

YÜKSEK HIZ ÇELİKLERİNİN İÇ YAPI VE ISIL İŞLEM ÖZELLİKLERİ

Mustafa TAYANÇ, Gülcan ZEYTİN
BA.Ü. Müh.-Mim. Fak. Makine Mühendisliği Bölümü
10100 BALIKESİR

ÖZET

Bu yazıda hız çeliklerinin çeşitleri, kullanım alanları, kesici takım malzemesi olarak istenen özellikler, bu özellikleri sağlamak için gerekli bileşim ve uygulanan ısıt işlemler detaylı olarak incelenmiştir. Özellikle yüksek sıcaklıkta sertlik ve aşınma dayanımını etkileyen çifte sertleştirme (çifte su verme) ve çifte menevişleme işlemlerinin esasları açıklanmıştır. Ayrıca kullanımları sırasında meydana gelebilecek olan hammadde, ısıt işlem, tasarım ve imalat hataları kısa başlıklarla verilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Yüksek hız çelikleri, iç yapı, ısıt işlem.

Metallographic And Heat Treatment Properties Of High Speed Steels

ABSTRACT

In this article, types of high speed steels, application areas, requested properties as cutting tool materials and required composition and applied heat treatments to provide this properties were investigated in detail. The fundamentals of double quenching and double tempering that effect the wear resistance and hardness at especially high temperatures were explained. Except these; raw material, heat treatment, designation and manufacturing defects that can be occurred during usage were given in short titles.

Key words: High speed steels, metallography, heat treatment.

1. GİRİŞ

Yüksek hız çeliklerinin gelişimi Mushet'in 1860'da tungsten-manganez çeliğini sertleştirme yoluyla elde ettiği ürün ile başlar. Bu çeliklerin işlenebilme imkanları Taylor ve White'in yüksek hız çeliğinin müjdesini verdikleri 1900 yılına kadar tam olarak değerlendirilememiştir [1].

Yüksek hız çelikleri takım ağzı kızaracak ölçüde yüksek kesme hızlarında dahi talaş kaldırabilen, yani bu koşullara rağmen yüksek sıcaklık sertliğini büyük oranda ve uzun süre koruyan malzemelerdir. Bu malzemeler yüksek sıcaklıklara ve aşınmaya karşı dayanımlıdır. Bu özellikleri çeliğe kazandırmak için bazı alaşım elemanlarının ilavesinin yanında uygun ısıl işlemin de gerçekleştirilmesi gerekir.

2. YÜKSEK HIZ ÇELİKLERİNDEN İSTENEN ÖZELLİKLER

2.1 Sertlik

Sert bir malzemenin işlenmesi ancak kendinden daha sert bir takım ile gerçekleştirilir. Bu amaca uygun olarak yüksek hız çeliklerinin yüksek karbon ve alaşım elemanları ilaveleri yüzünden sertlikleri fazladır. Alaşım elemanlarının karbonla oluşturduğu özel karbürler sertliği önemli ölçüde artırırlar. Karbon ve alaşım elemanlarını ve dolayısıyla bunların oluşturduğu özel ve sert karbürleri arttırarak sertlik 67-68 HRC'ye kadar yükseltilebilir. Sertleştirme sonrası belirli bir sertlik alma derinliği veya sertleşme kabiliyeti, M10'un dışındaki bütün yüksek hız çeliklerinin havada soğutulması ile yaklaşık 1 inç (25.4mm) civarında olmaktadır. Hava yerine yağ veya ergimiş tuz banyosu soğutma ortamı olarak seçildiğinde bu derinlik 3 inç'e kadar çıkabilir [3].

2.2 Tokluk

Zorlamalar ve darbeler karşısında takımın kırılmaya karşı dirençli, diğer bir deyişle tok olması istenir. Fakat yüksek hız çeliklerindeki yüksek karbon ve alaşım miktarı çeliğe sertlik özelliği verdiğinden kullanım yerine göre çeliğin tok olması istendiğinde bazı önlemler alınmalıdır.

Yüksek hız çeliklerinde tokluk, çeliğin bileşimindeki karbon miktarının daha düşük seviyeye ayarlanması veya çeliğin genel olarak bilinen ostenitleme sıcaklığından daha düşük bir ostenitleme sıcaklığında sertleştirilip, böylece daha iyi tane boyutu sağlanması ile arttırılır. 1100-1200 °F (593-649 °C) arasında temperlemek te hız çeliklerinin tokluğunu arttırır. Bununla birlikte, tokluk arttığında sertlik ve aşınma dayanımının da azalacağı gözden kaçırılmamalıdır [4]. Dolayısıyla yukarıda bahsedilen işlemler tokluğun ön planda, önemli olduğu durumlarda uygulanmalıdır.

2.3 Aşınma Dayanımı

Hız çeliğinin aşınma dayanımlı olması, sürtünmeye, yumuşamaya veya mekanik etkilere karşı dirençli olmasıdır. Bu da kullanımı esnasında takımın daha uzun sürede değişimini gerektirdiğinden kullanımda ekonomiklik sağlar.

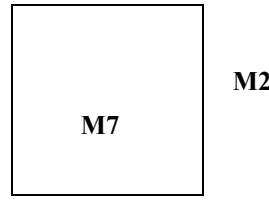
Yüksek hız çelikleri, martenzit yapısı içine dağılmış sert refrakter karbürlerin ve temperlenmiş martenzit matrisinin yüksek sertliğinden dolayı yüksek aşınma dayanımına sahiptirler. Molibden karbürünün (M_6C) sertliği 75 HRc iken, vanadyum karbürünün (MC) sertliği 84 HRc'dir. Bu yüzden MC karbürünün miktarını arttırmak aşınma dayanımını arttırır. Fakat yüksek vanadyumlu hız çeliklerinin daha iyi aşınma dayanımlı olmalarına karşın, bu çeliklerin işlenebilme ve taşlanabilme zorlukları vardır. Tablo 1'de bazı yüksek hız çeliklerinin özellikleri ile maliyeti 1 ile 10 arasında yükseğe doğru sıra ile belirtilmiştir.

Tablo 1 Bazı Yüksek Hız Çeliklerinin Değişik Özellikleri [4].

