

VIII — ALÇAK ALAŞIMLI ÇELİKLER

Basınçlı kaplar, buhar kazanları, depolama tankları, demiryolu vagonları, kamyon şasisleri, gemiler, vinç okları vs.'nin zatî ağırlığını azaltmak amacıyla genellikle yüksek mukavemetli çelik adı verilen bir alçak alaşimli çelikler grubu geliştirilmiştir. Otomotiv Mühendisleri Cemiyeti (Society of Automotive Engineers - SAE) de kendi gereksinimleri için benzer çelikler meydana getirip bunları standartlaştırmıştır.

Uçak sanayii, füzeler, kriojenik işlemler her gün daha düşük sıcaklıklarda çalışacak çelikleri gerektirmektedir. Adi yumuşak çelikler ve konstrüksiyon çelikleri bu alçak sıcaklıklarda sünekliğini kaybedip gevrek hale geldiklerinden bu amaçlar için kullanılamazlar. - 180°C gibi düşük sıcaklıklarda memnuniyet verici özellikleri haiz çelikler geliştirilmiştir. % 10'a kadar Ni içeren çelikler çoğu zaman bu uygulamalarda kullanılırlar.

Başka yerde de yüksek sıcaklıklarla karşılaşılır. Buhar kızdırıcıları, kimyasal ayırıştırma kapları, petrol tasfiye kuleleri vs. bunlara örnek teşkil eder. Sırf karbonlu çelikler, işlemin sıcaklığı arttıkça mukavemetleri azaldığından, bu uygulamalara elverişsizdirler. 600°C'a kadar iyi mukavemet arz eden çok çeşitte alçak alaşimli çelik meydana getirilmiştir.

Öneminden ötürü alçak alaşimli buhar kazanı saçları üzerinde biraz duracağız. Ancak konuya özel olarak girişmeden önce bazı genel bilgiler vereceğiz.

a) Malzemelerin yüksek sıcaklıklarda durumları

Ekonomik yönden kazanlarda hergün daha yüksek buhar sıcaklığı ve basıncına gidilmektedir. Hasıl olan her zorlanmaya göre alaşımsız, alçak alaşimli veya yüksek alaşimli (austenitik) çelikler kullanma alanı bulurlar.

Kazan imâl malzemesinden çok yönlü yüksek nitelikler beklenir. Teknik bakımdan mümkün olduğu kadar ince cidarda sıcakta iyi mukavemet ve kavlanmaya (tufal dökmeye) karşı koyma kabiliyeti aranır. İnce cidarın başka bir faydası da iyi bir ısı iletkenliği, dolayısıyla daha yüksek verimi haiz olmasıdır. Bunun yanısıra daha hafif olması itibariyle fiyata olumlu yolda tesir eder, işçilik basitleşir. İmal bakımından da kazan malzemesinde sertleşme kabiliyetinin bulunmaması, yukarlarda sınırlanmış mukavemet, mümkün olduğu kadar yüksek tokluk, büyük şekil alabilme ve iyi bir kaynak kabiliyeti aranır.

YAŞLANMA

Malzemenin irdelenmesinde, işletme esnasında nitelik değişmesi de göz önünde bulundurulacaktır. Bundan çeliğin *yaşlanması* anlaşılır. Bu da, metalin, dış etkiler olmadan, uzun süre yatmaktan dolayı oda sıcaklığında vaki olan tedricî özellik değişmesidir. Önemli soğuk şekil değiştirmelerde, ezcümle haddeleme, döğme, presleme, eğme vs. işlemlerden sonra özellikle ince ve düşük karbonlu çeliklerde uzun süre yatma sonunda bir mukavemet ve sertlik artışı, buna karşılık da uzama ve çentik darbe mukavemetinin çokça düşüşü hasıl olur. Buna *tabî yaşlanma*, sonuncusuna da *yaşlanma gevrekleşmesi* adı verilir. Yaşlanma gevrekleşmesinin *meneviş*

kırılganlığı, ile karıştırılmaması gerekir. Mavi renk alanında (200 -300°C) ısıtılmış bir çeliğe şekil değiştirme (eğme, kıvrırma, döğme vs.) uygulanacak olursa gevreklik tehlikeli şekilde artar.

Soğukta şekillendirilmiş bir malzeme 100 - 300°C'a ısıtılacak olursa yaşlanma süreci o kadar hızlı gelişir ki sözünü ettiğimiz özellik değişmesi birkaç dakika içinde vaki olabilir. Buna *yapay yaşlanma* denirse de doğal yaşlanma ile aynı mahiyettedir. Adı geçen yapay yaşlanma, daima 500°nin altında uygulandığı kabul edilen soğuk şekil değiştirmelerden sonra, işletme esnasında kazanın sıcaklığında meydana gelir. Bu itibarla kazan imalinde *yaşlanmaya emniyetli çelikler'in* kullanılmasının özel bir anlamı vardır.

Yaşlanmanın meydana getirdiği elverişsiz durum ya nihaî şeklini almış döğme çelik parçanın ıslâhı ile, veya çelik banyosunu belli bîr metalürjik işleme tabi tutarak (meselâ alüminyumla desoksiasyon) önlenir.

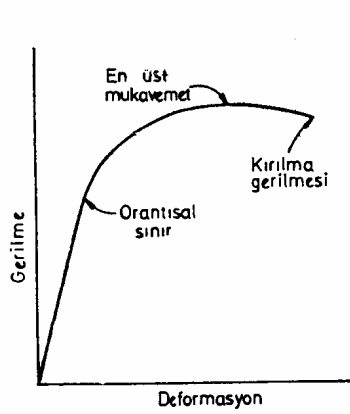
Böyle bir *yaşlanmaya dayanıklı çelik* bileşim (bakımından adi kazan çeliğinden pek farklı olmayıp aşağıda göreceğimiz gibi çeşitli mukavemet kademelerinde imal edilir. Bunlar alüminyumla «kaime» (desoksida) çelikler olup alkali kavlamasına az hassastırlar (mutad kazan çelikleri soğuk şekil değiştirmeye tabi tutulup elâstik gerilme ile birlikte, her kazan 'besleme suyunda bulunan alkalilerle temasa geldiklerinde kristaller arası mikro-çatlaklar hasıl ederler ki buna *alkali gevrekliği* veya *kavlaması-Laugensprödigkeit* denir). Ancak bundan bu çeliklerin korozyona dayanıklı oldukları manası çıkmaz. Korozyona dayanıklılık bunlarda adi kazan saçlarındaki kadardır.

Büyük önemi dolayısıyla «yaşlanma» olgusunun metalürjik açıdan izahını kısaca yapalım. Bunun için bazı temel kavramları hatırlatacağız.

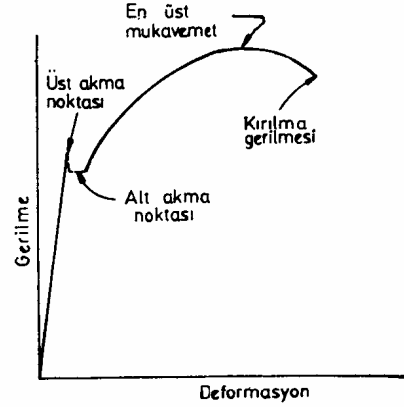
«Bir metalin mukavemeti» terimi her zaman belirgin değildir. «Mukavemet» sözcüğü kimine plastik şekil değiştirmeye (deformasyona) mukavemeti ve dolayısıyla sürekli deformasyonu başlatacak olan gerilimi ifade eder. Başkaları için de mukavemet, kırılmaya götüren gerilmedir. Bu itibarla gerilme - deformasyon eğrisi üzerinde (Şek. 44) belli noktaların anlamı açıkça ortaya konulmalıdır. Bu gerilme - deformasyon eğrisinin doğrusal bölümünden ilk görülebilen sapma, *orantısız sınır'da* vaki olur. Bu, gerilme ve deformasyonun orantısallığından herhangi bir sapma olmadan malzemeye uygulanabilecek azami gerilme olarak tanımlanır. Genellikle hem gerilme, hem de deformasyonun ölçülmesinde hassasiyet arttıkça bahis konusu orantısız sınır daha az olur. Orantısız sınırla yakından ilişkili bir terim de *elastik sınır* olup (bu da, sürekli deformasyon hasıl etmeden bir malzemeye uygulanabilecek azami gerilme olarak tanımlanır. Bu da ölçümlerin hassasiyetine bağlı olup bu hassasiyet arttıkça, azalmaya meyleder.

Orantısız sınırla elastik sınırın doğru saptanmasının güçlüğü karşısında mühendis, gerilme - deformasyon eğrisi üzerinde akma sinin (Yield point, Streckgrenze) adı verilen, keyfi olarak tanımlanmış nokta kullanmaktadır. *Akma sınırı*, malzemenin belirtilmiş sınırlandırıcı sürekli deformasyon arzettiği gerilme olarak tanımlanır. Çoğu zaman bu sınırlandırıcı sürekli deformasyon yüzde 0,2 dir. Bazı malzemeler gerilme - deformasyon diyagramı üzerinde, bir alçak karbonlu çelik için çizilmiş olan diyagramda (Şek. 45) görüldüğü gibi orantısız sınırın hemen üstünde bir süreksizlik arzeder. Bu malzeme, akma noktası adı verilen bir noktayı

arzetmiştir. *Üst akma noktası*, bir ani deformasyonla birlikte buna karşı koyan gerilmeye bir düşmenin vaki olduğu gerilmedir. Gerilmenin azalmış değerine de *alt akma noktası* adı verilir. Malzeme hiçbir zaman üst akma noktası'na tekabül eden deformasyonla alt akma noktasına tekabül eden deformasyon arasında mutavassıt deformasyon hali arzetmez. Akma, dislokasyonların yığılmasının bir sonucu olarak ortaya çıkan bir kayma sürecidir. *Dislokasyon*, yani yerinden çıkma, içyapı kafesinde bir kusurdan ibaret olup bunun en basit şekli *kenar dislokasyonu'dur*. Bu da dislokasyon çizgisinin üstünde ya da altında bir fazla veya bir eksik atom düzlemi ile karakterize olur. Bu dislokasyonlar tane sınırlarını aştıklarında, akma olgusunu meydana getiren istenmeyen kayma vaki olur. Bu davranışa sadece merkezli kübik ve sıkışık düzenli hexagonal (altı köşeli) içyapılarda rastlanır. Akma noktası olgusu içyapıda çok az miktarda eriyen atom varlığı ile birlikte gidip demirde eriyen atom, karbon veya azot veya her ikisinin birden atomudur. Bu tür eriyen atomlar, bir kenar dislokasyonunda fazla yarı düzlemin altında ve dislokasyona paralel bir çizgi üzerinde bir yer işgal eder. Bu atomların çizgisi bir atmosfer olarak anılır. Atmosfer, dislokasyonun hareketini önlemeye meyleder. Dislokasyonu hareket ettirme eğilimindeki kuvvet yeterince büyük olursa, akma başlayabilir.



Şek. 44 — Mühendislik gerilme - deformasyon diyagramı



Şek. 45 — Bir alçak karbonlu çelik için mühendislik gerilme - deformasyon diyagramı.

Kaymadan sonra malzeme, derhal yapılacak bir yeni deneyde belirli bir kayma noktası arzetmeyecektir. Bununla birlikte oda sıcaklığında veya bunun üstünde (bir sıcaklıkta yaşlandırma, eriyen atomlara difüzyon yoluyla kendi uygun mevkilerine geri gelme olanağını sağlar. Düzeltme süresi sıcaklığın bir fonksiyonudur. Akma noktasının yeniden belirmesine *deformasyon yaşlanması* adı verilir.

Mühendislik gerilmesi, yani, kuvvetin uygulandığı ilk kesit alanına bölünmüş kuvvet olarak bir malzemenin tabii tutulabileceği azami gerilme, malzemenin *en üst mukavemet*'i olarak anılır. Kopma - kırılmanın vaki olduğu gerilmeye de *kopma gerilmesi* denir.

Mühendis için *sertlik*, nüfuziyete mukavemeti ifade eder. Başka anlamda sertlik, sürekli deformasyona mukavemetin bir ölçüsü olup kafes dokusu içinde bağlantı ile ilişkilidir.

Alaşımın en ilginç ve önemli karakteristiklerinden biri bunların, niteliklerini değiştiren

iç değişmeye uğrama kabiliyetleridir. Bu tipteki değişmelerden biri *rekristalizasyon* olgusu, öbürü de çelikte, dikkate değer sertleşme sürecidir. Bu tür süreçler *katı hal reaksiyonları* adı altında toplanmış olup bunların içinde bir önemli örnek olarak *yaşlanma sertleşmesi* vardır.

A — *Rekristalizasyon*

Soğukta şekil verilmiş (haddelenmiş, doğulmuş...) bir metal, içte dengelenmiş elastik deformasyonların sonucu olarak büyük ölçüde mekanik gerilme halindedir. Bu elastik deformasyonlar, genellikle soğuk şekil verme sırasında meydana gelen ve homojen olmayan şekil değişmelerinden ileri gelirler. Metal, yeterince yüksek bir sıcaklığa ısıtılacak olursa bu deformasyonlar yok olacaktır; aynı zamanda metalin kopma mukavemeti ile sertliği yaklaşık ilk değerlerine düşecek olup metal, yeniden soğukta şekil alabilecek hale geri gelecektir. Bu ısıl işlem şekli görmüş olduğumuz tavlama olarak bilinir ve buna, metalin yumuşak ama tok halde kullanılması ya da daha başka soğuk şekil vermeye tabi tutulması durumunda başvurulur. Tavlama üç kademede yer alır :

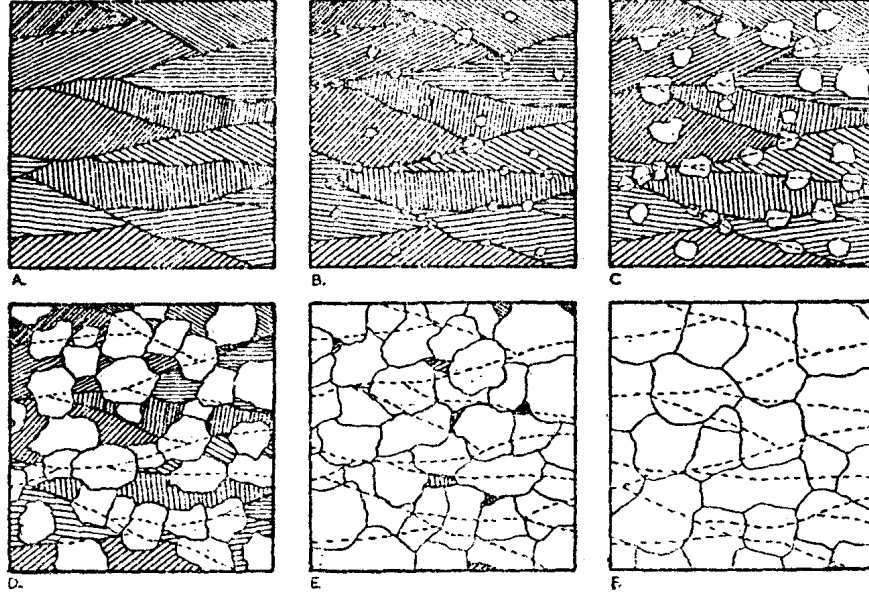
I. Kademe : Gerilim giderilmesi. Daha önce kısaca sözünü ettiğimiz bu eylem atomların, kristal kafesi içinde dengeye yakın pozisyonlara kayabilecekleri göreceli olarak alçak sıcaklıklarda vaki olur. Böyle küçük hareketler, soğukta şekil verilmiş kristallerin bozulmuş şekillerinde gözle görülür bir değişme hasıl etmeden iç mekanik gerilmeleri azaltabilir. Bunun ötesinde sertlik ve kopma mukavemeti, soğuk şekil vermenin hasıl ettiği yüksek değerde kalacaklardır.

