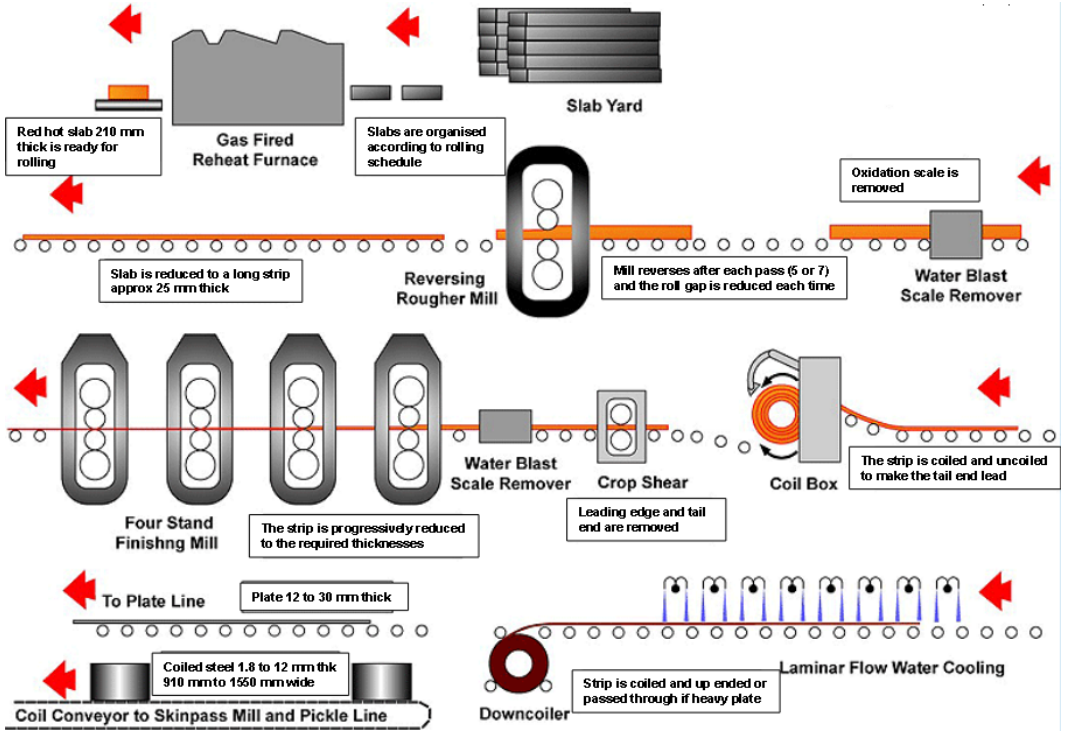
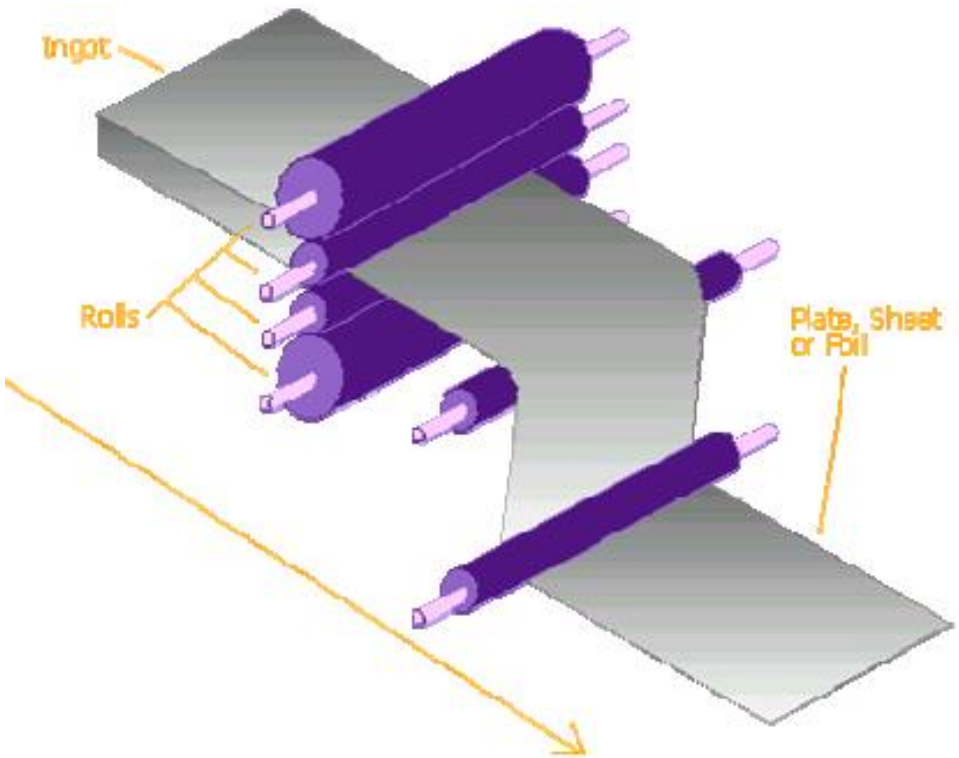
Metallere Plastik Şekil Verme
Haddeleme (Rolling)



Haddeleme

Amaç;

- Sıcak ve soğuk olarak ikiye ayrılabilen farklı tipte haddeleme prosesleri
- Haddeleme prosesindeki matematiksel yaklaşımlara giriş
- Haddelemede oluşabilecek hatalar ve çözümleri



- **Tanım:** İş parçasını, eksenleri etrafında dönen silindirler (merdaneler) arasından geçirerek uygulanan basma kuvvetleri etkisiyle plastik şekil verme işlemine haddeleme denir.

- **Haddeleme**, son ürün kontrolü ve yüksek üretim kapasitesi sağlayan çok geniş kullanıma sahip şekillendirme prosesidir.

Haddeleme

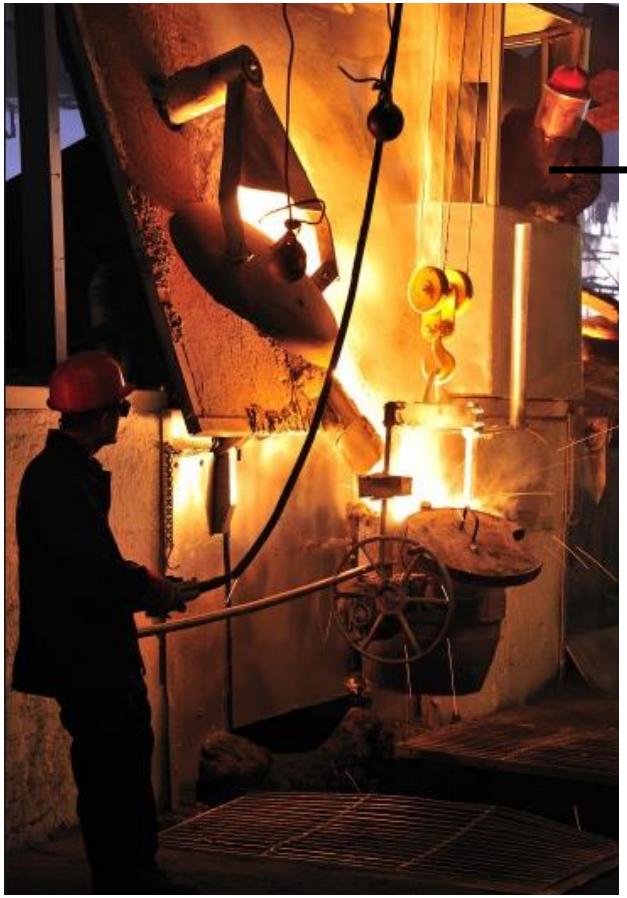
Haddeleme Prosesi, temel olarak sıcak haddeleme ve soğuk haddeleme olarak ikiye ayrılır.

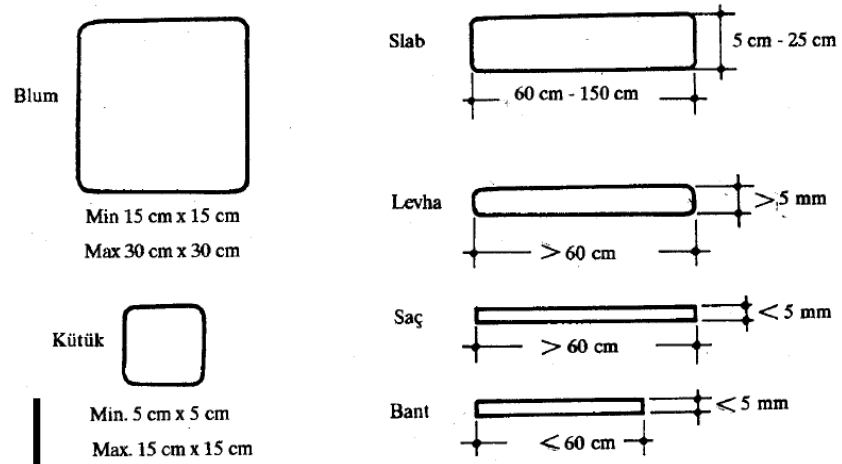
Sıcak haddeleme;
Başlangıçta ingotların blum,slab ve kütüklere dönüştürülmesi genellikle sıcak haddelemeyle yapılır.

Soğuk haddeleme;
Kaliteli yüzey ve hassas boyut kontrolü, yükseltilmiş mekanik özellikli saç, bant ve folyoların üretiminde büyük rol oynar.

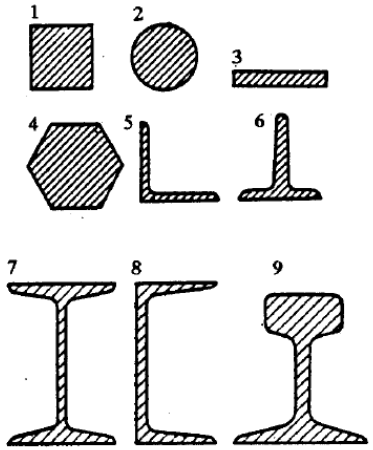
Haddeleme

Sıvı metalin dökme demir kokillere doldurulup katılaşmaya bırakılmasıyla ingotlar, ingotların sıcak haddelenmesiyle ilk ürün olarak blum, slab ve kütükler elde edilir. Blum, slab ve kütüklerin tekrar haddelenmesiyle profil, ray, çubuk, saç ve boru gibi ürünler elde edilir.



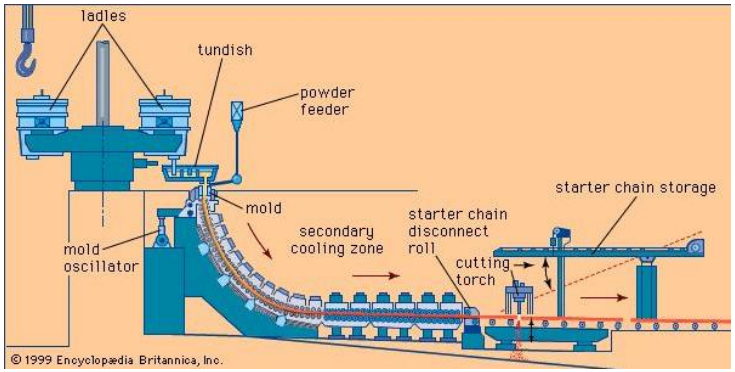


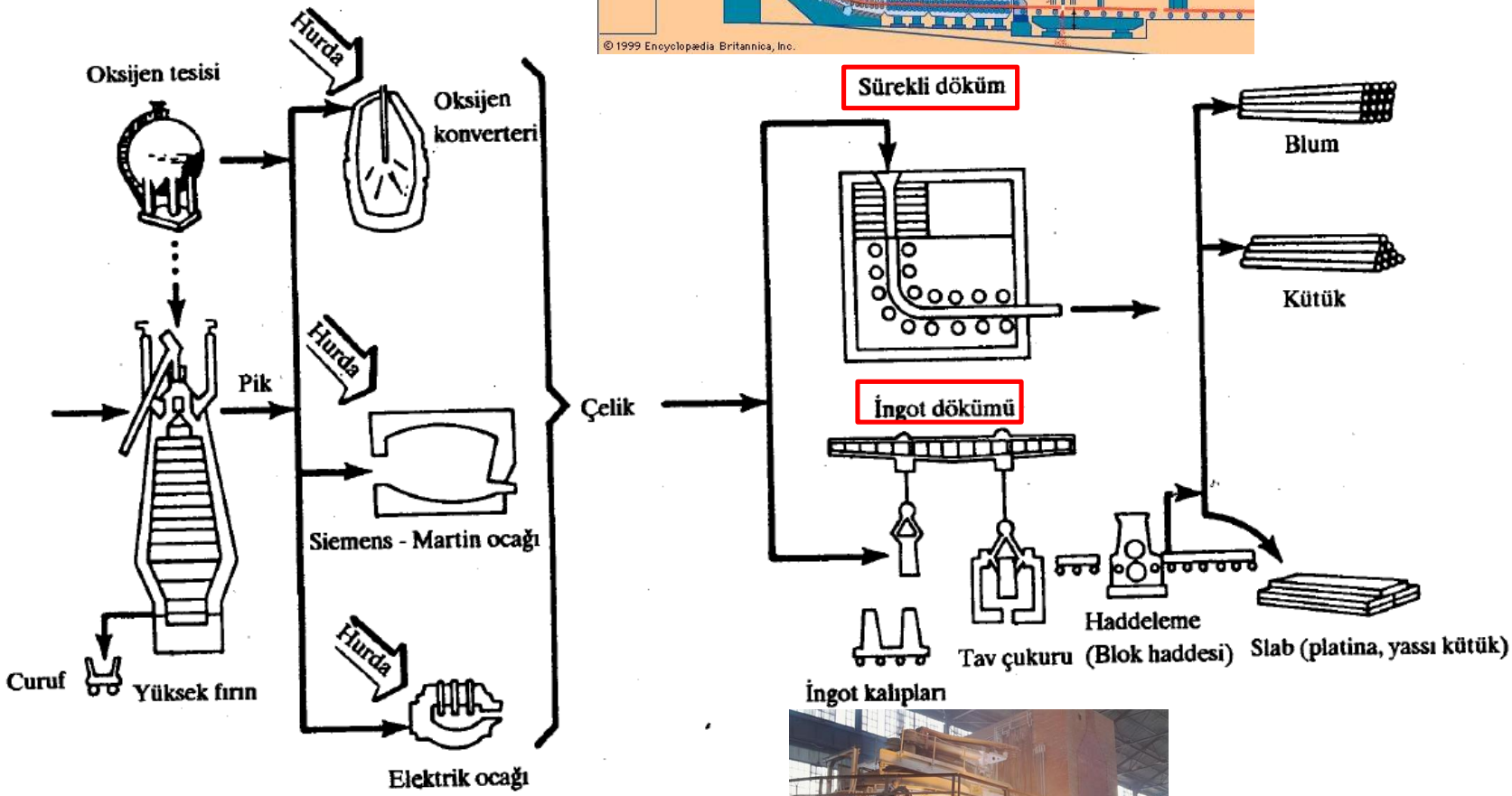
Şekil 5.4. Çeşitli hadde ürünlerinin kesit boyutları.



