

154377

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SEÇİLEN KARAKTERİSTİKLERİN TEL ÇEKME İŞLEMİ
ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Makina Müh. Barış BALİN

FBE Makina Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usülleri Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışman : Prof. Mehmet Emin YURCI

Prof. Dr. Emin YURCI
Doç. Dr. Selahattin YURMAYACI
Yrd. Doç. Dr. Haydar LİVAZHALI

İSTANBUL, 2004

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vi
ÖNSÖZ.....	vii
ÖZET.....	viii
ABSTRACT.....	ix
1. GİRİŞ	1
2. TEL ÇEKME İŞLEMİNE ETKİ EDEN TEKNOLOJİK FAKTÖRLER.....	3
2.1 Akış Tipleri	3
2.2 Analiz Teknikleri	5
2.2.1 Üst Sınır Yaklaşımı	7
2.2.1.1 Hız Alanı ve Teorem.....	8
2.2.1.2 İdeal Şekillendirme Gücü.....	10
2.2.1.3 Hız Süreksizlikleri ve Sürtünme Kayıpları	11
2.2.1.4 Uygulanan Gerilmeler.....	13
2.2.2 Optimal Matris Açısı.....	14
2.2.3 Denge Yaklaşımı.....	19
2.2.3.1 Sıfır Sürtünme Durumu.....	19
2.2.3.2 Sabit Kayma Faktörüyle Sürtünme.....	20
3. TEL ÇEKME İŞLEMİNE ETKİ EDEN MEKANİK FAKTÖRLER	22
3.1 Tel Çekmeye Uygun Malzemeler	22
3.1.1 Çelik Yapısında Bulunması Mümkün Elementlerin Çekmeye Etkileri	22
3.1.2 Çelik Tel Çekmede Uygun Bileşim	23
3.1.3 Demir Olmayan Metalden Teller	24
3.2 Yüzey Hazırlama.....	24
3.2.1 Kimyasal Yüzey Temizleme.....	24
3.2.2 Mekanik Yüzey Hazırlama	26
3.3 Çekme Matrisleri	27
3.3.1 Matris Malzemeleri ve İmal Yöntemleri.....	27
3.3.2 Matris Profilinin Kısımları ve Görevleri.....	28
3.4 Çekme Sırasında Kullanılan Yağlayıcılar.....	32
3.4.1 Tel Çekmede Yağlayıcıların Görevleri	33
3.4.2 Sabunların Özellikleri ve Yağlayıcı Olarak Fiziksel Davranışı.....	33
3.4.2.1 Yağlayıcı Sabun Seçimi	36
3.4.3 Kuru Çekme Yağlayıcıları	38
3.4.3.1 Kuru Çekme Yağlayıcılarının Karakteristikleri.....	39
3.4.3.2 Kuru Tel Çekme İşlemi İçin Yağlayıcı Seçimini Etkileyen Faktörler	40

3.4.4	Yaş Tel Çekme Yağlayıcıları.....	40
3.5	Çekme Sırasında Oluşan Isı ve Sıcaklık	41
3.6	Tel Çekmede Tavlama İşlemi	43
3.7	Tel Çekme Makinaları	46
4.	TEL ÇEKME İŞLEMİNDE OLUŞAN HATALAR	49
4.1.	Malzeme Akışı Sırasında Oluşan Hatalar	49
4.1.1	Yılan Derisi Hataları	49
4.1.2	Merkez Yarılması.....	49
4.1.3	Ölü Bölge Oluşumu	50
4.1.4	Distorsiyon	51
4.1.5	Maksimum Çekme Gücü	51
4.1.6	Kırılma Gevrekliği	51
4.1.7	Akma.....	51
4.2	Sıcak Haddelenmeden Gelen Hatalar	51
4.2.1	Çatlaklar	52
4.2.2	Örtülenmeler	54
4.2.3	Yığılmalar	55
4.2.4	Haddelenme Esnasındaki Yabancı Maddeler	55
4.2.5	Kazınmalar	55
4.2.6	Hadde İzleri	56
4.2.7	Ateş Çatlağı Geçiş İzleri	56
4.2.8	Sertlik	57
4.2.9	Dış Kabuk Hataları.....	57
4.2.10	Çekirdek Ayırma	58
4.2.11	Yüzey Karbonsuzluğu	58
4.2.12	Sert Bölgeler	59
4.3	Tavlama İşlemi Sırasında Oluşan Hatalar.....	59
5.	UYGULAMA	61
5.1	Deneyin Amacı	61
5.2	Deneyde Kullanılan Techizat ve Malzeme	61
5.3	Uygulamalar.....	63
5.3.1	Deney İşlemleri.....	63
5.3.2	Deney İşlem Basamakları	64
5.3.3	Deney Sonuçları.....	67
6.	SONUÇLAR	69
	KAYNAKLAR.....	71
	ÖZGEÇMİŞ	72

SİMGE LİSTESİ

- α_i : Matris açıları
 α_{kr} : Kritik yarı koni açısı
 L_i : Matris bölge boyları
 d_i : Tel çapları
 $\epsilon_{i,j}$: i,j koordinatlarındaki tansörel gerinim bileşenleri $i,j = \{r, \varphi, \theta\}$
 J : Gerekli olan güç
 Γ_i : i bölgesi yüzeyleri, $i = \{1, \dots, N\}$
 \dot{U}_i : i için hız alanı, $i = \{r, \varphi, \theta\}$
 r : Yarıçap
 R_0 : Telin ilk yarıçapı
 R_1 : Telin son yarıçapı
 S_i : Telin i noktasındaki alanı
 τ : Kayma, sürtünme gerilmesi
 V_i : Telin i noktasındaki hızı
 \dot{W}_b : Arka germe gücü
 \dot{W}_i : İdeal güç, biçimlendirme gücü $i = \{1, \dots, N\}$
 \dot{W}_{Sij} : i,j yüzeyleri boyunca türetilen sürtünme kayıpları
 ζ_A : Akma gerilmesi
 $\zeta_{i,j}$: i,j koordinatlarındaki gerilim bileşenleri, $i,j = \{r, \varphi, \theta\}$
 m : Sabit sürtünme faktörü
 C : İntegrasyon sabiti
 β : Parametre

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Telin istenilen çapa getirilinceye kadar ardışık matrislerden geçirilmesi.....	1
Şekil 2.1 Akış tipleri.....	4
Şekil 2.2 Küresel koordinat sistemi	6
Şekil 2.3 Küresel koordinat sisteminde birim hacim elemanı.	7
Şekil 2.4 Matris ve tel	8
Şekil 2.5 Hız alanı	9
Şekil 2.6. Aşırı direnç için çekme gerilmesinin parçaları.	14
Şekil 2.7 - Bağlı çekme gerilmelerine redüksiyon ve koni açısının etkileri	14
Şekil 2.8 Konik şekildeki profilli matris.	15
Şekil 2.9 Bağlı kalınlık ve yarı açığa göre distorsiyona uğramış kafesin bağlı pozisyonu.....	16
Şekil 2.10- Matris yarım açısının bir fonksiyonu olarak çekme gerilimi.....	17
Şekil 2.11 Redüksiyon ve sabit kesme faktörüne karşı, kritik yarım koni açısı.	18
Şekil 3.1 Makaralarla mekanik kırma ve yüzey hazırlama	26
Şekil 3.2. Basınçlı sıvı ile tufal tabakasının temizlenmesi.	26
Şekil 3.3 Matris dizaynı.	28
Şekil 3.4 Doğru temas noktası.....	29
Şekil 3.5 Hatalı Temas Noktası.....	30
Şekil 3.6 Hatalı temas noktası	30
Şekil 3.7 Tel çekme kuvveti ve matris açısı değerleri.....	31
Şekil 3.8 Matris çekirdeği açıları ve boyları.	32
Şekil 3.9 Telin matristen geçişi ve film tabakası oluşumu.....	33
Şekil 3.10 Sıcaklık dağılımı	42
Şekil 3.11 7 m/s de matriste sıcaklık dağılımı	42
Şekil 3.12 Soğuk işlem ve toparlanma sırasında oluşan hücre ve alt yapısı	44
Şekil 3.13 Tav fırını	45
Şekil 3.14 Tav fırını	45
Şekil 3.15 Sarma çeşitlerine göre çekme makinaları	46
Şekil 3.16 Tel çekme makinası.	47
Şekil 3.17 Tel çekme makinası.	47
Şekil 3.18 Eğik bloklu çekme makinası	48
Şekil 3.19. Sulu çekme makinası.	48
Şekil 4.1 Şişkinlik ve girişte büzülme.....	50
Şekil 4.2 Şişme ve kesme.....	50
Şekil 4.3 Şekilde yüzey bölgesinde eğik olarak boyuna bir çatlak	52
Şekil 4.4 Yüzey delikleri nedeniyle oluşan boyuna çatlaklar	53
Şekil 4.5 Malzeme yüzeyinde iki zıt yönde aralıklı yayvan şekilde hata	54
Şekil 4.6 Yığılmalar	55
Şekil 4.7 Tel üzerindeki kazınmalar.....	56
Şekil 4.8 Periyodik yükseltiye neden olan son geçişteki bir hasar.....	56
Şekil 4.9 Haddelene doğrultusunda sağ açıdan ateş çatlağı izleri.	57
Şekil 4.10 Dikilmiş dış kabuk ve daha küçük bir bindirme	57
Şekil 4.11 Yüzeyde oluşan karbon eksikliği	58
Şekil 4.12 Aşırı hızda soğutma sebebiyle tel çubukların yüzeyinde oluşan sert bölgeler.	59
Şekil 5.1 Deney şeması	61
Şekil 5.2 İndikatör	62
Şekil 5.3 Yük hücresinin teknik resmi.	63
Şekil 5.4 Deney düzeneği.....	63
Şekil 5.5 Çekme kuvvetinin değişim grafiği.....	65
Şekil 5.6 Çekme kuvvetlerinin değişim grafiği.....	67
Şekil 5.7 Çekme kuvvetinin değişim oranları	67

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1 ST37 malzemenin kimyasal bileşimi	23
Çizelge 3.2 SAE1010 malzemenin kimyasal bileşimi	23
Çizelge 3.3 Malzemenin banyoda kalma süresi ve ısı derecesi	25
Çizelge 3.4 Sabun seçim örnekleri	37
Çizelge 5.1 Çekilen malzemenin kimyasal analiz değerleri	61
Çizelge 5.2 Tel çekme işlemi sonucunda ölçülen değerler	64
Çizelge 5.3 Tel çekme işlemi sonucunda ölçülen değerler	64
Çizelge 5.4 Tel çekme işlemi sonucunda ölçülen değerler	65
Çizelge 5.5 Tel çekme işlemi sonucunda ölçülen değerler	65
Çizelge 5.6 Tel çekme işlemi sonucunda ölçülen değerler	66
Çizelge 5.7 Tel çekme işlemi sonucunda ölçülen değerler	66
Çizelge 5.8 Tel çekme işlemi sonucunda ölçülen değerler	66
Çizelge 5.9 Tel çekme işlemi sonucunda ölçülen değerler	66
Çizelge 5.10 Sodyum ve kalsiyum bazlı sabunların ölçüm değerlerinin karşılaştırılması.....	68



ÖNSÖZ

Plastik şekil verme binlerce yıldan beri kullanılan bir imal usulü olmakla birlikte, geçen yüzyılın ortalarına kadar tecrübeye dayanılarak uygulanmış, hızla artan önemi ile birlikte bilimsel araştırmalar başlamış ve gelişmiştir. Bu çalışmada plastik şekil verme yöntemlerinden tel çekme işlemi konu edilmiş, işleme etki eden faktörler üzerinde yeni bulgular ortaya koyulmaya çalışılmıştır.

Deneysel çalışma için, bölümümüzdeki mevcut sistemin üzerinde iyileştirmeler ve kalibrasyonlar yapılmasında yardımcı olan ESİT ve ERTEL firmalarına teşekkür ederim.

10 yıllık gerek öğrenciliğim gerekse çalışmalarım sırasında, kendilerinden öğrendiklerim ve yardımları için sayın Hocam Prof. M. Emin Yurci'ye teşekkür ve şükranlarımı arz ederim.



ÖZET

İmalat sanayisinde kullanılan malzemelere bakıldığında, hemen hemen tamamına yakınına plastik şekil verme yöntemlerinden birinin uygulandığı görülmektedir. Tel çekme işlemi de plastik şekil verme yöntemleri arasında önemli yer tutmaktadır. Günümüzde kalitenin yanında verimliliğin artırılması ve maliyetlerin azaltılması gibi faktörlerde önemlidir. Bu çalışmada, seçilen karakteristiklerin plastik şekil verme yöntemlerinin en önemlilerinden olan tel çekmeye olan etkileri incelenmektedir. Bu etkiler iki ana başlıkta toplanmış olup, analiz teknikleri ve mekanik faktörler incelenmiştir. Deneysel çalışmada bu karakteristikler arasında önemli bir yer tutan yağlayıcıların tel çekme üzerindeki etkilerine yoğunlaşmıştır. Sodyum ve kalsiyum bazlı sabunların arasındaki farkları incelemek için uygulama bölümünde birçok deney gerçekleştirilip veriler elde edilmiştir. Bu deneysel çalışma için mevcut sistem üzerinde iyileştirmeler ve kalibrasyonlar yapılarak yeniden kurulmuş ve faaliyete geçirilmiştir. Sonuç bölümünde ise bu veriler düzenlenip yorumlanmıştır. Bu önemli üretim dalının gelişmesine yardımcı olacak bazı önerilerde bulunarak sona erdirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tel çekme, tel, yağlama.



ABSTRACT

This study examines the effects of the chosen characteristics on wire drawing process, which is the one of the most important plastic forming methods. Lubricants taking an important place among those characteristics, in our research we focused on their effects on wire drawing. To analyze differences between sodium and calcium based soaps, we realized many experiments in the application part and collected data's. In the conclusion part, we arranged and interpreted those data's, and concluded the study by doing some recommendations for trying to help to the development of this important branch of production.

Keywords: Wire drawing, wire, lubrication.



I. GİRİŞ

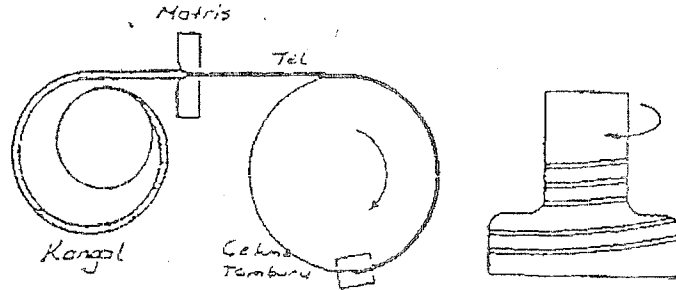
Telin, m.ö. 3000 yıllarından itibaren kullanılmaya başlandığı tahmin edilmektedir. O yıllarda telin, yumuşak metallerin önceden dövülüp, sonra da çekme matrisinden çekilerek yapıldığı düşünülmektedir. 1350 yıllarında endüstriye ilk makinalaşmış tel çekme donatımını getiren, Nuremberg'li Rudolph olmuştur. 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 mamuller endüstrisinin gelişmesi, yün tarakları yapmak amacıyla tel imalatını teşvik etmiştir.

12. yy.'dan itibaren çekme matrislerinden bahsedilmeye başlandığı görülmektedir. Tel çekme tekniğinde, sürekli ısıl işlemlerin uygulanmasına imkan tanıyan, el ile yapılan işlemleri minimuma indiren gelişmelere son 30 yıl içerisinde ulaşılmıştır.

Tel çekmenin günümüzdeki yöntemlerine baktığımızda, kangal halinde sarılı olan yuvarlak hadde mamülü çubuklardan (filmaşin), sürekli bir çekme ile değişik çaplarda teller elde edilmektedir.

Tel çekme işlemi sıcak haddelenmiş filmaşin tellerden (8/5.5 mm) başlamaktadır. Filmaşin 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 Telin istenilen çapa getirilinceye kadar ardışık matrislerden geçirilmesi

Tel çekme işlemine etki eden bir çok faktör bulunmaktadır. İşleme uygun malzeme seçimi ve uygun bileşim, kullanılan hadde sayısı ve matris özellikleri, tel çekme hızı ve kullanılan sabun özellikleri bunlardan başlıcalarıdır (Dove vd.,1980).

Bu çalışmada talaşsız şekil verme yöntemlerinden tel çekme işlemi konu edilmiştir. Bu işleme etki eden faktörler üzerinde yeni bulgular ortaya koyulmaya çalışılmıştır. Kullanılan yağlayıcı sabun değiştirilerek kuvvet değerlerinin değişimini gözlemlemek, etkilerini irdelemek amaçlanmıştır. Gözlemlenen değişimler sonucunda elde edilen bulguların karşılaştırılması yapılmıştır. Ayrıca telin yüzey kalitesi ve çalışma şartları gözlemlenip yorumlar getirilmiştir. Amaçlanan hedeflerden biride deneysel çalışma için mevcut sistem üzerinde iyileştirmeler ve kalibrasyonlar yapılarak yeniden kurulumunu sağlamak ve faaliyete geçirmektir.

Diğer bir başlık olarakta analiz teknikleri ve mekanik faktörler incelenmektedir. Bunları uygun malzeme, yüzey hazırlama, matrisler, yağlayıcılar, oluşan ısı ve tavlama işlemi, tel çekme makinaları olarak sıralayabiliriz.



2 . TEL ÇEKME İŞLEMİNE ETKİ EDEN TEKNOLOJİK FAKTÖRLER

Teknolojik olarak incelemede, tel çekme için esas olan malzeme akışı ele alınacaktır. Talaşsız (plastik) biçimlendirmeyi basit olarak tanımlarsak, uygulanan takımın zorlama etkisi ile, kalıcı (plastik) deformasyonlar göstererek istenilen biçim ve boyutlara ulaşılmaktadır. Plastik deformasyon matrisin tele teması sonucu gerçekleşmektedir. Temasta olan ve birbirlerine göre bağıl olarak harekette bulunan iki parçanın temas yüzeyleri arasında sürtünme ve buna bağlı olarak aşınma, sıcaklık yükselişi ile enerji kaybı meydana gelir. Bu olayların etkisini azaltmak için alınması gereken önlemlerin en önemlisi yağlamadır.

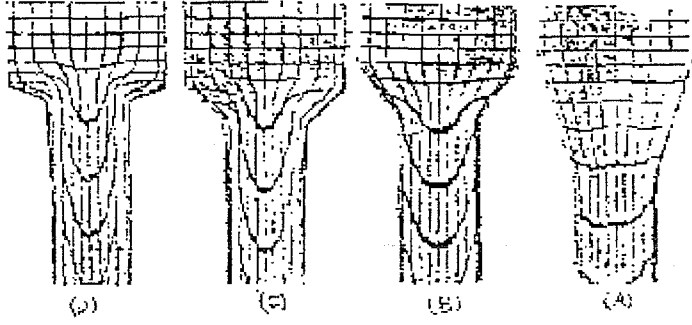
Malzeme akışının düzenli olup olmaması, çekme kuvvetine, çekme işine ve bunların sonucu olarak çekilen telin kalitesine etkimektedir. Burada amaç minimum çekme kuvveti ve işi ile en hatasız mamulü elde etmektir. Tümünü dikkate alındığında malzeme akışının önemi ortaya çıkmaktadır.

Tel çekmede malzeme akışına etki eden çeşitli faktörler vardır. Bunlar :

- Çekilen malzemenin cinsi
- Yağlama
- % redüksiyon
- Matris ve matris açısı (Wright,1976)

2.1 Akış Tipleri

Genel anlamda sürtünme, birbirleri ile temas eden ve bağıl olarak hareket eden iki cismin temas yüzeylerinin hareketi veya hareket ihtimaline karşı gösterdiği dirençtir. Mekanik işlemlerde, temas eden tel plastik deformasyona uğrar, bu işlem esnasında daha sert olan matris yüzeyine sürtünerek kayar ve malzeme akışı meydana gelir. 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. 2.1 Akış tipleri

A tipi akış, 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.

B tipi akış; 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 bölgelerinde 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 maksimumdan ve bu şekilde harekete çok az katılan bir hacim oluşmaktadır. Matris yüzeyinde yapılan bir soğutma, şekil değiştirme direncinin yükselmesiyle açığı daha da büyütebilir. Ölü bölge açısına etki eden diğer bir büyüklükte çekme oranıdır. Çekme oranıyla kenar bölge malzemesinin yolu uzar. Bu şekilde çekilen teldeki kofluk oluşumu azalır.

