir.



Şekil 4.1

Şekil 4.1 - Şekilde yüzey bölgesinde eğik olarak boyuna bir çatlak görülmektedir. Çatlaklı yüzün karbonu alınmıştır. Çeliğin son tavlama-sından evvel, karbonsuzlaştırılmış bölge işaretlenerek, çatlak bölge daha berrak bir şekilde ortaya çıkarılmıştır.



Şekil 4.2.



Şekil 4.3.

Şekil 4.2 ve 4.3'de yüzey delikleri nedeniyle oluşan boyuna çatlak-lar görülmektedir. Deformasyon esnasında yüzey altı gözenekleri çatlak-ların oluşmasına neden olmuştur.

Çeligin üretime hazırlanmasından, fabrikayı ürün olarak terketmesine kadar olan herhangi bir noktadaki hata bu çatlaklara sebep olabilir. Ergitme kısmında, özellikle döküm oluğunda ve döküm sırasında madene yapılan baskıdan dolayı yüzey delikleri, madenin yüzeyindeki kabuk, uygun şekillenme noksanlıkları ve çukurlaşma oluşur. Haddeleme sırasında yüzey genişmesi dolayısıyla bu hatalar çatlaklara neden olur.

Çatlaklar gözle veya büyütmeyle görülebilir. Çatlaklar kimyasal veya mekanik olarak incelenebilir. Çatlakları burulma deneyleri ile, magnetik kuvvet, soğuk ve sıcak şişirme deneyleri, indüksiyon akımı ile belirlenir.

Bütün bu deneylerde, çatlağın derinliği belirlenir. Bu eğeleme veya bileme yolu ilede olabilir. Daha hassas sonuçlar ise mikroskobik olarak tesbit edilir.

4.1.2 - ÖRTÜLENMELER

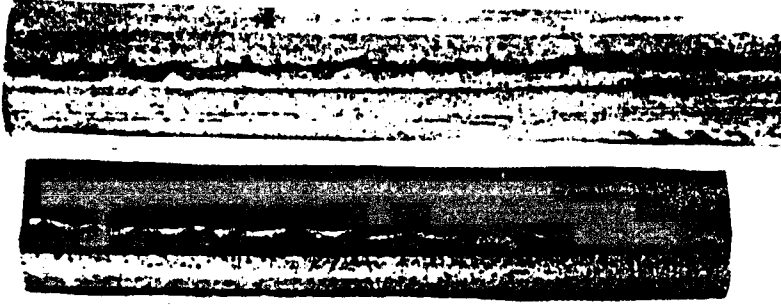
Daha çok tel malzemenin içinde kesiksiz olarak, bazende malzemenin yüzeyinde görülür. Genellikle boyuna ve düzgün şekildedirler. Çubuğun içinde boylamasına veya telin çevresinde dağılmış olarak görülürler. Bazen paralel iki çizgi halindedey görülürler.

Malzeme basınçlı ve hareketli bir haddeleme geçirirse. sık sık taşma ve örtülenmeye neden olur. Sıcaklıkta büyük bir azaltma yapıldığında, geçişlerde taşma olur. Haddeleme yapılırken yeterli dolun olmadığından zayıf yüzeyler oluştuğu için örtülenmeler genelde vuku bulur. Telin yalnız bir yüzeyindeki örtülenmeler, işlemin yürütülmesini güçleştirir.

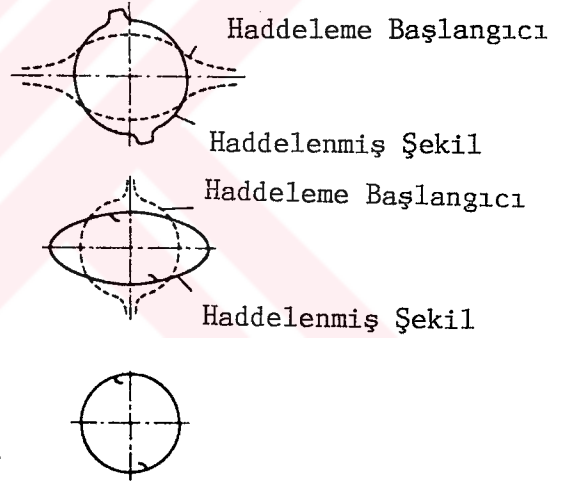
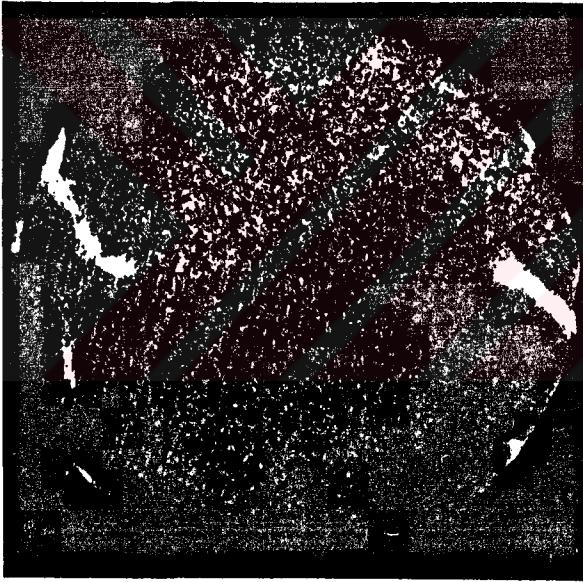
Çok kapsamlı işlemlerde, çubukların sertliği ayarlanırken ki geçiş tamamıyla kontrolde olmamaktadır. Bu da örtülenmelere sebep olmaktadır.

Örtülenmeyi, haddeleme sıcaklığındaki sıkı dalgalanmayla birlikte üstün yayma tekniği önleyebilir.

Örtülenme hataları magnetik kuvvetlerle, indüksiyon akımı ile belirlenir. Örtülenmeleri çatlaklardan ayıran özellikleri düzenli olmaları, paralel iki çizgi halinde aralıklı olmaları, malzeme üst bölgesinde ve dairesel bir çerçevede olmalarıdır.



Şekil 4.4.



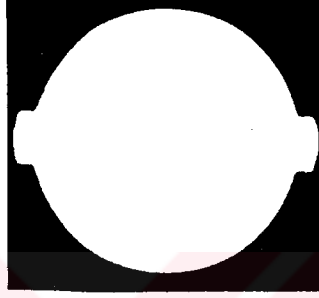
Şekil 4.5.

Şekil 4.4 ve 4.5'de malzeme yüzeyinde iki zıt yönde aralıklı yayvan şekilde hata görülür. Hata sertlik geçiş esnasında taşma ile oluşmuştur.

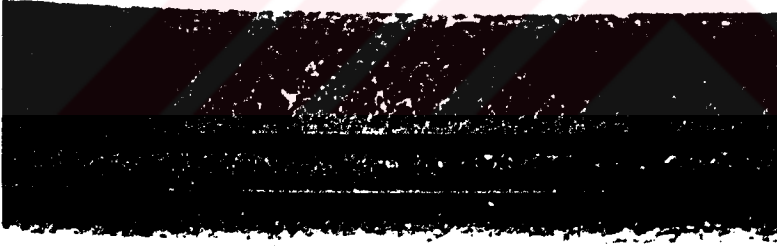
4.1.3 - YIĞILMALAR

Yığılmalar tel kordon boyunca olur.

Çoğu yığılmalar tel çubuğun çevresine dağılmış olarak, geçişin sonunda taşmayla ve ayarlanma karışıklığından dolayı oluşur. Eğer tek bir yığılma varsa ki en çok görülen neden bir yandan öbür yana olan yığılmadır. Yığılmalar bazı sargıların tüm boyunca oluşur.



Şekil 4.6.



Şekil 4.7.

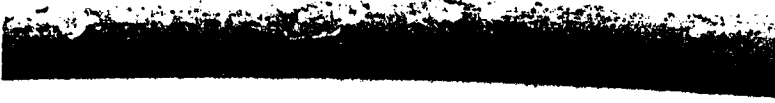
Yığılmalar çıplak gözle tanınabilir. Eğer hatalar iç taraftan kaynaklanıyorsa numune kesilerek hata bulunabilir. Kalın tellerdeki hatalar ultrasonik testlerle belirlenir.

4.1.4 - HADDELEME ESNASINDAKİ YABANCI MADDELER

Yabancı maddelerin değişik tür ve sınıflarda haddeleme sırasında malzemeye karışmasından kaynaklanır.

Üretim esnasında metal ve ametal malzemeler desteklenerek bir araya gelirler. Bazen yabancı maddeler yüzey bölgesinde oluşur.