II. Kademe : Rekristalizasyon. Tavlama sıcaklığı artırılacak olursa, şekil değiştirmiş metalde meydana gelmiş çekirdeklerden yeni kristallerin büyümeye başladığı bir noktaya varılır. Bu çekirdekler kristal sınırları ve dislokasyon düğümlemeleri gibi yüksek enerjili noktalarda oluşur. Böyle oluşmuş kristaller Önce küçük olur, sonra, soğuk işlemenin başta hasıl ettiği tüm çarpılmış (distorsiyona uğramış) dokuyu işgal edene kadar tedricen büyürler. Yeni kristaller şekil itibariyle eşit aksenlidirler, yani yerlerini aldıkları soğuk işlenmiş ve distorsiyona uğramış kristaller gibi herhangi bir yönde uzama göstermezler.

Rekristalizasyonun yer aldığı asgari sıcaklık, rekristalizasyon sıcaklığı olarak anılır. Bu sıcaklık saf metaller için en düşük düzeydedir ve genellikle başka elementlerin varlığıyla yükselir.

Rekristalizasyon sıcaklığı geniş ölçüde metalin uğramış olduğu soğuk şekil değiştirme derecesine bağlı olup ağır soğuk şekil değiştirme genellikle daha düşük rekristalizasyon sıcaklığı ile sonuçlanır. Bu nedenle herhangi bir metal için kesin olarak bir rekristalizasyon sıcaklığı belirtmek mümkün değildir. Bununla birlikte, metallerin çoğu için rekristalizasyon sıcaklığı, bu metallerin *salt* sıcaklık skalasında ölçülmüş ergime noktası sıcaklığının üçte biri ile yarısı arasındadır. Böylece de bütün metalik atomların hareketlilikleri ergime noktalarının aynı kesrinde yaklaşık olarak eşittirler.

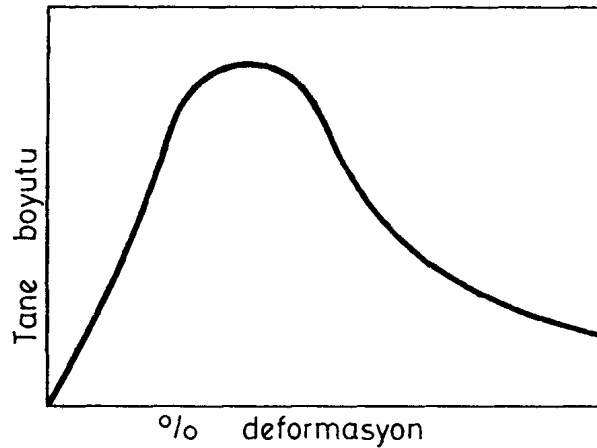
III. Kademe : Tane büyümesi: Bu konu daha önce irdelenmiştir. Burada sadece rekristalizasyonla ilgili bazı ayrıntılar verilecektir.



Şek. 46 — Bir metalin rekristalizasyonunda kademeler (R. A. Higgins'den). (A), metali soğuk haddelenmiş durumunda temsil eder. (B) de rekristalizasyon, yeni kristal çekirdeklerinin oluşmasıyla başlamıştır. Bu büyümeler, rekristalizasyonun tam olmasına kadar (F'de) eski kristaller aleyhine gelişir.

Tavlama sıcaklığının rekristalizasyon sıcaklığının üstünde olması halinde, yeni oluşmuş kristaller birbirlerini «yiyerek» büyümeye devam edeceklerdir (şek. 46). Bu büyümenin derecesi geniş ölçüde aşağıdaki etkenlere bağlıdır :

- Tavlama sıcaklığı; sıcaklık arttıkça, tane boyutu artar.
- Tavlama süresi; önceleri taneler hızla büyür, sonra büyüme yavaşlar.
- Daha önce uygulanan soğuk şekil vermenin derecesi. Genel olarak büyük şekil vermeler kristaller içinde çok sayıda yüksek enerjili bölgenin oluşmasına götürecektir. Bu da rekristalizasyonda birçok çekirdeğin meydana gelmesini sağlayacak ve sonuç itibariyle de tane boyutu küçük olacaktır. Aksine, hafif şekil verme az sayıda çekirdeğin oluşmasına götürecektir ve hasil olan tane boyutu büyük olacaktır (şek. 47).



Şek. 47 — Tane boyutu ile ilk diformasyonun derecesi arasındaki ilişki.

d) Metal ya da alaşımda, erimez ilâvelerin etkisi; buna bir örnek ampullerin tungsten filamanlarında thoria (torium oksidi) nin kullanılmasıdır. Burada thoria filmleri, aşırı gevrekliği önler, aksi halde uzun süre yüksek sıcaklıkta tutulan ampul filamanlarında tane büyümesi aşırı gevrekliğe neden olur. Benzer şekilde, vanadium karbürü zerrecilerinin varlığı hava ve sair çeliklerin ısı işlemleri sırasında austenitin tane büyümesine engel olur.

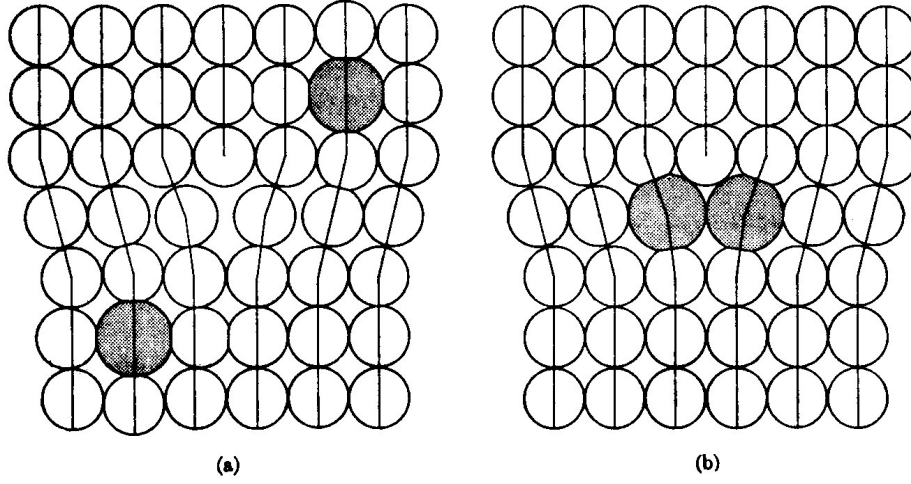
e) Bazı alaşım elementleri ve bunlar arasında en geniş ölçüde kullanılan nikelin eklenmesi. Bu element çelikleri ve bazı demirdışı alaşımlarda tavlama ve öbür ısı işlemleri sırasında tane büyümesini sınırlar.

B — Yaşlanma sertleşmesi.

En basit hal olarak bir saf metali ele alalım. Metaller, anımsanacağı gibi, kristal doku içinde dislokasyonların hareketi nedeniyle zayıflar ve mukavemet artışı, bu harekete engel olduğunda sağlanır. Bir tavllanmış metalde dislokasyonların hareketliliği, sürekli kayma için mevcut hacim azaltılarak, örneğin tane boyutu küçültülerek ciddi ölçüde önlenir. Bununla birlikte saf metallerde en büyük mukavemet artışı soğuk işleme (şekil değiştirme) ile elde edilir. Böylece çapraşık bir dislokasyonlar modeli hasıl olur ve bu, daha sonraki hareketi son derece güçleştirir.

Saf metallere uygulanan sertleştirme yöntemleri, alaşımlar için de kullanılabilir ve bu durumda daha başka birçok mukavemet artırma yöntemi mevcut olabilir. Bu yöntemler uygun şekilde iki sınıfa ayrılabilir : nispeten az sayıda alaşım sisteminde rastlanan katı hal reaksiyonlarına dayananlarla bütün alaşımlarda görülen *alaşım sertleşmesi* (katı eriyik oluşması ya da bir ikinci fazın varlığı) na dayananlar. Biz burada en genel olan bu ikinci sınıfı ele alacağız.

Katı eriyike giden bir alaşım elementi, eritici metali her zaman sertleştirir. Alaşım elementi oranının düşük olduğu eriyiklerde sertleşme miktarı kabaca alaşım elementinin yoğunluğuyla orantılı olup birden fazla elementin mevcut olması halinde toplam sertlik, yaklaşık olarak her bir elementin karakteristik etkilerinin toplamı kadar olur. Belli bir alaşım elementinin hasıl ettiği sertlik, kendisiyle eritici metal arasındaki boyut ve elektronik yapı farklarına bağlı gibi görünmektedir. Dislokasyonlar görünürde, eriten metal içinde gelişigüzel dağılmış eriyen atomlar tarafından ciddi şekilde engellenmezler. Bununla birlikte eriyen atomların tercihen dislokasyonlar etrafında toplanmaları halinde bir dislokasyonu yerinden oynatmak için gerekli güç büyük miktarda artabilir. Bu davranışın nedeni şek. 48'de, matris - yatak atomundan büyük olan erimiş atom için gösterilmiştir. Matris, kenar dislokasyonunun altındaki bölgede gerilim halinde bulunduğundan erimiş atomlar gelişigüzel kafes içinde gelişigüzel pozisyonlardan bu bölge içinde pozisyonlara yol aldıklarında sistemin enerjisi düşer. Bu takdirde dislokasyon, erimiş «atmosfer»i tarafından kilitlendi, denir.



Şek. 48 — Bir dislokasyonun etrafında bir Cottrell erimiş atomlar atmosferinin oluşması. Görülen iki erimiş atom, atmosferi teşkil etmiş olabilen çok sayıda atomu basitçe temsil etmektedir. (a) Gelişigüzel pozisyonda büyük erimiş atomlar, deformasyon enerjisi yaratırlar. (b) Erimiş atomların dislokasyonun altında pozisyonlara hareketi, enerjiyi düşürür (A. G. Guy'dan)

Katı hal reaksiyonları. — Alaşım sertleşmesi ve soğuk işleme geniş ölçüde uygulanmakta olup bazı alaşım sistemlerinde, katı halde vaki olan özel sertleştirme reaksiyonlarıyla bunların etkisini artırmak ya da bu reaksiyonları doğrudan adı geçen işlemler yerine ikame etmek mümkündür. Bu katı hal reaksiyonları, aşağıdaki nedenlerden ötürü özellikle anlamlıdır; sadece alaşım sertleşmesiyle mümkün olan düzeyin çok üstünde bir sertlik artışı sağlarlar; parçaya plastik şekil değiştirmenin uygulanmasını gerektirmezler ve sertleşmenin, imalatın uygun bir noktasında yapılmasına imkân verirler. Bununla birlikte bu sertleştirme tipinde birçok kısıtlamalar da vardır.

1. Her alaşım sistemi belli bir katı hal reaksiyonuna uğramaz. Örneğin ötektoid ayrışmalar mutlak olarak faz diyagramlarında görülmez.

2. *Denge koşulları altında* vaki olan bir katı hal reaksiyonu ciddi sertleşmeye götürmez; sertlik hasıl edebilmek için denge dışı bir doku (örneğin çeliklerde martensit) oluşturmak gerekir.

3. Belli bir katı hal reaksiyonu tarafından meydana getirilmiş sertliğin derecesi, sistemden sisteme değişir ve bazı hallerde ihmal edilecek kadar küçük olabilir. Bu itibarla belli bir reaksiyonun meydana gelmesi sertleşme için *gerekli, ama yeterli olmayan* bir koşuldur.

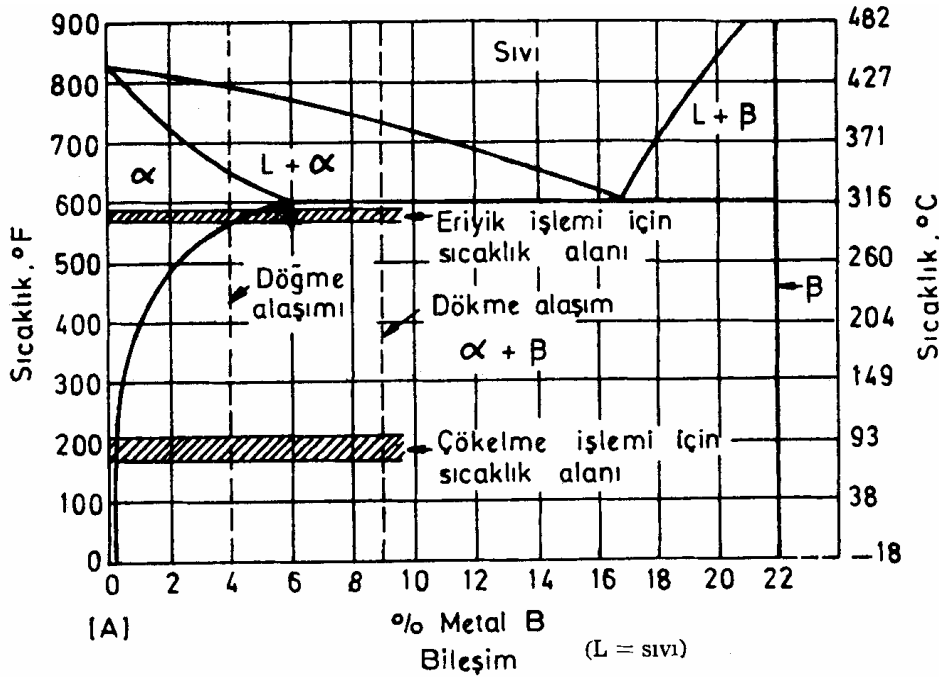
Aşağıdakiler, faydalı sertlik artışı hasıl edebilen katı hal reaksiyonlarıdır :