AISI cinsi	Aşınma Dayanımı	Tokluk	Sertlik	Bulunabilirlik	Maliyet	İşlenebilirlik	Taşlanma Oranı
M1	4	10	5	8	2	6	7.0
M2	5	10	5	8	3	5	4.0
M3	6	7	6	8	4	4	3.0
M3	7	5	6	6	4	4	2.5
M4	9	5	6	6	4	3	1.0
M7	6	8	5	8	3	5	3.5
M10	5	8	5	8	3	6	3.5
M33	5	5	8	6	5	3	4.0
M36	5	5	8	4	5	3	4.0
M41	6	4	8	4	5	3	2.5
M42	6	4	9	4	5	3	5.0
T1	4	8	5	6	5	5	6.5
T4	5	4	7	4	6	3	6.0
T5	5	4	8	4	6	2	5.0
T6	5	2	9	4	8	2	3.0
T8	5	4	6	4	6	3	4.0
T15	10	3	9	6	6	1	0.8

Şekil 1, M7 ve M2 hız çeliklerinin aşağıdaki deneye göre aşınma dayanımı ve aşınma hızını göstermektedir. Deney Koşulları: 365 HB sertliğindeki B-120 Titan malzemesine hız çelikleri ile ince talaş kaldırarak dört uçlu kesici takım ile kanal açılmıştır. (Kesme şartları: Takım çapı = 25 mm, radyal paso = 6.4 mm, eksenel paso = 25 mm, kesme hızı = 7.5 m/dak, ilerleme hızı = 0.17 mm/dev, soğutma sıvısı olarak suda çözülebilir yağ.)

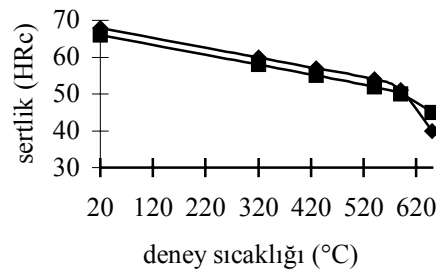
Bu şekilden de görüldüğü gibi M7 M2'den yaklaşık %25 daha yüksek aşınma dayanımına sahiptir. Bunun sebebi M7'nin M2'ye nazaran daha yüksek karbon ve molibden alaşım elemanını içermesidir [5].



Şekil 1. M7 ve M2 Yüksek Hız Çeliklerinin Birbirlerine Nazaran Aşınma Oranı ve Aşınma Dayanımı [5].

2.4 Sıcak Sertlik

Sıcak sertlik, hız çeliği takımlarının yüksek kesme hızlarında oluşan yüksek sıcaklıklara dayanabilme özelliğidir. Yüksek hız çeliklerinin sıcak sertlik özelliği, bileşimlerine ve temperleme işlemi esnasında alaşım karbürlerinin çökeldiği ikincil sertleşme reaksiyonlarına bağlıdır. Tungsten sıcak sertliği sağlar çünkü tungsten karbürleri çok yüksek sıcaklıklarda çözünür. Genel olarak kullanılan sertleştirme sıcaklıklarında tungsten karbürlerinin fark edilir bir miktarı ostenit içinde çözünmeden kalır. Bu tungsten karbürleri aşınma dayanımlıdır. Ostenit içinde çözünen tungsten miktarı temperlemede karbür çökmesi esnasında ikincil sertleşmeyi sağlar. Kobalt karbür oluşturmaz ama karbon atomlarının yerini tutarak matrikste çözünür böylece kobalt yüksek hız çeliklerinin martensitik yapısını kuvvetlendirerek sertliği ve sıcak sertliği sağlar. Kobalt, temperleme işlemi esnasında çeliğin yumuşamasını geciktirir ve bu, çeliğe daha yüksek sıcak sertlik verir [4]. Şekil 2’de M7 ve M2’nin sıcak sertlik özelliğine ilişkin bir diyagram verilmektedir. Bu diyagrama göre oda sıcaklığında hemen hemen 67-68 HRC değerlerinde olan sertlik, takım ucunun 500-550°C gibi yüksek deney sıcaklıklarında kullanılmaya başlanmasıyla ani düşüş gösterir. Bu sıcaklıklara kadar sertlikte çok önemli bir düşüş gözlenmez. Bir takım ucunun 500°C gibi bir sıcaklığa kadar az bir sertlik kaybetmesi takımın sıcak sertliğe sahip olduğunu gösterir.



Şekil 2 M7 ve M2 Yüksek Hız Çeliklerinde Deney Sıcaklığı ile Sertliğin Değişimi(Sıcak Sertlik Özelliği) [5].

M2’nin tungsten miktarı M7’ye göre daha fazladır. 550°C den sonra M7’de ani bir sertlik kaybı gözlenirken, M2’deki bu kayıp daha azdır. Bunun sebebi M2 çeliğindeki tungsten karbürlerinin daha fazla olması ve yüksek sıcaklıklara daha dayanıklı olmasıdır[5].

2.5 Kesme Kabiliyeti

Kesme takım malzemeleri olarak kullanılan yüksek hız çeliklerinden beklenen önemli özelliklerden biri de kesme kabiliyetidir. Takım kullanım alanına göre kesme kabiliyeti ön plana çıkarılarak şekillendirilir. Daha sonra takım iş parçasının malzemesine göre uygun biçimde tokluk, sertlik ve aşınma dayanımı gibi özellikler kazanması için ısıtılma işlemi tabii tutulur. Takım uçlarının geometrisi, kesme işleminde iş parçasından ayrılan talaşın uca sarılmaması için uygun açılarda olmalıdır. Genellikle, M7 düşük alaşımlı çeliklerin, demirlerin ve kısa çentik oluşturan diğer malzemelerin işlenmesinde M2 gibi yaklaşık aynı kesme performansını gösterir. M7 takımlarının daha sert olmalarına rağmen M2'ye göre M7 takım çelikleri daha büyük krater dayanımı avantajına sahiptir. M7, austenitik paslanmaz çelikler ve titanyum gibi uzun çentikler oluşturan malzemeleri kesmede M2'ye göre tercih edilmez [5].

2.6 Meneviş Kalıcılığı

Yüksek meneviş sıcaklıklarında sertliğin çok az azalması olarak bilinen meneviş kalıcılığı, yüksek hız çelikleri ile yapılan talaşlı imalatla önemli bir özelliktir. Metallerin ve diğer sert malzemelerin talaşlı imalatında, sürtünme dolayısıyla takımlar ısınır, kesici uçlar hızla yumuşar, körelir ve kırılabilir hale gelir. Yüksek hız çeliklerinin gelişimi ile yüksek hızlarda işleme ve derin talaş kaldırma olanağı doğmuştur. Uygun alaşımlandırma ile yüksek hız çeliklerinin meneviş kalıcılığı artırılır. Bu özelliği sağlayan en önemli elementler volfram, molibden ve vanadyumdur [6].

