

2-C-1 - BAKIR VE ALAŞIMLARININ ISIL İŞLEMLERİ

Genel mülâhazalar

Isıl işlemlerin başlıca parametreleri bilindiği gibi, maksimum sıcaklık, bu sıcaklıkta tutma süresi, soğuma süresi ve çevre ya da birbirini izleyen çevrelerin tabiatı (atmosferler, tuz banyoları, vb.) dır.

Isıl işlemler, mikrografik bileşenleri değişikliğe uğratarak (izafi oranlar, kimyasal bileşik, dağılım, yapı şekli-morfoloji) metal ve alaşımlarının mekanik nitelikleriyle bazı fiziksel ve kimyasal niteliklerini ve şebeke kusurlarının yoğunluk ve dağılımını etkilerler (şebeke kusurları, plastik şekil değiştirmeler -yoğurulma-gibi nedenlere bağlı kristal şebekesi ölçeğinde atomların periyodik tertibinde düzensizliklerdir.)

Tavlama

Tavlama sırasında metal ve alaşımları, en yüksek termodinamik stabilite hallerine, yani mikrografik bileşenlerin bileşikleri denge diyagramlarının gösterdiklerine doğru giderler ve iç gerilmeler tedricen yok olur.

Bu itibarla tavlama genellikle bir "yumuşatıcı" işlem olmaktadır.

Metal veya alaşımın, tavlama sıcaklığıyla çevreninki arasında bir faz değişmesi arzetmesi halinde, bu dönüşümün vaki olabilmesi için soğuma hızının yeterince az olması gerekir.

Böyle dönüşüm noktalarının bulunma*' durumunda ise, soğuma hızı için sınırlama bulunmaz; bakır ve onun çok sayıda monofaze alaşımları (ot pirinçleri, a alüminyum bronzlan, nikelli bakırlar, vb.) için durum böyle olup bunlarda kritik tavlama sıcaklığı bulunmaz ve dolayısıyla tavlama göreceli olarak geniş bir sıcaklıklar alanı içinde yapılabilir.

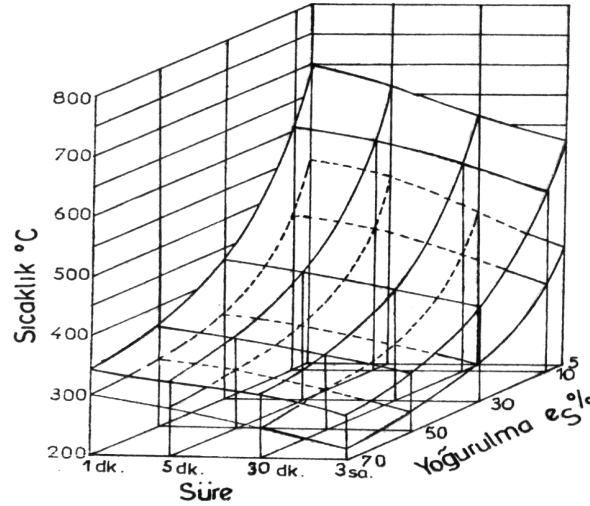
Malzemenin başlangıçtaki durumu ve istenilen niteliklere göre, birkaç çeşit tavlama tefrik edilir.

Homogenleştirme tavlama özellikle geniş katılma alanlı alaşımlardan (Cu-Sn, Cu-Be) dökümden çıkmış haldeki mamullere uygulanır; böylece bunların işlenmeleri kolaylaşıp teknolojik özellikleri iyileşir.

Rekristalizasyon tavlama yoğurulmuş mamullere, bunlara gerekli esneye-bilirliği iade etmek amacıyla uygulanır. Rekristalizasyon, soğuk şekil değiştirme tarafından en çok bozulmuş bölgelerde (tane birleşme yerleri, kayma düzlemleri) yeni kristal nüvelerinin oluşma ve gelişmesinin sonucudur. Sağlıklı kristaller şekli bozulmuş eski taneler aleyhine tedricen gelişirler ve bu yerine geçme süreci tamamlandığında rekristalizasyon da bitmiş olur.

Rekristalizasyon, büyüklük ve uç değerlerinin alaşımın bileşimine, tavlama süresine ve özellikle, yoğurulma oranına bağlı bulunduğu belli bir sıcaklıklar aralığında vaki olur. Şekil: 13, bir 71-73 Cu, 27-29 Zn (AFNOR U-Z28) pirinci için bu son iki etmenin nispî önemini gösterir: *yoğurulma ne kadar fazla ise rekristalizasyon sıcaklığı o kadar az olur; bu sıcaklık, yeterince uzun tutmalarla azaltılır.*

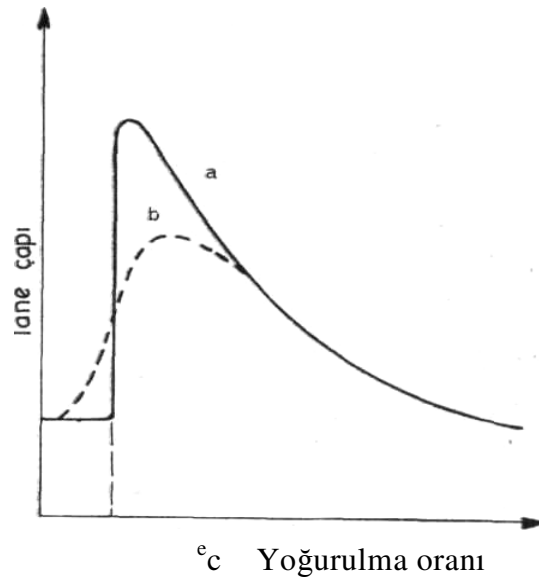
Bu itibarla bir asgari yoğurulma rekristalizasyonun vaki olabilmesi için gereklidir. Bu orana (kritik yoğurulma) varıldığında, az sayıdaki nüveler gelişir ve birbirlerini rahatsız etmeden bütün metal kitlesini istilâ ederler ve iri taneli bir yapı meydana getirirler. Kritik yoğurulma genellikle çok zayıf, yüzde birkaç mertebesindedir.



Şekil 13. Bir 71-73 Cu, 27-29 Zn(AFNOR U-Z28) pirincinin yoğurulma oranı ve tavlama süresine göre rekristalizasyonun başlangıç ve sıcaklıklarının değişmesi.

Yüksek yoğurulma oranlarında, nüve sayısı artar ve rekristalizasyon daha çok sayıda, dolayısıyla daha küçük tanelerle son bulur: *belli bir tavlama sıcaklığı ve süresi için, yoğurulma ne kadar fazla ise, rekristalizasyon tanesinin boyutu o kadar küçük olur* (Şekil. 14)

Rejenerasyon tavlama, hatalı bir ısıl işlemde sonra normal yapıyı geri getirmek için, ama sadece bir faz değişmesi arzeden metal ve alaşımlara uygulanır.



Şekil: 14 — Sabit tavlama sıcaklık ve Süresi için yoğurulma oranına göre tane büyüklüğünün değişmesi a: saf metal; b: alaşım; e_c , kritik yoğurulma.

Bu tavlama, göreceli olarak kısa bir süre parçaları, dönüşüm noktasının biraz üstüne

ısıtmaktan ibarettir.

Bu işlem pratik olarak sınavi bakır alaşımlarına uygulanamaz, şöyle ki fazla ısıtmadan sonra tanenin rejenerasyonu sadece bir yoğurulma ve bunu takibeden bir rekristalizasyon tavlamaıyla elde edilebilir.

Su verme

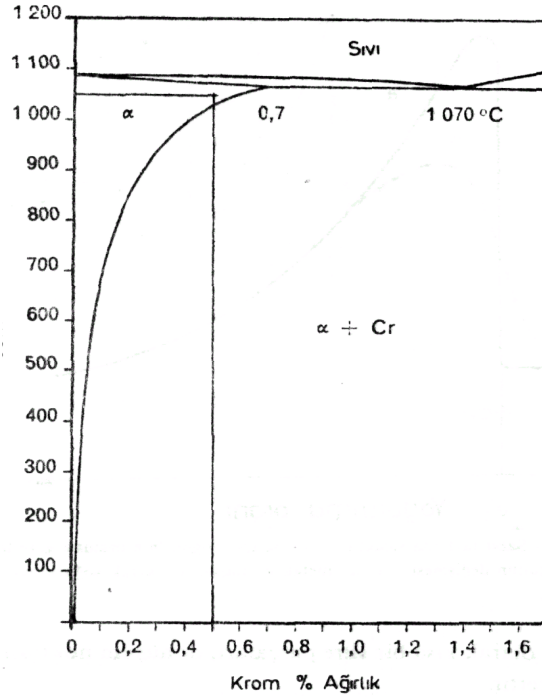
Bahis konusu olan yapısal dönüşümün tabiatına göre, su vermenin süreç ve etkileri çok farkedir.

