

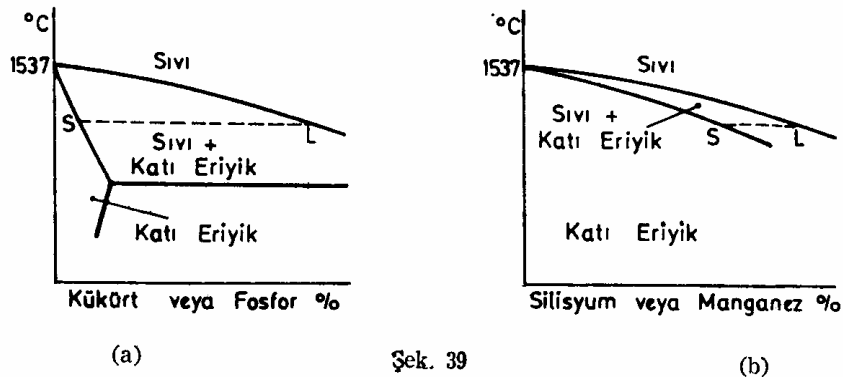
VII — ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ÇELİKLERİN KAYNAK KABİLİYETİNE ETKİSİ

Çeliklerin *kaynak kabiliyetine* etkisi bakımından alaşım elementleri hususunda şu temel kaide geçerlidir: alaşım elementi ne kadar az olursa kaynak kabiliyeti o kadar fazla olur. % 0,2'ye kadar karbonun bu bakımdan, etkisi ihmal edilebilir mertebededir. Silisyumunki elverişsiz ise de yüksekçe manganez ilâvesiyle olumsuz etki yok edilir. % 0,3'e kadar molibden ve vanadium kaynak kabiliyetini bozmaz, buna karşılık çeliğin mukavemetini artırır. Krom, nikel, alüminyum ve tungsten daha % 0,1'den itibaren, sert oksit tabakası teşkil ederek, kaynak kabiliyetini bozar.

Elektrikli direnç kaynaklarında (punta, dikiş, projeksiyon kaynakları) bu sınır genişler şöyleki hava çelikleri (18 W, 4 Cr, 1 C veya 2,5 W, 2,7 V, 4 Cr, 0,95 C, 2,3 Mo) bu yöntemlerle iyi kaynak edilebilirler; yüksek alaşımlı, havada sertleşmeye meyilli çeliklerin yavaş soğutulması veya uygun bir tavlamaya tabi tutulması tavsiye edilir.

Gaz ergitme ve elektrik ark kaynaklarında alaşım elementlerinin cins ve miktarlarının, kaynak kabiliyeti üzerine büyük etkisi vardır. Bu ilâve elementlerin dışında ön ısıl işlemler, bizzat kaynağın uygulanması sırasındaki ısı oranları, çekme olanakları, (özellikle sertleşmeye ve gevrekleşmeye meyilli malzemede) önemli rol oynarlar.

Adi çeliklerin çoğu, desoksidasyon yönteminin bir kalıntısı olarak, önemli miktarda manganez içerir. Bunun dışında silisyum, kükürt ve fosfor gibi saflığı bozan elementler de mamul çelikte az ya da çok miktarda bulunur. Bu tür ademi safiyetlerin mekanik nitelikler üzerindeki etkisi geniş ölçüde bu elementlerin çeliğin dokusu içinde dağılış şekline bağlıdır. Bahis konusu saflığı bozan elementlerin alaşımlaşmasına hâkim denge diyagramının likidus ve solidus çizgileri, şek. 39 b de olduğu gibi birbirlerine yakın iseler sıvı ve katının bileşimleri katılarda az çok aynı kalacaktır. Bu da, ingotun dokusu içinde herhangi bir kristalde işbu elementlerin göreceli olarak homogen bir dağılışına götürecektir. Bununla birlikte, likidus ve solidusun şek. 39 a'da olduğu gibi birbirlerinden iyice ayrılmış olmaları halinde, S bileşimde neredeyse saf metal ilk olarak L bileşiminde sıvıdan çökecek, böylece de saflığı bozan element son olarak katılardan sıvı içinde, yani kristal sıvılarında yoğunlaşmış olacaktır. Mutat olarak «çekirdekleşme» diye adlandırılan bu etkiden daha önce söz etmiştik.