Şekil 5.1. Hadde ürünlerine örnekler. (1) Kare kesitli çubuk. (2) Daire kesitli çubuk. (3) Yassı ürün. (4) Altıköşe kesitli çubuk. (5) Köşebent. (6) T demiri. (7) I demiri (putrel). (8) U demiri. (9) Ray.

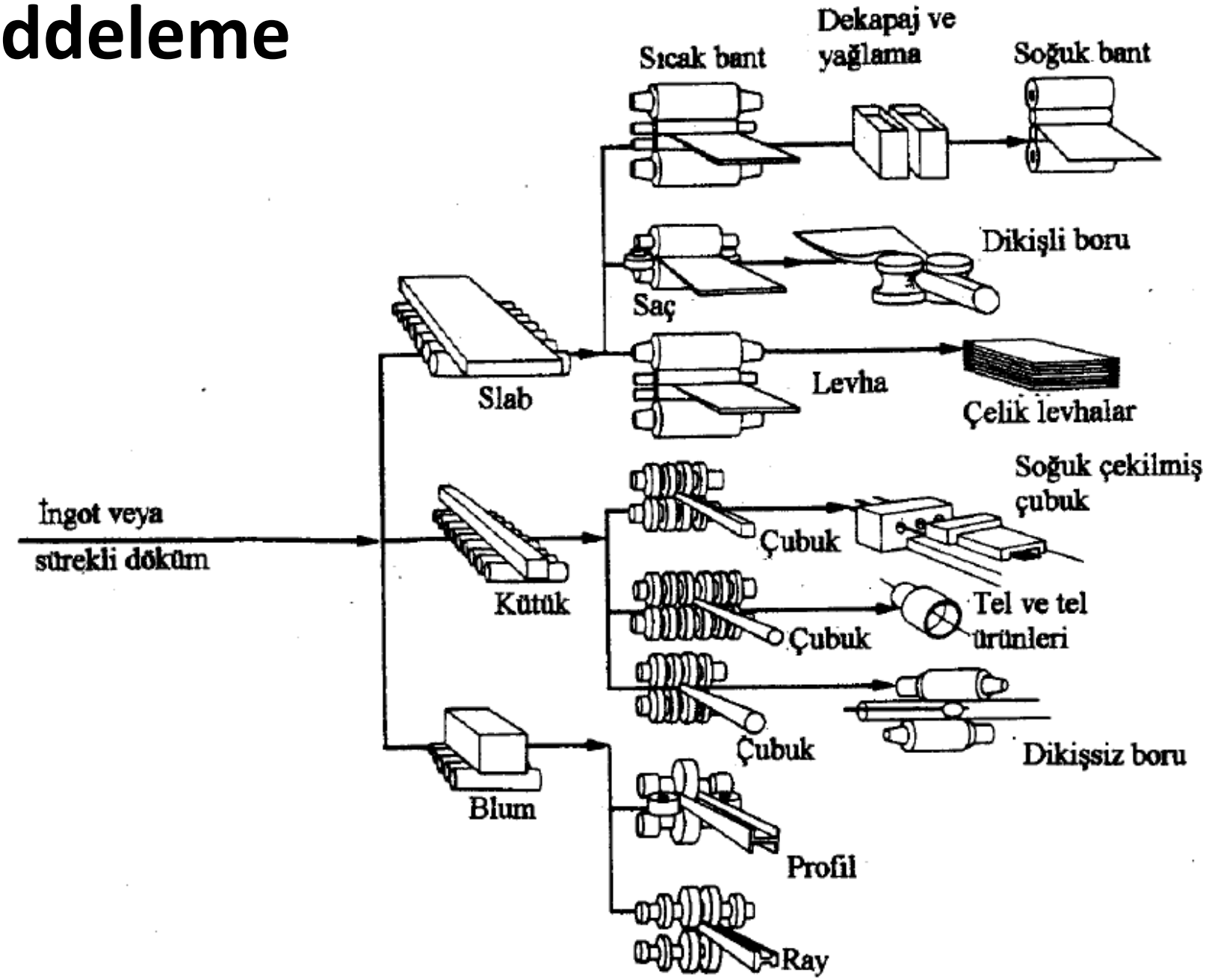
Haddeleme





Şekil 5.2. Çelik blum, slab

Haddeleme



Şekil 5.3: Blum, slab ve kütüklerin haddelenmesiyle elde edilen çeşitli ürünler.

Metal haddelemenin temelleri

Hipotez (varsayım);

1- Merdane ve metal arasındaki temas yayı çemberin bir kısmıdır.

2-Sürtünme katsayısı (μ) teoride sabittir, ancak gerçekte temas yayı boyunca değişmektedir.

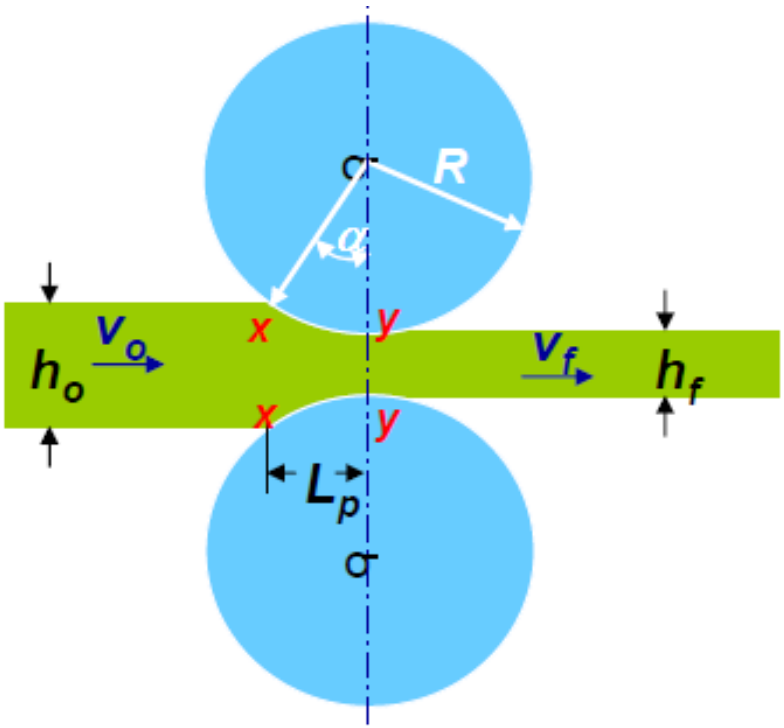
3-Haddeleme süresince metalin plastik deformasyona uğradığı kabul ediliyor.

4-Haddelemeden önce ve sonra metal hacmi sabittir. Pratikte ise yapı içerisinde var olan porların kapanmasıyla hacimde çok küçük azalma olmaktadır.

5-Merdanelerin hızı sabit kabul ediliyor.

6-Metal sadece haddeleme yönünde uzuyor ve malzeme eninde genişleme yok.

7-Haddeleme yönüne dik kesit alanında distorsiyon yok.



Yassı Ürünlerin haddelenmesi

- h_o kalınlığındaki saç metal v_0 hızı ile xx giriş düzlemindeki merdaneye giriyor.

- Merdane aralığından geçiyor ve v_f hızında azaltılmış h_f kalınlığı ile yy çıkış düzleminden çıkıyor.

- Kalınlıkta genişleme olmadığı varsayımı ile metaldeki dikey basınç haddeleme yönündeki uzamaya aktarılıyor.

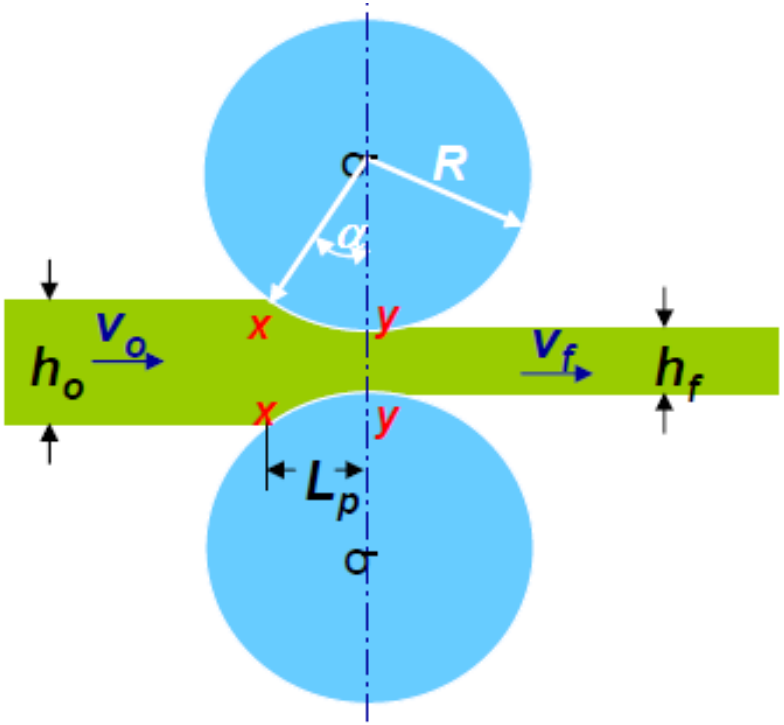
Herhangi bir zaman diliminde hacim sabit olduğu için;

$$bh_o v_o = bh_f v_f$$

$$v_o h_o = v_f h_f$$

$h_o > h_f$ olduğunda , $v_0 < v_f$ olur

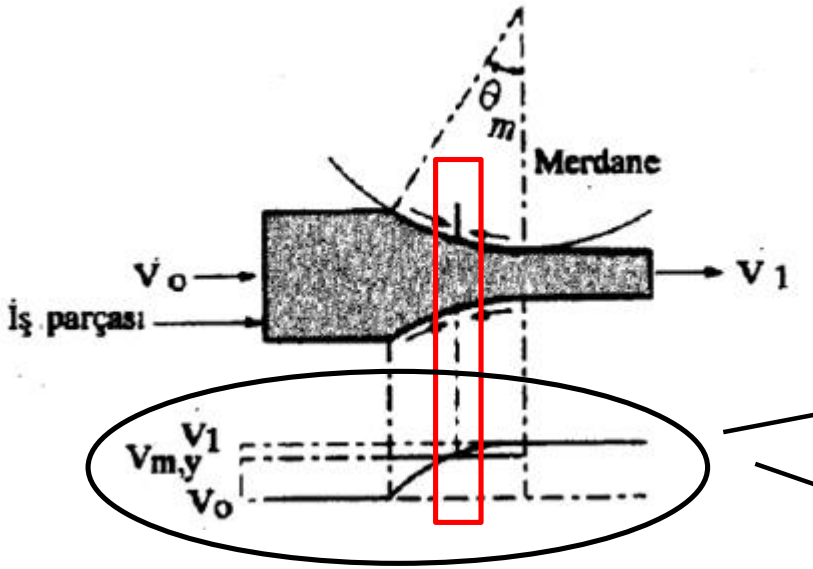
Dolayısıyla metal saçın hızı girişten çıkışa doğru sürekli artmaktadır.



Yassı Ürünlerin haddelenmesi

Merdanenin çevresel hızının yatay bileşeni

$$V_{m.y} = V_m \cos\theta$$



Metal saç hızı ve Merdanenin yatay bileşen hızı arasındaki eşitlikler;

Giriş düzlemiyle nötr düzlem arasında (giriş bölgesi)

$$V - V_m \cos\theta < 0$$

nötr düzlemle çıkış düzlemi arasında (çıkış bölgesi) ise

$$V - V_m \cos\theta > 0$$

Metal saçın hızının (V) merdanenin yatay hız ($V_{m.y}$) bileşenine eşit olduğu ($V = V_{m.y}$) düzleme nötr düzlem denilmektedir.

$$V = V_{m.y}$$

$$V - V_m \cos\theta = 0$$

Yassı Ürünlerin haddelenmesi

sürtünme kuvveti

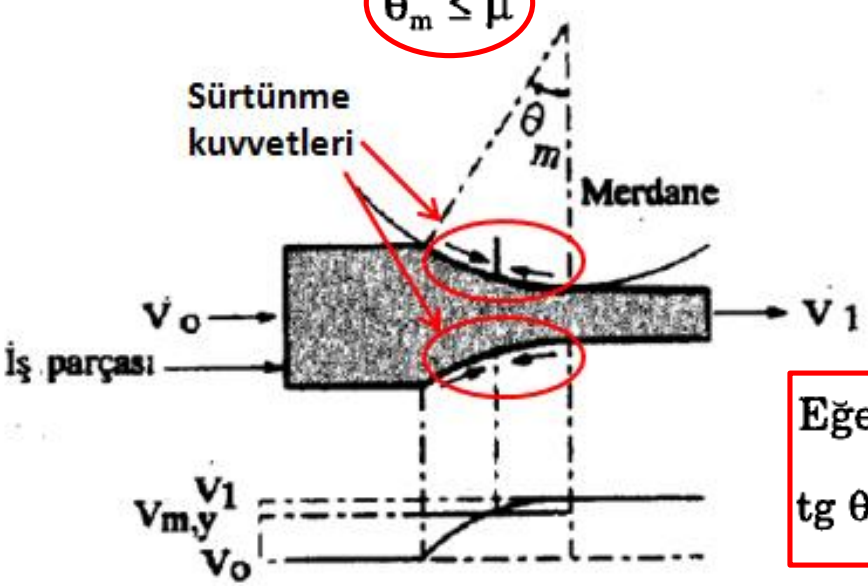
$$T = \mu N$$

haddeleme işleminin başlaması koşulu

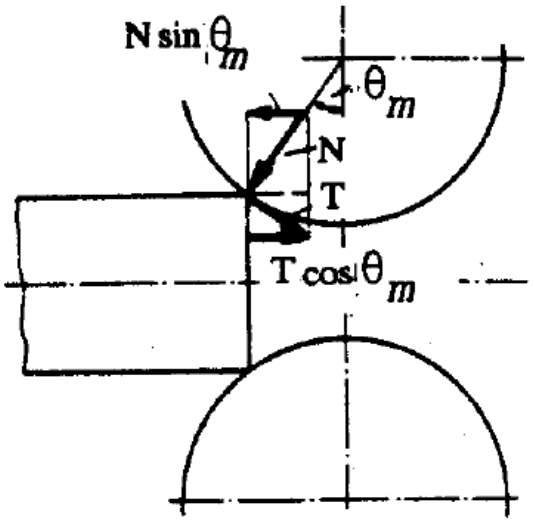
$$N \cdot \sin \theta_m \leq \mu N \cdot \cos \theta_m$$

$$\operatorname{tg} \theta_m \leq \mu$$

$$\theta_m \leq \mu$$



Merdane ve saç arasındaki temas yüzeyi boyunca metal üzerine etkiyen 2 kuvvet var:
1)Radyal kuvvet 2)Teğetsel sürtünme kuvveti



Şekil 5.7. Haddeleme başlangıcında saça etkiyen kuvvetler.

