

AISI W₁ VE L₂ SOĞUK İŞ TAKIM ÇELİKLERİNİN DÜŞÜK SICAKLIKLARDA (120 °C) MENEVİŞLENMESİ İLE OPTİMUM TOKLUĞUN GELİŞTİRİLMESİ

Cemhan ONUR* ve **Burhanettin İNEM****

*Ostim Mesleki Eğt. Merkezi, Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara.

**Metalurji Eğt.Böl. Teknik Eğt. Fak. Gazi Üniv. Ankara, binem@tef.gazi.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada AISI W₁ ve L₂ soğuk iş takım çeliklerinde sertleştirme ve menevişleme sonrası sertlik ve tokluk değişimleri teorik ve deneysel olarak incelenmiştir. Malzemelerden hazırlanan çekme ve U-çentik numuneleri 850⁰C’de 5 dakika östenitlenmiş, W₁ çeliği suda, L₂ çeliği ise yağda sertleştirilerek 120⁰C’de 1, 3, 5, 7, 9, 11 saat sürelerde menevişlenmiştir. Menevişlemenin ilk yedi saatlik bölümünde sertlikte bir kaç Rc’lik düşmeye karşın en yüksek tokluk, süneklik ve çekme mukavemetlerine ulaşılmıştır. Dokuz saatten sonraki menevişleme sürelerinde numunelerde sertlik artarken, dayanım ve darbe direncinde ani düşüşler meydana gelmiştir. Yedi saatlik menevişleme sonrası oluşan ε ve η karbürlerin, dokuz ve on bir saatlik menevişlemede martensit plakaları arasında kalıntı östenit içerisinde ince uzun parçacıklar halinde düzenlenmeleri sonucu sertlik artarken dayanım ve darbe direncinde ani düşüşler görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Takım çelikleri, menevişleme, sertlik ve tokluk

AN INVESTIGATION ON AISI W₁ AND L₁ STEELS FOR OPTIMUM TOUGHNESS PROPERTIES AT LOW TEMPERATURE (120 °C) TREATMENT

ABSTRACT

In this study, changes in hardness and toughness of AISI W₁ and L₂ steels after hardening and tempering were investigated theoretically and experimentally. The tensile and U-notch specimens obtained from the bulk material were austenitised at 850⁰C for 5 minute, then W₁ steel quenched in water and L₂ steel quenched in oil and both W₁ and L₂ steels tempered at 120⁰C for 1, 3, 5, 7, 9, 11 hours. The hardness decreased slightly in the period of first seven hours during the tempering

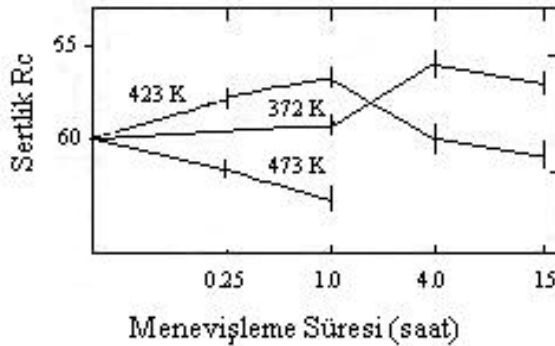
but highest values of toughness, impact energy and tensile strength were obtained. The hardness increased with tempering for 9 and 11 hours but toughness, ductility, tensile strength and impact energy decreased suddenly. ϵ and η carbides formed after tempering for 7 hours. These carbides formed in retained austenite as longitudinal plates along martensite plates after tempering for 9 and 11 hours therefore hardness increased but strength and impact energy decreased suddenly.

Keywords: Tool steels, tempering , hardness and toughness

1. GİRİŞ

Endüstride kesme takımları içerisinde önemli bir yere sahip olan bıçaklar; sıcak ve soğuk haldeki iş parçalarını keserek, şekillendiren, talaşlı ve talaşsız imalatta kullanılan yüksek nitelik gerektiren takım çeliklerinden yapılmaktadır [1]. Takım çelikleri genellikle dikkatli metalurjik kontrol ile elektrik fırınlarında üretilmektedir [2,3]. Makas bıçaklarının kullanımı esnasında meydana gelen aşınma ve kırılma problemlerinin sebebi, çeliğin üretim aşamasından kullanım aşamasına kadar gördüğü hatalı ve uygun olmayan ısıl işlemlerdir. Bu çeliklerin yüksek karbon içermeleri nedeniyle yüksek menevişleme sıcaklıklarında tane sınırlarında oluşan ve büyüyen sementit miktarının çok olmasının tokluğu düşürerek kırılma eğilimine neden olduğu bilinmektedir [3,4].

%1.22 C'lu soğuk iş takım çeliklerinde düşük sıcaklıklarda menevişleme ile oluşan mikro yapıların sertlikle ilişkisi birçok araştırmaya konu olmuş ve değişik görüşler öne sürülmüştür. D. L. Williamson, K. Nakazava ve Kraws, %1.22 C içeren çelikleri 950⁰C'de bir saat östenitleyip %5'lik NaCl içeren suda sertleştirerek 100-150⁰C $\pm 6^0$ C sıcaklıklar arasında bir saat süreyle yapılan menevişlemede, ϵ -Fe₂C, ϵ -Fe_{2.2}C ve η -Fe₂C karbürlerinin martensit plakaları arasında oluştuğu ve sertlikte artışa neden olduğu sonucuna varmışlardır (Şekil 1) [5].



Şekil 1. Fe – %1.22 C'lu alaşımda sertlik artışları, (950⁰C 'de 1 saatlik östenitleme) %5'lik NaCl içeren suda sertleştirme [5]