İlave elementlerin eriyebilme kabiliyetinin değişmesine dayanan su verme, genellikle *eriyik hale getirme su vermesi* adını alıp, ilave elementlerin eriyebilme kabiliyeti sıcaklıkla kuvvetlice artan alaşımlara uygulanır; bu, çevre sıcaklığında, bir doymuş metastabil halde, yüksek sıcaklıkta mevcut olan katı eriyiği tutmaktan ibarettir.

Örnek olarak bakır-krom sistemini ele alalım (Şekil: 15). Katı halde bakır pratik olarak krom içinde bütün sıcaklıklarda hiç erimez; oysa ki kromun bakır içinde erime kabiliyeti çevre sıcaklığında çok zayıf (yaklaşık % 0.02) olup bu kabiliyet 1070°C'ta % 0.7'ye varır.

1030°C'ın üstünde, % 0.5 kromlu bir alaşım, bakır içinde bir krom katı eriyiği iken 20°C'ta normal olarak bu alaşım % 0.02 kromlu bir α katı eriyiği ile az çok saf krom tanecikleri karışımından oluşur

$\alpha_{0.5} \longrightarrow \alpha_{0.02} + \text{Cr}$ dönüşümü bakır ve krom atomlarının difüzyonu ile vaki olup bu da belli bir süreyi gerektirir.

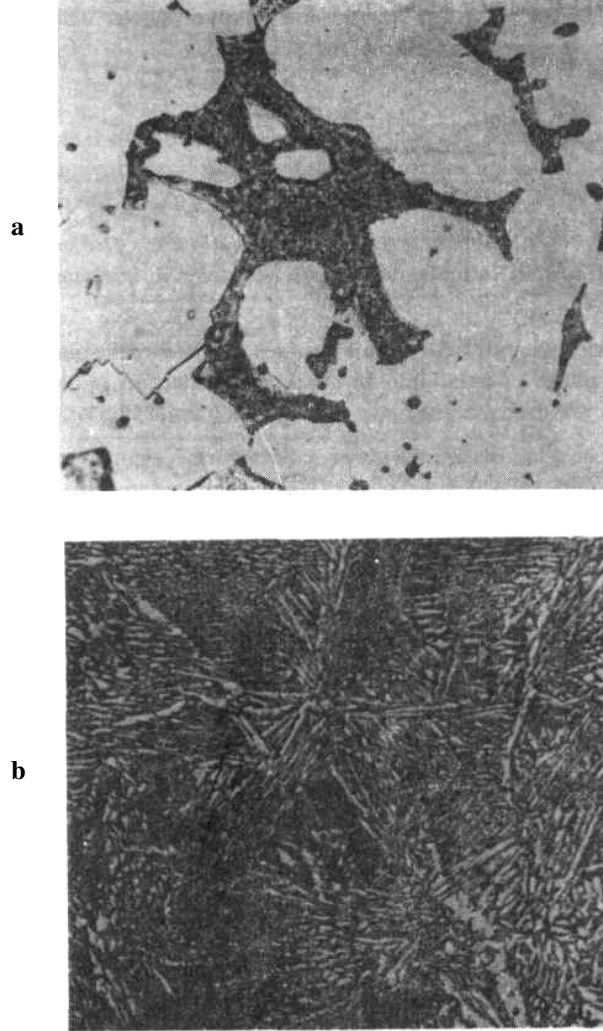


Şekil:15 Bakır-krom denge diyagramının bakırdan yana zengin bölümü
1050°C'ta tutuktan sonra alaşım yavaş soğutulacak olursa, yukarda sözü edilen dönüşüm

vaki olmaya vakit bulur ve nihaî doku normal, ya da denge dokusudur: alaşım *tavlanmıştır*

Aksine, anî soğutulacak olursa, dönüşüm vaki olamaz ve alaşım yüksek sıcaklıkta haiz olduğu monofaze dokuyu muhafaza eder: *su verilmiştir*.

Bu arada bir hususa dikkati çekelim. Pratikte kromlu bakır tane büyümesinden kaçınmak için hiçbir-zaman tam eriyebilme sıcaklığının üstünde ısıtılmaz; 1000°C'ta durulur.



Şekil: 16 — Bir 57-60 Cu, gerisi Zn, 1,5-3 Pb (AFNOR U-Z39 Pb2) pirincinde α (açık renk) ve β (koyu) fazlarının oran ve dağılımları üzerine soğuma hızının etkisi

a) 15 dak. 850°C'ta tutulduktan sonra yavaş soğutulmuş. Sertlik 73 Vickers/10 kg.

b) 15 dak. 850°C'ta tutulduktan sonra suda su verilmiş. Sertlik 119 Vickers/10 kg. ın etkisi.

"Kademeli" su vermelerde elde edilen dokular, bileşenlerin incelik ve özel dağılımları sonucu çoğu kez ilginç karakteristikler arz eder. Bakirli alaşımlarda bu hale az çok sadece iki fazlı (tip 58-62 Cu, 38-42 Zn - AFNOR U-Z40) pirinçlerde rastlanır; bunlarda 700 ilâ 850°C'tan itibaren suda su verme β faz oranını artırmak olanağını sağlar ve $\alpha + \beta^1$ karışımının asiküler (iğneler halinde kristalleşmiş), ince ve homogen bir dağılım verir (Şekil: 16).

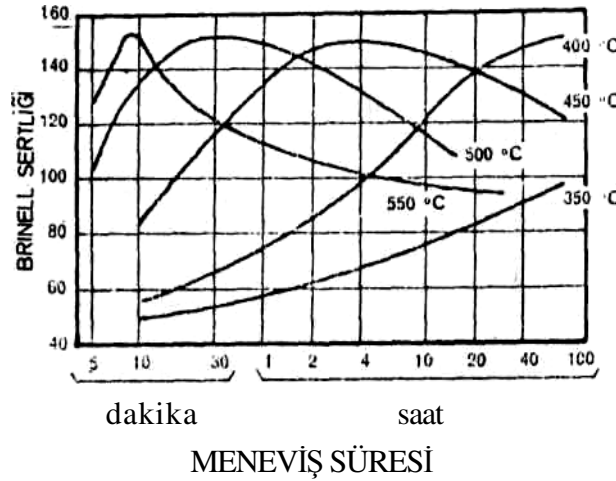
Meneviş

Bu işlem, su verme ile elde edilmiş metastabil dokuyu fiziko-şimik denge haline doğru geliştirmek üzere ısıtmaktan ibaret olup fazla doymuş bir basit katı eriyikte bunun etkisi sertleştirici olur (martensitik dokunun aksine).

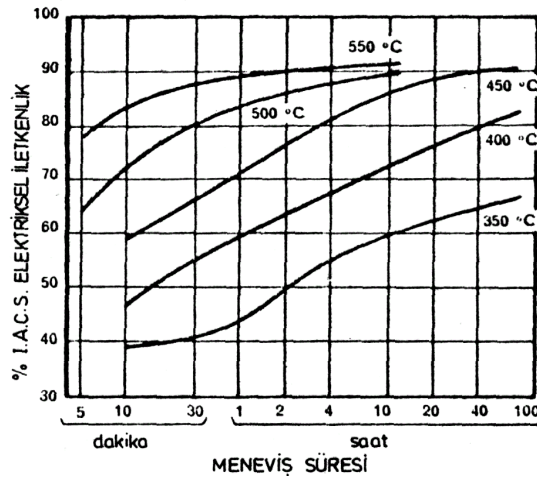
Sınaî bakır alaşımlarında fazla doymuş katı eriyikler çevre sıcaklığında metastabil olurlar: kendiliklerinden değişmezler ve "doğal ihtiyarlama"ya uğramazlar.

Bu eriyiklerin içinde belli atomik yeniden düzenlemelere olanak sağlamak için bir asgari sıcaklık gerekli olup bu takdirde eriyikler, denge diyagramına uygun olarak iki (ya da daha çok) faza ayrılma eğiliminde olurlar.