3. YÜKSEK HIZ ÇELİĞİNİN İÇ YAPISI ve ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ÇELİK ÖZELLİĞİNE ETKİLERİ

Yüksek hız çelikleri ledeburitik iç yapıya sahiptirler. Bunlar yapılarında Fe_3C değil de, alaşım elemanları yüzünden özel karbürler bulundurulur. Bu karbürler sayesinde saf Fe-C alaşımı ledeburitinden daha yüksek sıcaklıkta ergirler [7-14]. Şekil 3'te dökümden sonra hız çeliğinin ağ şeklindeki karbür ötektikumuna sahip iç yapısı görülmektedir.



Şekil 3 Dökümden sonra hız çeliği. Ağ şeklindeki karbür ötektikumu [7].

İç yapıyı ve özellikleri önemli ölçüde değiştiren belli başlı alaşım elemanları C, Cr, Mo, V, W ve Co'tır. Co'ın dışındakiler iç yapıda çökelerek karbür oluştururlar. Genel olarak yüksek hız çeliklerinde yedi grup karbür çökeler: 1- E- karbür: $\text{Fe}_{2.4}\text{C}$ (hcp), 2- θ - karbür: M_3C (Fe_3C), 3- MC ya da M_4C_3 : (V_4C_3), 4- M_2C : (W_2C ya da Mo_2C), 5- λ - karbür: M_7C_3 (Cr_7C_3), 6- γ - karbür: M_{23}C_6 (Cr_{23}C_6), 7- η - karbür: M_6C ($\text{Fe}_3\text{W}_3\text{C}$ ya da $\text{Fe}_4\text{W}_2\text{C}$) Burada 'M' bir metale veya metal grubuna karşılık gelmektedir. M_6C özgün olarak yüksek hız çeliği olarak bilinir ve çeliğe kırmızı sertlik özelliğini sağlar. M_{23}C_6 karbürü temelde krom-karbürdür ve ostenitleme sırasında kolayca çözünerek ostenitin oluşmasına büyük katkıda bulunur. Sertleştirme sonucu istenilen martensitin oluşumuna da etkide bulunur. MC karbürü ya da vanadyum-karbür aşırı sertliğinden dolayı çeliğin aşınma direncini arttıran bir karbürdür [8].

3.1 C Etkisi

Çeliğin mekanik özelliklerini en fazla etkileyen elemandır. Artan karbon oranı ile çeliğin dövme, kaynak, talaş kaldırma ve derin çekme ile şekillendirilme yeteneği azalırken, sertleşme kabiliyeti artar[9].

3.2 Cr Etkisi

Cr, her %1 oranı için çeliğin mukavemetini 90 N/mm^2 artırır fakat kopma uzamasını %1,5 oranında azaltır. Kritik soğuma hızını küçültür ve böylece sertleşme derinliği artar. Demirin karbonu çözebilme kabiliyetini azaltır, bundan dolayı ostenitin doymuşluk sınırı (A_{cm}) sola doğru fazlaca kayar ve çelikte karbürlerin ayrışmasına neden olur. Oluşturdukları krom karbürler ile çeliğin sertliği artar. Tufallaşmayan çeliklerin en önemli alaşım elemanı kromdur [7-14].

3.3 Mo Etkisi

Mo, özel karbür oluşturur, bu karbürler sıcakta mukavemeti uzun süre korurlar. Özellikle V, W ve Cr ile bileşim yaparak çeliğin kesme kabiliyetini artırır. Mo'nin çok az miktarı bile meneviş gevrekliğini giderir. Tane küçültücü etkisi vardır. Mo pratik olarak yanmaz, bu yüzden hurda demirin ergitilmesi esnasında büyük oranda geri kazanılabilir. Molibden ilavesi ile çelik dekarbürizasyona duyarlı hale gelir.

3.4 V Etkisi

Vanadyum, özel VC karbürünü oluşturur. Bu karbür, ostenit içinde Fe_3C 'den daha zor çözünebilir. Bu nedenle, sertleştirme sıcaklığı $1250^{\circ}C$ 'dir. Böylece, henüz çözünememiş karbür, ostenitin sertleşebilmesi için gerekli karbonu çeker. Bu çelikler, yaklaşık $600^{\circ}C$ sıcaklığa kadar yapılan tavlamalara karşı dayanıklıdır. Menevişleme tavlama sırasında sertliğin fazlaca düşmesine Fe_3C 'nin ayrışması neden olur. Çok küçük miktarlardaki vanadyum bile, zor çözünebilir karbürler oluşturduğundan çeliğin aşırı ısıtmaya karşı hassasiyetini azaltır. Vanadyum takımın kesme kabiliyetini ve havada sertleşme özelliğini artırır.

3.5 W Etkisi

W, çeliklerin aşınma dirençlerini, menevişleme tavlama dayanıklılığını ve sııcaktaki mukavemet değerlerini artırır. Ostenitin karbona doymuşluk çizgisini sola doğru kaydırır. W, çelikte zor çözünebilir $(FeW)_6C$ karbürünü oluşturur. Bu karbür, sertleştirme sıcaklığı artırıldığında çözünebilir, böylece sertlik ve sertleşme derinliği artar. Karbürlerin çok küçük çözünme hızından dolayı W çelikleri, aşırı ısıtmaya karşı hassas değildirler [7-15].

3.6 Co Etkisi

Co, malzemenin kritik soğuma hızını artırır, bundan dolayı su vermede sertleşme derinliğini azaltır. Çeliğe ilave edildiğinde katılaşmanın tamamlanma sıcaklığını yükseltir, A_3 dönüşüm noktasını düşürür ve γ bölgesini genişletir. Co, ferriti sertleştirir ve böylece kızıl sıcaklıkta sertliğe yardım eder. Korozyon ve aşınma direncini artırır, çekme ve akma mukavemetlerinde az bir artış sağlar fakat çekilebilme özelliğini azaltır [10-15].

4. YÜKSEK HIZ ÇELİKLERİNİN SINIFLANDIRILMALARI

Yukarıda belirtilen alaşım elemanlarının değişik yüzdelerde ilaveleri ile yüksek hız çelikleri M2, M42, M10, M7, T1, T6 gibi farklı şekillerde isimlendirilirler. Bu çelikler genel olarak iki ana grup altında incelenebilir.

T harfı ile simgelenenler Tungsten Yüksek Hız Çeliklerini, M ise Molibden Yüksek Hız Çeliklerini ifade eder.

4.1. Tungsten Yüksek Hız Çelikleri

Bu hız çeliklerinin bileşiminde tungsten, krom, vanadyum, kobalt ve karbon en temel alaşım elementleridir. Özellikle %1.5'tan fazla vanadyum ve %1.0'den daha çok karbon içeren cinslerinde yüksek alaşım ve karbon yüzdesi, mikroyapıda büyük miktarda sert ve aşınma dayanımlı karbürler meydana getirir. T15 yüksek hız çeliği, tokluğunun biraz düşük olmasına karşın tungsten çeliklerinin içinde aşınmaya en çok dirençli olanıdır. Kobalt ilavesi ile kızıl sertlik artırılır. Sert ve ısı dayanımlı bir matrix içinde bulunan aşınmaya dirençli karbürlerin varlığı, bu çeliklerin kesme takım malzemeleri olarak kullanılmalarına olanak sağlar.