C tipi akışta; 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 aç

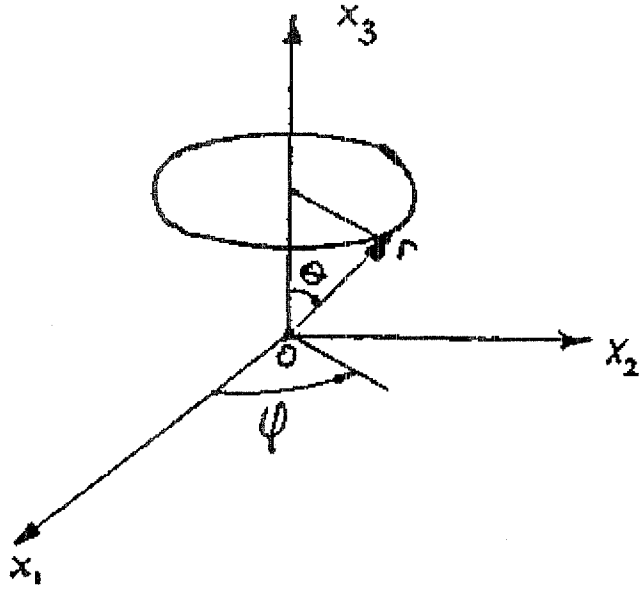
yüksek sürtünme kuvvetleri telin merkezinin çabuk hareket etmesine neden olur ve bu şekilde bu bölgede telin kenarları ve sonuna nazaran şekil değiştirme yüksektir.

D tipi akışta, 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. (Bodur,1975)

2.2 Analiz Teknikleri

Plastik şekil verme mekaniğinin, şekillendirme uygulamaları birbirine benzer tarzdadır. İlk yarı çapı R_0 olan bir tel, matrisin konik kısmından çekilmektedir. Matristen 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.

Plastik şekil vermede teoriler, genel olarak elastisite teorilerine dayanılarak çıkarılmaktadır. Silindir şeklindeki bir parça için, küresel koordinat sistemine göre belirlenen, bir hacim elemanı üzerindeki kuvvetler dengesi incelenir. Küresel koordinat sisteminin eksenleri şekil 2.2.'de radyal yönlerde (r) ve açısız pozisyonlarda (φ , θ)dır. Hız bileşenleri, gerinim hızı bileşenleri i_j 'nin olağan tarzdaki indisleri bu kez r , φ ve θ olduğu esnada U_i (U_r , U_φ , U_θ)'ya dönüşür. Hız bileşenlerinin fonksiyonları olarak gerinim hızları aşağıdaki şekilde verilmektedir.



Şekil 2.2 Küresel koordinat sistemi

$$\epsilon_{rr} = \frac{\partial \dot{U}_r}{\partial r}$$

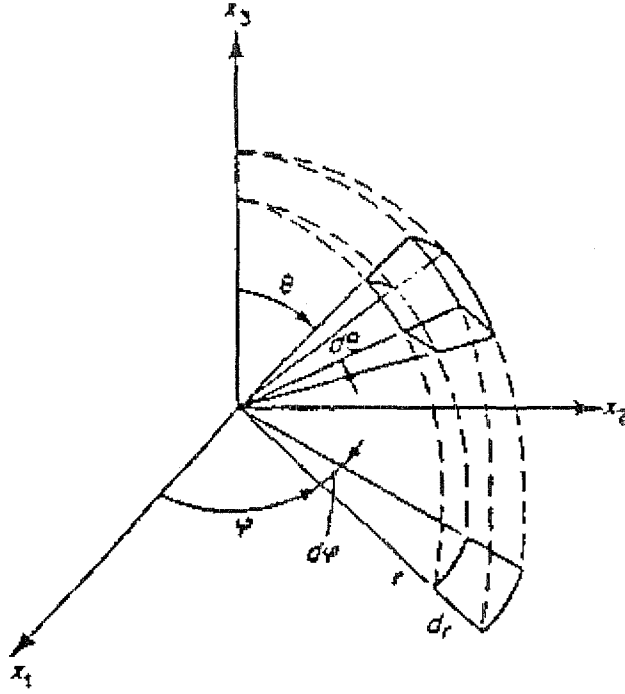
$$\epsilon_{\theta\theta} = \frac{1}{r} \frac{\partial \dot{U}_\theta}{\partial \theta} + \frac{\dot{U}_r}{r}$$

$$\epsilon_{\phi\phi} = \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial \dot{U}_\phi}{\partial \phi} + \frac{\dot{U}_r}{r} + \frac{\dot{U}_\theta}{r} \cot \theta \quad (2.1)$$

$$\epsilon_{r\theta} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \dot{U}_\theta}{\partial r} - \frac{\dot{U}_\theta}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \dot{U}_r}{\partial \theta} \right)$$

$$\epsilon_{\theta\phi} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial \dot{U}_\phi}{\partial \theta} + \frac{1}{r} \frac{\partial \dot{U}_\phi}{\partial \theta} - \frac{\cot \theta}{r} \dot{U}_\phi \right)$$

$$\epsilon_{\phi r} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \dot{U}_\phi}{\partial r} - \frac{\dot{U}_\phi}{r} + \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial \dot{U}_r}{\partial \phi} \right)$$



Şekil 2.3 Küresel koordinat sisteminde birim hacim elemanı.

Denge Eşitlikleri:

$$\frac{\partial \zeta_{rr}}{\partial r} + \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial \zeta_{r\varphi}}{\partial \varphi} + \frac{1}{r} \frac{d\zeta_{r\theta}}{d\theta} + \frac{2\zeta_{rr} - \zeta_{\varphi\varphi} - \zeta_{\theta\theta} + \zeta_{r\theta} \text{Cotg } \theta}{r} = 0$$

$$\frac{\partial \zeta_{r\varphi}}{\partial r} + \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial \zeta_{\varphi\varphi}}{\partial \varphi} + \frac{1}{r} \frac{\partial \zeta_{\varphi\theta}}{\partial \theta} + \frac{3\zeta_{r\varphi} + 2\zeta_{\varphi\theta} \text{Cotg } \theta}{r} = 0 \quad (2.2)$$

$$\frac{\partial \zeta_{r\theta}}{\partial r} + \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial \zeta_{\varphi\theta}}{\partial \varphi} + \frac{1}{r} \frac{\partial \zeta_{\theta\theta}}{\partial \theta} + \frac{3\zeta_{r\theta} + (\zeta_{\theta\theta} - \zeta_{\varphi\varphi}) \text{Cotg } \theta}{r} = 0$$

haline dönüşür.(Yurci,1991a)

2.2.1 Üst Sınır Yaklaşımı

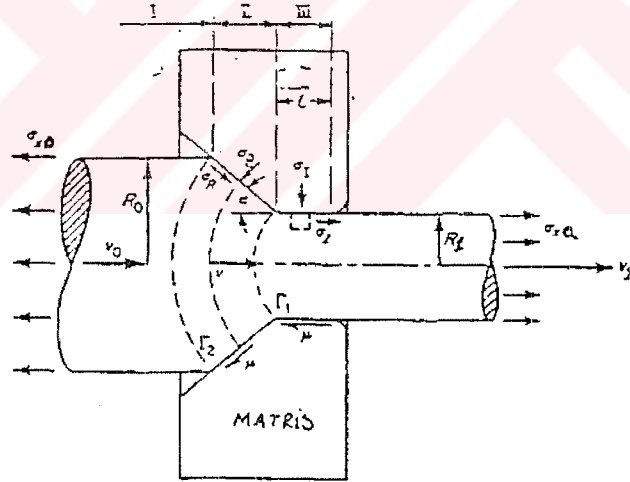
Plastik şekillendirme problemlerinin çözümünde uygulanan güç ve analiz tekniklerinden biridir.Çalışmamızda başka analiz teknikleri olmasına karşın bu tekniği seçmemizin sebebi ise; plastik şekillendirme işlemlerinde, problemlere kesin ve doğru çözümler getirmek güçlüğ gösterdiğinden, plastik deformasyon için gerekli enerjiyi alt ve üst limitlerle sınırlamak tercih edilen yaklaşımlardan birisi olmaktadır.

Üst sınır tekniği, şekil değiştiren paso geometrisi için belirlenen uygun bir hız alanı tanımlamasına ve güç değeri için bir üst sınır belirlenmesine dayanmaktadır. Teknikte kinematik konumdan hareket edilmektedir. Üst sınır tekniği hemen hemen her plastik şekil değiştirme yöntemine uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar pratik bakımdan uyumlu ve analiz tekniğinin uygulanışı da pratik için elverişlidir. Bu sebeplerden dolayı tesis kurumu ve işletmecilik alanında üst sınır çözümleri kabul görmektedir.

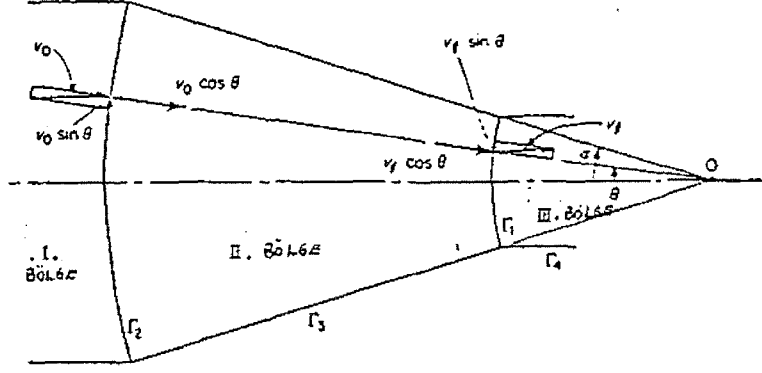
2.2.1.1 Hız Alanı ve Teorem

Matrisin, rijit ve geometrisinin de şekil 2.4.'deki gibi olduğu kabul edilir. Kinematik olarak müsaade edilebilen hız alanı şekil 2.5.'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 aksel bileşene sahiptir. I. bölgede V_0 dir ve III. bölgede hız V_1 'dir. Hacim sabitliği nedeniyle;

$$V_0 = V_1 \left(\frac{R_1}{R_0} \right)^2 \quad (2.3)$$



Şekil 2.4 Matris ve tel



Şekil 2.5 Hız alanı

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

$$\dot{U}_r = V = -V_1 \cdot r_1^2 \cdot \frac{\cos \theta}{r^2} \quad \dot{U}_\theta = \dot{U}_\varphi = 0 \quad (2.4)$$

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.

$$\Gamma_1 \text{ boyunca, } \Delta V = V_1 \cdot \sin \theta \quad (2.5)$$

$$\Gamma_2 \text{ boyunca, } \Delta V = V_0 \cdot \sin \theta \quad (2.6)$$

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

$$\Gamma_3 \text{ boyunca, } \Delta V = V_1 \cdot r_1^2 \cdot \frac{\cos \alpha}{r^2} \quad (2.7)$$

$$\Gamma_2 \text{ boyunca, } \Delta V = V_1 \quad (2.8)$$

Daha önceki üst sınır teoreminden,

$$J = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \zeta_A \cdot \int_v \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \dot{\epsilon}_{ij} \cdot \dot{\epsilon}_{ij}} \cdot dv + \int_{ST} \tau \cdot dv \cdot ds - \int_{st} \tau_i \cdot V_i \cdot ds \quad (2.9)$$

Çekme için, yüzey çekilmelerine, sınırlar üzerindeki kuvvetler ile güç dahil edilmesi tavsiye edilir ki, bu olay karşı germe W_b ' içindir. Çok yüksek hızdaki biçimlendirme işlemlerinde ön ve arka germelerde dikkate alınmalıdır. (Yurci, 1991b)

$$\dot{W}_b = - \int_{st} \tau_i \cdot V_i \cdot ds = \pi \cdot V_0 \cdot R_0^2 \zeta_{xb} = \pi \cdot V_1 \cdot R_1^2 \zeta_{xb} \quad (2.10)$$

2.2.1.2 İdeal Şekillendirme Gücü

I. ve III. bölgelerde deformasyon oluşmaz ve bununla beraber deformasyonun iç güçleri de yoktur. II. bölgedeki gerinimler küresel koordinat sistemi (r, φ, θ) içinde görülürler. Denklem (2.1.) φ eksenine göre ekstenel silindirik simetri durumunda azalır.

$$\begin{aligned} \dot{\epsilon}_{rr} &= \frac{\partial \dot{U}_r}{\partial r} & \dot{\epsilon}_{\varphi\varphi} &= \frac{\dot{U}_r}{r} = -(\dot{\epsilon}_{rr} + \dot{\epsilon}_{\theta\theta}) & \dot{\epsilon}_{\theta\varphi} &= \dot{\epsilon}_{r\varphi} = 0 \\ \dot{\epsilon}_{\theta\theta} &= \frac{\dot{U}_r}{r} & \dot{\epsilon}_{r\theta} &= \frac{1}{2} \cdot \frac{\partial \dot{U}_r}{\partial \theta} \end{aligned} \quad (2.11)$$

Denklem 2.3.'ün hız alanına, denklem 2.11.'e uygulandığında aşağıdaki gerinim oranları elde edilir.

$$\begin{aligned} \dot{\epsilon}_{\varphi\varphi} &= \dot{\epsilon}_{\theta\theta} = -(\dot{\epsilon}_{rr} + \dot{\epsilon}_{\theta\theta}) \\ \dot{\epsilon}_{rr} &= -2 \cdot \dot{\epsilon}_{\theta\theta} = -2 \cdot \dot{\epsilon}_{\varphi\varphi} = 2 \cdot v_1 \cdot r_1^2 \cdot \frac{\cos\theta}{r^3} \end{aligned} \quad (2.12)$$

$$\dot{\epsilon}_{r\theta} = \frac{1}{2} \cdot v_1 \cdot r_1^2 \cdot \frac{\sin\theta}{r^3}$$

$$\dot{\epsilon}_{\theta\varphi} = \dot{\epsilon}_{r\varphi} = 0$$

Hareket radyal olduğu ve açılmal pozisyon θ , II. bölgede hiçbir kısım için tespit edilmediği zaman, gerinim 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. Gerinim denklem 2.11'de tariflendiği gibi orantılı gerinim olarak adlandırılır.

$$\dot{W}_i = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \zeta_A \cdot \int_v \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \dot{\epsilon}_{ij} \cdot \dot{\epsilon}_{ij}} dV \quad (2.13)$$

Denklem 3.12'deki gerinim hızlarının denklem 2.13'e uygulanmasıyla aşağıdaki ifadeler elde edilmektedir.

$$\dot{W}_i = 2 \cdot \zeta_A \cdot v_1 \cdot r_1^2 \int_v \frac{1}{r^3} \sqrt{1 - \frac{11}{12} \cdot \sin^2\theta} dV \quad (2.14)$$

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

$$\dot{W}_i = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \zeta_A \cdot v_1 \cdot r_1^2 \int \frac{1}{r^3} \sqrt{3 \cdot \cos^2 \theta + \frac{1}{4} \sin^2 \theta} dv \quad (2.15)$$

$$\dot{W}_i = 4 \cdot \pi \cdot \zeta_A \cdot v_1 \cdot r_1^2 \cdot \ell_n \left(\frac{r_0}{r_1} \right) \int_{\theta=0}^{\alpha} \sqrt{1 - \frac{11}{12} \cdot \sin^2 \theta} \cdot \sin \theta \cdot d\theta \quad (2.16)$$

integrasyondan sonra

$$\dot{W}_i = 2 \cdot \pi \cdot \zeta_A \cdot v_1 \cdot r_1^2 \left(1 - \cos \alpha \sqrt{1 - \frac{11}{12} \cdot \sin^2 \alpha} + \frac{1 - \frac{11}{12}}{\sqrt{\frac{11}{12}}} \ell_n \frac{1 + \sqrt{\frac{11}{12}}}{\sqrt{\frac{11}{12} \cdot \cos \alpha + \sqrt{1 - \frac{11}{12} \sin^2 \alpha}}} \right) \ell_n \frac{r_0}{r_1} \quad (2.17)$$

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

$$\dot{W}_i = 2 \cdot \pi \cdot \zeta_A \cdot v_1 \cdot R_1^2 \cdot f(x) \ell_n \frac{R_0}{R_1} \quad (2.18)$$

olduğu yerde çok küçük için, $f(\alpha)$ teklik için bir noktaya yönelir ve denklem 2.19'a dönüşür.

$$\dot{W}_i = 2 \cdot \pi \cdot \zeta_A \cdot v_1 \cdot R_1^2 \cdot \ell_n \frac{R_0}{R_1} \quad (2.19)$$

$f(\alpha)$ fonksiyonu, denklem 2.19'da uniform hız alanı için hesaplanan ideal gücü verir. (Yurci, 1991b)

2.2.1.3 Hız Süreksizlikleri ve Sürtünme Kayıpları

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 2.4) $|U_r| = V_1 \cdot \cos \theta$ Benzer olarak, Γ_1 yüzeyine normal olan III. bölgedeki aksenal hız V_1 'nin, bileşenleri de aynı $V_1 \cdot \cos \theta$ dir. Bu yüzeylere paralel olan hız bileşenlerinin mutlaka eşit olması gerekmemektedir. Bunların farklılığı, denklem 2.5 ile ifade edildiği gibi, büyüklüğün bir hız süreksizliği olarak adlandırılmalarıdır.

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

Böylece bu yüzeyler boyunca türetilen güç,

$$\dot{W}_{S_{1,2}} = \int_{\Gamma_1 \Gamma_2} \tau \cdot \Delta V ds = \int_{\Gamma_1} \tau \cdot \Delta V dA + \int_{\Gamma_2} \tau \cdot \Delta V dA = 4 \cdot \pi \cdot v_1 \cdot r_1^2 \cdot \frac{\zeta_A}{\sqrt{3}} \int_{\theta=0}^{\alpha} \sin^2 \theta d\theta \quad (2.20)$$

$$\dot{W}_{S_{1,2}} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \zeta_A \cdot \pi \cdot v_1 \cdot r_1^2 [\alpha - (\sin \alpha) \cdot \cos \alpha] = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \zeta_A \cdot \pi \cdot v_1 \cdot r_1^2 \left(\frac{\alpha}{\sin \alpha} - \cot \alpha \right) \quad (2.21)$$

den daha fazla değildir.

Sınırın konik kısmı boyunca hız süreksizliği;

$$\Delta V = V_1 \cdot \frac{r_1^2}{r^2} \cdot \cos \alpha = V_1 \cdot \left(\frac{R_1}{R} \right)^2 \cdot \cos \alpha \quad (2.22)$$

Temas bölgesinin elemanı;

$$dS = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot \frac{dR}{\sin \alpha} \quad (2.23)$$

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

$$\dot{W}_{S_3} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \zeta_A \cdot m \cdot \pi \cdot V_1 \cdot R_1^2 \cdot (\cot \alpha) \cdot \ell_n \frac{R_0}{R_1} \quad (2.24)$$

Sabit sürtünme faktörü m için, Γ_4 süreksizlik yüzeyinin silindirik yüzeyi boyunca güç hesaplanır.

$$\dot{W}_{S_4} = \int_{\Gamma_4} \tau \cdot \Delta V \cdot ds = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \zeta_A \cdot m \cdot \pi \cdot V_1 \cdot R_1 \cdot L_{\Gamma_4} \quad (2.25)$$

Süreksizliğin yüzeyleri boyunca toplam güç,

$$\dot{W}_S = \dot{W}_{S_{1,2}} + \dot{W}_{S_3} + \dot{W}_{S_4} \quad (2.26)$$

olur. (Yurci,1991b)

2.2.1.4 Uygulanan Gerilmeler

Denklem 2.10, 2.18, 2.26'dan elde edilmiş çekme gerilmelerinin üst sınır için çözümü $\tau=m.(\zeta_A/\sqrt{3})$ için ;

$$\frac{\zeta_{xa}}{\zeta_x} = \frac{\zeta_{xb}}{\zeta_A} + 2.f(\alpha).l_n\left(\frac{R_0}{R_1}\right) + \frac{2}{\sqrt{3}} \left[\frac{\alpha}{\sin^2\alpha} - \cot\alpha + m.\cot\alpha.l_n\left(\frac{R_0}{R_1}\right) + m.\frac{L}{R_1} \right] \quad (2.27)$$

Denklem 2.27 diğer işlemlerin fonksiyonları şeklinde kabul edilerek redüksiyon için çözüldüğünde,

$$\frac{R_0}{R_1} = \exp \left\{ \frac{((\zeta_{xa} - \zeta_{xb})/\zeta_A - (2/\sqrt{3})[(\alpha/\sin^2\alpha) - \cot\alpha + (mL/R_1)])}{2.[f(\alpha) + (m/\sqrt{3})\cot\alpha]} \right\} \quad (2.28)$$

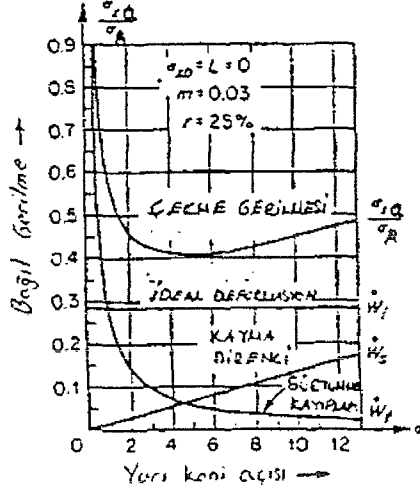
elde edilir.