Meneviş sıcaklığı ve süresine göre şekil değiştirmeye mukavemet karakteristikleri (kopma muk., elastik sınır, sertlik) bir maksimumdan geçer (Şekil: 17); şekil değiştirme kabiliyeti (% uzama) ise bir minimumdan geçer. Elektriksel ve ısı iletkenlikler, su verilmiş hale göre, iyileşirler (Şekil: 18)



Şekil: 17 — Su verilmiş (1030°C/10 dak/su) bir % 0,6 kromlu bakırın sertliğinin meneviş sıcaklık ve süresine göre değişimleri.



Şekil. 18 — Su verilmiş (1030°C/10 dak/su) bir % 0,6 kromlu bakırın elektriksel iletkenliğinin meneviş sıcaklık ve süresine göre değişmesi.

Bu itibarla her alaşım için optimal karakteristikleri veren bir sıcaklık/tutma süresi çifti vardır.

Yapısal sertleşme nispeten yavaş bir olay olup orta sıcaklıklarda vaki olur; dolayısıyla de kontrolü kolaydır.

Bakırlı alaşımların tümü için meneviş sıcaklıkları 300 ila 500°C ve tutma süreleri de 30 dak. ile yaklaşık 4 sa arasındadır.

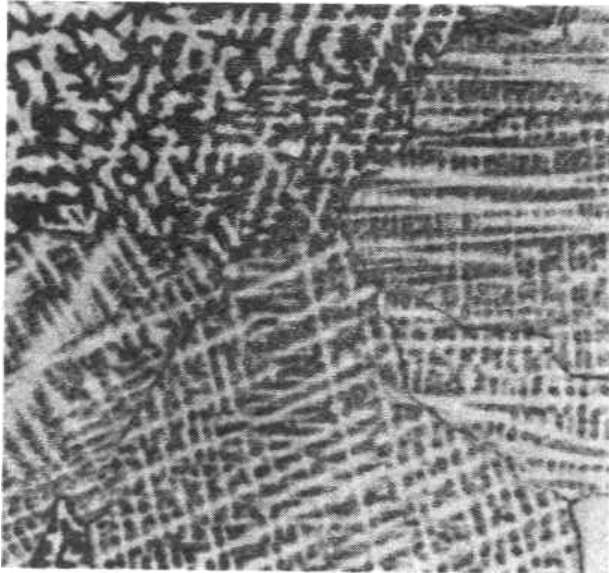
Ayrıca, sertleştirici menevişin etkileri, menevişten önce veya sonra yoğurulma ile az çok artırılabilir.

Şimdi bu genel mülâhazaların uygulamalarına geçelim.

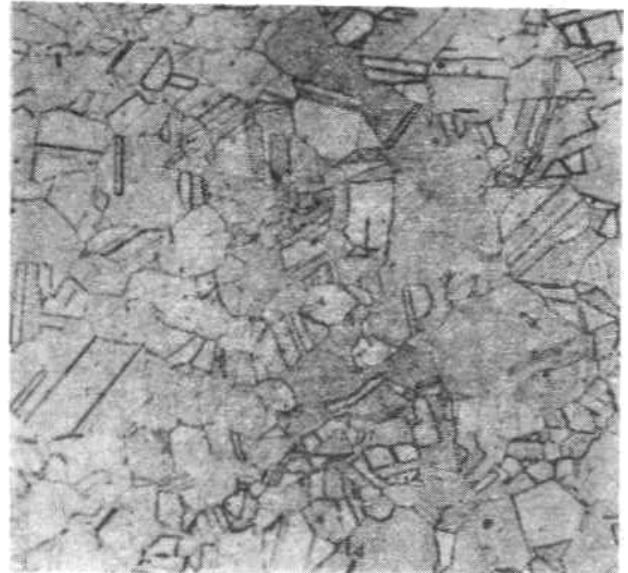
Homogenleştirme tavlaması

Alaşımların katılaşmasının sınaî koşulları içinde bileşenlerin difüzyonu genellikle çok yavaş olup bu yüzden katı ve sıvının bileşimleri her an ve bütün kitle içinde, denge değerlerine erişemezler. Bunun sonucu olarak da kristalların içinde kimyasal bileşim eşitsizlikleri meydana gelir: ilâve elementi tarafından bakırın ergime sıcaklığı düşürüldüğünde, bakır oranı, dendritlerin çevresine ve dendritlerarası alanlara (Cu-Sn hali) göre eksenlerinde daha yüksek olur. Bunun tersi de Cu-Ni'lerde görülür, *ikinci derecede* ya da *dendritik segregasyon* (ayrılıp bir yerde toplanma) adı verilen bu olay, soğuma sırasında katı ve sıvının bileşimlerin çok farklı olup sıcaklıkla çok değişmeleri halinde daha önemli olur.

Genel olarak segregasyon, alaşımların niteliklerini değiştirir; tam katılaşma sıcaklığım alçaltır ve bazı hallerde bazen istenmeyen denge dışı fazları ortaya çıkarır.



a



b

Şekil 19 — Alaşım 260-Kovan pirinci (Cartridge brass-% 70, Cu % 30 Zn)

a) Kuma döküldüğü gibi, ikinci derece segrasyon, X 75 - demir perklorürü ile dađl.

b) Yoğurulmuş ve tavllanmış, homogen yapı, X 150 - demir perklorürü ile dağl.

Bu itibarla homogenleştirme tavlama süreci kuvvetlice segregasyon olmuş alaşımları mümkün olduğu kadar yüksek bir sıcaklığa ısıtıp (kısmî yemden ergime meydana getirilmeden) difüzyon yoluyla bileşenlerin denge diyagramına uygun olarak dağılmalarını sağlamaya yeterli bir süre bu sıcaklıkta tutmaktan ibarettir.

Bu tavlama genellikle, sonradan sıcak ya da soğuk şekil değiştirmelere (haddelenme, dövülme vb.) maruz kalacak taslak ve ingotlara uygulanır.

Bununla birlikte birçok bakırlı alaşımda segregasyon az belirgin olup sıcakta çalışma ve soğuk çalışma sırasında ara yeniden ısıtmalar bunu tamamen yok etmeye yeterli olur. Bu durum, örneğin, pirinçlerde görülür (Şekil: 19)

Bir homogenleştirme işlemini gerektiren başlıca bakır alaşımları, % 8'den fazla kalay içeren bronzlar, nikelli bakırlar, mayeşorlar (Cu-Ni-Zn), berilyumlu bakırlar ve silisyumlu bakırlardır.

Aşağıdaki tabloda bu alaşımların homogenleştirme tavlama sürecinin koşulları görülür.

Alaşımlar	Sıcaklık °C	Tutma (mertebe)
% 8-12 kalaylı bronz	625-720	1-5 sa
Nikelli bakırlar	800-950	1-2 sa
Mayeşorlar	750-800	0,5-1 sa
Berilyumlu bakırlar	780-	8 sa

Bronzlarda

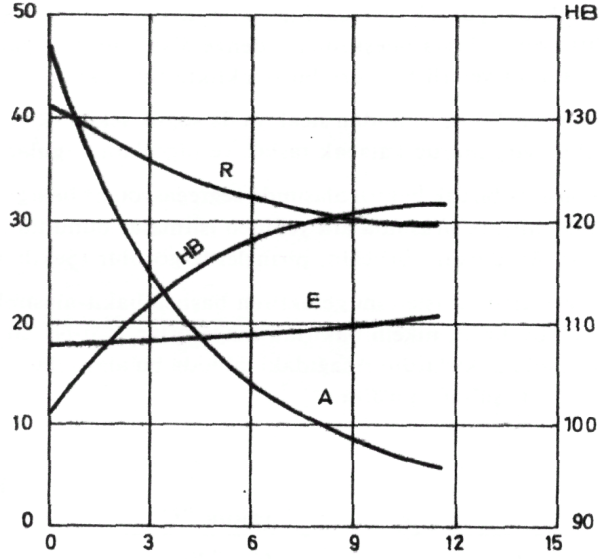
Bu alaşımlarda, yaklaşık % 6 ilâ 15 kalay oranları için, segregasyon önemli olur ki bunlar, daha sonraki katılma ve soğuma koşullarına göre çok değişik miktarlarda $\alpha + \delta$ ötektoidi içerebilirler.