Fırınlamada tel malzemeler, paketleme pistinden, fırın kurumlarından, farklı çelik cinslerinden dolayı hata oluşur. Bu hatalar kayıplardan ve kırılmış veya parçalanmış malzemeden dolayıda oluşabilir. Yarı mamulken kabuk oluşumunda talaş, kaşınmış haddelenmiş ürün parçaları yabancı maddelerin oluşmasına neden olur. Ayrıca haddeleme prosesi esnasında yabancı maddeler veya parçalanmış maddelerde bu hataları oluşturur.



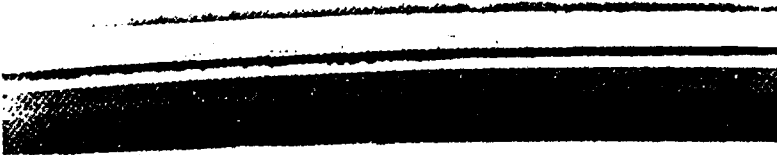
Şekil 4.8 - Tel çubuk yüzeyi fırında haddelemede depresyona uğramış.

Haddelemedeki yabancı maddeler çıplak gözle veya basit bir büyüteçle tesbit edilebilir. Micro deneyler veya malzemede yapılan kimyasal analizler hataların ana sebeplerini gösterir.

4.1.5 - KAZINMALAR

Kazınmalar, baskı yoluyla oluk gibi ve daima boyuna olurlar. Kazınmalar biçim ve çeşit olarak hataların kaynağına uygun bir değerde oluşurlar. Bu tip hatalar, çatlakların ve örtümlerin genişlemesine, yüzey hatalarının büyümesine sebep olurlar.

Kazınmalar malzemenin aşınması ile veya nesnelere üzerindeki noktalardan dolayı oluşur. Zayıf işleme, aşınma kırık parçalar kazınmalara sebep olur. Bu tip hatalarda soğutulmuş ve önlemi alınmamış parçalar önemli rol oynar. Daha önceki geçişlerde sebeb olunan kazıntılar ardışık desteklerde daha çok veya daha az kıvrık olabilir.



Şekil 4.9 - Kazınmalar çıplak gözle veya küçük bir büyüteçle tesbit edilebilir. Yigma şişirme testleri kazınmalar için kullanılır.

4.1.6 - HADDE İZLERİ

Hadde izleri genellikle kabarma, yükselti veya baskı şeklinde periyodik olarak görülür.



Şekil 4.10 - Periyodik yükseltiye neden olan son geçişteki bir hasar.

Eğer haddelenmiş ürünün yüzeyinde yükselti oluşuyorsa, bunun nedeni haddeleme esnasındaki çeşitli baskılar veya sıcak çalışırken yardımcı tesisat ve takımların verdiği hasardır.

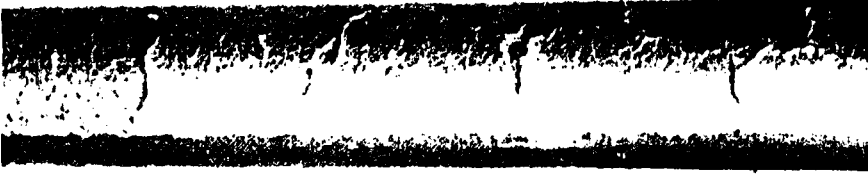
Haddelenmiş üründeki baskıların nedeni talaş, dış kabuktaki değişimler veya fırınlarda oluşan artıklardır. Tekrarlayıcılardaki kamçı izleri çubuğun kamçı uçlu bölgelerinde sarsıntıya sebep olur. Hata çıplak gözle veya büyüteçle tesbit edilebilir.

4.1.7 - ATEŞ ÇATLAĞI GEÇİŞ İZLERİ

Ateş çatlağı geçiş izleri haddeleme yönünde sağ açılı olarak görülür.

Haddeleme sırasında haddelenen yüzey ısıtılır ve sertleştirilir. Soğutma işleminde uygun olmayan hadde malzemesi kullanılırsa, çubuğun gövdesinde gerilmeden dolayı çatlak oluşur. Zamanla hadde, gerilmeden dolayı oluşan çatlaklardan belirli tolerans limitlerinde korunacaktır.

Hadde yüzeyindeki baskı haddelenmiş üründeki yükseltinin uygun olmasına sebep olur. Ateş çatlağı geçiş izlerine rağmen, evvelen oluşan düzlemsel geçişlerdeki olaylar, diğer yüzeysel hataların (Çatlaklar, yıgılmalar ve şişmelerin) oluşmasına neden olur.



Şekil 4.11 - Haddeme doğrultusunda sağ açıdan ateş çatlağı izleri. Karakteristik şekillerinden dolayı ateş çatlağı geçiş izleri gözle veya büyüteçle görülebilir.

4.1.8 - SERTLİK

Tel çubuk yüzeyinde istenmeyen baskıların ve yükseltmelerin sertlik nedeniyle olduğu bilinir.



Şekil 4.12 - Sertlik nedeniyle oluşan bir oval hadde oluğu.



Şekil 4.13 - Sertlik nedeniyle oluşan ve açık hava ile temas eden bir korozyon çukuru.

Sert bir tel yüzeyi genellikle, son iki işlemle haddemede oluşan aşınma oluşuna sebep olur. Haddeme sonrasında çubuğun iç yüzeyi çok yavaş soğutmadan dolayı sert bir hale gelir. Yüzey sertliğine, eğer çubuk aşındırıcı bir ortamda veya uzunca bir süre nemli bir yerde saklanırsa oluşan korozyonda sebep olur.

Yüzey sertliği gözle tespit edilir. Sertlik derecesi mikroskopik deneyler veya sertlik derinliği ölçen aletlerle tayin edilebilirler.

4.1.9 - DIŞ KABUK

Dış kabuk şekil ve çeşidine göre, üst üste binme şeklinde olur. Çubuk yüzeyine dağılmış ve izoleli yerlere yapışmış olarak bulunurlar. Çubukla kabuk arasındaki oluk, genellikle talaşla veya ametal malzemelerle doldurulur.



Şekil 4.14 - Dikilmiş dış kabuk ve daha küçük bir bindirme.

Dış kabuk oluşmasında ana neden olarak sıçrama veya çeliği şekillendirme sırasındaki külçe maddenin kaynamasıdır. Ametal bileşimlerde madde yüzeyi kolayca kırılabilir ve kabuk kolayca yüzeyden ayrılabilir. Boyuna ve enine çatlaklar, çeşitli haddeme sıcaklıklarındaki işlemlerden veya şekil hatalarından kaynaklanır.



Şekil 4.15 - Talaşla doldurulmuş bir dış kabuk parçası.

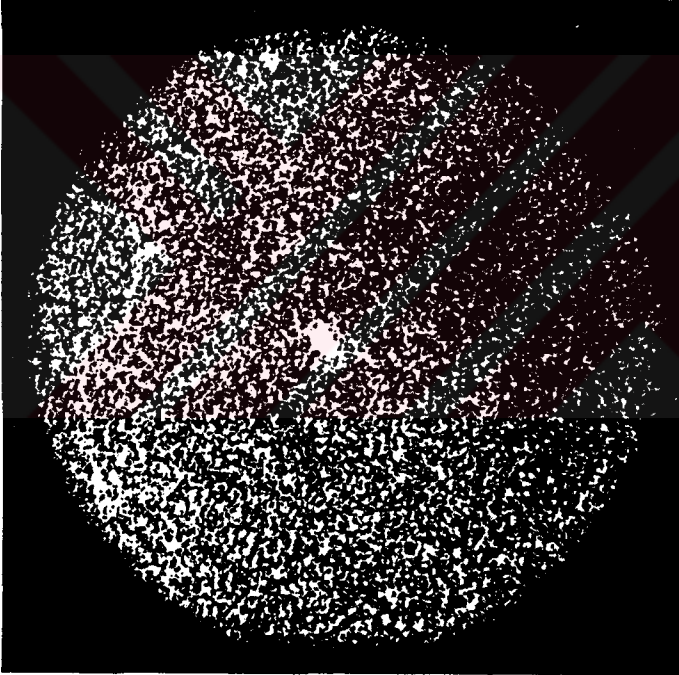
Yarı mamül halindeyken ki havalandırma eksikliği, stok edilirken oluşan hasarlar ve haddeme esnasındaki aşırı ısınma dış kabuk oluşumuna neden olur. Dış kabuk hataları yığma ve burulma deneyleriyle keşfedilir.

4.1.10 - ÇEKİRDEK AYIRMA

Çekirdek ayırma, tel içindeki mormalden farklı çelik kompozisyonlarının ayrılması işlemidir.