Çekme şartlarının düzenlenmesi için denklem (2.27)'nin sonuçları Şekil 2.6'da verilmiştir. Arka germe etkileri ve alanın uzunluğu her ikisi de sıfır kabul etmek suretiyle ihmal edilmiştir. Redüksiyon ve sürtünme faktörleri sabittir.

Şekil 2.6 çekme gerilimine tesir eden 3 değişik faktör üzerinde absis gibi çizilmiş koni açısı α 'nın etkilerini göstermektedir.

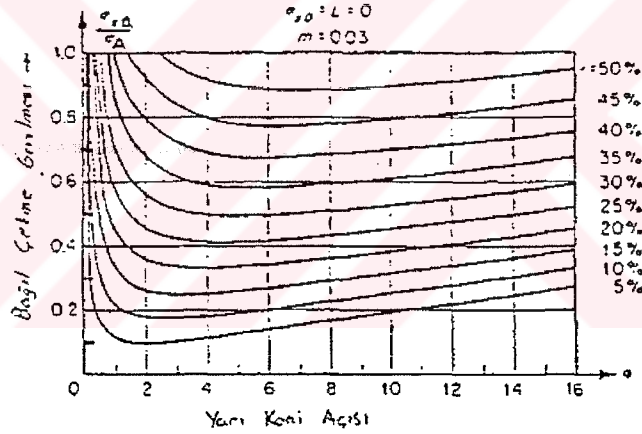
Bağlı çekme geriliminde, iç deformasyonun dağılımı (Γ_1 ve Γ_2 yüzeylerinin üzerindeki kesme hariç tutularak) $2f(\alpha) \cdot l_n(R_0/R_1)$ dir. İç güçler üzerindeki koni açılarının etkileri hafifletilmiştir. Sürtünme kayıpları $(2/\sqrt{3}) m (\cot\alpha) \cdot l_n(R_0/R_1)$ ile verilmiştir. Aşırı 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 (2.27)'nin toplam relatif çekme gerilmelerinin kısmi dağılımları Şekil 2.6'da özetlenmiştir. Bu eğri aşırı sürtünme ve aşırı distorsiyon veya kayma arasında bulunan ilişkilerin minimumunu gösterir. Şekil 2.7'de absis yarı koni açısı ve ordinatla bir parametre gibi redüksiyon ile relatif çekme gerilmesidir. (Yurci,1991b)



Şekil 2.6. 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 2.7 - Bağıl çekme gerilmelerine redüksiyon ve koni açısının etkileri

2.2.2 Optimal Matris Açısı

İşlem değişkenlerinin herhangi bir kombinasyonu için (α 'dan başka) çok uygun koni açısı (optimal açı) vardır. Sıfır koni açısının bir matrisi ile istenen kuvvet Şekil 2.6 ve Şekil 2.7'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. Çeşitli değişkenlerin düzenlenmesiyle mümkün olan redüksiyonun maksimize edilmesi veya gerekli kuvvetlerin minimize edilmesi koni açılarıyla işlem yapmayla ilgilidir. Açı yaklaşım metoduyla direkt olarak denklem (2.11) ve (2.27)'den bulunabilir. Küçük redüksiyonlar için optimal koni açısı küçük bir koni açısıdır. Buna göre

$$\alpha \cdot \text{Cot}\alpha = \frac{\alpha \text{Cos}\alpha}{\text{Sin}\alpha} \quad (2.29)$$

bölme yapıldığında, sonuçlama serileri;

$$\frac{\alpha \text{Cos}\alpha}{\text{Sin}\alpha} = 1 - \frac{1}{3} \cdot \alpha^2 - \frac{1}{45} \cdot \alpha^4 \dots \quad (2.30)$$

ile başlar.

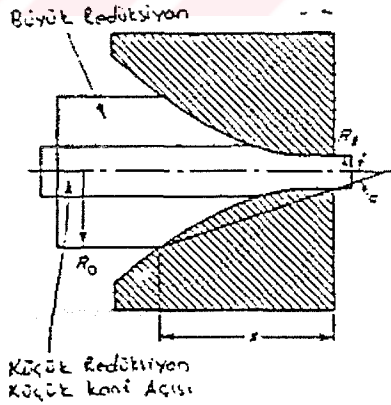
$\alpha < 45^\circ$ için, $f(\alpha) \approx 1$ 'nin pratik sabit değerinden de görülebileceği gibi yarı koni açısı 45° den daha küçük açılarda pratik olarak sıfır'dır.

$\frac{\partial}{\partial \alpha} [f(x)] = 0$ 'ın düzenlenmesi ve denklem 2.29'un denklem 2.30'a dahil edilmesiyle bırakılan

α sadece en düşük gücü sağlar. Buna göre sonuç;

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

Redüksiyonun azalması ile optimal koni açısı küçülür. Redüksiyon sıfır'a yaklaştığında optimal koni açısı da sıfıra yaklaşır. Eğer bir matris redüksiyonun geniş bölgeleri için kullanılmak zorundaysa o zaman Şekil 2.8'de gösterilen konik şekildeki profilli matrisin kullanılması daha avantajlı olacaktır.

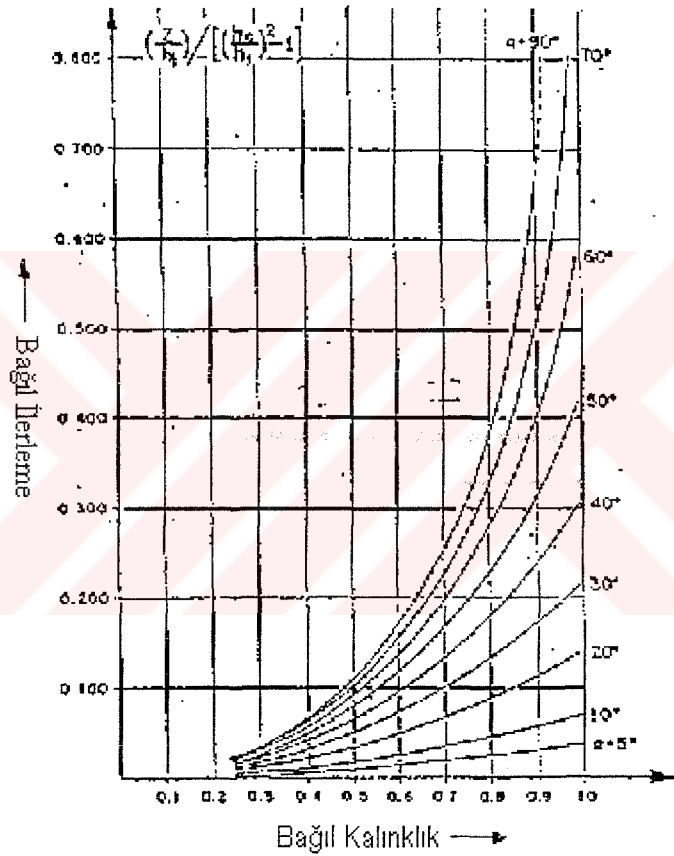


Şekil 2.8 Konik şekildeki profilli matris.

Matris koni açısı yeterince küçük olduğu zaman, akış şekli 2.9'daki gibidir. İşlem gerilmeleri (ζ_{xa} , ζ_{xb}) sonradan denklem 2.27'den hesaplanmıştır. Eğer açı çok büyükse Şekil 2.10'daki gibi ölü bölge oluşur.

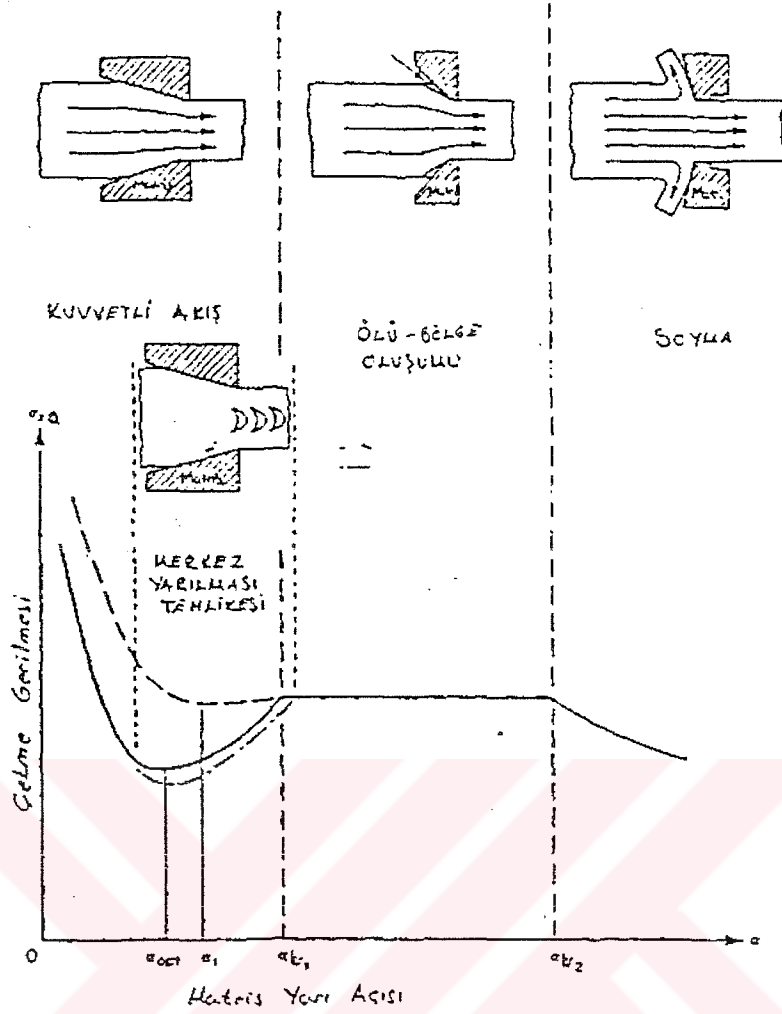
Şekil 2.10'a göre malzeme matrisle birleşerek ona yapışır ve hareketsizleşir. Bir yarım koni açısının kayma yüzeyi şekilleri ve ölü bölge yüzeyi arasındaki sürtünme, α_1 de malzemenin kayma direnci ($\tau = \zeta_A / \sqrt{3}$) değerinden daha büyük değildir. Çekme gerilimindeki üst sınır sonra denklem 3.27'den $\alpha = \alpha_1$ ve konik yüzey üzerinde $m=1$ değerlerinin yerine konmasıyla türetilir. Çekme için,

$$\frac{\zeta_{XA}}{\zeta_A} = \frac{\zeta_{xb}}{\zeta_A} + 2 \cdot f(\alpha) \cdot l_n \left(\frac{R_0}{R_1} \right) + \frac{2}{\sqrt{3}} \left[\frac{\alpha}{\sin^2 \alpha_1} - \cot \alpha_1 + \left(\cot \alpha_1 \cdot l_n \left(\frac{R_0}{R_1} \right) \right) \right] + m \cdot \frac{L}{R_1} \quad (2.31)$$



Şekil 2.9 Bağlı kalınlık ve yarı açıya göre distorsiyona uğramış kafesin bağlı pozisyonu

Ölü bölge yarım koni açısı yukarıdaki denklemin özgül değerini minimize eder. Çünkü, malzeme akışın en kolay yolunu takip eder. Şekil 2.10'daki gibi akışın örneklerle çözümü bir üst sınır çözümdür.



Şekil 2.10- Matris yarım açısının bir fonksiyonu olarak çekme gerilimi.

Bu yüzden ölü bölge yarım koni açısı denklem 2.31'in diferansiyeli ile bulunur ve türev sıfıra gider.

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

$$\alpha_1 \cong \sqrt{\frac{3}{2} \cdot l_n(R_0/R_1)} \quad (2.32)$$

ile yaklaşımlandırılabilir.

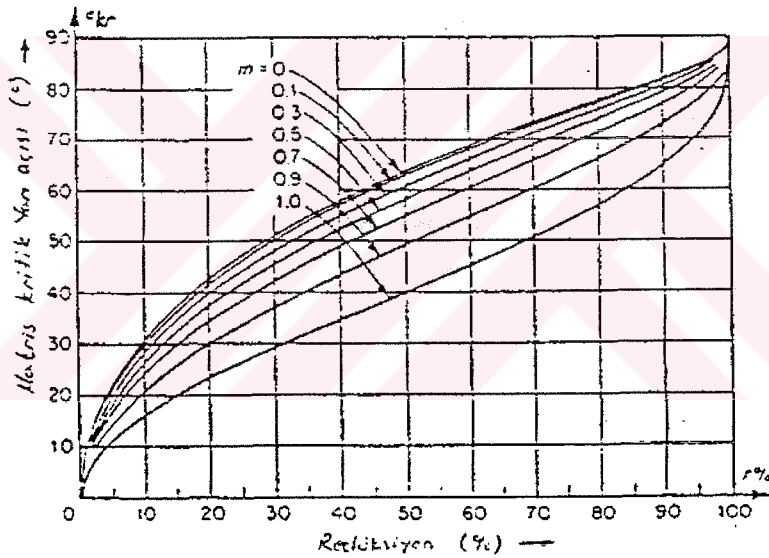
Kritik matris açısı, ölü bölge oluşumu sebebi ile sınırlanan açı gibi tariflenir. Eğer matris koni açısı kritik değerden daha küçük ise, akış Şekil 2.6'ya göre olacak ve denklem 2.27'den hesaplanan çekme gerilmeleri beklenen gerilmeler olacaktır. Eğer matris koni açısı kritik değerden daha büyükse, akış Şekil 2.10'a göre olacak ve çekme gerilmeleri denklem 2.31'den hesaplanacaktır. Ölü bölgenin sınırları boyunca akış için bu gerilmeler denklem 2.32 ile verilenlerden daha düşük olacaktır.

Denklem 2.27 ile önceden verilen gerilmeler kritik yarı koni açısında denklem 2.31'le gösterildiği gibi birbirlerine denktir. Denklem 2.31'in, denklem 2.27 ile eşitlenmesiyle;

$$2 \cdot [f(\alpha_{kr}) - f(\alpha_1)] \cdot \ell_n \left(\frac{R_0}{R_1} \right) + \frac{2}{\sqrt{3}} \left[\left(\frac{\alpha_{kr}}{\sin^2 \alpha_{kr}} - \cot \alpha_{kr} \right) - \left(\frac{\alpha_1}{\sin^2 \alpha_1} - \cot \alpha_1 \right) \right] + (m \cdot \cot \alpha_{kr} - \cot \alpha_1) \cdot \ell_n \left(\frac{R_0}{R_1} \right) = 0 \quad (2.33)$$

olur.

Kritik yarı koni açısı (α_{kr}), α 'in 2.32'de tariflenmesiyle ve denklem 2.32'den yaklaşımlarla elde edilir. 0° ve 90° arasındaki bölgede denklem 2.32'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 2.32'nin $\alpha_{kr} = \alpha$ değeridir.



Şekil 2.11 Redüksiyon ve sabit kesme faktörüne karşı, kritik yarı koni açısı.

Denklem 2.32 ve Şekil 2.11'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.

2.2.3 Denge Yaklaşımı

2.2.3.1 Sıfır Sürtünme Durumu

Sürtünme sıfır kabul edildiğinde, II. bölgedeki gerilim dağılımları için çözüm, Γ_1 ve Γ_2 sınırlarını ihmal etmeye yetecek kadar uzun kabul edilmiştir. Küresel simetriyle, küresel koordinat sisteminde denge denklemleri;

$$\frac{\partial \zeta_{rr}}{\partial r} + 2 \cdot \frac{\zeta_{rr} - \zeta_{\theta\theta}}{r} = 0 \quad (2.34)$$

olmaktadır.

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

$$\zeta_{rr} = \zeta_{\theta\theta} = \zeta_A \quad (2.35)$$

Denklem 2.34'ün denklem 2.33'e ilave edilmesiyle, sadece (r) değişkenin fonksiyonu olan farklı bir denge denklemine dönüşür.

$$\frac{d\zeta_{rr}}{dr} + 2 \cdot \frac{\zeta_A}{r} = 0 \quad (2.36)$$

Denklem 2.35'in, denklem 2.34 ile çözümüyle sınır durumlarından bulunan C, integrasyon sabitidir. Böylece denklem;

$$\zeta_{rr} = c - \zeta_A \cdot \ell_n r^2 \quad \zeta_{\theta\theta} = c - \zeta_A (1 + \ell_n r^2) \quad (2.37)$$

ya dönüşür.

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

$$\zeta_{rr} |_{r=r_0} \approx \zeta_{xb} \quad (2.38)$$

dir.

Bu durumda integrasyon sabiti

$$C = \zeta_{xb} + \zeta_A \cdot \ell_n r_0^2 \quad (2.39)$$

olmaktadır.

Böylece çekme için gerilme dağılımı,

$$\zeta_{rr} = \zeta_{xb} + \zeta_A \cdot \ell_n \left(\frac{r_0}{r} \right)^2 \quad ; \quad \zeta_{\theta\theta} = \zeta_{xb} + \zeta_A \left(\ell_n \left(\frac{r_0}{r_i} \right)^2 - 1 \right) \quad (2.40)$$

olmaktadır.

Küçük koni açıları için, matrisin çıkışındaki radyal gerilim ζ_{rr} ön gerilme ζ_{xf} ile hemen hemen aynıdır ve denklem 2.39'un ilk ifadesi

$$\frac{\zeta_{xa}}{\zeta_A} = \frac{\zeta_{xb}}{\zeta_A} + \ell_n \left(\frac{R_0}{R_1} \right)^2 \quad (2.41)$$

olmaktadır.(Yurci,1991b)

2.2.3.2. Sabit Kayma Faktörüyle Sürtünme

Gerçek durumlarda sürtünmenin etkileri mevcuttur. Bir yaklaşım olarak konik kanalda plastik akış problemi şeklinde bir çözüm ortaya konur. Burada, koninin tepesine doğru akış, Şekil 2.5'in II. bölgesi için kabul edilir. Çözüm sadece koni açıları için yapılır. II. bölgede hız alanı:

$$\dot{U}_r = f(r, \theta) \quad \dot{U}_\phi = \dot{U}_\theta = 0 \quad (2.42)$$

dır.

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

$$\tau(\theta) + \tau \cot\theta + 2\sqrt{3} \cdot \sqrt{1 - \tau^2} = C ; \zeta_{r\theta} = \tau \quad \tau|_{\theta=0} = 0 \quad \text{ve} \quad \tau|_{\theta=\alpha} = m \cdot \frac{\zeta_A}{\sqrt{3}} \quad (2.43)$$

sınır şartlarında integrasyon sabitidir.

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

$$\dot{U}_r = \frac{\beta}{r^2} \exp\left(-2\sqrt{3} \int_{\theta=0}^{\theta} \frac{\tau}{\sqrt{1-r^2}} d\theta\right) \quad (2.44)$$

Burada negatif sabittir. Bu çözümde de, giriş ve çıkışta gerekenden fazla olan güç harcaması ihmal edilir. 2.42 ve 2.43 denklemleri ile ifade edildiği gibi, hız dağılımı tam olarak elde edilebilir.



3. TEL ÇEKME İŞLEMİNE ETKİ EDEN MEKANİK FAKTÖRLER

3.1 Tel Çekmeye Uygun Malzemeler

3.1.1 Çelik Yapısında Bulunması Mümkün Elementlerin Çekmeye Etkileri

Karbon (C); çelik bünyesine giren alaşım elementlerinin en önemlisi ve en çok etki yapandır. Karbon oranının artmasıyla çeliğin sertliği, dayanımı ve su alma yeteneği artar. Buna karşılık sıcak şekillendirme, uzama, kaynak yapılma, talaşlı işleme yeteneği azalır. Çeliğin rutubete sıcak gazlara karşı korozif 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); çeliğin çekme dayanımını, akma sınırını sıcak şekillendirme ve kaynak yapılma yeteneğini yükseltir. % 1 Mn ilavesi için dayanım artışı 10 kg/mm 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.

Silisyum (Si); çelik yapısında az miktarda da olsa her zaman bulunan, çelik üretiminde dezoksidan olarak en çok kullanılan ve birçok çeliklerde alaşım elementi olarak yer alır. Alaşım elementi olarak, çelikte sertliği, akma sınırını ve çekme dayanımını yükseltir. Sıcakta tufallaşmayı azaltır, mıknatıslştırma 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 kızılkırılğan yapan, genelde zararlı ve giderilmesine çalışılan bir elementtir. Çekme sırasında kopmaya neden olur. Vida teli olarak kullanılacak malzemelerde bulunması çatlamalara 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 kükürt gibi istenmeyen bir elementtir.

