

ALAŞIMLI ÇELİKLER

Alaşımlı çelikler

- Yüksek mukavemet, yüksek aşınma dayanımı, yüksek korozyon direnci ve yüksek sertlik gerektirmeyen uygulamalar için karbon çelikleri veya alaşımsız çelikler yaygın olarak kullanılır.
- Alaşımsız çeliklerin sertleşme kabiliyeti yeterli olmadığından üretilen parçaların mukavemetlerinin istenilen düzeye çıkartılması mümkün olmayabilir.
- Sertleştirilen çelikler genelde iç gerilimlerinin giderilmesi ve tokluğunun artırılması amacıyla menevişleme işlemine tabi tutulur.
- Menevişleme sıcaklığı arttıkça, sertleştirilen karbon çelinin sertliği büyük ölçüde azalır.
- Oda sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda yüksek sertlik ve mukavemet gerektiren uygulamalar için alaşımsız çeliklerden üretilen parçaların kullanımı uygun değildir.
- Alaşımsız çeliklerin kullanımını kısıtlayan etkenler alaşım elementi katkılarıyla ortadan kaldırılabilir.
- Alaşımlı çeliklerin karakteristik özellikleri içerdikleri karbon oranı ondan çok, alaşım elementlerine bağlıdır.
- Karbon çelikleri, düşük oranlarda mangan($\leq 0,90$) ve silis($\leq 0,30$) içermesine karşın, bunlar alaşımlı çelik kabul edilemezler. Çünkü; Mn ve Si katkıları çelik üretiminde deoksidasyon maddesi olarak kullanılır. Bu katkılar, oksijen kükürt ile birleşerek, yani oluşturarak bu elementlerin zararlı etkilerini giderirler.

8.2 Alaşımlamanın Amacı

Çeliklere alaşım elementi katılmasının belli başlı amaçları; **a)** sertleşme kabiliyetini iyileştirmek, **b)** sertlik ve mukavemeti artırmak, **c)** mekanik özellikleri iyileştirmek, **d)** tokluğu artırmak, **e)** aşınma direncini artırmak, **f)** korozyon direncini artırmak ve **g)** manyetik özellikleri iyileştirmek şeklinde sıralanabilir.

Alaşım elementleri, tavlanmış durumdaki çeliğin yapısındaki dağılımlarına göre iki gruba ayrılır. Birinci grup ferrit içerisinde çözünen elementlerden, ikinci grup ise karbonla birleşerek karbür yapan elementlerden oluşur.

8.3 Alaşım Elementlerinin Çeliklerin Yapı ve Özelliklerine Etkisi

8.3.1 Alaşım Elementlerinin Ferrite Etkisi

Teknik olarak, bütün alaşım elementleri ferrit içerisinde az da olsa bir miktar çözünürler, ancak bazı elementler karbür oluşturmazlar. Nikel, alüminyum, silisyum, bakır ve kobalt gibi elementler ferrit içerisinde yüksek oranlarda çözünürler. Karbonun olmaması durumunda, ikinci grup elementler ferrit içerisinde önemli ölçüde çözünebilirler. Karbürün oluşması için çelikte yeterli oranda karbon bulunması gerekir. Alaşım elementlerinin çelik içerisindeki davranışı Tablo 8.1'de görülmektedir. Grupların ikisinde de yer alan elementler hem ferrit içerisinde çözünme, hem de karbür oluşturma özelliğine sahiptirler.

Alaşımlamanın amacı:

Alaşım elementlerinin çeliğe ilave edilmesinin birkaç sebebi şöyle özetlenebilir;

- Sertleşebilirliğin artırılması
- Mukavemetin artırılması
- Yüksek veya düşük sıcaklıklarda mekanik özelliklerin artırılması
- Düşük sertlik veya mukavemete sahip yapıların tokluklarının artırılmasında
- Aşınma direncinin artırılması
- Korozyon direncinin artırılması Manyetik özelliklerin artırılması

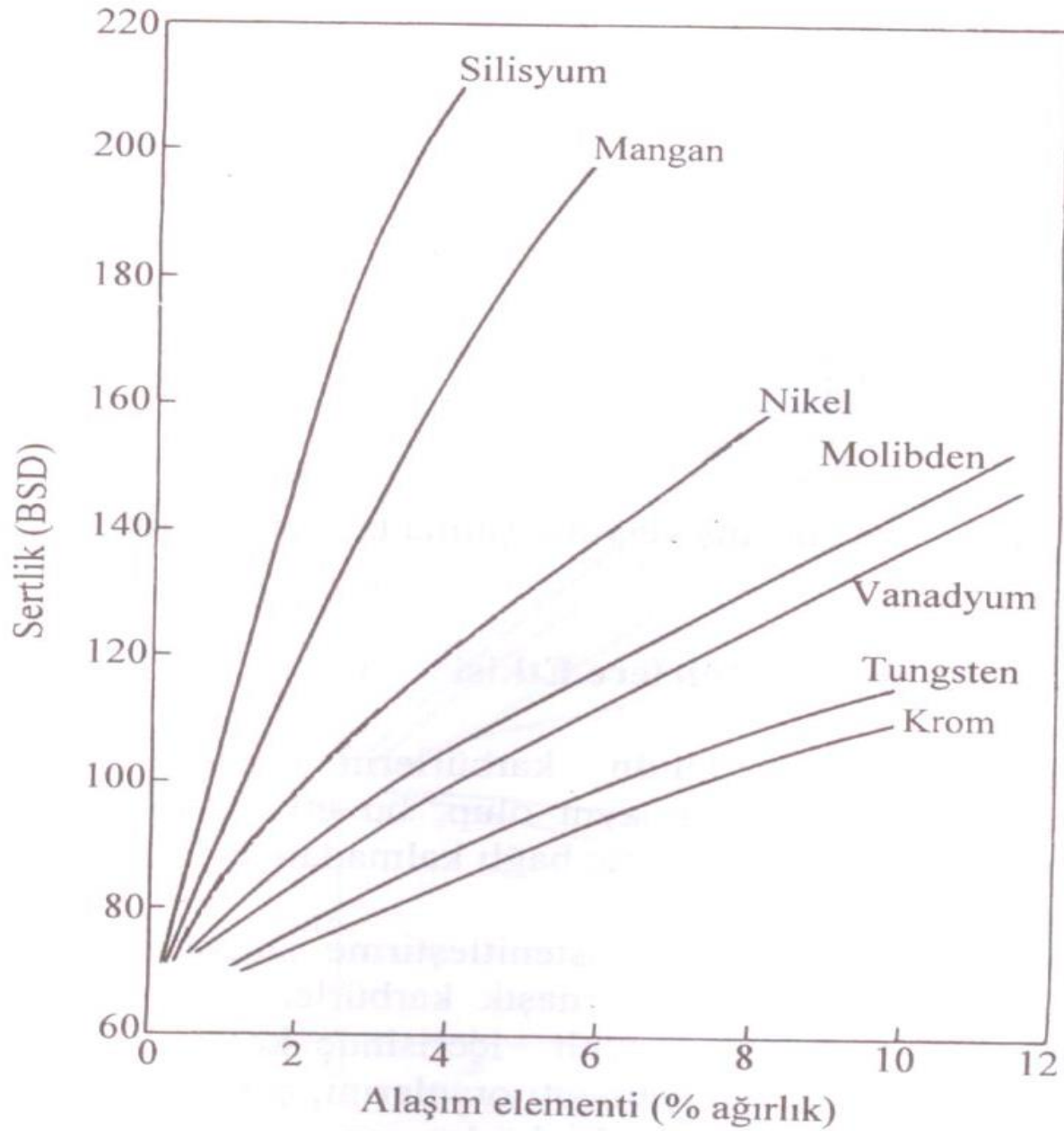
Alaşım elementleri, çelik içerisindeki dağılımlarına göre iki guruba ayrılabilirler

1. *Grup*: Ferit içerisinde çözünebilen elementler
2. *Gurup*: Karbon ile birleşip basit veya kompleks karbür teşekkül ettiren elementler

Tablo 8.1 Alaşım elementlerinin tavlanmış çelik içerisindeki davranışı

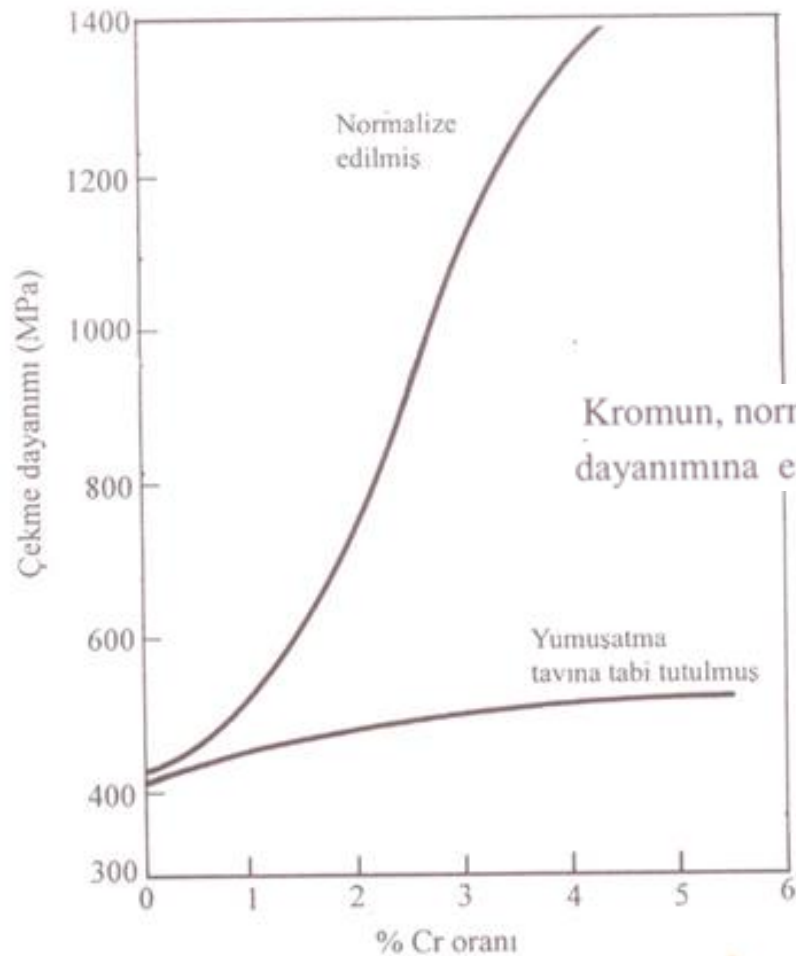
Alaşım elementi	Birinci grup elementler (ferrit içerisinde çözünen elementler)	İkinci grup elementler (karbür yapıcı elementler)
Nikel	Ni	
Silisyum	Si	
Alüminyum	Al	
Bakır	Cu	
Mangan	Mn	Mn
Krom	Cr	Cr
Tungsten	W	W
Molibden	Mo	Mo
Vanadyum	V	V
Titan	Ti	Ti

Ferrit içerisinde çözünen herhangi bir element, katı çözelti sertleşmesi ilkelerine uygun olarak ferritin sertlik ve mukavemetini artırır. Demirin mukavemetini artırma etkisi bakımından alaşım elementleri krom, tungsten, vanadyum, molibden, nikel, mangan ve silisyum sırasını izler. Bu alaşım elementlerinin çeliğin sertliğine etkileri Şekil 8.1'deki diyagramda görülmektedir.

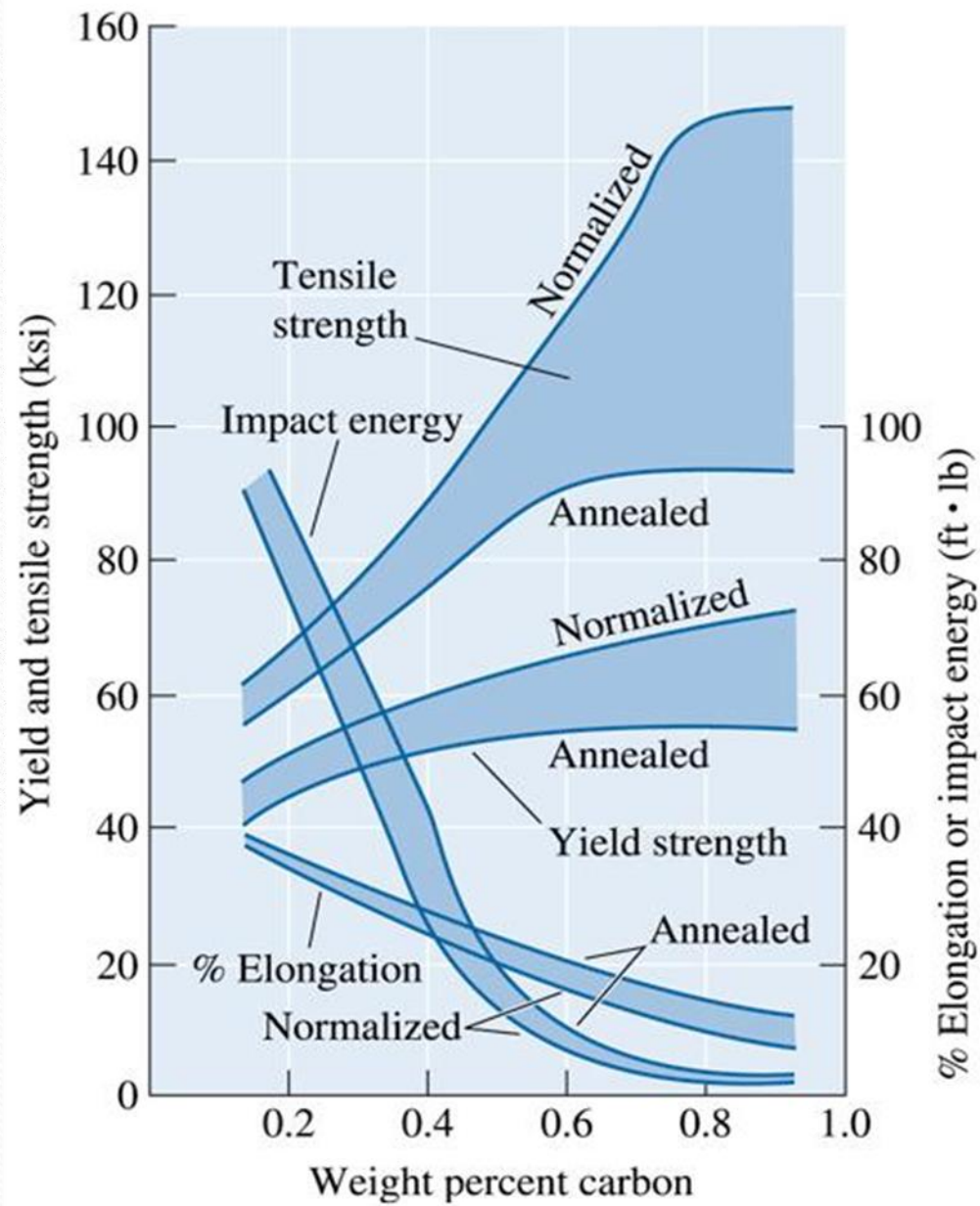


Şekil 8.1 Ferrit içerisinde çözünen elementlerin çeliğin sertliğine etkileri

Ferrit içerisinde çözünen elementlerin çeliğin sertliğine etkileri gerçekte fazla değildir, ancak ferritin mukavemetinin artırılması çeliğin genel mukavemetini etkilemektedir. Bu durum, krom içeren düşük karbonlu çelikler için Şekil 8.2’de verilen diyagramda görülmektedir. Bu diyagram kromun, normalize edilmiş ve yumuşatma tavlı görmüş durumda bulunan çeliğin çekme dayanımına etkisini göstermektedir. Diyagramın üstteki eğrisi, kromun havada soğutulan çeliklerin çekme dayanımına önemli ölçüde etkilediğini gösterirken, alttaki eğrisi kromun kararlı yapıya sahip çeliklerin çekme dayanımına etkisinin önemli olmadığını sergilemektedir.



