



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Soğuk Dövme Prosesi ile 20MnB4 Hammadde Kullanılarak Üretilen Civatanın Isıl İşlem Şartlarının Metalografik ve Mekanik Özelliklere Olan Etkisinin İncelenmesi

Alper BAYGUT ^{a*}, Vedat BAŞDEMİR ^b, Osman ÇULHA ^c

^a BOLT AR-GE (BOLT Bağlantı Elemanları San. Tic. A.Ş), Bursa, TÜRKİYE

^b BOLT AR-GE (BOLT Bağlantı Elemanları San. Tic. A.Ş), Bursa, TÜRKİYE

^c Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Manisa Celal Bayar Üniversitesi., Manisa, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: alper.baygut@bolt.com.tr

ÖZET

Civata üretiminin kritik prosesi olan ısıl işlem prosesi; soğuk şekillendirilen malzemenin metalografik ve mekanik özelliklere olan etkisinin araştırılması, hem proses verimi hemde ürün performans kriterleri açısından değerlendirildiğinde sektörde deneysel geliştirme faaliyetlerinin başında gelmektedir. Sıcaklık, zaman ve atmosfer ile birlikte soğuk dövülmüş malzemenin ısıl işlem sonrası mikro yapısının karakterize edilmesi önemli bir veri bankası oluşturacaktır. Bu çalışmada; 20MnB4 hammaddenin, sayısal simülasyon yöntemleri kullanarak TTT - CCT diyagramları elde edilmesi, bu diyagramlardan elde edilen ısıl işlem verilerine göre proses uygulaması, simülasyon ve gerçek ısıl işlem sonuçlarının karşılaştırılarak maksimum enerji verimliliğinde prosesler tasarlanması hedeflenmiştir. Süreç içinde bantlı (kontinu) ısıl işlem fırında gerçekleştirilen ısıl işlem prosesi sonucunda ortaya çıkan mamulün metalografik ve mekanik incelemesinin yapılması; tavlama ve temperleme sonrası oluşan mikroyapı incelemesi, mikro - makro sertlik incelemesi, dekarbürizasyon – rekarbürizasyon değeri tespiti, akma - çekme test diyagramı ile birlikte simülasyon sonuçları destekli olarak açıklaması yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Soğuk Dövme, Isıl İşlem, Bantlı – Kontinu Isıl İşlem Fırını, Mikroyapı İnceleme

Research of Metallographic and Mechanical Properties of the Heat Treatment Conditions of the Bolt Produced by Cold Forming Process and 20MnB4 Raw Material

ABSTRACT

Critical process of BOLT production Heat Treatment Process is one of the lead experimental development activities in industry, in order to examine the effect of mechanical and metallographic features of cold formed material; evaluated both process productivity and product quality criterias. Characterization of cold forged

materials' microstructures with heat, time and atmosphere after heat treatment would create an important data base. In this study; for 20MnB4 material; obtaining TTT - CCT diagrams by using numeric simulation techniques, process implementations according to heat treatment values obtained from those diagrams; designing processes by comparing simulated and real heat treatment values with maximum productivity of energy targeted In this study; for 20MnB4 material; obtaining TTT - CCT diagrams by using numeric simulation techniques, process implementations according to heat treatment values obtained from those diagrams; designing processes by comparing simulated and real heat treatment values with maximum productivity of energy targeted, were realized. In the process, with the help of tensile test diagrams and simulation values ; an explanation has made for mechanical and metallographic examination of product obtained from Heat treatment application which performed in continuous furnace and examination of microstructure resulted after quenching and tempering process, micro and macro hardness, determining decarburization and recarburization values.

Key words: Cold Forming, Heat Treatment, Continuous Heat Treatment Furnace, Microstructure examination.

I. GİRİŞ

Isıl işlem; bir malzemenin özelliklerini ve/veya içyapısını değiştirmek amacıyla, o malzemeye belli bir sıcaklık – zaman programı dahilinde uygulanan bir ısıtma ve soğutma işlemleri sırasıdır. Diğer bir deyişle; iç yapı ve özellikler bakımından belirli bir durumu elde etmek üzere, malzemenin katılaşma sıcaklığının altında uygun sıra ve süre ile ısıtılıp soğutulmasına ısıl işlem denir [1].

