



FARKLI ÇELİKLERE UYGULANAN DEĞİŞEN ISITMA HIZLARININ MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

(*THE INVESTIGATION OF THE EFFECT OF VARIOUS HEATING
RATES ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF DIFFERENT STEELS*)

Mehmet UZKUT*, İsmail ÖZDEMİR**

ÖZET/ABSTRACT

Bu çalışmada, değişen ısıtma hızlarının Ç 1020 (düşük karbonlu), Ç 1040 (orta karbonlu), Ç 4140 (düşük alaşımlı) çeliklerinin mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Yavaş ısıtma hızında (oda sıcaklığından ısıtma), orta ısıtma hızında (sıcak fırında ısıtma) ve hızlı ısıtma hızında (tuz banyosunda ısıtma), Ç 1020, Ç 1040 ve Ç 4140 çelikleri ostenit bölgesine kadar ısıtılarak havada soğutulmuşlardır. Uygulanan yavaş, orta ve yüksek ısıtma hızlarının bu çeliklerin mekanik özelliklerine olan etkisinin belirlenmesi amacıyla her bir çelikten, normalizasyon uygulanmış ve uygulanmamış olarak iki grup deney numunesi hazırlanmıştır. Bütün deney numunelerinin, sertlik değerleri ile mukavemet değerleri belirlenerek birbirleri arasında mukayese imkanı elde edilmiştir. Artan ısıtma hızına bağlı olarak en yüksek mukavemet artış oranının Ç 4140 çeliğinde olduğu saptanmıştır.

In this study, the effects of various heating rates on the mechanical properties of the Ç 1020, Ç 1040 and Ç 4140 are investigated. Ç 1020, Ç 1040 and Ç 4140 steels were heated to austenitic region and then cooled down to atmospheric temperature with a low heating rate (heating starting from room temperature), medium heating rate (heating by living in the hot furnace), and high heating rate (heating in salt bath). In order to determine the effects of low, medium and high heating rates on the mechanical properties of these steels, two groups of experimental specimens from each steel type in which one group is subjected to annealed heat treatment and the other group in unannealed condition are prepared. To compare the mechanical properties of the experimental specimens, hardness and strength levels were determined for all specimens. The greatest increase in strength in relation to the increasing heating rate was obtained for Ç 4140 steel.

ANAHTAR KELİMELELER/KEYWORDS

Çelik, Isıtma hızı, Isıl işlemler, Mekanik özellikler, Mikroyapı
Steel, Heating rate, Heat treatment, Mechanical properties, Microstructure

*CBÜ Müh. Fak., Makine Müh. Böl., Muradiye, MANİSA

** DEÜ Müh. Fak., Metalürji ve Malzeme Müh. Böl. Bornova, İZMİR

1. GİRİŞ

Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte çeliklerin yaygın kullanımı ve buna bağlı olarak mekanik ve metalografik özelliklerinin iyileştirilmesinde, çeliğe uygulanan ısıl işlemler giderek önem kazanmaktadır (Metals Handbook, 1993).

Ç 1020, Ç 1040 ve Ç 4140 çelikleri makine imalat endüstrisinde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Örneğin Ç4140 makine imalat çeliği, talaşlı imalat endüstrisinde yaklaşık %10 oranında kullanılmaktadır ve içerdiği alaşım elementleri nedeni ile yüksek sertleşebilirlik özelliğine sahip bir çeliktir (MKE, 1993). Bu nedenle Ç 4140 çeliğine uygulanacak ısıl işlemler ve ısıtma hızları, imalat açısından işlenebilirlik karakteristiğinin belirlenmesinde önemli bir belirleyici unsurdur (Klueh, 1999).

Çeliklerin mekanik özellikleri üzerinde ısıtma hızının etkisi büyüktür (Gorynin, 2000; Lyashenko, 1997). Bu çalışmada, yapılan deneylerde yavaş ısıtma hızında (oda sıcaklığından ısıtma), orta ısıtma hızında (sıcak fırında ısıtma) ve hızlı ısıtma hızında (tuz banyosunda ısıtma), Ç 1020, Ç 1040 ve Ç 4140 çelikleri ostenit bölgesine kadar ısıtılarak havada soğutulmuşlardır. Uygulanan yavaş, orta ve yüksek ısıtma hızlarının bu çeliklerin mekanik özelliklerinde meydana getirdiği değişimler belirlenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Isıtma hızının, farklı kompozisyona sahip çelikler üzerindeki etkisinin belirlenebilmesi için düşük karbonlu (Ç 1020), orta karbonlu (Ç 1040) ve düşük alaşımlı (Ç 4140) üç ayrı tip çelik üzerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu çeliklerin kimyasal bileşimleri Çizelge 1’de belirtilmiştir.