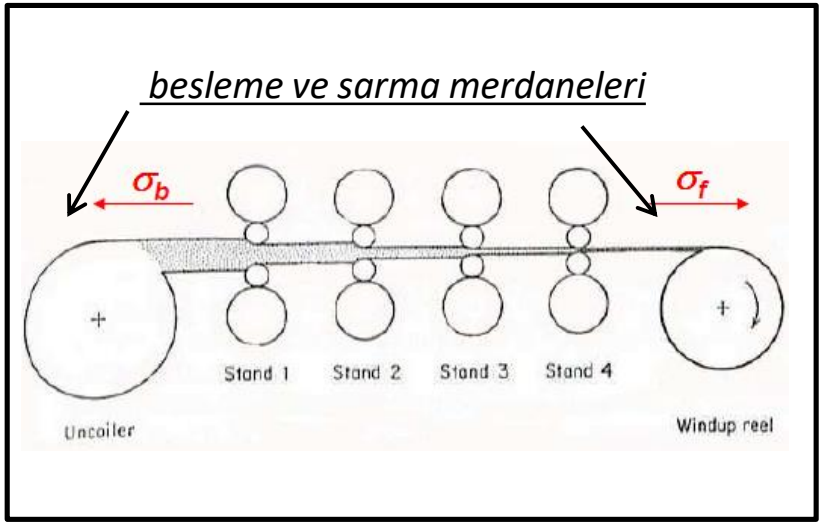
Eğer $\mu > \operatorname{tg} \theta_m$ ise haddeleme işlemi yapılabilir;

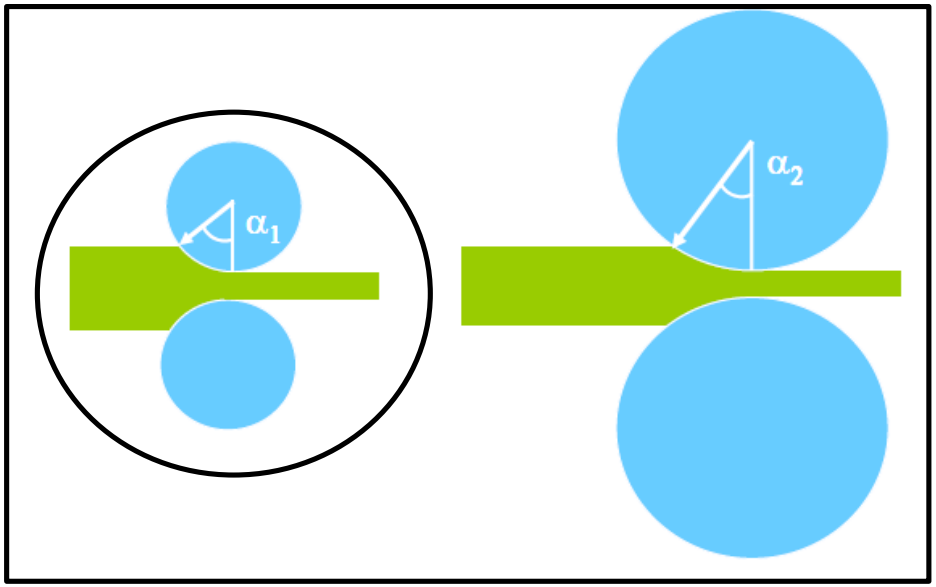
$\operatorname{tg} \theta_m > \mu$ ise malzeme merdaneler arasında ilerliyemez

Haddeleme Kuvvetleri

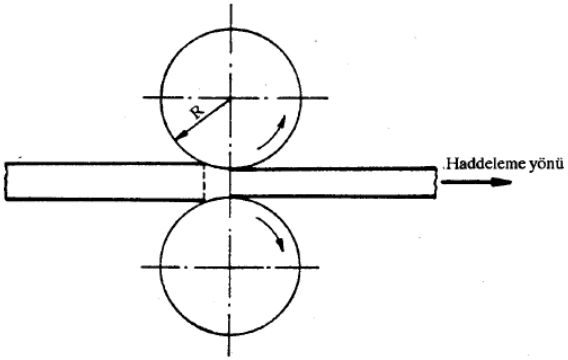
Haddeleme kuvvetlerinin düşürülmesi için

- ✓ *Sürtünmeyi katsayısını azaltmak*
- ✓ *Merdane Çapını azaltmak*
- ✓ *Sıcaklığı artırmak*
- ✓ *Saça σ_b ve σ_f çekme gerilmeleri uygulamak*





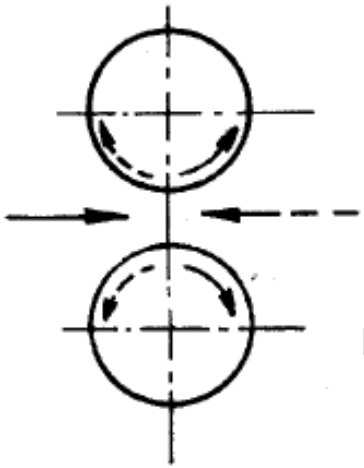
Merdane Düzenleri



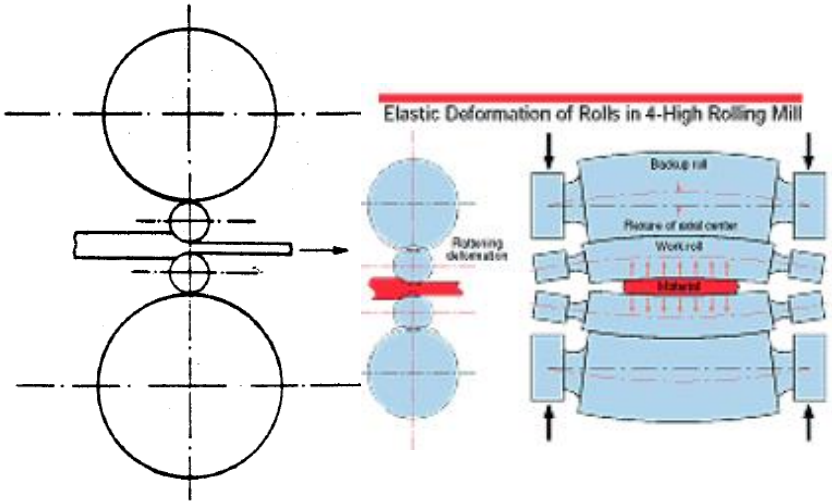
Şekil 5.10. Tek yönlü ikili düzen.

Tek yönlü ikili düzen:
En basit merdane düzenidir.

Çift yönlü(tersinir) ikili düzen:
Malzeme haddelendikten sonra, merdaneler üzerinden dolaştırılmadan tekrar haddelemek için yön değiştirilir. 2. hadde de merdaneler arası mesafe düşürülür.

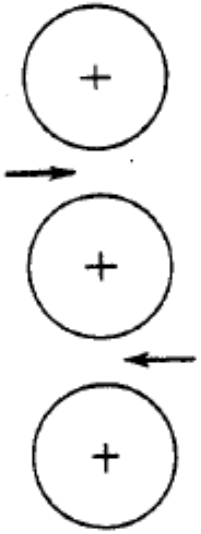


Şekil 5.11. Çift yönlü (tersinir) ikili düzen.



Şekil 5.13. Dörtlü düzen.

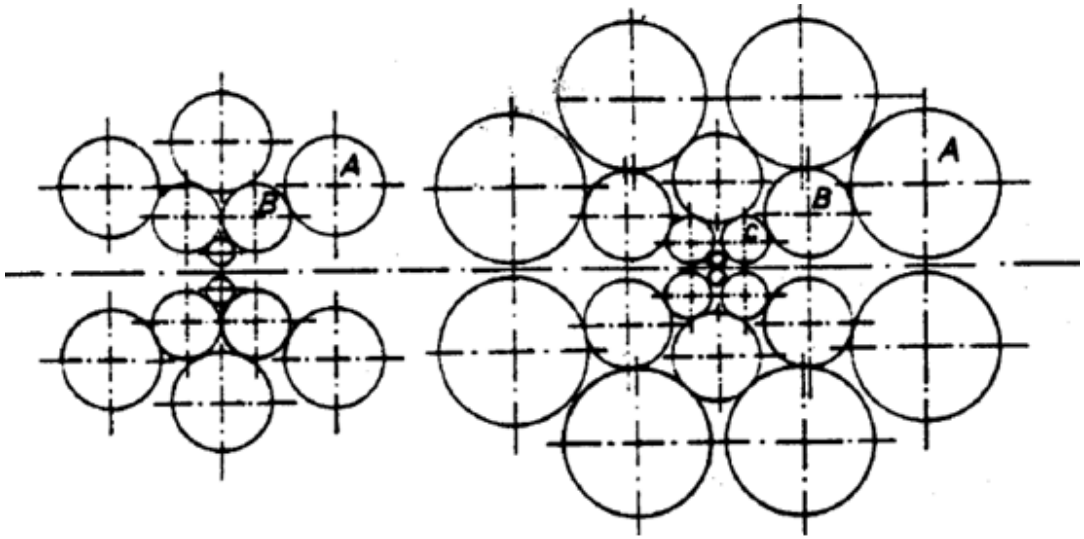
Dörtlü düzen:
Haddeleme kuvvetinin düşürülmesi için merdane çapı düşürülür. Ancak çapla beraber dayanım ve rijitlik azaldığından büyük çaplı merdaneler ile desteklenir. Destek merdaneleri iş merdanelerinin dikey doğrultuda eğilmelerini önler.



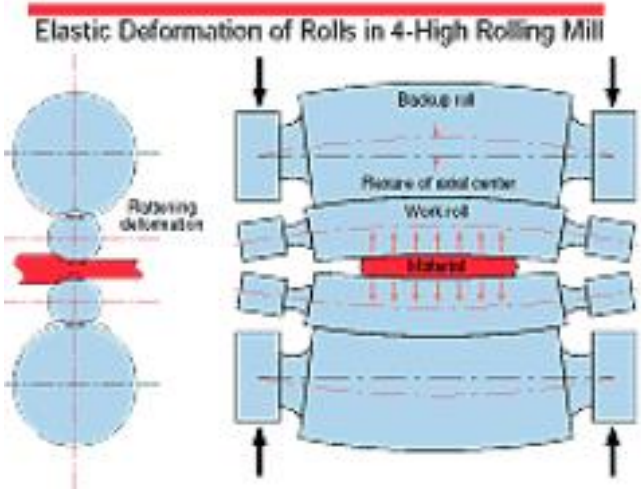
Şekil 5.12. Üçlü düzen.

Üçlü düzen:
Üç merdane üst üste dizilmiştir ve malzeme 2 yönde de haddelenebilir. Alttaki ve üstteki merdaneler dönme kuvveti uyguluyor ancak ortadaki sürtünmeyle döndürülüyor.

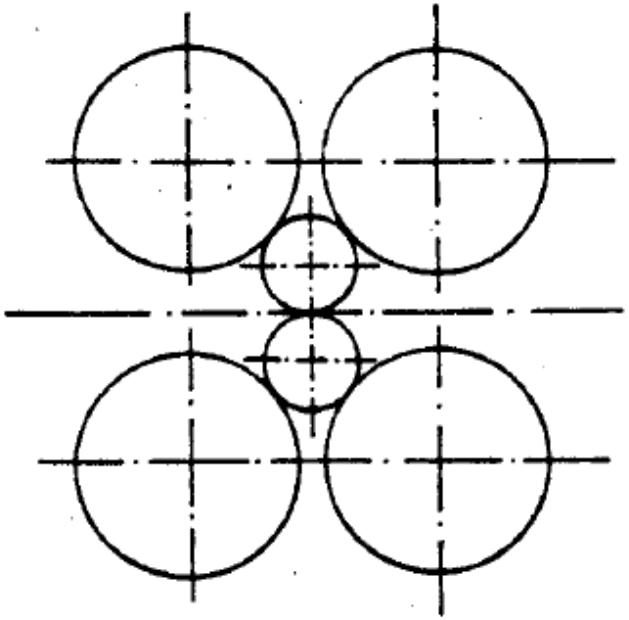
Merdane Düzenleri



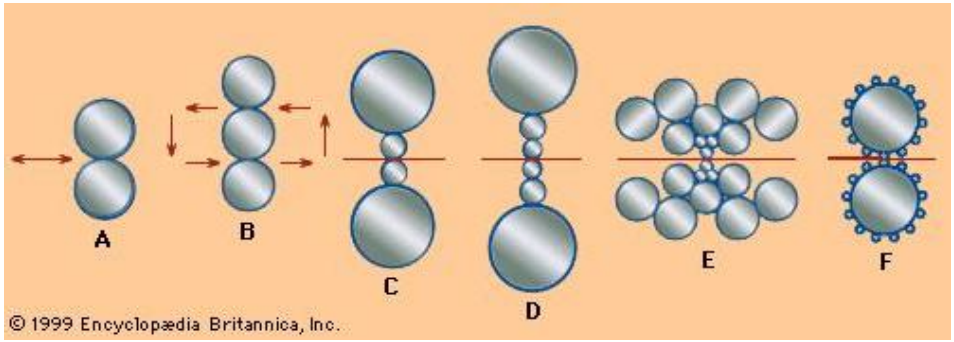
Şekil 5.15. Onikili ve yirmili düzenler



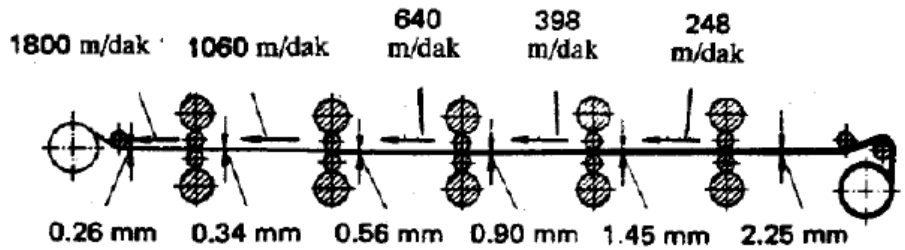
Dörtlü düzen merdane sistemlerinde iş merdanelerinin dikey doğrultuda eğilmeleri destek merdaneleri ile önlenebilmektedir. Fakat iş merdanelerinin yatay doğrultuda da eğilebileceği için, dörtlü düzende iş merdanelerinin çapı belirli bir değerden küçük alınamaz. İş merdanelerini daha da küçültebilmek için 4, 10, 18 destekli merdane sistemleri geliştirilmiştir. Çok rijit olan 20 li tezgahlar yüksek dayanımlı ince saçların dar toleranslarla soğuk haddelenmesine özellikle uygulanır. Bu tezgahlarda dayanım, rijitlik ve aşınma gibi faktörler göz önüne alınarak WC den üretilen iş merdaneleri kullanılır.