Çeşitli sebeplerle, katılaşmış çeliğin konsatrasyonundaki bileşik elementler değişik yayılmalar halindedir. Bu işlem ayırma olarak bilinir. Partikollerde, fosfor, sülfür, karbon ve diğer bazı elementler ayırmaya karşı hassastır. Denenmiş ayrılmalarda bir hata da görülen olay, diğer malzemelerede uygunluk göstermelidir.

Ayırma büyüteçle enine ve boyuna olarak tanınabilir, daha çok tesirli bir keşif için mikroskopik deneylerle incelenebilir. Ayırma derinliği çeşitli testlerle ölçülebilir. Sülfür ayırması sülfür baskılarında kolayca tanınabilir.

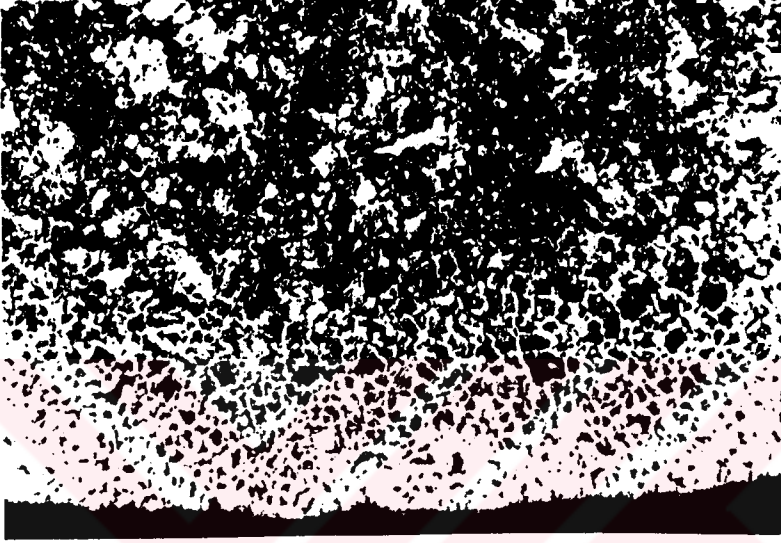


Şekil 4.16 - Tel çubukta çekirdek ayırma görülüyor.

4.1.11- YÜZEY KARBONSUZLUĞU

Yüzey karbonsuzluğu karbonun telin yüzeyinden itibaren kaybolması olayıdır. Tamamıyla karbonsuzluk ve karbonsuzluk derecesi arasında hadeden çekilme durumuna göre bir fark mevcuttur. Ne zaman karbon çekilecek durumun sonuna gelinmişse tamamıyla karbonsuzluk ortaya çıkar.

Eğer çelik, çok uzun bir süreyle yüksek derecede ısıtılırsa veya yalnızca ocak ortamı ile demir hafif reaksiyon verirse, haddelenmiş ürünün belirli bölgelerinde karbon kaybı oluşur. Karbon içindeki zayıflatılmış bölge genişliği ve güçten düşmüş bölgenin derinliği; sıcak ocak ortamındaki açığa çıkan O_2 , sıcaklık ve ocakta tutma süresiyle belirlenebilir.

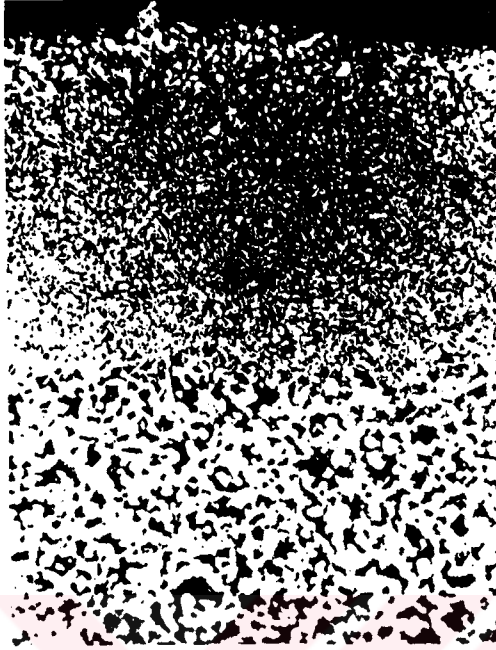


Şekil 4.17.

4.1.12 - SERT BÖLGELER

Tel çubuktaki sert bölgeler martenzit veya orta bölge yapısı gibi sert yapıya sahip bileşenlerin arzu edilmeyen oluşumlarıdır.

Tesisatın yanlış ayarlanması durumunda tel aşırı hızda soğur, martenzit oluşur veya orta bölge yapısı yerel olarak oluşur ve bütün kesit boyunca bu yapı istendiği düzeyde olmaz. Böylece işleme uygunluk sağlamaz.



Şekil 4.18 - Aşırı hızda soğutma sebebiyle tel çubukların yüzeyinde oluşan sert bölgeler.

Sert bölgeler; çekme, eğme, burulma, gerilme deneylerinde, telin kırılması ile ve bu kırılma bölgelerinin karanlık ve kadife yumuşaklığında çatlak yüzeyler oluşturur.

4.2 - İŞLEMEN GELEN HATALAR

4.2.1 - MALZEME AKIŞI SIRASINDA OLUŞAN HATALAR

Tel çekmede malzeme akışına etki eden çeşitli faktörler vardır.

Bunlar;

- Matris açısı
- Çekme oranı
- Yağlama
- Malzeme cinsidir.

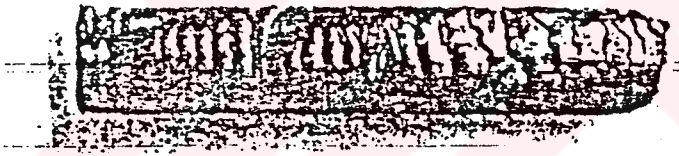
Malzeme akışı sırasında oluşan hatalarda yukarıdaki sebeplere bağlıdır. Malzeme akışı sırasında bunları birbirinden ayırmak mümkün değildir.

HATALAR:

Ağıdaki hatalardan biri veya birkaçı birden bir işlemde oluşabilir;

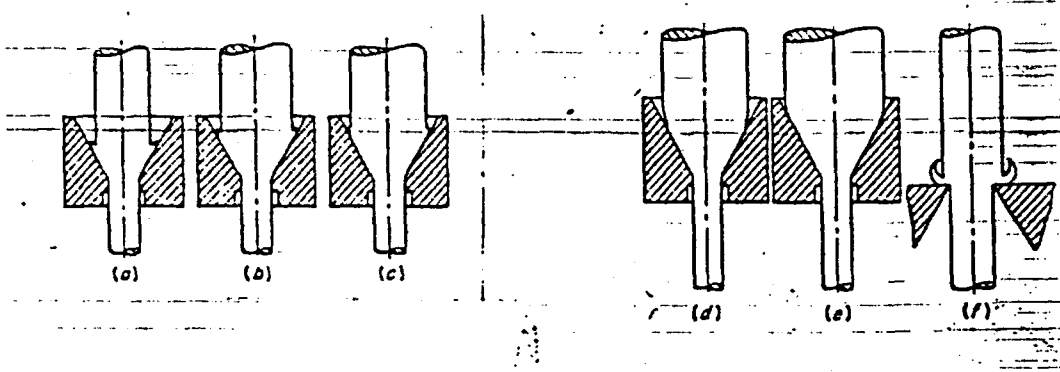
- 1- Yılan derisi, balık derisi veya çam ağacı şeklindeki hatalar
- 2- Merkez yarılmaları
- 3- Ölü bölge oluşumu, şişlik ve girişte büzülme
- 4- Distorsiyon
- 5- Akışın başlangıcında maksimum çekme gücü
- 6- Kırılma gevrekliği
- 7- Matris bölgesinin girişinde ve çıkışında sonra akma
- 8- Diğer şekil hataları

1- YILAN DERİSİ HATALARI : Mamülün orta kısmı yüzeyinden daha hızlı aktığı zaman oluşur. Yüzey sonradan kırılabilir görünümünden dolayı, yılan derisi, balık derisi veya çam ağacı olarak adlandırılırlar. Bu hatanın oluşumunu yönlendiren hatalar iyi anlaşılabilir, oluştuğunda önlemek istense de mümkün olmaz. Pahalı bir deneme yanılma yolu izler.