Isıl işlem, dört ana safhadan oluşur. Bunlar ısıtma, ısıtılan sıcaklıkta bekletme, soğutma ve temperleme safhalarıdır. Bütün ısıl işlem yöntemlerinde bu dört ana safha geçerlidir. Fakat uygulanan ısıl işlem türüne göre, ısıl işlem sıcaklığı, bekletme süresi, ısıtma ve tutma hızı gibi parametreler değiştirilir. Isıtma, bekletme ve soğutma safhalarına ısıl çevrim denir. Uygulanan ısıl işlem türüne göre işlem ya bir çevrim yapılarak bitirilir ya da birbirini izleyen birkaç ısıl çevrim yapılarak ısıl işlem tamamlanmaktadır. Tavlanmayla ilişkili, tavlanmış çeliklerin mikroyapı ve mekanik özelliklerini etkileyen değişkenler şunlardır: Temperleme sıcaklığı, Sıcaklıkta bekleme, Tavlama sıcaklığındaki soğutma hızı, Çeliğin karbon içeriği, alaşım içeriği ve kalıntı elemanlar da dahil olmak üzere bileşimidir. Bu temel değişkenler üzerinde temperleme sıcaklığı ve bu sıcaklıkta bekleme süresi olarak karşımıza çıkmaktadır. Soğuma hızı ve alaşım kompozisyonunu çok daha az değişime uğradığından temperleme sıcaklığı üzerine gidilerek mekanik özelliklerdeki değişim incelenmiştir [2,3].

Bu çalışma içeriğine benzer şekilde Lee ve Su [3], 4340 çeliği ile yapmış oldukları testlerde östenitleme işleminden sonra bu numuneleri 100 - 650°C arasında oluşan sıcaklık değerlerinde sırasıyla 2 saat ve 48 saat temperleyip her bir deney setinden numunelere mekanik testler uygulanmışlardır. Buradaki amaç; sıcaklık ve sürenin malzemenin mekanik özelliklerinde olan değişimini elde etmektir. Temperleme sıcaklığı arttıkça akma ve çekme dayanımları düzenli olarak azalma göstermiş, uzama ve kesit daralmaları ise bağıntılı olarak artmıştır. Tayanç ve Zeytin çalışmalarında [4], hız çeliklerinin çeşitlerini, kullanım alanlarını, kesici takım malzemesi olarak istenen özellikleri, bu özellikleri sağlamak için gerekli bileşim ve uygulanan ısıl işlemleri incelemişlerdir. Farklı malzemelerin ısıl işlemleri ve çıkan sonuçları ile ilgili pek çok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalardan Nayak ve diğerleri [5], orta ve yüksek karbonlu çelik malzemelerin su verme ve östenit oluşumunu incelemiş, bu prosesin sertlik ve mikro yapı üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Hwang ve diğerleri [6], yataklama amacıyla kullanılan yüksek mukavemetli bakır

alaşımli çelik malzemelerin su verme işleminin mikro yapısal ve mekaniksel özellikler üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Tomita [7], yüksek karbonlu-düşük alaşımli farklı üç çeşit çeliğin yağ ortamında soğutma işlemini gerçekleştirmiş, bu prosesin mekanik özellikler ve mikro yapı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Gerçekleştirilen proses sonucunda elde edilen mikro yapı incelediğinde martenzit ve alt beynit oluşumunu gözlemiştir. Taveres ve diğerleri [8], çift fazlı çeliklerin ısı işlemi ile ilgili bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada seçilen ısı işlemler ıslah prosesi olup, 100°C, 200°C ve 300°C sıcaklıkların martenzit hacim oranına etkileri ile birlikte bu işlemin mekanik özellikler ve mikro yapı üzerindeki etkileri de araştırılmıştır. Ulu [9], 17CrNiMo6 çeliğinden ısı işlemlerle üretilen çift fazlı çelik numunelerin mikro yapı özellikleri incelenmiştir. Öncelikle, homojenleştirme işlemi uygulanmış ve daha sonra tam tavlama ve östenitik bölgeden su verme işlemi gerçekleştirilmiştir. Son olarak ise, numuneler farklı ara sıcaklıklardan soğutulmuşlardır. Çalışmada gerçekleştirilen ısı işlemlerin mikro yapısal olarak farklılıkları incelenmiştir. Uzkut ve Özdemir ise [10], 1020, 1040 ve 4140 çeliklerine uygulanan farklı ısıtma hızlarının etkisini araştırmıştır. Bu amaçla malzemeler östenit bölgesine kadar ısıtılıp havada soğutulmuşlardır. Sonuç olarak, artan ısıtma hızına bağlı olarak en yüksek mukavemet ver sertlik artış oranının 4140 çeliğinde olduğu belirlenmiştir. Demirezen ve diğerleri [11], DIN 41Cr4 (5140) ve DIN 42CrMo4 (4140) çeliklerinin farklı sıcaklıklarda temperleme işlemini gerçekleştirmiş, bu işlemin mekanik özelliklere etkisini inceleyerek optimum ısı işlem sıcaklığını belirlemişlerdir.