Bildiğimiz gibi " δ bileşiği" denen bu ötektoid sert ve kırılmalı olup bazı antifrikasyon uygulamalarında (yataklar) belli avantajlar sağlasa da plastik şekil değiştirme kabiliyetini önemli miktarda azaltır ve işleme (haddelenme, preste basılma vb.) den önce yok edilmelidir. Şekil 20'de, % 12 kalaylı bir fosfor bronzda δ bileşiği oranının mekanik karakteristikler üzerinde etkisi görülür.

δ bileşiği oranı arttığında kopma mukavemetinin azalması bu bileşiğin kırılmalılığı nedeniyle çekme deneyleri sırasında erken kopmalar hasıl etmesine bağlıdır.

Yeterli bir homogenleştirme elde etmek için genellikle birkaç saatlik bir tavlama gereklidir.

Bu tavlama sırasında parçaların çok hızlı olarak solidusa (798°C) yakın bir sıcaklığa çıkarılmasından kaçınılacaktır zira ötektoid, difüzyon yoluyla ayrışmaya vakit bulamazsa kısmen ergiyebilir. Bunun için parçalar önce, ötektoid pratik olarak kaybolana kadar (bir tanık numune üzerinde mikrografi ile saptanır) 625°C'ta tutulur, sonra 720°C'ta homogenleştirme hızlı olarak tamamlanır.



Şekil: 20. % 12 kalaylı bir fosfor bronzunun karakteristikleri üzerine b bileşimi oranının etkisi. R = kopma muk., E ■ elastik sınır, A = uzama

Rekristalizasyon tavlaması

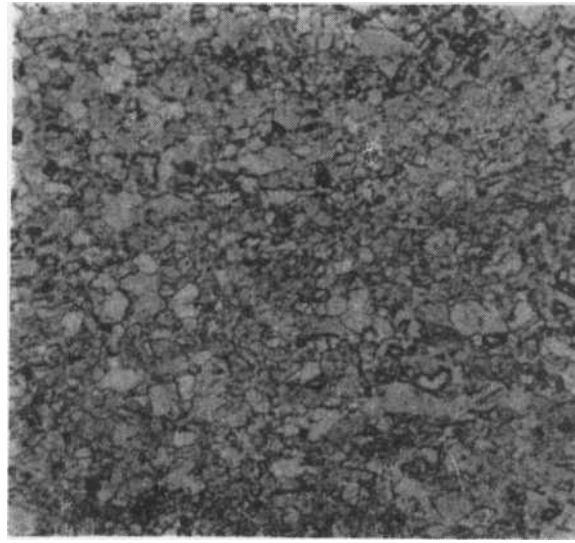
Bu işlemde amaç yoğurulmanın etkilerini tamamen yok edip daha sonraki şekil değiştirmelere ve bazı çalışma zorlamalarına uygun bir yapıyı yeniden teşkil etmektir (Şekil: 21). Bunun sonucunda esneyebilirlik (malleabilite) ve süneklik, sertliğin, elastik sınırın ve kopma mukavemetinin azalmasına bağlı olarak artar.

Tavlama sıcaklığı her alaşım için kesin olarak saptanmış değildir; gerçekten bu işlem, alt sınırı rekristalizasyon sıcaklığı ve üst sınırı da kabul edilebilir tane büyüklüğünü(*) veren sıcaklık olmak üzere az çok geniş bir sıcaklıklar alanı içinde icra edilebilir.

Rekristalizasyon sıcaklığı

Çok çeşitli etmenin etkisinde olduğundan rekristalizasyon sıcaklığının hassasiyetle saptanması kolay olmamaktadır: bakırda, safiyet derecesiyle ve alaşımlarda da, kimyasal bileşimle farkeder; bütün durumlarda az çok tutma süresiyle ve yoğurulma derecesiyle büyük ölçüde değişir; bu sonucunun etkisi ise daha önceki yapıya göre az çok fazla olur.

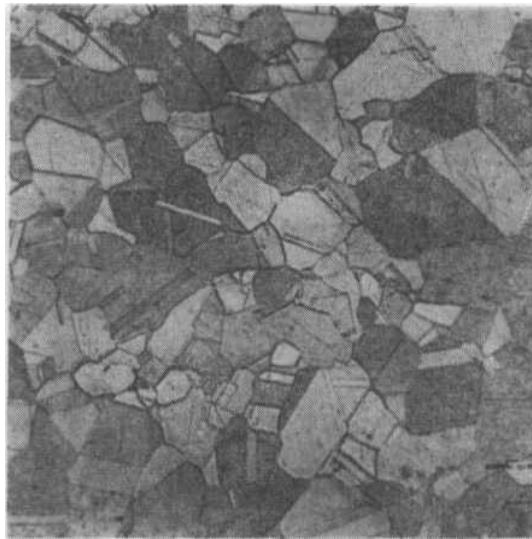
Bakırlarda yarım saat mertebesindeki normal tutma süreleri ve orta yoğurulma oranları için rekristalizasyon sıcaklığı, bakırın endüstriyel çeşitlerinde, 200°C civarındadır. % 0.08 gümüş ilâvesiyle bu sıcaklık yaklaşık 150°C kadar artar ve bakırın ileri bir safiyet derecesinde önemli ölçüde azalır.



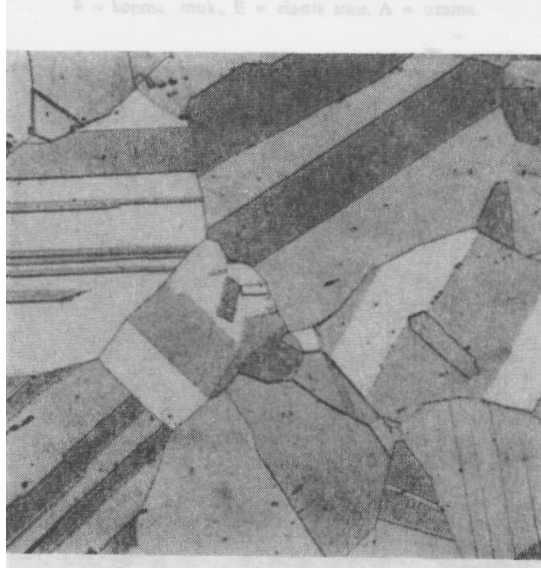
Şekil: 21_Yoğurulmuş ve tavllanmış Alaşım 260- Kovan pirinci

A)Yaklaşık % 60 $\frac{S - s}{S}$ * 100 oranında yoğurulmuş X 200

B) 400 C' ta 30 dak. tavllanmış X 200 Tanenin ortama çapı 10µ

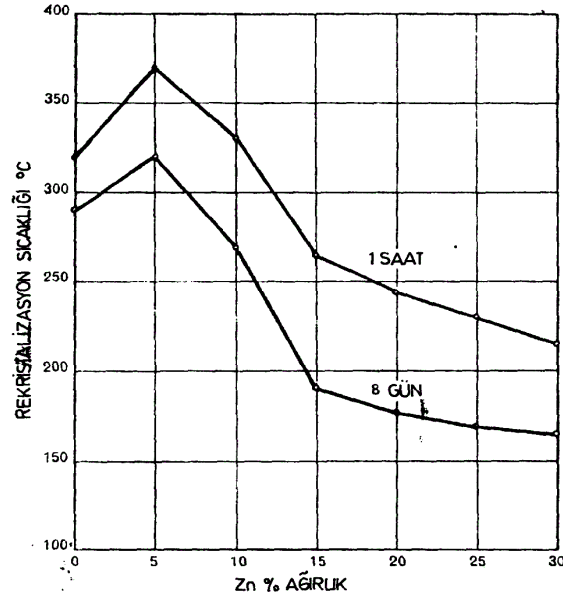


C) 500 C'ta dak. tavllanmış. X 200 Tanenin ortalama çapı 30 µ



D) 600 C'ta dak. tavlanmış X 200 Tanenin ortalama çapı 125 μ

Öbür yandan, yüksek yoğurulma oranlarından ($\frac{S-s}{S} \times 100 > \%95$) sonra yüksek safiyette bakır, çevre sıcaklığında yavaşça rekristallize olur. Keza yüksek oranda yoğurulmuş Cu/al (AFNOR) bakırın 100°C'in altında uzun süre tutulması halinde önemli bir yumuşama görülür: 6 gün 80°C'ta ve 50 gün 60°C'ta tutulma ile sertliği 125 Vickers'den 65 Vickers'e iner. Pirinçlerde, az miktarda çinko ilâveleri, bakırın rekristalizasyon sıcaklığını hafifçe yükseltir ama % 5'in ötesinde, monofaze pirinçlerin rekristalizasyon sıcaklığı, çinko oranı arttıkça, hızla azalır (Şekil: 22)



Şekil 22. %50 yoğurulmuş tellerde 1 saat ve 8 gün tutma süreleri için a pirinçlerinin rekristalizasyon sıcaklığı üzerinde bileşimin etkisi.