Hirotsu ve Naga'nın yaptığı diğer bir çalışmada, η -Fe₂C karbür oluşumunun yanında çeşitli metal nitrürlerin oluştuğunu elektron mikroskop çalışmalarıyla gösterilmiştir [6]. Lement, Averbach ve Cohen %0.4-0.8-1.4 C içeren alaşımlarda sertleştirme sonrası 66-205⁰C arasında yapılan menevişlemelerde ϵ -Fe₂C karbürlerinin oluştuğunu, bu reaksiyonun sertliği artırdığını veya en azından sertlik düşüşünü geciktirdiğini, %1.4 C içeren çeliklerde ise bu sertlik artışlarının kalıntı östenitten meydana gelen ikinci beynitik yapının oluşmasından kaynaklandığını göstermişler ve ayrıca az alaşımlı takım çeliklerinde kalıntı östenitin ikinci beynite dönüştürülmesi ile maksimum sertliğin korunabileceğini belirtilmektedir [3]. R. A. Grange, C. R. Hribal ve L. F. Porter'in 56-704⁰C arasında, alaşım elementlerinin menevişlenmiş martensitin sertliğine etkileri üzerine yaptıkları çalışmada, kromun her sıcaklıkta martensitin menevişlenmesini geciktirdiği tespit edilmiştir. Kromdan dolayı 204⁰C'ye kadar sertlik artışı azdır. Vanadyum kromdan daha güçlü bir karbür yapıcı olmasından dolayı az miktarda vanadyum içeren çeliklerde vanadyum karbür oluşmaktadır. Tüm sıcaklıklarda vanadyum karbürlerin sertlik artışları diğer elementlerden daha yüksek olmuştur [7]. Gregory A. Fett, SAE 1040 ve 1541 çeliklerinden yapılmış şaftları sertleştirdikten sonra 150, 175, 205, 260 ve 315⁰C'lerde menevişlemiştir. Bu çelikler için en iyi menevişleme sıcaklığının 175⁰C olduğunu ifade ile bu sıcaklıkta en iyi yorulma, süneklik ve burulma direnci sağladığı belirtilmiştir [8].

Yüksek menevişleme sıcaklıklarında (205⁰C) sementit, martensit faz içerisindeki epsilon karbürlerin yerini almakta ve martensit tane sınırlarında ince uzun tabakalar oluşturmaktadır. Bu tabaka sade karbonlu ve az alaşımlı soğuk iş takım çeliklerinde tokluğun düşmesine neden olmaktadır [3].

Bu sonuçlardan hareketle kesici takımların özellikle sertlikleri belirli bir sınırdan (62-63 Rc) tutarak tokluklarını ve dolayısıyla çalışma verimliliklerini ve ömürlerini uzatmak endüstriyel bir amaçtır. Bu çalışmada sade karbonlu ve az alaşımlı soğuk iş takım çeliklerinin düşük menevişleme sıcaklığında daha uzun sürelerde (1 saatten fazla) bekletilmesiyle, martensit plakaları arasında çökelek tipi ϵ ve η karbürlerin oluşması sonucu sertlikteki düşüş yavaşlayacak, bununla birlikte sementit oluşumunun engellenmesi ile toklukta bir miktar artışın sağlanabileceği düşüncesinden çıkarak; makas bıçaklarının yapımında kullanılan AISI W₁ ve L₂ soğuk iş takım çeliklerinde sertleştirme sonrası düşük sıcaklıklarda değişen sürelerde menevişleme ile optimum sertlik ve tokluk değerlerinin deneysel olarak belirlenmesi amaçlanmıştır [9]. Bu amaç için W₁ ve L₂ soğuk iş takım çeliklerinden U-çentik ve çekme numuneleri hazırlanmıştır. Isıl işlem aşamaları, ekipmanların seçimi ve kullanılmasının, literatür araştırmaları sonucu elde edilen aralıklarda, endüstriyel şartlarda yapılmasına özen gösterilmiştir. Sertleştirme ve menevişleme işlemleri sonrası sertlik, U-çentik ve çekme deney sonuçları alınmış, optik, Tarama Elektron Mikroskop (SEM) ve X-ışınları analiz sonuçları ile zamana bağlı olarak mikroyapı, sertlik ve toklukta meydana gelen değişimler irdelenmiştir.

2. MALZEME VE METOD

2.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Soğuk iş kesme takımlarının üretiminde kullanılan W₁ çeliği Makina Kimya Endüstrisi Çeliksarı (MKE) ve L₂ çeliği ise Gebze Makina Takım Endüstrisi (MTE) fabrikasından sağlanmıştır. W₁ çeliği yerli imalat olup, L₂ çeliği ise Almanya'dan ithal edilmiştir. Deneylerde kullanılan çeliklerin ARL 3560 optik emisyon spektrometre analizleri yapılmış ve bileşimlerinin Tablo 1'de verilmektedir. Bu değerler bu tür çelikler için belirtilen standart [2,10] aralıkları içindedir.

Tablo 1. AISI W₁ ve L₂ Takım çeliklerinin spektrometre analiz sonuçları

AISI	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Al	V	W	Ti	Co
W ₁	0,97	0,25	0,27	0,02	0,01	0,06	0,02	0,004	0,03	0,02	-	0,003	0,003	0,002
L ₂	1,19	0,28	0,23	0,01	0,003	0,51	0,08	0,02	0,14	0,02	0,07	0,008	0,002	0,007

2.2. Isıl İşlemler

Isıl işlemler, baryumnitrat, GS540, GS54, Houghton HS550, NC660 tuzlar içeren banyolarda yapılmıştır. Çeliklerde sementit fazını parçalamak amacıyla öncelikle normalizasyon tavlama yapılmıştır. Sertleştirme için tuz banyosunda 400 °C'de 5 dakika bekletilerek birinci ön ısıtma, 650 °C'de 5 dakika bekletilerek ikinci ön ısıtma ve 850 °C'de 5 dakika bekletilerek tam östenitleme sağlanmıştır. Numuneler tuz banyosundan soğutma ortamlarına 5 saniyede alınmış bu ortamda yaklaşık 25 saniye tutulmuştur. Numunelerin sıcaklığı yaklaşık 80 – 100 °C civarında iken 120 °C ±6°C'de menevişleme ortamına alınarak 1, 3, 5, 7, 9 ve 11 saatlik sürelerde menevişlenmişlerdir. Menevişleme sıcak hava üfleli fırında yapılmıştır.

2.3. Metalografik İncelemeler

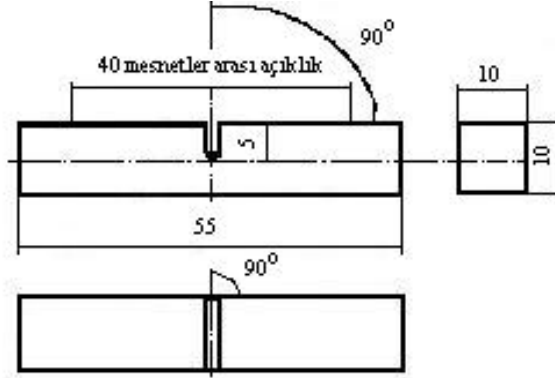
Metalografik incelemeler için numuneler sırası ile 180-1200 numaralı zımparalardan geçirilerek önce 3 mikronluk daha sonra 1 mikronluk alümina ile parlatılmıştır ve daha sonra % 2-3'lük nital ile dağlanmışlardır. Numuneler NİKON OPTIPHOT 100S marka optik mikroskopta incelenmiş ve fotoğraflanmıştır. JEOL-840A elektron mikroskobunda ayrıca SEM incelemeleri yapılarak fotoğraflar ve nokta analizleri alınmıştır. Philips marka 100 KW, 36 MA, PW 1320 model X-ışınları cihazda var olan ve menevişleme aşamalarında oluşan fazlar tespit edilmeye çalışılmıştır.