Silisyum ve manganez açısından katı çelikte kristaller hiçbir zaman geniş ölçüde çekirdekleşmezler ve bu elementlerin çelik içinde katı halde eriyebilme kabiliyeti olduğundan, mikro-içyapıda hiçbir zaman ayrı bileşken olarak görünmezler. Öbür yandan kükürtle fosfor, ciddi şekilde toplanırlar ve yeterince var olmaları halinde, katılaşma sırasında, sırasıyla demir bileşikleri şeklinde, austenit tane sınırlarına çökürler. Bu bileşiklerin çelik içinde katı halde alçak erime kabiliyeti nedeniyle bu çökelmelerin etkileri daha da ağırlaşır.

Silisyum, manganez gibi, ergimiş çelik üzerinde oksit temizleyici ve «kalman», yani gazlan, özellikle oksijeni bağlayarak çeliğin karbonu ile reaksiyona girip karbon oksit oluşmasını önleyici etkiyi haizdir; dökme çeliğin «sıkılığı» nı artırır. Ayrıca sair elementlerin çökmesini önler. % 0,5'ten fazla oranda, çekme mukavemetini ve belirli koşullar altında da akma sınırını yükseltir (kopma uzaması ve çentik darbe mukavemetine etkisi yoktur). % 1,5'ten fazla silisyum çeliği aşınmaya dayanıklı kılar. Silisyum, çeliğin soğuk çekilme kabiliyetini (derin çekme) azaltır.

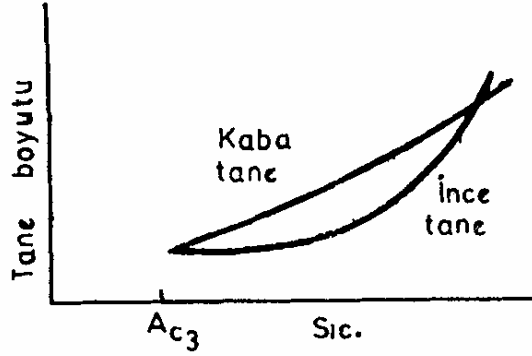
Kazan imalâtında kullanılan krom-molibden çeliklerinin % 0,6dan fazla silisyumla alaşımlandırılmaları halinde bunların pullanmaya (tufal dökmeye) mukavemetleri artar. Karbonsuz ve % 4'e kadar silisyumlu çelikler, magnetik özellikleri itibariyle elektrik makinaları imalinde kullanılırlar. Silisyumlu çelikler sıcakta tane tabalaşmasına eğilimli olurlar. Kaynakta silisyum, ancak çok yüksek miktarda bulunması halinde zararlıdır (manganez oranı yükseltilirse silisyumunki de artırılabilir); % 0,7'den itibaren, ergitme kaynaklarında önlem alınmazsa silisyum oksiti, kolaylıkla gözenek ve çatlaklar hasıl eder.

Alaşımız elektrod çekirdekleri kaide olarak çok az silisyum içerirler. Burada da silisyum-manganez oranı önemlidir. Tekabül eden miktarda karbon ve manganez bulunmaması halinde % 0,15 -0,5 oranında silisyum, gözenek teşekkülü bakımından kritiktir. Gözenekler ya karbon oksidinden, veya silisyumun örtü rutubeti veya örtüde (bulunan maddelerin yanmasından hasıl olan gazlarla reaksiyon haline girmesinden ileri gelir. Bildiğimiz gibi bazik elektrodlar bunda istisna teşkil ederler.

Burada önemli bir soruna temas etmekte yarar vardır. Daha önce de gördüğümüz gibi, herhangi bir alaşımın nitelikleri sadece var olan fazların karakteriyle değil, aynı zamanda, içyapıda mevcut olan tanelerin boyutu tarafından da etkilenir. Tavlanmış bir çelikte ferrit ve perlit tanelerinin boyutu, nitelikleri etkileyip kendilerinden itibaren soğumada oluştukları austenit tanelerinin boyutuna da bir ölçüde bağlıdır. Üst kritik sıcaklığın (Ac_3) üstünde var olan austenitin tane boyutunun da sürekli soğuma sırasında dönüşüm derecesi veya, izotermal (sabit sıcaklık) koşullarda çeliğin sertleşme karakteristikleri üzerinde belirgin etkisi vardır.

