<u>İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ</u>

OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN DENGE ÇUBUKLARI İÇİN ISIL İŞLEM PROSESİNDEKİ FARKLI SERTLEŞTİRME ORTAMLARININ YORULMA DAVRANIŞINA ETKİLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elif EZGİ

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Malzeme Mühendisliği Programı

OCAK 2012

<u>İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ</u>

OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN DENGE ÇUBUKLARI İÇİN ISIL İŞLEM PROSESİNDEKİ FARKLI SERTLEŞTİRME ORTAMLARININ YORULMA DAVRANIŞINA ETKİLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elif EZGİ 506101407

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Malzeme Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. E. Sabri KAYALI

OCAK 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 506101407 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Elif EZGİ ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN DENGE ÇUBUKLARI İÇİN ISIL İŞLEM PROSESİNDEKİ FARKLI SERTLEŞTİRME ORTAMLARININ YORULMA DAVRANIŞINA ETKİLERİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	Prof. Dr. E. Sabri KAYALI İstanbul Teknik Üniversitesi	
Jüri Üyeleri :	Prof. Dr. Hüseyin ÇİMENOĞLU İstanbul Teknik Üniversitesi	
	Prof. Dr. Ahmet TOPUZ Yıldız Teknik Üniversitesi	

Teslim Tarihi :19 Aralık 2011Savunma Tarihi :23 Ocak 2012

iv

Aileme ve Dayıma,

vi

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmam süresince akademik bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım, çalışmamın her aşamasında desteğini gördüğüm değerli hocam Prof. Dr. E. Sabri KAYALI' ya içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamı ve iş hayatımı beraber ve iç içe ilerletebilmeme firsat tanıyarak, yoğun iş temposu koşullarında tezimi en iyi şekilde yapabilmem için maddi ve manevi destek sağlayan, bilgi ve birikimlerini kişisel gelişimim için benimle içtenlikle paylaşan Rözmaş Çelik San. Ve Tic. A.Ş. genel müdürü Durmuş ÖZCAN ve teknik müdürü Vedat DOĞAN'a içten teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım. Tez çalışmam süresince mesleki bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan ve fikirleri ile çalışmamın çok yönlü ilerleyebilmesine olanak sağlayan ar-ge mühendisi İlker DEMİR'e, deneysel çalışmalarımın gerçekleştirilmesinde bana yardımcı olan ve fikirleri ile tezimin gelişmesine katkı sağlayan ar-ge mühendisi Ö.Emre UÇAKKUŞ ve Cüneyt OFLAS'a, metalurji ve malzeme mühendisi Tuncay GÜVEN'e, kalite şefi Ömer YILDIZ'a, kalite personeli Cihan GÜRBÜZ ve Emin TÜMEN'e, üretim personeli Yunus BAYRAKÇI'ya ve tüm Rözmaş Çelik çalışanlarına teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Her zaman ve her konuda bana destek olan, fikirleri ile yolumu aydınlatan ve her konuda en büyük destekçilerim olan sevgili arkadaşlarım Müh. M.Faruk CÖMERT, Öğr. Sevgi METİN ve Müh. K.Çağıl KOÇ'a sonsuz teşekkür ederim. Lisans ve yüksek lisans eğitim süresince hep yanımda olup desteklerini benden hiçbir zaman esirgemeyen sevgili arkadaşlarım Müh. Elifcan ÇENGELOĞLU, Müh. Nihan TAŞKIN, Müh. Aysun DEMİRTAŞ'a çok teşekkür ederim.

Hayatım boyunca her zaman yanımda olan, her konuda bana sonsuz güvenen ve destekleyen, hayatıma anlam katabilmeme fırsat veren annem Hava EZGİ, babam Vural EZGİ ve kardeşim Evrim EZGİ'ye tüm kalbimle teşekkür ederim. Her zaman kalbimde olan ve benimle gurur duyduğunu hissettiğim dayım Yunus GÜNEY'e ve tüm EZGİ ve GÜNEY ailelerine çok teşekkür ederim.

Ocak 2012

Elif EZGİ Metalurji ve Malzeme Mühendisi

viii

İÇİNDEKİLER

<u>Sayfa</u>

IQİNDEKİLER ix KISALTMALAR xiii ÇİZELGE LİSTESİ xvi ÖZET xxiii SUMMARY xxvi İGİRİŞ 1 1.1 Tezin Amacı 1 1.2 Literatür Araştırması 2 2. DENGE CUBUĞU 3 2.1 Denge Çubuğunun Yapısı ve Çalışması 5 2.2 Denge Çubuğu Arızaları 5 3. MALZEME SEÇİMİ 7 3.1 Yay Çelikleri 8 3.2.1. Kımyasal bileşimin etkisi 10 3.2.1. Kımyasal bileşimin etkisi 10 3.2.1.3 Krom 11 3.2.1.4 Nikel 12 3.2.1.5 Molibden 12 3.2.1.7 Bor 12 3.2.1.8 Tungsten 12 3.2.1.9 Fosfor ve kükürt 12 3.2.1.9 Fosfor ve kükürt 12 3.2.1.9 Lüç şekillendirme- uç dövme 14 4.1 Scak Büküm 15 4.1.1 Uç şekillendirme- uç dövme 14 4.1.9 Löğutlma 15 4.1.4 Menevişleme 15 4.1.4 Menevişleme 15 4.1.8 Doğutlma	ÖNSÖZ	. vii
KISALTMALAR xiii ÇİZELGE LİSTESİ xv ŞEKİL LİSTESİ xviii ÖZET xxiii SUMMARY xxvi I. GİRİŞ 1 1.1 Tezin Amacı 1 1.2 Literatür Araştırması 2 2. DENGE CUBUĞU 3 2.1 Denge Çubuğu Arızaları 5 2.2 Denge Çubuğu Arızaları 5 3. MALZEME SEÇİMİ 7 3.1 Yay Çelikleri 8 3.2.1. Kimyasal bileşimin etkisi 10 3.2.1.1 Kangaan 11 3.2.1.2 Silisyum 11 3.2.1.3 Krom 11 3.2.1.4 Nikel 12 3.2.1.5 Molibden 12 3.2.1.6 Vanadyum 12 3.2.1.7 Bor 12 3.2.1.8 Tungsten 13 4.1 Sıcak Büküm 13 4.1.1 Uç şekillendirme- uç dövme 14 4.1.2 Sıcak büküm - tavlama 15 4.1.3 Sertleştirme 15 4.1.4 Menevişleme 15 4.1.8 Toz boyama 18 4.1.8 L Toz boyama 18 <t< td=""><td>İCİNDEKİLER</td><td>ix</td></t<>	İCİNDEKİLER	ix
CİZELGE LİSTESİ xvi ŞEKİL LİSTESİ xvii ÖZET xvii ÖZET xvii ÖZET xvii ÖZET xvii ÖZET xvii ÖZET xvii ÖZET xvii ÖZET xvii ÖZET xvii ÖZET xvii ÖZET xvii ÖZET xvii Yuii ÖZE ÖZENGE ÇÜBÜĞU 3 2. DEnge Çubuğu Arızaları 5 3. Denge Çubukları İçin Yay Çeliklerinden Beklenen Özellikler 8 3. 2. Denge Çubukları İçin Yay Çeliklerinden Beklenen Özellikler 8 3. 2. 1. Kimyasal bileşimin etkisi 10 3. 2. 1. 1 Mangan 11 3. 2. 1. 2. Silisyum 11 3. 2. 1. 2. Silisyum 11 3. 2. 1. 4 Nikel 12 3. 2. 1. 7 Bor 12 3. 2. 1. 7 Bor 12 3. 2. 1. 7 Bor 12 3. 2. 1. 9 Fosfor ve kükürt 12 3. 2. 1. 9 Fosfor ve kükürt 12 4. 1. 1	KISALTMALAR	xiii
ŞEKİL LİSTESİ xvii ÖZET. xxiii SUMMARY xxvi I. GİRİŞ 1 1.1 Tezin Amacı 1 1.2 Literatür Araştırması 2 2. DENGE ÇUBUĞU 3 2.1 Denge Çubuğunun Yapısı ve Çalışması 5 2.2 Denge Çubuğu Arızaları 5 3. MALZEME SEÇİMİ 7 3.1 Yay Çelikleri 8 3.2 Denge Çubukları İçin Yay Çeliklerinden Beklenen Özellikler 8 3.2 Denge Çubukları İçin Yay Çeliklerinden Beklenen Özellikler 8 3.2.1 Kümyasal bileşimin etkisi 10 3.2.1.1 Mangan 11 3.2.1.2 Silisyum 11 3.2.1.5 Molibden 12 3.2.1.6 Vanadyum 12 3.2.1.7 Bor 12 3.2.1.9 Fosfor ve kükürt 12 4.1 DENGE ÇUBUĞU ÜRETİMİ 13 4.1.1 Uç şekillendirme- uç dövme 14 4.1.2 Sıcak büküm - tavlama 15 4.1.3 Sertleşirme 15 4.1.4 Menevişleme 15 4.1.4 Menevişleme 15 4.1.8 Boyama 18 4.	CİZELGE LİSTESİ	. xv
ÖZET	ŞEKİL LİSTESİ	xvii
SUMMARY xxv 1. GİRİŞ 1 1.1 Tezin Amacı 1 1.1 Tezin Amacı 1 1.2 Literatür Araştırması 2 2. DENGE ÇUBUĞU 3 2.1 Denge Çubuğunun Yapısı ve Çalışması 5 2.2 Denge Çubuğu Arızaları 5 3.2 Denge Çubuğu Arızaları 7 3.1 Yay Çelikleri 7 3.1 Yay Çelikleri 8 3.2 Denge Çubukları İçin Yay Çeliklerinden Beklenen Özellikler 8 3.2.1 Kimyasal bileşimin etkisi 10 3.2.1.1 Mangan 11 3.2.1.2 Silisyum 11 3.2.1.3 Krom 11 3.2.1.4 Mikel 12 3.2.1.5 Molibden 12 3.2.1.6 Vanadyum 12 3.2.1.9 Fosfor ve kükürt 12 3.2.1.9 Fosfor ve kükürt 12 3.2.1.9 Eosfor ve kükürt 12 3.2.1.9 Eosfor ve kükürt 13 4.1.1 Uç şekillendirme- uç dövme 14 4.1.2 Sıcak büküm - tavlama 15 4.1.3 Sertleştirme 15 4	ÖZETx	xiii
1. GİRİŞ 1 1.1 Tezin Amacı 1 1.2 Literatür Araştırması 2 2. DENGE ÇUBUĞU 3 2.1 Denge Çubuğunun Yapısı ve Çalışması 5 2.2 Denge Çubuğu Arızaları 5 3. MALZEME SEÇİMİ 7 3.1 Yay Çelikleri 8 3.2 Denge Çubukları İçin Yay Çeliklerinden Beklenen Özellikler 8 3.2 Denge Çubukları İçin Yay Çeliklerinden Beklenen Özellikler 8 3.2.1 Kimyasal bileşimin etkisi 10 3.2.1.1 Mangan 11 3.2.1.2 Silisyum 11 3.2.1.3 Krom 11 3.2.1.4 Nikel 12 3.2.1.5 Molibden 12 3.2.1.6 Vanadyum 12 3.2.1.7 Bor 12 3.2.1.9 Fosfor ve kükürt 12 4.1 Stecak Büküm - tavlama 13 4.1 Stecak Büküm - tavlama 15 4.1.3 Sertleştirme 15 4.1.4 Menevişleme 15 4.1.5 Doğrultma 16 4.1.7 Aksesuar montajı 18 4.1.8 Boyama 18 4.1.8 La Toz boyama 18	SUMMARY	XXV
1.1 Tezin Amacı 1 1.2 Literatür Araştırması 2 2. DENGE ÇUBUĞU 3 2.1 Denge Çubuğunun Yapısı ve Çalışması 5 2.2 Denge Çubuğu Arızaları 5 3. MALZEME SEÇİMİ 7 3.1 Yay Çelikleri 8 3.2 Denge Çubukları İçin Yay Çeliklerinden Beklenen Özellikler 8 3.2 Denge Çubukları İçin Yay Çeliklerinden Beklenen Özellikler 8 3.2.1.1 Mangan 11 3.2.1.2 Silisyum 11 3.2.1.3 Krom 11 3.2.1.4 Nikel 12 3.2.1.5 Molibden 12 3.2.1.7 Bor 12 3.2.1.8 Tungsten 12 3.2.1.9 Fosfor ve kükürt 12 3.2.1.9 Fosfor ve kükürt 12 3.2.1.9 Fosfor ve kükürt 12 3.2.1.7 Bor 12 3.2.1.9 Fosfor ve kükürt 12 4.1 Steak Büküm 13 4.1.1 Uç şekillendirme- uç dövme 14 4.1.2 Sicak büküm - tavlama 15 4.1.4 Menevişleme 15 4.1.5 Döğrultma 16 4.1.7 Aksesuar montajı 18	1. GİRİŞ	1
1.2 Literatür Araştırması 2 2. DENGE ÇUBÜĞU 3 3. 1 Denge Çubüğunun Yapısı ve Çalışması 5 2. 2 Denge Çubüğu Arızaları 5 3. MALZEME SEÇİMİ 7 3. MALZEME SEÇİMİ 7 3. I Yay Çelikleri 8 3.2 Denge Çubukları İçin Yay Çeliklerinden Beklenen Özellikler 8 3.2 Denge Çubukları İçin Yay Çeliklerinden Beklenen Özellikler 8 3.2.1 Kimyasal bileşimin etkisi 10 3.2.1.1 Mangan 11 3.2.1.2 Silisyum 11 3.2.1.3 Krom 11 3.2.1.4 Nikel 12 3.2.1.5 Molibden 12 3.2.1.6 Vanadyum 12 3.2.1.7 Bor 12 3.2.1.8 Tungsten 12 3.2.1.9 Fosfor ve kükürt 12 4.1 DENGE ÇUBUĞU ÜRETİMİ 13 4.1 Steak Büküm 13 4.1 1 Uç şekillendirme- uç dövme 14 4.1.2 Sicak büküm - tavlama 15 4.1.3 Sertleştirme 15 4.1.4 Menevişleme 15 4.1.5 Doğrultma 16 4.1.7 Aksesuar montajı 18	1.1 Tezin Amacı	1
2. DENGE ÇUBUĞU 3 2.1 Denge Çubuğunun Yapısı ve Çalışması 5 2.2 Denge Çubuğu Arızaları 5 3. MALZEME SEÇİMİ 7 3.1 Yay Çelikleri 7 3.1 Yay Çelikleri 8 3.2 Denge Çubukları İçin Yay Çeliklerinden Beklenen Özellikler 8 3.2.1 Kimyasal bileşimin etkisi 10 3.2.1.1 Mangan 11 3.2.1.2 Silisyum 11 3.2.1.3 Krom 11 3.2.1.4 Nikel 12 3.2.1.5 Molibden 12 3.2.1.6 Vanadyum 12 3.2.1.7 Bor 12 3.2.1.9 Fosfor ve kükürt 12 3.2.1.9 Fosfor ve kükürt 12 3.2.1.9 Fosfor ve kükürt 13 4.1 Sıcak Büküm 13 4.1.1 Uç şekillendirme- uç dövme 14 4.1.2 Sıcak büküm - tavlama 15 4.1.3 Sertleştirme 15 4.1.4 Menevişleme 15 4.1.5 Döğrultma 16 4.1.7 Aksesuar montajı 18 4.1.8 Boyama 18 4.1.8 Doyama 18 4.1.9 Tanım rengi	1.2 Literatür Araştırması	2
2.1 Denge Çubuğu Arızaları 5 2.2 Denge Çubuğu Arızaları 5 3. MALZEME SEÇİMİ 7 3.1 Yay Çelikleri 8 3.2 Denge Çubukları İçin Yay Çeliklerinden Beklenen Özellikler. 8 3.2.1 Kimyasal bileşimin etkisi 10 3.2.1.1 Mangan 11 3.2.1.2 Silisyum 11 3.2.1.3 Krom 11 3.2.1.4 Nikel 12 3.2.1.5 Molibden 12 3.2.1.6 Vanadyum 12 3.2.1.7 Bor 12 3.2.1.8 Tungsten 12 3.2.1.9 Fosfor ve kükürt 12 3.2.1.9 Fosfor ve kükürt 12 3.2.1.9 Fosfor ve kükürt 12 3.2.1.9 Fosfor ve kükürt 13 4.1 Steak Büküm 13 4.1.1 Uç şekillendirme- uç dövme 14 4.1.2 Steak büküm - tavlama 15 4.1.3 Sertleştirme 15 4.1.4 Menevişleme 15 4.1.5 Doğrultma 16 4.1.6 Kumlama 16 4.1.7 Aksesuar montajı 18 4.1.8 Doyama 18 4.1.8 Toz boyama	2. DENGE ÇUBUĞU	3
2.2 Denge Çubuğu Arızaları 5 3. MALZEME SEÇİMİ 7 3.1 Yay Çelikleri 8 3.2 Denge Çubukları İçin Yay Çeliklerinden Beklenen Özellikler. 8 3.2.1 Kimyasal bileşimin etkisi 10 3.2.1.1 Mangan 11 3.2.1.2 Silişyum 11 3.2.1.3 Krom 11 3.2.1.4 Nikel 12 3.2.1.5 Molibden 12 3.2.1.6 Vanadyum 12 3.2.1.7 Bor 12 3.2.1.8 Tungsten 12 3.2.1.9 Fosfor ve kükürt 12 3.2.1.9 Fosfor ve kükürt 12 4.1 Steak Büküm 13 4.1.1 Uç şekillendirme- uç dövme 14 4.1.2 Sıcak büküm - tavlama 15 4.1.3 Sertleştirme 15 4.1.4 Menevişleme 15 4.1.5 Doğrultma 16 4.1.6 Kumlama 16 4.1.8 Boyama 18 4.1.8 L Toz boyama 18 4.1.8.1 Toz boyama 19 4.1.9 Tanım rengi 20 4.2 Soğuk Büküm 20	2.1 Denge Çubuğunun Yapısı ve Çalışması	5
3. MALZEME SEÇİMİ 7 3.1 Yay Çelikleri 8 3.2 Denge Çubukları İçin Yay Çeliklerinden Beklenen Özellikler. 8 3.2.1 Kimyasal bileşimin etkisi 10 3.2.1.1 Mangan 11 3.2.1.2 Silisyum 11 3.2.1.3 Krom 11 3.2.1.4 Nikel 12 3.2.1.5 Molibden 12 3.2.1.6 Vanadyum 12 3.2.1.7 Bor 12 3.2.1.8 Tungsten 12 3.2.1.9 Fosfor ve kükürt 12 3.2.1.9 Fosfor ve kükürt 12 3.2.1.9 Serdleğu ÜRETİMİ 13 4.1 Sıcak Büküm 13 4.1.1 Uç şekillendirme- uç dövme 14 4.1.2 Sıcak büküm - tavlama 15 4.1.4 Menevişleme 15 4.1.4 Menevişleme 15 4.1.4 Menevişleme 15 4.1.5 Doğrultma 16 4.1.6 Kumlama 16 4.1.8 Boyama 18 4.1.8 L Toz boyama 18 4.1.8 L Toz boyama 18 4.1.8 L Toz boyama 19 4.1.9 Tanım rengi 20	2.2 Denge Çubuğu Arızaları	5
3.1 Yay Çelikleri 8 3.2 Denge Çubukları İçin Yay Çeliklerinden Beklenen Özellikler 8 3.2.1 Kimyasal bileşimin etkisi 10 3.2.1 Kimyasal bileşimin etkisi 10 3.2.1 Kimyasal bileşimin etkisi 10 3.2.1 Kimyasal bileşimin etkisi 10 3.2.1 Kimyasal bileşimin etkisi 10 3.2.1 Kimyasal bileşimin etkisi 10 3.2.1.2 Silisyum 11 3.2.1.3 Krom 11 3.2.1.4 Nikel 12 3.2.1.5 Molibden 12 3.2.1.6 Vanadyum 12 3.2.1.7 Bor 12 3.2.1.9 Fosfor ve kükürt 12 3.2.1.9 Fosfor ve kükürt 12 3.2.1.9 Fosfor ve kükürt 13 4.1 Steak Büküm 13 4.1 Uç şekillendirme- uç dövme 14 4.1.2 Steak büküm - tavlama 15 4.1.3 Sertleştirme 15 4.1.4 Menevişleme 15 4.1.5 Doğrultma 16 4.1.6 Kumlama 16 4.1.8 Boyama 18 4.1.8 Doyama 18 4.1.8 Z Kataforez boyama 19	3. MALZEME SEÇİMİ	7
3.2 Denge Çubukları İçin Yay Çeliklerinden Beklenen Özellikler. 8 3.2.1 Kimyasal bileşimin etkisi 10 3.2.1.1 Mangan 11 3.2.1.2 Silisyum 11 3.2.1.3 Krom 11 3.2.1.4 Nikel 12 3.2.1.5 Molibden 12 3.2.1.6 Vanadyum 12 3.2.1.7 Bor 12 3.2.1.8 Tungsten 12 3.2.1.9 Fosfor ve kükürt 12 3.2.1.9 Fosfor ve kükürt 12 3.2.1.9 Evekillendirme- uç dövme 14 4.1 Sıcak Büküm 13 4.1.1 Uç şekillendirme- uç dövme 14 4.1.2 Sıcak büküm - tavlama 15 4.1.3 Sertleştirme 15 4.1.4 Menevişleme 15 4.1.5 Doğrultma 16 4.1.7 Aksesuar montaji 18 4.1.8 Boyama 18 4.1.8.1 Toz boyama 18 4.1.8.2 Kataforez boyama 19 4.1.9 Tanım rengi 20 4.2 Soğuk Büküm 20 4.2 Soğuk Büküm 20	3.1 Yay Çelikleri	8
3.2.1 Kimyasal bileşimin etkisi 10 3.2.1.1 Mangan 11 3.2.1.2 Silisyum 11 3.2.1.3 Krom 11 3.2.1.4 Nikel 12 3.2.1.5 Molibden 12 3.2.1.6 Vanadyum 12 3.2.1.7 Bor 12 3.2.1.8 Tungsten 12 3.2.1.9 Fosfor ve kükürt 12 3.2.1.9 Fosfor ve kükürt 12 3.2.1.9 Fosfor ve kükürt 12 3.2.1.9 Fosfor ve kükürt 13 4.1 Sıcak Büküm 13 4.1.1 Uç şekillendirme- uç dövme 14 4.1.2 Sıcak büküm - tavlama 15 4.1.3 Sertleştirme 15 4.1.4 Menevişleme 15 4.1.5 Doğrultma 16 4.1.7 Aksesuar montajı 18 4.1.8 Boyama 18 4.1.8.1 Toz boyama 18 4.1.8.2 Kataforez boyama 19 4.1.9 Tanım rengi 20 4.2 Soğuk Büküm 20 4.2 Soğuk Büküm 20	3.2 Denge Çubukları İçin Yay Çeliklerinden Beklenen Özellikler	8
3.2.1.1 Mangan 11 3.2.1.2 Silisyum 11 3.2.1.3 Krom 11 3.2.1.4 Nikel 12 3.2.1.5 Molibden 12 3.2.1.6 Vanadyum 12 3.2.1.7 Bor 12 3.2.1.8 Tungsten 12 3.2.1.9 Fosfor ve kükürt 12 3.2.1.9 Fosfor ve kükürt 12 3.2.1.9 Fosfor ve kükürt 12 3.2.1.9 Fosfor ve kükürt 13 4.1 Sıcak Büküm 13 4.1.1 Uç şekillendirme- uç dövme 14 4.1.2 Sıcak büküm - tavlama 15 4.1.3 Sertleştirme 15 4.1.4 Menevişleme 15 4.1.5 Doğrultma 16 4.1.7 Aksesuar montajı 18 4.1.8 Boyama 18 4.1.8.1 Toz boyama 18 4.1.8.2 Kataforez boyama 19 4.1.9 Tanım rengi 20 4.2 Soğuk Büküm 20	3.2.1 Kimyasal bileşimin etkisi	. 10
3.2.1.2 Silisyum 11 3.2.1.3 Krom 11 3.2.1.3 Krom 11 3.2.1.4 Nikel 12 3.2.1.5 Molibden 12 3.2.1.6 Vanadyum 12 3.2.1.7 Bor 12 3.2.1.8 Tungsten 12 3.2.1.9 Fosfor ve kükürt 12 3.2.1.9 Fosfor ve kükürt 12 3.2.1.9 Fosfor ve kükürt 12 4.1 Steak Büküm 13 4.1.1 Uç şekillendirme- uç dövme 14 4.1.2 Steak büküm - tavlama 15 4.1.3 Sertleştirme 15 4.1.4 Menevişleme 15 4.1.5 Doğrultma 16 4.1.6 Kumlama 16 4.1.7 Aksesuar montajı 18 4.1.8 Boyama 18 4.1.8.1 Toz boyama 18 4.1.8.2 Kataforez boyama 19 4.1.9 Tanım rengi 20 4.2 Soğuk Büküm 20	3.2.1.1 Mangan	. 11
3.2.1.3 Krom 11 3.2.1.4 Nikel 12 3.2.1.5 Molibden 12 3.2.1.6 Vanadyum 12 3.2.1.7 Bor 12 3.2.1.8 Tungsten 12 3.2.1.9 Fosfor ve kükürt 12 3.2.1.9 Fosfor ve kükürt 12 3.2.1.9 Fosfor ve kükürt 12 4. DENGE ÇUBUĞU ÜRETİMİ 13 4.1 Steak Büküm 13 4.1.1 Uç şekillendirme- uç dövme 14 4.1.2 Steak büküm - tavlama 15 4.1.3 Sertleştirme 15 4.1.4 Menevişleme 15 4.1.5 Doğrultma 16 4.1.6 Kumlama 16 4.1.7 Aksesuar montajı 18 4.1.8 Boyama 18 4.1.8.1 Toz boyama 19 4.1.9 Tanım rengi 20 4.2 Soğuk Büküm 20 4.2 I Büküm 21	3.2.1.2 Silisyum	. 11
3.2.1.4 Nikel. 12 3.2.1.5 Molibden. 12 3.2.1.6 Vanadyum. 12 3.2.1.7 Bor 12 3.2.1.8 Tungsten. 12 3.2.1.9 Fosfor ve kükürt. 12 3.2.1.9 Fosfor ve kükürt. 12 4. DENGE CUBUĞU ÜRETİMİ 13 4.1 Sıcak Büküm 13 4.1.1 Uç şekillendirme- uç dövme. 14 4.1.2 Sıcak büküm - tavlama 15 4.1.3 Sertleştirme. 15 4.1.4 Menevişleme. 15 4.1.5 Doğrultma 16 4.1.6 Kumlama 16 4.1.8 Boyama. 18 4.1.8.1 Toz boyama 18 4.1.8.2 Kataforez boyama 19 4.1.9 Tanım rengi 20 4.2 Soğuk Büküm 20	3.2.1.3 Krom	. 11
3.2.1.5 Molibden 12 3.2.1.6 Vanadyum 12 3.2.1.7 Bor 12 3.2.1.8 Tungsten 12 3.2.1.9 Fosfor ve kükürt 12 3.2.1.9 Fosfor ve kükürt 12 4. DENGE ÇUBUĞU ÜRETİMİ 13 4.1 Sıcak Büküm 13 4.1.1 Uç şekillendirme- uç dövme 14 4.1.2 Sıcak büküm - tavlama 15 4.1.3 Sertleştirme 15 4.1.4 Menevişleme 15 4.1.5 Doğrultma 16 4.1.6 Kumlama 16 4.1.7 Aksesuar montajı 18 4.1.8 Boyama 18 4.1.8.1 Toz boyama 18 4.1.8.2 Kataforez boyama 19 4.1.9 Tanım rengi 20 4.2 Soğuk Büküm 20	3.2.1.4 Nikel	. 12
3.2.1.6 Vanadyum 12 3.2.1.7 Bor 12 3.2.1.8 Tungsten 12 3.2.1.9 Fosfor ve kükürt 12 3.2.1.9 Fosfor ve kükürt 12 4. DENGE ÇUBUĞU ÜRETİMİ 13 4.1 Sıcak Büküm 13 4.1.1 Uç şekillendirme- uç dövme 14 4.1.2 Sıcak büküm - tavlama 15 4.1.3 Sertleştirme 15 4.1.4 Menevişleme 15 4.1.5 Doğrultma 16 4.1.6 Kumlama 16 4.1.7 Aksesuar montajı 18 4.1.8 Boyama 18 4.1.8.1 Toz boyama 19 4.1.9 Tanım rengi 20 4.2 Soğuk Büküm 20	3.2.1.5 Molibden	. 12
3.2.1.7 Bor 12 3.2.1.8 Tungsten 12 3.2.1.9 Fosfor ve kükürt 12 3.2.1.9 Fosfor ve kükürt 12 4. DENGE ÇUBUĞU ÜRETİMİ 13 4.1 Sıcak Büküm 13 4.1.1 Uç şekillendirme- uç dövme 14 4.1.2 Sıcak büküm - tavlama 15 4.1.3 Sertleştirme 15 4.1.4 Menevişleme 15 4.1.5 Doğrultma 16 4.1.6 Kumlama 16 4.1.7 Aksesuar montajı 18 4.1.8 Boyama 18 4.1.8.1 Toz boyama 19 4.1.9 Tanım rengi 20 4.2 Soğuk Büküm 20	3.2.1.6 Vanadyum	. 12
3.2.1.8 Tungsten	3.2.1.7 Bor	. 12
3.2.1.9 Fosfor ve kükürt. 12 4. DENGE ÇUBUĞU ÜRETİMİ 13 4.1 Sıcak Büküm 13 4.1.1 Uç şekillendirme- uç dövme 14 4.1.2 Sıcak büküm - tavlama 15 4.1.3 Sertleştirme 15 4.1.4 Menevişleme 15 4.1.5 Doğrultma 16 4.1.6 Kumlama 16 4.1.7 Aksesuar montajı 18 4.1.8 Boyama 18 4.1.8.1 Toz boyama 19 4.1.9 Tanım rengi 20 4.2 Soğuk Büküm 20 4.2 I Büküm 21	3.2.1.8 Tungsten	. 12
4. DENGE ÇUBUĞU ÜRETİMİ 13 4.1 Sıcak Büküm 13 4.1.1 Uç şekillendirme- uç dövme 14 4.1.2 Sıcak büküm - tavlama 15 4.1.3 Sertleştirme 15 4.1.4 Menevişleme 15 4.1.5 Doğrultma 16 4.1.6 Kumlama 16 4.1.7 Aksesuar montajı 18 4.1.8 Boyama 18 4.1.8.1 Toz boyama 18 4.1.9 Tanım rengi 20 4.2 Soğuk Büküm 20 4.2 I Büküm 21	3.2.1.9 Fosfor ve kükürt	. 12
4.1 Sıcak Büküm 13 4.1.1 Uç şekillendirme- uç dövme 14 4.1.2 Sıcak büküm - tavlama 15 4.1.3 Sertleştirme 15 4.1.4 Menevişleme 15 4.1.5 Doğrultma 16 4.1.6 Kumlama 16 4.1.7 Aksesuar montajı 18 4.1.8 Boyama 18 4.1.8.1 Toz boyama 19 4.1.9 Tanım rengi 20 4.2 Soğuk Büküm 20 4.2 I Büküm 21	4. DENGE CUBUĞU ÜRETİMİ	.13
4.1.1 Uç şekillendirme- uç dövme. 14 4.1.2 Sıcak büküm - tavlama 15 4.1.3 Sertleştirme. 15 4.1.4 Menevişleme. 15 4.1.5 Doğrultma 16 4.1.6 Kumlama 16 4.1.7 Aksesuar montajı 18 4.1.8 Boyama 18 4.1.8.1 Toz boyama 18 4.1.9 Tanım rengi 20 4.2 Soğuk Büküm 20 4.2 I Büküm 21	4.1 Sıcak Büküm	. 13
4.1.2 Sıcak büküm - tavlama 15 4.1.3 Sertleştirme 15 4.1.4 Menevişleme 15 4.1.5 Doğrultma 16 4.1.6 Kumlama 16 4.1.7 Aksesuar montajı 18 4.1.8 Boyama 18 4.1.8.1 Toz boyama 18 4.1.9 Tanım rengi 20 4.2 Soğuk Büküm 20 4.2 I Büküm 21	4.1.1 Uc sekillendirme- uc dövme	. 14
4.1.3 Sertleştirme 15 4.1.4 Menevişleme 15 4.1.5 Doğrultma 16 4.1.6 Kumlama 16 4.1.7 Aksesuar montajı 18 4.1.8 Boyama 18 4.1.8.1 Toz boyama 18 4.1.8.2 Kataforez boyama 19 4.1.9 Tanım rengi 20 4.2 Soğuk Büküm 20 4.2 I Büküm 21	4.1.2 Sıcak büküm - tavlama	. 15
4.1.4 Menevişleme. 15 4.1.5 Doğrultma. 16 4.1.6 Kumlama 16 4.1.7 Aksesuar montajı 18 4.1.8 Boyama 18 4.1.8.1 Toz boyama 18 4.1.8.2 Kataforez boyama 19 4.1.9 Tanım rengi 20 4.2 Soğuk Büküm 20 4.2 I Büküm 21	4.1.3 Sertlestirme	. 15
4.1.5 Doğrultma 16 4.1.6 Kumlama 16 4.1.7 Aksesuar montajı 18 4.1.8 Boyama 18 4.1.8 I Toz boyama 18 4.1.8.1 Toz boyama 18 4.1.8.2 Kataforez boyama 19 4.1.9 Tanım rengi 20 4.2 Soğuk Büküm 20 4.2 I Büküm 21	4.1.4 Menevisleme	. 15
4.1.6 Kumlama 16 4.1.7 Aksesuar montajı 18 4.1.8 Boyama 18 4.1.8.1 Toz boyama 18 4.1.8.2 Kataforez boyama 19 4.1.9 Tanım rengi 20 4.2 Soğuk Büküm 20 4.2 I Büküm 21	4.1.5 Doğrultma	. 16
4.1.7 Aksesuar montaji 18 4.1.8 Boyama 18 4.1.8.1 Toz boyama 18 4.1.8.2 Kataforez boyama 19 4.1.9 Tanım rengi 20 4.2 Soğuk Büküm 20 4.2 I Büküm 21	4.1.6 Kumlama	. 16
4.1.8 Boyama 18 4.1.8.1 Toz boyama 18 4.1.8.2 Kataforez boyama 19 4.1.9 Tanım rengi 20 4.2 Soğuk Büküm 20 4.2 I Büküm 21	4.1.7 Aksesuar montajı	. 18
4.1.8.1 Toz boyama	4.1.8 Boyama	. 18
4.1.8.2 Kataforez boyama 19 4.1.9 Tanım rengi 20 4.2 Soğuk Büküm 20 4.2 I Büküm 21	4.1.8.1 Toz boyama	. 18
4.1.9 Tanım rengi 20 4.2 Soğuk Büküm 20 4.2 I Büküm 21	4.1.8.2 Kataforez boyama	. 19
4.2 Soğuk Büküm	4.1.9 Tanım rengi	. 20
4.2.1 Rüküm 21	4.2 Soğuk Büküm	. 20
1.2.1 Dukum	4.2.1 Büküm	. 21

4.2.2 Tavlama	21
4.2.3 Sertleştirme	21
4.2.4 Menevişleme	21
4.2.5 Uç şekillendirme	22
5. ISIL İŞLEMİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ	23
5.1 Tavlama-Östenitlestirme	23
5.2 Sertlestirme	25
5.3 Menevisleme	25
6. SERTLESTIRME – SOĞUTMA İSLEMİ	29
6.1 Soğutma İşleminde Oluşan Fazlar	29
6.1.1 Buhar fazı	30
6.1.2 Kaynama fazı	30
6.1.3 Konveksiyon fazı	31
6.2 Sertlestirme Operasyonuna Etki Eden Parametreler	32
6.2.1 Parcanın soğuma hızına etki eden parametreler	32
6.2.2 Sertlestirme banyosunun soğutma kabiliyetine etki eden parametreler	35
6.3 Farklı Sertlestirme Ortamları	37
6.3.1 Polimerli suda sertlestirme	37
6.3.2 Yağda sertlestirme	41
6.3.3 Suda sertlestirme	46
7. DENEYSEL CALISMALAR	49
7.1 Numunelerin Sınıflandırılması	49
7.2 Deneysel Çalışma-34MnB5 Boru Çubuk Malzemeden Denge Çubuğu Üret	imi
	52
7.2.1 Bůkům	54
7.2.2 Lavlama	55
7.2.3 Sertleştirme	36
7.2.3.1 Polimerii suda sertieștirme	30
7.2.3.2 Suda sertleştirme	
7.2.4.NA	38
7.2.4 Menevişieme	38
7.2.5 Dogruitma	39
7.2.6 Gerliim giderme	39
7.2.7 Uç şekillendirme	60
/.2.8 Kumlama	60
7.2.9 Toz boyama	61
7.3 Deneysel Çalışma – 55Cr3 Dolu Çubuk Malzemesinden Denge Çubugu	(1
	61
/.3.1 Bukum	63
7.2.2 Southerstimute	63
7.2.2.1 Delinearli sude contractions	64
7.2.2.2 Sanda sertieștirme	64
7.2.2.2 Suda sertleştirme	64
7.2.4 Monoviolomo	03
7.2.5 Dožrultno	03
7.2.6 Cariling aidarma	03
7.2.7 Lle calvillen dime e	03
7.2.9 K-m-lame	00
/.5.8 Kumiama	
/.3.9 loz boyama	66

	66
7.4.1 Metalografi analizi	67
7.4.2 Mikroyapı ve dekarbürizasyon kontrolü	67
7.4.3 Tane boyutu kontrolü	68
7.4.4 Sertlik taraması	68
7.4.5 Üç boyutlu ölçüm	69
7.4.6 Manyetik partikülle çatlak kontrolü	69
7.4.7 Yorulma testi	69
8. DENEYSEL SONUCLAR	73
8.1 34MnB5 Boru Çubuk Malzemeden Üretilen Denge Çubukları	73
8.1.1 Mikroyapı incelemesi, dekarbürizasyon kontrolü ve sertlik ölçümleri	73
8.1.1.1 Suda sertleştirme ve meneviş sonrası mikroyapı - sertlik kontrolü	74
BS1 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi	75
BS2 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi	78
8.1.1.2 Polimerli suda sertlestirme ve menevis sonrası mikroyapı - sertlik	_
kontrolü	84
BP1 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi	85
BP2 Grubu mikrovapı – sertlik incelemesi	88
8.1.1.3 Yağda sertlestirme ve menevis sonrası mikroyapı - sertlik kontrol	ü 93
BY1 Grubu mikrovapı – sertlik incelemesi	95
BY2 Grubu mikrovapı – sertlik incelemesi	98
BY3 Grubu mikrovapı – sertlik incelemesi	101
BY4 Grubu mikrovapı – sertlik incelemesi	104
BY5 Grubu mikrovapı – sertlik incelemesi	107
8.1.2 Yorulma testi sonuclari	115
8.1.2.1 Suda sertlestirilmis denge cubukleri için yorulma testi sonuçları	116
8.1.2.2 Polimerli suda sertlestirilmis denge cubukleri için yorulma testi	
sonuçları	121
8.1.2.3 Yağda sertleştirilmiş denge çubukleri için yorulma testi sonuçları	126
8.2 55Cr3 Dolu Cubuk Malzemeden Üretilen Denge Cubukları	140
8.2.1 Mikroyapı incelemesi, dekarbürizasyon kontrolü ve sertlik ölçümleri	140
8.2.1.1 Suda sertleştirme ve meneviş sonrası mikroyapı - sertlik kontrolü	141
DS1 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi	141
8.2.1.2 Polimerli suda sertlestirme ve menevis sonrası mikroyapı - sertlik	
kontrolü	143
DP1 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi	144
DP2 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi	146
	148
DP3 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi	
DP3 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi DP4 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi	149
DP3 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi DP4 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi DP5 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi	149 151
DP3 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi DP4 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi DP5 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi 8.2.1.3 Yağda sertleştirme ve meneviş sonrası mikroyapı - sertlik kontrol	149 151 ü
DP3 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi DP4 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi DP5 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi 8.2.1.3 Yağda sertleştirme ve meneviş sonrası mikroyapı - sertlik kontrol	149 151 ü 154
DP3 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi DP4 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi DP5 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi 8.2.1.3 Yağda sertleştirme ve meneviş sonrası mikroyapı - sertlik kontrol DY1 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi	149 151 ü 154 155
DP3 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi DP4 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi DP5 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi 8.2.1.3 Yağda sertleştirme ve meneviş sonrası mikroyapı - sertlik kontrol DY1 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi DY2 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi	149 151 ü 154 155 156
DP3 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi DP4 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi DP5 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi 8.2.1.3 Yağda sertleştirme ve meneviş sonrası mikroyapı - sertlik kontrol DY1 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi DY2 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi DY3 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi	149 151 ü 154 155 156 158
DP3 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi DP4 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi DP5 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi 8.2.1.3 Yağda sertleştirme ve meneviş sonrası mikroyapı - sertlik kontrol DY1 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi DY2 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi DY3 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi DY4 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi	149 151 ü 154 155 156 158 160
DP3 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi DP4 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi DP5 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi 8.2.1.3 Yağda sertleştirme ve meneviş sonrası mikroyapı - sertlik kontrol DY1 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi DY2 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi DY3 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi DY4 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi DY5 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi	149 151 ü 154 155 156 158 160 161
DP3 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi DP4 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi DP5 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi 8.2.1.3 Yağda sertleştirme ve meneviş sonrası mikroyapı - sertlik kontrol DY1 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi DY2 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi DY3 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi DY4 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi DY5 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi DY5 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi DY6 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi	149 151 ü 154 155 156 158 160 161 163
DP3 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi DP4 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi DP5 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi 8.2.1.3 Yağda sertleştirme ve meneviş sonrası mikroyapı - sertlik kontrol DY1 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi DY2 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi DY3 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi DY4 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi DY5 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi DY5 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi DY6 Grubu mikroyapı – sertlik incelemesi S.2.2 Yorulma testi sonuçları.	149 151 ü 154 155 156 158 160 161 163 167