Uygulanan ısıtma hızlarının etkisi, her bir çelik için normalizasyon tavlama uygulanmış ve uygulanmamış numuneler olmak üzere iki ana grupta incelenmiştir. Deneylerde uygulanan ısıtma hız kademeleri ve sıcaklık değerleri Çizelge 2’de verilmiştir. Isıtma hızının sertlik ve mukavemet değerleri üzerindeki etkilerini belirlemek için her bir çelikten 18 mm çapında ve 10 mm boyunda sertlik numuneleri, TS 138’e göre de çekme numuneleri hazırlanmıştır. Daha önce belirtilen iki ana grup için hazırlanan numunelere, Çizelge 2’de belirtilen işlem kademeleri ayrı ayrı uygulanarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Ç 1020 ve Ç 1040 çeliklerine ait numuneler, iç yapıdaki değişiklikleri belirlemek amacıyla uygulanan İşlem 1 ve İşlem 5 sonrasında metalografik incelemeye tabi tutulmuşlardır.

3. DENEY SONUÇLARI

İki ana grupta, her üç çelik için uygulanan altı farklı ısıtma kademesi sonucunda elde edilen sertlik değerleri Çizelge 3 ve Çizelge 4’de sertlik değişimleri ise Şekil 1 ve Şekil 2’de verilmiştir.

Çizelge 1: Deneylerde kullanılan çeliklerin kimyasal bileşimleri (%)

Malzeme	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	Sn	Al	As	W	V
Ç 1020	0.20	0.04	0.50	0.065	0.022	0.07	0.080	0.080	0.100	0.022	0.010	0.012	-	0.001
Ç 1040	0.38	0.27	0.93	0.028	0.018	0.11	0.022	0.022	0.027	0.005	0.018	0.017	0.017	0.002
Ç 4140	0.43	0.26	0.79	0.018	0.024	0.86	0.230	0.230	0.165	0.013	0.015	0.025	0.025	0.006

Çizelge 2. Isıtma hız kademeleri ve sıcaklık değerleri

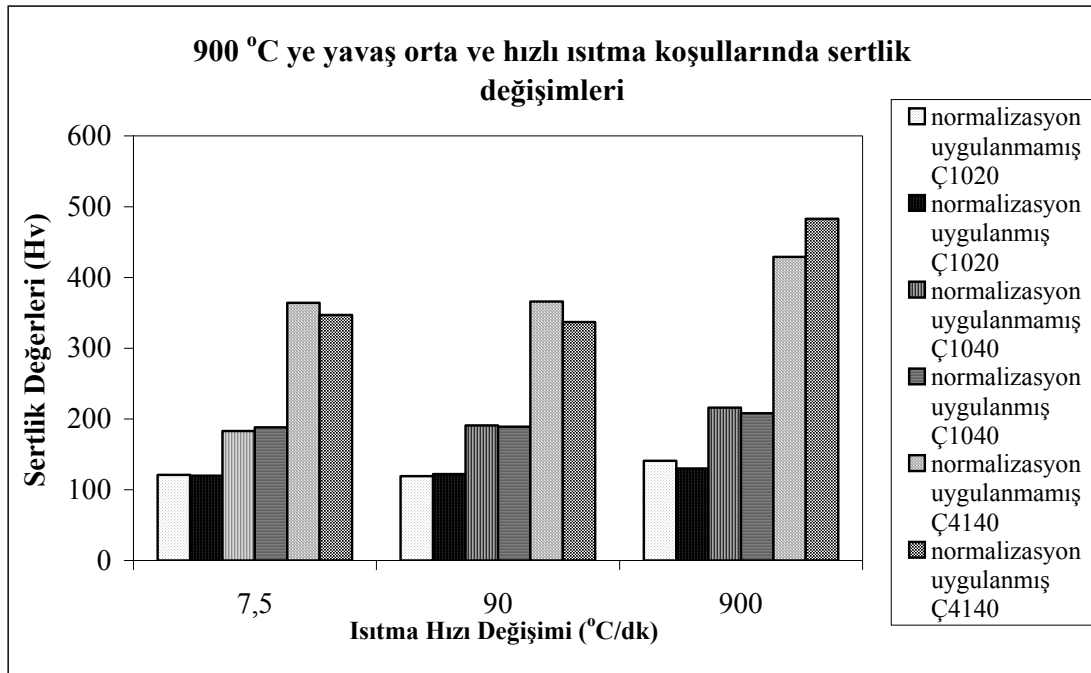
İşlem no	Isıtma Kademesi	Bekletme Süresi (dk)	Isıtma Hızı ($^{\circ}\text{C}/\text{dk}$)
1	Oda sıcaklığından 900°C 'ye (yavaş ısıtma)	10	7.5
2	Oda sıcaklığından 750°C 'ye (yavaş ısıtma)	10	6.25
3	900°C 'de (orta ısıtma)	10	90
4	750°C 'de (orta ısıtma)	10	75
5	900°C 'de tuz banyosunda (hızlı ısıtma)	10	900
6	750°C 'de tuz banyosunda (hızlı ısıtma)	10	750