Tane irileşmesi

Tavlamanın rekristalizasyon sıcaklığından yeterince yüksek bir sıcaklıkta yapılması halinde, rekristalizasyonu yapı değişikliği takibeder ve bu sırada da bazı taneler, yok olan başkalarının aleyhine irileşir.

Yapı, geçici olarak, farklı irilikte iki tane grubundan oluşur ve bu durum, yeni kristallarm bütün kitleyi istilâ etmesine kadar sürer; bu sonuncular o zaman başlıcaları aşağıda belirtilen çok sayıda parametrenin fonksiyonu olan bir ortalama denge büyüklüğüne erişirler:

— Metal ya da alaşımın tabiatı: kimyasal bileşim ve yapı, tanelerin irileşme kinetiğini değiştirir. Özellikle ince dağılmış (örneğin oksitler) ya da ikinci fazdan girdiler, tane irileşmesini engeller. Dağılımlarının uniform olmaması halinde, tanenin nihai boyu homogen olmayabilir.

Tavlama sıcaklığı: en önemli etmendir. Belli yoğurulma koşullarında bir metal için sıcaklık ne kadar yüksek olursa tane o denli fazla ve hızlı irileşir.

Yoğurulma oranı: bu parametre önce rekristalizasyon tanesini incelterek dolaylı olarak işe karışır şöyle ki belli koşullarda irileşmeden sonra, yoğurulma ne kadar fazla olursa tane o denli ince olur.

Tutma süresi: tane irileşmesinin büyük bölümü oldukça hızlı olarak vaki olur (ilk dakikalarda) ve olay bundan sonra çok yavaş olarak gelişir. Bununla birlikte uzun tutma süreleri hissedilir ölçüde daha iri taneler hasıl eder.

Şekil 23 ve 24'te bir alaşım 268-270 (sarı pirinç) de bu son üç etmenin tane irileşmesi ve mekanik karakteristiklerin değişimi üzerinde etkisi görülür.

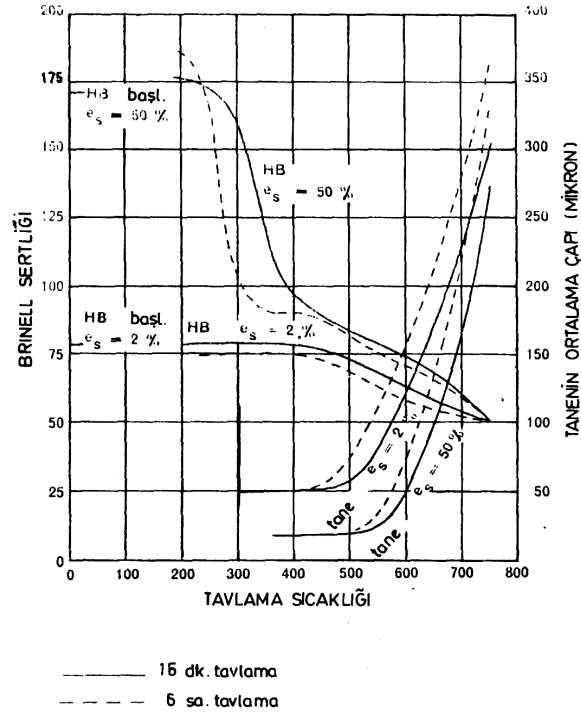
Rekristalizasyon, mukavemet ve sertliğin hızlı düşüşü ve uzamaların hızlı artışıyla belirir.

Genel olarak, bütün mekanik karakteristikler, tavlamadan sonra tane boyutu tarafından etkilenir.

Örnek olarak Şekil 25 ve 26, Alaşım 268-70 (sarı pirinç) de tane büyüklüğünün fonksiyonu olarak sertlik, kopma mukavemeti, uzama ve yorulma sınırının değişimini gösterirler.

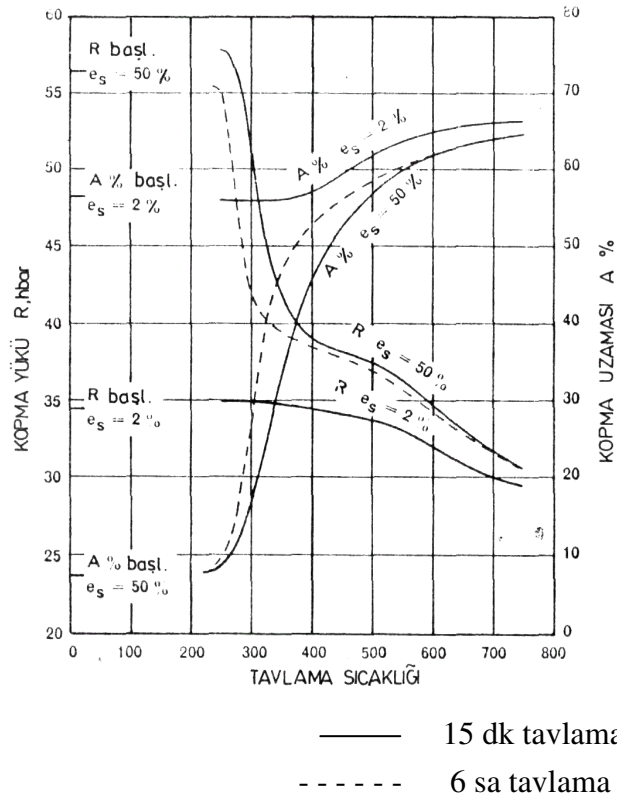
Bu itibarla tane boyutu soğukta şekillendirilecek yarı mamuller (levha, sac, band) için önemli bir kalite etmeni teşkil etmektedir. Gerçekten şekil değiştirme kabiliyeti, tane irileştikçe yükselir; ancak tanelerin aşırı boyutu az çok önemli bir pürüklülük ("portakal kabuğu-orange peel") hasıl edip bu, parçaların görünümünü bozar ve taşlama ve polisajla yok edilmesi güçtür.

Özellikle çekme-basma pirinçleri için tane büyüklüğünün fonksiyonu olarak her biri, belli bir kullanıma uygun birkaç tavlama süreci aşağıdaki tabloda verilmiştir.



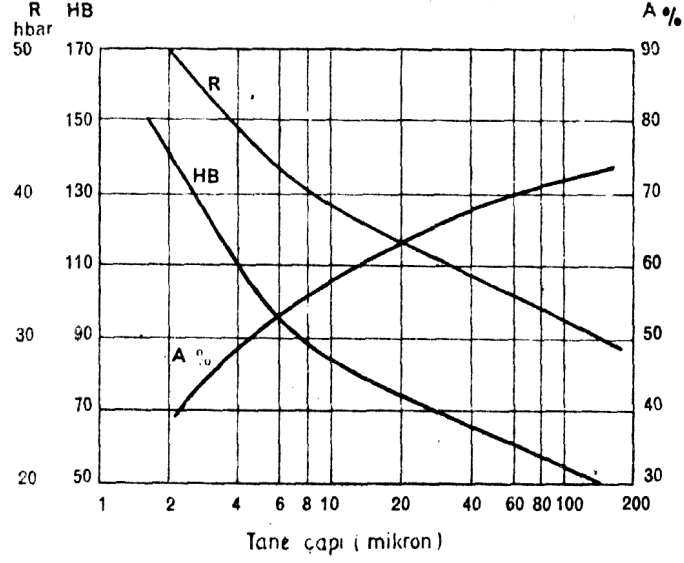
Şekil:23- Alaşım 268-280 (sarı pirinç). %2 ve 50 yoğurulma ($e_s = \frac{S - s}{S} \cdot 100$) ve 15 dak. ile 6

saat tutmalar için sertlik ve tane büyüklüğü üzerinde tavlama sıcaklığının etkisi.