Kromun, normalize edilmiş ve yumuşatma tavlama tabi tutulmuş çeliğin çekme dayanımına etkisi



Ferit İçerisinde Alaşım Elementlerinin Etkisi:

- Teknik olarak ferrit fazı içerisinde tüm elementlerin biraz çözünürlüğü mümkündür. Ancak karbür fazı içerisinde bazı elementler bulunmazlar. Bu sebeptedir ki Nikel alüminyum, silis, bakır ve kobalt elementleri geniş çapta ferrit fazı içerisinde çözünebilirler.
- Karbon elementinin yokluğunda 2.grup elementler ferrit fazı içerisinde çözünürler. Bu sebeptedir ki Karbür oluşumu ancak yapı içerisinde belli oranda karbon bulunduğu zaman söz konusu olabilir.
- Ferrit içerisinde çözünen elementler yapının sertliğini artırır ve mukavemeti katı çözünürlük kuralları doğrultusunda artırabilirler. Demir içerisinde mukavemeti artıran elementlerin etkinlikleri sırasıyla, Cr-W-V-Mo-Ni-Mn-Si olarak sıralanabilir. Çözünen elementlerin ferritin mukavemetini artırma miktarları gerçekte çok azdır.

8.3.2 Alaşım Elementlerinin Karbürlere Etkisi

Çelik içerisinde bulunan bütün karbürlerin çeliğın oda sıcaklığındaki mukavemetine etkileri hemen hemen aynı olup, bu etkiler kimyasal bileşime bağlı değildir. Yani, karbürler kimyasal bileşime bağlı kalmadan, çeliklerin oda sıcaklığındaki mukavemetini benzer şekilde etkilerler.

Karbür yapıcı elementler, çeliğın ostenitleştirme sıcaklığı ve tavlama süresini etkilerler. Kolay kolay çözünmeyen karmaşık karbürler, ostenit fazı içerisinde katı çözeltinin dışında bulunurlar. Yani ostenit içerisinde kolayca çözünmezler. Bu tür karbürler ostenitin karbon ve alaşım elementi oranlarını, çeliğın kimyasal bileşimindeki oranların altına düşürürler. Çözünmeyen karbürler, ayrıca tane büyümesini önlerler. Bu

nedenlerden dolayı karbürler, çeliklerin sertleşme yeteneğini olumsuz etkilerler. Karbürlerin ostenit içerisinde çözünmesi durumunda ise, karbür yapıcı elementler çeliğın sertleşme yeteneğini çok daha fazla etkilerler, yani çeliğın daha fazla sertleşmesini sağlarlar.

Çelik içerisinde bulunan bütün karbürler sert ve gevrek bileşiklerdir, ancak yüksek sertlik ve yüksek aşınma direncinin söz konusu olduğu durumlarda krom ve vanadyum karbürleri büyük önem taşırlar. Yüksek oranda karbür içeren alaşımlı çeliklerin sertlik ve aşınma dirençleri içerdikleri karbürlerin oranına, büyüklüğüne ve dağılımına bağlıdır. Bu faktörler de çeliğın kimyasal bileşimine, üretim yöntemine ve uygulanan ısıl işleme göre değişir.

8.3.3 Alaşım Elementlerinin Demir-Sementit Denge Diyagramına Etkisi

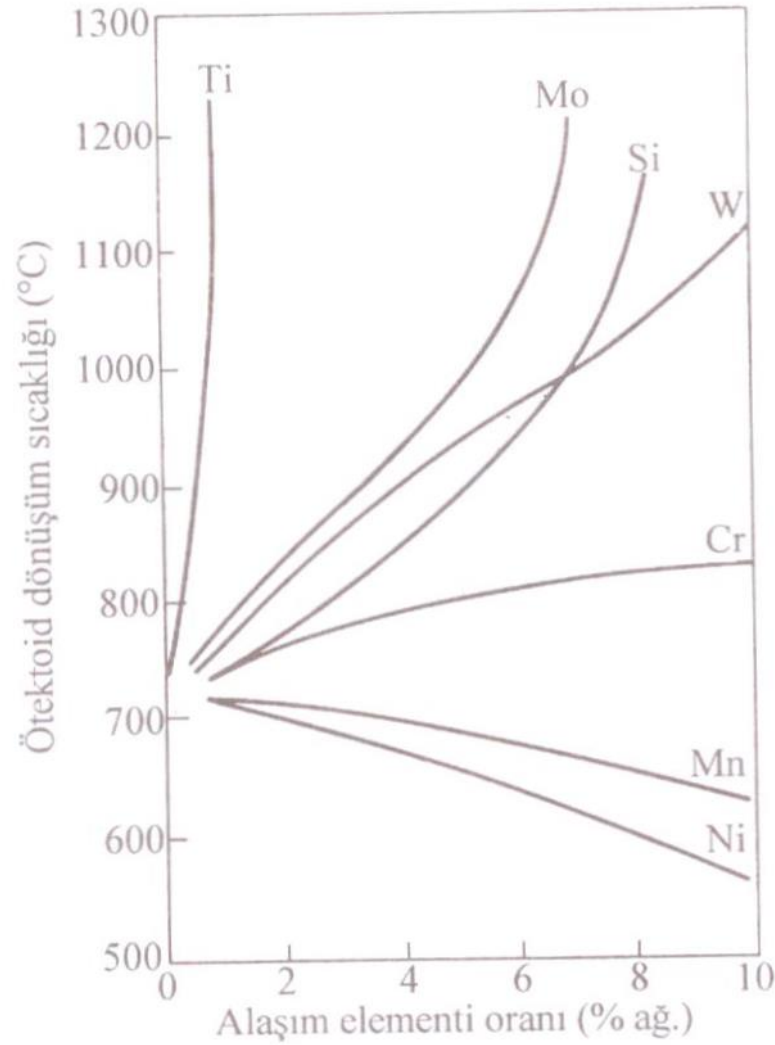
Alaşımsız çeliğe üçüncü bir element katıldığında, ikili demir-sementit faz diyagramı denge durumu için geçerli olmaz. Üçlü denge diyagramlarının belirlenmesi ve yorumlanması bu kitabın kapsamı dışında olmakla birlikte, alaşım elementleri ikili Fe-Fe₃C denge diyagramında belirtilen kritik sıcaklıkları, ötektoid noktanın konumunu ve bazı faz bölgelerinin (α ve γ) sınırlarını değiştirirler.

Isıtma sırasında nikel ve mangan A_{c1} sıcaklığını düşürürken, molibden, alüminyum, silisyum, tungsten ve vanadyum bu sıcaklık değerini yükseltir. Alaşım elementlerinin A_{c1} sıcaklık çizgisine etkileri, alaşımlı çeliklerin ısıl işleminin bakımından önem taşımaktadır. A_{c1} sıcaklığının düşmesi veya yükselmesi, çeliğin su verme sıcaklığının değişmesine neden olur. Alaşım elementlerinin ötektoid dönüşüm sıcaklığına etkisi şekil 8.3'de görölmektedir.

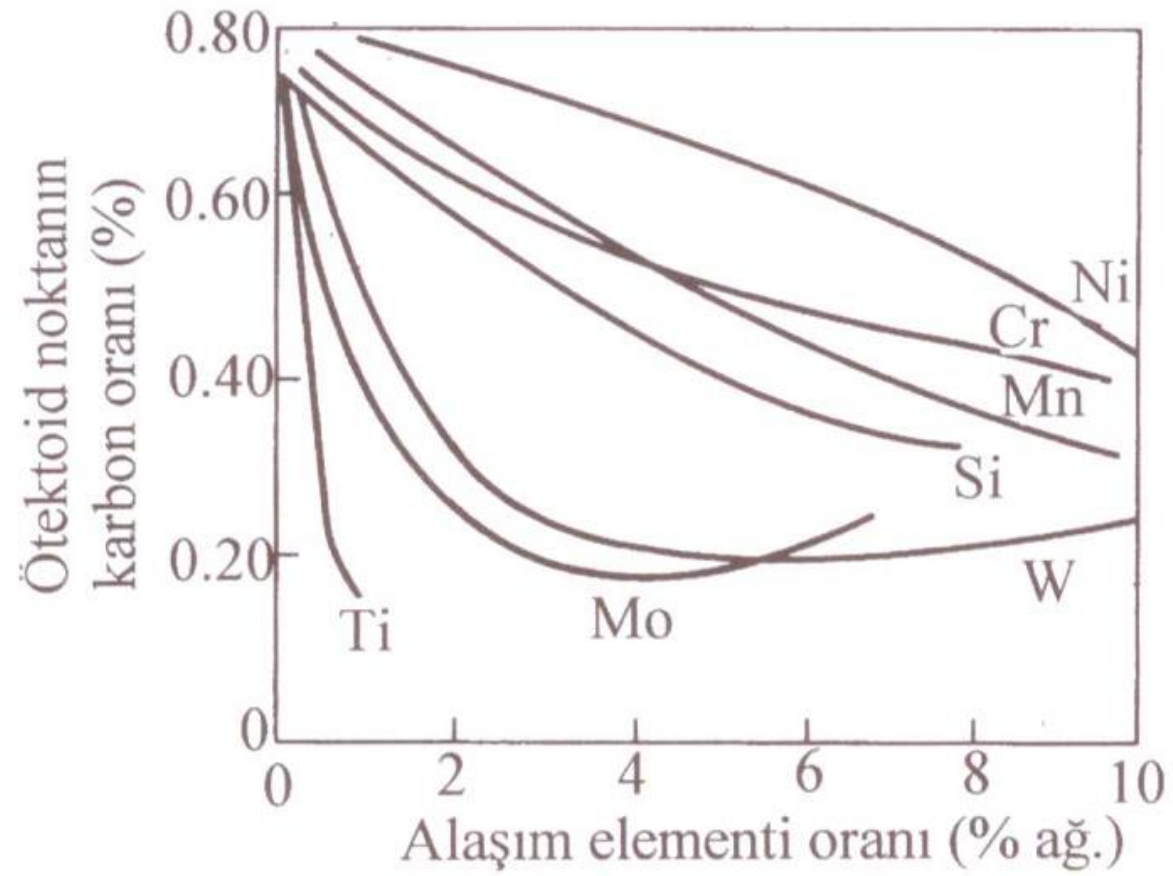
Karbür İçerisinde Alaşım Elementlerinin Etkisi:

- Karbür oluşturan elementlerin yapı içerisinde mevcudiyetleri sertleşme sıcaklığını ve katılaşma süresini etkiler. Kompleks karbürler çok yavaş çözünürler ve östenit içerisinde çözünmeden kalabilirler. Bu durum alaşımda östenit fazı içerisinde karbon miktarının ve alaşım elementinin miktarının düşmesine sebep olur. Çözünmeyen karbürler tane büyümesi oranında düşmesine sebep olurlar. Bu iki etki de sertleşebilirliği düşürürler.
- Çelikte görülen bütün karbürler sert, kırılgan bileşikler olmasına rağmen, krom ve vanadyum karbürleri sertlik ve aşınma direncini artırmada kullanılırlar.
- Karbürce zengin çelik yapılarda, alaşımın sertlik ve aşınma direnci bu karbürlerin ebatları, dağılımları ve miktarlarının oranıyla tespit edilir. Bu faktörler kimyasal kompozisyon, üretim metodu ve ısıtım işlem yöntemleri ile kontrol edilir.

Bütün alaşım elementleri Fe-Fe₃C denge diyagramındaki ötektoid noktanın karbon oranını azaltır, ancak yalnız nikel ve mangan katkısı ötektoid dönüşüm sıcaklığını düşürür. Yüksek oranlardaki nikel ve mangan katkısı Ac₁ sıcaklığını düşürerek, yavaş soğuma sırasında ostenitin dönüşümünü önleyebilir. Bu nedenle, nikel ve mangana osteniti dengeleyici veya stabilize edici elementler adı verilir. Bu elementler sayesinde ostenit fazı oda sıcaklığında tutulabilir. Nitekim, ostenitik paslanmaz çeliklerde bu durum görölmektedir. Alaşım elementlerinin ötektoid noktanın karbon oranına etkisi şekil 8.4'de görölmektedir. Molibden, krom, silisyum ve titan gibi alaşım elementleri ostenit bölgesini daraltarak α ve δ fazlarına ait bölgeleri genişletirler.



Şekil 8.3 Çeşitli alaşımlı elementlerinin ötektoid dönüşüm sıcaklığına etkileri



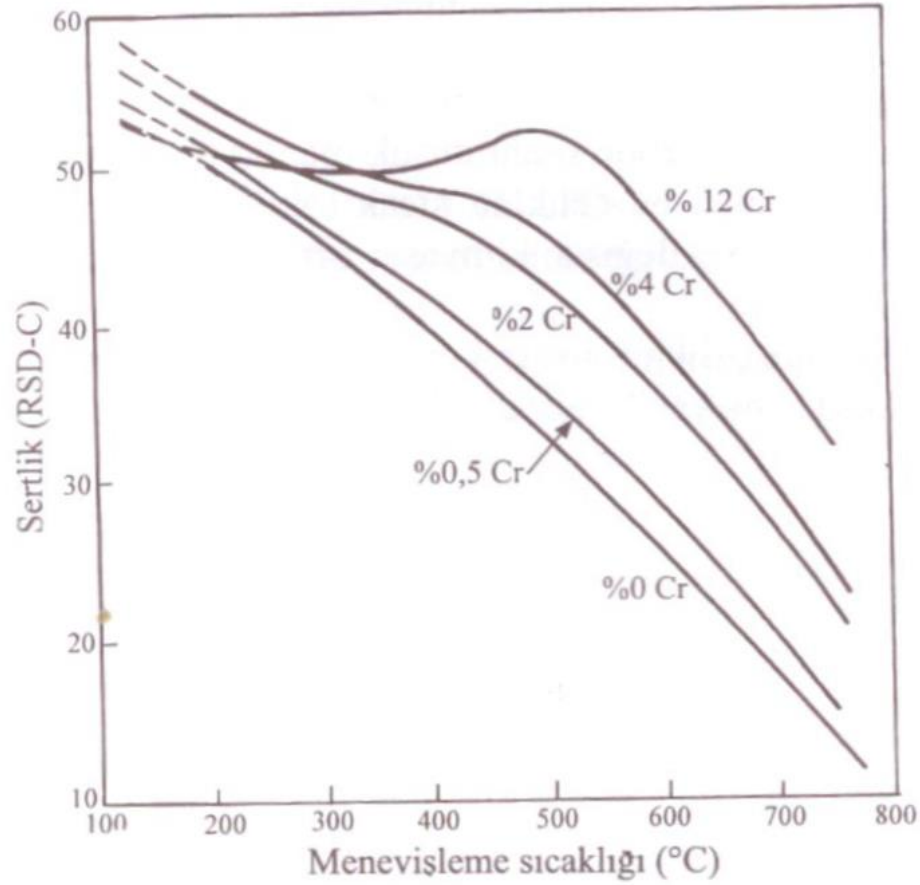
şekil 8.4 Alaşım elementlerinin ötektoid noktanın karbon oranına etkileri

Demir-Demirkarbür Diyagramında Alaşım Elementlerinin Etkisi

- Bu diyagramda Fe ve C elementlerinin oluşturduğu faz diyagramı görülür. Bu iki elementten başka bir elementin yapı içerisine ilavesi ile bu diyagramda görülen denge hali değişir. Yani ötektoid noktanın yeri, alfa ve gama fazlarının alanları değişir.
- Ni ve Mn elementleri kritik sıcaklığı düşürmeye meylederler. Diğer taraftan Mo, Al, Si, W ve V elementleri kritik sıcaklığı artırır. Kritik sıcaklığın değişimi ısıtma işlemi esnasında önemlidir. Çünkü alaşım elementi ilavesi sertleşme sıcaklığının düşürecek veya artıracaktır.
- Bütün alaşım elementleri, ötektoid noktadaki karbon miktarını düşürmeye meylederler, fakat nikel ile mangan ötektoid sıcaklığını düşürürler. Ni ve Mn miktarındaki artış kritik sıcaklığı yeterince düşürerek östenit fazının dönüşümünü yavaş soğutmalarda bile sağlayabilirler. Bu elementler östenit deneyeleyici elementler olarak adlandırılırlar. Bu sebeptendir ki östenit fazını oda sıcaklığında elde edebiliriz. Bu hadise özellikle östenitik paslanmaz çeliklerde gerçekleşir.
- Bazı alaşım elementleri, özellikle Mo, Cr, Si, ve Ti elementlerinin miktarı arttıkça saf östenit fazı alanı daralır ve ferrit fazı alanı artar.