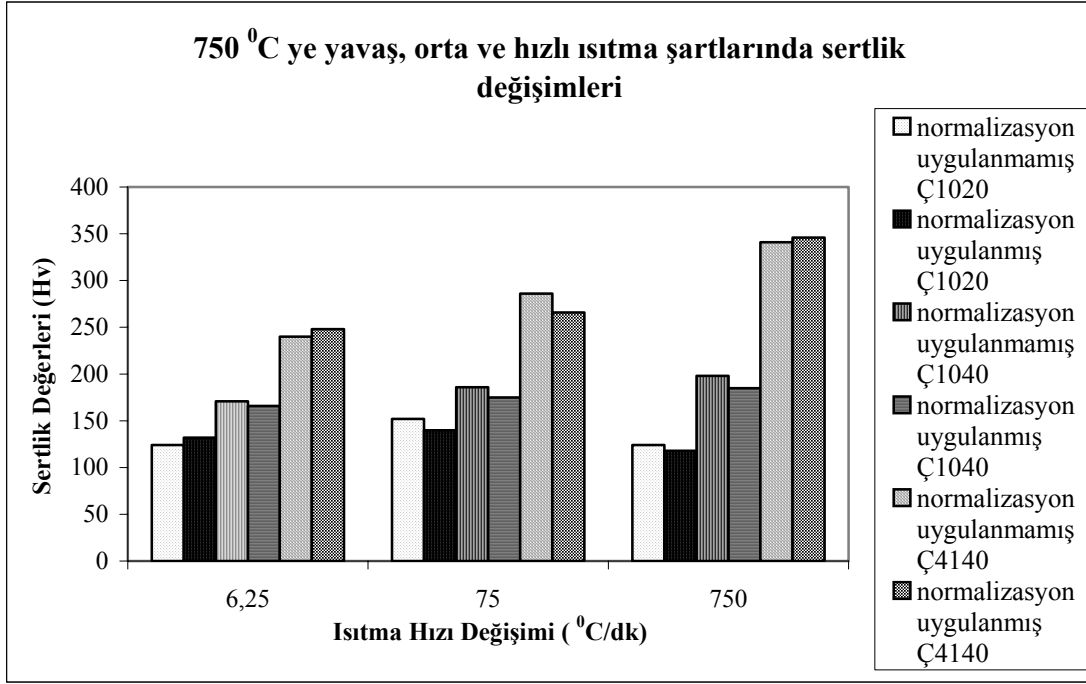
Çizelge 3. Normalizasyon tavlama uygulanmamış numunelerin farklı ısıtma hızları sonucu elde edilen sertlik değerleri (HV)

Malzeme	Normalizasyon tavlama uygulanmamış					
	İşlem 1	İşlem 2	İşlem 3	İşlem 4	İşlem 5	İşlem 6
Ç 1020	121	124	119	152	141	124
Ç 1040	183	171	191	186	216	198
Ç4140	364	240	366	286	429	341

Çizelge 4. Normalizasyon tavlama uygulanmış numunelerin farklı ısıtma hızları sonucu elde edilen sertlik değerleri (HV)

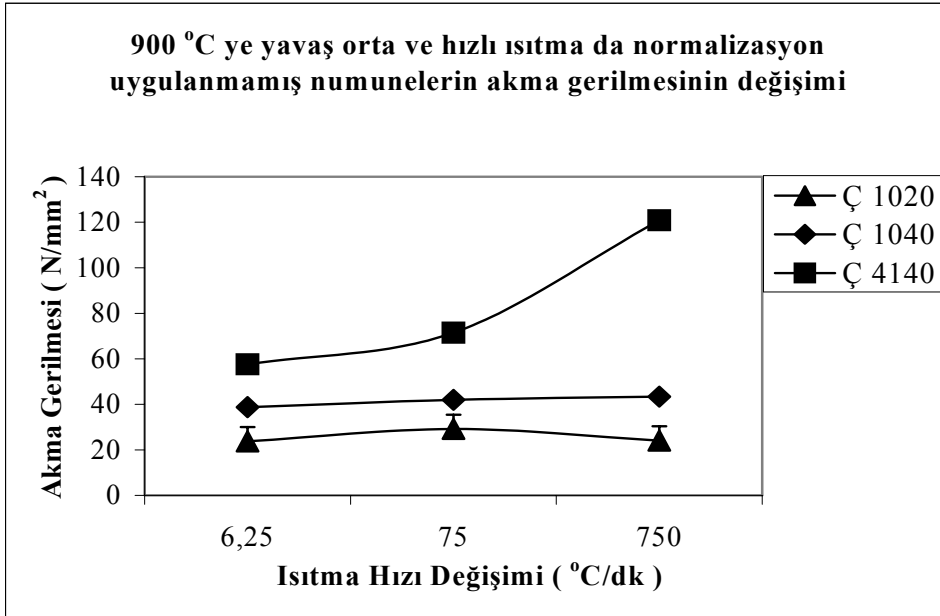
Malzeme	Normalizasyon tavlama uygulanmış					
	İşlem 1	İşlem 2	İşlem 3	İşlem 4	İşlem 5	İşlem 6
Ç 1020	120	132	122	140	130	118
Ç 1040	188	166	189	175	208	185
Ç4140	347	248	337	266	483	346