2.4. Sertlik Deneyi

Sertlik deneyi, ısıl işlem sırasında meydana gelen sertlik değişim profillerini oluşturmak için Rokwell sertlik ölçme cihazında C sertlik skala şartlarında yapılmıştır.

2.5. Darbe Deneyi

Ø25 mm çapındaki malzemenen TSE 269'a göre numuneler hazırlanmıştır (Şekil 2) [11]. Numunelere ısıtım işlem öncesi ve sonrası ince taşlama yapılmıştır. Menevişleme sonrası, dalma tipi elektroerezyon cihazında U-çentiği açılmıştır. Darbe deneyi oda sıcaklığında, AVERY BIRMINGHA marka, 30 kg. vurma ağırlığına sahip, kalibre edilmiş test cihazında yapılmıştır.



Şekil 2. U-Çentikli Standart Charpy deney parçası [11]

2.6. Çekme Deneyi

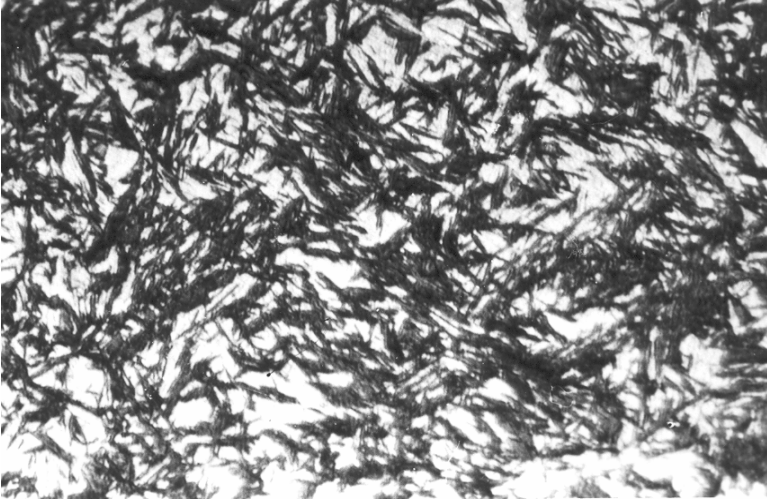
Ø25 mm çapındaki malzemenen TSE 138'e göre hazırlanmıştır [12]. Çekme deneyi oda sıcaklığında ZWİCK Z 250 SN5A markalı test cihazında, 5mm/dak. çekme hızında 50 N/mm² ön yük kullanılarak yapılmıştır.

3. DENEY SONUÇLARI

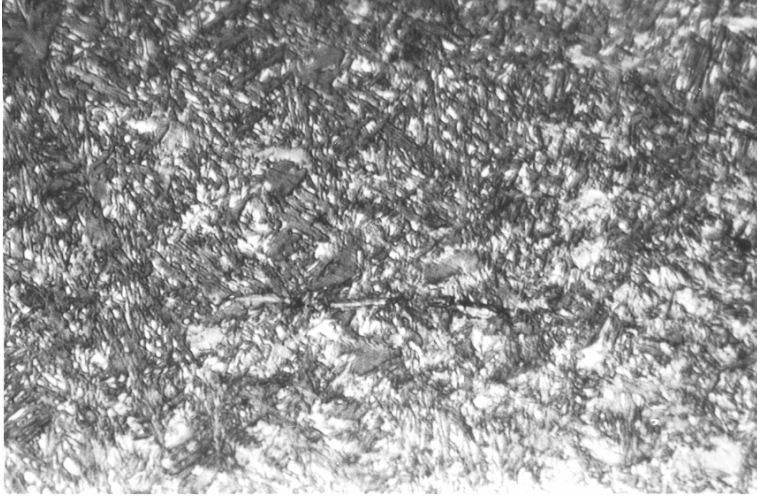
3.1. Mikroyapı ve X-Işınları Analiz Sonuçları

Suda sertleştirilen W₁ çeliğinin bir saatlik menevişleme sonrası mikroyapısı Şekil 3'te görülmektedir. Bu mikroyapıda, plaka tipi martensit, kalıntı östenit ve östenitleme sıcaklığında çözünmemiş karbürler bulunmaktadır. 3, 5, 7, 9 ve 11 saatlik menevişlenmiş numunelerin tümünde menevişlenmiş martensit yapısı belirlenmiştir (Şekil 4).

Yağda sertleştirilen L₂ çeliğinin bir saatlik menevişleme sonrası mikroyapısı Şekil 5'te görülmektedir. Mikroyapıda martensit plakaları belirgin olmamakla birlikte kalıntı östenit ile karışmış bir görünümde. Ayrıca östenitleme sıcaklığında çözünmemiş çok miktarda 1 µm ile 5 µm arası büyüklüklerde küresel karbürler



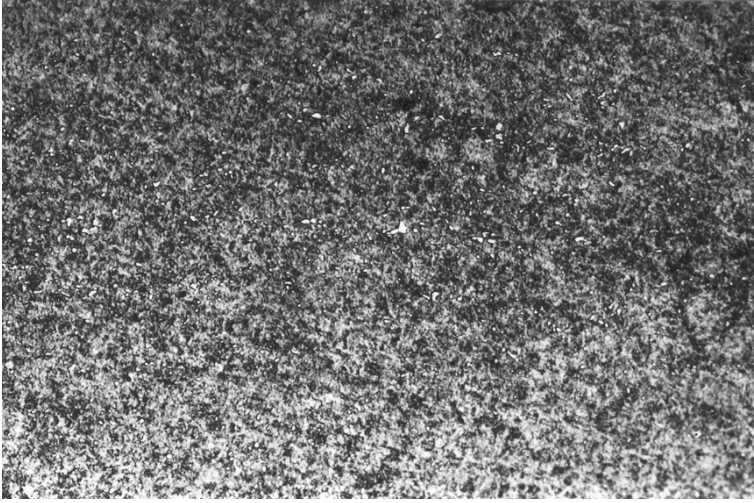
Şekil 3. 850⁰C’de östenitleme, suda sertleştirme, 120 ⁰C’de 1 saat menevişleme sonrası W₁ çeliğinin mikroyapısı, kalıntı östenit (beyaz), martensit (siyah), %2 Nital x500