Bir çelik ısıtıldığında, austenitik tane boyutu, austenitin oluştuğu sıcaklıkta, asgaridedir; sonra, ısıtma sürdürülünce, tanelerin boyutu önce sıcaklığın, sonra da sürenin fonksiyonu olarak artar. Şek. 40, iki farklı çelik için tane boyutu-sıcaklık ilişkisinin tabiatını gösterir. Çeliklerden birinin taneleri, üst kritik sıcaklığın üstüne çıkılır çıkılmaz kabalaşmaya başlar. Oysa ki öbür çelikte taneler, Ac_3' ün ancak hayli üstüne çıktıktan sonra belirgin şekilde kabalaşır. Gecikmiş kabalaşma arzeden bir çelik, *ince taneli*; kritik sıcaklığın üstüne ısıtılır ısıtılmaz derhal kabalaşan

çelik de *kaba taneli* çelik adını alır. Çeşitli çeliklerin tane büyüme eğilimi, imalı sırasında desoksida oluş şekline bağlanmaktadır. Alüminyumla desoksida olmuş çelikler ince taneli karakteristiğe eğilimli olup silisyumla desoksida olmuş olanlar genellikle kaba taneli tabiatı haizdirler. Vanadium, titanium, zirkonium, vb. tane büyümesini önleyicilerin eklenmesi de çeliklerde ince tane karakteristiklerini teşvik eder.



Şek. 40

Silisyum, ısıya dayanıklı çeliklerin bileşimine de girer ve aşağıda göreceğimiz gibi katı eriyik içinde tamamen erir.

Manganez, oksit temizleyici özelliği nedeniyle çeliklerde belirli bir miktarda daima bulunur. % 0,8'in altında Mn içeren çeliklere Mn ile alaşımlı çelik adı verilmez. Mn, çekme mukavemetini, akma sınırını, aşınma mukavemetini ve düşük karbon halinde de, çentik darbe mukavemetini yükseltir. Karbonun da aynı oranlarda yüksek olması halinde, kritik soğuma hızını düşürmek suretiyle sertleşme kabiliyetine yardımcı olur. Keza kükürtün çeliğin sünekliğine olan olumsuz etkisine de, manganez sülfürü teşkil ederek, karşı koyar. % 0,8 - 3 arasında Mn içeren çeliklere perlitik manganez çeliği adı verilir. % 1,5'dan fazlası, fazla ısınmaya hassasiyeti artırmaya meylettirirse de bu keyfiyet biraz vanadium ilâvesiyle önlenir. Yüksek manganez miktarı çeliğin su alma gevrekliğini artırır fakat bu dahi vanadium veya molibden ilâvesiyle azaltılır. Normalizasyon tavlamasında, manganezin A_3 transformasyon çizgisini aşağıya kaydırıldığını gözönünde tutmalıdır (kazan imali). % 10 ilâ 15 manganez, aynı zamanda karbon veya sair alaşım elementlerinin (krom) bulunmasıyla yüksek oranda austenitik doku hasil eder. Düşük veya orta karbonlu perlitik mangan çeliklerindeki mangan miktarı kaynak kabiliyeti bakımından elverişlidir. Austenitik manganez çeliklerinin kaynağında, bunların yüksek sıcaklıkta uzama katsayıları güçlülere sebep olur.

Manganezin nikel gibi austeniti stabilize etmesine karşın nikelin aksine, karbürleri de stabilize edici etkisi olup kendisi dahi Mn_3C karbürünü oluşturur. Gerçekten çeliklerdeki alaşım elementlerinin kimi belirgin olarak katı eriyik, kimi de karbür fazı oluşturma eğilimi gösterir (Şek. 41). Belli bir alaşım elementi, örneğin manganez, tipik olarak hem bir katı eriyik hem de bir karbür oluşturacaktır. Tabloda X'lerin, tam katı eriyik veya karbür oluşmasını temsil eden çizgilere göre pozisyonu, kabaca bu fazların her birine giren alaşım elementi oranını gösterir.

