

55595

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

55595

**İYON NİTRÜRLEME İLE SICAK DÖVME KALIPLARININ ÖMRÜNÜN
ARTIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

Yük. Müh. O. Muzaffer TAMER

Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Programı : KONSTRÜKSİYON VE İMALAT

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMAN İZLEME MERKEZİ**

EYLÜL 1996

**İYON NİTRÜRLEME İLE SICAK DÖVME KALIPLARININ ÖMRÜNÜN
ARTIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

Yük. Müh. O. Muzaffer TAMER

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 10 Haziran 1996

Tezin Savunulduğu Tarih : 24 Eylül 1996

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mehmet ÇAPA *M. Çapa* 23.12.1996
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Ahmet ARAN *A. Aran* 24.12.1996
Prof. Dr. Selma AKKURT *S. Akkurt* 27.12.1996
Prof. Dr. Ahmet AVCI *A. Avcı* 24.12.1996
Prof. Dr. Raif DURAK *R. Durak* 24.12.1996

EYLÜL 1996

ÖNSÖZ

Çalışmasını yaptığım bu tezin seçiminden gerçekleşmesine kadar geçen dönem içerisinde her konuda bana tam destek olan Sn. Prof. Dr. Mehmet ÇAPA'ya kalpten şükranlarımı sunmayı bir borç bilirim. Ayrıca çalışmalarımda ve deneylerin yapılmasında bana yardımlarını esirgemeyen Araştırma Görevlisi Y. Müh. Turgut GÜLMEZ'e ve Y. Müh. Murat TABANLI'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmamı rahmetli anneme ithaf ediyorum.

HAZİRAN 1996

O. Muzaffer TAMER

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖNSÖZ	ii
SEMBOL LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ	xi
ÖZET	xiii
ZUSAMMENFASSUNG	xiv
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
BÖLÜM 2. SICAK DÖVME KALIPLARI	4
2.1 Dövmenin Sistematiik Olarak İncelenmesi	9
2.2 Şekil Verme Preslerinde Şekil Verme Şartları	10
2.2.1 Zaman büyüklükleri	11
2.2.2 Dövme kalıbının iniş hızı ve şekil değıştirme hızı	12
2.2.3 Sıcaklık	13
2.2.3.1 iş parçası sıcaklığı	13
2.2.3.2 kalıp sıcaklığı	13
2.2.4 Sürtünme faktörü	17
BÖLÜM 3. SICAK DÖVME KALIPLARINDAKİ PROBLEMLER VE ÇÖZÜMLERİ	23
3.1 Müsade Edilen Şekil Değıştirme	26
3.1.1 Şekil değıştirme büyüklüğünün değeri	26
3.1.2 Yığılma oranı	27
3.2 Dövme Kuvveti	30
3.2.1 Dönel cisimlerde dövme kuvveti	31
3.2.2 Dönel olmayan parçaların dövme kuvveti	31
3.3 Yığımadaki İş	31
3.4 Yığıma Kalıbı	32

BÖLÜM 4.	SICAK DÖVME KALIPLARININ AŞINMASI VE ALINACAK ÖNLEMLER.	35
4.1	Yüzey Sertleştirme Metotlarında Temel Bilgiler.	37
4.2	Kaplama Malzemesi Özellikleri.	38
4.3	Isıl Metotlar.	39
4.3.1	Lazer sertleştirme yöntemi.	39
4.3.1.1	hüzme yapısı.	40
4.3.1.2	lazer ışının özellikleri.	40
4.3.1.3	malzemenin etkisi.	41
4.3.1.4	elde edilen sertlikler.	41
4.3.1.5	kullanılan tesisatlar.	42
4.3.1.6	diğer metotlarla karşılaştırma.	42
4.3.2	Lazerle üst yüzeyin eritilerek sertleştirilmesi.	43
4.4	Isıl-Kimyasal Metotlar.	44
4.4.1	Plazma nitrürasyonu.	46
4.4.1.1	tabaka oluşumu	49
4.4.1.2	proses parametreleri.	51
4.4.1.3	plastik eşya imalatındaki uygulamalar	54
4.5	Modern Yüzey İşleme Tekniklerinde Nitrürlemenin yeri.	59
BÖLÜM 5.	SICAK DÖVME KALIPLARININ İYON NİTRÜRASYONU VE ÖMÜR DENEYLERİ.	62
5.1	Nitrürleme Yapılan Deney Düzeninin Tanımı.	62
5.2	Deneylerde Kullanılan Dövme Parçası, Deney Kalıpları ve Deney Preslerinin Tanımı.	63
5.3	İyon (Plazma)Nitrürleme İşlemi.	72
BÖLÜM 6.	DENEY SONUÇLARI VE İRDELEME	77
6.1	Ömür Deneyleri.	77
6.2	İçyapı ve Sertlik Deneyleri.	80
6.3	Sonuçların İrdelenmesi	87
BÖLÜM 7.	SONUÇLAR.	91
KAYNAKLAR.		93
BİYOGRAFİ.		95

SEMBOL LİSTESİ

v_0, v_{max}	: Presin parçaya çarpma hızı
t_B	: Şekil değiştirme zamanı
φ_h	: Şekil değiştirme katsayısı
φ	: Şekil değiştirme hızı
Q, Q_{w0}, Q_{s0}	: Kalıp sıcaklığı ($^{\circ}C$)
$\Delta\Omega$	: Toplam ısı yükü
ΔQ	: Sıcaklık farkı
Δt	: Temas süresi
α	: Isı geçiş katsayısı
τ	: Kayma gerilmesi
μ	: Sürtünme katsayısı
σ_z	: Normal gerime
m_r	: Sürtünme faktörü
ε_h	: İndirgenmiş yükseklik
σ_a	: Akma gerilmesi
ρ_h	: Yığılma derecesi
h_0	: Şekil değiştirmeden önceki yükseklik
h_1	: Şekil değiştirdikten sonraki yükseklik
s	: Yığılma oranı
d_0	: Başlangıç çapı

h_{0x}	: Kalıba girmeyen uzunluk
α	: Koniklik açısı
V	: Dövülen hacim
F	: Dövme kuvveti
A_1	: Yığıldıktan sonraki alan
σ_{af1}	: Şekil değiştirdikten sonraki akma gerilmesi
η_f	: Şekil değiştirme etki derecesi
W	: Yığma işi
σ_{ma}	: Ortalama akma gerilmesi
x	: İşlem faktörü
F_m	: Ortalama akma kuvveti
F_{max}	: Maksimum kuvvet
A	: Akım
U	: Gerilim
ΔL_t	: Boy kısalması
t	: Kalıba koyma sıcaklığı

ŞEKİL LİSTESİ

		<u>Sayfa No</u>
Bild 1	Ionnitrier-Anlage	xvi
Bild 2	Ionnitrier-Verfahren	xvii
Tabelle 1	Schichtaufbau	xix
Tabelle 2	Versuchsergebnisse-Mittelwerte	xx
Bild 3	Ergebniskurven	xxi
Şekil 2.1	Talaşsız imalata ait presle şekil verme prosesleri	5
Şekil 2.2	Deneylerde kullanılan dövme kalıbı	7
Şekil 2.3	Backofen, Gerhardt, Kienzle, Lange ve Schey'e göre dövme probleminin sistem olarak incelenmesi	9
Şekil 2.4	Kalıpla dövmede zaman büyüklükleri	11
Şekil 2.5	Silindirik parçaların şekil değiştirme hızı	12
Şekil 2.6	İki kütlenin ısı alışverişi	15
Şekil 2.7	Zaman ve yer açısından kalıp sıcaklığı	16
Şekil 2.8	Çeliklerin sıcak dövülmesinde sürtünme faktörü	19
Şekil 2.9	Dövme kalıbında hasar gören yerler	20
Şekil 2.10	Aşınmanın aşım elemanlarına bağlılığı	20
Şekil 3.1	Dövme esnasında hız alanları	23
Şekil 3.2	Tipik dövme parçalar	24
Şekil 3.3	Civata imalatındaki kademeler	25
Şekil 3.4	Subap imalatı	26

Şekil 3.5	h_0 : şekil değiştirmeden önceki yükseklik h_1 : şekil değiştirdikten sonraki yükseklik	26
Şekil 3.6	Yığma işlemi	28
Şekil 3.7	Burkulma	29
Şekil 3.8	Dövme oranı	29
Şekil 3.9	İki operasyonlu kafa şişirme	29
Şekil 3.10	Ön dövmede kullanılan değerler	30
Şekil 3.11	Yığmada kullanılan kuvvet-yol diyagramı	32
Şekil 3.12	Dövme kalıbı şeması	33
Şekil 3.13	Dövme kalıbının önemli parçaları	34
Şekil 3.14	Civata kafasının altı köşe kesilmesi	34
Şekil 4.1	Kalıbın arızalanması, aşınması ve kırılmasına tesir eden faktörler	36
Şekil 4.2	DIN 8580' e göre yüzey işleme metodlarının sınıflandırılması	37
Şekil 4.3	Kalıp imalatında ve montaj parçalarında kullanılan yeni yüzey sertleştirme teknolojileri	38
Şekil 4.4	Sertleşmede sadece ostenit bölgesindeki sıcaklığa çıkma mecburiyeti, izafi olarak az bir yoğunluk demetiyle çalışılmasını gerektirir	40
Şekil 4.5	Lazer ile sertleştirmenin şematik gösterilişi	41
Şekil 4.6	İç yapının karbon miktarına bağlı olarak değişimi	44
Şekil 4.7	En çok kullanılan nitrürleme yöntemleri	46
Şekil 4.8	Plazma nitrürasyon tesisinin prensibi	47
Şekil 4.9	Plazma nitrürasyon olayında meydana gelen olaylar	47
Şekil 4.10	Doğru akımlı boşalmalarda akım-gerilim münasebeti	48
Şekil 4.11	İyon nitrürasyon bölgesi	49
Şekil 4.12	İyon nitrürlenmiş tabakanın görünümü	50

Şekil 4.13	Plazma nitrürasyonunda sertliğin derinliğe ilerlemesi	51
Şekil 4.14	Nitrürasyon tabakasının özellikleri ve nitrürasyon yapılmış parçaların kullanımındaki tutumları	55
Şekil 4.15	Norm Wöhler eğrileri	57
Şekil 5.1	İspanyolet kilit dili	62
Şekil 5.2	Nitrürleme deney düzeni	63
Şekil 5.3	Başlangıç şeklinden itibaren parçanın dövülmesindeki kademeler	64
Şekil 5.4	Şekil 5.3 teki prensibe göre dövme parça imali	65
Şekil 5.5	Sıcak dövme esnasında kalıp ve parça sıcaklığı	65
Şekil 5.6	Metal malzemelerin sıcaklığa göre akma gerilmeleri	66
Şekil 5.7	Karbon miktarına göre çeliklerin dövme sıcaklıkları	67
Şekil 5.8	20°C'tan itibaren muhtelif malzemelerin ortalama uzama katsayıları	68
Şekil 5.9	Kilit dili ön şekli	69
Şekil 5.10	Kilit dili	69
Şekil 5.11	Kilit dili laması	69
Şekil 5.12	Kilit dili sıcak dövme kalıbı alt ve üst mühreleri	70
Şekil 5.13	Deneyde kullanılan 35 tonluk pres	71
Şekil 5.14	Azotun miktarıyla sıcaklığa bağlı olarak oluşan fazlar	74
Şekil 5.15	İyon nitrürleme öncesi ısı işlem görmüş parçanın içyapısı	74
Şekil 6.1	Kalıptan kesilen numune	79
Şekil 6.2	Kesilen numunenin plastiğe gömülmesi	79
Şekil 6.3	2 saat nitrürlenmiş kalıptan alınan kesitte nitrürasyon tabakasında. (a) Sertlik dağılımı. (b) Sertlik profili. (c) Tabakanın mikroyapısı, x100	80

Şekil.6.4	4 saat nitrürlenmiş kalıptan alınan kesitte nitrürasyon tabakasında. (a) Sertlik dağılımı. (b) Sertlik profili. (c) Tabakanın mikroyapısı, x100	81
Şekil 6.5	6 saat nitrürlenmiş kalıptan alınan kesitte nitrürasyon tabakasında. (a) Sertlik dağılımı. (b) Sertlik profili. (c) Tabakanın mikroyapısı, x100	82
Şekil 6.6	8 saat nitrürlenmiş kalıptan alınan kesitte nitrürasyon tabakasında. (a)Sertlik dağılımı. (b) Sertlik profili. (c) Tabakanın mikroyapısı, x100	83
Şekil 6.7	10 saat nitrürlenmiş kalıptan alınan kesitte nitrürasyon tabakasında. (a)Sertlik dağılımı. (b) Sertlik profili. (c) Tabakanın mikroyapısı, x100	84
Şekil 6.8	12 saat nitrürlenmiş kalıptan alınan kesitte nitrürasyon tabakasında. (a) Sertlik dağılımı. (b) Sertlik profili. (c) Tabakanın mikroyapısı, x100	85
Şekil 6.9	16 saat nitrürlenmiş kalıptan alınan kesitte nitrürasyon tabakasında. (a) Sertlik dağılımı. (b) Sertlik profili. (c) Tabakanın mikroyapısı, x100	86
Şekil 6.10	Maksimal yüzey sertliği, dövülen parça adedi ve nitrürlenmiş tabaka kalınlığının nitrürleme süresine göre değişimleri	87
Şekil 6.11	İyon nitrürlenmiş H11 çeliğinde opti spektroskopi ile yapılan yüzey analizi	89
Şekil 6.12	İyon nitrürlenmiş En40B çeliğinde tipik azot karbon konsantrasyon profili	89

TABLO LİSTESİ

		<u>Sayfa No</u>
Tabelle 1	Schichtaufbau	xix
Tabelle 2	Versuchsergebnis-Mittelwerte	xx
Tablo 2.1	Şekil 2.2 deki dövme kalıbının malzeme listesi	8
Tablo 2.2	sıcaklığın kalıba geçme zamanı	12
Tablo 2.3	Dövmede sıcaklık alanına etki eden faktörler	14
Tablo 2.4	Bazı malzemelerin sürtünme katsayıları	20
Tablo 3.1	Bazı malzemelerin müsaade edilen şekil değiştirme dereceleri	27
Tablo 3.2	VDI 3171' e göre dövmede kullanılan değerler	30
Tablo 3.3	Dövme kalıbı parçalarında kullanılan çelikler	33
Tablo 4.1	Kalıplarda kullanılan çeliklerin meneviş sıcaklığı	39
Tablo 4.2	Lazerle sertleştirme metodunun avantaj ve dezavantajları	43
Tablo 4.3	Plazma nitrürasyonun avantaj ve dezavantajları	52
Tablo 4.4	Yüzey tabakalarının temel tipleri	53
Tablo 4.5	Tabakaların özellikleri	54
Tablo 4.6	Tabaka teşekkülü ve sürekli yuvarlanma mukavemeti	56
Tablo 4.7	Nitrürasyon yapılmış 20 Mn Cr 5 ve Cr Mo V 9 malzemesinin yüzey yapısı	57
Tablo 4.8	Zorlamalara uygun olarak nitrür tabaka seçimi	58
Tablo 4.9	Hasara karşı istenen yüzeydeki özellikler	60
Tablo 4.10	Malzemelerin sertlikleri	61

Tablo 5.1	Çeliklerin tanınma değerleri	68
Tablo 5.2	Kalıba konulan sıcaklığı 800 ile 1110°C arasında olan çeliklerin büzülme değeri	69
Tablo 6.1	Yapılan deneylerin sonuçları	78
Tablo 6.2	Deney sonuçlarının ortalama değer tablosu	79



Ö Z E T

Mekanik aşınma ve korozyon, kalıplarda çalışan parçalarda genelde ölçü değişmesi istenmeyen parçalarda, arzu dışında ölçü farkı meydana getirirler. Aşınma malzemenin kırılmasına, şekil değiştirmesine ve asıl kullanma zamanına tesir eder. Aşınma birbirine temas eden yüzeylerin izafi hareketi neticesinde, korozyon ise korozif bir ortamda yüzey tabakasının korunmadığı durumlarda meydana gelir. Aşınma, 1979 senesinde DIN 50320 sayı ile tarif edilmiştir. Bu tarifi de şu şekilde özetleyebiliriz.

Aşınma, katı bir kütlenin yüzey tabakasının, başka bir katı kütlenin, sıvı kütlenin veya bir gaz kütlenin dokunması ve izafi hareketi ile oluşmaktadır. Aşınma ve korozyon yoluyla makina parçalarında meydana gelen hasar, her sene milyarlarca liralık zarara neden olmaktadır. Sanayinin bütün kollarına yapılan yatırımın gün geçtikçe artması, Modern Makina ve Kalıplar'dan daha fazla ömür istenmesine sebep olmaktadır. Bütün bu ömür arttırma isteğinin sadece malzeme seçimiyle temin edilmesi mümkün değildir. Bugün bu problemler sadece modern yüzey işleme metodlarıyla çözülebilmektedir. Bu çalışmada önce yüzey işleme metodlarına genel bir bakış verilmektedir, ve deneysel olarak iyon nitrürasyonu yapılmış sıcak dövme kalıplarının ömürleri incelenmiştir. İyon nitrürasyonu yapılan tesis İ. T. Ü. Makina Fakültesi Makina Malzemesi Labaratuarlarında geliştirilmiştir. İyon nitrürasyonu, her türlü demir esaslı malzemede yüzey tabakasının sert, korozyona ve aşınmaya çok mukavim bir duruma getirilmesi için 450 °C ile 600 °C arasındaki vakum ortamında yapılan yüksek kaliteli bir yüzey sertleştirme metodudur. Sertleştirme plazmadaki akım yükünün akkor boşalması (Glimmenetladung) neticesinde meydana gelir. Azot gazı veya difüzyona uygun başka bir gaz, malzemenin yüzey tabakasında, demirle veya alaşım elemanlarıyla kimyasal olarak birleşerek nitrürler meydana gelir. Prensibin bir çok varyasyonu mevcuttur. Bu nedenle zorlamaların şekline göre yüzey özellikleri optimal tespit edilebilir. İyon nitrürlenmiş yüzey genelde iki tabakadan oluşur. Üst yüzeye beyaz tabaka, alt kata ise difüzyon tabakası denilir. İyon nitrürleme yapılmış malzemeler, yüksek aşınma mukavemeti, sürekli değişken yük mukavemeti, boyut koruması, çekme ve korozyon mukavemeti özelliklerine sahiptirler. Her türlü çelik malzemede ve her türlü çelik işleme sanayiinde kullanılır.

Bu çalışmada 2344 nolu sıcak iş takım çeliğinden yapılmış sıcak dövme kalıplarına iyon nitrürleme uygulanarak kalıp ömürlerinin, nitrürlenmemiş kalıplara oranla 10 katına kadar artırılabileceği gösterilmiştir. Bu tür çelikler için optimum nitrürleme zamanı 10 saat olarak saptanmıştır. 10 saatten sonra nitrür tabakası kalınlığı arttığı halde yüzey sertliğinin ve dolayısıyla ömrün düştüğü görülmüştür.

ZUSAMMENFASSUNG

Untersuchung Von Ionitrierten Werkzeuge Für Warm Schmiedeteile

Mechanischer Verschleiß und Korrosion verursachen bei den Teilen, die mit Hilfe eines Werkzeuges hergestellt werden und eine bleibende Maßgenauigkeit aufweisen müssen, unerwünschte Maßänderungen. Der Verschleiß begünstigt außerdem am Werkzeug den Bruch, die Verformung und vor allem eine kurze Lebensdauer. In der Regel tritt der Verschleiß durch die Berührung der Teile miteinander auf, während sie sich in entgegengesetzten Richtungen bewegen.

Dagegen tritt die Korrosion auf, wenn die Teile in einer korrosiven Atmosphäre arbeiten und deren Oberflächen mit einer Schutzschicht nicht geschützt sind. Die Definition des Verschleißes ist in DIN 50 320 von 1979 angegeben. Die Definition lautet (wie folgt) zusammengefaßt : Der Verschleiß entsteht durch die Reibung (Berührung) der Oberfläche eines festen Körpers mit der Oberfläche eines anderen festen, flüssigen oder gasförmigen Körpers durch die gegenseitige Bewegung der Beiden. Die Probleme des Verschleißes hängen mehr von der Arbeitsweise des ganzen Systems ab als von den Eigenschaften der Werkstoffe.

Die Bemühungen, Werkzeuge länger haltbar bzw. leistungsfähiger zu machen, reichen weit zurück. Es wurde einerseits versucht, härtere Grundstoffe mit ausreichender Drucksicherheit/Zähigkeit einzusetzen, um die Abriebfestigkeit bzw. die Belastbarkeit des Werkzeuges zu erhöhen, andererseits die Werkzeuge zu kühlen bzw. ihre Reibung durch Schmierung herabzusetzen. Der Kompromiß zwischen Härte, Zähigkeit und Reibungsverminderung mußte zu beschichteten Werkzeugen führen.

Durch den Verschleiß und die Korrosion werden jährlich bei Industrieprodukten Milliarden von Verlusten gebucht. Da die Investitionen bei allen Industriezweigen immer teurer werden, werden auch von modernen Maschinen und Werkzeugen eine höhere Lebensdauer verlangt. Es ist nicht möglich, daß man die Forderung von einer höheren Lebensdauer nur durch die Werkstoffwahl erreichen kann. Heute können die Probleme der hohen Lebensdauer nur durch moderne Oberflächenbehandlungsverfahren gelöst werden.

Außerdem lassen Rohstoffverknappung, steigende Leistungsanpassung, höhere Zuverlässigkeit und Umweltbewußtsein die Verfahren der Oberflächentechnik in allen Industriebereichen ständig an Bedeutung gewinnen. Mit ihrer Hilfe gelingt es heute, Werkstückoberflächen an bestimmten Stellen spezifische Eigenschaften zu verleihen, welche der Grundwerkstoff nicht aufweist. Dies erweitert seine Einsatzmöglichkeiten und steigert seine Widerstandsfähigkeit unter der täglichen Belastung. Ziel ist es, die Abnutzung von Maschinenbauteilen zu reduzieren, ihre Wartungsintervalle zu

vergrößern und Produktionsausfälle durch vorzeitig schadhafte Bauteile auszuschließen.

Eine herausragende Stellung innerhalb der Oberflächentechnik nimmt der Verschleiß- und Korrosionsschutz ein. Sobald Oberflächen gegeneinander bewegt werden, treten Energieverluste und leider zusätzliche Verschleißerscheinungen auf, welche meist durch chemische Reaktionen noch verstärkt werden. Dabei stellt Verschleiß keine Stoffeigenschaft dar, sondern muß als Eigenschaft verschiedener, aber gleichzeitig wirkender Beanspruchungsgrößen aufgefaßt werden.

Hier ist ein Überblick über die Oberflächenbehandlungsverfahren wiedergegeben. Alle Verfahren sind hier technisch nicht ausführlich untersucht worden. Außerdem sprechen viele dieser Verfahren nur bestimmte spezielle Gebiete an. Bei dieser Arbeit ist das Ionitrieren der Werkzeuge für Formschmiedeteile untersucht worden. Darum liegt der Schwerpunkt dieser Arbeit beim Ionitrieren. Die Versuche für das Ionitrieren sind an einer Anlage an der Technischen Universität Istanbul (I. T. Ü.) durchgeführt worden, die von İ. T. Ü. entwickelt worden ist.

Das Nitrieren wird seit über sechs Jahrzehnten zur Erhöhung der Verschleiß und Korrosionsbeständigkeit sowie der Schwingfestigkeit von Bauteilen industriell genutzt. Beginnend von der Nitrocarburierung im Salzbad, dem Gasnitrieren, Nitrocarburieren und Sulfonitrieren bis zu dem Plasmanitrieren und Nitrocarburieren wird heute dem Anwender eine verwirrende Anzahl kaum übersehbarer Verfahrensvarianten angeboten. Daneben steht ihm eine ständig wachsende Zahl "neuer" und weiterentwickelter "konventioneller" Verfahren der Randschichttechnik für die Optimierung von Bauteileigenschaften zur Verfügung.

Angesichts dieser Situation erscheint die Frage nach der Einordnung des Nitrierens in das Konzept "Neue Werkstoffe" berechtigt. Sie ist nicht zu trennen von dem Grundproblem einer technisch begründeten Verfahrensauswahl, dessen Lösung neben der Verfahrensvielfalt auch durch das Fehlen aussagefähiger vergleichbarer Beurteilungskriterien erschwert wird. Ansatzpunkte für eine Verfahrensauswahl bietet eine Gegenüberstellung der sich aus der Anwendung ergebenden Anforderungen an das Bauteilverhalten mit der Wirkung der Verfahren auf die Schichteigenschaften.

Die Randschicht von Maschinenelementen und Werkzeugen unterliegt in Abhängigkeit in von ihrer Funktion vor allem komplexen mechanischen und chemischen Beanspruchungen. Neben tribologischen Beanspruchungen ist das Auftreten hoher Spannungsgradienten im Randbereich, z. B. durch Kerben und thermisch induzierte Spannungen zu berücksichtigen. Zyklische mechanische Beanspruchungen mit hohen Gradienten in der Randschicht führen z. B. zu einer von der Oberfläche ausgehenden Schädigung durch Volumenermüdung.

Das Ionitrieren zeichnet sich gegenüber anderen Verfahren der Randschicht-technik durch eine unerreichte Anwendungsvielfalt aus. Für die Massenfertigung wird es aus technischen und ökonomischen Gründen weiter an Bedeutung gewinnen. Entwicklungsschwerpunkte sind dabei die weitere Optimierung der Gebrauchseigenschaften sowie die Intensivierung und Automatisierung des technologischen Prozesses. Gestützt auf Ergebnisse der Eigenschaftsforschung werden Hinweise zur Auswahl

beanspruchungsgerechter Nitrierschichten abgeleitet und die technologischen Möglichkeiten zur Variation des Schichtaufbaues beschrieben. Abschließend wird ihre Umsetzung an praktischen Beispielen erläutert.

Ionitrieren ist ein, neues, hochqualifiziertes Verfahren zur Oberflächenhärtung: Maschinen und andere Teile aus beliebig legierten Stahl- und Gußeisenwerkstoffen können dadurch dauerhafter, widerstandsfähiger und wertvoller gemacht werden. Die Härtung erfolgt im Plasma der stromstarken Glimmentladung. Stickstoff oder andere diffusionsfähige Elemente werden in die Werkstückoberfläche eingelagert.

Es gibt viele Variationen der Behandlung. Darum lassen sich die Oberflächeneigenschaften der verwendeten Werkstoffe optimal auf die Beanspruchungsart abstimmen. Und zwar in bisher ungewohntem Maße! Eine ionitrierte Oberfläche besteht normalerweise aus zwei Schichten : der äußeren Verbindungszone und der darunterliegenden Diffusionszone.

Das Verfahren stellt sich vor :

Im Bild 1 sehen Sie eine Ionitrier-Anlage. Zu dem Vakuum-Behandlungs-ofen, der das Behandlungsgut aufnimmt, gehören die Elektroeinheit sowie Steuer- und Regelgeräte. Größe und Form der Vakuumöfen können aus verfahrens technischer gründen beliebig gewählt werdenes können winzig kleine und sehr große Werkstücke ionitriert werden. Eine Fremdbeheizung entfällt, da die Werkstücke mit der Glimmentladung aufgeheizt werden.

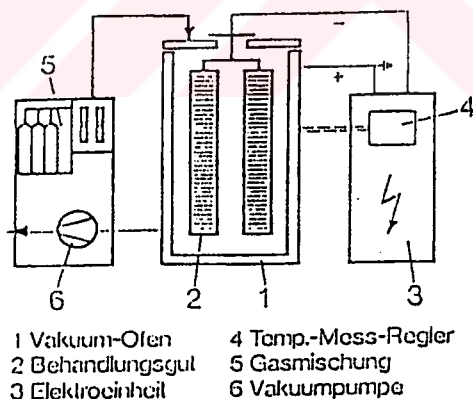


Bild 1. Ionitrier-Anlage

Zum Verfahren selbst :

Bei eine Vakuum von 1-10 Torr und einer Spannung von 300 V bildet sich der Glimmsaum am negativ geschalteten Behandlungsgut. Der Spannungsabfall tritt erst unmittelbar an das Werkstücks oberfläche auf. So ist die Ionenintensität weitgehend unabhängig vom Abstand zwischen Werkstück und Ofenwand. Die Schemazeichnung ist in Bild 2 zu sehen.

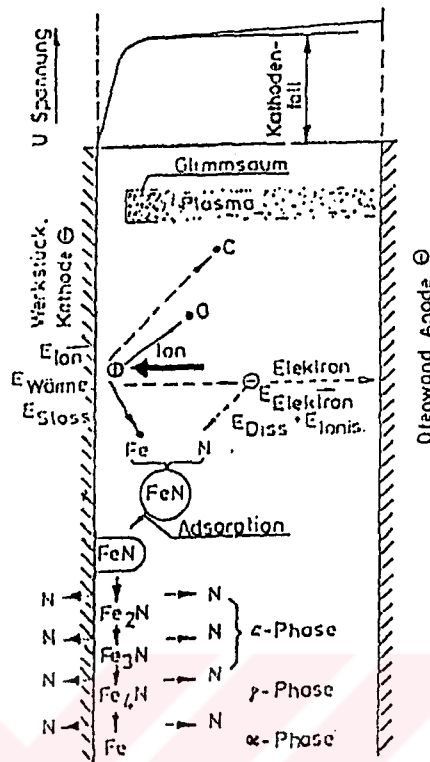


Bild 2. Ionnitrier-Verfahren

Die wenige Millimeter vor der Werkstückoberfläche stark beschleunigten Ionen prallen mit hoher kinetischer Energie gegen die Außenfläche des zu behandelnden Gutes. Die Aufschlagenergie wird in Wärme zur direkten Aufheizung des Bauteils und in Stoßenergie zur Ablösung von Elektronen und Atomen umgewandelt. Abgestäubte Eisenatome verbinden sich mit reaktionsfähigen Plasmateilchen. Durch Adsorption schlagen sich diese Verbindungen auf der Oberfläche nieder. Von den aufgedampften Nitriden dringt unter starkem Nitridzerfall Stickstoff in die Oberfläche ein.

Durch genau gesteuerte Behandlungsparameter werden Aufbau und Zusammensetzung der äußeren Verbindungszone und der Diffusionszone bestimmt. Hier gibt es verschiedene Möglichkeiten: es kann die monophasige γ -Verbindungszone von 0-8 μm mit nitridzeilenfreier Diffusionszone aufgebaut werden, aber auch eine monophasige ε -Verbindungszone bis ca. 30 μm mit verstärkter Nitridzeilenausbildung in der Diffusionszone. Die Verbindungszone ist immer porenfrei.

Schichtaufbau: Verbindungszone zusammenhängende intermetallische Schicht (Verbindungszone) ohne Korngrenzen, ehemaliges Gefüge nicht erkennbar, vorwiegend monophasig strukturiert auf $\gamma\text{-Fe}_4\text{N}$ - oder $\varepsilon\text{-Fe}_{2,3}\text{N}$ -Basis. Diffusionszone dispersionsverfestigte Schicht (Diffusionszone), Gefüge und Korngröße unverändert, erhöhte Streckgrenze infolge feindisperser Ausscheidung, mit Gitterverspannungen, Struktur unverändert.

Schichtabgrenzung: Verbindungszone scharfer Übergang zur darunterliegenden Diffusionszone. Diffusionszone kontinuierlicher Übergang zum darunterliegenden (meistens) unbeeinflussten Kernwerkstoff.

Schichtdicke (voneinander unabhängig einstellbar)

Verbindungszone Zwischen 0 und 30 μm . Diffusionszone je nach Werkstoff, Behandlungszeit und -temperatur bis zu 1 mm und mehr.

Schichthärte: (in gewissem Maße einstellbar) Verbindungszone vorwiegend 1000-1500 HV. Diffusionszone je nach Werkstoff von 500-1500 HV abnehmend bis zur Kernhärte.

Schichthomogenität: (vergleichsweise sehr gut) Verbindungszone monophasig, geringe Eigenspannungen, porenfrei. Diffusionszone je nach Plasmazusammensetzung vollkommene Unterdrückung der Kongrenzenkarbonitride möglich.

Schichtduktilität: (vergleichsweise hervorragend) Verbindungszone $\gamma\text{-Fe}_4\text{N}$ -Schicht z.T. plastisch verformbar und duktiler als $\epsilon\text{-Fe}_{2,3}\text{N}$ -Schicht.

Diffusionszone bei Unterdrückung der Korngrenzenkarbonitride trotz relativ hoher Härte gut.

Gleitverschleißfestigkeit: (hervorragend) Verbindungszone sehr gut infolge zusammenhängender inter-metallischer Schicht mit besonders gutem Schutz gegen Fressen, hervorragende Notlaufeigenschaften.

Diffusionszone gut infolge erhöhter Streckgrenze und verminderter Freßneigung. Abrasivverschleiß (gut)

Verbindungszone je härter, umso besser.

Diffusionszone je härter, umso besser.

Dauerfestigkeit (sehr gut)

Verbindungszone mit Duktilität steigend. Diffusionszone mit steigender Streckgrenze und Duktilität sowie flacher werdenden Härtegradienten steigend. Korrosionsbeständigkeit (gut)

Die Korrosions- und Verschleißbeständigkeit von ϵ -Nitridschichten kann durch eine Oxydation nach dem Nitrieren weiter verbessert werden. Das gilt auch für ihren Widerstand gegenüber dem Angriff von Aluminiumschmelzen.

Verbindungszone gut bis sehr gut, mit Schichtdicke steigend. Nitrierschichten bestehen in der Regel aus einer artfremden Schicht von Eisennitriden, der Verbindungsschicht, die getragen wird von einer durch Diffusionshärtung verfestigten arteigenen Randschicht, der Diffusionsschicht. Die Dicke und der Phasenaufbau der Verbindungsschicht können ebenso wie die Dicke und die

Härteverteilung der Diffusionsschicht durch die Variation der Nitrierbedingungen und die Wahl des Grundwerkstoffes in weiten Grenzen gezielt verändert werden. Eine Vorstellung davon vermitteln die in Tabelle 1 gemachten Angaben.

Tabelle 1. Schichtaufbau

Verbindungsschicht	Dicke	0...30 μm
	Phasen	ϵ -Nitrid, $\epsilon+\gamma'$ -Nitrid, γ' -Nitrid, Sondernitride, Fe_3O_4
	Härte	500...1000 HV0,01
Diffusionsschicht	Dicke	20...1000 μm
	max. Härte	300...1200 (1600) HV0,1
	Härte-steigerung	50...800 HV0,1

Der Hauptvorteil des Ionitrierens :

Aufbau, Abgrenzung, Dicke, Härte und Homogenität der Verbindungs und Diffusionszone können weitgehend unabhängig voneinander eingestellt werden. Durch diese Besonderheit des Ionitrierens ergeben sich optimale Gebrauchswerte. Der Verschleiß beweglicher Teile wird weitgehend gesenkt, die Dauerfestigkeit wesentlich erhöht.

Darüber hinaus wirkt sich das Verfahren auch auf die Korrosions und Kavitations beständigkeit aus.

Das Ionitrieren von Werkzeugen führt nicht nur zu einer Erhöhung der Standmenge, es ermöglicht z. B. auch bei Uniformwerkzeugen durch das Aufwachsen der Verbindungsschicht eine "Regenerierung" von Werkzeugen mit leichtem Untermaß. So werden z. B. aus diesem Grund Zieh und Kalibrierwerkzeuge aus ledeburisierten Kaltarbeitsstählen bis zu zehnmal nachnitriert.

Auch das spricht für das Ionitrieren:

Temperaturbereich : von 350 C an aufwärts und nach oben nicht begrenzt. Anlaßempfindliche Werkstoffe, bei denen nur die Hochtemperatur-Diffusion wirtschaftlichen Erfolg verspricht.

Behandlungszeit :

ab 20 Minuten aufwärts und praktisch nicht begrenzt. Es ist möglich, auch verschiedene Nichtisen-Metalle und deren Legierung (z. B. Metalle auf Titan basis) in der oberfläche zu verfestigen.

Das Ionenbombardement ist so intensiv, daß die Werkstücke nicht gesondert entpaßiert werden müssen. Selbst bei austenitischen Eisenwerkstoffen kann auf diese Entpassivierung verzichtet werden.