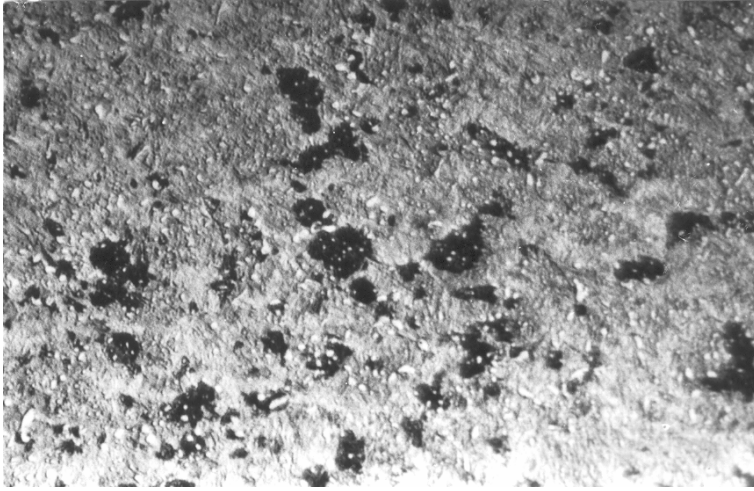
Şekil 4. 850⁰C’de östenitlenme, suda sertleştirme, 120⁰C’de 11 saat menevişleme sonrası W₁ çeliğinin mikroyapısı, %2 Nital x 200

görülmektedir. 3, 5, 7, 9 ve 11 saatlik menevişlemeler sonrası mikroyapıların tümünde martensitin menevişlendiği gözlenmektedir (Şekil 6).

Üç ve yedi saatlik süre ile menevişlenmiş W₁ numunelerden alınan X-ışını



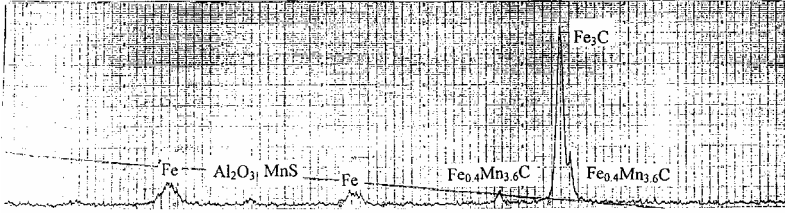
Şekil 5. 850⁰C’de östenitlenme, yağda sertleştirme, 120⁰C’de 1 saat menevişleme sonrası L₂ çeliğinin mikroyapısı, %2 Nital x 100



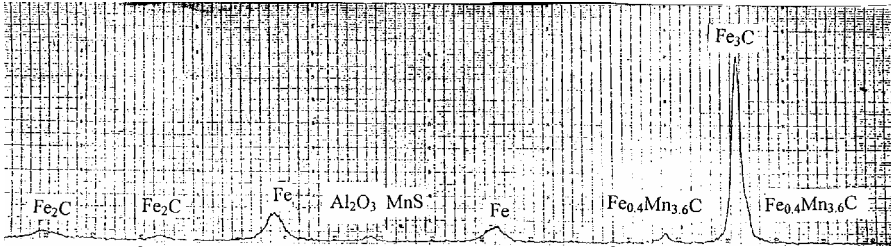
Şekil 6. 850⁰C’de östenitlenme, yağda sertleştirme, 120⁰C’de 11 saat menevişleme sonrası L₂ çeliğinin mikroyapısı, %2 Nital x 500

sonuçlarından (Şekil 7 ve 8) hareketle belirlenen piklerin analizi sonucu tespit edilen uygun piklerin düzlemler arası mesafelerden $d= 1.17 A^0$ ve $d= 1.44 A^0$ değerlerinin demir piklerine ait olup, $d= 2.03$ ve $d= 2.06$ değerleri ortorombik sementitin (Fe_3C), $d=1.81$, $d=2.04$ ve $d=2.07$ değerleri $Fe_{0.4}Mn_{3.6}C$ karbürünün oluştuğunu göstermektedir. Burada mangan çeliklerde yalnız başına karbür oluşturamayacağından sementit içerisinde çözülmüş halde olabilmektedir [13].

Üç saat süreyle menevişlenmiş W₁ numunelerinden alınan X-ışını sonuçlarından (Şekil 7) tespit edilemeyen, fakat yedi saatlik menevişlenmiş numunelerden hareketle belirlenen piklerin analizi sonucu tespit edilen düzlemler arası mesafe $d=1.01$ ve $d=1.08$ değerleri kübik ϵ veya η karbürlerini (Şekil 8) göstermektedir. Buna göre ϵ veya η karbürleri beş saatlik menevişlemeden sonra oluşmaya başladığı söylenebilir. Yine her üç numuneden alınan X-ışını sonuçlarında belirlenen $d=1.26$ değeri mangan sülfür (MnS) ve/veya alüminyum oksit (Al_2O_3) bileşiklerini göstermektedir.



Şekil 7. 850°C'de östenitlenme, suda sertleştirme, 120°C'de 3 saat menevişleme sonrası W₁ çeliğinin X-ışınları analizi (Cobalt 30 kW, 8 mA)

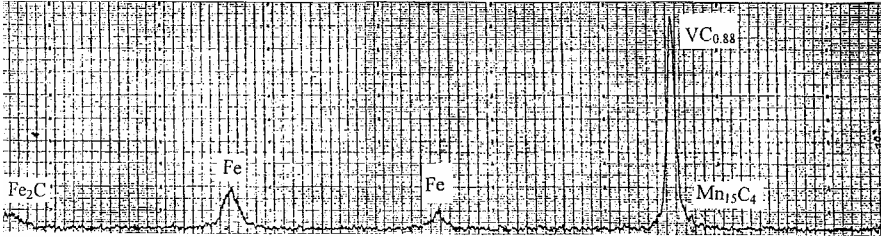


Şekil 8. 850°C'de östenitlenme, suda sertleştirme, 120°C'de 7 saat menevişleme sonrası W₁ çeliğinin X - ışınları analizi

Dokuz saat süreyle menevişlenmiş L₂ çeliği numunelerinden alınan X-ışını sonuçlarında (Şekil 9) $d=1.16$, $d=1.43$ değerleri demir piklerinin, $d=2.02$, $d=2.10$ değerleri $V C_{0.88}$, $(Cr, Fe)_7 C_3$, $Fe_{0.4}Mn_{3.6}C$ karbürlerini $d=1.01$ değeri ise kübik ϵ veya η karbürlerini göstermektedir. W₁ ve L₂ çeliğinde olduğu gibi mangan sülfür ve alüminyum oksit bileşiklerine rastlanmamıştır.