Manganez için X, örneğin, manganezin yaklaşık dörtte üçünün demir içinde katı eriyik halde, geri kalan dörtte birinin de karbür fazında olduğunu ifade eder. Silisyum gibi çeşitli elementler, katı eriyik içinde tamamen erir.

Alaşım elementi	Eğilim	
	Katı eriyik	Karbür
Fosfor	X	
Silisyum	X	
Aluminyum	X	
Nikel	X	
Kobalt		X
Manganez		X
Krom		X
Molibden		X
Tungsten		X
Vanadyum		X
Kolombiyum		X
Titanyum		X

Şek. 41 — Çeliklerde alaşım elementlerinin dağılışı

Titanium gibileri de az çok tamamen karbür fazlarında bileşir.

Yüksek manganezli austenitik çeliğin tipik örneği «Hadfield» çeliği olup bunda Mn = % 12,5 ; C = % 1,2 dir. Her ne kadar bu çelik austenitik ise de oda sıcaklığına kadar yavaş soğumaya bırakıldığında bazı karbür çökelmeleri vaki olacaktır. Bu nedenle çeliğe 1050°C'de su vererek karbon eriyik halde tutulur. Kaynak sırasında ısı yükselmesi nedeniyle bu karbürlerin çökmesiyle vaki olan gevrekleşme çatlamlar meydana getirdiğinden parçanın ısısının 250°C'ı geçmemesi için önlemler alınır. Döneceğiz konuya.

Hadfield çeliğinin kopma mukavemeti 849 N/mm²; uzaması % 40; sertliği yüzeyde 550, göbekte 200 Brinell'dir. Bu değerlerden yüksek manganezli austenitik çeliğin fevkalâde tok ve darbeye dayanıklı olduğu görülür; her ne kadar göreceli olarak yumuşak ise de aşınmaya son derece iyi dayanır. Görünürde çelişkili olan durum, mekanik çalışmanın yüzeyde çok büyük sertlik hasil etmesiyle izah edilirse de bunun nedeni hâlâ bilinmemektedir.

Yüksek manganezli çelik, konkasör çeneleri, draglayn kepçeleri, elevatör zincirleri ... gibi hem darbeye, hem de aşınmaya mukavemetin arandığı parçaların imalinde kullanılır.

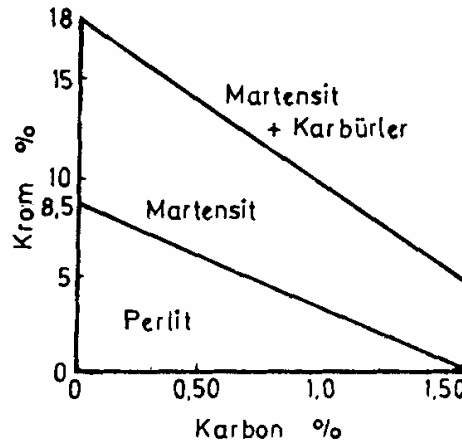
Krom, az miktarda (% 0,4'e kadar) olursa tavlanmış haldeki çeliğin çekme mukavemet ve metanetini artırır, akma sınırını çok az azaltır. Daha yüksek krom oranları (% 0,8 - 1,0), sıcakta mukavemeti çok artırır, tufal dökmeyi azaltır ve çeliği fazla ısıtmadan etkilenmez hale getirir. Krom, karbür teşkil ettiğinden, yüksek karbon ve kromlu çeliklerin işlenmesi zorlaşır. % 1 - 1,5 kromlu dökme çelikler sert ve aşınmaya dayanıklı olur. Az miktarda dahi krom, kritik soğuma sıcaklığını düşürür; kaynakta (St 52), havada soğumada bile, ana malzemeye ısının dağılmasıyla sertleşme tehlikesi belirir. Bu belirtilere rağmen krom-molibdenli semantasyon, ıslâh ve imalât çelikleri ergitmeli kaynak kabul ederler. % 1 ilâ 6 kadar krom, az karbonlu çelikleri demir