- | | | |
|--|---|-----------------------------------|
| a) Ötektoid ayrışma | } | Yaşlanma
sertleşmesi
süreci |
| b) Katı eriyikten çökme | | |
| c) Gelişigüzel (düzensiz) bir katı eriyikin düzenli hale gelmesi | | |
| d) Difüzyon reaksiyonu (örneğin, iç oksidasyon). | | |

Çökme sertleşmesi. — Katı eriyikten çökme için gerekli koşul basitçe bir düşen solvus çizgisinin varlığından ibaret olup bu nedenle çökme az çok bütün alaşım sistemlerinde belli bir

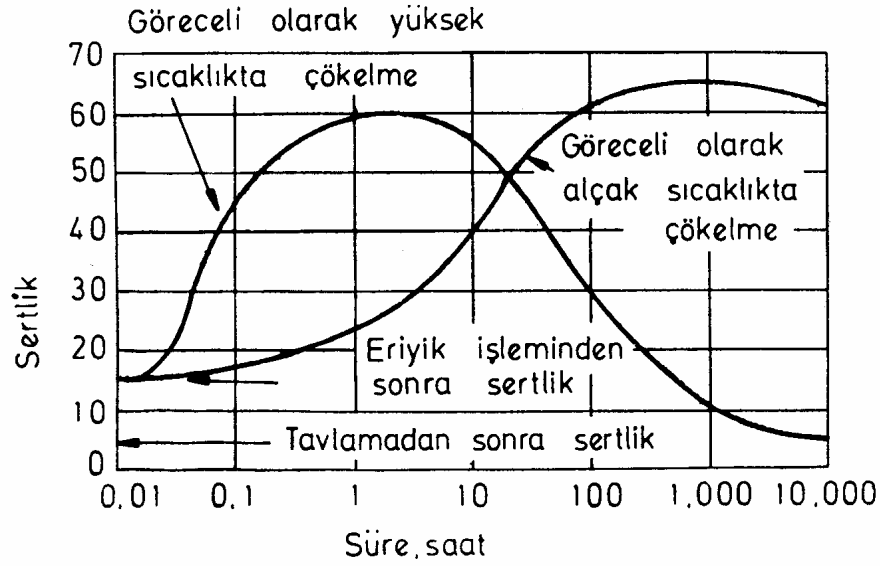
derecede, ve yüzlerce halde de önemli ölçüde vaki olur. Kuşkusuz az çok her metal, uygun olarak seçilmiş alaşım elementi eklenmesiyle, çökeltme sertleşmesine götürülebilir ve üçlü ve daha fazla bileşikli alaşımlarla daha da ileri sertlik elde etmek mümkün olur.

Isıl işlem — Bir çökeltme sertleşmeli alaşım meydana getirmenin tüm süreci, üç bölüme ayrılabilir: (1) bileşimin seçimi; (2) eriyik ısıl işlemi ve (3) çökeltme ısıl işlemi. Şek. 49, beta fazının fazla doymuş alfa katı eriyikinden çökeltmesinin sonucu olarak sertleşme arzeden bir sistemi gösterir. Bu halde, % 6 B metali ile, yani B metalinin A metali içinde eriyebilme sınırında azami sertleştirme etkisi hasıl edilmişse de, üzerinde alfa + beta faz alanının alçak sıcaklıklarda uzandığı bütün alaşımlar alanında da bir miktar sertleşme meydana gelebilir. Pratikte, azami sertlik verebilen bileşimden başka bileşimler kullanılmaktadır.



Şek. 49 — Çökeltme sertleşmesine uygun bir dövme alaşım ile dökme alaşımın bileşimlerini gösteren denge diyagramı.

Hem dökme, hem de dövme alaşımlar için benzer ısıl işlem kullanılırsa da daha yavaş reaksiyona giren dökme malzemeler için daha uzun süre ve daha yüksek sıcaklıklar uygulanmalıdır. Birinci *eriyik işlemi* aşamasının amacı, alfa katı eriyiki içinde ikinci fazdan azami miktarı eritmek ve sonra da bu eriyiki oda sıcaklığına kadar tutmaktır. Bunun için de (1) alaşım yüksek sıcaklığa, ancak aşırı tane büyümesine ya da bileşiklerden birini eritmeye götürecek sıcaklığın altında bir sıcaklığa ısıtılır; (2) eriyikin meydana gelmesine olanak sağlamak üzere yarım saatten yaklaşık bir güne kadar bir süre bu sıcaklıkta tutulur ve (3) oda sıcaklığında fazla doymuş katı eriyiki elde etmek için suya daldırılır. Eriyik işleminden sonra sertlik nispeten düşük (şek. 50) olmakla birlikte yavaş soğutulmuş, tavlanmış malzemeninkinden yüksektir.



Şek. 50 — İki farklı sıcaklıkta çökeltme ısıl işlemi sırasında sertleşmenin seyri.

Bu alaşımların tam sertliği çökeltme işlemi sırasında gelişir; bunda fazla doymuş eriyik, olasılıkla ikinci fazın oluşmasına götüren değişimlere uğrar. Bazı hallerde çökeltme oda sıcaklığında makul bir süre içinde vaki olabilir ki bu takdirde alaşım *doğal olarak* yaşlanmış denir. Genellikle alaşımı *yapay* olarak şek. 49'da gösterilen bir sıcaklık alanı içinde tutarak yaşlandırmak gerekir. Çökeltme ısıl işlemi için kullanılan tam sıcaklık iki etken tarafından saptanır : (1) belli bir reaksiyon derecesi için süre ile (2) başlıca ilgilenilen nitelik. Zaman etkeni sınaî ısıl işlem için makul uzunlukta olacaktır (sıcaklık ne kadar yüksek olursa süre o kadar kısalar). İkinci etkene gelince, çökeltme sırasında çeşitli niteliklerin değişik ölçülerde değiştikleri bilinmelidir. Örneğin mukavemet özellikleri daha düşük çökeltme sıcaklıklarında daha yüksek azami değerlere varma eğilimindedir. İki farklı sıcaklıkta yaşlanmanın seyri şek. 50'de gösterilmiştir. Sertlik gibi nitelikler çökeltme sırasında belli bir sıcaklıkta bir azami değere varır ve sonra, *fazla yaşlanma'nın* sonucu olarak, tedricen azalır. Bu olası yumuşama, alaşımın sıcaklıkta artan süreyle tutulmasıyla denge koşuluna yaklaşmasının bir doğal sonucudur. Gerçekten çok fazla yaşlanmış bir alaşım bir *tavlanmış*, yani eriyik işlemi sıcaklığından itibaren yavaş soğumayla denge dokusunun hasil olduğu alaşımla esas itibariyle aynıdır.

Kuram — Çökeltme sertleşmesinin uygun bir kuramı, plastik şekil değiştirmenin sertliğin seyri üzerindeki etkisi, çökelebilen bütün sistemlerin hepsinin sertleşememeleri ve fazla yaşlanmanın tabiatı gibi olguları izah edebilmelidir. Bugün için, daha önce kısaca sözünü ettiğimiz *coherent - tutarlı kafes kuramı*, çökeltme sertleşmesi sürecinin en faydalı görüşünü ifade etmektedir.

SÜRÜNME:

Konstrüktör malzeme seçerken bunun sıcakta mukavemetini ve korozyona dayanıklılığını dikkate alıp hesaba bir emniyet katsayısı katar. Burada yine ekonomik hesaplar işbu katsayı ile daha üstün nitelikli pahalı malzeme kullanma keyfiyeti arasında denge kurar. 400° C'a kadar sıcaklıklarda sıcakta akma sınırı ile buna tekabül eden emniyet katsayısı yeterli bir hesap esasını teşkil eder. Buna karşılık daha yüksek sıcaklıklarda mukavemet değerlerinin zaman faktörüne bağlılığı göz önünde tutulacaktır. Şöyleki malzemelerin çoğu yüksek sıcaklıkta yüklemeler altında, oda sıcaklığı veya hafif ısıtma durumlarına göre başka türlü davranır. Belirli bir yükün belirli bir sıcaklık derecesinde aşılması halinde malzeme tedricen vaki olan bir uzamaya, başka deyimle bir akmaya-sünmeye (sürünme) tabî olur. Bu uzama, tekabül eden yük ve sıcaklıkta artık durmaz ve kırılmaya kadar devam eder. Bahis konusu sıcaklıkta plastik uzamanın başlaması ve belli tempo ile devam edip belli bir zaman sonra, müsaade edilemeyecek bir şekil değişmesi hasıl etmeden, durmasına tekabül eden yük değerine malzemenin *sürünme* (İng. *creep*, Frans. *fluage*, Alm. *Kriech*) *mukavemeti* adı verilir. Adı geçen sürünme, yükün kaldırılması ve soğutma suretiyle kopma vaki olmadan durdurulup çentik darbe deneyi yapıldığında çentik darbe mukavemetinin ciddi şekilde azaldığı, malzemenin gevrekleştiği görülür. Bu hal, sonradan uygulanacak bir ısıtma işlemiyle düzeltilemez veya ancak kısmen düzeltilebilir. Metalografik olarak olay bir kristallerarası gevşeme şeklinde yorumlanır.

Bir çeliğin sıcakta yüklenmesinde tutumunun bilinmesi, yani sürünme mukavemetinin saptanması için sürünme denetmesi icra edilir. Genellikle DVM-*sürünme mukavemeti* veya DVM - *sürünme sınırı* (DIN 50117) deneyi uygulanır. Burada yükleme değerleri, uzama hızı 25. ve 35.ci saatler arasında $10 \times 10^{-4} \% / \text{sa.}$ değerini ve 45 saat sonra kalıcı uzama da $\% 0,2$ değerini geçirtmeyecek büyüklükte olacaktır. Mamafih daha birkaç bin saat sonra kırılma sınır noktasının aşılmasına vardırıan yüklemeler ancak, her malzeme için değişik büyüklükte bir emniyet katsayısı ile, kullanılacaktır. Bu keyfiyet teknik ve ekonomik bakımdan belli bir emniyetsizliği beraberinde sürükler ve bu çaba, sıcak yüklemelerde malzemenin tutumu, yani gerçek *zaman mukavemeti* ve *zaman uzama sınırı* üzerinde, sabit yük ve sıcaklıkta gerçek *uzun süre deneyi* ile (DIN E 50118 ve 50119) mümkün olduğu kadar doğru, dolayısıyla güvenilir değerlerin saptanmasına götürür.

Makina ve teçhizatın büyük çoğunluğunun yüksek sıcaklık altında zorlanmalara maruz bulunmaları itibariyle bu sürünme konusunun bazı ayrıntılarını özetleyeceğiz.

«Sürünme» deyimini, bir metalin durağan (sabit) bir yük ve sıcaklık altında gösterdiği çapraşık (kompleks) kalıcı şekil değiştirmeyi anlatır; bu deyim, anlamı çok daha sınırlı olan «viskozite - lüzuciyet» ya da «plastik şekil değiştirme» deyimlerinin yerini tutamaz.

Durağan yük altında ve durağan sıcaklıkta tam olarak lüzücutli bir cisim durağan hızla akar. Bunda elastik şekil değiştirme görülmez. Ancak, pratikte tam olarak lüzücutli cisim yoktur.

«Yoğurulma» terimi, 'burada en genel anlamıyla ele alınmaktadır : «bir cismin, şekil değiştirme nedeniyle özellikleri değiştiğinde, o cisim yoğurulmuştur» (Chevenard tanımlaması).

Aslında sıcaklığın fonksiyonu olarak birkaç tür yoğurulma vardır.

Sıcaklık ve zamanın fonksiyonu olarak alaşımların şekil değiştirmeleri (elastik, tam elastik olmayan, katı süntünmeli kalıcı, lüzucetli, yoğurulma ile lüzucetli), şekil değiştirme tiplerinin genellikle birbirlerine eklenmiş, üstüste gelmiş halini ifade eder.

Sürünmenin etüdünde amaç, zaman-süre ile üç fiziksel değişken, yani sıcaklık, zorlama ve uzama arasındaki ilişkiyi meydana çıkarmaktan ibarettir.

$$L = f(P \cdot \theta \cdot t)$$

İki deney kategorisi olasıdır :

1. *kategori*: Değişkenlerden biri sabit tutulur, bir diğeri zamanın belirli bir kanununa göre değişir ve üçüncü de ikincinin fonksiyonu olarak kaydedilir. Örneğin: θ sıcaklığı sabit tutulur, yük zamanla değişir (çekme hızı) ve yükün fonksiyonu olarak uzamalar kaydedilir. Bu, sıcakta adi çekme deneyidir. Aynı şekilde yükün bu kez sabit olduğu ve uzamanın θ sıcaklığının fonksiyonu olarak kaydedildiği artan sıcaklıkta lüzucet deneyi de bu kategoriye girer. Bu deneylerde sonuçların yorumu hayli nazik bir sorundur.

2. *kategori*: Fiziksel değişkenlerden ikisi sabit tutulur ve üçüncüsü, zamanın fonksiyonu olarak kaydedilir.

Böylece üç deney yöntemi elde edilmiş olur.

Önemle belirtilmesinin gerektiği bir husus, sürünmeden ileri gelen şekil değiştirmelerin, rekristalizasyon sıcaklığının üstünde ya da altında meydana geldiklerine göre değişik tabiatlı olduklarıdır. Çeliklerin iç yapılarına göre rekristalizasyon sıcaklığının değiştiğini biliyoruz. Rekristalizasyon sıcaklığının altında bile içyapı, kalıcı şekilde şekil değişmesine uğratılabilir.

Sürünme kopması çatlak başlaması ve gelişmesinin mekanizmasına bağlı bir olaydır. Bu mekanizma ise, özellikle ilki, yani çatlak başlaması, sürünme şekil değiştirmesine sıkı sıkıya bağlıdır. Son senelerde de bu yönde sürünme şekil değiştirmesinin ayrıntılı tarifleri yapılmış ve bunun bir kaç şekli tespit edilmiştir. Bikristal ve polikristallerde sürünme şekil değiştirmesinin tarzlarının etüdü önemli bir izlenime götürmüştür: taneler içindeki şekil bozulmasını tane sınırı kayması izlemektedir. Bu kaymanın, taneler arası çatlak başlamasını kontrol ettiği düşüncesi kuvvetli delillere dayanmaktadır. Çatlağın gelişmesi de keskin çatlak uçlarında yüksek gerilme yoğunlaşmaları, tane sınırı kayması ve boşluklarda serbest yoğunlaşma tarafından hasıl edilebilir. Kopma genellikle taneler arası çatlaklarla boşlukların yanyana sıralanmaları halinde meydana gelir. Kopmadan evvel hasıl olan şekil değiştirmenin miktarı, sünekliğin bir ölçüsü olmaktadır. Böylece sürünmede süneklik, sürünme şekil değiştirmesi ile çatlak başlaması ve gelişmesi olaylarının kontrolunda bulunmaktadır.