Literatürdeki anlatılan çalışmalar incelendiğinde; civata için istenilen mukavemet sınıfının elde edilmesi amacı ile üretilen her hammadde cinsine göre istenilen sertlik değeri – mukavemet sınıfı için uygulanacak olan ısı işlem yönteminin ve prosesinin farklı olacağı sonucuna varılmıştır. Çelik malzemelerin kimyasal özelliklerini değiştirmeksizin, ısı işlem uygulanarak malzemenin dayanımı, sünekliği ve sertliği gibi mekanik özellikler değiştirilebilmektedir.

Çelik malzemelerin temperleme davranışı ile ilgili olarak birçok çalışma bulunmasına rağmen, sayısal simülasyon destekli olarak temper rejiminin sertlik ve mukavemet üzerindeki etkisinin araştırılmasına çok sık rastlanılmamaktadır. Bu çalışmada 20MnB4 malzemesine ait temper davranışının hem deneysel hemde sayısal simülasyon sonuçlarının elde edilmesi ve sonuçların karşılaştırılması hedeflenmiştir.

II. YÖNTEM

Günümüzde, metal üretim sektöründe benzetimlerin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Kullanılan bu benzetimlerdeki var olan en geçerli ve yaygın yöntemlerden birisi de benzetim yöntemidir. Benzetim temel fikir, karmaşık bir problemin daha basit olanıyla değiştirilerek çözümünün bulunmasıdır [12]. Bu süreçte plastik şekil verilebilir, dövülebilir ve ısı işlem yapılabilir çelikleri içeren hammadde standardı olan EN 10263-4 kullanılarak hammadde seçilmiştir. Kullanılacak olan 20MnB4 hammaddeye ait standart ve gerçekteki kimyasal kompozisyon Tablo1 de verilmiştir.

Tablo 1. EN ISO 10263-4 e göre hammadde kimyasal kompozisyonu karşılaştırılması

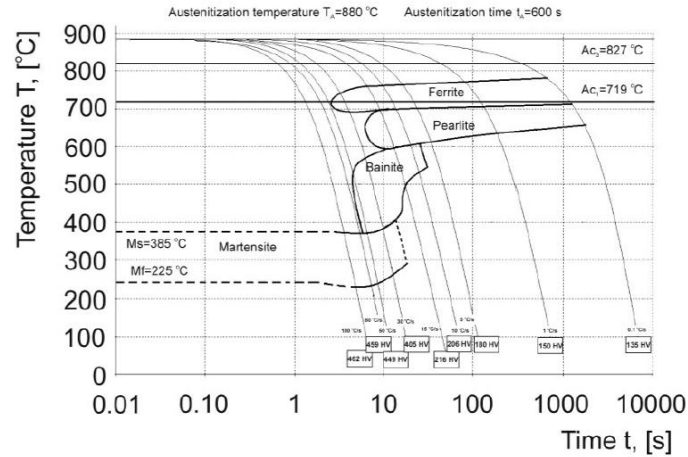
<i>Çelik Adı</i>	<i>C</i>	<i>Si (max)</i>	<i>Mn</i>	<i>P (max)</i>	<i>S (max)</i>	<i>Cr (max)</i>	<i>Cu (max)</i>	<i>B</i>	<i>AÇIKLAMA</i>
20MnB4 1.5525	0,18 – 0,23	0,30	0,90 – 1,20	0,025	0,025	0,30	0,25	0,0008 – 0,005	STANDART 10263-4

	0,20	0,07	1,05	0,004	0,008	0,17	0,03	0,003	KULLANILAN
--	------	------	------	-------	-------	------	------	-------	------------