3.2. Sertlik Deneysel Sonuçları

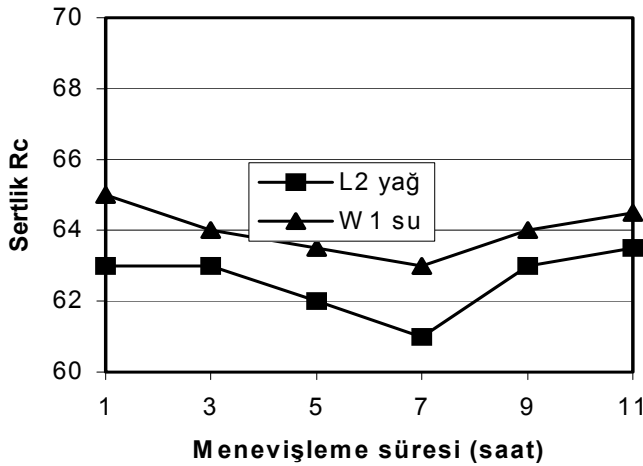
Sertleştirme sonrası tüm menevişleme sürelerinde W₁ çeliğinin sertlik değerleri 63-65 Rc, L₂ çeliğinin 61-63,5 Rc aralığında elde edilmiştir. 120 °C derecede 1, 3, 5, 7, 9 ve 11 saatlik menevişlemelere bağlı sertlik değerleri Tablo 2'de ve grafik olarak Şekil 10'da verilmektedir.



Şekil 9. 850⁰C’de östenitlenme, yağda sertleştirme, 120⁰C’de 9 saat menevişleme sonrası L₂ çeliğinin X-ışınları analizi

Tablo 2. W₁ ve L₂ çeliklerinin sertlik değerleri

Menevişleme Sıcaklığı (°C)	Menevişleme Süresi (Saat)	W ₁		L ₂	
		Ortam	Sertlik (Rc)	Ortam	Sertlik (Rc)
120	1	Su	65	Yağ	63
120	3	Su	64	Yağ	63
120	5	Su	63.5	Yağ	62
120	7	Su	63	Yağ	61
120	9	Su	64	Yağ	63
120	11	Su	64.5	Yağ	63.5

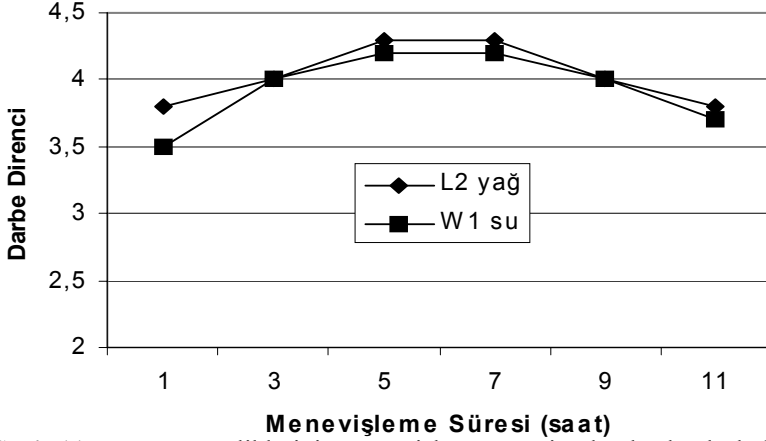


Şekil 10. W₁ ve L₂ çeliğinin menevişleme süresine bağlı olarak sertliklerinin değişimi

3.3. Darbe Deneyi Sonuçları

W₁ çeliği suda, L₂ çeliği yağda sertleştirme 120⁰C sıcaklıkta belirtilen sürelerde menevişleme sonrası oda sıcaklığında darbe deneyleri yapılmıştır. W₁ çeliği en

düşük 3.5 J, en yüksek 4.2 J, L₂ çeliğinde ise en düşük 3.8 J, en yüksek 4.3 J olarak ölçülmüştür. Her iki çelikte beş ve yedi saatlik menevişlemede darbe dirençleri sabit kalmıştır (Şekil 11 ve Tablo 3).



Şekil 11. W₁ ve L₂ çeliklerinin menevişleme süresine bağlı olarak darbe dirençlerinin karşılaştırılması

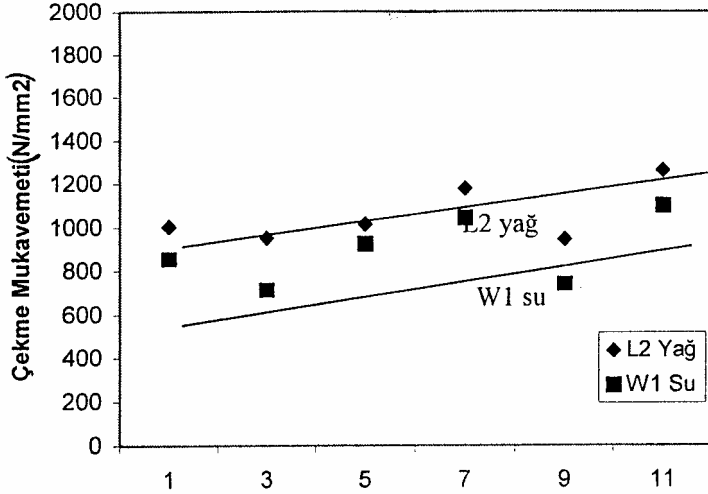
Tablo 3. 120⁰C'de menevişleme sonrası darbe deneyi sonuçları

Menevişleme Süresi (Saat)	Darbe Direnci (Joule)		Kırılma Tokluğu* (Joule)	
	W ₁ (Su)	L ₂ (Yağ)	W ₁ (Su)	L ₂ (Yağ)
1	3,5	3,8	7,2	16
3	4	4	11,9	13,5
5	4,2	4,3	12,2	12,8
7	4,2	4,3	17,13	19,6
9	4	4	9,4	11,3
11	3,7	3,8	16,3	21,9