Biz önce taneler arası sürünme şekil değiştirmesini, tane sınırı kayması ve yürümleri ve taneler arası kırılma başlaması ve yayılmasını ele alacağız. Sürünme sünekliği ve bunun gerilme, sıcaklık, bileşim, mikrostrüktür ve çevre ile bağlantısını sürünme şekil değiştirmesi ve kopma başlaması ve gelişmesi açısından irdeleyeceğiz.

Sürünme şekil değiştirmesi ve süneklik

Tam anlamıyla sürünme, durağan (sabit) gerilme, sıcaklık ve çevrede ve katı hal reaksiyonlarının bulunmaması koşulunda bir katı cisimde meydana gelen zamana bağlı şekil değiştirme olup gerçek malzemelerin sürünmesinde elastik, lüzucetli ve plastik akma olmak üzere üç çeşit şekil değiştirmenin vaki olduğunu biliyoruz. Sürünme ve sürünme kopmasının anlaşılması bakımından bunlardan her üçü de önemlidir.

Sürünme koşullarına tabi metallerin kullanılmasında, makina aksamının erken kırılmasını önlemek üzere müsaade edilebilen sürünme şekil değiştirmesini sınırlayan proje kriterlerinin tespiti gerekir. Ölçülebilen şekil değiştirme arzetyen kırılmalardan kaçınılacak olup bu hal gevrek şekilde bulunan metallerde görülür. Gerçekten geniş ölçüde şekil değişmesine olanak sağlayan bir metal mevziê gerilmeleri tevzi edebilip sünek olarak nitelendirilir. Bu itibarla süneklik, sürünme kırılmasından önce gelen sürünme şekil bozulması (*strain*) nın dahil olduğu bir ifade ile belirlenebilir. Aslında bu, gerilme, sıcaklık ve sair 'bir çok faktöre bağlı bulunduğundan gerçek bir malzeme niteliği değildir.

Çoğu kez yeterli olmamakla birlikte süneklik, sürünme şekil bozulması ile ifade edilebilir. Basit çekme altında sürünme s,ü-nekliği, kopma büzülmesine kadar çekme şekil bozulması ya da kırılma şekil bozulması ile ölçülebilir. Buna *nominal* şekil bozulması adı verilir.

Sürünme eğrisi

Sürünme esnasında zamana bağlı uzama şekil değiştirmelerini en basit haliyle ele alacağız. Şek. 51, sürünme kopması eğrisini şematik olarak gösterir. Burada ϵ_0 anê şekil bozulmasıdır. Bu eğride iyice belirgin üç kademe saptanır. Birinci kademe parabolik şekil arzeden bir geçici ya da *primer* sürünmeye tekabül eder. Bu sürünme şekil değiştirme başlangıcını karakterize eder. Sürünme hızı, ϵ_2 ye varılana kadar azalır. ϵ_p *primer* sürünme $\epsilon_2 - \epsilon_0$ ile verilir. Bu *primer* sürünmeyi az çok durağan ve yarı lüzucetli bir *sekonder* (*secondary*) sürünme izler. Bunun belirgin niteliği sürünme hızınının sabit kalmasıdır. Bundaki şekil bozulması $\epsilon_s = \epsilon_3 - \epsilon_2$ ile gösterilir. Eğri, sürünme hızınının yeniden ivmesiyle biter. Buna *tersiyer* (*tertiary*) sürünme denir ki deney çubuğunun kopmasıyla sonuçlanır. Ölçüsü $\epsilon_t = \epsilon_r - \epsilon_3$ olup, ϵ_r , kopma şekil bozulmasıdır.

$$\epsilon_r = \epsilon_0 + \epsilon_p + \epsilon_s + \epsilon_t$$

Uygulamada çok ilgi çekici bir husus da t_r kopma süresidir. Aşikâr olarak bu boyut ϵ_r 'ye ve saydığımız üç sürünme kademelerindeki sürünme oranlarına bağlıdır. t_r ile diğer sürünme parametreleri arasında bazı ampirik münasebetler saptanmışsa da sürünme şekil değiştirmesi ile çatlak gelişmesi ya da ϵ_r ile t_r arasındaki ilişkilerin tam aydınlığa kavuştuğu henüz söylenemez. Bu arada örneğin

$$t_r \cdot \epsilon_s = C$$

münasebeti saptanmıştır. Burada C , bazı metallerde sıcaklık ve gerilmeye bağlı bir sabite (konstant) tır. Şek. 51 den $C = \epsilon_4 - \epsilon_1$ olduğu görülür. C , $\epsilon_3 - \epsilon_1$ ve $\epsilon_3 - \epsilon_2$ ile orantılıdır.

Tersiyer sürünme başlangıcının nedeni hiç bir zaman tek değildir. Genellikle sayılan nedenler arasında durağan yük altında

ya da kopma büzülmesi sırasında artan gerilmeler, boşlukların oluşması, rekristalizasyon, çökelme, ya da bir veya daha fazla fazın yeniden erimesi vardır.

Boşluk oluşması *tersiyer* sürünmenin, hatta *sekonder* sürünmenin başlamasından çok önce vaki olabilir. *Primer* sürünmenin sonunda stabil boşlukların görülmesi halinde *tersiyer* sürünmenin sahneye girmesinden önce büyük ölçüde sekonder sürünme şekil değiştirmesi gözlenir.

Şekil değiştirmenin oluş tarzları

Sürünme sırasında şekil değiştirmenin oluş tarzları iki kategoriye ayrılabilir. (Bunlardan biri taneler arası (*intergranular*) şekil değiştirme, diğeri de tane sınırı kayması ile ilgilidir.

Bu arada bir hususu hatırlatmada fayda vardır: Sürünmenin vaki olması için bir metalin belli bir sıcaklıkta belli bir zorlamaya tabi tutulması gerekir. Bu sıcaklık genellikle $\geq 0,5 T_f$ olup işbu T_f , Kelvin derecesi cinsinden metalin ergitme sıcaklığıdır,

0,3 T_f 'in altında metallerde plastik akma, taneler arası şekil değiştirme ile vaki olur. Daha yüksek sıcaklıklarda, sürünme sırasında tane sınırı kayması gözlenir ki bu kayma, müşterek tane sınırı boyunca komşu tanelerin izafî hareketi şeklinde bir makaslama translasyonu görünümünü arzeder. İki translasyon tipi teşhis edilmiştir. İlkinde asgarî ölçüde homojen olmayan, tane sınırı yakınında vaki şekil değiştirme bahis konusu olup kayma, sınırlar civarında fevkalâde dar bir bölgeye inhisar eder. Bu tip translasyona genellikle «ideal tane sınırı kayması» adı verilir. İkinci tipte ise translasyon, taneler içi kayma karşısında vaki olup çok daha geniş bir şekil değiştirme bölgesini olaya dahil eder ve «tane sınır bölge makaslama» diye anılır. Bu tiplerden herhangi birini içine alan tane sınırı kayması, önemli bir sürünme şekil değiştirme tarzıdır zira kristaller arası çatlak ve boşlukların oluşmasını teşvik etmede baş rolü oynamaktadır.

Tanelerarası kırılma

Çok kristalli metallerde düşük sıcaklıklar ve yüksek sürünme dereceleri taneler ötesinde (*transgranular*) kırılmayı kolaylaştırır fakat düşük sürünme dereceleri ve yüksek sıcaklıklar taneler arası kırılmaya götürür. Taneler ötesi sürünme kırılmasından taneler arası sürünme kırılmasına doğru bir değişme vaki olduğunda, bir süneklik azalması gözlenir. Kurşun ve alüminyum gibi metallerin sadece taneler ötesi kırılma arzetmelerine karşılık alaşımlar taneler arası kopmaya çok daha meyillidirler.

Sürünme kopmasında iki tip çatlak saptanmıştır. Bunların arasındaki fark, çatlağın vaki olduğu mahal ile bunun teşekkül tarzından ibarettir. Birinci tip, üç tanenin bulunduğu, üçlü noktalarda meydana gelir ve bir ya da iki sınırdaki kayma sonucudur. «Kama, W tipi, üçlü nokta, tane köşesi» çatlağı olarak anılır. Bunlar daha çok yüksek gerilme ve düşük sıcaklıklardaki sürünmede görülür.

İkinci tip çatlak ise, üçlü noktaların uzağında, tane kenarlarında vaki olur. Tane kenarında bazı tip çukurlukların meydana geliş şekli henüz iyi anlaşılmamış olup bunların gerçek

geometrileri de az bilinmektedir. Bunların daha çok küresel ya da eliptik oldukları görülmüş olmakla bunlar *r* tipi çukurluk olarak anılmışlardır. Çukurluk oluşması ve bunların birleşmesinin süreci *kavitasyon* adını almıştır.

Taneler arası kırılmanın başlaması için tane sınırı kaymasının vaki olması koşulu geniş ölçüde saptanmıştır. Bu keyfiyet tane köşesi çatlakları ve tane kenarı boşluklarını da kapsar. Ayrıca, taneler arası kırılma yüksek taneler arası akma kuvveti ve tane sınırı yürümlerinin yokluğu, faz değişimleri ve rekristalizasyon tarafından teşvik edilir.

Saflığı bozan unsurlar ve alaşım elementleri tane sınır yürümlerini önleyip şekil değiştirmeye taneler içi mukavemeti ve böylece de genellikle taneler arası kırılmayı artırabilir. Tahmin edildiği gibi vakum atında ergitme ve tasfiye işlemleri ile metal ve alaşımların saflıklarının artırılması, taneler arası kırılma ve gevrekleşmeye meyletmeyi azaltır.

Baştan beri söylediklerimiz sürünme şekil değiştirmesiyle sürünme kopmasının ayrı süreçler olmadıklarını gösterir. Gerçekten sürünme şekil değiştirmesinin görünümüleri taneler arası çatlak ve boşlukların oluşmasını teşvik eder. Tane sınırı kayması üçlü noktalarda gerilme yoğunlaşmasına götürür. Bu yoğunlaşma aynı zamanda çatlak teşekkülüne olanak sağlayacak kadar geniş olan tane kenarlarında çeşitli mahallerde meydana gelir. Plastik akma ve yayılma etkileri (*diffusional effects*) bu çatlakların gelişmesini durdurabilir şöyleki çatlağın önündeki gerilme yoğunlaşmasını azaltabilir ya da çatlak uçlarını «körleştirebilir», tane sınırlarında zigzaglar veya başka intizamsızlıklar vücuda getirebilir. Tanelerin birleşme yerleri, çökelti zerrelere ve bazen de ilâve maddeler çatlak ve boşlukların gelişmesini durdurur. Çatlak ve boşlukların oluştuğu mahallerde deneysel verilerin saptadıkları tane sınırı mevkiileri

- 1) büyük açı sınırlarının üçlü noktaları,
- 2) ilâve maddeler ve çökelti zerrelere,
- 3) tane sınırı çıkıntıları ve
- 4) tane sınırı birleşmelerini

içerir.

Çatlak ve «boşlukların bu mahallerin herhangi birinde toplanması, mevzi bir gerilim yoğunlaşmasının yerleştiği ve stabil bir boşluk meydana getirecek kadar uzun süre tutulduğu anlamını taşır. Eğer bir çatlağı nüveleştirmek için gerekli işin, yeni iki yüzeyin oluşma enerjisine eşit olduğu kabul edilecek olursa, metallerde bir çatlağı başlatılmak için büyük bir gerilme yoğunlaşmasının gerekeceği sonucu çıkar. Bir çatlak hasıl edebilmek için normal σ gerilmesi yaklaşık olarak

$$\sigma = \frac{2\gamma}{b}$$

münasebeti ile gösterilir. Burada γ birim yüzey başına yüzey enerjisi, *b* de atomlar arası mesafedir. γ ve *b* nin bilinen değerleri denklemde yerlerine konacak olursa bu çatlağın oluşması için hesab edilmiş normal gerilmenin, çatlağı başlatılmak için deneysel olarak gözlenen uygulanmış gerilmelerden iki ilâ üç kat daha büyük olduğu görülür.

Sürünme sünekliği

Sünekliğin kopmada toplam şekil bozulması (ϵ_r) ya da yüzey azalması (ψ_r) şeklinde ölçülmesi halinde sünek davranışın mertebesi, yukarda söylendiği gibi, taneler içi şekil değiştirme ve boşluk gelişmesinin derecesine bağlı olacaktır. Genellikle, gerilme azalınca ϵ_r ile ψ_r de özellikle yüksek sürünme sıcaklıklarında azalır.

Örneğin, düşük karbonlu % 0,3 Mo li bir çelik 500°C ta, 0,1 saatlik bir kopma süresi için % 70 kadar bir yüzey azalması arzeder. Gerilme azaltılınca $t_r = 50.000$ saat için % 10 değerine kadar azalır. Başka çelikler daha da büyük süneklik arzederler. Özellikle yüksek sıcaklığa dayanan çeliklerde, gerilme azaltıldığında sünekliğin azaldığı, buna karşılık ciddi gevrekleşmenin görülmediği saptanmıştır. 316 tipi austenitik paslanmaz çelikte, 600°C ta, gerilme azaltıldıkça ψ_r in de tedricî azalma arzettiği görülür. 700°C ta ψ_r , takr. 11 kr/mm² (15.500 psi) gerilmeye kadar yüksek kalır, bundan sonra hızlı bir azalma başlar. 600 ile 700°C arasında süneklik farkı *tersiyer* sürünme miktarında fark demektir. 600°C ta, çatlaklar büyük çoğunlukla üçlü nokta çatlağı olup *tersiyer* sürünme sırasında çatlak gelişmesi hızlıdır. 700°C ta, tane kenarı boşlukları çoğunluktadır. 800°C ta ψ_r in hızla azalması, 700°C takinden daha aşağı bir gerilmeye başlar, fakat her iki halde de beraberinde *tersiyer* sürünme şekil değiştirmesinde azalmayı getirir.

Kopmadan önce geniş üniform şekil değiştirmelerle karakterize olan bir etkiye süperplastisite adı verilmiştir. Süperplastisite üzerine yapılmış deneysel gözlemler, metallerin faz değişimleri, çökme reaksiyonları, rekristalizasyon gibi olaylarla birlikte şekil değiştirmeleri halinde çok yüksek sünekliklerin ortaya çıktığını göstermiştir. Bazı koşulların süperplastisiteye götürdüğü saptanmıştır. Bunlar arasında

- 1) iki fazlı doku,
- 2) ince taneli mikrostrüktür,
- 3) genellikle 0,4 Tf in üstünde sıcaklıklar (fakat yukarda zikredilen reaksiyonların birini içine alan sınırlı sıcaklık alanı içinde kalmak kaydıyla),
- 4) akma gerilmesinin şekil bozulma derecesine büyük bağlılığı ve
- 5) bir kritik alan içinde düşük şekil bozulma derecesi, zikredebilir.