A. SIMULASYON DESTEKLİ DATA ÜRETİMİ

Tablo 1 'de kimyasal kompozisyonu verilmiş hammadde özelliklerini kullanarak sanal malzeme datası oluşturulmuştur. Alaşım elementleri seçimi (C, B, N, Si, Mn, Al, V, Ti, Nb, vs.) ve dizaynının gerçekleştirilmesi kapsamında JMatPro programından faydalanılmıştır. JmatPro yazılımı ile; alaşım elementi çeşidi ve miktarına göre; Mekanik özellikler, Termo - fiziksel ve fiziksel özellikler, Faz dönüşümleri, Kararlı ve yarı kararlı faz denge diyagramları, Katılma davranışları ve özellikleri, Kimyasal özellikler, TTT - CCT diyagramları ve soğuma eğrileri, M(C,N) yapıların TTP (Temperature – Time - Precipitation (TTP) diyagramları) belirlenebilmektedir. Ayrıca alaşım dizaynı çalışmaları için Faz oranları ve yüzde kompozisyon miktarları, Entalpi, ısı kapasite ve termal dönüşümler gibi termokimyasal hesaplamalar, Dönüşüm sıcaklıkları: sıvılaştırma – katılma, Faz dönüşümlerine neden olan majör parametreler, Kimyasal reaksiyonların termodinamik özelliklerin belirlenmesi, tavlama ile bu süreçlerde kullanılan temel değişkenlere ait sanal ortamda malzeme veri bankası ve malzeme datası oluşturulmuştur.

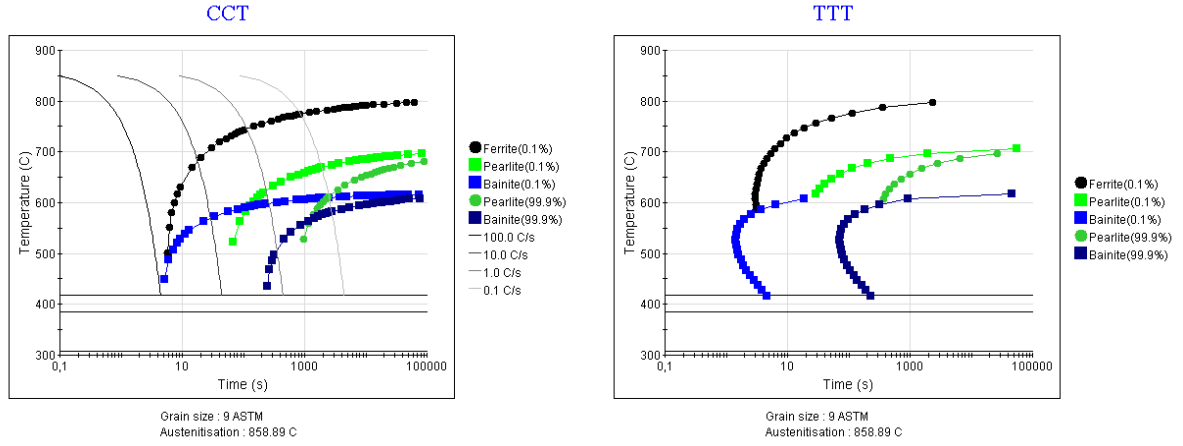
Standartta yer alan 20MnB4 kalite çelik kompozisyonundaki maksimum ve minimum kompozisyon toleransları, hammaddenin şekillendirme sonrası ısı işleme süreçlerini etkilemekte ve bazı durumlarda ısı işleme sonrası istenen malzeme özellikleri tam anlamıyla elde edilememektedir. Bu nedenle spectral analiz dataları bazında özgün TTT – CCT diyagramları oluşturulmuş ve bu diyagramlar esasında ısı işleme rejimleri analiz edilmiştir. Şekil 1 de Literatürden alınan standart 20MnB4 malzemeye ait CCT diyagramı bulunmaktadır. Bu diyagrama göre $Ac_3 = 827 \text{ }^\circ\text{C}$, $Ac_1 = 719 \text{ }^\circ\text{C}$ dir. Ayrıca $Ms = 385 \text{ }^\circ\text{C}$ ve $Mf = 225 \text{ }^\circ\text{C}$ dir. Ferrit, Perlit ve Beynit fazlarının dönüşüm aralıkları da belirtilmiştir.



Şekil 1. 20MnB4 CCT Diyagramı [13]