8.3.4 Alaşım Elementlerinin Menevişleme İşlemine Etkisi

Bir nceki bölümde belirtildiği gibi, su verilerek sertleştirilen çelikler gevrek oldukları için menevişleme işlemine tabi tutulur. Bu işlem sonucunda çeliklerin tokluğu artar, ancak sertliği bir miktar azalır. Menevişleme sıcaklığı arttıkça, çeliğin sertliği düşer. Alaşım elementleri ise menevişleme sırasında çeliğin yumuşama hızını düşürürler. Bu nedenle, istenilen sertliğin elde edilmesi için alaşımlı çeliklerin menevişleme sıcaklığının yükseltilmesi gerekir. Ferrit içerisinde çözünen nikel, silisyum ve mangan gibi elementler menevişlenmiş çeliğin sertliğini fazla etkilemezler. Karmaşık karbür oluşturan krom, tungsten, molibden ve vanadyum gibi elementler ise menevişleme sırasında çeliğin yumuşama hızını önemli ölçüde düşürürler. Bu elementler, menevişleme sıcaklığını yükseltmekten başka, bileşim oranlarının yüksek olması durumunda artan menevişleme sıcaklığı ile sertliğin artmasına neden olurlar. Yani, yüksek oranda karbür yapıcı alaşım elementi içeren çeliklerin sertliği, yüksek sıcaklıklarda yapılan menevişleme işleminin belirli devrelerinde artar. Karbür yapıcı element içeren alaşımlı çeliklerin sertliğinde görülen bu artışa ikincil sertleşme adı verilir. Söz konusu sertleşmenin, ince ϵ karbürlerinin çökelmesinin gecikmesinden kaynaklandığı ileri sürülmektedir. Krom oranının menevişleme sırasındaki sertlik değişimine etkisi şekil 8.5'deki eğrilerden grlmektedir.



Şekil 8.5 Kromun, % 0,35 C içeren çeliğin sertliğinin menevişleme sıcaklığına göre değişimini gösteren eğrilere etkisi

ALAŞIM ELEMENTLERİNİN TEMPER İŞLEMİNDEKİ ETKİLERİ

- Sertleştirilmiş çeliklerin yeniden ısıtılmaları neticesinde malzeme yumuşar. Temper denilen malzemenin ısıtılması işleminde sıcaklığın artırılması ile sertlik sürekli azalır.
- Alaşım elementlerinin genel etkisi malzemenin yumuşama oranının düşürmesidir. Bu sebeptendir ki alaşımlı çelikler belirli bir sertliğe ulaşmak için uygulanan ısıl işlem esnasında daha yüksek temper sıcaklığına ihtiyaç duyarlar.
- Ferit fazı içerisinde çözünen elementler (Ni, Si, Mn) temperlenmiş çeliklerin sertliklerinin değişimi üzerine çok az bir etkiye haizlerdir.
- Kompleks karbür oluşturunca elementler (Cr, W, Mo, ve V) malzemenin yumuşamasının engellenmesi üzerinde önemli derecede etkiye sahiptirler. Ayrıca bu elementler sadece yapının temper sıcaklığının artırmadıkları gibi, sıcaklığın artışı ile birlikte bir miktar sertlik artışını da sağlayabilirler. Bu tür sertlik artışı ikincil sertlik olarak ta adlandırılır. Bu olayın temelinde ise küçük alaşım karbürlerinin çökmesi yatmaktadır.

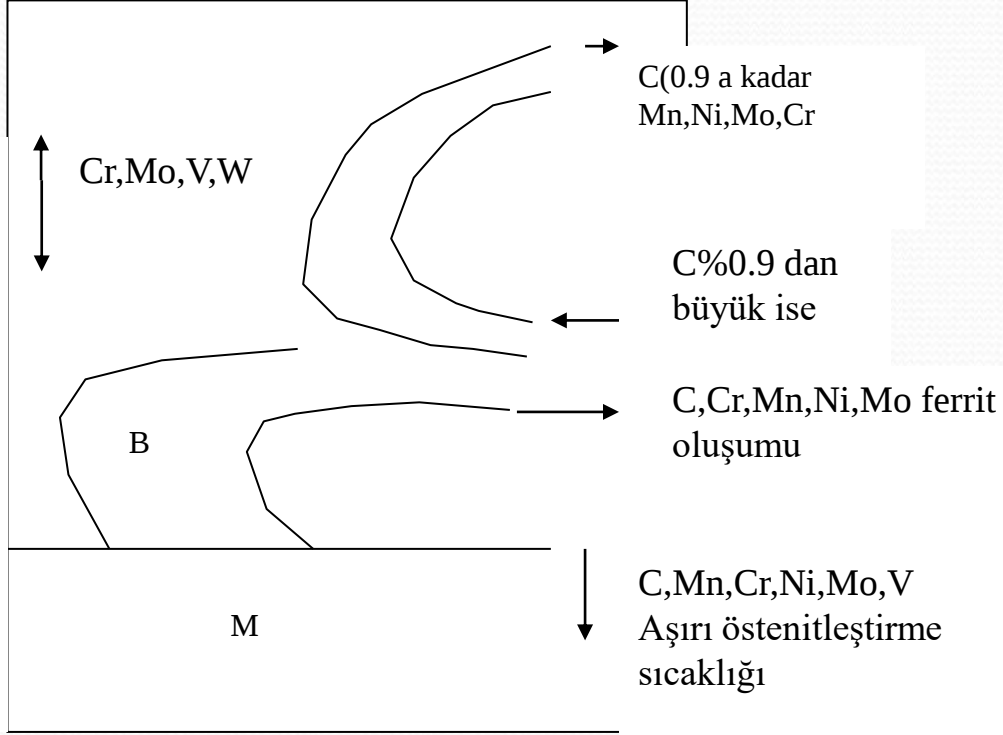
Alaşım elementi	Gurup 1 (Ferit içinde çözünmüş)		Gurup 2 (karbürle birleşmiş)
Ni	X		
Si	X		
Al	X		
Cu	X		
Mn	X	←	X
Cr	X	←	X
W	X	↔	X
Mo	X	↔	X
V	X	→	X
Ti	X	→	X

Alaşım elementlerinin zaman sıcaklık dönüşüm eğrisine etkisi

a) *Östenitleştirme Yapılmış Çeliğin Soğutulmasında Yapı Dönüşümleri*

- Çeliğin östenitik sahadan soğutulmasında meydana gelebilecek yapılar, zaman-sıcaklık-dönüşüm (ZSD) diyagramları ile kolaylıkla açıklanabilir.
- Yaygın olarak bu diyagramlarda hangi dönüşümlerin hangi zaman içerisinde olduğu izlenebilir.
- Soğuma koşulları, sürekli sıcaklık düşmesi ya da belirli bir ara sıcaklıkta sabit (izotermik) tuttuktan sonra soğutma tarzlarında olabileceğinden, sürekli (ZSD (SZSD) ve izotermik ZSD (İZSD) olmak üzere iki tür diyagram mevcuttur. İngilizce olan literatürlerde her iki dönüşüm için TTT ve CCT kısaltmaları kullanılmaktadır.

Sıcaklık



Zaman

Co,Al

- Östenitleştirme sıcaklığına ısıtılmış yaklaşık ötektoid bileşimli çeliğin soğutulmasında elde edilen İZSD ve SZSD diyagramlarında aşırı soğutulmuş östenitin üst bölgelerde dönüşüm seyrinin C formunda olduğu görülür. Aynı zamanda denge sıcaklığı olan ötektoid A_1 sıcaklığının hemen altında çekirdek teşekkülü için enerji seviyesinin yüksek olması ve pek az aşırı soğuma nedeniyle dönüşüm oldukça gecikmelidir.
- Yükselen aşırı soğuma ile birlikte tane teşekkülü başlangıçlı bir maksimum değere kadar çabuklaşır. Bu noktanın altında , aşırı soğumanın daha da artmasıyla çekirdek teşekkülü ve dönüşüm hızında tekrar artma olur.
- Bu sahada difizyonla dönüşüm kolaylaşmaktadır. Sıcaklığın daha da düşmesiyle difizyon kabiliyeti giderek azalacağından dönüşüm başlangıçlı eğrisinde geriye dönüş olur.

b) İzotermik Zaman Sıcaklık Dönüşüm Diyagramları (IZSD)

- İzotermik dönüşümlerde çelik östenitleştirme sıcaklığından belli bir sıcaklıktaki sıcak banyoya ani soğutulur. Banyo sıcaklığına kadar olan sürekli soğumada herhangi bir dönüşüm olmaz. Önceden belirlenen bu sıcaklıkta bekletilen çelikte, belirli bir süre sonra dönüşüm başlar ve belirli bir süre sonra da dönüşüm sona erer. Bu tarz dönüşümler, yalnızca sıcak banyoda sertleştirme amacıyla değil, perlit kademsinde de gerçekleştirilebilir.

c) Alaşım Elementlerinin Yapıya Dolayısıyla Dönüşüm Şekline Etkileri

- Elementlerin çeliğin yağısında tek elementli faz, katı çözelti ve intermetalik bağlantı durumunda bulunması, malzemenin özelliklerini çok farklı şekilde etkiler.
- Tek elementli fazlar, yalnızca kurşun ve bakırdan kaynaklanabilir. Bu fazların oluşturabileceği olumlu etkiler sınırlı olduğundan her iki metal de alaşım elementleri arasında önemli bir yer işgal etmezler. Buna karşın, Cr, Al, Ti, Ta, Si, Mo, V, W, C, Co, Ni, Mn, N elementleri katı çözelti veya intermetalik bağlantı meydana getirerek geniş ölçüde özellik değişimine yol açabildikleri gibi çeliklerin alaşımlandırmasında da önemli yer taşırlar.

- Alaşım elementlerinin demir ile katı çözelti oluşturmaları, atom çaplarının oranı ile kristal yapılarına bağlıdır. Bunlardan Cr, Al, Ti, Ta, Si, Mo, V, W öncelikle α -(ferrit) demirinde çözündüklerinden dolayı ferrit yapıcılar, C, Co, Ni, Mn, N ise benzer nedenle γ (östenit) yapıcılar olarak adlandırılır.
- İntermetalik bağlantılar, en az iki alaşım elementinin atomları arasında çok büyük çekme kuvvetlerinin bulunması sonucu ortaya çıkarlar. Bileşimlerinden farklı ve karmaşık bir kristal yapıya sahip olup, genellikle çok sert ve gevrekler.
- Çeliklerde özellikleri iyileştiren en önemli intermetalik bağlantılar karbür ve nitrürler ile hem “N ve hem de C” içeren karbonitrürlerdir.
- Önemli karbür yapıcı elementler ve bu elementlerin karbür yapma eğilimleri aşağıdaki sıraya göre artar: Mn, Cr, Mo, W, Ta, V, Nb, Zr, Hf, Ti

- Zayıf karbür yapıcılar olan Mn ve Cr demirkarbürde (Fe_3C) çözünerek karışık karbürler, $(\text{Fe,Cr})_3\text{C}$, $(\text{Fe,Mn})_3\text{C}$ ortorombik M_3C karbürleri teşekkül ettirirler. Bu karbürler 650°C sıcaklıkta çözünmeye başlarlar. Kromun demirle yaptığı M_7C_3 , M_{23}C_6 karbürleri hegzagonal ve kübik yapıdadır. Daha kararlıdır. Buna karşılık ortorombik olan M_2C (W_2C , Ta_2C) ve kübik yapılı olan MC (TaC , NbC , VC , TiC , ZrC , HfC) karbürleri çok yüksek sıcaklıklara kadar kararlılıklarını muhafaza ederler.
- En Önemli nitrürü yapıcılar Al, Mo, W, Ta, Cr, Zr, Nb, Ti, V, B elementleridir. Bunların oluşturduğu nitrürlerden kübik yapılı olanlar oldukça kararlıdır.

d) *Alaşım elementlerini sertleşme derinliğine etkileri:*

- Alaşım elementleri karbonun α ve γ fazları içindeki difizyon hızını düşürürler. Böylece ara kademe yapısı olana beynit fazının meydana gelmesi veya kritik soğuma hızının azalmasıyla sertleşme derinliğinin artması , sertleştirilmiş parçaların mekanik özelliklerini iyileştirir.
- Alaşım elementleri Demir-Karbon denge diyagramının dönüşüm eğrilerinin sıcaklık ve bileşimlerini değişime uğratırlar. Değişim miktarı alaşım elementlerinin cins ve miktarına göre farklılık arz eder.
- Co dışında tüm elementler S ve E noktalarını daima sola, yani daha düşük karbon miktarına kaydırırlar. Bu sebeple ıslah çeliklerinde östenitleştirme sıcaklığı azalır, sertleştirilmiş yapıda yumuşak ferrit tanelerinin bulunma tehlikesi azalmış olur.

- Östenit yapıcılar, A_3 noktasını düşürür. A_4 noktasını yükseltirler. Böylece, östenitin kararlı olduğu alan genişleyerek belirli bir alaşım oranından sonra oda sıcaklığına ulaşır. Bu durumu yaratan östenitik çeliklerin korozyona dayanıklılık açısından teknik önemleri çok fazladır. Anılan malzemelerde dönüşüm söz konusu olduğundan, normal tavlama ve dönüşüm sertleştirilmesi yapılmaz. Bu tür alaşım elemanlarının γ -katı çözeltileri içerisinde çözülebilirliği ara bir faz ile sınırlanmaz ise bu sistemlere γ sahası açık sistem adı verilir.
- Genellikle alaşım elemanlarının γ katı çökeltileri içerisinde çözülebilirliği sınırlıdır ve yalnızca γ sahasını genişleten sistem mevcuttur. Bu tür sistemlerde bir ötektik ille oluşur. Düşen sıcaklık ile birlikte alaşım elemanlarının γ katı çökeltileri içerisinde çözülebilirliğinin azalması A_3 hattına bağlı olarak bir ötektoid nokta ile sınırlıdır.

- Ferrit yapıcılar A3 noktasını yükseltir. A4 noktasının düşürürler. Bunun anlamı şudur: Bu alaşım elemanlarının çözülebilirliği, hacim merkezli kafeste, yüzey merkezli kafese nazaran daha fazladır. Bu tür denge sistemlerine, γ sahasını daraltan sistem denir. Hacim merkezli kafeste çözülebilirlik yeterli derecede büyük ise, katı çözelti sistemle sınırlandırılmış kapalı γ -sahası teşekkül edecektir. Sonuçta dönüşüm gerektirmeyen korozyona dayanıklı ferritik çelikler ortaya çıkar. Bu çeliklerde de normal tavlama ve dönüşüm sertleştirilmesi yapılamaz. Eğer sınırlama heterojen bir denge sahası il olursa, alaşım elemanının γ -katı çözelti sahasındaki çözülebilirliği belirli bir değerde sona erer.
- Karbonun γ ve α katı çözeltilerindeki difizyon hızı, alaşım elementlerinin artması ile önemli ölçüde azalır. Bu sebeptir ki faz dönüşümleri alaşımsız çeliklere göre daha yavaş gelişir.
- Alaşım elementlerinin östenitin soğutulmasındaki dönüşüm etkisi, zaman-sıcaklık-dönüşüm (ZSD) diyagramlarında takip edilebilir. Alaşım elementleri perlit ve beynit kademelerindeki dönüşümleri genellikle daha uzun sürelerle kaydırırlar. Yani kararsız östenitin dönüşüm eğilimini azaltırlar. Bu durum alaşımlı çeliklerde kritik soğuma hızının düşmesiyle, daha düşük soğutma hızlarında da martenzit teşekkül etmesini sağlar.

