

<https://www.youtube.com/watch?v=GYkKseRrula>

JOMINY UÇTAN SU VERME DENEYİ*

Hazırlayan: Prof. Dr. Remzi VAROL

SDÜ Makine Müh. Böl.

Makine Malzemesi ve İmalatı Bilim Dalı

ÖZET

Bu deneyin amacı çelik ve çelik alaşımlarının sertleşme birirliği üzerindeki karbon içeriği ile alaşım elementleri arasındaki ilişkiyi belirlemektir. AISI 1040, AISI 1090 ve AISI 4340 olmak üzere üç farklı çelik numune kullanılarak Jominy deneyleri uygulanmıştır. Çubukların uzunluğu boyunca elde edilen sertlik değerleri (Rockwell C ile) ölçülüp kaydedilerek literatürdeki değerlerle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, uygulama ve kaynaklara bağlı olarak malzeme seçimi sürecinde tasarımcılar tarafından kullanılabilir.

Temel sonuçlar değerlendirildiğinde, AISI 4340 çeliği çubuk uzunluğu boyunca yaklaşık HRC 50 - 54 arasında olan nispeten tutarlı sertlik değerleri sergilemiştir, AISI 1040 ve AISI 1090'ın sertlik değerleri ise sırasıyla HRC 16 ve HRC 35'e düşmüştür. Başlangıçta AISI 1090 çeliği, daha yüksek karbon içeriği (% 0.5'den daha fazla karbon) nedeniyle en yüksek sertlik değerlerine sahipti.

Bu çalışma sonucunda alaşım elementleri, çelik numunelerin sertleşmesinde kilit faktör olarak belirlenmiştir. Öneriler, sertleştirilebilirlik ile ilgili olarak alaşım elementlerinin en iyi kombinasyonlarını sağlayabilmek amacıyla diğer çelik alaşımları için ilave Jominy testleri yapılması yönündedir.

GİRİŞ

Bu deneysel çalışmanın amacı, çelik malzemenin karbon içeriği ve alaşım elementlerinin AISI 1040, AISI 1090 ve AISI 4340 çeliklerinin sertleşme bilirliliği üzerindeki etkilerini belirlemektir. Sertleşme bilirlilik bir Jominy çubuk numunesi boyunca oluşan martenzit miktarı ile ölçülür. Gerçekleştirilecek olan çalışmada Rockwell C sertlik değerleri, numune uzunluğu boyunca 2 mm'lik artışlarla kaydedilecek ve su verilen uçtan mesafenin bir fonksiyonu olarak çizilecektir.

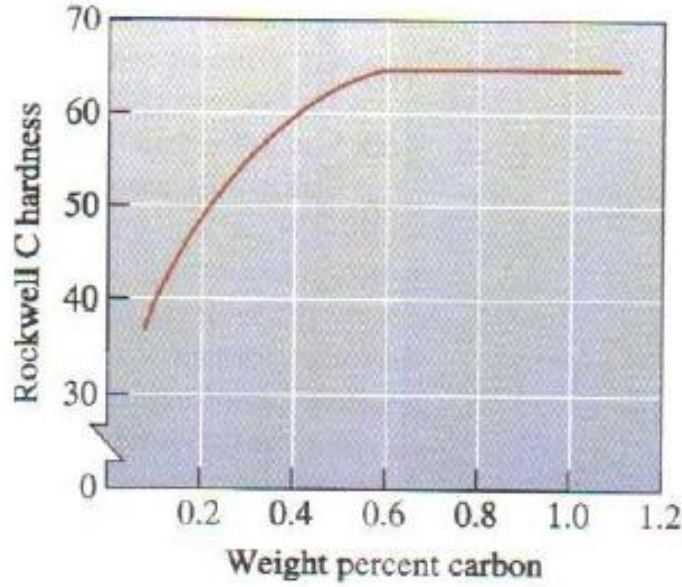
Artan karbon içeriğinin, su verilmiş ucun yakınında daha yüksek sertlik değerleri ortaya koymasına rağmen, literatür taramasından elde edilen bilgiler alaşım elementlerinin, numunelerin uzunluğu boyunca sertliğin homojenliğini veya sertleştirile bilirliliğini büyük ölçüde etkileyeceğini göstermektedir. Sertleşme bilirliliği etkileyen önemli faktörlerin ve daha belirgin olarak hangi çeliklerin diğerlerinden daha sertleşebilir olduğunun belirlenmesi, tasarımcıların, kullanım yerleri ve mevcut kaynaklara göre uygun malzemeleri seçmelerine yardımcı olur. AISI 4340 gibi sertleştirile bilirliliği göreceli olarak daha iyi olan çelik alaşımları pahalıdır ve bu nedenle uçak iniş takımları gibi kritik uygulamalarda kullanılmalıdır.

TEORİ VE ANALİZLER

Çeliği sertleştirmenin birçok yolu vardır. Çeliği çelik yapan ana unsur karbon içeriğidir. Karbon veya Sementit (Fe_3C) büyük oranda (katlanarak) çeliğin mukavemetini artırır. Aşağıda verilen Şekil 1, gerçekleştirilmiş deney sonucunda çeliğin karbon içeriği ile ölçülen (erişilen) sertlik değerleri (Rockwell C skalası) arasındaki ilişkiyi göstermektedir.

Temel malzeme bilgilerinden ve malzemelerin mekanik özellikleri arasındaki ilişkilerden çıkarıldığı gibi sertlik, dayanımın bir göstergesidir. Bir başka ifade ile sertlik ve dayanım birlikte artar ve birlikte azalır. Sertleşme bilirlilik, çeliğin yüzeyinin altındaki derinliğinde sertliği tanımlamak için kullanılan bir terimdir (McGannon, 1971). İyi sertleşme bilirlilik özelliği, çelik veya alaşım numunesinin kalınlığı boyunca tutarlı sertlik özelliklerine sahip olduğu anlamına gelir. Bazı alaşımlar daha iyi sertleşme bilirlilik özellikleri sergilerler ve bu

özellikleri nedeniyle kritik uygulamalar için vazgeçilmez olmaktadır. Çelik için diğer mukavemet artırıcı yöntemler çökeltme sertleştirilmesi, tane inceltme sertleştirilmesi, dispersiyon sertleştirilmesi veya soğuk işlemdir (Thelning, 1984).