Sürünme deney sonuçlarının kullanılması için gerekli koşulların tarifi

Makina aksamının çalışma sırasındaki koşulları, hesaplarda malzemenin sürünme karakteristiklerinin dahil edilmesini gerektiriyorsa, bu karakteristikler uzun süreli sürünme deneyleriyle saptanmalıdır.

Kullanılması düşünülen metal önceden aşağıdaki hususlarla belirlenmelidir:

- 1) dökümde saptanmış kimyasal bileşim;
- 2) imal ve işlenmesi sırasında uygulanmış ısıl işlemler. Buna, ferritik çeliklere uygulanan gerilim giderme işlemi de dahildir;
- 3) mikrografik doku;

4) çevre sıcaklığında mekanik karakteristikler.

İşlenmenin sonunda metal üzerinde aşağıdaki karakteristikler saptanır:

1) çevre sıcaklığında çekme karakteristikleri: elastikiyet sınırı, çekme mukavemeti, uzama;

2) çevre sıcaklığı ile çalışma sıcaklığı arasındaki mutavassıt sıcaklıklar için elastikiyet sınırının değerleri;

3) çalışma sıcaklığına eşit ve bundan bir miktar yüksek (25 ilâ 50°C mertebesinde) sıcaklıkta sürünme karakteristiklerinin değerleri.

Bu sürünme karakteristikleri, uygulamada itibarî olarak, şöyle tespit edilmiştir :

a) 100.000 saatin sonunda % 1 uzama hasil eden zorlamanın ortalama ve asgari değerleri.

b) 100.000 saatin sonunda sürünme kopmasına götüren zorlamanın ortalama ve asgari değerleri.

Bunlara 100.000 saatin sonunda tersiyer sürünmenin başlangıcına götüren ortalama ve asgari zorlama değerlerini eklemek eğilimi de vardır.

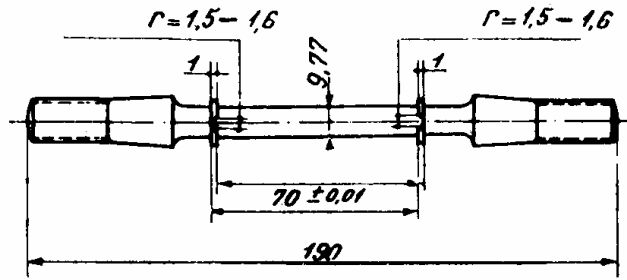
Deney çubuklarının çıkarılacakları yer ve bunların ölçüleri, malzemeyi iyice temsil edecek şekilde olacaktır: çap, çubuğun malzemenin kalınlığı içindeki yeri, mevziî kusurların bulunmaması, mekanik karakteristikler vs... Deney numune çubuğu çıkartmak için çoğu kez aşağıdaki kaidelere uyulur :

a) dökme parçalarda deney çubukları çıkıcılardan ve ısıl işlemlerin sonunda kesilmiş kısımlardan, bunların bulunmaması halinde de ayrıca dökülmüş fakat beraberce ısıl işleme tabi tutulmuş ingotlardan;

b) döğme parçalarda deney çubukları, son ısıl işlemde sonra, prensip olarak çekme çubuklarıyla aynı yönde olmak üzere;

c) hadda mamullerinde, sırf bu amaçla eklenmiş parçalardan, bütün imal işlemlerinin tamamlanmasından ve son ısıl işlemde sonra ve haddeme yönünde olmak üzere çıkartılır. Sürünme karakteristiklerinin değerleri genellikle deney sonuçlarının ekstrapolasyonu ile elde edilir.

Fransa'da en çok kullanılan deney çubuğu tipi 9,77 mm. çapında, $\pm 0,01$ mm. toleransla işlenmiş, dolayısıyla 75 mm^2 kesit alanında ve röperler arası mesafesi 70 mm olan çubuklardır (şek. 52) (Bureau Veritas'ın Sıcak Deneyler Komisyonu'nun öngördüğü çubuk).



Şek. 52— Sıcakta çekme için deney çubuğu
(Bureau Veritas)

Deney şekli

Evvelce ifade ettiğimiz gibi, sürünmenin etüdünün en basit deneysel şekli bir deney çubuğunun, zamanın fonksiyonu olarak, sabit yük ve sıcaklık altında, şekil değiştirmesinin kaydedilmesinden ibarettir. Bu kadar basitleştirmeye rağmen sürünmenin etüdü ve sonuçların yorumu güçlüğünü koruyor.

Deneylerde izlenen yol az çok şöyledir: Deney çubuğu saatte 200-250°C hızla tedrici olarak ısıtılır ve deney sıcaklığında, yüksüz olarak, 15-16 saat süre ile tutulur. Böylece çubuğun içinde kalmış gerilmeler yok edilip doku, deney sıcaklığında normalize edilmiş olmaktadır. Bundan sonra yükleme 10 ilâ 15 saniye içinde yapılıp 25.ci ile 35.ci saatler arasındaki sürünme hızının saptanmasına olanak sağlamak üzere deney 40 ilâ 45 saat sürdürülür. Deneyin sonunda yük, yaklaşık 10 ya da 15 saniye içinde tedrici olarak kaldırılır. Deneye bundan sonra sabit sıcaklıkta yüksüz olarak devam edilir ve böylece de deney çubuğunun büzülmesi izlenip reaktivite eğrisi çizilir. Bu kayıt genellikle 5 ile 15 saat arasında değişebilir. Bu süreden sonra büzülme hızının hâlâ fazla olması halinde kayıt süresi daha da uzun olabilir.

Bu yolla sürünmenin etüdünde sıcaklık ve yük sabit tutulmuş, deney çubuğunun uzaması zamanın fonksiyonu olarak kaydedilmiştir. Çubuğun uzaması $\frac{\Delta l}{l_0}$, sürünme hızı da V olsun.

$$\frac{\Delta l}{l_0} = V dt$$
$$V = \frac{1}{l_0} \frac{\Delta l}{dt} \quad \text{bulunur.}$$

Gerçek değerler formülde hemen yerine konulabilir.

A_{25} = 25.ci saatte toplam uzama

A_{35} = 35.ci saatte toplam uzama

$\Delta l = A_{35} - A_{25}$

l_0 = röperler arasındaki mesafe, yani 70 mm.

dt = 10 saat

C = amplifikasyon katsayısı = 100

V hızı, saatte yüzde milimetre kesiri şeklinde ifade edilir.

$$\% V / sa = \frac{1}{Cl_0} \frac{\Delta l}{dt} \times 100$$
$$= \frac{A_{35} - A_{25} \times 100}{100 \times 70 \times 10} = \frac{A_{35} - A_{25}}{700}$$

Bureau Veritas tarafından tarif edilen sürünmeye mukavemet, belli bir deney sıcaklığında, saatte yüzde 0,0005 ya da $\% 5 \times 10^{-4}$ lük bir sürünme hızı hasıl edecek yükün tayinini amaçlar. Sair memleket normlarına ait rakamlar aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Bureau Veritas	% 5 x 10 ⁻⁴	25.ci ve 35.ci saatler arasında
Zürich Malzeme		
Muayene Enstitüsü	% 10 x 10 ⁻⁴	25.ci ve 35.ci saatler arasında
National Physical		35.ci günle 50.ci gün arasında her 24
Laboratory	% 10 x 10 ⁻⁴	saatte bir (1200 saatlik deney)
W. H. Hatfield	% 10 x 10 ⁻⁴	24.cü ve 72.ci saatler arasında; kalıcı
		şekil değiştirme ilk 24 saatler içinde 0,5'den
		aşağı olmak kaydıyla
Kaiser-Wilhelm		
İnstitut	% 15 x 10 ⁻⁴	25.ci ve 35.ci saatler arasında
	% 30 x 10 ⁻⁴	5.ci ve 10.cu saatler arasında
	% 50 x 10 ⁻⁴	3.cü ve 6. cı saatler arasında
DIN 50117 ve		25.ci ve 35.ci saatler arasında;
DVM 117	% 10 x 10 ⁻⁴	45 saatin sonunda kalıcı şekil
(Deutscher Verband		değiştirmenin % 0,2'yi geçmemesi kaydıyla
für die Materialprüfungen der Technik)		
Bureau of Standards	% 1 x 10 ⁻⁴	İlk 100 ya da 500 saatler içinde ortalama hız
(Washington)	% 10 x 10 ⁻⁴	

Bu sürünme hızlarına tekabül eden sıcaklık ve yükler sadece bir mukayese değeri taşırlar; bu değerler farklı kimyasal bileşimli ısıya dayanıklı çelikleri kendi aralarında sınıflandırmaya, ya da aynı bir çeliğin imalât sırasında özelliklerinin değişmediğinden emin olma olanağını sağlamaya yararlar.

Sürünme konusunu böylece ortaya koyup beraberinde getirdiği problemleri genel olarak özetledikten sonra şimdi de konu ile ilgili ve yürürlükte bulunan başlıca normların önemli hükümlerinden kısaca söz edelim. Sair uygulamalardan da sırasında bahsedilecektir.

a) Alman normu

DIN 50117: DVM Sürünme Sınırının saptanması

DVM Sürünme Sınırı, (DVM - Dauerstandfestigkeit), yaklaşık 350° ile 500°C arasındaki sıcaklıklarda çelik ve dökme çeliğin zaman içindeki tutumunu (zaman durum davranışı) saptamak üzere verilerin bulunması için 45 saatlik kısa süreli bir deneydir. Bu veriler 1937'de kazan saçlarının «yüksek» sıcaklıklarda denenmesi için tespit edilmiştir. O günden bu yana geçirilmiş tecrübeler, adı geçen malzemenin zaman içindeki tutumunu saptamaya yarayacak verilerin ortaya çıkarılması için 45 saatlik kısa süreli deneylerin her zaman yeterli olmadığını meydana koymuştur. Bu itibarla bu deneylerin yanısıra uzun süreli deneylerin de yürütülmesi önerilir.

DVM Sürünme Sınırı'nın saptanması için 3 ilâ 5 deneyin yapılması gerekir. Deneyler döküm çukucularından meydana getirilmiş deney çubukları üzerinde, öngörölmüş DVM Sürünme Sınırı'na uygun değişik çekme zorlamaları ile yapılır ve her deneyde yeni bir deney çubuğu kullanılır.

Belli bir sıcaklıkta σ_{DVM} sürünme sınırı, 45 saat sonra kalıcı uzama % 0,2 değerini aşmayacak şekilde, 25. ve 35. saatler arasında $10 \cdot 10^{-10}/^{\circ}C/saatlik$ bir sürünme hızı için bulunan sürünme sınırırır.

DEST 50118 : Zaman Durum Deneyi

Zaman Durum Deneyi, durağan çekme zorlamaları altında malzemenin mukavemet durumlarının saptanmasını amaçlar. Deney çubuğunun belli bir şekil değiştirmesine kadar ya da kırılmasına kadar yürütölebilir.

DIN 50119: Çekmeye Dayanıklılık Deneyi:

Çekmeye Dayanıklılık Deneyi, malzemelerin sabit yüklemeler altındaki davranışlarını, yükleme miktarı ile sıcaklığın etkilerinin yanısıra yükleme süresinin de önemli derecede etkili olması koşulu ile, saptamak amacını güder. Aslında bundan önce sözünü ettiklerimizle son iki normun ayrıntılarını içerir ve bu arada gevşetme deneyi'ni de kapsar; gevşeme hızı, gevşeme mukavemeti, gevşeme sürünmesi sınırı, gevşeme süresi'nin tariflerini verir. Ve nihayet bu norm, aynı olaylar üzerine çentik etkisi ile de ilgilidir.

b) Amerikan normu :

ASTM E 139 - 70 : Metalik Malzemelerin Sürünme, Sürünme Kopması ve Gerilme Kopması Deneylerinin Uygulanması.

Bu norm, adından da anlaşılacağı üzere, bundan önce tarifini yaptığımız deneyleri kapsayıp deney donatımı için başlıca koşulları içerir. Keza istenilen deney miktar ve süresi için yardımcı bilgiler de vermektedir (Ks 9). Bundan başka norm, deney raporlarında bulunması gereken bilgileri sıralamıştır. Bundan amaç bütün faydalı ve hemen ele alınabilecek bilgilerin ilgililere ulaştırılmasıdır. Aşağıdaki nedenlerle rapor, üzerine özel dikkat çekmektedir:

- 1) kabul edilmiş çeşitli yöntemlerin sonuçları büyük ölçüde aykırılıklar gösterdiğinden kullanılan yöntemin belli edilmesi önemlidir;
- 2) önemli değişiklikler yerleştirmek üzere sonradan ele alınan etüdlar, neşredilmiş raporlarda çoğu kez ayrıntılı bilgilerin bulunmaması nedeniyle güçlüğe uğramaktadır;
- 3) uzun süreli deneylerin tabiatı genellikle deneyin yeni baştan ele alınmasını olanak dışı bırakmakta ve aynı zamanda bazı kontrollü değişkenlerin tavsiye edilen değişme alanı içinde kalmasını da güçleştirmektedir. Ayrıntılı bir rapor, erişilmemiş bir kontrol mertebesine gerek görülmeden deney sonuçlarının nakline imkân verir.

Bu norm çentik etkisini içermemekte, bunun için ASTM E 292-69'a; keza hızlı ısıtma ve kısa süreli deneyler için de ASTM E 21-70'e atıf yapılmaktadır.

Terimlerin tariflerinden sonra deney makinaları, bunların hassasiyeti (ASTM E 4-64), ısıtma teçhizatı, ekstansometre sistemi üzerinde durulmakta, deney çubukları için aşağıdaki

hususlar belirtilmektedir :

Deney çubuklarının şekil ve ölçüleri, araştırılan malzemeyi temsil eden numune çubuğu elde edebilmek için gerekli koşullara öncelikle uygun olacaktır. İmkân bulunduğu takdirde numune, malzemedan, kullanıldığı şekil ve koşul altında alınmalıdır.

Araştırılan malzemenin tarihçesi, ezcümle imal metodu, mamulün tip ve' boyutları ve sair önemli imal yöntemlerine ait bilgiler, ısıl işlem, mikrostrüktür ve kimyasal bileşim verilmelidir.

Bütün bu faktörlerin malzemenin sürünme ve kopma özellikleri üzerinde derin etkisi bulunduğu iyice saptanmıştır.

Aksi bildirilmedikçe, hadde mamulü malzemelerden numune haddeleme yönünden çıkartılacaktır.