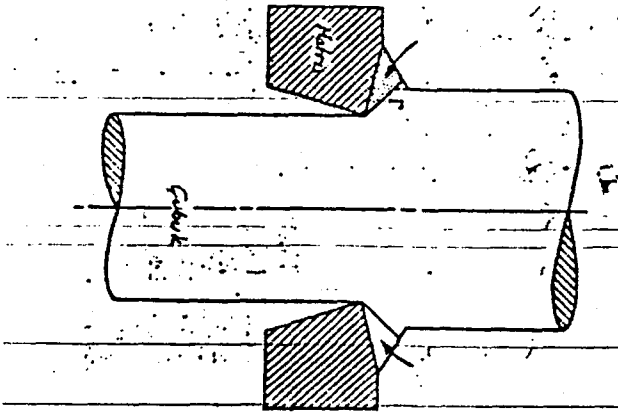
Şekil 4.19 - Yılan derisi

2- MERKEZ YARILMASI : Çubuğun merkezi yüzeyinden daha fazla olduğundan çatlaklar yüzey merkezden daha hızlı aktığında merkez yarılmaları oluşur. Bu hata oluştuğunda, redüksiyonu değiştirmek veya tehlikeli bölgeden uzakta bir konu açısı seçilmesi tavsiye edilir.



Şekil 4.20 - Şişkinlik ve girişte büzülme.

3- ÖLÜ BÖLGE OLUŞUMU, ŞİŞLİK VE GİRİŞTE BÜZÜLME : Akış tiplerinin matris koni açısı ve redüksiyonla değiştikleri bulunmuştur. Herhangi bir yüksek redüksiyonda şekil 4.20'de görülen büzülme gözlenebilir. Yüksek devam eden redüksiyonlarda büzülme, üstün hale gelir. Şekil 4.20'de küçük koni açılarında büzülme, küçük redüksiyonlarda başlar. Bunun zıttı büyük koni açılarında geçerlidir. Sonuç olarak 80, 85, 90°'lik açılar çok küçük redüksiyonlarla (Örneğin $r = \%5$) matris şişliği sanki bir kesme aletiymiş gibi keserek talaş haline getirmektedir. (Şekil 4.21) Bu olay traşlama aparatlarında istenmeyen yüzeyleri çıkarmak için kullanılır.



Şekil 4.21 - Şişme ve kesme.

4- DİSTORİSYON : Çatlak ve yırtılmayla ilişki ciddi hataların hiç biri olmadığı kuvvetli çekmede bile mutlaka mevcuttur. Daha büyük redüksiyonlar daima daha büyük distorsiyonlara sebep olur. Sürtünmenin etkisi daha komplikedir.

5- AKIŞIN BAŞLANGICINDA MAKSİMUM ÇEKME GÜCÜ : Deforme etmesi zor malzemelerin kırılma gevrekliği, çemberin çıkışında karşı basınç uygulanarak önlenabilir. Tabii ki koni açısı seçimi plastik akışa yardım edebilir.

6- KIRILMA GEVREKLİĞİ : Tel çekmede çekme gerilmesinin limiti, malzemenin akma limitiyle verilmektedir. İstenen çekme gerilmesi malzemenin akma limitinden daha yüksek olduğunda tel matristen akamayacaktır. Akış matris tarafından durdurulacak ve çıkıştaki tel bükülerek kopacaktır.

7- MATRİS BÖLGESİNİN GİRİŞİNDE VE ÇIKIŞINDAN SONRA AKMA : Matris yüzeyi pürüzlü veya aşınmış olduğunda veyahutta uygun olmayan yağ kullanıldığında tamamlanmış mamülün yüzeyi pürüzlü olur. Matristeki çok fazla aşınmada mamülün boyutsal değişimine sebep olur. Mamülü düzeltmek için bilinen iki metod vardır. Biri mamülü elastiklik limitinin ötesinde germek, diğeri de ard arda yufkaçlar arasından geçirmektir.

4.2.2 - TAVLAMA İŞLEMİ SIRASINDA OLUŞAN HATALAR

Tavlama işlemi yukarıda da belirttiğimiz nedenlerden dolayı gereklidir. Çünkü telin mukavemeti artar ve giderek sertleşir. Tel çekilemez hale gelir ve kopmaya baylar. Telin ilk özelliklerini kazandırmak için yeniden kristalleşme tavlama yapılır.

Yeniden kristalleşme tavlama potalı fırınlarda 3-5 saat süreyle 750-800 °C arasında yapılır. Bu süre uzun tutulursa teller birbirine yapışmaya başlar ve kullanılması güçleşir. Sıcaklık çok arttırıldığında aynı hata ortaya çıkar. Bunu önlemek için fırının her yerinde sıcaklık homojen dağılmalıdır. Gelişen teknolojiyle birlikte elektrikli fırınlar kullanılmaya başlanmıştır. Bu fırınların her yerindeki sıcaklık istenilen seviyede tutulmaktadır.

Tavlama dolayısıyla yüzey oksitlenmesi, Fırın içindeki tavlama süresinde değil, malzemenin normal atmosfer içinde soğuması sırasında meydana gelmektedir. Bu nedenle parlak tavlama denilen ve tel yüzeylerinin gümüş renginde kalmasını sağlayan tavlama yöntemlerinin amacı, tavllanmış malzemenin soğuma sırasında hava ile temasını önlemektir.

Fırında pota çıkarıldıktan sonra, içindeki hava vakumlanır. Potanın içine herhangi bir etkisi olmayan azot konulur. Tel pota içerisinde 12 saat soğutulmaya bırakılır. Böylece tel oksitlenmeden soğutulmuş olur.

5- TEL ÇEKMEDE KUVVET ÖLÇÜMLERİ

AMAÇ :

Matris açısıyla tel çekme kuvveti arasında yakın bir ilişki vardır. Matris açısının yanlış tayin edilmesi tel çekme kuvvetini arttıracaktır. Doğru matris açısı çekme kuvvetini minimuma indirecektir. Böylece çekme işlemi kolaylaşacaktır.

Çeşitli çaplardaki matrislerin açılarını değiştirmek suretiyle kuvvet ölçümleri yapıp optimal matris açısının tayinine çalışılmıştır.

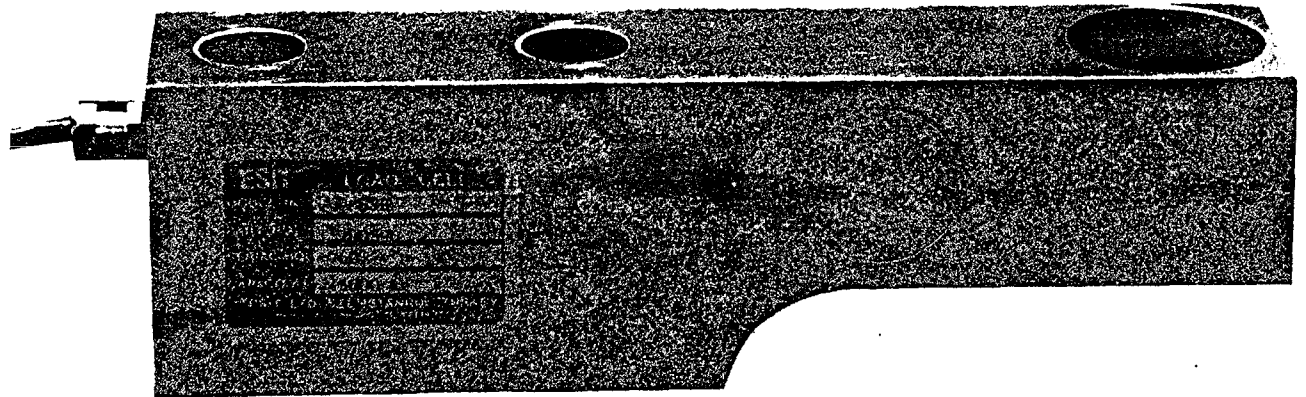
DENEY ALETLERİ

Deney sırasında kullanılan aletler aşağıda sıralanmıştır.

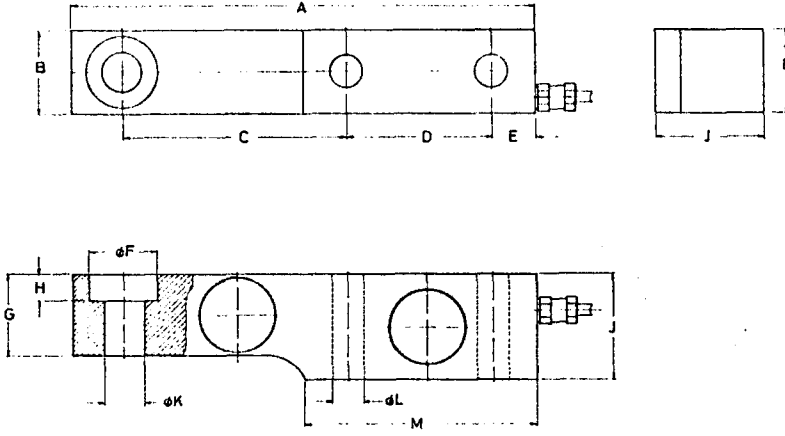
- 1- Yük hücresi
- 2- İndikatör
- 3- Tel çekme makinası
- 4- Sabunluk
- 5- Matris yuvası
- 6- Matris

YÜK HÜCRESİ :

Kesme kuvvetini ölçen bir yük hücresi kullanılmıştır. Matris, matris yuvası aracılığıyla, yük hücresinin duyarlı kısmına dayandırılmıştır.