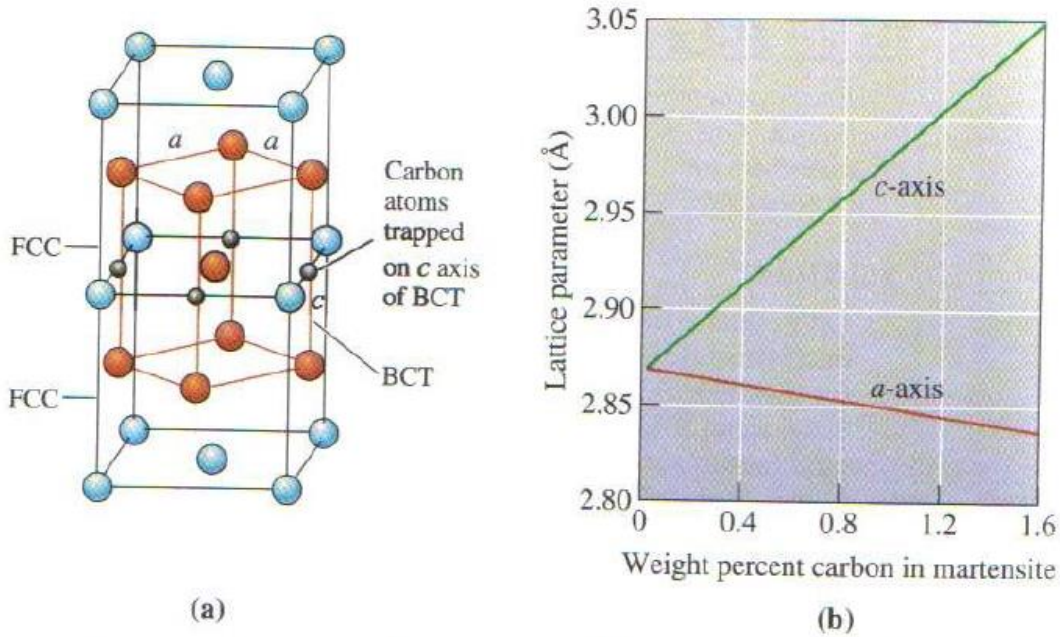
Şekil 1. Çelik için karbon yüzdesinin bir fonksiyonu olarak Rockwell C sertlik değerleri (Askeland & Phule, 2006).

Alaşım elementleri ilavesi çeliklerin sertleşme birliğini arttırmakta ve buna paralel olarak malzemenin dayanımını arttırdığı anlamına gelir. Bu etkinin ardındaki kesin parametreler, Thelning (1984) tarafından belirtildiği gibi “birçok farklı faktöre” bağlıdır.

Denge reaksiyonlarına ek olarak, yaşlandırma sertleşmesi ve Martenzit reaksiyonu gibi denge dışı reaksiyonlar da vardır. Martenzit reaksiyonu, faz diyagramında gösterilmemiştir ve difüzyonsuz katı hal dönüşümünün bir sonucudur (Askeland ve Phule, 2006).

% 2'den daha az karbon içeren çelikler için, Ostenit (FCC) martenzite (BCC) yapıya dönüşür. Karbon içeriği yüksek olan çelikler, martenzit BCC yapıda değil, hacim merkezli tetragonal (BCT) kristal yapıdır. Aşağıda verilen Şekil 2-a, hacim merkezli bir tetragonal yapının kristal yapısını göstermektedir. Şekil 2-b'de verilen grafik karbon ilavesinin c parametresi (ekseni)

ve a parametresi (ekseninin) uzunluğunu nasıl değiştirdiğini göstermektedir (Askeland ve Phule, 2006).



Şekil 2. a) Hacim merkezli tetragonal (BCT) kristal yapı, (b) martenzit içerisinde karbon yüzdesinin bir fonksiyonu olarak a ve c parametresinin değişimi (Askeland ve Phule, 2006).

Daha önce belirtildiği gibi martenzit oluşumu difüzyonsuz bir katı hal dönüşümüdür, bu da reaksiyonun Avrami denklemleri tarafından belirtilen normal difüzyon kurallarına uymadığı anlamına gelir. Bununla birlikte, martenzitin varlığı önemlidir çünkü çok iyi bir dayanıma sahiptir.

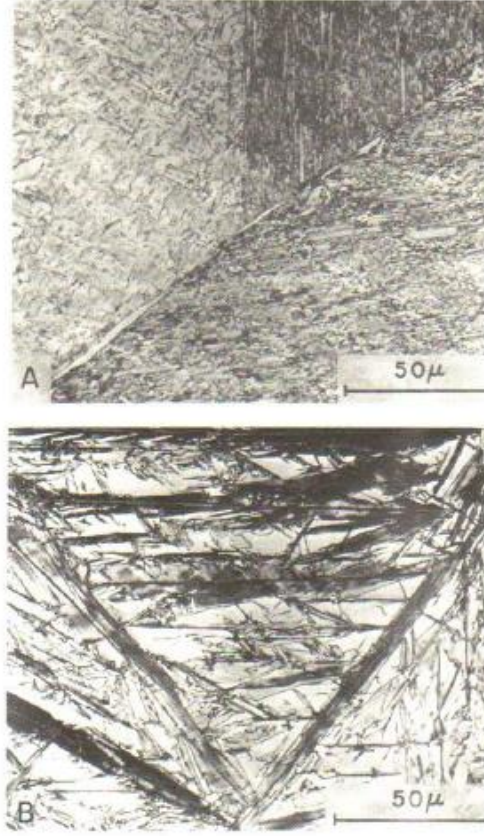
BCT kristal yapısının, dislokasyon çizgilerinin hareket edebileceği sıkı paket kayma düzlemleri yoktur, böylece martenzit yapısında olan dayanımı sağlamış olur. Özellikle martenzit oluşumu sırasında, östenit hızla ferrite dönüşür, ancak karbon, alfa - demirin yapısındaki katı çözültide aynen kalmaktadır. Ferrit yapı içerisinde östenit yapısından daha az yer olduğu için, ferrit yapı, yeni bir kristal yapı (karbonla aşırı doymuş hacim merkezli tetragonal (BCT) martenzit yapı) içerisinde yayılır (Thelning, 1984).

Bahsedildiği üzere, kafes genişlemiş ve böylece östenit yapıdan martenzit oluşumu sırasında belirgin bir hacim değişimi meydana gelmiştir. Karbon atomlarının çok az yer değiştirmesi veya yayılmasından dolayı reaksiyon denge dışı olarak sınıflandırılır (Thelning, 1984).

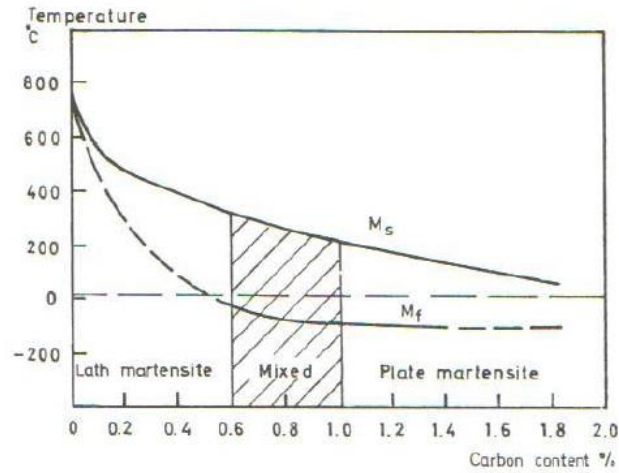
Çeliğin karbon içeriğine bağlı olarak meydana gelen iki farklı martenzit yapı, iğne ve levha martenzit olarak adlandırılır. Düşük karbon içeriği (<% 0.6) birbirleri ile sıkıca örülmüş düz, dar yığınlardan oluşan iğne martenzite yapısına neden olmaktadır. Diğer taraftan, daha yüksek karbon içeriği (>% 0.6), adından da anlaşılacağı gibi, daha büyük yassı, dar plakalardan oluşan plaka martenzitin oluşmasını sağlamaktadır (Thelning, 1984).