8.2.2.2 Polimerli suda sertleştirilmiş denge çubukları için yorulm	a testi
sonuçları	171
8.2.2.3 Yağda sertleştirilmiş denge çubukları için yorulma testi s	onuçları 185
9. GENEL SONUÇLAR	
KAYNAKLAR	
ÖZGEÇMİŞ	

KISALTMALAR

HRC	: Rockwell Sertlik Birimi
HV	: Vickers Sertlik Birimi
KYM	: Kübik Yüzey Merkezli
THM	: Tetragonal Hacim Merkezli
PAG	: Polialkolin Glikol
PVP	: Polivinil Pirolidon
SB	: Stabilizer Bar

ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Sayfa</u>

Çizelge 3.1 : Yay çeliklerinin mekanik özellikleri	7
Çizelge 3.2 : Paslanmaz yay çelikleri.	8
Çizelge 3.3 : Yay çelikleri kimyasal bileşimleri	10
Çizelge 5.1 : SUP3 çelik malzemesinin kimyasal kompozisyon	27
Çizelge 5.2 : SUP6 çelik malzemesinin kimyasal kompozisyonu	27
Çizelge 7.1 : 34MnB5 Boru denge çubukları – Deneysel çalışma çubuk kodları	50
Çizelge 7.2 : 55Cr3 Dolu denge çubukları – Deneysel çalışma çubuk kodları	51
Çizelge 7.3 : 34MnB5 çeliği - Kimyasal analiz	52
Çizelge 7.4 : 34MnB5 çeliği - Mekanik özellikler	53
Çizelge 7.5 : 55Cr3 çeliği - Kimyasal analiz	62
Çizelge 7.6 : 55Cr3 çeliği - Mekanik özellikler	62
Çizelge 8.1 : BS1 ve BS2 çubuklarının mikroyapı ve tane boyutları	74
Çizelge 8.2 : BS1 ve BS2 çubuklarının dekarbürizasyon derinlikleri	74
Çizelge 8.3 : Suda sertleştirme sonrasında BS1S çubuğun sertlik değerleri	76
Çizelge 8.4 : Menevişleme sonrasın BS1M çubuğun sertlik değerleri	77
Çizelge 8.5 : Suda sertleştirme sonrasında BS2S çubuğun sertlik değerleri	79
Çizelge 8.6 : Menevişleme sonrasın BS2M çubuğun sertlik değerleri	80
Çizelge 8.7 : BP1 ve BP2 çubuklarının mikroyapı ve tane boyutları	84
Çizelge 8.8 : BP1 ve BP2 çubuklarının dekarbürizasyon derinlikleri	85
Çizelge 8.9 : Polimerli suda sertleştirme sonrası BP1S çubuğunun sertlik değerleri	86
Çizelge 8.10 : Menevişleme sonrası BP1M çubuğunun sertlik değerleri	87
Çizelge 8.11 : Polimerli suda sertleştirme sonrası BP2S çubuğunun sertlik değeri	89
Çizelge 8.12 : Menevişleme sonrası BP2M çubuğunun sertlik değerleri	91
Çizelge 8.13 : Yağda sertleştirilmiş BY1, BY2, BY3, BY4 ve BY5 çubuklarının	
mikroyapı ve tane boyutları	94
Çizelge 8.14 : Yağda sertleştirilmiş BY1,BY2, BY3, BY4 ve BY5 çubuklarının	
dekarbürizasyon derinlikleri	94
Çizelge 8.15 : Yağda sertleştirme sonrası BY1S çubuğunun sertlik değerleri	96
Çizelge 8.16 : Menevişleme sonrası BY1M çubuğunun sertlik değerleri	97
Çizelge 8.17 : Yağda sertleştirme sonrası BY2S çubuğunun sertlik değerleri	99
Çizelge 8.18 : Menevişleme sonrası BY2M çubuğunun sertlik değerleri 1	.00
Çizelge 8.19 : Yağda sertleştirme sonrası BY3S çubuğunun sertlik değerleri 1	.02
Çizelge 8.20 : Menevişleme sonrası BY3M çubuğunun sertlik değerleri 1	.03
Çizelge 8.21 : Yağda sertleştirme sonrası BY4S çubuğunun sertlik değerleri 1	.05
Çizelge 8.22 : Menevişleme sonrası BY4M çubuğunun sertlik değerleri 1	.06
Çizelge 8.23 : Yağda sertleştirme sonrası BY5S çubuğunun sertlik değerleri 1	.08
Çizelge 8.24 : Menevişleme sonrası BY5M çubuğunun sertlik değer 1	.09
Çizelge 8.25 : Yağda banyosunda sertleştirme ve menevişleme sonrası ortalama	
çubuk sertliğindeki değişim	10
Çizelge 8.26 : Suda sertleştirilmiş denge çubuklarının yorulma testi sonuçları l	16

Çizelge 8.27 :	Polimerli suda sertleştirilmiş denge çubuklarının yorulma testi	
	sonuçları1	22
Çizelge 8.28 :	Yağda sertleştirilmiş denge çubuklarının yorulma testi sonuçları 1	27
Çizelge 8.29 :	34MnB5 boru çubuklar için test sonuçlarının kıyaslaması 1	39
Çizelge 8.30 :	DS1M çubuğunun mikroyapı ve tane boyutu1	41
Çizelge 8.31 :	DS1M çubuğunun dekarbürizasyon derinliği1	41
Çizelge 8.32 :	Menevişleme sonrasın DS1M çubuğun sertlik değerleri1	42
Çizelge 8.33 :	DP1-DP2-DP3-DP4 ve DP5 çubuklarının mikroyapı ve tane boyutla	rı
		44
Çizelge 8.34 :	DP1-DP2-DP3-DP4 ve DP5 çubuklarının dekarbürizasyon derinliği	
		44
Çizelge 8.35 :	Menevişleme sonrasın DP1M çubuğun sertlik değerleri1	45
Çizelge 8.36 :	Menevişleme sonrasın DP2M çubuğun sertlik değerleri1	47
Çizelge 8.37 :	Menevişleme sonrasın DP3M çubuğun sertlik değerleri1	48
Çizelge 8.38 :	Menevişleme sonrasın DP4M çubuğun sertlik değerleri1	50
Çizelge 8.39 :	Menevişleme sonrasın DP5M çubuğun sertlik değerleri1	51
Çizelge 8.40 :	DY1-DY2-DY3-DY4, DY5 ve DY6 çubuklarının mikroyapı ve tane	;
	boyutları1	54
Çizelge 8.41 :	DY1-DY2-DY3-DY4, DY5 ve DY6 çubuklarının dekarbürizasyon	
	derinliği1	54
Çizelge 8.42 :	Menevişleme sonrasın DY1M çubuğun sertlik değerleri1	55
Çizelge 8.43 :	Menevişleme sonrasın DY2M çubuğun sertlik değerleri1	57
Çizelge 8.44 :	Menevişleme sonrasın DY3M çubuğun sertlik değerleri1	59
Çizelge 8.45 :	Menevişleme sonrasın DY4M çubuğun sertlik değerleri1	61
Çizelge 8.46 :	Menevişleme sonrasın DY5M çubuğun sertlik değerleri1	62
Çizelge 8.47 :	Menevişleme sonrasın DY6M çubuğun sertlik değerleri1	64
Çizelge 8.48 :	Suda sertleştirilmiş denge çubuklarının yorulma testi sonuçları1	69
Çizelge 8.49 :	Polimerli suda sertleştirilmiş denge çubuklarının yorulma testi	
	sonuçları1	72
Çizelge 8.50 :	Yağda sertleştirilmiş denge çubuklarının yorulma testi sonuçları 1	86
Çizelge 8.51 :	55Cr3 dolu çubuklar için test sonuçlarının kıyaslaması2	02

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Sayfa</u>

Şekil 2.1 : Denge çubuğunun araçtaki konumu	3
Şekil 2.2 : Denge çubuğunun çalışma prensibi	4
Şekil 2.3 : Farklı denge çubukları	5
Şekil 4.1 : Sıcak büküm üretim süreci	. 14
Şekil 4.2 : Kumlanmış parçadaki artık gerilme profili	. 17
Sekil 4.3 : Elektrostatik toz boyama	. 19
Şekil 4.4 : Soğuk büküm üretim süreci	. 20
Şekil 5.1 : Karbonlu çelikler için ısıl işlem sıcaklık aralığı	. 24
Şekil 5.2 : SAE 5160 çeliği-Sertlik-Menevişleme sıcaklığı - süresi ilişkisi	. 26
Sekil 5.3 : SUP3 çeliği - Menevişleme sıcaklığı- Mekanik özellikler ilişkisi	. 26
Sekil 5.4 : SUP6 celiği -Menevişleme sıcaklığı- Mekanik özellik ilişkişi	. 27
Sekil 6.1 : Soğutma mekanizmaları	. 30
Sekil 6.2 : Soğuma Hızı İlişkişi	. 31
Sekil 6.3 : Soğuma Hızı- Soğutma Fazları İliskisi	. 31
Sekil 6.4 : Soğutma ortamı - Soğutma Hızı İlişkişi	. 33
Sekil 6.5 : Suda sertlestirme-Soğuma hızı- Banyo sıcaklığı ilişkişi	. 34
Sekil 6.6 : Banvoda kalma süresi- Yüzev sertliği İliskisi	. 34
Sekil 6.7 : Soğuma hızı-Sertlik ilişkişi- Yağda sertleştirme.	.36
Sekil 6.8 : Polimerli suda sertlestirme mekanizması	.38
Sekil 6.9 : Yağda sertlestirme mekanizması	.42
Sekil 6.10 : Yağdaki banyosundaki su miktarı- Soğuma hızı iliskisi	43
Sekil 6.11 : Soğutma vağları viskozite-süre etkilesimi	44
Sekil 6.12 : Viskozite değisimin vağ üzerindeki etkisi	44
Sekil 6.13 : Soğutma vağları-soğuma eğrisi değisimi	46
Sekil 6.14 : Farklı soğutma ortamlarının soğuma hızına etkisi	48
Sekil 7.1 : 34MnB5 Boru malzemeden üretilen denge cubuğu	53
Sekil 7.2 : 34MnB5 Boru denge cubukları icin üretim akısı	54
Sekil 7.3 : Boru denge cubuğu-Büküm operasyonu	55
Sekil 7.4 : Boru denge çubukları - Taylama operasyonu	56
Sekil 7.5 : 34MnB5 Boru malzemeden üretilen denge cubuğu- İnceleme bölgeleri	56
Sekil 7.6 : Polimerli suda sertlestirme süreci	57
Sekil 7.7 : Suda sertlestirme süreci	57
Sekil 7.8 : Yağda sertleştirme süreci	58
Sekil 7.9 : Doğrultma operasyonu	59
Sekil 7.10 : Uc sekillendirme operasyonu	60
Sekil 7.11 · 34Mnh5 Boru cubuk malzemeden üretilen denge cubuğu	61
Sekil 7.12 : 55Cr3 Dolu malzemeden üretilen denge çubuğu	67
Sekil 7 13 : 55Cr3 Dolu denge cubukları için üretim akışı	63
Sekil 7 14 • 55Cr3 Dolu malzemeden üretilen denge cubuğu- İnceleme bölgeleri	. 05
Sekil 7.15 • 55Cr3 dolu cubuk malzemeden üretilen denge cubuğu	. 07 66
yeni 110 . 55015 uotu yubuk maizemeden utemen denge yubugu	. 00

Şekil	7.16	: Test ve analiz şeması	67
Şekil	7.17	: 34MnB5 Boru çubuk için sertlik inceleme bölgeleri	68
Şekil	7.18	: 55Cr3 Dolu çubuk için sertlik inceleme bölgeleri	69
Şekil	8.1:	34MnB5- Boru denge çubuklarının inceleme bölgeleri	73
Şekil	8.2:	Su banyosunda sertleştirme sonrasında BS1S çubuğunun mikroyapısı	75
Şekil	8.3 :	BS1S çubuğunun sertleştirme sonrası yüzeyden merkeze doğru sertlik	
-		değisimi	76
Sekil	8.4 :	Menevisleme sonrası BS1M cubuğunun mikrovapısı	77
Sekil	8.5 :	BS1M cubuğunun sertlestirme sonrası yüzevden merkeze doğru sertlik	
y • • • • •		değişimi	78
Sekil	8.6 :	Suda banyosunda sertlestirme sonrasında BS1S cubuğunun mikroyanısı	78
Şekil	87.	BS2S cubuğunun sertleştirme sonrası vüzevden merkeze doğru sertlik	, 0
şenn	0.7 .	değiçimi	79
Sabil	88.	Manavislama sonrası BS2M cubuğunun mikrovanısı	80
Şekil	0 .0 .	BS2M aubuğunun sartlastirma sonrası yüzaydan markaza doğru sartlik	00
ŞCKII	0.9.	doğişimi	Q 1
Salvil	Q 10	• Su banyaşunda şartlaştirma. Şartlik dağışımı	01 07
Şekil	0.10	• DS1S Omuz hälgagi väzav astlağı	02 02
Şeki	0.11	· DSTS- Olluz bolgest yuzey çallağı.	03
Şekii	ð.12	: Polimerii suda banyosunda serueșurme sonrasinda BP15 çubugunun	05
Q . I!I	0 1 2	mikroyapisi	85
Şekii	8.13	: BP1S çubugunun sertleştirme sonrası yüzeyden merkeze doğru sertlik	07
0 1 9	0 1 4		80
Şekil	8.14	: Menevişieme sonrası BPTM çubugunun mikroyapısı	8/
Şekil	8.15	: BPIM çubugunun sertleştirme sonrası yüzeyden merkeze doğru sertlik	
a 1 u	0.4.6		88
Şekil	8.16	: Polimerli suda banyosunda sertleştirme sonrasında BP2S çubugunun	00
6 1 9	0.15		89
Şekil	8.17	: BP2S çubuğunun sertleştirme sonrası yüzeyden merkeze doğru sertlik	~~
6 1 9	0.10		90
Şekil	8.18	: Menevişleme sonrası BP2M çubuğunun mikroyapısı	90
Şekil	8.19	: BP2M çubuğunun sertleştirme sonrası yüzeyden merkeze doğru sertlik	
a			91
Şekil	8.20	: Polimerli su banyosunda sertleştirme –Sertlik değişimi	92
Şekil	8.21	: Yağ banyosunda sertleştirme sonrasında BY1S çubuğunun mikroyapıs	1
~ • • •			95
Şekil	8.22	: BY1S çubuğunun sertleştirme sonrası yüzeyden merkeze doğru sertlik	
		değişimi	96
Şekil	8.23	: Menevişleme sonrası BY1M çubuğunun mikroyapısı	97
Şekil	8.24	: BY1M çubuğunun sertleştirme sonrası yüzeyden merkeze doğru sertlik	ζ
		değişimi	98
Şekil	8.25	: Yağ banyosunda sertleştirme sonrasında BY2S çubuğunun mikroyapıs	1
			98
Şekil	8.26	: BY2S çubuğunun sertleştirme sonrası yüzeyden merkeze doğru sertlik	
		değişimi	99
Şekil	8.27	: Menevişleme sonrası BY2M çubuğunun mikroyapısı 1	00
Şekil	8.28	: BY2M çubuğunun sertleştirme sonrası yüzeyden merkeze doğru sertlik	ζ
		değişimi	01
Şekil	8.29	: Yağ banyosunda sertleştirme sonrasında BY3S çubuğunun mikroyapıs	1
			01

Şekil 8.30 : BY3S çubuğunun sertleştirme sonrası yüzeyden merkeze doğru sertl	ik
değişimi	. 102
Şekil 8.31 : Menevişleme sonrası BY3M çubuğunun mikroyapısı	. 103
Şekil 8.32 : BY3M çubuğunun sertleştirme sonrası yüzeyden merkeze doğru sert	lik
değişimi	. 104
Şekil 8.33 : Yağ banyosunda sertleştirme sonrasında BY4S çubuğunun mikroyap	D1S1
	. 104
Şekil 8.34 : BY4S çubuğunun sertleştirme sonrası yüzeyden merkeze doğru sertl	ik
değişimi	. 105
Şekil 8.35 : Menevişleme sonrası BY4M çubuğunun mikroyapısı	. 106
Şekil 8.36 : BY4M çubuğunun sertleştirme sonrası yüzeyden merkeze doğru sert	lik
değişimi	. 107
Şekil 8.37 : Yağ banyosunda sertleştirme sonrasında BY5S çubuğunun mikroyap)1S1.
	. 107
Şekil 8.38 : BY5S çubuğunun sertleştirme sonrası yüzeyden merkeze doğru sertl	ik
değişimi	. 108
Şekil 8.39 : Menevişleme sonrası BY5M çubuğunun mikroyapısı	. 109
Şekil 8.40 : BY5M çubuğunun sertleştirme sonrası yüzeyden merkeze doğru sert	lik
değişimi	. 110
Şekil 8.41 : Yağ banyosunda sertleştirme –Sertlik değişimi	. 111
Şekil 8.42 : Sertleştirme banyo ortamı- Sertlik değişimi- Düz bölge	. 113
Şekil 8.43 : Sertleştirme banyo ortamı- Sertlik değişimi- Omuz bölgesi	. 114
Şekil 8.44 : Dekarbürizasyon derinliği	. 115
Şekil 8.45 : Yorulma testi sonrası kırılma bölgeleri tanımlaması	. 116
Şekil 8.46 : BS11 çubuğunun kırık yüzey incelemesi	. 117
Şekil 8.47 : BS12 çubuğunun kırık yüzey incelemesi	. 117
Şekil 8.48 : BS13 çubuğunun kırık yüzey incelemesi	. 118
Şekil 8.49 : BS14 çubuğunun kırık yüzey incelemesi	. 118
Şekil 8.50 : BS21 çubuğunun kırık yüzey incelemesi	. 119
Şekil 8.51: BS22 çubuğunun kırık yüzey incelemesi	. 119
Şekil 8.52 : BS23 çubuğunun kirik yüzey incelemesi	. 120
Şekil 8.53 : BS24 çubugunun kirik yuzey incelemesi	. 120
Şekil 8.54 : Suda sertleştirilmiş denge çubukları- Yorulma Omru	. 121
Sekil 8.55 : BP11 çubugunun kirik yuzey incelemesi	. 121
Sekil 8.56 : BP12 çubugunun kirik yuzey incelemesi	. 122
Sekil 8.57 : BP13 çubugunun kirik yuzey incelemesi	. 123
Sekil 8.58 : BP14 çubuğunun kirik yüzey incelemesi	123
Sekil 8.59 : BP21 çubuğunun kırık yüzey incelemesi	124
Sekil 8.00 : BP22 çubuğunun kırık yüzey incelemesi	124
Sekil 8.61 : BP23 çubuğunun kırık yüzey incelemesi	. 125
Sekil 9.62 : DF 24 çubugululi kirik yüzey inceremesi	125
Sekil 8.64 : DV11 oubučunun kurik učizov incolomogi	120
Sekil 8.65 : DV12 oubučunun kurik vüzev incelemesi	120
Sekil 8.66 : DV12 oubučunun kurik vüzev incelemesi	120
Sakil 8 67 · BV1/ cubuğunun kırık yüzev incelemesi	129
Sekil 8 68 · BV21 cubuğunun kırık yüzev incelemesi	129
Sekil 8 69 • BV22 cubuğunun kırık yüzev incelemesi	130
Sekil 8 70 · BY23 cubuğunun kırık yüzev incelemesi	131
Sekil 8 71 · BV24 cubuğunun kırık yüzev incelemesi	121
Şeki 0.71 . D 127 çubuğunun Kirik yüzey incerencesi	. 191

Şekil	8.72	: BY31 çubuğunun kırık yüzey incelemesi1	32
Şekil	8.73	: BY32 çubuğunun kırık yüzey incelemesi1	32
Şekil	8.74	: BY33 çubuğunun kırık yüzey incelemesi1	33
Şekil	8.75	: BY34 çubuğunun kırık yüzey incelemesi1	33
Şekil	8.76	: BY41 çubuğunun kırık yüzey incelemesi1	34
Şekil	8.77	: BY42 çubuğunun kırık yüzey incelemesi1	34
Şekil	8.78	: BY43 çubuğunun kırık yüzey incelemesi1	35
Şekil	8.79	: BY44 çubuğunun kırık yüzey incelemesi1	35
Şekil	8.80	: BY51 çubuğunun kırık yüzey incelemesi1	36
Şekil	8.81	: BY52 çubuğunun kırık yüzey incelemesi1	36
Şekil	8.82	: BY53 çubuğunun kırık yüzey incelemesi1	36
Şekil	8.83	: BY54 çubuğunun kırık yüzey incelemesi1	37
Şekil	8.84	: Yağda sertleştirilmiş denge çubukları- Yorulma Omrü 1	37
Şekil	8.85	: 34MnB5 Boru çubukları - Yorulma ömrü - Farklı sertleştirme ortamlar	1.
a	0.07		38
Şekil	8.86	: 55Cr3- Dolu çubuk malzemeden üretilen denge çubuğunun inceleme	40
	0.07		40
Şekil	8.87	: Su banyosunda sertleştirilmiş ve menevişlenmiş DSIM çubugunun	40
Q - 1-21	0 00	mikroyapisi 1	42
Şekii	ð.ðð	DSTM çubugunun sertieştirme sonrası yüzeyden merkeze doğru sertile	42
Salvil	0 00	• Delimerli su henvosunda sortlastirilmis va menavislanmis DD1M	43
Şekii	0.07	i rollinetti su daliyosulua setueşurininş ve menevişteniniş Dr Tw	15
Salvil	0 00	Cubugunun mitkioyapisi	43
Şekii	0.90	doğişimi	х Л6
Sabil	8 01	Polimarli su banyosunda sartlastirilmis va manavislanmis DP2M	40
ŞEKII	0.71	cubuğunun mikrovanışı	46
Sekil	8 92	• DP2M cubuğunun sertleştirme sonraşı yüzevden merkeze doğru sertlik	т0 7
ŞUMI	0.72	değişimi	47
Sekil	8.93	: Polimerli su banyosunda sertlestirilmis ve menevislenmis DP3M	• • •
y • • • • •	0	cubuğunun mikrovapısı	48
Sekil	8.94	: DP3M cubuğunun sertlestirme sonrası yüzeyden merkeze doğru sertlik	ζ.
,		değişimi	49
Şekil	8.95	: Polimerli su banyosunda sertleştirilmiş ve menevişlenmiş DP4M	
,		çubuğunun mikroyapısı1	49
Şekil	8.96	: DP4M çubuğunun sertleştirme sonrası yüzeyden merkeze doğru sertlik	ζ
		değişimi1	50
Şekil	8.97	: Polimerli su banyosunda sertleştirilmiş ve menevişlenmiş DP5M	
		çubuğunun mikroyapısı1	51
Şekil	8.98	: DP5M çubuğunun sertleştirme sonrası yüzeyden merkeze doğru sertlik	K
		değişimi1	52
Şekil	8.99	: Polimerli su banyosunda sertleştirme –Sertlik değişimi 1	53
Şekil	8.10): Yağ banyosunda sertleştirilmiş ve menevişlenmiş DY1M çubuğunun	
~ -	. ·	mikroyapısı 1	55
Şekil	8.10	I: DY1M çubuğunun sertleştirme sonrası yüzeyden merkeze doğru sertl	lik
a	0.4.0	değişimi 1	56
Şekil	8.102	2 : Yag banyosunda sertleştirilmiş ve menevişlenmiş DY2M çubuğunun	
. .	0.40	mikroyapisi	57
Şekil	8.10	5 : DY2M çubuğunun sertleştirme sonrası yüzeyden merkeze doğru sertl	lik
		değişimi1	58

Şekil 8.104 : Yağ banyosunda sertleştirilmiş ve menevişlenmiş DY3M çubuş	ğunun
mikroyapısı	158
Şekil 8.105 : DY3M çubuğunun sertleştirme sonrası yüzeyden merkeze doğr	u sertlik
Şekil 8.106 : Yag banyosunda sertleştirilmiş ve menevişlenmiş DY4M çubuş	gunun
	100
Şekil 8.10 / : DY4M çubugunun sertieştirme sonrasi yüzeyden merkeze doğr	u sertlik
	161
Şekil 8.108 : Yag banyosunda sertleştirilmiş ve menevişlenmiş DYSM çubuş	gunun
mikroyapisi	162
Şekil 8.109 : DY5M çubuğunun sertleştirme sonrası yüzeyden merkeze doğr	u sertlik
değişimi	163
Şekil 8.110 : Yağ banyosunda sertleştirilmiş ve menevişlenmiş DY6M çubu	ğunun
mikroyapısı	163
Şekil 8.111 : DY6M çubuğunun sertleştirme sonrası yüzeyden merkeze doğr	u sertlık
değişimi	164
Şekil 8.112 : Yağda sertleştirmenin sertlik ile ilişkisi	165
Şekil 8.113 : Farklı sertleştirme ortamlarının sertlik değişimine etkisi	166
Şekil 8.114 : Yorulma Testi Sonrası Kırılma Bölgeleri Tanımlaması	168
Şekil 8.115 : 55Cr3 Dolu malzemeden üretilen denge çubukları için yorulma	test
düzeneği	168
Şekil 8.116 : DS11 çubuğunun kırık yüzey incelemesi	169
Şekil 8.117 : DS12 çubuğunun kırık yüzey incelemesi	170
Şekil 8.118 : DS13 çubuğunun kırık yüzey incelemesi	170
Şekil 8.119 : Suda sertleştirme – Yorulma ömrü	
Şekil 8.120 : DP11 çubuğunun kırık yüzey incelemesi	171
Şekil 8.121 : DP12 çubuğunun kırık yüzey incelemesi	173
Şekil 8.122 : DP13 çubuğunun kırık yüzey incelemesi	
Şekil 8.123 : DP21 çubuğunun kırık yüzey incelemesi	
Şekil 8.124 : DP22 çubuğunun kırık yüzey incelemesi	
Şekil 8.125 : DP23 çubuğunun kırık yüzey incelemesi	
Şekil 8.126 : DP24 çubuğunun kırık yüzey incelemesi	175
Şekil 8.127 : DP31 çubuğunun kırık yüzey incelemesi	176
Şekil 8.128 : DP32 çubuğunun kırık yüzey incelemesi	176
Şekil 8.129 : DP33 çubuğunun kırık yüzey incelemesi	177
Şekil 8.130 : DP34 çubuğunun kırık yüzey incelemesi	177
Şekil 8.131 : DP35 çubuğunun kırık yüzey incelemesi	
Şekil 8.132 : DP41 çubuğunun kırık yüzey incelemesi	
Sekil 8.133 : DP42 çubuğunun kırık yüzey incelemesi	179
Sekil 8.134 : DP43 çubuğunun kırık yüzey incelemesi	179
Sekil 8.135 : DP44 cubuğunun kırık yüzey incelemesi	180
Sekil 8.136 : DP45 cubuğunun kırık vüzev incelemesi	180
Sekil 8.137 : DP51 cubuğunun kırık yüzev incelemesi	
Sekil 8.138 : DP52 cubuğunun kırık yüzev incelemesi	
Sekil 8.139 : DP53 cubuğunun kırık yüzev incelemesi	182
Sekil 8.140 : DP54 cubuğunun kırık yüzev incelemesi	
Sekil 8.141 : DP55 cubuğunun kırık yüzev incelemesi	183
Sekil 8.142 : Polimerli suda sertlestirme – Yorulma ömrü	183
Sekil 8.143 : DY11 cubuğunun kırık vüzev incelemesi	
, , , , , , , , , , , , , , , , , , ,	

Şekil	8.144	:DY12	çubuğunun kırık yüzey incelemesi	187
Şekil	8.145	: DY13	çubuğunun kırık yüzey incelemesi	187
Şekil	8.146	: DY14	çubuğunun kırık yüzey incelemesi	188
Şekil	8.147	: DY21	çubuğunun kırık yüzey incelemesi	188
Şekil	8.148	: DY22	çubuğunun kırık yüzey incelemesi	189
Şekil	8.149	: DY23	çubuğunun kırık yüzey incelemesi	189
Şekil	8.150	: DY24	çubuğunun kırık yüzey incelemesi	190
Şekil	8.151	: DY31	çubuğunun kırık yüzey incelemesi	190
Şekil	8.152	: DY32	çubuğunun kırık yüzey incelemesi	191
Şekil	8.153	: DY33	çubuğunun kırık yüzey incelemesi	191
Şekil	8.154	: DY34	çubuğunun kırık yüzey incelemesi	192
Şekil	8.155	: DY41	çubuğunun kırık yüzey incelemesi	192
Şekil	8.156	:DY42	çubuğunun kırık yüzey incelemesi	193
Şekil	8.157	: DY43	çubuğunun kırık yüzey incelemesi	193
Şekil	8.158	: DY44	çubuğunun kırık yüzey incelemesi	194
Şekil	8.159	:DY45	çubuğunun kırık yüzey incelemesi	194
Şekil	8.160	: DY51	çubuğunun kırık yüzey incelemesi	195
Şekil	8.161	: DY52	çubuğunun kırık yüzey incelemesi	195
Şekil	8.162	: DY53	çubuğunun kırık yüzey incelemesi	196
Şekil	8.163	:DY54	çubuğunun kırık yüzey incelemesi	196
Şekil	8.164	: DY55	çubuğunun kırık yüzey incelemesi	197
Şekil	8.165	: DY61	çubuğunun kırık yüzey incelemesi	197
Şekil	8.166	:DY62	çubuğunun kırık yüzey incelemesi	198
Şekil	8.167	: DY63	çubuğunun kırık yüzey incelemesi	198
Şekil	8.168	: DY64	çubuğunun kırık yüzey incelemesi	199
Şekil	8.169	: DY65	çubuğunun kırık yüzey incelemesi	199
Şekil	8.170	: Yağda	ı sertleştirme – Yorulma ömrü	200
Şekil	8.171	: Farklı	sertleştirme ortamları – Yorulma ömrü	201

OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN DENGE ÇUBUKLARI İÇİN ISIL İŞLEM PROSESİNDEKİ FARKLI SERTLEŞTİRME ORTAMLARININ YORULMA DAVRANIŞI ÜZERİNE ETKİLERİ

ÖZET

Otomotiv endüstrisinde süspansiyon sistemi elemanı olarak kullanılan denge çubukları, emniyetli ve konforlu sürüş temin edilmesi amacı ile kullanılmaktadır. Araçların çok önemli bir emniyet parçası olmasından dolayı denge çubuğu üretimi, malzeme seçimi ve kontrol testleri çok dikkatli bir şekilde yapılmalıdır. Denge çubukları değişken yükler altında çalıştığı için yüksek yorulma dayanımına sahip olmalıdır. Denge çubuğu üretiminde kullanılan yay çelik malzemelerinin yüksek mekanik özelliklere sahip olması gerekmektedir. Ayrıca denge çubukları araçların dış parçası olması ve korozif ortamla temas halinde olmasından dolayı yüksek korozyon direncine sahip olması da gerekmektedir.

Bu tez çalışmasının amacı yay çelik malzemesinden üretilen denge çubuklarının ısıl işlem sürecinde, sertleştirme koşullarının yorulma davranısı üzerindeki etkisinin belirlenmesidir. Bu amaçla 3 farklı sertleştirme ortamında, farklı banyo sıcaklıklarında ve sürelerde sertleştirme yapılmıştır. Sertleştirme banyosu olarak su, polimerli su ve yağ ortamları kullanılmıştır. Banyo ortamlarındaki farklı soğutma hızlarının denge cubuğunun mekanik özelliklerine etkisi arastırılmıştır. Denge cubuğu üretiminde 2 farklı cubuk formu (boru-dolu cubuk) ve 2 farklı hammadde (34MnB5-55Cr3) kullanılmıştır. 34MnB5 ve 55Cr3 yay çelik malzemelerinde soğuk büküm yöntemi ile 118 adet denge çubuğu üretilmiştir. 34MnB5 malzemesinden üretilen denge çubukları 9 farklı operasyon koşullarında sertleştirilmiştir. 55Cr3 malzemesinden üretilen denge çubukları 12 farklı operasyon koşullarında sertleştirilmiştir. Sertleştirme sonrası çubukların yorulma testi ile yorulma ömürleri belirlenmiştir. 2 farklı grupta üretilen tüm çubuklar sabit şekil değiştirme prensibine göre test tabi tutulmuş olup yorulma ömürlerindeki değişim incelenmiştir. Farklı banyolarda sertlestirilen cubukların mikroyapı ve sertlik incelemesi yapılmıştır. Banyo ortamının, sıcaklığının ve sertleştirme sürelerinin denge çubuklarının yorulma ömrüne ve sertliğine etkisi belirlenmiştir.

İdeal sertleştirme koşulları belirlenirken uygun mikroyapı, sertlik değerleri, yüksek ve homojen yorulma ömür dağılımının elde edildiği koşullar seçilmiştir. Yapılan test ve analizlerin sonucunda 34MnB5 malzemesinden üretilen denge çubukları için en uygun sertleştirme koşulları yağ banyosunda 53°C banyo sıcaklığında 8 dakika sertleştirme olarak belirlenmiştir. 55Cr3 malzemesinden üretilen denge çubukları için en uygun sertleştirme koşulları polimerli su banyosunda 36°C banyo sıcaklığında 45 saniye sertleştirme olarak belirlenmiştir.

THE EFFECT OF DIFFERENT QUENCHING MEDIA IN THE HEAT TREATMENT PROCESS OF STABLIZER BARS, WHICH ARE USED IN AUTOMOTIVE INDUSTRY, ON THE FATIGUE BEHAVIOUR

SUMMARY

Stabilizer bars, which are used as component of suspension system at the automotive industry, are used for the aim of safety and comfortable driving ensure. Stabilizer bar (SB) production, raw material selection and control tests must be made carefully, because stabilizer bars are the most important safety part of automobiles. Owing to work under variable loads, stabilizer bars should have high fatigue strength.

Prevent overturning of vehicles in the bend and increase the steering wheel control are the most important tasks of stabilizer bar. Moreover, stabilizer bars absorb the vibrations, which is came from broken ground.

Mechanical properties of stabilizer bars depend on production methods, raw material and heat treatment conditions.

Spring steel materials which are used to stabilizer bar production must have high mechanical properties. Also stabilizer bars are the external part of the vehicles and contact with corrosive media. Due to the fact that, they must have high corrosion resistance. Spring steels must have high young modules in order to they are used in the elastic region.

Stabilizer bars are used under dynamic load conditions. For this reason, materials which are used to production of stabilizer bar, have high fatigue strength and fatigue life. For high fatigue strength, should not be inclusion, crack and porosity in the raw material. Microstructure and chemical composition of steels should be suitable.

The aim of this thesis is determine to the effects of quenching conditions at the heat treatment process of stabilizer bars, which are produced from spring steel, on the fatigue behavior. For this aim, quenching was made at different temperatures and cooling times in 3 different quenching media (water, polymer and oil). Water, polymer-water mixture and oil were used as quenching media. The effects of different cooling rate at different quenching medias on the mechanical properties of the stabilizer bar were researched.

Due to the low cooling rate, oil quenchants have been the most used quenching media in the heat treatment industry. Although this process is economical, due to cause environmental pollution, fume and oil film formation, and fire hazard at high bath temperatures, use of oil quenchants is limited. After oil quenching, the part should be cleaned in order to eliminate oil layer on the part surface. For this reason lobour cost and waste of time increase. For oil quenchant, viscosity is the most important process factor. If the viscosity increase, heat removal is heterogeneous and change of local hardness on the part surface is occurred.

Recently, the use of polymer-water mixture is increased in the automotive and heat treatment industry. Polymer-water mixture quenchants provide uniform heat removal during quenching resulting in reduced thermal gradient and distortion. Moreover, there is no harm to human health, no flare up and fire hazard. On the other hand polymer quenchants more expensive than water and oil quenchants. Cooling rate can be controlled by polymer concentration. If polymer concentration of quenchant is high, thickness of vapor blanket increase, time of mechanical destruction of vapor blanket increase and hardness of part decrease. If prepare the quenching media at the suitable polymer concentration and bath temperature, distortion and risk of crack is decreased, uniform hardenability is obtained.

Although water is economical quenching media and safety for human health, due to the high cooling rate resulting in increased distortion, thermal gradient and crack, use is limited, especially high crack sensitive steels. Due to the boiling temperature of water is low, period of transition to boiling stage is low and cooling rate is fast.

Quenching process is made in order to bring the hardness in the material which is hot and soft, after heating process. Microstructure of material transform to martensite form which is hard and brittle microstructure. There are three stages of heat removal in quenching operation. Firstly vapor blanket cooling stage is occurred. As the hot part immerse in the cold quenching liquid, uniform vapor blanket cover around the part. Due to the vapor blanket prevent the heat exchange as insulator, slow cooling rate is occurred during this stage. When the heat of surface of part arrive the boiling temperature of quenching liquid, vapor blanket start to collapse.

Secondly nucleate boiling stage is occurred and cooling rate increase. High heat exchange is occurred with nucleate boiling of the quenchant on the hot metal surface. Heat is removed quickly on the metal surface until surface heat below the boiling point of quenching liquid. If the boiling heat is low, time of transition from vapor blanket stage to boiling stage is decrease. If high boiling temperature of quenchant liquid is used, cooling rate decrease. Further more distortion and risk of crack is decreased, uniform hardenability is obtained.

Thirdly, convection stage is occurred and cooling rate decrease. Below the boiling temperature, cooling takes place by convection and conduction into the quenchant.

In this study, the effect of bath temperatures and cooling times on the fatigue life of stabilizer bars were researched. When the bath temperature is increased, the heat gradient between bar and quenching media is decreased. For this reason the cooling rate slows down. Due to the high cooling rate, risk of crack formation increase at the too low bath temperatures. Residual stress increase and fatigue strength decrease. Especially, when use of water quenchant, high cooling rate is occurred. Although hardness of material increase, brittle structure and high residual stress is occurred. Under industry conditions, use of material which has high hardness and brittle structure is not suitable. If the bath temperature of quenching media is too high, cooling rate is lower and suitable hardness is not arrived. Because of this reason, mechanical properties of material decrease.

Due to the cooling time is increased, heat distribution is uniform from center to surface. Hardenability of parts is getting better with increasing cooling time.

There are many factors that affect of cooling rate. One of the most important factor is agitation. Agitation is obtained by stirring the liquid. The most important affect of agitation is influence on the heat transfer. When the agitation increase, mechanical disruption of vapor blanket is accelerated and cooling rate increase.

The other important factor is viscosity, especially oil quenchant. When the viscosity increase, heterogeneous heat distribution is occurred.

Two different bar forms (solid-pipe bar) and raw material (34MnB5–55Cr3) were used for the stabilizer bar production. 118 pieces of stabilizer bars were produced with cold forming method from 34MnB5 and 55Cr3 spring steel materials. Stabilizer bars, which were produced from 34MnB5, were quenched in 9 different operation conditions. Stabilizer bars, which were produced from 55Cr3, were quenched in 12 different operation conditions.

Both 34MnB5-Pipe stabilizer bars and 55Cr3 solid stabilizer bars were produced by the same production process. Microstructure of raw material is ferrite-pearlite and bars were produced by hot rolling process. Stages of cold forming process are bending, heating, quenching, tempering, forging, mastar control, shot peening and painting. After quenching, all bars are tempered and microstructures transformed to tempered martensite.

All stabilizer bars were controlled by nondestructive inspection method(magnetic particle testing).

Microstructure and hardness examinations of bars, which were quenched in different quenching medias, were applied. The suitable microstructure (martensite) was obtained after all quenching conditions. For hardness test, micro vickers test equipment was used and measurements were made from four regions for each bar. According to ASTM, grain size of each bar was measured.

According to results of decarburization control, decarburization depth of pipe bars are occurred more than stabilizer bars which are produced from solid bars. Local heating is occurred in the twist regions of stabilizer bars during heating process in order to thickness of bar is not uniform for pipe stabilizer bars. Increase of heat in the twist regions cause to increase of carbon diffusion from bar surface to media. This situations decrease the fatigue strength of stabilizer bar under dynamic loads.