Şekil 5.14. Altılı düzen.

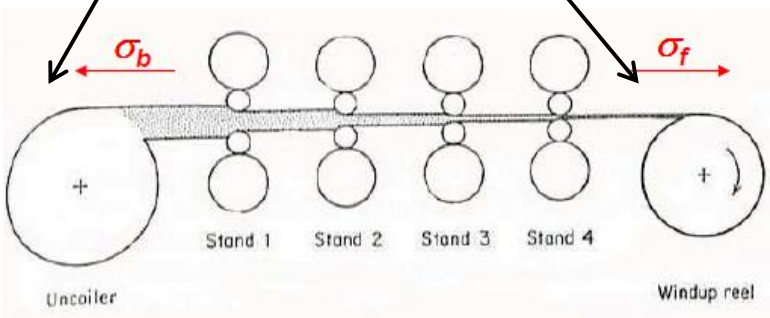


Merdane Düzenleri

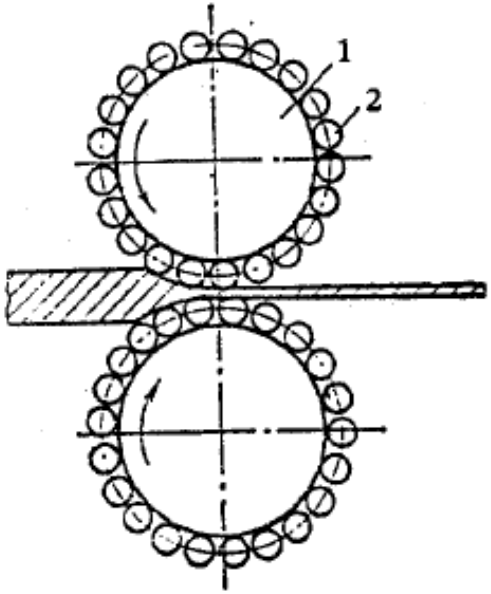


Şekil 5.17. Beş hadde tezgâhının (ayağının) ardarda sıralanmış olduğu bir haddeleme tesisinde (tandem) soğuk saç haddeleme (şematik).

Sadece besleme ve sarma işi yapmazlar



Birkaç hadde tezgahının ard arda sıralandığı soğuk hadde tezgahlarına tandem hadde tezgahı denmektedir. Genellikle rulo halinde saçların haddelendiği tezgahta bir merdaneden çıkan saçın hızı ile girdiği merdanenin dönme hızı ayarlanmalıdır. Boşaltma ve sarma bobinlerinin hızları ayarlanarak saca uygulanan yatay çekme kuvvetleri vasıtasıyla haddeleme kuvveti azaltılabilir.

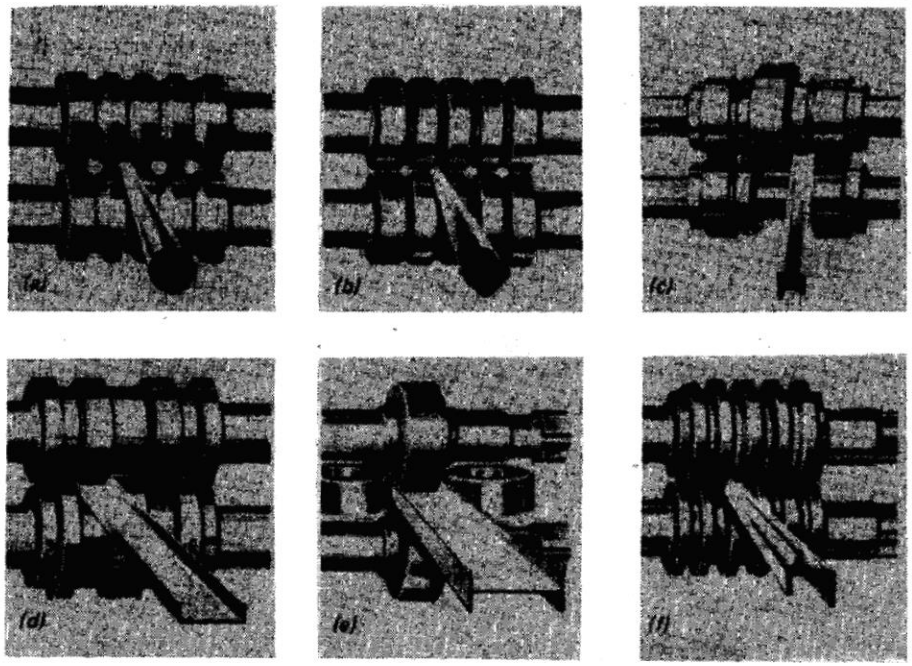


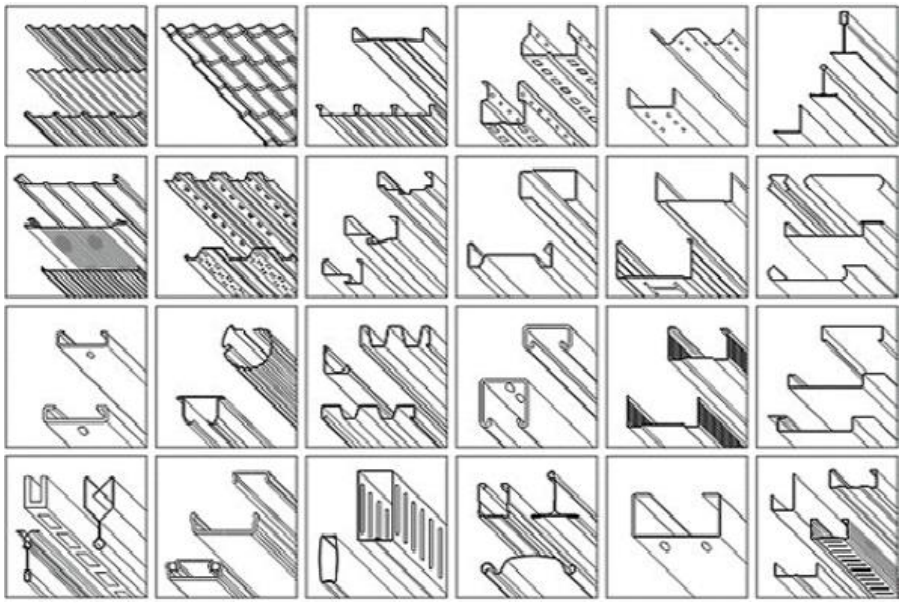
Şekil 5.16. Planet.

- ✓ *Her bir planet merdane hemen hemen aynı inceltme sağlar*
- ✓ *Toplam incelme her bir planet merdane çiftinin küçük azalmalarının toplamı kadardır. Dolayısıyla bir beslemede büyük miktar incelme sağlanır.*
- ✓ *Besleme rulosu giriş kuvvetini sağladığı için son yüzey kalitesi yüksektir.*

Planet düzende içteki büyük çaplı destek merdaneleri etrafında dıştaki küçük iş merdaneleri döner. Geleneksel sıcak haddeleme tezgahında bir pasoda en çok %30-40 azaltılabilirken, planet hadde ile bu değer %90 lara kadar çıkabilmektedir.

Çubuk ve Profillerin Haddelenmesi

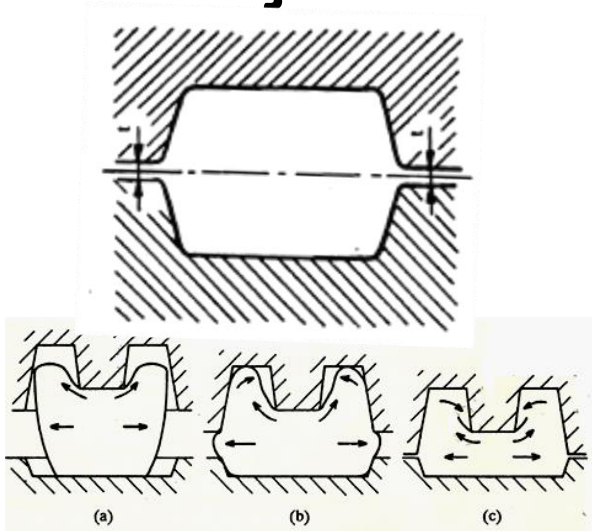




Şekil 5.19. Çubuk ve profillerin haddelenmesı. (a) Dairesel. (b) Kare. (c) Ray. (d) U demiri. (e) I demiri. (f) Özel kesit.

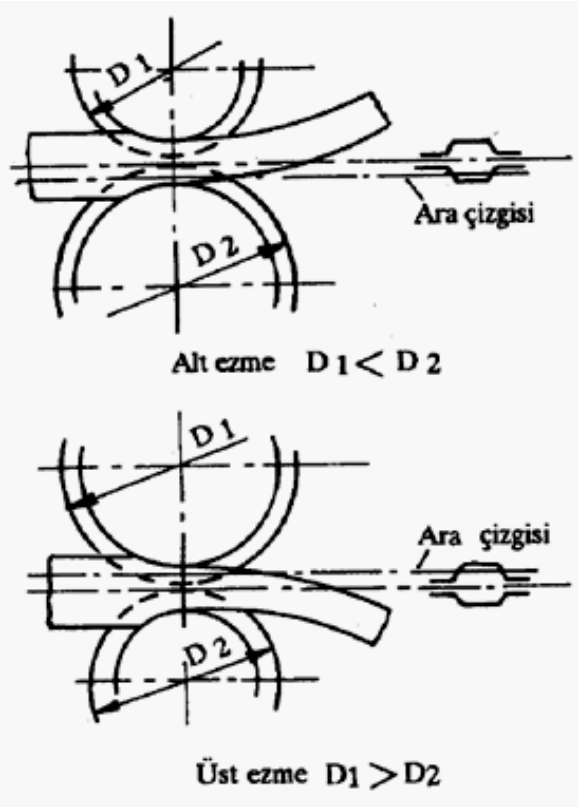
Çeşitli kesitte (dairesel, dörtgen vb.) çubuklar, profiller (I,U kesitli), köşebentleri, otomobil parçaları, çelik borular, kapı ve pencere çerçeveleri, demiryolu rayları, tavan panelleri, ev gereçleri, metal mobilyalar….

Çubuk ve Profillerin Haddelenmesi

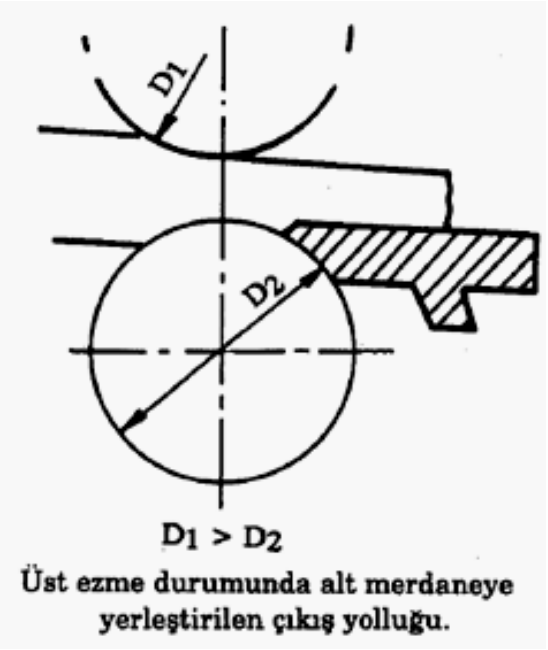


Pasoların yan yüzeyleri merdane eksenine dik olmayıp eğiktir. Kalibrenin yan yüzeylerinin eğimli yapılması;

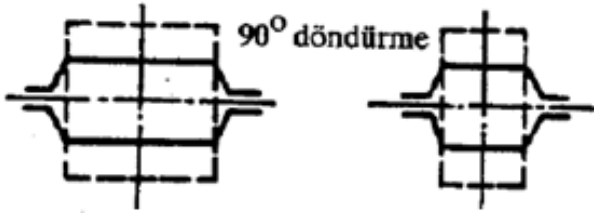
- ✓ *İş parçasının giriş-çıkışını kolaylaştırır*
- ✓ *Aşınmayı azaltır*
- ✓ *Katmer kusurunun oluşmasını önler*



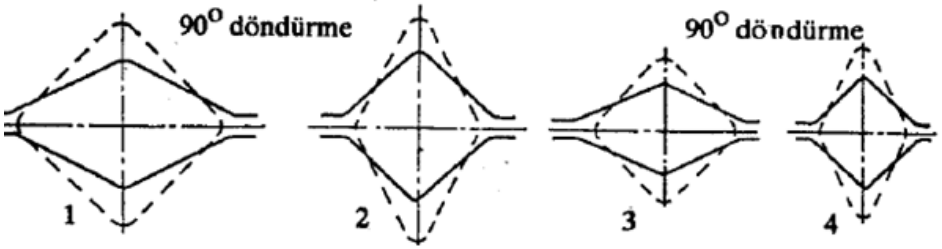
- ✓ *İş parçası küçük çaplı merdaneye doğru döner.*
- ✓ *Çapı büyük olan merdanenin konumuna göre alt ezme ya da üst ezme durumu vardır.*
- ✓ *Ezmenin tipine bağlı olarak çıkış yolluğu yerleştirilir.*
- ✓ *Son pasoda ise heterojen iç gerilmelere neden olmamak için merdane çapları eşit olmalıdır.*



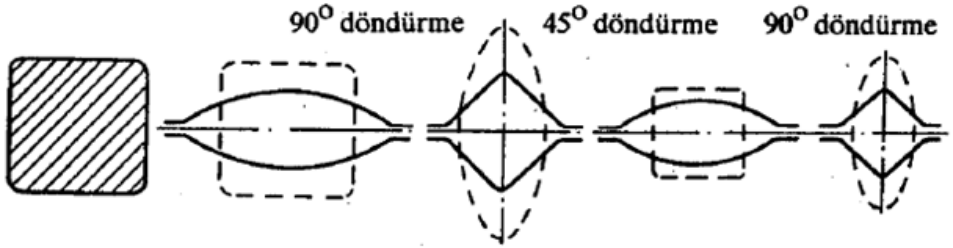
Kutu Paso Serileri



Şekil 5.26. Kutu pasolar.