Şekil 3'de, iki martenzit yapının büyütülmüş görüntüleri verilmiştir (Thelning, 1984). Şekil 4'de iğne martenzitin karbon miktarı arttıkça levha martenzite geçişini göstermektedir (Thelning, 1984).

Martenzit, 450 °C nin altındaki sıcaklıklarda oluşan en sert ve gevrek mikro yapıdır (McGannon, 1971). Çelik malzemelerin kullanımını gerektiren uygulamalarda gevreklik istenmez; ancak hem martenzit hem de östenitin dengeli bir bileşimi, hem dayanım hem de süneklik dengesi oluşturur. Bu hassas dengeyi elde etmek ve martenzit büyümesini kontrol etmek için düşük soğutma hızına son derece dikkat edilir (Thelning, 1984).



Şekil 3. (a) İğne Martenzit , (b) levha martenzit (Thelning, 1984).



Şekil 4. Çeliğin karbon içeriği arttıkça iğne martenzitin levha martenzitine dönüşümü diyagramı (Thelning, 1984).

Düşük sıcaklık martenzit çekirdeklenmesini hızlandırırken, yüksek sıcaklıklarda martenzitin çekirdeklenmesi yavaş gerçekleşmektedir. Bu, başlangıçta çeliğin yüksek sıcaklık aralığında

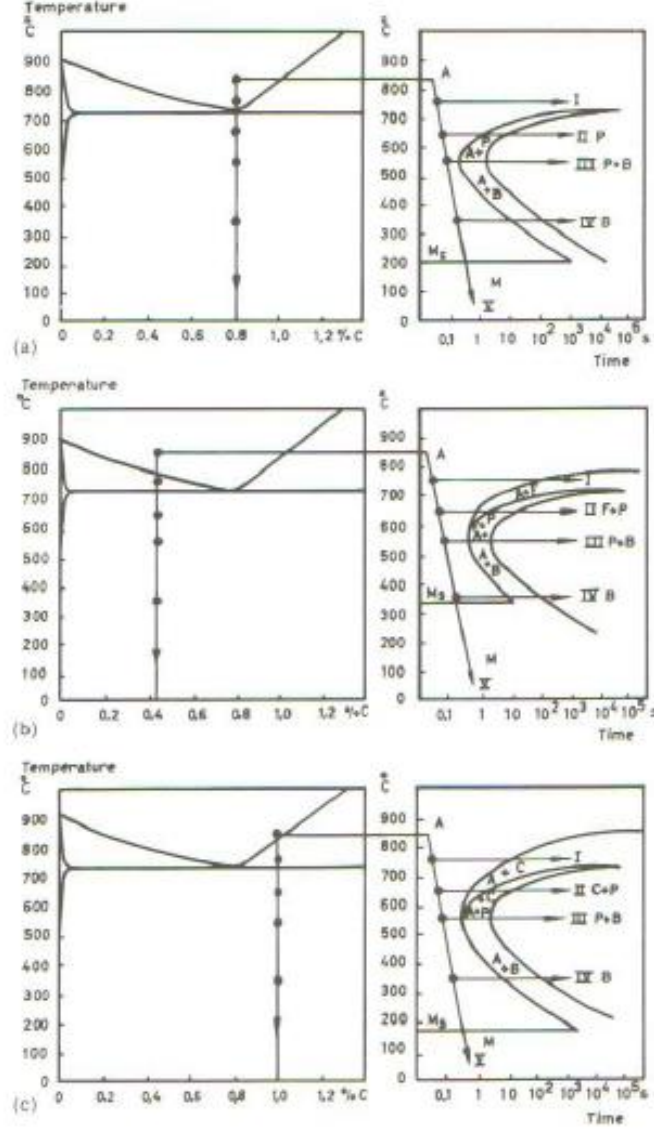
yeterince hızlı soğutulması gerektiği kritik bir soğutma hızını ortaya koymaktadır. Ancak martenzit oluşumu için düşük sıcaklık aralıklarında yavaş olarak soğutulması gerekmektedir (Thelning, 1984). Ayrıca, yüksek sıcaklık aralıklarını hızla atlayarak, istenmeyen denge dönüşümleri riskinden kaçınılır (McGannon, 1971).

Şekil 5'te gösterildiği gibi, çeliği yüksek sıcaklıklarda belli süre ile tutmak, farklı kristal yapılar meydana getirebilmektedir. Aşağıda verilen diyagram, zaman-sıcaklık dönüşüm diyagramı (TTT) olarak bilinir (Askeland, 2006).

TTT diyagramı, yüksek sıcaklıklarda, örneğin 650 °C'de tutulan % 0,8'lik bir karbon çeliği için 1 saniye sonra östenit ve perlit yapının oluşacağını ve 10 saniye sonra tüm perlitleri oluşturacağını açıkça göstermektedir. Martenzit, çok daha düşük sıcaklıklarda oluşur ve bu nedenle çeliğin sıcaklığını martenzit oluşum aralığına getirmek için çok hızlı bir soğutma hızı gerekmektedir.

Bunu daha iyi şekilde gösterebilmek için TTT diyagramından farklı bir diyagram gereklidir. Soğuma hızına bağlı olarak meydana gelecek farklı mikro yapıları gösteren bu diyagrama Sürekli Soğuma Dönüşüm Diyagramı (CCT) adı verilir. Aşağıda verilen Şekil 6, sırasıyla AISI 1080 çelik ve AISI 4340 çelik için CCT diyagramlarını göstermektedir (Askeland & Phule, 2006).

CCT diyagramları AISI 1080 çelik için 140° C/s ve AISI 4340 çelik için 8 °C/s gibi hızlı soğutma oranlarının tüm martenzitlerin oluşumuna izin verdiğini göstermektedir. AISI 1080 çelik için 40°C/s ve AISI 4340 çelik için 0.3°C/s gibi daha düşük soğutma oranları sırasıyla martenzit+ perlit ve martenzit+beynit oluşumunu sağlar.



Şekil 5. (a) % 0.8 karbon, (b) % 0.45 karbon ve (c) % 1.0 karbon içeriğine sahip farklı çelikler için TTT diyagramı. A = ostenit, B = beynit, C = sementit, F = ferrit, P = perlit, M=martenzit ve Ms, martenzit oluşumunun başladığı sıcaklığı göstermektedir (Thelning, 1984).