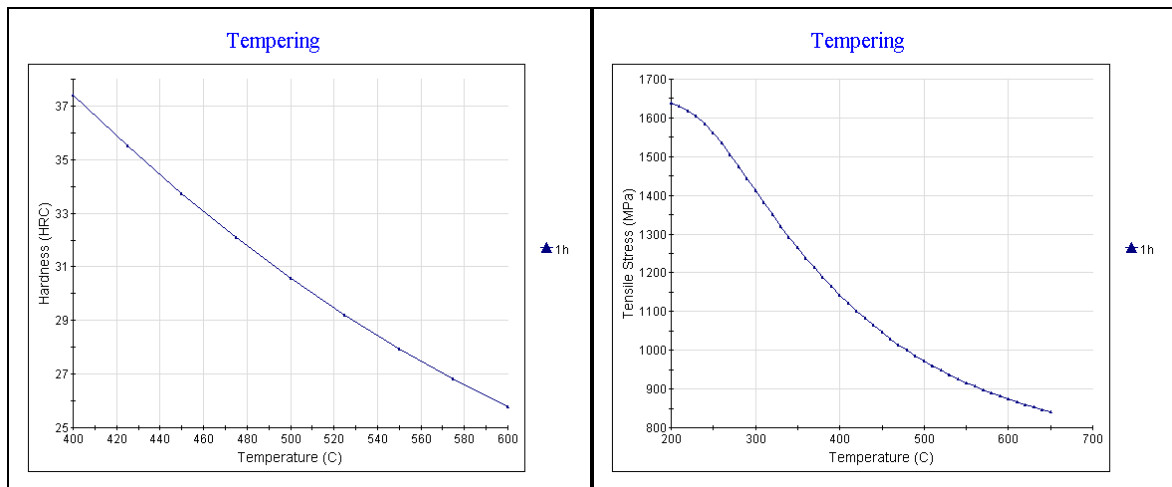
Tablo 1 de ifade edilen kullanılan kompozisyona göre üretilen TTT ve CCT diyagramlarında ise Perlit dönüşümü $711,5 \text{ }^\circ\text{C}$, Beynit $618,5 \text{ }^\circ\text{C}$, Ferrit ise $808,8 \text{ }^\circ\text{C}$, $Ms = 417,2 \text{ }^\circ\text{C}$, $Ms (\%50) = 384 \text{ }^\circ\text{C}$, $Ms (\%90) = 307 \text{ }^\circ\text{C}$ olarak hesaplanmıştır. Şekil 2'de ise üretilen TTT ve CCT diyagramları gösterilmiştir.

Simulasyon programı ile yapılan diğler çalışma ise su verme ve temperleme işlemi sonrasındaki sertlik ve mukavemet değişimlerinin temperleme sıcaklığına bağlı olarak ortaya çikarılmasıdır. Burada süre gerçek uygulama şartlarında olduğu gibi 60 dakika olarak sabit tutulmuştur. şekil 3 de farklı temper sıcaklıklarına göre kullanılan hammadde kompozisyonunun sertlik ve mukavemet değerlerine ait değişim grafiği bulunmaktadır.



şekil 2. Spectral analiz verilerinden türetilmiş 20MnB4 TTT ve CCT Diyagramı

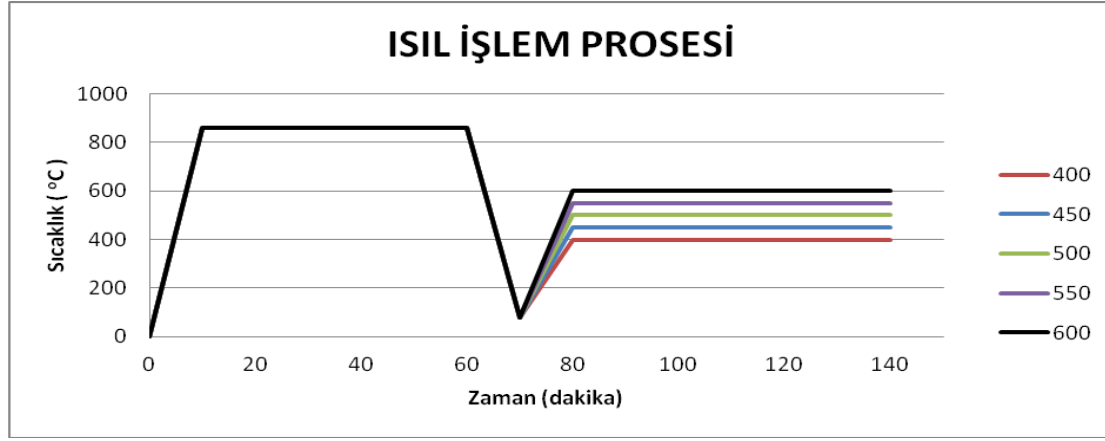
Bu diyagramlar simülasyon destekli TTT ve CCT lere göre tanımlanmış olup temelinde su verme sonrasında oluşan martenzit fazının farklı sıcaklıklarda sabit sürede temperlenmesi ile oluşan mikroyapıdaki faz oranlarındaki değişimler ile ortaya çikarılmaktadır. Simülasyon destekli temperlenmiş martenzit özellikleri incelenerek, sabit sıcaklıkta temper sıcaklığının sertlik ve çekme gerilmesi üzerindeki etkisinin araştırılmıştır. Böylece istenen cıvata mukavemet standardına (EN ISO 898-1) göre hangi ısıl işlem rejiminin uygulanması gerektiği konusunda detaylı bilgi elde edilmiştir. Çalışma içeriğinde laboratuvar ölçekli ısıl işlem uygulamaları da yapılarak, sonuçların karşılaştırılmasına da yer verilmiştir.