Fatigue life of stabilizer bars were determined in fatigue test. For all stabilizer bars, fatigue tests were made by same conditions. The effect of bath temperatures and quenching time on the fatigue behavior and hardness of stabilizer bars were determined. After fatigue tests, crack surfaces of bars were researched and types of fracture (ductile-brittle) were determined.

As determining the suitable quenching conditions, suitable microstructure and hardness values, fatigue life of high and homogeneous distribution of the selected conditions were obtained. As a result of tests and analysis, for stabilizer bars which were produced from 34MnB5, the most suitable conditions of quenching were determined as 53°C bath temperature and 8 minutes cooling time at oil. For stabilizer bars which were determined as 36°C bath temperature and 45 seconds cooling time at polymerwater mixture.

xxviii

1. GİRİŞ

Sürüş esnasında emniyet ve konforu birlikte temin eden denge çubukları, araçların en önemli süspansiyon sistemi elemanlarından biridir. Denge çubuklarının araç içerisinde kullanılmasının en önemli nedenleri, virajlı-manevralı dönüşlerde, ani frenlemelerde araçların yol tutuşunu arttırarak savrulmaları ve devrilmeyi önlemesi, bozuk yollardan araca gelen titreşimleri absorbe ederek konforlu bir sürüş ve yolculuk temin etmesidir.

Denge çubukları çalışma koşullarında değişken yüklemelere maruz kalarak korozif ortam ile temas halindedir. Araçların emniyet parçası olması ve çalışma koşullarından dolayı, denge çubuğu üretiminde kullanılan malzemelerin seçimi, çubuk tasarımı, üretim metodu ve kontrol amaçlı yapılan testler çok dikkatli bir şekilde yapılmalıdır.

Denge çubuklarının mekanik özellikleri kullanılan malzemelere, üretim ve ısıl işlem koşullarına bağlıdır. Seçilen hammaddenin denge çubuğunun kullanım koşullarına dayanıklı olması ve istenilen performansı sağlayabilmesi için gerekli mekanik ve kimyasal özelliklere sahip olmalıdır. Üretim süreci boyunca operasyon koşulları kontrolü olmalıdır. Sertlik ve yorulma dayanımı gibi önemli mekanik özelliklerin kazandırıldığı ısıl işlem süreci boyunca, kontrollü ve belirlenen koşullarda tavlama, sertleştirme ve menevişleme operasyonları yapılmalıdır.

Denge çubuklarından beklenen en önemli özellik yüksek yorulma dayanımı ve korozyon direncidir. Bu çalışmada denge çubuklarının yorulma davranışın etkileyen parametreler incelenmiş ve ideal sertleştirme koşulları belirlenmiştir.

1.1 Tezin Amacı

Bu tezin amacı, denge çubuklarının üretim sürecide ısıl işlem aşamasındaki sertleştirme operasyonunun çubukların yorulma davranışı üzerindeki etkilerinin araştırılmasıdır. Sertleştirme operasyonundaki banyo ortamlarının, sıcaklıklarının ve

banyoda kalma sürelerinin çubuk malzemesinin sertlik ve mikroyapı dönüşümlerindeki etkisi incelenmiştir.

1.2 Literatür Araştırması

Bu tez çalışmasının literatür araştırmasında, denge çubuklarının özellikleri, kullanım nedenleri, üretim yöntemleri ve kullanılan malzemeler araştırılmıştır. Hammadde olarak kullanılan yay çelik malzemelerinin denge çubuğunun mekanik özelliklerine etkileri incelenmiştir.

Isıl işlem koşulları ve malzemedeki yapı dönüşümlerinin mekanik özelliklere etkisi araştırılmıştır. Sertleştirme operasyonu, farklı banyo ortamlarındaki soğutma mekanizmaları ve birbirlerine göre avantajları - dezavantajları araştırılmıştır.

2. DENGE ÇUBUĞU

Denge çubuğu emniyetli ve konforlu sürüş temin eden, manevralı frenlemeler ve viraj içinde savrulmalara karşı aracın rijitliğini arttıran süspansiyon sistemi elemanıdır. Denge çubuğunun üretim ve kullanım amaçları içerisinde en öneli 3 faktör;

- Kontrollü araç hareketinin sağlanması,
- Emniyetli sürüş temin etmesi,
- Konforlu seyahat temin etmesidir.

Araç içerisinde denge çubuğunun konumu ve bağlantılı olduğu parçalar Şekil 2.1'de gösterilmektedir.



Şekil 2.1 : Denge çubuğunun araçtaki konumu [1].

Denge çubuğunun ana görevi, araca gelen limit dışı zorlamaları engellemek için kendi içinde bükülmeye karşı zorlanarak absorbe etmektir. Yoldan gelen titreşimleri izole ederek sarsıntısız bir sürüş temin eder [2].

Virajlı ve bozuk zeminli yollarda aracın yana yatması ile meydana gelen merkez kaç kuvveti etkisiyle gövdesi dışa doğru savrulan araçta yalpa hareketi meydana gelir. Denge çubukları tekerlekler arasındaki yalpa açısını sınırlandırarak ve virajlarda iç ve dış tekerlekler arasındaki yük dağılımını dengeleyerek aracın kontrollü hareket etmesini sağlar [2]. Virajlarda savrulma sonucu dışta kalan yay basılmaya, içte kalan yay açılmaya zorlanır. Bu durumda denge çubuğu tekerlekler arasındaki farklı durumu burularak azaltır. Böylelikle direksiyon hâkimiyetini çoğaltıp aracın savrulmasını, sağa sola yatmasını ve bir dereceye kadar da kaymayı önler. Denge çubuğu, aracın önden ve arkadan kaymalarını da en aza indirir. Lastiklerin yola tutunma yeteneklerini artırır [1].

Tekerleklere etkiyen yanal kuvvetler sürtünme kuvvetini aştığında savrulmalar meydana gelir. Denge çubuğu şasi ile bağlantılı olduğu için savrulma eğiliminde olan tarafta aşağı yönde kuvvet uygularken, aşağı bastırılmaya çalışılan diğer tarafta yukarı yönde kuvvet uygulanır [2]. Normalde araç dönerken dış yay sıkışır, iç yay açılır. Bu yüzden, denge çubuğunun bir ucu yukarı doğru burulurken diğer ucu ise aşağı doğru burulur. Çubuk burulmaya karşı koymaya çalışır. Bu direnç aracın savrulmasını azaltır ve gövdeyi mümkün olduğunca düz tutmaya çalışır. Fazla kasisli yollarda tek bir lastiğin havada kalması gibi dezavantajları vardır fakat bu durum iyi bir süspansiyon sistemi ile giderilebilir [1]. Denge çubuğunun çalışma sırasındaki hareketi Şekil 2.2'de gösterilmektedir.



Şekil 2.2 : Denge çubuğunun çalışma prensibi [1].

Denge çubukları virajın iç tarafında kalan (aynı aks üzerinde karşı taraftaki) tekerleği yere bastırmak suretiyle emniyetli bir dönüş yapma imkânı sağlar [1].

Denge çubuğun dezavantajı ise kaygan yüzeylerde(kar, buz) rijit çubukların adhezyonu azaltabilmesidir. Bu durum arazi tipi araçlar için ciddi bir olumsuzluktur [3].

Farklı araç tiplerine çok çeşit denge çubukları üretilmektedir. Rözmaş Çelik San. Ve Tic. A.Ş. firmasında üretilen 2 farklı denge çubukları Şekil 2.3'te gösterilmektedir.



Şekil 2.3 : Farklı denge çubukları.

2.1 Denge Çubuğunun Yapısı ve Çalışması

Ön süspansiyon sisteminde denge çubuğu, lastik yastıklar ve bağlantılar üzerinden alt salıncağın uçlarına tutturulmuştur. Denge çubuğunun orta kısmı lastik yastıklar vasıtasıyla aracın gövdesine ve şasiye bağlanmıştır. Özellikle amortisör kule gergileri ile uyum içinde çalışır. Burulma kuvvetlerine karşı koyabilecek yapıda olan viraj denge çubukları tek parça halinde yapılmıştır. Eğer sağ ve sol tekerlekler eşit miktarda, aynı yönde ve zamanda aşağı yukarı hareket ederlerse denge çubuğu burulmaz.

Arka süspansiyon sisteminde ise viraj çubukları yanal kontrol çubuğu olarak adlandırılır. Denge çubuğu her iki ucundan arka aksı gövdeye bağlar ve aks ile gövde arasında oluşan yanal kuvvetleri üzerine almaktadır [1].

2.2 Denge Çubuğu Arızaları

Dışarıdan bir darbe almadığı sürece denge çubuğunda herhangi bir arıza meydana gelmemektedir. Malzemenin yorulmasına bağlı olarak kırılma çok nadiren de olsa görülebilir. Denge çubuğunun araca bağlanmasında kullanılan aksesuar parçalarda, lastik takozlarda yırtılma ve yıpranma meydana gelebilir. Zamanla elastikliğini kaybedebilir. Belirli aralıklarla lastik takozların değiştirilmesi gerekir. Şasi ve direksiyon sistemine bağlantı yerlerinde gevşeklik oluşması ile dönüşlerde kontrolün zorlaştığı ve savrulma eğiliminin arttığı görülür [1].

Emniyet parçası olarak kullanılması nedeni ile denge çubuğu üretiminin titizlikle yapılması gerekmektedir.
3. MALZEME SEÇİMİ

Denge çubuğu, motorlu araçlarda sürüş sırasındaki savrulmaları önlemek ve kontrollü bir sürüş temin etmek için kullanılır. Bu özelliklerinden dolayı denge çubukları yüksek dayanımlı, yüksek elastiklik modülüne sahip, rijit çelik malzemelerden üretilir [2].

Denge çubuğu imalatında yay çelik malzemeleri kullanılmaktadır. Yay çelikleri endüstride kullanılan en yüksek mukavemetli malzemeler olup denge çubuğunun çalışma koşullarına ve istenilen mekanik özelliklere göre çeşitli gruplara ayrılmaktadır. Yay çeliklerinin mekanik özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

JIS	DIN	Sertleştirme Sıcaklığı (°C)	Meneviş Sıcaklığı (°C)	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	%Uzama	%Kesit Daralması	Sertlik (HB)
SUP3		830-860	450-500	≥ 834	≥ 1079	≥ 8	_	341 - 401
SUP6	65Si7	830-860	480-540	≥1070	≥ 1226	≥9	≥20	363 - 429
SUP7	65Si7	830-860	480-540	≥1079	≥ 1226	≥9	≥ 20	363 - 429
SUP9	55Cr3	830-860	460-510	≥1079	≥ 1226	≥9	≥20	363 - 429
SUP10	50CrV4	840-870	470-640	≥1079	≥ 1226	≥10	≥ 30	363 - 429
SUP11 A	52MnCr B3	830-860	460-520	≥ 1079	≥ 1226	≥9	≥20	363 - 429
SUP12	54SiCr6	830-860	510-570	≥ 1079	≥ 1226	≥9	≥20	363 - 429

Çizelge 3.1 : Yay çeliklerinin mekanik özellikleri [4].

3.1 Yay Çelikleri

Yay çelikleri kimyasal bileşimlerine göre; %0.40-1.0 karbonlu alaşımsız çelikler ve Si, Cr, Si-Cr, Si-Mn, Cr-V, Cr-Mo-V içeren alaşımlı çelikler olmak üzere sınıflara ayrılmaktadır. İstenilen özel uygulamalar ve amaçlara göre B,W,Ni, Al gibi alaşım elementleri içeren yay çelikleri de kullanılmaktadır. Yüksek karbonlu yay çelikleri yüzey işlemleri ve mukavemet açısından ideal malzemelerdir.

Diğer bir yay çeliği grubu ise düşük alaşımlı veya ön sertleştirme yapılmış ve temperlenmiş yay çelikleridir. Tavlanarak çekilen malzemeler yüksek mukavemet kazandırmak için sertleştirilirler. En çok kullanılan alaşımlı yay çelikleri Si-Cr ve Cr-V'lu çeliklerdir.

Cr-Ni'li paslanmaz yay çelikleri korozyona dayanıklı, şekil değiştirme kabiliyeti yüksek olup diğer yay çeliklerine göre daha yaygın olarak kullanılmaktadır [5]. Paslanmaz yay çelikleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

JIS	DIN	С	Si	Mn	Р	S	Ni	Cr	Мо
SUS303	X8CrNiS18-9	≤0,15	≤1,00	≤2,00	0,045	0,03	8,00-10,0	17,0-19,0	
SUS304	X5CrNi18-10	≤0,08	≤1,00	≤2,00	0,045	0,03	9,00-13,0	18,0-20,0	_
SUS316	X5CrNiMo17-12-2	≤0,08	≤1,00	≤2,00	0,045	0,03	10,0-14,0	16,0-18,0	2,00-3,00

Çizelge 3.2 : Paslanmaz yay çelikleri [6].

3.2 Denge Çubukları İçin Yay Çeliklerinden Beklenen Özellikler

Süspansiyon sisteminin önemli bir elemanı olan denge çubukları, emniyet parçası olarak kullanılmasında dolayı mekanik özelliklerinin çok iyi olması gerekmektedir. Denge çubuğu üretiminde kullanılacak yay çeliğinden beklenen özellikler;

- Yüksek dayanım,
- Yüksek elastiklik modülü,
- Yüksek yorulma dayanımı,
- Yüksek korozyon direnci,

- Yeterli süneklik,
- Uygun yüzey özellikleri,
- Uygun kimyasal bileşim,
- Mikroyapı temizliğidir [5].

Denge çubukları çalışma koşullarında burulma gerilmesine maruz kalırlar. Düzgün olmayan yol şartları, ani frenlemeler, keskin virajlı dönüşlerde aracın savrulmaması ve yola bağlanması için denge çubuğunun yüksek dayanım değerlerine sahip olması gerekmektedir.

Denge çubuklarının kol kısımları yük etkisinde aşağı yukarı hareket halinde çalışırlar. Bu hareket esnasında etki eden yük, çubukta kalıcı şekil değişikliği oluşturmamalıdır. Denge çubuğunun çalışma aralığı elastik bölge olduğu için elastiklik modülü yüksek olmalıdır.

Denge çubukları sürekli olarak dinamik yüklemelere maruz kaldıkları için yüksek yorulma dayanımı ve ömrüne sahip olmaları gerekmektedir.

Araçların dış parçası olup sürekli ortamla temas halinde olan denge çubuklarının korozyon dirençleri yüksek olmalıdır. Yük altında çalışan bu parçalarda gerilmeli korozyonun meydana gelmesi yorulma dayanımını ve ömrünü önemli oranda olumsuz etkilemektedir.

Üretim sürecinde çubuk malzemeden denge çubuğu formuna plastik şekillendirme ile dönüştürülebilmesi için yeterli sünekliğe sahip olması gerekmektedir.

Denge çubuklarının yüzey düzgünlüğü iyi olmalıdır. Yüzeyde var olabilecek girinçıkıntılar yükleme altında gerilimlerin yığılmasına ve bu noktalardan çatlak başlamasına neden olabilir. Bu durum malzemenin yorulma dayanımını düşürmektedir.

Denge çubuğu üretiminde kullanılacak yay çeliği malzemeleri, çubuğun hangi şartlarda çalışacağına, çubuğun formuna ve nasıl bir performans bekleneceğine göre belirlenmelidir. Malzeme seçimi çubuğun kullanım performansını etkileyen en önemli parametrelerdendir [5].

Kullanılan hammaddenin yapısı ve iç temizliği çok önemli olup denge çubuğunun çalışma koşullarındaki ömrünü ve performansını belirler. Denge çubuğu üretimine kullanılacak malzemelerin uygun mikroyapı temizliğine sahip olması gerekmektedir.

3.2.1 Kimyasal bileşimin etkisi

Kullanım koşullarına ve çevre şartlarına göre yay çeliklerinden istenilen mekanik ve kimyasal özellikler yapıya ilave edilen alaşım elementleri ile sağlanır. Denge çubuğu imalatında kullanılan yay çeliklerinin kimyasal bileşimleri Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Kimyasal Bileşim (%)											
JIS	DIN	С	Si	Mn	Р	S	Cu	Ni	Cr	V	В
SUP3		0.85	0.23	0.41	0.020	0.01	0.21	0.07	0.11	_	_
SUP6	65Si7	0,56- 0,64	1,50- 1,80	0,70- 1,00	0,03	0,03	≤0,30	_	_	_	_
SUP7	65Si7	0,56- 0,64	1,80- 2,20	0,70- 1,00	0,03	0,03	≤0,30	_	_	_	_
SUP9	55Cr3	0,52- 0,60	0,15- 0,35	0,65- 0,95	0,03	0,03	≤0,30	0,09	0,65- 0,95	_	_
SUP9 A	55Cr3	0,56- 0,64	0,15- 0,35	0,70- 1,00	0,03	0,03	≤0,30	_	0,70- 1,00	_	_
SUP10	50CrV4	0,47- 0,55	0,15- 0,35	0,65- 0,95	0,03	0,03	≤0,30	0.07	0,80- 1,10	0,15- 0,25	_
SUP11 A	52MnCr B3	0,48- 0,55	0,15- 0,35	0,75- 1,00	0,035	0,03 5	0,40- 0,60	_	0,70- 1,00	_	≥0,00 05
SUP12	54SiCr6	0,51- 0,59	1,20- 1,60	0,60- 0,90	0,03	0,03	≤0,30	_	0,60- 0,90	_	_
SUP13		0,56- 0,64	0,15- 0,35	0,70- 1,00	0,03	0,03	≤0,30	_	0,70- 0,90	_	_

Çizelge 3.3 : Yay çeliklerinin kimyasal bileşimleri [6].

Elementlerin yay çeliği özellilerine etkisi aşağıda verilmektedir.

3.2.1.1 Mangan

Yay çeliklerine mangan ilavesi ingot dökümünü, haddelenmesini, dövülmesini, çekilmesini kolaylaştırır, kaynak kabiliyetini geliştirir. Mangan içermeyen yay çeliklerinin sertleştirme işleminde dış yüzeylerinde kısa bir mesafede sertleştirme meydana gelirken merkez yumuşak kalır. Mangan ilavesi ile derinlemesine sertleşme süreci hızlandırılır. Manganlı yay çeliklerinin sertleştirme işlemi, soğutma hızı suya göre daha düşük olan yağ – polimerli su banyolarında yapılarak yüzeyde çatlak oluşumunu engellenebilir [5].

Çeliğin karbon içeriğine bağlı olarak mangan ilavesi sertlik ve dayanım değerlerini arttırır, korozyon direncini iyileştirir, sünekliği azaltır. Mangan ilavesinin etkisi yüksek karbonlu çeliklerde düşük karbonlu çeliklere göre daha fazladır [7].

Manganın kükürdü bağlama özelliğinden dolayı MnS oluşturarak sıcak kırılganlığa neden olan FeS oluşumunu engeller.

3.2.1.2 Silisyum

Süneklik ve tokluk değerlerini düşürmeden çeliklerin dayanım ve sertlik değerlerini arttırır. Silisyum ilavesi ile çeliğin sıcak işlenmesi kolaylaşır, tufal oluşumu önlenir. Çeliklerin sertleşebilirliğini, aşınma dayanımını ve elastikliğini arttırmasına karşılık yüzey kalitesini olumsuz yönde etkiler. Silisyum ısıl işlem sırasında çeliklerin yüzey karbonsuzlaşma eğilimini arttırdığı için kontrollü atmosfer şartlarında ısıl işlem yapılması gerekir [5].

3.2.1.3 Krom

Çeliklerin çekme dayanımı, sertlik, yüksek sıcaklık dayanımı, tokluk, korozyon direnci, aşınma direnci, asit ve alkalilere karşı direncini arttırırken sünekliği ve sertleştirme sıcaklığını düşürür. Kabuk ve tufal oluşumunu önler, derinlemesine sertleşme özelliğini iyileştirir. Krom içeriğinin artmasıyla birlikte çeliğin kaynak kabiliyeti azalır. Bazı alaşımlarda meneviş kırılganlığına neden olduğu için nikel ve molibden ile birlikte kullanılarak bu etki azaltılmaya çalışılır.

3.2.1.4 Nikel

Çeliklerin sertleştirme sıcaklığını düşürür, aşınma direncini, mukavemetini ve tokluğu arttırır. Sıcağa ve tufalleşmeye karşı iyileştirme özelliğine sahip olup tane boyutunu küçültme etkisi vardır. Kromlu nikelli paslanmaz çeliklerde kabuk oluşumuna ve yüksek sıcaklığı karşı direnci arttırır [5].

3.2.1.5 Molibden

Sertlik, tokluk, sertleşebilme kabiliyeti, kaynak kabiliyeti, sürünme dayanımı, aşınma direnci ve yüksek sıcaklıkta işlenebilme özelliklerini arttırır. Düşük nikel- krom içeren çeliklerin meneviş gevrekliği oluşma eğilimini azaltır. Krom ile birlikte çeliklerin akma ve çekme dayanımını arttırır. Tane büyümesini önler. Yüksek molibden içeren çeliklerin dövülebilme kabiliyeti düşüktür [5].

3.2.1.6 Vanadyum

Yüksek sıcaklıkta tane büyümesi kontrolünü sağlar. Sertlik derinliğini, yüksek sıcaklık dayanımını, darbe dayanımını, akma-çekme dayanımını, tokluğu arttırır.

3.2.1.7 Bor

Düşük ve orta karbonlu çeliklere %0.0005-0.0003 bor ilavesi ile sertleşebilme kabiliyeti arttırılır.

3.2.1.8 Tungsten

Çeliklerin yüksek sıcaklık dayanımını arttırır. Menevişleme sırasında çeliklerin sertliğini kaybetmesini engeller.

3.2.1.9 Fosfor ve kükürt

Çelikte kırılganlık yapmaları ve işlenmeyi zorlaştırmalarından dolayı fosfor ve kükürt oranı azaltılmalıdır. Yay çeliklerinde fosfor içeriği en fazla %0.035 olup %0.025'e düşürülmesi, kükürdün en fazla %0.040 olup %0.025'e düşürülmesi istenir [5].

4. DENGE ÇUBUĞU ÜRETİMİ

Denge çubukları istenilen çap değerlerine ve farklı kesit geometrilerine göre 3 şekilde tasarlanabilir.

- 1. Dolu Çubuk
- 2. Boru Kesitli Çubuk
- 3. Değişken Kesitli Çubuk

En yaygın olarak kullanılan dolu çubuklar olup kullanılan üretim yöntemine ve hammaddeye göre üretim maliyetleri değişmektedir. Boru kesitli içi boş çubuklar araçta hafiflik sağlamasından ve içi dolu çubuklarla aynı rijitliğe sahip olmasından dolayı son yıllarda yaygın olarak tercih edilmektedir. Boru kesitli çubukların uçları dövme ile ya da kaynak ile şekillendirilir. Değişken kesitli çubuklar üretim maliyeti açısından çok fazla tercih edilmemektedir. Kamyon, yük aracı gibi yüksek dayanım isteyen büyük çaplardaki denge çubuklarında çoğunlukla içi dolu çubuklar tercih edilmektedir. Dolu çubukların uçları dövme ile ya da torna ile şekillendirilir [3].

Denge çubukları soğuk ve sıcak büküm olmak üzere 2 yöntemle üretilir. Boru şeklindeki ve içi dolu çubuklar 2 yöntemle de denge çubuğu formuna dönüştürülebilmektedir.

Denge çubuğu üretimi içerisinde anlatılan tüm proses akış şemaları ve fotoğrafları, üretim ekipmanlarının ve denge çubuklarının fotoğrafları Rözmaş Çelik San. Ve Tic. A.Ş.'ye aittir.

4.1 Sıcak Büküm

Denge çubukları sıcak şekillendirme yöntemi ile istenilen formda üretilebilir. Genel olarak sıcak şekillendirme yönteminde, çelik çubuk yeniden kristalleşme sıcaklığının üzerinde ısıtılır ve denge çubuğu formuna şekillendirilir. Denge çubuğunun son şekli verilirken, bitmiş çubuğun mekanik özellikleri sertleştirme-menevişleme (temperleme) prosesleri ile sağlanır [8].



Sıcak büküm proses akışı Şekil 4.1'de verilmiştir.

Şekil 4.1 : Sıcak büküm üretim süreci.

Denge çubuğu üretiminde hammadde olarak ferritik - perlitik yapıda sıcak haddelenmiş, normalize edilmiş, yüzeyleri taşlanmış veya ezilmiş yay çelik çubukları kullanılmaktadır.

4.1.1 Uç şekillendirme- uç dövme

Dövme işleminde çubukların şekil alabilme yumuşaklığına getirmek için indüksiyon akımları ile veya doğalgazla çalışan fırınlarda uç kısımları ısıtılır. Uç tavlama işlemi 950-1200 ⁰C arasında yapılarak, çelik çubuk ısı etkisinde yumuşak, şekillendirmeye uygun yapıya östenit yapısına dönüştürülür. Isıtma sıcaklıkları çubuğun hammaddesine, çubuk çapına ve kalınlığına göre belirlenmekte olup çelik çubuğun şekillendirilmeye uygun mikroyapıya ulaşabileceği değerlerde olmalıdır. Sıcaklık düşük tutulursa çubuğa şekil verme zorlaşır ve dövme kalıpları daha fazla zorlamaya maruz kaldıkları için hızlı aşınır. Sıcaklık yüksek tutulursa akışkanlık çok artacağı için daha fazla çapak açığa çıkar ve metal dövme yükü etkisinde kaçabileceği kolay yöne doğru akar. Yüksek sıcaklık nedeniyle çubuk yüzeyinden karbon difüzyonu

hızlanacağı için dekarbürizasyon oluşumu artar, çubuk yüzey sertliğinde düşme meydana gelir. Isıtma sonrası dövmeye giren çubuğun sıcaklığının 940-950 ⁰C de olması gerekmektedir.

Uç kısmı ısıtılan çubuk basma kuvveti etkisinde dövme tezgâhlarında şekillendirilir. Dövme işlemi sonrası parçadaki istenmeyen fazla kısımlar çapak kesme tezgâhında giderilir. Delik delme operasyonu çubuğun et kalınlığına ve delik çapına göre uygun delici tezgâh veya aletlerle yapılır. Isı etkisinde çubukta meydana gelen çarpılmalar ütüleme işleminde basma yükü ile düzgün hale getirilir.

4.1.2 Sıcak büküm - tavlama

Büküm işlemi tavlama- büküm- sertleştirme işlemlerinden oluşur. Büküm işleminde çubukların istenilen şekle getirilebilmesi için, çubuklar yeterli yumuşaklığa ulaşabilecekleri firin sıcaklığında (900-950 ⁰C) tavlama işlemine tabi tutulurlar. Tavlama işleminde ısıtılan ve östenit yapıda şekil verilmeye uygun hale getirilen çubuklar büküm aparatında büküldükten sonra yağ banyosunda soğutularak sertleştirme yapılır.

4.1.3 Sertleştirme

Sertleştirme işleminde büküm kalıbından çıkan 815-870 ⁰C sıcaklığındaki çubuklar 40-70 ⁰C sıcaklıktaki yağ banyosuna daldırılarak sertleştirme işlemi yapılır. Düşük yağ banyosu sıcaklıkları, çubukta hızlı soğuma etkisinde çarpılma, çatlak oluşumu heterojen sertlik dağılımlarının oluşmasına neden olur. Yüksek yağ banyosu sıcaklıkları, yağın yanmasına, fazla duman çıkışına ve yağın kullanım ömrünün kısalmasına neden olur. Sertleştirme banyosunda çubukların kalma süresi çubuk çapına ve malzeme özelliklerine göre belirlenmektedir.

Sertleştirme sonrası yapının mekanik özellikleri ve soğuma davranışı kullanılan soğutma banyosuna, banyo sıcaklık-konsantrasyon özelliklerine ve soğutma süresine göre değişmektedir. Sertleştirme işlemi sonunda sıcak bükümle şekillendirilen denge çubuklarında 50-59 HRC sertlik istenmektedir.

4.1.4 Menevişleme

Sertleştirme işleminde hızlı soğuma etkisinde çubukta meydana gelen iç gerilmeler malzemenin yorulma dayanımını, ömrünü ve tokluk değerlerini düşürür. Yük etkisinde kırılganlığa neden olan iç gerilmelerin giderilmesi ve malzemenin kullanım ömrünün ve dayanımının arttırılması için menevişleme (temperleme) işlemi yapılır.

Yağda sertleştirilen çubukların yüzeyindeki yağ tabakası menevişe girmeden önce su ile yıkanarak giderilir. Sertleştirme sonrası martenzit yapıdaki sert ve kırılgan çubuklar meneviş fırınında malzemeye göre belirlenen 240-550 ^oC aralığındaki sıcaklıklarda menevişlenerek gerilimleri giderilir ve tempermartenzit forma dönüşür. Menevişleme sonrası çubukların sertlik değerlerinde biraz düşüş meydana gelirken şekil verilebilme ve tokluk özellikleri iyileşir. Meneviş işleminde uygun sıcaklıkta tavlanan çubuklar, su püskürterek veya soğutma kabininde bir süre tutulduktan sonra oda koşullarında soğutulur.

4.1.5 Doğrultma

Doğrultma işleminin amacı sertleştirme sırasında çubuk şeklinde olabilecek çarpılmaları belirleyerek gidermektir. Mastar (kalıp) kontrolü ile çubuğun şekli kontrol edildikten sonra basma kuvveti etkisinde çubuk şeklindeki çarpılmalar giderilir.

Doğrultma yapılacak bölgeler çubuğun stres bölgeleri olmamalıdır. Çubukta gerilmelerin yığıldığı stres bölgeleri olan omuz bölgelerine, dövme bölgelerine doğrultma yapılmaz. Bu bölgelerde gerilmeler yoğunlaştığı için basma kuvvetinin uygulanması çubuğun çabuk kırılmasına neden olur.

4.1.6 Kumlama

Kumlama işleminin amacı kontrollü şartlar altında yüksek hıza sahip küçük, küresel ve sert bilya akımının parça yüzeyine çarptırılarak plastik deformasyon ile kalıcı bası gerilmeleri oluşturmaktır.

Kumlama işlemi hem yüzey temizleme hem de yorulma dayanımını arttırma yöntemi olarak ifade edilebilir. Yorulma çatlakları genellikle parça yüzeyine etki eden çekme gerilemeleri nedeniyle oluşur. Yüzeyde oluşturulan basma gerilmeleri ile istenmeyen çeki gerilmeleri giderilerek malzemenin yorulma ömrü arttırılmaktadır.

Bilya akımı metal yüzeyine çarptırılırken, dövülen metal yüzeyinde plastik akma meydana gelirken iç kısımlarda elastik şekil değişimi oluşur. Plastik deformasyona uğrayan yüzey bölgesi genişlemeye çalışırken elastik deformasyona uğrayan iç bölge ise bu harekete engel olmaya çalışır. İç bölge genişlemeye çalışan yüzeyde basma kuvveti uygular. Plastik deformasyona uğrayan yüzey ilk boyutuna dönmeye çalışan iç bölgelere çekme kuvveti uygular. Yüzeydeki basma gerilmeleri iç bölgelerdeki çekme gerilmeleri ile dengelenir [9]. Kumlanmış parçadaki artık gerilme profili Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2 : Kumlanmış parçadaki artık gerilme profili [9].

Üst kısımdaki şekil artık gerilme bulunmayan elastik gerilme dağılımı, orta kısımdaki şekil kumlama sonrası artık gerilme dağılımını, alttaki şekil artık gerilme ve harici eğme gerilmelerinin toplamı sonucu gerilme dağılımını göstermektedir.

Kumlamanın etkisi, yüksek mukavemetli malzemelerde düşük mukavemetli malzemelere göre daha yüksektir. Yorulma ömrü açısından uzun ömürlü yorulmaya etkisi kısa ömürlü yorulmaya kıyasla daha yüksektir. Yüzey pürüzlülüğü açısından incelendiğinde çatlak eğilimi olan yüzeylere etkisi pürüzsüz yüzeylere göre daha yüksektir.

Bilya hızı ve çapı arttıkça malzeme yüzeyinde daha derin bölgelerde kalıcı basma gerilimi bölgeleri oluşur. Bilyanın parçayla temas yarıçapı küçüldükçe parça yüzeyindeki kalıcı basma gerilmeleri artar [10].

Kumlama işleminde denge çubuklarına 0.9'luk bilyalarla soğuk kumlama yapılır. Kumlama kabinin içindeki kum püskürtme kanatları belli açılarda olup çubuğun omuz bölgesine gelecek şekilde, düz olan yerler ise orta kısımlara gelecek şekilde ayarlanır. Kumlama işlemi için her ürüne özgü tasarlanan askılar kullanılır. Kumların elek analizi yapılarak bilya çapı kontrol edilir.

4.1.7 Aksesuar montajı

Denge çubuğunun çalışma koşullarına, kullanım yerine göre halka, braket, kauçuk takoz parça montajı yapılmaktadır.

4.1.8 Boyama

Boyama işlemi çubuğun korozyon dayanımını belirlediği için çok önemlidir. Denge çubukları aracın dış ortama açık kısmında bulundukları ve korozif ortamla temas halinde oldukları için boya tabakasındaki çizikler korozyona uğrama hızını arttırır.

Boyama işlemi toz ve kataforez boyama olarak 2'ye ayrılır. Çubuk yüzeyindeki boya tabakasının düzgünlüğü toz boyamada daha iyidir. Kataforez boyamada boya tabakası darbelere karşı çok fazla dayanıklı değildir, güneş almayacak ortamlarda kullanılması gerekir fakat korozyon direnci ve yapışkanlık özelliği daha yüksektir. Kataforez boyamada boya tabakası kalınlığı en fazla 30 mikronlardayken toz boyamada en fazla 300 mikron seviyelerine ulaşılabilmektedir.

4.1.8.1 Toz boyama

Toz boyama operasyonunda ilk aşama kumlamadan gelen çubukların uygun şekilde boyama askılarına asılmasıdır. Boyama işlemi korozyon direnci açısından çok önemli olduğu için çubukların askılara asılma şekli dolayısı ile askıya temas ederek boyanmayacak kısımları belirlenen sınırlar içerisinde kalmalıdır.

Denge çubukları boyama öncesi yüzeylerinde var olabilecek kirleticilerin, yağ tabakaların giderilmesi için yüzey hazırlama işlemlerinden geçer. Yüzey hazırlama işlemleri yağ alma, aktivasyon, fosfatlama, ve pasivasyon işlemlerinden oluşur. Yağ alma işleminde yıkanan çubukların yüzeylerindeki kirleticiler giderilir. Yıkama sonrası durulanan çubuklar aktivasyon banyosuna daldırılarak yüzey fosfat banyosuna hazırlanır. Fosfatlama işleminin amacı boyanın yüzeye yapışmasını sağlamaktır. Çubukların yüzeyinde kalan fazla fosfatın giderilmesi için durulama işlemi yapılır. Yüzeyde fosfatlama işleminde oluşan kristalleşmeyi gidermek için pasivasyon işlemi yapılır. Son işlem olarak deiyonize suya daldırılan çubukların

yüzeyindeki kimyasallar giderilir. Yüzey temizleme işlemi tamamlanan çubuklar kurutma fırınına girerek nem alma işlemi yapılır.

Toz boyanın çubukların yüzeyine tutunması için elektrik akımı uygulanır ve topraklanır. Boya tabancası ile çubuk üzerine püskürtülen elektrostatik olarak yüklenmiş boya tozları çubuklara yapışır. Boya tozları tabancadan çıkarken – yük ile yüklenir ve topraklanmış çubuk yüzeyine zıt kutupların birbirini çekmesi üzerine yapışır. Ayrıca aynı yüklü boya tanelerinin birbirini itmesi sorucu çubuk yüzeyinde homojen dağılımı sağlar, akıntı ve damlama önlenir [5]. Toz boyama prensibi Şekil 4.3'de gösterilmektedir.



Şekil 4.3: Elektrostatik toz boyama [5].

Boyanan parçalar fırın içerisinde belirlenen sıcaklık (150 - 200 ⁰C) ve sürede pişirilir.

4.1.8.2 Kataforez boyama

Kataforez boya işleminde çubuklar sıvı boya ortamına daldırılarak boyama işlemi gerçekleştirilir. Boyama öncesi çubuk yüzeyini hazırlama işlemleri toz boyama işlemi ile aynı süreçte ilerler. Boyamaya hazır olan çubuklar su boya karışımının olduğu havuzlara daldırılarak elektriksel yüklenmenin etkisi ile boyama gerçekleştirilir. Sıvı ortamda boyalar püskürtmeyle yapılan toz boyamaya göre daha iyi yüzeylere tutunur. Boyanan çubuklar fırınlarda pişirilerek boyama operasyonu tamamlanır.

Boyama işleminde çubuğun belirli bölgelerindeki boya kalınlıkları farklıdır. Dövme bölgeleri torku sağlamak amacı ile boyanmaz ya da istenilen seviyelerde ince bir boya tabakası ile kaplanır.

4.1.9 Tanım rengi

Üretimi tamamlanmış çubukların belirlenen renklerle sınıflandırılması ve karışmasının önlenmesi amacı için uygulanmaktadır.

Sıcak şekillendirme boyunca ulaşılan sıcaklıklarda, çelikte pullanma ve dekarbürizasyon meydana gelebilir. Bitmiş üründe dekarbürizasyon ve pullanma yüzeyleri giderilmelidir. Bu durum sıcak şekillendirmede ilave işlemler gerektirdiği ve malzeme kaybına neden olduğu için maliyette artışa neden olur. Ayrıca çeliğin şekillendirme sıcaklığına ısıtılması sırasında enerji harcandığından dolayı pahalı bir yöntemdir. Su verme ve menevişleme proseslerindeki enerji tüketimi de üretim maliyetlerinin artmasına neden olur [8].

4.2 Soğuk Büküm

Soğuk büküm işleminde ferritik-perlitik yapıda sıcak haddelenmiş, normalize edilmiş yüzeyi taşlanmış veya ezilmiş yay çeliği çubukları kullanılır. Soğuk bükme işleminde hem boru tipi hem de içi dolu çubuklar kullanılabilir. Sıcak bükümden denge çubuğu üretimindeki bir farkta önce büküm daha sonra dövme işleminin yapılmasıdır.

Soğuk büküm proses akışı Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4 : Soğuk büküm üretim süreci.

4.2.1 Büküm

Soğuk büküm operasyonunda çubuklar, CNC kontrollü büküm tezgâhlarında denge çubuğu formuna getirilir. Hidrolik sistemle çalışan tezgâhlarda hem bükme hem de sıkıştırma işlemi yapılır. Bükülen çubuklara mastar kontrolü yapılarak çubuk formunun doğrulaması yapılır.

4.2.2 Tavlama

Büküm sonrası çubuklar kondüksiyonlu ısıtma tezgâhlarında 2 ucundan bakır elektrotlar vasıtası ile elektrik akımı verilerek uygun sıcaklığa ısıtılır. Tavlama sıcaklığı ve süresi malzemeye ve çubuk çapına göre değişmekte olup yaklaşık olarak ısıtma 820-950 ⁰C'de yapılmaktadır. Büküm sonrası perlitik ferritik yapıdaki çubuğun mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi, istenilen sertlik değerlerinin sağlanması için tavlama - sertleştirme işlemleri yapılır.

4.2.3 Sertleştirme

Tavlama sonrası sıcak parçalar soğutma banyosuna daldırılarak sertleştirme işlemi yapılır. Sertleştirme sonrasında ulaşılan sertlik değerleri, soğutma kabiliyetine, kullanılan soğutma banyosuna ve banyo parametrelerine göre değişir. Soğutma banyosuna parçanın giriş sıcaklığı malzemeye göre değişir. Soğuk bükümle şekillendirilen parçaların sertleştirme ortamı olarak genellikle su (en fazla 40 ^oC) ve polimerli su (25-45 ^oC) kullanılmaktadır. Banyo sıcaklığı ve soğutma sürelerinin sertleştirme operasyonuna etkileri sertleştirme ortamları bölümünde detaylı olarak verilmiştir. Sertleştirme işlemi sonunda denge çubuklarında en az 43-57 HRC arasında sertlik istenmektedir.

4.2.4 Menevişleme

Sertleştirilen çubuklar, malzeme yapısına ve çubuk çağına göre belirlenen uygun ve sürede menevişleme işlemine tabi tutularak gerilimleri giderilir. Malzemenin yapısına göre sertleştirme sonrası menevişlemeye giriş süresi değişir. Sertlikten az bir düşüş olmakla birlikte tokluğu artmış tempermartenzit yapı elde edilir. Soğuk büküm ile şekillendirilen çubukların menevişleme sıcaklığı malzeme yapısına bağlı olarak 230-550 ⁰C arasında değişmektedir. Menevişleme sonrası istenen sertlik değeri en az 42-53 HRC'dir. Sertlik değerleri malzemeye göre değişkenlik göstermektedir.