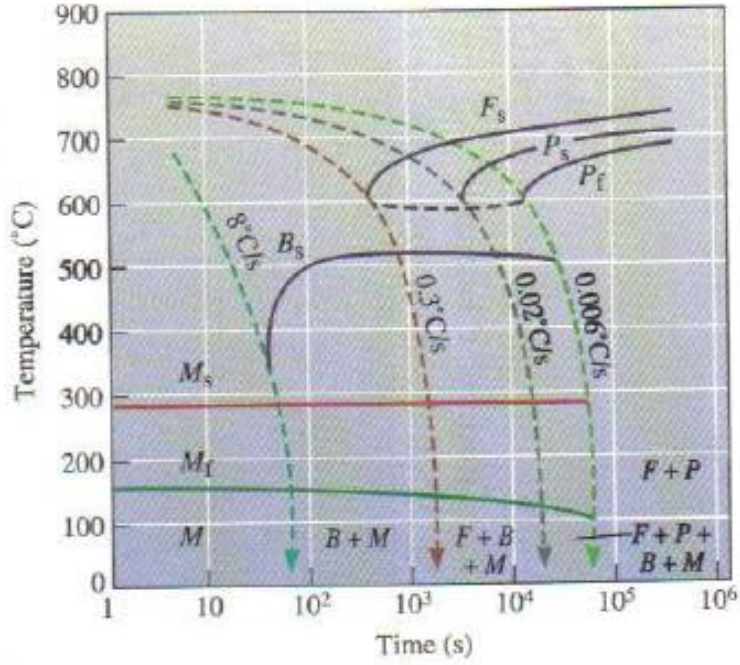
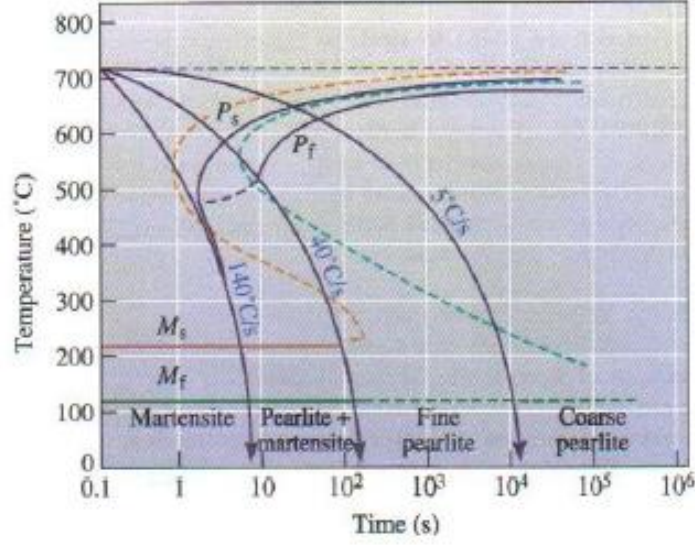
Ayrıca, sülfürize edilmemiş karbon çeliği (AISI 10XX serisi) soğuma hızı ile % 1.8 nikel, % 0.5-0.8 krom, % 0.25 molibden (AISI 43XX serisi) arasındaki önemli farklılıklar da belirtilmelidir. AISI 10XX serisi, daha yüksek martenzit yoğunlukları elde etmek için daha hızlı bir soğuma hızı gerektirirken, AISI 43XX serisi bunu daha düşük soğuma oranlarında yapabilir. AISI 43XX serisi, AISI 10XX serisinden çok daha iyi sertleştirilebilirlik özellikleri sergiler.

Martenzit oluşumu soğutma hızının bir fonksiyonudur. Bilindiği gibi bir parçanın iç kesimlerinin soğuması dış kısımdan yavaş olmaktadır. Bu nedenle bir malzemenin ne kadar sertleştirildiğine bağlı olarak martenzitin derinliği değişecektir. Numunenin iç bölümlerinde martenzit oluşturmak için yeterince hızlı soğutulmaması, dönüşmemiş (kalıntı) östenit içereceği anlamına gelmektedir. Kalıntı östenitlerin bırakılması sonucu numune sünek özellikler sergileyecektir.

Ayrıca, sülfürize edilmemiş karbon çeliği (AISI 10XX serisi) soğuma hızı ile % 1.8 nikel, % 0.5-0.8 krom, % 0.25 molibden (AISI 43XX serisi) arasındaki önemli farklılıklar da belirtilmelidir. AISI 10XX serisi, daha yüksek martenzit yoğunlukları elde etmek için daha hızlı bir soğuma hızı gerektirirken, AISI 43XX serisi bunu daha düşük soğuma oranlarında yapabilir. AISI 43XX serisi, AISI 10XX serisinden çok daha iyi sertleştirilebilirlik özelliği sergiler.

Martenzit oluşumu soğutma hızının bir fonksiyonudur. Bilindiği gibi bir parçanın iç kesimlerinin soğuması dış kısımdan yavaş olmaktadır. Bu nedenle bir malzemenin ne kadar sertleştirildiğine bağlı olarak martenzitin derinliği değişecektir. Numunenin iç kısımlarında martenzit oluşturmak için yeterince hızlı soğutulmaması, dönüşmemiş (kalıntı) östenit içereceği anlamına gelmektedir. Kalıntı östenitlerin bırakılması sonucu numune sünek özellikler sergileyecektir.

Bununla birlikte, hızlı bir şekilde soğutulan ve yüksek oranda martenzit oluşturan numunelerin bazı mühendislik uygulamalarında kullanımı için gevreklik özellikleri sınırlayıcı



Şekil 6. (a) AISI 1080 çelik ve (b) AISI 4340 çelik için Sürekli Soğuma Dönüşüm (CCT) diyagramları (Askeland & Phule, 2006).

olabilir. Bu özellikleri çeşitli işlemler ile iyileştirilebilmektedir. Bu tekniklerin bazıları, artık (iç) gerilmeyi azaltmaya yardımcı olan ve sünekliğin göreceli artmasını sağlayan ısı işlemleri olarak bilinir. Bu işleme verilecek en önemli örnek uygulama Temperleme ısı işlemdir. Bilindiği gibi bu işlem sertleştirme (pratik uygulamalarda genellikle su verme işlemi olarak adlandırılır) işlemini takiben uygulanan ardışık bir işlemdir. Temperleme, yüksek

sıcaklıklarda aşırı doymuş martenzit yapısından karbürün çökmesini sağlar. Temperleme, sertleştirme sonrası ortaya çıkan çatlakları (yüzey ile merkez arasındaki eşit olmayan soğutma oranlarından dolayı oluşan) önlemek ve sünekliği arttırmak için yukarıda bahsedildiği gibi sertleştirme ısı işleminden (su verme) hemen sonra (martenzit oluşumu başladığında) uygulanır (McGannon, 1971). Martemperleme ostenit sıcaklığındaki çeliğin tuz banyosuna daldırılarak aniden soğutulması, ardından homojen bir sıcaklığa kadar havada soğutmaya denir (McGannon, 1971). Martemperleme, yapı içerisinde artık östenitlerin oluşmasına imkan vererek çeliğin sünekliğini iyileştirmektedir (Thelning, 1984). Şekil 7-a' da (üstte verilen şematik prizmatik parça resimleri), sertleştirilen bir malzemede yüzey ile merkez arasındaki eşit olmayan soğutma hızları nedeniyle yüzeyde çatlak oluşumu gösterilmektedir. Zamana bağlı olarak parçanın yüzey ve merkez sıcaklığı arasındaki ilişki grafik olarak Şekil 7-b'de (şeklin alt kısmında verilen eğriler) verilmektedir. Ayrıca şekilde yüzey ve merkez üzerinde oluşmuş çekme ve basma gerilmesinin oluşumu ile merkez ve yüzeyde ortaya çıkan artık gerilmelerin cinsini ve enine kesitte değişimi gösterilmektedir (Thelning, , 1984, Askeland ve Phule 2006).