Şekil 1. 900 $^{\circ}\text{C}$ 'ye yavaş, orta ve hızlı ısıtma şartlarında çeliklerin sertlik değişimleri

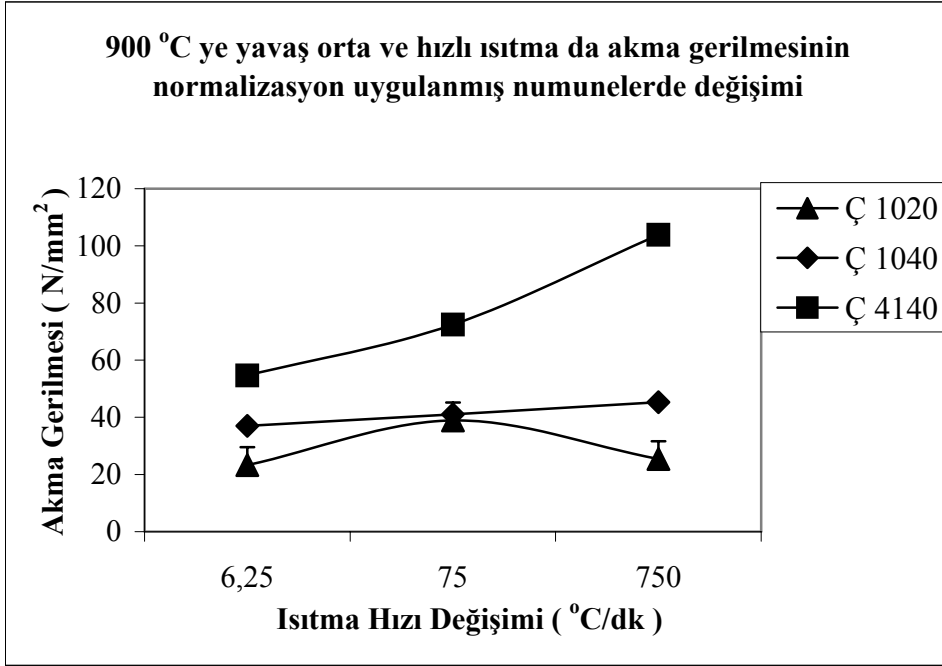


Şekil 2. 750 °C'ye yavaş, orta ve hızlı ısıtma şartlarında çeliklerin sertlik değişimleri

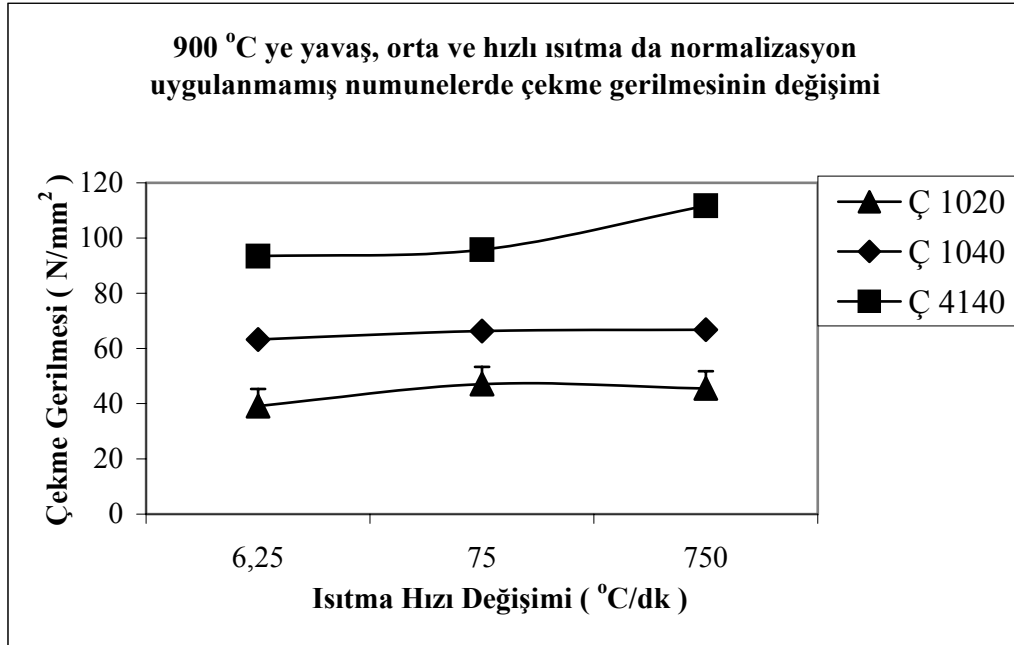
900 °C ye ulaşmakta uygulanan farklı ısıtma hızlarının, çeliklerin akma gerilmelerindeki meydana getirdiği değişimler Şekil 3 ve Şekil 4'te verilmiştir.