- Alaşımsız çeliklerde dönüşümün en hızlı başladığı “burun” bölgesindeki perlit ve beynit alanları , yaklaşık aynı soğutma eğrisi üzerinde ve birbirini izler biçimde bulunurlar. Böylece, beynitin sürekli soğuma ile elde edilmesi güçleşir.
- Karışık ve özel karbürlerin segregasyonu için karbonun yanında difizyon yapması gereken alaşım elementleri, öncelikle perlit oluşumunu daha yüksek sıcaklıklara ve uzun sürelerle kaydırırlar. Yani beynit burnu ayrılarak öne çıkar. Dolayısıyla alaşımlı çeliklerde sürekli soğutmada da önemli miktarda beynit elde edilebilir. Karbür yapıcı elementlerin daha fazla miktarlarda bulunması halinde ise perlit ve beynit kademeleri arasında dönüşüm olmadığı bir sıcaklık aralığı ortaya çıkar.
- Alaşım elemanlarının perlit ve beynit dönüşüm başlangıcını geciktirmeleri daha düşük soğuma hızlarında da martenzit oluşumuna imkan sağlar. Yani çelikte üst soğuma hızı azalır. Bundan dolayı, daha düşük soğuma gücü olan ortamlarda ani soğutmalarda da martenzitik yapı ve daha fazla sertleşme derinliği elde edilebilir.

8.4 Alaşımlı Çelik Türleri

Günümüzde çok çeşitli alaşımlı çelik üretilip, kullanılmaktadır. Ancak, burada bunlardan yalnız paslanmaz çelikler, rulman çelikleri ve takım çelikleri kısaca anlatılmaktadır.

8.4.1 Paslanmaz Çelikler

Yüksek alaşımlı çelik grubuna giren paslanmaz çelikler, yüksek oranlarda krom ve nikel içerirler. Bu çelikler hem korozyona, hem de ısıya dayanıklıdırlar. Paslanmaz çeliklerin yüksek korozyon direnci, yüzeylerinde oluşan ince ve kararlı krom oksit ya da nikel oksit filminden kaynaklanır.

Paslanmaz çelikler, yüksek oranlarda krom içerdiklerinden, üçlü Fe-Cr-C alaşım sisteminde yer alırlar. Paslanmaz çeliklerin ısı işlem özellikleri kimyasal bileşime bağlıdır. Genelde paslanmaz çelikler; martenzitik, ferritik ve ostenitik paslanmaz çelikler olmak üzere üç gruba ayrılırlar.

- Paslanmaz çelikler korozyon direnci ve ısı direnci uygulamalarında kullanılan malzemeler olarak bilinirler. Bu tür malzemelerin sayısal sistemle ifadeleri 3 ana rakam ile özetlenmiştir.
- Son iki rakam özel bir öneme haiz değil iken ilk rakam malzemenin hangi guruba dahil olduğunu belirtmektedir.
- Bu tür yapıdaki malzemelerde korozyon direnci, yüzeyde teşekkül eden çok ince, yapışkan ve kararlı olan krom oksit veya nikel oksit film tabakasının çelik yüzeyini aşındırıcı ve oksitleyici ortamdan koruması özelliğinden kaynaklanmaktadır.
- Bu özellik düşük kromlu yapı çeliklerinde görülmez, ancak krom oranının %10 konsantrasyonunun geçmesiyle ortaya çıkar.

Tablo 2. Paslanmaz çeliklerin standardizasyonnu

Gurub No	Guruplar	
2XX	Cr-Ni-Mn;	Sertleştirilemez, östenitik, manyetik olmayan yapıdadırlar
3XX	Cr-Ni;	Sertleştirilemez, östenitik, manyetik olmayan yapıdadırlar
4XX	Cr	Sertleştirilebilir, martenzitik, manyetik yapıdadırlar
4XX	Cr	Sertleştirilemez, ferritik, manyetik yapıdadırlar
5XX	Cr	Düşük krom oranında ve ısı dirençli yapıdadırlar

- Paslanmaz çeliğin oldukça yüksek miktarda krom elementi içermesi sebebiyle demir karbon denge diyagramı yerine Demir-krom-karbon üçlü faz diyagramının denge diyagramı olarak kullanılması gerekir.
- Krom miktarının artışı ile bu üç elementin oluşturmuş olduğu paslanmaz çelik alaşımının kritik sıcaklığı artar ve östenit alanı daralır. Fakat, karbon miktarının yeterince artırılması ile bu çelikler yapılarında martenzitik yapı değişikliğinin oluşturulabilmesi için ısıtılma işlemi uygulanabilecek hale getirilebilirler.
- İçerisinde %18Cr içeren Fe-C ikili fazda Karbon miktarının düşük olduğu noktalarda çelik sertleştirilemez, çünkü yüksek sıcaklıktan yapının suya çekilmesi neticesinde yapıda sadece ferrit oluşacaktır. Karbon oranındaki artış ile bu çelikler (δ - γ) bölgesine ulaşılır. Yapının suya çekilmesi neticesinde γ fazının dönüşümü neticesinde yapıda sertlik artışı gözlenir. Karbon oranındaki artışa devam edilmesi neticesinde ise (γ -Cm) faz karışımı bölgesine girilecektir. Bu bölgeden suya çekilme neticesinde full sertlik artışı elde edilebilir. Yani iç yapıda temperlenmiş martenzit ve çözünmemiş karbür elde edilecektir.

- Krom elementine Nikel elementinin ilavesi neticesinde Fe-Cr-C dengesi değişime uğrayacaktır. Esasta yaşanan değişim γ fazı alanının genişlemesidir. Cr elementinin %18 Ni elementinin ise %8 olarak sabit tutulması halinde Fe-C ikili faz diyagramı incelenecek olursa Yüksek sıcaklıkta teşekkül eden östenit fazının sıcaklığın düşmesiyle dönüşüme uğramaya isteksiz olduğu ve oda sıcaklığında yapıda kalıntı olarak bulunduğu görülecektir.
- Mikro yapının oda sıcaklığındaki analizinde, %0.7C miktarına kadar (α - γ -Cm) faz karışımı teşekkül ederken, karbonun artışı ile mikroyapıda sadece (γ -Cm) faz karışımı bulunacaktır.
- Paslanmaz çelik ve ısı dirençli malzemelerin ısı işleme verdikleri tepki bu malzemelerin kimyasal kompozisyonları ile ilgilidir. Bu sebeptendir ki bu malzemeler üç ana grupta ele alınmaktadırlar.

8.4.1.1 Martenzitik Paslanmaz Çelikler

Martenzetik paslanmaz çelikler, %12-18 Cr içeren yüksek alaşımlı çeliklere suda veya yağda su verilerek elde edilir. Alaşımsız çeliklerde olduğu gibi, martenzitik durumdaki paslanmaz çeliklerin sertlik ve mukavemeti daha çok karbon oranına bağlıdır. Bu çelikler, 1000°C sıcaklıkta ostenitleştirildikten sonra suda veya yağda su verilerek sertleştirilir. Menevişleme işlemi 590°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda yapılır. 400°C ile 510°C arasındaki sıcaklıklarda darbe dayanımları düştüğünden, bu sıcaklıklar arasında menevişleme yapılmaz. Menevişleme sıcaklığı arttıkça bazı karbürlerin

çökmesi nedeniyle bu çeliklerin korozyon direnci biraz azalır, ancak bu durum önemli bir sorun doğurmaz. Tipik bir martenzitik paslanmaz çeliğin iç yapısı Şekil 8.6'da görülmektedir.

Martenzitik paslanmaz çelikler manyetik olup, soğuk şekillendirmeye elverişlidirler. Bu çeliklerden karbon oranı düşük olanlar talaşlı yöntemle işlenebilirler. Tokluğu oldukça yüksek olan bu çelikler, sıcak şekillendirmeye elverişlidirler. Söz konusu çelikler atmosferde ve değişik kimyasal ortamlarda yüksek korozyon direnci gösterirler.

Martenzitik paslanmaz çelikler, üstün korozyon direnci gerektiren uygulamalardan başka, yüksek sıcaklıkta mekanik zorlamalara dayanım gerektiren yerlerde de kullanılır. Örneğin; X20Cr13Mo çeliği, özellikle buhar türbini kanatları ve basınçlı döküm kaplarının yapımında tercih edilir. Karbon oranı yüksek olan martenzitik paslanmaz çelikler (X40Cr13 ve X90Cr18MoV) kesici alet ve rulmanlı yatak yapımında kullanılır. Söz konusu çelikler su verme işleminden sonra 300°C dolayındaki sıcaklıklarda menevişlenirler. Menevişleme işleminden sonra bu çelikler 55-57 RSD-C arasında bir sertliğe sahip olurlar.

- Bu tür çelikler iç yapılarında %11.5-18 nispetinde Cr içeren çelikler olup, bu tür çeliklere 403,410,416, 420, 440A, 501 ve 502 çelikleri örnek verilebilir. 410 ve 416 türü çelikler bu gurubu en tanınmış çelikleridir ve bu çelikler türbin kanatçıklarında, korozyon dirençli döküm uygulamalarında kullanılırlar.
- Martenzitik yapıdaki çelikler manyetik özelliklere haiz olup bir zorluk ile karşılaşılmadan soğuk işlenebilirler. Özellikle düşük karbon ihtiva eden yapılar ile mekanik olarak işenebilirler. Tokluk özellikleri iyidir. Nemli havanın, bazı kimyasalların korozyon direncine karşı dirençlidirler. Ancak korozyon dirençleri ferritik ve östenitik paslanmaz çelikler kadar iyi değildir.

- Martenzitik paslanmaz çeliklerin ısıt işlemleri esas itibarı ile karbonlu ve düşük alaşımlı çeliklerin ısıt işlemleri aynıdır. Temel fark, bu çeliklerde yüksek alaşım konsantrasyonunun dönüşümü yavaşlatması ve sertleşebilirliğin çok yüksek olmasıdır, öyle ki maksimum sertlik havada soğutmayla elde edilebilir.
- Bu tür çeliklerin ısıt işlemleri esnasında, dönüşüm bölgesinin üstüne dek ısıtılırlar ($\sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$) ve hava veya yağa çekilirler.
- Yüksek sıcaklıkta bekleme süreleri çok az tutulmaya çalışılır. Çünkü dekarbürizasyon ve tane büyümesi mekanizmaları yapıda deformasyonlar tezahür edebilir.
- Ayrıca dikkat edilmesi gereken önemli noktalardan biri ise bu yapıdaki malzemelerin $400\text{-}600\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklık aralığında temperlenmemeleri gerekliliğidir. Çünkü, tokluk düşebilir. Temperleme $650\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığın üzerinde yapılmalıdır. Daha yüksek sıcaklıktaki temperleme işlemleri ile bazı karbürlerin çökmesi ve korozyon direncinde azalma yaşanabilir.

Tablo 3. Martenzitik paslanmaz çelikler ve özellikleri

Kodu			Özellikleri	Kullanım alanları
410			Bu alaşım gurubun en temel alaşımıdır, ısıtıl işlem uygulanabilir	Makine parçalarında pompa şaftlarında kullanılır
	403		410'un benzeridir	. Buhar türbinlerinde kanatçık olarak, yüksek gerilim altındaki uygulamalarda tercih edilir
	414		Yüksek Ni içermesi sebebiyle sertleşebilirliği ve korozyon direnci artmıştır	Yaylarda makine parçalarında kullanılır
		431	Cr oranındaki artış korozyon direncini ve mekanik özellikleri artırır	Uçaklarda bağlantı malzemesi olarak, ısıtıcı çubuk ve kağıt makinelerinde kullanılır
	416		410 tipinin S içeren versiyonudur	Kolay işlenen uygulamalar için, ağır ve büyük işlemler için geliştirilmiştir
		416Se	410 tipinin Se içeren versiyonudur	Kolay işlenen uygulamalar için, hafif ve küçük işlemler için geliştirilmiştir
	420		410 tipinin yüksek C içeren versiyonudur. İyi derece sertlik ve aşınma özelliklerine sahiptir	Mutfak , cerrahi malzemeler ve valflerde kullanılır.
		440C	410 tipinin en yüksek C içeren versiyonudur (%0.95-1.20 C)	Rulman ve yataklarda kullanılır.
		440B	404C'den biraz daha az C içerir. Tokluğu gelişmiştir	Gösterişli mutfak malzemesi ve valf parçaları imalinde kullanılır
		440A	404B'den biraz daha az C içerir. Tokluğu daha da gelişmiştir. 420'den	Gösterişli mutfak malzemesi ve valf parçaları imalinde kullanılır

- Paslanmaz çelikler karbonlu çeliklere göre mekanik olarak işlenmeleri gayet problemli olan çeliklerdir. yapıya ilave edilen kükürt (416) veya selenyum (416Se) mekanik işlenebilirliği önemli miktarda artırır.
- Selenyum kullanımı kükürt ile karşılaştırıldığında korozyon direncinin düşmesi açısından daha az problemlidir.
- %0.6-1.20 C , %16-18Cr içerikli olan 440 tipi paslanmaz çeliğin korozyon direnci, mukavemeti, aşınma direnci oldukça iyidir. Kullanım alanı olarak mutfak eşyaları, valf parçaları, ve rulman üretiminde kullanılırlar.
- %16-18 Cr içeren düşük karbonlu yapıya %2 Ni elementini ilavesi (431.gurup) östenit bölgesini açar ve malzemenin ısıl direncini artırır. Malzemenin ısıl işlem sonrası soğutulması havada yapılır. Isıl işlem kompozisyonun soğutulmasının dikkatlice kontrol edilmesini gerektirir. Çünkü östenit sıcaklığında δ -ferrit bulunabilir. Bu tip malzemeler uçaklarda fitting malzemesi olarak, kağıt işleyen makina parçalarında, pompalarda ve cıvata aksamı olarak kullanılabilirler.
- (%4-6 Cr) olan 501 ve 502 tipi alaşımlar oksidayona karşı mükemmel direnç gösterilirler ve bu özellikleri yapı çeliğine göre muazzam yüksektir. Bu tür çelikler yağda veya havada su alırlar. bu tür malzemelerin özelliklerinin 5XXX serisi çelik ile 400 martenzitik çeliğinin özellikleri arasında olduğu görülecektir.
- 600 °C sıcaklığın altında korozyon dirençleri açısından uygun kullanım özelliklerine sahiptirler. Özellikle petrol rafineri ekipmanlarında ısı eşanjörlerinde valf iskeletlerinde, pompa ringlerinde ve diğer fitting malzemelerinde tercih edilirler.

8.4.1.2 Ferritik Paslanmaz Çelikler

Ferritik paslanmaz çelikler % 14 ile %27 arasında krom içerirler ve bu çeliklerin karbon oranı martenzitik paslanmaz çeliklerin karbon oranlarından daha düşüktür. Bu çelikler ısı ile sertleştirilemez, ancak soğuk şekil değiştirme ile biraz sertleştirilebilirler. Ferritik paslanmaz çelikler manyetik özelliklere sahip olup, hem sıcak hem de soğuk şekillendirmeye elverişlidirler. Yumuşatma tavından sonra bu çeliklerin sertliği en düşük, süneklik ve korozyon direnci ise en yüksek değerlerine ulaşır. Bu çelikler, korozyon direnci ve işlenme özelliği bakımından martenzitik paslanmaz çeliklerden daha üstündür. Şekil 8.7’de tipik bir ferritik paslanmaz çeliğin iç yapısı görülmektedir

Krom oranı %20’ den daha fazla olan ferritik paslanmaz çelikler 550°C ile 850°C arasındaki sıcaklıklarda uzun süre tavlandıklarında sigma (σ) fazı oluşur. Yüksek sıcaklıktaki uygulama sırasında ortaya çıkan bu durum, çeliğin sertliğini artırdığı için bazen yararlı olabilir, ancak gevrekleşmeye neden olduğu ve korozyon direncini azalttığı için genellikle istenmez.

Ferritik paslanmaz çelikler (X10Cr13 ve X8Cr17Ti) korozyon direnci bakımından, martenzitik paslanmaz çeliklerden daha üstündürler. Ancak, yüksek sıcaklıktaki mukavemet değerleri martenzitik paslanmaz çeliklerin mukavemetinden daha düşüktür. Sertlikleri su verme ile değil, soğuk deformasyon ile artırılabilir. Bu çelikler; mutfak aletleri, devamlı su ve buhar etkisi altında bulunan kaplar, çatal, kaşık ve süs eşyası yapımında kullanılır.