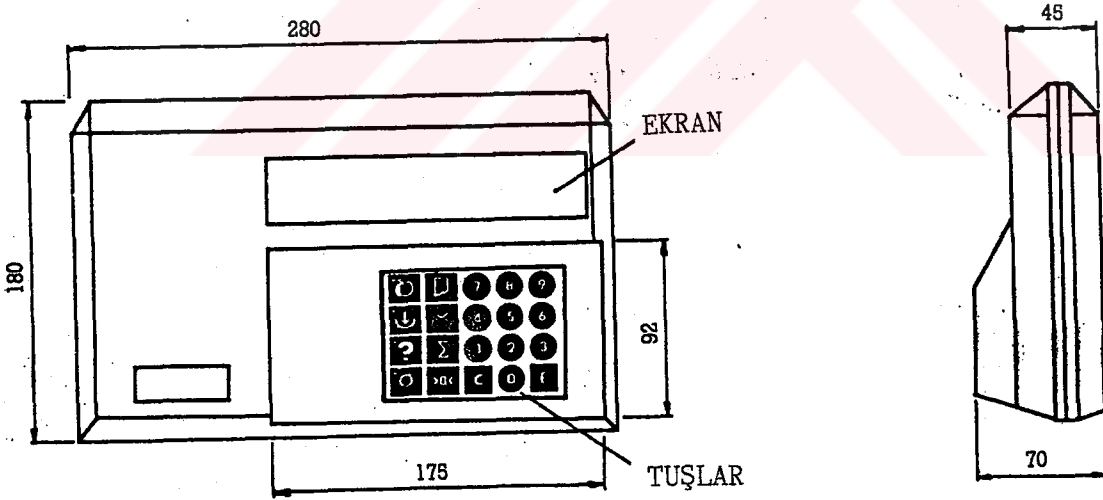
Şekil 5.1. Yük Hücresi.



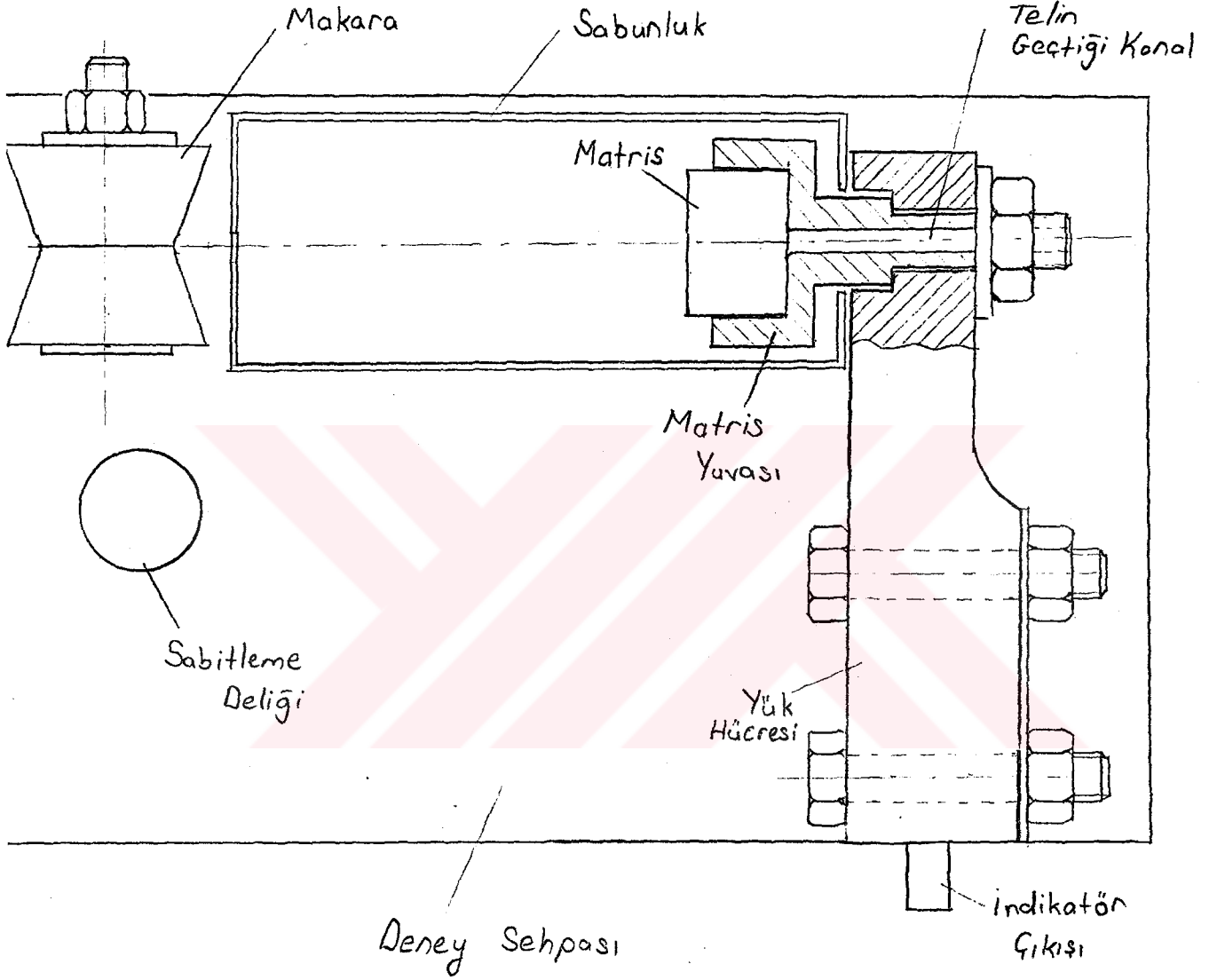
Şekil 5.2. Yük Hücresinin Teknik Resmi.

İNDİKATÖR :

Kuvvet ölçümü ve değerlendirilmesi için kullanılmıştır. Yük hücresi ile arasında bir bağlantı vardır. Bu bağlantı sayesinde kuvvet indikatörden okunabilmektedir. Yük hücresi ile indikatör beraber çalışmaktadır.



Şekil 5.3. İndikatör.



Şekil 5.4- Deney Düzenegi.