Şekil 5.27. Baklava–kare paso serileri.



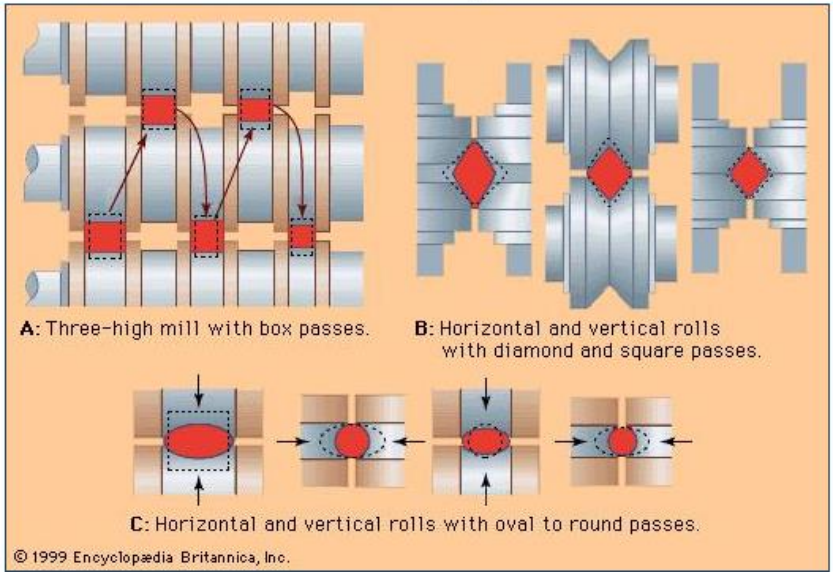
Şekil 5.29. Oval–kare paso serileri.

✓*Oval-kare paso serileri, en az paso adetiyle en fazla kesit azalması sağlayan serilerdir. Büyük ekseniyle küçük ekseni arasındaki oran arttıkça kesit azalması ya da uzama da artar.*

✓*Blum ve kütüklerin haddelenerek kare, dairesel basit çubukların üretimi*

✓*Her kademede kesit azalması %10-30 arasında*

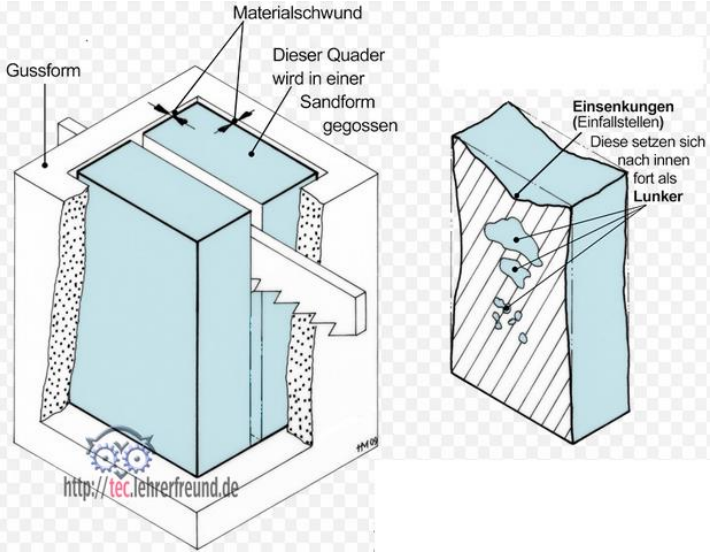
✓*Çubukların haddelenerek kesitlerinin küçültülmesi işlemlerinde ve bitmiş kare kesitlerin elde edilmesinde kullanılır.*



Üretim Aşamaları

Malzemenin haddeleme işlemine hazırlanması: Haddelemenin her safhasında yüzey şartlarının önemi büyüktür. Bu nedenle haddelenecek malzeme yüzey kusurlarından tamamen arındırılmış olmalıdır. Genellikle ingotlar blok haddesinden önce ısıtılmak amacıyla tav çukurlarına yerleştirilmek üzere zaten sıcak durumda sevkedilir. Bu nedenle çoğu zaman ingotlara herhangi bir "yüzey temizleme" işlemi uygulanmaz. Yüzey kusurları, blok hadde tezgâhında üretilen ve yarı mamul niteliğinde olan blumlarla slablara uygulanan "yüzey temizleme" işlemleri ile giderilir. İngotlar, nadir olarak, bazı özel çelikler için, sıcak durumda veya soğuduktan sonra yüzey temizleme işlemine tabi tutulabilmektedir. Ayrıca ingotların katılaşması sırasında sıvı seviyesinin düşmesiyle oluşan kafa lunkerinin kesildiği de belirtilmelidir.

İngot döküm



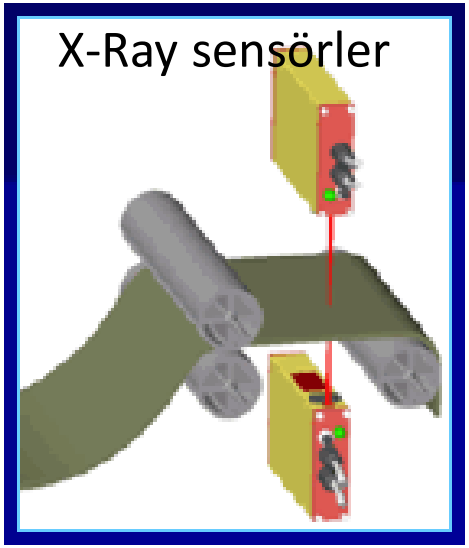
- ✓Gas porozitesi
- ✓Büzülme hataları
- ✓ Segregasyon vb

Üretim Aşamaları

Isıtma: Sıcak haddelemeden önce malzemenin ısıtılması önemli bir üretim aşaması olup metale en iyi plastik özelliklerin kazandırılması ve hadde ürününün istenen kaliteye sahip olması amaçlarını taşır. Isıtma işleminin başlıca iki parametresi vardır: sıcaklık ve süre. Malzemeye bağlı olmak üzere gerek sıcaklık aralığının seçilmesi, gerek bu sıcaklıkta tutma süresi doğrudan doğruya ürüne yansıyan sonuçlar doğurur. En yüksek ısıtma sıcaklığı solidüsün 100...150 °C altında olmalıdır. Tutma süresinin gereğinden uzun olması ise yakıt harcamasını arttırdığı gibi örneğin çelik malzemede demir kaybına ve dekarbürizasyona yol açar.

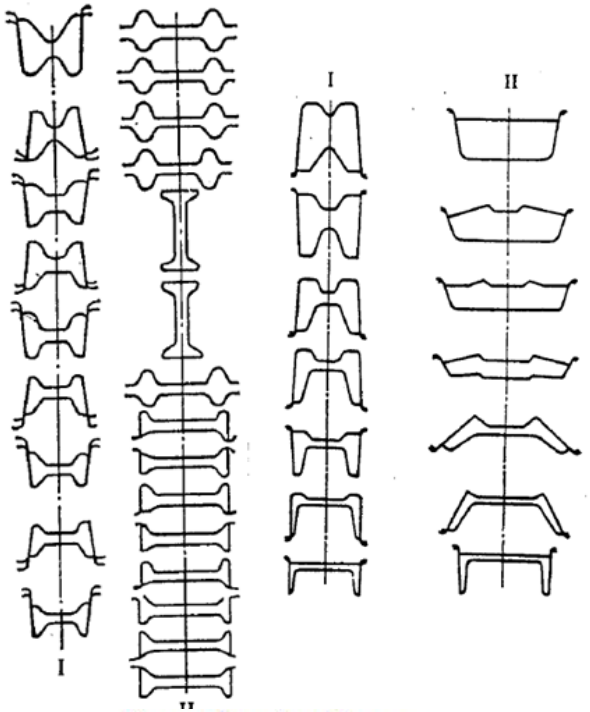
Üretim Aşamaları

Haddeleme: Haddeleme işleminin başlıca parametlerinden biri sıcaklıktır. Haddelemenin başlangıcında sıcaklık malzemeye bağlı olmak üzere olabildiğince yüksek seçilmelidir. Bu sıcaklık solidüsün 100...200 °C altındadır Genel olarak, haddeleme sonundaki sıcaklığın üründen istenen özelliklere göre seçildiği söylenebilir.

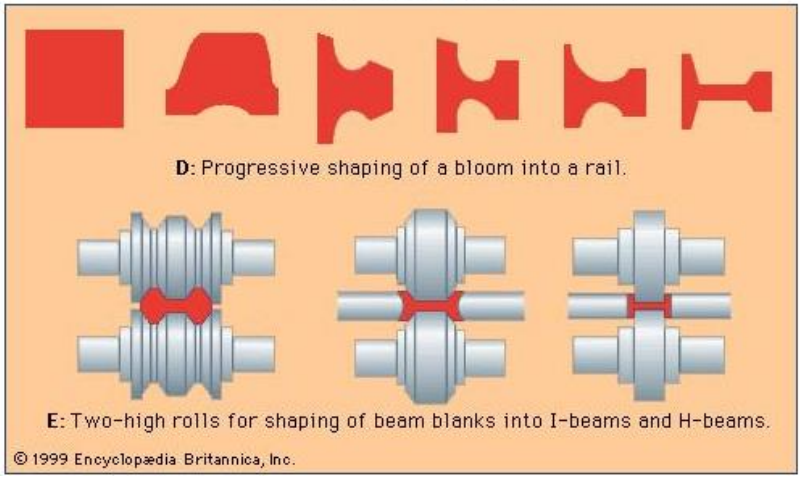


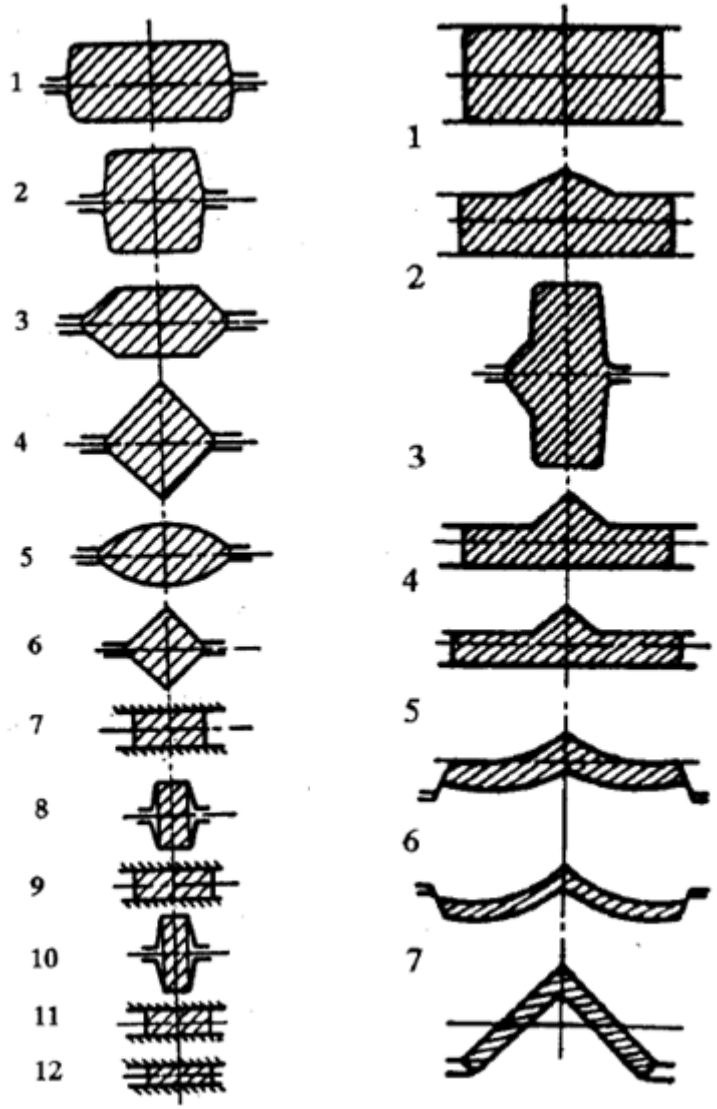
Tamamlama işlemleri: Haddelenen malzeme, kalite kontrolu amacıyla, bir seri tamamlama işleminden geçirilir. Bu işlemlere örnek olarak doğrultma, yüzey temizleme, ültrasonik ve yüzey çatlak test cihazlarından geçirme gösterilebilir. Malzemede iç kusuru bulunan kısımlar kesilerek ayrılır. Yüzey çatlakları ise kabuk soyma ve/veya taşlama ile giderilir.