ASTM E 8-69'da (Metalik Malzemelerin Çekme Deneyi) tarif edilmiş tip, boyut ve şekildeki deney numuneleri genellikle yüksek sıcaklıklardaki deneyler için, aşağıdaki değişikliklerle, uygundur:

a) 57.ci maddede daha sıkı ölçü toleransları tavsiye edilmiştir;

b) şekil bozulması ölçülmesinde hassasiyeti artırmak amacıyla sürünme deneylerinde çubuğun orta ince kısım uzunluğunun çapa (ya da genişliğe) oranı artırılmalıdır (örneğin ASTM E 8'de Standard Ø 12,5 mm. çapında çubuğun orta kısmının uzunluğu 50 mm dir. Bu $50/12,5 = 4$ oranı artırılacaktır);

c) sünekliği az malzemedan çıkartılmış kaba dişli numunelerde bu dişli baş kısımlarının çapı orta ince kısmının çapının en az $7/4$ katı olmalıdır. 5.1 maddesine göre saç ve şeritlerde dik-dörtgen numuneler kullanılacaktır. Aksi halde numunenin orta ince kısmının kesiti yuvarlak olacaktır. (Sihhatli ve ciddi bir yüzey korozyonuna uğramamış ya da yön kusurundan etkilenmemiş malzemede deney çubuğunun boyutları sürünme ve kopma özellikleri üzerinde az etkilidir. Numunenin kesitinde az miktarda tane, ya da imal koşulları itibariyle tercihli tane yönleşmesi deney sonuçları üzerinde ciddi etki yapabilir. Sonuçlarda korozyonun bir faktör olması halinde sonuçlar numune boyutlarının bir fonksiyonu olurlar. Aynı şekilde, yüzey hazırlanmasının da sonuç üzerinde etkili olması halinde, işbu yüzey hazırlanması, numunenin ölçüleri azaldıkça daha da önemli olur).

Deney çubuğu numunesine ait sair ayrıntılardan sonra yüklemeyi ölçme sistemi, ekstansometre, termokuppler, potansiyometreler, mikrometreler vs. nin ayar ve kalibrasyonu konusu gelir. Bunları arzanî kesitin ve ilk uzunluğun ölçülmesi, numunenin temizlenmesi, sıcaklığın kontrolü, numunenin makinaya bağlanması, deney süresince şekil bozulmasının ölçülmesi, yükleme ve yükü kaldırma usulü, deneyden sonra numunenin ölçülmesi'ne ait ayrıntılar izler.

Sonuçların Hesabı bahsinde gerilme, şekil bozulması, uzama, kesit büzülmesi, sürünme eğrisinin karakteristiklerine ait ayrıntılar vardır.

Deney Koşullarının Saptanması ve Deney Verilerinin Kullanılması için Rehber ve Rapor ve Laboratuar Kayıtları adlı iki uzun bahisle norm son bulmaktadır.

ASTM E 150-64 : Hızlı Isıtma ve Kısa Süreler Koşulları Altında Metalik Malzemelerin Sürünme ve Sürünme Kopması Çekme Deneylelerinin Yapılması normu, az çok aynı ayrıntılarıyla, yukardakini tamamlar.

Normlar bahsini Fransız normlarını zikrederek bitireceğiz.

Bunda ayrıntılara girilmeyip No. ve isimleri vermekle yetineceğiz.

c) *Fransız normu*

NF A 03 352 : Yüksek Sıcaklıkta Deneyleler: Çeliğin Sürünme Uzamaların Saptanması (Mayıs 1964)

NF A 03 353 : Yüksek Sıcaklıkta Deneyleler: Çeliğin Sürünme ile Kopma Süresinin Saptanmayı (Mayıs 1964)

KAZAN İMAL ÇELİKLERİ (SAÇLARI)

Bugün genellikle kullanılan alaşımsız ve alçak alaşımlı, DIN normunda belirlenmiş kazan imal çelikleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir. Normal kazan saçları (No. 1 ve 2) karbon-manganez esasına göre imâl edilmişlerdir. Alaşım elementlerinin miktarı, ucuz olan yüksek fırın ferro-manganı ile sınırlandırılabilir. İyi kaynak kabiliyetini haiz olan bu saç çeşitlerinin ancak 50 mm. kalınlığına kadar kaynak edilmeleri tavsiye edilir.

Yüksek güçlü kazan saçları da yine karbon-mangan esasına göre imâl edilmiş olmakla birlikte normal kazan saçlarına nazaran daha düşük karbonlu ve daha yüksek manganlıdır. Bu nedenle de bunların imalinde pahalı olan elektrik ocağının düşük karbonlu ferro-manganı kullanılmalıdır. Ayrıca bunlar kaynağa hassas olmayıp her kalınlıkta kaynak edilebilirler. HIV tipi % 0,26 karbon içerip bu miktar normlandırılmış kazan saçlarının en yüksek oranıdır ve kaynakta 200°C'lık bir ön ısıtma ile bu sıcaklığın kaynak boyunca tutulmasını gerektirir.

Sözü edilen sadece karbonlu çeliklerde mukavemet ve akma sınırı 350°C'ın üstünde bir işletme sıcaklığında hızla düştüğünden uygun alaşım elementlerinin ilâvesiyle çok daha iyi sıcakta özellikleri haiz, iyi kaynak kabiliyetli malzeme meydana getirilebilir. Bunlarla daha yüksek basınç ve ısı zorlamalarında uygun kalınlıkların kullanılması mümkün olur. Bunlar alçak alaşımlı 7, 8, 9,10 ve 11 No.lu kazan imâl çelikleridir. Düşük karbon oranları sayesinde, iyi mukavemet özellikleriyle birlikte büyük kalınlıklarda da iyi kaynak kabiliyetini haizdirler; 10, 11 ve 12 No.lu çelikler kaynağa hassas olup bunların kaynakta mutlaka ön ısıtmaya tabi tutulup bu ısının kaynak boyunca tutulması elzemdir.

Alaşimsız ve Alaşimli Kazan İmal Çelikleri
(Malzeme DIN 17155)

Sıra No	Ticari İşaret DIN 17005	Malz. no.su DIN E 17007	Kimyasal Bileşim max. %								
			C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	
1	I (C 12)	1,0051	≡ 0,17 (0,20)	≡ 0,35	≡ 0,30	≡ 0,050	≡ 0,050	<0,30	-	-	
2	II (C 18)	1,0052	≡ 0,23 (0,25)								
3	HI (11 Mn 2) H I A	1,0081 1,0088	≡ 0,16 (0,18)	≡ 0,35	≡ 0,40	≡ 0,050	≡ 0,050	<0,30	-	-	
4	HI I (14 Mn 2) H I I A	1,0082 1,0085	≡ 0,20 (0,22)		≡ 0,50						
5	HI I I (16 Mn 3) H I I I A	1,0083 1,0089	≡ 0,22 (0,24)		≡ 0,55						
6	HI I V (20 Mn 3) H I V A H I V L	1,0084 1,0086 1,0087	≡ 0,26 (0,29)		≡ 0,60						
7	17 Mn 4	1,0916	0,14 ilâ 0,20	0,20 ilâ 0,40	0,90 ilâ 1,20	≡ 0,050	≡ 0,050	<0,30	-	-	
8	19 Mn 5 (20 Mn 5)	1,0935	0,17 ilâ 0,23	0,40 ilâ 0,60	1,00 ilâ 1,30						
9	15 Mo 3	1,5415	0,12 ilâ 0,20	0,15 ilâ 0,35	0,50 ilâ 0,70	≡ 0,040	≡ 0,040	<0,30	0,25 ilâ 0,35	-	
10	13 Cr Mo 44	1,7335	0,10 ilâ 0,18	0,15 ilâ 0,35	0,40 ilâ 0,70				0,70 ilâ 1,00	0,40 ilâ 0,50	-
11	15 Cr Mo 3	1,7205	0,10 ilâ 0,18	0,15 ilâ 0,35	0,60 ilâ 0,90				0,60 ilâ 0,90	0,10 ilâ 0,20	-
12	13 Cr Mo V 42	1,7709	0,10 ilâ 0,18	0,15 ilâ 0,35	0,40 ilâ 0,70				0,90 ilâ 1,20	0,20 ilâ 0,30	0,15 ilâ 0,25
13	Cu-Ni 50 Mo (Spezial)	-	≡ 0,20	0,40 MW	0,90 MW	≡ 0,040	≡ 0,040	Cu 0,90 MW	Mo 0,20 MW	Ni 0,60 MW	

Bugüne kadar meydana getirilen ve DIN 17155 ile normlandırılmış ferritik-perlitik kazan çeliklerinin sürünme mukavemeti 500°C'ın üstünde hızla düştüğünden daha yüksek işletme sıcaklıkları için austenitik krom-nikel çelikleri kullanılmalıdır. Bunların yüksek korozyon mukavemeti kazan işletmesinde genellikle gereksiz olup pratikte ferritik-perlitik kazan çeliklerinin kazan besleme suyu ve buhara karşı korozyon mukavemeti yeterlidir. Ayrıca, adı geçen austenitik çelikler çok pahalıdır.

DIN 17155'e göre en üstün ferritik-perlitik kazan çelikleriyle işbu austenitik çelikler arasında teknik ve ekonomik bakımdan bir boşluk olup bu boşluk örneğin 13 No.daki Rhein. Röhrenwerke A.G.'ın normlandırılmamış çeliği ile şimdilik doldurulmuştur. Mukavemeti çok yüksek olmamakla birlikte sıcakta yüksek akma sınırını haiz olan bu çeliğin karbon oranı % 0,2'nin altında olup kendisi Cu-Ni-Mo esasındadır ve eser miktarda (% 0,03'den az) karbür içerir. Kazan saçları bahis konusu olduğunda, bunlarda mümkün olduğu kadar düşük mukavemete karşılık mümkün olduğu kadar yüksek akma sınırı aranır. Sözü edilen sıcaklıktaki akma sınırının oda sıcaklığındaki mukavemete oranı böylece önemli olup işbu oran, yukarıda adı geçen çelik için 350°C'ta % 60 dır. Halbuki karbon çeliklerinde bu oran yaklaşık % 38, mangan çeliklerinde yaklaşık % 45'dir.

İlımlı sıcaklıklarda adi akma sınırının değeri alaşımların kullanılmasını sınırlayan özelliştir. Çeliklerde bu sıcaklıklar 371°C (700°F) ın altındaki düzeylerde bulunur. Şekil bozulma (straining) oranı veya yükleme süresinin akma sınırı ya da çekme mukavemeti üzerinde etkisi azdır.

Akma sınırının, oda sıcaklığında plastik şekil değiştirmeyi başlatmak için gerekli gerilimin bir pratik ölçüsü olduğunu hatırlatalım. Öbür taraftan, yüksek sıcaklıklarda plastik şekil değiştirme (sürünme) bütün gerilmelerde meydana gelir gibi görünmektedir; ancak meydana geldiği gerilme derecesi belli bir sıcaklıkta, artan gerilmeyle fazlaşır. Bu itibarla tasarımda kullanılan değer, yani sürünme mukavemeti, plastik şekil değiştirmenin munasip şekilde yavaş hasıl olmasını sağlayacak gibi seçilir. Böylece de makinadan beklenen ömür boyunca çalışmaya engel olacak bir şekil değiştirme hasıl olmaz.

Normal sıcaklıklardaki mukavemete uygun düşen alaşımlama prensipleriyle dokusal mülahazalar, genellikle yüksek sıcaklıklardaki mukavemetler için de geçerli olup burada bir önemli nitelik bahis konusudur. Mikrostrüktür değişmesi sürecinin genellikle alaşımın şekil değiştirmesine götürmesi ve aynı zamanda tokluğu da düşürmesi dolayısıyla bu mikrostrüktürün çalışma (yüksek) sıcaklığında nispeten stabil olması esastır. Örneğin soğuk çekme, birçok demir esaslı alaşımın 538°C (1000°F) ta çalışmada sürünme mukavemetinin artırılması için kullanılabilir; fakat sıcaklık 816°C (1500°F)'a vardığında bu işlem, soğuk çekilmiş alaşım çalışma sırasında yeniden kristallaşacağından, zararlı olabilir.

Aynı şekilde perlit gibi ince dağılmış bir mikrostrüktür, daha kaba bir küreselleşmiş dokuya nazaran daha büyük mukavemet arzeder, şu şartla ki perlit, çalışma koşullarında stabil kalsın. Böyle olmadığı takdirde başlangıçta küreselleştirilmiş bir doku tercih edilir.

Sözü edilen ve ısıya dayanıklı alaşımlara uygulanan işlem bu geniş ve önemli alanda ancak

birkaç konuyu kapsamaktadır. Nükleer enerji, süpersonik uçak, uzay roketleri vs. gibi yeni uygulama alanlarında aranan niteliklerle birlikte alaşım listeleri de hergün büyümektedir. Yüksek ısıya dayanıklı alaşımların nitelik, seçim ve uygulamaları konularında geniş bilgi almak isteyen okuyucular Metals Handbook'un 1. cildine (Paslanmaz Çelikler ve Isıya Dayanıklı Alaşımlar kısmına) ve ASME Handbook - Metal Properties'e müracaat edebilirler.

KAZAN VE BASINÇLI KAPLAR İÇİN ÇELİKLER

I — KARBONLU ÇELİKLER

ISO normu kazanlar için $\frac{R_{0,002\theta}}{R_{20}}$ oranının asgari değerlerini vermektedir. Bu oran, çelik cinsinin asgari mukavemetine nazaran yüksek sıcaklıklarda garanti edilmesi gereken $R_{0,002}$ değerlerini saptama olanağını sağlar. Aşağıdaki tablo, değişik sıcaklıklarda $\frac{R_{0,002\theta}}{R_{20}}$ oranının değerini vermektedir.