Sertleşe bilirliliği belirlemek (veya ölçmek) için uygulanan en yaygın bilinen yöntem Jominy uçtan su verme deneyidir. Jominy çubukları tipik olarak 25 mm çapında ve 100 mm uzunluğundadır ve Jominy su verme tankının üzerinde durmasına yardımcı olacak faturalı baş kısmına sahiptir (Şekil 8-a) (McGannon, 1971).

Sertleşe bilirliliği ölçmek için en yaygın yöntem Jominy uçtan su verme deneyidir. Çelik alaşımı, Ostenit sıcaklığına kadar ısıtılır ve numunenin uç kısmına sürekli olarak su püskürten bir Jominy uçtan su verme tankına yerleştirilir. Su, numunenin bir ucunu hızlı bir şekilde soğuturken, diğer ucu hava ile temasta kalarak daha yavaş bir hızda soğutulur.

Numune oda sıcaklığına kadar soğutulur ve numune uzunluğu boyunca uçtan başlayarak 2 mm aralıklarla sertlik ölçümü yapılır ve değerler kaydedilir. Böylece numune uzunluğu boyunca uçtan uzaklığın bir fonksiyonu olarak sertlik değerlerini gösteren grafikler oluşturulur. Bu deneyin üstünlüğü, numune uzunluğu boyunca sertliğin değişim analizini vermesidir. Uzunluk boyunca sertlik ne kadar üniform olursa malzeme o kadar sertleştirile

bilirligi daha iyi demektir. Bir parçada yüzeyden iç kısma doğru sertliğin belirlenmesi

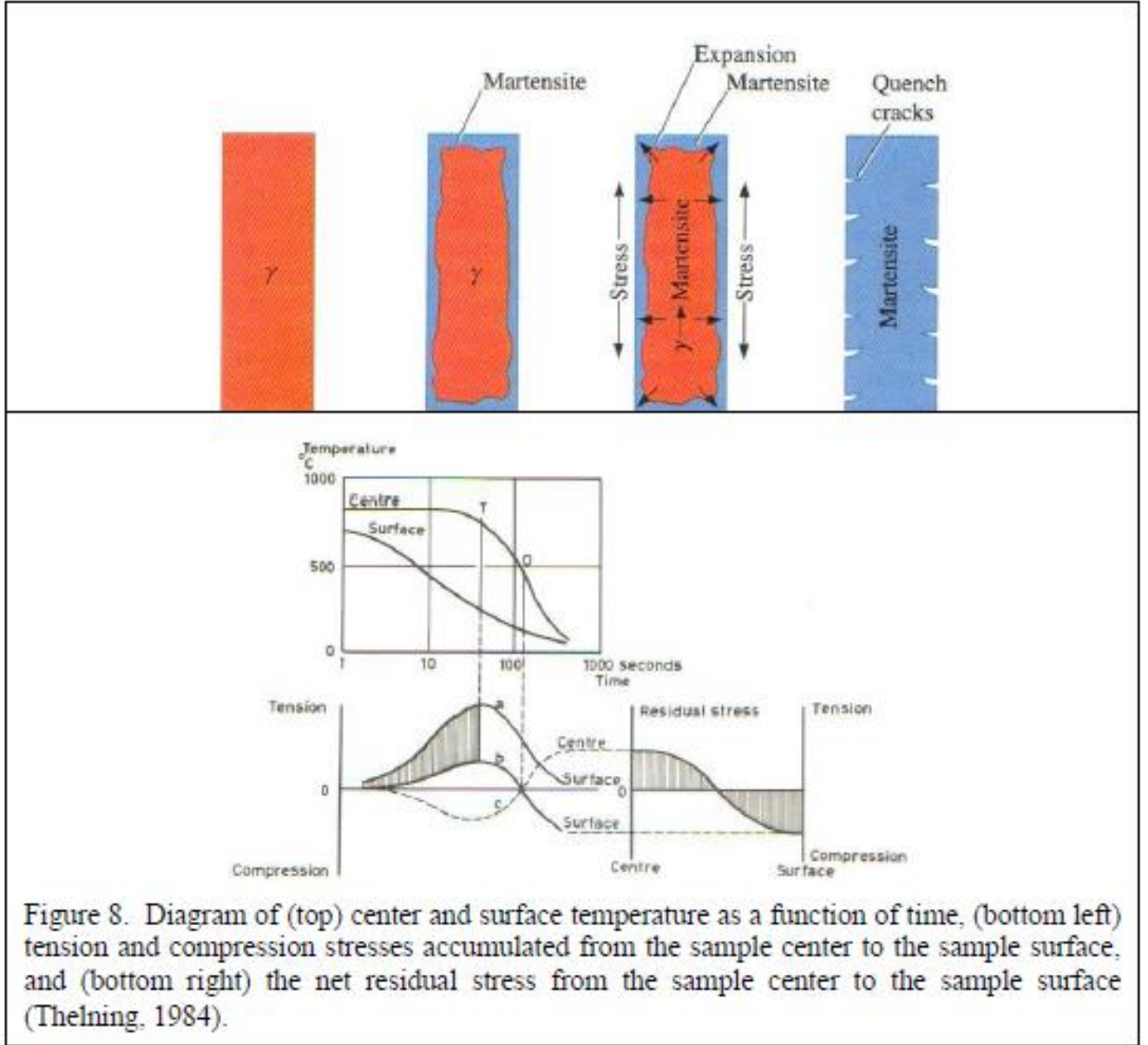
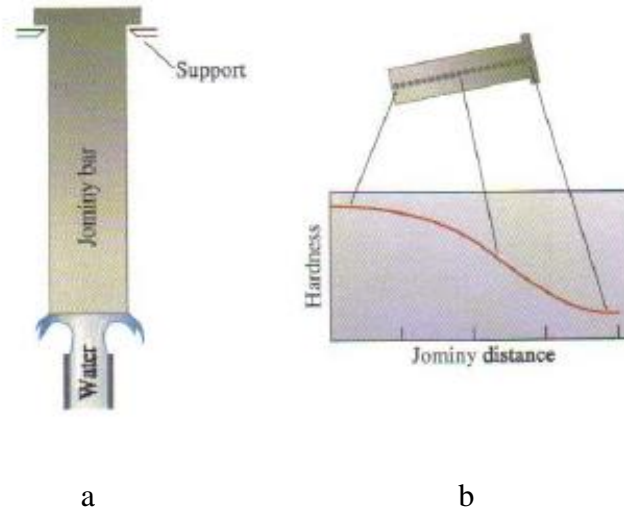


Figure 8. Diagram of (top) center and surface temperature as a function of time, (bottom left) tension and compression stresses accumulated from the sample center to the sample surface, and (bottom right) the net residual stress from the sample center to the sample surface (Thelning, 1984).