DENEYLER

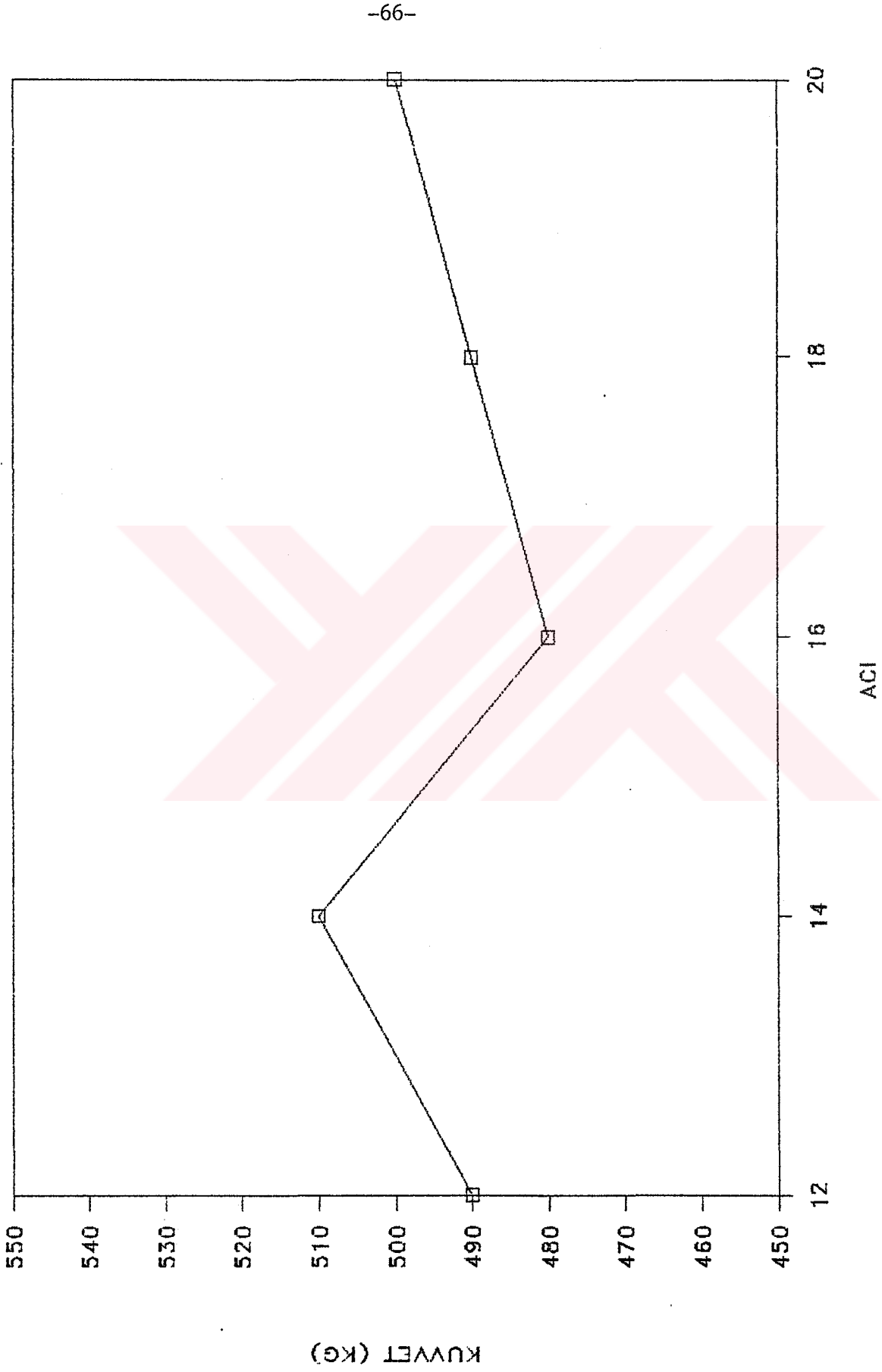
DENEY 1

Çıkış Çapı : 1.20 mm
Giriş Çapı : 1.37 mm
% Redüksiyon : % 14 mm
Çekme Hızı : 2 m/s
Malzeme : ST-37
Sabun : Na bazlı yağlı sabun

AÇILAR

ÖLÇÜLEN KUVVETLER (kg)

12°	490
14°	510
16°	480
18°	490
20°	500



Şekil 5.5- 1,20 mm için kuvvet ölçüm grafiği.

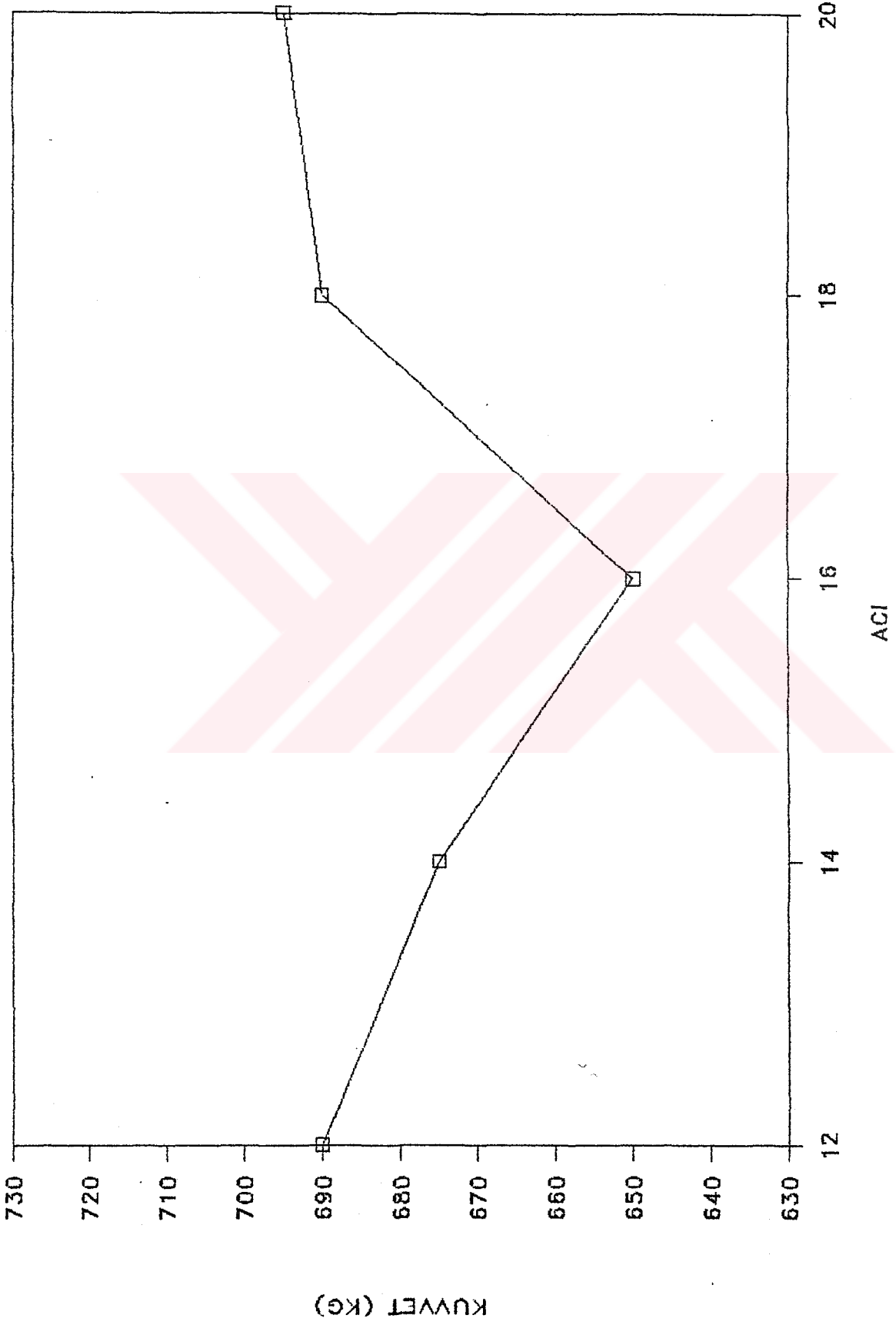
DENEY 2

Çıkış Çapı : 1.40 mm
Giriş Çapı : 1.57 mm
% Redüksiyon : % 12
Çekme Hızı : 2 m/s
Malzeme : ST-37
Sabun : Na bazlı yağlı sabun

ACILAR

ÖLÇÜLEN KUVVETLER (Kg)

12	690
14	675
16	650
18	690
20	695



Şekil 5.6- 1,40 mm için kuvvet ölçüm grafiği.