Die Aktivierung des Werkstoffes erfolgt automatisch. Es kann in völlig wasserstofffreiem Plasma ionitriert werden wodurch sich etwaige wasserstoffbedingte Versprödungen des Kernwerkstoffes verhindern lassen.

Ein weiterer, besonderer Vorzug die Auf und Abheizzeit im Blausprödigkeitsbereich kann unmittelbaren Werkstoffordernissen angepaßt werden. Ionitrierte Oberflächen erlauben hervorragende Polituren. Ionitrieren führt zu einer besonders guten Maßhaltigkeit bei gerinster Kantenaufwölbung und gerinstem Verzug. Die Rauhigkeit ist minimal.

Da die Behandlung im gasförmigen Medium erfolgt, erübrigt sich eine anschließende Reinigung des Nitriergutes.

Beim Ionitrieren werden keine toxischen Stoffe erzeugt oder verwendet. Dadurch ist der Prozeß sicherheitstechnisch völlig unproblematisch.

Das Verfahren kommt also den Umweltschutzbemühungen in jeder Hinsicht entgegen dadurch kann die Anlage an jedem Ort betrieben werden.

Und das wäre zu beachten :

Eine Nacharbeit sollte im Inneren der Schichtseigenschaften höchstens ausnahmsweise vorgenommen werden.

Bei dieser Arbeit ist das Ionitrieren der Werkzeuge für Warmschmiedeteile untersucht worden. Die Gesenkteile von diesen Werkzeugen wurden systematisch ab 2 bis 16 Stunden ionitriert. Im Abstand von einer Stunde wurden die Mittelwerte von Lebensdauer ermittelt. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 2 angegeben.

Tabelle 2. Versuchsergebnis-Mittelwerte

Gruppen- Nummer	Dauer (Min.)	Temperatur (°C)	Druck (Torr)	Härte (HV _{0.1})	Lebensdauer (Stückzahl)
1	120	480	10	1190	6000
2	180	480	10	1220	6400
3	240	480	10	1240	7800
4	360	480	10	1290	9800
5	480	480	10	1275	13770
6	600	480	10	1295	17400
7	720	480	10	1320	8300
8	960	480	10	1180	4300

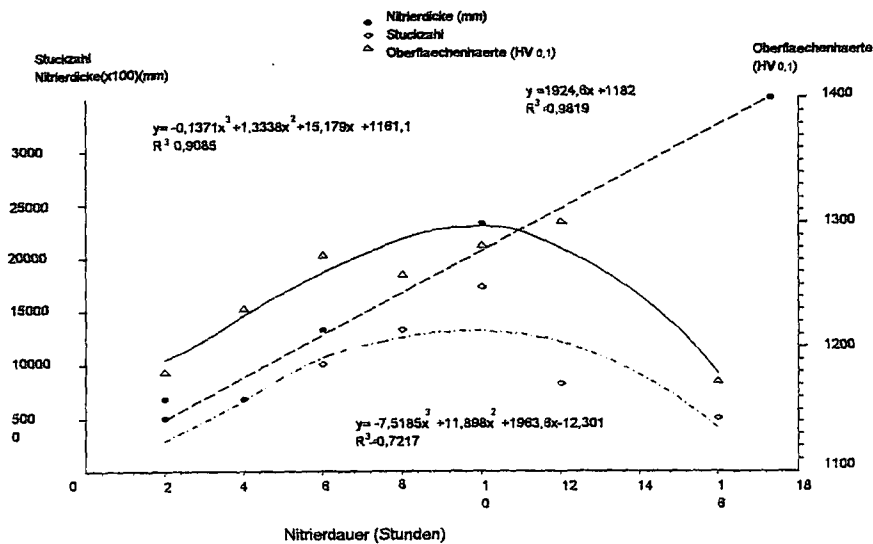


Bild 3. Ergebniskurven

- Wie man aus dem Bild 3 sieht, haben sich die Versuche ergeben, dass
- die Nitrierdicke von der Nitrierdauer linear abhaengig ist.
 - die Lebensdauer bis 10 Nitrierstunden zusammen mit der Nitrierdicke anwaechst, aber nach 10 Stunden steil abnimmt.
 - die Oberflächenhärte bis 10 Nitrierstunden zusammen mit der Nitrierdicke anwaechst, aber nach 10 Stunden steil abnimmt.
 - die Oberflächenhärte bis 12 Nitrierstunden zusammen mit der Nitrierdicke anwaechst, aber nach 12 Stunden steil abnimmt.
 - die Lebensdauer mehr von der Oberflächenhärte abhaengig ist, als der Nitrierdicke.

Als Schlussfolge ergibt sich, dass bei Werkzeugstaehlen 1.2343 und 1.2344 die Nitrierdauer 10 Stunden nicht überschreiten soll.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Sıcak dövme kalıplarının %70'i yüzeylerinin aşınmasından, % 30'u da meydana gelen çatlakların büyük hasarlara dönüşmesinden kullanılmaz hale gelirler. Kalıbın ömrünü artırmak için genelde aşınmayı azaltıcı ve çatlakların oluşmasını geciktiren önlemlerin alınması gereklidir[1].

Ömür deneylerini yaptığımız kalıplarda klasik önlemler (yağlama, araşekil verme, soğutma, yapışmayı önleyici ve çıkarıcı malzemeler vs.) alınmasına rağmen ömür artırmak mümkün olmadı. Çözümün sadece Modern Yüzey Kaplama metotlarında olduğu düşüncesi ağırlık kazandığından ömür uzatma deneyleri Plazma Nitrülemeye yönlendirildi.

Yüzey kaplama metotlarını incelemeden önce, korozyonun ve aşınmanın nasıl meydana geldiğini incelemek gerekir. Eğer metalik bir malzemenin yüzeyi, istenmeyen kimyasal veya elektrokimyasal etkilerin altında kalırsa korozyon meydana gelir. Bu koroziif ortam, gaz, sıvı ve hatta katı halde bulunabilir. Metalik yüzey bu koroziif etkiler nedeniyle yavaş yavaş bozulmaya başlar ve korozyon yoluyla oluşan istenmeyen malzemeler teşekkül eder. Dökme demirler ve normal çelikler nemli hava etkisinde çok kuvvetli korozyona uğrarlar. Metal halindeki dökme demir veya çelik, önce metal olmayan demir hidroksit $Fe(OH)_2$ haline bu da oksijenin etkisiyle demir hidradoksit $Fe_3O_3(OH)_2$ yani pas dediğimiz kahverengi yapıya dönüşür. Atmosfer korozyonu dediğimiz bu hadise, korunmamış demir olmayan malzemelerde de, oksijen, subuharı karbondioksit ve diğer bir çok gazın etkisiyle meydana gelebilir. Bazı malzemelerde bu oksitlenme üst tabaka ile sınırlanır ve bu oksitlenmiş tabaka alt katlar için koruyucu bir yüzey oluşturur ve diğer etkilerden korur. Bunların en çarpıcı

örnekleri Aliminyumun oksitlenerek yüzey tabakasının Al_2O_3 , Çinkonun $3Zn(OH)_2$. $2ZnCO_3$ haline dönüşmesidir.

Çok nemli olan sıcak ekvator havası, tuz içeren deniz havası, bileşiminde CO_2 , SO_2 , NO_x ve H_2 , S_2 bulunan hava, hemen bütün malzemelerde korozyona neden olur. Korozyon tesirli sıvıların başında asitler, bazlar, tuz eriyikleri gelir. Deniz suyu da korozyona neden olan sıvılardandır. Yüksek sıcaklıktaki buhar ve bir çok gaz yüksek sıcaklık korozyonuna neden olur. Bu korozyon türü de daha çok buhar makinaları, uçaklar ve gaz türbinleri elemanlarında görülmektedir. Gaz türbinlerinde ve buhar makinalarında verimi arttırmak için işletme sıcaklığının mümkün mertebe yüksek seçilmesi ve bu esnada motorlarda meydana gelen yüksek mekanik zorlanmalar ve emilen gazlardaki korozyonu artırıcı maddeler, yüksek sıcaklık korozyonu için tipik bir misaldir. Uçak motorlarında sıkıştırma sürecinde ortalama olarak $600\text{ }^{\circ}C$ sıcaklık vardır, yerel olarak yanma odasının birinci kademesinde yanan gazların etkisiyle bu sıcaklık ($1200\text{ }^{\circ}C$) ulaşır. İşte bu şartlar çok büyük korozyona sebep olur, çok yüksek hızlardaki gazlar da ayrıca malzemeyi erozyona uğrattırır. Yüksek kaliteli alaşımlar ve malzemeler kullanılmasına rağmen, bu mekanik erozyonu ve kimyasal korozyonu teşvik edici maddelerin, uzun çalışma süreci içerisinde, parçaların çalışma özelliklerini bozucu etkilerini yoketmek mümkün değildir. Belirtilen aşınma daha ziyade kimyasal bir olaydır.

Gazlar parçalarda genelde belirli bir yüzey pürüzlülüğü oluşturmakta, bu pürüzlülüğün derinlikleri belli bir ölçüde kalmaktadır. Makina parçalarında böyle yüzeyler birbirine nazaran izafi hareket yaparlarsa, sert olan pürüzler, yumuşak yüzeydeki sivri uçları aşındırır(abrasion). Bu sivri uçlar, kopabilir veya plastik şekil değiştirmeye yatabilirler, dolayısıyla yüzeylerin pürüzlülüğü artar. Dokunan yüzeyler bazen kaynayabilir (adhasion). Bazen de birbirleriyle alaşım yaparlar (diffusion) fakat daha sonra koparak ayrılırlar ve bu kopma yüzeyi gözle dahi farkedilir. Örnek olarak yataklara, iki tabaka arasına, katı/sıvı veya sürtünmeyi azaltıcı herhangi bir eriyik gönderilebilir. Bu suretle yatak hem soğutulmuş olur hemde aşınmaya karşı korunmuş olur. Ayrıca katı haldeki bir kaydırıcı malzemede aynı görevi yapar. Bu malzemeler sınıfına örnek olarak Au, Ag, Ln, Pb, Sn vs. ile ağ tabakalı katlara sahip olan, MoS, Heksegonal Grafit veya plastik malzemeler (Polyamid) verilebilir. Aşınma metal

kalıplarında hiç istenmeyen bir olaydır. Frezeleme, tornalama, delme, planyalama, taşlama, honlama, lepleme gibi çeşitli talaşlı imalat işlemlerinde, bilhassa ilk 4'teki operasyonlarda, kimyasal ve mekanik zorlamalar ilk sırayı alır. Talaş kaldırmada takım ile iş parçası arasında bir izafi hareket vardır. Torna ve planya işlemlerinde kesme, tek ağızlı kesme, spiral matkaplarda 2 ve frezelerde daha çok ağızlı kesme işlemi olur. Bu yüzden bunlara çok kesmeli operasyon denilir. Kaldırılan talaş, takımın kesme yüzünde kayar ve kesme ağzında büyük aşınmaya neden olur. Buradaki sürtünme ve iş parçasından talaş kaldırma neticesinde bir sıcaklık meydana gelir, bu sıcaklık takımın aşınmasına yardımcı olur. Kalıplarda aşınma ise çok daha karışıktır. Zira burada aşınma kesilen malzemenin ve kesici kalıp malzemelerinin iç yapıları ile kullanma şartlarına (kesme hızı, sıvama hızı v.s) bağlıdır. Kesilen malzeme kesme ağzına temas ettiği yerde kaynayabilir, (Adhasion) veya malzemelerde alaşım elemanları yer değiştirebilir, (Diffusion) bu suretle de kesme sistemi bozulur, kesme ağzı kırılır, bu durumda kesme yapılamaz[2].

BÖLÜM 2.

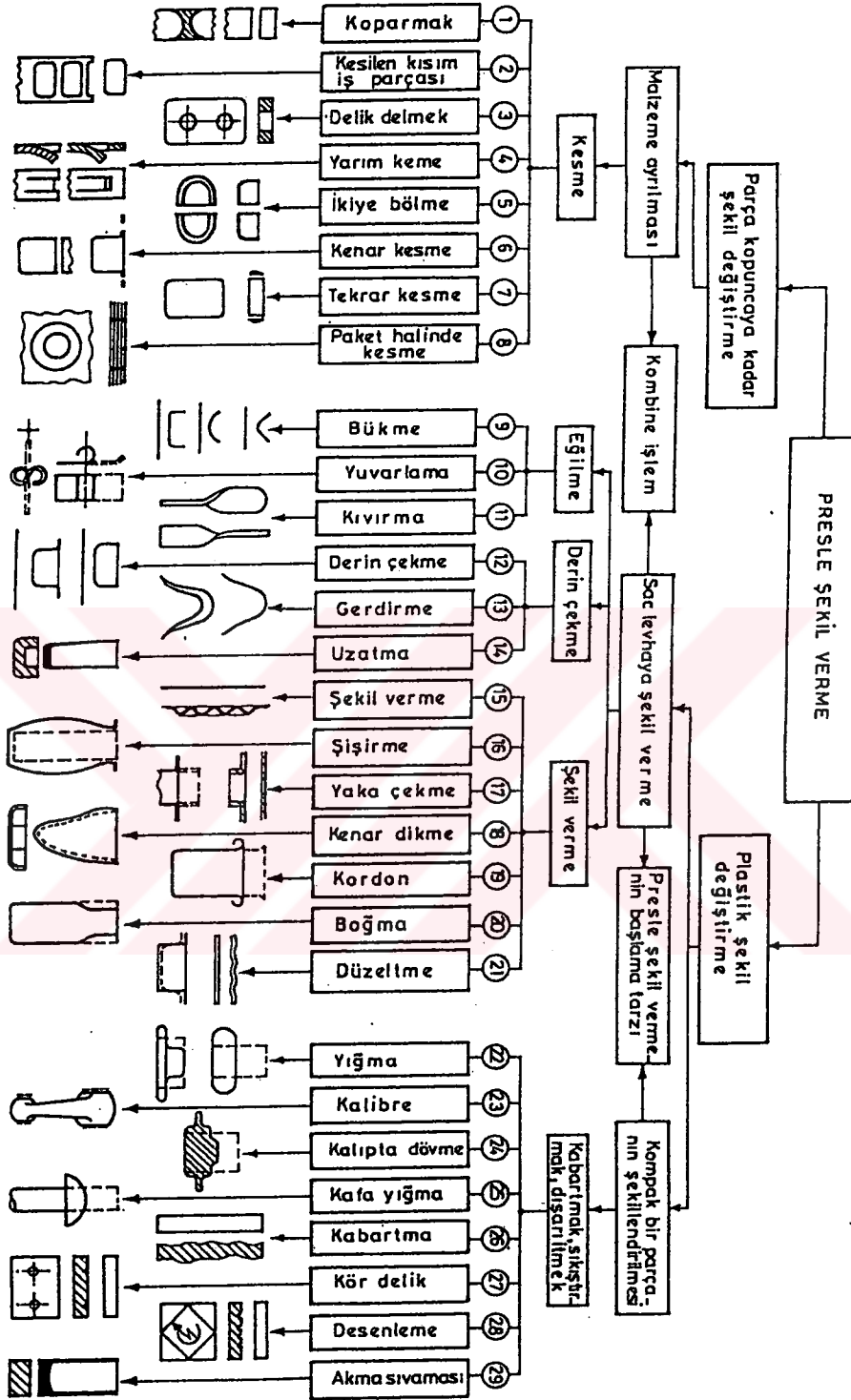
SICAK DÖVME KALIPLARI

Deneylerde kullanılan kalıplar (Şekil 2.1) de gösterilen “Presle Şekil Verme” İmalat Metodunun 22’inci bölümünde gösterilmiştir. Dövme esnasında meydana gelen olayları ve kuvvetleri, deneylere geçmeden incelemek, yapılan deneylerde nasıl bir yüzey kalitesine ihtiyaç duyulduğunu belirlerler. Deneylerini yaptığımız kalıp ve imalat parçası Şekil 2.2’de gösterilmiştir. Şekil 2.2’deki 5 ve 8 numaralı kalıp parçaları sıcak dövme esnasında dövme parçasıyla direk temas etmektedir. Bu parçalar (1.2343 veya 1.2344) Numaralı sıcak iş çeliğinden imal edilmekte ve sertleştirildikten sonra (52 - 54 RC) sertliğine ulaşmaktadır. Kalıpta imal edilen parça 4 x 4.2 mm ölçüsü 4,1 x 4.3 mm ölçüsünde bir yuvaya girmekte ve perçin yapılmaktadır.

Aşınmalardan oluşan ölçü değişikliği parçanın yerine zor takılmasına neden olmakta dolayısıyla işlem zorlaşmaktadır. Sadece sertleştirilmiş kalıp parçalarında 1500 - 2000 parça basıldıktan sonra verilen ölçüler değiştiğinden kalıp kullanılamaz hale gelmektedir. Aynı kalıplar İ.T.Ü Makina Fak. Makina Malzemesi ve İmalat Teknolojisi Labaratuarında geliştirilen iyon nitrüleme tesisinde iyon nitrüleme yapıldıktan sonra kalıp ömürleri 10 kata kadar arttığı görüldü. Deneylere geçmeden önce dövme yönteminin tarihçesinden bahsedelim ve dövme esnasındaki olayları inceleyerek nasıl bir yüzeye gereksinim olduğunu saptayalım.

Ömür deneylerini yaptığımız dövme kalıpları, dövme tekniğinin modern endüstride kullanılan gelişmiş bir şeklidir. Dövme birbirine karşı hareket eden iki takım elemanının (çekiç olabilir) iş parçasını kalınlaştırması veya kesitini değiştirmesidir.

Dövme işlemi milattan önce 4000 yıllarında biliniyordu. İlk dövülen parçalar, altın, gümüş ve bakırdır. Milattan 4000 sene önce Mısır da göktaşlarından elde edilen demir bilinmekteydi. Ama ilk demirin maden cevherinden elde edilmesi Hititler zamanına



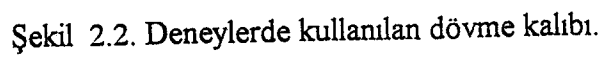
Şekil 2.1. Talaşsız imalata ait, presle şekil verme prosesleri.

rastlar. En eski bulgulara göre milattan 1500 sene önce demirden ziynet eşyaları yapıldığı saptanmıştır. Ama asıl milattan 1500 ile 700 sene önce demir ve bronzlardan silah, alet ve diğer ihtiyaç malzemeleri yapılmaya başlamıştır. Çok kısa bir müddet sonra çeliğe su verme tekniğinin geliştirildiği Homer tarafından belgelendi. Bu

dönemlerde demirciler çok saygın kişilerdi. Antik çağlardan orta çağlara kadar yapılan parçalar adeste kuvvetiyle imal edildiğinden büyüklükleri sınırlıydı. Sıcak demirci kaynağı metodu bu sıralarda bulunmuştu. Bu dönemde demirden yapılan en büyük parçalar gemi çapalarıydı. Ayrıca milattan 300 sene önce Delhi de 400 mm çapında 7,25 metre yüksekliğinde demirden bir sütun üretilmişti. Zamanla dövmede makinalar kullanılmaya başlandı ilk kullanılan makina, su kuvvetiyle çalışan saplı çekikti. (Milattan önce 1200) Bu teknik 19'uncu yüzyıla kadar serbest dövme işlemlerinde kullanıldı. Bu usulle bir çok alet ve techizat yapıldı. Bunlardan toprak işleme aletleri, ateşli silahlar, arkadan doldurmalı kamalı toplar, 15 inci yüzyılda dövme yoluyla yapıldı.

NASMİTH 1842 de çift tesirli dövme presini imal etti. Prensip olarak biyel koluna bağıli iki çekikten ibaret bir sistemdir. 1860 da HASWEL ilk hidrolik serbest dövme presini imal etti. Serbest düşmeli çekik 1750 den beri bilinmektedir. Bundan önce Leonardo da Vinci para basmak için aynı tip bir pres imal etmiştir. 19 uncu yüzyılda artık halatlı serbest düşme çekikli presler kullanılmaya başladı.

Dövme işleminde kullanılan kalıplar parçanın negatifi olarak imal edilir. İlk kalıplar taştan imal edilmişti, milattan önce 1600 yıllarında Yunanistanın Mykene şehrinde ve Giritte bu şekildeki kalıplar altın ve gümüş ziynet eşyası imalinde kullanıldı. Milattan 800 sene önce de madeni paraların tek tarafı bu şekilde basıldı ve milattan 600 sene öncesinde bronz kalıplar kullanılmaya başladı. 200 yıllarında Romada Kare Kayıtlı Kalıplarla madeni paralar basılmaya başlandı. Orta çağlarda dönen hadde silindirleri, kaynak yapılmış top namluları düzeltmek için kullanıldı. Bugünkü manada çapak boşluğuna sahip kalıplar 18'inci yüzyılın sonunda yapılmaya başlandı, ve asıl gelişmesi 19' ncu yüzyılda oldu. 19'uncu yüzyılın ortalarında Solingende ilk kalıpta bıçak imaline başlandı ve 1870 ten itibaren el maharetiyle imal edilen parçalar kalıpta yapılmaya ve dövme işlemi yan sanayi haline dönüşmeye başladı. Asıl gelişme sanayinin at arabası imalinden otomobil imaline dönüşmesiyle başladı. Kalıpta dövülen parçalar gittikçe büyümeye karışık olmaya başladılar ve zamanla toleranslardan da bahsedilmeye başlandı. 1945 den sonra kalıpta dövme otomatik hale dönüştü ve halen robotlarla parçalar el değmeden dövülmektedir.[3]



Tablo 2.1. Dövmekalibının malzeme listesi.

MALZEME LİSTESİ							
			ADI: BÜYÜK KİLİT DİLİ DÖVME KALIBI			RESİM NO:	
POZ	ADET	TANIMI	ÖLÇÜSÜ	STANDART	GEREK	AĞIRLIK KG	AÇIKLAMA
1	1	ÜST TARAF BAĞ. PLAKASI	φ 66 x 226 x 226		st 37		
2	1	DESTEK PLAKASI	φ 196 x 47		1,26 01		SERTLEŞTİRİLECEK 58-60 HRC
3	1	ÜST TAR. FORM TUTMA PLAKASI	φ 136 x 30		1,2344		Sertleştirilecek 54-56 HRC
4							
5	1	ÜST TARAF FORM PLAKASI	φ 34 x 30		1,2379		Sertleştirilecek 58-60 Hrc
6	1	ALT TARAF FORM TUTMA PLAKASI	φ 136 x 30		1,2344		Sertleştirilecek 54-56 HRC
7							
8	1	ALT TARAF FORM PLAKASI	φ 34 x 30		1,2379		Sertleştirilecek 58-60 HRC
9	1	ALT TARAF FORM DESTEK PLAKASI	φ 196 x 47		1,26 01		SERTLEŞTİRİLECEK 58-60 HRC
10	1	ALT TARAF DESTEK PLAKASI	φ 56 x 226 x 226		st 37		
11	1	ALT TARAF BAĞ. PLAKASI	φ 52 x 118 x 226		st 37		
12	1	ALT TARAF BAĞ. PLAKASI	φ 52 x 118 x 226		st 37		
13	1	İTİCİ	φ 38 x 83,5		1,3343		SERTLEŞTİRİLECEK 58-60 HRC
13A	1	İTİCİ	φ 38 x 83,5				
14	1	DİŞ SEGMAN	d _a = φ 30 x 2	DIN 471			
15	1	ÜST İTİCİ DESTEK PLAKASI	φ 48 x 10,7		1,2842 (1,2080)		SERTLEŞTİRİLECEK 58-60 HRC
16	1	BURÇ	φ 48 x 42		1,2842 (1,2080)		//
17	1	İTİCİ KOLONU	φ 18 x 72		C 15		0,8mm SEMENTASYON 58-60 HRC
18	2	KAYITLAMA KOLONU	φ 46 x 258		C 15		//
19	2	KAYITLAMA BURCU	φ 54 x 101		C 15		//
20	2	SİLİNDİRİK PİM	φ 10 x 80		1,2210		SERTLEŞTİRİLECEK 58-60 HRC
21	2	SİLİNDİRİK PİM	φ 10 x 70		1,2210		//
						KG TOPLAM AĞIRLIK	
						SAYFA1/2.....	
TARİH	HAZIRLAYAN	KONTROL	DEĞİŞİKLİK				
			△ △				

2.1 Dövmenin Sistematiik Olarak İncelenmesi

3 Numaralı Bölge : Parça özelliklerini ifade eder ki buda parça şekil değiştirdikten sonraki mekanik özelliklerdir. Sırasıyla yüzey kalitesi ve parçanın ölçü hassasiyetini ifade eder. Parçanın şekil değiştikten sonraki özellikleri parçanın kullanılmasıyla doğrudan ilgilidir.

4 Numaralı Bölge : Bu bölgede kısmen elastik kısımda plastik olan malzeme ile elastik olması gereken kalıp arasında, sürtünme, yağlanma ve aşınma problemlerinin çözülmesi gerekir. Kalıp ve iş parçası çiftinin karşılıklı tutumları ve bu bölgede çok büyük değişikliğe uğrayan malzemenin üst yüzeyinde çok önemlidir.

5 Numaralı Bölge : Dövme işlemi parçaya şekil veren kalıp düşünülmeden yapılamaz. Bu yüzden kalıbın konstrüksiyonundan, malzemenin ısı işleminden doğabilecek bütün problemlerin çözülmüş olması gerekir. Kalıbın doğacak kuvvetleri karşılayacak şekilde imal edilmiş olması ve hareket eden kalıp elemanının bir kayıt üzerinde hareketinin sağlanması gereklidir. Aksi halde parçanın şekil ve ölçülerinde sapmalar meydana gelir. Kalıp malzemesi iyi seçilmelidir, bu kalıp ömrüne ve 3 nolu bölgedeki elastikliğe etki eder.

6 Numaralı Bölge: İş parçasının kalıba temas etmeyen bölümlerinde şekil verme esnasında kolaylıkla oksidasyon meydana gelir, bazı iş parçalarında ise malzeme dış ortamdan bünyeye gaz alabilir. Bu da malzemenin bitmiş haline etki eder. 1 den 6 ya kadar olan bölgeler sadece kalıpla iş parçasına ait özelliklerdir.

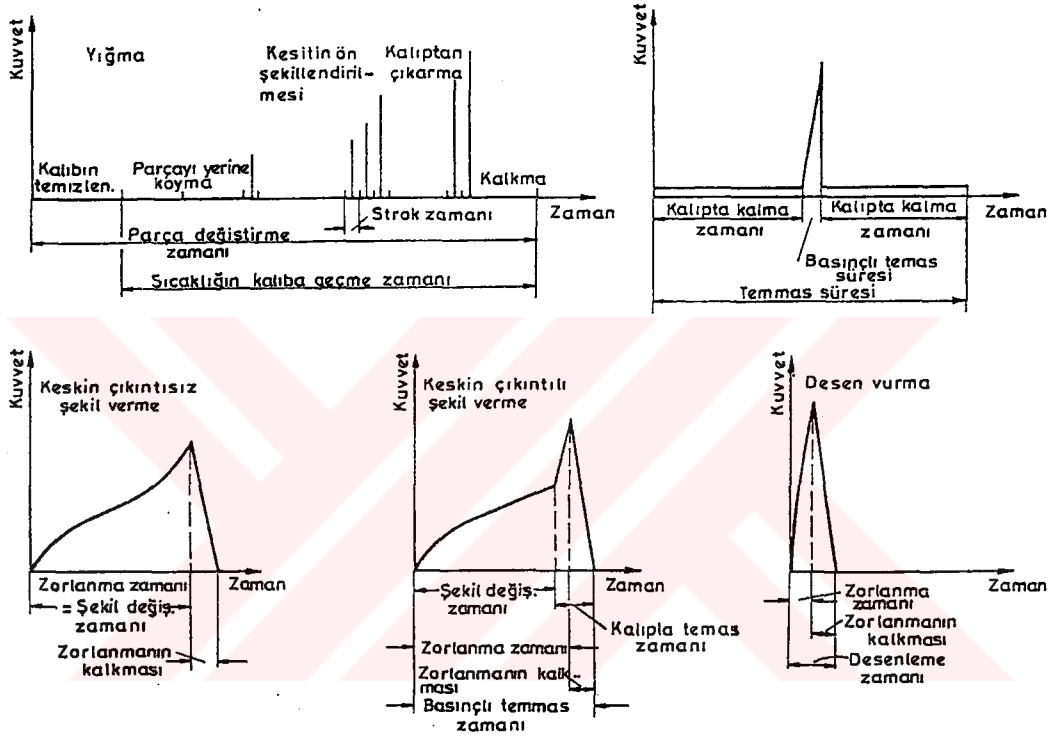
7 nolu bölge ise Takım Tezgahının maksada uygun olması için hidrolik pres, serbest düşmeli çekiç, eksantrik pres veya hadde mi olabileceğini belirler. Bunlarında maksada uygun olması gerekir.

8 numaralı bölge ise işletmeyi ilgilendiren bütün takım ve teçhizattır. (Makinalar, Isıtma Tertibatları, Üst yüzey işlemleri, Parça tutucuları, Transport vs.) Ayrıca işletme organizasyonu, otomatik çalışma ve iktisadi imalat da bu bölgeye girer.

2.2. Şekil Verme Preslerinde, Şekil Verme Şartları

2.2.1. Zaman büyüklükleri

Kalıpla şekil vermede zaman büyüklükleri sırasıyla şunlardır. Şekil 2.4' de parça değiştirme zamanı, strok zamanı, dokunma zamanı, basınçlı dokunma zamanı görülmektedir. Bu arada en önemli olaylar parçanın soğuması, kalıpta meydana gelen gerilmeler, kuvvetler ve bizzat kalıbın ısınmasıdır.



Şekil 2.4 . Üst çekici hareketli bir preste kalıpla dövmede zaman büyüklükleri.

Kalıpla sıcak iş parçası arasındaki ısı alışverişinde, basınç altında ısı iletim katsayısı parça kendi ağırlığı ile kalıpta durduğu durumdaki değerinin 30 - 40 katına eşittir. [3] Kalıpta parçanın basınçlı temas durumu çok önemli değildir, önemli olan belli zaman içerisinde kaç parçanın imal edildiğidir. Parçanın ocaktan alınıp kalıba konulması, işlemden sonra tekrar kalıptan alınması ve ikinci parçanın tekrar kalıba konması arasında geçen zaman kalıbın ısınmasına neden olacağından çok önemlidir. Tablo 2.2' de parçanın basınç altında daha uzun süre kalmasına rağmen iş periyodu uzarsa kalıbın ısınması fazla artmaz.

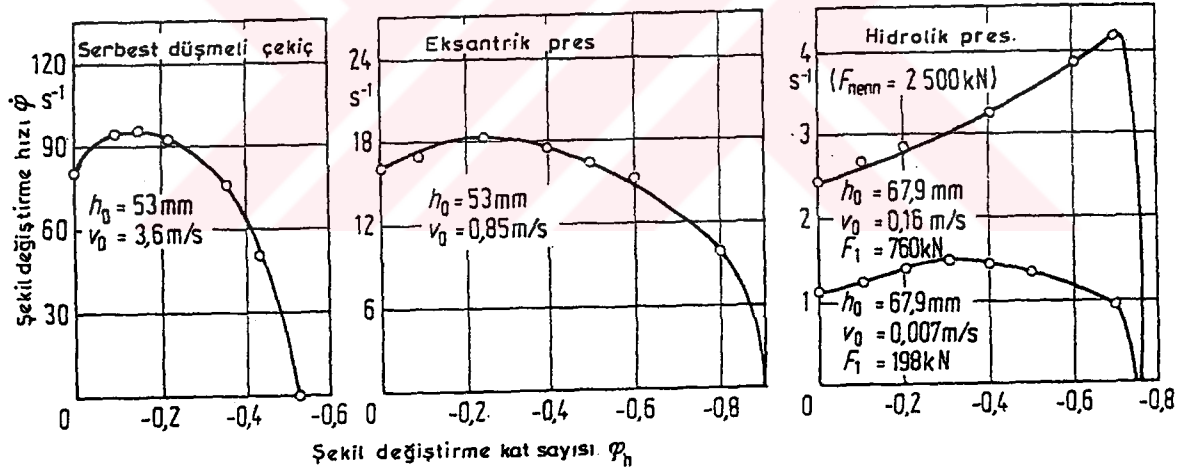
Tablo 2.2. Sıcaklığın kalıba geçme zamanı[3].

Presin şekli		Serbest düşmeli çekiç		Friksiyon pres		Eksantrik pres		Hidrolik pres
Zaman bayrakları								
Parçaya çarpma hızı V_0	m/s	4	6	0.4	1	$V_{max} \approx 1$ ①		0.25
Şekil değiştirme zamanı t_B ②	m s	5	15	30	150	50	100	—
Şalter kapama zamanı	m s	—	—	—	—	—	—	> 40
Baskı kalkma zamanı	m s	—	—	—	—	—	—	> 40
Desenleme zamanı	m s	1	2	30	60	30	60	>150 ²

① Parçaya çarpma hızı parça yüksekliğine bağlıdır.

② Zorlama zamanı + şalter kapama zamanı + baskı kalkma zamanı

2.2.2. Dövme kalıbının iniş hızı ve şekil değiştirme hızı



Şekil 2.5. Silindirik parçaların şekil değiştirme hızı[3].

Kalıbın parça üzerine inme hızı veya birbirine karşı hareket eden iki kalıp parçasının izafi hızı, zorlama zamanına ve şekil değiştirme hızına tesir edeceğinden çok önemlidir. Bu hız çekicinin yapısına, presin hareket mekanizmasına ve iş parçasının şekil değiştirme mukavemetine bağlıdır. Şekil 2.5' te çekişte ve friksiyon preste inme hızı ile şekil değiştirme mesafesi arasında parabolik bir bağlantı olduğu görülmektedir.

2.2.3 Sıcaklık

2.2.3.1 İş parçası sıcaklığı

Parça sıcaklığı akma gerilmesine ve şekil değiştirme özelliğine etki eder. Bir dövme parçasında parça sıcaklığı dövmeden önce, dövme esnasında ve dövmeden sonra ne zaman ve ne de yer açısından sabit değildir ve aşağıda belirtilen nedenlerle de sabit olmayan bir sıcaklık gradyenine sahiptir.

- a) Fırında tam bir homojen ısıtma sağlanamaz.
- b) Parçanın taşınması, kalıba konulması ve bekleme süresinde ısı transferi vardır.
- c) Kalıbın alt ve üst parçalarının iş parçasına dokunduğu andan itibaren, ortalama ısı geçirgenlik katsayısı iş parçasının sadece kalıp üzerine konulması halindeki ısı geçirgenlik katsayısından çok daha büyüktür.
- d) Sürtünmeden doğan sıcaklık artışı,
- e) Parçanın şekil değiştirmesinden doğan sıcaklık artışı,
- f) Yaylanma periyodunda kaybedilen ısı,

b' den f'ye belirtilen şartlar her dövme işleminde geçerlidir. Birbirini takip eden iki dövme arasında ısı transferinin hesabı, bizzat parça içinde oluşan ısı transferinden dolayı çok zordur. Örnek olarak titanın ısı iletim katsayısı çok düşüktür, bu nedenle parça üzerinde dik bir sıcaklık gradyeni oluşur. Tablo 2.3' de sıcaklık alanına etki eden önemli faktörler görülmektedir.

2.2.3.2 Kalıp Sıcaklığı

Kalıbın sıcaklığı, kalıbın mukavemet değerlerine, gelen kuvvetlere ve kalıba verilen şekle etki eder. Fiziksel değerlerin sıcaklığa bağlı olması prensibi, bilhassa sertliğe, tokluğa, mukavemet değerlerine etki ederek kalıbın sürtünme mukavemetine ve çatlakların meydana gelmesine neden olur. Sıcaklığın zaman içerisinde değişmesi, kalıp içerisindeki muhtelif noktaların sıcaklık farklılıkları, hacim değişiklikleri ve buna bağlı olarak da ısıl gerilmeleri meydana getirir. Sıcaklık değişimiyle kalıba verilen şeklin boyutları da değişir. Parçanın kalıba temasıyla kalıp üzerindeki sıcaklıklar temas noktalarının koordinatlarına(x,y,z) ve zamana bağlıdır. Bu nedenle kalıp sabit

Tablo 2.3. Dövmede sıcaklık alanına etki eden faktörler.