karbürlerini ayrıştırıp tane sınırlarını dağıtarak basınçlı sıcak hidrojene mukavemetli hale getirir. %13'ten fazla krom da çeliği korozyona dayanıklı kılar. Daha yüksek krom oranı A_4 değişme çizgisini alçaltır, aynı zamanda A_3 çizgisini yükseltir ve %15 kroma kadar gamma sınırını kaydırır; böylece hasil olan *Ferritik krom çelikleri* kaynakta fazlaca tane kabalaşmasına meylederler. Bu fazla ısınmaya karşı hassasiyet ve ısıtma ile hasil olan karbür teşekkülü sonucunda meydana gelen korozyon zorlamalarından ortaya çıkan tane dağılması titan, tantal ve niobiumla alaşımlandırılmak suretiyle geniş ölçüde önlenir. Daha % 0,2 kromdan itibaren, çetin bir oksit tabakasının teşekkülü nedeniyle, ergitme kaynağı güçleşir.

Krom eklenmesiyle gözlenen sertlik artışı taşlıca, kromun bir karbür stabilizatörü olup Cr_7C_3 veya $Cr_{23}C_6$, veya demir karbürüyle çift karbür hasil etmesindedir.

Alaşım elementi olarak kromun başlıca sakıncası tane büyümesine meylettirip bunun sonucunda da gevrekleşmenin hasil olmasıdır. Bu nedenle kaynakta, ana metalin fazla ısınmasından veya normal ısıl işlem sıcaklığında çok uzun süre kalmasından kaçınılacaktır.

Kromun alaşım elementi olarak etkileri şek. 42'de görülür.

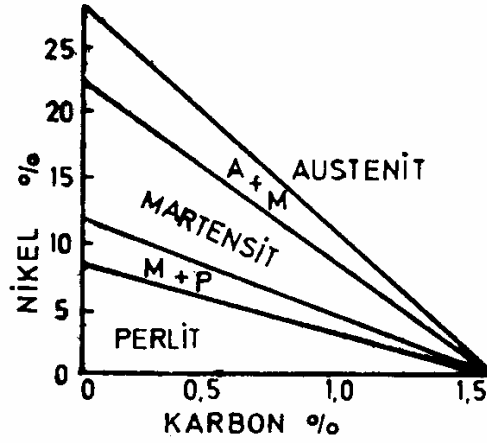


Şek. 42

Nikel, tavllanmış halde imalât çeliklerinde (% 1 - 5 Ni) mukavemet üzerinde az rol oynar; sertleşmeye hassasiyeti artırır (% 3-5 Ni'de), 350°C'a kadar sıcakta mukavemeti ve sıcakta akış sınırını yükseltir. Bu sebepten de kazan imalinde kullanma yeri bulunur.

Nikel kritik soğuma hızını düşürür, özellikle kromla birlikte iyi bir tam sertleşme hasil eder. Bu çelikler çok dayanıklı olup semantasyon ve ıslâh çeliği olarak kullanılırlar. Ancak, kaynakta, su almaya Çok meylederler.. % 15 - 20 nikelli çelikler, tekabül eden karbon oranıyla birlikte havada sertleşmeye yatkındırlar. Daha yüksek bir nikel oranı, çevre sıcaklığında $\gamma - \alpha$ değişme çizgisini kaydırarak ausitenitik tane oluşmasını teşvik eder ve korozyona mukavemeti yükseltir (austenitik Cr-Ni çelikleri). Genel olarak nikelli çeliklerin kaynak kabiliyeti iyidir.

Tam karbonlu çeliğe nikel eklenmesi, A_4 noktasını yükseltip A_3 noktasını düşürerek artan bir sıcaklık alanı üstünde austenitik fazını stabil kılma eğilimini gösterir. Oda sıcaklığına yavaş soğumadan sonra elde edilen içyapı, belli bileşimde bir nikelli çelik için Şek. 43'te görülür.



Şek. 43 — Alaşım elementi olarak nikelin etkisi

Nikel, karbürleri labil (kararsız) kılıp bunları grafitte ayrıştırmaya meyleder. Bu nedenle yüksek karbonlu çeliğe nikel eklenmesi tavsiye edilmez. Daha yüksek bir karbon oranı istendiğinde genellikle mangan oranı yükseltilir: manganın karbür stabilizatörü olduğunu görmüştük.