Bakır (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.

3.1.2 Çelik Tel Çekmede Uygun Bileşim

Çivi ve tel halat için kullanılan tel malzemesi, bahçe teli yada bağlama teli için kullanılan 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 imalatında 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 az miktarda bulunduğundan soğuk şekil verme işlemi olan tel çekmeye uygunluk gösterir.

Çizelge 3.1 ST37 malzemenin kimyasal bileşimi

% C	% Mn	% Si	% S	% P
0.20	0.20 – 0.50	0.10	0.05	0.05

Malzeme için uygun bir çekme kademelendirmesi yapılmalı hangi kademededen sonra tavlama yapılacağı tespit edilmelidir. Piyasada genellikle 5.50 mm'den 1.80 mm'e 8 kademe çekilir.

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;

Çizelge 3.2 SAE1010 malzemenin kimyasal bileşimi

% C	% Mn	% Si	% S	% P
0.08 - 0.13	0.30 – 0.60	0.10	0.05	0.04

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.

3.1.3 Demir Olmayan Metalden Teller

Fosforbronzdan 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 ısıtması da ön görülmelidir. Kuru olarak bronz tel çekme en az 2.5 mm'ye kadar yapılır. Teller için yaş çekme yöntemi ile her kademedede % 20 ve toplam olarak % 94 redüksiyon elde edilebilir. Yaş çekmede kullanılan çekme sıvısı % 7-8'lik su ve yağ emülsiyonudur. Son tavlama 200 °C'de ve mümkünse koruyucu gaz atmosferinde yapılırsa soğuk sertleşme de önlenmiş olur. (K.1)

İnce alüminyum teller (ϕ 0.12 mm), 20 m/s gibi yüksek çekme hızıyla ve en ince tellerde (0.07 mm 0) %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 ϕ 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. (K.1)

3.2 Yüzey Hazırlama

Tel çekme atölyesine 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 kimyasal ve mekanik olmak üzere iki yolla yapılır.

3.2.1 Kimyasal Yüzey Temizleme

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 30-60 dakika arasında belli bir süre banyoda

tutulur. Bu süreyi kısaltmak için banyoyu 50-60 °C'ye kadar ısıtmak yeterlidir. Kullanılan asitin cinsine göre karıştırılacak su oranı, malzemenin banyoda kalma süresi ve banyonun ısı derecesi değişmektedir.

Çizelge 3.3 Malzemenin banyoda kalma süresi ve ısı derecesi

Asit Cinsi	Karıştırılacak Miktar %	Malzemenin Kangalda Kalma Süresi / dk.	Banyonun Sıcaklık Derecesi / °C
H ₂ SO ₄	8-20	20-40	50-90
HCl	8-15	20-30	15-30

Hadde tufal tabakasının malzemenin 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 olarak 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 asid banyosu krom-nikel sac veya polyester gibi asidden etkilenmeyecek bir malzeme ile yapılmalıdır..

Asit banyosundan çıkarılan filmaşınların yüzeyine asit yapışır. 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 artıklarının da nötrale 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 kırılmanın meydana gelmesi önlenmiş olur.

3.2.2 Mekanik Yüzey Hazırlama

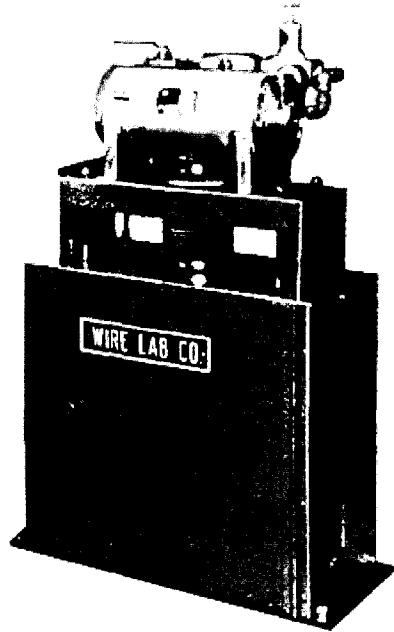
Asit banyolarının çevre açısından olumsuz etkileri görüldüğünden dolayı yerine mekanik yollarla yüzey temizleme metodu tercih edilmektedir.

1- Sıra makaralar yardımıyla ardarda yönü değiştirerek bükülmeye maruz kalan tellerden tufal dökülebilir. Bu yön değiştirme işlemi de birkaç şekilde yapılabilir.



Şekil 3.1 Makaralarla mekanik kırma ve yüzey hazırlama

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



Şekil 3.2. Basınçlı sıvı ile tufal tabakasının temizlenmesi.

3- Alternatif akım ile meydana getirilen manyetik alan içindeki indüksiyon akımları, tel üzerinde farklı genişmelere neden olur ve bu yüzden oksid tabakası ufalanarak dökülür. Bu arada tel ısınmadığı gibi elektrik de iletmez. (Dove vd., 1980)

3.3 Çekme Matrisleri

3.3.1 Matris Malzemeleri ve İmal Yöntemleri

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 işlemenin mümkün olduğunu da 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 değiştirerek, farklı özelliklerde malzemeler elde etmek mümkündür. Daha sonra bu karışım istenilen şekli alacak biçimde sıkıştırılır ve tebeşir kıvamında bir çekirdek elde edene kadar ısıtılır. Tungsten karbür, bu haldeyken arzu edilen ölçülere tornalanabilir, taşlanabilir veya delinebilir. Son işlem olarak da, çekirdekler vakumla 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. (Özer ve Yurci, 1997)

3.3.2 Matris Profilinin Kısımları ve Görevleri

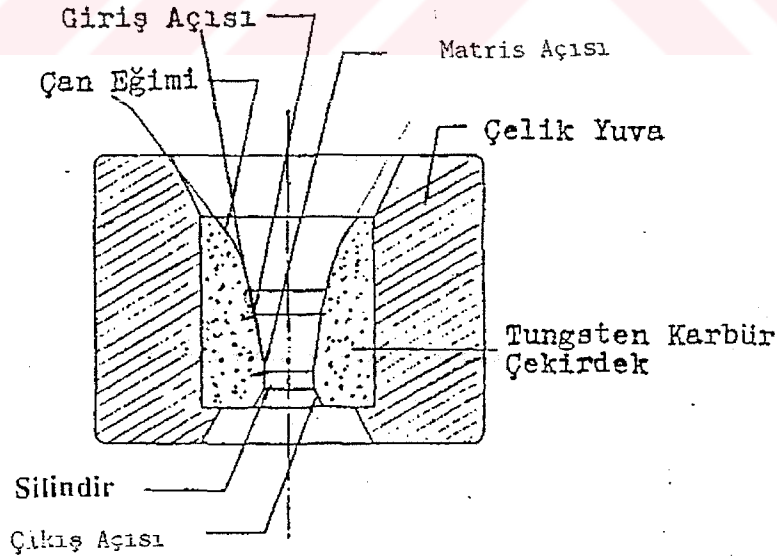
Bir matris, esas itibariyle beş ayrı kısımdan oluşur ve bunların hepsinin görevleri farklıdır. Bu kısımları teli matris içerisinde ilerleyiş sırasına göre şöyle sıralayabiliriz.

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

Şekil 3.3'de gösterilmekte olan bu kısımların görevleri ise kısaca şöyle özetlenebilir;

1.Çan Eğimi; gelen teli matrise doğrusal olarak girmemesi halinde telin yönlendirilmesini sağlar. Tel, matris açısı kısmında ortalanmadan önce, bu yüzeyle sadece bir anlık temas eder.

2.Giriş Açısı; 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.

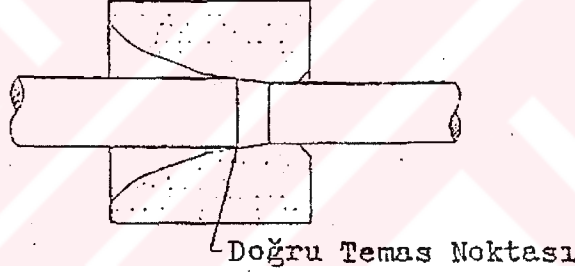


Şekil 3.3 Matris dizaynı.

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

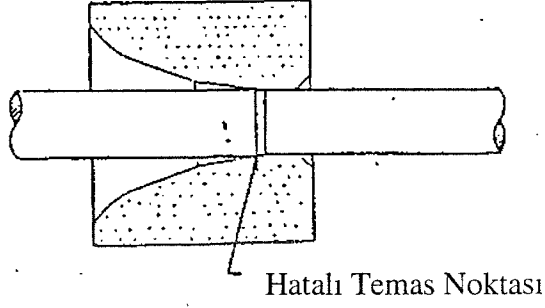
Matris açısının doğru seçimi, çekilecek malzemenin mukavemetinden (Karbon oranından) ziyade, matris başına düşen paso miktarına bağlıdır. Ancak telin nihai kullanımına göre, her tel çekme işleminin farklı özellikleri olduğunu da unutmamak gerekir. Örneğin; düşük karbonlu çeliğin (Piyasada devamlı kullanılan ST-37'de bu gruba girmektedir.) çekilmesi için 16°'lik 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 cıvata yapımında kullanılacak telde ise kalın bir sabun tabakası kalması arzu edilir.

Yukarıda örneklerde tüm durumlarda aynı hammadde kullanılsa dahi, her biri için matris açıları farklı matrisler gerekmektedir. Matris açısının doğru seçimi tel çekme veriminin yükselmesini ve matris ömrünün uzamasını sağlar. (Özer ve Yurci, 1997)



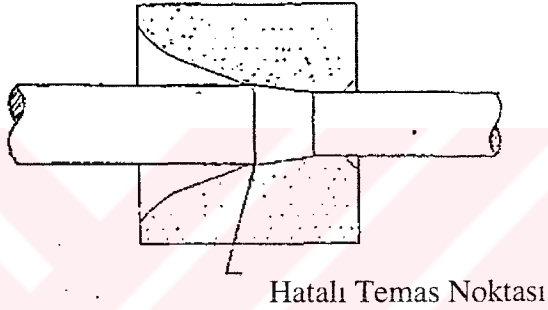
Şekil 3.4 Doğru temas noktası.

Matris açısının seçiminde en önemli etkenlerden biriside "Temas Noktası" dır. Matriste 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 3.4'de gösterilen temas noktası doğru seçilmiş bir matris açısının sonucudur.



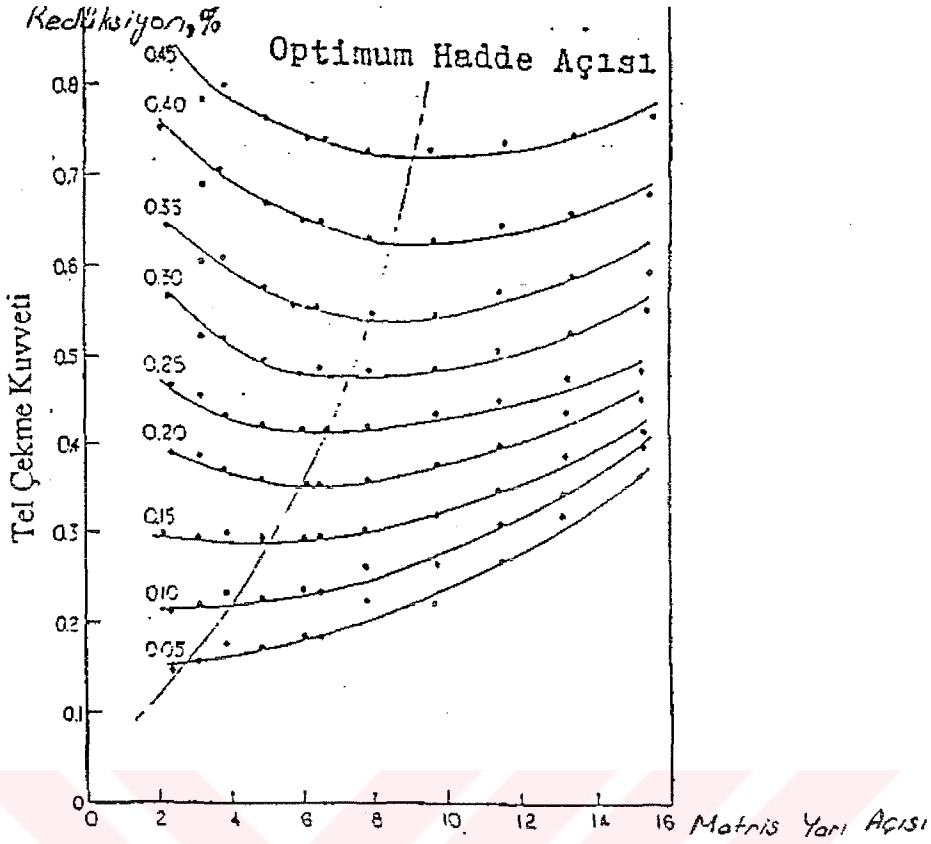
Şekil 3.5 Hatalı Temas Noktası

Şekil 3.5'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 3.6 Hatalı temas noktası

Şekil 3.6 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 kısılmasıdır.

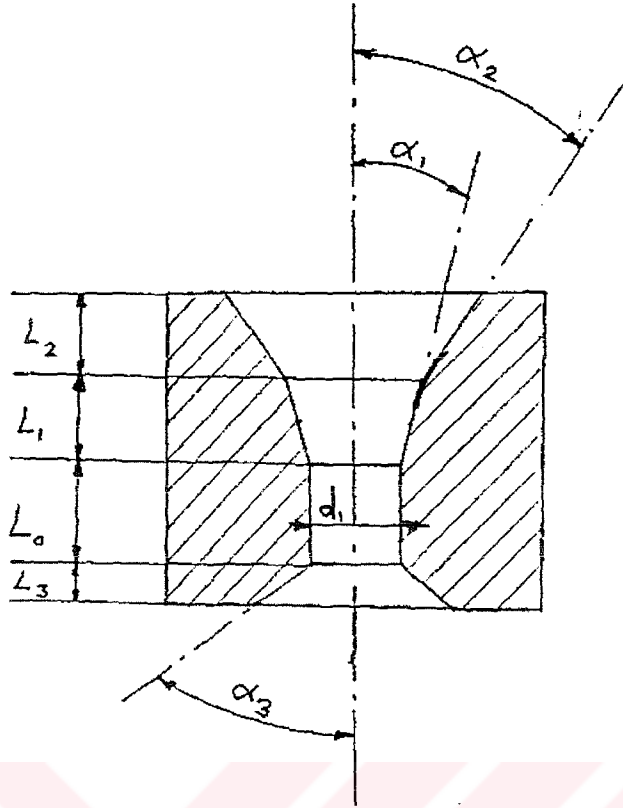


Şekil- 3.7 Tel çekme kuvveti ve matris açısı değerleri

Matris açısı ile tel çekme için gerekli kuvvet arasında yakın bir ilişki vardır. Şekil 3.7'de düşey eksende tel çekme kuvveti, yatay eksende 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 redüksiyonda en az kuvvet gerektiren matris yarı açısı değeri 8°'dir ve yaklaşık olarak 0.54 birimdir. Oysa aynı 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- Çıkış Açısı; 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. (Dove vd., 1980)



$d_1 = \text{Tel Çıkış Çapı}$

$L_0 = 0.60 d_1$

$\alpha_1 = 7^\circ - 8^\circ$

$L_1 = 0.80 d_1$

$\alpha_2 = 15^\circ - 16^\circ$

$L_2 \geq d_1$

$\alpha_3 = 30^\circ$

$L_3 \geq 0.5 d_1$

Şekil 3.8 Matris çekirdeği açıları ve boyları.

3.4 Çekme Sırasında Kullanılan Yağlayıcılar

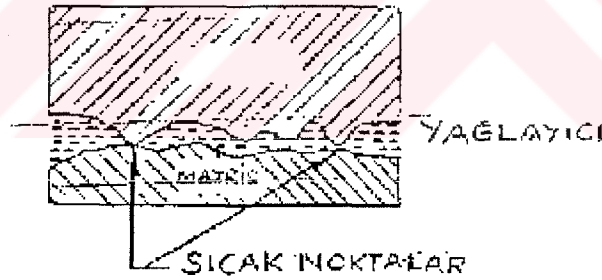
Yağ yerine sabun bileşikleri kullanılmalıdır. Sabunların görevi haddeyle tel arasında ara katman yaratarak sürtünmeyi minimuma indirmektir. Tel, hadde kutusundaki toz halindeki yağlayıcılardan geçerken göreceli olarak ufak bir miktar sabun yüzeye nüfus eder ve haddeye tel aracılığıyla intikal eder. Tel çekme işlemi sırasında meydana gelen ısı ve basıncın etkisiyle sabun telin dış yüzeyine sıvanarak ince bir plastik bir film oluşturdukları kabul edilir. Bu tabaka metalin metale temas etmesini engellediği gibi sürtünmeyi azaltarak telin çekilmesini kolaylaştırır.

Hadde sabununun görevleri yalnızca yüzeyleri birbirinden ayırmak ve yüzeyler arasındaki sürtünmeyi azaltmak değildir. Her bir farklı tel için farklı yüzeylere ihtiyaç vardır. Örneğin,

çivi yapımında kullanılacak telde mümkün olduğunca kalın bir sabun tabakası kalması arzu edilirken, daha sonra kaplama işlemine tabi tutulacak telin mümkün olduğunca parlak ve temiz olması istenir. Dolayısıyla, her ürün için 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.(Leopardi,2003)

3.4.1 Tel Çekmede Yağlayıcıların Görevleri

Tele büyütülerek bakıldığında parlatılmış yüzeylerin bile pürüzleri açıkça görülebilir. İki yüzey üst üste getirildiğinde sayısız miktarda "nokta teması" oluşur. Şekil 3.9'da telin haddeden geçişi esnasında iki yüzey arasındaki ilişki gösterilmiştir. Bu şekilden de görüleceği üzere iki yüzey arasındaki bütün yükü bu nokta temasları taşır ve bu noktalardan zaman zaman kaynaklanmalar oluşur. Bu durumda tel hadde içerisinde hareket ettiğinde bu kaynak yerleri kopar ve bir veya her iki yüzeyde malzeme yırtılmasına yol açar ki, bu da telin veya haddenin çizilmesi demektir. İşte sabun kullanmanın ana amacı, her iki yüzeyi birbirinden ayırarak temas etmelerine engel olmaktır. Sabun tabakasının yeterince kalın olması halinde, hiçbir şekilde teması oluşmaz.(Dove vd.,1980)



Şekil 3.9 Telin matristen geçişi ve film tabakası oluşumu

3.4.2 Sabunların Özellikleri ve Yağlayıcı Olarak Fiziksel Davranışı

Sıvı olarak kabul edilebilecek yağlar ve sabunlar sıcaklık tarafından inceltir ve basınç tarafından kalınlaştırılır. Sabunlar tel çekme sırasında hadde içerisinde meydana gelen yüksek basınca, sıcaklığa ve kayma gerilimine dayanabilecek özellikte olmalıdırlar. Sabunlar, yağlar ve fatty oils mineral yağlara göre basınç altında çok daha az kalınlaşırlar. Yağlayıcı polaritesi önemli bir faktördür. Polarlık, bazı moleküler yapılanmanın doğasında olan elektrostatik bir çekim formudur. Uzun zincir molekülü olanlar, kendiliğinden metal yüzeyine yönelir ve baştan sona kadar metalik atomuna bağlanırlar.

Polar ya da yüzey etkin yağlayıcıların kullanılması, tel çekme işleminde olduğu gibi bu tür metallerin yüzey kesit ind,irgemelerinde daha üniform sonuçlar verir. Diğer yandan yağlayıcılar tel yüzeyine iyi yapışmazsa tel yüzeyi deforme olur.

Tel çekme işleminde sıcaklık artışı, sıvı veya sıvılaştırılmış yağlayıcıların viskozitesini düşürür ve kimyasal reaktivitesini artırır.

Sodyum sabunları belirli derecelerde kireç kaplamayla reaksiyona girerek kalsiyum sabunlarını oluşturur.

Demir tel çekme işlemlerinde oluşan demir sabunlarının erime noktası düşüktür fakat metal yüzeyinde iyi bağ kurarlar.

Tel çekme işleminde yağlayıcıların polaritesi ve kimyasal reaktivitesi yağ üreticileri tarafından yağ bileşimleri ve sabun tipi veya katkı maddeleri katılarak kontrol edilebilir. Sülfür bilinen en eski bileşenlerdendir.