4.2.5 Uç şekillendirme

Uç dövme hattında bükülmüş çubuğun bir ucundan 850-880 ⁰C'de ısıtıldıktan sonra dövme-delik delme ve ütüleme işlemi yapılmaktadır. Dövme öncesinde uç tavlama operasyonu indüksiyon akımları ile sağlanır.

Uç şekillendirme işleminden sonra yapılan mastar kontrolü, doğrultma, kumlama, boyama, tanım rengi operasyonları sıcak büküm operasyonları ile aynı şekilde yapılmaktadır.

5. ISIL İŞLEMİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

Yay çeliklerinin gerek kullanım alanları gerek beklenen özelliklerinden dolayı yüksek akma dayanımı, yorulma dayanımı ve orantı sınırına sahip olmaları gerekmektedir. İstenilen mekanik özelliklerin ilk olarak çeliğin karbon oranı veya uygun alaşım elementi içeriği ile sağlanabilir. İkinci olarak ise uygun ısıl işlem koşulları gerekmektedir.

Malzemelerin yüzey ve merkezleri arasındaki sıcaklık farkları ve faz dönüşümlerinden dolayı ısıl işlem sonrasında ve ya termomekanik davranışlar sonucunda oluşan hacim değişimleri sonrasında artık iç gerilmeler oluşur. Artık gerilmeler yük altında çalışan parçaların yorulma dayanımlarının azalmasına neden olur.

Malzemede mekanik özelliklerin homojen olması için alaşım elementlerinin dağılımının homojen, östenitleşme sıcaklığının yüksek, sertleştirme süresinin uygun olması, iç gerilmelerin ve tane sınırlarındaki empürite yığınlarının en aza indirilmesi gerekmektedir.

Isıl işlem tavlama(östenitleştirme) – sertleştirme –menevişleme olmak üzere 3 aşamadan oluşur.

5.1 Tavlama-Östenitleştirme

Isıl işlem süreci östenitleştirme aşaması ile başlar. Östenit fazı çelikler için en yüksek karbon çözünürlüğüne sahip oldukları fazdır. Tavlama sıcaklığı ve süresinin belirlenmesi çok önemlidir. Yüksek tavlama sıcaklıklarında tane kabalaşması, oksidasyon ve dekarbürizasyon meydana gelebilir. Sertlik ve yorulma dayanım değerleri düşer. Alaşım elementleri tavlama sıcaklığının belirlenmesinde çok önemlidir.

Karbonlu çelikler için ısıl işlem sıcaklığının demir karbon diyagramı üzerinden gösterilmesi Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1 : Karbonlu çelikler için ısıl işlem sıcaklık aralığı [11].

Östenit dönüşümün başlama sıcaklığı (A_{öl}) (5.1.)

$$(A_{\delta 1}) = 727 - 16,9Ni + 29,1Si + 6,38W - 10,7Mn + 16,9Cr + 290 As$$
 (5.1)

Östenit dönüşümün bitiş sıcaklığı (A_{ö3}) (5.2)

$$(A_{\ddot{o}3}) = 910 - 203 \sqrt{c} + 44,7Si - 15,2Ni + 31,5Mo + 104V + 13,1W - 30Mn + 11Cr + 20 Cu - 700P - 400Al - 120 As - 400 Ti$$
(5.2)

Martenzit dönüşümünün başlama sıcaklığı (M_s) (5.3)

$$(M_s) = 539 - 423C - 30,4Mn - 17,7Mn - 12,1Cr - 11Si - 7Mo$$
 (5.3)

Beynit dönüşümünün başlama sıcaklığı (B_S) (5.4)

$$(B_{\rm S}) = 830 - 270C - 90Mn - 37Ni - 70Cr - 83Mo$$
(5.4)

Martenzit oluşumu için izin verilen maksimum sertleştirme süresi (MS) (5.5)

$$Log (MS) = 3,725C + 0,046Si + 0,626Mn + 0,706Cr + 0,52Mo + 0,026Ni + 0,675Cu - 1,818$$
(5.5)

Ötektoid altı çelikler için (5.6)

Östenitleşme sıcaklığı =
$$A_{03} + (20 - 40)^{0}C$$
 (5.6)

Ötektoid üstü çelikler için (5.7)

Östenitleşme sıcaklığı =
$$A_{o1} + (20 - 40)^{0}C$$
 (5.7) [11]

5.2 Sertleştirme

Yay çeliklerinin ısıl işlem sürecinde yüksek sertlik ve akma dayanımı değerleri sertleştirme operasyonu ile sağlanır. Martenzit oluşumu çeliğin akma dayanımını arttırırken malzemenin gevrekleşmesine dolayısı ile kullanım alanlarının kısıtlanmasına neden olur.

Tavlama sonrası yumuşak KYM'li östenit fazı hızlı soğuma etkisinde kafes yapısındaki değişimlerle THM'li sert martenzit formuna dönüşmüştür. Dönüşüm sırasında KYM'li yapıdaki arayer atomları (karbon) hızlı soğuma esnasında kafesi terk edemediklerinde kafes içerisinde sıkışarak gerilimlere ve kafes yapısında değişime neden olur. Çeliklerde karbon miktarı arttıkça arayer boşluklarına daha fazla karbon atomu sıkışacağından sertlik değeri artar [12].

Dönüşüm sırasında beynit, perlit, ferrit gibi ara fazların oluşmasını, yapıda artık östenitin kalması malzemenin sertlik ve dayanım değerlerini düşürür. Ara fazların oluşumunu engellemek için hızlı soğutma yapılır.

Kafes yapısının değişmesi içyapıda zorlamaların meydana gelmesine ve istenmeyen gerilimlerin oluşmasına neden olur. Oluşan yeni yapının uzama, kesit alanı daralması, süneklik, tokluk, öteleme gerilimi ve yorulma dayanım değerlerinde düşme meydana gelir [5].

Yüksek sertlikteki bu fazın tokluğunun düşük olması, içyapısında ki gerilimlerin yüksek olmasından dolayı endüstriyel koşullarda bu hali ile kullanılamaz. Bu yüzden yapıdaki gerilimi gidermek ve sertlikten az bir kayıp ile birlikte tokluk derini arttırmak için menevişleme operasyonu yapılır.

5.3 Menevişleme

Menevişleme işlemi ile sertleştirilmiş çeliğin özellikleri modifiye edilerek sertlikte belirli sınırlarda düşme gerçekleşirken darbe dayanımı ve süneklikte artış meydana gelir. Sertleştirme sonrası oluşan sert ve kırılgan martenzit yapısı temper martenzit yapısına dönüşür. Yapı içerisinde gerilimler giderilirken tok bir yapı elde edilir [5]

Isıl işlem sonrası ferrit matriste karbür çökeltilerinin veya beynit yapısının oluşmasını menevişleme işleminin sıcaklığı ve süresi belirler [5]. Menevişleme işlemi sıcaklığı ve süresi malzemeden beklenen mekanik sertlik, çekme dayanımı, akma dayanımı, darbe direnci, süneklik gibi mekanik özelliklere göre

belirlenmektedir. SAE5160 çelik malzemesinin menevişleme süresinin belirlenmesi için kullanılan grafikler Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.2 : SAE 5160 çeliği-Sertlik-Menevişleme sıcaklığı - süresi ilişkisi [13].

SUP3 çelik malzemesi için menevişleme sıcaklığının mekanik özelliklere etkisi Şekil 5.3'de verilmiştir. Şekildeki Ç.D çekme dayanımını, A.D. akma dayanımını belirtmektedir.



Şekil 5.3 : SUP3 çeliği - Menevişleme sıcaklığı- Mekanik özellikler ilişkisi [4].

SUP3 çelik malzemesinin kimyasal kompozisyonu Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Kimyasal Kompozisyon – SUP3 (C çeliği)										
С	Si	Mn	Р	S	Cu	Ni	Cr			
0.85	0.23	0.41	0.020	0.013	0.21	0.07	0.11			
Tavlama: 745 C- 2 saat, Sertleştirme; 845 C-30dk- yağ										

Çizelge 5.1 : SUP3 çelik malzemesinin kimyasal kompozisyonu [4].

SUP6 çelik malzemesi için menevişleme sıcaklığının mekanik özelliklere etkisi Şekil 5.4'te verilmiştir.



Şekil 5.4 : SUP6 çeliği-Menevişleme sıcaklığı- Mekanik özellik ilişkisi [4].

SUP6 çelik malzemesinin kimyasal kompozisyonu Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.2 : SUP6 çelik malzemesinin kimyasal kompozisyonu [4].

Kimyasal Kompozisyon-SUP6-65Si7 (Si-Mn çeliği)										
С	Si	Mn	Р	S	Cu	Ni	Cr			
0.58	Oca.61	0.83	0.020	0.012	0.18	0.11	0.11			
Tavlama: 750 C- 2 sa, Sertleştirme; 845 C-30dk- yağ										

Sertleştirme işleminden sonra sertlik 50-60 HRC iken meneviş sonrası 40-49HRC ye düşer.

6. SERTLEŞTİRME- SOĞUTMA İŞLEMİ

Isıl işlem sonrasında malzemeye sertlik kazandırmak için uygun koşullarda hazırlanmış soğutma banyosuna sıcak iş parçası daldırılarak su verme (sertleştirme) işlemi yapılır.

Çelik malzemeler östenitleşme sıcaklığından (815- 870 C) hızla soğutma banyosuna daldırılarak sertleştirilirler. Paslanmaz ve yüksek alaşımlı çeliklerde su verme işlemi ile tane sınırlarındaki karbürler minimize edilir, ferrit dağılımı düzenlenir [14].

Su verme ortamının seçimi alaşımın sertleşebilirliğine, parçanın kesit kalınlığına ve şekline, istenilen mikroyapının elde edilebilmesi için gereken soğutma hızına bağlıdır. Soğutma kapasitelerine göre çoğunlukla kullanılan su verme ortamları;

- Tuz çözeltileri
- Su
- Polimerli su
- Yağ
- Ergimiş tuz
- Ergimiş metaldir.

6.1 Soğutma İşleminde Oluşan Fazlar

Sıcak parçanın sıvı soğutma banyosuna daldırılarak sertleştirilme işlemi buhar fazı, kaynama fazı ve konveksiyon fazı olmak üzere 3 fazda meydana gelmektedir.

Sıcaklık ve süreye bağlı olarak soğutma fazlarının değişi Şekil 6.1'de verilmiştir.



Şekil 6.1 : Soğutma mekanizmaları [15].

6.1.1 Buhar fazı

Soğutmanın ilk aşaması, sıcak parçanın soğutma banyosuna daldırıldığı anda etrafını kaplayan homojen, yalıtkan buhar örtüsünün oluşma fazıdır. Parçanın iç kısmından yüzeyine doğru aktarılan ısı, soğutucunun buharlaşması için gereken miktardaki ısıya ulaşana kadar buhar örtüsü korunur. Buhar örtüsü banyo sıvısını sıcak parçadan uzaklaştırır. Buhar fazında soğuma hızı yalıtkan örtü tabakasının ısı transferini engellemesinden dolayı düşüktür. Bu aşamada soğuma buhar filminin içerisinden radyasyonla meydana gelmektedir.

Sıcak parçanın iç kısmından dışarıya doğru aktarılan sıcaklık banyo sıvısının kaynama sıcaklığının üstüne çıktığı anda kaynama fazı başlar. Leidenfrost sıcaklığı olarak isimlendirilen sertleştirme banyosundaki geçiş sıcaklığı sertleştirilen parçanın başlangıç sıcaklığından bağımsız olup sıvının kaynama sıcaklığı ve parça ile sıvı ortam arasındaki ısı transferi ile ilişkilidir [14].

6.1.2 Kaynama fazı

En yüksek soğuma hızı kaynama fazında meydana gelir. Kaynama fazında, yalıtkan buhar tabakasın parçalanması ve sıcak parçanın soğutma ortamı ile teması sonucunda yüksek ısı transferi hızlarına ulaşılır. Soğutucu sıvı, metal yüzeyi ile temas ederken ısı yüzeyden hızla uzaklaştırılır ve soğutucu hızla buharlaşır [14].

Banyo ortamındaki soğuma hızının buhar fazında ve kaynama fazındaki değişimi araştırmacılar tarafından 24mm çap - 72 mm uzunluğundaki Inconel 600 malzemesi

kullanılarak 300 ile 800 °C arasındaki sıcaklıklarda su banyosunda sertleştirilerek tespit edilmiş olup Şekil 6.2'de gösterilmektedir [14].



Şekil 6.2 : Soğuma hızı ilişkisi [14].

6.1.3 Konveksiyon fazı

Metalin yüzey sıcaklığı, soğutucu sıvının kaynama noktasının altına düştüğünde konveksiyon fazı başlar. Bu sıcaklığın altında kaynama durur, soğutma konveksiyon ve ısı iletimi ile gerçekleşir. Soğutma hızı soğutucunun viskozitesine bağlı olup artan viskozite ile birlikte soğutma hızı düşer [14].

Sertleştirme operasyonunda soğuma hızlarının 3 faz içerisindeki değişimi Şekil 6.3'de verilmiştir.



Şekil 6.3 : Soğuma Hızı- Soğutma Fazları İlişkisi [16].

6.2 Sertleştirme Operasyonuna Etki Eden Parametreler

Sertleştirme operasyonunda en önemli parametreler parçanın soğuma hızı ve banyonun soğutma kabiliyetidir.

6.2.1 Parçanın soğuma hızına etki eden parametreler

Sertleştirme banyosuna daldıran sıcak parçanın soğuma hızına etki eden parametreler;

- Sıcak parçanın geometrisi, kalınlığı,
- Parçanın soğutucu sıvısına temas eden yüzey alanı,
- Soğutucu cinsi,
- Soğutucu banyo sıcaklığı,
- Parçanın banyoda kalma süresi,
- Banyonun ıslatma-soğutma kabiliyeti,
- Parça yüzeyindeki oksit tabakasının kalınlığı,
- Malzemenin 1s1 iletkenliğidir.

Parça geometrisine bağlı olarak kesit alanında farklılıklar olan parçalarda soğutma esnasında et kalınlığına bağlı olarak farklı soğuma hızları meydana gelebilir. Et kalınlığı düşük olan bölgelerde yüzey ile merkez arasındaki sıcaklık farkı azalırken sertlik değeri birbirine yakındır. Et kalınlığı arttıkça parçanın ısı iletim katsayısına da bağlı olarak sertleştirmenin ilk anlarında yüzey ve merkez arasındaki sıcaklık farkından dolayı farklı sertlik değerleri elde edilir Homojen kesit dağılımı ve ince et kalınlığı olan parçalarda sertleştirme sonrası yüzey-merkez arasında yakın sertlik değerleri elde edilirken parça boyutunca homojen soğutma sağlanır.

Soğutma banyosuna temas eden sıcak parçanın yüzey alanı arttıkça soğuma hızı artar. Artan temas alanı ile yüzeyden ortama ısı akışı hızlanır.

Soğutucu cinsine göre parçanın soğuma hızı değişmektedir. Soğutma ortamının parçayı ıslatma kabiliyeti, akışkanlığı, ısıyı homojen dağıtabilmesi ve ısı iletkenliği ne kadar fazla ise parçanın soğuma hızı o kadar artar. Farklı banyo ortamlarındaki soğuma hızı değişimi Şekil 6.4'de gösterilmektedir.



Şekil 6.4 : Soğutma ortamı - Soğutma Hızı İlişkisi [14].

Sertleştirme banyo sıcaklığı arttıkça parça ile banyo ortamı arasındaki sıcaklık farkının azalmasından dolayı sıcaklık akış hızı yavaşlar ve bu durum soğuma hızının azalmasına neden olur. En yüksek soğutma hızı soğutma ortamına daldırılmış olan sıcak parçanın sıcaklığı ile banyo sıcaklığı arasındaki farkın 350-400 ⁰C olduğunda sağlanır. Yüksek banyo sıcaklığı, buhar fazındaki soğuma süresini artırır, karıştırma ve konveksiyon fazlarında ki soğuma hızını yavaşlatır.

Araştırmacılar tarafından 38 mm çaptaki çubuk parça için farklı banyo sıcaklıklarında yapılan suda sertleştirme operasyonunun sonuçları Şekil 6.5'de verilmiştir [14].



Şekil 6.5 : Suda sertleştirme- Soğuma hızı- Banyo sıcaklığı ilişkisi [14].

Sabit banyo sıcaklığında sertleştirme süresi arttıkça parçada ulaşılan yüzey sertlik değeri düşerken parçanın yüzeyi ile merkezi arasındaki sıcaklık farklı azalacağı için derinlemesine sertleşebilirlik sağlanır [14]. Kısa süreli sertleştirme operasyonlarında çubuk banyo ortamından tam soğumadan çıkarsa tam sertleşme sağlanamaz ve yüzey-merkez sıcaklık farkının yüksek olması termal gradyantların oluşmasına, parçada çarpılmalara ve kalıntı gerilmelerin oluşmasına neden olur.

Banyoda kalma süresi ile parçanın yüzey sertliği arasındaki ilişki Şekil 6.6'da verilmiştir.



Şekil 6.6 : Banyoda kalma süresi- Yüzey sertliği İlişkisi [14].

Parçanın yüzeyinde bulunan oksit tabakasının kalınlığı ne kadar fazla ise soğutucu sıvının parça ile olan temasını engelleyip yalıtkanlık görevi göreceğinden dolayı soğuma hızı yavaşlar.

Sıvı banyo ortamına daldırılan parçanın ısı iletkenliği ne kadar yüksekse sıcak parçadan banyo ortamına ısı transferi artar ve soğuma hızlanır.

6.2.2 Sertleştirme banyosunun soğutma kabiliyetine etki eden parametreler

Sertleştirme operasyonu sırasında banyonun soğutma kabiliyetine etki eden parametreler;

- Banyo ortamının ısı iletim katsayısı,
- Banyo sıvısının viskozitesi,
- Banyo sıvısının buharlaşma ısısı kaynama sıcaklığı
- Buhar örtü tabakası,
- Banyonun karıştırılmasıdır.

Sıcak parçanın banyo ortamına daldırıldığı anda banyo sıvısının ısı iletim katsayısı ne kadar yüksekse banyonun soğutma kabiliyeti o kadar artar.

Banyo sıvısının viskozitesinin yüksek olması homojen olmayan ısı dağılımlarının oluşmasına, lokal soğumalara, parça yüzeyinde noktasal sıcak bölgelerin kalabilmesine ve bu durumların sonucunda düzensiz sertlik değerlerinin ortaya çıkmasına neden olur. Akışkanlık arttıkça parça ile banyo ortamı arasındaki ısı transferine bağlı olarak ortaya çıkan ısı, banyoya homojen olarak dağıtılabilir.

Parçanın banyo ortamına daldırılması sırasında banyo sıvısının buharlaşma ısısı ne kadar düşükse buhar fazından kaynama fazına geçiş o kadar hızlanır, yalıtkan buhar örtüsü daha kolay ve kısa sürede parçalanır. Buharlaşma ısısı ve kaynama sıcaklığı yüksek olan banyo sıvılarında soğutma fazlarının oluşması için geçen süre artar ve soğuma yavaşlar.

Soğumanın ilk aşamasında oluşan buhar örtü tabakasının kalınlığı ne adar ince ise ve sıvının buharlaşma ısısına bağlı olarak ne kadar kısa sürede parçalanabilirse soğuma o kadar hızlanır, banyonun soğutma kabiliyeti artar. Segerberg tarafından yapılan çalışmaların sonuçlarına göre, buhar fazında östenitten perlit yapısına faz dönüşümleri meydana gelmektedir. Bu durumdan dolayı buhar fazından kaynama fazına geçiş süresi ne kadar fazla ise perlit dönüşümleri artacağı için sertleştirme sonrası malzemenin sertliği düşmektedir. Segerberg tarafından yapılan deneysel çalışmalar sonucunda yağ banyosunda yapılan sertleştirme sonucunda sertlik ile soğuma hızı arasındaki ilişki Şekil 6.7 'de görülmektedir. Sertlik değerleri HRC olup her grup içerisindeki üst çizgiler merkez, alt çizgiler yüzey sertlik değerlerini vermektedir [16].



Şekil 6.7 : Soğuma Hızı- Sertlik ilişkisi – Yağ banyosu [16].

Soğutma ortamının karıştırılmasının ısı transferi üzerine önemli etkisi vardır. Karıştırma, buhar fazında oluşan buhar örtüsünün mekanik bozulmasına ve kaynama fazına hızlı bir şekilde geçişe neden olur. Karıştırma yapılmazsa, metal yüzeyinden düzensiz ısı uzaklaştırılmasından dolayı oluşan sıcak noktalar homojen olmayan bir soğutmaya neden olur. Bu durum parçada düzensiz sertlik değerlerine, yüzey çatlaklarının artmasına, distorsiyona ve iç gerilmelerin oluşmasına neden olur [14]. Artan karıştırma ile buhar fazında soğuma süresi kısalırken 3 bölgede de soğuma hızı artar. Diğer bir taraftan martenzit oluşma bölgesindeki karıştırma hızının arttırılması çatlak oluşumu ve distorsiyona yol açan termal ve dönüşüm gerilimlerini arttırabilir. Uygun sertliğin ve düşük çatlak oluşma- distorsiyon eğiliminin sağlanması için buhar ve kaynama fazında hızlı soğuma sağlanabilir. Karıştırma hızının kontrolü ile martenzite başlama sıcaklığında yavaş soğumaya yapılabilir [17].

6. 3 Farklı Sertleştirme Ortamları

Sertleştirme operasyonunda parçanın soğuma karakterini belirleyen en önemli parametrelerden biri soğutma ortamlarıdır. Yüksekten düşük soğuma hızları sırası ile tuz çözeltileri, su, polimerli su, yağ, tuz banyosu, akışkan yataklar ve gazlar banyolarında elde edilmektedir. Tez çalışmamda 3 farklı banyo ortamının denge çubuklarının yorulma ömrü üzerine etkisini araştırdığım için bu kısımda su, polimerli su ve yağ olmak üzere 3 farklı banyo ortamlarının özelliklerinden ve soğutma karakteristiklerinden bahsetmekteyim.

6.3.1 Polimerli suda sertleştirme

Özellikle takım çeliği, rulman gibi çatlak hassasiyeti olan çeliklerde ve ısıl işlem sanayisinde sertleştirme ortamı olarak su ve yağ yaygın olarak kullanılmaktadır. Fakat artan zehirli atıklar, çevre kirliliği, insan sağlığına karşı tehlikeler alternatif sertleştirme teknolojilerinin kullanılmasına ilgiyi arttırmıştır [18].

Polimerli suda sertleştirmenin birçok avantajları vardır. Bunlar;

- Parçada oluşacak distorsiyonun en aza indirilmesi,
- İyi boyutsal kontrolün sağlanması,
- Kalıntı gerilmelerin en aza indirilmesi,
- Gerilmeli korozyon çatlağının elimine edilmesi,
- Parçada homojen ısı transferinin sağlanması,
- Polimer konsantrasyonun kontrolü ile esnek soğutma hızının sağlanabilmesi,
- Çeşitli yöntemlerle üretilen parçalar için uygulanabilir olması (döküm, dövme, levha parçalar),
- Çevre temizliği, yangın tehlikesinin olmaması ve kullanım kolaylığıdır [19].

Polimerli suda sertleştirmenin en önemli avantajı boyutsal deformasyonun ve kalıntı gerilmelerin azaltılmasıdır [19]. Su verme süresince homojen ısı dağılımının sağlanması sonucunda termal gradyant ve distorsiyon oluşumu azalır.

Boyutsal kontrolün sağlanmasından dolayı karmaşık şekilli parçaların sertleştirilebilmesi için uygun bir yöntemdir.

Polimer konsantrasyonunun ayarlanabilmesi ile parçanın buhar fazı aşamasında etrafında oluşan yalıtkan buhar örtü tabakasının kalınlığı değiştirilerek soğuma hızı ayarlanabilir. Özellikle ince et kalınlığına sahip, karmaşık şekilli ve yüksek karbonlu malzemelerde soğuma hızının kontrol edilebilmesine olanak sağlar.

Çevre temizliği, güvenlik, insan sağlığı konularında birçok avantajı olmasından dolayı polimer katkılı soğutucular birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Sertleştirme esnasında ortama duman çıkmaz. Alev alma ve yanma tehlikesi yoktur, yangın söndürücüsü ve inert gaz örtüsü gerekmez Sertleştirme sonrası parçaların banyo ortamından arındırılması ve temizlenme ihtiyacı yoktur [20].

Polimerli suda soğutma hızı, su ile yağda soğutmanın arasında olup polimer konsantrasyonu ile kontrol edilebilmektedir.

Polimerli sertleştirme ortamında kullanılan en yaygın polimerler Polialkolin Glikol (Polyalkylene Glycol-PAG), Polivinil Pirolidon (Polyvinyl pyrrolidone-PVP) ve Polisodyun Akrilat (Polysodium acrylate), Polyethl oxazoline'dir [14].

Polimerli suda sertleştirme işlemi buhar fazı, kaynama fazı ve konveksiyon fazı olmak üzere 3 aşamada oluşmaktadır. Polimerli suda sertleştirme sırasında çubuk etrafında oluşan etkileşimler Şekil 6.8'de gösterilmektedir.



Şekil 6.8 : Polimerli suda sertleştirme mekanizması [17].

Buhar fazı;

Östenitik fazda sıcak çelik iş parçası soğutma banyosuna ilk daldırıldığında, etrafında ısı transferini kontrol eden buhar örtüsü oluşur. Parçanın etrafını kaplayan ısı iletim katsayısı düşük, yalıtkan ve kararlı buhar örtüsü parça ile polimerli su arasındaki ısı transferini yavaşlatır. Bu yüzden buhar fazında parçanın soğuma hızı düşüktür [15]. Buhar fazının kısa sürede gerçekleşmesi aşırı hızlarda oluşabilecek soğumayı engelleyerek çarpılma ve çatlak oluşma riskini azaltır, parça yüzeyinin homojen soğumasını sağlar [19].

İş parçası etrafında oluşan buhar filminin ısı transfer özellikleri hem film kalınlığına (polimer konsantrasyonu) hem de polimerin viskozitesine (polimer cinsi ve banyo sıcaklığı) bağlıdır. Buhar filminin oluşma, parçalanma ve dağılma süreleri, soğutulan metalin etrafındaki filmin dayanımına, karıştırma yönüne, banyo akışına ve polimer banyosunun türbülansına bağlıdır [21].

<u>Kaynama Fazı;</u>

Parçanın geometrisine ve soğutma ortamına bağlı olarak değişen sürede yüzey sıcaklığı düşerken, Leidenfrost geçiş sıcaklığına ulaşıldığında buhar filmi aniden parçalanır, kaynama başlar ve soğuma hızlanır. Kaynama boyunca sıvı, sıcak yüzeyle ve buharla temas eder, buhar kabarcıkları oluşur. Yüksek ısı transferi hızı sonucunda kaynama fazı güçlü konvektif akımlar üretir. Soğutma ortamının buharlaşması ile artan yüzeyden ısı transferi maksimum noktaya geldikten sonra yüzey sıcaklığı ile birlikte azalır. Geniş kaynama fazı aralığı kalın kesitli parçalarda iyi bir ısı transferi sağlar.

Konveksiyon Fazı;

Parçanın yüzey sıcaklığı sıvının kaynama noktasının altına düştüğünde kaynama durur ve konveksiyon fazı sonucunda yüzey sıvı ile ıslatılır. Soğuma konveksiyon ve ısı iletimiyle meydan gelir. Konveksiyon fazında soğuma hızı kısmen daha düşük olup sıvı viskozitesinin fonksiyonudur [15].

Polimerli suda sertleştirmede soğutma hızını etkileyen 4 ana parametre vardır.

- Polimer konsantrasyonu
- Soğutma banyosu sıcaklığı
- Karıştırma hızı
- Kirleticiler

Polimerli suda soğutma yapılırken polimer katılım oranı %6-12 arasında olmalıdır. Polimer konsantrasyonu ısıl işlem yapılan parçanın ağırlığına, geometrisine ve sertleşme özelliklerine göre belirlenir. Polimer konsantrasyonu arttırıldığında parçanın etrafını kaplayan polimer tabakanın kalınlığı artacağı için soğuma hızı düşer. PAG katkılı soğutucular polimer konsantrasyonundaki küçük değişimlere karşı çok hassas değildir. Fakat PVP ve diğer bazı polimerlerde konsantrasyon artışına bağlı olarak soğutma hızında ciddi düşüş gerçekleşmektedir [14].

Polimerlerin çalışma sıcaklık aralığı 30-50 ^oC'dır. 60 ^oC üzerindeki sıcaklıklarda polimerlerde olası bozulmaların meydana gelmesinden dolayı polimer katkılı soğutma suları, sudakinin aksine soğutulmalıdır.

Polimerli su banyosunun karıştırılması polimerin su verme özelliğini ve sıcaklık homojenizasyonunu etkiler [19]. Karıştırma ile sıcak parçadan su verme ortamına homojen ısı transferi sağlanır. Polimerin su içerinde çökelmesi önlenerek sıcak metal yüzeyinin polimer ile kaplanması sağlanır. Karıştırma ile istenmeyen dönüşüm fazlarından kaçınmak için gereken soğuma hızı yakalanır. Karıştırma hızı artarken soğumada hızlanır [14].

Çatlak hassasiyeti olan çeliklerin kullanımında su verme boyunca hem termal hem de dönüşüm gerilimlerini azaltmak için martenzit dönüşüm sıcaklığı bölgesinde yavaş soğutma yapılması gerekir. Polimer katkılı soğutmada bu durum polimer konsantrasyonu arttırılarak veya banyo sıcaklığı arttırılarak sağlanır. Ayrıca su verme sertliği karıştırma hızının azaltılması ile düşürülebilir [22].

Polimer viskozitesi konsantrasyona ve sıcaklığa bağlıdır. Yüksek molekül ağırlığındaki polimerlerin viskozitesi kirleticilerden etkilenir. Fakat PAG polimerinin viskozitesi genellikle kirleticilerden güçlü bir şekilde etkilenmez fakat polimer konsantrasyonuna bağlıdır [21].

En uygun distorsiyon kontrolü maksimum homojenlikteki film oluşumu ile sağlanır. Homojen olmayan film oluşmasının en önemli nedeni soğutma banyosundaki kirleticilerdir. Çamur birikintileri ve yağ (metal kesme ve hidrolik yağ) gibi çözünmeyen kirleticilerden dolayı oluşan heterojen film, homojen olmayan ısı transferine ve yüzeyde istenmeyen termal gradyantların oluşmasına neden olur. Yağ zerrelerinin sıcak metalin yüzeyine yapışması polimer filmin yüzey düzgünlülüğünü bozar. Yağ zerrelerindeki ısı transfer hızının polimer filmdeki soğuma hızından farklı olmasından dolayı yüzeyde termal gradyant oluşur. Termal gradyant yüksek olursa parçada distorsiyon artar ve çatlak oluşmasına neden olur [21]. Su verme işlemindeki diğer bir ana sorun ise köpürmedir. Köpürme kimyasal kirliliklerden yada ekipman tasarımından dolayı oluşmaktadır. Kimyasal kirlilikler temizleme solüsyonlarındaki deterjanlar, hidrolik sıvılar, metal iş sıvılarından kaynaklanır. Ekipman tasarımındaki sorunlar ise normalden küçük hazne, hava kaçağı, pompa boşluklarından kaynaklanır [21].

Diğer bir kirlilik nedeni ise karbondur. Karbon santrifügasyon ve filtrasyon ile uzaklaştırılabilir.

Yağda sertleştirme sırasında soğuma mekanizmaları gerçekleşirken metal yüzeyinde önemli termal gradyantlar oluşur. Polimerli suda sertleştirme sırasında termal gradyantlar düşürülür. Bu durumda yağda oluşandan daha düşük distorsiyon ve çatlak oluşma eğilimi meydana gelir [17].

6.3.2 Yağda sertleştirme

Yağda sertleştirme işleminde, kontrollü ısı transferi ile çeliklerin sertleştirmesi kolaylıkla yapılır. Distorsiyon ve çatlak oluşumunu arttıran dönüşüm ve istenmeyen termal gradyantların oluşumunu minimize etmek için soğutma süresince çeliğin ıslatılmasını kolaylaştırır.

Yağda sertleştirme işleminin birçok avantajı vardır. Bunlar;

- Düşük soğutma hızı- düşük çatlak oluşma eğilimi,
- Kolay kullanım,
- Düşük iş gücüdür.

Yağda sertleştirmede suda sertleştirmeye göre daha düşük soğutma hızları(yaklaşık suda soğutmadakinin 1/3'ü) ve homojen ısı transferi sağlandığı için distorsiyon ve çatlak oluşma tehlikesi daha düşüktür [14].

Yağda sertleştirme işleminin dezavantajları;

- Büyük hacimlerdeki kullanımlarda yangın tehlikesi,
- Su verme sırasında yüksek alev boyu,
- Duman ve yağ tabakası oluşması-çevre kirliliği,
- Soğutma tankının üzerinde inert gaz örtüsü (N2, CO2) gereklidir.

Yağda sertleştirme işleminde de diğer sertleştirme ortamlarında olduğu gibi soğuma buhar fazı, kaynama fazı ve konveksiyon fazı olmak üzere 3 aşamada oluşmaktadır. Yağda sertleştirme sırasında parça etrafında oluşan etkileşimler Şekil 6.9'da görülmektedir.



Şekil 6.9 : Yağda sertleştirme mekanizması [17].

<u>Buhar fazı;</u>

Parça ilk yağ banyosuna daldırıldığında sıcak metalin etrafi buhar örtüsü ile kaplanır. Buhar tabakasının kararlılığı metalin yüzey kararsızlığına, oksit tabakasının varlığına, buhar örtüsünün kararsızlığına, soğutma yağının moleküler kompozisyonuna bağlıdır.

Kaynama fazı;

Leidenfrost geçiş sıcaklığına ulaşıldığında buhar örtüsü parçalanır ve, ısı transferinin hızlandığı kaynama başlar. Dönüşümün meydana geldiği bu nokta ve bu fazdaki ısı transfer hızı yağın moleküler kompozisyonuna bağlıdır.

Konveksiyon fazı;

Sıcak yağ-metal ara yüzeyinin sıcaklığı, yağın kaynama noktasının altındayken kaynama biter ve konvektif soğuma başlar. Bu fazdaki ısı transferi yağın ayrışma derecesi ile değişen yağ viskozitesine bağlıdır. Isı transfer hızı çok düşüktür ve artan viskozitelerle birlikte azalır.

Yağda sertleştirme işleminde soğutma hızına etki eden 3 ana parametre vardır.

- Kirleticiler,
- Viskozite karıştırma hızı,
- Banyo sıcaklığı.
Yağ banyosunda sertleştirme işleminde soğuma hızını olumsuz yönde etkileyen en önemli parametrelerden biri kirleticilerin varlığı ve miktarıdır. Soğutma yağının kirlenmesi parça ile banyo ortamı arasında homojen olmayan ısı transferlerinin oluşmasına ve su verme sertliğinin düşmesine neden olur. Yağ banyolarındaki kirleticiler su, çamur dönüşümleri olarak belirtilebilir.

Yağda banyosundaki su içeriği çok önemlidir. Su yağın bozulmasına, kirlenmesine, parçada düzensiz sertlik değişimine neden olur. En tehlikeli etkisi ise yağın yanmasına neden olmasıdır. Su ile kirlenmiş yağ ısıtılırsa, çatlama sesleri açığa çıkar. Yüksek su konsantrasyonu sertleştirme sırasında kararlı buhar örtüsü oluşmasına neden olur ve bunun sonucunda soğuma hızı düşer [14].

Araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda, 304 paslanmaz çelik malzemeden üretilen 13 mm çapında 100 mm uzunluğundaki numune farklı oranlarda su içeren yağ banyosuna daldırılarak soğuma hızındaki değişim incelenmiş olup Şekil 6.10'da verilmiştir.



Şekil 6.10 : Yağ banyosundaki su miktarı- Soğuma hızı ilişkisi [14].

Yağda soğutmanın en önemli problemlerinde biri çamur fazı oluşumudur. Çamur sertleştirme işlemi sırasında homojen olmayan ısı dağılımına neden olur. Termal gradyantlar artar ve buna bağlı olarak parçada distorsiyon ve çatlak oluşma hassasiyeti artar. Yağın oksidasyonu çamur oluşmasına neden olur. Oksidasyon reaksiyonları yağın içerisinde çapraz bağlı moleküllere ve polimerleşmeye yol açar.

Yağda soğutma işleminde soğutma performansı yağın viskozitesine bağlıdır. Bozulmadan dolayı yağ viskozitesi artan zamanla birlikte değişir [23]. Martemperlenmiş soğutma yağları için viskozitenin ömür ile değişimi Şekil 6.11'de verilmiştir.



Şekil 6.11 : Soğutma yağları, viskozite-süre etkileşimi [23].

Viskozitesi yüksek olan soğutma yağları ısıyı hızlı dağıtamazlar. Parça yüzeyindeki ince yağ tabakası ısınır. Bu durumda yağ, tutuşma sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda yağ-hava ara yüzeyine ulaşabilir ve ani tutuşmalara neden olabilir [14]. Viskozitenin yağın kullanımı sırasındaki davranışına etkisi Şekil 6.12'de gösterilmektedir.



Şekil 6.12 : Viskozite değişimin yağ üzerindeki etkisi [14].

Yağın viskozitesi artan sıcaklıkla birlikte azalır. Sıcak parça düşük viskoziteli yağa daldırıldığında yağın parlama noktası düşükse yangın tehlikesi azalabilir. Bu durum yağdaki konvektif akımlar ile(termosifon etki) parçadan ısı çıkışının hızla dağılması

ile gerçekleşir. Çünkü hava ara yüzeyindeki sıcak metalle temas eden yağ, parlama noktasını aşamaz. Sertleştirme banyosunda ısı transfer hızının artması için yağın iyi bir akışkanlığı olması gerekmektedir.

Isil işlem sonrasında sertleştirme ortamı olarak kullanılan yağın sıcaklığı 40-70 ⁰C arasında olmalıdır. Sıcaklık yüksek olduğunda yağın yanmasına ve kullanım ömrünün kısalmasına, duman çıkışının artmasına neden olur. Banyo sıcaklığı arttıkça yağın buharlaşma tehlikesi ve akışkanlığı artar. Güvenlik için yağ sıcaklığı, yağın parlama sıcaklığının altında tutulmalıdır. Düşük yağ sıcaklıklarında ise parçada homojen olmayan sertlik dağılımına ve çatlamalara neden olur. Aynı zamanda düşük yağ sıcaklığı yanma tehlikesini arttırır çünkü soğuk yağın yüksek viskozitesi yağın parlama noktası üzerinde yerel ısınmalara yol açabilmektedir. Soğutucu yağların soğutma karakteristiği çalışma sıcaklık aralığının üzerinde değişmez. Su verilmiş parçanın sıcaklığı yağın sıcaklığına yaklaşırken, soğutmanın son fazında farklılıklar ortaya çıkar. Bu aşamada soğutma hızı, artan soğutma yağı sıcaklığı ile birlikte azalır. Düşük soğutma hızlarında merkezle yüzey arasında ki termal gradyantın azalması sonucunda iç stres azalır [14].

Tüm soğutma yağlarında oksidasyonu minimuma indirmek için yağın hava ile teması en aza indirilmelidir.

Soğutma yağları kompozisyona, katkı maddesi ve uygulama sıcaklığına göre gruplara ayrılmaktadır. Bunlar; yavaş, geleneksel, hızlı, martemperleme, sıcak soğutma yağlarıdır. Bunlara ilaveten yağ su karışımları da soğutma ortamı olarak kullanılmaktadır. Soğutma yağı olarak çoğunlukla nebati ve mineral yağlar, nadiren de hayvanlardan elde edilen sıvı yağlar kullanılmaktadır [24].

Yavaş-geleneksel soğutma yağları, antioksidan içerir. Soğutma işleminde buhar fazının süresi uzun olup su verme hızı yavaştır. Kaynama fazı süresince soğutma hızı artarken konveksiyon fazında soğutma hızı tekrar yavaşlamaktadır. Geleneksel yağların su verme sertliği suyunkinden düşük olduğu için sertleşebilirliği düşük olan çeliklerde yetersiz kalmaktadır.

Hızlı soğutma yağları, mineral yağ karışımları olup antioksidan ve ıslatma ajanları içerir. Özellikle buhar fazında yüksek su verme hızları görülmektedir. Kaynama fazında soğutma hızlıdır. Konveksiyon fazındaki soğuma hızı geleneksel soğutma yağları ile sağlanan hıza benzer olup su ile soğutmadaki hızdan düşüktür. Soğutma yağlarının soğutma özellikleri (özellikle hızlı soğutma yağları) katılan ilave malzemelerin kompozisyonlarına bağlı olarak değişir. Araştırmacılar tarafından yapılan 52 °C sıcaklıktaki geleneksel ve hızlı soğutma yağlarına daldırılan 13 mm çap, 64 mm uzunluğundaki östenitik paslanmaz çelik numunelerinin soğuma hızları Şekil 6.13'de verilmiştir.