- Bu guruba giren çeliklerde krom içeriği %14-27 Cr aralığında değişebilir. 405, 430 ve 446 tipi paslanmaz elik tipleri bu guruba örnek verilebilir. Yapılarında çok az miktarda karbon bulundururlar. Fakat krom içeriği açısından genellikle martenzitik çeliklerden daha fazla Cr içerirler.
- Isıl işlemle sertleştirilemezler. Sadece soğuk işlemle bir dereceye kadar sertleşebilirler.
- Manyetikler, sıcak ve soğuk hadde uygulanabilir.
- Malzemenin maksimum sunekliği ve korozyon direnci tavlama sonrası elde edilebilmektedir. Tavlama sonrası, ferritik paslanmaz çeliklerin mukavemeti karbonlu çeliklerden yaklaşık olarak %50 nisbetinde daha yüksektir ve korozyon dirençleri ile mekanik işlenebilme özellikleri martenzitik paslanmaz çeliklere göre çok daha yüksektir.
- Kolayca soğuk işlenebilme özelliklerinden dolayı özellikle derin çekme ile şekillendirilen parçaların üretiminde kullanılırlar. Örneğin, kimyasallar ve yiyecek kapları, mimari ve otomotiv sektöründe tercih edilirler.

- Ferritik paslanmaz çeliklere uygulanan tek ısıtıl işlem tavlama ısıtıl işlemidir. Bu işlem ile soğuk işlem ve kaynak sonrası gerilimler giderilir.
- Isıtıl işlem esnasında dikkat edilmesi gereken husus 400-550 °C sıcaklık aralığının yavaş geçilmesi neticesinde yapıda σ fazının tane sınırlarında oluşması sebebiyle çok gevrek ve kırılğan bir doku tezahür eder. Malzemenin darbe tokluğu düşer. Kırılğanlık özelliği krom miktarının artışı ile doğru orantılı olarak artar. Özellikle 446 tipi alaşımda bu istenmeyen durum had safhaya çıkar.
- Bazı ısıtıl işlemler, özellikle maksimum sünekliliğin elde edilmesi fırında soğutma işlemi sonrası kırılğanlık özelliğinin oluşmamamsı için kontrol edilmelidir.
- Ferritik çelikler genellikle 500 °C kırılğanlığı sıcaklığının üzerine ve östenit fazının oluşmaya başladığı sıcaklığın altındaki sıcaklığa kadar ısıtılıp tavlanırlar. Maksimum sünekliliğin kazandırılması için A1 sıcaklığının üzerinde yapılan ısıtıl işlemlerde soğutma çok yavaş yapılır.
- Ferritik çelikler temperlenmezler. Çünkü tezahür edecek martenzit fazı ihmal edilecek kadar azdır ve 500-550 °C sıcaklık aralığında kırılğanlık özelliği zuhur edebilir.

Tablo 4. Ferritik paslanmaz çelikler ve özellikleri

Kodu		Özellikleri	Kullanım alanları
430		Bu alaşım gurubun en temel alaşımıdır. Sertleştirilemez tipte bir alaşımdır	Dekoratif sektöründe, nitrik asit tanklarında, tavlama haznelerinde kullanılır
	430F	430'un S içeren versiyonudur	Ağır işlemlerde, makine parçalarında kullanılır
	430Se	430'un Se içeren versiyonudur	Hafif işlemlerde, sıcak şekillendirme ve soğuk kaynak uygulamalarında kullanılır
	442	Korozyon direncini artırmak için krom oranının artırılması ile elde edilmiştir.	Fırın parçaları nozulllarda fırın yanma haznelerinde kullanılır.
	405	Al ilavesiyle kaynak edilebilirlik özelliği artırılır	410 ve 403 tiplerinin kullanıldığı malzemelerin yerine tercih edilir
	446	442'den daha fazla Cr içerir yüksek sıcaklıklarda korozyon direnci iyileştirilmiştir.	Özellikle kükürtlü atmosferlerde kullanılır

8.4.1.3 Ostenitik Paslanmaz Çelikler

Ostenitik paslanmaz çelikler krom, nikel ve mangan içerirler ve bunların içerdikleri krom ve nikel oranlarının toplamı en az %23 değerindedir. Ostenitik paslanmaz çelikler ısı ile sertleştirilemezler ve tavlanmış durumda manyetik değildirler. Tipik bir paslanmaz çeliğin metalografik yapısı Şekil 8.8'de görülmektedir. Yüksek sıcaklıklarda üstün mekanik özelliklere sahip olan bu çeliklerin tokluğu, düşük sıcaklıklarda bile pek azalmaz. Sıcakta kolay işlenebilirler ve soğuk şekil değiştirme ile de çok çabuk sertleşirler. Bu çelikler asitlere dayanıklıdırlar. Bu nedenle, daha çok gıda ve kimya endüstrisi ile tıbbi cihazların yapımında kullanılırlar. Türk Standartlarında; X12Cr18Ni8, X5Cr18Ni9, X10Cr18Ni9Ti ve X5Cr17Ni13Mo şeklinde gösterilen yüksek alaşımlı çelikler, ostenitik paslanmaz çeliklere örnek olarak verilebilir.

- Bu çelikler Cr-Ni (3XX) ve Cr-Ni-Mn (2XX) tipinde çeliklerdir.
- Bu çelikler östenitik ana dokuya haizdirler. Tavlama şartlarında manyetik özelliğe sahip değildirler ve ısı ile sertleşemezler.
- Malzeme içinde Cr ve Ni elementlerinin toplamı en az %23 tür. Sıcak ve soğuk işleme tabi tutulabilirler.
- Soğuk işlem bir takım mekanik özelliklerin değişimine sebep olabilir bu sebeple çelik manyetik özellik kazanabilir.
- Bu gruptaki malzemeler şok dirençlere karşı dirençlidirler ve bu malzemelerde kükürt (303) veya selenyumun (303Se) kullanılmaması durumunda malzemenin işlenmesi oldukça zordur.
- Bu tür çelikler en iyi yüksek sıcaklık mukavemetine sahiptirler. Ayrıca korozyon dirençleri dikkate alındığında, martenzitik ve ferritik paslanmaz çeliklere göre çok daha iyi dirence sahiptirler.

- 302 tipi alaşım tam 22 tipte değişik varyasyonda yapıya modifiye edilmiştir. Mesela karbon miktarının %0.06C'e dūřürölmesi ile 304 tipi alaşım elde edilir. Öyle ki elde edilen 304 alaşımının kaynak edilebilirliği daha iyidir ve karbür oluşumu eğilimi daha da zayıflar.
- Kaynak esnasında karbür çökmesi eğiliminden sakınmak amacıyla karbon miktarının % 0.03C'a dūřürölölölöl alaşım 304L olarak adlandırılır.
- Bu alaşımlarda karbür çökmesi ne denli engellenmiş olsa da, özellikle kaynak sonrası ve soğutma esnasında 400-800 °C sıcaklık aralığında çok ciddi çökme problemleri ile karşılaşılır. Bu problemler çok pasolu kaynaklarda daha da artar. Aynı zamanda malzemenin 400-800 °C sıcaklık aralığında çalışması da aynı türden problemlerin ortaya çıkmasını sağlar. Sorunların bertarafı sebebiyle yapıya Ti ilavesi (321), Cb ilavesi (347), veya Ta ilavesi tavsiye edilmektedir. Bu işlemin sebebi Cr haricinde karbür teşekköl ettirip Cr'nin yapı içerisinde kalmasını sağlamak ve korozyon direncini yüksek tutmaktır.
- Dengeleyici bir ısı işlemi tavlannış veya kaynaklı yapıyı 870 °C sıcaklıkta 2-4 saat kadar tutarak hava veya suda soğutma uygulamaktır. Amaç tüm karbonun titanyum veya Kolombiyum karbür olarak çökertmek krom karbürün çökmesini engellemektir. Tüm paslanmaz çelikler soğuk işlemlerle sertleştirilebilmelerine rağmen östenitik paslanmaz çeliklerde elde edilen sertlik arışı en iyi seviyededir. Özellikle 201 ve 301 alaşımlarında en yüksek değer elde edilir.

- Nikel elementinin kısıtlı miktarda piyasada ulunması paslanmaz çelik üretiminde birtakım sıkıntılar oluşturmıştır.
- Mn elementinin Ni elementi yerine kullanılabilirliğinin araştırmaları neticesinde 201 ve 202 tipi Cr-Mn-Ni tipi paslanmaz çelikler üretilmiştir. 201 tipi paslanmaz çelikler %17Cr, %4,5Ni ve %6.5 Mn mikroyapısına sahip olup 301 tipi paslanmaz çelikler (%17Cr, %7 Ni) yerine işlenebilirliğin ve şekillendirmenin önemli olmadığı uygulamalarda kullanılabilirler. Bu özelliklerin istenmesi hallerinde ise 202 tipi (%18Cr, %5Ni, %8Mn) tercih edilir. Çünkü Mn elementinin yüksekliği deformasyon sertleşmesi oranını azaltır.
- 201 ve 202 tipi paslanmaz çeliklerin 301 ve 302 tipi paslanmaz çeliklere göre kimyasal korozyona karşı olan dirençlerinin düşüklüğüne rağmen atmosferik şartlardaki korozyon dirençleri yüksek ve karşılaştırılabilir nisbettedir.

302			Bu alaşım gürubun en temel alaşımıdır.	Yiyecek kapları, u alkarda, antenlerde, yaylarda,
	302B		Si oranının artmasıyla genleşmeye karşı direnci artmıştır	Fırın parçaları, ısıtma elemanlarında kullanılır
	202		Düşük Ni içermesi genel amaçlıdır. Ni yerine kısmen Mn kullanılmıştır	
	304		302'nin düşük karbonlu versiyonudur.kaynak esnasında çökelti engellemesi nedeniyle geliştirilmiştir	Kimyasal ve yiyecek kapları olarak kullanılır
		304L	304'ün ekstra düşük karbonlu versiyonudur	Kaynak esnasında karbür engelinin hiç istenmemesi nedeniyle tercih edilir
		321	Ti ilaveli versiyondur. Karbür oluşumu engeli için Ti kullanılır. 450-900 oC sıcaklık aralığında çalışma şartlarına haiz uygulamalarda korozyon dirençlidir	Uak egzost manifoldlarında kaynama kaplarında proses ekipmanlarında kullanılır
		347	321'e benzer ancak Cb veya Ta ilave edilmiştir.	
		348	347 ye benzer ancak Ta ilavesinde bir üst limit mevcuttur	Nükleer enerji uygulamalarında kullanılır
	303		302'nin S ilaveli versiyonudur	Kolay işleme gerektiren uygulamalarda, civatalı makine parçalarında, şaftlarda, valflerde kullanılır.
		303Se	302'nin Se ilaveli versiyonudur	Hafif işleme gerektiren uygulamalarda sıcak işlemenin gerektirdiği parçalarda kullanılır
	301		Cr ve Ni oranlarının düşürölmesiyle deformasyon sertleşmesi oranı artırılmıştır. Yüksek mukavemet ve sünekliğin istendiği uygulamalarında	Demiryolu vagonlarında, tırailer iskeletlerinde, uçak yapı malzemelerinde kullanılır
		201	301'in düşük Ni eşdeğerli versiyonudur. Ni yerine Mn kullanılmıştır. Yüksek oranda deformasyon sertleşmesi özelliğine haizdir	
	308		Ni ve Cr konsantrasyonları artırılarak korozyon ve ısı direnci artırılmıştır	Prencipte kaynakta dolgu malzemesi olarak kullanılır
		309	308'e benzer. Ancak Ni ve Cr oranı biraz daha artmıştır ve korozyon direnci bir hayli gelişmiştir.	Uak ısıtıcı tertibatlarında, ısıl işlem ekipmanlarında fırın parçalarında kullanılır.
		309S	Kaynak edilebilirlik özelliğinin geliştirilmesi amacıyla 309'un düşük karbonlu versiyonudur	
		310	Alaşım oranı (Cr,Ni) 309'dan daha yüksektir	Isı değiştircilerinde, fırın parçalarında, alev odalarında, kaynak dolgu malzemesi olarak kullanılır
		310S	310'un kaynak edilebilirliğinin artırılması için karbon oranını düşüröldeği versiyondur.	
		314	310'un Si elementi katkılısıdır	Yüksek sıcaklıklarda genleşme kontrolü geliştirilmiş versiyondur
	305		Ni elementi artırılarak deformasyon sertleşmesi oranı düşürölümüştür	Ciddi şekillendirmelerin gerçekleştirildiği uygulamalarda kullanılır
	316		Mo ilavesi nedeniyle 302 ve 304 ten daha yüksek korozyon direncine sahiptir, sürünme direnci artmıştır	Kimyasal pompalarda, sıhhi eşyalarda, fotografik malzemelerde mutfak eşyalarında
		316L	316 nın düşük karbonlu versiyonudur	Kaynaklı konstrüksiyonlarda kullanılır
		317	Yüksek Mo içeriklidir, 316 dan daha yüksek Mo içerir.	Korozyon ve sürünme direnci daha yüksek uygulamalarda kullanılır.

Tablo 4 östenitik paslanmaz çelikler ve özellikleri

4.P-H paslanmaz çelikleri

II. dünya savaşı yıllarında yapılan araştırmalar neticesinde çökelti sertleşmesine sahip paslanmaz çelik tipleri geliştirilmiştir. İlk başlarda 17-7 PH kodlu paslanmaz çelik geliştirilmiştir. Bu çelikler genellikle çözelti-tavlama sonrası piyasaya ham olarak sunulurlar. Şekillendirme işlemi sonrasında ise malzemeler sertlik ve mukavemet değerlerine ulaşmış olurlar. Genelde Ni oranları düşüktür ve bu durum östenit fazının kararlılığını düşürür. Aynı zamanda bu tip alaşımlarda Cu ve Al elementleri düzenli alaşım çökeltilerini oluşturmak için ilave edilirler.

5. Maraging Çelikler

Bu tür çelikler akma mukavemetleri östenitik paslanmaz çeliklere göre on kat daha fazla olan tiplerdir. Ayrıca bu özelliklerine ilaveten kırılma toklukları da oldukça yüksektir. Düşük karbonludurlar yapılarında %18-25 Ni bulundurlar. İsimlerini (martenzit+aging) terimlerinden alırlar. Yapıları tavlandığında martenzittir, Tavlama aşamasında yaşlandırıldıklarında veya martenzit şartlarında ultra yüksek mertebeden mukavemete haizdir. Oluşan martenzit fazı tok bir yapıdadır ve düşük alaşımlı yapılarda elde edilen martenzit yapısından nisbetten farklıdır. Sünek martenzit yapısı düşük deformasyon sertleşmesi oranına sahip olup yüksek mertebede soğuk işleme tabi tutulabilir.

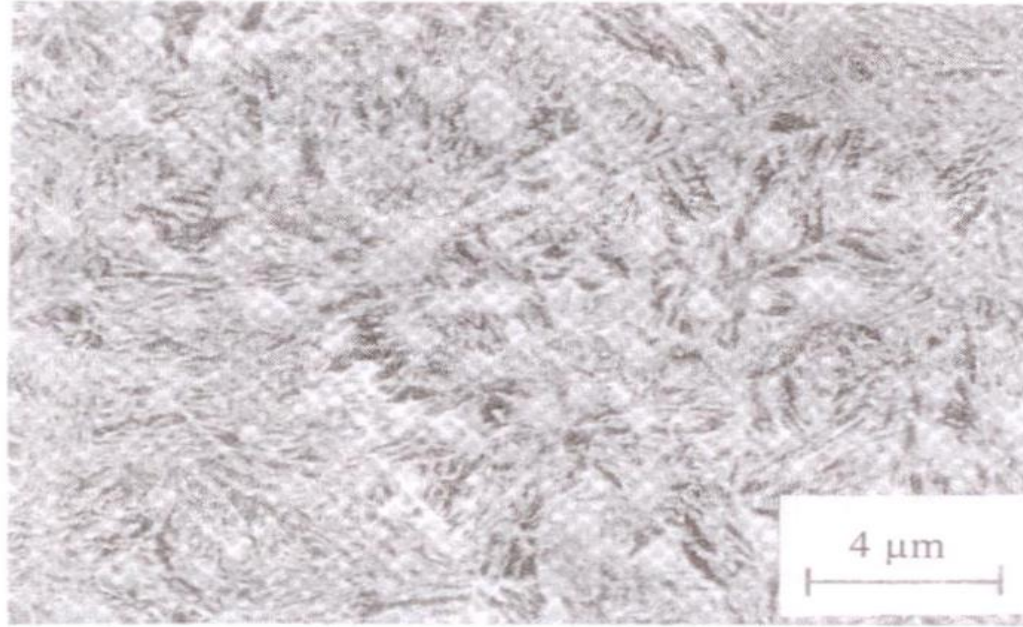
6. DUPLEX paslanmaz çelikler (2209)

- Duplex paslanmaz çelikler östenitik paslanmaz çeliklerin önemli alternatifleri olmuşlardır. Özellikleri, yüksek mukavemet, iyi korozyon direnci ve fiyatlarının makul olması. Bu tip çeliğin uygulama alanı sürekli gelişmektedir. Şu anda petrokimya ve gemi sanayinde kullanılmaktadır.
- Bu tür çelikler ferrit ve östenit fazlarının en iyi yönlerinin bileşimini sağlamak amacıyla geliştirilmişlerdir. Duplex paslanmaz çelik mikroyapısında iki önemli fazı birlikte bulundurur. Tipik duplex yapıda %50 ferrit ve %50 östenit fazı bulunur. Akma mukavemetleri 450 N/mm^2 .
- Ferrit fazı malzemeye mukavemet kazandırırken, östenit fazı yapının tokluğunu artırmakta ve her iki fazın birlikte bulunması ise yapının korozyon direncini fazların katkısı oranında etkilemektedir.
- Bu gruptaki çelikler için en önemli alaşım elementleri Cr, Ni, Mo, ve N elementleridir. Bu elementler çeliğin özelliğini belirlemektedirler. Bazı tiplerde ayrıca Cu, ve W de bulunur.