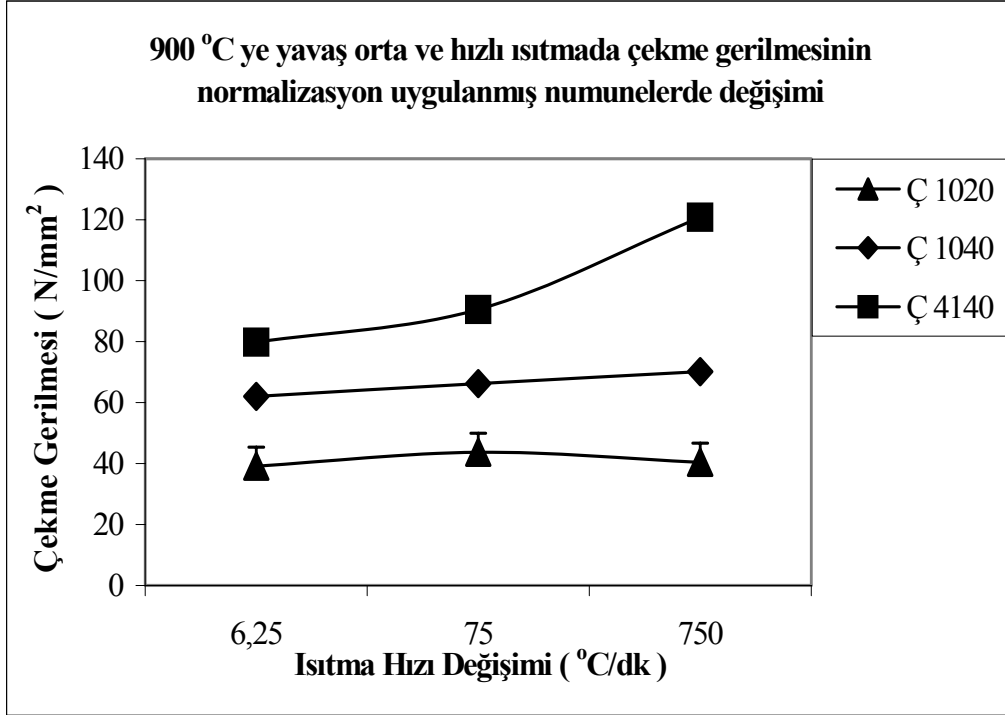
Şekil 3. 900 °C ye ulaşırken normalizasyon uygulanmamış numunelerde uygulanan değişen ısıtma hızlarının akma gerilmesine etkisi



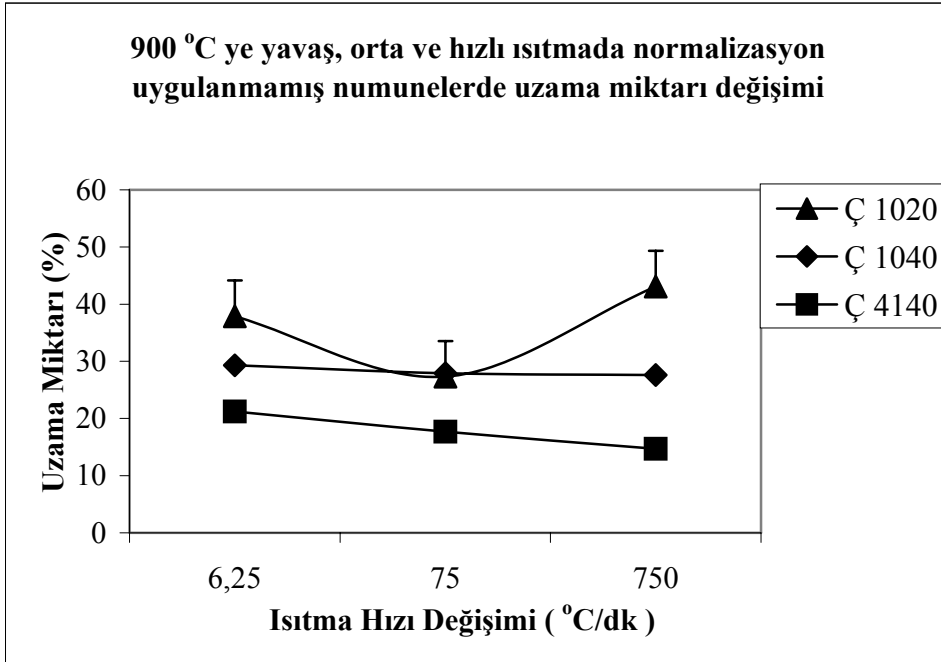
Şekil 4. 900 °C ye ulaşırken uygulanan değişen ısıtma hızlarının normalizasyon uygulanmış numunelerin akma gerilmelerine etkisi