Şekil 6.13 : Soğutma yağları-soğuma eğrisi değişimi [14].

Martemperleme- sıcak soğutma yağları, iyi termal kararlılık ve oksidasyon direncine sahiptir. Yüksek sıcaklıklarda (95-230 °C) kullanılabilirler. Yaşlanma kararlılığını geliştirmek için antioksidan içerebilirler.

6.3.3 Suda sertleştirme

Suda soğutma işlemi ile en yüksek soğutma hızları sağlanırken, parçada çatlak ve distorsiyon oluşma eğilimi yüksektir. Soğutma ortamı olarak su, demir dışı metaller, östenitik çelikler ve diğer metaller için yaygın olarak kullanılmaktadır.

Suda sertleştirme işleminin birçok avantajı vardır. Bunlar;

- Ekonomiklik,
- Minimum çevre ve insan sağlığına zarar,
- Bozulmamasıdır.

Avantajlarının yanında suda sertleştirme işleminin getirdiği bazı dezavantajlarda vardır. Bunlar;

- Yüksek çatlak oluşma riski,
- Yüksek distorsiyon,
- Kalıntı gerilimlerdir.

Suda sertleştirme işleminde, düşük sıcaklıklardaki yüksek soğutma hızlarında da çatlama ve distorsiyon meydana gelmektedir. Suda soğutma işleminde banyo sıcaklığı maksimum 40 ⁰C'dir.

Sertleştirme sırasında yüksek soğuma hızlarına ulaşılması su banyosunun karmaşık şekilli, simetrik parçalarda, yüksek karbonlu çeliklerde kullanımını sınırlamaktadır. Karmaşık şekilli parçalar sertleştirilirken buhar fazında homojen olmayan sertlik dağılımları ve stres yığılmaları meydana gelir [14].

Suda sertleştirme operasyonu buhar fazı, kaynama fazı ve konveksiyon fazı olmak üzere 3 aşamada gerçekleşmektedir.

Buhar Fazı;

Sıcak iş parçası su banyosuna daldırıldığında parçanın etrafında buhar örtüsü meydana gelir. Buhar örtüsü yalıtkan olduğu için bu aşamada ısı transfer hızı düşüktür. Buhar fazı karmaşık şekilli parçalarda değişken sertlik değerlerine ve istenmeyen gerilim yığılmalarına neden olur [14].

<u>Kaynama Fazı;</u>

Yaklaşık olarak 700 °C'de buhar örtüsü parçalanır ve su sıcak iş parçasına temas eder. Yaklaşık 350-400 °C'de buhar örtüsü tamamen parçalanır, kaynama fazı başlar ve soğuma hızlanır. Parçaya temas eden su buharlaşır ve parça etrafındaki su hızla ısınır.

Konveksiyon Fazı;

Parçanın sıcaklığı suyun kaynama sıcaklığının altına düştüğü andan itibaren kaynama durur ve konveksiyon fazı başlar. Parça tamamen soğuyana kadar suyun ısı iletimi ile ısı transferi yapılır [24].

Suda banyoları karbon oranı %0,6'ya kadar olan basit şekilli karbon çeliklerinin sertleştirilmesi için kullanılmaktadır. İdeal soğutma şartları; ısıl işlem sıcaklığından A₃ hattına düşük soğuma hızı, A₃ hattından martenzit başlama sıcaklığına yakın sıcaklıklara yüksek soğuma hızı, martenzit başlama sıcaklığından oda sıcaklığına

düşük soğuma hızı ile sağlanır. Suda sertleştirmede A_3 ile A_1 hattı arasında yüksek su verme hızları meydana gelir. Bu durum distorsiyon ve su verme çatlaklarının oluşmasından dolayı karmaşık şekilli parçaların su da sertleştirilmesini sınırlamaktadır [14].

Suda sertleştirme işleminde suyun buharlaşması için gereken ısının (540 kalori) düşük olması buhar fazındaki örtü tabakasının hızlı bir şekilde parçalanmasına ve kaynama fazının başlamasına olanak sağlar. Suyun kaynama sıcaklığının (100 °C) düşük olması parça sıcaklığının kaynama fazında kalma süresini arttırırken soğumayı hızlandırır.

Rus araştırmacılar tarafından yapılan deneysel çalışmalar sonucunda farklı banyo ortamlarının ısı iletim katsayılarından dolayı farklı soğutma hızlarına sahip oldukları tespit edilmiştir [16]. Şekil 6.14'te araştırmacılar tarafında yapılan deneysel çalışmanın sonuçları görülmektedir.



Şekil 6.14 : Farklı Soğutma ortamlarının soğuma hızına etkisi [16].

7. DENEYSEL ÇALIŞMA

Yay çeliğinden üretilen denge çubuklarının ısıl işlem prosesinde, farklı sertleştirme ortamlarının, banyo sıcaklıklarının ve sertleştirme sürelerinin soğuma hızına ve yorulma davranışı üzerine etkisi incelenmiştir. Bu parametrelerin dışında farklı yay çelik malzemelerin ve çubuk formlarının da etkisini incelemek amacı ile 2 farklı çubuk formu ve malzeme kullanılmıştır. Farklı form ve hammaddedeki çubuklar soğuk büküm hattında üretilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalarda 34MnB5 ve 55Cr3 olmak üzere 2 farklı hammadde kullanılmıştır. Boru ve dolu malzeme olmak üzere 2 farklı çubuk formu kullanılmıştır. Denge çubuğu üretim yöntemlerinden soğuk büküm (şekillendirme) yöntemi ile üretilen çubuklar benzer ısıl işlem koşullarına tabi tutulmuştur. Üretim prensibi aynı olan 2 çalışmada da çubuk formundan ve malzemesinden gelen farklılıklardan dolayı operasyon koşulları değişmektedir.

Üretim ve ısıl işlem süresince çubukların içyapısında meydana gelen değişikliklerin takip edilmesi için numuneler alınmış ve mikroyapıları incelenmiştir. Isıl işlem süresince her farklı grup için sertleştirme ve menevişleme işlemleri sonrasında numuneler alınarak mikroyapı, sertlik taraması, tane boyutu kontrolü ve dekarbürizasyon kontrolü yapılmıştır.

7.1 Numunelerin Sınıflandırılması

Yapılan deneysel çalışmalarda her numuneye sertleştirme ortamının ve süresinin belirlenmesi için kodlar verilmiştir. Bundan sonraki tüm analiz ve test sonuçları çubuklara verilen kodlamalara göre ifade edilecektir. 34MnB5 hammaddesi ile yapılan çalışmada parça numaraları Çizelge 7.1'de verilmiştir.

Polimerli Suda Sertleştirme								
BP1S	BP1M	BP11	BP12	BP13	BP14			
BP2S	BP2M	BP21	BP22	BP23	BP24			
Suda Sertleştirme								
BS1S	S1S BS1M BS11 BS12 BS13 BS1							
BS2S	BS2M	BS21	BS22	BS23	BS24			
		Yağda Ser	rtleştirme					
BY1S	BY1M	BY11	BY12	BY13	BY14			
BY2S	BY2M	BY21	BY22	BY23	BY24			
BY3S	BY3M	BY31	BY32	BY33	BY34			
BY4S	BY4M	BY41	BY42	BY43	BY44			
BY5S	BY5M	BY51	BY52	BY53	BY54			

Çizelge 7.1 : 34MnB5 Boru denge çubukları – Deneysel çalışma çubuk kodları.

Kodların ilk basamağındaki harf çubuğun formunu (B=Boru tipi çubuk), 2.basamağındaki harf ise sertleştirme ortamını belirtmektedir. 3. Basamaktaki sayı sertleştirme banyo sıcaklığını belirtmektedir. 4. Basamakta harf bulunan çubuklarsa S harfi sertleştirme sonrası metalografi analizine giden çubukları, M harfi bulunanlar ise menevişleme sonrası analize giden çubukları belirtmektedir. 4.basamakta sayı bulunan çubuklar ise yorulma testi yapılan çubukların sıra numarasını belirtmektedir.

<u>Örnek;</u>

BS1S — B; Boru tipi çubuk, S; Suda sertleştirilmiş, 1; 1.sıcaklıkta(39 °C), S; Sertleştirme sonrası analiz

BP2M → B; Boru tipi çubuk, P; Polimerli suda sertleştirilmiş, 2;2. Sıcaklıkta (37 ⁰C), M; Menevişleme sonrası analiz

BY33 → B; Boru tipi çubuk, Y; Yağda sertleştirilmiş, 3;3. Sıcaklıkta (61 ⁰C), 3; Yorma testi yapılacak 3.çubuk

55Cr3 hammaddesi ile yapılan çalışmada parça numaraları Çizelge 7.2'de verilmiştir.

Polimerli Suda Sertleştirme								
DP1M	DP11	DP12	DP13					
DP2M	DP21	DP22	DP23	DP24				
DP3M	DP31	DP32	DP33	DP35				
DP4M	DP41	DP42	DP43	DP45				
DP5M	DP51	DP52	DP53	DP54	DP55			
		Suda Sert	lleştirme					
DS1M	DS11	DS12	DS13					
		Yağda Ser	tleştirme					
DY1M	DY11	DY12	DY13	DY14				
DY2M	DY21	DY22	DY23	DY24				
DY3M	DY31	DY32	DY33	DY34				
DY4M	DY41	DY42	DY43	DY44	DY45			
DY5M	DY51	DY52	DY53	DY54	DY55			
DY6M	DY61	DY62	DY63	DY64	DY65			

Çizelge 7.2 : 55Cr3 Dolu denge çubukları – Deneysel çalışma çubuk kodları.

Kodların ilk basamağındaki harf çubuğun formunu (D=Dolu çubuk), 2.basamağındaki harf ise sertleştirme ortamını belirtmektedir. 3. Basamaktaki sayı sertleştirme banyo sıcaklığını belirtmektedir. 4. Basamakta harf bulunan çubuklarsa S harfi sertleştirme sonrası metalografi analizine giden çubukları, M harfi bulunanlar ise meneviş sonrası analize giden çubukları belirtmektedir. 4.basamakta sayı bulunan çubuklar ise yorulma testi yapılan çubukların sıra numarasını belirtmektedir.

Örnek;

DS11 \longrightarrow D; Dolu çubuk, S; Suda sertleştirilmiş, 1; 1.sıcaklıkta(25 0 C), 1; Yorulma testi yapılacak 1.çubuk

DP2M → D; Dolu çubuk, P; Polimerli suda sertleştirilmiş, 2;2. Sıcaklıkta (27 ⁰C), M; Menevişleme sonrası analiz

DY33 → D; Dolu çubuk, Y; Yağda sertleştirilmiş, 3;3. Sıcaklıkta (46 ⁰C), 3; Yorulma testi yapılacak 3.çubuğu

7.2 Deneysel Çalışma – 34MnB5 Boru Çubuk Malzemesinden Denge Çubuğu Üretimi

34MnB5 yay çeliği malzemesinden üretilmiş boru tipi çubuklardan soğuk büküm yöntemi ile aynı koşullarda 54 adet denge çubuğu üretilmiştir. Polimerli su- su ve yağ olmak üzere 3 farklı banyo ortamında, farklı banyo sıcaklığı ve sürelerinde 9 ayrı sertleştirme operasyonu yapılmıştır. Sertleştirme ve menevişleme işlemlerinde sonra 9'ar adet çubuk mikroyapı ve mekanik özellik incelemesinde kullanılmıştır.

Uç şekillendirme operasyonundan sonra 36 adet çubuğa manyetik partikülle çatlak kontrolü ve 3 boyutlu ölçüm yapılmıştır. Üretimi tamamlanan 36 adet denge çubuğuna yorulma testi yapılmış ve kırılma yüzeyleri incelenmiştir. Sertleştirme operasyonu hariç diğer bütün üretim aşamaları tüm çubuklar için aynı koşullar altında yapılmıştır.

1.Deneysel çalışmada üretilen denge çubuklarında hammadde olarak perlitik-ferritik yapıdaki 34MnB5 yay çelik malzemesi kullanılmıştır. Hammaddenin kimyasal analizi Çizelge 7.3'de verilmiştir.

С %	Si %	Mn %	Cr %	B %
0,348	0,28	1,23	0,13	0,0028
S %	Р %	Al %	Cu %	
0,001	0,01	0,034	0,02	

Çizelge 7.3: 34MnB5 çeliği- Kimyasal analiz [6].

34MnB5 çelik hammaddesinin mekanik özellikleri Çizelge 7.4'de verilmiştir.

Çekme Dayanımı	Akma Dayanımı	% Uzama	Dekarbürizasyon		
550-750 Mpa	300-500 Mpa	min. 20	< 50um		

Çizelge 7.4 : 34MnB5 çeliği– Mekanik Özellikler [6].

34MnB5 yay çelik hammaddesinden üretilen kaynaklı boru formundaki çubuklar 25,6x 4,4 mm çap ve et kalınlığındadır. Çubuğun büküm öncesi boyu 1500mm'dir. Denge çubuğu Şekil 7.1'de gösterilmektedir.



Şekil 7.1 : 34MnB5 Boru malzemeden üretilen denge çubuğu.

Tüm deneysel çalışmalarda Rözmaş Çelik San. Ve Tic. A.Ş' ye ait hammaddeler ve ekipmanlar kullanılmıştır. Üretim sürecini aktaran fotoğraflar Rözmaş'a aittir.

34MnB5 boru çubuk malzemeden üretilen denge çubukları için üretim akış şeması Şekil 7.2'de verilmiştir.



Şekil 7.2 : 34MnB5 Boru denge çubukları için üretim akışı.

7.2.1 Büküm

CNC kontrollü soğuk büküm tezgâhında 54 adet çubuk denge çubuğu formunda bükülmüştür. Büküm işleminden sonra çubuklara %100 mastar kontrolü yapılarak verilen şeklin doğruluğu ve düzgünlüğü kontrol edilmiştir. Büküm operasyonu Şekil 7.3'de gösterilmektedir.



Şekil 7.3 : Boru denge çubuğu-Büküm operasyonu.

7.2.2 Tavlama

Büküm sonrası çubuklar kondüksiyonlu ısıtma tezgâhında çubuğun iki ucundan tutturulan bakır elektrotlar vasıtasıyla 820-900⁰C sıcaklık aralığında ısıtılmıştır. Tavlama işleminde perlitik- ferritik yapı, şekil alabilirliği ve sünekliği yüksek olan östenit formuna dönüşmektedir.

Tavlama sıcaklığının ve süresinin belirlenmesi çok önemlidir. Gereken sıcaklığın üzerindeki tavlamalarda çelik malzemeden karbon kaybının artmasına ve bunun sonucunda dekarbürizasyon oluşmasına neden olur. Dekarbürizasyon olan çelik malzemelerde sertlik ve yorulma dayanımları düşer, malzemenin mekanik özellikleri kötüleşir. Ayrıca yüksek sıcaklık etkisinde tane kabalaşmasının meydana gelmesi ile de mekanik özelliklerde düşüş meydana gelmektedir.

Denge çubuğunun belirli bölgelerinde kesit değişiminden dolayı ısının etkisi farklılık göstermektedir. Kondüksiyonlu ısıtmada bakır elektrotlar vasıtası ile akım, çubuk üzerinde ilerlerken direncin düşük olduğu yani kesit alanının fazla olduğu bölgelerde ilerler. Boru çubukların büküm sırasında omuz iç bölgelerinde kesit yığılması meydana gelir. Direncin azaldığı bu bölgelerde ısınma daha yüksek olup lokal ısınmaların etkisi ile tane büyüklüğü ve dekarbürizasyon oluşumu diğer bölgelere göre artar. 34MnB5 boru çubuk malzemeden üretilen denge çubuklarının tavlama operasyonu Şekil 7.4'de gösterilmektedir.



Şekil 7.4 : Boru denge çubukları - Tavlama operasyonu.

Tavlama sırasında çubuğun belirli bölgelerinde farklı ısınmalar gerçekleşeceği için ilerleyen bölümlerde belirtilecek olan bu kısımların çubuk üzerinde gösterimi Şekil 7.5'de verilmiştir.



Şekil 7.5 : 34MnB5 Boru malzemeden üretilen denge çubuğu- İnceleme bölgeleri.

7.2.3 Sertleştirme

Tavlama sonrası östenit yapıdaki çubuklar, polimerli su, su ve yağ olmak üzere 3 farklı banyo ortamında sertleştirilmiştir. Banyo ortamı ile birlikte farklı banyo sıcaklıklarında ve sürelerinde de denemeler yapılmıştır. Sertleştirme sonrası her gruptan 1'er adet olmak üzere 9 çubuk metalografi analizi için incelenmiştir.

Sertleştirme işleminin amacı sünek ve dayanım değerleri düşük olan östenit yapısını yüksek sertlikteki martenzit forma dönüştürmektir.

7.2.3.1 Polimerli suda serleştirme

Polimerli suda sertleştirme işlemi için ideal koşullar %8 polimer konsantrasyonunda 25- 45⁰C banyo sıcaklığında 35 saniyedir.

Polimerli su banyosunda 2 farklı banyo sıcaklığında sertleştirme işlemi yapılmıştır. 12 adet çubuk %8,2 polimer konsantrasyonunda 28 ve 37^oC banyo sıcaklıklarında 35 saniye sertleştirilmiştir. Çubuklar 815-870^oC aralığındaki sıcaklıklarda sertleştirme banyosuna girmişlerdir. 28^oC banyo sıcaklığında sertleştirilen çubuklar BP1, 37^oC banyo sıcaklığında sertleştirilen çubuklar BP2 grubu olarak tanımlanmıştır. Polimerli suda sertleştirme operasyonu Şekil 7.6'de gösterilmektedir.



a) Sertleştirme öncesi

b)Sertleştirme

Şekil 7.6 : Polimerli suda sertleştirme süreci (a, b).

7.2.3.2 Suda serleştirme

Suda sertleştirme işlemi için ideal koşullar en fazla 40^{0} C banyo sıcaklığında 25 saniyedir.

Su banyosunda 12 adet çubuk 27 ve 36^oC sıcaklıklarda 25 saniye sertleştirildi. Çubuklar 815-870^oC aralığındaki sıcaklıklarda sertleştirme banyosuna girmişlerdir. 27^oC banyo sıcaklığında sertleştirilen çubuklar BS1, 36^oC banyo sıcaklığında sertleştirilen çubuklar BS2 grubu olarak tanımlanmıştır. Suda sertleştirme operasyonu Şekil 7.7'da gösterilmektedir.



a)Sertleştirme öncesi

b)Sertleştirme

c) Sertleştirme sonrası

Şekil 7.7 : Suda sertleştirme süreci (a, b, c).

7.2.3.3 Yağda serleştirme

Yağda sertleştirme işlemi için ideal banyo sıcaklıkları 40- 70[°]C' olup banyoda kalma süresi çubuk çapına, et kalınlığına ve malzemesine göre belirlenmektedir.

Yağ banyosunda yapılan deneme çalışmalarında 5 farklı banyo sıcaklığında (39- 53- 56- 61- 69^oC) değişen sürelerde sertleştirme işlemi yapılmıştır. Artan banyo sıcaklığı ile birlikte çubukların banyoda kalma süresi arttırılmıştır. Tavlama sonrası çubuklar 815-870^oC aralığındaki sıcaklıklarda sertleştirme banyosuna girmişlerdir.

39[°]C banyo sıcaklığında 10 dakika sertleştirilen çubuklar BY1, 53[°]C banyo sıcaklığında 8 dakika sertleştirilen çubuklar BY2, 56[°]C banyo sıcaklığında 14 dakika sertleştirilen çubuklar BY3, 61[°]C banyo sıcaklığında 24 dakika sertleştirilen çubuklar BY4, 69[°]C banyo sıcaklığında 50 dakika sertleştirilen çubuklar BY5 grubu olarak tanımlanmıştır. Yağda sertleştirme operasyonu Şekil 7.8'de gösterilmektedir.



a) Sertleştirme öncesi b) Sertleştirme

Şekil 7.8 : Yağda sertleştirme süreci (a, b).

7.2.4 Menevişleme

Sertleştirme sonrası sert ve kırılgan martenzit yapının giderilmesi, tokluğu yüksek olan tempermartenzit yapının oluşturulması ve içyapıda meydana gelen gerilimlerin giderilmesi için menevişleme işlemi yapılır.

Isıl işlem sıcaklığı ve süresi malzemeye, parça boyutlarına ve ortam şartlarına göre değişmektedir. Bu çalışmada 34MnB5 alaşımlı çelik malzeme için menevişleme koşulları 245 ± 15^{0} C'de 90 dakika olarak belirlenmiştir. 9 farklı sertleştirme koşullarında sertleştirilen 44 adet çubuk menevişleme işlemine tabi tutuldu. Isıl işlem sonrasında içyapı analizi için her gruptan 1'er numune olmak üzere 9 adet çubuk metalografi analizi için incelendi.

7.2.5 Doğrultma

Çubukların sertleştirme operasyonunda hızlı soğumadan dolayı şekillerinde çarpılmalar, bozulmalar meydana gelebilir. Çubuk şeklinde oluşabilecek değişimlerin kontrolü için mastar kontrolü yapılır. Mastara girmeyen, şekli bozulan çubuklara bası kuvveti etkisinde doğrulma işlemi yapılarak bozulmalar giderilmeye çalışılır. Doğrultma işlemi çubukların omuz bölgeleri, büküm bölgeleri gibi kesit değişimi olan, gerilimlerin yığıldığı bölgelere uygulanmaz. Bu çalışmada en fazla 100 bar basınç uygulanarak çubuk şeklindeki bozukluklar giderildi.

En fazla doğrultma ihtiyacı suda sertleştirilen çubuklarda gerekmiştir. Bu durumun oluşmasının nedeni suda soğutma hızının yüksek olması ve ani değişimlerin çubuk şeklinde çarpılmalara neden olmasıdır. Doğrultma operasyonu Şekil 7.9'de gösterilmektedir.



Şekil 7.9 : Doğrultma operasyonu.

7.2.6 Gerilim giderme

Doğrultma işlemi çubuk şeklinin düzgünleştirilmesini sağlamasının yanında çubukta gerilim yoğunlaşmalarına ve yorulma ömrünün azalmasına neden olmaktadır. Doğrultma işlemi sırasında oluşan gerilimlerin giderilmesi için gerilim giderme işlemi uygulanabilir.

Gerilim giderme operasyonunda yapı dönüşümü gerçekleşmez, üretim sırasında çubukta oluşan iç gerilimler giderilir, yapının tokluğu arttırılır.

Bu çalışmada çubuklara doğrultmanın olumsuz etkisini gidermek için 200 ± 15 ⁰C'de 30 dakika gerilim giderme işlemi yapılmıştır.

7.2.7 Uç Şekillendirme

Çubukların uç kısımları ilk olarak indüksiyonlu ısıtma tezgâhında ısıtıldı. Isı etkisinde yumuşayan ve sekil alabilirliği kolaylaşan uç kısım ilk olarak uç dövme tezgâhında dövülmüştür. Basma kuvveti etkisinde akışkan yapıdaki metal hareketin kolay olduğu yan kısımlara doğru yönlenir. Dövme sonrası delik delme tezgâhında 12 mm'lik delik açıldı. Son operasyon olarak ısı etkisinde oluşabilecek şekil bozukluklarını gidermek, dövme bölgesini düzgünleştirmek amacı ile ütüleme işlemi yapılmıştır. Uç ütüleme işlemi 80- 140 bar basınç ile gerçekleştirilmiştir. Ütüleme sonrası dövme bölgesi kalınlığı 8,60 - 8,80mm arasındadır. Dövme işlemi tamamlanan çubukların mastar kontrolü yapılarak çubuk şekli kontrol edilmiştir. Uç şekillendirme operasyonu Şekil 7.10'da gösterilmektedir.



a) Uç Tavlama

b) Uç Dövme

c) Delik Delme

Şekil 7.10 : Uç şekillendirme operasyonu (a, b, c).

7.2.8 Kumlama

Çubuklar kumlama askılarına uygun şekilde asıldıktan sonra 0,9 mm'lik çelik bilyalar ile 6 dakika kumlanmıştır. Kumlama işleminde çubukların askılara asılma şekli çok önemlidir. Yorulma ömrüne önemli etkisi olan bu operasyonda çubukların özellikle gerilimlerin yığıldığı, kesit değişimi olan büküm ve dövme bölgelerine çelik bilyaların püskürtülmesi gerekmektedir. Yüzeye fırlatılan çelik bilyalarla, yüzeyde plastik deformasyonla kalıcı basma gerilmeleri oluşturulur. Kumlama işlemi diğer bir yandan yüzey temizleme operasyonudur. Bilyaların metal yüzeyine çarptırılması ile yüzeydeki oksitler ve pürüzler kopartılarak giderilir. Kumlama sonrası çubuk yüzeyleri parlaktır.

7.2.9 Toz boyama

Boyama askılarına uygun şekilde asılan çubuklar ilk olarak yüzey hazırlama operasyonlarını geçerek boyamaya hazır hale getirilmiştir. Yağ alma, aktivasyon, fosfatlama ve pasivasyon, deiyonize suda yıkama işlemleri sonrasında çubuk yüzeyindeki kirleticiler giderilir, boyanın yüzeye yapışması için uygun koşullar sağlanır. Yüzey hazırlama işlemlerinden sonra çubuklar kurutma fırınında 100- 110 ⁰C'de nem alma işlemi yapılmıştır. Boyama bölümünde elektrostatik olarak yüklü boya tanecikleri çubuk üzerine püskürtülerek boyama işlemi yapılmıştır. Boyanan çubuklar pişirme firininda 170- 200 ⁰C'de pişirilmiştir.

Üretim süreci tamamlanan 34MnB5 boru malzemeden üretilmiş denge çubuğu 7.11'da gösterilmektedir.



Şekil 7.11 : 34Mnb5 Boru çubuk malzemeden üretilen denge çubuğu.

7.3 Deneysel Çalışma – 55Cr3 Dolu Çubuk Malzemesinden Denge Çubuğu Üretimi

55Cr3 alaşımlı yay çeliği malzemesinden üretilmiş dolu çubuklardan soğuk büküm yöntemi ile aynı koşullarda 64 adet denge çubuğu üretilmiştir3w ve 12 farklı sertleştirme koşullarına tabi tutulmuştur. 64 adet çubuğun 12 tanesinin sertleştirme ve meneviş operasyonları sonrasında mikroyapı incelemesi yapılmıştır. 52 adet çubuğa yorma testi yapılmıştır.

Dolu çubuktan denge çubuğu üretiminde hammadde olarak perlitik-ferritik yapıdaki 55Cr3 yay çelik malzemesi kullanıldı. Hammaddenin kimyasal analizi Çizelge 7.5'de verilmiştir.

С %	Si %	Mn %	Cr %
0,52 - 0,60	0,15 - 0,35	0,65 - 0,95	0,65 - 0,95
S %	Р%	Ni %	Cu %
0,03	0,03	0,09	≤0,30

Çizelge 7.5 : 55Cr3 çeliği - Kimyasal analiz [6].

55Cr3 yay çeliği hammaddesinin mekanik özellikleri Çizelge 7.6'da verilmiştir.

Çizelge 7.6 : 55Cr3 çeliği – Mekanik özellikler [6].

Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	% Uzama	% Kesit Daralması	Sertlik (HB)
≥ 1226	≥ 1079	≥ 9	≥ 20	363 - 429

55Cr3 hammaddesinden üretilen dolu çubuklar 22 mm çap ve 890 mm boyundadır. Çubuğun büküm öncesi boyu 950 mm'dir.

55Cr3 dolu çubuk malzemeden üretilen denge çubuğu Şekil 7.12'de gösterilmektedir.



Şekil 7.12 : 55Cr3 Dolu malzemeden üretilen denge çubuğu.

55Cr3 dolu çubuk malzemeden üretilen denge çubukları için üretim akış şeması Şekil 7.13'de verilmiştir.



Şekil 7.13 : 55Cr3 Dolu denge çubukları için üretim akışı.

7.3.1 Büküm

66 adet dolu çubuk soğuk büküm tezgâhında u formuna bükülmüştür. Büküm işleminden sonra %100 mastar kontrolü ile çubuk formu kontrol edilmiştir.

7.3.2 Tavlama

Kondüksiyonlu ısıtma tezgâhında dolu çubuklar bakır elektrotlar vasıtasıyla 870- 910^{0} C 'de sıcaklığa ısıtılmıştır. Tavlama işleminde sıcaklık değerleri çubuk çapına ve

malzemesine göre belirlenmiştir. 55Cr3 malzemesinin 34MnB5 malzemesine kesit alanı daha fazla olduğu için tavlama sıcaklığı daha yüksek tutulmuştur.

Çubuk formundan dolayı ısının etkisi boru tipi çubuklarda anlatıldığı gibi kesit alanına göre değişmektedir. Çubuğun inceleme bölgeleri Şekil 7.14'de verilmiştir.



Şekil 7.14 : 55Cr3 Dolu malzemeden üretilen denge çubuğu- İnceleme bölgeleri.

7.3.3 Sertleştirme

Tavlama sonrası östenit yapıdaki çubuklar polimerli su, su ve yağ olmak üzere 3 farklı banyo ortamında sertleştirilmiştir. Banyo ortamı ile birlikte farklı banyo sıcaklıklarında ve sürelerinde de denemeler yapılmıştır.

7.3.3.1 Polimerli suda serleştirme

Polimerli suda sertleştirme işlemi için ideal koşullar %8 polimer konsantrasyonunda 25- 45 ⁰C banyo sıcaklığında 35 saniyedir.

Polimerli su banyosunda 5 farklı banyo sıcaklığında sertleştirme işlemi yapılmıştır. 30 adet çubuktan 12 tanesi 27 ve 36 ^oC 'de 45 saniye, 18 tanesi ise 25, 28 ve 36 ^oC 'de 60 saniye sertleştirilmiştir. Polimer konsantrasyonu %8,2'dir. Çubukların sertleştirme banyosuna giriş sıcaklığı 840- 870 ^oC aralığındadır. 27^oC banyo sıcaklığında 45 saniye sertleştirilen çubuklar DP1, 36^oC banyo sıcaklığında 45 saniye sertleştirilen çubuklar DP1, 36^oC banyo sıcaklığında 45 saniye sertleştirilen çubuklar DP2, 25^oC banyo sıcaklığında 60 saniye sertleştirilen çubuklar DP3, 28^oC banyo sıcaklığında 60 saniye sertleştirilen çubuklar DP4, 36^oC banyo sıcaklığında 60 saniye sertleştirilen çubuklar DP4, 36^oC banyo sıcaklığında 60 saniye sertleştirilen çubuklar DP4, 36^oC banyo sıcaklığında 60 saniye sertleştirilen çubuklar DP4, 36^oC banyo sıcaklığında 60 saniye sertleştirilen çubuklar DP4, 36^oC banyo sıcaklığında 60 saniye sertleştirilen çubuklar DP4, 36^oC banyo sıcaklığında 60 saniye sertleştirilen çubuklar DP4, 36^oC banyo sıcaklığında 60 saniye sertleştirilen çubuklar DP4, 36^oC banyo sıcaklığında 60 saniye sertleştirilen çubuklar DP4, 36^oC banyo sıcaklığında 60 saniye sertleştirilen çubuklar DP5 grubu olarak tanımlanmıştır.

7.3.3.2 Suda Sertleştirme

Suda sertleştirme işlemi için ideal koşullar en fazla 40° C banyo sıcaklığında 25 saniyedir.

Su banyosunda 4 adet çubuk 25^{0} C 'de 45 saniye sertleştirilmiş olup DS1 grubu olarak tanımlanmıştır. Çubukların su banyosuna giriş sıcaklığı 840- 870⁰C aralığındadır.

7.3.3.3 Yağda Sertleştirme

Yağda sertleştirme işlemi için ideal banyo sıcaklıkları 40- 70 °C' dir.

Yağ banyosunda yapılan deneme çalışmalarında 6 farklı banyo sıcaklığında (43- 48-51- 55 -62 - 66⁰C) değişen sürelerde sertleştirme işlemi yapılmıştır. Artan banyo sıcaklığı ile birlikte çubukların banyoda kalma süresi arttırılmıştır. Tavlama sonrası çubukların yağa giriş sıcaklığı 840- 870 ⁰C aralığındadır.

43[°]C banyo sıcaklığında 15 dakika sertleştirilen çubuklar DY1, 48[°]C banyo sıcaklığında 24 dakika sertleştirilen çubuklar DY2, 51[°]C banyo sıcaklığında 23 dakika sertleştirilen çubuklar DY3, 55[°]C banyo sıcaklığında 30 dakika sertleştirilen çubuklar DY4, 62[°]C banyo sıcaklığında 35 dakika sertleştirilen çubuklar DY5, 66 [°]C banyo sıcaklığında 45 dakika sertleştirilen çubuklar DY6 grubu olarak tanımlanmıştır.

7.3.4 Menevişleme

55Cr3 alaşımlı yay çelik malzeme için menevişleme $460 \pm 5^{\circ}$ C'de 60 dakika olarak belirlenmiştir. 12 farklı sertleştirme koşullarında sertleştirilen 64 adet çubuk menevişleme işlemine tabi tutulmuştur. Menevişleme sonrası mikroyapı analizi için her gruptan 1'er numune olmak üzere 12 adet çubuk metalografi analizi için incelenmiştir.

7.3.5 Doğrultma

Boru çubuklara uygulanan doğrultma işlemi dolu çubuklar içinde aynı koşullarda gerçekleştirilmiştir.

7.3.5 Gerilim giderme

Doğrultma operasyonunun olumsuz etkisini gidermek için $200 \pm 15^{\circ}$ C'de 30 dk gerilim giderme işlemi yapılmıştır.

7.3.6 Uç şekillendirme

Çubukların uç kısımları ilk olarak indüksiyonlu ısıtma tezgâhında 950-1050^oC'de ısıtılmıştır. Isı etkisinde yumuşayan ve sekil alabilirliği kolaylaşan uç kısım ilk olarak uç dövme tezgâhında dövülmüştür. Dövme sonrası delik delme tezgâhında delik açılmıştır. Son operasyon olarak ısı etkisinde oluşabilecek şekil bozukluklarını gidermek, dövme bölgesini düzgünleştirmek amacı ile ütüleme işlemi yapılmıştır. Uç ütüleme işlemi 80- 140 bar basma kuvveti ile gerçekleştirilmiştir. Ütüleme sonrası dövme bölgesi kalınlığı 8-9 mm arasındadır. Dövme işlemi tamamlanan çubuklarını mastar kontrolü yapılarak çubuk şekli kontrol edilmiştir.

7.3.7 Kumlama

Çubuklar kumlama askılarına uygun şekilde asıldıktan sonra 0,9 mm'lik çelik bilyalar ile 6 dakika kumlanmıştır.

7.3.8 Toz boyama

Boru çubukların boyama operasyonunda anlatılan koşullarda boyama yapılmıştır.

Üretim süreci tamamlanan 55Cr3 dolu malzemeden üretilmiş denge çubuğu Şekil 7.15'de gösterilmektedir.



Şekil 7.15 : 55Cr3 dolu çubuk malzemeden üretilen denge çubuğu.

7.4 Test ve Analizler

55Cr3 ve 34MnB5 malzemelerinden üretilen denge çubuklarının farklı banyo ortamlarında ve operasyon koşullarında yapılan sertleştirmenin, malzemenin mekanik özelliklerine etkisini incelemek amacıyla birçok test ve analiz yapılmıştır. Yapılan test ve analiz akışı Şekil 7.16'da verilmektedir.



Şekil 7.16 : Test ve analiz şeması.

7.4.1 Metalografi analizi

34MnB5 boru çubuklardan üretilen denge çubuklarının metalografi analizleri 2 bölüme ayrılmıştır. 9 farklı sertleştirme operasyonu için sertleştirme sonrası ve meneviş sonrası olmak üzere 1 'er adet alınan çubukların mikroyapı, tane boyutu ve dekarbürizasyon kontrolleri yapılmıştır.

55Cr3 dolu çubuklardan üretilen denge çubuklarında ise sadece meneviş işleminden sonra mikroyapı incelemesi yapılmıştır. 12 farklı sertleştirme operasyonu için 1'er adet çubuktan omuz ve düz bölgelerinden numuneler alınarak mikroyapı, tane boyutu ve dekarbürizasyon kontrolü yapılmıştır.

7.4.2 Mikroyapı ve dekarbürizasyon kontrolü

Sertleştirme ve menevişleme operasyonları sonrasında mikroyapıdaki dönüşümlerin belirlenmesi ve içyapı kontrolü için optik metal mikroskobu ile mikroyapı incelemesi ve dekarbürizasyon kontrolü yapılmıştır. Çubukların formundan dolayı düz ve büküm (omuz) bölgeleri ayrı ayrı incelenmiştir.

Her çubuktan omuz ve düz bölge olmak üzere 2'şer adet numune alınmıştır. Kesilen parçalar bakalite alma işlemi ile 180 ⁰C'de 6 dakika ısıtma ve bunu takiben 6 dakika soğutma işlemi ile hazırlanmıştır

Numunelere ilk olarak 54'lük elmas zımpara ile ön zımparalama işlemi yapılmıştır. 2. Zımparalama işleminde 18'lik elmas zımpara kullanılmıştır. Daha sonra 800 ve 1200'lük SiC zımparalar ile altışar zımparalama yapılmıştır. Zımparalanan yüzeyler 1 mikron alümina ile parlatılarak numunelerin sertlik taraması yapılmıştır. %5'lik nital ile dağlanan numunelerin optik mikroskopta mikroyapı incelemesi ve dekarbürizasyon kontrolü yapılmıştır.

7.4.3 Tane boyutu kontrolü

Mikroyapı incelemesinden sonra numunelere 2500'lük zımpara ile son zımparalama işlemi yapılmıştır. Alümina ile parlatma yapılmış, ardından pikralde 60 ⁰C'de 5 dk numune bekletilmiştir ve tane boyutu incelemesi yapılmıştır.

Kondüksiyonlu ısıtma ile çubukların östenit forma ısıtılması aşamasında çubuk formundan dolayı omuz iç ve dış bölümlerinde farklı tane boyutları meydana gelmektedir. Akımın, direnci düşük olan yerden ilerlemesinden dolayı ısının etkisi ile kesit alanı büyük olan omuz iç kısımlarında tane boyutları daha büyüktür.

7.4.4 Sertlik Taraması

Sertleştirme ve menevişleme işlemi sonrasında sertlik taraması yapılmıştır. Yüzey hazırlama işlemi yapıldıktan sonra Vickers sertlik ölçüm cihazı ile elmas piramit batıcı uç kullanılarak sertlik ölçülmüştür.

Sertlik taraması yapılırken her numunenin 4 yönünden 5'er ölçüm alınmıştır. Dolu ve Boru çubuklar için numunelerin sertlik ölçüm bölgeleri Şekil 17 ve Şekil 18'de gösterilmiştir.



Şekil 7.17 : 34MnB5 Boru çubuk için sertlik inceleme bölgeleri.



Şekil 7.18 : 55Cr3 Dolu çubuk için sertlik inceleme bölgeleri.

7.4.5 Üç boyutlu ölçüm

Çubukların üretim sonrası formlarının düzgün olması, delik merkezlerinin belirlenmesi, var ise kaçıklıkların bulunması için 3 boyutlu ölçüm cihazında boyutsal kontrolleri yapılmıştır.

7.4.6 Manyetik partikülle çatlak kontrolü

Çubukların sertleştirme operasyonu sırasında hızlı soğumanın etkisinde oluşabilecek iç çatlakların tespiti için manyetik partikülle muayene yapılmıştır. 34MnB5 boru çubuklarında suda sertleştirilmiş denge çubuklarında çatlak tespiti yapılırken diğer gruplarda çatlak bulunmamıştır. 55Cr3 dolu çubuk malzemeden üretilen denge çubuklarının tüm sertleştirme koşulunda hiçbir çatlak bulunmamıştır.

7.4.7 Yorulma Testi

Tekrarlanan gerilmeler altında çalışan metal parçalarda, etki eden gerilmenin parçanın akma-çekme dayanımından düşük olmasına rağmen belirli bir çevrimden sonra parça yüzeyinde çatlak oluşması, ilerlemesi ve bunu takiben kırılma meydana gelir [25].

Malzemeler 3 aşamada yorlurlar.

1- Çatlak Oluşumu; Gerilme altında ki metal parçalarının zıt yönde tekrarlı şekil değiştirmesi metal yüzeyinde kayma bölgesi çukurlarının oluşmasına neden olur. Kayma bölgelerinde oluşan bu hasarlar metalin yüzeyinde ve ya yüzeye yakın bölgelerinde çatlak başlamasına neden olur. Yüksek kesme gerilmelerine maruz kalan parçalarda çatlak genellikle düşük hızda (10⁻¹⁰ m/çevrim) parçanın içerisine doğru ilerleyerek büyür.