4.2 Molibden Yüksek Hız Çelikleri

Mo, W, Cr, V, Co ve C molibden yüksek hız çeliklerinin temel alaşım elementleridir. Bu çelikler özellikleri bakımından tungsten yüksek hız çeliklerine benzerler fakat genellikle aynı sertlikte biraz daha yüksek tokluğa sahiptirler. Molibden çeliklerinin esas avantajı aynı cinsteki tungsten çeliklerinden hemen hemen %40 daha düşük ilk maliyete sahip olmalarıdır. Yüksek karbon ve vanadyum miktarları aşınma dayanımını artırır; tungsten çeliklerindeki gibi kobalt miktarlarındaki artış kızıl sertliği yükseltir. M15, M grubunun aşınmaya en çok dayanımlı çeliğidir. M çelikleri, özellikle ısıtmada ve atmosfere bırakmada sertleştirme koşullarına T çeliğinden biraz daha fazla duyarlıdır, çünkü bunlar uygun olmayan işlem şartları altında kolaylıkla dekarbürize olurlar. Amerika'da üretilen bütün yüksek hız çeliklerinin yaklaşık olarak %90'ı molibden çeliğidir [3].

4.3 Sıcağa Dayanma Özellikleri

Takımın kesme kenarında oluşan sıcaklıklarda yumuşamaya karşı direncinden dolayı yüksek hız çeliklerinin en önemli özelliği kızıl sertliktir. Kesme takımları yağ veya diğer soğutucular ile soğutulduğunda bile aşınma ve sonuçta meydana gelen bozulma büyük miktarda çeliğin kızıl sertliğine bağlıdır. Sertleştirilmiş takım çeliğinin yumuşaması, sertleştirilmiş

martenzitik matriksten karbürlerin çökmesi ve bir araya toplanmasını sağlar. Alaşım elemanları fazla olan çelikler bu çökme etkisine direnç gösterirler. Yüksek alaşım karbürlerinin varlığı yüksek sıcaklıklarda çeliğin sertliğini muhafaza etmesine yardımcı olur [3].

4.4 Takım Performansı Üzerine Bileşimin Etkisi

Son yıllarda çelikhanede ileri işleme teknikleri uygulanarak yüksek hız çelikleri üzerinde karbür ayrışmasının etkisi daha önemsiz hale gelmiştir. Ayrışmalı ve ayrışmasız (segregasyonlu ve segregasyonsuz) çubuklardan imal edilen yüksek hız çeliği matkapları ile yapılan kesme deneylerinin sonuçları, ayrışmanın genellikle matkap ömrünü azalttığını gösterir. Bu etki özellikle matkaplarda önemlidir; çünkü en büyük ayrışma, takımın en yüksek gerilmeli bölgesi olan matkabın kesici ağzındadır. Bazı yüksek hız çelikleri talaşlı işlenebilirliği sağlamak için kükürt ilave edilmiş olarak bulunur. Kükürt ilaveleri takım performansını ters yönde etkileyen büyük inklüzyonları önlemek için dikkatli ve kontrollü yapılmalıdır. İşlenebilirlik için ilave edilen sülfür yapıda ince uzamış çubuklar halinde dağıldığından çeliğin mekanik özellikleri önemli ölçüde etkilenmez.[3] Bu çelikler tavllanmış durumda değişik boyutlarda; yuvarlak, hegzogonol , kare, levha çubuklar şeklinde, sıcak işlenmiş ve tavllanmış olarak bulunabilirler. Yüksek hız çelikleri raybalar ve matkaplar gibi küçük takımları imal etmek için tavllanmış veya ısıl işleme tabi tutulmuş delme çubuklar olarak da bulunurlar.

Bazı yüksek hız çeliklerinin özellikleri Tablo 2' de verilmiştir.

Tablo 2. Hız çeliklerinin nominal bileşimleri ve maliyetleri [2].

Çelik	C	Cr	V	W	Mo	Co	Maliyet
Molibden Yüksek Hız Çelikleri							
M1	0.80	3.75	1.15	1.75	8.75	...	1.32
M2 1.sınıf	0.85	4.00	2.00	6.25	5.00	...	1.36
M2 2.sınıf	1.00	4.00	2.00	6.25	5.00	...	1.36
M3 1.sınıf	1.05	4.00	2.50	6.25	5.75	...	1.72
M3 2.sınıf	1.20	4.00	3.00	6.25	5.75	...	1.72
M4	1.30	4.00	4.00	5.50	4.75	...	1.72
M6	0.80	4.00	1.50	4.25	5.00	12.00	2.74

M7	1.02	3.75	2.00	1.75	8.75	...	1.32
M8	0.80	4.00	1.50	5.00	5.00	1.25	...
M10 1.sınıf	0.89	4.00	2.00	0.70	8.00	...	1.32
M10 2.sınıf	1.00	4.00	2.00	0.70	8.00	...	1.32
M15	1.50	4.00	5.00	6.50	8.50	5.00	2.805
M30	0.80	4.00	1.20	1.80	8.25	5.00	1.675
M33	0.88	3.75	1.15	1.75	9.50	8.25	1.96
M34	0.90	3.75	2.10	1.75	8.75	8.25	1.97
M35	0.85	4.00	2.00	6.00	5.00	5.00	2.25
M36	0.85	4.00	2.00	6.00	5.00	8.25	2.47
M41	1.10	4.25	2.00	6.75	3.75	5.25	2.07
M42	1.08	3.75	1.15	1.60	9.60	8.25	1.98
M43	1.20	3.75	1.60	2.70	8.00	8.20	1.98
M44	1.15	4.25	2.00	5.25	6.50	11.75	2.96
M45	1.27	4.20	1.60	8.25	5.20	5.50	2.21
M46	1.24	4.00	3.20	2.10	8.25	8.25	...
Tungsten Yüksek Hız Çelikleri							
T1	0.73	4.00	1.00	18.00	...	...	2.10
T2	0.85	4.00	2.00	18.00	...	...	2.30
T3	1.05	4.00	3.00	18.00	0.60	...	2.40
T4	0.75	4.00	1.00	18.00	0.60	5.00	2.87
T5	0.80	4.25	2.00	18.00	0.90	8.00	3.085
T6	0.80	4.25	1.60	20.50	0.90	12.25	4.655
T7	0.75	4.00	2.00	14.00	...	...	...
T8	0.80	4.00	2.00	14.00	0.90	5.00	2.72
T9	1.20	4.00	4.00	18.00	...	...	3.16
T15	1.55	4.50	5.00	12.50	0.60	5.00	2.915