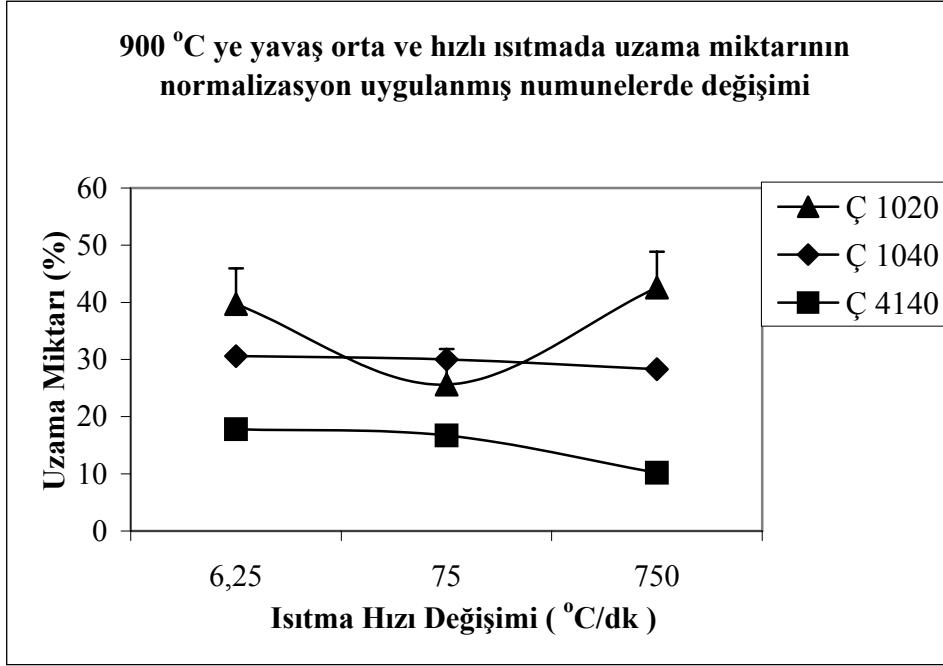
Şekil 5. 900 °C ye ulaşırken normalizasyon uygulanmamış numunelerde uygulanan değişen ısıtma hızlarının çekme gerilmesine etkisi



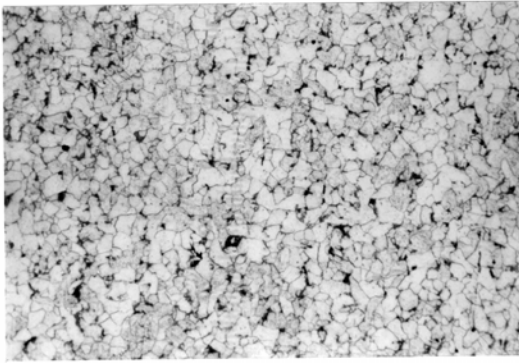
Şekil 6. 900 °C ye ulaşırken uygulanan değişen ısıtma hızlarının normalizasyon uygulanmış numunelerin çekme gerilmelerine etkisi



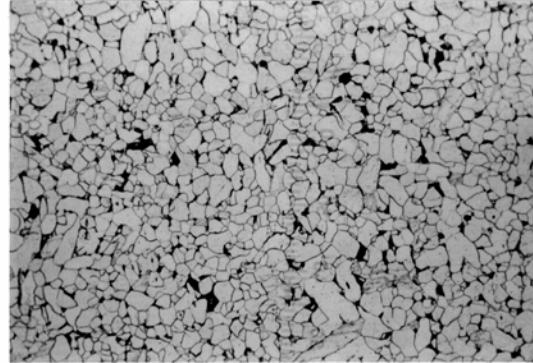
Şekil 7. 900 °C ye ulaşırken normalizasyon uygulanmamış numunelerde uygulanan değişen ısıtma hızlarının uzama miktarına etkisi



Şekil 8. 900 °C ye ulaşırken uygulanan değişen ısıtma hızlarının normalizasyon uygulanmış numunelerde uzama miktarına etkisi