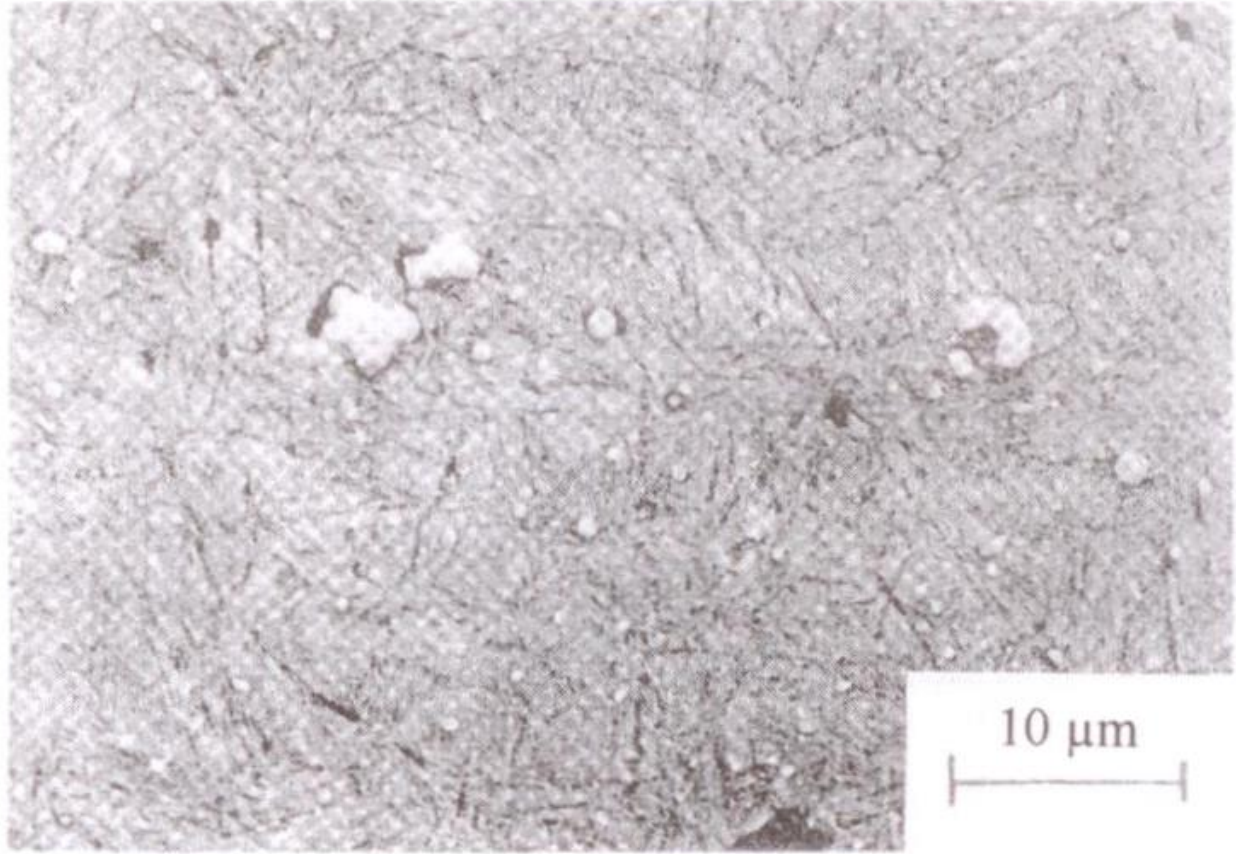
8.4.2 Rulmanlı Yatak Çelikleri

Rulmanlı yatak malzemeleri, genelde yüksek basınca ve aşınmaya dayanıklı ötektoid üstü krom çelikleridir. Rulmanlı yatak üretiminde en çok AISI 52100 (100Cr6) çeliği kullanılır. Ancak, bazı rulmanlı yatakların yapımında takım çelikleri veya yüksek hız çelikleri kullanılmaktadır. Rulmanlı yatak çelikleri, genelde vakumda ergitilip, gaz giderme işlemine tabi tutularak üretildiklerinden minimum düzeyde metalik olmayan kalıntılar (enklüzyon) içerirler. Bu nedenle bu çeliklere temiz çelikler de denilir. Rulman çelikleri yağda su verilerek sertleştirildikten sonra, düşük sıcaklıklarda menevişlenirler. Bu işlem sonucunda, menevişlenmiş martenzitik bir matris ile bunun içerisinde hemen hemen homojen olarak dağılmış metal karbürlerden oluşan iç yapılar elde edilir. Rulmanlı yatak yapımında kullanılan AISI 52100 (100Cr6) çeliği ile AISI M-50 çeliğinin iç yapıları sırasıyla Şekil 8.9 ve 8.10'da görülmektedir. Söz konusu çeliklerin ısıtılma işleminden sonra 58 RSD-C'den daha yüksek sertliğe sahip olurlar. Rulmanlı yatak üretiminde en yaygın olarak kullanılan çelikler Tablo 8.2'de verilmektedir.

Kısa gösterim	Kimyasal bileşim (% ağırlık)						
	C	Si	Mn	W	Cr	V	Mo
105 Cr2	1,0-1,1	0,15-0,35	0,25-0,40	-	0,40-0,60	-	-
105 Cr4	1,0-1,1	0,15-0,35	0,25-0,40	-	0,90-1,15	-	-
AISI 52100 (100 Cr6)	0,95-1,10	0,15-0,35	0,25-0,40	-	1,40-1,65	-	-
100 CrMn6	0,95-1,10	0,50-0,70	1,0-1,2	-	4,10	-	-
AISI M-50	0,82	0,22	0,27	0,02	3,90	0,9	4,30
AISI M-10	0,86	0,22	0,21	-	3,70	1,85	8,20
AISI M-1	0,81	0,24	0,28	1,57	3,95	1,20	8,90
AISI T-1	0,68	0,22	0,30	17,5	-	1,14	0,09



Şekil 8.9 Rulman yapımında yaygın olarak kullanılan AISI 52100 (100Cr6) çeliğinin iç yapısı



Şekil 8.10 Rulman yapımında kullanılan AISI M-50 çeliğinin iç yapısı

TAKIM ÇELİKLERİ

- Tornalama, frezeleme ve eğeleme gibi talaşlı üretim yöntemlerinde ya da dövme, haddeleme, ekstrüzyon, çekme, derin çekme, zımbalama ve basınçlı döküm gibi plastik şekil verme işlemlerinde yararlanılan takımların yapımında kullanılan çeliklere takım çelikleri adı verilir.
- Takımların genellikle sert ve aşınmaya dayanıklı olması gerekir.
- Talaşsız şekil verme araçlarında ise, yüksek sıcaklığa ve sıcaklık değişimine dayanıklılık aranır.

Sıcak veya soğuk iş parçasını kesme, bükme, dövme, talaşlı veya talaşsız imalat gibi muhtelif yöntemleriyle, hammaddeyi ürün haline getirmek için kullanılan alaşımlı veya yüksek alaşımlı çelik grubudur.

TAKIM ÇELİKLERİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ

Bütün takım çeliklerinden beklenen ortak özellikleri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

- Temiz ve homojen mikro yapı,
- Yüksek aşınma direnci,
- Yüksek çekme dayanımı,
- Yeterli akma dayanımı,
- Yeterli süneklik,
- Yüksek sertlik,
- Yüksek tokluk,
- Isıl işlem sonrası homojen sertlik dağılımı,

- Takım çelikleri, kimyasal kompozisyonları, özellikleri, uygulama alanları ve çalışma şartlarında kendilerinden beklenen karakteristikleri nedeniyle diğer çelik gruplarına göre çok daha zengin içeriklidir.
- Mekanik, termal, kimyasal ve tribolojik yüklemeler altında çalışan takım ve kalıp çeliklerinden öncelikle beklenen özellikler, sertlik (sıcak sertlik / dayanım), aşınma dayanımı ve tokluktur.
- Kullanımda çeşitlilik, yorulma ve sürünme dayanımı ile oksidasyon ve korozyon direnci gibi diğer bazı özellikleri de ön plana çıkarabilir.
- Takım çeliklerinden beklenen tüm özellikler kolektifinin, çalışma şartlarında takım kalıbın şeklinin bozulmasını veya kırılmasını engellemesidir.
- Malzeme mikroyapısında istenen özellikler doğrultusunda mümkün en düşük aşınmalarda uzun ömür eldesi yönünde geliştirilmiştir.
- Takım çeliklerinde uzun bir süredir martenzitik matris kullanılmakta olup, taşıyıcı görevi nedeniyle de bu matrisin yüksek derecede sertleşmesi gerekir.
- Su verilmiş durumda matris sertliği öncelikle karbon miktarına orantılıyken, menevişlenmiş durumda karbür oluşturun elementlerin de rolü belirginleşir.
- Pratikte kullanım sıcaklığına göre alaşımlama ve ısıtım işlem değıştirilerek optimal uygulama karakteristiğı elde edilir.
- Örneğın, ledeburitik soğuk iş takım çeliklerinde (1.2080, 1.2436) matris içinde az bir miktarda kromca zengin karışık karbür çökeltileri düşük sıcaklık uygulamaları için yeterlidir.

- Yüksek sıcaklıklarda çalışan yüksek hız çeliklerinde ise molibden ve vanadyumca zengin karışık karbürlerle çökelti sertleşmesi maksimize edilmeye çalışılır.
- Aynı şekilde sıcak iş takım çeliklerinin yapısında bulunan krom molibden ve vanadyum gibi elementlerin miktarlarının belirli oranlarda değiştirilmesi, malzemeye, yüksek sıcaklıkta sertliğini muhafaza edebilme ve meneviş dayanımı gibi özellikler katar.
- Takım çelikleri kullanım alanlarına bağlı olarak sınıflandırılır. Tüm çelikler ingot metalurjisi ile üretildikleri gibi yakın zamanlarda artan miktarlarda toz metalurjik üretim yöntemi ile de üretilmeye başlanmıştır.
- Çeliklerin alaşımlandırılmasında, benzer gaye nedeniyle yoğun olarak karbür oluşturunca elementlerden faydalanılır.
- Çok değişik miktarlarda karbür oluşturunca elementlerinin kullanımıyla karbon miktarı geniş bir sınır içerisinde değişir.
- Ayrıca bazı çeliklerde tokluk ve meneviş sürekliliği nedeniyle nikel ve kobalt ilaveleri gerçekleştirilir. Tüm takım çeliklerinin ortak bir yanı da, martenzitik dönüşüm üzerinden sertleştirilmeleridir.
- Takım çelikleri arasındaki farklılık, beklenen özelliklerin elde edilmesi için yapıya dahil edilen farklı miktarlardaki alaşım elementlerinin oluşturduğu karbür tipi, miktarı ve dağılımından gelir.
- Takım çelikleri kullanım alanlarına göre başlıca dört ana grupta toplanır.
 - Sıcak İş Takım Çelikleri
 - Soğuk İş Takım Çelikleri
 - Plastik Kalıp Çelikleri
 - Yüksek Hız Takım Çelikleri (HSS)

Alaşımsız takım çeliklerinin karbon oranı %0,4-1,4 arasında değişir. Bu çelikler su verilerek sertleştirildikten sonra 150-300°C arasındaki sıcaklıklarda menevişlenirler. Genellikle, yüksek karbonlu çelikler, talaş kaldırma (eğme, kılavuz vb.) ya da soğuk şekil verme takımlarının (çekme, kesme kalıpları, basma vb.), daha düşük karbonlu çelikler de ağaç gibi yumuşak malzemeleri işleyen ya da darbeli yüke maruz kalan takımların (çekiç, keski vb.) yapımında kullanılır. Yüksek hızla talaş kaldırmaya uygun bir takımın, çalışma sırasında büyük ölçüde ısınmasına karşın, kesici özelliğini koruması gerekir. Bunun için sertliğini 600°C sıcaklığa kadar koruyan yüksek hız çelikleri kullanılır. Bu çelikler; W, Cr, V ve bazen Mo ve Co içerirler. Yüksek hız çelikleri yağda veya havada su verilerek sertleştirildikten sonra, 550°C dolayındaki sıcaklıklarda menevişlenirler. Alman normuna göre “S” harfi ve sırasıyla W, Mo, V ve Co elementlerinin yüzde oranları ile belirtilirler. Amerikan standartlarında (AISI ve SAE) ise T ve M harflerine eklenmiş sayılarla gösterilirler. Tablo 8.3’de takım çeliklerine ait bazı örnekler verilmektedir. Soğuk iş çelikleri alaşımsız takım çeliklerinin kullanıldığı alanlara benzer yerlerde kullanılır. Yağda veya havada soğutularak sertleştirilen bu çelikler, karmaşık şekilli parçaların yapımında alaşımsız çeliklere tercih edilirler. Ayrıca, aşınmaya ve sıcaklıkla yumuşamaya alaşımsız çeliklerden daha fazla direnç gösterirler. Karbon ve krom içeren soğuk iş çeliklerinin aşınma dirençleri çok yüksektir. Bu nedenle bu çelikler, kesme kalıpları veya diş haddelme kalıpları yapımında kullanılırlar.

yapımında kullanılır. Sıcak iş çelikleri de yağda veya havada su verilerek sertleştirilebilir. Bu çeliklerin, 550°C'ye kadar varan çalışma sıcaklıklarındaki sertlikleri 40-55 RSD-C arasında değişir. Bu çeliklerin başlıca kullanım alanları olarak; basınçlı döküm, ekstrüzyon ve dövme kalıpları gösterilebilir.

Tablo 8.3 Takım çeliklerine ait bazı örnekler

Kısa gösterim	%C	%Si	%Mn	%Cr	%Mo	%Ni	%V	%W	%Co
Alaşım-sız takım çelikleri									
C70W1	0,70	0,20	0,30	-	-	-	-	-	-
C100W1	1,00	0,20	-	-	-	-	-	-	-
C130W2	1,30	0,20	0,30	-	-	-	-	-	-
Yüksek hız çelikleri									
S18-0-1	0,74	0,25	0,25	4	-	-	-	-	-
S12-1,2	0,86	0,25	0,25	4	1	-	2,6	12	-
S12-1-4	1,30	0,25	0,25	4	1	-	3,8	12	-
S10-4-3-10	1,30	0,25	0,25	4	4	-	3,0	10	10
S6-5-2	0,80	0,25	0,25	4	5	-	2,0	6,5	-
Soğuk iş çelikleri									
90MnV8	0,90	0,25	2,00	-	-	-	0,10	-	-
55WCrV7	0,55	0,90	0,30	10	-	-	0,18	1,9	-
210Cr46	2,10	0,30	0,30	12	-	-	-	-	-
Sıcak iş çelikleri									
30WCrV179	0,30	0,20	0,30	2,40	-	-	0,55	4,2	-
30WCrV3411	0,30	0,20	0,30	2,6	-	-	0,35	8,5	-
45CrVMoW58	0,45	0,60	0,40	1,40	0,45	-	0,80	0,45	-
55NiCrMoV6	0,55	0,25	0,60	0,70	0,12	1,6	0,14	-	-

Takım elikleri metaller, plastikler ve ahşap gibi temel malzemelerin işlenmesinde, şekillendirilmesinde ve istenilen biçimin verilmesinde kullanılır. Takım elikleri kompozisyon bakımından sertleştirilebilen ve temperlenebilen karbonlu ve alaşımlı çeliklerdir. Takım eliklerinin arzu edilen özelliklerinden bazıları yüksek aşınma direnci, sertlik, iyi ısı direnci ve malzemelerin işlenmesi için yeterli dirençtir. Bazı durumlarda boyutsal denge çok önemlidir. Takım elikleri kullanım bakımından ekonomik olmalı ve aynı zamanda takımın arzu edilen şekle işlenebilme veya şekillendirilebilmesi için işlenebilme ve şekillendirilebilme yeteneğine sahip olmalıdır.