Çeşitli sıcaklıklarda $\frac{R_{0,002\theta}}{R_{20}}$ oranının değeri

Standart	Kalite	R min (+20° de) kgf /mm ²	200°	250°	300°	350°	400°	450°
ISO		-		0,40	0,36	0,33	0,31	
A 36-205	A 37 A 42 A 48 (a) A 52	37 42 48 52		0,46 0,45 0,46/0,48 0,48	0,38 0,38 0,39/0,415 0,445	0,325 0,33 0,35/0,375 0,405	0,27 0,31 0,31/0,33 0,345	
EURO-NORM	Fe 37 Fe 42 Fe 47 Fe 52	37 42 47 52	0,475 0,475 0,50 0,52	0,405 0,45 0,46 0,49	0,365 0,38 0,405 0,425	0,34 0,36 0,37 0,395	0,31 0,33 0,34 0,345	0,27 0,285 0,30 0,305
DIN 17155	H I H II H III H IV 17 Mn 4 19 Mn 5	35 41 44 47 47 52	0,52 0,52	0,48 0,48	0,40 0,44	0,34 0,40	0,32 0,34	0,27 0,30
BS 1501	1s1 et 161 (1) 211 et 221 (2) 224 (3)	36-41 et 44 36-41-44-48 et 50 41-44-48 et 50	0,45 0,49 0,475	0,41 0,46 0,43	0,36 0,395 0,38	0,34 0,365 0,36	0,33 0,35 0,34	0,32 0,34 0,32
(a) 1. rakam kalite C1 2. rakam kalite C2 (1) Yarı desoksise karbon çeliği (2) Si ile desoksise karbon-manganez çeliği (3) Si-Al ile desoksise karbon-manganez çeliği								

Diğer taraftan mutlaka tutturulması gereken kırılma koşulları dikkat nazara alındığında, kazan için çelik imalinde, iki zıt metalürjik koşulun karşılanması gereğine işaret edilmelidir: yüksek sıcaklıklarda uygun nitelikler elde etmek üzere iri taneli bir çelik meydana getirmede yarar vardır; bunun için de silisyumla desoksidasyon ya da bir yarı-desoksidasyon uygulanır. Buna karşılık alçak sıcaklıklarda kırılma değerlerine cevap verebilmek için (iyi bir

kaynaklanabilirlik koşulu) ise alüminyumla desoksiasyon yoluyla elde edilen ince tane gereklidir. Gerçekten yukardaki tabloda, BS 1501 (çelik kalitelerini veren norm —aynı şey DIN 17155 için) İngiliz normunda Si ile desokside olmuş çeliklerde $\frac{R_{0,002\theta}}{R_{20}}$ oranları Al ile desokside olmuş çeliklerinkinden daha yüksek değerler arzederler.

Karbonlu çeliklerin kullanımının, hiç değilse saç halinde, yaklaşık 375°C ile sınırlı bulunduğunu tekrar edelim; daha yüksek sıcaklıklar için sürünme mukavemeti nedenleriyle molibden ya da krom-molibden'le hafifçe alaşımlandırılmış çeliklerin kullanılmasında yarar vardır.

Çelikler, amaçlarına göre (çevre sıcaklığında ya da alçak sıcaklıklarda kullanıma) bir Charpy V kırılma (reziliens) değeri ile belirlenirler. Bu değer, kalitesine göre 3.5 veya 5 daJ/cm² olup -20°C ile -40°C'ta garanti edilmiştir.

Kırılma deneyinin amacı belli bir sıcaklıkta metalin belli bir sünekliği haiz olduğundan emin olmaktır. Deney sıcaklığı kullanma sıcaklığı ile karıştırılmamalıdır; bu sonucunu genellikle diğerinden yüksektir. Deney sıcaklığı bir nevi işaret sıcaklığı olup, belli bir enerji düzeyi ile belirlenmiş çeliğin buna nazaran geçiş sıcaklığını tayin etme olanağını sağlar. Kullanma sıcaklığı çeşitli yönetmeliklere bağlıdır: örneğin Bureau Veritas, yükleme sıcaklığının deney sıcaklığından 10°C daha yüksek olmasını öngörüyor.

II — ALÇAK ALAŞIMLI ÇELİKLER

Bu çelikler esas itibariyle, karbürler teşkil eden elementler olan Mo ve Cr ile alaşımlandırılmışlardır. Mo, % 0,5 ten itibaren R_{0,002}'nin ve sürünmeye mukavemetin hissedilir bir artışını hasıl eder; tek başına Cr fazla etki yapmaz, fakat Mo ile birlikte bulunduğu zaman sıcakta mukavemet bakımından faydalı etkisi vardır; % 0,5 Mo'e ilave edilmiş % 1 Cr, sürünmeye mukavemeti % 10 oranında artırdığı gibi korozyona mukavemet bakımından da faydalıdır.

Bu itibarla bu çelikler, karbonlu çelikler için kabul edilen R_{0,002} değerlerinden daha yüksek değerler ve sürünmeye mukavemetleriyle ilgili garantilerle karakterize olur.

R_{0,002}'nin değerleri bakımından, üç 42, 47 ve 52 kgf/mm² mukavemet düzeyi dikkate alındığında karbonlu çelikler için aşağıdaki değerler görülür.

Mukavemet düzeyi	R ₊₂₀ kgf/mm ²	Aşağıdaki sıcaklıklarda (°C) elastik sınır düzeyi			
		250	300	350	400
42	42	19	16	14	13
47	48	22	19	17	15
52	52	25	23	21	18

Bu rakamlar Fransız AFNOR A42, A48, A52 karbonlu çeliklerine ait olup daha önce de gördüğümüz DIN 17006'ya göre karbonlu ve hafif alaşımlı kazan çeliklerine ait değerler

aşağıdaki tabloda gösterilmiştir (Malzeme No.su DIN 17007'ye göredir).

İŞARET	Malzeme No.	Cr %	Mo %	V	R+20 kgf/mm ²	Sıcaklıklara (°C) göre akma sınırı kgf/mm ²					Sıcaklıklara göre DVM-sürünme sınırı (aşgari) kgf/mm ²					
						20	200	250	300	350	400	400	425	450	475	500
I (C 12)	1,0051	< 0,30	-	-	35-45	19	16	14	12	10	-	7	6	4	-	-
II (C 18)	1,0052	..	-	-	41-50	22	18	16	14	12	-	9	7	5	-	-
H I (11 Mn 2)	1,0081	..	-	-	35-45	21	18	16	14	12	9	9	7	5	-	-
H II (14 Mn 2)	1,0082	..	-	-	41-50	24	21	19	17	14	11	10	8	6	-	-
H III (16 Mn 3)	1,0083	..	-	-	44-53	26	23	21	19	16	13	12	10	8	-	-
H IV (20 Mn 3)	1,0084	..	-	-	47-56	27	25	23	21	18	15	14	12	10	-	-
17 Mn 4	1,0916	..	-	-	47-56	27	25	23	21	18	15	14	12	10	-	-
19 Mn 5 (20 Mn 5)	1,0935	..	-	-	52-62	32	26	24	23	21	18	17	15	13	10	6
15 Mo 3	1,5415	..	0,25-0,35	-	44-53	27	24	22	20	19	17	16	15	14	13	11
13 CrMo 44	1,7335	0,70-1,00	0,40-0,50	-	44-56	29	27	26	25	23	21	20	19	18	16	14
15 CrMo 3	1,7205	0,60-0,90	0,10-0,20	-	44-53	27	24	23	21	19	17	16	15	14	13	11
13 CrMo V 42	1,7709	0,90-1,20	0,20-0,30	0,15-0,25	45-60	29	27	26	25	23	21	20	19	18	16	14

Kazanlar için ISO normu, emniyet gerilmesinin aşağıdaki değerlerin en küçüğü olarak seçilmesini öngörüyor:

R ₂₀	R _{0,0020}	σ _R 100000 sa	σ 1 % 100000 sa
2,7	1,6	1,6	1

Devam etmeden önce çeşitli dögme alaşımların yüksek sıcaklıkta mukavemet değerlerini verelim. Burada karbonlu, hafif ve yüksek alaşımlı (toplam alaşım elementlerinin oranı % 5'i aşkın) çeliklerden bazıları ele alınmıştır.

Alaşım (gerisi genellikle demir)	Sıcaklık		Kısa-süre çekme muk. kgf/mm ²	1000 sa Kopma muk.	Sürünme muk. (kgf/mm ²)		Yaklaşık nispi maliyet karbon çeligi=1
	°F	°C			1000 sa. % 0,1	1000 sa. % 0,01	
Nikelli bakır % 68,9 Cu % 30,0 Ni % 0,6 Mn % 0,5 Fe	750	399	28,0	-	13,2	6,4	12
Ti-6 Al-4 V Titanium Al % 6 Al % 4 V gerisi Ti	800 1000	427 538	69,0 55,5	52,7 -	33,8 7,0	- -	110
2024 Alüminyum al. (tabii yaşlanma) % 4,5 Cu % 1,5 Mg % 0,6 Mn gerisi Al	200 400 600	93 204 316	43,5 18,3 4,9	41,5 13,3 1,9	- 14,7 2,5	- - -	10

Alaşım (gerişi genellikle demir)	Sıcaklık		Kısa-süre çekme muk. kgf/mm ²	1000 sa. Kopma muk. kgf/mm ²	Sürünme muk. (kgf /mm ²)		Yaklaşık nispi maliyet karbon çeliği=1
	°F	°C			1000 sa. % 0,1	1000 sa. % 0,01	
Karbon çeliği % 0,15 C	800 1000 1200	427 538 649	35,2 21,0 10,5	- 8,2 1,4	14,0 2,8 0,4	9,8 1,9 0,2	1
C-Mo çeliği % 0,15 C % 0,55 Mo	800 1000 1200	427 538 649	42,0 31,6 19,0	- 17,5 3,1	21,0 7,6 1,4	14,7 4,7 0,5	1,5
18/8 paslanmaz çelik % 18 Cr % 8 Ni	1000 1200 1500	538 649 816	40,0 29,6 14,8	24,6 9,8 2,5	12,7 4,9 1,4	7,7 2,8 0,9	8
Timken alaşımı (sıcak çekme) % 16 Cr % 25 Ni % 6 Mo % 0,1 C % 0,15 N ₂	1200 1350 1500	649 732 816	60,5 42,2 29,0	24,6 14,0 7,0	12,6 9,1 4,2	7,0 4,9 2,1	10
N-155 (düşük karbon) % 20 Cr % 20 Ni % 20 Co % 3 Mo % 2 W % 1 Cb % 0,12 C % 0,12 N ₂	1200 1350 1500	649 732 816	64,0 45,7 39,4	27,4 15,5 9,1	14,0 10,5 6,3	12,0 7,7 1,2	50
S-816 % 44 Co % 20 Cr % 20 Ni % 4 W % 4 Mo % 4 Cb % 0,36 C	1200 1350 1500 1600	649 732 816 871	77,3 66,8 49,2 35,0	36,6 19,7 12,0 7,0	19,7 14,0 7,0 4,2	9,8 8,4 4,9 2,8	100
Inconel "X" (Isıl işlem ve yaşlandırma) % 73 Ni % 15 Cr % 0,9 Cb % 2,5 Ti % 0,9 Al % 7 Fc	1200 1350 1500 1600	649 732 816 871	84,4 64,7 36,6 24,0	45,7 28,0 12,7 4,2	43,6 27,4 12,0 5,6	38,0 19,7 8,1 1,9	35

Kopma ve oksitlenmeye mukavemetin artırılması bakımından kromla molibdenin etkinliği o derecededir ki yüksek sıcaklıklarda çalışan teçizat imalinde Cr-Mo ile alaşımlı çelikler ön planda bulunurlar. ASTM'den seçilmiş bazıları aşağıda verilmiştir:

İŐARETİ	ASTM Referansı
C-Mo	Grade T1 A209
C-Mo	Grade T1b A209
1/2Cr-1/2 Mo	Grade P2 A335
1 Cr-1/2 Mo	Grade B A387
1 1/4Cr-1/2 Mo	Grade C A387
2 1/4Cr-1 Mo	Grade D A387
3 Cr-1 Mo	Grade E A387
5 Cr-1/2 Mo	Grade P5 A335
5 Cr-1/2 Mo (yüksek Si)	Grade P5b A335
5 Cr-1/2 Mo (Ti veya Cb)	Grade P5c A335
7 Cr-1/2 Mo	Grade P7 A335
9Cr-1 Mo	Grade P9 A335

Görüldüğü gibi bunlar sadece % 1/2 molibden ilâvesiyle mukavemetin artırılmasının arandığı çeliklerden % 9'a kadar krom içeren çeliklerdir. Toplam alaşım elementinin % 5'i geçmesi itibariyle bazıları yüksek alaşımlı çelikler sınıfına girer. Daha başkaları da bu listeye eklenebilirse de bunlar ana bileşimin varyantlarını teşkil ederler. Bunlar genellikle az miktarda

vanadium, tungsten ve nikel içerirler ve böylece de sürünme mukavemeti ile gerilme kopması ömrü artırılmış olur.

Her ne kadar bu ilâveler yüksek sıcaklıkta mukavemet veya oksitlenmeye karşı koymayı desteklerlerse de bunların sertleşmeye

eğilimi (hardenability) teşvik edici elementler oldukları da hatırdan tutulmalıdır. Bu itibarla kaynak yöntemi, bunların sertleşebilir çelikler olduklarına göre saptanmalıdır. Ana metalle kaynak metalinin karbon oranına çok dikkat edilmelidir zira karbon, kaynak yöntemine dahil edilecek önlemleri saptayacak en önemli faktördür. Yukardaki listede verilen çeliklerin hepsi düşük karbonludur (en çok % 0,17) ve nadiren bunlar 550°C'ın üstündeki sıcaklıklarda kullanılırlar. Bunların asgari akma sınırı 21 ilâ 25 kgf/mm² arasındadır. Asgari kopma mukavemetleri de 37 ile 60 kgf/mm² arasında değişir.

Uçak ve füzelerde meydana gelen azami sıcaklık darbesi ve hızlı yük değişmelerini laboratuvarında gerçekleştirmek için rezistanslı ısıtma yöntemi kullanılır ve böylece de 1700°C'a kadar çıkılabilir. Kondansatör deşarjı ile deney sıcaklığına 200 milli saniye içinde erişilebilir. Böyle fevkalâde hızlı ısıtma oranlarında metal, muntazam yükselen sıcaklıktakine nazaran daha büyük mukavemet arzeder. Bu itibarla çok kısa süreli ısıl darbeye, kararlaştırılan sıcaklık ve yükte daha az mukavemet gösteren bir metal tarafından karşı konabilir.

III — GEVŞEME (RELAXATION) İŞLEMLERİNİN ETÜDÜ. KARBONLU ÇELİKLERİN KARAKTERİSTİKLERİ ÜZERİNDE ETKİSİ

Konstrüksiyonlara şekil verme ve bunları kaynak etme işlemlerinin, kırılmalara kadar götürebilecek gerilmeler hasıl ettikleri bilinir. Bu nedenle de, gerilmelerin boyutlarını azaltmak amacıyla gerilim giderme ya da gevşetme işlemlerine baş vurulur. Ancak bu işlemler, her ne kadar iç gerilmeleri gerçekten azaltıyorlarsa da daha önce gördüğümüz gibi ana malzemenin karakteristiklerini etkilemekten de geri durmazlar.

Bakiye gerilme, sürekli elastik şekil değiştirmelerinin hasıl olmasıyla meydana gelir; elastik şekil değiştirmenin bir kısmının yerine bir plastik şekil değiştirme ikame edildiğinde gevşeme olur. Bu plastik şekil değiştirme mekanik yolla olabileceği gibi bunun en yaygını ısıl gevşeme işlemidir. Bunda, sıcaklık yükselmesiyle elastik sınır düzeyi alçalır, gevşeme elastik sınırın zorlamalar düzeyinin altına indiğinde başlar. Malzeme yüksek sıcaklığa çıkarılarak, elastik sınırın alçaltılmasına ek olarak bir de sürünme meydana gelir ki bu takdirde yüksek mertebelerde gevşeme hasıl olur.