	Sürtünmeyle ısı kazanma	Şekil değiştirme ile kazanılan ısı	Parça içinde ısı transferi	Parça ile kalıp arasındaki ısı transferi
Zaman bayrakları	İzafi hız		Basıncı temas (Kalıp hızı, pres nevi)	Basıncı temas (Kalıp hızı, pres nevi)
Sıcaklık	Parçanın sıcaklığı, Kalıbın sıcaklığı	Parçanın sıcaklığı, Kalıbın sıcaklığı	Parçanın sıcaklığı	Parçanın sıcaklığı
Sürtünme	Yüzey pürüzlüğü, Yağlama malzemesi, Tufal			Yüzey pürüzlüğü, Yağlama malzemesi, Tufal
Parçanın şekli				Yüzey, Hacim
Şekil alma		Şekil değiştirme		
Gerilim	Sürtünmeden doğan kayma gerilmesi	Mukayese gerilimi		Normal gerilim
Malzeme	Isınma ısısı, Yoğunluk	Akma gerilmesi, Isınma ısısı, Yoğunluk	Isı iletim katsayısı, Yoğunluk	Isı iletim katsayısı, Yoğunluk

olmayan bir ısı alanına sahiptir. Bu ısı alanında parçanın kalıba dokunduktan sonra yüzeyde çok yüksek bir sıcaklık meydana gelmektedir. Ayrıca yüzeyin ortalama sıcaklığından ve kalıbın iç kısmının sıcaklığından da söz edilir. Kalıp yüzeyinde zorlanma esnasında bir sıcaklık impulsu oluşur.

$$Q = A (Q_{s0} - Q_{w0}) + Q_{w0} \quad (2.1)$$

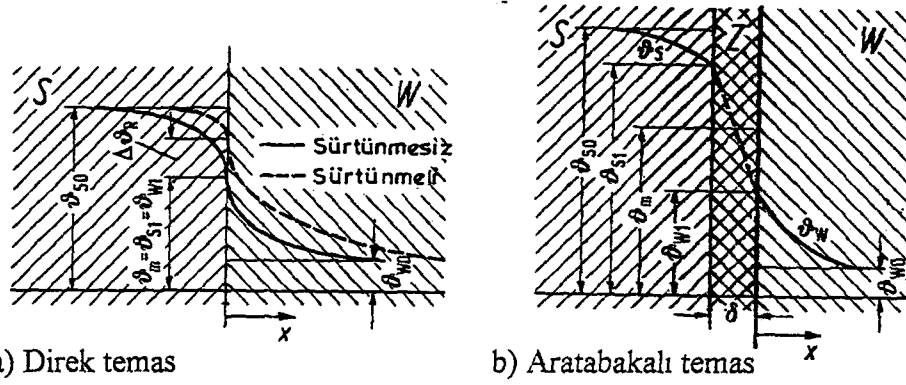
formülü ile ifade edilir.

Q = Kalıp sıcaklığı (°C)

Q_{w0} =Parçanın dövmeden sonraki sıcaklığı (°C)

Q_{s0} = Parçanın dövmeden önceki sıcaklığı (°C)

Burada A 0,5 ile 0,55 arasında bir değerdir. Kalıba gerçekte temas eden yüzey, parçanın yüzey kalitesine, akma gerilmesine ve tatbik edilen normal gerilmeye bağlıdır. Şekil 2.6' da görüldüğü gibi ısı transferi bazen doğrudan doğruya bazende bir ara tabakadan geçerek meydana gelir.



Şekil 2.6. İki kütlenin ısı alışverişi (S iş parçası, W kalıp, Z ara tabaka) [3]

Sürtünmeden dolayı kalıbın üst yüzeyi ayrıca ısınmaktadır. Isı alışverişini incelemek için parçanın şekil değiştirmesinden doğacak ısının da dikkate alınması gerekir. Kalıba parçanın basınçlı zamandaki temasından doğan sıcaklık impulsunun meydana getirdiği ısı geçişi aşağıdaki formülle ifade edilir. Kalıbın sıcaklık alanı Fourier ısı iletim yasasına göre tarif edilir[3] .

$$\Delta\Omega = \alpha \cdot A \cdot \Delta Q \cdot \Delta t \quad (2.2)$$

α : KJ/ m²h ısı geçiş katsayısı

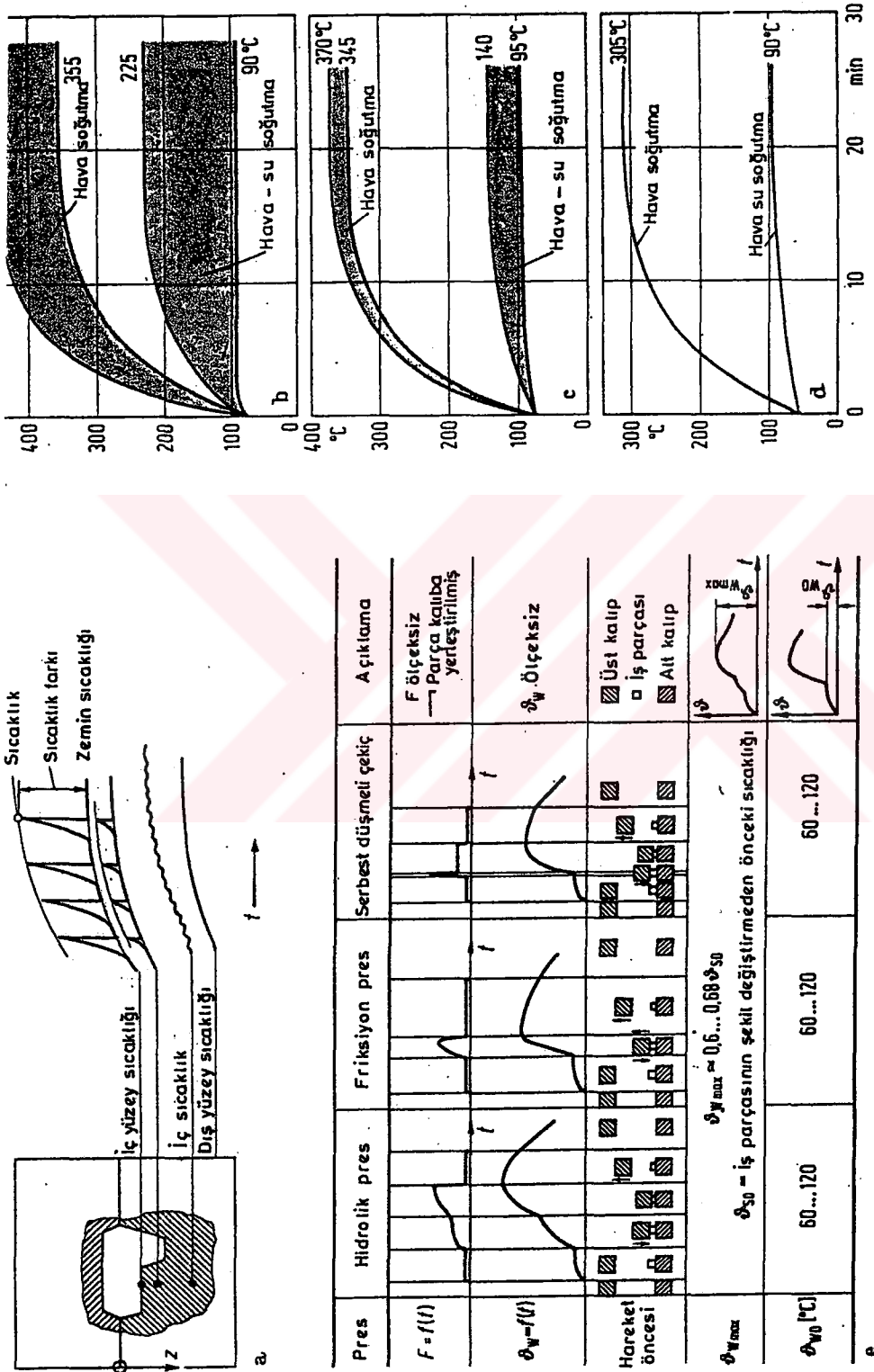
$\Delta\Omega$: Toplam ısı geçişi

ΔQ : Sıcaklık farkı °C

Δt : Temas zamanı saniye.

Şekil 2.7' de muhtelif noktalardaki sıcaklıklar zamana bağlı olarak gösterilmiştir. Yüzeyde 500 - 600°C olabilen sıcaklık içeriye doğru çok hızlı düşmektedir. Yüzeyden 10 ile 20 mm derinlikte artık sıcaklık değişimleri hemen hemen görülmemektedir. Kalıbın iş parçasıyla temas eden yüzeyine kalıp sıcaklığı açısından etki eden faktörler

- Kalıp malzemesi
- Kalıp kütlesi
- Kalıp sıcaklığı
- İş parçasının malzemesi
- İş parçasının kütlesi
- İş parçasının sıcaklığı
- Ara tabakanın özelliği
- Normal gerilme



Şekil 2.7 : Zaman ve yer açısından kalıp sıcaklığı

a) Sıcaklık akışının şematik gösterilmesi b'den d'ye kadar 0,5,5 ve 50 mm derinliklerdeki sıcaklık $Q_{50} = 1150$, e) Kalıp yüzündeki sıcaklık (3)

- Zorlama zamanı
 - Parça ile kalıp arasındaki izafi hız
- olarak sıralanabilir.

En önemli faktör başlangıçta kalıp ile iş parçası arasındaki sıcaklık farkıdır. Zorlama zamanı da çok etkilidir. Yapılan dövme işleminde yüzey sıcaklığı müsaade edilen sıcaklığın üzerine çıkabilir. Isı geçirgenlik katsayısı, kullanılan ara tabakaya bağlıdır. Bu bağlılık malzemenin akma haline gelinceye kadar devam eder. Büyük basınçlarda parça kalıbı tamamen doldurmuştur, bundan sonra artık yüzeyde bir basınç artışı söz konusu olamaz, yağlama malzemeleri geçen ısıyı frenledikleri için kalıp yüzeyindeki sıcaklık artmasını azaltır. Kalıp malzemesinin ısı iletim katsayısı çok önemlidir. Kötü ısı iletim katsayısına sahip yüzeyler çok yüksek sıcaklıklara çıkabilirler. Bilindiği gibi yüksek alaşımlı çelikler çok düşük ısı iletim katsayısına sahiptirler.

Magnezyum ve Alüminyum alaşımlarının dövülmesinde, kalıp sıcaklığı ön ısıtma ile dövme sıcaklığına yaklaştırılır, bu durumda kalıpla iş parçası arasında ısı alışverişi çok az olur.

2.2.4 Sürtünme Faktörü

$$\tau = \mu \cdot \sigma_z \quad (2.3)$$

Amontons Colombsch yasasındaki sabit sürtünme değeri μ sıcak dövmede sabit kalmaz, zamana ve bulunduğu noktaya bağlıdır. Sürtünme durumu, yapışma sürtünmesi ve katı cisim sürtünmesi, sabit kayma sürtünmesi sürtünme faktörüne bağlı olarak,

$$m_R = \frac{\tau}{\tau_f} = \frac{\tau}{k_f \cdot \sqrt{3}} = 1.71 \frac{\tau}{k_f} \quad (2.4)$$

ampirik formülüyle hesaplanır.

$M=1$ demek, ($\mu = 0,5 - 0,577$ halinde) malzeme kalıp yüzeyine yapışıyor demektir. Burada $\sqrt{3}$ faktörü LEVI-MISES akma kriterinden alınmıştır. TRESKA'ya göre bu eşitlik

$$m_R = \frac{2\tau}{k_f} \quad (2.5)$$

şeklindedir [3].

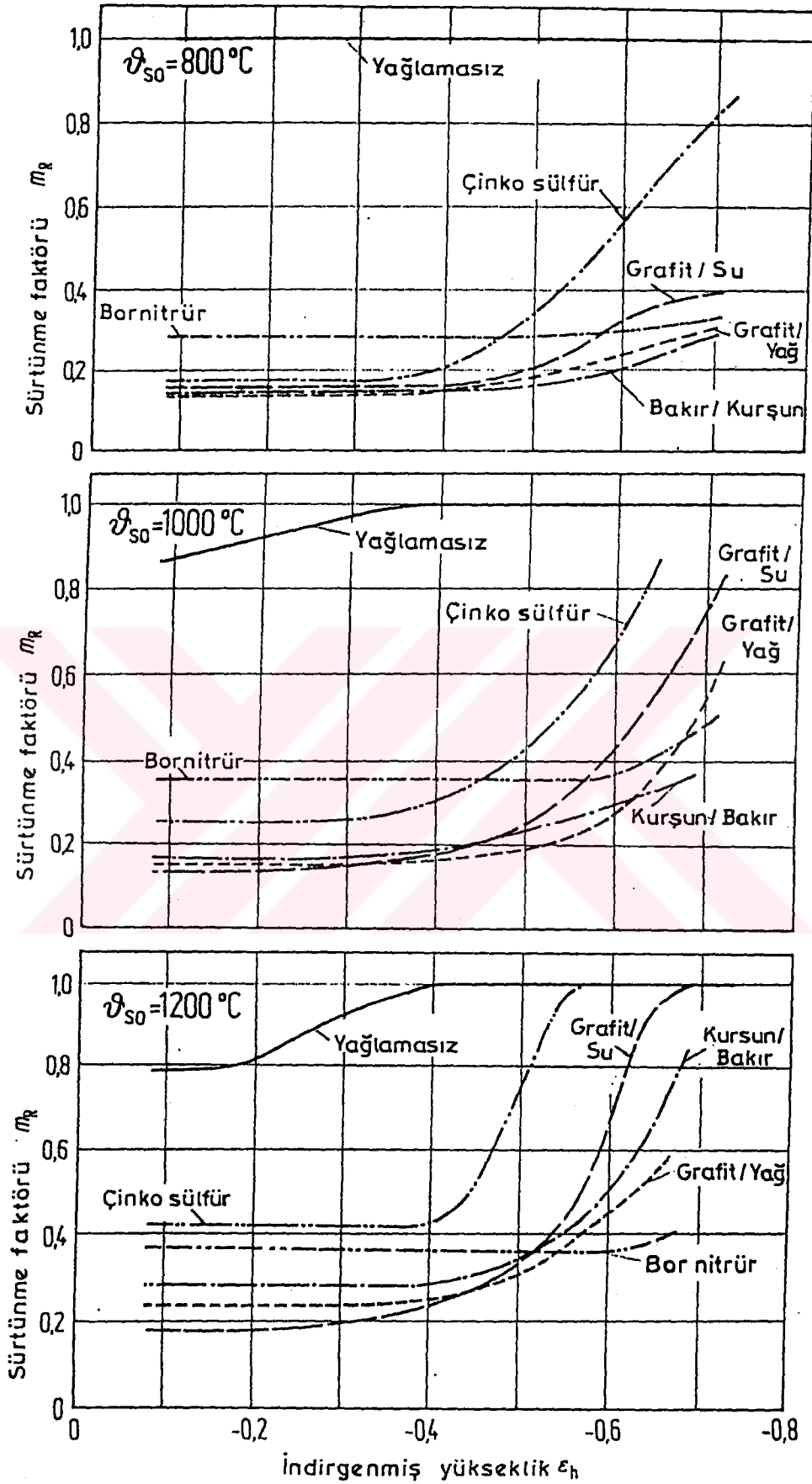
Sıcak dövmede sürtünme faktörü 3 ayrı değişkene bağlıdır.

- İş parçasıyla kalıp arasındaki ara tabaka (oksit tabakası, yağlama)
- Sürtünen yüzeylerin durumu (yüzeyin mikro geometrisi, temas eden yapıdaki malzemenin durumu).
- Dövmedeki büyüklükler (sıcaklık, yüzey büyümesinden doğan şekil değiştirme)

yağlama malzemeleri kalıpla iş parçası arasında bir tabaka meydana getirirler, bu da Şekil 2.8' de görüldüğü gibi sürtünmeyi azaltır. Sıcak dövmede genellikle katı yağlayıcılar veya dövme esnasında arada akışkan bir tabaka meydana getiren yağlayıcılar kullanılır.

Yağlama malzemelerinin etkisi, iş parçası sıcaklığına ve şekil değiştirme derecesine bağlıdır. Çok büyük şekil değiştirmelerde yağ filmi kopar ve yağlama özelliği kaybolur. Dövme sıcaklığının artmasıyla şekil değiştirme oranının küçülmesi gerekir. Yağsız sıcak dövmede üstteki oksit tabakası (tufal) kaymayı kolaylaştırır. Ama yağlama yapıldığında bu defa tufal aksi yönde etki eder. Yağsız küçük şekil değiştirme oranlarında ve sıvı halde gelen yağlayıcılar hariç tutulursa, sıcaklık arttıkça sürtünme faktörü de büyür.

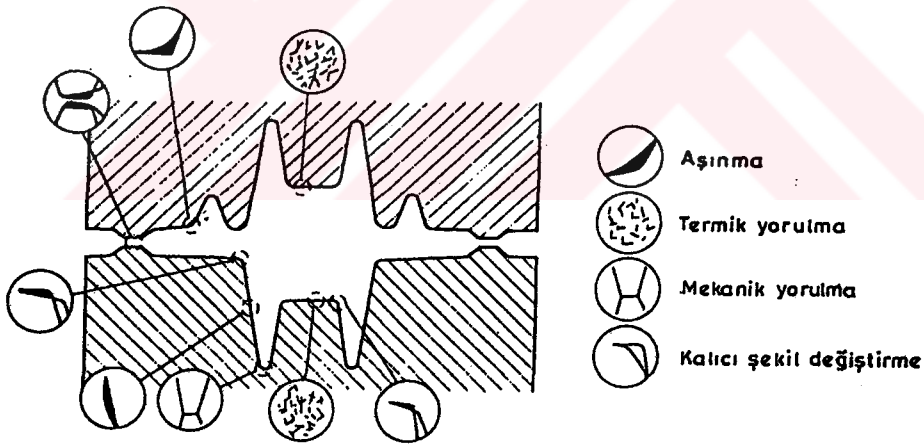
Şekil değiştirme oranını, bu orana etki eden diğer faktörlerden ayırmak çok güçtür. Küçük şekil değiştirme oranlarında sürtünme faktörü genelde sabittir, bilhassa 1000 °C üzerinde büyük şekil değişme oranlarında yağ filmi koptuğu için sürtünme faktörü dik olarak artar. Parçanın dövüldükten sonraki yüksekliğinin, dövülmemiş haldeki yüksekliğine oranı 0.3 ile 0.4 arasında olmalıdır. Yüzey pürüzlülüğü arttıkça sürtünme faktöründe büyür, çünkü pürüzlü yüzeyde hakiki temas eden yüzeyde büyümüş olur. Bu durumda ısı alışverişi artar, yağlama maddesi çok çabuk ısınır ve iş parçanın kaynak yapmaya meyli artar. Aksi halde düzgün bir yüzeyde daha az yağ hapsedilebilecektir. Presin hızı yağlama faktörüne fazla etki etmez. Tablo 2.4'de muhtelif şartlarda bazı malzemelerin sürtünme katsayıları verilmiştir.



Şekil 2.8. Çeliklerin (tufalsız) sıcak dövülmesinde sürtünme faktörünün indirgenmiş parça yükseliğine göre değişimi [3].

Tablo 2.4. Bazı malzemelerin sürtünme katsayıları[3].

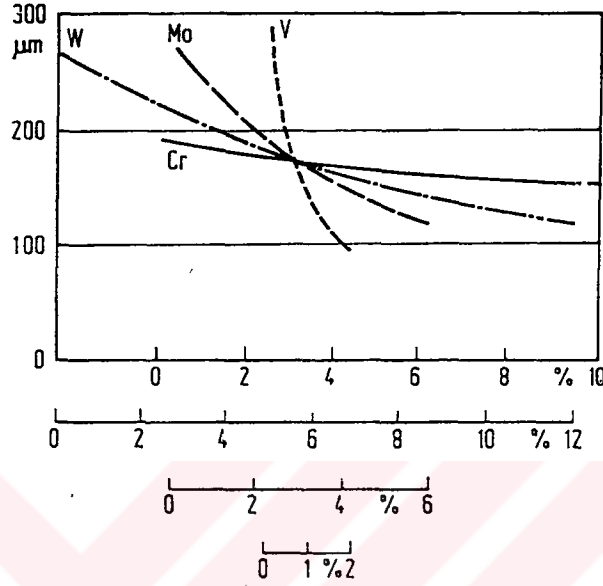
İş parçası	Yağlama malzemesi	Sıcaklık C°	μ
Alüminyum	Grafit	20÷600	0.06–0.15
Alüminyum	Yağlamasız	20÷600	0.48
Bronz	Sıvı ile grafit karışımı	450	0.06–0.07
Bronz	Yağlamasız	450	0.25–0.3
Titan veya titan alaşımı	Grafit veya MoS ₂	270÷1000	0.5
Titan veya titan alaşımı	Yağlamasız	270÷1000	0.5
Alaşımsız çelik	Grafit	1000÷1100	0.12
Alaşımsız çelik	Yağlamasız	1000÷1100	0.35–0.38
Paslanmaz çelik	Yağlamasız	20÷1000	0.5



Şekil 2.9. Dövme kalıbında hasar gören yerler [4].

Şekil 2.9' de bir dövme kalıbında değişik bölgelerin nasıl etkilendiği gösterilmektedir. Önemli olan dövme kalıbında alaşım elemanlarının da ne gibi etki ettiğinin bilinmesidir. İş parçasının ne şekilde ısıtıldığıda önemlidir fakat asıl kalıp yüzeyinin ilaveten bir yüzey işleme prosesine tabi tutulması sürtünmeyi azaltıcı bir faktör olur. Bu yüzey işlemi yakın zamana kadar sert krom kaplamaydı. Nitrürasyonun gelişmesiyle son zamanlarda kalıpların aşınan yüzeylerine, ucuz ve çevre dostu

olduğundan sadece iyon nitrürasyonu yapılmaya başlandı. Cr, W, Mo, V içeren kalıp çeliklerinde kalıp malzemesinin çekme mukavemeti, toplam ısı ve alaşım elemanları aşınmaya aynı etkiyi gösterirler. Alaşım elemanlarının aşınmaya nasıl etki ettiği Şekil 2.10' da gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Aşınmanın alaşım elemanlarına bağıllığı [4].

Kalıp malzemesi mümkün mertebe yüksek mukavemet değerlerinde ıslah edilmesi gereklidir. Bir dövme kalıbının ömrü birkaç yüz parçadan başlayarak 30.000 parça ve daha fazla olabilir, bu durum aşağıda belirtilen şartlara bağlıdır.

- İş parçası (Ağırlık, geometri, Malzeme, İstenen tolerans)
- İşin yapılma şekli (Dövme sıcaklığı, Ara şekillendirme, Yağlama)
- Pres
- Kalıp (Malzeme, Mukavemet, Tokluk, Yüzey İşlemi, Kalıp Sıcaklığı)

Genellikle kalıpların %70'ı aşınmadan geri kalan %30'da, çatlamadan kullanılamaz hale gelir. Kalıbın ömrünü artırmak için genel olarak, aşınmayı azaltıcı önlemler alınır. Ayrıca yüzey sertleştirme, ara şekil verme, yağlama, ömrü arttırıcı faktörlerdir. Kalıbın çok sert olması tokluğu azaltacağı için çatlama rizikosunu artırır. Sıcak dövme işleminde, kalıbı koruyabilmek için pratikte aşağıda belirtilen önlemler alınmaktadır.

- Kalıpta meydana gelen sıcaklığı azaltmak için soğutucu malzemeler kullanılması,
- Kalıptan dövülen malzemeyi ayırmak ve yağlamayı temin için yağlayıcı

malzemeler,

- Kalıptan malzemeyi kolay çıkarabilmek için, çıkarıcı malzemeler,

Bu malzemeler ya kalıba yada parçaya sürülebilir. Fakat bunların dövme operasyonu bitiminde aşağıda belirtilen şartları da yerine getirmelidir,

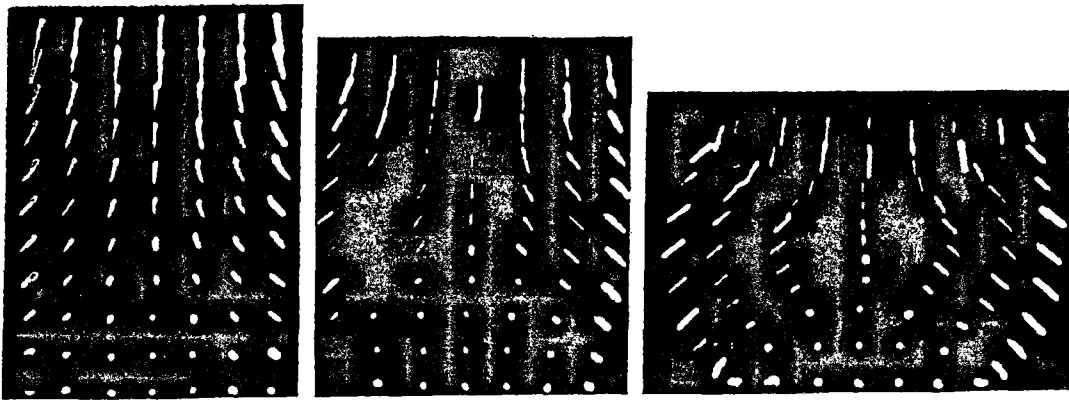
- Kullanılan malzeme ne kalıpta nede parçada korozif etki yapmamalıdır,
- Malzemeler zararsız olmalı yani çıkan dumanlar sağlığa zararlı olmamalıdır,
- Malzemeler kalıp veya iş parçası üzerinde mümkün mertebe artık bırakmamalıdır,
- Malzemeler püskürtülebilecek bir biçimde olmalıdır, zira ancak bu suretle otomatik imalata müsaade eder,
- Mümkün mertebe ucuz olmalıdır.

Soğutma malzemesi, yağlama malzemesi ve çıkarıcı malzeme, dövülen parçanın özelliğine göre seçilir. Örneğin alüminyum ve magnezyumun dövülmesinde, kalıp sıcaklığı yüksek olacağından, yağlayıcı olarak yağı, asıl yağlayıcının taşıyıcısı olarak kullanılır. Üzerlerinde tufal olmadığı için bu malzemelerde kalıp yapısında aşındırma eğilimi gösterir. Yüksek şekil değiştirme oranlarında yağlama etkisi ortadan kalkar. Çelik dövülmesinde şekil fazla yüksek ve kalıp sıcaklığı fazla değilse, yağlamadan, soğutmadan ve çıkarıcı malzemedan vazgeçilebilir. Sık dövme yapılan ve uzun temas zamanı olan işlemlerde yağlama malzemesi kullanılır. Yüksek parçalarda da çıkarıcı malzeme kullanılır. Paslanmaz çeliklerde tufal olmayacağı için muhakkak yağlanmalıdır.

BÖLÜM 3.

SICAK DÖVME KALIPLARINDAKİ PROBLEMLER VE ÇÖZÜMLERİ

Dövme esnasında kalıpta meydana gelen gerilmeler, şekil değiştirmeler ve sıcaklıklar birçok karışık olaylara bağlıdır. Bu zorluklar, hareket halindeki malzemenin kalıp yüzeyi ile sürtünmesinden meydana gelen, tanımı zor olaylardan kaynaklanmaktadır. Klasik hesaplama metotlarının (Malzemelerin plastisite teorisi, Akma kriterleri) haricinde son zamanlarda numerik yaklaşım metoduna (Nümerische Naherungsverfahren) dahil olan; [hata mukayese metodu (Fehlerabgleichverfahren), (Finite-Elemente) metodu] gibi prensiplerle daha kolay, hareket, gerilme ve sıcaklık problemleri incelenmeye başlandı. Dövme sabit olmayan bir şekil verme metodudur ve işlem esnasında malzeme akışı ile malzeme akış hatları üst üste çakışmaz. Malzemenin akışını, akış şekli ile akış hatları karakterize eder. Şekil 3.1' de görüldüğü gibi akış parlayan noktalar olarak fotoğrafla tespit edilebilir.



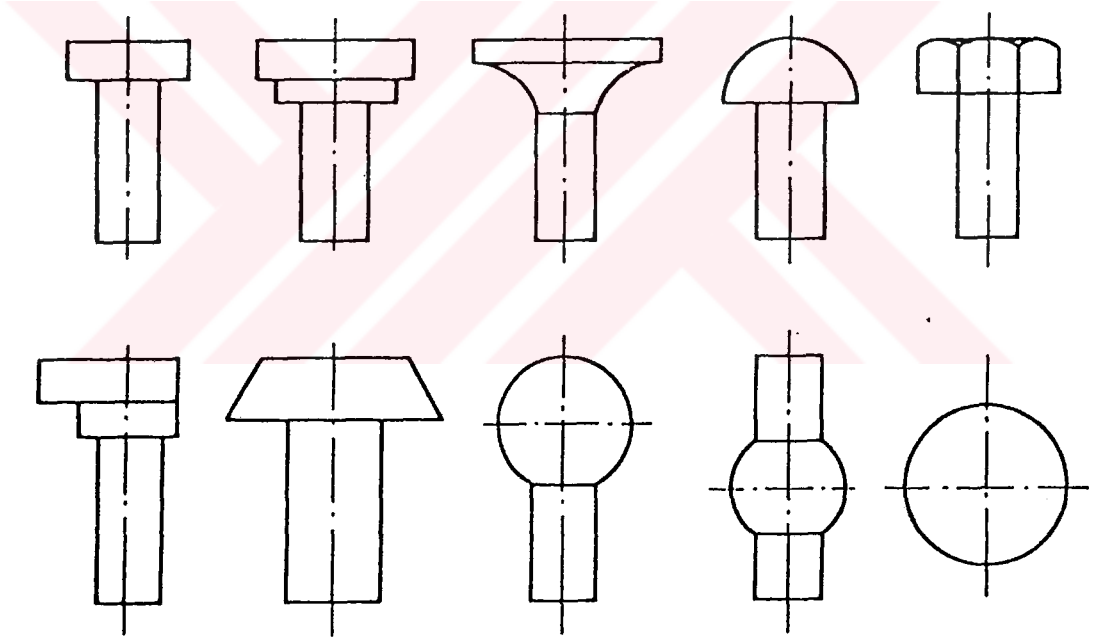
a-İlk şekil

b-Ara dövme

c-Son şekil

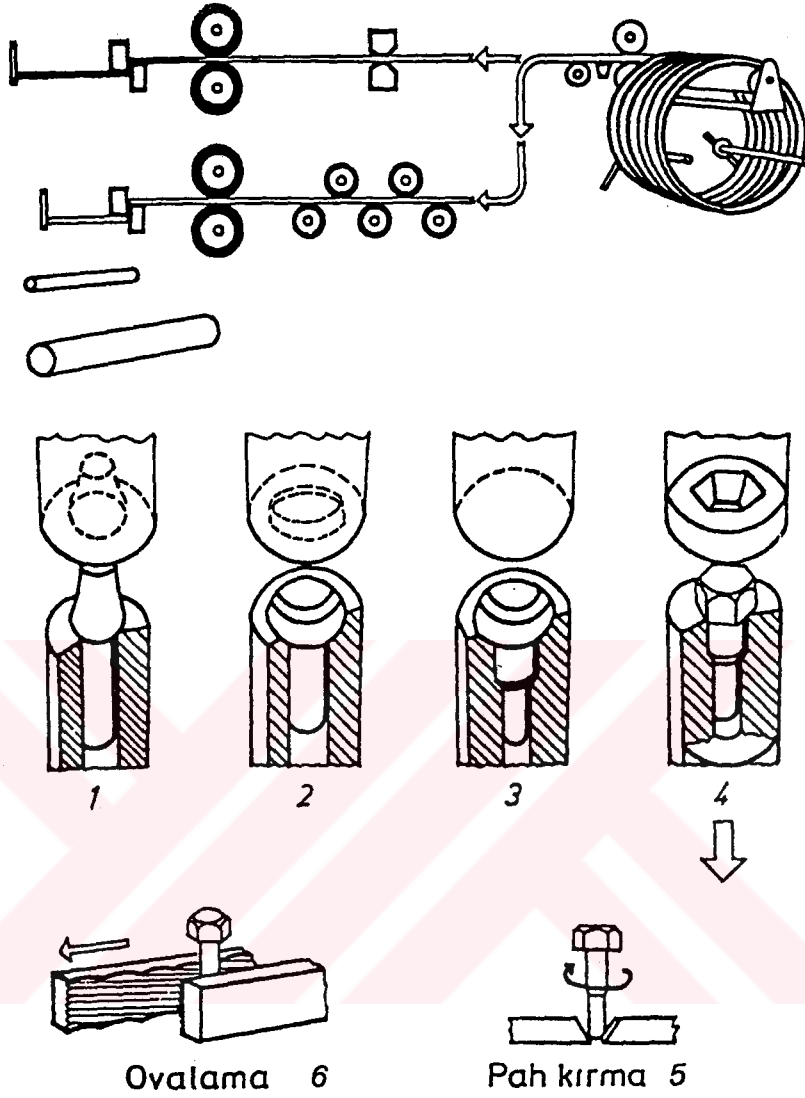
Şekil 3.1. Dövme esnasında hız alanları [2].

K.Brill'e göre sürtünme, sıcaklık ve şekil değiştirme hızına göre, hareket şekline ve şekil değiştirme dağılımına çok daha fazla tesir eder. Yağlama prensip olarak özellikle açık kalıplarda sürtünmeyi azaltarak dövme yükünü azaltma, kalıp aşınmasını azaltma ve metal akışını iyileştirme amacı ile yapılır. Kapalı kalıplarda ise kalıbın tamamıyla doldurulması açısından bazı yönlerde metal akışı sınırlandırılmalıdır. Özellikle çapak eşiğinde sürtünme maksimum olmalıdır. Yağlama problemi bilhassa düz dövmede ve ısıcağa dayanıklı paslanmaz çeliklerde çok önemlidir. Kalıpta dövme metodu ile genelde Şekil 3.2' de gösterilen masif malzemelerden, civatalar, perçinler, saplamalar, supablar vs. imal edilir.



Şekil 3.2. Tipik dövme parçalar [5].

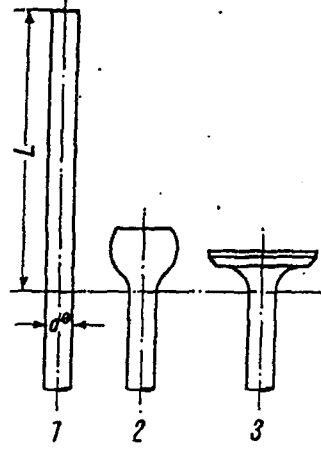
Kalıpta dövmede genelde başlangıç malzemesi yuvarlak malzeme veya bir profil olabilir. Genellikle kangal halindeki yuvarlak malzeme kullanılır. Şekil 3.3 bir civata imalatın kademeleri gösterilmiştir.



- 1) Kafanın ön şişirilmesi,
- 2) Kafanın son dövmesi,
- 3) Civata şaftının diş çekme ölçüsüne getirilmesi,
- 4) Kafanın 6 köşe şeklinde kesilmesi
- 5) uç kısmın pah kırılması
- 6) dişin ovalanması

Şekil 3.3. Civata imalatındaki kademeler [5].

3.1. Müsade edilen şekil değiştirme



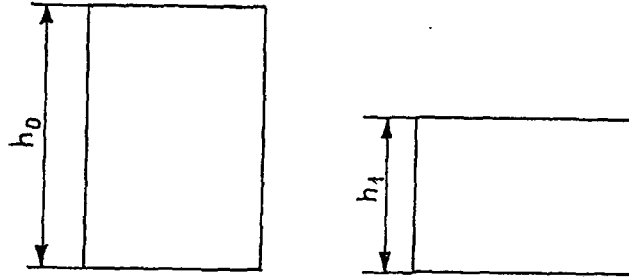
Şekil 3.4. Supap imalatı.

1) Başlangıç malzemesi 2) Ön kafa şişirme 3) Kafanın bitmiş hali

Müsade edilen şekil değiştirmede büyüklüğü ve yığılma oranı kriterleri birbirinden ayırd edilmelidir.