Blum, slab, kütük ve büyük kesitlerin haddelenmesi



bloom: forming shapes

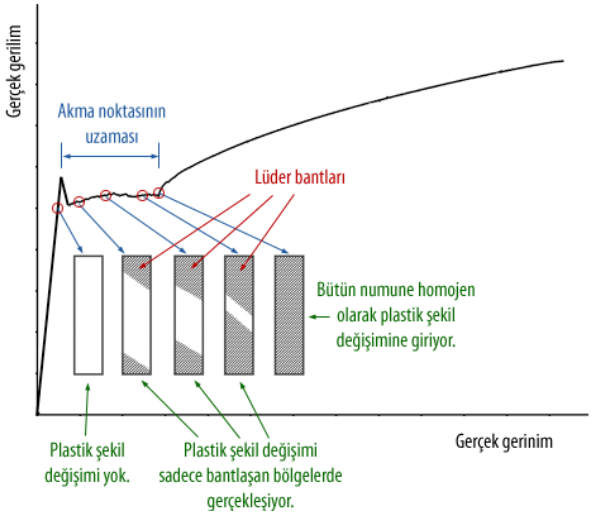




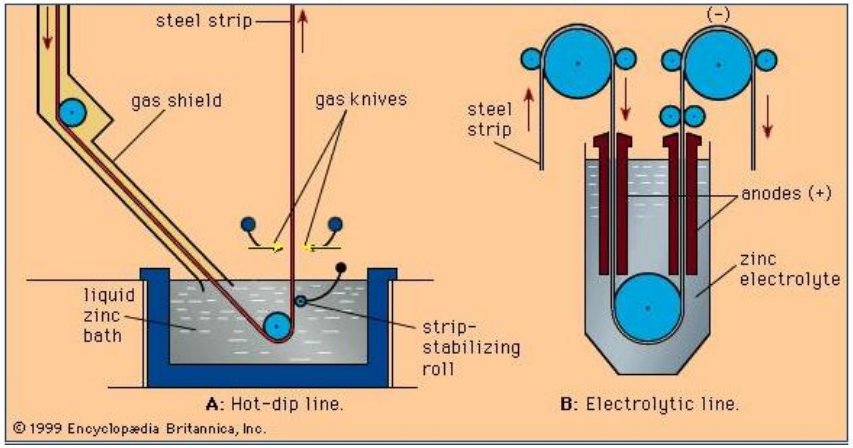
Yuvarlak kesitlerin, kare kesitlerin, lama ve bantların, köşebentlerin haddelenmesinde kullanılan paso serileri

Levha ve Saçların Haddelenmesi

Soğuk haddelenmiş ve tavlanmış çelik saçlara temper haddelemesi (ing. temper rolling, skin pass) uygulanır. Temper haddelemesi, şekil değiştirme oranı % 0,5...1,5 gibi çok düşük bir soğuk haddeleme işlemidir. Bu işlemin amacı saça daha sonra plastik şekil verilirken, örneğin derin çekmede, belirgin akma ve dolayısıyla Lüders bantlarının oluşumunu engelliyerek yüzey görünümünün bozulmamasını sağlamaktır. Temper haddelemesinden sonra saça şekil değişimi yaşlanmasına uğramadan plastik şekil verilmelidir. Aksi halde, yani depolamada belirli bir süre aşılırsa, daha sonra plastik şekil verme sırasında belirgin akma ve Lüders bantları yeniden görülür.



✓*Slabların sıcak haddelenmesiyle elde edilen saçlar.*



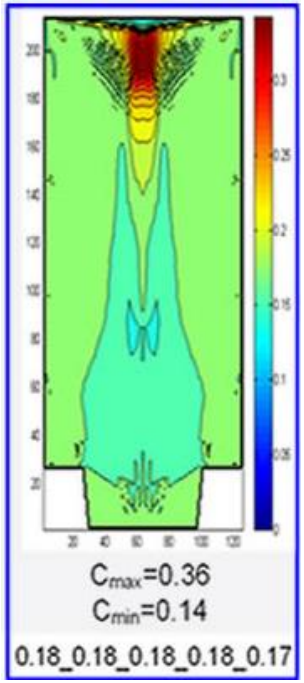
✓*Levhaların soğuk haddelenmesiyle elde edilen saçlar. (galvanizlenmiş)*

✓*Soğuk haddelemeden önce dekapaj yapılarak yüzey temizlenir ve gerekirse kotrollü atmosferde pekleşmenin etkilerini gidermek için yeniden kristallenme uygulanır.*

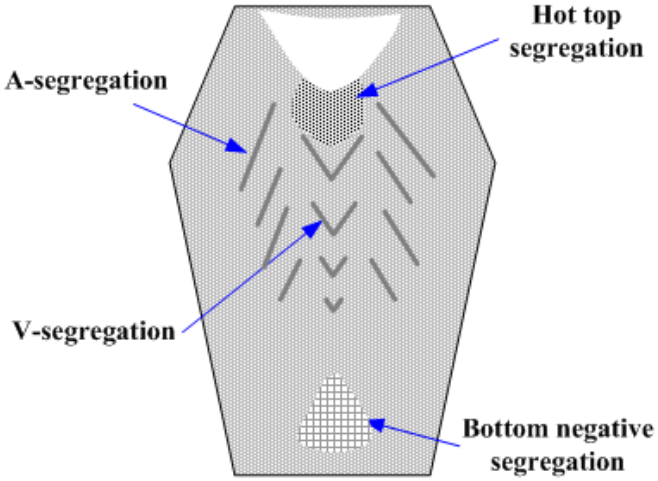
Hadde Ürünlerinde Kusurlar

Haddeleme işleminin kusursuz olabilmesi için, sıcaklık kontrolu, ara tavlama, kusursuz hammadde (ingot), tufal oluşumu, yağlama, merdanelerin yüzey durumu gibi faktörler özenle dengelenmelidir.

İngotların yüzey kusurları arasında çatlaklar ve kabuklar sayılabilir. İngot üzerinde enine ve boyuna doğrultuda bulunan mikro ve/veya makroçatlakların en önemli nedeni döküm sıcaklığının yüksekliğidir. Kalıp yüzeylerinin bozuk olması da ingotta yüzey çatlaklarına neden olur. Kabuk oluşumuna yol açan başlıca neden ise ingot dökülürken sıvı metalin kalıp tabanına çarparak soğuk kalıp yüzeylerine sıçraması ve bu yüzeylerde oksitlenerek katılaşmasıdır. İngot yüzeyine yapışan bu malzeme haddelenmiş yarı üründe kabuk şeklinde görülür. Alttan döküm yöntemiyle ve sıvı malzemenin kalıba döküm hızı kontrol edilerek bu kusur giderilebilir. İngotta lunker ve gaz boşlukları bulunması ve bunların ingotun haddelenmesi sırasında kaynamayarak kapanmaması ürünün kusurlu olmasına yol açar.



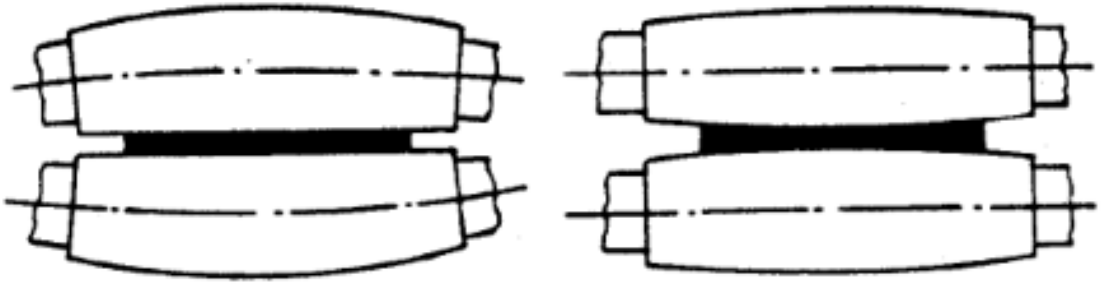
Macrosegregation in steel ingots

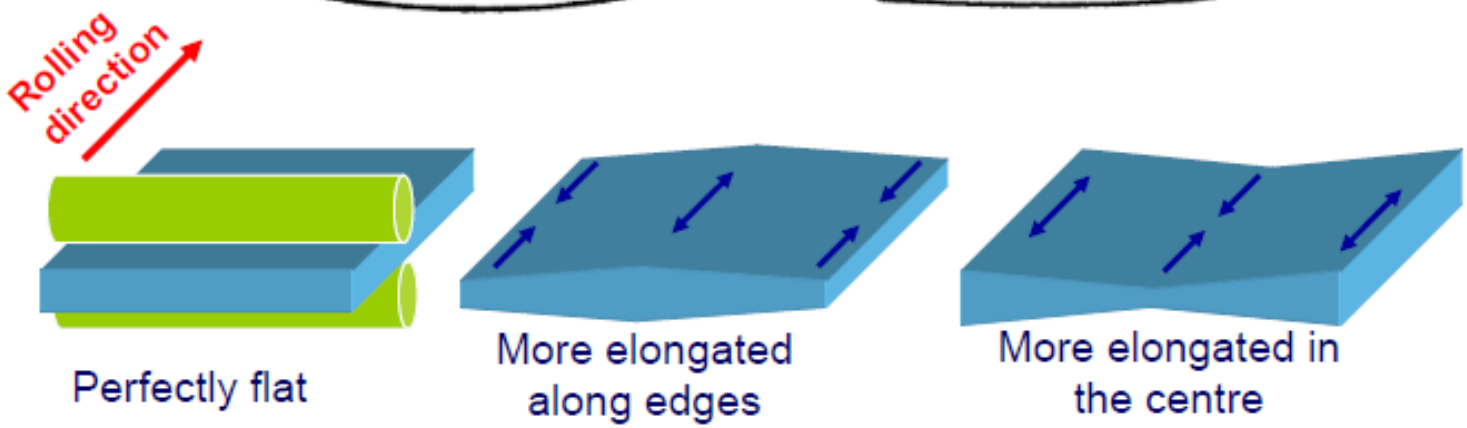


www.substech.com

Hadde Ürünlerinde Kusurlar

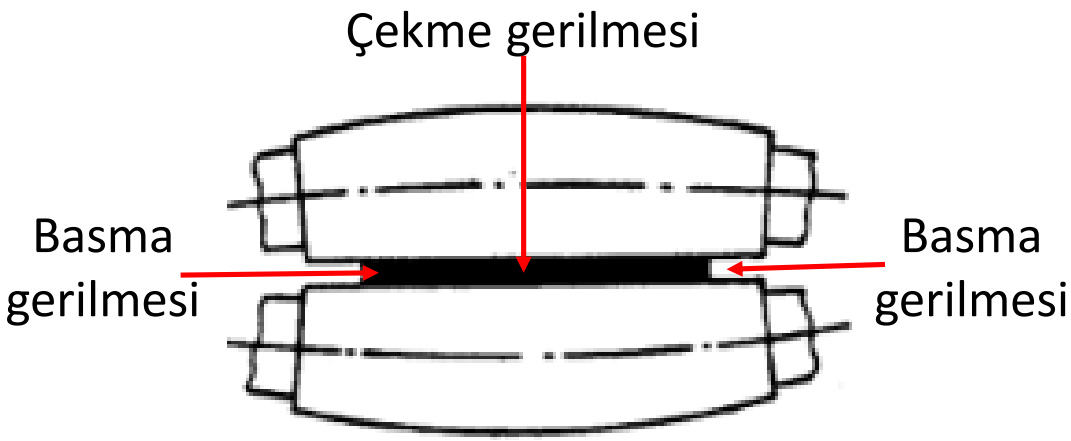
- ✓ Haddeleme aralığı bütün merdane boyunca eşit olmalı.
- ✓ Haddeleme hızı düzlüğe çok hassas bağlıdır. Lokal olarak 10000 de 1 boyut değişimi farkı dalgalılığa neden olur.
- ✓ Dalgalanma merdanelerin düşey doğrultuda eğilmesi sonucu oluşur.

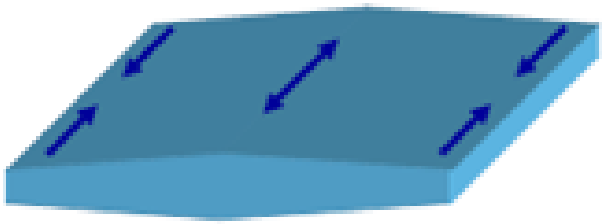




Hadde Ürünlerinde Kusurlar

Kalınlık kenarlarda orta kısma kıyasla daha düşüktür dolayısıyla kenarların orta kısımdan fazla uzaması fakat serbestçe yayılamaması kenarlardaki dalgalanmaya yol açar.



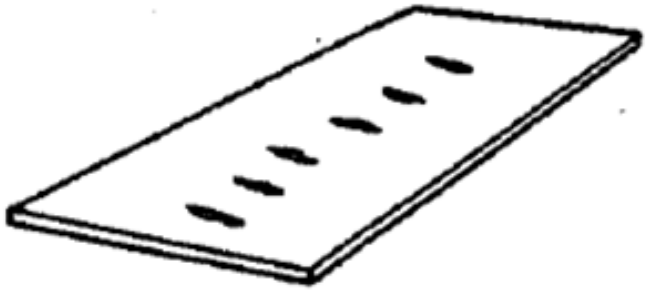


More elongated along edges

Yeteri kadar sünek ise

Kenarlarda Dalgalanma

Sünek değil ise

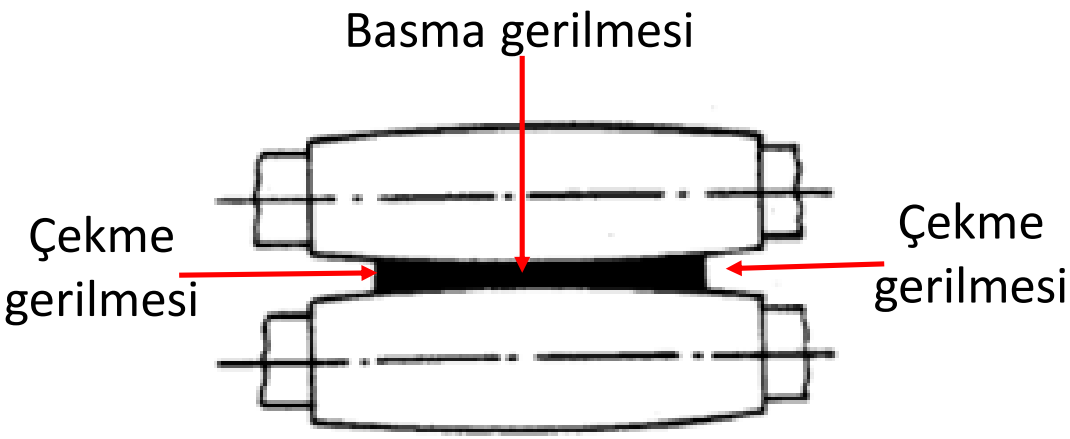


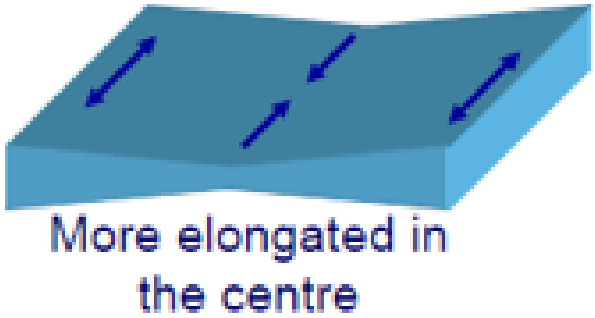
Ortada enlemesine çatlaklar

Kenar Çatlakları

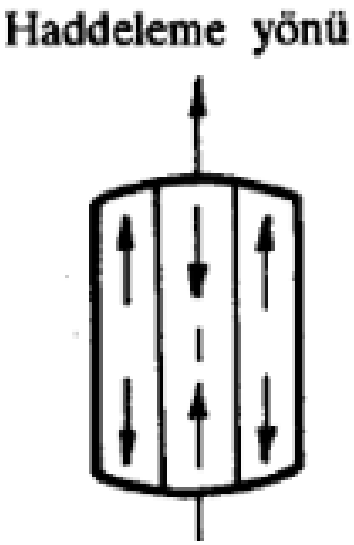
Hadde Ürünlerinde Kusurlar

Sürtünme ortadaki kısımda kenarlara kıyasla daha fazla olduğundan orta kısım sadece boyuna uzama gösterirken kenar kısımlar az da olsa enlemesine uzama da gösterirler. Bu eş kesitte orta kısmın kenar kısımlara oranla daha fazla uzamasına neden olur.