5. YÜKSEK HIZ ÇELİKLERİNE UYGULANAN ISIL İŞLEMLER

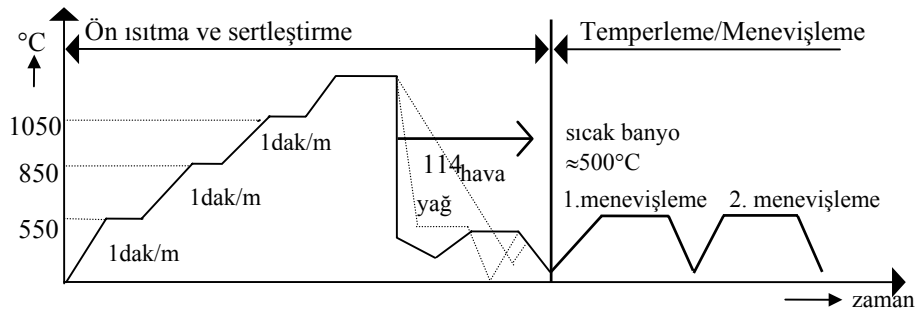
Isıl işlemler malzemeyi uygun sıcaklığa ısıtıp belirli miktar bu sıcaklıklarda tutarak ve çeşitli ortamlarda soğutmak suretiyle iç yapı ve özellikleri iyileştirmek amacıyla yapılır. Isıl işlemler takımaların performansını büyük ölçüde etkiler. Genelde ısıl işlemler takım imalatında son veya sondan bir önceki işlemler olarak uygulandıklarından takım kalitesi için son derece önemli bir etkidirler.

5.1 Tavlama Ve Sertleştirme

Şekil verme işleminden ve sertleştirmeden önce bütün yüksek hız çelikleri bileşimlerine göre 760-850°C arasında 2-4 saat tavlama ile yumuşatılırlar, daha sonra fırında 600°C sıcaklığa kadar çok yavaş soğutulur. Bunu takiben havada veya fırında ortam sıcaklığına kadar soğutulurlar. Bu esnada çelik oksidasyona karşı korunmalıdır. Tavlanmış yapı perlit matrisi içinde dağılmış karbür küreciklerinden ibarettir [1].

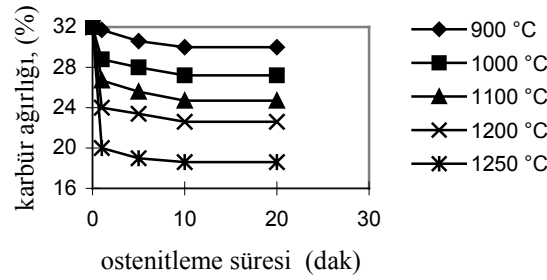
Yüksek hız çeliğinin yapısında bulunan kararlı karbürlerin su vermeden önce yeteri kadar çözünmesi gerektiği için su verme sıcaklığı solidüs çizgisinin hemen altında 1200-1320°C olarak seçilir. Diğer taraftan bu çeliklerin yüksek alaşımlı olmaları çeliğin ısı iletim katsayısını düşürür. Çeliğin 1200°C gibi yüksek sıcaklığa hızla ısıtılması düşük ısı iletim katsayısı nedeniyle çarpılma ve çatlamalara sebep olur. Ayrıca yüksek sertleştirme sıcaklıklarında tane büyümesi ve oksidasyon meydana gelir. Bu nedenle çelik bu yüksek sıcaklığa çok yavaş veya kademeli olarak ve çoğunlukla kontrollü tuz banyosunda ısıtılır. Örneğin; ortam sıcaklığı, 800°C ...1000°C...1280°C vs.gibi. Bu kademeli ısıtmaya ön ısıtma da denir. Ön ısıtma, belli bir sıcaklık noktasında beklenerek yüzey ile merkez arasındaki sıcaklıkları dengelemektedir. Bekleme süresi düşük sıcaklıklarda milimetre kalınlık başına yarım dakika, yüksek sıcaklıklarda bir dakika olarak alınır. Su verme işlemi yağ, hava veya tuz ortamlarında yapılabilir.

Kademeli ısıtma ile ostenitleme sıcaklığına ulaşan çeliğin yapısındaki karbürlerin çoğu, bu sıcaklıkta çözünür ve ostenit fazı oluşması için gerekli karbon ve alaşım elamanlarını yapıya verirler. Çeliğin soğutma ortamında hızla soğutulması ile karbon ostenit fazı içinde sıkışır, sert ve gerilimli hacim merkezli tetragonal bir yapı oluşur ki, bu yapıya 'martenzit' denir. Hız çeliklerindeki yüksek alaşım elemanları ve karbon miktarı martenzit başlama ve tamamlanma sıcaklıklarını düşürür. Martenzit tamamlanma sıcaklığı oda sıcaklığının altına kadar düşer. Bu yüzden çeliğe ostenitleme sıcaklığından su verilirken yapıda martenzite dönüşmeden kalan ostenit bulunur. Bu 'kalan ostenit' veya 'artık ostenit' olarak adlandırılır. Martenzit ve artık ostenit dışında su verilmiş çeliğin iç yapısında ostenitleme sıcaklığında çözünmeden kalan ve alaşım elemanlarının oluşturduğu özel karbürler mevcuttur. Sertleştirme sonrası çeliğin iç yapısında %70 martenzit, %10 çözünmemiş karbür ve %20 artık ostenit bulunur [11]. Yapıdaki martenzit çeliğe sertlik ve aynı zamanda gerilimli bir yapı olduğu için kırılmalık verirken, artık ostenitin düşük sertliği sebebiyle yapıda sertlik bakımından bir dengesizlik gözlenir. Artık ostenitin sertliğe olumsuz etkisini gidermek için martenzite dönüştürmek ve gevrek martenzit fazının sertliğini giderip tokluğunu arttırmak amacıyla çelik, menevişleme işlemine tabi tutulur. Şekil 4 'te yüksek hız çeliklerinin kademeli ısıtılıp sertleştirme ve menevişleme fırın rejim eğrisi görülmektedir.



Şekil 4 Yüksek Hız Çeliklerinin Kademeli Isıtılıp Sertleştirilmesi ve Menevişleme [6-14].