Çekme mukavemetini ve tokluğu artırmasının yanısıra nikel, tane inceltici etkiyi haiz olup alçak nikelli alçak karbonlu çelikler bu nedenle semantasyona çok uygun olurlar zira 900°C civarında uzun süre ısıtma sırasında tane büyümesi sınırlı olur.

Nikel ve kromun birlikte eklenmesi halinde bu iki element birbirlerinin olumsuz etkilerini giderip her birinin olumlu etkileri birbirlerine eklenir.

Bakır, % 0,5'e kadar ve normal soğuma ile çeliğin mukavemetini değiştirmezse de daha yüksek soğuma hızlarında etkili olabilir. 500°C'ın üstünde ısıtıp su vermekle, % 0,5'ten itibaren bakırlı çelikler kısmî su alırlar. Düşük oranlarda bile (% 0,2'ye kadar) bakır çelikte atmosferik korozyonun etkisini (pas teşekkülü) azaltır. % 1 bakıra kadar malzemenin soğuk ve sıcak mukavemeti yükselir; mamafih böyle bir çelik, 1080°C'ın üstünde döğüldüğünde yüzey çatlamasına meyleder. (Bir nikel ilâvesi bu tehlikeyi önler). Pratikteki miktarlarla alaşımlandırılmış bakırlı çeliklerin kaynak kabiliyetinde değişme görülmez.

Molibden ilâvesi, düşük oranlarda bile (% 0,2-0,5), kopma mukavemetini, 400 - 600°C'lık sıcaklıklarda sürünmeye (creep) mukavemeti yükseltir. Taneyi inceltip sertleşmede kritik soğuma hızını azaltır. Isıya dayanıklı çeliklerde % 0,3 ilâ % 1 molibden ilâvesi, koruyucu üst kabağa mekanik zorlamalara karşı mukavemet verir. Normal olarak kullanılan miktarlarda molibden, çeliğin su alma kabiliyetini artırır, kaynak kabiliyetini azaltır. Bu nedenle molibden içeren çeliklerin kaynağında bazı önlemlerin alınması gereklidir.

Alüminyum, oksit temizleyici ve kalman olarak vazife görür. Demir ve manganeze bağlanmış bakiye oksijeni kendi üzerine çekerek onu zararsız hale getirir. Aynı zamanda yoğurulmaya ve bazlara (kostik soda) mukavemeti artırır, soğukta kırılabilirliği azaltır. Krom-silisyum-molibdenli ateşe dayanıklı çeliklere % 0,8 Al ilâvesi, sıkı, iyi tutan, koruyucu

alüminyum oksit kabuğu teşkil ederek tufal dökmeye mukavemeti artırır. Mamafih bu kabuktan, çeliğin kaynak kabiliyeti bir dereceye kadar etkilenir: alüminyumlu çelikler, oksit-asetilen kaynağında, ancak dekapan tozlar kullanılarak ve elektrik ark kaynağında da bazik elektrodlarla kaynak edilebilirler.

Vanadium, çeliğin su alma kabiliyetini hızla artırır. Oranı çok sınırlı olmalıdır. Nadiren % 0,1 - 0,2'nin üstüne çıkarılır.

Kükürt, aslında istenmeyen bir madde olup çeliklerde sınırlı miktarlarda bulunur. Çok yüksek bir saflık derecesinin aranmadığı hallerde, müsaade edilen en yüksek kükürt miktarı % 0,06 civarındadır. Sadece, işlenmeyi kolaylaştırmak için, automat çeliklerinde % 0,3'e kadar çıkarılır. Sızdırma sakıncasının dışında, müsaade edilen oranlar içinde kükürt çeliğin özelliklerini ve kaynak kabiliyetini fazlaca etkilemez. Çelikte daha yüksek miktarlarda kükürt ve fosfor bulunması kaynak çatlaklarının nedenini teşkil eder. Mamafih bunlar sadece kükürt oranına atfedilemez: onun dağılışı şeklinde, sadece, yine mevcut sair alaşım elementlerinin cinsi ile beraber, bu yönde rol oynar (manganez, titanium, krom ve alüminyum kükürtü küresel hale getirerek olumlu, nikel ve molibden onu film haline sokarak olumsuz etki yapar). Yeterli derecede yüksek manganez miktarı ile kükürt, zararsız küresel manganez sülfürü haline gelir. Mamafih, akıcılığı yüzünden kristalleri sarmaya meyleden demir sülfürü, gevrek bir malzeme olarak dokuya zarar verir, dövme eylemi esnasında vaki sıcak kırılmadan sorumlu olur.