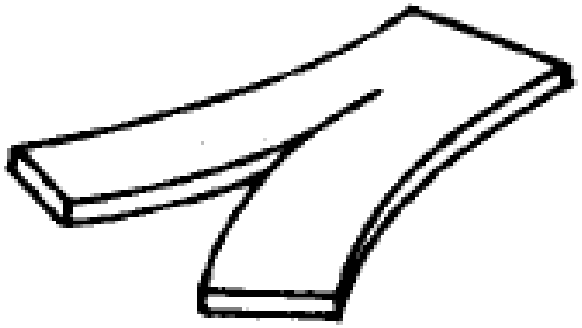


Yeteri kadar sünek ise



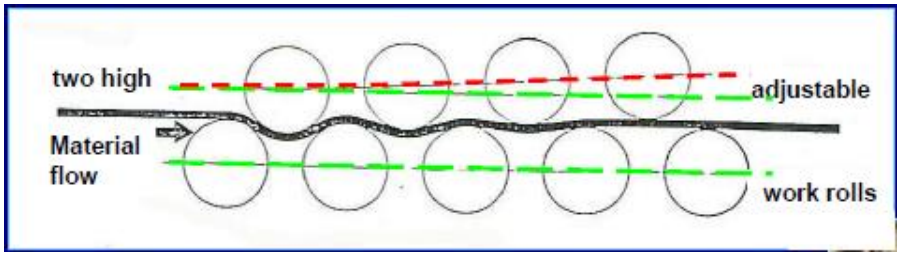
iki ucun yuvarlaklaşması.

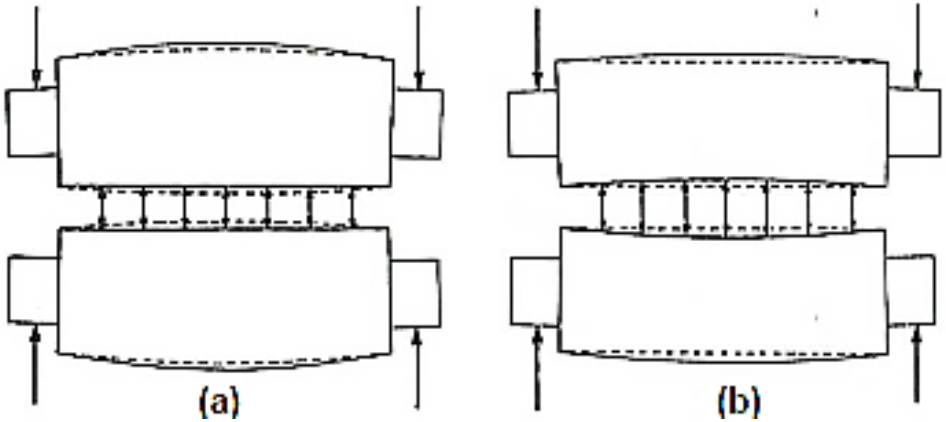
Sünek değil ise



Hadde Ürünlerinde Kusurlar

Saç haddeleme kusurlarının önlenmesi;





Ters yönde ve farklı tahrik kuvvetleri uygulayan merdane düzenleri kullanmak;

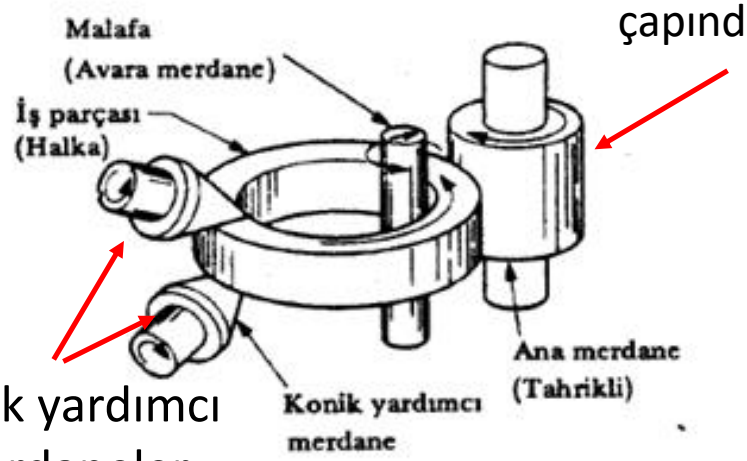
Oluşan merdana sehimine göre ters yönde bombe verilmiş merdaneler kullanmak.

Saçlarda boyuna doğrultuda kalınlık değişimine yol açan nedenler de aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

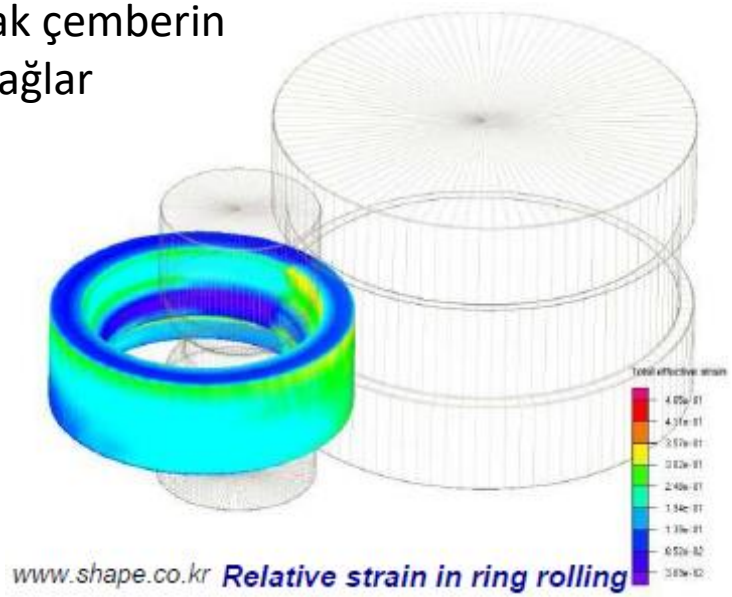
- Haddeleme işlemine bağlı nedenler: Bunlar haddeleme sırasında hızın, saça uygulanan gerilme değerinin (geri ve ileri çekme) ve merdane sıcaklığının değişmesidir.
- Malzeme heterojenliğine bağlı nedenler: Bunlar giriş kalınlığı ile sertliğinin değişmesidir.
- Merdanelere bağlı nedenler: Bunlar oval işlenmiş merdaneler, kaçık işlenmiş gövde ve muylular, yataklama hatalarıdır.

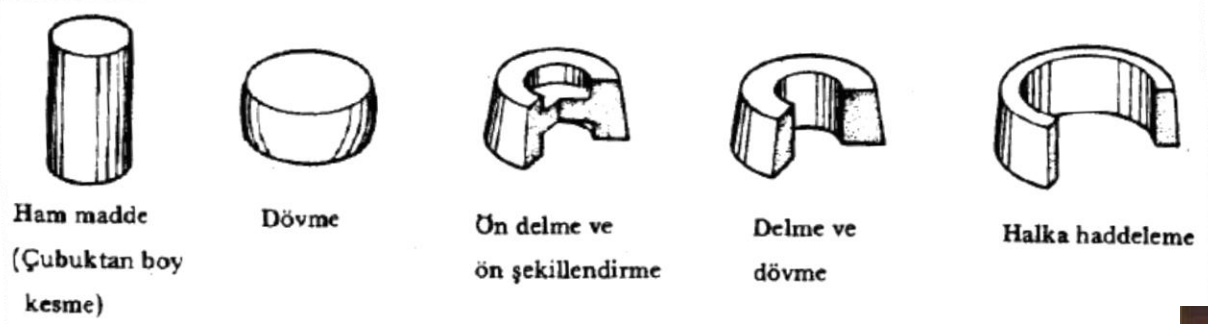
Halka Haddeleme

Ana merdane et kalınlığındaki azalmaya neden olarak çemberin çapında artış sağlar



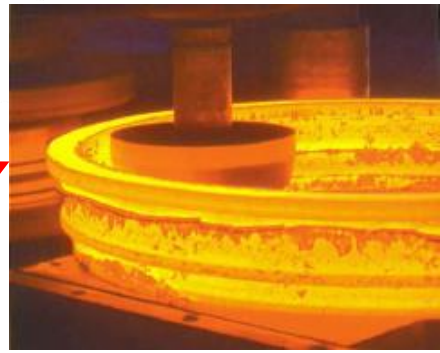
Konik yardımcı merdaneler halkanın yüksekliğini ayarlar





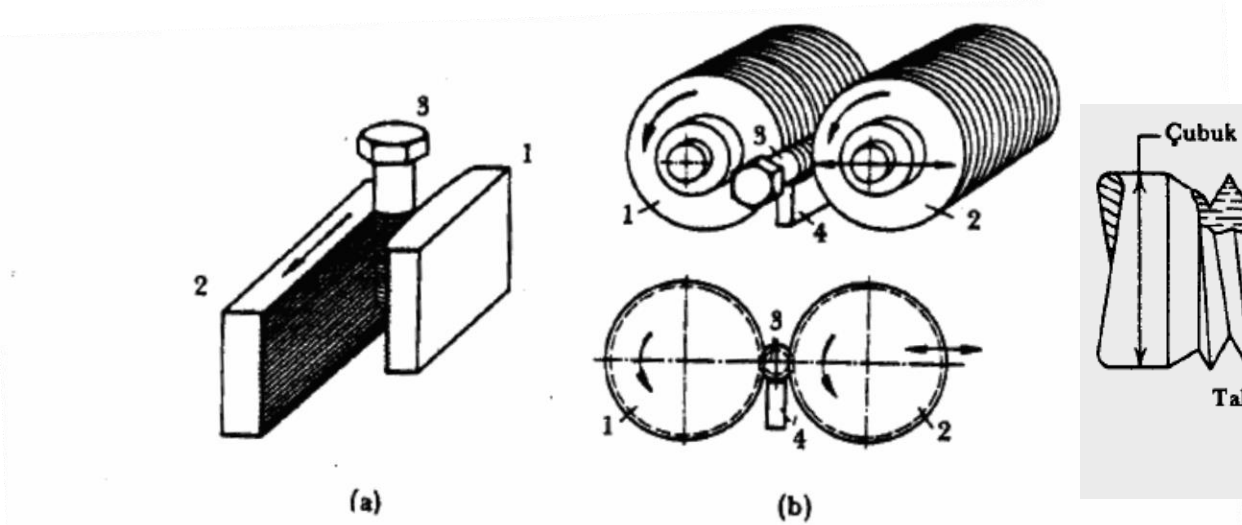
Şekil 5.55. Bir halka haddeleme uygulamasında üretim aşamaları.

Jet motorları için büyük halkalar, rulmanlı yatak bilezikleri tipik uygulama örnekleridir.

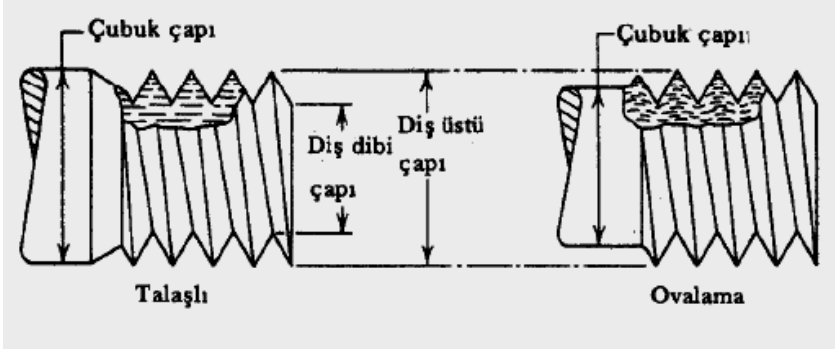


Ovalama

Ovalama ile açılacak dişe göre uygun çaplı silindirik malzeme düzlemsel veya silindirik takımlar arasından geçirilir.



Şekil 5.56. Ovalama. (a) Düzlemsel takımlarla. (b) Silindirik takımlarla. (1) Sabit takım. (2) Hareketli takım. (3) İş parçası. (4) Dayama.



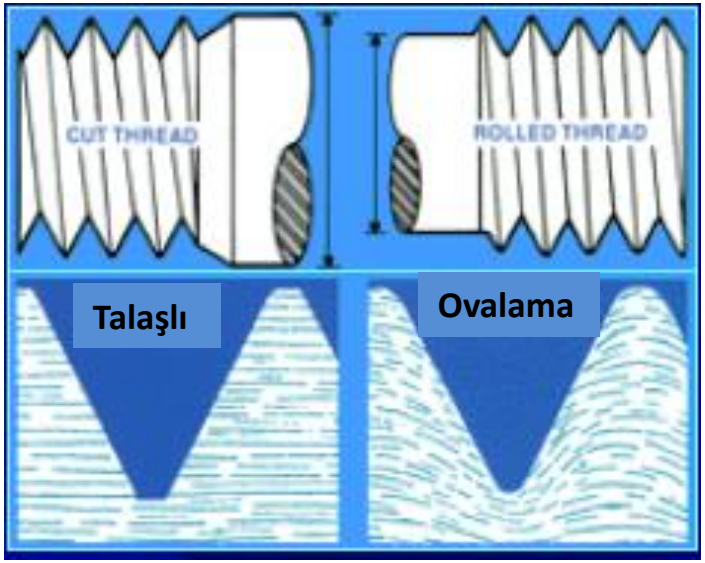
Şekil 5.57. Talaşlı ve ovalama diş açma.