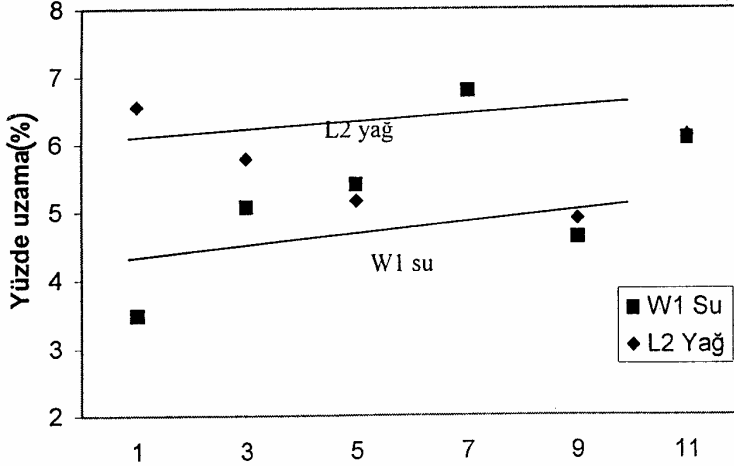
*Çekme deney grafiklerindeki alandan hesaplanmış değerler

3.4. Çekme Deneyi Sonuçları

W₁ ve L₂ çeliklerinin, 120⁰C'de belirtilen sürelerde menevişleme sonrası oda sıcaklığında yapılan çekme deney sonuçları Şekil 12 ve 13'te verilmektedir. W₁ ve L₂ çelik numunelerinin tümünde menevişlemenin yedi saatlik bölümüne kadar çekme dayanımı ve süneklikte nisbi bir artış olduğu, dokuz saatlik menevişlemede meydana gelen sertlikteki artış ile birlikte çekme dayanımı ve sünekliği en düşük seviyeye indiği görülmektedir.



Şekil 12. W₁ ve L₂ çeliğinin menevişleme süresi ile çekme mukavemetlerinin değişimi

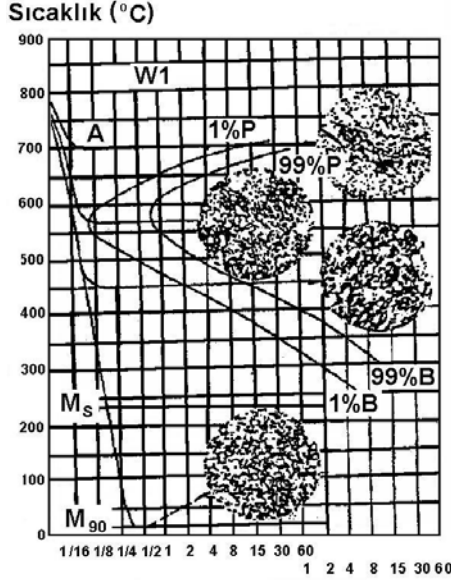


Şekil 13. W₁ ve L₂ çeliğinin menevişleme süresi ile süneklik değişimleri

4. SONUÇLARIN TARTIŞILMASI

T.S.E standartlarında W₁ ve L₂ çeliğinin 180-250 °C arasında 1 saatlik menevişleme sonucunda kullanılabilir sertlik değeri 60 Rc olarak belirtilmektedir. Suda sertleştirilen W₁ ve yağda sertleştirilen L₂ çeliklerinin 120 °C'de 11 saat süreyle menevişlenmesi sonucu elde edilen sertlikler, standartlarda belirtilen kullanılabilir sertliklerin üzerinde ölçülmüştür. Yağda sertleştirilen L₂ çeliğinde ise W₁ çeliğine

nazaran daha düşük Ms sıcaklığına sahip olmasına rağmen 60 Rc'nin üzerinde sertlik elde edilmiştir. Bu çeliğin bileşiminde bulunan vanadyum, krom ve mangan alaşım elementleri martensit oluşumunu kolaylaştırıcı etkide bulunarak sertleşebilme kabiliyetini ve derinliğini artırmaktadır [3,14].

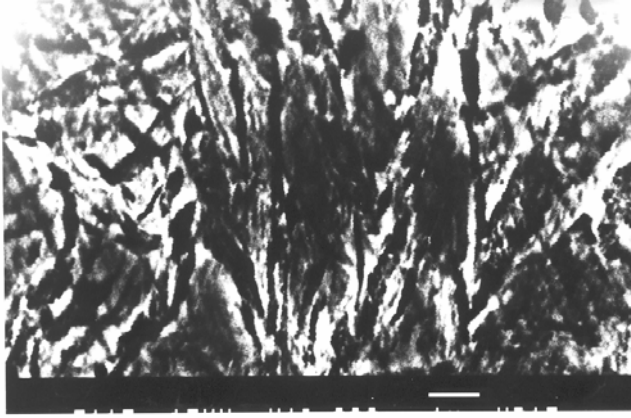


Şekil 14. W₁ (%1 C içeren çeliğin izotermal dönüşümlerini gösteren TTT diyagramı A:Östenit, B: Beynit, P: Perlit, Ms: Martensit dönüşümün başlama sıcaklığı [14]

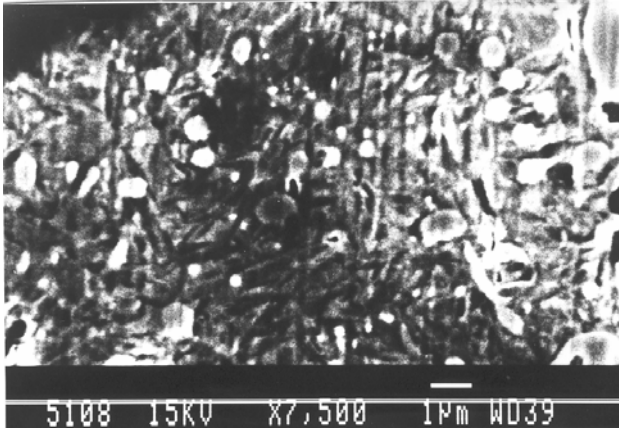
L₂ çeliğinde bulunan alaşım elementleri martensit morfolojisini etkilemişlerdir. Şekil 15 ile 16 karşılaştırıldığında W₁ çeliğinde plaka tipi martensit meydana gelirken L₂ çeliğinde küçük çubuksu martensit meydana gelmiştir.