Şekil 7. a) Sertleştirilen bir malzemede yüzey ile merkez arasındaki eşit olmayan soğutma hızları nedeniyle yüzeyde çatlak oluşumu ve b) Yüzey ve merkezdeki sıcaklıklar ile gerilme oluşumu ve sonuçta ortaya çıkan Artık Gerilme profili

deneylerinin imkansız olabileceği (veya pratik olmayan) daha büyük endüstri örnekleri için, Jominy deneyi, tasarımcılara istenen sertleşme birlik parametrelerini verecek uygun alaşım çeliği seçmelerine imkan vermektedir.

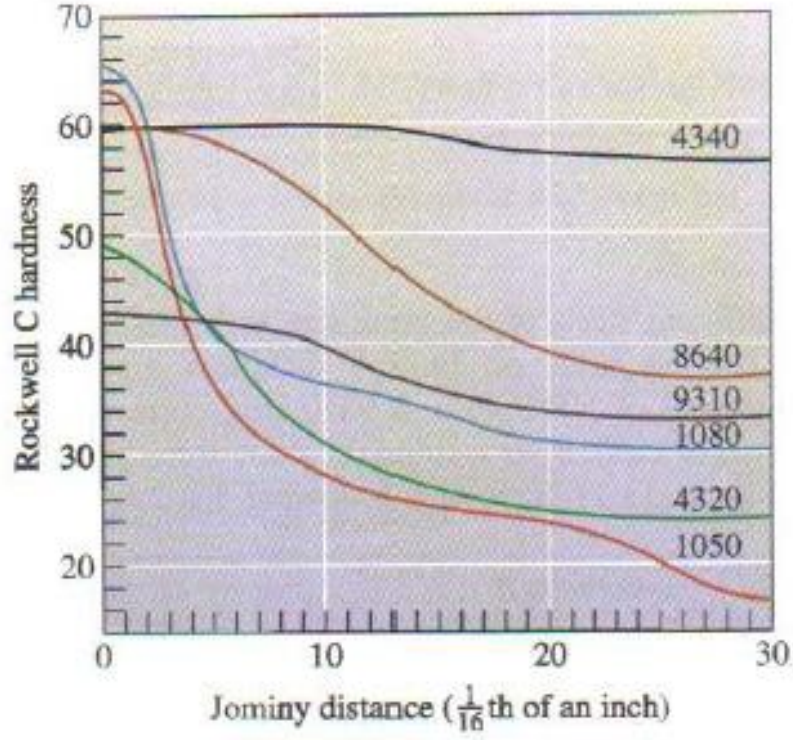
Şekil 8, şematik olarak uçtan su verilmekte olan Jominy numunesini (çubuğunu) ve sertliğin numune uzunluğu boyunca değişimini göstermektedir (Askeland ve Phule, 2006).



Şekil 8. a) Bir Jominy Uçtan Su Verme Tankında tutulan bir Jominy çubuğunu (numunesini) ve b) Numunenin uçtan uzaklık ile sertlik değişimi ilişkisi (Askeland ve Phule, 2006).

Farklı çeliklerin sertlik değerleri aynı grafik üzerine yerleştirildiğinde, ortaya çıkan diyagramlar aşağıda verilen Şekil 9 ile benzerlik göstermektedir (Askeland ve Phule, 2006).

Genel olarak sertlik değerlerinde, AISI 4340 HSLA çeliği hariç tüm çelik alaşımları için uçtan uzaklaştıkça göreceli hızlı bir düşüş görülmektedir. AISI 4340 çeliğin çok iyi sertleşme bilirlilik özelliğine sahip olduğu ancak nispeten daha pahalı olduğu bilinen bir gerçektir (Essaid, 2008).



Şekil 9. AISI 4340 (en üstteki eğri), AISI 8640, AISI 9310, AISI 1080, AISI 4320 ve AISI 1050 (en alttaki eğri) çelikleri için Jominy uçtan uzaklık değerlerine bağlı olarak Rockwell C sertlik değerlerinin nasıl değiştiğini gösteren eğrilerinin aynı grafik üzerinde birleştirilmiş gösterimi (Grafiklerde uçtan uzaklığın inç olarak verildiğini dikkate alınız) (Askeland ve Phule, 2006).

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

DENEYLERİN UYGULANMASI, YÖNTEM VE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Kullanılan ekipmanlar:

- Tav Fırını (Şekil 10)
- Jominy Deney Cihazı (Tankı) (Şekil 11)
- Buehler Abrasimet Aşındırıcı Kesici (Şekil 12)
- Taşlama Tezgahı (Şekil 13)
- Rockwell / Wilson Serisi 500 Sertlik Ölçüm Cihazı (Şekil 14)
- Aşağıdaki çelik malzemelerden standartlara uygun boyut ve geometride hazırlanmış Jominy deney numuneleri (Şekil 15)
 - AISI 1040 Çelik
 - AISI 1090 Çelik
 - AISI 4340 Çelik

Deneyin uygulanmasına kısa bir genel bakış aşağıdaki gibidir; Her bir numune, 1 saat 20 dakika süreyle 885 °C 'de bir Tav Fırınında ısıtılmıştır. Jominy deney cihazının su debisi ve akış sürekliliği sağlanacak şekilde su açılır ve tav fırınından alınan numuneler standartlara uygun olarak 5 saniye içinde jominy deney cihazına yerleştirilir. Numunenin üstüne bir su damlatıldığında oluşacak olan buhar görünmeyene kadar numune uçtan soğutulmaya devam edilir. Soğuma işleminden sonra numune üzerinde oluşan aşırı tufallardan temizlenir.

Doğru sertlik değerlerinin elde edilmesi için bir taşlama tezgahı kullanılarak yüzeyin düzgün bir paralellikte olmasını sağlamak için taşlanır. Bu işlem gerçekleştirilirken numunenin fazla ısınmaması, yeniden kristalleşme ve tane büyümesine neden olunmaması için taşlama hızına dikkat edilmelidir. Daha sonra 2 mm'den 25 mm'ye kadar ve ardından 50 mm'ye kadar numune üzerine işaretlemeler yapılır. Test noktalarının yakınlığı nedeniyle şekil değiştirme sertleşmesinden oluşacak yanlış sertlik değerlerini önlemek için numunenin karşı tarafında her 4 mm'den 25 mm'ye kadar işaretleme yapılır. Son olarak, Rockwell Sertlik Ölçme Cihazı ile sertlik değerleri ölçülür. C skalasında ölçüm yapılması için 120° tepe açılı konik elmas uç dalıcı uç olarak seçilir, 10 kg'lık ön yük ve ana yük olarak 150 kg'lık yük uygulanarak

Rockwell C sertlik değerleri ölçölerek kaydedilir. Tüm deney numuneleri için aynı işlemlerin tamamı tekrarlanarak deneyler gerçekleştirilir.

