

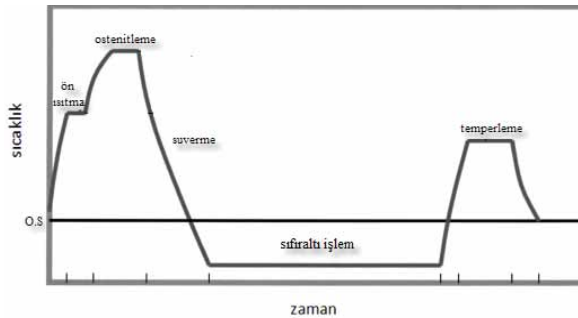
TAKIM ÇELİKLERİNDE SIFIRALTI ISIL İŞLEM MEKANİZMASI

Koray Arslan
Aydın Şelte

Metalurji Mühendisi
Metalurji Mühendisi

Sıfırtaltı ısıl işlemi malzemenin su verme sürecini takiben oda sıcaklığı ile -273°C (0°K) sıcaklık aralığında soğutulurak bu ortamda malzemenin tamamında yapısal değişim meydana gelecek kadar tutulması ve daha sonra bu ortamdan çıkarılarak oda sıcaklığına ısınmasına izin verilmesi kademelerini içerir. Sıfırtaltı işlem kendi içinde işlemin uygulandığı sıcaklık aralığına göre ikiye ayrılır. Oda sıcaklığından -80°C kadar olan sıcaklık aralığındaki işleme soğuk işlem, -80°C den daha düşük sıcaklıklarda uygulanan işlemler de kriyojenik işlem olarak adlandırılmaktadır [1].

Sıfırtaltı işlem sıcaklığına $2.5 - 5^{\circ}\text{C}/\text{dakika}$ gibi bir soğutma hızıyla inilmelidir. Yüksek kesitli parçalarda da soğutma sırasında termal hasar oluşumunu engellemek için sıcaklığın belli bir ara değere düşürülerek orada parça sıcaklığının homojen olmasını beklemek ve soğutmaya bundan sonra devam etmek gerekmektedir. Akabinde malzemeden istenen özelliklerine göre belirlenen bekleme süresi ve işlem sıcaklığında sıfırtaltı işlemi gerçekleştirilir. Daha sonra sıfırtaltı işlem sıcaklığından oda sıcaklığına ısıtma $1^{\circ}\text{C}/\text{dakika}$ olmak üzere hava sirkülasyonu ile gerçekleştirilir ve akabinde malzemeye en az bir defa olmak şartıyla temperleme uygulanmalıdır [1].



Şekil 1: Sıfırtaltı ısıl işleminin konvansiyonel ısıl işlem döngüsündeki yeri

Sıfırtaltı ısıl işlemin amacını anlayabilmek ve yorumlayabilmek için, öncelikle geleneksel ısıl işlem ile (suverme + temperleme) olan ilişkinin iyi kurulması gerekir. Ostenitin martenzite dönüşümünün, süreden bağımsız olarak tamamen sıcaklığa bağlı bir proses olduğundan bu noktadan yola çıkarak sıfırtaltı işlem ile parçalar suverme sürecini takiben M_f sıcaklığının altına kadar soğutulabilmektedir. Bu sayede kalıntı ostenitin neredeyse tamamı martenzite dönüştürülebilmektedir [2].

Örneğin sıfırtaltı işlem uygulaması ile % 0,83 C içeren bir alaşımlı çelikte kalıntı ostenit oranı % 42' den % 0,90'a kadar düşürülebilmektedir. Yapıdaki kalıntı ostenit yaklaşık 1 saat içinde kararlı hale geçmeye başlayacağı ve buda dönüşümünü zorlaştıracığı için suverme işleminin hemen akabinde sıfırtaltı işlem gerçekleştirilmelidir [2,3].