Reaktif kimyasallar dikkatli kullanılmalıdır çünkü spesifik tel bitirme işlemleri ya da ara ısıl işlem şartlarını engelleyebilir.

Sabunun zenginliği, yumuşaklık oranı ve düşük erime noktası demek anlamına gelir. Bu katı yağlar katı halden sıvı hale keskin bir geçiş yoktur. Sabun oranı yüksek ve kireç oranı düşük ise yumuşamanın olduğu alanda sıcaklık oranı düşüktür. Yağlayıcı çok zengin ise, yumuşar ve hadde kutusu içinde topaklanır ve bu şartlar altında telin parlaklığı ve kaplamanın azaldığı görülür. Bir süre sonra tel kopar. Eğer tel çekme işleminde sabun tozu çok kuru veya yağsız ise işlem başarısız olabilir. Çünkü yüzey tam olarak kaplanmaz ve yağlama tamamıyla gerçekleşmez.

Tel çekme sabunun zenginliğini etkileyen bir çok faktör vardır. Fakat genel olarak yağ içeriği ne kadar zenginse yağlayıcı da o kadar zengindir. Yüksek erime noktasına sahip kimyasallar sıcaklık aralığını artırırlar böylece yumuşama sağlanır. Bunun yanında zenginlikleri de azalır. Genelde alkali olan bu kimyasallarla (tel çekme tozları) birleşir, bu tip bir süreç özel bir karışımı da gerektirmektedir. Kullanıcı fiziksel olarak ufak miktarda kimyasallarda ekleyebilir. Örneğin daha az yağlı çalışan bir karışım için kireç eklemek gibi. Genellikle fiziksel karışımlar kimyasal birleşim sonucu ortaya çıkan süre homojenlik açısından aynı sonuçları sağlayamazlar.

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

a- Kalsiyum sabunları; suda çözünmezler, saf halde yumuşama sıcaklıkları 145-165 °C arasındadır ve düşük tel çekme hızlarında, özellikle hiç çekilmemiş olan filmaşine verilecek ilk pasalarda kullanılır. Kuru tip çekme işleminde tercih edilir.

b- Sodyum bazlı 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- Alüminyum bazlı sabunlar; Bunlarda suda çözünmezler ve saf haldeki yumuşama sıcaklıkları 140 °C ila 160°C arasındadır. Bu sabunlar özellikle vida, cıvata yapımında kullanılacak telin çekilmesi için uygundur.

Herhangi bir hadde sabununun nihai özelliklerini belirleyen belli başlı faktörler vardır. 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 mineraller 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.(Dubar,Dubois ve Lazarotto, 2001)

3.4.2.1 Yağlayıcı Sabun Seçimi

Belli bir tel çekme işlemi için sabun seçerken dikkate alınması gereken bazı noktalar vardır. En önemli noktalardan biri, çekilecek olan telin malzemesidir. Düşük karbonlu 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 ısının ortaya çıkacağını belirler. Kullanılan makinalarda ne tip soğutma (su,hava gibi) 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, Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.(Özer,1997)

Çizelge 3.4 Sabun seçim örnekleri

Malzeme	Yüzey Hazırlama	Tel Çekme Hızı m/dk	Toplam Hadde Sayısı	Nihai Kullanım	Tavsiye Edilen Sabun
Düşük karbonlu çelik	Mekanik kırma	450	1 - 3	İnşaat çivisi tel örgü	1- Yağ oranı düşük, yumuşama sıcaklığı orta değerlerde olan kalsiyum sabunu 2- Makinanın eski, malzemenin kötü kalite olması halinde basınç yükseltici bazı katkı maddeleri kullanılabilir,
Düşük karbonlu çelik	Mekanik kırma	450 - 1350	3 - 8	Çivi, çok ince tel örgüsü	Yağ oranı düşük veya orta, yumuşama sıcaklığı yüksek kalsiyum sabunu
Düşük karbonlu çelik	Asitle temizlenmiş, sabun taşıyıcıyla kaplanmış	300 - 1500	2 - 8		Kaplanacak tel için: sodyum bazlı sabun kalın sabun tabakası gerekiyorsa: yağ oranı düşük, yumuşama sıcaklığı orta değerde, kalsiyum sabunu ince sabun tabakası gerekiyorsa: yağ oranı yüksek, yumuşama sıcaklığı orta değerde kalsiyum sabunu
Muhtelif metaller	Asitle temizlenmiş, sabun taşıyıcıyla kaplanmış	Yavaş	1	Vida, cıvata	Alüminyum stearatlı sabun
Yüksek karbonlu çelik	Mekanik kırma	Maks. 600	Birden fazla	Yay	Yağ oranı orta, yumuşama sıcaklığı yüksek, kalsiyum sabunu
Yüksek karbonlu çelik	Asitle temizlenmiş sabun taşıyıcıyla	Muhtelif	Birden fazla	Yay, çelik halat	A- 600 m/dk veya daha düşük hızlarda ilk paso için: yağ oranı yüksek, yumuşama sıcaklığı orta değerlerde olan kalsiyum sabunu B- 300-1200 m/dk arası hızlarda müteakip kafalarda çekmek için: yağ oranı yüksek, yumuşama sıcaklığı orta veya yüksek olan sodyum bazlı sabun

3.4.3 Kuru Çekme Yağlayıcıları

Tel çekme sabunlarının ana karakteristiği; matris içinde çalışma koşullarından dolayı oluşan ısı altında yüksek viskozite likitliğidir. Tel çekme ısısını farklı sebepler ortaya çıkartır. %5'i deformasyon ısısı, %95'inin de sürtünme ısısı oluşturur. Hadde üzerindeki ısı madde özelliğine bağlıdır. Ayrıca hadde geometrisi açısı da etki etmektedir.

Sıcaklık etkisinin çok çeşitli faktörleri vardır.

- Malzeme cinsi
- Yüzde olarak redüksiyon oranı
- Yüzey hazırlanması
- Matris açısı
- Sürtünme
- Tel çekme hızı

Kuru çekme sabun ürünleri genel olarak siterat olarak geçer ve metal yanında sentetik ve doğal yağ asidi içerirler. Ara siteratlar şu şekildedir.

- Kalsiyum siteratlar
- Sodyum siteratlar
- Alüminyum siteratlar
- Zinc. Siteratlar
- Kombine ürünler

Kuru çekme Sabun bileşimleri:

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

Yağlı Asitler; doğal ve sentetik kombinasyonlar halinde olup, metallerle reaksiyon yapabilirler. Son ürün yumuşaklığı yağlayıcı asitlerin kombinasyonu ile ilgilidir.

Alkali Metal; esas özellikte rol oynar. Yağlayıcı asitlerde bağlayıcıdır. Kimyasal ve fiziksel tepkimeleri yağlayıcı özelliğini etkiler.

Dolgu maddesi; yağ asitleriyle alkali metallerin yağlayıcı özelliği artırılır. Ana yağlayıcılar

birçok uygulama için istenen düzeyde olmayabilir. Bunlarda kompresyon kuvveti ve erime noktalarının düşük olmasından kaynaklanır. Dolgu maddeleri bu özelliklerini arttırmak için kullanılır. Dolgu maddelerinin ana fonksiyonu yağ filminin kalınlık ve incelik noktasını ayarlamaktır. Dolgu maddeleri toz halindedir, bunları iki gruba ayırabiliriz.

1- Suda çözünenler: sodyumkarbonat, sodyumsülfat, sodyumkarbonat

2- Suda çözülmeyenler: Kalsiyum karbonat, kireç

Bunun yanında teflon gibi maddeler de kullanılabilir.

3.4.3.1 Kuru Çekme Yağlayıcılarının Karakteristikleri

Kuru çekme yağlayıcılarının karakteristiklerini su içinde eriyebilirlik, erime noktası, yağ film tabakası kalınlığı, tane dağılım büyüklüğü olmak üzere dört ana madde de toplayabiliriz.

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

Sodyum siteratlar kalsiyum siteratlarla birlikte kullanıldığında yağ filminin çözünürlük derecesini kontrol etmek mümkündür.

Hadde ömrünü uzatmak ve çiziklerden korumak için yağlayıcı asitler ve kuru tip yağlayıcıların erime noktası önemlidir. Günümüzde 110°C ile 250 °C arasında tutmak mümkündür. Son teknolojik makinalar çok hızlı olması sebebiyle erime noktası kuru tip yağlayıcılar için kritik rol oynamaktadır.

Yağlayıcı film kalınlığı çelik tellerde 0,50 ila 10 mikron arasında olup, yağlayıcı karışımı, yağ sıcaklığı, yağlayıcı tipi ve hadde basıncı ile alakalıdır. Yağın inceliği teldeki son işlemde avantaj sağlamaktadır. Kalın film tabakası, genellikle yüksek hızlı ve üniform yüzey istenen kaplama yapılmayacak mekaniksel tel çekmelerde önemlidir. İnce film tabakası, çekmeden sonra yüzey kaplama yapılacaksa ve kaynak işlemi gibi işlemler uygulanacaksa tercih edilir. Yağlayıcılarda parçacık büyüklükleri genellikle parçacıklar halinde farklı ölçülerde yayılmıştır. Tane parçacık büyüklüklerinin dağılımı yağlayıcıların düzgün uygulanması için çok önemlidir. Tel ölçüsüne göre tane büyüklüğü en iyi performansı verir. Tane büyüklüklerini, ince, orta, büyük şeklinde gruplandırabiliriz. Tel özelliğine, yapısına, hızına göre uygun seçim yapılmalıdır.

3.4.3.2 Kuru Tel Çekme İşlemi İçin Yağlayıcı Seçimini Etkileyen Faktörler

- Yağlayıcı seçiminde dikkate alınan ilk unsur çekilecek olan telin bileşimidir. Benzer çekme şartlarında yüksek karbon içerikli teller orta karbon içerikli tellere göre daha yüksek ısı meydana getirirler. Eğer bu dikkate alınan tek etken ise yüksek karbonlu telleri çekmek için daha yüksek erime noktasına sahip yağlayıcılar kullanılmalıdır.
- Belli bir redüksiyon oranı için belli bir hızdaki toplam deformasyon ısı tel çapının karesiyle doğru orantılıdır. Çevresel yüzey tel çapına doğrusal orantılı olarak artar. Bu şartlar altında belli bir hız için daha kaba tellerin sıcaklığı daha yüksek olacaktır. Bu tipteki kaba tellerin çekiminde daha az yağlı yağlayıcılar kullanılmalıdır.
- Makina dizaynı dikkate alınmalıdır. Haddeler ve bloklar tarafından yapılan soğutmanın etkinliği haddeye giren telin sıcaklığını etkileyecektir. Haddeye giren telin sıcaklığı ne kadar yüksek ise belli bir hız için çıkış sıcaklığı da yüksek olacaktır. Bu yüzden Tel giriş sıcaklığı ne kadar yüksek ise sabun da yüksek erime noktasına sahip olmalıdır.
- Ağır çekmelerde ve yüksek hızlarda genellikle artan tel sıcaklığını karşılamak için yüksek erime noktası olan yağlayıcılar istenir.
- Hadde dizaynı; haddenin giriş açısı arttıkça, indirgeme daha küçük bir yüzeye taşınır. Bu da basıncı ve sıcaklığı artırır. Bu şartlar altında, daha yüksek erime noktasına sahip yağlayıcılara ihtiyaç duyulur.
- Yüzey şartları; yağlayıcı seçiminde etkindir. Taşıyıcılar ve yağlayıcılar hassas yüzeylere göre daha kolay nüfus ettikleri basit işlenmiş yüzeylere nüfus ederken taşıyıcıların türü ve polarlık şartları dikkate alınmalıdır.

3.4.4 Yaş Tel Çekme Yağlayıcıları

Bu ürünler genellikle sıvı haldedir. Fakat yağda çözünen çeşitleri de vardır. Islak çekme yağlayıcıları, hadde içinden geçerken yağlamaya imkan sağlar.

Islak çekme yağlayıcılarını üç ana başlık altında sayabiliriz.

1. Suda çözünebilen yağlar.
2. Çözülmeden emülsiyon yapabilen yağlar
3. Saf yağlar, gres ve pasta şeklindeki yağlar

Suda Çözünebilen Yağlayıcılar; sıvı haldedirler ve su içinde iyi çözünürler. Bu ürünler içinde çok iyi parçacık halinde yayılırlar. Genellikle tel çekme yüzeyinde çekilen tel yüzeyinde yüksek yüzey temizlik kalitesi elde edilir.

Çözülmeden emülsiyon yapabilen yağlayıcılar; kompleks bileşiklerdir ve su formunda bileşenleri sabit dağılım gösterirler. Dağılım emülsiyonu çağrıştırır. Bu form su yüzeyindeki küçük damlacıklar halindeki yağ formundadır.

Bu emülsiyon genellikle yüksek derecede yağlama imkanı sağlar, çünkü içeriğindeki birçok katkı maddesi yağlayıcıyı geliştirerek ekstra yağ basıncı sağlar.

Bu yağlayıcılar genellikle şu uygulamalarda kullanılır.

- Çelik tel, şerit çekmede
- Çok yüksek çekme hızı isteyen kaynak teli üretiminde
- Bakır çubuk, orta ve ince bakır tel çekme ve yüksek hız isteyen yerlerde

Ana uygulamalar ise

- Kaynak teli, galvanizli tel, yüksek karbonlu tel, düşük karbonlu tel, çelik halat, bakır

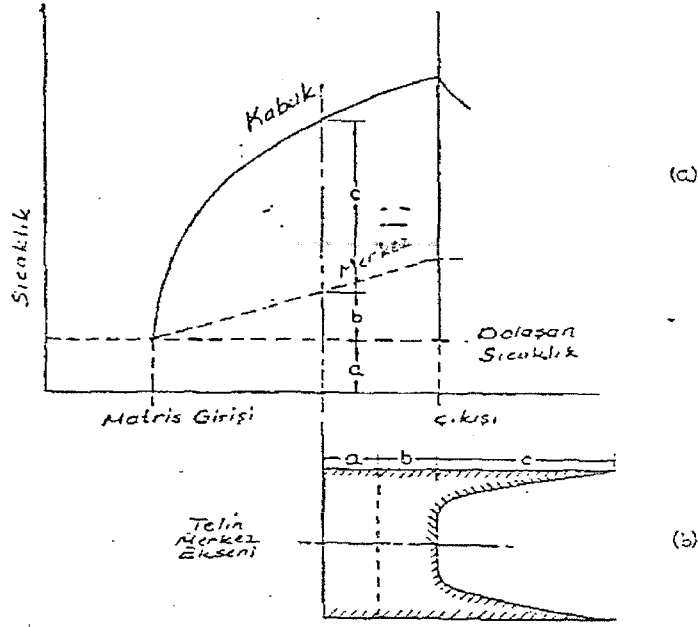
Saf Yağlar; konsantre yağlardır. Suda karışmayacak şekilde mevcut olurlar. Saf yağlayıcılar genellikle yüksek oranda katkı içerirler. Bunlar yüksek derecede yağlamaya katkı sağlar ve su içindeki yağın yeterli olmadığı ürünlerde kullanılır.

Saf yağlayıcıların kullanıldığı ana uygulamalar şu şekildedir.

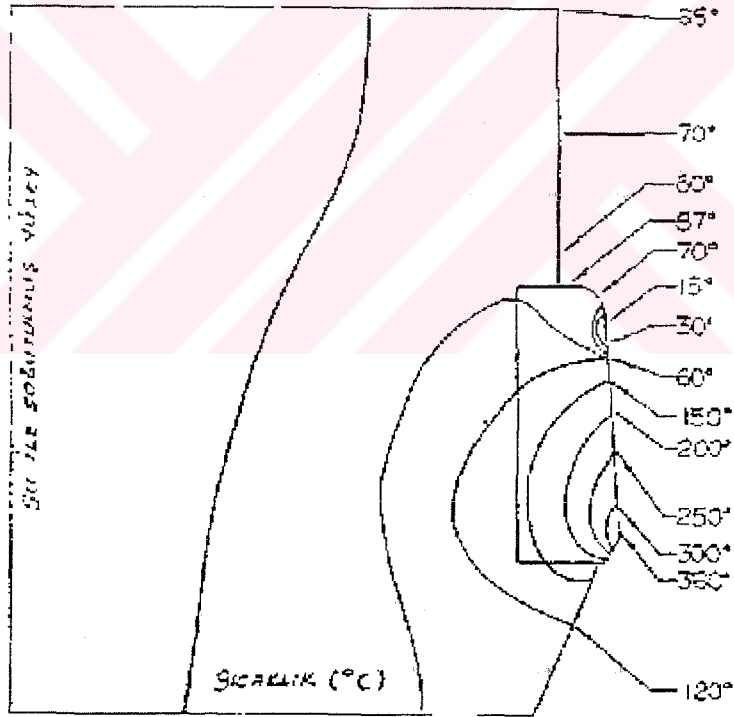
- Alüminyum teller, ince çelik teller, profiller, burçlar, borular için özellikli uygulama yağlayıcılarıdır.(Özer 1997; Dubar vd.,2002; Leopardi, 2003)

3.5 Çekme Sırasında Oluşan Isı ve Sıcaklık

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 matristeki dik sıcaklık gradyanları ile hesaplanmalıdır. Şekil değiştiren telin içindeki sıcaklık dağılımı şekil 3.9'da gösterilmiştir. Tel eksen boyunca ve tel kesitinde dik sıcaklık gradyanları ile karşılaşmıştır. 7 m/s'lik bir çekme hızı için matristeki sıcaklık dağılımı Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10 Sıcaklık dağılımı : a) Tel boyunca b) Tel kesitinde



Şekil 3.11 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 sayılarındaki farklılıktan dolayı hasar görmesi açısından olumsuz bir etki yapar.(Dove vd.,1980)

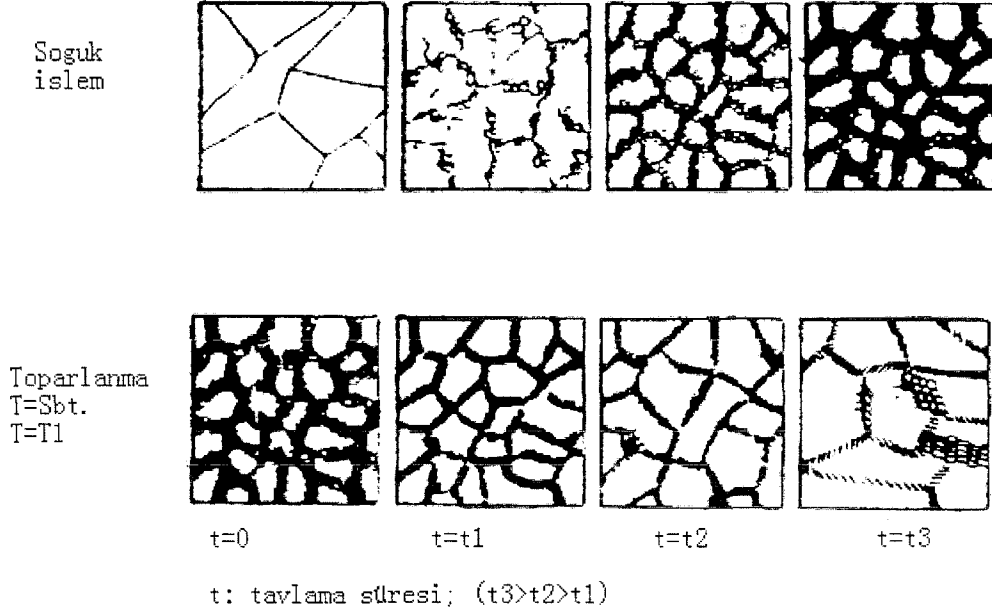
3.6 Tel Çekmede Tavlama İşlemi

Tavlama, malzemeleri yüksek sıcaklığa ısıtma ve bu sıcaklıkta belirli bir süre bekletme işlemi olarak tanımlanır. Tel çekme işleminde tavlamanın amacı son nihai üründe, soğuk deformasyon etkilerini ortadan kaldırmak ise yeniden kristalleşme tavlama olarak adlandırılır. Amaç çekilen teli daha ileri dereceli soğuk deformasyona uğratmak ise proses tavlama veya ara tavlama adını alır. Bu prosesler prensip olarak birbirinin benzeridir.

Çekme ile soğuk deformasyona uğratılan bir malzeme şekil değiştirme sertleşmesine uğrar. Dislokasyon yoğunluğu artar. Artışın sebebi, malzemenin tanelerinin deformasyon yönünde uzaması ve belirli kristalografik doğrultularda yönlendirilmesidir. Tanelerde dislokasyon yoğunluğunun artması yanında bir çok atom boşluğu da meydana gelir, aynı zamanda malzemenin yoğunluğunda bir miktar azalma görülür. Artan bu dislokasyon yoğunluğunda plastik deformasyonu sürdürebilmek için daha yüksek strese ihtiyaç duyulur. Artan şekil değiştirme kuvveti aşırı basınç üretir ve düşük sürekli telin kopmasına neden olabilir [Bu sebeplerden dolayı soğuk deformasyonun tel üzerindeki etkilerini uygun bir ısıtma işlemi ile ara tavlama ile ortadan kaldırmak gerekir] . Tavlama sonunda elde edilmek istenen özelliklere göre, tavlama sıcaklığı yeniden kristalleşme sıcaklığının altında veya üstünde seçilebilir.