şekil 3. Simulasyon programında kullanılan hammaddenin temper sıcaklığına göre değişen sertlik ve çekme gerilmesi değerleri

B. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI SONUÇLARI

20MnB4 hammadde için; ısıtma, bekletme, soğutma ve temperleme olacak şekilde bir çevrim gerçekleştirilmiştir. Simulasyon dataları ile benzer sıcaklık değişimlerine göre temperleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Gerçekte yapılan ısıl işlem proses rejimi Şekil 4 'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Laboratuvar ölçekli ısıl işlem rejimi

Isıl işlem çevrimine göre; 20MnB4 malzeme, bantlı ısıl işlem fırınında 860 °C ye ısıtılmış ve 60 dakika bekletilmiştir. Soğutma hızı 110 °C/s olan ısıl işlem yağına düşürülerek ani soğutulmuştur. Islah işlemleri yapılmış farklı malzemeler farklı temperleme proseslerinde (400,450,500,550,600 °C) 60 dakika boyunca temperlenmiştir.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

A. SIMULASYON VE MEKANİK ÖZELLİKLER ÇALIŞMA SONUÇLARI

Sayısal simulasyon destekli temperleme işleminde çıktı olarak çekme gerilmesi ve Vickers Sertlik değerleri farklı temperleme sıcaklıklarına göre değişimleri elde edilmiştir. Gerçek laboratuvar ölçekli çalışmalarda ise numune üzerinden çekme ve sertlik testleri yapılarak ölçümler alınmıştır.

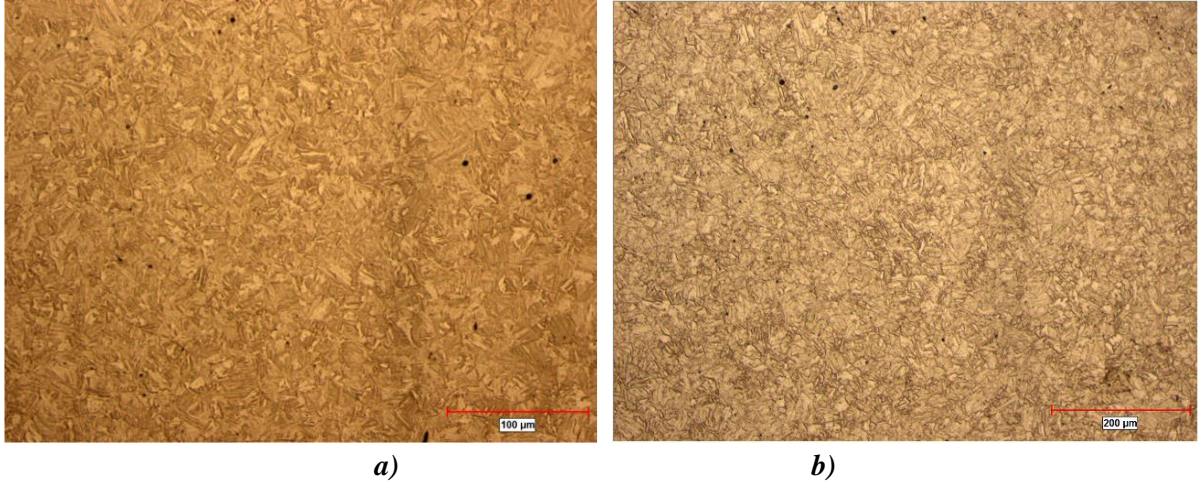
Tablo 2. Sayısal simulasyon destekli ısıl işlem analizi

AÇIKLAMA	YAĞ ÇIKIŞI		400 °C		450 °C		500 °C		550 °C		600 °C	
	S	G	S	G	S	G	S	G	S	G	S	G
Çekirdek Sertliği (HV1)	463	452	364	351	333	319	309	298	291	274	277	268
Çekme Mukavemeti (N/mm ²)	1490	1460	1143	1134	1046	1026	972	960	916	878	874	857
EN ISO 898-1 Mukavemet sınıfı	-		-		9.8		8.8		-		-	

S: Simulasyon Sonuçları G: Gerçek Test Sonuçları

B. MIKROYAPI SONUÇLARI

Mikroyapı incelemeleri için ise örnek bir numune seçilmiştir. 860 °C'den su verme ve 500 °C'de temperleme işlemi sonrasında elde edilen numuneye metalografik inceleme yapılmıştır.