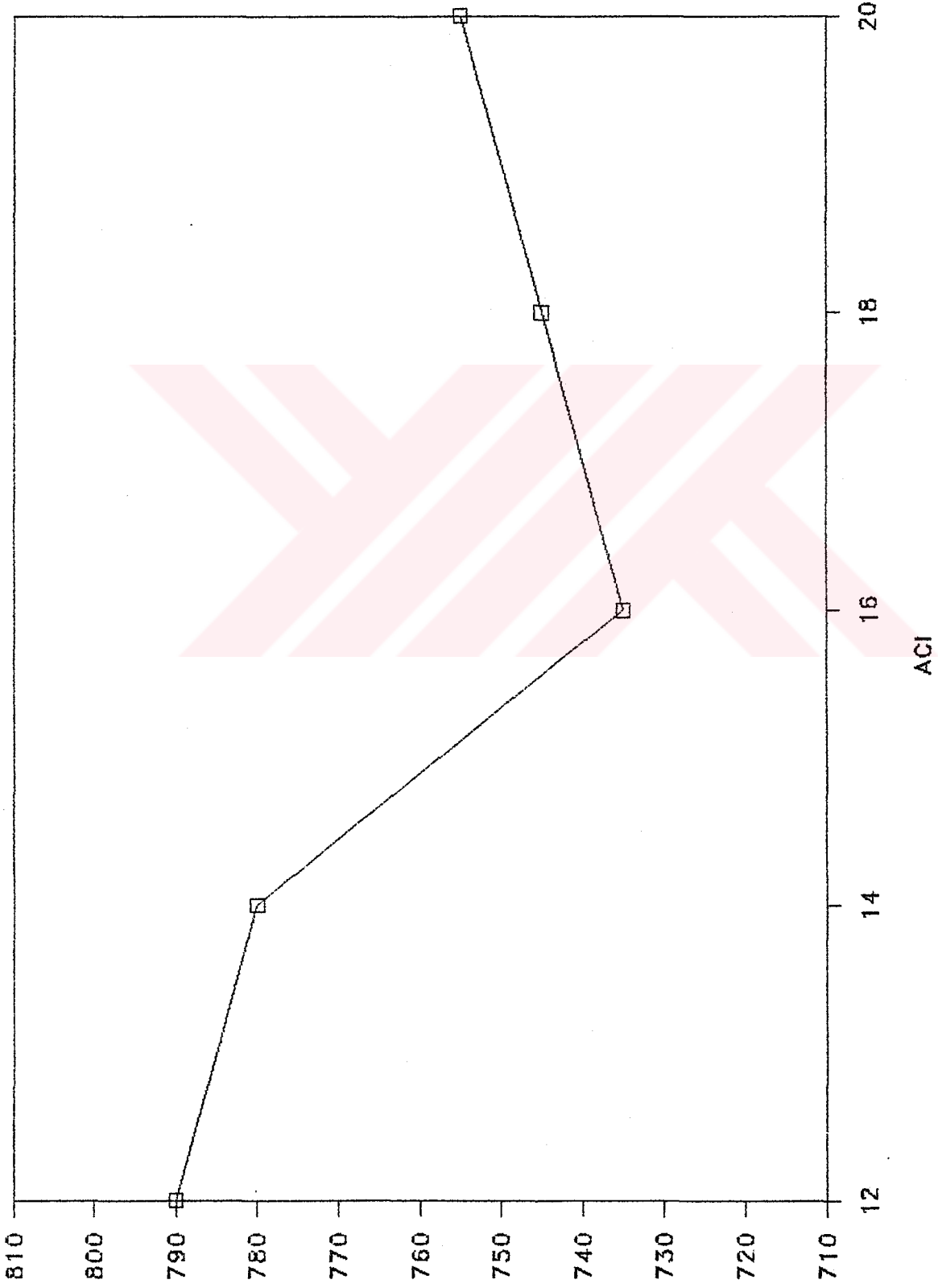
DENEY 3

Çıkış Çapı : 1.50 mm
Giriş Çapı : 1.71 mm
% Redüksiyon : % 14
Çekme Hızı : 2 m/s
Malzeme : ST-37
Sabun : Na bazlı yağlı sabun

AÇILAR

ÖLÇÜLEN KUVVETLER (kg)

12	790
14	780
16	735
18	745
20	755



Şekil 5.7- 1.50 mm için kuvvet ölçüm grafiği.

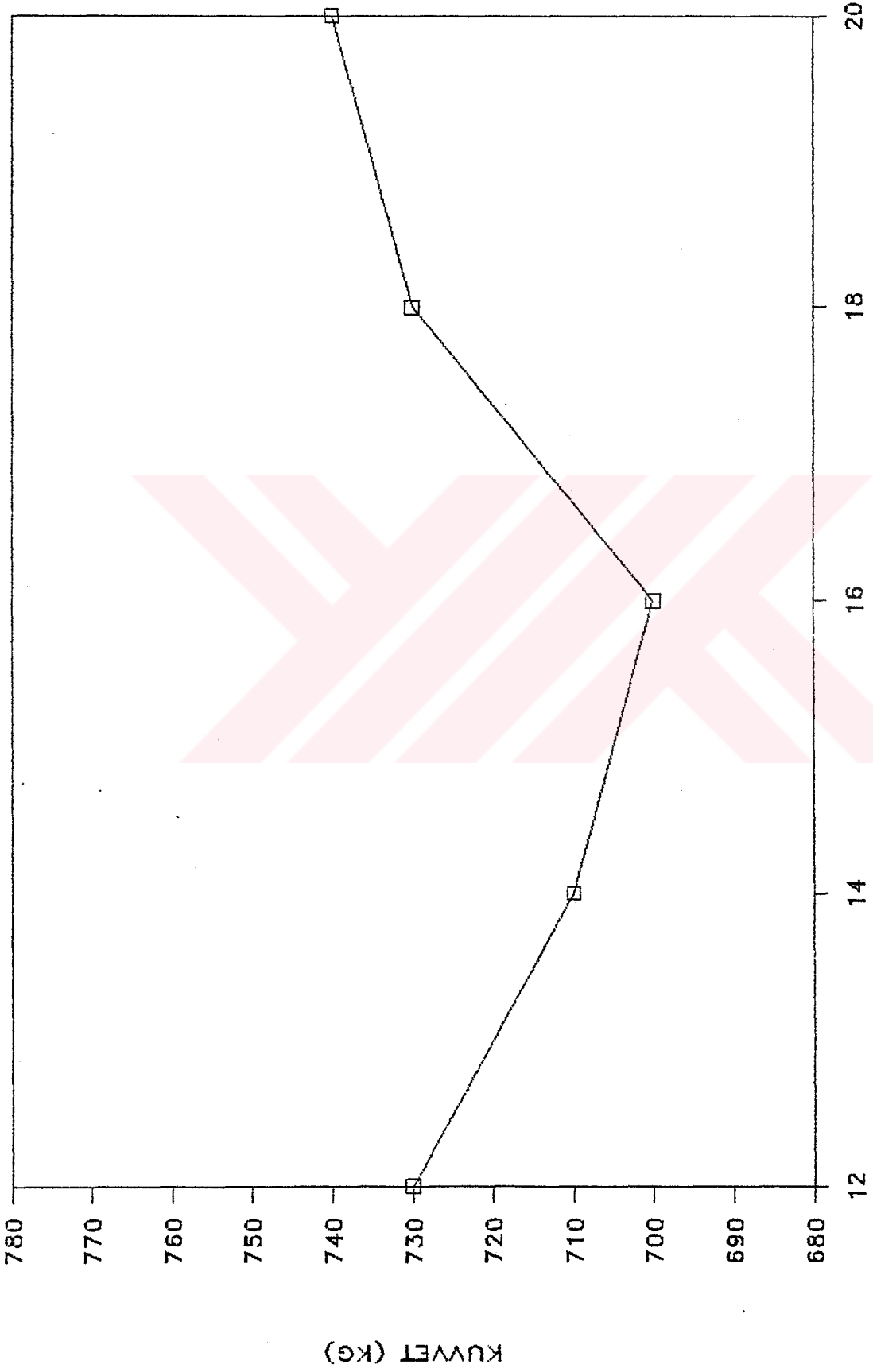
DENEY 4

Çıkış Çapı : 1.60 mm
Giriş Çapı : 1.77 mm
% Redüksiyon : % 11
Çekme Hızı : 2 m/s
Malzeme : ST-37
Sabun : Na bazlı yağlı sabun

AÇILAR

ÖLÇÜLEN KUVVETLER (kg)