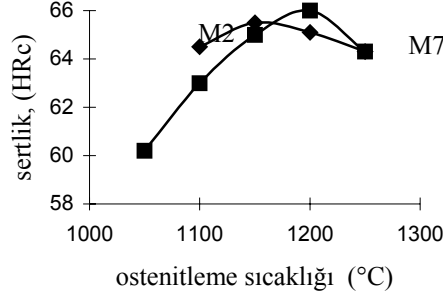
Menevişlemeden başka yapıdaki artık osteniti marteziye dönüştürmenin diğer bir yolu da oda sıcaklığına kadar havada soğutulmuş hız çeliğini, ‘sıfırlama işlemi’ diye bilinen bir işlem uygulamasıyla sıvı azot (-196°C) ya da katı karbondioksit (kuru buz, -78°C) ortamına daldırmaktır [7]. Sertleştirme işleminde ostenitleme sıcaklığı ve süresi önemlidir. Sıcaklık ve süre az olduğunda az karbür çözünür ve su verme sonucunda elde edilen martenzit yeteri kadar sert olmaz. Bunun yanında aşırı yüksek sıcaklık ve sürelerde yapılan sertleştirme işlemi karbürlerin köşeleşmesine, tane büyümesine ve bölgesel erimelere yol açar. Ostenitleme sıcaklığını ve süresini arttırdıkça ostenit içinde daha fazla karbon çözünür, martenzit oluşma sıcaklığı düşer ve çeliğin su verilmiş yapısında daha fazla artık ostenit bulunur. Bu bakımdan ostenitleme sıcaklığında ve süresinde optimizasyon söz konusudur. Şekil 5’te artan ostenitleme sıcaklığı ve süresi ile daha fazla karbürün çözüldüğü görülmektedir



Şekil 5 Hız Çeliklerinde Karbür Çözünmesinin Ostenitleme Sıcaklık ve Süresi ile İlişkisi

Ostenitleme sıcaklığı tane büyümesine ostenitleme süresinden daha fazla etki eder; şöyle ki çeliğin erime sıcaklığının 40°C altına gelinceye dek zaman pek önemli bir rol oynamaz. Ancak 1290°C 'nin üstüne çıkıldıkça sıcaklık ve zaman tane büyümesine neden olur [8].

Şekil 6-a ve 6-b’de M7 ve M2 molibden yüksek hız çeliklerine ait ostenitleme sıcaklıkları ve sertlik değişimleri verilmektedir.



Şekil 6 Kontrollü atmosfer fırınında ostenitlenmiş ve yağda su verilmiş M2 ve M7 çeliklerinin ostenitleme sıcaklığına bağlı olarak sertlik değişimleri [5].

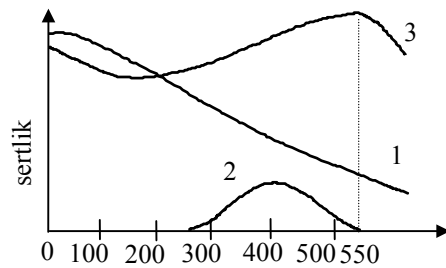
M7, M2’den daha düşük bir sıcaklıkta ostenitlenir. Bunun sebebi; M7’nin daha fazla karbon yüzdesine sahip olmasıdır. Çeliklerde karbon miktarı arttıkça ostenitleme sıcaklığı düşer. M7 çeliğinin sertleştirme işleminde, daha fazla karbon yapıda çözünüp, ostenit fazı daha çok karbon içerir. Çok karbonlu ostenitin soğutulması ile yine yapısında çok karbon olan martenzit oluşur. Martenzitin yapısındaki karbon miktarı arttıkça su verilmiş çeliğin sertliği de artar.

5.2 Soğutma Ortamı ve Menevişleme

İdeal bir soğutma ortamı malzemeden perlit kademesinde mümkün olduğu kadar çok, martenzit kademesinde ise çatlama tehlikesini azaltmak için mümkün olduğu kadar az ısı çekmelidir [11]. Diğer bir deyişle, ideal su verme ortamı çeliği Ms sıcaklığına kadar hızlı soğutmalı ve sonra oda sıcaklığına veya banyo sıcaklığına kadar oldukça yavaş soğutmalıdır. Yüksek hız çelikleri havada, yağda veya tuz banyolarında soğutulabilir fakat distorsiyona girmemeleri için plakalar arasında havada soğutulan çok ince takımlar dışında, fırında ısıtılan takımlar yağda, tuz banyosunda ısıtılanlar da ergimiş tuzda soğutulurlar. Sıcaklığı soğutucu tuzda dengelenen takım daha sonra havada soğutulur. Fırında ısıtılan büyük kesici takımlar, çatlama riski önlemek üzere birkaç kademe olmak şartıyla yağda soğutulurlar. Bu metotta takım 550°C’ye kadar yağda, sonra da havada soğutulur.

Ostenitlemede ısıtma ortamı olarak tuz banyosu kullanıldığında soğutucu tuzun önemli bir fonksiyonu vardır. Yüksek hız çeliklerinin ostenitlenmesi için kullanılan yüksek sıcaklıklı tuzlar suda hemen hemen hiç erimezler. Soğutucu tuz parça üzerindeki suda erimeyen ısıtıcı tuz tabakası ile birleşerek suda daha kolay eriyen bir bileşik meydana getirir ve böylece temperlemenden önce parçanın su ile kolayca temizlenebilmesini sağlar [12]. Sertleştirme işlemini takiben yapılan menevişleme işlemi genel olarak çeliğin gerilimini azaltmak amacıyla yapılır. Bunun dışında yüksek alaşımlı takım çeliklerinin martenzit tamamlanma sıcaklığı (M_f) oda sıcaklığının altında kaldığından sertleştirme sonucu yapıda oluşan artık ostenitin dönüşümünü sağlamak için yapılır. Menevişleme ile malzemenin çatlama tehlikesi azalır ve tokluğu artar.

Menevişleme sırasında hız çeliğinin sertliği zayıf alaşımlandırılmış demir-karbürün ayrışması sonucu biraz azalır. 450°C sıcaklığın üzerinde Mo_2C ve W_2C karbürleri ayrışır ve sertliği önemli ölçüde artırırlar. $500-600^{\circ}\text{C}$ sıcaklığında ayrışma (çökelme) sertliği meydana geldiğinden sertlik en yüksek değerine ulaşır. Bu olaya sekonder veya ikincil sertleşme denir [7]. Menevişleme sırasında karbürler sadece sertleştirme ile elde edilen martenzit fazından değil aynı zamanda artık ostenitten de ayrışır. Alaşım elemanı ve karbon oranları azalan artık ostenitin martenzit oluşumu başlama sıcaklığı (M_s) yükselir. Menevişleme sonucu artık ostenitin temperlenmemiş martenzite dönüşmesi yeniden menevişlemeyi gerektirebilir. İşlem sonunda iç yapı, ince iğneli martenzit içinde dağılmış ince karbürlerden oluşur. Şekil 7'de yüksek hız çeliklerine ait menevişleme sıcaklığı ile sertliğin değişimi genel olarak verilmektedir.