Telin tam tavlama malzemesinden daha yüksek bir mukavemete sahip olması istenirse, son işlem, istenen mukavemeti sağlayacak deformasyon oranında yapılacak tel çekme işlemi olacaktır. Eğer telin tam tavlama olması istenirse son tel çekme işlem kademesini yeniden kristalleşme sıcaklığı üstünde yapılan bir tavlama işlemidir.

Peş peşe yapılan bu soğuk işlem ve tavlama işlemleri tavlama çevrimi olarak isimlendirilir. Bu işlemler sırasında özelliklerin ve mikro yapının değişimi şekil görülmektedir.



Şekil 3.12 Soğuk işlem ve toparlanma sırasında oluşan hücre ve alt yapısı

Soğuk işlem ve tavlama ile telden istenen mekanik özellikler elde edilebilir. Soğuk işlenmiş tel ve çubuk gibi ürünler son tavlama izleyen farklı deformasyon oranlarına göre çeyrek sert, yarım sert, üç çeyrek sert ve tam sert olarak tanımlanır ve soğuk işlenmiş malzemenin temper durumu olarak isimlendirilir. Her temper durumu son tavlama işleminden sonra farklı bir deformasyon oranı belirtir.

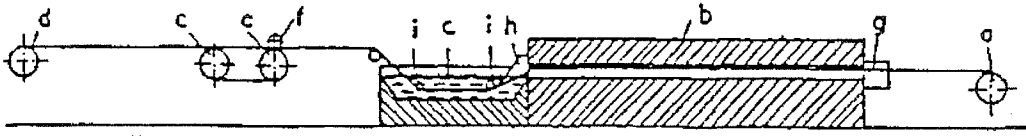
Yeniden kristalleşme tavrında ise; bu safhada dislokasyon içeren toparlanmış taneler kaybolur ve yerine yeni taneler çekirdeklenir. Çekirdeklenme genellikle hatalı bölgelerde, tane sınırlarında meydana gelir. Toparlanmış tanelerdeki dislokasyonlar yeni oluşan tanelerin sınırlarına kaçarlar. Böylece içlerinde küçük yeni taneler oluşur ki bu yapıya yeniden kristalleşmiş yapı adı verilir.

Yeniden kristalleşmiş yapıda soğuk işlemin etkisi tamamen giderildiği için uygulamada önemi çok büyüktür. Yeniden kristalleşmede malzemenin mukavemet ve sertliğinde önemli ölçüde azalma, sünekliğinde ise artma olur. Yeniden kristalleşme ile dislokasyon yoğunluğu da önemli ölçüde azalmıştır ve deformasyon sertleşmesinin etkisi tamamen giderilmiştir.

Yeniden kristalleşme sıcaklığı, malzemenin pratik olarak bir saat içinde % 50'sinin yeniden kristalleştiği sıcaklıktır ve yaklaşık olarak malzemenin ergime sıcaklığının $1/3$ ü ile $1/2$ 'si arasındadır. Malzemelerin yeniden kristal bileşim, ilk tane boyutu, tav süresi ve malzemenin ergime sıcaklığı gibi çeşitli faktörlere bağlıdır.

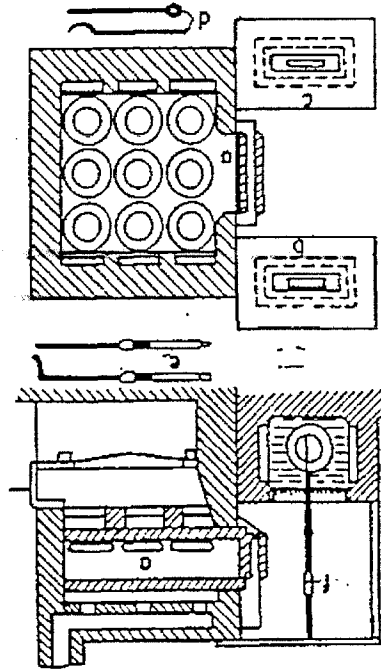
Tavlama fırınları, katı, sıvı ve gaz yakıtlar ile ısınır. Günümüzde en çok kullanılan elektrikli tav fırınlarıdır. Bu fırınlarda ısı kontrol altındadır ve fırın atmosferi nötrdür. Tavlama için gerekli olan ısı ve süre kolaylıkla ayarlanabilir.

Patentleme işleminde bir çelik tel ısıl işleminde, A_3 noktası üzerinde ($850-1100\text{ }^{\circ}\text{C}$)'de tavlama sonrası malzeme, $400-550\text{ }^{\circ}\text{C}$ daki kurşun ya da hava ortamına sokulur. Bu işleminde kurşun veya hava patentlemesi denir. Şekil 3.13 ve Şekil 3.14'te iki türlü patentleme ısıl işlemi için tav fırınları görülmektedir. Hava patentlemesinde iri taneli iç çapı ve yüzeyde az miktarda karbon kaybı meydana gelir.



Şekil 3.13 tav fırını

Fırından çıkan tel kangallar hemen sıcak kum içine gömülerek çok yavaş soğuma sağlanır. Tellerin sertleşmesi ve ıslahı için özel sürekli geçiş fırınlarında, karbon miktarına göre $750-900\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'da tavlama malzeme yağda ya da suda sertleştirilir. Bu işlem sonrası 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. (Dove vd., 1980)



Şekil 3.14 Tav fırını

3.7 Tel Çekme Makinaları

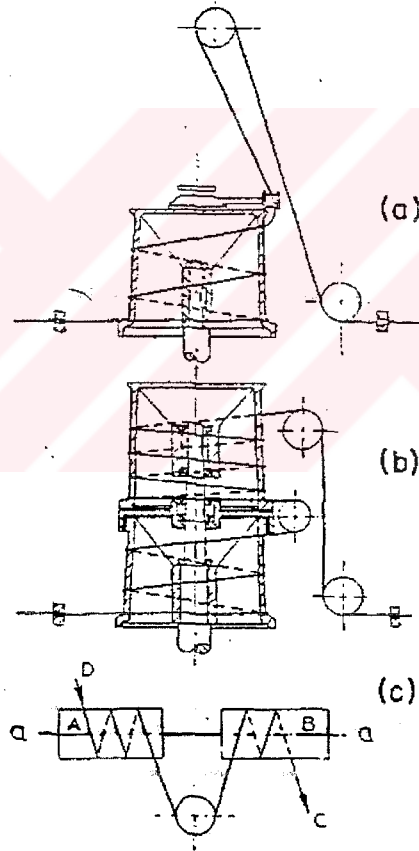
Telin matris içinden çekilmesini sağlayan kafalardan oluşur. Hızları 1 m/s ile 20 m/s arasında değişmektedir. Makinanın hızı ile çekilen telin kesiti arasındaki oran, sürekli kafalarda çok önemlidir.

$$V_1 \cdot S_1 = V_2 \cdot S_2 = \dots = V_n \cdot S_n$$

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 makinaları, daha inci çaplar için sulu çekme makinaları kullanılmaktadır.

Kuru çekme makinaları sarma çeşitlerine göre gruplandırılırlar.

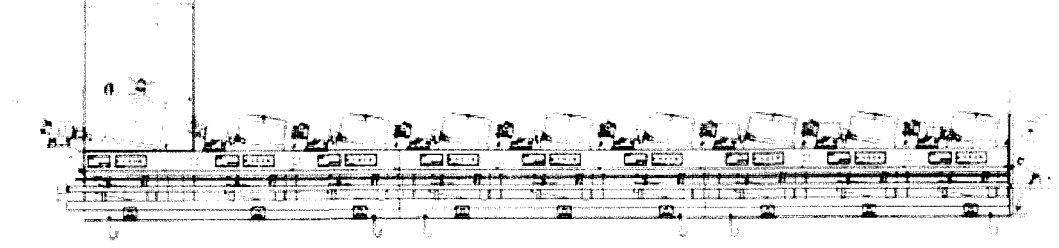


Şekil 3.15 Sarma çeşitlerine göre çekme makinaları

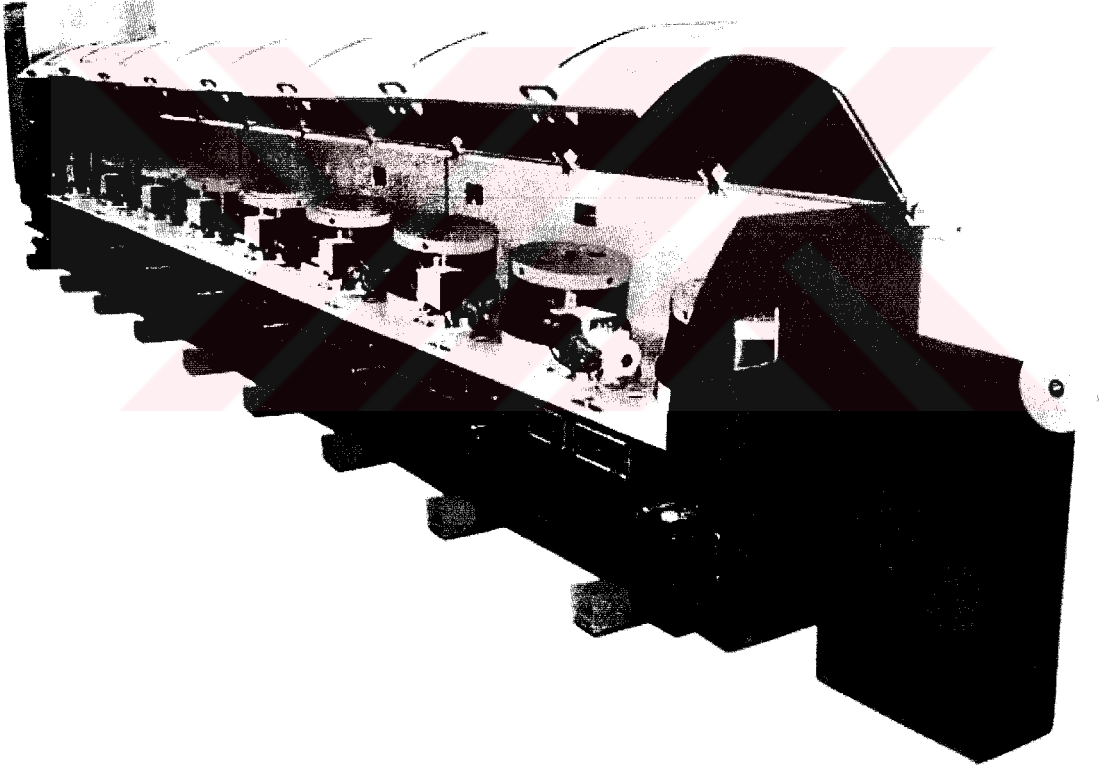
a) Gerdirme kollu çekme makinasıdır. Piyasada en çok kullanılan makina türüdür. Fakat her dönüşte tel bir kez bükülür. İdeal bir sistem değildir.

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 miktarlarının eşit olması önemlidir.

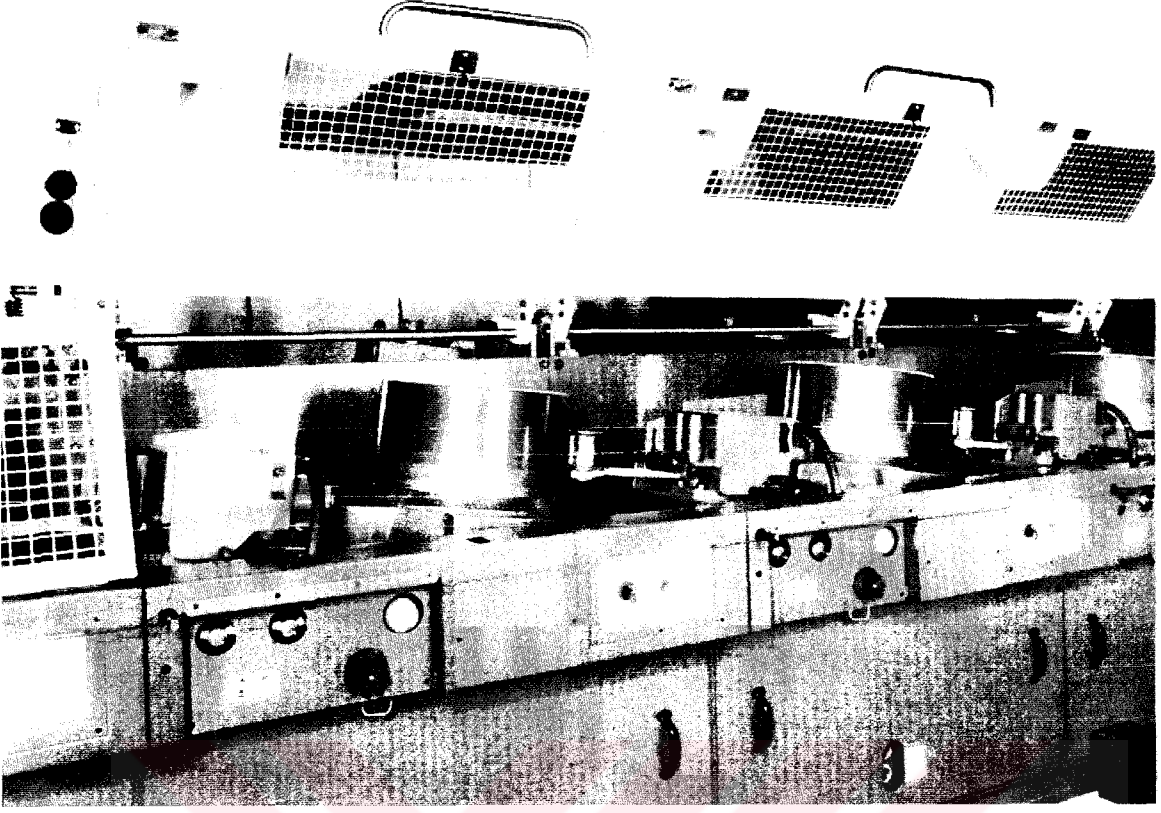
c) Bu tür makinalarda tel burkulmaz. Arada bir makara yardımıyla aktarma sağlanır.



Şekil 3.16 Tel çekme makinası.

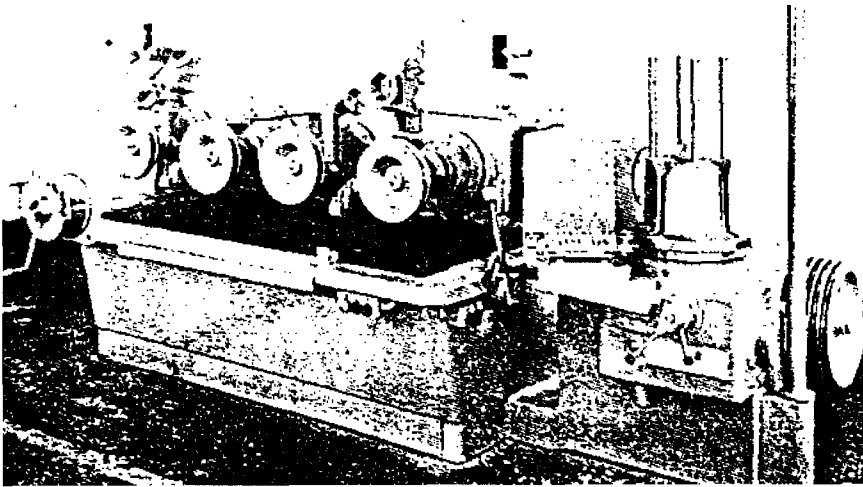


Şekil 3.17 Tel çekme makinası.



Şekil 3.18 Eğik bloklı çekme makinası.

Çok ince çaplardaki çelik teller için sulu çekme makinaları kullanılır. Bu makinalar kuru çekme makinalarına göre daha hızlıdır. Yağlayıcı olarak, su ile sabunun karışımı bir emülsiyon kullanılır. Sulu çekme makinalarında 10 ila 16 arasında matris yuvası bulunur.(Ertel, 2003; Outamat Leopardi,2003)



Şekil 3.19. Sulu çekme makinası.

4. TEL ÇEKME İŞLEMİNDE OLUŞAN HATALAR

4.1. Malzeme Akışı Sırasında 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.

Ağıdaki hatalardan biri veya birkaçı birden bir işlemde oluşabilir;

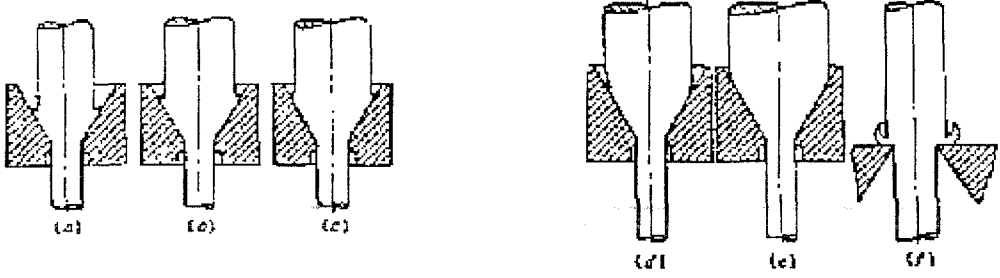
- 1- Yılan derisi, balık derisi veya çam ağacı şeklindeki hatalar
- 2- Merkez yarılmaması
- 3- Ölü bölge oluşumu, şişlik ve girişte büzülme
- 4- Distorsiyon
- 5- Akışın başlangıcında maksimum çekme gücü
- 6- Kırılma gevrekliği
- 7- Matris bölgesinin girişinde ve çıkışında sonra akma
- 8- Diğer şekil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

4.1.1 Yılan Derisi Hataları

Mamulün 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.

4.1.2 Merkez Yarılmaması

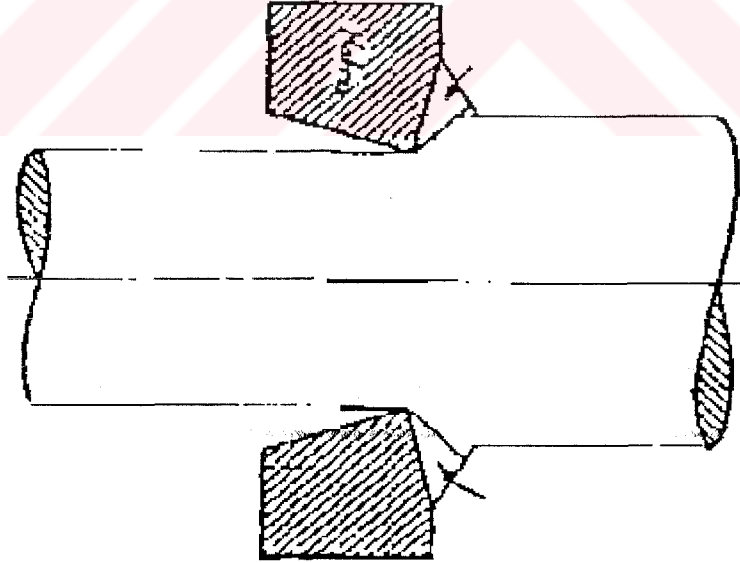
Yüzey, merkezden daha hızlı aktığında merkez yarılmaları oluşur. Bu hata oluştuğunda, redüksiyonu değiştirmek veya tehlikeli bölgeden uzakta bir koni açısı seçilmesi tavsiye edilir.



Şekil 4.1 Şişkinlik ve girişte büzülme.

4.1.3 Ölü Bölge Oluşumu

Şişlik ve girişte büzülme; akış tiplerinin matris koni açısı ve redüksiyonla değiştikleri bulunmuştur. Herhangi bir yüksek redüksiyonda şekil 4.1'de görülen büzülme gözlenebilir. Yüksek devam eden redüksiyonlarda büzülme, üstün hale gelir. Şekil 4.1'de küçük koni açılarında büzülme, küçük redüksiyonlarda başlar. Bunun zıttı büyük koni açılarında geçerlidir. Sonuç olarak 80° , 85° ve 90° 'lik açılar çok küçük redüksiyonlarla (Örneğin $r = \%5$) matris şişliği sanki bir kesme aletiymiş gibi keserek talaş haline getirmektedir. (Şekil 4.2) Bu olay traşlama aparatlarında istenmeyen yüzeyleri çıkarmak için kullanılır.