Yorulma çatlaklarının oluşmasında dislokasyonlar önemli rol oynamaktadır. İlk aşamada gerilme yoğunlaşması olan yüzeylerde dislokasyonlar toplanır ve tekrarlı yüklemelerden sonra sürekli kayma bantları (persistent slip band)oluşur. Kayma bantları, kayma düzlemleri boyunca malzemenin hareketinden dolayı oluşan parça yüzeyindeki çekme basma bölgeleridir. Yükleme yönüne 45⁰ olan yüksek kesme gerilmesi düzlemeleri boyunca mikro çatlaklar çekirdeklenir.

- 2- Çatlak İlerlemesi; Tekrarlı gerilmeler etkisinde çatlak, yönünü parçadaki en yüksek çekme gerilmesi yönüne dik yönde çevirerek ilerler. Mikro çatlakların tekrarlı yüklemeler ile birleşerek büyümesi parçadaki çatlaksız bölgenin etki eden yüke dayanamadığı ana kadar devam eder. Çatlağın ilerleme hızı bu aşamada yüksektir ve parça yüzeyinde yorulma çizgileri oluşur.
- 3- Kopma; Çatlağın ilerlemesi ile yüzeyin etki eden yükü taşıyamaması sonucunda dayanımı düşen parçada kırılma meydana gelir [26].

Malzemelerin yorulma ömürlerinin belirlenmesi için yorulma testleri gerilme ve ya şekil değiştirme miktarının sabit tutulması ile yapılır. Gerilme genlikleri sabit tutularak yapılan yorulma testlerinde, çevrim sayısına bağlı olarak her çevrimdeki birim şekil değiştirme miktarı belirlenmektedir. Şekil değiştirme genlikleri sabit tutularak yapılan yorulma testlerinde ise çevrim sayısına bağlı olarak her çevrimdeki gerilme miktarı belirlenmektedir.

Genellikle yorulma çatlakları parça yüzeyinde başlar. Bu nedenle parçanın yüzey koşulları yorulma ömrünü etkilemektedir.

Yorulma etkisinde kopma yüzeyleri incelendiğinde 2 farklı yüzey yapısı görülmektedir.

- 1- Yorulmanın meydana geldiği ve çatlağın ilerlediği düz bölge,
- 2- Kopmanın meydana geldiği kaba bölge [26].

Tekrarlı gerilmeler altında çatlak başlaması ve kritik boya gelmesi sonucunda meydana gelen kopma anıdaki çevrim sayısı parçanın yorulma ömrünü belirtmektedir.

Farklı banyo ortamlarında sertleştirilen çubukların yorulma davranışlarını incelemek için mekanik yorma tezgâhında aynı koşullarda yorulma testleri yapılmıştır. Yorulma testi, çubukların sabit şekil değiştirme prensibine göre yapılmıştır. 34MnB5 boru çubuklardan üretilen denge çubuklarının yorulma testinde frekans 2Hz (saniyede 2 çevrim) olarak belirlenmiştir. Çubukların test sırasında yukarı aşağı hareket mesafesi(strok) 36 mm'dir.

55Cr3 dolu çubuklardan üretilen U formundaki denge çubuklarının yorulma testinde de frekans 2Hz olup strok 31 mm'dir.

8. DENEYSEL SONUÇLAR

34MnB5 Boru ve 55Cr3 dolu çubuk malzemeden üretilen 118 adet denge çubuğunun test ve analiz sonuçları aşağıdaki başlıklar altında verilmektedir.

8.1 34MnB5 Boru Çubuk Malzemeden Üretilen Denge Çubukları

34MnB5 malzemesinde üretilen denge çubuklarının mikroyapı incelemesi, dekarbürizasyon ve tane boyutu kontrolü, sertlik ölçümleri ve yorulma testi sonuçları bu grup başlık altında verilmektedir.

8.1.1 Mikroyapı incelemesi, dekarbürizasyon kontrolü ve sertlik ölçümleri

Aynı üretim hattında ve operasyon koşullarında 34MnB5 boru çubuk malzemeden üretimi tamamlanan 54 adet çubuk için farklı soğutma banyo ortamlarında sertleştirme işlemi yapılmıştır. 3 farklı soğutma banyo ortamında ve 9 farklı operasyon koşullarında yapılan sertleştirme işleminin mikroyapıya ve sertlik değerlerine etkisi incelenmiştir.

Çubukların düz ve omuz bölgelerinden numuneler alınarak mikroyapı ve mekanik özellik incelemeleri yapılmıştır. Düz bölge olarak belirtilen kısım çubuk formundaki düz kısım, omuz bölgesi ise büküm bölgelerini ifade etmektedir. İnceleme bölgelerinin çubuk üzerinden gösterimi Şekil 8.1'de verilmiştir.



Şekil 8.1 : 34MnB5- Boru denge çubuklarının inceleme bölgeleri.

8.1.1.1 Suda sertleştirme ve meneviş sonrası mikroyapı - sertlik kontrolü

820-860[°]C aralığında tavlama işlemi yapılan 34MnB5 boru çubuk malzemeden üretilen 12 adet denge çubuğu 27 ve 36[°]C'de ki su banyosuna daldırıldıklarında östenit yapıdan martenzit yapıya dönüşüm gerçekleşmiştir.

Farklı banyo sıcaklıklarında yapılan suda sertleştirme operasyonunda BS1 ve BS2 çubuklarının sertleştirme ve menevişleme sonrası mikroyapı, dekarbürizasyon derinliği ve tane boyutu değişimi Çizelge 8.1 ve Çizelge 8.2'de verilmiştir.

	Mikrovan	ſ	Fane Boyutu	(ASTM)
	миктоуарт	Düz	Omuz İç	Omuz Dış
BS1S	Martenzit	9-10	6-7	9
BS1M	Temper Martenzit	9	5	9
BS2S	Martenzit	9	5-6	9
BS2M	Temper Martenzit	9	6	9

Çizelge 8.1 : BS1 ve BS2 çubuklarının mikroyapı ve tane boyutları.

Çizelge 8.2: BS1 ve BS2 çubuklarının dekarbürizasyon derinlikleri.

	Dekarbürizasyon Derinliği (mikron)							
	Düz Bölge	Omuz Bölgesi						
BS1	10	10						
BS2	0	10						

Tavlama sonrası KYM'li östenit yapı hızlı soğuma ile birlikte THM'li martenzit forma dönüşür. Sertleştirme ortamları içerisinde en yüksek soğutma hızına su banyosunda ulaşılmaktadır. Yüksek soğutma hızından dolayı parçada oluşan iç gerilmeler, parçanın gevrekleşmesine ve çatlak başlamasına neden olabilir. Ayrıca suda sertleştirilen metal parçalarda diğer sertleştirme ortamlarına göre soğutma hızlarından dolayı daha fazla şekil bozuklukları ve çarpılmalar meydana gelmektedir. Mikroyapı incelemelerinin sonuçları aşağıda verilmekte olup tüm mikroyapı resimleri 200 büyütmede alınmıştır.

BS1 Grubu mikroyapı - sertlik incelemesi

27 ^oC sıcaklıktaki su banyosunda 25 saniye sertleştirilen 6 adet BS1 grubu çubukları için sertleştirme ve menevişleme sonu mikroyapı incelemeleri ve sertlik testi sonuçları aşağıda verilmektedir. Sertleştirme sonrası incelenen çubuk BS1S, menevişleme sonrası incelenen çubuk BS1M tanımlaması ile verilmiştir.

BS1S kodlu çubuk için sertleştirme sonrası mikroyapı dönüşüm resimleri Şekil 8.2'de verilmiştir.



Düz Bölge-Yüzey Düz Bölge-Merkez Omuz Bölgesi-Yüzey Omuz Bölgesi-Merkez

Şekil 8.2 : Su banyosunda sertleştirme sonrasında BS1S çubuğunun mikroyapısı (Banyo sıcaklığı 27 °C, Banyoda kalma süresi 25 sn, 200X).

Sertleştirme sonrası yapı incelemesinde tam dönüşüm ile martenzit yapı meydana gelmiştir.

Sertleştirme sonrası çubuğun düz bölgesinin ASTM standartlarına göre tane boyutu 9-10 olup ince taneli yapı oluşmuştur. Büküm sırasında kesit kalınlaşması olan omuz bölgesinin iç kısımda lokal ısınmaların etkisinde tane büyümesi meydana gelmiş olup ASTM'ye göre tane boyutu 6-7'dir. Büküm sırasında kesit incelmesi meydana gelen omuz bölgesinin dış kısmında ise ASTM'ye tane boyutu 9 olup ince taneli yapı oluşmuştur.

BS1S çubuğunun sertleştirme operasyonu sonrasındaki sertlik değerleri Çizelge 8.3'de verilmiştir.

Yüzeyden Merkeze Ölçüm Məsəfəsi	BS1S (HV)									
	Düz Bölge					Omuz Bölgesi				
(mm)	1	2	3	4	Ortalama	1	2	3	4	Ortalama
0,1	624	641	682	672	655	607	614	569	630	605
0,2	638	620	674	659	648	592	628	605	603	607
0,3	626	620	656	631	633	577	600	600	600	594
0,5	616	614	630	561	605	589	601	586	602	595
1	612	623	618	601	614	580	600	583	592	589
Merkez	613	593	596	606	602	567	577	582	565	573
Genel Ort.			626,08	8				593,71		

Çizelge 8.3 : Suda sertleştirme sonrasında BS1S çubuğun sertlik değerleri (HV).

BS1S çubuğunun sertleştirme operasyonu sonrasındaki yüzeyden merkeze doğru sertlik değişimi Şekil 8.3'de verilmiştir.



BS1S-Sertlik - Mesafe Değişimi

Şekil 8.3 : BS1S çubuğunun sertleştirme sonrası yüzeyden merkeze doğru sertlik değişimi.

 245 ± 15 ⁰C sıcaklıkta 90 dakika uygulanan menevişleme işlemi sonrasında BS1M çubuğun mikroyapı resimleri Şekil 8.4'de verilmiştir.





Şekil 8.4 : Menevişleme sonrası BS1M çubuğunun mikroyapısı (Menevişleme sıcaklığı $245 \pm 15^{\circ}$ C, Menevişleme süresi 90 dk, 200X).

Menevişleme sonrası THM'li martenzit yapı temper martenzit (kübik martenzit) formuna dönüşmüştür.

Menevişleme sonrası çubuğun düz bölgesinde ve omuz bölgesinin dış kısmında tane boyutu değişmemiş olup ince taneli yapı oluşmuştur. Omuz bölgesinin iç kısmında meneviş esnasında ısı etkisinde kaba tanelerin biraz daha büyüdüğü tespit edilmiş olup ASTM'ye göre tane boyutu 5'dir.

BS1M çubuğunun menevişleme operasyonu sonrasındaki sertlik değerleri Çizelge 8.4'de verilmiştir.

Yüzeyde n	BS1M (HV)									
Merkeze Ölçüm		Düz Bölge					Omuz Bölgesi			
Mesafesi (mm)	1	2	3	4	Ortalam a	1	2	3	4	Ortalama
0,1	498	526	527	529	520	508	511	511	524	514
0,2	508	531	519	532	523	518	515	513	523	517
0,3	508	522	500	518	512	504	508	503	510	506
1	501	508	500	521	508	488	498	494	508	497
Merkez	521	513	510	524	517	508	512	504	508	508
Genel Ort.	515,80							508,40)	

Çizelge 8.4 : Menevişleme sonrasın BS1M çubuğun sertlik değerleri (HV).

BS1M çubuğunun sertleştirme operasyonu sonrasındaki yüzeyden merkeze doğru sertlik değişimi Şekil 8.5'de verilmiştir.





34MnB5 malzemesi için meneviş sonrası sertlik değerleri (460-510 HV) ile kıyaslama yapıldığında 27 ^oC su banyosunda 25 saniye sertleştirilmiş ve 245 ^oC'de 90 dakika menevişlenmiş BS1 çubuklarında uygun sertliklerin elde edildiği görülmüştür. BS1 grubu çubuklarında düz ve omuz bölgelerin yüzeylerinde maksimum 10 mikronluk dekarbürizasyon derinliği tespit edilmiştir.

BS2 Grubu mikroyapı - sertlik incelemesi

36[°]C sıcaklıktaki su banyosunda 25 saniye sertleştirilen 6 adet BS2 grubu çubukları sertleştirme ve menevişleme sonu mikroyapı incelemeleri ve sertlik testi sonuçları aşağıda verilmektedir. Sertleştirme sonrası incelenen çubuk BS2S, menevişleme sonrası incelenen çubuk BS2M tanımlaması ile verilmiştir. BS2S kodlu çubuk için sertleştirme sonrası mikroyapı dönüşüm resimleri Şekil 8.6'da verilmiştir.





Şekil 8.6 : Suda banyosunda sertleştirme sonrasında BS2S çubuğunun mikroyapısı (Banyo sıcaklığı 36⁰C, Banyoda kalma süresi 25 sn, 200X).
Sertleştirme sonrası dönüşüm tamamlanmış olup martenzit yapı oluşmuştur. Tane boyutu incelemesi sonucunda çubuğun düz bölgesinin ve kesit incelmesi olan omuz dış bölgesinin ASTM'ye göre tane boyutu 9 olup ince taneli yapı oluşmuştur. Omuz bölgesinin iç kısmının tane boyutu ASTM 5-6, dış bölgesinin tane boyutu ASTM 9'dur.

BS2S çubuğunun sertleştirme operasyonu sonrasındaki sertlik değerleri Çizelge 8.5'de verilmiştir.

Yüzeyden					BS2S	6 (HV)					
Ölçüm Mesafesi		Düz Bölge					Omuz Bölgesi				
(mm)	1	2	3	4	Ortalama	1	2	3	4	Ortalama	
0,1	622	609	602	628	615	634	622	620	612	622	
0,2	629	618	614	570	608	629	637	626	606	625	
0,3	627	607	602	623	615	625	618	634	588	616	
1	604	597	593	599	598	606	601	618	590	604	
Merkez	600	609	575	589	593	603	608	585	612	602	
Genel Ort.			6	05,85		613,70					

Çizelge 8.5 : Suda sertleştirme sonrasında BS2S çubuğun sertlik değerleri (HV)

BS2S çubuğunun sertleştirme operasyonu sonrasındaki yüzeyden merkeze doğru sertlik değişimi Şekil 8.7'de verilmiştir.



BS2S-Sertlik - Mesafe Değişimi

Şekil 8.7 : BS2S çubuğunun sertleştirme sonrası yüzeyden merkeze doğru sertlik değişimi.

 245 ± 15^{0} C sıcaklıkta 90 dakika uygulanan menevişleme işlemi sonrasında BS2M çubuğun mikroyapı resimleri Şekil 8.8'de verilmiştir.







Menevişleme sonrasında martenzit yapıdan tempermartenzit yapıya tam dönüşüm gerçekleşmiştir. Tane boyutu incelemesi sonucunda meneviş sonrasında bir değişiklik oluşmadığı tespit edilmiştir.

BS2M çubuğunun menevişleme operasyonu sonrasındaki sertlik değerleri Çizelge 8.6'da verilmiştir.

Yüzeyden					BS2M	1 (HV)				
Merkeze Ölçüm Mesafesi	Düz Bölge					Omuz Bölgesi				
(mm)	1	2	3	4	Ortalama	1	2	3	4	Ortalama
0,1	537	481	532	530	520	528	535	537	532	533
0,2	521	531	510	522	521	513	519	535	529	524
0,3	520	520	519	515	519	480	524	531	522	514
1	516	512	507	511	512	498	522	526	526	518
Merkez	505	504	508	502	505	513	514	520	520	517
Genel Ort.			5	15,15		521,20				

Cizelge 8.6	: Menevişleme sonrasın	BS2M çubuğun sertl	ik değerleri (HV).
, 0	,	, 0	

BS2M çubuğunun sertleştirme operasyonu sonrasındaki yüzeyden merkeze doğru sertlik değişimi Şekil 8.9'da verilmiştir.



BS2M-Sertlik - Mesafe Değişimi

Şekil 8.9 : BS2M çubuğunun sertleştirme sonrası yüzeyden merkeze doğru sertlik değişimi.

BS2 grubu çubukları için omuz bölgesinin yüzeyinde 10 mikronluk dekarbürizasyon derinliği tespit edilirken düz bölgede dekarbürizasyon oluşmamıştır.

Suda sertleştirilmiş BS1 ve BS2 grubu çubuklarının mikroyapı ve sertlik incelemeleri ile aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Sertleştirme operasyonu sonunda BS1S ve BS2S çubuklarının omuz dışı ve düz bölgelerinde benzer ince taneli yapı oluşmuştur. Büküm sırasındaki et kalınlığının arttığı omuz içi bölgesinde lokal ısınmaların etkisiyle her iki grup çubukları için tane yapısının kabalaştığı tespit edilmiştir. Menevişleme sonrası tane yapısında fazla bir değişiklik meydana gelmemiştir. 2 farklı sıcaklıkta yapılan sertleştirme işleminde her iki banyo ortamı içinde yüksek soğuma hızı sağlanmış olup yakın sertlik değerleri ve ince taneli yapı oluştuğu tespit edilmiştir.

Su banyosunda yapılan sertleştirme işlemi sonrasında, her iki çubuk için ortalama sertlik değeri ele alındığında yakın sertlik değeri elde edilmektedir. Düz bölgeler kıyaslandığında ise BS1S çubuğunda daha yüksek sertlik meydana gelmiştir. Tavlama esnasında çubuğun formundan dolayı et kalınlığı daha fazla olan omuz iç bölgesinde daha yüksek ısınmanın meydana gelmesi ile BS1S çubuğunun omuz bölgesinde sertlik değeri düşmüştür.

Suda sertleştirme sonrasında çubukların yüzey ile merkez sertlikleri arasındaki farklar incelendiğinde BS2 çubuğunda daha az farkın oluştuğu görülmektedir.

Yapılan deneysel çalışmaların sonuçlarına göre ideal koşullar içerisinde banyo sıcaklığındaki 9-10⁰C'lik sıcaklık farkının içyapıda ve sertlik değerlerinde büyük değişikliklere neden olmadığı tespit edilmiştir. Su banyosunda sertleştirilen çubukların sertlik değerlerindeki değişim Şekil 8.10'da verilmiştir.



SUDA SERTLEŞTİRME - SERTLİK (DÜZ BÖLGE)

SUDA SERTLEŞTİRME - SERTLİK (OMUZ BÖLGE)

Şekil 8.10 : Su banyosunda sertleştirme – Sertlik değişimi.

Aynı tavlama koşullarında malzemede oluşan dekarbürizasyon derinliği aynıdır. Dekarbürizasyon oluşumu sertleştirme ortamından ve meneviş operasyonundan bağımsız olup tavlama sırasındaki ısınmaya bağlı olarak değişir. Her iki çubukta tavlama aynı sıcaklıklarda yapılmış olup maksimum 10 mikronluk dekarbürizasyon derinliği tespit edilmiştir. Dekarbürizasyonun lokal ısınmaların etkisinde omuz (büküm) bölgelerinin iç kısımlarında oluştuğu tespit edilmiştir.

Su banyosunda sertleştirilen çubuklar 25 saniye sonunda tam soğumuş halde banyodan çıkmıştır.

Su banyosunda yapılan sertleştirme operasyonunda diğer banyo ortamlarında sertleştirilen çubuklara göre daha yüksek sertlik değerlerine ulaşılmıştır. Bu oluşumun sebebi banyo ortamına giren sıcak parçanın soğuma hızının çok yüksek olmasıdır. Parçanın su banyosuna daldırıldığı ilk anda etrafında oluşan buhar örtü tabakası, yağ ve polimerli su banyolarında oluşan buhar örtüsüne göre daha kısa

sürede çökeltilerek kaynama fazına geçilebilmektedir. Bu durumun nedeni suyun buharlaşması için gereken ısının (540 kalori- yaklaşık 700°C) ve kaynama sıcaklığının (100[°]C) polimerli su ve yağa göre daha düşük olmasıdır. Buhar örtü tabakasının kısa sürede çökeltilmesi ile soğumanın en hızlı gerçekleştiği kaynama fazına geçilir. Ayrıca parça sıcaklığının suyun kaynama sıcaklığının altına düştüğü anda kaynama fazı tamamlanarak konveksiyon fazına geçilir ve sertleştirme operasyonu kısa sürede tamamlanabilmektedir. Segerberg tarafından yapılan da buhar fazında östenit ve faz dönüşümlerinin çalışmalarda perlit gerçekleşmesinden dolayı buhar fazında kalma süresi ne kadar artarsa ulaşılan malzeme sertliğinin düştüğü tespit edilmiştir [16].

Suyun yüksek soğutma kabiliyeti sonucunda kısa sürede tam soğuma gerçekleşmiş olup martenzit yapı dönüşümü kolayca gerçekleştirilmiştir [16]. Fakat bu hızlı soğumanın etkisinde yapıda oluşan yüksek gerilimden dolayı çatlak oluşumları ve distorsiyonlar tespit edilmiştir.

Manyetik partikülle yapılan çatlak kontrolü muayenesi sonucunda BS23 ve BS1S çubuğunun omuz iç bölgesinde ve BS24 çubuğunun dövme bölgesinde çatlak oluştuğu tespit edilmiştir. BS1S numaralı çubuğun omuz bölgesinde sertleştirme sonrasında oluşan çatlak Şekil 8.11'de görülmektedir.



Şekil 8.11 : BS1S- Omuz bölgesi yüzey çatlağı, 200X.

Suda sertleştirme operasyonunda, hızlı soğumanın etkisinde parçada yüksek sertlik değerlerine ulaşılırken, parçada hızlı soğuma etkisinde yüzey – merkez sıcaklık farkının artması ile termal gradyantlar meydana gelir, parçada çarpılmalara, kalıntı gerilme ve çatlak oluşmasına neden olur. Yapı içerisinde oluşan gerilmeler tokluk kaybına neden olurken yorulma ömrünün azalmasına neden olmaktadır. Çarpılan parçaların uygun formuna dönüştürülebilmesi için uygulanan doğrultma

operasyonuna ihtiyaç artmaktadır. Doğrultma operasyonu ile parçada oluşan gerilimleri gidermek için parçalarda gerilim giderme tavına ihtiyaç duyulabilmektedir. Sertleştirme operasyonu sonrasında yapılan mastar kontrolünde çubukların formunda simetri bozuklukları, açılmalar tespit edilmiştir. Hızlı soğumanın etkisi ile parçalarda çarpılmalar meydana gelmiştir.

Yapı ve sertlik kontrolleri sonucunda suda sertleştirme için her iki çubuk grubunda da benzer sonuçlar elde edilmiştir. Sertleştirme sonrasında oluşan çubuk formundaki çarpılmalar, ortalama sertlik değerleri ve sertleştirme sonrası tane boyutu kıyaslamasına göre en uygun operasyon koşulları BS2 grubu çubuklarına uygulanan 36⁰C banyo sıcaklığında 25 sn sertleştirme süresi olarak belirlenmiştir.

8.1.1.2 Polimerli suda sertleştirme ve meneviş sonrası mikroyapı – sertlik kontrolü

Polimerli suda yapılan sertleştirme işleminde soğutma hızı su banyosuna göre daha yavaş, yağ banyosuna göre daha hızlıdır. Sertleştirme süresince banyoda ısı dağılımının homojen olması, termal gradyantların ve iç gerilimlerin oluşmasını engellemiştir.

28 ve 37^{0} C'de yapılan sertleştirme işlemleri sonrasında tam dönüşüm ile martenzit yapı elde edilmiştir. Farklı banyo sıcaklıklarında yapılan polimerli suda yapılan sertleştirme ve 245 ± 15^{0} C'de 90 dakika yapılan menevişleme işlemi sonrası çubukların mikroyapı değişimleri, dekarbürizasyon derinlikleri ve tane boyutları Çizelge 8.7 ve Çizelge 8.8'de verilmiştir.

	Mikroyanı	Tane Boyutu (ASTM)					
	Wiki oyapi	Düz	Omuz İç	Omuz Dış			
BP1S	Martenzit	9-10	6-7	9			
BP1M	Temper Martenzit	9	5	9			
BP2S	Martenzit	9	5	9			
BP2M	Temper Martenzit	9	5-6	9			

Çizelge 8.7 : BP1 ve BP2 çubuklarının mikroyapı ve tane boyutları.

	Dekarbürizasyon Derinliği (mikron)								
	Düz Bölge	Omuz Bölgesi							
BP1	0	20							
BP2	5	10							

Çizelge 8.8 : BP1 ve BP2 çubuklarının dekarbürizasyon derinlikleri.

Farklı banyo sıcaklıklarında yapılan sertleştirme işlemi ve menevişleme sonrası denge çubuklarının mikroyapı ve sertlik değerlerindeki değişim aşağıda verilmiştir. Tüm mikroyapı resimleri 200 büyütmede alınmıştır.

BP1 Grubu mikroyapı - sertlik incelemesi

28[°]C sıcaklıktaki polimerli su banyosunda 35 saniye sertleştirilen 6 adet BP1 grubu çubukları için sertleştirme ve menevişleme sonu mikroyapı incelemeleri ve sertlik testi sonuçları aşağıda verilmektedir. Sertleştirme sonrası incelenen çubuk BP1S, menevişleme sonrası incelenen çubuk BP1M tanımlaması ile verilmiştir.

BP1S kodlu çubuk için sertleştirme sonrası mikroyapı dönüşüm resimleri Şekil 8.12'de verilmiştir.



Düz Bölge-Yüzey Düz Bölge-Merkez Omuz Bölgesi-Yüzey Omuz Bölgesi-Merkez

Şekil 8.12 : Polimerli suda banyosunda sertleştirme sonrasında BP1S çubuğunun mikroyapısı (Banyo sıcaklığı 28⁰C, Banyoda kalma süresi 35 sn, 200X).

Tavlama sonrası oluşan östenit yapı sertleştirme ile martenzit forma dönüştürülmüştür. Sertleştirme sonrası çubuğun düz bölgesinin ASTM'ye göre tane boyutu 9-10 olup ince taneli yapı oluşmuştur. Omuz bölgesinin iç kısmının tane boyutu ASTM 6-7, dış bölgesinin tane boyutu ASTM 9'dur.

BP1S çubuğunun sertleştirme operasyonu sonrasındaki sertlik değerleri Çizelge 8.9'da verilmiştir.

Çizelge 8.9 :	Polimerli	suda	sertleştirme	sonrasi	BPIS	çubuğunun	sertlik	değerleri
	(HV).							

Yüzeyden					BP1S	(HV)					
Merkeze Ölçüm		Düz Bölge					Omuz Bölgesi				
Mesafesi (mm)	1	2	3	4	Ortalama	1	2	3	4	Ortalama	
0,1	608	627	463	641	585	607	612	632	634	621	
0,2	614	620	476	607	579	599	620	620	615	614	
0,3	590	615	496	600	575	608	618	604	611	610	
0,5	589	598	524	578	572	583	594	603	602	596	
1	589	583	575	576	581	566	578	599	594	584	
Merkez	587	600	583	581	588	590	581	568	590	582	
Genel Ort.			58	30,00				60	01,17		

BP1S çubuğunun sertleştirme operasyonu sonrasındaki yüzeyden merkeze doğru sertlik değişimi Şekil 8.13'de verilmiştir



BP1S-Sertlik - Mesafe Değişimi



 245 ± 15 ⁰C sıcaklıkta 90 dakika uygulanan menevişleme işlemi sonrasında BP1M çubuğun mikroyapı resimleri Şekil 8.14'de verilmiştir.

Dekarbürizasyon bölgesi



Düz Bölge-Yüzey Düz Bölge-Merkez Omuz Bölgesi-Yüzey Omuz Bölgesi-Merkez

Şekil 8.14 : Menevişleme sonrası BP1M çubuğunun mikroyapısı (Menevişleme sıcaklığı 245 ± 15 ⁰C, Menevişleme süresi 90 dk, 200X).

Menevişleme sonrası yapı dönüşümü ile tempermartenzit yapı oluşmuştur. Çubuğun düz ve omuz dış bölgesinin ASTM'ye göre tane boyutu 9 olup sertleştirme sonrası ince taneli yapı korunmuştur. Omuz bölgesinin iç kısmının ASTM'ye göre tane boyutu 5 olup ısı etkisinde tane kabalaşması meydana gelmiştir. Sertleştirme ve menevişleme sonrasında çubuğun omuz bölgesinin iç ve dış kısımlardaki ve düz bölgesindeki tane boyutunun farkı tavlama operasyonu sırasında kesit alanına bağlı olarak meydana gelen lokal ısınmalardır.

BP1M çubuğunun menevişleme operasyonu sonrasındaki sertlik değerleri Çizelge 8.10'da verilmiştir.

Yüzeyden					BP1M	1 (HV)				
Merkeze Ölçüm			Düz	z Bölge		Omuz Bölgesi				
Mesafesi (mm)	1	2	3	4	Ortalama	1	2	3	4	Ortalama
0,1	515	526	533	523	524	499	529	512	534	519
0,2	526	548	529	528	533	509	539	524	532	526
0,3	518	544	517	508	522	501	513	518	521	513
1	508	508	508	512	509	500	511	506	496	503
Merkez	506	515	510	511	511	511	512	500	501	506
Genel Ort.			5	19,65		513,40				

Çizelge 8.10 : Menevişleme sonrası BP1M çubuğunun sertlik değerleri (HV).

BP1M çubuğunun sertleştirme operasyonu sonrasındaki yüzeyden merkeze doğru sertlik değişimi Şekil 8.15'de verilmiştir.



Şekil 8.15 : BP1M çubuğunun sertleştirme sonrası yüzeyden merkeze doğru sertlik değişimi.

BP1 çubuklarının düz bölgelerinde dekarbürizasyon görülmemiş olup omuz bölgelerinde 20 mikronluk dekarbürizasyon derinliği tespit edilmiştir. Çubukların formundan dolayı tavlama operasyonu sırasında omuz bölgelerinde kesit değişimi ısınma oranını etkilemektedir. Büküm (omuz) bölgelerinde kesit alanı değişiminden kaynaklanan lokal ısınmalar yüzeyden ortama karbon difüzyonunu hızlandırmıştır ve dekarbürizasyon meydana gelmiştir.

BP2 Grubu mikroyapı - sertlik incelemesi

27 ^oC sıcaklıktaki polimerli su banyosunda 35 saniye sertleştirilen 6 adet BP2 grubu çubukları için sertleştirme ve menevişleme sonu mikroyapı incelemeleri ve sertlik testi sonuçları aşağıda verilmektedir. Sertleştirme sonrası incelenen çubuk BP2S, menevişleme sonrası incelenen çubuk BP2M tanımlaması ile verilmiştir.

BP2S kodlu çubuk için sertleştirme sonrası mikroyapı dönüşüm resimleri Şekil 8.16'da verilmiştir.

Dekarbürizasyon bölgesi



Düz Bölge-Yüzey Düz Bölge-Merkez Omuz Bölgesi-Yüzey Omuz Bölgesi-Merkez

Şekil 8.16 : Polimerli su banyosunda sertleştirme sonrasında BP2S çubuğunun mikroyapısı (Banyo sıcaklığı 37 °C, Banyoda kalma süresi 35 sn, 200X).

Sertleştirme sonrası yapı incelendiğinde tam martenzit dönüşümü tespit edilmiştir. Çubuğun düz ve omuz dış bölgesinin ASTM'ye göre tane boyutu 9 olup ince taneli yapı oluşmuştur. Omuz bölgesinin iç kısmının ASTM'ye göre tane boyutu 5 olup ısı etkisinde tane kabalaşması meydana gelmiştir.

BP2S çubuğunun sertleştirme operasyonu sonrasındaki sertlik değerleri Çizelge 8.11'de verilmiştir.

Çizelge 8.11 : Polimerli suda sertleştirme sonrası BP2S çubuğunun sertlik değerleri (HV).

Yüzevden					P2S	(HV)					
Merkeze Ölçüm		Düz Bölge					Omuz Bölgesi				
Mesafesi (mm)	1	2	3	4	Ortalama	1	2	3	4	Ortalama	
0,1	568	588	561	566	571	585	586	589	589	587	
0,2	584	592	595	598	592	599	613	607	615	609	
0,3	589	574	596	596	589	580	599	585	589	588	
1	562	576	588	583	577	571	591	568	597	582	
Merkez	575	583	589	585	583	578	586	592	614	593	
Genel Ort.			58	82,40		591,65					

BP2S çubuğunun sertleştirme operasyonu sonrasındaki yüzeyden merkeze doğru sertlik değişimi Şekil 8.17'de verilmiştir.



BP2S-Sertlik - Mesafe Değişimi



 245 ± 15 ⁰C sıcaklıkta 90 dakika uygulanan menevişleme işlemi sonrasında BP2M çubuğun mikroyapı resimleri Şekil 8.18'de verilmiştir.



Şekil 8.18 : Menevişleme sonrası BP2M çubuğunun mikroyapısı (Menevişleme

sıcaklığı 245 ± 15 ^oC, Menevişleme süresi 90 dk, 200X).

Meneviş sonrası tempermartenzit yapı dönüşümü gerçekleşmiştir. Menevişleme sonrası çubuğun tane boyutu sertleştirme sonrası ile aynı olup düz bölgenin ve omuz bölgesinin dış kısmının ASTM 9, omuz bölgesinin iç kısmının tane boyutunun ASTM 5 olduğu tespit edilmiştir.

BP2M çubuğunun menevişleme operasyonu sonrasındaki sertlik değerleri Çizelge 8.12'de verilmiştir.

Yüzeyden					P2M	(HV)				
Merkeze Ölçüm	Düz Bölge					Omuz Bölgesi				
Mesafesi (mm)	1	2	3	4	Ortalama	1	2	3	4	Ortalama
0,1	533	519	520	511	521	500	511	512	528	513
0,2	534	529	518	518	525	501	516	520	520	514
0,3	534	508	518	518	520	505	519	505	518	512
1	509	514	510	504	509	503	508	499	494	501
Merkez	507	503	518	510	510	491	505	495	505	499
Genel Ort.			5	16,75		507,75				

Çizelge 8.12 : Menevişleme sonrası BP2M çubuğunun sertlik değerleri (HV).

BP2M çubuğunun sertleştirme operasyonu sonrasındaki yüzeyden merkeze doğru sertlik değişimi Şekil 8.19'da verilmiştir.





Şekil 8.19 : BP2M çubuğunun sertleştirme sonrası yüzeyden merkeze doğru sertlik değişimi.

BP2M çubuğunda düz bölgede 5 mikron omuz bölgesinde 10 mikron dekarbürizasyon tespit edilmiştir.

Polimerli suda sertleştirilmiş BP1 ve BP2 grubu çubuklarının mikroyapı ve sertlik incelemeleri ile aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Farklı banyo sıcaklıklarında yapılan polimerli suda sertleştirme işlemi sonrasında BP1S ve BP2S çubukları ısıl işlem koşullarında benzer davranış göstermiştir. Sertleştirme sonrası her iki çubukta da tam dönüşüm ile martenzit yapı sağlanırken banyo sıcaklığının etkisinde soğuma BP1S çubuğunda daha hızlı gerçekleşmiş daha yüksek sertlik değeri elde edilmiştir. Polimerli su banyosunda sertleştirilen çubukların sertlik değerlerindeki değişim Şekil 8.20'de verilmiştir.



Şekil 8.20 : Polimerli su banyosunda sertleştirme – Sertlik değişimi.

Her iki çubukta da sertleştirme sonrası ince taneli yapı oluşmuş olup omuz ve düz bölgelerindeki sertlik farkının nedeni tavlama esnasında kesit alanı değişimine bağlı olarak oluşan lokal ısınmalardır. Meneviş sonrasında, çubuk formundan dolayı ısı etkisinde büküm iç bölgelerinde benzer tane kabalaşması meydana gelmiştir. Tane kabalaşması ile meneviş sonrası sertlik değerlerinde düşme meydana gelmiştir. Çubukların ortalama sertlik değerleri ele alındığında benzer sertlikler elde edilmiş olup yaklaşık BP1 grubu çubuklarda 10 HV fazla sertlik elde edilmiştir.

Her iki gruptaki çubuklarda meydana gelen dekarbürizasyon karşılaştırıldığında BP1 çubuklarında en fazla 20 mikron, BP2 çubuklarında ise 10 mikron dekarbürizasyon derinliği tespit edilmiştir. Çubukların omuz bölgelerinde daha çok görülen dekarbürizasyon nedeni ile yüzey sertliğinde kayıplara neden olmuştur.

Polimerli suda sertleştirme sonrasında çubukların yüzey ve merkez sertlikleri arasındaki farklar incelendiğinde suda sertleştirmede de olduğu için banyo sıcaklığı daha yüksek olan BP2 grubu çubuklarında daha düşük fark ortaya çıkmıştır.

Sertleştirme sonrası her iki banyo sıcaklığında da benzer sertlik değerleri elde edilmiş olup BP1 çubuklarında daha yüksek ortalama sertlik elde edilse de homojen sertlik dağılımı BP2 çubuklarında meydana gelmiştir. Bu durumdan dolayı polimerli suda sertleştirme için en uygun operasyon koşulları mikroyapı ve sertlik dağılımı incelemelerine göre 37^oC banyo sıcaklığında 35 saniye sertleştirme süresi olarak belirlenmiştir.

Polimerli suda yapılan sertleştirme işleminde malzeme özelliklerine etki eden diğer en önemli parametre polimer konsantrasyonu olup her iki operasyon koşullarında da %8,2'lik polimer konsantrasyonu kullanılmıştır.

Yapılan incelemeler sonucunda aynı sertleştirme sürelerinde ve polimer konsantrasyonunda banyo sıcaklığı arttıkça malzeme sertliği bir miktar azalırken derinlemesine sertleşebilirliğin banyo sıcaklığı ile birlikte arttığı tespit edilmiştir.

Polimerli suda sertleştirme işleminde termal gradyantların düşük ve soğuma hızının kontrollü olmasından dolayı parça şeklinde meydana gelen çarpılma suda sertleştirilen çubuklara göre çok daha azdır.

8.1.1.3 Yağda sertleştirme ve meneviş sonrası mikroyapı – sertlik kontrolü

Yapılan 3 farklı sertleştirme operasyonunda en düşük soğutma hızı yağ banyosu ile sağlanmaktadır. 39^{0} C – 10 dakika, 53^{0} C – 8 dakika, 56^{0} C – 14 dakika, 61^{0} C – 24 dakika ve 69^{0} C – 50 dakika operasyon koşullarında yapılan yağda sertleştirme işlemleri sonrasında tam dönüşüm ile martenzit yapı elde edilmiştir. Sertleştirme ve 245 ± 15^{0} C'de 90 dakika yapılan menevişleme işlemi sonrası çubukların mikroyapı değişimleri, dekarbürizasyon derinlikleri ve tane boyutları Çizelge 8.13 ve Çizelge 8.14'de verilmiştir.

Çizelge 8.13 : Yağda sertleştirilmiş BY1, BY2, BY3, BY4 ve BY5 çubuklarının mikroyapı ve tane boyutları.

	Mikrovanı		Tane Boyutu	(ASTM)
	, ind oyupi	Düz	Omuz İç	Omuz Dış
BY1S	Martenzit	9	5-6	9
BY1M	Temper Martenzit	9	6	9
BY2S	Martenzit	9	5-6	9
BY2M	Temper Martenzit	9	6	9
BY3S	Martenzit	9	5-6	9
BY3M	Temper Martenzit	9	6	9
BY4S	Martenzit	9	5-6	9
BY4M	Temper Martenzit	9	6-7	9
BY5S	Martenzit	9	5-6	9
BY5M	Temper Martenzit	9	6	9

Çizelge 8.14 : Yağda sertleştirilmiş BY1,BY2, BY3, BY4 ve BY5 çubuklarının dekarbürizasyon derinlikleri.

	Dekarbürizasyon]	Derinliği (mikron)
	Düz Bölge	Omuz Bölgesi
BY1	0	20
BY2	10	50
BY3	10	50
BY4	5	40
BY5	10	10

Farklı banyo sıcaklıklarında ve sürelerde yapılan sertleştirme işlemi ve menevişleme sonrası denge çubuklarının mikroyapı ve sertlik değerlerindeki değişim aşağıda verilmiştir. Tüm mikroyapı resimleri 200 büyütmede alınmıştır.

BY1 Grubu mikroyapı - sertlik incelemesi

39 ^oC sıcaklıktaki yağ banyosunda 10 dakika sertleştirilen 6 adet BY1 grubu çubukları için sertleştirme ve menevişleme sonu mikroyapı incelemeleri ve sertlik testi sonuçları aşağıda verilmektedir. Sertleştirme sonrası incelenen çubuk BY1S, menevişleme sonrası incelenen çubuk BY1M tanımlaması ile verilmiştir.

BY1S kodlu çubuk için sertleştirme sonrası mikroyapı dönüşüm resimleri Şekil 8.21'de verilmiştir.



Düz Bölge-Yüzey Düz Bölge-Merkez Omuz Bölgesi-Yüzey Omuz Bölgesi-Merkez

Şekil 8.21 : Yağ banyosunda sertleştirme sonrasında BY1S çubuğunun mikroyapısı (Banyo sıcaklığı 39 °C, Banyoda kalma süresi 10 dk, 200X).