12	730
14	710
16	700
18	730
20	740



ACI

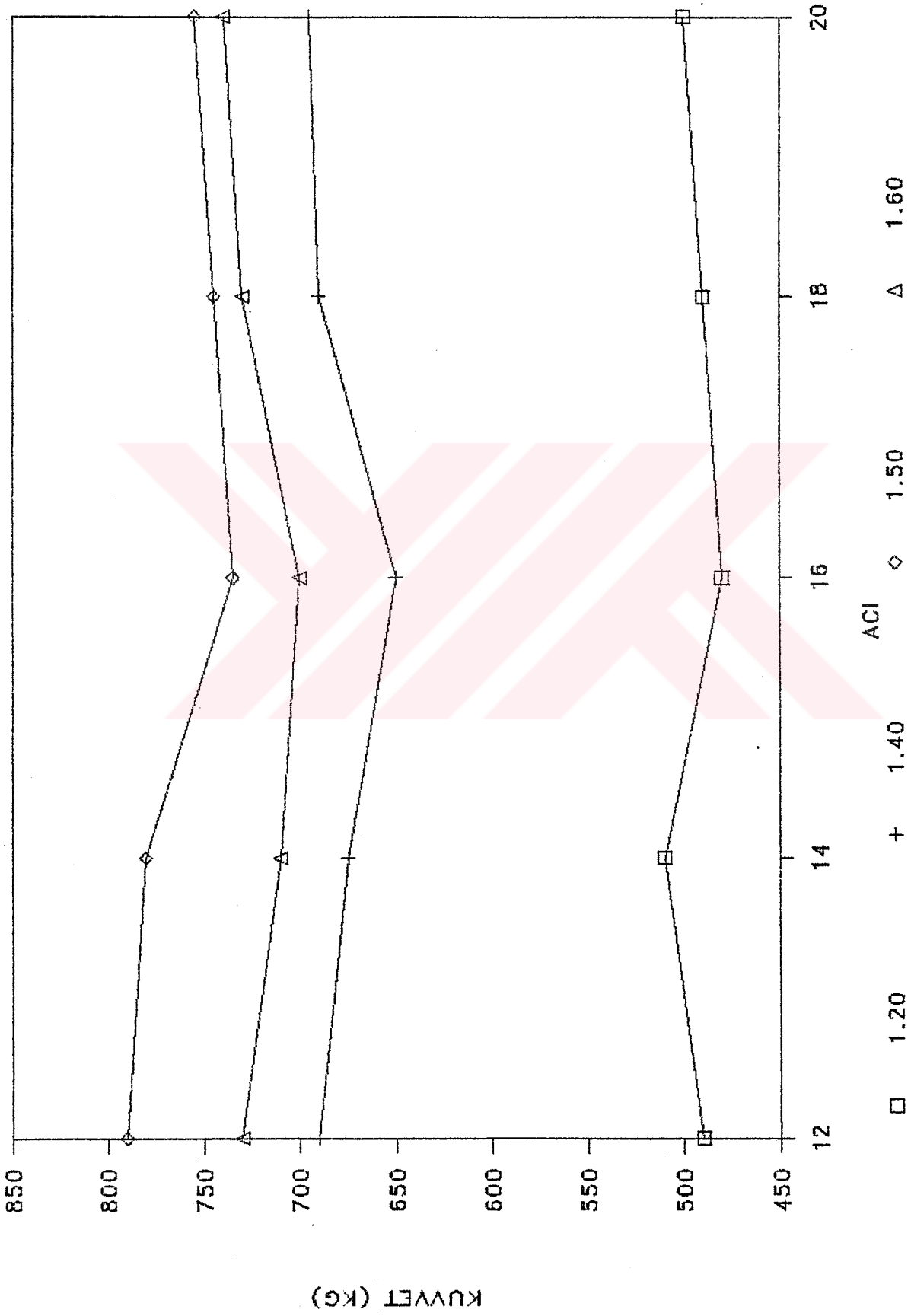
Şekil 5.8- 1,60 mm için kuvvet ölçüm grafiği.

DENEY SONUCU

Değişik çaplardaki matrisler için, farklı açılarda ölçülen kuvvetler Şekil 5.9. da toplanmıştır. Bu şekilden de görüldüğü gibi bu çap aralığında, en düşük kuvvet 16°'lik açığa sahip matrislerin kullanıldığı çekme işleminde okunmuştur. En düşük kuvvetin olduğu yerde bize optimal matris açısını vermektedir. 1.20 mm ile 1.60 mm arasındaki matrisler için optimal matris açısı 16° olarak bulunmuştur.

Optimal matris açısından, daha düşük ve daha büyük açı değerlerinde kuvvetin daha büyük olduğu görülmüştür. Optimal matris açısına yakın değerlerde bir düşüş görülmüştür.

Bu deneylerden anlaşıldığı gibi, optimal matris açısının önemi çok büyüktür. Tesbit edilip, uygulanmadığında; harcanan kuvvet artmaktadır. Kuvvetin artmasıyla, harcanan enerji miktarı da artmaktadır. Ayrıca, malzemenin yapısında daha çabuk bozulmakta ve kopmalara sebebiyet vermektedir. Matrisin yağlanması zorlaşmakta ve matris ömrü azalmaktadır.



Şekil 5.9- Kuvvet ölçümlerini karşılaştırma grafiği.

6 - SONUÇLAR

1- Tel günümüzde hemen hemen her yerde kullanılmaktadır; İletken ve direnç telleri, müzik aletleri ve ambalaj sanayi telleri vb. gibi alanlar dışında; yay, perçir, çivi, elektrod, zincir, iğne, halat vb. imalatında arı mamül olarak kullanılmaktadır. Tel olmadan çağımızın kabul edilen birçok başarıları tamamen imkansız olacaktır.

2- İyi bir yüzey, belirli bir mukavemet özelliklerine ancak soğuk şekillendirme olan tel çekme ile ulaşabiliriz.

3- Tel malzemesi seçilirken, kullanılacağı yere dikkat edilmeli, buna göre yapısındaki element oranları tesbit edilmelidir. Örneğin çivi ve tel halat için kullanılan tel malzemesi, bahçe teli ya da bağlama teli için kullanılanlardan daha kaliteli olmalıdır.

4- Sıcak haddelenmeden oluşan kav tabakası, çekme sırasında yüzeyin bozulmasına haddelerin aşınmasına neden olur. Bu nedenle yüzey temizleme önem kazanmaktadır.

5- Matris açısının doğru seçimi, tel çekme veriminin yükselmesini ve matris ömrünün uzamasını sağlar. Matris açısının seçiminde en önemli etkenlerden biri temas noktasıdır.

6- Matris açısı ile tel çekme için gerekli olan kuvvet arasında yakın bir ilişki vardır. Herhangi bir redüksiyon oranı için gerekli kuvveti en aza indiren optimum bir matris açısı vardır. Yapılan kuvvet ölçümleri sonucu optimal matris açısı olarak 16° bulunmuştur.

7- Malzemenin çeşidine, yüzey hazırlama şekline, çekme hızına, matris sayısına, matris soğutma şekline, nihai ürünün kullanılacağı yere göre sabun seçimi yapılmalıdır.

8- Tavlama işleminin hangi kademedен sonra, kaç derecede ve ne kadar süreyle yapılacağı önemlidir. Yanlış bir tavlama işlemi, sonraki kademelerde büyük sorunlar çıkarır.

9- Malzeme akışının düzenli olup olmaması çekme kuvvetine, çekme işine ve bunların sonucu olarak çekilen telin kalitesine etkimektedir. Amaç minimum çekme kuvveti ve işi ile en hatasız mamülü elde etmektir.

10- Kritik koni açısı, sürtünmenin azalması ve redüksiyon artmasıyla artar. Ölü bölge koni açısı redüksiyonla artar, kritik koni açısı daima 90° den küçüktür.

11-Sıcak haddelenmede oluşan hataların tümü, tel çekme işlemine direkt olarak etkimektedir,

12- Malzeme akışı sırasında, matris açısı, redüksiyon yağlama, malzeme cinsi ve çekme hızı bir bütün içinde düşünülür. Bunların yanlış seçimi çekme sırasında hatalara sebebiyet verir.

13- Gelecekte, tel endüstrisinde; işlemlerin tam otomatize olması, daha büyük çekme hızlarına ulaşılması, gelişmiş kaynak tekniklerinden faydalanılması ve yüksek metalurjik kaliteye sahip malzemelerin kullanılması amaçlanmaktadır.



K A Y N A K L A R

- 1- ALLAN B. DOVE
Steel Wire Handbook Volume 1,2,3,4
U.S.A. 1980
- 2- BODUR O.H.
Metallere Plastik Şekil Verme Usulleri
Arpaz Matbaacılık İstanbul-1975
- 3- SELAHATTİN ŞANBAŞOĞLU
Standart Çeliklerin Uluslararası Eşdeğerleri
İstanbul-1985
- 4- ASİL ÇELİK
Çelik Standartları
İstanbul-1984
- 5- WIRE ASSOCIATION INT'I
Posket Guide For Ferrous Wire-Drawing Practice
- 6- MIT BEITRAGEN
Herstellung von Stahldraht Teil 1
DÜSSELDORF-1969
- 7- Wright, Roger N.
Practical Use of Mechanical Analysis in Wire-Drawing
Wire Technology Sept/Oct 1976
- 8- METALS Handbooks Volume I
- 9- DIN HANDBOOK
Iron and Steel Quality Standards 1.2
KÖLN-1986
- 10- Prof. M. EMİN YURCİ
Talaşsız Şekillendirmede Analiz ve Gelişmeler I.II.
Ders Notları
İstanbul-1991

ÖZGEÇMİŞ

ÖZCAN ÖZER

1969 İstanbul doğumluyum. İlk ve orta öğrenimimi İstanbul'un muhtelif okullarında tamamladım. 1986 yılında Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'ne girdim. 1990 yılında bu bölümü bitirdim. Aynı yıl Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Bölümü İmal Usulleri Anabilim dalında yüksek lisans öğrenimine başladım, halen bu öğrenimimi sürdürmekteyim. Aynı zamanda bir özel işletmede çalışmaktayım.

TEŞEKKÜR

Ülkemizde de yaygın olarak kullanılan tel çekme işlemi hakkında beni araştırmaya sevk eden ve çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Prof. M. Emin YURCİ'ye teşekkürlerimi sunarım.

İstanbul - 1993

Özcan Özer
Makina Müh.