Şekil 4.2 Şişme ve kesme.

4.1.4 Distorsiyon

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

4.1.5 Maksimum Çekme Gücü

Akışın başlangıcında maksimum çekme gücü, deforme etmesi zor malzemelerin kırılma gevrekliği, çemberin çıkışında karşı basınç uygulanarak önlenabilir. Tabii ki koni açısı seçimi plastik akışa yardım edebilir.

4.1.6 Kırılma Gevrekliği

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.

4.1.7 Akma

Matris bölgesinin girişinde ve çıkışından sonra akma matris yüzeyi pürüzlü veya aşınmış olduğunda veya uygun olmayan yağ kullanıldığında tamamlanmış mamulün yüzeyi pürüzlü olur. Matristeki çok fazla aşınmada mamulün boyutsal değişimine sebep olur. Mamulü düzeltmek için bilinen iki metot vardır. Biri mamulü elastiklik limitinin ötesinde germek, diğeri de ardarda yufkaçlar arasından geçirmektir.(Dieter, 1961 ; Dove vd.,1980)

4.2 Sıcak Haddelenmeden 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- Kabuk hataları

10- Çekirdek ayırma

11- Yüzey karbonsuzluğu

12- Sert bölgeler

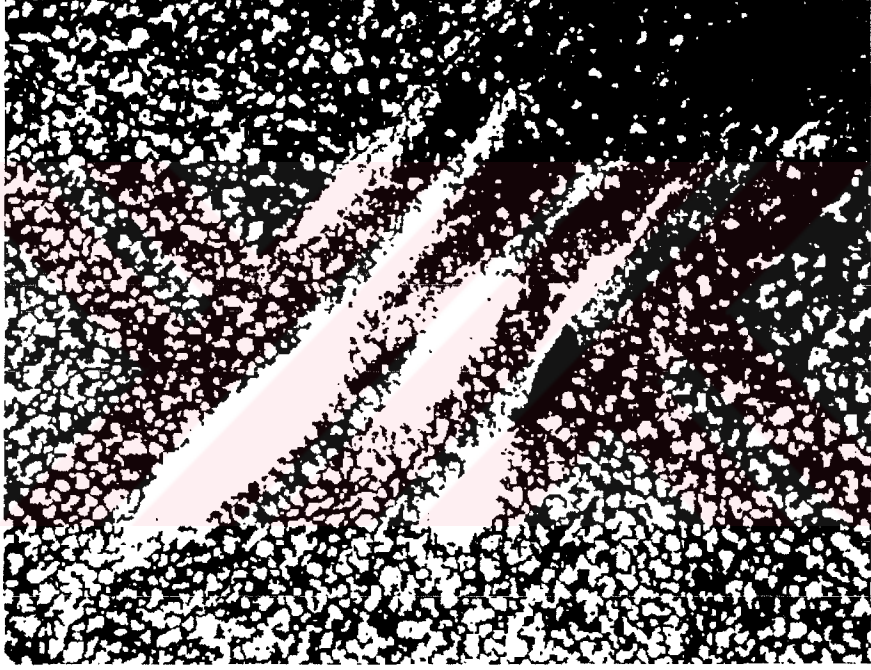
4.2.1 Çatlaklar

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



Şekil 4.3 Şekilde yüzey bölgesinde eğik olarak boyuna bir çatlak

Şekil 4.3 - Şekilde yüzey bölgesinde eğik olarak boyuna bir çatlak görölmektedir. Çatlaklı yüzün karbonu alınmıştır. Çeliğin tavlamasından öncw, karbonsuzlaştırılmış bölge işaretlenerek, çatlak bölge daha berrak bir şekilde ortaya çıkarılmıştır.



Şekil 4.4 Yüzey delikleri nedeniyle oluşan boyuna çatlaklar

Şekil 4.4'de yüzey delikleri nedeniyle oluşan boyuna çatlaklar görülmektedir. Deformasyon esnasında yüzey altı gözenekleri çatlakların oluşmasına neden olmuştur.

Çeliğin üretime hazırlanmasından, son nihai ürün oluşumuna kadar olan herhangi bir noktadaki hata bu çatlaklara sebep olabilir. Ergitme kısmında, özellikle döküm oluşunda ve döküm sırasında madene yapılan baskıdan dolayı yüzey delikleri, madenin yüzeyindeki kabuk, uygun şekillenme noksanlıkları ve çukurlaşma oluşur. Haddeme sırasında yüzey genişlemesi dolayısıyla bu hatalar çatlaklara neden olur.

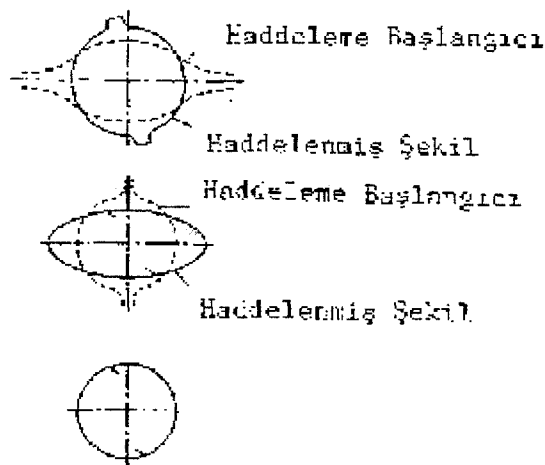
Çatlaklar gözle veya büyütmeyle görülebilir. Çatlaklar kimyasal veya mekanik olarak incelenebilir. Çatlakları burulma deneyleri ile, manyetik kuvvet, soğuk ve sıcak şişirme deneyleri, indüksiyon akımı ile belirlenir. Bütün bu deneylerde, çatlağın derinliği belirlenir. Bu eğeleme veya bileme yolu ile de olabilir. Daha hassas sonuçlar ise mikroskopik olarak tespit edilir.

4.2.2 Örtülenmeler

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

Malzeme basınçlı ve hareketli bir haddeme geçirirse, sık sık taşma ve örtülenmeye neden olur. Sıcaklıkta büyük bir azaltma yapıldığında, geçişlerde taşma olur. Haddeme yapılırken yeterli dolum olmadığından zayıf yüzeyler oluştuğu için örtülenmeler genelde görülür. Telin yalnız bir yüzeyindeki örtülenmeler, işlemin yürütülmesini güçleştirir.

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

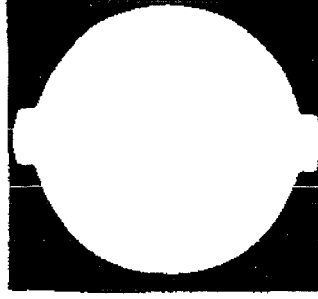


Şekil 4.5 Malzeme yüzeyinde iki zıt yönde aralıklı yayvan şekilde hata

Şekil 4.6'da malzeme yüzeyinde iki zıt yönde aralıklı yayvan şekilde hata görülür. Hata sertlik geçiş esnasında taşma ile oluşmuştur.

4.2.3 Yığılmalar

Tel boyunca oluşur.Çoğu yığılmalar tel çubuğun çevresine dağılmış olarak, geçişin sonunda taşmalardan dolayı oluşur. Eğer tek bir yönlü yığılma varsa ki en çok görülen hatalardandır.Nedeni bir yandan öbür yana olan yığılmadır. Yığılmalar bazı sargıların tüm boyunca oluşur.



Şekil 4.6 Yığılmalar

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

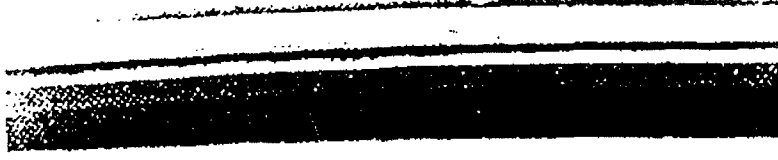
4.2.4 Haddeme Esnasındaki Yabancı Maddeler

Değişik tür ve sınıflarda maddeler, haddeme sırasında malzemeye karışmasından kaynaklanır.Bazen üretim esnasında metal ve ametal malzemeler bir araya gelerek yüzey bölgesinde yabancı maddeler oluştururlar.Tel malzemelerde fırınlama işleminden paketlenme pistinden, fırın kurumlarından ve farklı çelik cinslerinden dolayı hata oluşur. Bu hatalar kayıplardan ve kırılmış veya parçalanmış malzemedan dolayı da oluşabilir. Yarı mamul halinde iken kabuk oluşumunda talaş, haddelenmiş ürün parçaları yabancı maddelerin oluşmasına neden olur. Ayrıca haddeme prosesi esnasında yabancı maddeler veya parçalanmış maddelerde bu hataları oluşturur.Haddelemedeki yabancı maddeler çıplak gözle veya basit bir büyüteçle tespit edilebilir. Mikro deneyler veya malzeme de yapılan kimyasal analizler hataların ana sebeplerini gösterir.

4.2.5 Kazımlar

Baskı yoluyla oluk gibi ve daima boyuna olurlar. Kazımlar biçim ve çeşit olarak hataların kaynağına uygun bir değer de oluşurlar. Bu tip hatalar, çatlakların ve örtünmelerin genişlemesine, yüzey hatalarının da büyümesine sebep olurlar.Kazımlar malzemenin

aşınması ile veya nesnelerin üzerindeki noktalardan dolayı oluşur. Zayıf işleme, aşınma, kırık parçalar kazınmalara sebep olur. Bu tip hatalarda soğutulmuş ve önlemi alınmamış parçalar önemli rol oynar. Kazınmalar çıplak gözle veya küçük bir büyüteçle tespit edilebilir. Yığma şişirme testleri kazınmalar için kullanılır.



Şekil 4.7 Tel üzerindeki kazınmalar

4.2.6 Hadde İzleri

Genellikle kabarma, yükselti veya baskı şeklinde periyodik olarak görülür.



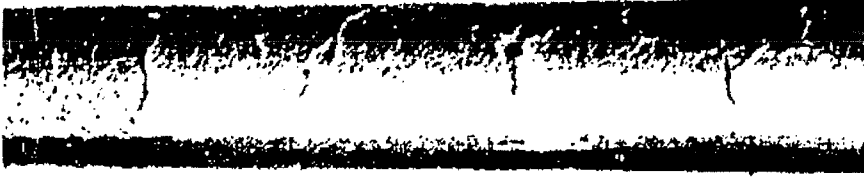
Şekil 4.8 Periyodik yükseltiye neden olan son geçişteki bir hasar.

Eğer haddelenmiş ürünün yüzeyinde yükselti oluşuyorsa, bunun nedeni haddeme esnasındaki çeşitli baskılar veya sıcak çalışırken yardımcı tesisat ve takımların verdiği hasardır. Haddelenmiş ürünlerdeki 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 tespit edilebilir.

4.2.7 Ateş Çatlağı Geçiş İzleri

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 ürünlerdeki yükseltinin uygun olmasına sebep olur. Ateş çatlağı geçiş izlerine rağmen, evvelden oluşan düzlemsel geçişlerdeki olaylar, diğer yüzeysel hataların (Çatlaklar, yığılmalar ve

şişmelerin) oluşmasına neden olur. Karakteristik şekillerinden dolayı ateş çatlağı geçiş izleri gözle veya büyüteçle görülebilir.



Şekil 4.9 Haddelme doğrultusunda sağ açıdan ateş çatlağı izleri.

4.2.8 Sertlik

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

Sert bir tel yüzeyi genellikle, son iki işlemle haddelmede oluşan aşınma oluşuna sebep olur. Haddelme 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.

4.2.9 Dış Kabuk Hataları

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 4.10 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 haddelme sıcaklıklarındaki işlemlerden veya şekil hatalarından kaynaklanır.

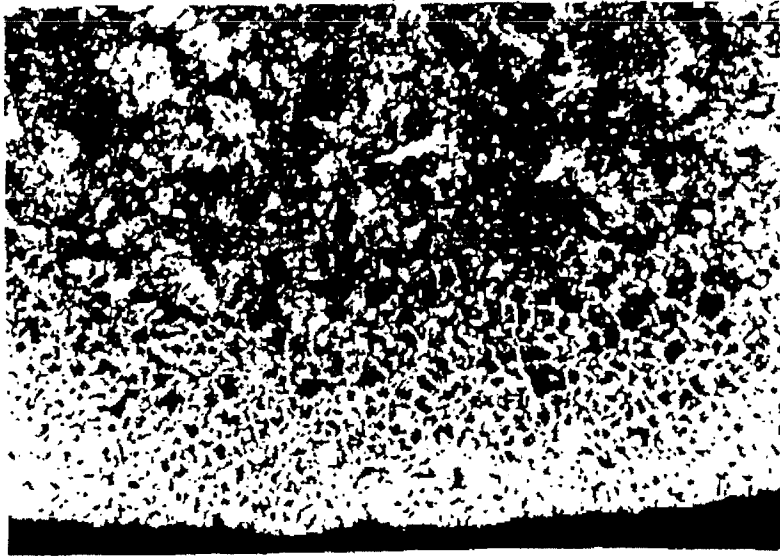
Yarı mamul halindeyken ki havalandırma eksikliği, stok yapılırken oluşan hasarlar ve haddelme esnasındaki aşırı ısınma dış kabuk oluşumuna neden olur. Dış kabuk hataları yığılma ve burulma deneyleriyle belirlenir.

4.2.10 Çekirdek Ayırma

Tel içindeki normalden farklı çelik kompozisyonlarının ayrılması işlemidir.Çeşitli sebeplerle, katılaşmış çeliğin konsantrasyonundaki bileşik elementler değişik yayılmalar halindedir. Bu işlem ayırma olarak bilinir. Partiküllerde, fosfor, sülfür, karbon ve diğer bazı elementler ayırmaya karşı hassastır. Denenmiş ayrılmalarda bir hata da görülen olay, diğer malzemelere de uygunluk göstermelidir.Ayırma büyüteçle enine ve boyuna olarak tanınabilir, daha çok tesirli bir keşif için mikroskobik deneylerle incelenebilir. Ayırma derinliği çeşitli testlerle ölçülebilir. Sülfür ayırması sülfür baskılarında kolayca tanınabilir.

4.2.11 Yüzey Karbonsuzluğu

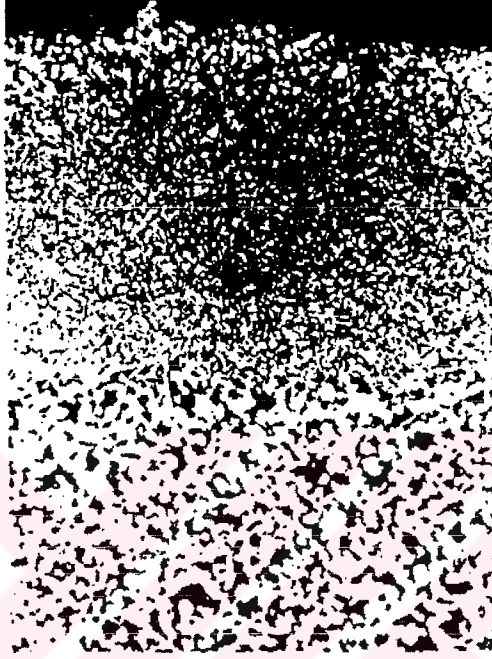
Karbonun telin yüzeyinden itibaren kaybolması olayıdır. Tamamıyla karbonsuzluk ve karbonsuzluk derecesi arasında haddeden çekilme durumuna göre bir fark mevcuttur. Eğer çelik, çok uzun bir süreyle yüksek derecede ısıtılırsa veya yalnızca ocak ortamı ile demir hafif reaksiyon verirse, haddelenmiş ürünün belirli bölgelerinde karbon kaybı oluşur. Karbon içindeki zayıflatılmış bölge genişliği ve güçten düşmüş bölgenin derinliği; sıcak ocak ortamındaki açığa çıkan oksijen, sıcaklık ve ocakta tutma süresiyle belirlenebilir.



Şekil. 4.11 Yüzeyde oluşan karbon eksikliği

4.2.12 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. İşleme uygun bir yapı elde edilmemiş olur.



Şekil 4.12 Aşırı hızda soğutma sebebiyle tel çubukların yüzeyinde oluşan sert bölgeler.

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

4.3 Tavlama İşlemi Sırasında Oluşan Hatalar

Tavlama işlemi yukarıda da belirttiğimiz nedenlerden dolayı gereklidir. İşlem sonucunda telin mukavemeti artar ve giderek sertleşir. Tel çekilemez hale gelir ve kopmaya başlar. 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 süresince değil, malzemenin normal atmosfer içinde

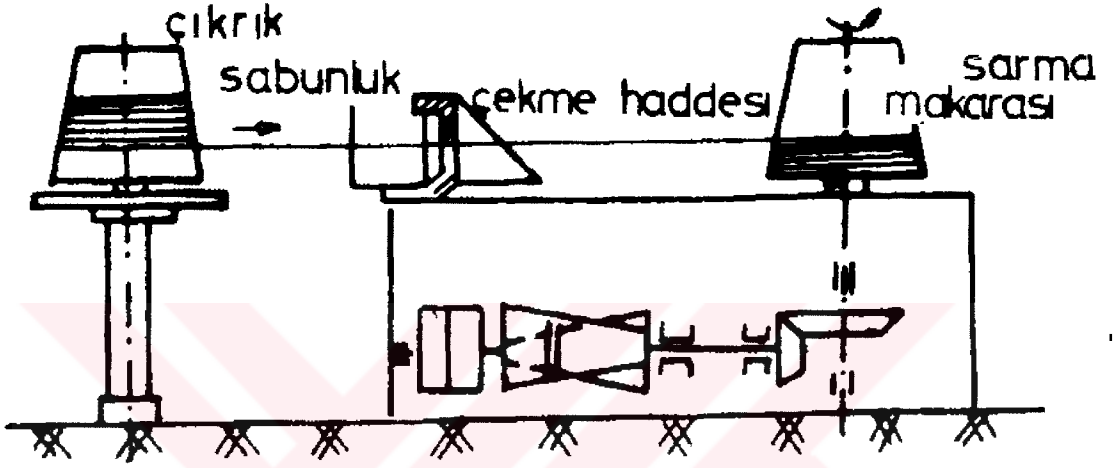
soğuması sırasında meydana gelmektedir. Bu nedenle parlak tavlama denilen ve tel yüzeylerinin gümüş renginde kalmasını sağlayan tavlama yöntemlerinin amacı, tavllanmış malzemenin soğuma sırasında hava ile temasını önlemektir. Fırından pota çıkarıldıktan sonra, içindeki hava vakumlanır. Potanın içine herhangi bir etkisi olmayan azot konulur. Tel pota içerisinde 12 saat soğutulmaya bırakılır. Böylece tel oksitlenmeden soğutulmuş olur(Dove,1980; Bodur,1975).



5. UYGULAMA

5.1 Deneyin Amacı:

Bu yüksek lisans tezi kapsamında yapılan deneyde farklı oranlarda daraltmalarla kuvvet ölçümleri yapılarak, yağlayıcı olarak sodyum ve kalsiyum bazlı sabunlar kullanılmasıyla kuvvet değişimlerinin gözlenmesidir.



Şekil 5.1 Deney şeması

5.2 Deneyde Kullanılan Techizat ve Malzeme

Deney malzemesi olarak yağlayıcı ve çizelge 5.1 de verilen ST37 tel kullanılmıştır. Yağlayıcı olarak sodyum ve kalsiyum bazlı sabun seçimi yapılmıştır.