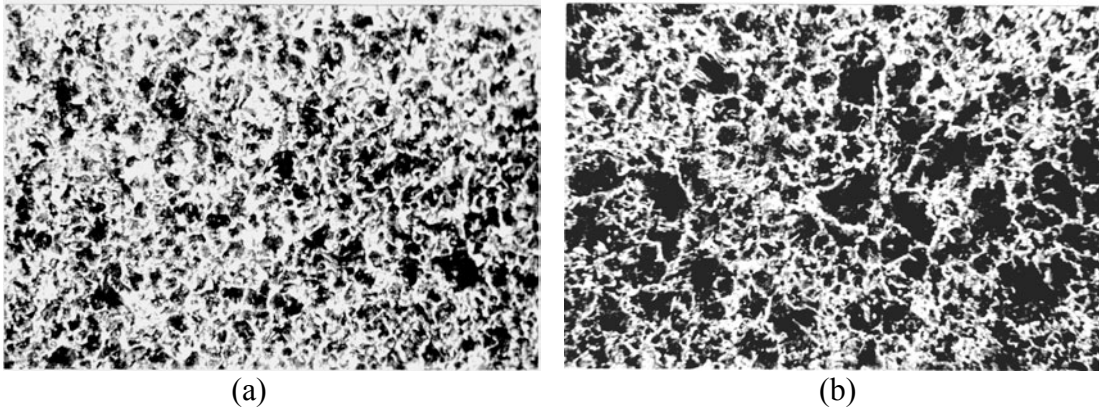
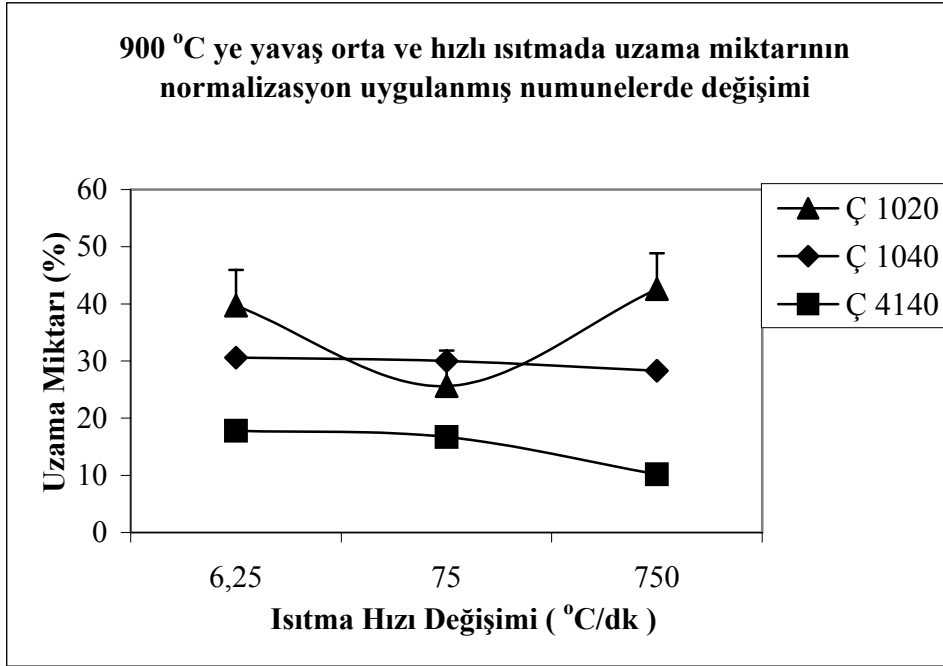


(a)



(b)

Şekil 9. Ç 1020 çeliğinin 900 °C ye (a) yavaş ısıtma, (b) hızlı ısıtma sonrasında mikroyapısı



Şekil 10. Ç 1040 çeliğinin 900 °C ye (a) yavaş ısıtma, (b) hızlı ısıtma sonrasında mikroyapısı

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Şekil 1 ve Şekil 2'de 900 °C ye ve 750 °C ye yavaş, orta ve hızlı ısıtma koşulları sonrasında Ç 1020, Ç 1040 ve Ç 4140 numunelerinin sertlik değişimleri grafiksel olarak yer almaktadır. Şekil 1 ve Şekil 2'de görüldüğü üzere ısıtma hızı arttıkça Ç 1020, Ç 1040 ve Ç 4140 çeliklerinde sertlikte artışlar meydana gelmektedir.

Her bir malzeme için artan ısıtma hızları ile birlikte sertlik değerlerinde artış meydana gelmekte 900 °C ve 750 °C de (hızlı ısıtmada) en yüksek sertlik değerlerine ulaşılmıştır. Isıtma hızlarındaki sertlik değişimleri, normalizasyon tavlama uygulanmış ve uygulanmamış malzemeler için değerlendirildiğinde; 7,5 °C/dk ve 90 °C/dk ısıtma hızlarında her üç çelik içinde normalizasyon tavlama uygulanmamış numunelerde sertlik değerleri daha yüksek bulunmuştur. 900 °C/dk ısıtma hızında ise Ç 1020 ve Ç 1040 çeliklerinde en yüksek sertlik değerleri yine normalizasyon tavlama uygulanmamış numunelerde olmaktadır. Fakat Ç 4140 çeliğinde ise en yüksek sertlik değeri normalizasyon tavlama uygulanmış numunede tespit edilmiştir. 6.25, 75 ve 750 °C/dk ısıtma hızları için sertlik değerleri incelendiğinde; 6.25, 75 °C/dk ısıtma hızları sonrasında Ç 1020 ve Ç 1040 çeliklerinde normalizasyon