İster ana metalden, ister elektrod çekirdeğinden, isterse de örtüden gelsin, daha yüksek kükürt miktarı kaynak banyosuna girdiğinde gözenekli bir kaynak metali hasıl eder ve dikişte sıcak çatlamalara götürür. Yüksek manganez oranı buna karşı koyar.

Fosfor da, kükürt gibi, normlarda sınırlanmış olup en yüksek oran % 0,06 olarak tespit edilmiştir. Özel çeliklerde daha da yüksek miktarlar aranır. Automat çeliklerinde, işlenen parçanın dış görünüşü itibariyle daha yüksek fosfor oranına müsaade edilir (% 0,15'e kadar). Krom ve bakırla birlikte bulunduğu bazı oksitleyici gazlara karşı kimyasal mukavemeti artırır. Keza abrazyona dayanıklılık artar. Bu yüzden kömür veya kok nakil vagonları bugün daha çok fosforlu çelikten imal edilmektedir. Sulanmaya meyli sebebiyle bu madde, malzemenin homojenliğini geniş ölçüde bozar. Çeliği gevrek hale getirir ve soğukta dögülme kabiliyetini kısar. Sıcakta da tane kabalaşmasına götürür. Fosforlu çelikler krom ve bakır içeren bazik elektrodlarla mükemmelen kaynak edilebilirler.

Yukarda gördüklerimizin ışığı altında alaşım elementlerinin, basitleştirme bakımından sertlik ve süneklik olarak düşüneceğimiz mekanik özellikler üzerindeki etkilerini özetleyelim.

KATI ERİYİK SERTLEŞMESİ

Eritici metal içinde tamamen eriyebilen bir alaşım elementinden bir miktar ilâve ederek süneklikten çok az kayıp karşılığında hafif bir sertlik yükselmesi elde edilebilir. Ya ikame (yerine geçme) veya kristal sınırlarına sıkışmış (interstitial) tipinde katı eriyik halinde bu yabancı atomların varlığı, gerilmiş şebeke koşulu yaratıp bu da hafif bir sertlik yükselmesiyle sonuçlanır.

ÇÖKELME SERTLEŞMESİ

Bir-alaşım elementinin bir eritici metal içinde erime kabiliyeti, sıcaklık düşmesiyle azalır. Durum, sıcak suda eriyen tuza benzer: su soğudukça, sıcakken erimiş tuzun bir kısmı kristal halinde eriyikten ayrılır. Yani sıcakken, eriyikte mevcut tuz miktarı, suda azami erime kabiliyetinin üstünde bir miktardadır. Aynı olay uygun tipte bir alaşımda da vaki olabilir, yani katı eriyik soğudukça alaşım elementinin bir kısmı eriyikten ayrılıp kristalleşebilir. Çökeltme sertleşmesi arzedeleyen bir alaşımın tutumu, bazı ısıtma ve soğutma koşulları uygulanarak, değişir hale getirilebilir. Katı eriyik hızla soğutulursa (daldırma) erimiş metal eritici metal içinde kalabilir ve bu takdirde eriyik, fazla doymuş bir eriyik olarak mütalâa edilir. Bu fazla doymuş eriyikten hafif bir sertlik yükselmesi beklenir. Mamafih, eriyen metali (alaşım elementini) eritici metalin dışına ince zerreler halinde çökelmeye teşvik etmekle daha fazla bir sertlik artışı elde edilebilir. Zerrelerin kristalleşmesi, alaşımı oda sıcaklığında yaşlandırarak teşvik edilebilir. Bunun için de ya sıcaklığı, çökelmenin vaki olacağı bir dereceye çıkararak, veya fazla doymuşluk halinin daha şiddetli olduğu ve çökelmenin zorlandığı bir düşük sıcaklığa soğutma yoluna gidilir. Eğer çökeltme, yavaş soğuma esnasında normal olarak vaki olacağı sıcaklıktan daha aşağı bir sıcaklıkta hasıl edilebilirse, zerrelerin daha iyi bir dağılması elde edilir ve çökelmenin sertleştirici etkisi daha belirli olur.