Talaşlı kaldırmadan üstünlükleri;

- ✓ Yüksek üretim hızı
- ✓ Malzeme kaybı olmaması

Soğuk deformasyon nedeniyle mekanik özelliklerin yükselmesi

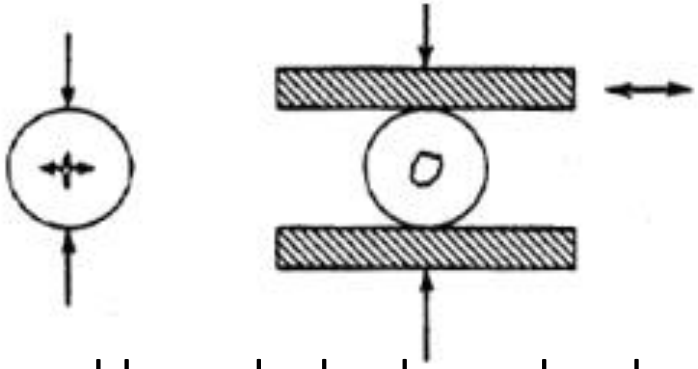
- ✓ Yüzey düzgünlüğü
- ✓ Yüzeydeki basma gerilmeleriyle yorulma ömrünün artması



Dikişsiz Boru Üretimi

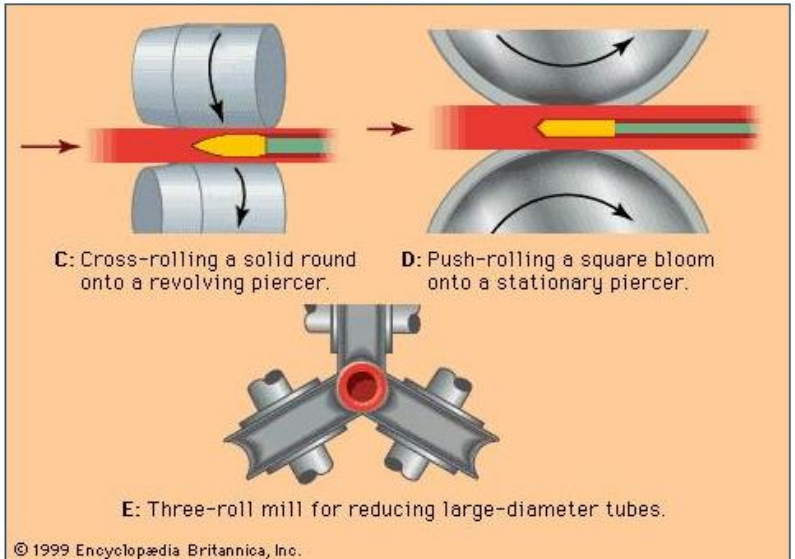
Mannesmann yöntemi

Silindirik bir çubukta ikincil çekme gerilmeleriyle boşluk oluşumu.

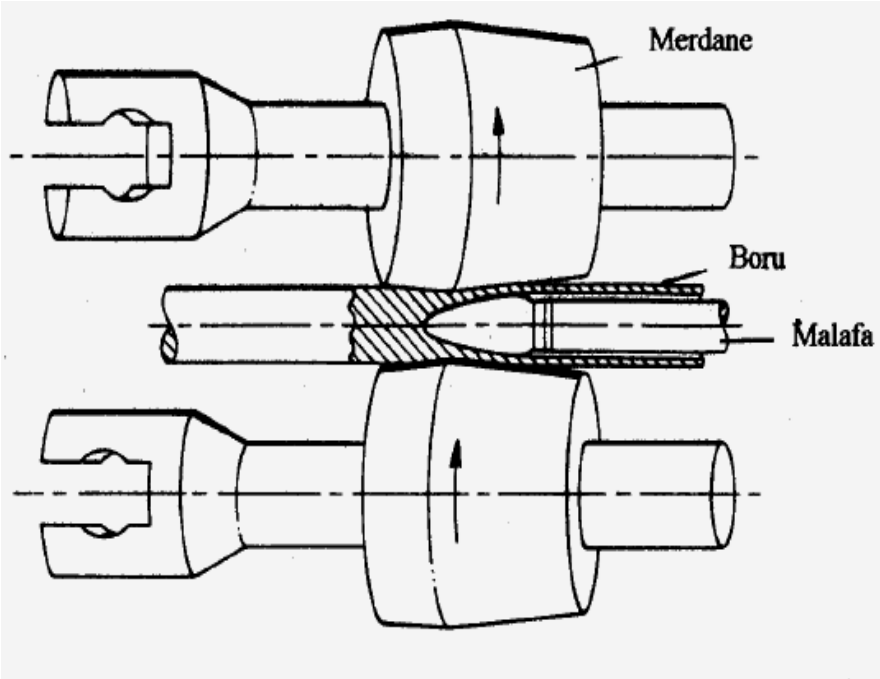


Hammadde sıcak olarak merdaneler arasına sürüldüğünde uygulanan basınç, ikincil çekme gerilmeleriyle çatlak oluşumuna yol açar.

tube: piercers



İş merdanelerinin eksenleri parallel düzlemler içinde olup malzemenin ekseniyle açı yapar.

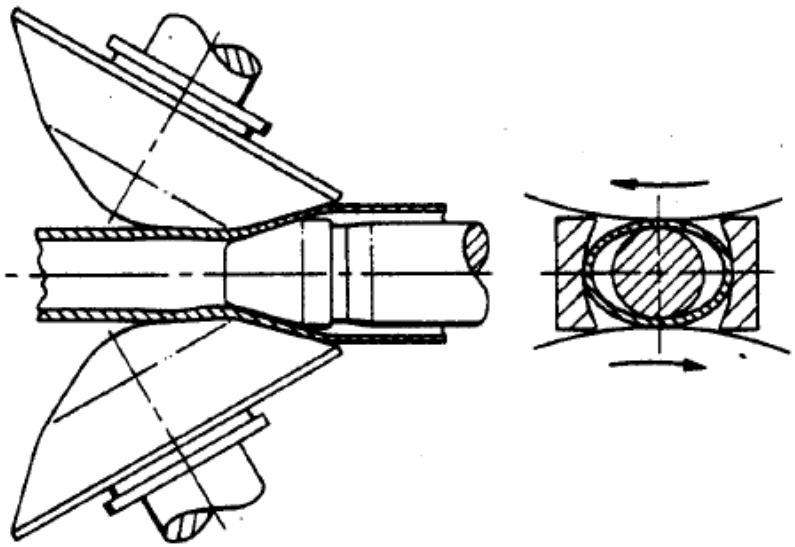


Şekil 5.58. Mannesmann yöntemiyle boru üretimi.

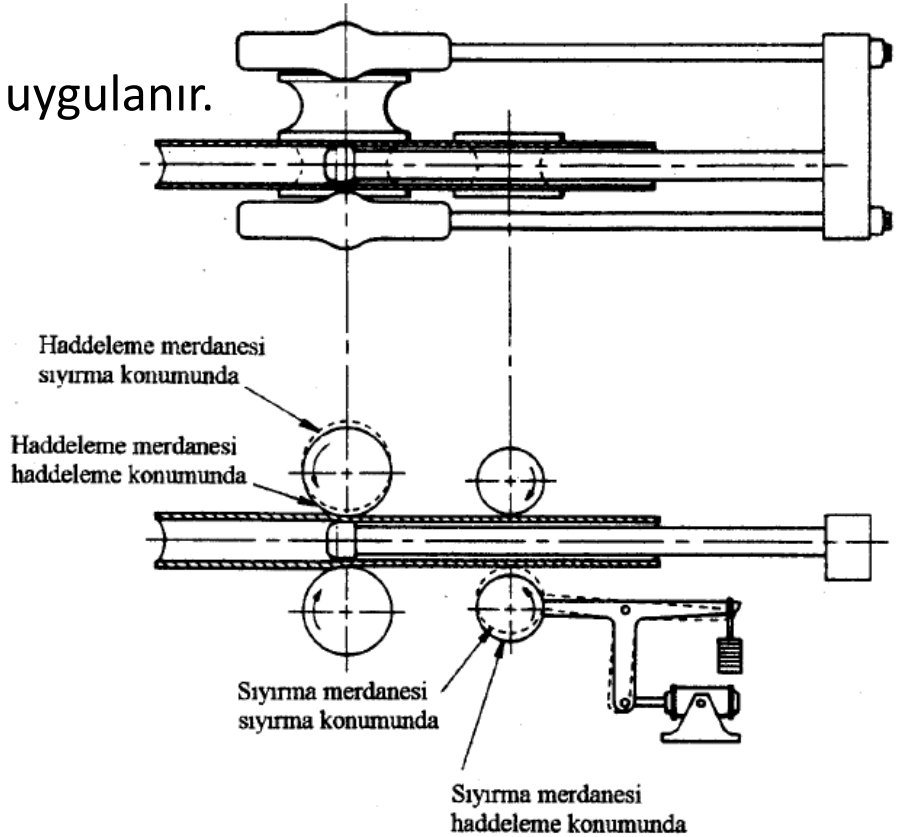
- ✓ Boru uzunluğu malafa ile sınırlıdır
- ✓ *Kalın cidarlı borular*
- ✓ *Hassas boyut kontrolü olmayan borular*
- ✓ *Et kalınlığı ince boru üretimi için ön şekillendirme görevi görebilir.*

Boruların Haddelenmesi

Mannesman yöntemiyle üretilmiş borulara uygulanır.



Şekil 5.61. Konik merdanelerle boru haddeleme (Stiefel yöntemi).

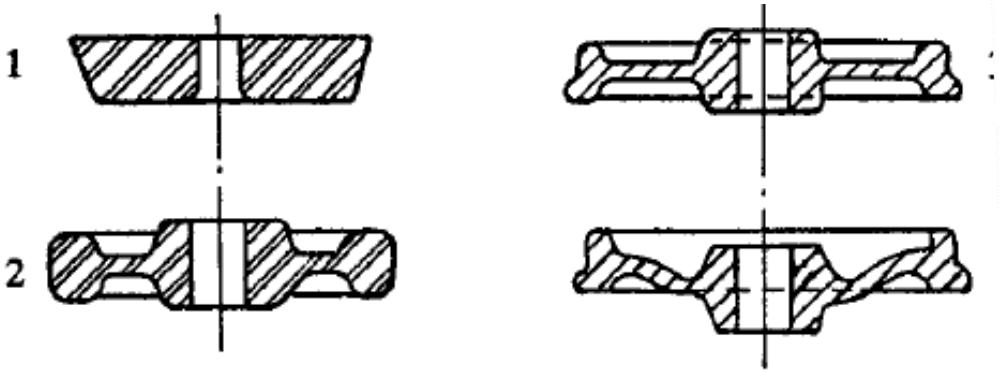


Şekil 5.62. Mannesmann yöntemiyle üretilmiş olan boruların haddelenmesi.

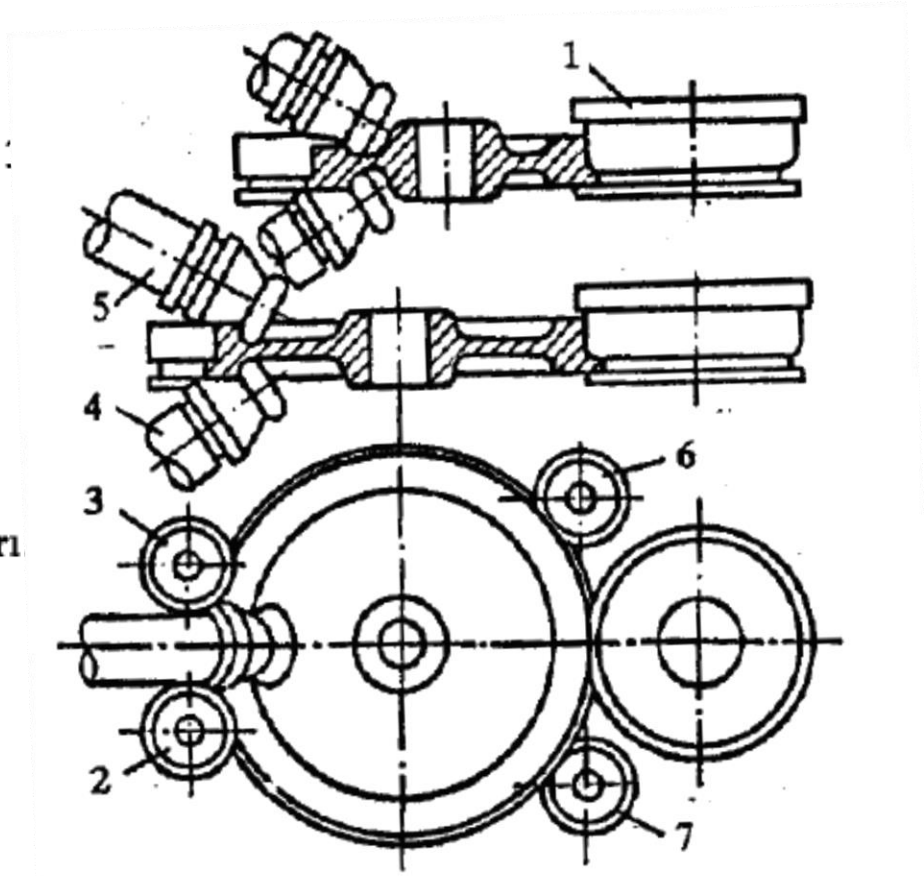
Stiefel yöntemi:merdaneler arasından dönerek ilerleyen borunun et kalınlığı azalır ve çapı artar ancak uzunluk sabit kalır.(Sıcak olarak uygulanır.)

İş merdanelerini üzerinde birden çok kalibre vardır. Genelde bir kalibre ve bir malafa kullanılır. Boru merdaneler arasından bir kez geçtikten sonra 90° döndürülerek bir daha haddelenir.(Sıcak olarak uygulanır.)

Demiryolu Tekerlekleri ve Kasnakların Haddelenmesi



Şekil 5.64. Demiryolu tekerleğinin üretim aşamaları



Şekil 5.65. Demiryolu tekerleğinin haddelenmesi

1-sıcak hammadde preste dövülerek delinir.

2-preste şekillendirilir

3-merdaneli tezgahta haddelenir

4-preste dövülür.