Takım eliklerinin belirli özelliklere sahip olmaları gerektiğinden bu çelikler genellikle dikkatli metalurjik kalite kontrol yöntemleriyle elektrik fırınlarında ergitilir. Gözeneklilik, segregasyon, impuriteler ve metal olmayan kalıntıları mümkün olduğu kadar düşük seviyede tutmak için büyük çaba sarfedilir. Takım eliklerinin tanımlamalara uygunluğundan emin olmak için takım çelikleri dikkatli makroskopik ve mikroskopik incelemelere tabi tutulur.

Takım elikleri, toplam elik üretiminin nispeten küçük bir yüzdesini oluşturmakla beraber diğer elik mamüllerinin ve mühendislik malzemelerinin üretiminde kullanıldıkları için stratejik bir pozisyona sahiptirler. Takım eliklerinin bazı uygulamaları, delicileri, derin çekme kalıplarını, kesme bıçaklarını, zımbaları, ekstrüzyon kalıplarını ve kesme kalıplarını içerirler.

Özellikle yüksek kesme hızlarının önemli olduğu uygulamalar için sinterlenmiş karbürler gibi diğer takım malzemeleri, takım çeliklerine göre daha ekonomik alternatiftir. Sinterlenmiş karbürlerin bu istisna takım performansı çok yüksek sertlik ve yüksek basma dayanımlarından kaynaklanmaktadır. Diğer takım malzemeleri daha çok endüstriyel olarak kullanılır.

Tablo 7.1. Takım Çeliklerinin Sınıflandırılması.

Grup	Harf-Sembol	Bölüm İçinde Farklı Tipler İçin Referans Tablolar
1. Suda sertleştirilmiş takım çelikleri	W	Tablo 7.2
2. Darbe dirençli takım çelikleri	S	Tablo 7.3
3. Soğuk iş takım çelikleri		
Yağda sertleştirme	O	Tablo 7.4
Orta karbon havada sertleştirme	A	Tablo 7.5
Yüksek karbon, yüksek krom	D	Tablo 7.6
4. Sıcak iş takım çelikleri	H	Tablo 7.7
Krom tip	H1-H19	
Tungusten tip	H20-H39	
Molibden tip	H40-H59	
5. Yüksek hız takım çelikleri		Tablo 7.8
Tungusten tip	T	
Molibden tip	M	
6. Özel amaçlı takım çelikleri		
Az alaşımlı	L	
7. Kalıp takım çelikleri	P	

7.2 SUDA SERTLEŞTİRİLEN TAKIM ÇELİKLERİ (W TİPİ)

Kimyasal Kompozisyonlar ve Tipik Uygulamaları

Suda sertleştirilen takım çelikleri genellikle % 0.6–1.4 C’lu ancak daha çok % 0.8–1.1 C’lu, sade karbonlu çeliklerdir. Bu çeliklerin bir modifikasyonunda % 0.25 V ve bir diğ erinde de % 0.50 Cr ilave edilir Tablo 7.8’de suda sertleştirilmiş W tipi takım çeliklerinin kimyasal kompozisyonları ve tipik uygulamaları verilmiştir.

Isıl İşlem ve Mikroyapılar

Suda sertleştirilen takım çelikleri en ucuz takım çelikleridir, ancak temel kompozisyonlarından dolayı gerelde en düşük aşınma direncine sahiptirler. Suda sertleştirilmiş takım çelikleri Şekil 7.1’de W1 takım çeliğ inin 1T diyagramında gösterildiğ i gibi düşük sertleşebilirliğ e sahiptir. Takım çelikleri hızlı bir şekilde suda soğutulmadıkça yeterince sertleşmezler. Suda hızlı soğutmaya rağmen çok ince numuneler dışında çeliğ in sadece dış kısmı veya katmanı martensitik bir yapıya dönüşürken iç kısımlar veya çekirdek yumuşak perlitik yapıya sahiptir (Şekil 7.1.b). Suda sertleştirilen takım çelikleri temel kompozisyonlarından dolayı diğ er takım çelikleri ile kıyaslanmalarında esas oluşturur.

Tablo 7.2. Suda Sertleştirilen (W tipi) Takım Çeliklerinin Kimyasal Kompozisyonları¹.

AISI Tipi	% C	% W	% Mo	% Cr	% V
W1	0.60-1.40	—	—	—	—
W2	0.60-1.40	—	—	—	—
W5	1.1.	—	—	0.5	—

Tipik Uygulamaları

W1 ve W2 Düşük Karbon : Demircilik takımları, sıkma takımları, işlenmemiş kalıplar, soğuk keskiler, şahmerdan çekici, perçin takımları, kesme bıçakları, balyozlar.

Orta Karbon : Malafalar, süsleme takımları, kenet kalıplar, raybalar, yüksükler, keskiler, havşa matkapları, açıcılar, matkaplar, şekillendirme kalıpları, mücevher kalıpları, mandreller, kesme bıçakları, ağaçişleri takımları.

Yüksek Karbon : Cam kesiciler, mücevher kalıpları, torna takımları, raybalar, klavuz ve paftalar, helisel matkaplar, ağaç işleri takımları, W2'nin vanadyum içeriği ince tane, yüksek tokluk ve derin olmayan sertleşebilirlik sağlar.

W5 : Ağır zımbalama ve çekme kalıpları, tüp çekme mandrelleri, büyük zımbalar, raybalar, traş bıçakları, soğuk şekillendirme milleri ve aşınma plakları.

7.3. DABE DİRENÇLİ TAKIM ÇELİKLERİ (S TİPİ)

Kimyasal Kompozisyonlar ve Tipik Uygulamalar

- Darbe dirençli takım çelikleri, kesici bıçaklar, kekiler ve perçinlerde kullanıldıkları gibi tekrarlı gerilimleriyle karşılaşılan uygulamalar için kullanılır.
- Bu nedenle bu çeliklerin çoğu diğer takım çeliklerinden daha düşük, örneğin yaklaşık %0.5 karbon içeriğine sahiptir. 55-60 HRC hafif düşük sertliklerde kullanılır.
- Tablo 7.3 de hali hazırda kullanılan darbe dirençli S tipi takım çeliklerinin kimyasal kompozisyonları ve özellikleri verilmiştir.

Tablo 7.3. Darbe Dirençli Takım Çeliklerinin (S Tipi) Kimyasal Kompozisyonları ve Tipik Uygulamaları.

AISI tipi	% C	% W	% Mo	% Cr	% V	% Diğer
S1	0.50	2.50	—	1.50	—	—
S1	0.50	—	0.50	—	—	1.00Si
S5	0.55	—	0.40	—	—	Mn 2.00 Si
S6	0.45	—	0.40	1.50	—	Mn 2.25 Si
S7	0.50	—	1.40	3.25	—	—

Tipik Uygulamalar

S1: Cıvata başı kalıpları, talaş kaldırma ve kalafatlama kesikleri, boru kesiciler, beton matkapları, germe merdaneleri, dövme kalıpları, biçimlendirme kalıpları, kavrayıcı mengeneler, zimbalar, pnömatik takımlar, marangozluk takımları, çekiçleme kalıpları, kesme bıçakları, izleme takımları, mastır zimbalar.

S2: El ve pönomatik kesikler, konik pimler, biçimlendirme kalıpları, şişirme pimleri, madreller, perçin takımları, boru kesiciler, perçin oturakları, tornavida uçları, kesme bıçakları, fener milleri, zimbalar, takım sapları, döner bıçaklar.

S5: El ve pönomatik kesikler, konik pimler, biçimlendirme kalıpları, şişirme pimleri, madreller, çivi oturaklar boru kesiciler, patlamalı perçinler, tornavida uçları, kesme bıçakları, mil pimleri, zimbalar, takım sapları, izleme takımları torna ve vida makina pensleri, eğme kalıpları zimbalar, döner bıçaklar.

S6: Kesme bıçakları, alüminyum darbe ekstrüzyon kalıpları ve zimbalar, perçin takımları, soğuk para kalıpları soğuk başlık kalıpları, şişirme zimbalar.

S7: Kesme bıçakları, yarma kesikler, kesikler, biçimlendirme kalıpları, sıcak başlık kalıpları, kalıp taslakları, perçin takımları, kavrayıcı çeneler, oyma kalıpları, plastik kalıpları, kalıp döküm kalıpları, mastır zimba, izleme takımları, kalafat takımlar, torna ayna çeneleri, debriyaj kavramalar, boru kesiciler, çekiçleme kalıpları.

7.4. SOĞUK-İŞ (YAĞDA SERTLEŞTİRİLMİŞ) TAKIM ÇELİKLERİ (O TİPİ)

Soğuk iş takım çelikleri aşınma direnci ve tokluğun önemli olduğu kalıp uygulamaları ve soğuk iş takımları için yaygın olarak kullanılır. Soğuk iş takım çeliklerinin prensip grupları (1) yağda sertleştirme (2) havada sertleştirme ve (3) yüksek karbon, yüksek krom tipleridir. Bu kapsamda, sadece soğuk iş (yağda sertleştirme, O tipi) takım çeliklerindeki 7.2 ve 7.4'te ise havada sertleştirme ve yüksek krom tipleri ele alınacaktır.

Tablo 7.4. Soğuk İş Yağda Sertleştirilmiş (O Tipi) Takım Çeliklerinin Kimyasal Kompozisyonları ve Tipik Uygulamaları.²

Kimyasal Kompozisyon						
AISI tipi	% C	% W	% Mo	% Cr	% V	% Diğer
O1	0.90	0.50	—	0.50	—	1.00 Mn
O2	0.90	—	—	—	—	1.60 Mn
O6	1.45	—	0.25	—	—	Mn 1 Si
O7	1.20	1.75	—	0.75	—	—

Uygulamaları

O1: Kalıp taslakları, plastik döküm kalıpları, çekme kalıpları, traşlama kalıpları, kağıt bıçakları, kesme bıçakları, saplamalar, raybalar, ölçme masterları, eğme ve biçimlendirme kalıpları, yüksükler, zimbalar.

O2: Taslak, ıstampa, düzeltme, soğuk biçimlendirme kalıpları ve zimbalar, soğuk biçimlendirme merdaneleri, diş açma pafta ve klavuzlar, raybalar, ölçme masterları, başlıksız pimler ve mastır takımları, tığlar, testere frezeler ve testereler, vida haddeleme kalıpları, yüksükler, plastik kalıplama kalıpları.

O6: Kalıp taslakları, biçimlendirme kalıpları, mandreller zimbalar, kamlar, kırma kalıpları, derin ve çekme kalıpları, soğuk biçimlendirme merdaneleri, yüksükler, ölçme masterları, taslak ve biçimlendirme zimbaları, delme ve tırtıllama kalıpları, klavuzlar, kağıt kesme kalıpları, aşınma plakaları, takım sapları, delme kalıpları, tezgah milleri, malafalar, bileme ve düzeltme klavuzları.

O7: Mandreller, yarma keskiler, falçatılar, klavuzlar, raybalar, matkaplar, taslak ve biçimlendirme kalıpları, ölçme masterları, vida tarakları, pirinç son işlem takımları, dişçi takımları, kağıt bıçakları, merdane tornalama takımları, parlatma takımları, boru paftaları, lastik kesme bıçakları, ağaç iş takımları, el raybaları, fır döndü takımları, raspalar, taslak ve soğuk şekillendirme kalıpları.

7.5 SOĞUK İŞ (ORTA ALAŞIM, HAVADA SERTLEŞTİRME) TAKIM ÇELİKLERİ (A TİPİ)

Kimyasal Kompozisyon ve Tipik Uygulamalar

Havada sertleştirme soğuk iş takımı çelikleri özellikle gerdirme, biçimlendirme ve çekme kalıpları gibi oldukça iyi aşınma ve istisna tokluğun gerekli olduğu uygulamalar için uygundur. Bu çelikler karmaşık kalıplar için kullanılabilir. Çünkü bu çeliklerin sertleştirme ve temperlemeden sonraki boyutsal değişikliği yaklaşık olarak Mn'lı yağda sertleştirme takım çeliklerinin (örneğin 01 alaşımı) üçte biri kadardır.

Tablo 7.5. Soğuk iş (orta karbon) havada sertleştirme (A tip) takım çeliklerinin kimyasal kompozisyonları ve tipik uygulamaları+

AISI tipi	% C	% W	% Mo	% Cr	% V	% Diğer
A2	1.00	—	1.00	5.00	—	—
A3	1.25	—	1.00	5.00	1.00	—
A4	1.00	—	1.00	1.00	—	2.00 Mn
A6	0.70	—	1.25	1.00	1.00	2.00 Mn
A7	2.25	1.00+	1.00	5.25	4.75	—
A8	0.55	1.25	1.25	5.00	—	—
A9	0.50	—	1.40	5.00	—	1.50 Ni
A10	1.35	—	1.50	—	—	Mn Si 1.80 Ni

Uygulamalar

A2 Vida haddeme kalıpları, püskürtme kalıpları, düzeltme kalıpları, mandreller, kesme bıçakları, yarma kesikleri, kıvrırma merdaneleri biçimlendirme merdaneleri, ölçme mastarları, köşebent kalıpları, parlatma takımları, seramik takımlar, kabartma kalıpları, plastik kalıplamalar, zımparalama kalıpları, yatak burçları, zimbalar, tuğla kalıbı kovanları.

A4: Taslak kalıpları, biçimlendirme kalıpları, traşlama kalıpları, zımbalamalar, kesme bıçakları, mandreller, eğme kalıpları, biçimlendirme merdaneleri, tığlar, tırtıllama takımları, ölçme mastarları, malafalar, yüksükler yarma kesiciler, soğuk dış haddeleri, matkaplar, mastar freze dişliler, kumaş kesme makinaları, pilot pimler, zimbalar, klişe merdaneler.

A6: Taslak kalıpları, biçimlendirme kalıpları, para kalıpları, düzeltme kalıpları, zimbalar, kesme bıçakları, fener milleri, masterfreze dişliler, tespit halkaları, mandreller, plastik kaplayıcılar.

A7: Briket kalıplama kovanları, çekme kalıpları, briket kalıpları, püskürtme ve kumlama kovanları, perdahlama takımları, ölçme mastarları, biçimlendirme kalıpları.

A8: Soğuk yarıcılar, kesme bıçakları, sıcak presleme kalıpları, taslak kalıpları, soğuk biçimlendirme kalıpları, zimbalar para kalıpları, traslama kalıpları, mastar freze dişliler, merdaneler, dövme geçme kalıplar, basma kalıplamalar, çentik açma kalıpları, oyuncu bıçaklar.

A9: Soğuk başlık kalıpları, kalıp uçları, baş oluşturuucu çekiçler para kalıpları, biçimlendirme kalıpları ve merdaneler, kalıp çerçeveleri, kalıp çeneleri, sıcak iş uygulamaları zimbalar delme takımları, püskürtme kalıpları, dövme kalıpları, kalıp çeneleri kalıp çerçeveleri başlık kalıpları, çekiciler para ve biçimlendirme kalıpları.

A10: Gerdirme kalıpları, biçimlendirme kalıpları, ölçme kalıpları, traşlama bıçakları, zimbalar, biçimlendirme merdaneleri, aşınma plakaları, mil pimleri, mastar kamlar ve shaftlar, raspalama pleytleri, tesbit halkası.