Şekil 5. Mikroyapı Sonuçları a) Su verme b) 500 °C Temperleme

C. DEKARBURIZASYON – REKARBURIZASYON SONUÇLARI

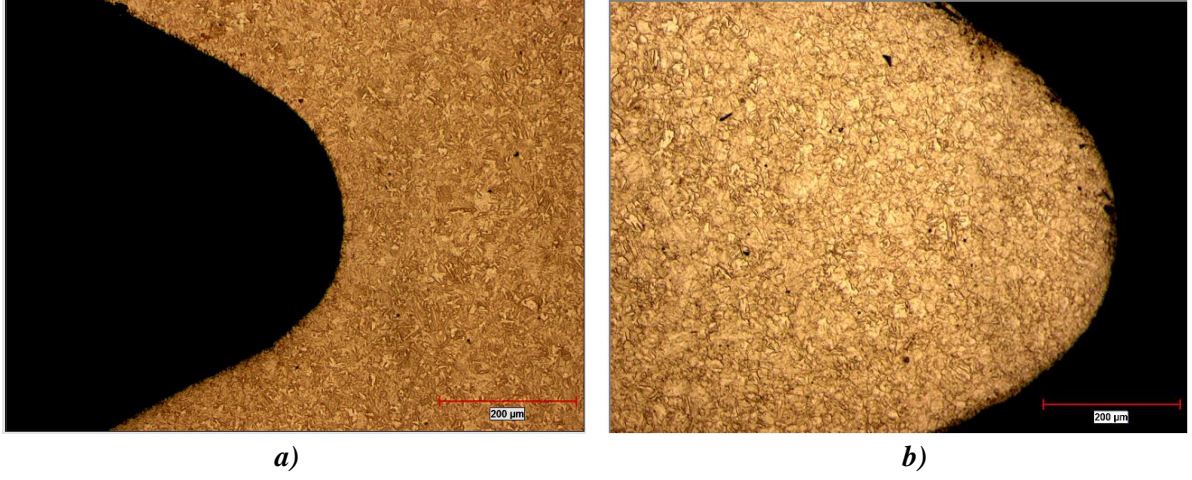
Standarda göre (ISO 898-1) mikroyapı ve sertlik incelenmesi ile çelik malzemenin dekarburizasyon ve rekARBURIZASYON değerleri belirlenebilmektedir. Bu çalışmada çekirdek sertliği ile yüzeyden 50 μm derinlikte ölçülen mikro sertlik sonuçlarının karşılaştırılması esasında dekarburizasyon ve rekARBURIZASYON oluşumu ortaya çıkarılmıştır. Tablo 3 'de verilen sertlik ölçüm karşılaştırmasına göre yüzeyde dekarburizasyona ve rekARBURIZASYON rastlanmamıştır. Standarda göre yüzey ve çekirdek mikrosertlik değerleri arasındaki fark ± 30 HV olmalıdır. Ölçülen sonuçlarda yüzeyin max 17 HV daha yumuşak olması kabul edilebilir seviyededir. Dolayısıyla ısı işlem kontrollü atmosferli bir fırında gerçekleştiğinden yüzeyde yüksek oranda dekarburizasyona rastlanmamıştır. Bu sonuçları Şekil 6 'daki mikroyapı incelemesi ile de desteklenmesi mümkündür.

Tayanç ve Zeytin [14] yaptıkları çalışmada, ısı işlem fırınının ortam atmosferinin düşük olduğunda çeliğin yüzeyinden bir miktar karbon kaybedildiği ve bu malzemede su verilmiş kısmın daha düşük karbonlu martenzite sahip olmasına sebep olduğunu belirlemiştir.