Jominy uçtan su verme deneyi için aşağıdaki işlemler sırasıyla uygulanmıştır:

- Her bir numune 885 °C'te 1 saat 20 dakika Tav Fırınında ısıtılır
- Fırından alınan numune mümkün olan en kısa süre içinde Jominy deney cihazı tankının üzerine yerleştirilir ve uçtan su verilerek soğutulur
- Numune üst yüzeyine damlatılan bir su damlasından buhar çıkmazsa deneye son verilir ve sertlik ölçümü için numune kullanıma hazırdır.
- Sertlik deneyi için yüzeyler fazla zorlanmadan, aşırı ısıtmaya oluşturmadan sertlik ölçülecek kısım zımparalanarak pürüzsüz bir yüzey elde edilir
- Toparlanma, yeniden kristalleşme veya tane büyümesini önlemek için zımparalama yavaşça ve aşırı bastırmadan gerçekleştirilmelidir.
- Numunenin ucundan işaretleme yapmak için aşındırıcı kesiciler kullanılır
- Numune öncelikle 2 mm aralıklarla 25 mm uzunluğa kadar ve bundan sonrası için 50 mm uzunluğa kadar 3 mm aralıklarla işaretlenir
- Her işaretlenen noktadan Rockwell C Sertlik değerleri ölçölerek kaydedilir.
- Numunelerin her biri için aynı işlem basamakları tekrarlanır.



Şekil 11. Tav Fırını resmi (Patel, 2008).



Şekil 12. Jominy Uçtan Su Verme Cihazının (Tank'ın) genel görünüşü (Patel, 2008).



Şekil 13. Buehler Abrasimet Aşındırıcı Kesici (Patel, 2008)



Şekil 14. Taşlama Tezgahında numunenin taşlanması genel görünüşü (Patel, 2008)



Şekil 15. Rockwell Sertlik Ölçme Cihazı genel görünüşü (Patel, 2008)



Şekil 16. Jominy deney numunesi genel görünüşü (Patel, 2008)

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Tüm işlenmemiş veriler ve bu değerlerle birlikte numunelere ait hesaplamalar aşağıda bulunmaktadır. Aşağıdaki tablo, deney sırasında toplanan tüm ham verileri içermektedir.

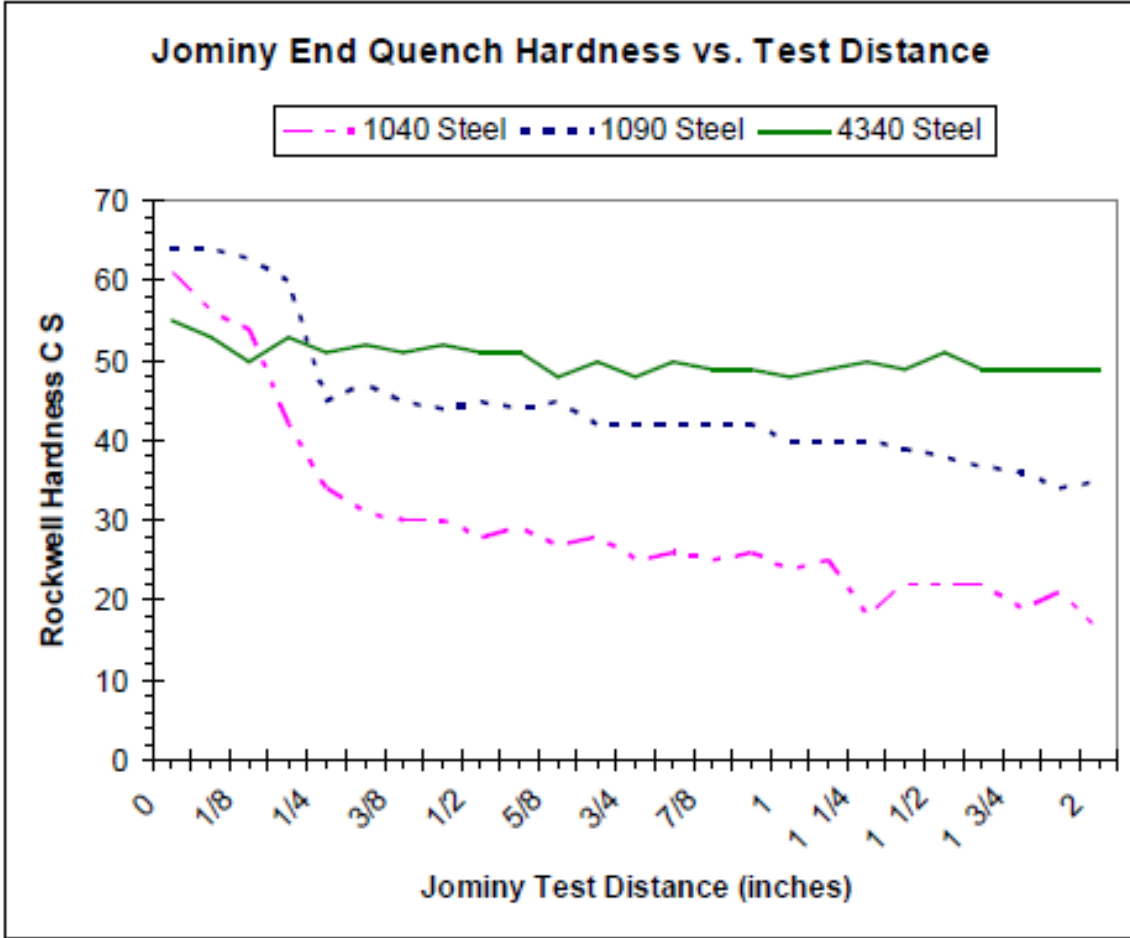
Andrew Braum, 3/27/08, 1:45 PM, 1 ATM, 70°F

RAW DATA

Jominy End Quench	Rockwell	Hardness	C Scale
Test Distance (in)	1040	1090	4340
0	61	64	55
1/16	56	64	53
1/8	54	63	50
3/16	42	60	53
1/4	34	45	51
5/16	31	47	52
3/8	30	45	51
7/16	30	44	52
1/2	28	45	51
9/16	29	44	51
5/8	27	45	48
11/16	28	42	50
3/4	25	42	48
13/16	26	42	50
7/8	25	42	49
15/16	26	42	49
1	24	40	48
1 1/8	25	40	49
1 1/4	18	40	50
1 3/8	22	39	49
1 1/2	22	38	51
1 5/8	22	37	49
1 3/4	19	38	49
1 7/8	21	34	49
2	16	35	49

Tablo 1. AISI 1040 , AIS1090 ve AIS 4340 Çelik için Rockwell C Sertlik değerlerinin ham verileri

Rockwell C Sertlik deneylerinden elde edilen veriler kullanılarak, su verilen uçtan uzaklığa bağlı olarak sertliğin değişimini gösteren eğriler oluşturulmuştur. Aşağıda verilen Şekil 17, Tablo 1'deki verileri grafik olarak özetlemektedir.