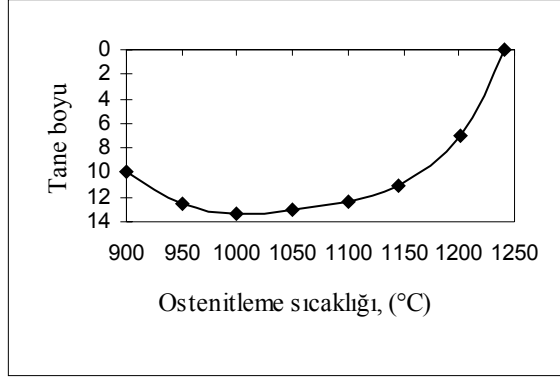
Şekil 7 Menevişleme Sıcaklığı ile Sertliğin Değişimi [11-14].

1 ile belirtilen eğri martenzitin Fe_3C ve benzeri karbürler ile ferrite ayrışması sonucu sertliğin düştüğünü gösterir. 2 nolu eğride ise ostenitleme sırasında çözünen özel karbürlerin yeniden oluşup çökmesi ile sertlik

artmaktadır. 3 nolu eğri, 1 ve 2 eğrilerinin toplam etkisini, yani menevişleme sıcaklıkları için çeliğin sertliğinin değişimini göstermektedir.

5.3 Çifte Su Verme

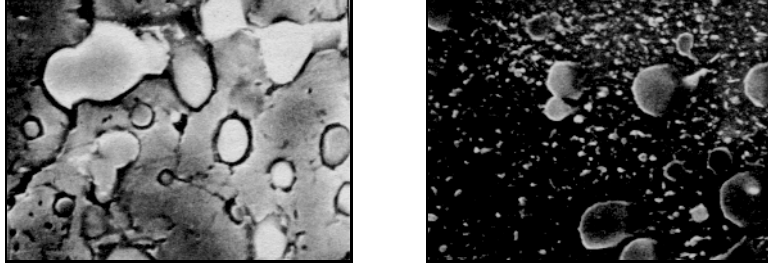
Hız çeliğine iki defa üst üste su verilmesi anlamında kullanılan çifte su verme işlemi son yıllarda uygulanmaya başlanmış yeni bir yöntem olup, tane büyümesini denetim altında tutmak ve ostenitleme işleminden en uygun şekilde yararlanıp karbür büyüklüğünü ve dağılımını denetlemek için uygulanır. İkinci ostenitleme sıcaklığı genellikle ilk ostenitleme sıcaklığından düşük bir sıcaklık olarak seçilir. Yapılan bir deneyde, M2 hız çeliği numunelerine uygulanan çifte su verme işleminde numuneler 1240°C de ostenitlenip havada soğutulduktan sonra değişik ikinci ostenitleme sıcaklıklarında su verildiklerinde tane boyutu ve ikinci ostenitleme sıcaklıkları arasındaki ilişki bulunmuştur. Şekil-8'deki grafikte bu değişim görülmektedir. İkinci ostenitleme sıcaklığı 1150°C'yi aştığında tane büyümesi de hızla artmaktadır[13]. Bu bakımdan ikinci ostenitleme sıcaklıkları birincisine çok yakın olmamalıdır.



Şekil 8 İkinci ostenitleme sıcaklığının M2 hız çeliğinin tane boyuna etkisi [13].

Yine bu deney sonucunda çifte su verilmiş M2 hız çeliğinin yapısı iğnemsî bir görüntüde olup, toklukta artış ve sertlikte düşüş gözlenmiştir. Tokluk artışı, çift su verme sonucunda yapıda oluşan yeni küçük karbürlerin çökelp yapıya homojen dağılması sebebiyledir. Şekil 9'da tek ve çift su verilmiş M2 hız çeliği numunesinin metalografik yapısı görülmektedir. Büyük iri adacıklar

çözünmemiş karbürler olup, küçük olanlar ise çift su verme ile yapıda çökelen küçük ve yeni karbürlerdir [13].



Şekil 9 a) 1220°C'de ostenitlenmiş havada soğutulmuş M2 çeliğinin iç yapısı, 4100X, nital dağlama. **b)** 1220°C+1000°C'de çifte ostenitlenmiş ve her iki ostenitlemeden sonra havada su verilmiş M2 çeliğinin iç yapısı, 4100X, nital dağlama [13].

5.4 Gerilim Giderme ve Dövme

Çeliğin dökümü esnasında uniform olmayan sıcaklık farklılıklarından ve deformasyon sırasında homojen olmayan şekil değiştirmeden dolayı çelik iç yapısında gerilimler meydana gelebilir. Gerilim giderme tavı, çeliği 600-700°C arasında tavlayıp genellikle yavaş soğutarak yapılır.

Yüksek hız çelikleri içerdikleri yüksek alaşım elemanları yüzünden yapılarında çok fazla özel karbür bulundurlar. Bu yüzden şekil değiştirme dirençleri büyüktür. Ancak 1150-900°C gibi yüksek sıcaklıklara ısıtıldıklarında dövülebilirler. Dövme sıcaklığına ısıtma kademeli yapılmalıdır. Dövme işleminde ledeburitik yapının bütün primer karbürleri parçalanmalı ve küresel olarak şekillendirilebilmelidir [7].

6. KULLANIM ALANLARI VE KUSURLAR

Yüksek hız çelikleri sanayide matkap uçları, diş açma takımları, freze bıçakları, raybalar, torna ve planya takımları, metal testereleri olarak talaşlı imalat; delme, kesme, tornalama, frezeleme ve zımbalama işlemlerinde kullanılır. Talaşsız imalat ise soğuk fişkirtme takımları olarak kullanılır [6].

Ergitme işlemi esnasında takım çeliklerine alaşım elementleri ilavesi, çeliğin müteakip sıcak işlenmesinin zorluklarını arttırır. Yüksek hız çeliği ve diğer yüksek alaşımlı takım çelikleri normal katılaşma sırasında ingotun merkezinde karbür ayrışmasını (segregasyonunu) arttırma eğilimindedir. Bu durum yüksek hız çeliklerinin sıcak presleme, dövme veya haddeleme ile imalatını zorlaştırır, çünkü bu işlemlerin her biri iyi sıcak işleme uygulamalarına rağmen iç çatlaklar veya kopmalar oluşturabilir. Talaş

kayıpları izafi olarak yüksek olduğundan bu cinslerin hepsi dikkatlice ve tam bir kontrol altında ısıtılmalı ve işlenmelidir. M2, M7 ve M10'un karbon oranını arttırmak sıcak işleme zorluklarını meydana getirir [3].