Sıcaklığa göre elastik sınırın hızlı düşmesi nedeniyle karbonlu çelikler basit ısıtma sonunda önemli ölçüde gevşerler; yüksek elastik sınırlı, kaynaklanabilir çelikler de az çok bu niteliktedirler. Buna karşılık, sıcakta kullanılan hafif alaşımlı çelikleri gevşetmek daha güçtür ve nihayet austenitik çelikler, gevşemesi en zor olanlardır.

Aşağıdaki tablo, çeşitli normların bu ısıl işlem konusundaki koşullarını verir :

Standard	Sıcaklığa yükselme hızı (°C)	İşlem sıcaklığı (°C)	Tutma Süresi	Soğutma hızı
ISO/TC 11 Kazan normu	—	600 ± 10	3 sa.	—
BS 1501	—	600 ± 10	3 sa.	—
BS 1515	200°/sa./25 mm.	600 ± 10		250°/sa./25 mm.
DIN 17155	—	St 37 ve 42 600-650 St 48 550-620 St 52 550-620	—	
ASME	205°/sa./25 mm.	595 565 510 480	1 sa/25 mm. 2 sa/25 mm. 5 sa/25 mm. 10 sa/25 mm.	315°C'a kadar sakın havada 260-270°/sa./ 25 mm.

Tavlama sıcaklığının artışına bir taraftan aynı bir gevşeme elde etmek için gerekli sürenin kısılması, diğer taraftan da daha üstün gevşemenin azami oranı tekabül eder.

Yaklaşık olarak aşağıdaki hususlar kabul edilebilir:

- 200°C'a kadar gevşeme çok zayıf olup % 5'in altındadır;
- 300°C'ta gevşeme önem kazanır: bir saat sonunda % 30'a erişebilir;
- 300 ilâ 500°C'ta gevşeme tedrici olarak artar, bu artışın hızı alçak sıcaklıkların ilk safhasına nazaran yükselir, fakat 300°C'ta elde edilen gevşeme hızlarından nispeten yüksek hızlar elde etmek için 500°C geçilmelidir;
- Pratik olarak gevşeme, daha azami sıcaklıkta tutmanın başlangıcında (bitmiştir: 600°C'ta, tutmadan önce toplam gevşeme % 80 mertebesindedir; 8 saat tutmadan sonra % 90'a varır.

Karbonlu ve hafif alaşımlı çeliklerde gevşeme yüzdesi, sıcaklığa tabi olarak, ilk takribiyetle şöyle kabul edilebilir:

- 500°C'ta % 50 ilâ 60
- 575°C'ta % 70 ilâ 85
- 625°C'ta % 90 ilâ 95

Bazı hallerde bakiye gerilmeleri % 5 ilâ 10 yerine % 25 ilâ 30 olarak kabul etmek suretiyle işlem sıcaklığından 50°C kazanılabilir. Böylece de hafif alaşımlı çeliklerde, gevrekleşme ve yeniden kristalleşme açısından sıcaklığın düşürülmesi emniyet bakımından bir kazanç olup bu kazanç, bakiye kabul edilmiş gerilmelerin tehlikesinden daha önemlidir.

Yukardaki tabloya göre fakat değişik sıcaklık ve tutma sürelerinde karbonlu çelik saçlar üzerinde yapılmış deneyler aşağıdaki sonuçlara varmıştır:

— Kalınlık ne olursa olsun, 80 mm'ye kadar 525 ve 775°C'ta uygulanmış tavlaların çeliklerin elastik sınırı ve geçiş saaklığı üzerinde etkisi azdır;

— Buna karřılık 625°C'ta uygulanan tav, elastik sınırın hissedilir miktarda dūřmesini (2 kgf/mm²) ve 60 mm kalınlıklar için 25°C'a kadar varabilen bir geçiř sıcaklık yūkselmesine gōturmektedir;

— 525 ve 575°C'ta tutma sūresinin artırılmasının ne elastik sınır değeri ne de geçiş sıcaklığı üzerinde bir etkisi vardır.

Diđer taraftan hafif alařımlı çeliklerde yūksək sıcaklıkta ve uzatılmıř sūreli bir iřlem ana metalin gevrekleřmesi sonucuna gōturmekte olup bunun nedeni, elik cinsi ve sıcaklıđa gōre bir klasik tavlama gevrekleřmesi; veya karbūrlerin kūreselleřmesi; veya özel, alařımlı karbūrlerin teřekkūlūne bađlanır.

Bu itibarla 600°C'ın üzerinde ve uzun sūreli gevşeme işlemlerinden, niteliklerin belirli şekilde bozulması, tokluk (tenasite) ve metalin gevrek kırılmaya mukavemetinin azalması istenmiyorsa, kaçınılmalıdır.

IV — ALÇAK İşLETME SICAKLIKLARI İÇİN ÇELİKLER

Alçak sıcaklıklarda metalik malzemelerin özellikleri ve davranışları yūksək sıcaklıklardakilerden başkadır. Örneđin yūksək sıcaklıkta zorlamada birçok malzemede belli özelliklerde değişme vaki olur (örneğin rekristalizasyon, alaşımlarda denge değişmesi vs.) ve bu kalıcı değişme oda sıcaklığına soğutulmakla geri gelmez. Buna karşılık alçak sıcaklığa soğutulup tekrar oda sıcaklığına ısıtıldığında çok az istisna dışında demirsiz metaller ve çeliklerde kalıcı değişme gōrölmez. Metalik malzemelerin çoğunda, soğukta, az çok şekil değiştirme mukavemetinin artışı, takriben sabit kalan makaslama mukavemeti, gevrekleşmeye meyil gōrölür. Gevrekleřme, belli bir sıcaklık domeninde çentik darbe mukavemetinin anı dūřüřü, şekil değiştirme kırılmasının makaslama kırılmasına dōnūřmesi şeklinde kendini gōsterir.

entik darbe mukavemetinin hızla dūřüřü özellikle merkezli kūbik ve heksagonal sistemlerde vaki olup merkezli yūzeyli kūbik sistemlerde (austenitik çelikler, bakır, alūminyum, nikel ve kurřun) pek gōrölmez. Bařka bir deyimle, sođukta zorlanan parça malzemesi olarak demirsiz metallerle austenitik çelikler řūphesiz en uygun olanlarıdır. Bunların pahalı oluřları sebebiyle dūřük sıcaklıklarda zorlanan parçalarda mōmkūn olduđu kadar alařımsız veya alçak alařımlı çeliklerin kullanılması yoluna gidilir.

Genellikle aşağıdaki kaideler vaz edilebilir :

1. -50, ve bazı hallerde de -75°C'ta kadar yeter derecede yūksək çentik darbe mukavemetini haiz alařımsız çelikler kullanılabilir. Ancak bunların alūminyum veya manganezle iyice desoksidede ve denitrūre edilmiř olmaları, bunların mōmkūn olduđu kadar ince taneli olmaları gereklidir. Zira ince tane yūksək çentik mukavemeti demek olup bunun aksi, sōzū edilen mukavemeti dūřürür. Yorulmuř (yařlandırılmaya uğramıř) eliklerde kritik bir sođukta řekil deđiřtirmeden mutlaka kaçınılacaktır.

2. Özellikle nikel (% 3 - 5), nikel - krom, krom - molibden vs. ile alçak alaşımlı ıslāh

çelikleri -100, ve bazı hallerde -150°C'a kadar sıcaklıklarda kullanılabilir.

Amerika'da, basınçlı kap ve ısı eşanjörlerinde, -50°C'a kadar, aşağıdaki tabloda gösterilen takr. % 0,7 Cr, Cu ve Ni (kobaltlı veya kobaltsız) veya % 3-4 nikelli çeliklerden seçilir.

3. -100°C'ın altında işletme sıcaklıklarında sadece austenitik çelikler (Ni, Mn, Cr-Ni veya Cr-Mn ile alaşımlı) veya bakır (ve alaşımlar) ve aynı zamanda da alüminyum (ve alaşımları) ve ya monel kullanılabilir.

Nikelin etkisi çifttir: bir taraftan çeliğin su alma kabiliyetini artırır ve soğumada değişme alanlarının sınır sıcaklıklarını alçaltır -böylece de normalizasyondan sonra ferritik tane yine incelmış ve dokular daha da elverişli hale gelmiştir— ve, diğer taraftan, ferritin mekanik özelliklerini yükseltir.

ABD'de -30 °C altında işletme sıcaklıklarında kullanılan çeliklerin kimyasal bileşimleri ve oda sıcaklığında nitelikleri

Çelik Tipi:	A-201: GradeA	A-201: Grade B	A-203: Grade D	Cr-Cu-Nİ- Çelik	Cr-Cu-Nİ-Co Çelik
Bileşim %					
C _{max}	0.2 ilâ 0,24	0.24 ilâ 0,27	0,17	0,12	0.10
Mn _{max}	0,80	0.80	0.80	0,65 ilâ 0.85	0.35 ilâ 0,55
P _{max}	0.035	0.035	0.035	0,040	0.040
S _{max}	0.040	0.040	0.040	0.040	0,010
S _i	0.15 il a 0.30	0.15 ilâ 0.30	0.15 ilâ 0.30	0.65 ilâ 0,85	0.65 ilâ 0.85
Cr	-	-	-	0,75	0,50 ilâ 0.80
Nt	-	-	325 ilâ 375	0.45 ilâ 0.65	0,45 ilâ 0,65
Cu	-	-	-	-	0.40 ilâ 0.60
Co	-	-	-	-	0.07 min.
Mekanik özellikler					
Kopma mukavemeti	38.7 ilâ 45.7	42.2 ilâ 50.6	45,7 ilâ 54.1	42,2	42,2
Akma sınırı k g /mm ²	0,5x Kopma mukavemeti	0.5x Kopma mukavemeti	0.55 Kopma mukavemeti	21,2	21.2

Aşağıdaki taabloda 'bu çelikleri karakterize etmek için saptanmış deney sıcaklıkları görülür. Her cins çelik için tahkiki gerekli rezilians düzeyinin % 5 ve % 9 nikelli çelikler için 5 ve hatta 6

dal/cm² olarak saptandığı da görülür. Bu değerler ağır koşul teşkil ederse de çentik ve/veya mekanik darbelerden hasıl olan klasik gevrek kırılma tehlikelerinin dışında, doldurma ve

boşaltma sırasında vaki ısıl darbelerden hasil olan kırılma tehlikeleri göz önüne alınmalıdır.

Çelik tipi	Denev Sıcaklığı (°C)	Gerekli asgari düzey (daJ/cm ²)		Uygu lama
		3 denev asgari ortalama		
0,5 Ni	- 50	5	4	Propan-propilen
1,5 Ni	- 70	5	4	SH ₂ -karbon oksisülfürü
2,25 Ni	- 80	5	4	SH ₂ -karbon oksisülfürü
3,5 Ni	-100	5	4	Asetilen-ethan-Co ₂
5,0 Ni	-120	6	5	Ethilen-ozon-xenon
9,0 Ni	-196	6	5	CH ₄ -O ₂ -N ₂ -CO azotik oksit - argon

Ayrıca bu çelikler için, karbonlu çeliklerde olduğu gibi, enine alınmış KCU denev çubuğu üzerinde + 20°C'ta rezilians denevi koşulu da vardır: böylece metalin iç bünye sıhhati ile enine niteliklerinden emin olunmuş olur.

NİKELLİ ÇELİKLERİN TARİFİ

— % 0,5 Ni'li çelik

Bunlardan, hafif nikel alaşımlı St42 ve St 52 çeliklerine tekabül eden iki kalite mevcut olup böylece -50°C'ta rezilians garantisi temin edilmiş olmaktadır. Bu rezilians desokside ince taneli karbonlu çeliklerle de elde edilebilirse de bu ancak belli bir risk altında ve sınırlı kalınlıklar için olabilir.

— % 1,5 Ni'li çelik

Bu çelikte hem 35 kg/mm²'lik elastik sınır, hem de -70°C'ta rezilians garantisi vardır. Kullanıcı böylece bu çeliği 350°C'tan -70°C'ta kadar kullanabilir.

— % 2,25 ve 3,5 Ni'li çelikler

Bunlar genellikle kullanılan Amerikan çeşitlerine uygundur.

— % 5 Ni'li çelik

Bu çelik, % 3,5 Ni'li çeliğe tekabül eden -100°C ile % 9 Ni'li çeliğe tekabül eden —196°C fasılasını kademelendirme olanağını sağlar.

— % 9 Ni'li çelik

Bu çelik daima ısıl işleme tabi tutulmuş halde kullanılır. Bu işlem iki türlü olabilir :

a) 900°C'ta ısıtma, havada soğutma ve 790°C'ta ısıtma, havada soğutma ve 565°C'ta meneviş (2 saat süreli), havada soğutma;

b) 800°C'ta ısıtma, basınçlı hava ya da suda soğutma, 565°C ta meneviş (2 saat süreli),

basıncılı hava ya da suda soğutma.

Bu ikinci işlem, aynı bir mukavemet değeri için, hissedilir derecede daha yüksek elastik sınır özelliğini sağlar. Her iki halde de meneviş, çelikte bir miktar stabil austenit kalacak şekilde verilecektir.

Kaynaklı parçalar üzerinde düşük sıcaklıklarda yapılan denemeler, kaynak birleşmelerinin kaynaksız malzeme gibi hareket ettiğini göstermiştir. Kusursuz uygulama ve devamlı muntazam yüklemelerde elverişsiz bir duruma rastlanmamıştır; ancak, darbe halinde yüklemelerde, ana malzeme olduğu gibi, tokluk düşmesi vaki olur. Düşük sıcaklıklarda artan karbon oranı ile çentik darbe mukavemeti azaldığından soğukta yüklemelere maruz yüksek mukavemetli imalat çeliklerinin kaynağında nikelle alaşımlandırılmış elektrodun kullanılması özellikle avantajlı olup bir taraftan kaynak dikişinin geçiş bölgesinde daha az sertlik ve kaynak metalinde daha yüksek bir şekil değiştirme kabiliyeti hasıl olur. Öbür taraftan elektrodlar, mutad olduğu üzere, ana malzemeye uygun olmalıdır. Amerikan denemeleri, asit örtülü elektrodlar -50°C 'ta yine biraz uygun iseler de bunların -100°C 'da kesinlikle elverişli olmadıklarını, buna karşılık bazik elektrodların bütün hallerde -100°C 'da uygunluklarını ispat etmiştir.

Soğukta çalışacak parçaların kaynağında her türlü kaynak kusurundan kaçınılması gerektiği gibi, bu parçaların mümkün olduğu kadar tam bir gerilim giderme tavına tabi tutulmuş olmaları gereklidir.