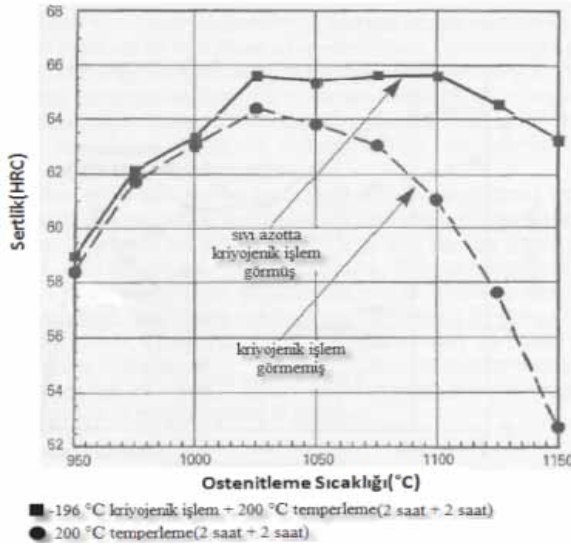
Sıfırtaltı işlem ile yapının tamamının martenzite dönüştürülmesi sağlanırken, özellikle kriyojenik işlem uygulamalarında, buna ilaveten kalıntı ostenitin martenzite dönüşü esnasındaki hacim artışı nedeniyle martenzit kafesinin deformasyonu da gerçekleşmektedir. Bu deformasyonla ilişkili olarak yapıda oluşan dislokasyonlar, sıfırtaltı işlem sonrası uygulanan temperleme ile çökecek nano boyuttaki ince karbürler için çekirdeklenme sahaları oluşturur. Aynı zamanda sıfırtaltı işlemin yapıda yarattığı bu hacimsel genişleme, karbür-matris arayüzeyinde basma mukavemeti oluşturmakta yani arayüzeyde oluşabilecek delaminasyonu engellemekte buda sertlikten feragat etmeden tokluğu artırmakta ve karbürün aşınma esnasındaki matrise tutunmasını kolaylaştırmaktadır [4, 5].

Sıfırtaltı işlem takım çeliklerinde, kalıntı osteniti gidermek için kullanılabilmesi gibi özellikle kriyojenik soğutma ile takım çeliğinin aşınma direnci ve tokluğu artırılabilir [1 - 7].

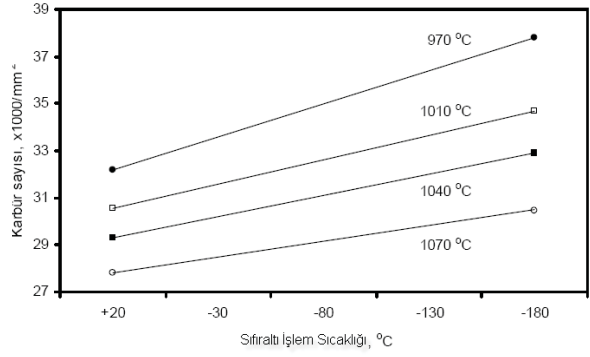
DeneySEL çalışmalar sıfırtaltı ısıl işlemin etkilerini ve altında yatan olayları göstermekle birlikte bu olayın malzemenin tüm mekanik özelliklere etkisinin anlaşılması için çok kapsamlı ve sistematik çalışmaların devam edeceğini anlaşılmaktadır.

Collins ve Dormer sıfırtaltı işleminin takım çelikleri üzerine etkisini kapsamlı olarak araştırmışlar ve "kalıcı ostenitin martenzite dönüşmesine bağlı olarak ortaya çıkan sertlik artışının yanı sıra sıfırtaltı ısıl işlemin başkaca etkileri de olduğunu, metalde kristalografik ve mikroyapısal değişimlere sebep olarak yeniden ısıtma ile birlikte temperlenmiş yapıda ince dağılmış karbürlerin çökmesi ve buna bağlı olarak da tokluk ve aşınma mukavemetinin birlikte yükselmesine neden olduğunu" belirtmişlerdir [8].