3.1.1. Şekil değiştirme büyüklüğünün değeri

Burada şekil değiştiren malzemenin, şekil değiştirilebilirliğinin sınırları verilmiştir.



Şekil 3.5 h_0 : şekil değiştirmeden önceki yükseklik

h_1 : şekil değiştirdikten sonraki yükseklik

burada mühendislik birim şekil değiştirmesine ε_h dersek

$$\varepsilon_h = \frac{h_0 - h_1}{h} \quad (3.1)$$

gerçek birim şekil değiştirme φ_h

$$\varphi_h = \ln \frac{h_1}{h_0} \quad (3.2)$$

bunun yüzde olarak ifade edilirse

$$\varphi_h = \ln \frac{h_1}{h_0} \cdot 100 \quad \% \text{ olur.} \quad (3.3)$$

Eğer gerçek birim şekil değiştirme derecesi φ_h verilmişse

$$h_0 = h_1 \cdot e^{\varphi_h} \quad \text{alınır.} \quad (3.4)$$

veya

$$\varphi_h = \ln(1 - \varepsilon_h) \quad \text{dır [5].} \quad (3.5)$$

Tablo 3.1. Bazı malzemelerin müade edilen şekil değiştirme dereceleri.

	φ_{h_s}
Al 99,8	2,5
Al MgSil	1,5 – 2,0
Ms 63–85 CuZn 37–CuZn 15	1,2–1,4
Ck 10–Ck 22 St 42–St 50	1,3 – 1,5
Ck 35–Ck 45 St 60–St 70	1,2 – 1,4
Cf 53	1,3
16 MnCr 5 34 CrMo 4	0,8 – 0,9
15 CrNi 6 42 CrMo 4	0,7 – 0,8

3.1.2. Yığılma Oranı

Yığılma oranı (s) başlangıç malzemesinin dövme esnasında burkulması dikkate alınarak belirlenir. Burada alınan boy Şekil 3.6' de görüldüğü gibi sadece kalıbın dışında kalan ölçüdür.

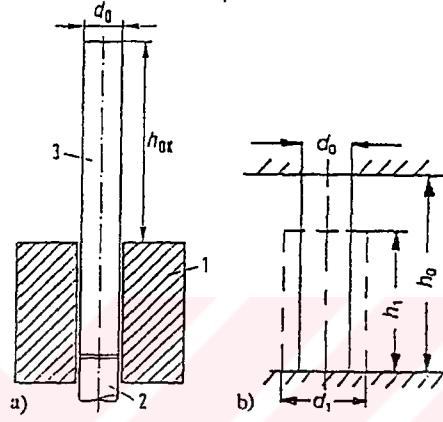
Yığma oranı $s = \frac{h_o}{d_o} = \frac{h_{ox}}{d_o}$ (3.6)

h_o = Başlangıçtaki toplam uzunluk

h_1 = Dövüldükten sonraki uzunluk

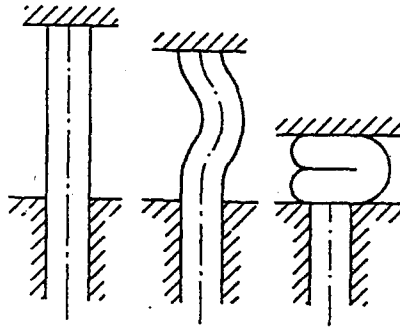
d_o = Başlangıçtaki çap

h_{ox} = Kalıba girmeyen uzunluk



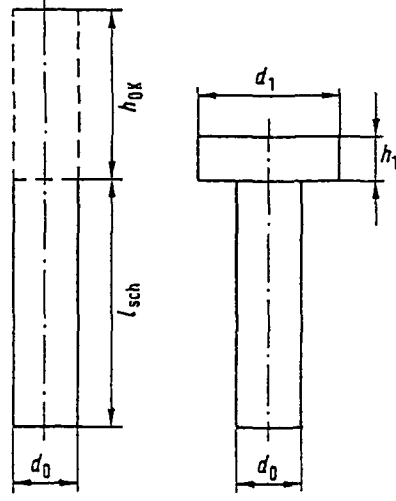
Şekil 3.6. Yığma işlemi.

Eğer yığma oranının, müsaade edilen değerin üstüne çıkarsa parça Şekil 3.7' deki gibi burkulur.



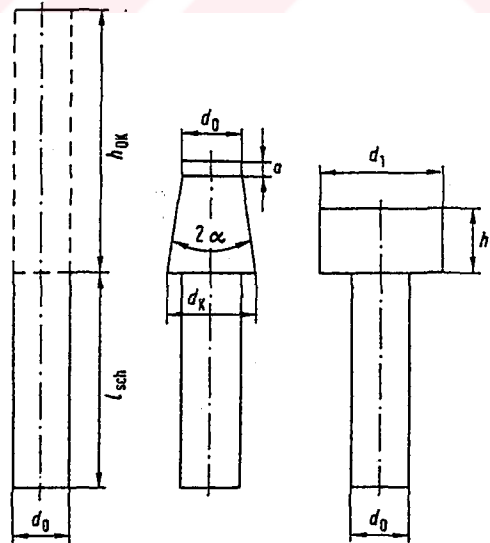
Şekil 3.7. Burkulma.

Eğer parça Şekil 3.8' de gösterildiği gibi 1 defa da dövülecekse müsaade edilen dövme oranı $S \leq 2,6$ olmalıdır.



Şekil 3.8. Dövme oranı.

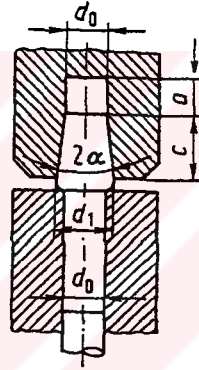
Eğer parça iki operasyonda şişirilecekse Şekil 3.9' de olduğu gibi dövme oranı $S \leq 4,5$ olmalıdır.



Şekil 3.9. İki operasyonlu kafa şişirme.

Tablo 3.2. VDI 3171 e göre ön dövme de kullanılan değerler.

$s=h_0/d_0$	2α [Grad]	a [mm]	c [mm]
2,5	15	$0,6 d_0$	$1,37 d_0$
3,3	15	$1,0 d_0$	$1,56 d_0$
3,9	15	$1,4 d_0$	$1,66 d_0$
4,3	20	$1,7 d_0$	$1,56 d_0$
4,5	25	$1,9 d_0$	$1,45 d_0$



Şekil 3.10. Ön dövmede kullanılan değerler.

Bitmiş parçanın hacmi belirlenerek başlangıç malzemesinin çapı hesaplanabilir. Şekil 3.9' da verilen civata kafası için gerekli çap,

$$d_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot s}} \quad (3.7)$$

d_0 : gerekli malzeme çapı (mm)

V : dövülen hacim (mm^3)

s : dövme oranı

olarak hesaplanır.

3.2. Dövme Kuvveti

3.2.1. Dönel cisimlerde F dövme kuvveti

$$F = A_1 \cdot \sigma_{A1} \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \mu \frac{d_1}{h_1}\right) \quad (3.8)$$

formülü ile hesaplanır.

Buradaki harflerin manası şöyledir.

F: dövme (yığma) kuvveti, (N)

A_1 : yığıldıktan sonraki kesit, (mm^2)

σ_{A1} : şekil değiştirdikten sonraki akma mukavemeti, (N/mm^2)

μ : sürtünme katsayısı ($\mu = 0,10 - 0,15$)

d_1 : dövüldükten sonraki çap, (mm)

h_1 : dövüldükten sonraki uzunluk, (mm)

3.2.2. Dönel olmayan parçalarda dövme kuvveti

$$F = \frac{A_1 \cdot \sigma_{A1}}{\eta_f} \quad (3.9)$$

formülü ile hesaplanır. η_f = şekil değiştirme katsayısıdır.

3.3. Yığmadaki İş (W)

$$W = \frac{V \cdot \sigma_{mA} \cdot \varphi_h}{\eta_f} \quad (3.10)$$

olarak ifade edilir. Kuvvet ve şekil değişimleri yolu dikkate alınır

$$W = F \cdot s \cdot x \quad (3.11)$$

$$W = F (h_o - h_i) \cdot x \quad (3.12)$$

olur.

W: yığma işi, (Nmm)

V: yığılmaya uğrayan hacim, (mm^3)

σ_{mA} : ortalama akma mukavemeti, (N/mm^2)

φ_h : gerçek birim şekil değiştirme

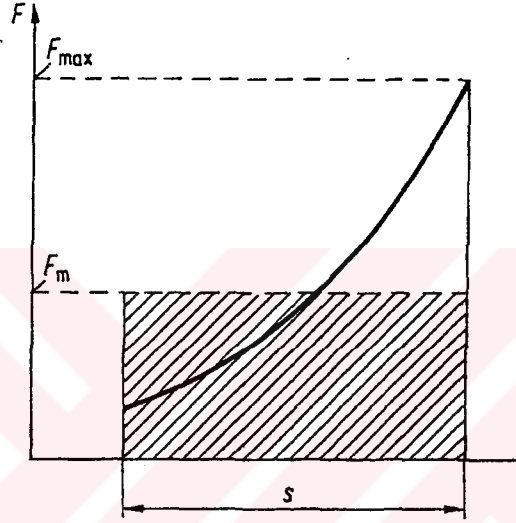
η_f : şekil değıştirme katsayısı, ($\eta_f = 0,6 - 0,9$)

h_0 : parça yüksekliği (mm)

x : işlem faktörü, $x = \frac{F_m}{F_{max}} \cong 0,6$

F_m : ortalama akma kuvveti (N)

F_{max} : maksimum kuvvet (N)

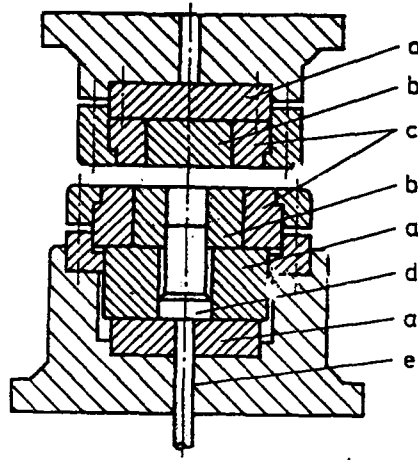


Şekil 3.11. Yığmada kullanılan kuvvet-yol diyagramı.

Şekil 3.11' de olduğu gibi işleme faktörü (x) ideal olarak seçilen ve bütün işlem devamınca sabit kaldığı kabul edilen F_m akma kuvvetleriyle ve maksimum F_{max} kuvvetinden belirlenir. Bu ortalama F_m kuvveti öyle belirlenir ki, güç yol diyagramında, hakiki iş diyagramı bir dikdörtgen olsun.

3.4. Yığma (dövme) kalıbı

Dövme kalıplarına genelde basma ve sürtünme kuvvetleri etki eder. Bu nedenle kırılma ve sürtünmeye dayanıklı şekilde imal edilmelidir. Şekil 3.12. ve Şekil 3.13. de bir kalıpta kullanılan parçalar ve malzemeler gösterilmiştir.



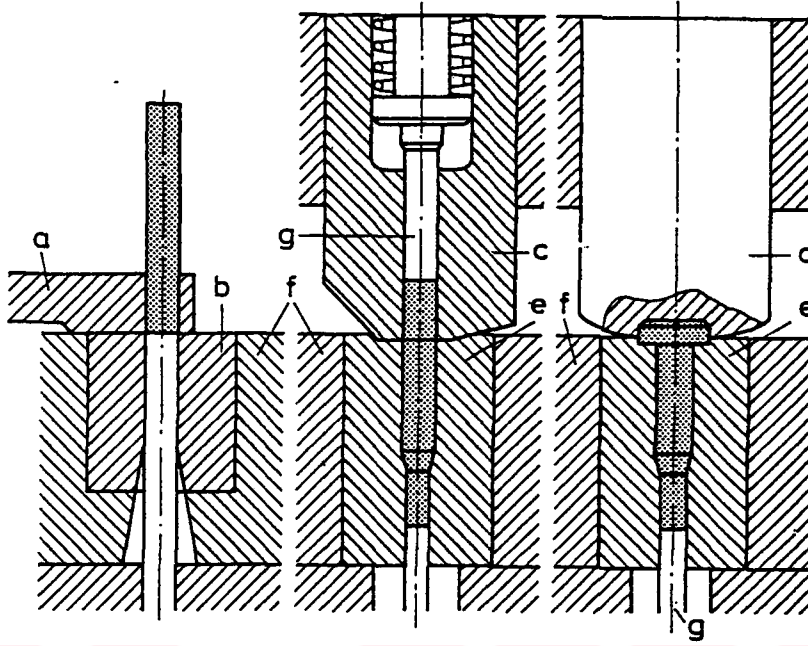
Şekil 3.12. Dövme kalıbı şeması (VDI 3186 sayfa 1)

a) Baskı plakası, b) Şekil veren kısımlar, c) Şıkıştırma halkası, d) Alt erkek, e) İtici

Tablo 3.3. Dövme kalıbı parçalarında kullanılan çelikler[6].

Parçanın İsmi	Kalıpta kullanılan çelik cinsi		Parçanın sertliği HRC
	Kısa tanım	Malzeme No.	
a) Kesici bıçak	X 155 CrV Mo 12 I X 165 CrMoV 12 S 6-5-2 60 WCrV 7	1.2379 1.2601 1.3343 1.2550	57 bis 60 57 bis 60 57 bis 60 48 bis 55
b) Kesici dişi	X 155 CrV Mo 12 I X 165 CrMoV 12 S 6-5-2 60 WCrV 7	1.2379 1.2601 1.3343 1.2550	57 bis 60 57 bis 60 57 bis 60 54 bis 58
c) Ön dövücü Tek parça	C 105 W I 100 V I 145 V 33	1.1545 1.2833 1.2838	57 bis 60 57 bis 60 57 bis 60
c) Ön dövücü İki parçalı	X 165 CrMoV 12 S 6-5-2	1.2601 1.3343	60 bis 63 60 bis 63
d) Dövücü erkek Tek parça	C 105 W I 100 V I 145 V 33	1.1545 1.2833 1.2838	58 bis 61 58 bis 61 58 bis 61
d) Dövücü erkek İki parçalı	X 165 CrMoV 12 S 6-5-2	1.2601 1.3343	60 bis 63 60 bis 63
e) Dişi Tek parça	C 105 W I 100 V I 145 V 33	1.1545 1.2833 1.2838	58 bis 61 58 bis 61 58 bis 61
e) Dişi İki parçalı	S 6-5-2 X 155 CrV Mo 12 I X 165 CrMoV 12	1.3343 1.2379 1.2601	60 bis 63 58 bis 61 58 bis 61
f) Dış çember	56 NiCrMoV 7 X 40 CrMoV 5 I X 3 NiCoMoTi 1895	1.2714 1.2344 1.2709	41 bis 47 41 bis 47 50 bis 53
g) İtici	X 40 CrMoV 5 I 60 WCrV 7	1.2344 1.2550	53 bis 56 55 bis 58
Kesici kalıp (Şekil 52)			
1 Dişi	S 6-5-2	1.3343	58 bis 61
2 Erkek	60 WCrV 7 X 155 CrV Mo 12 I X 165 CrMoV 12	1.2550 1.2379 1.2601	58 bis 61 58 bis 61 58 bis 61
3 İtici	X 40 CrMoV 5 I 60 WCrV 7	1.2344 1.2550	53 bis 56 55 bis 58

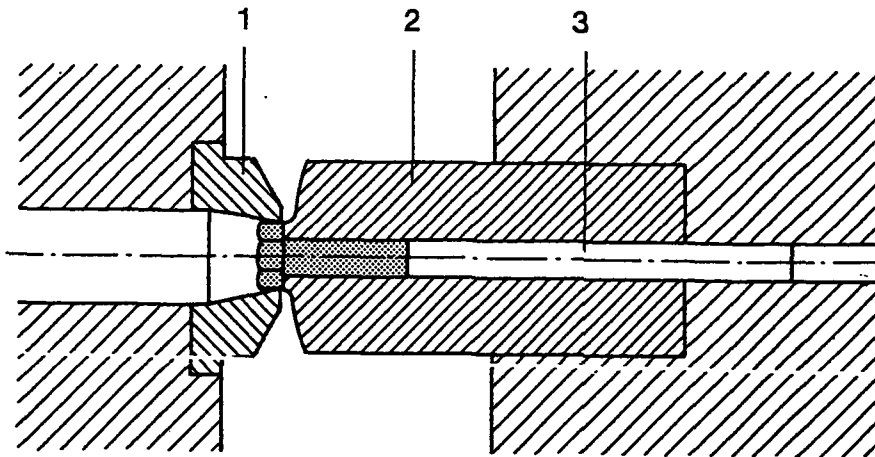
Bir dövme kalıbının önemli parçaları Şekil 3.13.de gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Dövme Kalıbının Önemli Parçaları

- | | |
|--------------------|-------------------|
| a) Kesici erkek | e) Dişi |
| b) Kesici dişi | f) Taşıyıcı plaka |
| c) Ön şekil verici | g) İtici |
| d) Erkek | |

Bir civata kafasının 6 köşe kesilmesinde kullanılan kalıba ait parçalar Şekil 3.14.de gösterilmiştir.



Şekil 3.14 Civata Kafasının 6 Köşe Kesilmesi

- 1) Dişi, 2) Erkek, 3) İtici

BÖLÜM 4.

SICAK DÖVME KALIPLARININ AŞINMASI VE ALINACAK ÖNLEMLER

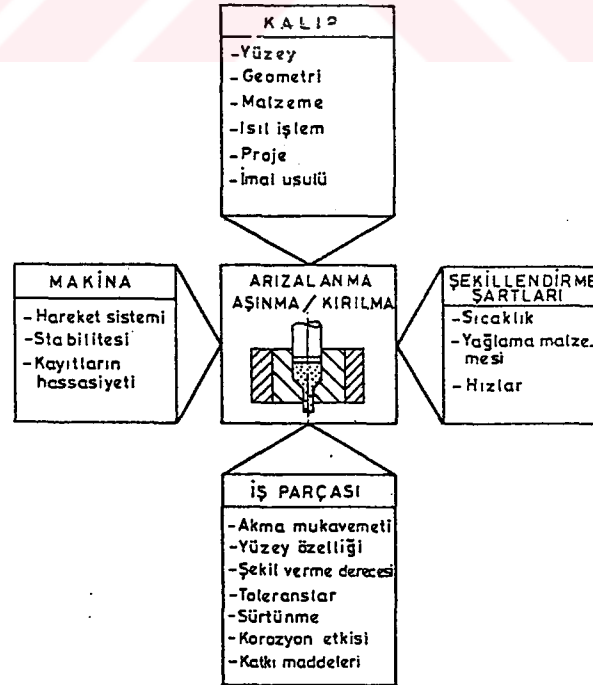
Alınacak bütün önlemlerin aşınma ve korozyonu azaltıcı yönde olması gereklidir. Dünyada büyük mali kayıpların, korozyondan, kalıplardaki ve makinalardaki aşınmadan meydana geldiği bilinmektedir. Literatürlerde bunlara karşı alınacak bir çok önlem anlatılmaktadır. Malzeme yüzeyini, atmosferin etkilerinden korunmak için en çok kullanılan metod, organik bir maddeyle kaplamaktır, boyama bu metoda iyi bir örnektir. Genellikle bu atmosfer etkilerinden korunmak istenen yüzeyler boya ile kapatılır. Kalan diğer büyük bir kısım malzeme yüzeyi galvanokimya veya özel daldırma usulüyle Sn, Ni, Cr, Zn, Cd veya buna benzer malzemelerle kaplanır. Ayrıca elektrokimyasal metotlarla da malzemenin yüzü bir oksit tabakasıyla kaplanabilir. Bunun tipik örneği Eloksal'dır.

Yüksek vakumda buharlaştırma yoluyla, Al, Ti, Cu, Ni/Cr koruyucu tabaka olarak çelik levhaların, tellerin ve diğer bir çok çelik parçanın korozyondan korunması için sanayide 20 seneden beri kullanılmaktadır. Otomobil parçaları (Tekerlek kapakları, şase parçaları, egsoz ve susturucuları) 10 µm kalınlığında vakum metalizasyonu, buharlaşma sistemiyle Al kaplandığında 3 sene sonra şehir trafiğinde %20 lik kısmının paslandığı görülmektedir. Aynı parçalar aynı şekilde 15µm lik bir kalınlıkla kaplandığında 3 sene sonra aynı şartlarda hiç paslanmadığı görülmektedir. Buradan şu neticeyi çıkarabiliriz. Al kaplama kalınlığı arttıkça malzemenin ömrü artmaktadır. Bazı malzemelerde yüksek sıcaklık korozyonuna karşı, ana malzemenin kimyasal olarak oksitlenmesi veya üst tabakadaki alaşımların gözeneksiz bir şekilde oksitlenmesiyle de korunabilir. Al, Si, Be' de olduğu gibi bu koruma aynı şekilde fiziksel olarak oluşturulan bir tabaka ile de elde edilebilir. İdeal bir koruma tabakasının şu katmanlardan oluşması beklenir, dış kısmında erozyona ve çarpma tesirlerine mukavim bir tabakaya, onun altında oksidasyona mukavim bir ana tabaka ve ayrıca bu tabakanın içinde veya dışında difüzyona mukavim bir tabakadan teşekkül etmesi lazımdır. Yüksek sıcaklık korozyonuna mukavim tabakalar şunlardır. Co-25Cr-14 Al-0,5Y veya Co-25Cr-10Ni-5Ta-3Al-0,5Y. Ayrıca Al ve Cr bazlıların

sadece Si bazlı olanı çok kullanılmaktadır(Si-20Cr-20Fe). Aşınmaya karşı sert malzemelerden yapılmış olan tabakalar, sertliklerinin yanında tokluğa sahiptirler ve kimyasal maddelere karşı da dayanıklıdır, bu nedenle kalıpların yüzeyindeki istenmeyen malzeme kayıplarına mani olurlar.

Aşınmayı azaltan tabakalar, teknolojik nedenlerden veya aşınan parçanın kaplama maliyetinin çok pahalı olmasından, parçanın ağırlığından veya kaplamanın ısı transferine mani olması durumunda malzeme yüzeyine kaplanmazlar. Aşınmayı azaltıcı tabakalar, aşındırmaya mani olurlar ve tabaka aşındığında yeniden kaplanarak parçanın yeniden kullanılmasını temin ederler. Bu tip kaplamalar, Nitrürler, Karbitler, Boritler, Titanın Karbonitrürleri, Zirkonyum, Volfram, Krom ve diğer metallerden meydana gelen bu tabakalar bugün çok büyük bir endüstri kesimi tarafından kullanılmaktadır, ve gün geçtikçe uygulama alanı artmaktadır.

Bir kalıpta ömrün artırılması ve imal edilen parçanın boyut tamlığının ve yüzey kalitesinin bir seviyede kalması için, kalıp ömrüne etki eden faktörlerin ayrıca incelenip tedbirlerinin alınması gereklidir.



Şekil 4.1. Kalıbın arızalanması, aşınması ve kırılmasına etki eden faktörler

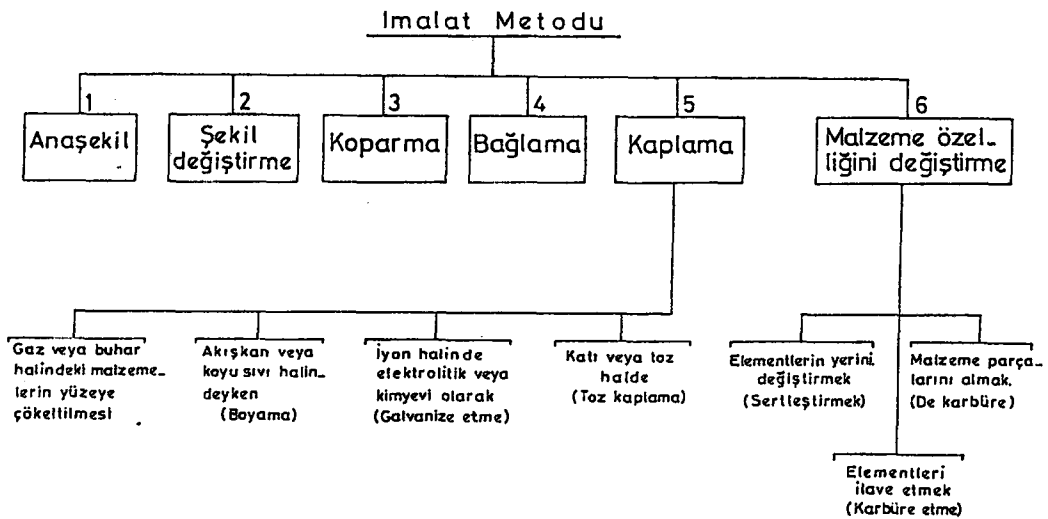
Şekil 4.1' de gösterildiği gibi kalıba etki eden bir çok faktörün kompleks olarak üst üste yığılması sonucunda imalatla büyük sapmalar meydana gelir. İş parçası ve kalıba ait parametrelerin birbirinden ayrılması gerekir. İş parçasının akma gerilmesi parçanın müsaade edilen toleranslarına ve yüzey karakterine etki eder. Kalıp tarafında ise kalıp malzemesi ve ısı işlemleri imalat adedine etki eder.

Plastik sanayiinde kullanılan kalıplarda dolgu maddelerinin artması, korozyon etkisi fazla olan plastik maddelerin sıkça kullanılması, aşınmaya dayanıklı ve yorulma mukavemeti yüksek malzemelere duyulan gereksinimin, sadece yüksek mukavemetli malzeme seçimiyle karşılanamayacağı neticesini çıkarmıştır. Bu nedenle yüzey teknolojisi çok önem kazanmıştır. Kalıpların aynı çalışma şartlarında daha uzun ömürlü olması için yüksek nitelikli çeliklere olan ihtiyaç bu önemi iyice ön sahfaya çıkarmıştır. Yüzey teknolojisinde metod, prensip olarak karma malzeme teknolojisidir.

İstenen özellikler

- Yüksek yüzey sertliği.
- Yüksek aşınma mukavemeti.
- Soğuk kaynağa (sarmaya) temayülün azalması.
- Yüksek korozyon mukavemeti olarak belirlenir.

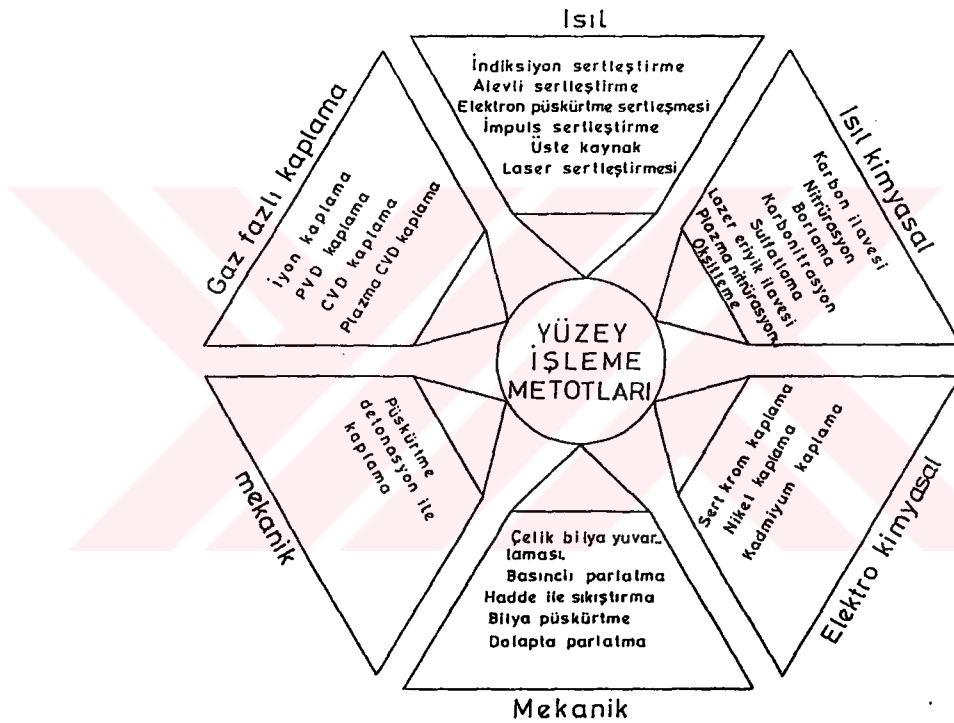
4.1. Yüzey Sertleştirme Metotlarında Temel Bilgiler



Şekil 4.2.: DIN 8580'ne göre yüzey işleme metodlarının sınıflandırılması[7].

Şekil 4.2' nin 5 ve 6'ncı grubunda yüzey işleme teknolojilerinde kullanılan metodlar görülmektedir. Yüzey işleme teknolojisinde, malzeme yüzeyindeki yapının değiştirilmesi gerekir. Örneğin bu işlem difüzyonla, sıcaklık tesiriyle, ve de mekanik olarak gerçekleştirilebilir.

Şekil 4.3'de kalıp imalatında ve montaj parçalarında kullanılan yeni yüzey sertleştirme teknolojileri gösterilmiştir.



Şekil 4.3 : Kalıp imalatında ve montaj parçalarında kullanılan yeni yüzey sertleştirme teknolojileri.

4.2. Kaplama Malzemesi Özellikleri

Kaplama malzemesi kaplanılan yüzeyi çok iyi tutmalıdır ve yüzeyin ölçülerini değiştirmemelidir. Genellikle termik zorlamalar seçilen metoda bağlıdır. Bazı kaplama yöntemlerinde belirli işlem sıcaklıklarıyla çalışma zorunluğu vardır, bu yüzden uygun malzeme seçilmelidir. Tablo 4.1' de kaba olarak kalıplarda kullanılan

Çeliklerin meneviş sııcaklıkları verilmiştir. Bu malzemelerin kullanılabilmesi, ancak seçilen yüzey işleme metodunun, maruz olunan gerilmelere uygunluğu sağlanabildiğinde mümkün olur, metodların fazlalığı nedeniyle bu işlem tam bir liste halinde verilememektedir. Ancak yeni geliştirilen metodların nasıl kullanılacağı açıklanabilir.

Tablo 4.1 Kalıplarda kullanılan çeliklerin meneviş sııcaklığı

Meneviş sııcaklığı 500 �C'ın altında	Meneviş sııcaklığı 500 �C'ın üstünde
1-Hız elikleri, 2-Sıcak iş elikleri, 3-%12 Cr'lu ledeburitik elikler, 4-Nitrürasyon elikleri, 5-İslah elikleri.	1-Soğuk iş elikleri, 2-%12 Cr'lu ledeburitik elikler, 3-Sementasyon elikleri, 4-Korozyona mukavim elikler,

4.3. Isıl Metodlar

Alevle ve indüksiyonla sertleştirme, yüzey işleme metodlarında klasik işlem olarak geçer. Yüzeyin bir kısmının sertleştirilmesiyle basınç ve sürtünme mukavemeti artırılmaktadır. Buradaki elikler daha ziyade islah elikleridir. (1.2311, 1.2312, 1.2758) Bunlar da daha ziyade plastik kalıplarında kullanılır. Kapama kenarlarında ve kayıtlarda uygulanan alevle veya endüksiyonla kısmi sertleştirmeler yapılamadığı için son zamanlarda laserle sertleştirme tercih edilmektedir.

4.3.1 Laser sertleştirme yöntemi

Lazer ile sertleştirme metodu kısa zamanda yapılması gereken ve boyut hassasiyeti istenen sertleştirme içlerinde kullanılır.

Meydana gelen olaylar ve özellikleri

- elik ostenit sııcaklığına çok çabuk çıkar,
 - Isıtma sadece çok dar bir bölgede olur,
 - Isıtma bölgesel olarak sınırlanabilir,
 - Sertleşme bizzat kendi soğumasıyla oluşur,
- olarak belirlenebilir.

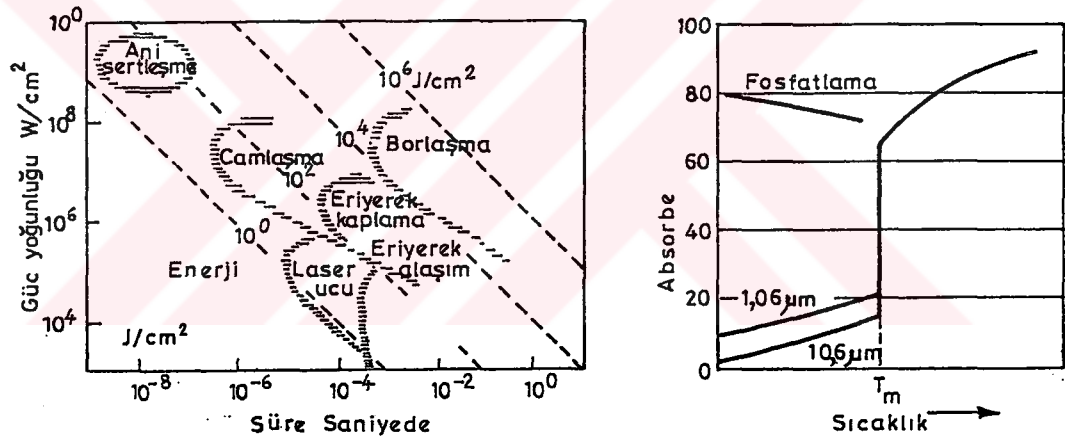
Prensip olarak lazer sertleştirme metodu her çelik için kullanılabilir. Lazer sertleştirmede sertlik değerine, malzemenin kimyasal bileşimi, yüzey yapısı ve ön işlemlerden başka lazer parametreleri olan hüzmeye yapısı, lazer gücü de etki eder.

4.3.1.1 hüzmeye yapısı

Lazerden çıkan demet geometrisi genellikle simetrik döne bir şekildedir. Demet yoğunluğu dağılımı Gauss kanununa uymaktadır. Bu dağılım sertleştirmeye uygun olmadığından dörtköşe dağılımı olan bir hüzmeye haline dönüştürülür.

4.3.1.2 lazer ışının özellikleri

Lazer enerjisi, parçanın en dış yüzeyinde 0,01-0,1 μm derinlikte yüksek yoğunluklu bir demet halinde etki eder. Absorbe edilen ışınlar faydalı ışınlardır.



Şekil 4.4. Sertleşmede sadece ostenit bölgesindeki sıcaklığa çıkma mecburiyeti, izafi olarak az bir yoğunluk demetiyle çalışılmasını gerektirir. [7]

Absorbe edilebilirlik lazer dalga uzunluğuna (Co lazerlerinde 10,6 μm) parça sıcaklığına ve parçanın yüzey özelliklerine bağlıdır. Diğer sıcaklık dağılımı ısı iletimi ile gerçekleşir bu nedenle dik bir sıcaklık düşüşü bunun tipik göstergesidir. Kullanılan güç, lazer gücüne ve etki süresine bağlıdır. Şekil 4.4 te görüldüğü gibi, sertleşmede sadece ostenit bölgesindeki sıcaklığa çıkma mecburiyeti, izafi olarak az bir yoğunluk demetiyle çalışılmasını gerektirir.

4.3.1.3 malzemenin etkisi

Daha önce açıklandığı gibi bütün çelikler lazer ile sertleştirilebilir. Kısa süre ısıtılarak ostenit bölgesine çıkarken çok dik bir sıcaklık gradyanı görülür. Bu nedenle,

-Malzeme içerisindeki karbür ve diğer alaşım elemanlarının çok ince ve homojen dağılması.