Tablo 3. Deneysel çalışma sonuçları

ACIKLAMA	TAVLAMA SONRASI	TEMPERLEME SONRASI				
	YAĞ ÇIKIŞI	400 °C	450 °C	500 °C	550 °C	600 °C
Mikro Sertlik Çekirdek (HV1)	452	351	319	298	274	268
Mikro Sertlik Yüzey (HV0.3 – 50 μm)	435	338	309	288	265	259

Dekarburizasyon Rekarburizasyon (fark max ± 30 HV)	-17	-13	-10	-10	-9	-9
Mikroyapı	Martenzit	Temperlenmiş Martenzit	Temperlenmiş Martenzit	Temperlenmiş Martenzit	Temperlenmiş Martenzit	Temperlenmiş Martenzit



Şekil 6. Mikroyapı Sonuçları a) Su verme b) 500 °C Temperleme

IV. SONUÇ

1. Sayısal simülasyon yöntemi kullanılarak TTT ve CCT diyagramları oluşturulmuş ve literatürde yer alan 20MnB4 malzemesine ait diyagramlarla karşılaştırılmıştır.
2. Standart kompozisyon aralığına göre yapılan analizlerde deneysel sonuçlar ile elde edilen CCT diyagramları benzer sonuçlar vermiştir.
3. Sayısal simülasyon destekli ısıl işlem sonucunda elde edilen sertlik ile deneysel sonuçlar arasında yüksek uyum söz konusudur.
4. Aynı malzeme kullanarak farklı ısıl işlem şartları altında 9.8 ve 8.8 kalite malzeme üretilebilmektedir.

V. KAYNAKLAR

- [1] ASM Handbook, "Heat Treatment" *United States: ASM International*, vol. 4, pp. 14-16, 1991.
- [2] W. D. Callister, "Material Science and Engineering An Introduction," vol.7, New Jersey, United States: John Wiley & Sons Inc., 2007, pp. 203-204.
- [3] W.S. Lee ve T.T. Su, "Mechanical properties and microstructural features of AISI 4340 high-strength alloy steel under quenched and tempered conditions *Journal of Materials Processing Technology*," vol. 87, pp. 198–206, 1999.

- [4] M. Tayanç, A. Toktaş, “SAE 4140 Çeliğinin Islahında Menevişleme Sıcaklığının İç Yapı ve Süneklik Üzerine Etkisinin İncelenmesi,” Kalıp Dünyası, Yıl 3, Sayı 15, 2002.
- [5] S.S. Nayak, R. Anumolu, R.D.K. Misra, K.H. Kim ve D.L. Lee, “Microstructure– hardness relationship in quenched and partitioned medium-carbon and high-carbon steels containing silicon,” *Materials Science and Engineering, A*, vol. 498, no. 1-2, pp. 442-456, 2008.
- [6] G.C. Hwang, S. Lee, J.Y. Yoo ve W.Y. Choo, “Effect of direct quenching on microstructure and mechanical properties of copper-bearing high-strength alloy steels,” *Materials Science and Engineering, A*, vol. 252, no. 2, pp. 256–268, 1998.
- [7] Y. Tomita, “Development of mechanical properties of structural high-carbon low-alloy steels through modified heat treatment,” *Journal of Materials Science*, vol. 24, no. 4, pp. 1357-1362, 1989.
- [8] S.S.M. Tavares, P.D. Pedroza, J.R. Teodósio ve T. Gurova, “Mechanical properties of a quenched and tempered dual phase steel,” *Scripta Materialia*, c. 40, s. 8, pp. 887–892, 1999.
- [9] S. Ulu, “17CrNiMo6 Çeliğinin Mikro yapı Özelliklerine Kritik Sıcaklıklar arası Isıl İşlemlerin Etkisi,” *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, c. 6, s. 3, ss. 79-88, 2009.
- [10] M. Uzkut ve İ. Özdemir, “Farklı Çeliklere Uygulanan Değişen Isıtma Hızlarının Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi,” *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, c.3, s. 3, ss.65-73, 2001.
- [11] M. Demirezen, M. Bayrak ve F. Öztürk, “41Cr4 ve 42CrCo4 Çeliklerde Isıl İşlemin Mekanik Özelliklere Etkisinin Araştırılması,” *Teknoloji Dergisi*, c. 9, s. 2, ss. 145-152, 2006.
- [12] S.S. Rao, “*The Finite Element Method in Engineering*,” vol. 5, Amsterdam, Netherlands: Elsevier, 2010, pp. 128-131.
- [13] K. Laber ve B. Koczurkiewicz, “*Determination Of Optimum Conditions for the Process of Controlled Cooling of Rolled Products with Diameter 16.5 mm Made of 20MnB4 Steel*,” 24th International Conference On Metallurgy And Materials, Ostrava, Czech Republic, 2015.
- [14] M. Tayanç, G. Zeytin, “Yüksek Hız Çeliklerinin İç Yapı ve Isıl İşlem Özellikleri,” *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. 2, s. 1, 2000.