DÖNÜŞME (TRANSFORMASYON) SERTLEŞMESİ

Bazı bakımlardan değişme sertleşmesi çökeltme sertleşmesine bağlıdır. Olayın mekanizması önce, bazı uygun sıcaklık düzeyinde kristalleşme şeklinde bir değişme hasıl edebilecek bir eritici metalin seçilmesiyle başlar. Sonra, yüksek sıcaklıkta kristalleşmiş şekilde önemli miktarda fakat alçak sıcaklık halinde sınırlı miktarda eriyebilen bir alaşım elementi ilâve edilir. Uygun miktarda eriyen elementten içeren bir alaşım, yüksek sıcaklıkta kristalleşmiş halin mevcut olduğu ve alaşım elementinin bir katı eriyik teşkil etmek üzere şebekeye dahil olduğu bir sıcaklık düzeyine ısıtılır. Alaşımın kristalleşme değişmesinin vaki olduğu noktaya soğutulmasında alaşım elementi sınırlı erime kabiliyetinin tüm etkisini anî olarak hisseder; anî olarak fazla doymuş bir katı eriyik haline gelmiştir ve böylece çökeltme vakî olur. Soğuma oranı genellikle, metal içinde çökelmiş zerrelerin iyi dağılmasını sağlayacak şekilde ayarlanabilir. Strüktür koşulu belirli bir sertlik artışı ve süneklik azalması şeklinde sonuçlanır.

Aşağıdaki tablo bazı elementlerin hangi yolla sertlik yükselmesi hasıl ettiklerini gösterir. Her gruptaki elementler, etkilerinin göreceli şiddetine göre sıralanmışlardır.

ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ÇELİĞİN MUKAVEMETİNİ ARTIRMA YOLLARI

A) KATI ERİYİK SERTLEŞMESİ

- 1 — Fosfor
- 2 — Silisyum
- 3 — Manganez

- 4 — Nikel
- 5 — Karbür teşkili için gerekli miktardan fazla krom
- 6 — Karbür teşkili için gerekli miktardan fazla molibden
- 7 — Karbür teşkili için gerekli miktardan fazla vanadium
- 8 — Karbür teşkili için gerekli miktardan fazla tungsten
- 9 — Bakır

B) TANE İNCELMESİ

- 1 — Vanadium
- 2 — Molibden

C) KARBÜR TABİATI VE ŞEKLİ

- 1 — Vanadium
- 2 — Krom
- 3 — Molibden
- 4 — Manganez
- 5 — Tungsten

D) KRİTİK ALANIN ÜSTÜNDEN SOĞUYARAK SERTLEŞEBİLME

- 1 — Karbon
- 2 — Manganez
- 3 — Krom
- 4 — Molibden
- 5 — Vanadium
- 6 — Tungsten
- 7 — Nikel
- 8 — Silisyum

E) ÇÖKELME SERTLEŞMESİ

- 1 — Bakır

Çeşitli alaşım elementlerinin ilâvesi artan mukavemet ve sertlikten başka etkiler de yapar. Elementlerin bazıları, kopma mukavemetini gereksiz şekilde yükseltmeden elastikiyet sınırını yükseltmede özellikle etkili olur. Bakır, fosfor, nikel ve silisyumun sair elementlerden daha çok, yüksek elâstik oran (elastikiyet haddi bölü kopma mukavemeti) temin ettikleri kaydedilmiştir. Artan mukavemetle azalan süneklik beraber gider. Mamafih alçak alaşımlı çelikler, belirli bir kopma mukavemeti için, saf karbonlu çeliklere göre daha yüksek süneklik arz ederler. Sadece karbon oranının yükseltilmesiyle elde edilen kopma mukavemeti artışı ciddi süneklik ve sıklık azalmasıyla sonuçlanabilir; zira sünek olmayan bir karbür bileşkeni olan Sementit miktarı o oranda artar.