Şekil 1. 1040 Çelik, 1090 Çelik ve 4340 Çelik için su verilmiş uçtan uzaklığa bağlı olarak sertlik değerleri

Grafikteki eğrilerin eğimleri, su verilmiş uç yüzeyden uzaklaşan mesafelerde hem AISI 1040 hem de AISI 1090 çelikleri için sertlik değerlerinde önemli bir düşüş olduğunu açıkça göstermektedir. Öte yandan, AISI 4340 çeliği numunesinden elde edilen eğri her yerinde neredeyse homojen sertlik değerleri veren diğerlerine göre nispeten düz bir eğri şekli göstermiştir. Teori ve Analiz bölümünde verilen Şekil 9 ile karşılaştırıldığında, AISI 4340 çeliği test numunesinin tüm uçtan uzaklık mesafesi boyunca benzer şekilde homojen olan bir sertleşme eğilimi sergilediği görülmüştür. AISI 1040 ve AISI 1090 çelikleri için de, Jominy uçtan uzaklık arttıkça sertlik değerlerinde önemli düşüş olduğunu gösteren benzer grafikler elde edilmiştir. Ayrıca AISI 1090 Çeliği numunesinin, su verilmiş ucuna yakın mesafelerde en yüksek sertlik değerlerine sahip olduğu da belirtilmelidir. AISI 1090 (% 0,9 karbonlu)

çeliğinin karbon içeriğinin, AISI 1040 ve AISI 4340'tan (% 0,4 karbonlu) daha fazla olduğu bilinmektedir. Temel olarak, çeliklerde % karbon miktarı arttıkça sertlik değerinin arttığı bilinen bir gerçektir. Bu teorik bilgi ile elde edilen grafikler tutarlılık göstermektedir. AISI 1090 çeliğinin yüksek karbon içeriği, uç kısımda ölçülen sertlik değerlerinin daha yüksek olmasına neden olmaktadır. Jominy deneyinin amacı en yüksek sertlik değerini belirlemek olmayıp sertlik değerinin su verilen uçtan itibaren uzaklıkla nasıl değiştiğinin belirlenmesi ve eğrinin eğimine –veya sertlik değerlerindeki değişime- bağlı olarak sertleşebilme kabiliyetinin ortaya konulmasıdır. Hacimsel sertleştirme işleminde soğutma ortamı ile sadece iş parçasının sadece yüzeyi temas halindedir. İç kısımlara kadar sertleşebilmenin göstergesi sertleşebilirliktir. Bu durumun simüle edildiği deney Jominy uçtan su verme deneyidir. Sertleştirilen parçanın dış yüzeyi Jominy deney numunesinin dış kısmını, uçtan uzaklaşan kısımlardaki su ile teması olmayan kısımlar ise iş parçasının su ile teması olmayan ancak konduksiyonla ısı iletimi yoluyla belli hızda soğuyabilen iç kısımları temsil etmektedir. İşte bu açıdan bakıldığında Jominy deneyinin neden önemli olduğu ve sertleşebilirliği en iyi şekilde nasıl simüle (benzeşim) ettiği anlaşılmaktadır.

Şekil 9, AISI 4340 çeliğin, aynı zamanda Şekil 1'den elde edilen verilerle tutarlı olan, AISI 1080'den (AISI 1090 çeliğe yakın) veya AISI 1050 çelikten (AISI 1040 çeliğe yakın) daha düşük bir başlangıç sertliğine sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca, sertlik değerlerinin AISI 1050 için HRC 62'den HRC 16'ya kadar düşmekte, AISI 1080 için yaklaşık HRC 68'den HRC 30'a kadar düşmekte olduğunu ve AISI 4340 için ortalama HRC 60 civarında sertlik değerleri gösterdiğini ortaya koymuştur. Deneysel çalışmalardan elde edilen veriler AISI 4340 için sertlik değerinin HRC 50 ile HRC 54 civarında olduğunu gösterdi; AISI 1040 için sertlik değerleri HRC 61'den HRC 16'ya düşmekte; ve AISI 1090 için HRC 64'ten HRC 35'e düşmektedir.

DENEYSEL ÇALIŞMADAN ELDE EDİLEN GENEL SONUÇLAR

Deneyden elde edilen genel sonuçlar aşağıda sırasıyla verilmiştir:

- AISI 1040 ve AISI 1090 çeliklerinin sertliği, Jominy su verme ucundan uzaklık arttıkça düşmektedir.
- AISI 4340 çeliğinin sertliği, Jominy test mesafesi arttıkça sertlik değerleri yaklaşık HRC 50-54 seviyesinde kalmaktadır.
- AISI 1090 çeliğinin sertliği, yüksek karbon içeriği (% 0,5 daha fazla karbon) nedeniyle AISI 1040 ve AISI 4340 çeliklerinden elde edilen sertlik değerlerinden daha yüksektir.
- AISI 1040, AISI 1090 ve AISI 4340 çelikleri için elde edilen eğriler, AISI 1050 (AISI 1040 ile benzer), AISI 1080 (AISI 1090 ile benzer) ve AISI 4340 çelikleri ile ilgili verilen referanslarla uyum içindedir.
- Karbon içeriğinin artması numunenin sertliğini artırır, ancak yalnızca su verilen ucun yakınında yüksek sertlik değerleri elde edilmektedir.
- Alaşım elementleri, çeliğin sertleştirilebilirliğinde belirleyici faktördür

Aşağıdakiler bu deney için verilen önerilerdir:

- Alaşım elementlerinin en iyi kombinasyonunun belirlenmesi için diğer çelik alaşımları için mevcut deneylere ilave olarak **Jominy Uctan Su Verme** deneyleri gerçekleştirilmelidir.

KAYNAKLAR

1. Askeland, D.R., & Phule, P.P. (2006). The Science and Engineering of Materials. Thomson Canada Ltd., Toronto, Ontario, Canada.
2. Es-Said, O. (2008). Personal communication (lecture notes). Los Angeles, CA: Loyola Marymount University.
3. McGannon, H.E. (1971). The Making, Shaping and Treating of Steel, United States Steel, 9th edition. Herbick & Held, Pittsburgh, PA.
4. Patel, D. (2008). Experimental Pictures. Los Angeles, CA: Loyola Marymount University.
5. Saniei, N., & Es-Said, O. (2007). Laboratory Manual, MECH 342 Mechanical Engineering Lab II. Department of Mechanical Engineering. Los Angeles, CA: Loyola Marymount University.
6. Thelning, K.-E. (1984). Steel and its heat treatment, 2nd edition. Butterworths, London, Great Britain.

***Bu çalışma;** Andrew Braum, Makine Mühendisliği Bölümü, Loyola Marymount University Los Angeles, California 90045, April 10, 2008 tarafından hazırlanan notlardan çeviri yapılarak hazırlanmıştır. Ancak metin içinde uygun yerlere bazı eklemeler ve yorumlar eklenmiştir.