tavlamaı uygulanmış ve uygulanmamış malzemelerin sertlik değerleri birbirine çok yakın çıkarken  4140 eliğinde ise normalizasyon tavlamaı uygulanmamış malzemelerdeki sertlik değerlerinin normalizasyon tavlamaı uygulanmış malzemelerdekine oranla daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Isıtma hızı değişiminin her bir çeliğin mekanik özelliklerinde meydana getirdiği değişimler řu şekilde belirlenmiştir. şekil 3 ve şekil 4’de  1020,  1040 ve  4140 çeliklerinin ısıtma hızı değişimine bağlı olarak akma gerilmesindeki değişimler yer almaktadır.  1040 eliğinde ısıtma hızı arttıka akma gerilmesinde önemli lde artış kaydedilmiştir. Nitekim, akma gerilmesindeki en büyük artış % 108 artış oranıyla normalizasyon uygulanmamış  4140 eliğinde gerçekleşmiştir.  1020 ve  1040 çeliklerine ait akma değerlerinde ise önemli lde değişimler olmamıştır. Bir başka deyimle  1020 ve  1040 çeliklerinin akma gerilmesi değerlerindeki artış oranı ısıtma hızının artması ile birlikte çok az olmaktadır. Isıtma hızı değişiminin akma gerilmesine etkisinde en ilgi çekici sonuç  1020 eliğinde görülmektedir.  1020 çeliğine ait normalizasyon uygulanmış ve uygulanmamış numunelerin her ikisinde de en yüksek akma gerilmesi değerine orta ısıtma hızında (75 C/dk) ulaşılmıştır.  4140 eliğinde ise artan ısıtma hızı ile birlikte akma gerilmesinde az miktarlarda lineer bir artış normalizasyon uygulanmış ve uygulanmamış numunelerde elde edilmiştir.

şekil 5 ve şekil 6’da ise çekme gerilmesinin ısıtma hızı ile değişimi görülmektedir. Her üç çelikte çekme gerilmesi ısıtma hızının artmasıyla birlikte artış kaydetmekte fakat bu artış akma gerilmesindeki artış oranlarına göre olduğa düşük olmuştur. Isıtma hızının değişmesinden en çok etkilenen  4140 eliğinde çekme gerilmesinde en yüksek değere akma gerilmesindekinin aksine normalizasyon uygulanmış numunede ulaşılmıştır.

şekil 7 ve şekil 8’de ise ısıtma hızı değişimine bağlı olarak çekmedeki uzama miktarları yer almaktadır. şekil 7 ve şekil 8’de akma ve çekmede ki değerlere bağlı olarak her üç çeliğe ait benzer davranışlar tespit edilmiştir.

Isıtma hızının tanelerin büyümesi üzerinde büyük etkisi olmaktadır (Kraus, 1993). Yüksek ısıtma hızında tane boyutu küçülmektedir. Çünkü taneler yavaş ısıtma hızında olduğu kadar büyümeye fırsat bulamazlar. Tane boyutunun malzemenin mukavemeti ile doğru orantılı değiştiği $\sigma = k \cdot D^{-1/2}$ Hall-Petch bağıntısı ile açıklanabilir (Smith, 1993).

Bu bağıntıda ;

k : malzeme sabiti , D : tane boyutu , σ : malzeme mukavemeti, olarak tanımlanmaktadır.

Kullanılan deney malzemeleri arasında en yüksek karbon oranına sahip olan, aynı zamanda alaşım elementi içeren  4140 eliği, artan ısıtma hızlarında mukavemeti en çok artan malzeme olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte  1020 ve  1040 çeliklerinde artan ısıtma hızları ile birlikte mukavemet değerlerinde belirgin artışlar gözlenmemiştir. Bunun sebebi olarak  020 ve  1040 malzemelere ait i yapılar incelendiğinde şekil 9 ve şekil 10’da görüldüğü üzere, yavaş ve hızlı soğutma koşullarında tane boyutlarında belirgin bir değişmeye rastlanmamıştır.

KAYNAKLAR

- Gorynin I.V., Rybin V.V., Kursevich I.P., Lapin A.N., Nesterova E.V., Klepikov E.YU (2000): "Effect of Heat Treatment and Irradiation Temperature on Mechanical Properties and Structure of Reduced-activation Cr-W-V Steels of Bainitic, Martensitic, and Martensitic-ferritic Classes", Journal of Nuclear Materials, Volumes 283-287, Part 1, December, Pages 465-469.
- Ivasishin O.M., Teliovich R.V. (1999): "Potential of Rapid Heat Treatment of Titanium Alloys and Steels", Materials Science and Engineering A, Volume 263, Issue 2, 15 May, Pages 142-154.
- Klueh R.L., Alexander D.J. (1999): "Effect of Heat Treatment and Irradiation Temperature on Impact Properties of Cr-W-V Ferritic Steels", Journal of Nuclear Materials, Volume 265, Issue 3, 1 March, Pages 262-272.
- Kraus G., (1993): "Steels, Heat Treatment and Processing and Principles", Second edition.
- Lyashenko V.M. (1997): "Development of Heat Treatment", Khimicheskoe I Neftyanoe Mashinostroenie, November-December, Pages 53-54.
- Metals Handbook (1993): "Heat Treatments of Steels", 10th edition , ASM.
- MKE Kurumu Genel Müdürlüğü (1993): 1454 sayı 8 Nisan tarihli yazı.
- Smith F.W. (1993): "Structure and Properties of Engineering Alloys", Second edition .