7.6 SOĞUK İŞ (YÜKSEK-KARBON, YÜKSEK KROM) TAKIM ÇELİKLERİ (D TİPİ)

Kimyasal Kompozisyon ve Tipik Uygulamalar

Yüksek karbon, yüksek kromlu takım çelikleri, 1915'de ABD'de tanıtılmış ve orijinal olarak muhtemelen yüksek-hız takım çeliklerinin yerini alması için geliştirilmiştir. Bu çelikler, yüksek kesme hızlarında etkili sertliğe sahip olmadıkları ve de çok kılgan oldukları için bu amaç için sınırlı kullanıma

sahip olmuştur. Buna karşın bu çeliklerin keşfedilen yüksek aşınma direngleri ve deforme olmayan müstesna iletkenlikleri soğuk iş kalıp çelikleri için bu çelikleri cazip hale getirmiştir. Bu gün kullanımda olan prensip D-tipi takım çeliklerinin kimyasal kompozisyonları ve tipik uygulamaları Tablo 7.6'da verilmektedir.

Tablo 7.6. Soğuk-İş, yüksek-karbon, yüksek-kromlu (D-tipi) takım çeliklerinin kimyasal kompozisyonları ve tipik uygulamalar.

AISI tipi	% C	% W	% Mo	% Cr	% V	% Diğer
D2	1.50	—	1.00	12.00	1.00	—
D3	2.25	—	—	12.00	—	—
D4	2.25	—	1.00	12.00	—	—
D5	1.50	—	1.00	12.00	—	3.00Co
D7	2.35	—	1.00	12.00	4.00	—

TİPİK UYGULAMALAR

D2 Taslak kalıpları, soğuk şekillendirme kalıpları, çekme kalıpları plakalama kalıpları, diş haddeleme kalıpları, yarma bıçakları, testere bıçakları, şekillendirme merdaneleri, parlatma takımları, zimbalar, ölçme mastarları, tırtıllama takımları, mandreller, dövme takımları, soğuk iş takımları mandreller, dövme takımları, çatal bıçak takımı.

D3 Taslak kalıpları, soğuk iş takımları, çekme takımları palakalama takımları, diş haddeleme takımları, kesme bıçakları, testere bıçakları, şekillendirme zimbaları ölçme mastarları, kenet kalıpları, dövme takımları.

D4 Taslak kalıpları, tuğla kalıpları, diş haddeleme kalıpları, kalıpları parlatma kalıpları, sıcak dövme kalıpları, tel çekme kalıpları, şekillendirme kalıpları ve merdaneler, ölçme kalıpları, zimbalar, traşlama kalıpları, derin çekme kalıpları.

D5 Soğuk şekillendirme kalıpları, diş haddeleme kalıpları, taslak kalıpları, parlatma kalıpları, traşlama kalıpları, çekme kalıpları, kesme bıçakları, zimbalar, kalite çatal bıçak takımları, merdaneler.

D7 tuğla kalıp hatları, plaka kalıpları, birket kalıpları taşlama taşı kalıplama, derin çekme kalıpları , düzeltme merdaneleri, testere bıçakları, kum püskürme kovanları, oyma bıçakları, aşanmı plakaları, tel çekme kalıpları seramik takımlar ve kalıplar, plakalama kalıpları

7.7 SICAK İŞ TAKIM ÇELİKLERİ (H TİPİ)

Kimyasal Kompozisyon ve Tipik Uygulamalar

Sıcak ekstrüzyon, sıcak dövme ve kokil döküm kalıpları gibi sıcak iş uygulamalarında kullanılan takım çelikleri için aşağıdaki özellikler önemlidir.

1. Sıcak iş (şekillendirme) sıcaklıklarında deformasyona direnç. Karbonlu çelikler böyle sıcaklıklarda yumuşar ve zayıflarlar bu nedenle sıcak iş için kullanılamazlar.

2. Mekanik ve termal şokun her ikisinde nispi direnç (özellikle suda soğutma kullanılırsa). Bu takım çeliklerinin darbe direncini artırmak için karbon içerikleri düşük seviyede tutulmalıdır.

3. Yüksek sıcaklıklarda erezyon ve aşınma direnci

4. Isıl işlem deformasyonuna direnç. Komplike kalıplar ısıtılma sırasında çarpılmamalıdır. Bu sorun yüksek sertleşebilirliğe sahip bir çelik kullanmakla çözülebilir.

5. Takım yüzeyinde ince derin olmayan ısıtılma çatlaklarının oluşumuna direnç

Sıcak iş takım çelikleri üç prensip tipe sahiptir; (1) Krom esaslı tipler H1'den H19'a; (2) tungsten esaslı tipler H20'den H39'a; ve (3) molibden esaslı, tipler H40, H59'a. Hali hazırda kullanılan sıcak iş takım çeliklerinden bazılarının kimyasal kompozisyonları ve tipik uygulamaları Tablo 7.7'de verilmiştir.

Tablo 7.7. H Tipi sıcak iş takım çeliklerinin nominal kimyasal kompozisyonları ve tipik uygulamaları.

AISI tipi	% C	% W	% Mo	% Cr	% V	% Diğer
H10	0.40	—	2.50	3.25	0.40	—
H11	0.35	—	1.50	5.00	0.40	—
H12	0.35	1.50	1.50	5.00	0.40	—
H13	0.35	—	1.50	5.00	1.00	—
H14	0.40	5.00	—	5.00	—	—
H19	0.40	4.25	—	4.25	2.00	4.25 Co
H21	0.35	9.00	—	3.50	—	—
H22	0.35	11.00	—	2.00	—	—
H23	0.30	12.00	—	3.00	—	—
H24	0.45	15.00	—	3.00	—	—
H25	0.25	15.00	—	4.00	—	—
H26	0.50	18.00	—	4.00	1.00	—
Sıcak iş (molibden)						
H42	0.60	6.00	5.00	4.00	2.00	—

TİPİK UYGULAMALAR

H10: Manreller, püskürtme ve dövme kalıpları, kalıp sapları, kalıp desteği ve dayanak bloğu, zimbalar, kalıp uçları, kavrayıcılar ve kalıp başlıkları, sıcak kesiciler, alüminyum döküm kalıpları, dövme kalıpları için uçlar, şişiriciler ve kovandelme kalıpları.

H11: Kalıp döküm kalıpları, zimbalar, delme kalıpları, mandreller, püskürtme kalıpları, dövme kalıpları, yüksek dayanımlı yapı elemanları.

H12: Püskürtme kalıpları, destek blokları, tutucular, kavrayıcılar ve başlık kalıpları, dövme kalıbı, zimbalar, mandreller, soğuk başlık kalıpları için başlıklar.

H13: Kalıp döküm kalıpları ve uçları, destek blokları, maçalar, itici pimler, pompa pistonları ve manşonları, püskürtme kalıpları, dövme kalıpları ve uçları.

H14: Destek blokları, kalıp tutucular, alüminyum ve pirinç püskürtme kalıpları, pres koçanları, destek blokları, dövme kalıpları ve uçları kavrayıcı kalıplar, kovan delme matkapları, ve mandreller, sıcak zimbalar, dışarı itme halkaları, kalıplar ve pirinç dövmeler için uçlar.

H19: Püskürtme kalıpları ve kalıp uçları, destek blokları, zimbalar, dövme kalıpları ve kalıp tutucular, mandreller, sıcak zimba takımları.

H21: Mandreller, sıcak tasarım kalıpları, sıcak zimbalar, döner kesiciler için bıçaklar, sıcak traşlama kalıpları, püskürtme ve prinç malzeme için kalıp döküm kalıpları, destek blokları, delici noktalar, tutucu kalıplar sıcak somun takımları (Diş kesim, kesme, köşe işleme, delme) sıcak başlıklar.

H22: Mandreller, sıcak tasarım kalıpları, sıcak zimbalar, döner kesiciler için bıçaklar, sıcak iş kalıpları, püskürtme kalıpları, destek blokları, delici noktalar, kavrayıcı noktalar.

H23: Püskürtme ve prinç malzeme için kalıp döküm kalıpları, prinç ve bronz malzemeler için kalıcı kalıplar.

H24: Zimbalar ve pirinç malzemeler için kesme kalıpları, sıcak tasarım ve çekme kalıpları, traşlama kalıpları, destek blokları, sıcak—press kalıpları, sıcak zimbalar, tutucu kalıplar, sıcak şekillendirme merdaneleri, sıcak kesme bıçakları, dövme kalıpları, sıcak başlık kalıpları, püskürtme kalıpları.

H25 : Sıcak şekillendirme kalıpları, kalıp döküm ve dövme kalıpları, kalıp tespitleri, püskürtme kalıpları ve kovanlar, taslak kalıpları, kavrayıcı kalıpları, zimbalar, sıcak dövme kalıplar, somun deliciler, delici noktalar, mandreller, yüksek sıcaklık yayları.

H26: Mandreller, sıcak taslak kalıpları, sıcak zimbalar, döner kesiciler için bıçaklar, sıcak traşlama kalıpları, püskürtme kalıpları, destek blokları, delici noktalar, kavrayıcı kalıplar, boru pafta kalıpları, somun keskileri, dövme pres uçları; pirinç ve bakır için püskürtme kalıpları.

H24: Soğuk süsleme kalıpları, sıcak şişirme kalıpları, destek blokları, başlık kalıpları, sıcak püskürtme kalıpları, sıcak başlıklar ve püskürtme kalıpları, ve kalıp uçları, sıcak şekillendirme ve dövme kalıpları, somun deliciler, sıcak zimbalar, mandreller, talaş kaldırma keskileri.

7.9 YÜKSEK-HIZ TAKIM ÇELİKLERİ (T VE M TIPLERİ)

Kimyasal Kompozisyonlar ve Tipik Uygulamalar

Yüksek hız çelikleri oldukça alaşımlandırılmış çeliklerdir; çok sert metallerin yüksek kesme hızları için kullanılır (Bu nedenle isim “yüksek hızdır”). Bu çeliklerle ilgili kesme hızları takım ucunda genellikle kırmızı aralık sıcaklıklarına neden olduğu için takım çelikleri bu sıcaklıklarda temperlemeye direnç göstermek zorundadır. Çeliğin kırmızı aralıkta yumuşamaya direnç yeteneği kırmızı sertlik olarak adlandırılır ve yüksek hız çeliğinin önemli bir özelliğidir. Bu çelikler, uzun bir süre için keskin kesme uçlarını koruyabilmeleri amacıyla iyi bir aşınma ve yüksek sertliğe sahip olmak zorundadır.

Yüksek hız çelikleri bir çok farklı uygulamalar için geliştirilmiştir ve karbür oluşumu ve kırmızı sertlik için tungsten ve/veya molibden ve sertliği artırmak ve oksidasyonu azaltmak için krom içerirler. Bazen yüksek sıcaklık sertliğini artırmak için kobalt ilave edilir. Yüksek-hız çelikleri iki gruba ayrılır. (1) Tungsten, tip T, ve (2) molibden, tip M. Bazı yüksek hız çeliklerinin tipik uygulamaları ve kimyasal kompozisyonları Tablo 7.8’de verilmiştir.

Tablo 7.8. Bazı yüksek hız takım çelikleri için nominal kimyasal kompozisyonlar ve tipik uygulamalar.+

AISI tipi	% C	% W	% Mo	% Cr	% V	% Ni
Yüksek hız (Tungusten)						
T1	0.75	18.00	—	4.00	1.00	—
T2	0.80	18.00	—	4.00	2.00	—
T4	0.75	18.00	—	4.00	1.00	—
T5	0.80	18.00	—	4.00	2.00	—
T6	0.80	20.00	—	4.50	1.50	1.00
T8	0.75	14.00	—	4.00	2.00	—
T15	1.50	12.00	—	4.00	5.00	—
Yüksek hız (molibden)						
AISI tipi	% C	% W	% Mo	% Cr	% V	% Ni
M1	0.85	1.50	8.50	4.00	1.00	—
M2	0.85;1.00	6.00	5.00	4.00	1.00	—
M3-1	1.05	6.00	5.00	4.00	2.40	—
M3-2	1.20	6.00	5.00	4.00	3.00	—
M4	1.30	5.50	4.50	4.00	4.00	—
M6	0.80	4.00	5.00	4.00	1.50	1.00
M7	1.00	1.75	8.75	4.00	2.00	—
M10	0.85; 1.00	—	8.00	4.00	2.00	—
M30	0.80	2.00	8.00	4.00	1.25	—
M32	0.80	1.50	8.50	4.00	1.25	—

KULLANILDIĞI YERLER

T1 : Matkaplar, erkek klavuzlar, stampalar, torna ve planya takımları, raybalar, başlıklar, parlatma kalıpları, soğut püskürtme kalıpları, soğuk başlık kalıp tespitleri, aydınlatma kalıpları, vida lokmaları, kesiciler, klavuzlar, parmak klavuzları, parmak freze, freze çakıları.

T2: Torna ve planya takımları, freze çakıları, şekillendirme kalıpları, tığlar, raybalar, vida tarakları.

T4: Torna ve planya takımları, matkaplar, delik büyütme takımları, tığlar, torna takımları, freze çakıları, vargel takımları şekillendirme takımları, stampalar, tek ağızlı kesme takımları (torna kalemleri)

T5: Torna ve planya takımları, şekillendirme takımları. Keski kalemleri, kırmızı sertlik gerektiren ağır iş takımları,

T6: Ağır iş torna ve planya takımları, matkaplar, kontrol takımları, keski kalemleri, parmak frezeler, stampalar.

T8: Delik büyütme takımları, torna takımları, ağır iş planya takımları, takım uçları, paslanmaz çelikler için tek ağızlı kesme takımları (torna kalemleri)

T15: Şekillendirme takımları, torna ve planya takımları, tığlar, parmak frezeler, taslak kalıpları, zimbalar, iyi aşınma direnci gerektiren ağır iş takımları.

M1: Matkaplar, klavuzlar, parmak frezeler, raybalar, freze çakıları, stampalar, zimbalar, torna ve planya takımları, şekillendirme takımları, testereler, vida tarakları, izleyiciler, ağaç iş takımları.

M2: Takımları, klavuzlar, mil uçları, raybalar, parmak frezeler, vs. stampalar, şekillendirme takımları, testereler, torna ve planya takımları, vida tarakları, tığlar ve delik büyütme takımları.

M3: Matkaplar, klavuzlar, parmak frezeler, raybalar, havşa açıcılar, tığlar, stampalar, şekillendirme kalıpları, torna ve planya takımları, kontrol takımları, parmak frezeler, kanal testereleri, zimbalar, çekme kalıpları, izleyiciler, ağaç iş takımları.

M3-2: Matkaplar, klavuzlar, parmak frezeler, raybalar, havşa açıcılar, tığlar, stampalar, şekillendirme kalıpları, torna ve planya takımları, kontrol takımları, kanal testereleri, zimbalar,

- M6:** Torna takımları, delik büyütme takımları, planya takımları, şekillendirme kalıpları, freze çakıları.
- M7:** Matkaplar, klavuzlar, parmak frezeler, raspalar, izleyiciler, testereler, parmak frezeleri, torna ve planya takımları, vida tarakları, delik büyütme takımları, ağaç iş stampalar, şekillendirme takımları, zimbalar.
- M10:** Matkaplar, klavuzlar, raybalar, vida tarakları, parmak frezeler, torna ve planya takımları, ağaç iş takımları, izleyiciler, testereler, parmak frezeler, stampalar şekillendirme takımları, zimbalar, raybalar.
- M30:** Torna takımları, şekillendirme takımları, freze çakıları, vida tarakları.
- M33:** Matkaplar, klavuzlar, parmak frezeler, torna takımları, freze çakıları, şekillendirme takımları vida tarakları.
- M34:** Matkaplar, klavuzlar parmak frezeler torna takımları, freze çakıları, şekillendirme takımları, vida tarakları.
- M36:** Ağır iş torna ve planya takımları, delik büyütme takımları, freze çakıları, matkaplar, keski kalemleri, takım ucu tutucuları.
- M41, M42, M43, M44, M46, M47 :** Matkaplar, parmak frezeler, raspalar, şekillendirici kesiciler torna takımları, stampalar, tığlar, parmak frezeler, helisel matkaplar, parmak frezeler RC 62–70'e sertleşebilme.