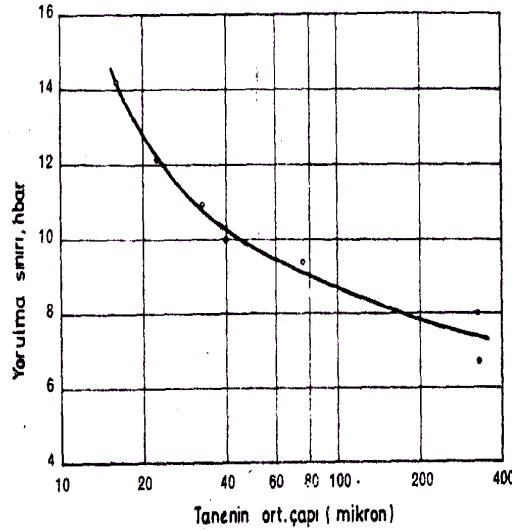


Şekil:24- Alaşım 268-270 (sarı pirinç). %2 ve 50 yoğurulma ($e_s = \frac{S - s}{S} \cdot 100$) ve 15 dakika ile 6

saat tutmalar için R ve A üzerinde tavlama sıcaklığının etkisi



Şekil:25-Rekristallize olmuş Alaşım 268-270 (sarı pirinç) Tanenin ortalama çapına göre mekanik niteliklerin değişimi



Şekil:26-Alaşım 268-270(sarı pirinç) Tane çapının fonksiyonu olarak yorulma sınırının(almaşık aksenal zorlamalar)değişimi.

Tanenin nominal çapı (mm)	Ortalama tanenin boyutları (mikron)	Yaklaşık Brinell sertliği	Kullanım Şekilleri
0,015	≤ 25	64-82	Hafif şekillendirme, sığ basma, polisaj
0,025	15-35	59-72	Güzel yüzey görünümlü sığ çekme basma
0,035	25-50	57-68	İnce mamullerle derin çekme-basma
0,050	35-70	54-65	Mutat çekme-basma
0,070	50-120	47-60	Mutat sığama, çekiçle işleme
0,120	≥ 100	45-55	Kalın mamullerle çekme-basma veya çekiçle işleme

Tane çapının parçanın kalınlığının yaklaşık onda birini aşması halinde plastik şekil değiştirmeye yatkınlığın ve (çatlaklar), yorulmaya mukavemetin (sertlehim-leme sırasında yerel olarak fazla ısıtılan ve genişleme-büzülmeyle zorlanan bakır borular) iyice azaldığını deney göstermiştir.

Kritik koşulların daha kolayca biraraya gelmesi nedeniyle bu olay, parçaların inceliği oranında, daha tehlikeli hal almaktadır.

Tavlamanın pratik koşulları

— **Sıcaklık:** Pratikte belli bir alaşımın tam rekristalizasyon sıcaklığı üzerindeki belirsizliğin fazla bir önemi yoktur. Gerçekten, maksimum yumuşama arandığında, tane irileşmesinin müsaade ettiği kadar yüksek, yani rekristalizasyon sıcaklığının belirgin şekilde üstünde bir sıcaklığa ısıtmak çoğu kez avantajlı olmaktadır. Bu koşullarda, sıcaklık tutma süresi azalacağından, tav ocaklarının prodüktivitesi artmış olur.

Aşağıdaki tablo, bakır ve alaşımlarının tavlama sıcaklığının endüstriyel alanlarını gösterir.

Tutma süresi

Yukarıdaki mülâhazaların ışığında, belli bir sıcaklıkta tavlamanın minimum süresinin, tanenin rekristalizasyon ve homogenleştirilmesine gerekli süreye eşit olduğu anlaşılır (tavlama süresi, ocakta yükün uniform sıcaklığa getirilmesi için gerekli süreyi içermez).

Resristalizasyon genellikle çok hızlı (dakika mertebesinde) olmakla birlikte tam homogenleşme birkaç on dakika gerektirebilir.

Bakır alaşımlarının tavlama süreleri mutlak olarak 15 dakika ile 1 saat arasındadır.

Bakır ve alaşımlarının pratik tavlama sıcaklıkları

Türler	alanı (°C)	Tavlama Sıcaklıkları
<hr/>		
Bakırlar		
Cu/al, Cu/a2, Cu/b, Cu/cl, Cu/c2	350-650	
<hr/>		
Hafif alaşımlı bakırlar		
Gümüslü bakır	475-750	
Kadmiumlu bakır	400-700	
Tellürlü bakır.....	425-650	
Kükürtlü bakır.....	400-650	
<hr/>		
Yapısal sertleşmen alaşımlar(*)		
Kromlu bakır.....	975-1000	
Berilyumlu bakır	775-800	
Kobalt-berilyumlu bakır.....	875-900	
Zirkonumlu bakır.....	900-950	

Silisyumlu nikelli bakırlar	800-825
Alüminyumlu nikelli bakırlar (Monel K)	900-925
Nikel-silisyum-alüminyumlu pirinç.....	650-750

Basit pirinçler

Alaşım 210, 220.....	425-800
Alaşım 230, 240	425-725
Alaşım 260, 268, 270, ASM B 134-62-7 (Cu=63-68.5, Zn=gerisi)	425-700
Muntz metal	425-600

(***) Bu alaşımların esneyebilirliği (malleabilitesi) su verilmiş halde maksimum olduğundan yukarıda betimlendiği haliyle genellikle herhangi bir büyük pratik değeri yoktur. Bu tabloda gösterilen sıcaklıklar, bu itibarla, bir hızlı (su içinde) su vermenin takip etmesinin gerektiği bir eriyik haline getirmeye tekabül ederler. Bununla birlikte, sadece yapısal sertleşmenin yok edilmesinin istenmesi halinde, alaşımı meneviş sıcaklığının 100 veya 200°C üstüne ısıtmak yeterli olmaktadır.**

Kurşunlu pirinçler

ASTM B 16-60 vb (Cu=60-63, Zn= gerisi, Pb=2,5-3,7) 425-600

Özel pirinçler

Alaşım 675, 685 vb 425-600

Bronzlar, fosforlu bronzlar

ASTM B22-61-A: Cu = 79-82, Sn = 18-20, Zn < 0,25

ASTM B22-61-B: Cu=82-85, Sn=15-17, Zn < 0,25

ASTM B143-61-14: Cu = 86-89, Sn=9-11, Zn = 1-3, Pb < 0.3 vb... 475-675

SAE 65: Cu = 88-90; Sn = 10-12; Zn < 0,50; Pb < 0,50; P=0,1-0,3

Fed. QQB-691 B: Cu = 80-82; Sn = 18-20; Zn < 0,25;

Pb<0,5,P=0,4-0,6

(Alaşım 505, 510, 521, 524)

Alüminyum bronzları

ASTM B 148-52-9A, SAE 68A, Fed. İAC, Alaşım 613-614:

Cu > 86; Al = 8,5-9,5; Fe=2,5-4 900-950

Dernirsiz Al Bronzları (Al = 6-8) 400-700

Nikeli bakırlar

Alaşım 706, 715 565-815

Cu = 60; Ni=40 700-900

Mayeşorlar

Cu = 52-80; Ni = 5-30; Zn = 10-35 (Alman mayeşorları-gümüşleri).. 600-825

Silisyumlu bakırlar. 475-700

Düzenlenmiş tavlama

Bakır ve yapısal sertleşme ya da martensitik su almaya uğramayan bakır alaşımlarından işlenmiş mamullerin imalinde, tamamen tavllanmış haldekenden daha yüksek belli mekanik karakteristikler (R, E, H) elde etmek olanağını veren iki yöntem mevcuttur.

Klasik yöntem, *uygun* bir rekristallize hal ("hazırlık" tavlaması) üzerine son soğuk pasoyu, aranan karakteristiklere varmak için tam yeterli yoğurulma oranıyla geçirmekten ibarettir.

Düzenlenmiş tavlama tekniğinde, nihai kesit çok yüksek bir yoğurulma oranıyla elde edilir ve mekanik karakteristikler de istenilen değerlere daha sonra bir hassas ayarlı tavlama ile getirilir.

Düzenlenmiş tavlama, alaşımına göre, ya eski haline getirme, ya rekristallizasyonun ilk aşamalarına, ya da yine eski haline getirilmiş ve kısmî olarak resristallize karma bir yapının oluşmasına tekabül eden sıcaklık, tutma süresi ve ön yoğurulma koşulları altında yapılır.

Aşağıdaki tabloda bakır ve bakır alaşımlarının başlıca düzenlenmiş tavlama parametrelerinin bazı değerleri görülür. Ancak bu rakamlar sadece mertebeyi ifade edip optimal bağdaşım her durum için, özellikle işleme tabi tutulacak ürünün şekil ve kitlesine ve de kullanılan ocak tipine göre, deneysel olarak saptanacaktır.