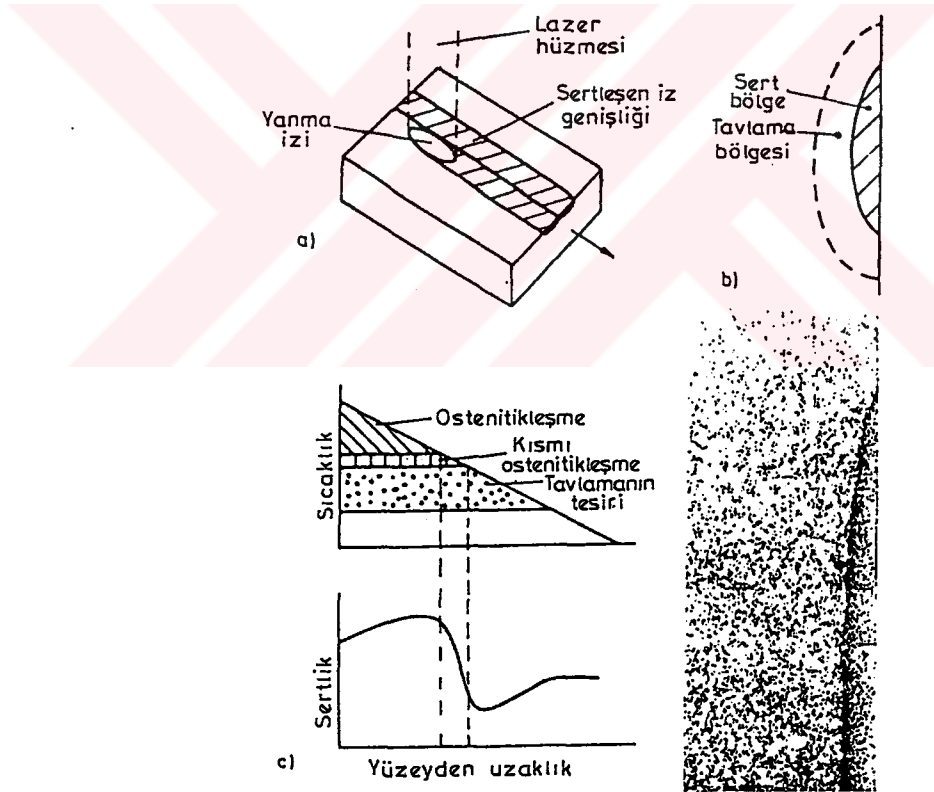
-Karbür bileşiklerinin sınırlandırılması (%12'lik Cr çeliklerinde)

-Üst yüzeyin erimesinden kaçınılması,

hususlarına dikkat etmek gereklidir.

İslah edilmiş bir iç yapı lazerle sertleşmeye daha uygundur. (Bu durum plastik kalıplarında daima mevcuttur.)

4.3.1.4 elde edilen sertlikler



Şekil 4.5. Lazer ile sertleştirmenin şematik gösterilişi

Şekil 4.5.'de sertleştirilmiş bir bölgedeki kesitte sertlik dağılımı şematik olarak ifade edilmiştir. Şekil 4.5.b'de tipik mercimek görünüşü görülmektedir. Oluşan sertleşmede soğutma hızı, genellikle suda soğutma hızından fazladır. Yalnız burada

dikkat edilecek şey, parça geometrisinin yüksek kritik soğuma hızına müsaade edebilmesidir. Bu da kafi derecede soğutma hacminin mevcut olması demektir. Şekil 4.5.c'de sıcaklıkla sertleşme profili arasındaki bağlantı şematik olarak gösterilmiştir. Kenarda sertliğin biraz düşük olması, kalıntı ostenit miktarına bağlıdır. Yüksek sıcaklıkta tavllanmış ıslah çeliklerinde sertlik düşüşü çok diktir, bu yüzden yeniden tavlama sertliği hiç değiştirmez. Mümkün olduğu takdirde malzeme bir ön ısıtmaya (max 200° C) tabi tutulursa, daha geniş bir sertleşme bölgesi ve daha uygun (yatık) bir geçiş elde edilir. Bu gün için 12-15 mm genişliğinde bir iz için 1 mm derinlikte sertlik temin edilebilmektedir. Daha geniş yüzeyler için yanyana birkaç iz yapmak gereklidir.

Bu nedenle,

- Isı birikmesinden dolayı yüzeyin erimesi,
- Son sertleştirilen izin kendinden sonraki iz tarafından tavlınması. sonucu 4 mm genişliğinde bir sertlik düşme bölgesi oluştuğu gözönüne alınması gerekir.

4.3.1.5 kullanılan tesisatlar

Lazerle çalışma sistemi pek tabii iş parçasından ve malzemedan istenen özelliklere bağlı olarak donatılır.

En önemli elemanlar.

- Lazer (güç 2,5 ile 5 Kw arasındadır).
- Demet sevk sistemi.
- İş parçası teçhizatı.
- Yardımcı teçhizat (soğutma, gaz tesisatı).
- Emniyet teçhizatı gibi.

4.3.1.6 diğer metodlarla karşılaştırma

Lazerle sertleştirme gelecekte, alevli ve indüksiyonla sertleştirmeye rakip olacaktır. En iyi kullanma yeri, diğer metodların başarılı olamadığı veya uygulama imkanı olmayan yerlerdir.. Tablo 4.2'de lazerle sertleştirmenin avantaj ve dezavantajları belirtilmiştir

Tablo 4.2 Lazerle sertleştirme metodunun avantaj ve dezavantajları.

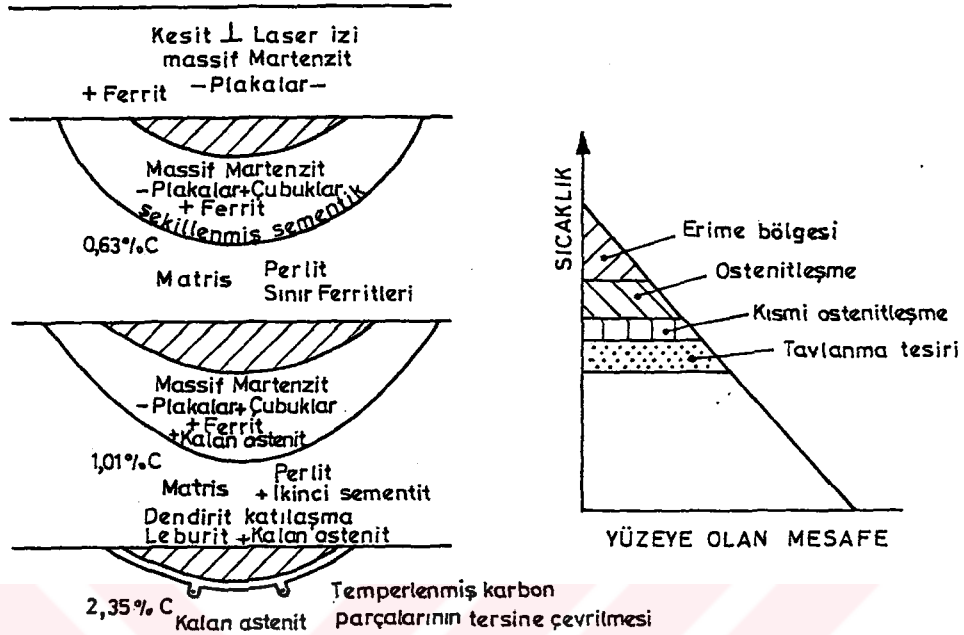
AVANTAJLAR	DEZAVANTAJLAR
İstenilen lokal sertliğe ulaşılabilir. (tekrar işleme ihtiyaç yok, çekme çok az, termik zorlamalar çok az)	Yatırımı büyük.
-İşlem parametreleri çok basit olarak değiştirilebilir. (Fleksibil, otomatik işlem neticeler birbiri üzerine toplanabilir).	-Sertleşmeden önce bir absorbsiyon tabakanın elde edilmesi lazım.
-Lazer ışınlarının yönlendirilmesi ve şekillendirilmesi çok uygun.	-Sınırlı bir sertleşme.
-Kendi kendine soğuma (ayrıca bir soğutma ortamına ihtiyacı yok)..	-Çok izli durumda bir izin diğerinde sertlik azaltma tesiri
-Mesafeler arasında hassas olmayan ölçülerde müsaade.	-Emniyet için tertibat gerekli.

Lazerle sertleştirme bugün büyük plastik kalıplarında komple tek parçadan imal edilmiş olanlarda kullanılmaktadır. Kapama yüzeyleri ve çelik kayıtlar bu kısmi sertleştirme metoduyla yapılabilir. Termik zorlamalar çok az olduğundan parçanın çökmesi, şekil değiştirmesi mümkün değildir. Koruyucu gaz kullanmaya da gereksinim duyulmaz.

4.3.2 Lazerle üst yüzeyin eritilerek sertleştirilmesi

Lazerle Sertleştirmeye karşılık bu usulde malzemenin erime noktasının üzerine çıkılır. Demetteki değişkenlerin ayarlanmasıyla erime 5 - 700 mikron derinliğe kadar ayarlanabilir. Şekil 4.6.'da iç yapının karbon miktarına bağlı olarak değişimini göstermektedir.

Lazerin etki sınırı, Şekil 4.6..b.'de görüldüğü gibi erime ve sıcaklıktan etkilenen bölge diye iki kısma ayrılır. Netice olarak mikro-sertliğin (Max 1300 HV₀₈)'e yükselişi



Şekil 4.6. Parça yüzeyinin laserle eritilmesi sonucu iç yapının karbon miktarına bağlı olarak değişimi[7].

açık olarak görülür. Buda aşınma zorlamalarına pozitif yönde etki eder. Başlangıç noktası ile karbon miktarının ilişkisine dikkat etmek lazımdır. İz genişliği max. 6 mm ile sınırlı olduğundan ve ayrıca burada geniş bir yüzey bulunduğu için birbiri üstüne gelen izlere gereksinim vardır.

Lazerle eritme metodunun temel prensibi açıklanırsa : Bir veya birçok kimyasal eleman gaz halindeki sıvı halindeki veya katı hal'deki ortam içerisinde malzemenin yüzeyine difüzyonla taşınarak, sert ve aşınmaya dayanıklı bir tabaka oluşur. Bunun yapısı kullanılan metoda bağlıdır.

4.4. Isıl Kimyasal Metodlar :

Şekil 4.3.'de ısı kimyasal metodlar da gösterilmiştir. Buradaki gaye bir veya bir kaç kimyasal elemanın gaz halinde sıvı halinde veya katı halde sertleştirilecek malzeme yüzeyine girerek sert bir tabaka oluşturmaktır.

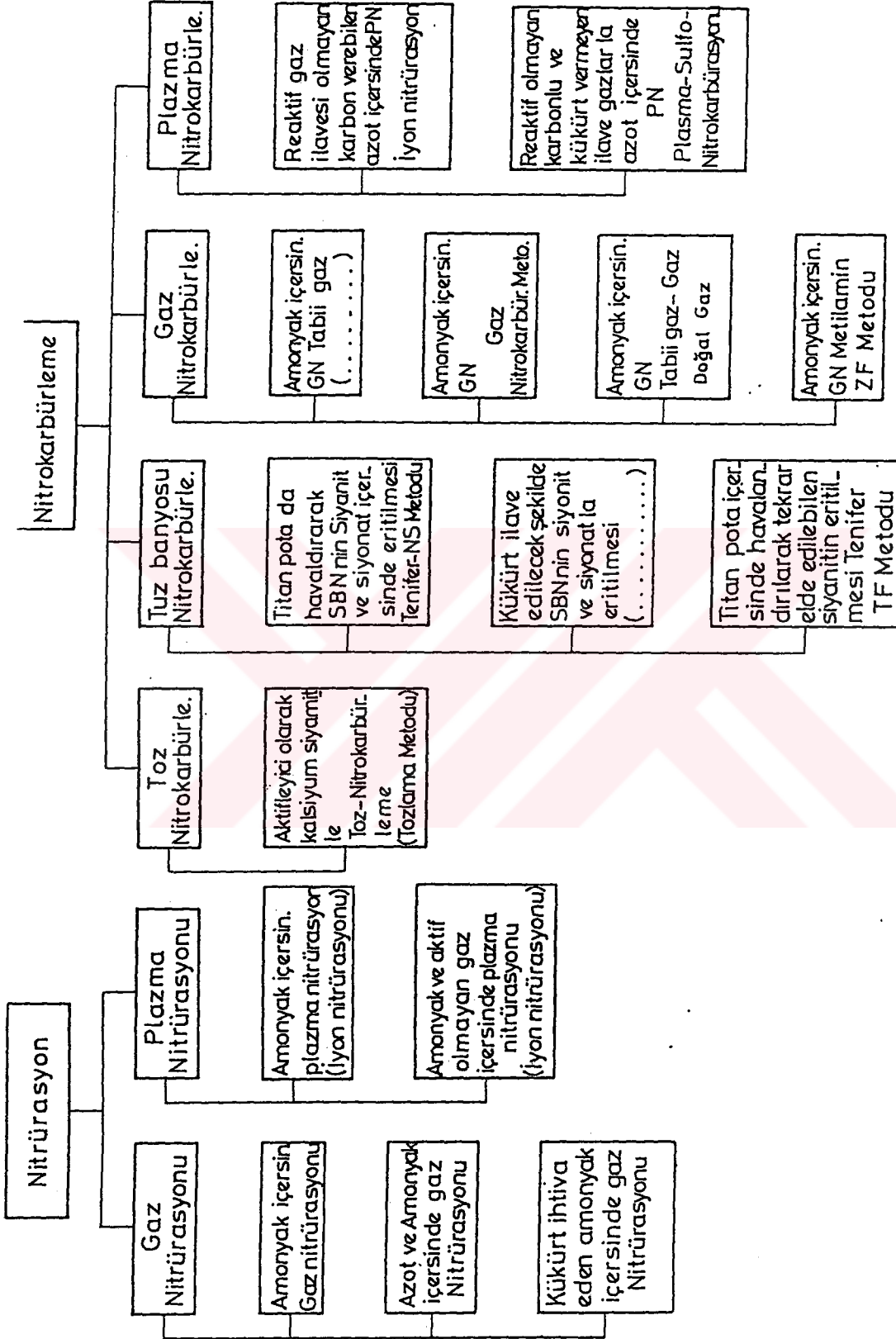
Buradaki kimyasal bileşikler kullanılan metoda bağlıdır, tipik elemanlar, Karbon, Azot ve Bor'dur. Bazı metodlarda ilave bir sertleştirme gerekir (sementasyon), diğerleri ise hiç bir ısı işlem yapmadan kullanılabilir (nitrürasyon). Nitrürasyon en çok kullanılan yüzey işlem metodudur. Şekil 4.7 en çok kullanılan Nitrürasyon metodlarını göstermektedir.

4.4.1 Plazma nitrürasyonu

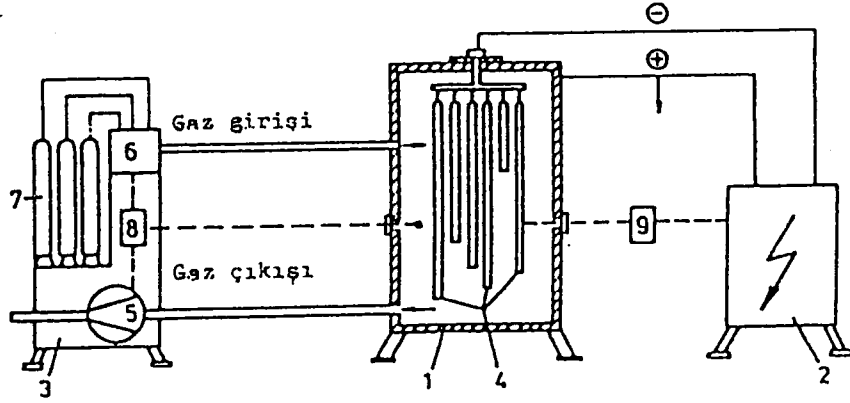
Şekil 4.8 bir plazma nitrürasyon tesisinin prensip şeması görülmektedir. Şekil 4.9 ise plazma nitrürasyonu esnasında meydana gelen olaylar görülmektedir. Bu sistemin temel prensibi, sessiz deşarja dayanır ve burada 1 ile 10 (mbar) vakum altında elektrodla birkaç yüz volt gerilim uygulanır. Mevcut vakumlu kap içerisine azot içeren gaz yolları ve akım boşalması yoluyla da bir kısım azot iyon haline dönüşür. Burada kullanılan doğru akımda sadece iyon nitrürasyonu için akım boşalması olmaz. Şekil 4.10' da Akım-Gerilim ilişkisi gösterilmektedir. AB bölgesi Geiger Sayaçlarında, BC bölgesi Townsend boşalmalarında, kullanılır. BC bölgesinde çok düşük akımlar kullanılır.

Sanayide kullanılan normal iyon işlemleri (İyon lambaları, Fluresan Tüpleri) nispeten düşük enerji ve zayıf akımlarda gerçekleştirilir. Kararlı ve düşük akımlı olan DE bölgesidir. CD ise geçiş bölgesidir. Yüksek akım güç gerektiren iyon nitrürasyonu EF bölgesinde gerçekleştirilir. Katodun birim yüzeyinin ısıtılma miktarı, akım yoğunluğuna bağlıdır.

Katot kafi derecede ısıtıldığında elektron yaymaya başlar, bundan sonra daha düşük bir gerilim boşalmanın devamını temin eder. Bu bölgedeki çalışmalarda akım yoğunluğunda meydana gelebilecek ani artışlar, iyon nitrürasyonunun, konsantrasyonunda hızlı yükselmeye yani F noktasını aşmaya başlar yani boşalmanın yerini ark alır, dolayısıyla de malzemenin yüzeyi bozulur. Bu nedenle bu çalışma bölgesinde işlem çok iyi kontrol mekanizması ile donatılmalıdır. Kendine has özelliklere sahip olan plazma Şekil 4.11' de görüldüğü gibi bir çok bölgeden meydana gelmektedir. Bunların en önemlisi katot bölgesi gerilim düşümü veya katot karanlık bölgesi olarak açıklanan bölgedir.

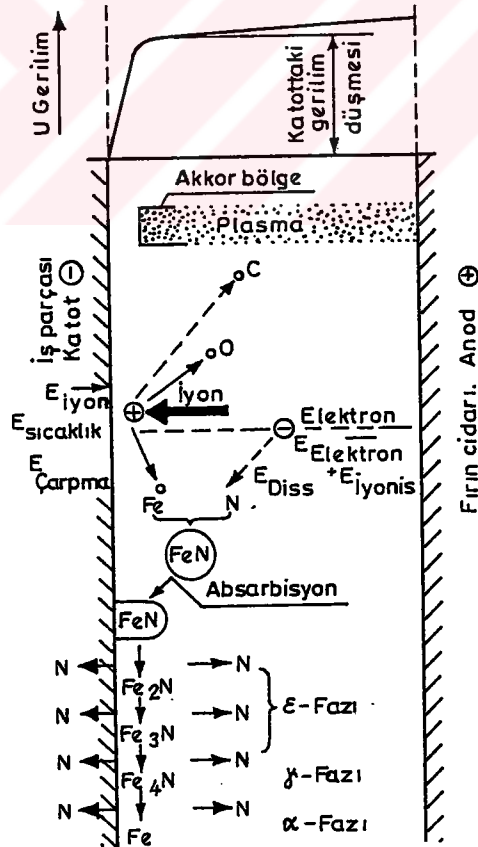


Şekil 4.7. En çok kullanılan Nitrürleme metodları. [9]

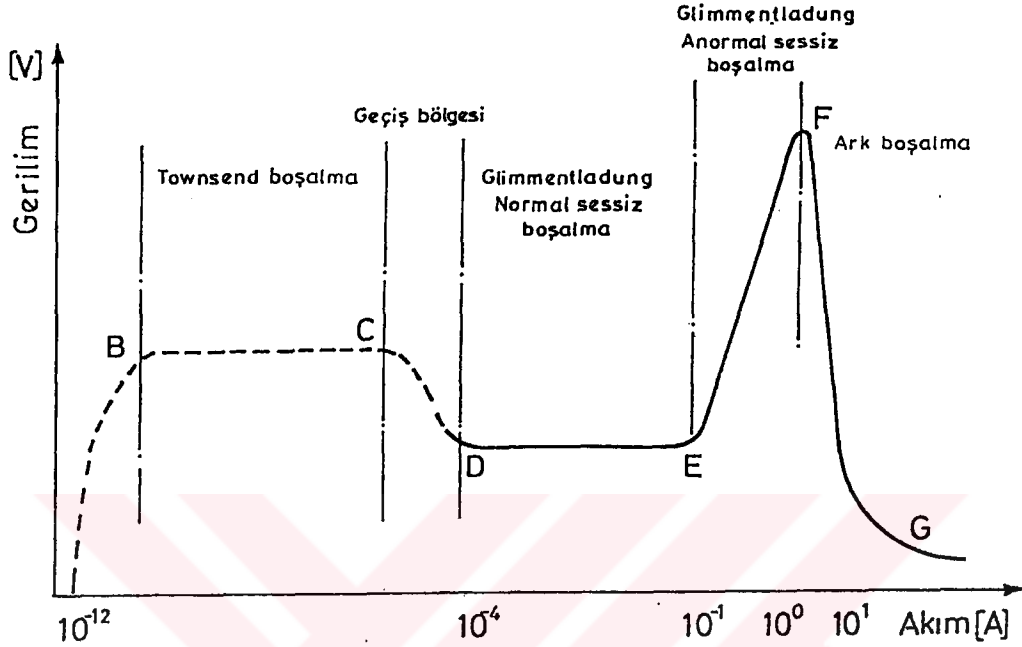


- | | |
|------------------------------|---------------------------|
| 1- Vakum sistemi | 6- Gaz ayarlama tertibatı |
| 2- Elektrik ünitesi | 7- Gaz tüpleri |
| 3- Gaz verme sistemi | 8- Basınç - Ölçü - Ayar |
| 4- İşleme tabi olan parçalar | 9- Sıcaklık - Ölçü -Ayar |
| 5- Vakum pompası | |

Şekil 4.8. Plazma nitrürasyon tesisinin prensibi[9].



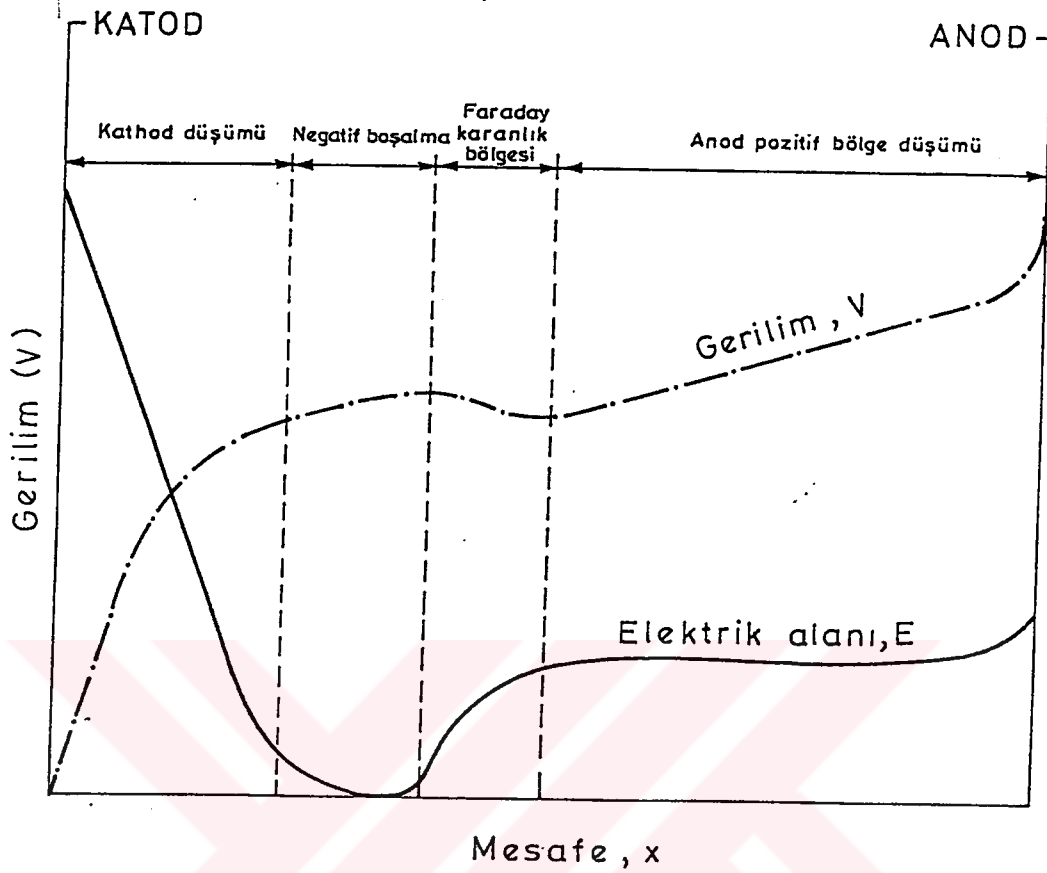
Şekil 4.9. Plazma nitrürasyonunda meydana gelen olaylar[9].



Şekil 4.10. Doğru akımda boşalmalarda akım-gerilim ilişkisi [10].

İyonizasyonun tamamına yakın bölümü yüksek gerilim alanı bölgesindeki elektron/gaz etkileşimi neticesinde oluşur. Burada elektronların gaz moleküllerine çarpması sonucu çarpışma iyonizasyonu oluşarak molekülleri ayrıştırır. İyonlar elektrik alanı içerisinde katot olan iş parçasına doğru hızlanırlar. Oraya yüksek enerji ile çarparak elektrik yükü boşalır ve bu sırada atom haline geçerler. Bu esnada iş parçası yüzeyinde bir film tabakası halinde bir ışıma görülür (glow-discharge). Bunun sonucu iş parçasının yüzeyinde aşağıda belirtilen önemli değişiklere sebep olur.

- Üst yüzey temizlenir ve aktif hale gelir.
- İş parçası iyonların kinetik enerjilerini yuttuğu için ısınmaya başlar.
- Yüksek aktiviteye sahip olan iyonlar temel malzeme ile reaksiyona uğrarlar.
- Ve gaz içerisindeki elemanlar iş parçasına difüze olurlar.

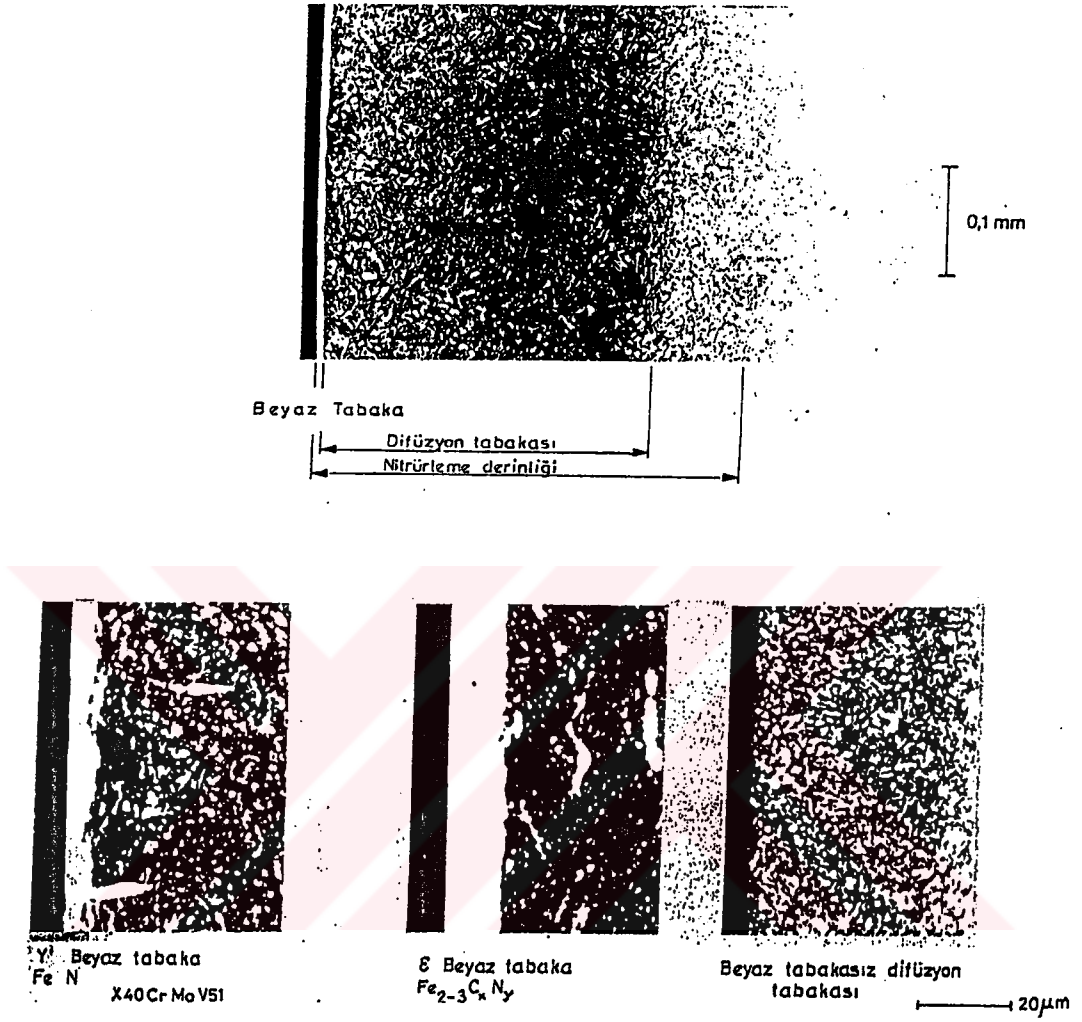


Şekil 4.11. İyon nitrürasyon bölgesi. [9].

4.4.1.1 tabaka oluşumu

Burada oluşan tabaka diğer nitrürasyon metodlarında olduğu gibi üstte beyaz bir tabakayla altta bir difüzyon tabakasından meydana gelir. Beyaz tabakalar genelde birkaç μ kalınlığındadır ve Şekil 4.12' de olduğu gibi yapısı beyaz olarak görülür. Bu tabaka proses parametrelerine bağlı olarak (ϵ) fazı ($\text{Fe}_{2-3}\text{N.C}$) veya (γ') fazı (Fe_4N) olarak oluşur. Her iki fazda bulundukları yerde birbirini etkilemeden kalınlıkları artar, (γ') fazı tüm nitrürasyon metodlarında aynı olup farklılık göstermez ama (ϵ) fazındaki farklılık diğerlerinden ayrılma nedenidir.

Azotun az olması daha yoğun (γ') fazlı tabaka meydana getirmesini sağlar. Eğer (ϵ) ve (γ') fazları karşılaştırılırsa (ϵ) fazları daha fazla sertlik fakat daha az tokluk



Şekil 4.12. İyon nitrülenmiş tabakanın görünümü.

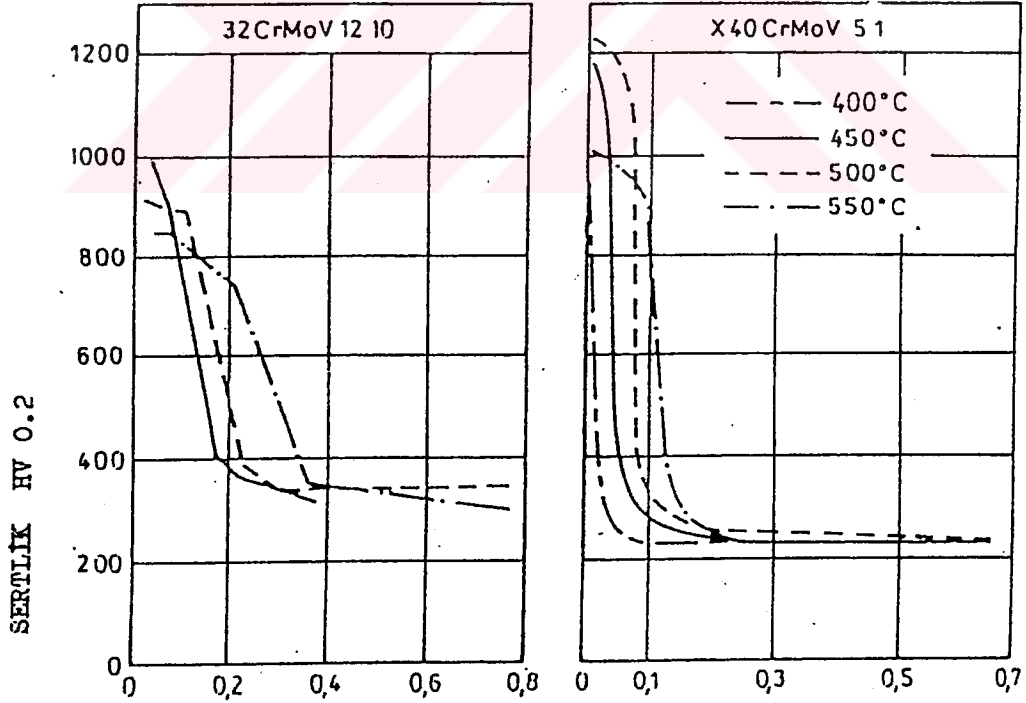
temin eder. Sertliklerin farklı olması aşınmada çok büyük rol oynamaz. Uygun proses parametreleri, (N_2 miktarının düşürülmesi alçak basınç, yüksek gerilim) seçilmesiyle beyaz tabaka tamamen ortadan kaldırılabilir. Bu suretle de parçalarda yorulma mukavemeti çok artırılmış olur. Beyaz tabaka genellikle keskin sınırlarla difüzyon tabakasına bağlıdır. Burada ara ağ tabakalarda azot çözülmüş olarak (okteder boşluğu) görülür.

Azotun bol olması nitrür teşekkülünü kolaylaştırır. Küçük nitrür ayrılmaları kafes oluşumunu sağlar ve sertliğin artmasına neden olur. Nitrür teşekkül ettirecek alaşım

elemanlarının (Al, Cr, Mo, V, Ti) çokluğu sertliği daha da arttırmaktadır. Difüze olan azot önce kafes içinde çözünerek kafesi gererek sertlik artışı sağlar daha fazlası ise alaşım elemanlarıyla sert nitürler oluşturur. Kafesin azot atomlarınca doyurulması ile nitürasyon tabakasında basma karakterinde büyük artık gerilmeler hasil olur. Bu basma artık gerilmeleri bir çok durumda oldukça faydalı sonuçlar doğurur. Bilhassa tane sınırlarında büyük azot çözünümü istenmez aksi halde malzemenin tokluğu çok azalır.

4.4.1.2 proses parametreleri

Gaz içerisindeki azot miktarının az olması tek fazlı (γ') beyaz tabakanın teşekkülünü zorlaştırır. Örneğin ilave argon, azot oranını azaltır bu nedenle da saf difüzyon tabakası oluşur.



Şekil 4.13. Plazma nitürasyonunda sertliğin derinliğe ilerlemesi[11].

Tablo 4.3. Plazma nitrürasyonunun avantaj ve dezavantajları [12].

AVANTAJLAR	DEZAVANTAJLAR
-Geniş sıcaklık aralığı.	-Pahalı sistem.
-İşlem zamanının kısaltılması.	-Üzeri pasta ile kapatılamaz.
-Kontrollü tabaka kalınlığı.	
-Pasifleme problemi yok.	
-İşlem sonu temizlemeye ihtiyaç yok.	

Karbon miktarının az olması beyaz tabakanın kalınlaşmasını, buna karşın çoğalması tabakanın incelmelerini temin eder. Toplam olarak Fe_4N (γ') fazı, (ϵ) fazının ($\text{Fe}_{2.3}\text{C}$, N) lehine geriye gider. Ayrıca gaz içerisindeki azot miktarının azalması, tane sınırlarındaki karbon ayrılmasına mani olur.

Plazma nitrürasyonundaki en büyük avantaj alçak sıcaklıklarda (300-600 °C) کافی derecede sertliğin derinliğe nüfusunun temini ve yüksek yüzey sertliğinin elde edilmesidir. Bu işlemler plazmada termodinamik dengelenme şartlarının sağlanmasıyla yürür. Parçanın ısınması iyon bombardımanı ile meydana gelir. Genelde ilave bir ısıtmaya ihtiyaç yoktur. Tam bir sıcaklık ayarını temin için, puls (nabız-plazma) tekniği kullanılır. Burada kullanılan doğru akım sabit olarak gönderilmez, nabız atışı gibi. Bir max. bir min. indirilir, tespit edilen atış-durma münasebetlerinde enerji akışı tamamen kontrol altına alınabilir. Sıcaklık sabitlerinin iyi tespit edilmesiyle ark teşekkülüne mani olunur ve yüzeylerin zarar görmesi söz konusu olmaz. Bu yüzden bir çok hallerde ilave bir ısıtma icap edebilir. Gaz basıncı ve elektrik akımı sadece beyaz tabakaya tesir eder. Ama bu alana giren çelikler üzerine henüz incelemeler yapılmamıştır. Metal yüzeyindeki sertlik derinliği (difüzyon) süre ayarı ile temin edilebilir ve bu $\sqrt{t}$ kanunu ile metaller için tarif edilebilir. İşlemin uygulanma süresi 30 dakika ile 36 saat arasında değişir. Plazma tesiri ile izafi olarak daha kalın nitrür tabakası elde edilir.