Yedi ve dokuz saat menevişlenmiş W₁ çeliği numuneleri X- ışını analiz sonuçlarına göre (Şekil 7, 8 ve 11) yoğun ε- Fe₂C, ε- Fe_{2,2}C veya η- Fe₂C karbür oluşumları tespit edilmiştir. Ayrıca dokuz saat menevişlenmiş numunelerden SEM den alınan Şekil 15 ve Şekil 17'deki mikroyapılarda görüldüğü gibi menevişleme sonrası martensitte ε karbürün yanyana, paralel bir şekilde ve bir bakıma uyum içerisinde olduğu söylenebilir.

Williamson D.C., Nakazawa, K., Krauss, G., nin Fe-1.2 C'lu özel olarak üretilmiş çelikler üzerinde yaptıkları çalışmada sertlik artışlarının ilk dört saatlik bölümünde meydana geldiği belirtilmiştir (Şekil 1) [5]. Sertlik artışlarının meydana geldiği süreler bu çalışma ile uyumlu değildir. Bunun sebebi ise deney numunesinin özel şartlarda hazırlanması ve uygulanan ısıl işlem şartlarının farklı olmasıdır.



Şekil 15. 850⁰C’de östenitlenme, suda sertleştirme, 120⁰C’de dokuz saat menevişleme sonrası W₁ çeliğinin SEM’den alınan mikroyapısı, %2 Nital x 10.000



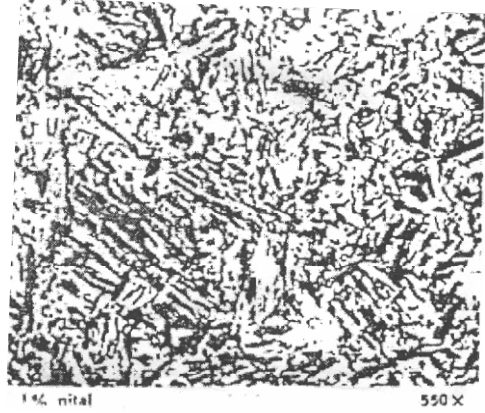
Şekil 16. 850⁰C’de östenitlenme, yağda sertleştirme, 120⁰C’de dokuz saat menevişleme sonrası L₂ çeliğinin SEM’den alınan mikroyapısı, %3 Nital x 7.500

X-ışınları analiz sonuçlarında, W₁ çeliğinin yedi saatlik bir menevişleme süresinde ϵ veya η karbürlerinin oluştuğu, oluşan bu karbürlerin dislokasyonları engelleyerek sertlik düşüşünü yavaşlattıkları düşünülmektedir (Tablo 2).

W₁ çeliğinden alınan ve dokuz saat menevişlenmiş numunelerin mikroyapıları Şekil 15 ve Şekil 18’de verilmektedir. Burada görülen yapı tipik II. beynit (alt beynit) yapıyı andırmaktadır. B.S. Lement, B.L.Averbach ve M. Cohen’in % 1.4 C’lu çeliklerde yaptıkları araştırmalarda sertlik artışlarının kalıntı östenitin II. beynitik yapıya dönüşmesi ile meydana geldiği belirtilmektedir. Sade karbonlu veya az alaşımlı takım



Şekil 17. Fe-%24 Ni -%0.5 C'lu çeliğin menevişlenmesi sırasında martensitte ε-karbür (koyu faz) kökeltiller [4]



Şekil 18. 849⁰C'de bir saat östenitlenme, suda sertleştirme, 177⁰C'de bir saat menevişleme Ferrit (küçük beyaz uzantılar) siyah iğnemsii II. beynit [18]

çeliğinin 175-250⁰C aralığında menevişlenmesi ile II. beynitik yapı oluşur ve 315⁰C'de bir saatte tamamıyla bu yapıya dönüşür [3]. Kalıntı östenitin beynitik yapıya dönüşmesi, ferrit kristallerinin çekirdeklenip büyümesi ile başlar ve sonrasında sementit çekirdeklenerek ferrit kristalleri arasında uzantılar şeklinde büyümeye devam etmesiyle oluşur [15]. Buradan hareket ederek, numunelerden alınan X- ışınları analiz sonuçlarına göre 120⁰C yapılan menevişlemede sementit oluşumu, dolayısıyla II. beynitik yapı oluşumu mümkün görülmemektedir (Şekil 14). Bu sıcaklıkta sementit yerine yoğun miktarda ε veya η karbürlerinin ferrit kristalleri arasında düzenlenerek II. beynitik yapı görünümü verdikleri düşünülmektedir.

Geçiş karbürlerindeki ε veya η karbon atomları oranı sementite oranla daha fazladır. Dolayısıyla bu karbürlerin II. beynitik yapıyı andıran düzenlenmelerinin görülmesiyle birlikte dislokasyonların daha iyi bloke edilmesi sertlik artışlarını meydana getirmiştir. 11 saat süreyle menevişleme sonrası sertlik artışları W₁ çeliğinde 1.5-2 Rc'de kalırken L₂ çeliğinde 2.5 Rc değerinde gerçekleşmiştir (Şekil 10).

L₂ çeliğinin mikroyapısında bulunan krom ve vanadyumdan dolayı karbürler daha küçük ve daha fazladır [5]. Bu karbürler ve menevişleme sonrası oluşan ε veya η karbürleri ile beraber dislokasyon hareketlerini daha iyi sınırlamaları sonucu sertlik artışı W₁ çeliğine nisbeten biraz daha yüksek olmuştur.

R.A. Grange, C.R. Hiribal ve L.F. Porterin 56-704⁰C arasında alaşım elementlerinin menevişlenmiş martensitin sertliğine etkileri üzerine yaptıkları çalışmada kromdan dolayı artan sertlik 204⁰C'ye kadar az iken vanadyum her menevişleme sıcaklığında martensitin sertliğini artırmaktadır [7]. Bu sonuç bu çalışmadan elde edilen sonuçla uyumludur.

W₁ ve L₂ çeliklerinde darbe direnci beş saatlik menevişlemeye kadar artarken beş ve yedi saatlik menevişlemede sabit kalmıştır (Şekil 11). Beş saatlik menevişlemeden sonra oluşan ϵ veya η karbürleri sertlik düşüşünü yavaşlatırken, darbe direncinin sabit kalmasına neden olmaktadır. 9 ve 11 saatlik menevişlemelerde bu karbürlerin düzenlenmesi ile birlikte sertlikte bir artış gözlenirken darbe direncinde sementite benzer düşürücü etki yapmaktadır.