Dönüşüm sonrasında martenzit yapının oluştuğu tespit edilmiştir. Sertleştirme sonrası çubuğun düz bölgesinin tane boyutu ASTM 9 olup ince taneli yapı oluşmuştur. Omuz bölgesinin iç kısmının tane boyutu ASTM 5-6, dış bölgesinin tane boyutu ASTM 9'dur.

BY1S çubuğunun sertleştirme operasyonu sonrasındaki sertlik değerleri Çizelge 8.15'te verilmiştir.

Yüzeyden					BY1S	S (HV)					
Merkeze Ölçüm			Düz	z Bölge		Omuz Bölgesi					
(mm)	1	2	3	4	Ortalama	1	2	3	4	Ortalama	
0,1	602	636	658	583	620	583	599	593	628	601	
0,2	588	604	620	581	598	578	582	557	605	581	
0,3	564	585	583	579	578	569	581	558	551	565	
1	566	580	554	563	566	546	549	558	550	551	
Merkez	582	572	552	546	563	577	562	558	546	561	
Genel Ort.			58	84,90		571,50					

Çizelge 8.15 : Yağda sertleştirme sonrası BY1S çubuğunun sertlik değerleri (HV).

BY1S çubuğunun sertleştirme operasyonu sonrasındaki yüzeyden merkeze doğru sertlik değişimi Şekil 8.22'de verilmiştir.



BY1S-Sertlik - Mesafe Değişimi

Şekil 8.22 : BY1S çubuğunun sertleştirme sonrası yüzeyden merkeze doğru sertlik değişimi.

 245 ± 15 ^oC sıcaklıkta 90 dakika uygulanan menevişleme işlemi sonrasında BY1M çubuğun mikroyapı resimleri Şekil 8.23'de verilmiştir.



Düz Bölge-Yüzey Düz Bölge-Merkez Omuz Bölgesi-Yüzey Omuz Bölgesi-Merkez

Şekil 8.23 : Menevişleme sonrası BY1M çubuğunun mikroyapısı (Menevişleme sıcaklığı 245 ± 15 ⁰C, Menevişleme süresi 90 dk, 200X).

BY1M çubuğunda menevişleme sonrası tempermartenzit yapı dönüşümü gerçekleşmiş olup düz ve omuz dış bölgesinin tane boyutu ASTM 9, omuz bölgesinin iç kısmının tane boyutu ASTM 6'dır.

BY1M çubuğunun menevişleme operasyonu sonrasındaki sertlik değerleri Çizelge 8.16'da verilmiştir.

Yüzeyden		BY1M (HV)										
Merkeze Ölçüm			Düz	z Bölge		Omuz Bölgesi						
Mesafesi (mm)	1	2	3	4	Ortalama	1	2	3	4	Ortalama		
0,1	558	551	542	551	551	535	571	521	551	545		
0,2	559	545	546	566	554	495	566	546	564	543		
0,3	556	546	543	552	549	533	554	546	548	545		
1	536	529	524	539	532	525	542	538	543	537		
Merkez	529	541	536	532	535	546	550	537	550	546		
Genel Ort.	544,05					543,05						

Çizelge 8.16 : Menevişleme sonrası BY1M çubuğunun sertlik değerleri (HV).

BY1M çubuğunun sertleştirme operasyonu sonrasındaki yüzeyden merkeze doğru sertlik değişimi Şekil 8.24'de verilmiştir.

BY1 grubu çubuklarının düz bölgelerinde dekarbürizasyon oluşmazken omuz bölgesinde maksimum 20 mikronluk dekarbürizasyon derinliği tespit edilmiştir.







BY2 Grubu mikroyapı - sertlik incelemesi

53 ^oC sıcaklıktaki yağ banyosunda 8 dakika sertleştirilen 6 adet BY2 grubu çubukları için sertleştirme ve menevişleme sonu mikroyapı incelemeleri ve sertlik testi sonuçları aşağıda verilmektedir. Sertleştirme sonrası incelenen çubuk BY2S, menevişleme sonrası incelenen çubuk BY2M tanımlaması ile verilmiştir.

BY2S kodlu çubuk için sertleştirme sonrası mikroyapı dönüşüm resimleri Şekil 8.25'de verilmiştir.



Şekil 8.25 : Yağ banyosunda sertleştirme sonrasında BY2S çubuğunun mikroyapısı (Banyo sıcaklığı 53 ⁰C, Banyoda kalma süresi 8 dk, 200X).

Sertleştirme sonrası martenzit dönüşümü tamamlanmış olup çubuğun düz bölgesinin tane boyutu ASTM 9'dur. Omuz bölgesinin iç kısmının tane boyutu ASTM 5-6, dış bölgesinin tane boyutu ASTM 9'dur.

BY2S çubuğunun sertleştirme operasyonu sonrasındaki sertlik değerleri Çizelge 8.7'de verilmiştir.

Yüzeyden					BY2S	(HV)				
Merkeze Ölçüm			Düz	z Bölge				Omuz	z Bölge	si
Mesafesi (mm)	1	2	3	4	Ortalama	1	2	3	4	Ortalama
0,1	537	586	542	571	559	578	543	578	568	567
0,2	608	598	558	587	588	600	560	591	602	588
0,3	602	573	555	559	572	555	575	580	586	574
1	568	573	557	549	562	543	554	562	576	559
Merkez	534	554	546	553	547	563	539	556	565	556
Genel Ort.			50	65,50		568,70				

Çizelge 8.17 : Yağda sertleştirme sonrası BY2S çubuğunun sertlik değerleri (HV).

BY2S çubuğunun sertleştirme operasyonu sonrasındaki yüzeyden merkeze doğru sertlik değişimi Şekil 8.26'da verilmiştir.



BY2S-Sertlik - Mesafe Değişimi

Şekil 8.26 : BY2S çubuğunun sertleştirme sonrası yüzeyden merkeze doğru sertlik değişimi.

 245 ± 15 ^oC sıcaklıkta 90 dakika uygulanan menevişleme işlemi sonrasında BY2M çubuğun mikroyapı resimleri Şekil 8.27'de verilmiştir.





Menevişleme sonrası tempermartenzit dönüşümü tamamlanmış olup çubuğun düz bölgesinin ve omuz bölgesinin dış kısmının tane boyutu ASTM 9, omuz bölgesinin iç kısmının tane boyutu ASTM 6'dır.

BY2M çubuğunun menevişleme sonrası sertlik değerleri Çizelge 8.18'de verilmiştir.

Cizelge 8.1	8 :Menevisleme sor	rası BY2M cubuğunun	sertlik değerleri (HV).
3				//

Yüzeyden		BY2M (HV)											
Merkeze Ölçüm			Düz	z Bölge				Omuz	z Bölge	si			
Mesafesi (mm)	1	2	3	4	Ortalama	1	2	3	4	Ortalama			
0,1	514	532	526	530	526	523	521	531	532	527			
0,2	534	532	533	532	533	528	529	532	540	532			
0,3	533	534	535	530	533	542	498	536	530	527			
1	534	526	519	524	526	538	522	528	530	530			
Merkez	529	514	518	519	520	528	522	531	525	527			
Genel Ort.	527,40					528,30							

BY2M çubuğunun sertleştirme operasyonu sonrasındaki yüzeyden merkeze doğru sertlik değişimi Şekil 8.28'de verilmiştir.

BY2 grubu çubuklarında düz bölgesinde 10 mikron omuz bölgesinde 50 mikronluk dekarbürizasyon derinliği tespit edilmiştir. Dekarbürizasyon oluşumundaki fark tavlama esnasında et kalınlığına bağlı olarak meydana gelen lokal ısınmalardır.





BY3 Grubu mikroyapı - sertlik incelemesi

56 ^oC sıcaklıktaki yağ banyosunda 14 dakika sertleştirilen 6 adet BY3 grubu çubukları için sertleştirme ve menevişleme sonrası mikroyapı incelemeleri ve sertlik testi sonuçları aşağıda verilmektedir. Sertleştirme sonrası incelenen çubuk BY3S, menevişleme sonrası incelenen çubuk BY3M tanımlaması ile verilmiştir.

BY3S kodlu çubuk için sertleştirme sonrası mikroyapı dönüşüm resimleri Şekil 8.29'da verilmiştir.



Düz Bölge-Yüzey Düz Bölge-Merkez Omuz Bölgesi-Yüzey Omuz Bölgesi-Merkez

Şekil 8.29 : Yağ banyosunda sertleştirme sonrasında BY3S çubuğunun mikroyapısı (Banyo sıcaklığı 56 °C, Banyoda kalma süresi 14 dk, 200X).

Sertleştirme sonrası martenzit yapı elde dönüşümü tamamlanmış olup çubuğun düz bölgesinin tane boyutu ASTM 9'dır. Omuz bölgesinin iç kısmının tane boyutu ASTM 5-6, dış bölgesinin tane boyutu 9'dur.

BY3S çubuğunun sertleştirme sonrası sertlik değerleri Çizelge 8.19'da verilmiştir.

Çizelge 8.19 : Yağda sertleştirme sonrası BY3S çubuğunun sertlik değerleri (HV).

Yüzeyden					BY3S	5 (HV)				
Merkeze Ölçüm			Düz	z Bölge				Omuz	z Bölge	si
Mesafesi (mm)	1	2	3	4	Ortalama	1	2	3	4	Ortalama
0,1	586	602	621	643	613	636	603	637	615	623
0,2	574	598	588	638	600	680	594	616	581	618
0,3	568	586	582	560	574	602	574	583	583	586
1	551	555	558	568	558	558	555	551	559	556
Merkez	580	563	584	584	578	594	558	563	551	567
Genel Ort.			58	84,45		589,65				

BY3S çubuğunun sertleştirme operasyonu sonrasındaki yüzeyden merkeze doğru sertlik değişimi Şekil 8.30'da verilmiştir.



BY3S-Sertlik - Mesafe Değişimi



 245 ± 15 ^oC sıcaklıkta 90 dakika uygulanan menevişleme işlemi sonrasında BY3M çubuğun mikroyapı resimleri Şekil 8.31'de verilmiştir.





Şekil 8.31 : Menevişleme sonrası BY3M çubuğunun mikroyapısı (Menevişleme sıcaklığı 245 ± 15 ^oC, Menevişleme süresi 90 dk, 200X).

Menevişleme sonrası tempermartenzit yapı dönüşümü tamamlanmış olup çubuğun düz ve omuz bölgesinin dış kısmının tane boyutu ASTM 9, omuz bölgesinin iç kısmının tane boyutu ASTM6'dır.

BY3M çubuğunun menevişleme sonrası sertlik değerleri Çizelge 8.20'de verilmiştir.

Yüzeyden					BY3M	I (HV)				
Merkeze Ölçüm			Düz	z Bölge				Omuz	z Bölge	si
Mesafesi (mm)	1	2	3	4	Ortalama	1	2	3	4	Ortalama
0,1	548	557	547	539	548	546	555	558	529	547
0,2	538	550	533	541	541	531	549	546	525	538
0,3	541	540	531	532	536	535	543	534	527	535
1	538	530	525	524	529	538	535	522	530	531
Merkez	535	548	523	528	534	552	551	518	539	540
Genel Ort.			53	37,40		538,15				

Çizelge 8.20 Menevişleme sonrası BY3M çubuğunun sertlik değerleri (HV).

BY3M çubuğunun sertleştirme operasyonu sonrasındaki yüzeyden merkeze doğru sertlik değişimi Şekil 8.32'de verilmiştir.

BY3 grubu çubuklarının düz bölgesinde 10 mikronluk, omuz bölgesinde 50 mikronluk dekarbürizasyon derinliği tespit edilmiştir.



Şekil 8.32 : BY3M çubuğunun sertleştirme sonrası yüzeyden merkeze doğru sertlik değişimi.

BY4 Grubu mikroyapı - sertlik incelemesi

61 ^oC sıcaklıktaki yağ banyosunda 24 dakika sertleştirilen 6 adet BY4 grubu çubukları için sertleştirme ve menevişleme sonu mikroyapı incelemeleri ve sertlik testi sonuçları aşağıda verilmektedir. Sertleştirme sonrası incelenen çubuk BY4S, menevişleme sonrası incelenen çubuk BY4M tanımlaması ile verilmiştir.

BY4S kodlu çubuk için sertleştirme sonrası mikroyapı dönüşüm resimleri Şekil 8.33'de verilmiştir.



Şekil 8.33 : Yağ banyosunda sertleştirme sonrasında BY4S çubuğunun mikroyapısı (Banyo sıcaklığı 24 ⁰C, Banyoda kalma süresi 24 dk, 200X).

Sertleştirme sonrası martenzit yapı dönüşümü tamamlanmış olup çubuğun düz bölgesinin tane boyutu ASTM 9'dır. Omuz bölgesinin iç kısmının tane boyutu ASTM 5-6, dış bölgesinin tane boyutu ASTM 9'dur.

BY4S çubuğunun sertleştirme sonrası sertlik değerleri Çizelge 8.21'de verilmiştir.

Çizelge 8.21 : Yağda sertleştirme sonrası BY4S çubuğunun sertlik değerleri (HV).

Yüzeyden					BY4S (HV)							
Merkeze Ölçüm	Düz Bölge					Omuz Bölgesi						
Mesafesi (mm)	1	2	3	4	Ortalama	1	2	3	4	Ortalama		
0,1	547	580	562	599	572	570	559	595	590	579		
0,2	556	561	544	612	568	586	572	618	601	594		
0,3	543	558	584	583	567	568	558	590	571	572		
1	548	545	560	554	552	558	553	569	554	559		
Merkez	551	535	560	562	552	544	561	532	550	547		

BY4S çubuğunun sertleştirme operasyonu sonrasındaki yüzeyden merkeze doğru sertlik değişimi Şekil 8.34'te verilmiştir.





Şekil 8.34 : BY4S çubuğunun sertleştirme sonrası yüzeyden merkeze doğru sertlik değişimi.

 245 ± 15 ^oC sıcaklıkta 90 dakika uygulanan menevişleme işlemi sonrasında BY4M çubuğun mikroyapı resimleri Şekil 8.35'de verilmiştir.





Şekil 8.35 : Menevişleme sonrası BY4M çubuğunun mikroyapısı (Menevişleme sıcaklığı 245 ± 15 ^oC, Menevişleme süresi 90 dk, 200X).

Menevişleme sonrası tempermartenzit yapı elde edilmiş olup çubuğun düz ve omuz bölgesinin dış kısmının tane boyutu ASTM 9, omuz bölgesinin iç kısmının tane boyutu ASTM 6-7'dır.

BY4M çubuğunun menevişleme sonrası sertlik değerleri Çizelge 8.22'de verilmiştir.

Yüzeyden					BY4M	I (HV)					
Merkeze Ölçüm	Düz Bölge					Omuz Bölgesi					
Mesafesi (mm)	1	2	3	4	Ortalama	1	2	3	4	Ortalama	
0,1	539	526	528	526	530	524	525	527	510	522	
0,2	525	523	537	539	531	520	531	517	506	519	
0,3	531	516	524	528	525	514	518	505	500	509	
1	510	502	519	518	512	511	512	485	495	501	
Merkez	524	509	512	517	516	502	505	491	490	497	
Genel Ort.	522,65							50	09,40		

Çizelge 8.22 : Menevişleme sonrası BY4M çubuğunun sertlik değerleri (HV).

BY4M çubuğunun sertleştirme operasyonu sonrasındaki yüzeyden merkeze doğru sertlik değişimi Şekil 8.36'da verilmiştir.

BY4 grubu çubuklarının düz bölgesinde 5 mikron, omuz bölgesinde ise e fazla 40 mikronluk dekarbürizasyon derinliği tespit edilmiştir.





BY5 Grubu mikroyapı - sertlik incelemesi

69 ^oC sıcaklıktaki yağ banyosunda 50 dakika sertleştirilen 6 adet BY5 grubu çubukları için sertleştirme ve menevişleme sonu mikroyapı incelemeleri ve sertlik testi sonuçları aşağıda verilmektedir. Sertleştirme sonrası incelenen çubuk BY5S, menevişleme sonrası incelenen çubuk BY5M tanımlaması ile verilmiştir.

BY5S kodlu çubuk için sertleştirme sonrası mikroyapı dönüşüm resimleri Şekil 8.37'de verilmiştir.



Düz Bölge-Yüzey Düz Bölge-Merkez Omuz Bölgesi-Yüzey Omuz Bölgesi-Merkez

Şekil 8.37 : Yağ banyosunda sertleştirme sonrasında BY5S çubuğunun mikroyapısı (Banyo sıcaklığı 69 °C, Banyoda kalma süresi 50 dk, 200X). Sertleştirme sonrası martenzit yapı dönüşümü tamamlanmış olup çubuğun düz bölgesinin tane boyutu ASTM 9'dır. Omuz bölgesinin iç kısmının tane boyutu ASTM 5-6, dış bölgesinin tane boyutu

ASTM 9'dur.

BY5S çubuğunun sertleştirme sonrasında sertlik değerleri Çizelge 8.23'de verilmiştir.

Yüzeyden					BY5S	5 (HV)				
Merkeze Ölçüm			Düz	z Bölge				Omuz	z Bölge	si
Mesafesi (mm)	1	2	3	4	Ortalama	1	2	3	4	Ortalama
0,1	562	612	606	590	593	612	630	593	597	608
0,2	586	613	608	583	598	596	604	587	589	594
0,3	560	595	581	552	572	588	590	574	584	584
1	566	558	571	558	563	556	563	558	578	564
Merkez	546	578	554	556	559	577	596	563	571	577
Genel Ort.			57	76,75				58	85,30	

Cizelge 8.23 : Yağda sertleştirme sonrası BY5S çubuğunun sertlik değerleri (HV).

BY5S çubuğunun sertleştirme operasyonu sonrasındaki yüzeyden merkeze doğru sertlik değişimi Şekil 8.38'de verilmiştir.



BY5S-Sertlik - Mesafe Değişimi

Şekil 8.38 : BY5S çubuğunun sertleştirme sonrası yüzeyden merkeze doğru sertlik değişimi.

 245 ± 15 ^oC sıcaklıkta 90 dakika uygulanan menevişleme işlemi sonrasında BY5M çubuğun mikroyapı resimleri Şekil 8.39'da verilmiştir.



Düz Bölge-Yüzey(a) Düz Bölge-Merkez(b) Omuz Bölgesi-Yüzey(c) Omuz Bölgesi-Merkez(d)

Şekil 8.39 : Menevişleme sonrası BY5M çubuğunun mikroyapısı (Menevişleme sıcaklığı 245 ± 15 ^oC, Menevişleme süresi 90 dk, 200X).

Menevişleme sonrası tempermartenzit yapı dönüşümü tamamlanmış olup çubuğun düz ve omuz bölgesinin dış kısmının tane boyutu ASTM 9, omuz bölgesinin iç kısmının tane boyutu ASTM 6'dır.

BY5M çubuğunun menevişleme sonrası sertlik değerleri Çizelge 8.24'te verilmiştir.

Yüzeyden					BY5M	M (HV)					
Merkeze Ölçüm	Düz Bölge					Omuz Bölgesi					
Mesafesi (mm)	1	2	3	4	Ortalama	1	2	3	4	Ortalama	
0,1	507	500	498	489	499	526	552	530	525	533	
0,2	498	501	504	483	497	533	541	526	523	531	
0,3	489	492	600	481	516	531	536	524	519	528	
1	484	481	472	473	478	523	529	506	515	518	
Merkez	482	481	491	478	483	527	531	509	516	521	
Genel Ort.			49	94,20				52	26,10		

Çizelge 8.24 : Menevişleme sonrası BY5M çubuğunun sertlik değerleri (HV).

BY5M çubuğunun sertleştirme operasyonu sonrasındaki yüzeyden merkeze doğru sertlik değişimi Şekil 8.40'da verilmiştir.

BY5 grubu çubuklarının düz bölgesinde 5 mikron, omuz bölgesinde 10 mikronluk dekarbürizasyon derinliği tespit edilmiştir.



BY5M- Sertlik - Mesafe Değişimi

Şekil 8.40 : BY5S çubuğunun sertleştirme sonrası yüzeyden merkeze doğru sertlik değişimi.

Yağda sertleştirilmiş BY1, BY2, BY3, BY4 ve BY5 grubu çubuklarının mikroyapı ve sertlik incelemeleri ile aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

Yağ banyosunda sertleştirilmiş çubukların mikroyapılarına ve sertlik değerlerine banyo sıcaklığının ve banyoda kalma süresinin etkisi incelendiğinde ortalama çubuk sertliğindeki değişim Çizelge 8.25'de verilmiştir.

Çizelge 8.25	: Yağ banyosunda sertleştirn	ne ve menevişleme sonra	sı ortalama çubuk
	sertliğindeki değişimi.		

	Ortalama Çubuk Sertliği	
	Sertleştirme	Menevişleme
Viikeek	BY3S	BY1S
TUKSEK	BY5S	BY3S
	BY1S	BY2S
₩ Düşük	BY4S	BY4S
	BY2S	BY5S

Yağ banyosunda sertleştirilen çubukların sertlik değerlerindeki değişim Şekil 8.41'de verilmiştir.



Şekil 8.41 : Yağ banyosunda sertleştirme – Sertlik değişimi.

Banyoda kalma süreleri yakın olan BY1S ve BY2S çubuklarının mikroyapı ve sertlik değerleri karşılaştırıldığında banyo sıcaklığı yüksek olan BY2S çubuğunda sertleştirme sonrasında daha düşük sertlik elde edilmiştir. Buradaki sertlik değişiminin sebebi banyo sıcaklığının yükselmesi ile parça ortam arasındaki sıcaklık farkının azalmasına bağlı olarak soğuma hızının yavaşlamasıdır.

BY3S ve BY1S çubuklarının sertleştirme sonrası mikroyapıları ve sertlik değerleri kıyaslandığında banyo sıcaklığı ve banyoda kalma süresi yüksek olan BY3S çubuğunda daha yüksek sertlik oluşumu tespit edilmiştir. Banyo sıcaklığı yüksek olmasına rağmen sertlik değerinin BY3S çubuğunda yüksek olmasının nedeni sertleştirme süresinin uzun olmasıdır. Çubuk yapı dönüşümünün tamamlanması ve soğuması için yeterli süre banyo ortamında kalmıştır. Menevişleme sonrası yapı incelendiğinde ise BY1M çubuğunda daha yüksek sertlik oluşumu tespit edilmiştir. Kondüksiyonlu ısıtma ile yapılan tavlama operasyonunda, boru çubukların büküm formundan dolayı et kalınlığı fazla olan bölgelerde direncin azalması ile akım daha kolay geçer ve bunun sonucunda daha yüksek ısınma meydana gelir. Tavlama sırasında oluşan lokal ısınmalar, büküm bölgelerinin iç kısımlarında sertliği düşürür, dekarbürizasyon oluşumunu ve tane boyutunu arttırır. Lokal ısınmalardan dolayı boru çubukların büküm iç, dış bölgeleri ve düz bölgesinde farklı sertlik değerleri meydana gelmektedir.

BY3M çubuğunun büküm iç bölgesinde yüksek karbon kaybının gerçekleşmesi çubuğun tavlama esnasında büküm iç kısmında daha yüksek ısınmanın meydana gelmesidir.

BY3S ve BY4S çubuklarının sertleştirme ve menevişleme sonrası mikroyapı ve sertlik değerleri karşılaştırıldığında banyoda kalma süresi ve banyo sıcaklığı daha düşük olan BY3S çubuğunda daha yüksek sertlik değerlerine ulaşılmıştır. Bunun nedeni düşük banyo sıcaklığında soğumanın daha hızlı gerçekleşmesidir. Deneysel çalışmalarımın sonuçlarına göre banyo sıcaklığı arttıkça ısı akışının yavaşlamasından dolayı soğuma hızının yavaşlaması sertlikte düşüşe neden olmaktadır. Yüksek banyo sıcaklıklarında düşük soğuma hızlarından dolayı sertleşmenin tamamlanabilmesi çubukların banyo ortamında daha uzun süre kalması gerekmektedir.

Yapılan incelemeler sonucunda banyo sıcaklığı arttıkça banyoda kalma süresinin arttığı ve ulaşılan sertlik değerinin azaldığı tespit edilmiştir. Yağda sertleştirme sonucunda çubukların yüzey ile merkez sertliği arasındaki fark ortalama 30 HV olup banyoda kalma süresi ideal koşularda arttıkça sertlik farkının azaldığı görülmüştür.

Menevişleme ile yapıdaki sertleştirme sırasında oluşan gerilimler giderilerek ve sertlik bir miktar düşürülerek yorulma dayanımı arttırılmaktadır. Menevişleme operasyonu sonucunda en yüksek malzeme sertliğine BY1 çubuğunda ulaşılmıştır.

Sertleştirme ve menevişleme operasyonları sonrasında en yüksek malzeme sertliği ve en düşük dekarbürizasyon oluşumu BY1 çubuğunda meydana gelmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar ile sertleştirme sonrası çubuğun ulaştığı sertlik ne kadar yüksek olursa yorulma dayanımının o ölçüde arttığı tespit edilmiştir.

Yorulma dayanımını etkileyen diğer en önemli faktörlerden biri olan dekarbürizasyon oluşumunda ise metal yüzeyinden karbon kaybı ne kadar az ise yüzey sertliği o kadar yüksek olur ve yorulmaya karşı direnç artar. Dekarbürizasyon oluşumu metal yüzeyindeki karbonun ortamdaki oksijen ve hidrojenle birleşmesiyle meydana gelir. Sıcaklık arttıkça karbonun metal yüzeyinden atmosfere difüzyonu hızlanacağı için dekarbürizasyon oluşumu kolaylaşır [5]. Dekarbürizasyon oluşumu tavlama esnasında meydana gelmekte olup çubuğun formundan dolayı et kalınlığı fazla olan büküm iç bölgelerinde daha fazla oluşmaktadır. Bu durumun nedeni kondüksiyonlu ısıtma tezgahında elektrik akımının direncin düşük olduğu büküm iç bölgelerinde yoğunlaşması ve bunun sonucunda lokal ısınmalarla daha yüksek

ısınmanın meydana gelmesidir. Dekarbürizasyon oluşumu ile birlikte büküm bölgelerinde tane kabalaşması ve sertlik düşüşü meydana gelmektedir.

Tüm operasyon koşullarında sertleştirme ve menevişleme sonrası benzer tane boyutu değişimi meydana gelmiştir.

Sertleştirme sonrası çubuk formu kontrol edildiğinde yavaş soğumanın etkisi ile suda sertleştirilen denge çubuklarına göre daha az çarpılmanın meydana geldiği tespit edilmiştir. Üretim sürecinde yapılan manyetik partikülle çatlak kontrolünde ise yağda sertleşen çubuklarda çatlak görülmemiştir.

3 farklı banyo ortamının soğutma hızları karşılaştırıldığında yağ banyosunda en düşük hızlar elde edilmektedir. Bu farkın nedeni soğumanın ilk aşaması olan buhar fazındaki örtü tabakasının parçalanma süresi, kalınlığı, soğutma sıvısının buharlaşma ısısı ve soğutma sıvısının kaynama sıcaklığıdır.

Yapı ve sertlik kontrolleri sonucunda en iyi özellikler BY1 çubuklarında elde edilmiş olup en uygun operasyon koşulları 39 ⁰C banyo sıcaklığında 10 dakika sertleştirme süresi olarak belirlenmiştir.

Farklı banyo ortamlarında ve sıcaklıklarında yapılan sertleştirme işlemlerinin mikroyapı, sertlik ve dekarbürizasyon oluşumuna etkileri incelenmiş olup aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Sertleştirme banyo ortamları ile sertlik değişimi Şekil 8.42 ve Şekil 8.43'te verilmiştir.



SERTLEŞTİRME BANYOSU- SERTLİK DEĞİŞİMİ (DÜZ BÖLGE)

Şekil 8.42 : Sertleştirme banyo ortamı- Sertlik değişimi- Düz bölge.



SERTLEŞTİRME BANYOSU- SERTLİK DEĞİŞİMİ (OMUZ BÖLGESİ)

Şekil 8.43 : Sertleştirme banyo ortamı- Sertlik değişimi- Omuz bölgesi

Mikroyapı ve sertlik incelemesi sonucunda 3 farklı banyo ortamının kendi grubu içerisindeki ideal koşulları aşağıda verilmiştir;

- Su banyosunda sertleştirme sonrasında en uygun sertleştirme koşulları 36 ^oC banyo sıcaklığında 25 saniye sertleştirme süresinde BS2 çubuklarında elde edilmiştir.
- Polimerli su banyosunda sertleştirme sonrasında en uygun sertleştirme koşulları 38 ⁰C banyo sıcaklığında 35 saniye sertleştirme süresinde BP1 çubuklarında elde edilmiştir.
- Yağ banyosunda sertleştirme sonrasında en uygun sertleştirme koşulları 39 ^oC banyo sıcaklığında 10 dakika sertleştirme süresinde BY1 çubuklarında elde edilmiştir.

Tavlama operasyonu esnasında denge çubuklarının düz ve omuz (büküm) bölgelerinde meydana gelen dekarbürizasyon derinliklerinin değişimi Şekil 8.44'te verilmiştir.
DEKARBÜRİZASYON DERİNLİĞİ



Şekil 8.44 : Dekarbürizasyon derinliği

Tavlama operasyonunda çubuktaki kesit alanına bağlı olarak farklı dekarbürizasyon derinlikleri tespit edilmiştir. Kesit alanı fazla olan büküm içinde direncin düşük olmasından dolayı elektrik akımının yoğunlaşması lokal ısınmalara neden olmaktadır. Lokal ısınmaların meydana geldiği bölgelerde ısınmanın daha yüksek olması, ortama karbon difüzyonunun hızlanmasına ve bunun sonucunda dekarbürizasyon derinliğinin artmasına neden olur.

8.1.2 Yorulma testi sonuçları

34MnB5 yay çeliği boru malzemesinden soğuk şekillendirme yöntemi ile üretilen denge çubuklarına, sabit şekil değiştirme koşuluna göre çalışan mekanik yorulma tezgâhında yorulma testi yapılmıştır.

Test koşulları; yorulma frekansı dakikada 120 çevrim (2 Hz) olarak belirlenmiş olup test sırasında yukarı aşağı çubuk kollarının şekil değişim aralığı (strok) 36 mm'dir. Her çubuk için yorulma testi çubuk kırılıncaya kadar devam ettirilmiş olup aynı test koşullarında ömür kıyaslaması yapılmıştır. Yorulma ömrü dinamik yüklemeler altında çubuğun kırılıncaya kadar geçen çevrim sayısı ile ifade edilmektedir.

Test sonrasında çubukların kırık yüzey incelemesi yapılmıştır. Çubuğun test esnasında kırılma bölgesi ömrünü ve üretim koşullarındaki uygunsuzlukları belirlemek için önemli bir durumdur. Dövme bölgelerinde meydana gelebilecek kırılmalar çubuğun uç şekillendirilmesi esnasında oluşan uygunsuz ısıtma koşulları, dövme operasyonundaki aksaklıklardan kaynaklanmaktadır. Yeterli ömrü sağladıktan

sonra çubuğun formundan dolayı gerilim yığılmalarının olduğu omuz (büküm) bölgelerinde kırılmanın meydana gelmesi beklenmektedir. Gerilimi yüksek olan bu bölgelerde değişken yüklemeler etkisinde çatlak oluşumu ve ilerlemesi sonucunda kırılma meydana gelir. Boyun olarak ifade edilen omuz ile dövme bölgesi arasında meydana gelen kırılmalarda ise tekrar üretim ve test koşullarının gözden geçirilerek incelenmesi gerekmektedir.

Boru yay çeliği malzemesinden üretilen denge çubuklarının yorulma test düzeneği Şekil 8.45'de verilmiştir.



Şekil 8.45 : Yorulma testi sonrası kırılma bölgeleri tanımlaması.

8.1.2.1 Suda sertleştirilmiş denge çubukları için yorulma testi sonuçları

İki farklı banyo sıcaklığındaki suda sertleştirilen denge çubuklarının yorulma testi sonuçları Çizelge 8.26'da verilmiştir.

Çizelge 8.26 : Suda sertleştirilmiş denge çubuklarının yorulma testi sonuçları.

Çubuk	Frekans (Hz)	Strok (mm)	Ömür (Çevrim Sayısı -N)	Kırılma Bölgesi	Kopma Türü
DC11	2	26	7096	Sağ	Gevrek
BSII	2	36	/086	boyun	Gevier
BS12	2	36	63732	Sol omuz	Gevrek
BS13	2	36	40730	Sağ omuz	Gevrek
BS14	2	36	51380	Sağ boyun	Gevrek
BS21	2	36	6432	Sol omuz	Sünek
BS22	2	36	28666	Sağ omuz	Gevrek
BS23	2	36	8680	Sol omuz	Gevrek
BS24	2	36	70890	Sağ omuz	Gevrek

27 ⁰C'de su banyosunda 25 saniye sertleştirilmiş **BS1** grubundaki denge çubuklarının kırık yüzey fotoğrafları aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

BS11 çubuğunun yorulma ömrü 7086 çevrim olup çatlak başlangıcı çubuğun dış kısmında oluşmuştur. Çubuğun sağ boyun bölgesinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Manyetik partikülle yapılan çatlak kontrol testinde BS11 çubuğunda çatlak tespit edilmiştir. Kırık yüzey incelemesi sonuçlarına göre 45° açı ile kopan yüzeylerde burulma gerilmesi etkisinde gevrek kırılma meydana gelmiştir. BS11 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.46'da verilmiştir.



Şekil 8.46 : BS11 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

BS12 çubuğunun yorulma ömrü 63732 çevrim olup çatlak başlangıcı çubuğun dış kısmında oluşmuştur. Çubuğun sol omuz bölgesinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde gevrek kırılma meydana gelmiştir. BS12 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.47'de verilmiştir.



Şekil 8.47 : BS12 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

BS13 çubuğunun yorulma ömrü 40730 çevrim olup çatlak başlangıcı çubuğun dış kısmında oluşmuştur. Çubuğun sağ omuz bölgesinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Manyetik partikülle yapılan çatlak kontrol testinde BS13 çubuğunda çatlak tespit edilmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde gevrek kırılma meydana gelmiştir. BS13 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.48'de verilmiştir.



Şekil 8.48 : BS13 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

BS14 çubuğunun yorulma ömrü 51380 çevrim olup çatlak başlangıcı çubuğun iç kısmında oluşmuştur. Çubuğun sağ boyun bölgesinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde gevrek kırılma meydana gelmiştir. BS14 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.49'da verilmiştir.



Şekil 8.49 : BS14 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

36 ⁰C'de su banyosunda 25 saniye sertleştirilmiş **BS2** grubundaki denge çubuklarının kırık yüzey fotoğrafları aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

BS21 çubuğunun yorulma ömrü 6432 çevrim olup çatlak başlangıcı çubuğun dış kısmında oluşmuştur. Çubuğun sol omuz bölgesinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Manyetik partikülle yapılan çatlak kontrol testinde BS21 çubuğunda çatlak

tespit edilmiştir. Düz bir şekilde kırılan çubukta burulma gerilmesi etkisinde sünek kopma meydana gelmiştir. BS21 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.50'de verilmiştir.



Şekil 8.50 : BS21 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

BS22 çubuğunun yorulma ömrü 28666 çevrim olup çatlak başlangıcı çubuğun çatlak başlangıcı çubuğun dış kısmında oluşmuştur. Çubuğun sağ omuz bölgesinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde gevrek kırılma meydana gelmektedir. BS22 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.51'de verilmiştir.



Şekil 8.51 : BS22 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

BS23 çubuğunun yorulma ömrü 8680 çevrim olup çatlak başlangıcı çubuğun iç kısmında oluşmuştur. Çubuğun sol omuz bölgesinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burulma gerilmesinin etkisinde gevrek kopma meydana gelmiştir. BS23 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.52'de verilmiştir.



Şekil 8.52 : BS23 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

BS24 çubuğunun yorulma ömrü 70890 çevrim olup çatlak başlangıcı çubuğun dış kısmında oluşmuştur. Çubuğun sağ omuz bölgesinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde gevrek kopma meydana gelmiştir. BS24 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.53'de verilmiştir.



Şekil 8.53 : BS24 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

Kırık yüzey incelemeleri sonucunda suda sertleştirilen çubuklarda çatlak başlangıcının boru çubuğun dış kısmından başlayarak ilerlediği tespit edilmiştir. Hızlı soğumanın etkisinde yapıdaki gerilimlerin yüksek olması çubukların yorulma ömürlerinin azalmasına neden olmuştur. Bütün çubuklarda yorulma sonrasında gevrek kırılma meydana gelmiştir. Her iki banyo sıcaklığında da hızlı soğumanın etkisinde BS11, BS13 ve BS21 çubuklarında çatlak meydana gelmiştir. İçyapıdaki çatlaklar yorulma dayanımını düşürmüş olup çubukların çok düşük ömürlerde kırılmasına neden olmuştur.

Suda sertleştirilmiş denge çubuklarının yorulma ömür kıyaslaması Şekil 8.54'da verilmiştir.



SUDA SERTLEŞTİRME- YORULMA ÖMRÜ

Şekil 8.54 : Suda sertleştirilmiş denge çubukları- Yorulma Ömrü.

Suda sertleştirilmiş denge çubuklarının yorulma testi sonuçlarına göre en yüksek yorulma ömrü BS1 grubu çubuklarında elde edilmiştir.

8.1.2.2 Polimerli suda sertleştirilmiş denge çubukları için yorulma testi sonuçları

İki farklı banyo sıcaklığındaki polimerli suda sertleştirilen denge çubuklarının yorulma testi sonuçları Çizelge 8.27'de verilmiştir.

28 ^oC'de polimerli su banyosunda 35 saniye sertleştirilmiş **BP1** grubundaki denge çubuklarının kırık yüzey fotoğrafları aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

BP11 çubuğunun yorulma ömrü 387036 çevrim olup çatlak başlangıcı çubuğun iç kısmında oluşmuştur. Çubuğun sağ omuz bölgesinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burma gerilmesi etkisinde gevrek kopma oluşmuştur. BP11 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.55'de verilmiştir.



Şekil 8.55 : BP11 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

Çubuk	Frekans (Hz)	Strok (mm)	Ömür (Çevrim Sayısı-N)	Kırılma Bölgesi	Kopma Türü
BP11	2	36	387036	Sağ omuz	Gevrek
BP12	2	36	343477	Sol boyun	Gevrek
BP13	2	36	374292	Sol omuz	Sünek
BP14	2	36	269103	Sağ omuz	Sünek
BP21	2	36	453912	Sağ omuz	Sünek
BP22	2	36	780.440	Sağ boyun	Gevrek
BP23	2	36	360168	Sağ omuz	Gevrek
BP24	2	36	531504	Sol omuz	Sünek

Çizelge 8.27 : Polimerli suda sertleştirilmiş denge çubuklarının yorulma test sonuçları.

BP12 çubuğunun yorulma ömrü 343477 çevrim olup çatlak başlangıcı çubuğun iç kısmında oluşmuştur. Çubuğun sol boyun bölgesinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burulma gerilmesinin etkisinde gevrek kırılma meydana gelmiştir. BP12 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.56'da verilmiştir.



Şekil 8.56 : BP12 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

BP13 çubuğunun yorulma ömrü 374292 çevrim olup çatlak başlangıcı çubuğun iç kısmında oluşmuştur. Çubuğun sol omuz bölgesinde yorulma kırılması meydana

gelmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde sünek kopma meydana gelmiştir. BP13 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.57'de verilmiştir.



Şekil 8.57 : BP13 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

BP14 çubuğunun yorulma ömrü 269103 çevrim olup çatlak başlangıcı çubuğun iç kısmında oluşmuştur. Çubuğun sağ omuz bölgesinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Kırık yüzey incelemesi yapıldığında yorulma çizgileri net bir şekilde görülmekte olup yorulma omuz bölgesinde geniş bir bölgede gerçekleşmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde sünek kopma meydana gelmiştir. BP14 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.58'de verilmiştir.



Şekil 8.58 : BP14 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

37 ^oC'de polimerli su banyosunda 35 saniye sertleştirilmiş **BP2** grubundaki denge çubuklarının kırık yüzey fotoğrafları aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

BP21 çubuğunun yorulma ömrü 453912 çevrim olup çatlak başlangıcı çubuğun dış kısmında oluşmuştur. Çubuğun sağ omuz bölgesinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Kırık yüzey incelemesi sonucunda sünek kopma meydana geldiği tespit edilmiştir. BP21 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.59'da verilmiştir.



Şekil 8.59 : BP21 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

BP22 çubuğunun yorulma ömrü 780440 çevrim olup çatlak başlangıcı çubuğun iç kısmında oluşmuştur. Çubuğun sağ boyun bölgesinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde gevrek kırılma meydana gelmiş olup yorulma çizgileri net bir şekilde görülmektedir. BP22 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.60'da verilmiştir.



Şekil 8.60 : BP22 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

BP23 çubuğunun yorulma ömrü 360168 çevrim olup çatlak başlangıcı çubuğun iç kısmında oluşmuştur. Çubuğun sağ omuz bölgesinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde gevrek kırılma meydana gelmiştir. BP23 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.61'de verilmiştir.