4.4.1.3 plastik eşya imalatındaki uygulamalar

Prensipde bütün çeliklere nitrürasyon yapılabilir. Son zamanlarda bazı özel nitrürasyon çeliklerinde istenen yüzey sertlikleri ve bunun derinliğe doğru nüfuziyetinin artırılması sayesinde, bu tür çelikler özellikle plastifikasyon bölgesinde kullanılmaya başlandı. Mesela silindirler, burgular, geri kapama ventilleri ve yolluklar bu malzemelerden yapılmaya başlandı. Diğer kullanma bölgeleri ise bilhassa sürtünmenin çok olduğu yerler ve yapışmaya temayülü az olması lazım gelen yerlerdir.

İnce CVD tabakaları, sıcak çalışan makina elemanlarında ve kalıplarda, termik zorlamaları azaltırlar dolayısıyla termik yorulmaları iyileştirirler. Bu tasnif hangi metodun seçilebileceğinin tahminini kolaylaştırır. Ama kati bir çözüm için sistemin analizi gerekir.

Tablo 4.4. Yüzey takalarının temel tipleri.

İstenen yüzey özellikleri	Yüzey teşekkala	Kaplama metodu	Buna alt misaller
1) Kazınmaya ve adesyona karşı yüksek dayanma, mäsaaede edilen az aşınma.	İnce, özel kendi malzemesi, sertleşmiş ast yapı.	Nitrürasyon, semente	Talaş kaldıran aletler, soğuk şekil verme kalıpları.
2) Kazınmaya, aşınmaya ve korozyona yüksek mukavemet, mäsaaede edilen az aşınma.	İnce yabancı tabaka.	CVD, PVD, galvaniz, nitrürasyon	Talaş kaldıran aletler, soğuk ve sıcak şekil verme kalıpları, hidrolik elemanlar, yataklar.
3) Çok kuvvetli kazınmaya ve korozyon mukavemeti, sıcak gaz korozyonu, ısısalasyonu, mäsaaede edilen büyük aşınma.	Kalın yabancı kat.	Kalın kaplama metodu mesela, termik pas-kartme kaynaklı kaplama.	Parçalama makineleri, hazırlama ve sevk makineleri, gaz türbin kanatları, malzemelerin onarım yoluyla yeniden kazanılması.
4) Yüzey yorulmasına karşı mukavemet, kazınmaya mukavemet, termik yorulma, zorlamanın derinliğine tesiri.	Bizzat malzemesi kat olarak sağlamlaşması.	Termik yüzey sertliği semente, nitrürasyon soğuk sertleşmiş.	Dişliler, hadde silindirleri, silindir yatakları, eksantrik miller, sıcak şekil verme kalıpları.

Tablo 4.4' de baktığımız zaman, yüzeydeki yüksek yorulma mukavemetini, elde edebilmek için sadece konvensiyonel yüzey değiştirme metodlarının bulunduğu açıkça görülür. Bu yüzden bu metodlar ekonomiklikleri mevcut olan tecrübelerden dolayı, gittikçe gelişmektedir. Zira yeni metodlar bu klasik metodların devamı olmak mecburiyetindedir. Burada yeni araştırmalara karşı gelen en büyük etken, kullanma şartlarının optimize edilmesi ve ayrıca imalat teknolojisi ile üst yüzey yapısı, üst tabaka özellikleri arasındaki bilgilerin çok derin bilinmesi mecburiyetinden doğmaktadır. Gelişmede en fazla ilerleyen, kısmen sistemin otomatik hale getirilerek imalatın artırılması imalatın fleksibil hale getirilmesi, kalite garantisi ve fiyat düşmesi olarak tespit edilebilir.

Tablo 4.4.' de diğer metodların, nitrülemeye yetişemediği alanlar görülmektedir.

4.1.4.4 nitrürasyon tabakasının özellikleri ve yapısı

Nitrürasyon tabakası temelde sanki yabancı bir malzemenin yüzeye kaplanması gibidir, bu malzeme bizzat kendi malzemesinin içerisine nitrürleri yerleştirmekle elde edilir. Aynı şekilde teşekkül ettirilen beyaz tabaka, kalınlık faz teşekkülü vs. açısından bir çok şekilde yapılabilir. Bu tabakanın teşekkülünün tanımı için Tablo 4.5 gibi bir tablo yapılabilir.

Tablo 4.5. Tabakaların özellikleri [13].

Beyaz tabaka	:	Kalınlık	0....30µm
		Faz	ε-Nitrar ε+δ'-Nitrar δ'-Nitrar Özel Nitrar Fe ₃ O ₄
		Sertlik	500.....1000HVO,01
Difazyon tabakası	:	Kalınlık	20.....1000µm
		Maks. sertlik	300.....1200(1600) HVO,1
		Sertliğin artışı	50.....800 HVO,1

Nitrürasyon yapılmış parçaların, aşınmaya, kimyasal reaksiyonlara ve elektro-kimyasal etkilere dayanıklılığını beyaz tabaka tespit eder. Buna mukabil değişken yüklere ve termik zorlamalara karşı mukavemeti difüzyon tabakası karşılar. Bir nitrürasyon tabakasının özellikleri ve nitrürasyon yapılmış tabakaların kullanmadaki tutumları Şekil 4.14' de gösterilmiştir. Nitrür pasifize edilebilir, bu yüzden atmosfer korozyonuna ve nötr tuz çözeltilerine mukavemet gösterir. Ayrıca nitrür tabakası adhezyona çok az eğilimlidir. Zira hegzagonal iç yapı aşınmayı azaltır ve kaymayı kolaylaştırır. Korozyona ve aşınmaya karşı mukavemeti olan bu tabakası nitrürasyondan sonra okside edilmekle daha da artırılabilir. Bu suretle de erimiş haldeki alüminyuma da karşı mukavemetlidir. Yani alüminyum demiri yapısına alamaz.



Şekil 4.14 . Nitrürasyon tabakasının özellikleri ve nitrürasyon yapılmış parçaların kullanmadaki tutumları[13].

Buna karşın dinamik yüklere, azalan sünekliğinden dolayı mukavim değildir. ε tabakası daha ziyade koruyucu bir tabakadır ve sürtünme kuvvetleri ile kimyasal reaksiyonlara karşı koyabilir.

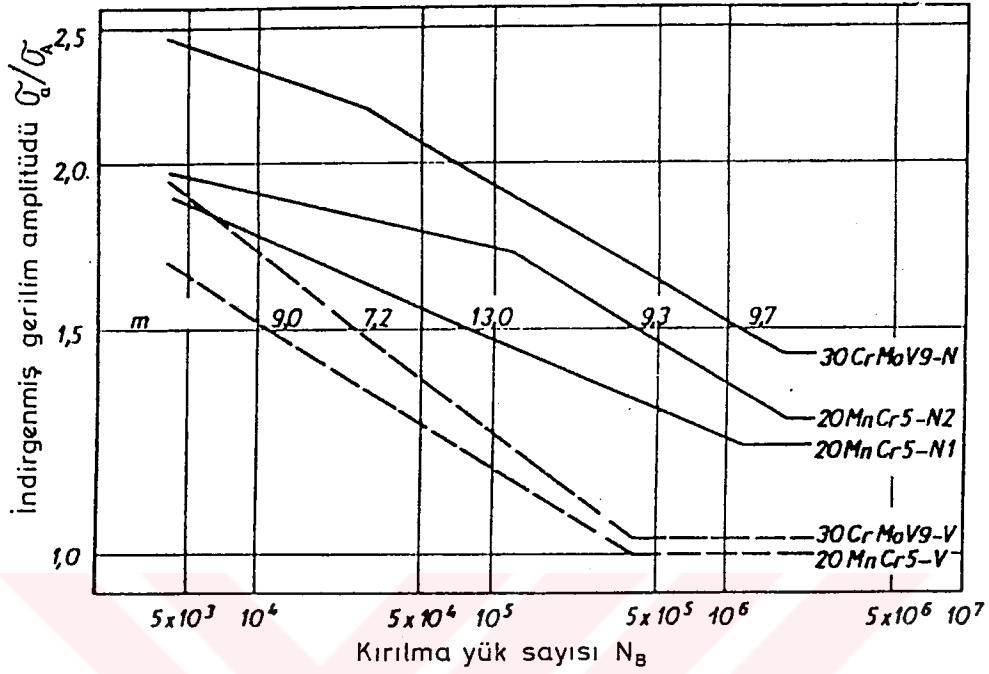
Nitrür tabakasının içeriye doğru nüfuz etmesi mukavemet değerlerini artırır. Bu değerler yüksek sıcaklıklarda da muhafaza edilir. Bu yüzden nitrür tabakasında ana malzemeye göre sığağa karşı mukavemet ve meneviş sıcaklığı artar. Fakat bu değerlerin artması malzemenin sünekliğini azaltır. Nitrürasyonda nitrürleme şartları ana malzemenin kimyasal yapısına ve karbonun dağılımına bağlıdır. Bu hadise sünekliğe tesir eden ve çekirdek sınırlarına paralel olarak difüzyonun ön kısmında teşekkül eden, sementit yüzündendir. Sertlik derinliği 0,5 mm'den fazla olduğu takdirde yuvarlanma mukavemeti artar. Tablo 4.6'de nitrürasyon yapılmış malzemelerde sürekli dayanımın, sementasyon yapılmış çeliklerin özelliklerine ulaştığı görülmektedir.

Sürekli mukavemeti tayin eden, sertliğin derinliği değil, gerilmenin olduğu yerde mukavemetin olmasıdır. Bugüne kadar beyaz tabakaların daha iyi neticeler verdiği olması tercih edilir.

Tablo 4.6. Tabaka teşekkülü ve sürekli yuvarlanma mukavemeti[14].

Malzeme	İşlem	Beyaz tabaka		Yüzey sertliği HVO,1	Sertlik derinliği (KH+50) HVO,1 mm	Daimi yuvarlanma mukavemeti MPa
		Tabaka yapısı	Tabaka kalınlığı μm			
20MnCr5	Sementasyon	—	—	760	0.5	4300
				760	0.5	4500
	Nitrürleme	γ'	8	650	0.42	3520
		$\epsilon (\gamma')$	25	685	0.48	3800
		$\epsilon (\gamma')$	30	640	0.55	4440
30CrMoV9	Nitrürleme	γ'	12	720	0.37	4330
		$\epsilon (\gamma')$	15	750	0.39	4020

Şekil 4.15' de görüldüğü gibi yüzey sertleştirilmenin değişken zorlamalarına karşı iyi neticeler verdiği bir hakikattir. Tabaka yapısının zamana bağlı olarak sürekli mukavemete tesiri Wöhler eğrilerinde görülmektedir. Bütün literatürlerde sürekli



Şekil 4.15. Norm Wöhler Eğrileri[15].

mukavemeti, nitrürasyon derinliğinin ve çekirdek sertliğinin tayin ettiği yazılmaktadır. Wöhler eğrilerinde değerlerin artması, sünekliğin artmasına dolayısıyla da teşekkül eden tabakanın yapısına tesir eder.

Sürekli yuvarlanma mukavemetinin tayininde kaplamanın derinliğinin ölçüsünden ziyade, mukavemet ve gerilmenin en büyük olduğu kısımda, gerilme dağılımının incelenmesi gerekir. Pratikte dişli kutularının imalinde tahdit edilmiş bir ε tabakası tercih edilmektedir.

Tablo 4.7. Nitrürlenmiş 20MnCr5 ve CrMoV9 malzemelerinin yüzey sertlikleri[15]

Malzemenin cinsi	Değişik Nitrürleme şekilleri	Yüzey sertleştirme HVO,1	Sertleş-tirme HVO,1	Sertlik artırması HVO,1	Nitrürasyon derinliği mm
20MnCr5	N 1	595	290	305	0.24
	N 2	585	275	310	0.44
30CrMoV9	N	780	300	480	0.47

Nitrürlenmiş çeliklerin, titreşimlere karşı mukavemeti ve basma mukavemetinde yükseldiği aşıkardır. Şekil4.15'de nitrürlenmiş 2OMnCr5 ve 3OCrMoV9 çeliklerinin nitrürlenmemişleri ile mukayesesi görülmektedir. Wöhler eğrilerinin yukarıya kaymasıyla, zamana bağlı sürekli mukavemetin, tabaka kalınlığı ile beraber arttığı görülmektedir.

Araştırmalar diğer çeliklerinde Wöhler eğrilerinin yukarıya doğru kaymasıyla, difüzyon tabakasının tokluğuna çok fazla tesir ettiği tespit edilmiştir. Henüz çentik için yapılan deneylerden tam sonuç alınamamıştır. Nitrür tabakasının, iç yapının özelliğine ve şekline bağlılığı kabaca Tablo 4.8'de gösterilmiştir. Somut kullanma halinde muhakkak sistem analizi yapmak gerekir. Bu analizin yapılması, fazların seçimi, beyaz tabakanın kimyasal bileşimi ve kalınlığı, sertliğe tesir eden asıl malzeme ve difüzyon tabakasında teşekkül eden gerilmeler içinde geçerlidir.

Tablo 4.8. Zorlamalara uygun olarak nitrür tabaka seçimi[16].

Zorlanma tarzı	Beyaz tabaka Tipi ①	Kalınlık μm	Elde edilen asıl tabaka Difüzyon tabakası
Kazıma (Abrasion)	ϵ -Oksitlenmiş, $\epsilon, \delta' \geq 10$ Beyaz tabakasız -		Tali tabaka Yüksek yüzey sertliği
Adesyon (Adhäsion)	ϵ, ϵ -Oksitlenmiş ≥ 10		Tali tabaka
Üst yüzeyin bozulması	ϵ, δ' Beyaz tabakasız $0 \dots \leq 10$		Yüksek yüzey sertliği ($>600 \text{ HV } 0.1$) Nitrürasyon derinliği $>0.35\text{mm}$ yüksek sâneklik yüksek öz basınç gerilmesi
Yorulma	Tali tabaka	-	Yüksek yüzey sertliği sertlik artışı Nitrürasyon derinliği çekirdek sertliği ve sâneklik ② yüksek öz basınç gerilmesi
Termik yorulma	Tali tabaka		Yüksek yüzey sertliği ($>1000 \text{ HV } 0.1$) Nitrürasyon derinliği yüksek
Korosyon	ϵ -Oksitlenmiş,	~ 20	Tali tabaka
Metal aşındırması	ϵ -Oksitlenmiş	≥ 10	Tali tabaka

Talaşlı kesme takımlarında ve kalıplarda ömrü arttırmak için ledeburitik yapıları çeliklerde bağlantı tabakasının nitrürleme yapılması gerekir. Kam millerinde aşınmayı önlemek için γ' tabakasına oksit ilave edilmesi gereklidir. Bu iki ekstrem hal haricinde normal olarak γ' ve ϵ beyaz tabakaları sürtünmeden meydana gelen aşınmaları önleyici niteliktedir. Bu yüzden tabaka parametreleri model üzerinde tecrübe edildikten sonra tespit edilmelidir.

Beyaz tabakanın kafi derecede koruyabilmesi yüzey basıncının büyüklüğüne bağlıdır. Alçak yüzey basınçlarında temel malzemenin pik veya alaşımsız çelik olmasında bir mahsur yoktur. Yüzey basınçları arttığı takdirde, yüzeyde daha sert bir tabakaya ve sertliğin derinliğinin artmasına ihtiyaç duyulur. %1 Cr ihtiva eden bir çelik ıslah edilmiş halde sertliği 300 - 400 HV artar. %2,5 - %3 arasındaki Cr fazlalığı ise 450 - 750 HV artırır. Buradaki alt değerler %0,3 - %0,4 arasında C ihtiva ederler. Üst değerler ise % 0,1 den az C içindir. %0,4'ün üzerindeki Al sertliği 900 HV'ya kadar çıkarılabilir.

4.5 Modern Yüzey İşleme Tekniklerinde Nitrürlemenin Yeri

Bilindiği gibi 1960 yıllarından beri nitrürleme, Aşınma, Korozyon ve Titreşimli zorlama koşullarına karşı daha uzun ömür elde edebilmek için sanayinin her kolunda kullanılmaktadır. Bu ilk önce banyolarda nitrürleme ile başladı, daha sonra gaz ortamda nitrürleme yapılmaya başladı, daha sonra da plazma nitrürleme ve nitrokarbürleme kullanılmaya başladı. Bugün Amerika, Rusya, Almanya, Çin, Japonya, İngiltere, İspanya, İtalya, Avusturya, Hollanda, Macaristan, Polonya, Romanya ve Bulgaristan gibi memleketlerde plazma nitrürleme sanayide çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Bilhassa doğu blok memleketlerde 1990 dan önceki soğuk harp senelerinde silah sanayisinde çok yaygın olarak, namlu içlerinde, mekanizmaların hareketli ve sürtünmeye maruz kalan yerlerinde vazgeçilmez bir metod olarak kullanılıyordu.

Her geçen gün yeni bir geliştirme konvansiyonel kullanımların sınırını arttırmaktadır. Hatta bu tekniğin kullanılmasından sonra, yeni malzemelere ihtiyaç olup olmadığı sorulmaya başlandı. Makina elemanlarının ve kalıplarının yüzeyleri, malzemenin maruz olacağı kompleks mekanik ve kimyasal etkilerden sonra fonksiyonunu yapıp yapmayacağı açısından çok önemlidir. Aşınma zorlamalarının haricinde, yüzeyde meydana gelen yüksek dereceli gerilmeler, mesela çentikten doğan gerilmeler ile yüksek ısı yığılmalarından meydana gelen gerilmelerde gözönüne

alınmalıdır. Yüksek dereceli seri halindeki mekanik zorlamaların, yüzeyde meydana getirdiği hasarlar, malzeme yorulmalarına sebep olur.

Malzeme hasarlarının bu temel mekanizmalarından hareket ederek, malzeme yüzeyinde meydana gelecek hasarları azaltabilmek için yüzeyden istenen özellikler Tablo 4.9' daki gibi sıralanabilir.

Tablo 4.9. Hasar cinsine göre yüzeyde istenen özellikler.

Hasar cinsi	Hasara karşı istenen yüzeydeki özellikler
Aşınma	Kafi derecedeki tokluk ve yüksek sertlik
Yapışma	Adhesif bağlama kuvveti , metal eşlemeye müsait olmayan, yabancı bir malzeme gibi üst tabaka heterojen üst yapıli deformasyona meyli azalan malzeme ve yüksek sertlik.
Sürtünmeye karşı	Reaksiyonlara mukavim malzeme. Mesela oksit tabakası daha doğrusu koruyucu tabaka.
Üst yüzey yorulması: (yüzey bozulması, malzeme yorulması)	Yüksek toklukta, yüksek mukavemet iç yapıdan doğacak gerilme yoğunlaşması. Mesela, malzemenin homojenliği, yüzeye yakın yerlerde basınca mukavemet
Termik yorulma	Yüksek sıcaklık mukavemeti ve homojen iç yapı ısı geçişini frenleyen tabakayla ısıli gerilmelerinin azaltılması.
Korozyon	Termodinamik olarak stabil malzeme, pasiflenme özelliğine sahip malzeme.

Yüzeyde oluşturulacak tabaka kalınlığı, tesir eden zorlamaların derinliğine tesirlerinden, ve yüzeyden müsaade edilen aşınma miktarından tespit edilir. Tesir eden faktörlerin çokluğu ve hasara sebep olan zorlamalarında üst üste yığılması neticesinde bu yapılan tahminin ancak çok kaba olabileceği görülür. Bundan sonra malzemeden istenen özellikler, iç yapının durumu üst tabakanın kalınlığı aşağıda izah edildiği gibi görülür.

- 1) Kuvvetlendirilmiş ve yüksek aşınma mukavemeti olan ince bir tabaka
- 2) Korozyona ve aşınmaya mukavim yabancı bir madde gibi ince bir tabaka
- 3) Korozyona ve aşınmaya mukavim sıcaklığın akışını frenleyen yabancı bir madde gibi nispeten kalın bir tabaka
- 4) Yüksek yorulma mukavemetine sahip bir yabancı madde gibi nispeten kalın bir tabaka

Tablo 4.10. Malzemelerin sertlikleri [17].

Malzeme	Sertlik(HV)
Plastik malzemeler	15 - 30
Gümüş	100
Bronz	200
Sertleştirilmiş çelik	900
Nitrürlenmiş çelik	1300 - 1700
Sert krom kaplama	1000 - 1200 galvanik
Sert metal	1400 - 1800
Rubin, Safir	2000 - 2200
Aluoksitfilmi	2100 - 2600 anodik
Titannitrür Tabakası	2600 - 2800
Titankarbür Tabakası	3300 - 4000
Silisyumcarbit	4000
Bor	3800 - 4200
Borkarbit	5000
Elmas	10000

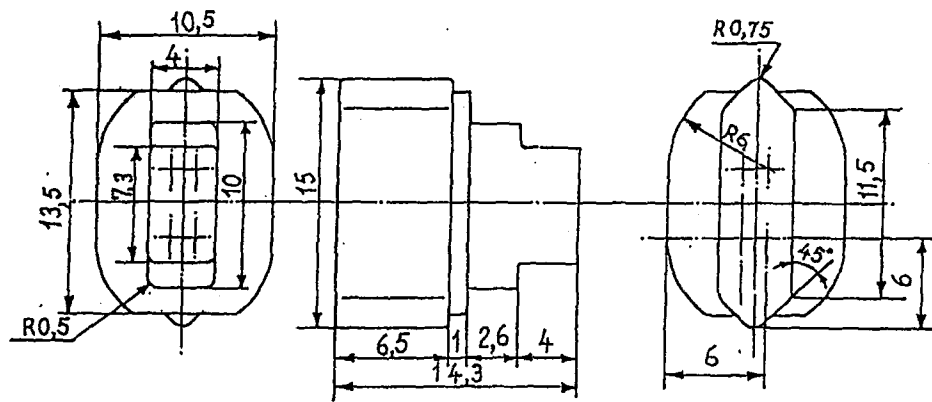
BÖLÜM 5

SICAK DÖVME KALIPLARININ İYON NİTRÜRASYONU VE ÖMÜR DENEYLERİ

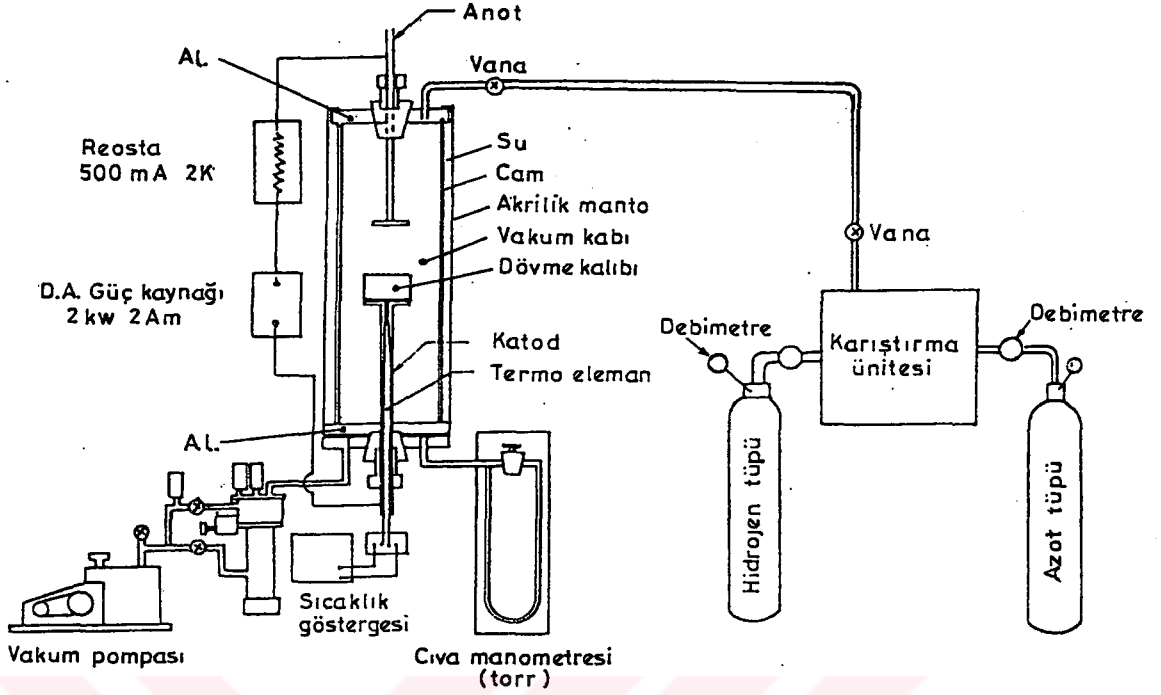
Ömür deneylerinin yapılabilmesi için iki kademe gerekiyordu. İlk işlem Şekil 5.1' de gösterilen ve dövme parçasıyla direk temas eden mührelerin iyon nitrürasyonu, ikinci işlem ise bizzat ömür deneylerinin yani sıcak dövme işleminin yapılmasıydı.

5.1. Nitrüleme Yapılan Deney Düzeninin Tanımı :

Şekil 5.2' de İ.T.Ü. Mak. Fak. Makina Malzemesi ve İmalat Teknolojisi A.B.D. de geliştirilen ve max 10x10x10 cm. ölçüsünde parçanın nitrülenebileceği 150 Hz lik "Puls" akımla çalışan deneylerin yapıldığı nitrüleme tesisi gösterilmektedir.



Şekil 5.1. İspanyolet kilit dili.



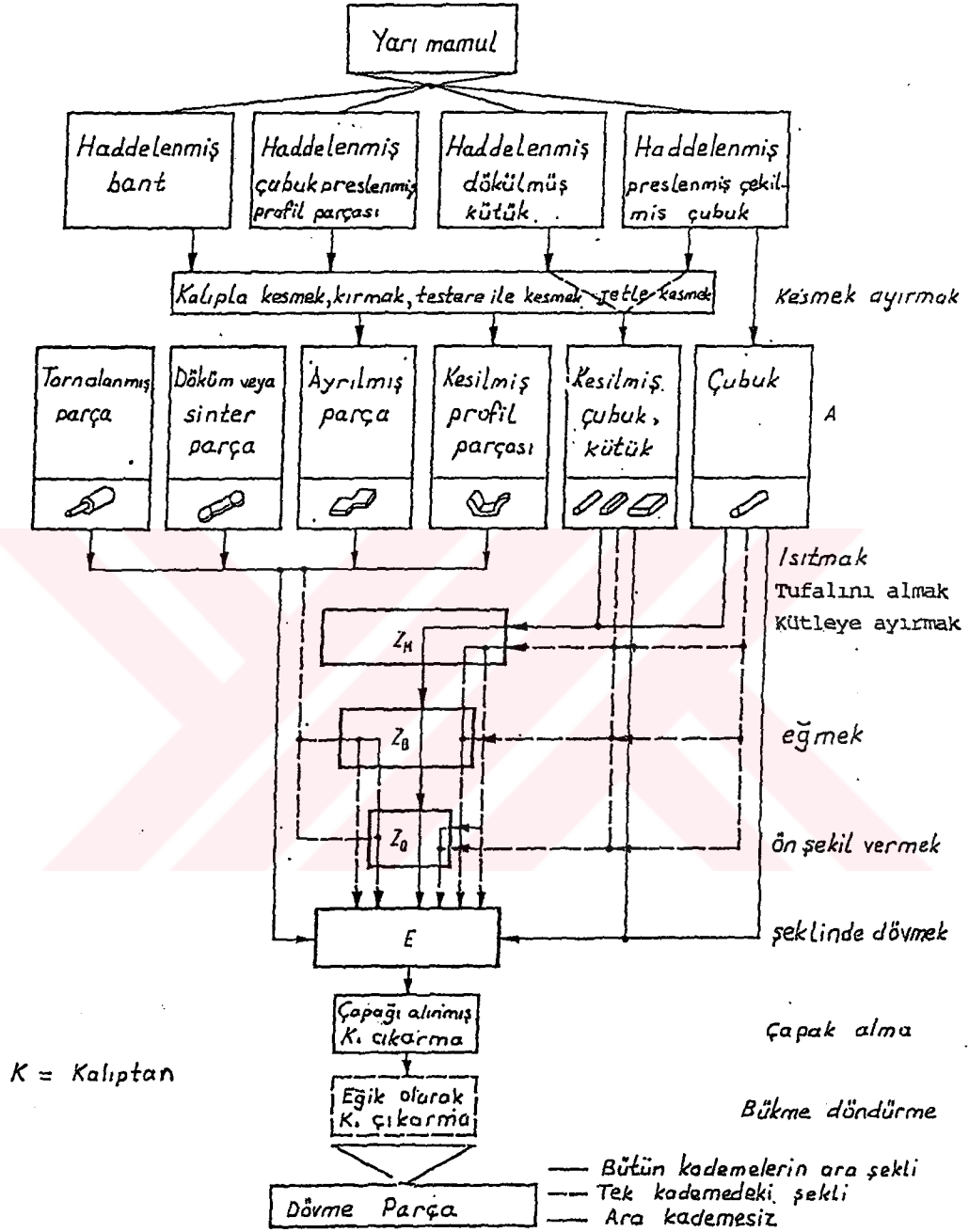
Şekil 5.2. Nitrürleme deney düzeni.

Tesisteki bütün ayarlar manuel olarak yapılmaktadır. 4.4.1 paragrafında plasma nitrürasyonu etraflı olarak izah edilmişti, bu yüzden teorik kısma bu bölümde ayrıca yer verilmemiştir.

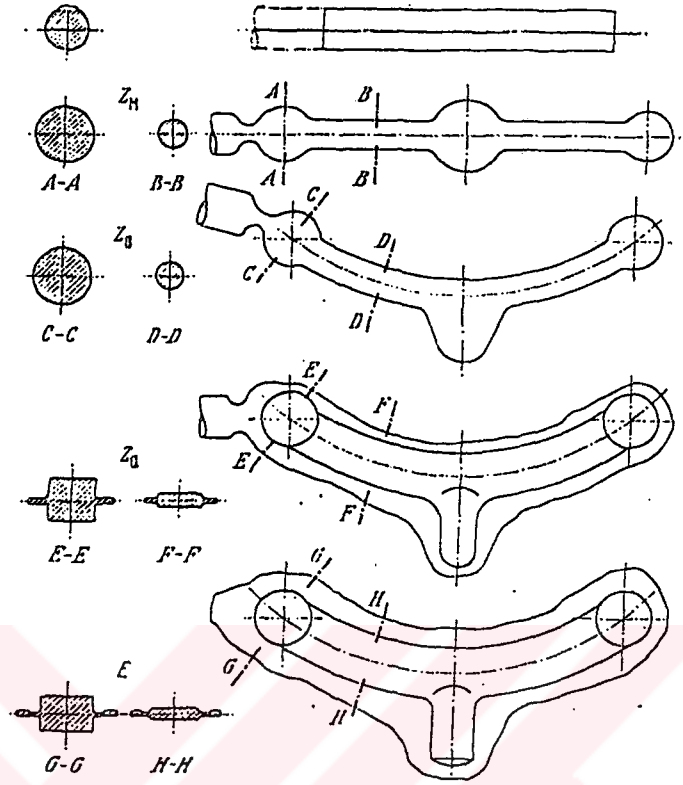
5.2. Deneyde Kullanılan Dövme Parçası, Deney Kalıpları Ve Deney Preslerinin Tanımı :

Genelde dövme işleminde başlangıçta kullanılan yarı mamul malzemeler haddelenmiş veya preslenmiş parçalardır. Bazı hallerde ara formlar yapılmak mecburiyetindedir. Şekil 5.3'de bu işlemin nasıl yapıldığı gösterilmekte ve Şekil 5.4'de bir dövme parçasının imalatı gösterilmektedir. Burada kütleye ayırmak, dövme parçasının son şekline uygun bir ara dövme şeklinin saptanması demektir.

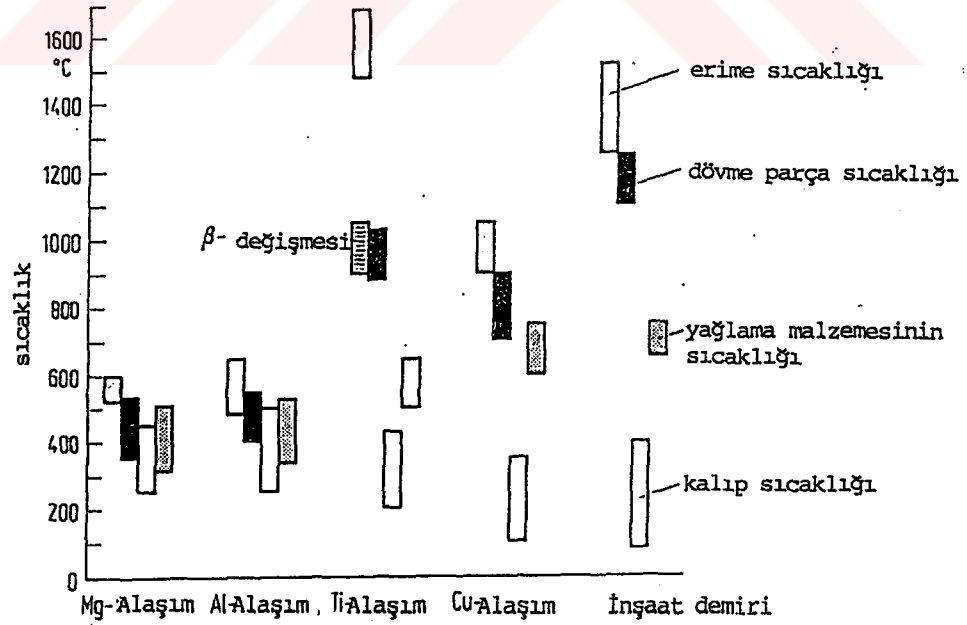
Bükme veya tornalamakda aynı manaya gelir, yani son şekle uygun ara parçaya ön Şekil vermekle, ana şekle uygun bir şekil bulmak demektir. Son şekil elde edildikten sonra genelde çapağı alınır, yeniden bükülebilir veya talaşlı imalat yapılabilir.



Şekil 5.3. A başlangıç şeklinden itibaren parçanın dövülmesindeki kademeler. Z_m kütlesine verilen ara şekil, Z_q ön şekil vermedeki kesit, E son şekil [3].

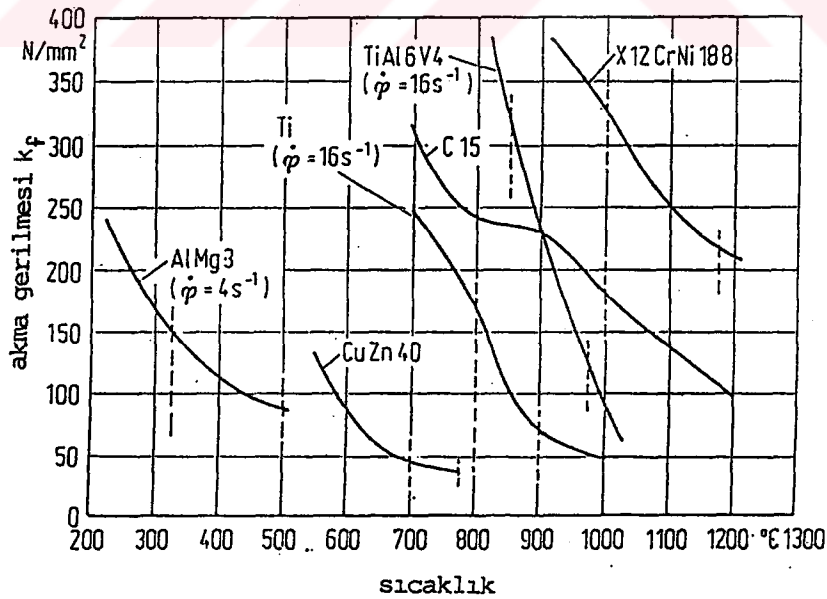


Şekil 5.4. Şekil 5.3' deki prensibe göre dövme parça imali [3].