L₂ çeliğinden elde edilen darbe enerji değerleri W₁ çeliğinden elde edilen değerlerinden nisbi olarak yüksektir. L₂ çeliğinin daha az sertliğe, daha küçük çubuksu martensit kristallerine sahip olması ve yapısında FeS ve MnS kalıntılarının bulunamaması nedeniyle daha yüksek darbe direncine sahiptir. Diğer taraftan kırılğan çelik matriste kararsız kalıntı östenit miktarının fazla olması da toklukta bir artış meydana getirdiği tartışılmaktadır [16]. Yüksek menevişleme sıcaklıklarına oranla 120 °C'lik menevişlemede kalıntı östenit miktarının değişmemesi ve yumuşak yapısından dolayı darbeleri daha iyi sönümleme özelliğinden kaynaklandığı da düşünülmektedir.

Takım çeliklerinin yüksek sıcaklıklarda menevişlenmeleri tane sınırlarında oluşan sementitin darbe direncini düşürdüğü ancak, 120 °C'de beş saatlik menevişleme sonrası W₁ ve L₂ çeliklerinde oluşan ϵ - Fe₂ C, ϵ - Fe_{2,2} C veya η - Fe₂ C karbürlerinin tane içinde homojen dağılımları sonucu çentik darbe direncini artırdıkları düşünülmektedir.

Tüm menevişleme süreleri içerisinde Şekil 13'te görüldüğü gibi en yüksek süneklik yağda sertleştirilen L₂ çeliğinde elde edilmiştir. Genel olarak çeliklerde bulunan alaşım elementleri dayanımı arttırırken sünekliğe de olumlu katkı sağlamaktadır [13].

W₁ ve L₂ soğuk iş takım çeliklerinde tüm menevişleme süreleri içerisinde çekme dayanımı, akma dayanımı, süneklik ve tokluk özelliklerindeki en uyumlu değerlere yedi saatlik menevişlemede ulaşılmıştır.

5. SONUÇLAR

- 120 °C'de beş ve yedi saatlik menevişleme ile tane sınırı sementit oluşumu yerine martensit plakaları arasında ϵ - Fe₂ C, ϵ - Fe_{2,2} C veya η - Fe₂ C karbürlerinin ince ve homojen dağılımları sonucu çentik darbe direnci artmıştır.
- Dokuz ve onbir saatlik menevişleme aralığında daha önceden oluşmuş olan ϵ veya η karbürlerinin II.beynitik yapıyı andıran düzenlenmeleri sonucu, her iki çelikte de 1-2.5 Rc'lik sertlik artışlarını sağlarken, darbe direnci, süneklik, çekme ve akma dayanımlarında düşüş gözlenmiştir.
- W₁ ve L₂ çeliklerinde sertlik, darbe direnci, çekme dayanımı, süneklik ve tokluk özellikleri tavsiye edilen ve uygulanmakta olan W₁ takım çelikleri için 200 °C, L₂

takım çelikleri için ise 190 °C sıcaklık aralığında bir saat süre ile menevişleme yerine 120 °C'de 5-7 saatlik menevişleme aralığında en iyi değerlerine ulaşmaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmaya malzeme destekleri ve katkılarından dolayı, Makine Kimya Endüstrisi Çeliksarı, Silahsarı Fabrikalarına ve Gebze Makine Takım Endüstrisi Fabrikası yöneticilerine teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

1. **Takım Çelikleri**, Asil Çelik Teknik Yayınları, 1990.
2. T.S.E.3921, **Alaşımli Soğuk İş Takım Çelikleri**, T.S.E. Yayını, Ankara 1983.
3. George, A.R., Robert, A.C., **Tools Steels, American Society for Metals**, Metals Park, Ohio, 1986.
4. Gupton, P.S., **The Heat Treating Source Book, American Society For Metals**, Metals Park, Ohio, 1986.
5. Williamson, D.L., Nakazawa, K., Krauss, G., "A Study of the Early Stages of Tempering in an Fe-1,2C Pct Alloy", **Metallurgical Transactions A**, Vol. 10 A, 1351-1363, 1979.
6. Hirotsu, Y., Nagakura, S., "Crystal Structure and Morphology of the Carbide Precipitated From Martensitic High Carbon Steel During the First Stage of Tempering", **Acta Metals**, Vol. 20, 645, 1972.
7. Grange, R.A., Hribal, C.R., Porter, L.F., "Hardens of Tempered Martensite in Carbon and Low Alloy Steels", **Metallurgical Transactions A**, Vol.8A., 1775-1785, 1977.
8. Gregory A.F., "Introduction to Hardened Shafts (Tempered at 350 °F (175°C))", **Metal Progress**, Vol.127., 15, 1985.
9. Onur, C., **AISI W₁ ve L₂ Takım Çeliklerinde Düşük Sıcaklık Menevişlemesinin Sertlik ve Tokluk Üzerine Etkisi**, Yüksek Lisans Tezi, G.Ü. F.B.E., 2000.
10. T.S.E. 3941, **Alaşımsız Takım Çelikleri**, T.S.E. Yayını, Ankara, 1983.
11. T.S.E. 269, **Vurma Deneyi**, T.S.E. Yayını, Ankara 1974.
12. T.S.E. 138, **Metalik Malzemelerin Çekme Deneyi**, T.S.E. Yayını, Ankara 1994.
13. Bain, E.C., Paxton, H.W., **Alloying Elements in Steel**, American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 1966.
14. Tekin, A., **Çelik ve Isıl İşlemi (Bofors El Kitabı)**, Hakan Ofset, İstanbul, 1984.
15. Sidney, H.A., **Introduction to Physical Metalurgy**, Second Edition, Ankara Üniversitesi Basımevi, Ankara, 1986.
16. Büget, C., **Kalıntı Östenitin 52100 Çeliklerde Aşınmaya Etkisi**, Yüksek Lisans Tezi, O.D.T.Ü. F.B.E., 1993.
17. Erdoğan, M., **Mühendislik Alaşımlarının Yapı Ve Özellikleri**, Nobel Yayın, Ankara, 2000.
18. **Metals Handbook**, 8th ed. Vol. 7., American Society For Metals, Metal Park, Ohio, 1972.