D2 soğuk iş takım çeliklerinde yapılan çalışmalara göre Şekil 4.8' de -196°C sıvı azot ortamında uygulanan kriyojenik işlemin farklı ostenitleme sıcaklıklarında ki sertliğe etkisi gösterilmiştir. Burada tüm farklı ostenitleme sıcaklıklarında kriyojenik işlem sonucu sertliğin arttığı gözlenmektedir. Şekil 4.9'da görüldüğü gibi sıfırlı işlem sıcaklığının düşmesiyle birlikte oluşan karbür sayısı doğrusal bir şekilde artmaktadır. Ancak çeliğin ostenitleme sıcaklığının artması, aynı sıfır altı işlem sıcaklığında elde edilen karbür sayısını azaltmaktadır. Şekil 4.10 da benzer şekilde sıfırlı işlem sıcaklığında tutma süresi arttıkça, karbür sayısı artmakta, ostenitleme sıcaklığının artmasıyla ise aynı sıfır altı işlem süresinde elde edilen karbür sayısı azalmaktadır. Diğer yandan, ostenitleme sıcaklığının artması ve belirli bir sıfırlı işlem sıcaklığında tutma süresi arttıkça, çeliğin sertliği artmaktadır. İşlem süresinin 24 saati aşmasıyla sertlik değeri daha da yükselmektedir (Şekil 4.11). Sıfırlı işleminin aynı takım çeliği üzerinde aşınma direncine etkisi Şekil 4.12 ve Şekil 4.13 de görüldüğü gibidir. Sıfırlı işlem sıcaklığının azalması, aşınma hızını önemli ölçüde düşürmektedir. Ancak ostenitleme sıcaklığının artması, azalan karbür miktarıyla orantılı olarak aşınma hızını arttırmakta ve aşınma direncinin düşmesine neden olmaktadır [8].

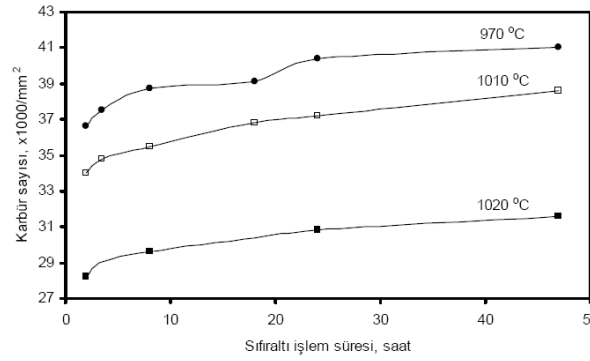


Şekil 2: -196°C sıvı azot ortamında uygulanan kriyojenik işlemin farklı ostenitleme sıcaklıklarında sertliğe etkisi [8]



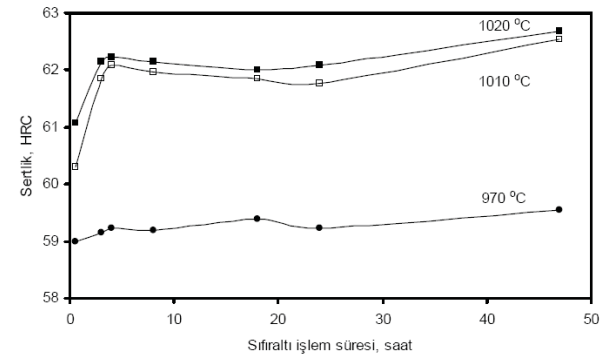
Şekil 3: Sıfırlı işlem sıcaklığının D2 soğuk iş takım çeliğinin karbür sayısına etkisi

(Ostenitleme sıcaklıkları 970, 1010, 1040 ve 1070°C ; sıfırlı işlem sonrası çift temperleme 200°C de 2 saat + 2 saat olarak uygulanmıştır)



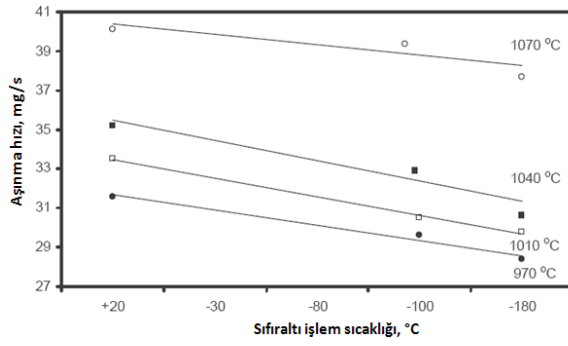
Şekil 4: Sıfırlı işlem süresinin D2 soğuk iş takım çeliğinin karbür sayısına etkisi.