Şekil 5.5. Sıcak dövme sırasında kalıp ve parça sıcaklığı [3].

Metal malzemelerde sıcaklık arttıkça dövme işlemide kolaylaşır. Çıkılabilecek üst sıcaklığı malzemenin erime sıcaklığı tespit eder. Ayrıca fazların değişimi (Ti alaşımlarında) veya kimyasal reaksiyonlar (çok fazla tufal teşekkülü dekarbüre veya çekirdek sınırlarındaki oksitlenme) ve iri tane büyüklüğü de max. sıcaklığı tespit eder. Rekristalisasyon sıcaklığı ve faz değişimi (çeliklerde $\alpha - \gamma$ değişimi) sıcaklığın alt sınırını tespit eder. Şekil 5.5' de muhtelif malzeme gruplarının dövme sıcaklıkları verilmiştir. Herhangi bir malzemenin dövme sıcaklığı bu tablodan basit olarak alınamaz. Şekil 5.5' de Al ve Mg alaşımlarının dövme sıcaklıklarının pek yakın olduğunu göstermektedir. Zira bu malzemelerin dövülmesinde kullanılan teknoloji çok önemlidir. İmalatın gidişatı, makinaların seçimi, erime sıcaklığından dolayı dövme sıcaklığını tespit eder. (Mesela Al. alaşımları büyük şekil değiştirme oranlarında serbest düşmeli şekilde sık dövülürse, erime sıcaklığına ulaşır) dövme sıcaklığına kalıp sıcaklığı dolayısıyla, kalıp malzemesi direk tesir eder. Kalıp sıcaklığı ile dövme parçası sıcaklığı, dövme parçasının soğuması, kalıbın ısınması basınçlı zamana bağlı olduğundan makina seçiminde tesir eder.



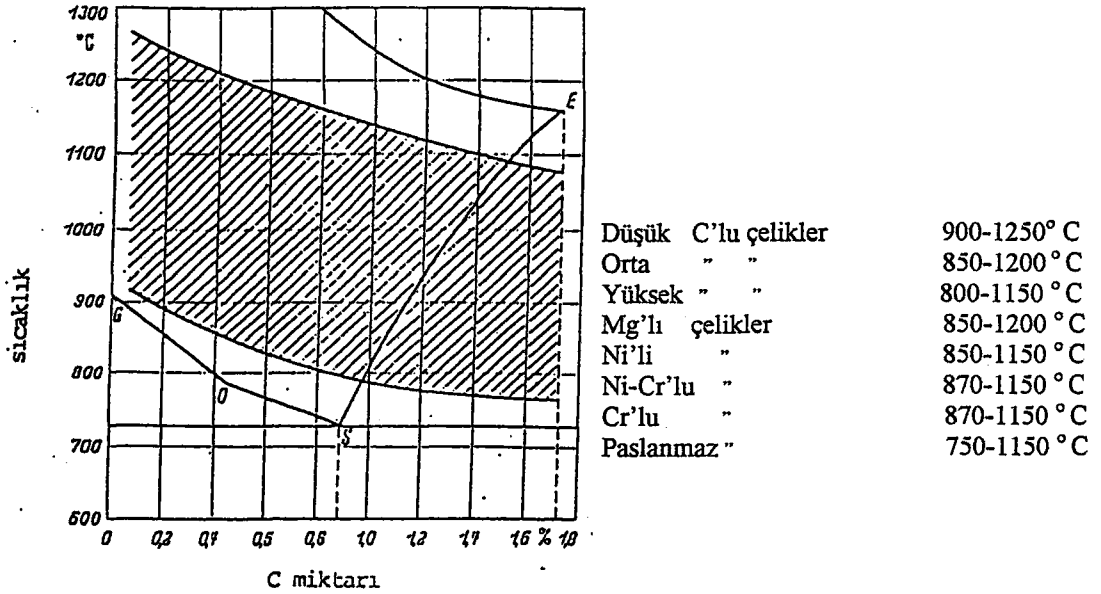
Şekil 5.6. Metal malzemelerin sıcaklığa göre akma gerilmeleri[3]

Mesela hidrolik pres Al ve Mg alaşımları için çok uygundur, ama çeliklerin dövülmesine uygun değildir. Şekil 5.6' da çok kullanılan malzemelerin muhtelif dövme sıcaklıklarında, akma gerilmelerinin mukayesesi gösterilmiştir. Kf değerinden malzemenin dövme güçlük derecesi tayin edilir. Sıcaklığın düşmesiyle dikleşen akma gerilme eğrisinin sonucunda, dar sıcaklık alanında çalışma mecburiyeti doğar. Alaşımsız ve düşük alaşımlı çelikler, eşit sıcaklıklarda eşit şekil değiştirmeye sahiptirler. Şekil 5.7' de görüldüğü gibi yüksek C'lu çelikler daha düşük dövme sıcaklıkları ve yüksek akma gerilmelerine sahiptirler.

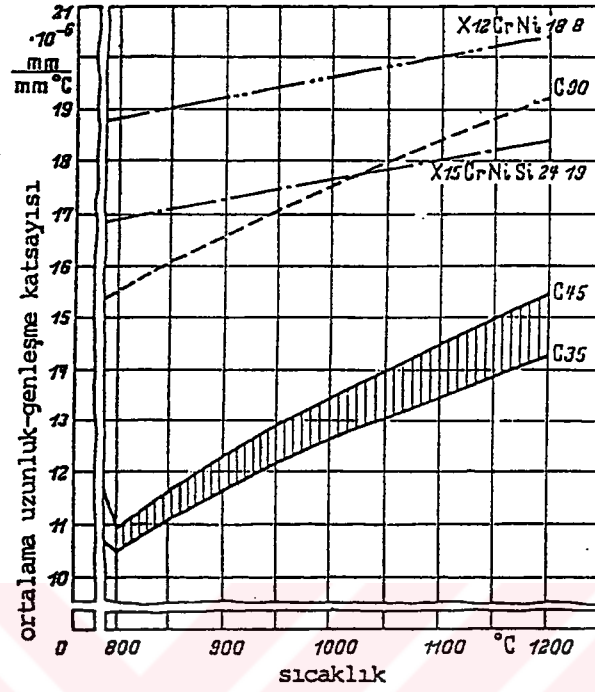
Kükürt ilavesi malzemenin dövülmesini zorlaştırır. DIN 7100 göre dövme malzemeleri P ile gösterilir. Buna örnek UP St 37-2 gösterilebilir.

Şekil 5.8' de muhtelif çeliklerin uzama katsayıları verilmiştir. Dövülmüş bir malzemede boy kısalması (büzülme) şu formülle hesaplanır.

$$\Delta L_t = \alpha \cdot t \cdot 10^{-4} \%$$



Şekil 5.7. C miktarına göre çeliklerin dövme sıcaklıkları. [18]



Şekil 5.8. 20 °C'den itibaren muhtelif malzemelerin ortalama uzama katsayıları. [19]

Tablo 5.1. Bazı çeliklerin fiziksel özellikleri.

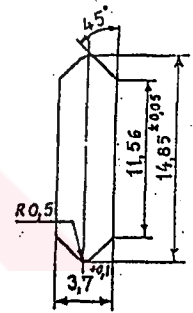
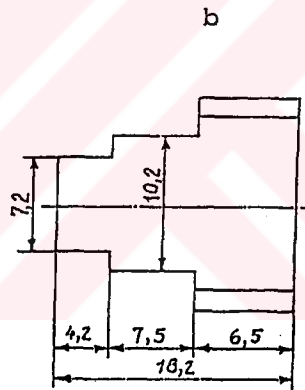
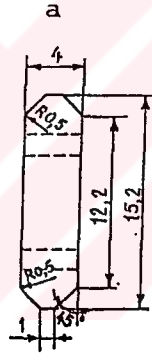
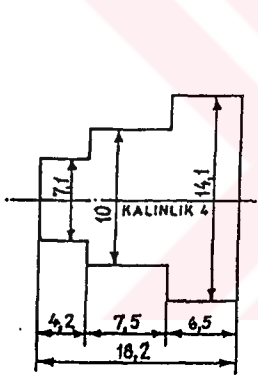
a) C35, b) X40CrMoV 51, c) 57NiCrMoV 77.

Sıcaklık	Akma sınırı			E-Modül			Isınma ısısı			20°C ve t°C ta uzama katsayısı			Isı iletkenlik katsayısı			Yoğunluk		
C	N/mm²			kN/mm²			kJ/kg °C			mm/mm °C			W/m °C			g/cm³		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
20	430	1350	910	210	222		0,475		0,475				33		36	7,85		7,83
100		1280	890	208	217				0,511				35		37	7,82		7,8
200		1200	870	202	210		0,500		0,552	12,9	11,4	12,16	36		39,5	7,80		7,77
300		1130	850	195	203				0,595		12,2	13,32	35		38,2	7,77		7,73
400		1020	770	185	193		0,540		0,637	13,9	12,5	13,72	34		37,8	7,73		7,70
500		880	600	175	183				0,693		12,9	14,08			37,1	7,69		7,67
600		570	330	165	170		0,59		0,780	14,6	13,1	14,46	31		36,4	7,66		7,63
700		150	100		158						13,3	14,81			35,7	7,61		7,59
800					143		0,69			13	13,5	12,13				7,61		7,61
900					127						11,5	12,64				7,57		7,57
1000							0,68			13,5		13,66				7,52		7,52

Tablo 5.2 Değişik çeliklerin kalıba konma sıcaklıklarındaki büzülme değerleri. [20]

Malzeme	Büzülme $\Delta l/l = \alpha \cdot t \cdot 10^{-4}$ (t =kalıba koyma sıcaklığı)		
	800 °C	950 °C	1100 °C
C 35	0,84%	1,16%	1,48%
C 45	0,88%	1,22%	1,60%
C 90	1,24%	1,62%	2,03%
X 12 CrNi 18 8	1,50%	1,85%	2,20%

Tablo 5.2'de 800, 950, 1100 °C için büzülme hesaplanmıştır. Kalıp imalatında tek bir büzülme değeri ile kalıbın boyutları tayin edilmez. Yanlış alınmış bir büzülme değeri veya kalıba da koyma sıcaklığı değiştirilmiş bir parçanın ölçülerindeki hassasiyet kaybolur.



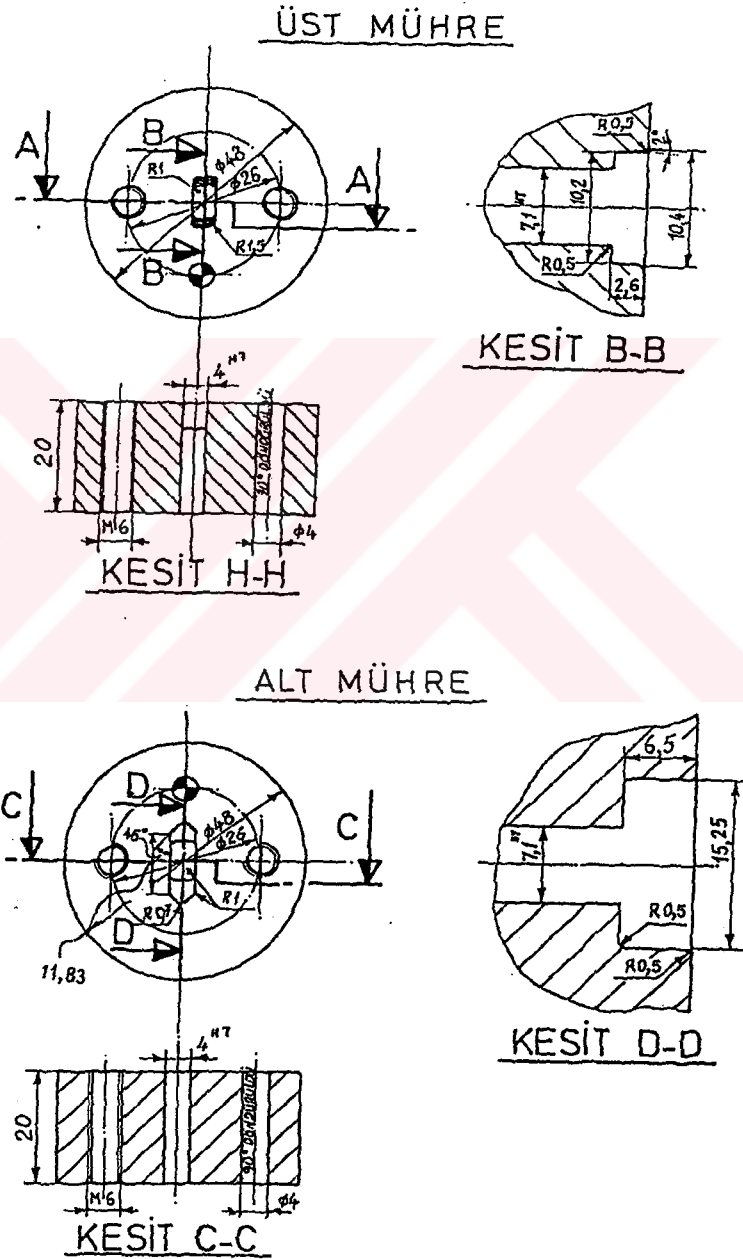
Şekil 5.9. kilit dili ön şekli

Şekil 5.10. Kilit dili

Şekil 5.11. Kilit dili
laması

Tablo 5.1'de önemli malzemelerin mekanik ve termik değerleri verilmiştir. Şekil 5.1' de gösterilen parça, plastik pencerelerde kullanılan ispanyoletlerin kilit diline aittir. Ömür deneyleri yapılan kalıplar bu parçaya aittir. Kilit dillerinin ilk yıllarda yıllık üretim miktarı 2 milyon civarındaydı ve her sene daha fazla olacağı düşünülüyordu. Nitekim 1994 senesinde fiili üretim 8 milyona ulaştı. St 37 den imal edilen bu parçalar ilk önce yuvarlak malzemeden dövülmesi düşünüldü. İmalatta karşılaşılan güçlüklerden dolayı, (operasyon sayısının çokluğu, kalıpların çabuk kullanılmaz hale

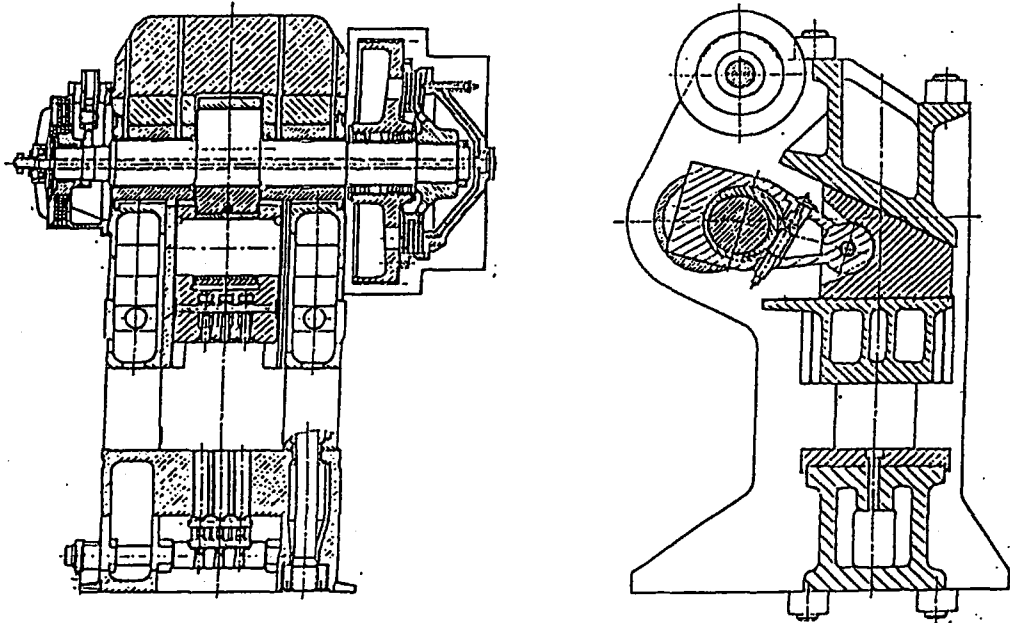
gelmesi v.s.) Bu metottan çok çabuk vazgeçildi. İkinci metot olarak Şekil 5.9'da gösterilen parça 4 mm'lik sactan eksantrik preste otomatik olarak kesildi. Sonra bu parçalar Şekil 5.10.'da görüldüğü gibi uç kısımları soğuk olarak dövüldü, daha sonra da Şekil 2.2'de gösterilen kalıpta sıcak dövme yoluyla asıl ölçülerine getirildi. Bu metotda da bazı zorluklar çıktı. İlk problem uç kısımların sivriltilmesinde meydana geldi.



Şekil 5.12. Kilit dili sıcak dövme kalıbı alt ve üst mührleri.

Bu problemi ortadan kaldırmak için Şekil 5.11.'de gösterilen üstten görünüşe sahip olan lamalar, haddeme yoluyla imal ettirildi ve Şekil 5.13.' de görülen eksantrik preste otomatik olarak kesildi, sonrada aynı şekilde sıcak olarak tek operasyonda dövülmeye başlandı. Burada yaşanan problem sadece dövme kalıbının ömrünün az olmasıydı. 1500 - 2000 parçadan sonra parça ölçüleri değişiyor bu yüzden de perçin yapılacakları deliğe takılmakta zorluk çıkıyordu ve perçinleme operasyonu uzuyordu. Kullanılan kalıp malzemelerinde yapılan değişiklik neticeye pek tesir etmedi. Bu yüzden, problemin çözümü için başka yollar aranmaya başlandı. Kullanılan sıcak dövme kalıbında iş parçasıyla direk temas eden parçaları Şekil 5.12 (1.2343 ve 1.2344) numaralı sıcak iş çeliğinde yapılmakta ve su verildikten sonra 52 - 54 RC sertliğe ulaşmaktadır.(2.2.4) paragrafında "Sürtünme Faktörü" bölümünde alınacak tedbirler anlatılmıştı. Bunların tatbik edilmesine rağmen neticeler değişmedi. İşte bu yüzden problemin ancak Modern Yüzey İşlemleriyle çözüleceği kanaatine varıldı. İ.T.Ü. Makina Fakültesi Makina Malzemesi ve İmalat Teknolojisi Laboratuvarlarında geliştirilen iyon nitrüleme tesislerinde kalıp parçaları, nitrülenip ilk deneyler yapıldığında kalıp ömrünün bir kaç katına çıktığı görüldü. Bundan sonra parçaların hangi şartlarda en iyi netice alınacağını tespiti için planlı olarak araştırmaya başlandı.

Sıcak dövme işlemleri Şekil 5.13' de gösterilen 35 tonluk eksantrik preste yapıldı.



Şekil 5.13. Deneyde kullanılan 35 tonluk eksantrik pres.

Eksantrik preslerde şekil verme ve diğer kayıplardan doğan enerji volanda meydana gelen enerji kaybından karşılanır. Bu enerji kaybı volan devri sayısının düşmesi ile kazanılır. Devir düşmesi ilk devrin %85 kadar olur. Bir eksantrik preste 1 strokta meydana gelen toplam iş şunlardan oluşur.

- Kavrama kayıpları
- Dişlilerde ve kayıtlarda meydana gelen sürtünme kayıpları,
- Yay kayıpları,
- Şekil verme işi ve geriye dönüş için gerekli iş,

Yaylanma ve sürtünme kayıpları şekil verme kuvvetine bağlıdır. Dövme işleminin başlamasından bitimine kadar devir sayısı düşer. Bu yüzden her dövme işlemi bitiminde devir sayısı tekrar başladığı duruma dönmelidir. Deneylerde baskı adedinin tespiti için eksantrik prese bir sayıcı monte edildi. Parçalar hemen presin yanındaki bir fırında 900 °C civarında ısıtıldıktan sonra dövüldü.

5.3. İyon (Plazma) Nitrürleme İşlemi

Kalıpların iyon nitrürleme yapılmasına çok dikkat etmek gerekir, eğer γ' fazının teşekkül etmeye başladığı 590 °C'nin üzerine çıkılırsa gevrek bir yapı elde edileceği Şekil 5.14' de görülmektedir. Ayrıca iyon nitrürleme yapılmadan önce malzemeye iyon nitrürleme yapılan sıcaklığın üstünde gerilme giderme tavlama yapılması gerekir. Bazı çeliklerde bu sıcaklıklarda sertlik düşmesi olur, bu yüzden de 590 °C'nin altında kalınmalıdır.

Bir nitrürleme işleminin başarılı olması için kalıbın çok iyi hazırlanması gerekir. Eğer kalıp taşlanırken dikkat edilmezse, yani kafi derecede soğutulmazsa, taşlama sıcaklığından dolayı malzemenin üst tabakası yumuşar, veya taşlama martenziti teşekkül eder ve taşlama çatlakları meydana gelir. Ayrıca malzemenin pürüzlülüğü çok az olmalıdır. Aksi halde , aşırı nitrürleme olayı meydana gelir ve bu da polisajda zorluk çıkarır. Kalıp çok iyi temizlendikten sonra nitrürlenmelidir. İyi teşekkül etmiş bir nitrür

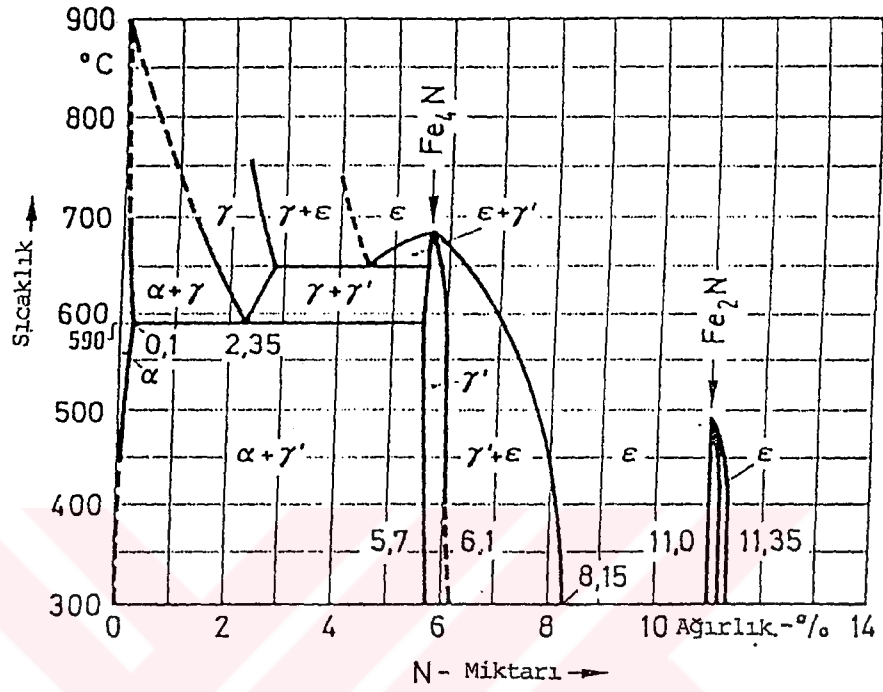
tabakası baskı adedini arttırır. Böyle bir tabaka ise ancak şu parametreler kontrol edilerek elde edilebilir.

- Verilen gazların oranı ve cinsi,
- Verilen gazın miktarı,
- Verilen gazın basıncı,
- Kalıbın fırın içerisindeki yeri,
- Nitrürleme sıcaklığı,
- Nitrürleme zamanı,
- Uygulanan gerilim,

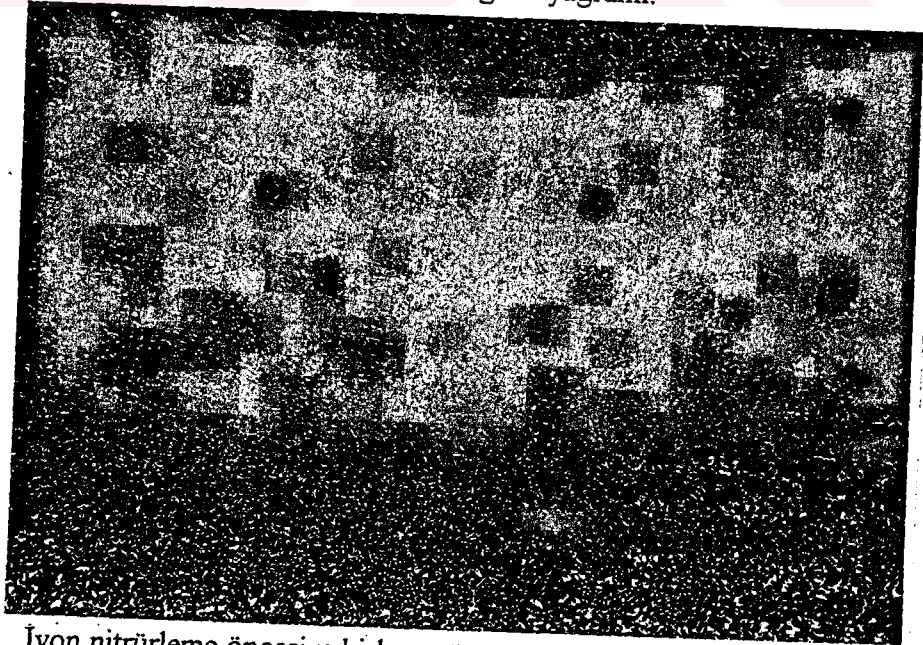
İstenirse beyaz tabakasız saf difüzyon tabakasında elde edilebilir. Nitrürleme esnasında çekme ve çarpılma oluşmaz ama gerilme giderme sıcaklığı çalışma sıcaklığının altında olmalıdır. Yabancı bir elemanın yapıya girmesi, malzemenin artık gerilmelerine etki eder. Bu da nitrürlemenin kalitesi demektir ve nitrürleme zamanı ile nitrürleme sıcaklığına bağlıdır. Genelde nitrürleme esnasında üst yüzeyde basınç artık gerilmeleri meydana gelir. Bu da kalıbın ömrüne pozitif tesir eder. Kalıpta kullanılan malzeme (1.2344 nolu) sıcak iş takım çeliğidir. Şimdi nitrürleme öncesi tüm parçalara uygulanan standart ısıl işlemin nasıl yapıldığını kısaca açıklayalım :

- 350° C - 400° C ta birinci ön ısıtma,
- 800°C - 820°C Nötr ortamda ikinci ön ısıtma,
- 1040°C de 20 dakika ostenitleme,
- 500°C - 520°C da sıcak banyoda su verme,
- Bundan sonra ortam sıcaklığında soğutma,
- 560°C da 2 saat 3 defa menevişleme,

Kalıplar sertleştirildikten sonra, dalma erozyon tezgahlarında son şekilleri verildi, üst yüzeyler taşlanıp, iç yüzeyler parlatıldı. Nitrürlemeden önce bütün yüzeyler sertlik ölçme şartlarına uygun olarak (100 - 600 kadar) su zımparası ile parlatıldı. Bu işlemler tamamlandıktan sonra nitrürleme işlemine başlamak için parçaların ayrıca yağları alınmaktadır. Parçalar, 2 saatten başlamak üzere 16 saate kadar nitrürlemeye tabi tutuldu.



Şekil 5.14 : Fe-N Denge Diyagramı.



Şekil 5.15. İyon nitürleme öncesi ısıt işlem görmüş parçanın içyapısı. Temperlenmiş martenzit, X400, Nitalle dağlanmış. Sertlik 56 RC.

Bilindiği gibi beyaz tabaka koruyucu bir tabakadır. Sürtünme kuvvetleri ile kimyasal reaksiyonlara daha iyi karşı koyabilir. Deneylerde kullandığımız kalıplar sadece sürtünmeye değil aynı zamanda yüksek sıcaklığa ve yüksek darbeli basıçlara da maruzdur. Bu yüzden nitrür tabakasının içeriye doğru nüfuzunun artırılması gerekmektedir. Bu durumda beyaz tabakasız saf difüzyon tabakasının teşekkülü gerekliydi. Bunun için de azot miktarının fakirleştirilmesi gerektiği Şekil 5.14' den anlaşılmaktadır. Bu şekilde imal edilen kalıplarda ömrün çok arttığı görüldü. Zira elde edilen yüksek mukavemet değerleri yüksek sıcaklıklarda da muhafaza edilmekte ve ana malzemeye göre meneviş sıcaklığı da artmaktadır. Bu da dövülen parçanın yüksek sıcaklığı ile ısınan kalıbın sertliğinin azalmasına mani olmaktadır.

Nitrüleme şartları;

Basınç :	9 - 11 Torr
Sıcaklık :	470 $\pm$ 10°C
Zaman :	2 - 16 saat arasında
Gaz karışımı :	%20 N ₂ , %80 H ₂
Gazın debisi (Normal Şartlarda):	1 Lt/dak. $\pm$ %10
Uygulanan gerilim :	500 $\pm$ 50 Volt.

Nitrüleme yapılan parçalarla daha sonra Bölüm 5.2.'de açıklanan preslerde sıcak dövme yapıldı. Dövme sayısı prese monte edilen sayıcılardan okundu. Kalıbın kullanılamaz hale gelmesi; Bölüm 2.'de açıklandığı gibi parçanın 4x4,2'lik ölçüsü 4,1x4,3'lük bir deliğe takılıp perçinleniyor. Kalıp aşındığında bu ölçü 4,1 x 4,3 mm değerine yaklaşmakta ve parça yerine takılmakta güçlük çıkarmaktadır. Bu yüzden imalatla 4,05 x 4,25 ölçüsünde bir master kullanılmaktadır. Parça bu mastardan geçmediği anda imalat durmaktadır. Bu esnada sayıcıda okunan rakam, kalıbın ömrü olarak alınmaktadır.

Deneyleri yapılan kalıplarda sertlik ve iç yapı incelemesi için uygun yerlerinden tel erozyonla parçalar kesildi. Çıkarılan bu örneklerde, yüzeyden itibaren mikro sertlik incelemesi ve iç yapı incelemesi yapıldı. Bunlara ait şekil ve değerler Şekil 6.3' den Şekil 6.9' a kadar gösterilmektedir.

Deneyleti yaptığımız tesisatın hemen bütün parçaları yerli piyasadan temin edilmiştir. Tesise gerekli vakum kabının camdan olması tercih edilmiştir, zira bu suretle çalışma esnasında bütün proses açıklıkla tetkik edilebilmektedir. İlk yapılan vakum kabında soğutma düşünülmemiştir. Bir kaç deneyden sonra camın çatlaması, soğutma sisteminin yapılmasını mecbur kıldı. Şekil 5.2' de görüldüğü gibi üstü ve altı alüminyum kapaklarla kapalı cam borudan ibaret olan vakum kabının dış kısmına akrilik bir manto ilave edildi. Debisi çok düşük olan suyun burada devriyle soğutma kafi derecede yapılmış oldu. Eldeki mevcut iki kademeli mekanik vakum pompası ile 1 torr'luk vakumun altına inilebildi. Parçanın sıcaklığının ölçülmesi çok önemli olduğundan termo elemanının direk parçayla temas etmesi gerekiyordu. Bunu temin için termo elemanı katodun içerisinden geçirilerek, direk parçayla teması temin ettirildi. Başlangıçta temin edilen azot ve hidrojen kafi derecede saf olmadığı için prosesi doğru yürütmek kabil olmadı, daha sonra başka yerlerden temin edilen hidrojen ve azot ihtiyaca cevap vermeye başladı.

BÖLÜM 6.

DENEY SONUÇLARI VE İRDELEME

6.1 Ömür Deneyleri

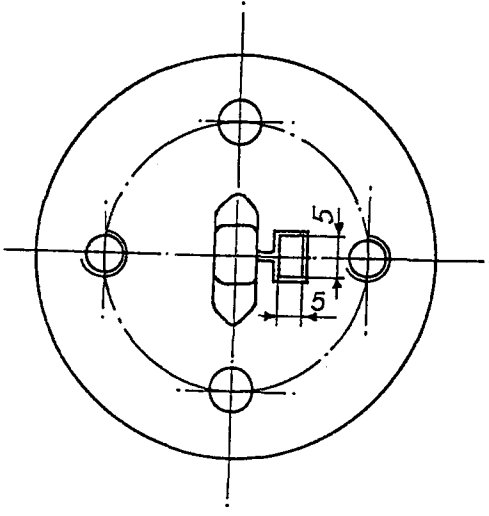
Bölüm 5.2 de açıklandığı gibi sıcak dövme kalıplarının dövme parçasıyla direkt temas eden mühreleri Şekil 5.12' de görüldüğü gibi gruplar halinde muhtelif sürelerde nitrürlendi. Nitrürlenme zamanları 120, 180, 240, 360, 480, 600, 720, 960 dakika olarak saptandı. Nitrürlenmiş kalıplarla sırasıyla gruplar halinde dövme işlemi yapıldı. İmal edilen kilit dilleri mastara girmediği anda imalat durduruldu ve sayıcıdan parça adedi okunup kaydedildi. Bütün kalıpların yüzey sertlikleri, imal ettikleri kilit dili adedi (dövme sayısı) ve nitrürlenme süreleri Tablo 6.1' de verilmiştir.

Nitrürlenmiş tabakanın yüzeyden içeriye doğru mikro-sertlik dağılımını inceleyebilmek için denenmiş kalıplardan Şekil 6.1' de görüldüğü gibi tel erozyonuyla dörtköşe parçalar kesildi. Çıkarılan parçalar sertlik taraması ve iç yapı incelemesi için Şekil 6.2' de görüldüğü gibi hazırlandı. Sertlik taraması yapıldıktan sonra bunlara ait eğriler çizildi ve içyapı fotoğrafları çekildi. Deney sonuçları ve çıkarılan eğriler Bölüm 6.1 de görülmektedir.

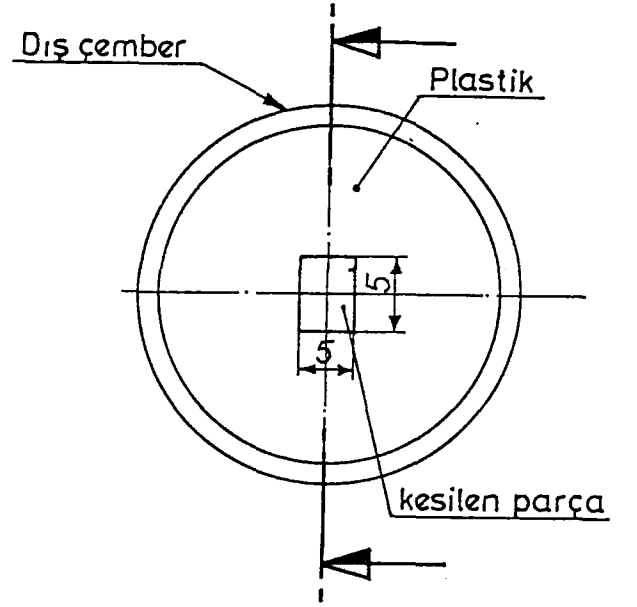
Deney sonuçları değerlendirilirken, eşit sürelerde nitrürlenmiş mührelerin ortalama yüzey sertlik ve ortalama imalat miktarları Tablo 6.2' deki gibi dikkate alındı. Elde edilen bu sonuçlardan, maksimal yüzey sertliğinin, dövülen parça sayısının ve nitrürlenmiş tabaka kalınlığının, nitrürlenme süresine bağlı olarak değişimini gösteren eğriler çizilmiştir.

Tablo 6.1. Nitrürleme ve dövme deneylerinin sonuçları.

Parça No	Nitrürleme Süresi (dakika)	Yüzey Sertliği (HV _{0,1})	Dövme Adedi
1	120	1150	5900
2	120	1180	5950
3	120	1190	6000
4	120	1210	6050
5	180	1190	6100
6	180	1200	6200
7	180	1200	6250
8	180	1210	6300
9	180	1220	6300
10	180	1220	6350
11	180	1230	6400
12	180	1240	6500
13	180	1240	6500
14	240	1210	7550
15	240	1215	7550
16	240	1220	7650
17	240	1240	7650
18	240	1240	7725
19	240	1240	7800
20	240	1250	7900
21	240	1260	8050
22	240	1265	8050
23	240	1270	8075
24	360	1270	9700
25	360	1280	9700
26	360	1290	9800
27	360	1300	9900
28	360	1310	9900
29	480	1270	13740
30	480	1280	13800
31	600	1290	17300
32	600	1300	17500
33	720	1320	8000
34	720	1320	8600
35	960	1180	4300



Şekil 6.1. Kalıptan kesilen numune

Şekil 6.2 Kesilen Numunenin
plastiğe gömülmesi.