Kaldı ki düzenlenmiş tavlama pratik olarak ancak yarı mamullerin imal edildikleri fabrikada gerçekleştirilebilir.

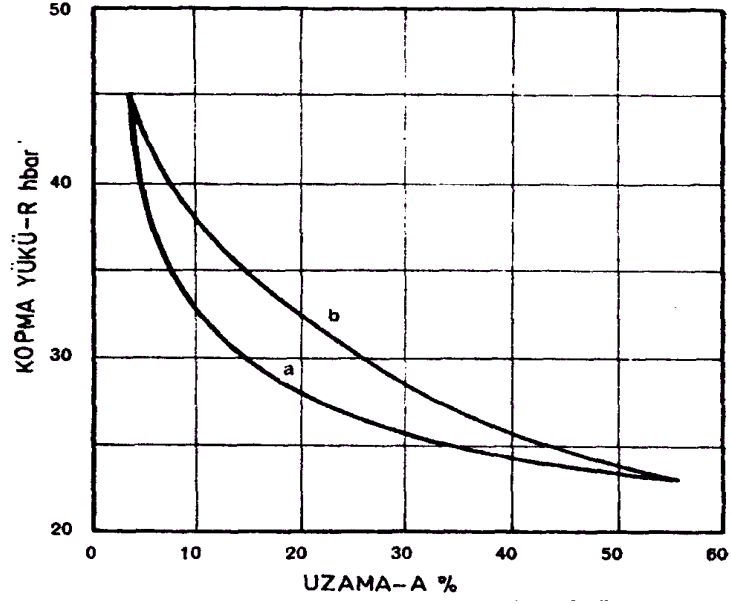
Bakır ve bakır alaşımlarının düzenlenmiş tavlama koşulları (literatürden)

		Yoğurulma	Sıcaklık	Tutma	Düzenlenmiş tavlamadan sonra yapısal durum
Cu/al	lamine	% 75	165	1 sa	Belirtilmemiş
Cu/cl	lamine	% 90	150-170	belirtilmemiş	Eski haline getirilmiş
Alaşım 260	lamine	% 70	250-700	İnce taneli rekr.	
Alaşım 268, 270	boru	% 75	350-400	2-5 dak.	İnce taneli rekris.
Pirinç ^(*) : Cu=76 Zn=22, Al=2	boru	% 75	350-400	10 dak.	İnce taneli rekris.
Pirinç ^(*) : Cu 70 Zn 28.3	boru	% 75	350-400	5-10 dak.	İnce taneli resris.
Sn=0,8-1,2	boru	% 75	350-400	5-10 dak.	İnce taneli resris.
Alaşım 715	lamine	% 90	600-750	10 dak.	Eski haline getirilmiş, kısmen rekristallize
Mayeşor Alaşım 745 Cu=65, Zn=25 Ni=10	lamine	% 90	380-420	10 dak.	İnce taneli resris.
Pirinç Cu-Si-Mn	lamine çubuk tel	% 80	450	1¼ sa.	İnce taneli resris.

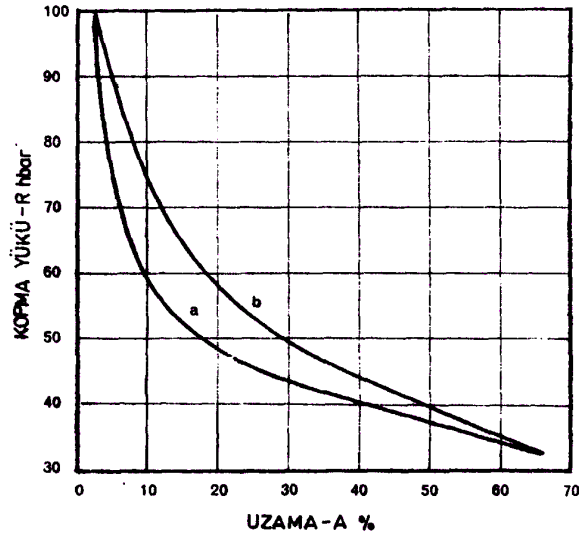
(*) Genellikle çinko kaybını önlemek üzere arsenik içeren, kondansör ve aşanjörler için pirinçler.

Bütünü içinde, düzenlenmiş tavlama ile elde edilen nitelikler, yarı mamullerin işlenmesi açısından, rekristallize hal üzerine bir kısmî yoğurulma ile elde edilenlere göre, genellikle daha avantajlı olmaktadır. Böylece, aynı bir mekanik mukavemet düzeyi için düzenlenmiş tavlama ile elde edilenler, rekristallizasyonla elde edilenlere göre, genellikle daha yüksek mekanik mukavemet göstermektedir.

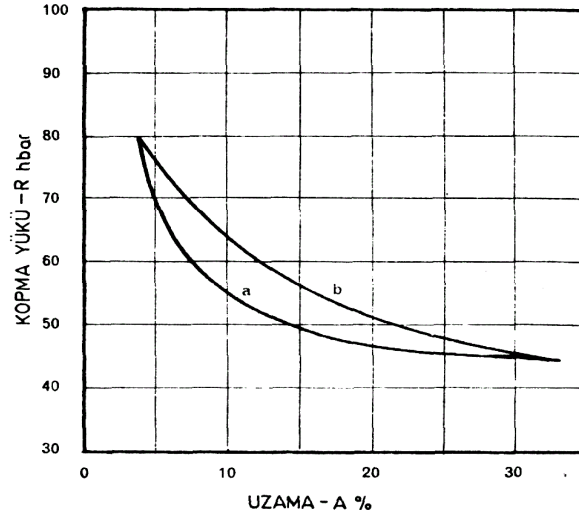
Öbür yandan yapının bu işlemle elde edilmiş inceliği (ince taneli rekristallize halde, tanenin ortalama çapı birkaç mikron mertebesindedir), çekme-basmada şekil değiştirme pürüklüğünü tamamen ortadan kaldırır.



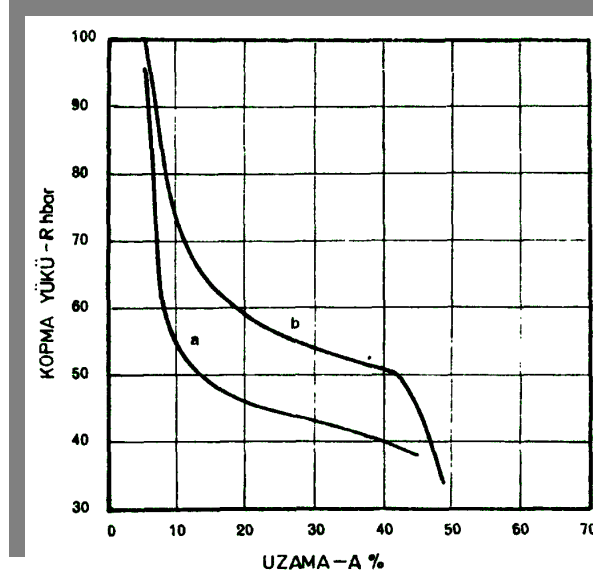
Şekil 27. Bakır Cu/cl a eğrisi, yoğrulmuş; b eğrisi, kısmen veya tamamen tavlanmış haller içindir.



Şekil 28. % 5 kalaylı bir bronz. A eğrisi yoğrulmuş; b eğrisi kısmen veya tamamen tavlanmış haller içindir.



Şekil:29-Alaşım 715(Cu = 70, Ni =30) a eğrisi ,yoğurulmuş; b eğrisi, kısmen veya tamamen tavllanmış haller içindir.



Şekil :30-Alaşım 745(Cu= 65,Zn= 25, Ni= 10)mayesor.A eğrisi,yoğurulmuş;b eğrisi kısmen veya tamamen tavllanmış haller içindir.

Aşağıdaki tablolar, yoğurulma ve klasik tavlama ile elde edilenlere kıyasla, düzenlenmiş tavlama ile elde edilmiş tipik bazı mekanik karakteristik değerlerini verirler.

Çeşitli hallerde bakır alaşımlarının mukayeseli mekanik nitelikleri

Alaşımlar	R hbar	% A	
		Yoğurulmuş	Düzenlenmiş tavlamalı
Alaşım 745	90	5	7
	70	7	11
	50	12	42
% 5 kalaylı bronz	90	3	6
	70	6	12
	50	17	32
Alaşım 715	70	4	7
	62	7	12
	45	11	20

Düzenlenmiş tavlamanın uygulanmasına örnek olarak, çekme-basma saçlarının işlemi dışında, ısıtıl aşanjörler için pirinç borularınki zikredilebilir.