(Ostenitleme sıcaklıkları 970, 1010 ve 1020°C ; sıfırlı işlem sonrası çift temperleme 200°C de 2 saat + 2 saat olarak uygulanmıştır)

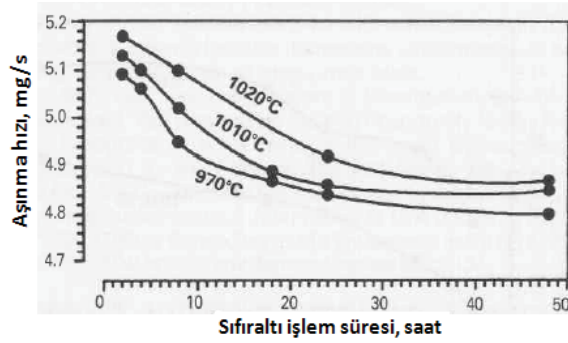


Şekil 5: Sıfırlı işlem süresinin D2 soğuk iş takım çeliğinin sertliğine etkisi

(Ostenitleme sıcaklıkları 970, 1010 ve 1020°C ; sıfırlı işlem sonrası çift temperleme 200°C de 2 saat + 2 saat olarak uygulanmıştır)

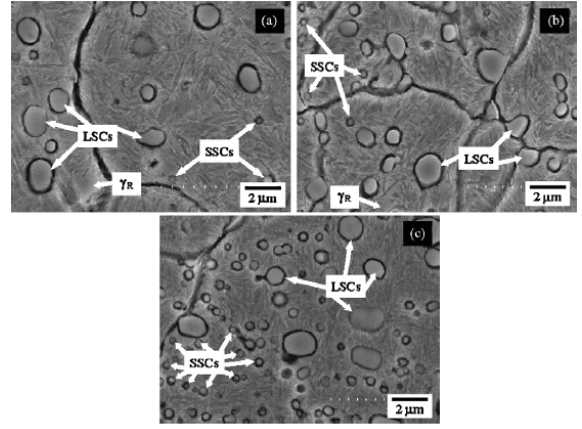


Şekil 6: Sıfırtaltı işlem sıcaklığının D2 soğuk iş takım çeliğinin aşınma hızına etkisi (Ostenitleme sıcaklıkları 970, 1010, 1040 ve 1070°C; sıfırtaltı işlem sonrası çift temperleme 200°C de 2 saat + 2 saat olarak uygulanmıştır) [8]



Şekil 7: -196°C sıvı azot ortamında uygulanan kriyojenik işlem süresinin D2 soğuk iş takım çeliğinin aşınma hızına etkisi (Ostenitleme sıcaklıkları 970, 1010 ve 1020°C; sıfırtaltı işlem sonrası çift temperleme 200°C de 2 saat + 2 saat olarak uygulanmıştır) [8]

D2 soğuk iş takım çeliği üzerine yapılan bir diğer çalışmada ise sıfırtaltı işlem ve akabinde uygulanan temperleme ile konvansiyonel ısıtma işlemde daha az çökelen küçük ikincil karbürlerin(SSC) bu sayede yapıda daha çok çökelmiş ve ayrıca konvansiyonel ısıtma işlem ve soğuk işlem sonucu açık beyaz alan ile gösterilen muhtemel kalıntı ostenit bölgeleri(γ_R) kriyojenik işlem sonucunda gözlenmemiştir (Şekil 9) [9].