Tablo 6.2. Deney sonuçlarının ortalama değer tablosu.

Sıra No	Nitrürleme Süresi (dak.)	Nitrürleme Sıcaklığı (°C)	Nitrürleme Basıncı (Torr)	Yüzey Sertliği (HV _{0.1})	Ortalama Dövme Adedi
1	120	480	10	1190	6000
2	180	480	10	1220	6400
3	240	480	10	1240	7800
4	360	480	10	1290	9800
5	480	480	10	1275	13770
6	600	480	10	1295	17400
7	720	480	10	1320	8300
8	960	480	10	1180	4300

6.2 İçyapı ve Sertlik Deneyleri

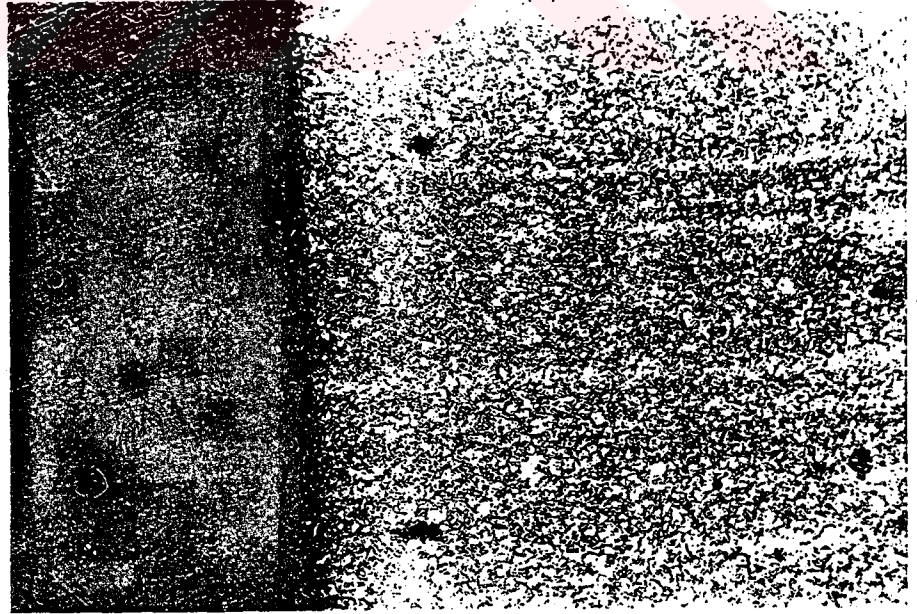
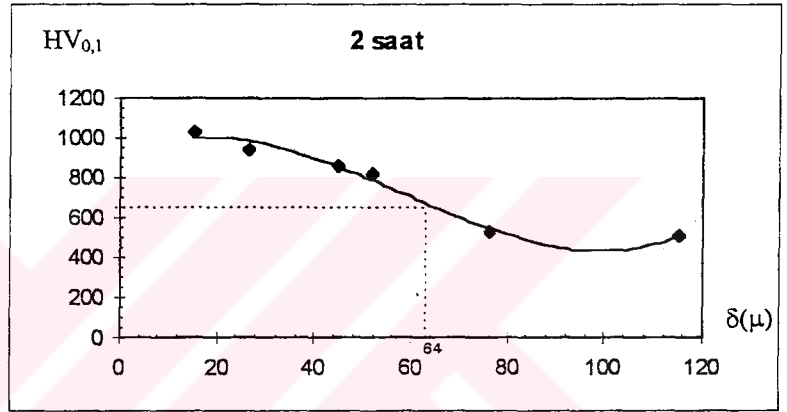
Deney Şartları:

2 saat nitrürlenmiş kalıp ile 900  C ta 6000 parça dövülmüş.

Ortalama nitrürasyon (difüzyon) tabaka kalınlığı : 64  m

Sertlik Dağılımı:

Yüzeyden Uzaklık (�m)	15	26	45	51	76	115
Sertlik (HV)	1027	937	860	824	527	510



şekil 6.3. 2 Saat nitrürlenmiş kalıptan alınan kesitte nitrürasyon tabakasında. (a) Sertlik dağılımı. (b) Sertlik profili. (c) Tabakanın mikroyapısı, x100, nitalle dağılanmış.

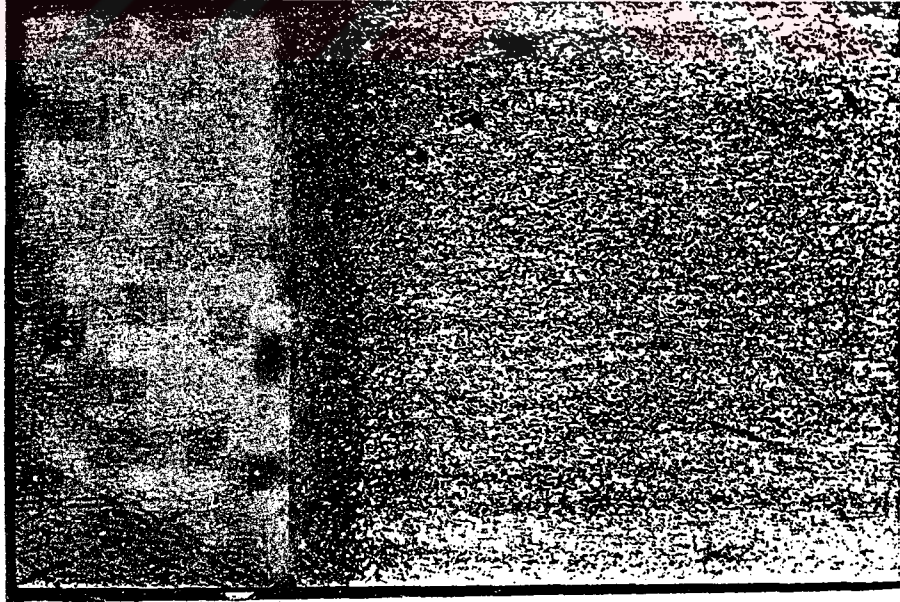
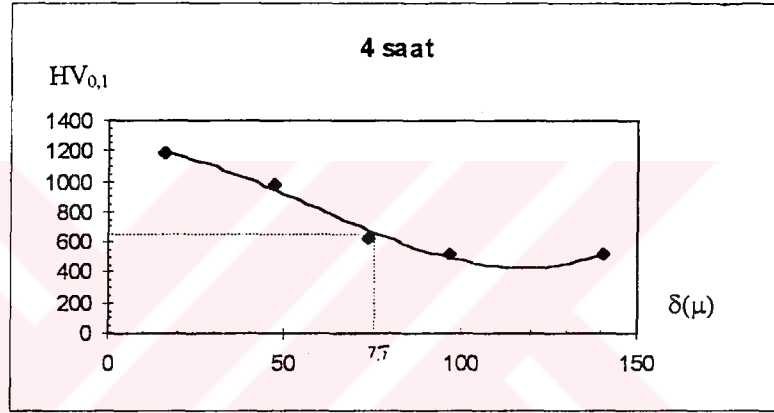
Deney Şartları:

4 saat nitrülenmiş kalıp ile 900 °C ta 6400 parça dövülmüş.

Ortalama nitrürasyon (difüzyon) tabaka kalınlığı : 75 μm

Sertlik Dağılımı:

Yüzeyden Uzaklık (μm)	15	47	73	97	140
Sertlik (HV)	1187	981	627	527	527



Şekil 6.4. 4 Saat nitrülenmiş kalıptan alınan kesitte nitrürasyon tabakasında. (a) Sertlik dağılımı. (b) Sertlik profili. (c) Tabakanın mikroyapısı, x100, nitille dağlanmış.

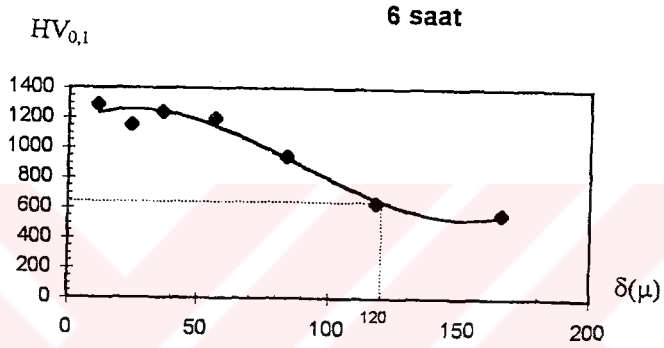
Deney Şartları:

6 saat nitrülenmiş kalıp ile 900 °C ta 9800 parça dövülmüş.

Ortalama nitrürasyon (difüzyon) tabaka kalınlığı : 120 μm

Sertlik Dağılımı:

Yüzeyden Uzaklık (μm)	11	24	36	56	84	118	166
Sertlik (HV)	1290	1155	1240	1197	946	633	560



Şekil 6.5. 6 saat nitrülenmiş kalıptan alınan kesitte nitrürasyon tabakasında. (a) Sertlik dağılımı. (b) Sertlik profili. (c) Tabakanın mikroyapısı, x100, nitille dağlanmış.

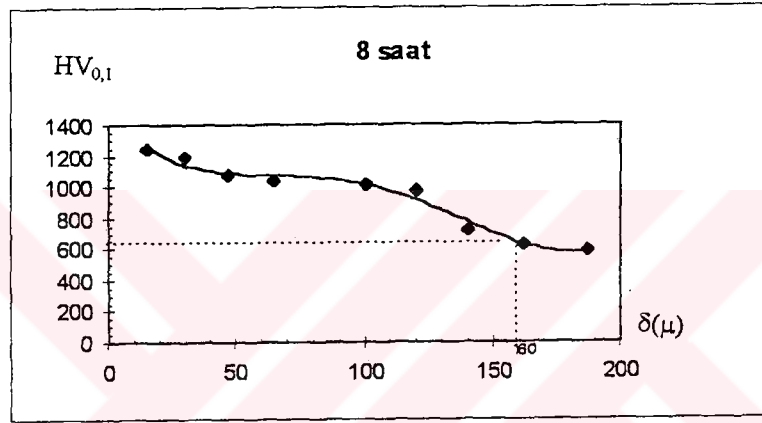
Deney Şartları:

8 saat nitrülenmiş kalıp ile 900 °C ta 13370 parça dövülmüş.

Ortalama nitrürasyon (difüzyon) tabaka kalınlığı : 160 μm

Sertlik Dağılımı:

Yüzeyden Uzaklık (μm)	14.7	29.3	46	65	100	120	140	162	187
Sertlik (HV)	1241	1197	1078	1043	1009	976	724	633	586



Şekil 6.6. 8 saat nitrülenmiş kalıptan alınan kesitte nitrürasyon tabakasında. (a) Sertlik dağılımı. (b) Sertlik profili. (c) Tabakanın mikroyapısı, x100, nitille dağlanmış.

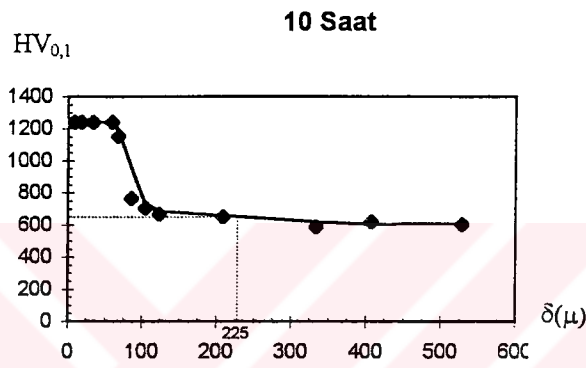
Deney Şartları:

10 saat nitrürlenmiş kalıp ile 900 °C ta 17400 parça dövülmüş.

Ortalama nitrürasyon (difüzyon) tabaka kalınlığı : 225 μm

Sertlik Dağılımı:

Yüzeyden Uzaklık (μm)	17	59	85	104	123	208	333	406	528
Sertlik (HV)	1241	1241	766	704	667	650	586	617	601



Şekil 6.7. 10 saat nitrürlenmiş kalıptan alınan kesitte nitrürasyon tabakasında. (a) Sertlik dağılımı. (b) Sertlik profili. (c) Tabakanın mikroyapısı, x100, nitalle dağlanmış.

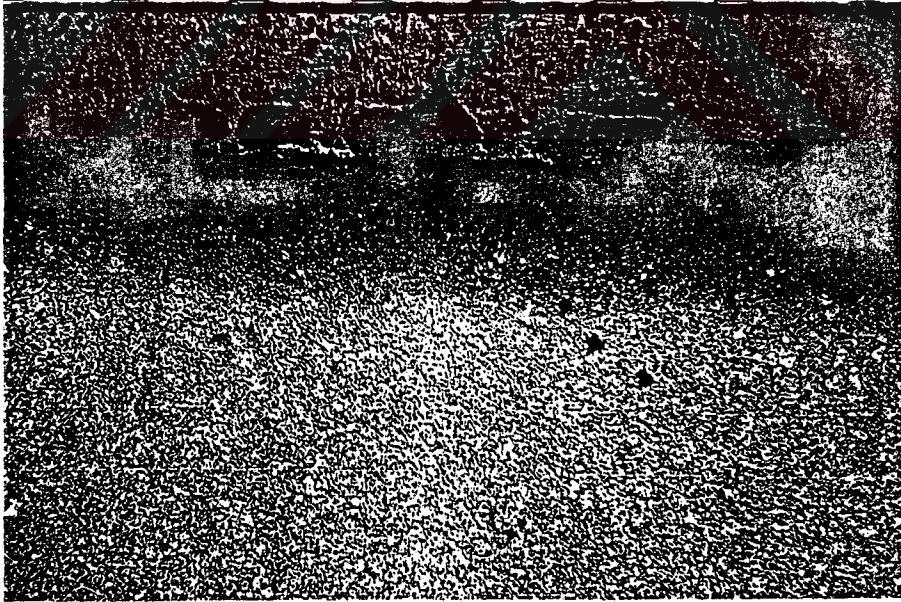
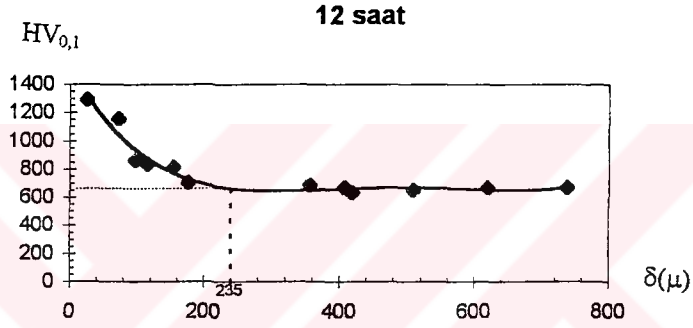
Deney Şartları:

12 saat nitrülenmiş kalıp ile 900 °C ta 8300 parça dövülmüş.

Ortalama nitrürasyon (difüzyon) tabaka kalınlığı : 235 μm

Sertlik Dağılımı:

Yüzeyden Uzaklık (μm)	71	115	153	175	355	417	508
Sertlik (HV)	1156	836	812	704	686	633	650



Şekil 6.8. 12 saat nitrülenmiş kalıptan alınan kesitte nitrürasyon tabakasında. (a) Sertlik dağılımı. (b) Sertlik profili. (c) Tabakanın mikroyapısı, x100, nitille dağlanmış.

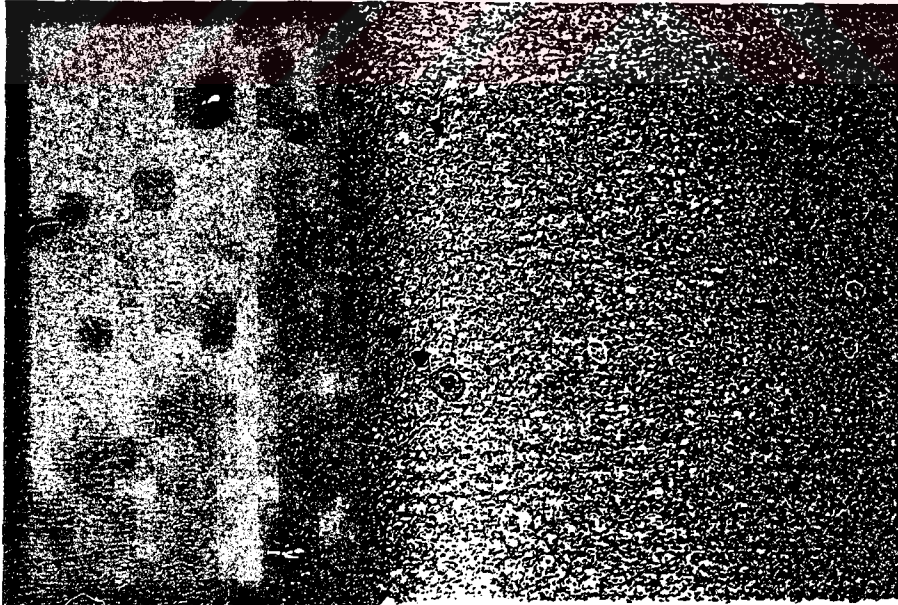
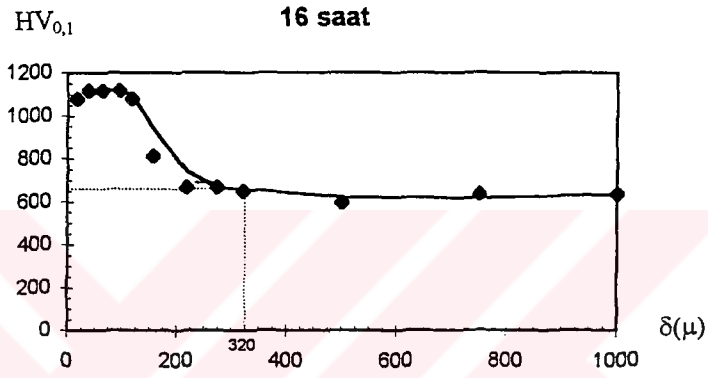
Deney Şartları:

16 saat nitrülenmiş kalıp ile 900 °C ta 4300 parça dövülmüş.

Ortalama nitrürasyon (difüzyon) tabaka kalınlığı : 320 μm

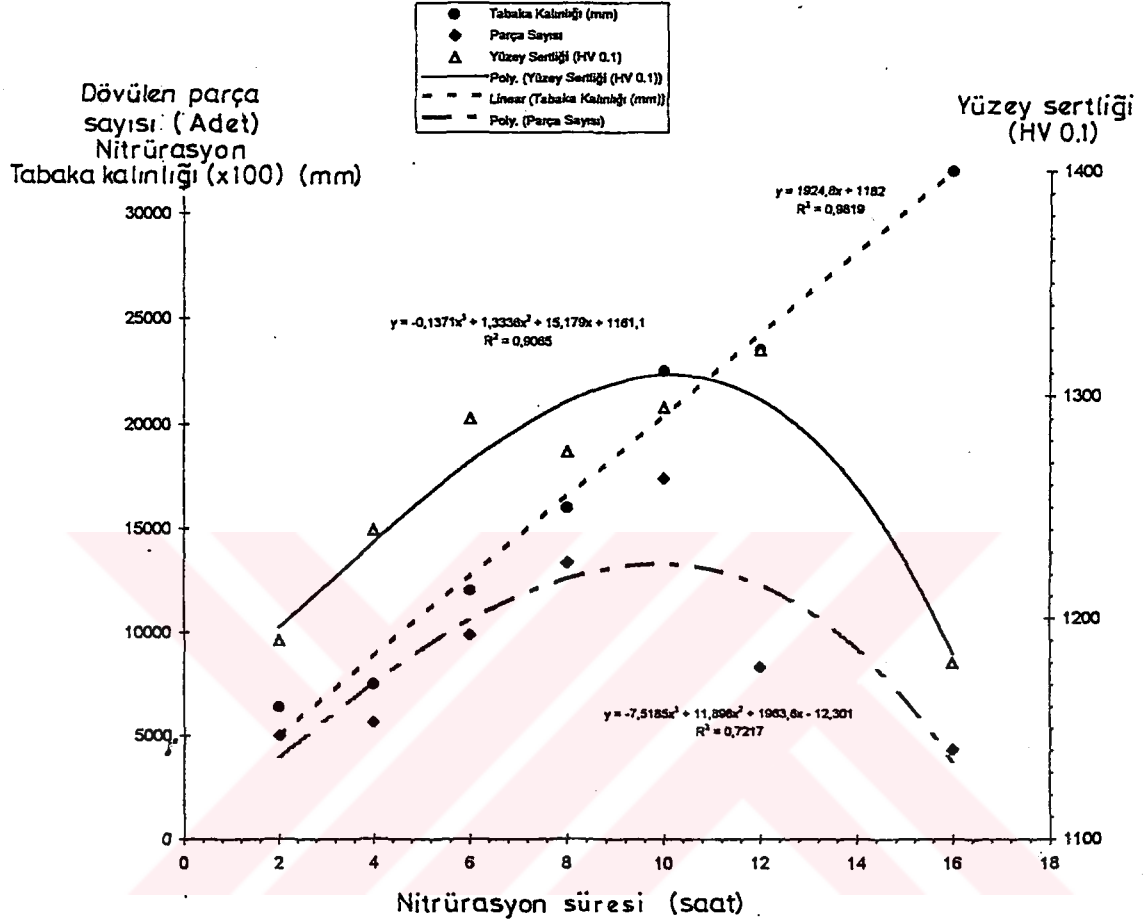
Sertlik Dağılımı:

Yüzeyden Uzaklık (μm)	16	63	116	156	217	321	500	750	1000
Sertlik (HV)	1078	1116	1078	812	667	650	597	633	633



Şekil 6.9. 16 saat nitrülenmiş kalıptan alınan kesitte nitrürasyon tabakasında. (a) Sertlik dağılımı. (b) Sertlik profili. (c) Tabakanın mikroyapısı, x100, nitale dağlanmış.

6.3 Sonuçların İrdelenmesi,



Şekil 6.10. Maksimal yüzey sertliği, dövülen parça adedi ve nitrürlenmiş tabaka kalınlığının, nitrürlenme süresine göre değişimleri.

Şekil 6.10 incelendiğinde;

-İlk görülen netice nitrürlenmiş tabaka kalınlığının nitrürlenme süresine göre lineer olarak artmış olmasıdır.

-Ömrün (dövülen parça sayısı) 10 saatlik nitrürleme süresine kadar tabaka kalınlığı ile beraber arttığı, 10 saatten daha fazla nitrürleme süreleri için ise tabaka kalınlığı artmaya devam ederken, ömrün hızla azaldığı görülmektedir.

- Yüzey sertliğininin 12 saatlik nitrürleme süresine kadar tabaka kalınlığı ile beraber arttığı, 12 saatten daha fazla nitrürleme süreleri için ise tabaka kalınlığı artmaya devam ederken, sertliğin hızla düştüğü görülmektedir.

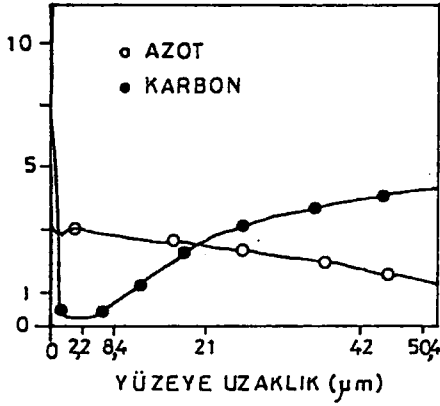
-Kalıp ömrünün nitrürasyon tabakası kalınlığından ziyade yüzey sertliğine bağlı olduğu görülmektedir.

Kalıpların imalinde kullanılan 2343 ve 2344 nolu sıcak iş takım çeliklerinin temperleme sıcaklıkları 560 °C civarındadır. Nitrürleme işlem sıcaklığı 500 °C ın altında tutularak aşırı temperlenme riski ortadan kaldırılmıştır.

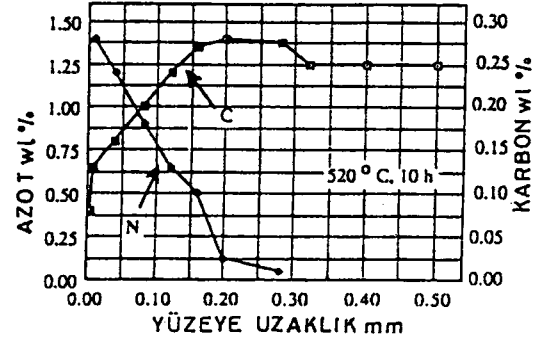
Kalıp ömrünün işlem süresi ya da tabaka kalınlığından ziyade yüzey sertliğine daha kuvvetle bağlı oluşu kalıplarda oluşan hasarın büyük ölçüde aşınma mekanizmaları ile oluştuğunu göstermektedir. Ömrün bir maksimumdan geçmesi nedeniyle nitrürleme süresinin optimizasyonunun gerekliliği ortaya çıkmıştır.

On saatten fazla nitrürleme yapılan kalıplarda parça adedi ve yüzey sertliğindeki düşüşün nedenini şu şekilde açıklayabiliriz.

Nitrürlenmiş tabaka esas olarak Fe_4N tipinde Demir-Nitrür ve diğer alaşım elamanlarının nitrürlerinden oluşmaktadır. Çeliğin karbon içeriğinin nitrürlemeye etkisi göz önünde bulundurulduğunda genelde nitrür oluşumu az karbonlu çeliklerde daha kolay gerçekleştiği görülmektedir. Bunun yanı sıra nitrürleme esnasında tabaka içinde kimyasal bileşimin önemli oranda değiştiği bilinmektedir. Literatürde benzer çeliklerde plazma nitrürleme yapıldıktan sonra yapılan yüzey analizlerinde, karbonun en dış tabakalarda çok azaldığı, içeri doğru artan bir profil verdiği, azot ise içeriye doğru yavaşça azalan bir profil verdiği Şekil 6.11 ve Şekil 6.12' de görülmektedir[21,22].



Şekil 6.11 İyon nitrülenmiş H11 çeliğinde optik spektroskopi ile yapılan yüzey analizi[21].



Şekil 6.12. İyon nitrülenmiş En40B çeliğinde tipik azot ve karbon konsantrasyon profili[22].

Bu olay plazma nitrüllemenin prensibiyle açıklanabilir.

Plazmadaki yüksek enerjiye sahip azot atomları iş parçası yüzeyine hızla çarpmakta ve üst yüzeyde bir tozlanma meydana getirmektedir. Tozlanan partiküllerin içerisindeki karbon atomları azot tarafından dışarı atılmakta ve yerlerine kendileri geçerek nitrürler oluşturmaktadırlar. Serbest kalan karbon, nitrürler tarafından malzemenin iç kısımlarına gitmeye zorlanır ve böylece yüzeyde sadece nitrürler kalmaktadır. Yüzeye yakın bölgelerde azot konsantrasyonunun çok artması, karbonun iç kısımlara itilerek bu bölgelerde çok azalmasına yol açmaktadır. Difüzyon mekanizmasıyla gerçekleşen bu olayın malzemenin kimyasal bileşimi yanında sıcaklığa ve işlem süresine bağlı olarak her malzemede farklı hızlarda gelişeceği açıktır.

Deneylerde kullanılan kalıp malzemesini İyon Nitrüleme yapmaktaki amaç, içyapıda mevcut olan sert martenzit fazının arasına ince nitrür çökeltilerini yerleştirerek 700 VS seviyesinde olan yüzey sertliğini 1200 VS seviyelerine çıkarmaktır. Deney kalıpları 10 saatten fazla nitrürlendiğinde üst yüzeydeki mevcut martenzit fazının karbon içeriği azalmakta dolayısıyla varolan sertlikte bir düşme olmaktadır.

Sonuç olarak sıcak dövme işlemlerinde kalıp malzemesi olarak 2343 ve 2344 gibi çeliklerde nitrürleme süresi 10 saatten fazla olmamalıdır. Nitrürleme sıcaklığı ise 500  C nin altında olmalıdır. İyon nitrürlenmiş kalıplar parlatma macunu kullanmadan sadece bezle parlatılmalıdır.



BÖLÜM 7

SONUÇLAR

Sıcak iş takım çeliklerinden imal edilen sıcak dövme kalıplarının dövme ömürlerini (dövülen parça sayısını) artırmak gayesiyle yapılan bu çalışmada, çok sayıda ve gerçek ölçülerde deney yapma imkanı elde edilmiştir. Bu bakımdan çalışma doğrudan doğruya sanayinin ihtiyacı olan bir teknolojiyi geliştirmeye katkıda bulunmuştur. Pratikteki gerçek bir probleme çözüm getirilerek, bilim ve teknolojiye de katkıda bulunulmuştur.

Bulunan sonuçlar maddeler halinde aşağıda özetlenmiştir.

- 1) İyon Nitrürasyonu yapılabilen bir tesisatın öncelikle dizaynı yapılmış ve sistem imal edilmiştir.
- 2) Sıcak iş çeliklerinden imal edilen dövme kalıplarının su verme sonrası 700 VS mertebesinde olan yüzey sertliklerinin, iyon nitrürleme ile 1300 VS mertebesine yükseltildiği gösterilmiştir.
- 3) Sadece difüzyon tabakası elde edilecek şekilde nitrürleme şartları ayarlanmıştır.
- 4) Nitrürleme zamanı arttıkça nitrür tabakasının nasıl değiştiği tesbit edilmiştir.
- 5) Nitrürleme zamanı ile yüzey sertliğinin değişimi gösterilmiştir.

6) Sıcak iş çeliğinin (2343 ve 2344) 10 saat nitrürleme sonucu yüzey sertliğinin en yüksek değere eriştiği, daha kısa veya daha uzun nitrürleme zamanlarında sertliğin azaldığı ve buna bağlı olarak da dövme ömründe azaldığı tesbit edilmiştir.

7) Nitrülenmemiş kalıplarla yapılan ömür deneylerinde dövme sayısı 2000 civarında iken, 460-480 °C sıcaklıklarında, 10 Torr basınç altında ve %20 N₂ : %80 H₂ gaz karışımında, 10 saat süreyle iyon nitrürleme yapılan kalıplarda aynı şartlarda ömür, 18000 civarına çıkarılmıştır. Bu, kalıp ömründe 9-10 katlık bir artışa tekabül eder.

8)Yapılan deneysel çalışmada iyon nitrürasyonu ile elde edilen tabaka kalınlıkları gözönüne alındığında diğer geleneksel nitrürleme işlemlerine oranla daha kısa işlem sürelerinde ve görece daha düşük sıcaklıklarda etkili tabaka kalınlıklarının elde edilebildiği görülmüştür.

9)Sonuç olarak İyon Nitrürlemenin, yüksek çalışma sıcaklıklarında, aşınmanın, darbeli zorlanmanın sürtünmenin mevcut olduğu sıcak dövme gibi işlemlerde kullanılan kalıpların ömürlerinin artırılmasında etkili bir yöntem olarak kullanılabileceği tesbit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] KÖNIG, W. , Fertigungsverfahren Band 4, Massivumformung, VDI Verlag, Düsseldorf, (1992)
- [2] BARTZ, W.J., Verschleiss-Schutzschichten unter Anwendung der CVD/PVD - Verfahren, Expert Verlag, Sindelfingen, (1985).
- [3] LANGE, K., MEYER, H., NOLKEMPER, Gesenkschmieden, Springer Verlag, Berlin,(1977).
- [4] LANGE, K., Umformtechnik, Springer - Verlag, Berlin, (1988)
- [5] TSCHAESCH, H., Handbuch Umformtechnik, Hoppenstedt, Technik Tabellen Verlag, Darmstadt, (1987).
- [6] HALLER, H.W., Praxis des Gesenkschmiedens, Carl Hanser Verlag, München, (1982)
- [7] WEND. F., Aktuelle Trends bei der Oberflächenbehandlung von Werkzeugen in der Kunststoff-verarbeitung, THYSEN EDELSTAHL , Technische Berichte, 15. Band , Heft 2, September (1989)
- [8] STRAEMKE, S., HUCHEL, U., BAESWEILER, Verfahrenskombination Pulsplasmanitrieren und Plasma - CVD. Springer Verlag, Berlin,(1987).
- [9] DENTON, R., Ion nitriding vs chrome plating for automotive fender dies Heat Treat. pp. 20 - 23, August(1990)
- [10] METAPLAS IONON, Berücksichtigung des Plasmanitrierens bei der Konstruktion, Mitteilung 13. Bergisch Gladbach.(1990)
- [11] METAPLAS IONON, Verschleißminderung durch Plasmanitrieren/nitrocarburieren Mitteilung 30. Bergisch Gladbach.(1991)
- [12] METAPLAS IONON, Plasmanitrieren - eine alternative Wärmebehandlung, Mitteilung 31. Bergisch Gladbach.(1991)
- [13] SPIES, H.J., BÖHMER, H.J. , Nitridhaltige Schichten -Erkenntnisse und Schlußfolgerungen für technische Lösungen, VDI BERICHTE, Nr 797, (1990).
- [14] WOSKA, R., Einfluß der Zusammensetzung der Nitrierschicht auf das Mischreibungsverhalten, HTM 38, no:1, s.10-17 (1983)

- [15] REMBGES, W. , Plasmanitrieren und Plasmanitrocarburieren in der Automobilindustrie AWT-Tagungsband Nitrieren und Nitrocarburieren, s.253 - 266, April (1991)
- [16] NEUHAUS, A., Ionitrieren von formenden und spanenden Werkzeugen, BLECH, ROHRE, PROFILE, Vol.1, pp.20 - 23, (1977)
- [17] WOSKA, R., Einfluß unterschiedlicher Oberflächenbehandlungen von Ziehwerkzeugen auf deren Verschleiß und die Standmenge Stahl und Eisen Nr.20, s.1013 - 1017, (1982)
- [18] CHATTERJEE - FISHER,R., Wärmebehandlung von Eisenwerkstoffen : Nitrieren und Nitrokarburieren Expert-Verlag (1986)
- [19] KELLER, K., Vergleichsuntersuchungen an gas-, bad- und ionitrierten Maschinenteilen Forschungsbericht des Landes, NRW, Nr. 244 ,(1972)
- [20] REMBGES, W. ,OPPEL,W. Fortschritte in der Plasmatechnologie Nitrieren und Nitrokarburieren, Beschreibung moderner Anlagen und Verfahrenstechniken, XXII.Härter.Fachtg.,Suhl, s. 60 -75 (1989)
- [21] SOUCHARD, J.P.-JACQUOT, P., BUVRON, M., Plasma overcarburizing of chromium steels for hot working and wear applications. Mat. Sci. & Eng., A140, p.454-460, (1991).
- [22] SUN, Y.,-BELL, T., Plasma surface engineering of low alloy steel. Mat. Sci. & Eng., A140, p419-434, (1991).

ÖZGEÇMİŞ

Yazar, 8 Mart 1931 tarihinde Tarsus'ta doğmuştur. İlk ve orta öğrenimini Tarsus'ta, Liseyi Adana Erkek Lisesinde okumuştur. İ.T.Ü. Makina Fakültesini 1958 Şubat döneminde tamamlamıştır. Aynı yıl İ.T.Ü. Makina Fakültesi, Motorlar Kürsüsünde asistan olarak işe başlayan yazar, ertesi yıl (1959-1960) Berlin Teknik Üniversitesinde çalışmıştır. 1960-1965 yılları arasında Siemens - Schuckertwerke Mülheim (Ruhr ve Berlin) firmasında, Mekanik Mukavemet Hesaplama Mühendisi olarak görev yapmış, 1965 -1967 yıllarında K.K.Teknik dairesinde askerlik görevini ifa etmiştir. 1967-1980 yıllarında Kendi kurduğu ve ortak olduğu Kalıp ve Yan Sanayi Firmasında, 1980'den itibaren Firmanın PİMAŞ'a devriyle aynı yerde yönetici olarak çalışmış ve halen bu görevini sürdürmektedir. 1989'dan beri İ.T.Ü Mak. Fak.'de öğretim görevlisi. olarak dersler vermektedir.

İ.T.Ü. YÜKSEK ÖĞRETİM
DOKÜMAN
KURUM MÜHÜRÜ