Çizelge 5.1 Çekilen malzemenin kimyasal analiz değerleri

çap mm.	akma mkv. kg/mm ²	çekme mkv. kg/mm ²	uzama %	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Sn	Cu	V	Mo	N
5,50	32,62	45,51	32,40	0,10	0,49	0,09	0,019	0,049	0,09	0,12	0,018	0,49	0,005	0,026	0,008
5,50	32,82	44,71	33,00	0,07	0,46	0,07	0,034	0,046	0,12	0,12	0,025	0,44	0,009	0,035	0,008
5,50	32,39	44,43	33,40	0,08	0,41	0,10	0,032	0,043	0,12	0,12	0,017	0,31	0,006	0,032	0,008
5,50	32,67	45,65	31,80	0,07	0,50	0,11	0,013	0,035	0,07	0,12	0,015	0,24	0,009	0,029	0,008

İşlem sırasında kullanılan teçhizat;

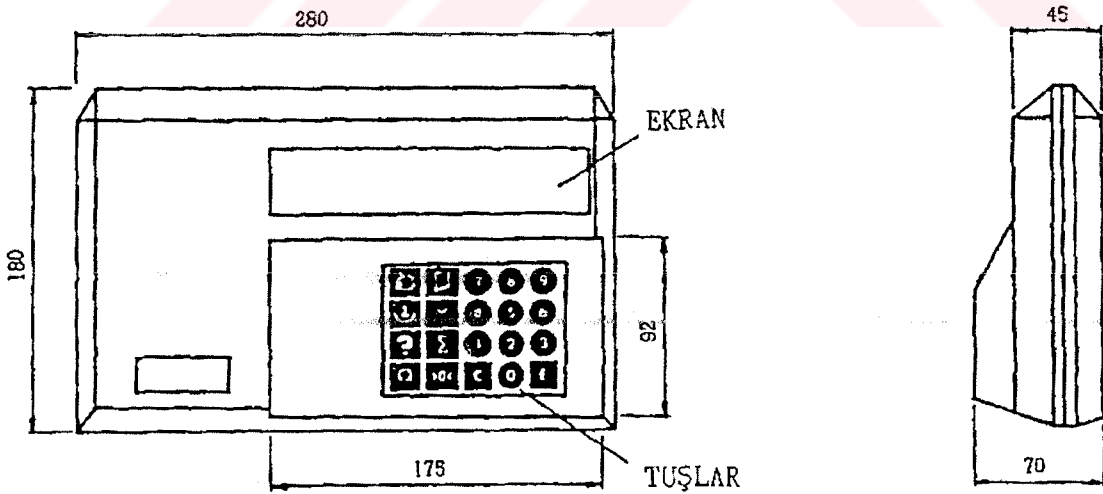
- 1- Yük hücresi
- 2- İndikatör
- 3- Tel çekme donatımı
- 4- Sabunluk
- 5- Matris yuvası
- 6- Matris

Yük Hücresi; kesme kuvvetini ölçen bir loadcell kullanılmıştır. Matris, matris yuvası aracılığıyla, yük hücresinin duyarlı kısmına dayandırılmıştır.

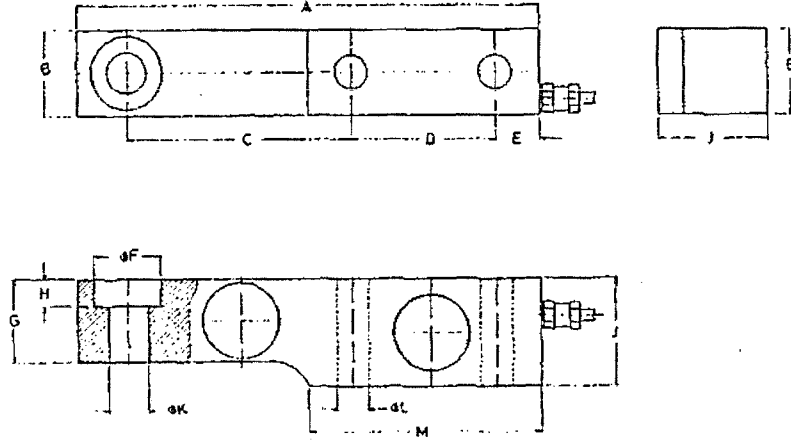
İndikatör; kuvvet ölçümü ve değerlendirilmesi için kullanılmıştır. Yük hücresi ile arasında bir bağlantı vardır. Bu bağlantı sayesinde kuvvet indikatörden okunabilmektedir. Yük hücresi ile indikatör beraber çalışmaktadır. İndikatörün kalibrasyonu 2000 kg kapasiteli yük hücresine göre yapılmıştır.

Tel çekme donatımı; taşıma tamburu, sarma tamburu, dişli kutusu ve elektrik motorundan oluşmaktadır.

Sabunluk; çekme sırasında sürtünmeyi azaltmak için kullanılan yağlayıcının konduğu matris önündeki haznedir. Matris, matris yuvasına yerleştirilerek sabitlenmiştir.



Şekil 5.2 İndikatör



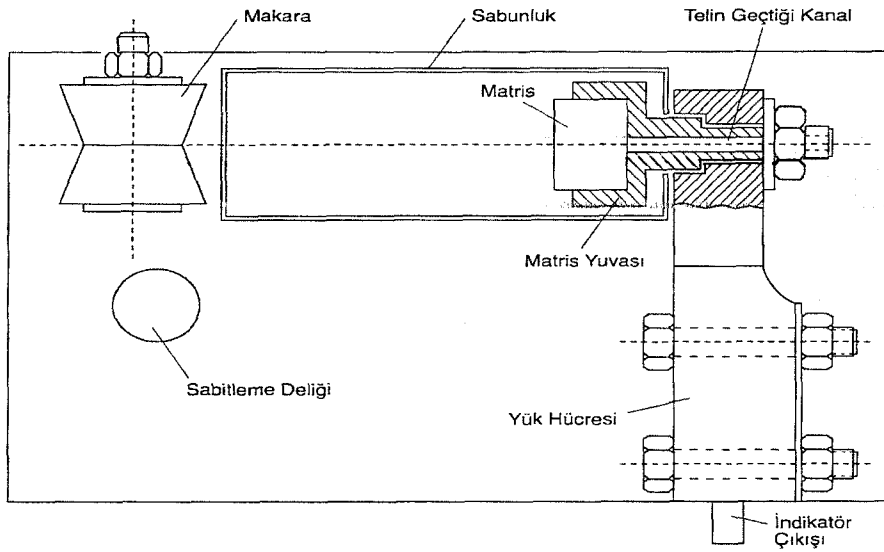
Şekil 5.3 Yük hücresinin teknik resmi

5.3 Uygulamalar

5.3.1 Deney İşlemleri

Yapılan deneylerde sodyum ve kalsiyum bazlı sabunlar kullanılarak iki farklı tür çekme işlemi için kuvvet değişimleri gözlenmiştir. Bu yapılan deneylerde matris açıları sabit olan çeşitli çaplardaki matrisler kullanılmıştır. Deneyde farklı oranlarda yapılan daraltmalarla kuvvet ölçümleri yapılmıştır.

Tel çekme şeması şekil 5.1'deki gibidir. Burada, taşıma tamburundan boşalan tel, matristen geçirildikten sonra sarma tamburuna sarılmaktadır. Sarma tamburu hareketini dişli kutusu vasıtasıyla bir elektrik motorundan almaktadır.



Şekil 5.4 Deney düzeneği

Çekme işleminin başlangıcında, telin ucu, sivriltilerek matrisden geçirilir. Daha sonra tambur üzerindeki tutma kafası ile yakalanıp tambura birkaç tur sarılır ve kafa çıkarılır. Bu işlemler sonunda sistem telçekme işlemi için hazır hale gelmiştir. Sistemin çalıştırılmasıyla boşalan tel sarma tamburuna sarılır.

5.3.2 Deneysel İşlem Basamakları

Tel, sabunluktan geçerken, yağlayıcı, yüzeye nüfus eder ve matrise tel aracılığı ile intikal eder. İşlem sırasında sabun, telin dış yüzeyine sıvanır ve telin çekilmesini kolaylaştırır. İşlem sırasında matris, matris yuvası vasıtasıyla yük hücrenin duyarlı kısmına dayandırılmıştır. Yük hücrelerinden alınan değerler bir ara bağlantıyla indikatöre aktarılır. Yük hücrelerine göre kalibrasyonu yapılmış indikatörden kuvvet değerleri okunarak deney sonuçlandırılır. Bu işlem dört ayrı ölçüm için gerçekleştirilerek sona erdirilmiştir.

Tel çekme işlemi 2 m/s sabit hızda ve 14° matris açısı ile gerçekleştirilmiştir. Yağlayıcı olarak sodyum ve kalsiyum bazlı sabun kullanılmıştır. Yapılan daraltmalarda gözlenen çekme kuvveti değerleri aşağıdaki çizelgelerde belirtilmiştir. Çekme kuvvetindeki değişim grafik olarak şekil 5.5 ve şekil 5.6'da gösterilmiştir.

Ø 1,80 mm.'lik ST-37 telin sodyum bazlı sabun kullanılarak çekilmesi;

Çizelge 5.2 Tel çekme işlemi sonucunda ölçülen değerler

İşlem No	Hadde Açısı	Çekme Hızı m/s	Tel			Çekme Kuvveti		Çekme Dayanımı	
			Çap(mm)	Kesit	%R	Kgf	Newton	Kgf/mm ²	N/mm ²
1	14°	2	1,80	2,54	-	-	-	-	-
2	14°	2	1,70	2,27	10,8%	104,0	1020	46	449

Çizelge 5.3 Tel çekme işlemi sonucunda ölçülen değerler

İşlem No	Hadde Açısı	Çekme Hızı m/s	Tel			Çekme Kuvveti		Çekme Dayanımı	
			Çap(mm)	Kesit	%R	Kgf	Newton	Kgf/mm ²	N/mm ²
2	14°	2	1,70	2,27	10,8%	104,0	1020	46	449
3	14°	2	1,50	1,77	22,1%	182,5	1790	103	1013

Çizelge 5.4 Tel çekme işlemi sonucunda ölçülen değerler

İşlem No	Hadde Açısı	Çekme Hızı m/s	Tel			Çekme Kuvveti		Çekme Dayanımı	
			Çap(mm)	Kesit	%R	Kgf	Newton	Kgf/mm ²	N/mm ²
3	14°	2	1,50	1,77	22,1%	182,5	1790	103	1013
4	14°	2	1,30	1,33	24,9%	143,0	1403	108	1057

Çizelge 5.5 Tel çekme işlemi sonucunda ölçülen değerler

İşlem No	Hadde Açısı	Çekme Hızı m/s	Tel			Çekme Kuvveti		Çekme Dayanımı	
			Çap(mm)	Kesit	%R	Kgf	Newton	Kgf/mm ²	N/mm ²
4	14°	2	1,30	1,33	24,9%	143,0	1403	108	1057
5	14°	2	1,15	1,04	21,7%	112,0	1099	108	1058



Şekil 5.5 Çekme kuvvetinin değişim grafiği

Ø 1,80 mm.'lik ST-37 telin Kalsiyum bazlı tip sabun ile çekilmesi ;

Çizelge 5.6 Tel çekme işlemi sonucunda ölçülen değerler

İşlem No	Hadde Açısı	Çekme Hızı m/s	Tel			Çekme Kuvveti		Çekme Dayanımı	
			Çap(mm)	Kesit	%R	Kgf	Newton	Kgf/mm ²	N/mm ²
1	14°	2	1,80	2,54	-	-	-	-	-
2	14°	2	1,70	2,27	10,8%	100,5	986	44	434

Çizelge 5.7 Tel çekme işlemi sonucunda ölçülen değerler

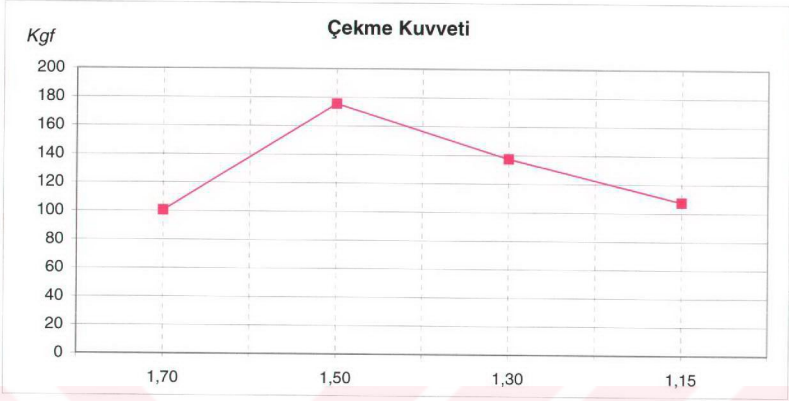
İşlem No	Hadde Açısı	Çekme Hızı m/s	Tel			Çekme Kuvveti		Çekme Dayanımı	
			Çap(mm)	Kesit	%R	Kgf	Newton	Kgf/mm ²	N/mm ²
2	14°	2	1,70	2,27	10,8%	100,5	986	44	434
3	14°	2	1,50	1,77	22,1%	175,5	1722	99	974

Çizelge 5.8 Tel çekme işlemi sonucunda ölçülen değerler

İşlem No	Hadde Açısı	Çekme Hızı m/s	Tel			Çekme Kuvveti		Çekme Dayanımı	
			Çap(mm)	Kesit	%R	Kgf	Newton	Kgf/mm ²	N/mm ²
3	14°	2	1,50	1,77	22,1%	175,5	1722	99	974
4	14°	2	1,30	1,33	24,9%	137,5	1349	104	1016

Çizelge 5.9 Tel çekme işlemi sonucunda ölçülen değerler

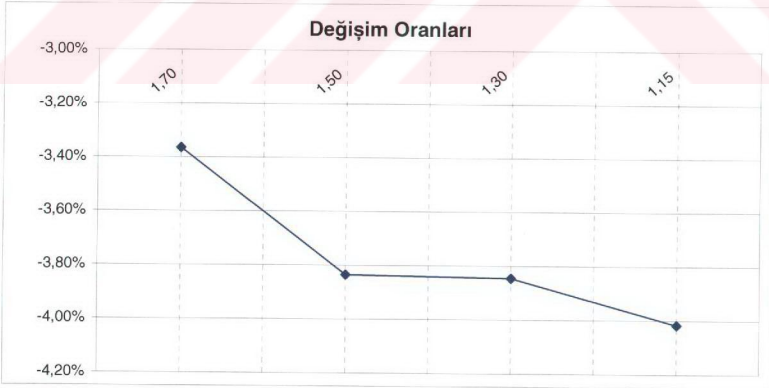
İşlem No	Hadde Açısı	Çekme Hızı m/s	Tel			Çekme Kuvveti		Çekme Dayanımı	
			Çap(mm)	Kesit	%R	Kgf	Newton	Kgf/mm ²	N/mm ²
4	14°	2	1,30	1,33	24,9%	137,5	1349	104	1016
5	14°	2	1,15	1,04	21,7%	107,5	1055	103	1015



Şekil 5.6 Çekme kuvvetinin değişim grafiği

5.3.3 Deney Sonuçları

Farklı tipte sabun kullanılarak yapılan yağlamayla ölçülen kuvvetlerin karşılaştırması şekil 5.7 gösterilmiştir. Kuvvet değişimleri %3≈%5 mertebesinde dir. Ölçülen kuvvetlerin değişim oranları grafik olarak çizelge 5.10 gösterilmiştir.



Şekil 5.7 Çekme kuvvetlerinin değişim oranları

Çizelge 5.10 Sodyum ve kalsiyum bazlı sabunların ölçüm değerlerinin karşılaştırılması

İşlem No	Hadde Açısı		Tel		Çekme Kuvveti(kgf)		Değişim Oranı
			Çap(mm)	%R	Kuru Tip	Yağlı Tip	
1	14°		1,80	-	-	-	
2	14°		1,70	10,8%	104,0	100,5	-3,37%
3	14°		1,50	22,1%	182,5	175,5	-3,84%
4	14°		1,30	24,9%	143,0	137,5	-3,85%
5	14°		1,15	21,7%	112,0	107,5	-4,02%

6.SONUÇLAR

Plastik şekil verme yöntemleri arasında soğuk şekillendirme, günümüzde imalat sanayisinin hemen hemen her alanında uygulamaları görülmektedir. Bununla birlikte soğuk şekillendirme yöntemi olarak niteleyebileceğimiz başlıca yöntemlerden biri tel çekme tekniğidir.

Sabit düşük çekme hızı, sabit matris açısı ile yapılan tel çekme işleminde farklı tipte sabun kullanılması kuvvet değişimlerini %3=%5 ler mertebesinde etkilemektedir. Uygulamalardan elde edilen değerlerden de anlaşılacağı gibi kuvvet değerleri birbirine yakın değerler olup değişim hemen hemen gözlenmemektedir. Harcanan enerji miktarında dolayısı ile değişim göstermemektedir. Malzeme üzerinde yapılan gözlemlerde ise kalsiyum bazlı sabunlar kullanıldığında matrisin yağlanması kolaylaşmakta buda matrisin ömrünü etkilemektedir. Fakat işlem sonucunda elde edilen yüzey özellikleri farklılıklar göstermektedir. Sodyum bazlı sabun kullanıldığında işlem sonunda daha temiz bir yüze elde edildiği gözlenmektedir. Tel çekme işleminden sonra herhangi bir yüzey kaplama işlemi yapılacaksa veya kaynak işlemi uygulanacaksa kalsiyum bazlı yağlı sabun kullanılması sorun yaratabilir. Burdan da anlaşılacağı gibi malzemenin çeşidine, yüzey hazırlama şekline, çekme hızına, matris sayısına, son çıkan ürünün kullanılacağı yere göre sabun seçimi yapılmalıdır.

Bu çalışma sırasında yapılan araştırmalarda elde edilen diğer sonuçlar ise aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Telin hammaddesi seçilirken kullanılacağı imalat alanı buna göre de uygun malzeme yapısı tespit edilmelidir.
- Tel çekme işleminde matris açısı, çekme redüksiyon oranı ve yağlama faktörleri malzeme akışına etki etmektedir.
- Haddeleme sırasında oluşacak hatalarda ürün kalitesini direkt olarak etkileyecektir. Amaç minimum çekme kuvveti ve işi ile maksimum ürün kalitesini yakalamaktır.
- Sıcak haddelemeden oluşan kav tabakası, çekme sırasında yüzeyin bozulmasına matrislerin aşınmasına neden olur. Bu nedenle yüzey temizleme önem kazanmaktadır. Sıcak haddelemede oluşan hataların tümü, tel çekme işlemine direkt olarak etki etmektedir.
- Matris açısının doğru seçimi, tel çekme veriminin yükselmesini ve matris ömrünün uzamasını sağlar. Matris açısının seçiminde en önemli etkenlerden biri temas noktasıdır.

- Tavlama işleminin hangi kademededen sonra, kaç derecede ve ne kadar süreyle yapılacağı önemlidir. Yanlış bir tavlama işlemi, sonraki kademelerde sorun yaratır.
- Malzeme akışının düzenli olup olmaması çekme kuvvetine, çekme işine ve bunların sonucu olarak çekilen telin kalitesine etkimektedir.
- Tel günümüzde hemen hemen heryerde kullanılmaktadır. Tel malzemesi seçilirken, kullanılacağı yere dikkat edilmeli, buna göre yapısındaki element oranları tesbit edilmelidir. Amaç minimum çekme kuvveti ve işi ile en hatasız teli elde etmektir.



KAYNAKLAR

- Balin, B., (1998), Bakır Tel Çekme, Lisans Proje-3, YTÜ (Yayımlanmamış)
- Beitragen, M., (1969), Herstellung Von Stahldraht Teil 1, Düsseldorf
- Bodur, H., (1975), Metallere Plastik Şekil Verme Usulleri, İstanbul
- Dieter, G., (1961), Mechanical Metallurgy, London
- Dove, A., Moritz, J. Ve Smigel, W., (1980), Steel Wire Handbook, U.S.A.
- Dubar, L., Dubois, L. Ve Lazzarotto, L., (2001), "A Multi-Step Lubricant Evaluation Strategy For Wire Drawing-Extrusion-Cold Heading Sequence", Elsevier Science B.V., 249(2002):951-961
- Ensari, C. Ve Kayalı, S., Plastik Şekil Verme, İTÜ Metalurji Mühendisliği Bölümü Ders Notları
- Leopardi, G., (2003), "Tel Çekme Teknolojisi ve Tel Çekme ve Kaplama Kimyasalları", Tel Çekme Teknolojisi Sempozyumu, 21 Şubat 2003, İstanbul
- Özer, Ö. Ve Yurci, M., (1997), "Tel Çekme İşleminde Matris Açılarının Optimizasyonu ve Sapmaların Belirlenmesi", İTÜ Makina Fakültesi 1. Makina Mühendisliği Kongresi, 4-6 Haziran 1997, İstanbul
- Wright, R., (1976), Pracical Use Of Mechanical Analysis In Wire Drawing
- Yurci, M., (1991a), Talaşsız Şekillendirme Analizleri ve Gelişmeler I, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Ders Notları (Yayımlanmamış)
- Yurci, M., (1991b), Talaşsız Şekillendirme Analizleri ve Gelişmeler II, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Ders Notları (Yayımlanmamış)
- Yurci, M., (1999), Talaşsız Şekil verme, Yıldız Teknik Üniversitesi Basım Yayın Merkezi, İstanbul

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 23.04.1975

Doğum Yeri : İstanbul

Lise 1989-1992

Lisans 1993-1999

Yüksek Lisans 2001-2004

Haydarpaşa Teknik Okulları Elektrik Bölümü

Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi

Makine Mühendisliği Bölümü

Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Makina Müh. Anabilim Dalı, İmal Usülleri Programı

Çalıştığı Kurumlar

1992-1997

Staj Çalışmaları; Gec Alstom Electric-Turkey, Ant Kalıp Sanayi, Güven Pres Döküm Sanayi, Tekel

1998-2000

DAF Trucks-Turkey

2000-2004

Bakır İzolasyon Sanayi