Bu borular geçmişte çoğu kez yoğurulmuş ve iç gerilmeleri homogenleştirmek için basit bir ısıtıl işleme tabi tutulmuş halde teslim edilirdi. Bu işlemin mekanik karakteristikler üzerine hiçbir önemli etkisi olmayıp boruların uçlarının, aynalara geçirilip şişirildikten sonra kıvrılmalarına olanak sağlamak üzere, tavlamları gerekmekteydi. Böylece de, uçtan başlamak üzere şu metalürjik bölgeler hasil olurdu:

- Şişirilme ve kıvrılma ile yoğurulmuş bir bölge,
- Bir tavllanmış bölge,
- Borunun gerisi çekme ile yoğurulmuş ve gerilimi giderilmiş.

Böylece meydana getirilmiş homojensizlik borunun korozyona dayanmasına hiçbir surette yardımcı olmuyordu. Şöyle ki bir metalin elektrod potansiyeli, sair parametreler arasında, yapısal durumuna bağlıdır.

Halen bu borular ince taneli rekristallize halde teslim edilirler ve şişirilip kıvrılmadan önce uçların tavlmasına gerek yoktur. Bu kıvrılma dolayısıyla yoğurulmuş bölge ile borunun geri kalan rekristallize kısmı arasındaki homojenlik noksanına, aşanjörün çalışma koşulları gerektiriyorsa, çare bulmak nispeten kolaydır.

Gerilim giderme tavlaması

Haddeden geçme, laminaj, çekme-basına vb. soğuk plastik şekil değiştirmeler metal ve alaşımlarında çoğu kez homojen olmayan ya da birbirini karşılıklı dengelemeyen iç gerilmelere yol açarlar.

Bu içerde kalmış gerilmeler tek başlarına genellikle çok tehlikeli olmazlarsa da parçalar fazladan özgül korozif etkenler, ısıtıl darbeler veya önemli dış zorlamalara maruz kaldıklarında, çatlaklar doğmasını ve yayılmasını teşvik edebilirler.

Gerilme altında korozyona en duyarlı bakır alaşımları, çinkodan yana zengin pirinçler (Zn > % 20) dir; sonra mayeşorlar (Alman gümüşleri), daha sonra da alüminyum bronzları ve Cu-Si alaşımları gelir; ancak bu son iki takımın korozyona yatkınlığı çok daha azdır. En tehlikeli koroziyon etmenleri amonyaklı buhar ve eriyikler, civa tuzları eriyikleri, bazı ergimiş metaller vb.'dir.

Fosforlu bronzlar ve nikelli bakırlar gerilme altında korozyona az hassas olmakla birlikte, mayeşorlar gibi, "ateşte kırılğan"dırlar. Bu kırılğanlık, gerilme altında bulunan parçaların aniden yüksek sıcaklığa çıkartılmaları halinde (meselâ sıcak bir ocağı doğruca sokulma) ani çatlama ile kendim belli eder.

Gerçi bundan önce betimlenmiş olan çeşitli tavlama türleri iç gerilmeleri kesin olarak yok eder ve birçok durumda bu amaçla da kullanılabilirler; ancak bunlar bazen istenmeyen tam ya da kısmî bir yumuşamaya götürürler.

Yoğurulmadan hasıl olmuş mekanik karakteristiklerin muhafaza edilmelerinin gerektiği durumlarda gerilim giderme tavlama, homogenleştirme veya zorlamaların dengesinin sadece gevşeme (relaxation)^(*) yoluyla elde edilmesini sağlayacak sıcaklık ve tutma süresi koşulları altında yapılır.

Bu itibarla rekristalizasyonun başlama sıcaklığının altında çalışılması gerekir. İşlem sıcaklığı ne kadar alçak olursa mekanik karakteristikler o kadar az etkilenmiş olurlar; ancak bu zaman tam bir gevşeme elde etmek için gerekli süre uzanmış olur.

Prinçler, bronzlar, nikelli bakırlar ve mayeşorlarda tutma süresi 1 saat olup sıcaklıklar da: Prinçler, %5 Zn'den itibaren artan çinko oranıyla birlikte artmak üzere 190 ile 260 C arasında ; Kalaylı pirinçte (Cu ≥ 70; Zn ≥ 28,3; Sn = 0,8-1,2) 290 C; Bronzlarda; 190 C; nikelli bakırlar ve mayeşorlarda 250°C'tır.

Alüminyum bronzlarında 300-350°C, tutma süresi 0,5-2 sa.

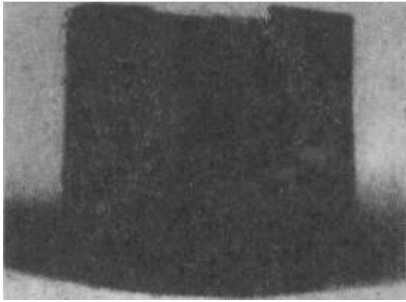
Silisyumlu bakırlarda 300° C, tutma süresi 1-2 sa'dır.

Gerilim giderme tavlama süresinin etkinliği, cıvalı nitrat deneyi ile kontrol edilebilir: Bir denek ya da tanık parça, çatlama olmadan, 15 dak. süreyle bir 100 gr/lit cıvalı nitrat sulu eriyiği ve 15 cm³/lit nitrik asite daldırılmaya dayanmalıdır. Şekil 30 a, buna güzel bir örnek teşkil eder.

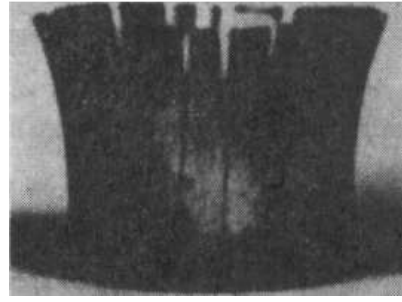
Kazancılık birleştirmelerinin gerilim giderme veya işleme sırasında boyut stabilizasyonu tavlama bu sıcaklıkların 100-150°C üstünde yapılabilir. Şöyle ki bu durumlarda mekanik karakteristiklerin kısmî azalması fazla önem taşımaz.

Çeşitli durumlarda bakırlar ve bakır alaşımlarının kıyaslamalı mekanik nitelikleri.

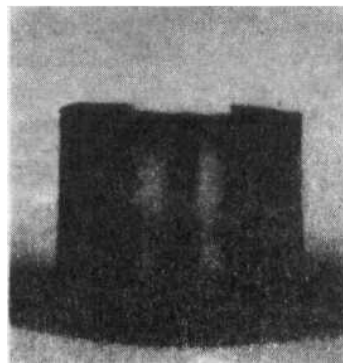
Alaşımlar	Durumlar	Kopma Mukavemeti R (hbar)	Kopma Uzaması A, (%)
Cu/al	Tam tavllanmış	24,5	39,0
	%11 oranında yoğrulmuş	26	21,5
	es = %75 üzerinde düzenlenmiş tavlama	26	28,5
	%20 oranında yoğurulmuş	32	8,1
Cu/cl	es = % 75 üzerinde düzenlenmiş tavlama	32	13,0
	80 µ tane ile %25 oranında yoğurulmuş	31	14
Alaşım 260 lamine	es = %90 üzerinde düzenlenmiş tavlama	31	22
	Tam tavllanmış (250 µ luk taneler)	25	70
Cu-Si-Mn lamine	Yoğurulmuş ¾ sert	49	25
	Düzenlenmiş tavlama (2µ luk taneler)	49	30
	Tam tavllanmış (80 µ luk taneler)	40	61
Cu-Si-Mn lamine	100µ luk taneler üzerinde %15 yoğurulmuş	59	18
	es = %80 üzerinde düzenlenmiş tavlama	59	31



(a)



(b)



(c)

Şekil:30 a _65/35 pirinçten basma-çekme kovanları

(a) Basma-çekmeden sonra tavlammamış

(b) Aynı kovan 5 sn süreyle civalı nitrat eriyikine daldırıldıktan sonra

(c) Aynı seriden kovan, 1sa 300 C'ta tavllanmış, sonra civalı nitrata denenmiş

Civalı nitrat deneyi Fransız NF 53-503 standardının konusudur.