6.1 Dekarbürizasyon

Yüksek hız çeliklerinin ısıtılması esnasında oluşan problemlerden biri de yüzey dekarbürizasyonudur. Eğer ısıtılacak fırının atmosferi düşük bir karbon potansiyeline sahipse, çeliğin yüzeyinden bir miktar karbon kaybedilir. Bu olay su verilmiş kısmın daha düşük karbonlu martenzite sahip olmasına sebep olur ve bu kısım daha düşük bir sertlik gösterir. Metalografik olarak incelersek, dekarbürize olmuş yüksek hız çeliğinde beyaz ferrit alanı görülebilir. Fazla dekarbürize olmuş kısımlar su verme sırasında çatlar. Dekarbürizasyonu önlemek için yüksek hız çelikleri nötr tuz banyolarında veya kontrollü atmosfer fırınlarında ısıtılmalıdır. Vakum fırınlarında sertleştirme de uygulanabilir. Koruyucu atmosferin kapalı (kontrollü) olması önemlidir. Eğer ısıtılacak fırınlarının atmosferi aşırı yüksek karbon potansiyeline sahipse, karbon yüksek hız çeliklerinin yüzeyine yayılabilir. Karbürize olmuş yüksek hız çelikleri takımının yüzeyi yüksek düzeylerde artık ostenit ile yüksek karbonlu martenzit içerir [4].

6.2 Isıl İşlem Ve Tasarım Hatası

Takımların ısıtılması esnasında düşük sertleştirme sıcaklıkları yetersiz sertleşmeye sebep olur. Gereğinden yüksek olan sertleştirme sıcaklıkları ise tane büyümesi ile sonuçlanır. Bu yüzden tavsiye edilen sertleştirme sıcaklığı ve tavlama süreleri dışına çıkılmamalıdır. Takımlar nötr ortamlarda ısıtılmalı ve ısıtılma tabii tutulmazlarsa yüzeyel karbon kaybına (dekarbürizasyona) uğrarlar. Bu ise bölgesel olarak sertliğin 3-4 HRC değerine düşmesine neden olur. Banyolarda kullanılan tuzların kuvvetli korozyon özelliği olmasından dolayı, özellikle kısmi sertleştirilen takımlarda ciddi korozyon problemleri ile karşılaşılabilir. Korozyondan korumak için tuz banyolarının temizliğine ve sertleştirilen takımların uzun süre tuzlu kalmamasına dikkat edilmelidir.

Bir takımın tasarımında farklı kesit kalınlıklarından mümkün olduğunca kaçınmak gerekir. Aksi takdirde parçanın ısıtılması esnasında her an için çatlama tehlikesi meydana gelebilir. Takımın ince kesitinde kalın kesite nazaran soğuma daha hızlıdır. İnce ile kalın kesit geçiş bölgesinde malzemenin normal iç yapı dönüşümünden kaynaklanan gerilmelerin yanında ilave iç gerilmeler oluşarak takımın kırılmasına neden olurlar. Bu ve benzeri sebeplerden takım tasarımında farklı kesit kalınlıklarından ve karmaşık geometrilerden mümkün mertebe kaçınılmalıdır. Eğer tasarımda bu

durum engellenemiyorsa ısıtıl işlem sırasında termal gerilmeleri ve şokları minimuma indirmek için kademeli sertleştirme uygulanmalıdır.

6.3 Hammadde ve İmalat Hatası

Takım ömründe ve kalitesinde bir önemli husus da uygun özellikleri olan malzeme seçimidir. Yeterli özellikteki hammaddeden imal edilmeyen takımlar çeşitli sebepler yüzünden kırılmaya, çatlamaya ve mukavemet düşüşüne maruz kalırlar. Dikkat edilmesi gereken önemli bir husus özellikle kaliteli çelik kullanımında şarj raporlu, sertifikalı çelik tercih edilmesidir. Diğer önemli bir malzeme problemi işleme payı ile ilgilidir. Haddeleme ve tavlama gibi işlemler sonucunda yüzeyde oluşan tufal, dekarbürizasyon ve ince çatlaklar gibi yüzey hatalarının ortadan kaldırılması için takım imalatında yeterli işlem payları verilmelidir.

Genel olarak ısıtıl işlem sonrası takımlara son olarak taşlama işlemi uygulanmaktadır. Uygun koşullar altında yapılmayan taşlama işlemleri de çeşitli hatalara neden olmaktadır. Taşlama esnasında yüzeyde oluşan yüksek ısılar temperleme tesiri göstererek takımda sertlik düşüşüne sebep olurken özellikle en dış kenar bölgesinde taşlama ısısından dolayı yeniden sertleşme oluşabilir. Bu durum takımın kesme kenarında dökülmelere neden olarak zamanından önce körelmesine sebebiyet verir.

KAYNAKLAR

- [1] Rollason, E.C., 'Metallurgy for Engineers', English Language Book Society, Fourth Edition
- [2] Metals Handbook, volume 1
- [3] Metals Handbook, volume 3
- [4] Thomas, J.Drozda, Charles Wick, 'Tool and Manufacturing Engineers Handbook', vol.1, Fourth edition, Society of manufacturing Engineers.
- [5] M7 High Speed Steels, Climax Molybdenum Company A Division of American Metal Climax, Inc.
- [6] Takım Çelikleri, Asil Çelik Yayınları 7, 1.baskı, Şubat 1984.
- [7] Gürleyik, M.Y., 'Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, K.T.Ü. Müh-Mim Fak., Trabzon 1988.
- [8] TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası Metalurji Dergisi, Sayı:30, Eylül 1983.
- [9] Güleç, Ş., Malzeme Ders Notları, İ.T.Ü. Makina Fakültesi Teknolojik Kürsüsü, İstanbul

- [10] London and Scandinavian Metallurgical Company Limited, Pik ve Çelikte Alaşım Elemanları, Makina Mühendisleri Odası.
- [11] Bargel, H.J. Schulze, G., Malzeme Bilgisi, Çev: Şefik Güleç - Ahmet Aran, Cilt 2, 1987
- [12] Çiğdemoğlu, M., Metal Alaşımların Isıl İşlemleri, Makina Mühendisleri Odası, Yayın No: 73, 1972.
- [13] TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası Metalurji Dergisi, Sayı 33, Temmuz 1984.
- [14] Topbaş, M. Ali., Isıl İşlemler, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1993.
- [15] Tekin, E., Mühendisler İçin Çelik Seçimi, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, 2. Baskı, Ankara, 1992