Şekil 9: D2 soğuk iş takım çeliğinin (a) konvansiyonel ısıtma işlem uygulanmış, (b) soğuk işlem uygulanmış (c) kriyojenik işlem uygulanmış SEM görüntüsü (konvansiyonel ısıtma şartları için bkz. Şekil 2.4; soğuk işlem -75°C de kriyojenik işlem -196,5°C sıvı azotda olmak üzere her iki işlem sürelerinde eşit olarak sıfırtaltı işlem uygulanmış ve devamında 200°C de 2 saat + 2 saat olarak çift temperleme yapılmıştır.) [9]

D2 soğuk iş takım çeliğine uygulanan bu üç farklı ısıtma işlem süreci sonucunda hesaplanan kalıntı ostenit, PC, SC ve temperlenmiş martenzitin % hacimsel içerikleri Tablo 1'de olmak üzere ayrıca Tablo 2'de de temperleme sonucu çökelen SC lerinde SSC ve LSC olarak yüzde hacimsel miktarları ve ortalama küresel çapları (μm) verilmiştir [9].

Sıfırtaltı işlem sıcaklığının azalması, aşınma hızını önemli ölçüde düşürmektedir. Ancak ostenitleme sıcaklığının artması, azalan karbür miktarıyla orantılı olarak aşınma hızını arttırmakta ve aşınma direncinin düşmesine neden olmaktadır.

İşlem	İçerik (hacim %)			
	Kalıntı Ostenit(γ R)	Birincil Karbür(PC)	İkincil Karbür(SC)	Temperlenmiş Martenzit
Konvansiyonel ısıt işlemler	9,80 ± 0,7	6,99 ± 0,3	6,57 ± 0,3	76,64
Soğuk işlemler	4,60 ± 0,5	7,10 ± 0,4	7,02 ± 0,5	81,28
Kriyojenik işlemler	ihmal edilebilir	6,99 ± 0,5	10,06 ± 0,3	82,95

Tablo 1: Kalıntı ostenit, PC, SC ve temperlenmiş martenzitin % hacimsel içerikleri

İşlem	İkincil Karbür(SC)			
	Miktar (hacim %)		Ortalama küresel çapları(μ m)	
	SSC	LSC	SSC	LSC
Konvansiyonel ısıt işlemler	3,52 ± 0,2	3,05 ± 0,7	0,49 ± 0,01	2,24 ± 0,05
Soğuk işlemler	3,82 ± 0,3	3,20 ± 0,6	0,42 ± 0,01	1,98 ± 0,06
Kriyojenik işlemler	5,62 ± 0,3	4,44 ± 0,2	0,36 ± 0,01	1,66 ± 0,03

Tablo 2: İkincil karbürlerin SSC ve LSC olarak miktar-boyut karakterizasyonu

SSC:küçük ikincil karbür LSS:büyük ikincil karbür

KAYNAKLAR

- [1] STOJKO, A., Sub-zero Treatment of Tool Steels, M.Sc. Thesis, Technical University of Denmark, DTU Department of Manufacturing Engineering and Management, Denmark, 2001
- [2] STRATTON, P., UĞURTAN, M., Malzemelerin Sıfırlatı İşlemi, BOC Industrial Gases, The Linde Group, İngiltere.
- [3] THELNING K.E, Çelik ve Isıl İşlemler, A.Tekin(Çev.), Hakan Ofset, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1984.
- [4] GERSON, A., CAVALLARO G., XU, N., Microstructure of Cryogenically Treated High Performance Tool Steels, Materials Australia, Australia 2007.
- [5] ZURECKI, Z., Cryogenic Quenching of Steel Revisited, In: ASM Proceedings: Heat Treating, pp. 106 – 113, Pennsylvania, USA, 2006.
- [6] ROBERTS, G., KRAUSS, G., KENNEDY R., Tool Steels, 5th ed., ASM International, Materials Park, USA, 1998.
- [7] STRATTON P., GRAF M., The Effect of Deep Cold Induced Nano-Carbides On The Wear of Case Hardened Components, Cryogenics, Vol. 49, Issue 7, pp 346–349, July 2009
- [8] COLLINS, D.N., DORMER, J., Deep Cryogenic Treatment of a D2 Cold Work Tool Steel, National Heat Treatment Centre, Ireland, 1997.
- [9] DAS, D., DUTTA, A.K., RAY K.K, Sub-Zero Treatments of AISI D2 Steel: Part I. Microstructure and Hardness Part II. Wear behavior , Materials Science and Engineering A, pp 527, 2010