Şekil 8.61 : BP23 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

BP24 çubuğunun yorulma ömrü 531504 çevrim olup çatlak başlangıcı çubuğun iç kısmında oluşmuştur. Çubuğun sol omuz bölgesinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde sünek kopma meydana gelmiştir. BP24 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.62'de verilmiştir.



Şekil 8.62 : BP24 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

Kırık yüzey incelemeleri sonucunda polimerli suda sertleştirilen çubuklarda çatlak başlangıcının boru çubuğun iç kısmından başlayarak ilerlediği tespit edilmiştir. Banyo ortamında soğuma hızının kontrollü olması ve homojen sıcaklık dağılımının sağlanmasından dolayı denge çubuklarının sertlikleri yüksek ve homojendir. Soğuma esnasında termal gradyantların minimum olması içyapıda oluşabilecek gerilimleri azaltmış ve çubukların yorulma dayanımını arttırmıştır.

Polimerli suda sertleştirilmiş denge çubuklarının yorulma ömür kıyaslaması Şekil 8.63'de verilmiştir.



POLİMERLİ SUDA SERTLEŞTİRME- YORULMA ÖMRÜ

Şekil 8.63 : Polimerli suda sertleştirilmiş denge çubukları- Yorulma Ömrü.

2 farklı banyo sıcaklıklarında polimerli suda sertleştirilen çubukların ortalama yorulma ömürleri kıyaslandığında banyo sıcaklığı (37^oC) daha yüksek olan BP2 grubu çubuklarında daha yüksek ömürler elde edilmiştir. Fakat yorulma ömürlerinde değişimin BP2 çubuklarında heterojen dağılımı sonuçların güvenilirliğini azaltmaktadır. Ömür dağılımları incelendiğinde ve dağılım faktörü dikkate alınarak ortalama ömür kıyaslaması yapıldığında BP1 koşullarının daha güvenli olduğuna karar verilmiştir. Bu sonuçlara göre yorulma ömrü açısından uygun sertleştirme koşulları 28^oC banyo sıcaklığında 35 saniye olarak belirlenmiştir.

8.1.2.3 Yağda sertleştirilmiş denge çubukları için yorulma testi sonuçları

Beş farklı banyo sıcaklığında ve sertleştirme sürelerinde sertleştirilen denge çubuklarının yorulma testi sonuçları Çizelge 8.28'de verilmiştir.

Çubuk	Frekans (Hz)	Strok (mm)	Ömür (Çevrim Sayısı-N)	Kırılma Bölgesi	Kopma Türü
BY11	2	36	880624	Sağ omuz	Gevrek
BY12	2	36	639680	Sağ boyun	Gevrek
BY13	2	36	262844	Sağ boyun	Gevrek
BY14	2	36	864696	Sağ omuz	Gevrek
BY21	2	36	454596	Sağ omuz	Gevrek
BY22	2	36	551132	Sağ omuz	Gevrek
BY23	2	36	449620	Sol omuz	Gevrek
BY24	2	36	497972	Sol omuz	Gevrek
BY31	2	36	159134	Sağ omuz	Sünek
BY32	2	36	256524	Sağ omuz	Sünek
BY33	2	36	415700	Sağ boyun	Sünek
BY34	2	36	457476	Sağ omuz	Sünek
BY41	2	36	278336	Sol omuz	Sünek
BY42	2	36	379556	Sol omuz	Sünek
BY43	2	36	444360	Sağ omuz	Sünek
BY44	2	36	425936	Sol omuz	Sünek
BY51	2	36	353302	Sol omuz	Sünek
BY52	2	36	452996	Sağ omuz	Sünek
BY53	2	36	369990	Sol omuz	Sünek
BY54	2	36	303676	Sağ boyun	Sünek

Çizelge 8.28 : Yağda sertleştirilmiş denge çubuklarının yorulma testi sonuçları.

39 ⁰C'de yağ banyosunda 10 dakika sertleştirilmiş **BY1** grubundaki denge çubuklarının kırık yüzey fotoğrafları aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

BY11 çubuğunun yorulma ömrü 880624 çevrim olup çatlak başlangıcı çubuğun dış kısmında oluşmuştur. Çubuğun sağ omuz bölgesinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burulma gerilmesinin etkisinde gevrek kırılma meydana gelmiştir. BY11 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.64 'de verilmiştir.



Şekil 8.64 : BY11 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

BY12 çubuğunun yorulma ömrü 639680 çevrim olup çatlak başlangıcı çubuğun dış kısmında oluşmuştur. Çubuğun sağ omuz bölgesinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde 45°'lik açılar ile gevrek kopma meydana gelmiştir. BY12 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.65'de verilmiştir.



Şekil 8.65 : BY12 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

BY13 çubuğunun yorulma ömrü 262844 çevrim olup çatlak başlangıcı çubuğun dış kısmında oluşmuştur. Çubuğun sağ boyun bölgesinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde gevrek kırılma meydana gelmiştir. BY13 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.66'da verilmiştir.



Şekil 8.66 : BY13 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

BY14 çubuğunun yorulma ömrü 864696 çevrim olup çatlak başlangıcı çubuğun iç kısmında oluşmuştur. Çubuğun sağ omuz bölgesinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde gevrek kırılma meydana gelmiş olup çubuğun yatay ekseni boyunda uzun çatlaklar oluşmuştur. Kırık yüzey incelemesi sonucunda test sırasında frekans değişikliklerine bağlı olarak oluşan yorulma çizgileri net bir şekilde görülmektedir. BY14 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.67'de verilmiştir.



Şekil 8.67 : BY14 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

53 ⁰C'de yağ banyosunda 8 dakika sertleştirilmiş **BY2** grubundaki denge çubuklarının kırık yüzey fotoğrafları aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

BY21 çubuğunun yorulma ömrü 454596 çevrim olup çatlak başlangıcı çubuğun iç kısmında oluşmuştur. Çubuğun sağ omuz bölgesinde 45° açı ile yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde gevrek kopma meydana gelmiştir. BY21 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.68'de verilmiştir.



Şekil 8.68 : BY21 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

BY22 çubuğunun yorulma ömrü 551132 çevrim olup çatlak başlangıcı çubuğun iç kısmında oluşmuştur. Çubuğun sağ braket iç bölgesinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde gevrek kırılma meydana gelmiş olup kırık yüzey incelemesinde yorulma çizgileri net bir şekilde görülmektedir. BY22 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.69'da verilmiştir.



Şekil 8.69 : BY22 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

BY23 çubuğunun yorulma ömrü 449620 çevrim olup çatlak başlangıcı çubuğun dış kısmında oluşmuştur. Çubuğun sol omuz bölgesinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde gevrek kırılma meydana gelmiştir. BY23 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.70'de verilmiştir.



Şekil 8.70 : BY23 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

BY24 çubuğunun yorulma ömrü 497972 çevrim olup çatlak başlangıcı çubuğun iç kısmında oluşmuştur. Çubuğun sol omuz bölgesinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde gevrek kırılma meydana gelmiş olup yorulma çizgileri net bir şekilde görülmektedir. BY24 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.71'de verilmiştir.



Şekil 8.71 : BY24 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

56 ⁰C'de yağ banyosunda 14 dakika sertleştirilmiş **BY3** grubundaki denge çubuklarının kırık yüzey fotoğrafları aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

BY31 çubuğunun yorulma ömrü 159134 çevrim olup çatlak başlangıcı çubuğun iç kısmında oluşmuştur. Çubuğun sağ omuz bölgesinde kesite dik bir şekilde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde sünek kırılma meydana gelmiştir. BY31 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.72'de verilmiştir.



Şekil 8.72 : BY31 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

BY32 çubuğunun yorulma ömrü 256524 çevrim olup çatlak başlangıcı çubuğun iç kısmında oluşmuştur. Çubuğun sağ omuz bölgesinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde sünek kırılma meydana gelmiştir. BY32 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.73'te verilmiştir.



Şekil 8.73 : BY32 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

BY33 çubuğunun yorulma ömrü 415700 çevrim olup çatlak başlangıcı çubuğun dış kısmında oluşmuştur. Çubuğun sağ boyun bölgesinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Parça yorulma sonrasında burulma gerilmesi etkisinde sünek kırılmıştır. BY33 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.74'te verilmiştir.



Şekil 8.74 : BY33 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

BY34 çubuğunun yorulma ömrü 457476 çevrim olup çatlak başlangıcı çubuğun dış kısmında oluşmuştur. Çubuğun sağ omuz bölgesinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Çatlak ilerlemesi sonucunda burulma gerilmesi etkisinde sünek kopma meydana gelmiştir. BY34 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.75'de verilmiştir.



Şekil 8.75 : BY34 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

61 [°]C'de yağ banyosunda 24 dakika sertleştirilmiş **BY4** grubundaki denge çubuklarının kırık yüzey fotoğrafları aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

BY41 çubuğunun yorulma ömrü 278336 çevrim olup çatlak başlangıcı çubuğun iç kısmında oluşmuştur. Çubuğun sol omuz bölgesinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde sünek kırılma meydana gelmiştir. BY41 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.76'da verilmiştir.



Şekil 8.76 : BY41 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

BY42 çubuğunun yorulma ömrü 379556 çevrim olup çatlak başlangıcı çubuğun iç kısmında oluşmuştur. Çubuğun sol omuz bölgesinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde sünek kırılma meydana gelmiştir. BY42 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.77'de verilmiştir.



Şekil 8.77 : BY42 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

BY43 çubuğunun yorulma ömrü 444360 çevrim olup çatlak başlangıcı çubuğun iç kısmında oluşmuştur. Çubuğun sağ omuz bölgesinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Çatlak ilerlemesi sonucunda burulma gerilmesi etkisinde sünek kopma meydana gelmiştir. BY43 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.78'de verilmiştir.



Şekil 8.78 : BY43 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

BY44 çubuğunun yorulma ömrü 425936 çevrim olup çatlak başlangıcı çubuğun iç kısmında oluşmuştur. Çubuğun sol omuz bölgesinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde sünek kırılma meydana gelmiştir. BY44 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.79'da verilmiştir.



Şekil 8.79 : BY44 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

69 ⁰C'de yağ banyosunda 50 dakika sertleştirilmiş **BY5** grubundaki denge çubuklarının kırık yüzey fotoğrafları aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

BY51 çubuğunun yorulma ömrü 353302 çevrim olup çatlak başlangıcı çubuğun iç kısmında oluşmuştur. Çubuğun sol omuz bölgesinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde sünek kopma meydana gelmiştir. BY51 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.80'de verilmiştir.



Şekil 8.80 : BY51 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

BY52 çubuğunun yorulma ömrü 452996 çevrim olup çatlak başlangıcı çubuğun iç kısmında oluşmuştur. Çubuğun sağ omuz bölgesinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde sünek kopma meydana gelmiştir. BY52 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.81'de verilmiştir.



Şekil 8.81 : BY52 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

BY53 çubuğunun yorulma ömrü 369990 çevrim olup çatlak başlangıcı çubuğun iç kısmında oluşmuştur. Çubuğun sağ omuz bölgesinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde sünek kopma meydana gelmiştir. BY53 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.82'de verilmiştir.



Şekil 8.82 : BY53 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

BY54 çubuğunun yorulma ömrü 303676 çevrim olup çatlak başlangıcı çubuğun dış kısmında oluşmuştur. Çubuğun sağ boyun bölgesinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde sünek kopma meydana gelmiştir. BY54 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.83'de verilmiştir.



Şekil 8.83 : BY54 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

Kırık yüzey incelemeleri sonucunda yağda sertleştirilen çubuklarda çatlak başlangıcının genel olarak boru çubuğun iç kısmından başlayarak ilerlediği tespit edilmiştir. Yağda sertleştirilen çubukların yorulma ömürlerinin banyo sıcaklığı arttıkça azaldığı tespit edilmiştir. Bu durumun nedeni yüksek banyo sıcaklıklarında sertleştirme sonrası ulaşılan sertlik değerinin düşmesidir. Sertleştirme ile birlikte yorulma dayanımı da artmaktadır. Yağda sertleştirilmiş denge çubuklarının yorulma ömür kıyaslaması Şekil 8.84'te verilmiştir.



YAĞDA SERTLEŞTİRME - YORULMA ÖMRÜ

Şekil 8.84 : Yağda sertleştirilmiş denge çubukları- Yorulma ömrü.

Çubukların yorulma ömürlerinin en yüksekten en aza doğru sıralaması; BY1-BY2-BY4-BY5-BY3'tür. Homojen sertleştirme koşullarının belirlenmesi için 5 farklı operasyon için ömürlerin standart sapması hesaplanmış olup güvenilirlik sıralaması yüksekten düşüğe göre; BY2-BY4-BY3-BY1-BY5 şeklindedir.

Yağ banyosunda sertleştirilen çubukların ortalama yorulma ömürleri kıyaslandığında en yüksek ömrün BY1 grubu çubuklarında elde edildiği görülmektedir. Fakat aynı koşullarda üretilen ve teste tabi tutular çubukların kendi grupları içerisindeki yorulma ömrü değişimlerine bakıldığında BY1 grubunda heterojen bir dağılım vardır. Ömür dağılımının heterojen olması o şartlarda üretimin güvenilirliğini azaltmakta ve cubuktan beklenen performansin sağlanabilme olasılığını düşürmektedir. Tüm bu şartlar göz önüne alındığında yorulma ömrü, mikro yapı dönüsümü ve sertlik değeri en uygun olan ve homojen sonuçların elde edildiği BY2 çubuklarının 53°C banyo sıcaklığında 8 dakika sertleştirilmesi ideal şartlar olarak kabul edilmiştir.

3 farklı banyo ortamında sertleştirilen çubukların yorulma ömürleri kıyaslaması Şekil 8.85'te verilmiştir.



YORULMA ÖMRÜ-FARKLI SERTLEŞTİRME ORTAMLARI

Şekil 8.85 : 34MnB5 Boru çubukları -Yorulma ömrü – Farklı sertleştirme ortamları.

Yorulma testi sonuçlarına göre;

- Suda sertleştirilmiş denge çubukları için en yüksek yorulma ömrü 27 ^oC 25 saniye sertleştirilen BS1 gruplarında elde edilmiştir.
- Polimerli suda sertleştirilmiş denge çubukları için en yüksek yorulma ömrü 36 °C – 35 saniye sertleştirilen BP2 gruplarında elde edilmiştir.
- Yağda sertleştirilmiş denge çubukları için en yüksek yorulma ömrü 39 °C 10 dakika sertleştirilen BY1 gruplarında elde edilmiştir.

Kırık yüzey incelemesi sonuçlarına göre banyo sıcaklığı arttıkça yorulma sonrası kopmanın sünek olarak gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Denge çubuklarının araçlarda emniyet parçası olarak kullanılması ve değişken yüklemelere maruz kalarak çalışmasından dolayı yüksek yorulma dayanımlarına sahip olması gerekmektedir. Sertleştirme operasyonu sonucunda en yüksek sertlik değerleri suda sertleştirilmiş çubuklarda elde edilirken yorulma ömürleri kıyaslandığında ise bu çubukların en az ömre sahip olduğu görülmüştür.

Denge çubuklarından yüksek yorulma ömrünün istenmesinin yanında ömür dağılımının aynı şartlarda üretilen çubuklar için homojen değişmesi gerekmektedir. Aynı gruptaki çubuklarda ömrün büyük farklarla dalgalanması sertleştirme koşullarında homojen soğutmanın yapılamadığını ve sonuçların güvenilir olmayabileceğini gösterir. Bu durumlar dikkate alındığında ideal sertleştirme koşulları, yüksek ve homojen yorulma ömrünün, uygun mikroyapı dönüşümlerinin ve sertlik değerlerinin elde edildiği durumlara göre belirlenmektedir.

34MnB5 boru çubuk malzemeden üretilen denge çubukları için ısıl işlem sonrası sertlik değerleri ile yorulma ömürleri kıyaslaması Çizelge 8.29'da verilmiştir.

	34 MnB5 Boru Çubuklar												
Sertleştiri Sonrası Değerle	ne Ve M En Yük rinin El Koşull	Menevişleme sek Sertlik de Edildiği ar	En Yüks Ömürlerini Sertleştiri	ek Yorı n Elde o me Koş	ılma edildiği ulları	Homojen Yorulma Ömürlerinin Elde Edildiği Sertleştirme Koşulları							
Su	BS1	27°C / 25 sn	Su	BS1	27 °C / 25 sn	Su	BS1	27 °C / 25 sn					
Polimerli Su	BP1	28 °C / 35 sn	Polimerli Su	BP2	37 °C / 35 sn	Polimerli Su	BP1	28 °C / 35 sn					
Yağ	BY1	39 °C / 10 dk	Yağ	BY1	39 °C / 10 dk	Yağ	BY2	53°C / 8 dk					

Çizelge 8.29 : 34MnB5 boru çubuklar için test sonuçlarının kıyaslaması.

Yapılan test ve incelemeler sonucunda 3 farklı ortamda yapılan 34MnB5 boru çubuklarının sertleştirme operasyonları için ideal koşullar BY2 çubuklarının sertleştirildiği 53°C banyo sıcaklığında 8 dakika olarak tespit edilmiştir.

8.2 55Cr3 Dolu Çubuk Malzemeden Üretilen Denge Çubukları

55Cr3 malzemesinde üretilen denge çubuklarının mikroyapı incelemesi, dekarbürizasyon ve tane boyutu kontrolü, sertlik ölçümleri ve yorulma testi sonuçları bu grup başlık altında verilmektedir.

8.2.1 Mikroyapı incelemesi, dekarbürizasyon kontrolü ve sertlik ölçümleri

Aynı üretim hattında ve operasyon koşullarında 55Cr3 dolu çubuk malzemeden üretimi tamamlanan 64 adet denge çubuğu için farklı soğutma banyo ortamlarında sertleştirme işlemi yapılmıştır. 3 farklı soğutma banyo ortamında ve 12 farklı operasyon koşullarında yapılan sertleştirme işlemin mikroyapıya ve sertlik değerlerine etkisi incelenmiştir. Yapılan mikroyapı ve sertlik incelemelerinde meneviş görmüş çubuklar kullanılmıştır.

Çubukların düz ve omuz bölgelerinden numuneler alınarak mikroyapı ve mekanik özellik incelemeleri yapılmıştır. Düz bölge olarak belirtilen kısım çubuk formundaki düz kısım, omuz bölgesi ise büküm bölgelerini ifade etmektedir. İnceleme bölgelerinin çubuk üzerinden gösterimi Şekil 8.86'da verilmiştir.



Şekil 8.86 : 55Cr3- Dolu çubuk malzemeden üretilen denge çubuğunun inceleme bölgeleri.

8.2.1.1 Suda sertleştirme ve meneviş sonrası mikroyapı ve sertlik kontrolü

870-920 ^oC aralığında tavlama işlemi yapılan 55Cr3 dolu çubuk malzemeden üretilen 4 adet denge çubuğu 25 ^oC'de ki su banyosuna daldırıldıklarında östenit yapıdan martenzit yapıya dönüşüm gerçekleşmiştir.

Su banyosunda sertleştirilen DS1 grubu çubukları için menevişleme sonrası mikroyapı, dekarbürizasyon derinliği ve tane boyutu değişimi kontrol edilmiş olup Çizelge 8.30 ve Çizelge 8.31'de verilmiştir.

Çizelge 8.30 : DS1M çubuğunun mikroyapı ve tane boyutu.

	Mikrovoni	Tane Boyutu (ASTM)				
	wiiki oyapi	Düz	Omuz			
DS1M	Temper Martenzit	9	9			

Çizelge 8.31 : DS1M çubuğunun dekarbürizasyon derinliği.

	Dekarbürizasyon Derinliği (mikron) Düz Omuz							
DS1M	0	0						

Sertleştirme operasyonu ile tavlama sırasında oluşan KYM'li östenit yapı THM'li martenzit forma dönüşür. Diğer yapılan deneysel çalışmalarda da görüldüğü gibi en yüksek soğuma hızı su banyosunda sertleştirilen çubuklarda elde edilmiştir.

Mikroyapı incelemelerinin sonuçları aşağıda verilmekte olup tüm mikroyapı resimleri 200 büyütmede alınmıştır.

DS1 Grubu Mikroyapı - Sertlik İncelemesi

25 0 C sıcaklıktaki su banyosunda 45 saniye sertleştirilen 4 adet DS1 grubu çubuklarına 460 ± 5 0 C sıcaklıkta 60 dakika menevişleme yapılmıştır. Menevişleme sonrası mikroyapı incelemeleri ve sertlik testi sonuçları aşağıda verilmektedir. Menevişleme sonrası incelenen çubuk DS1M tanımlaması ile verilmiştir.

DS1M kodlu çubuk için menevişleme sonrası mikroyapı dönüşüm resimleri Şekil 8.87'de verilmiştir.



Düz Bölge-Yüzey Düz Bölge-Merkez Omuz Bölgesi-Yüzey Omuz Bölgesi-Merkez

Şekil 8.87 : Su banyosunda sertleştirilmiş ve menevişlenmiş DS1M çubuğunun mikroyapısı (Sertleştirme 25 0 C – 45 sn, Menevişleme 460 ± 5 0 C – 60dk, 200X).

Menevişleme sonrası temper martenzit dönüşümü gerçekleşmiştir. Çubuğun düz ve omuz bölgesinin tane boyutu ASTM 9 olup ince taneli bir yapı meydana gelmiştir.

DS1M çubuğunun düz ve omuz bölgelerinde dekarbürizasyon oluşmadığı tespit edilmiştir.

DS1M çubuğunun menevişleme operasyonu sonrasındaki sertlik değerleri Çizelge 8.32'de verilmiştir.

Yüzeyden Merkeze		DS1M												
Ölçüm			Düz	z Bölge		Omuz Bölgesi								
(mm)	1	2	3	4	Ortalama	1	2	3	4	Ortalama				
0,1	461	464	469	473	467	476	466	458	463	466				
0,2	474	471	476	470	473	474	470	480	463	472				
0,3	473	474	467	476	473	478	461	472	472	471				
0,5	477	482	477	475	478	473	465	473	473	471				
1	470	475	482	472	475	473	473	471	473	473				
Merkez	512	530	471	529	511	440	445	464	503	463				
Genel Ort.			47	79,17		479,17								

Çizelge 8.32 : Menevişleme sonrasın DS1M çubuğun sertlik değerleri (HV).

DS1M çubuğunun sertleştirme operasyonu sonrasındaki yüzeyden merkeze doğru sertlik değişimi Şekil 8.88'de verilmiştir.



DS1M- Sertlik - Mesafe Değişimi

Şekil 8.88 : DS1M çubuğunun sertleştirme sonrası yüzeyden merkeze doğru sertlik değişimi.

Suda sertleştirilmiş ve menevişlenmiş DS1 grubu çubukların mikroyapı ve sertlik incelemelerine göre hızlı soğumanın etkisinde yüksek sertlik değerlerinin elde edildiği görülmektedir. Çubuk yüzeyinden merkeze doğru sertlik değişiminde büyük farklılıklar olmayıp düz ve omuz bölgesinin sertlik dağılımı da birbirine yakındır. 55Cr3 yay çeliği malzemesinin meneviş sonrası sertlik değerleri (449-491 HV) ile kıyaslama yapıldığında 25 ^oC su banyosunda 45 saniye sertleştirilen ve 460 ^oC'de 60 dakika menevişlenen DS1 çubuklarında uygun sertliklerin elde edildiği görülmüştür.

Su banyosunda soğuma hızının yüksek olması ile ince taneli yapı elde edilmiştir. Tavlama sırasında çubuğun düz ve omuz bölgelerinde dekarbürizasyon meydana gelmemiş olup yüzeyde sertlik kaybı yaşanmamıştır.

8.2.1.2 Polimerli suda sertleştirme ve meneviş sonrası mikroyapı kontrolü;

Polimerli suda yapılan sertleştirme işlemi için 5 farklı banyo sıcaklığında ve 2 farklı banyoda kalma sürelerinde 27 adet dolu çubuk malzemeden üretilmiş denge çubuklarına sertleştirme yapılmıştır.

U formundaki denge çubukları 27 ve 36 0 C sıcaklıktaki banyo ortamında 45 saniye, 25, 28 ve 36 0 C sıcaklıktaki banyo ortamlarında 60 saniye sertleştirme yapılmıştır. Çubuklar 460 ± 5 0 C sıcaklıkta 60 dakika menevişleme işlemine tabi tutulmuştur.

Polimerli su banyosunda sertleştirilen DP1-DP2-DP3-DP4 ve DP5 grubu çubukları için menevişleme sonrası mikroyapı, dekarbürizasyon derinliği ve tane boyutu değişimi kontrol edilmiş olup Çizelge 8.33 ve Çizelge 8.34'de verilmiştir.

	Milzrovoni	Tane Boyutu (ASTM)				
	wiiki oyapi	Düz	Omuz			
DP1M	Temper Martenzit	9	8-9			
DP2M	Temper Martenzit	9	8-9			
DP3M	Temper Martenzit	9	9			
DP4M	Temper Martenzit	9	9			
DP5M	Temper Martenzit	9	9			

Çizelge 8.33 : DP1-DP2-DP3-DP4 ve DP5 çubuklarının mikroyapı ve tane boyutları.

('izel a	R A	34 .	DP1		-DP3-I	DP4 ve	- DP5	cubuklarının	dekarbürizas	von	derinli	ŏi
Ŋ	, izeig	ge 0.	54.	DF	-DF 2	-DF 5-1			Çubuklarının	uckarburizas	yon	uermin	gı.

	Dekarbürizasyon Derinliği (mikron)								
	Düz Omuz								
DP1M	0	0							
DP2M	0	0							
DP3M	0	0							
DP4M	0	0							
DP5M	0	0							

Farklı banyo sıcaklıklarında yapılan polimerli suda sertleştirme işlemi ve menevişleme sonrası denge çubuklarının mikroyapı ve sertlik değerlerindeki değişim aşağıda verilmiştir. Tüm mikroyapı resimleri 200 büyütmede alınmıştır.

DP1 Grubu Mikroyapı - Sertlik İncelemesi

27 ^{0}C sıcaklıktaki polimerli su banyosunda 45 saniye sertleştirilen 4 adet DP1 grubu çubuklarına 460 ± 5 ^{0}C sıcaklıkta 60 dakika menevişleme yapılmıştır. Menevişleme sonrası mikroyapı incelemeleri ve sertlik testi sonuçları aşağıda verilmektedir. Menevişleme sonrası incelenen çubuk DP1M tanımlaması ile verilmiştir.

DP1M kodlu çubuk için menevişleme sonrası mikroyapı dönüşüm resimleri Şekil 8.89'da verilmiştir.



Düz Bölge-Yüzey Düz Bölge-Merkez Omuz Bölgesi-Yüzey Omuz Bölgesi-Merkez

Şekil 8.89 : Polimerli su banyosunda sertleştirilmiş ve menevişlenmiş DP1M çubuğunun mikroyapısı (Sertleştirme 27 0 C – 45 sn, Menevişleme $460 \pm 5 {}^{0}$ C - 60 dk, 200X).

Menevişleme sonrası tempermartenzit dönüşümü gerçekleşmiştir. Çubuğun tane boyutu düz bölgesinde ASTM 9, omuz bölgesinin ASTM 8-9 olup ince taneli bir yapı meydana gelmiştir. DP1M çubuğunda dekarbürizasyon meydana gelmemiştir.

DP1M çubuğunun menevişleme operasyonu sonrasındaki sertlik değerleri Çizelge 8.35'de verilmiştir.

Yüzeyden	DP1M (HV)												
Merkeze Ölçüm			Düz	z Bölge		Omuz Bölgesi							
Aralığı (mm)	1	2	3	4	Ortalama	1	2	3	4	Ortalama			
0,1	482	396	462	471	453	483	456	490	454	471			
0,2	478	480	477	471	477	471	467	473	450	465			
0,3	471	471	462	469	468	470	457	472	446	461			
0,5	470	473	470	465	470	466	462	452	451	458			
1	462	463	470	477	468	468	464	456	450	460			
Merkez	465	473	454	492	471	460	473	440	447	455			
Genel Ort.			40	67,67		461,58							

Çizelge 8.35 : Menevişleme sonrasın DP1M çubuğun sertlik değerleri (HV).

DP1M çubuğunun sertleştirme operasyonu sonrasındaki yüzeyden merkeze doğru sertlik değişimi Şekil 8.90'da verilmiştir.



DP1M-Sertlik - Mesafe Değişimi



DP2 Grubu Mikroyapı - Sertlik İncelemesi

36 ^{0}C sıcaklıktaki polimerli su banyosunda 45 saniye sertleştirilen 5 adet DP2 grubu çubuklarına 460 ± 5 ^{0}C sıcaklıkta 60 dakika menevişleme yapılmıştır. Menevişleme sonrası mikroyapı incelemeleri ve sertlik testi sonuçları aşağıda verilmektedir. Menevişleme sonrası incelenen çubuk DP2M tanımlaması ile verilmiştir.

DP2M kodlu çubuk için menevişleme sonrası mikroyapı dönüşüm resimleri Şekil 8.91'de verilmiştir.



Düz Bölge-Yüzey(a) Düz Bölge-Merkez(b) Omuz Bölgesi-Yüzey(c) Omuz Bölgesi-Merkez (d)

Şekil 8.91 : Polimerli su banyosunda sertleştirilmiş ve menevişlenmiş DP2M çubuğunun mikroyapısı (Sertleştirme 36 0 C – 45 sn, Menevişleme 460 ± 5 0 C - 60 dk, 200X).

Menevişleme sonrası tempermartenzit dönüşümü gerçekleşmiştir. Çubuğun tane boyutu düz bölgesinde ASTM 9, omuz bölgesinin ASTM 8-9 olup ince taneli bir yapı meydana gelmiştir. DP2M çubuğunun düz ve omuz bölgelerinde dekarbürizasyon oluşmadığı tespit edilmiştir.

DP2M çubuğunun menevişleme operasyonu sonrasındaki sertlik değerleri Çizelge 8.36'de verilmiştir.

Yüzeyden		DP2M (HV)												
Ölçüm			Düz	z Bölge		Omuz Bölgesi								
(mm)	1	2	3	4	Ortalama	1	2	3	4	Ortalama				
0,1	451	432	447	430	440	460	448	450	430	447				
0,2	450	470	443	480	461	462	451	460	454	457				
0,3	470	465	458	467	465	459	464	432	465	455				
0,5	470	461	452	466	462	453	464	392	494	451				
1	465	483	463	476	472	406	473	390	424	423				
Merkez	461	445	454	473	458	467	473	450	432	456				
Genel Ort.			4	59,67		448,04								

Çizelge 8.36 : Menevişleme sonrasında DP2M çubuğun sertlik değerleri (HV).

DP2M çubuğunun sertleştirme operasyonu sonrasındaki yüzeyden merkeze doğru sertlik değişimi Şekil 8.92'de verilmiştir.



DP2M- Sertlik - Mesafe Değişimi

Şekil 8.92 : DP2M çubuğunun sertleştirme sonrası yüzeyden merkeze doğru sertlik değişimi.

DP3 Grubu Mikroyapı - Sertlik İncelemesi

25 0 C sıcaklıktaki polimerli su banyosunda 60 saniye sertleştirilen 6 adet DP3 grubu çubuklarına 460 ± 5 0 C sıcaklıkta 60 dakika menevişleme yapılmıştır. Menevişleme sonrası mikroyapı incelemeleri ve sertlik testi sonuçları aşağıda verilmektedir. Menevişleme sonrası incelenen çubuk DP3M tanımlaması ile verilmiştir.

DP3M kodlu çubuk için menevişleme sonrası mikroyapı dönüşüm resimleri Şekil 8.93'de verilmiştir.



Düz Bölge-Yüzey(a) Düz Bölge-Merkez(b) Omuz Bölgesi-Yüzey(c) Omuz Bölgesi-Merkez (d)

Şekil 8.93 : Polimerli su banyosunda sertleştirilmiş ve menevişlenmiş DP3M çubuğunun mikroyapısı (Sertleştirme 25 0 C – 60 sn, Menevişleme $460 \pm 5 {}^{0}$ C - 60 dk, 200X).

Menevişleme sonrası tempermartenzit dönüşümü gerçekleşmiştir. Çubuğun tane boyutu düz ve omuz bölgesinde ASTM 9 olup ince taneli bir yapı meydana gelmiştir. DP3M çubuğunda dekarbürizasyon meydana gelmemiştir.

DP3M çubuğunun menevişleme operasyonu sonrasındaki sertlik değerleri Çizelge 8.37'da verilmiştir.

Yüzeyden Merkeze Ölçüm Aralığı (mm)	DP3M (HV)									
	Düz Bölge					Omuz Bölgesi				
	1	2	3	4	Ortalama	1	2	3	4	Ortalama
0,1	467	469	473	479	472	474	461	482	468	471
0,2	470	459	455	478	466	479	466	482	479	477
0,3	474	481	476	478	477	478	456	483	480	474
0,5	476	472	473	487	477	473	472	466	486	474
1	466	474	483	479	476	472	474	481	479	477
Merkez	472	481	492	485	483	491	506	490	471	490
Genel Ort.	474,96				477,04					

Cizelge 8.37	: Menevisleme so	onrasın DP3M cubuğ	un sertlik değerler	i (HV).
3 . 8				()

DP3M çubuğunun sertleştirme operasyonu sonrasındaki yüzeyden merkeze doğru sertlik değişimi Şekil 8.94'de verilmiştir.



DP3M-Sertlik - Mesafe Değişimi

Şekil 8.94 : DP3M çubuğunun sertleştirme sonrası yüzeyden merkeze doğru sertlik değişimi.

DP4 Grubu Mikroyapı - Sertlik İncelemesi

28 ^{0}C sıcaklıktaki polimerli su banyosunda 60 saniye sertleştirilen 6 adet DP4 grubu çubuklarına 460 ± 5 ^{0}C sıcaklıkta 60 dakika menevişleme yapılmıştır. Menevişleme sonrası mikroyapı incelemeleri ve sertlik testi sonuçları aşağıda verilmektedir. Menevişleme sonrası incelenen çubuk DP4M tanımlaması ile verilmiştir.

DP4M kodlu çubuk için menevişleme sonrası mikroyapı dönüşüm resimleri Şekil 8.95'de verilmiştir.



Düz Bölge-Yüzey

Düz Bölge-Merkez

Omuz Bölgesi-Yüzey Omuz I

Omuz Bölgesi-Merkez

Şekil 8.95 : Polimerli su banyosunda sertleştirilmiş ve menevişlenmiş DP4M çubuğunun mikroyapısı (Sertleştirme 28 0 C – 60 sn, Menevişleme 460 ± 5 0 C - 60 dk, 200X).

Sertleştirme sonrası oluşan martenzit yapı, menevişleme sonrası tempermartenzit forma dönüşmüştür.. Çubuğun tane boyutu düz ve omuz bölgesinde ASTM 9 olup ince taneli bir yapı meydana gelmiştir. DP4M çubuğunda dekarbürizasyon meydana gelmemiştir. DP4M çubuğunun menevişleme operasyonu sonrasındaki sertlik değerleri Çizelge 8.38'de verilmiştir.

Yüzeyden Merkeze Ölçüm Aralığı (mm)	DP4M (HV)										
	Düz Bölge					Omuz Bölgesi					
	1	2	3	4	Ortalama	1	2	3	4	Ortalama	
0,1	463	461	473	461	465	470	461	460	458	462	
0,2	473	481	464	465	471	476	467	461	467	468	
0,3	466	476	478	463	471	478	475	463	464	470	
0,5	470	470	473	471	471	479	470	463	464	469	
1	463	476	477	473	472	478	450	462	466	464	
Merkez	466	472	493	482	478	472	472	469	482	474	
Genel Ort.	471,25				467,79						

Çizelge 8.38 : Menevişleme sonrasın DP4M çubuğun sertlik değerleri (HV).

DP4M çubuğunun sertleştirme operasyonu sonrasındaki yüzeyden merkeze doğru sertlik değişimi Şekil 8.96'da verilmiştir.



DP4M- Sertlik - Mesafe Değişimi

Şekil 8.96 : DP4M çubuğunun sertleştirme sonrası yüzeyden merkeze doğru sertlik değişimi.
DP5 Grubu Mikroyapı - Sertlik İncelemesi

 $36\ ^{0}$ C sıcaklıktaki polimerli su banyosunda 60 saniye sertleştirilen 6 adet DP5 grubu çubuklarına $460 \pm 5\ ^{0}$ C sıcaklıkta 60 dakika menevişleme yapılmıştır. Menevişleme sonrası mikroyapı incelemeleri ve sertlik testi sonuçları aşağıda verilmektedir. Menevişleme sonrası incelenen çubuk DP5M tanımlaması ile verilmiştir.

DP5M kodlu çubuk için menevişleme sonrası mikroyapı dönüşüm resimleri Şekil 8.97'de verilmiştir.



Düz Bölge-Yüzey(a) Düz Bölge-Merkez(b) Omuz Bölgesi-Yüzey(c) Omuz Bölgesi-Merkez (d)

Şekil 8.97 : Polimerli su banyosunda sertleştirilmiş ve menevişlenmiş DP5M çubuğunun mikroyapısı (Sertleştirme 36 0 C – 60 sn, Menevişleme $460 \pm 5 {}^{0}$ C - 60 dk, 200X).

Menevişleme sonrası tempermartenzit dönüşümü gerçekleşmiştir. Çubuğun tane boyutu düz ve omuz bölgesinde ASTM 9 olup ince taneli bir yapı meydana gelmiştir. DP5M çubuğunda dekarbürizasyon meydana gelmemiştir.

DP5M çubuğunun menevişleme operasyonu sonrasındaki sertlik değerleri Çizelge 8.39'da verilmiştir.

Yüzeyden Merkeze	DP5M (HV)										
Ölçüm			Düz	z Bölge		Omuz Bölgesi					
Araligi (mm)	1	2	3	4	Ortalama	1	2	3	4	Ortalama	
0,1	495	472	476	479	481	484	474	442	469	467	
0,2	477	491	482	483	483	486	473	484	485	482	
0,3	479	490	483	484	484	485	478	482	481	482	
0,5	482	486	494	480	486	470	486	483	473	478	
1	486	475	486	486	483	478	489	486	482	484	
Merkez	481	518	483	485	492	490	476	486	450	476	
Genel Ort.			48	84,71				47	78,00		

Çizelge 8.39 : Menevişleme sonrasın DP5M çubuğun sertlik değerleri (HV).

DP5M çubuğunun sertleştirme operasyonu sonrasındaki yüzeyden merkeze doğru sertlik değişimi Şekil 8.98'de verilmiştir.



DP5M- Sertlik - Mesafe Değişimi

Şekil 8.98 : DP5M çubuğunun sertleştirme sonrası yüzeyden merkeze doğru sertlik değişimi.

Aynı banyo sıcaklıklarında farklı bekleme sürelerinde sertleştirilen DP1M ve DP4M çubuklarının meneviş sonrası sertlik değerleri kıyaslandığında banyoda kalma süresi daha fazla olan DP4M çubuğunda daha yüksek sertlik değerleri elde edilmiştir.

Aynı süre banyo ortamında kalan fakat farklı banyo sıcaklıklarında sertleştirilen DP1M-DP2M ve DP3M-DP4M çubuklarının meneviş sonrası sertlik değerleri kıyaslandığında banyo sıcaklığı düşük olan DP1M ve DP3M çubuklarında daha yüksek sertlik değerleri elde edilmiştir.

Polimerli suda yapılan sertleştirme işlemi sonucunda tüm operasyonlarda 55Cr3 yay çelik malzemesi için ideal sertlik değerlerine ulaşılmıştır.

Aynı koşullarda tavlanan tüm çubuklarda dekarbürizasyon meydana gelmemiş olup yüzeyden sertlik kaybı yaşanmamıştır. Tüm çubuklarda uygun mikroyapı dönüşümü tamamlanmıştır.

Tüm soğutma ortamlarında kritik soğuma hızı yakalanmış olup ince taneli yapı elde edilmiştir.

Sertleştirme sonrası yüzey-merkez sertliklerindeki değişimler incelendiğinde homojen sertlik dağılımının sağlandığı tespit edilmiş olup tüm çubuklar için banyo sıcaklıkları ve banyoda kalma süreleri sertleşebilirlik açısından uygundur. 3 farklı banyo ortamında da parça etrafında ısı dağılımı homojen sağlanmış olup yakın büküm (omuz) ve düz bölge sertlikleri elde edilmiştir.

Polimerli su banyosunda sertleştirilen çubukların meneviş sonrası sertlik değerlerindeki değişim Şekil 8.99'da verilmiştir.



Şekil 8.99 : Polimerli su banyosunda sertleştirme – Sertlik değişimi.

Farklı banyo sıcaklıklarında ve bekleme sürelerinde yapılan sertleştirme işleminin sertlik üzerine etkisi incelendiğinde banyo sıcaklığı arttıkça parçada ulaşılan sertliğin düştüğü, nedeninin ise soğuma hızındaki yavaşlama olduğu tespit edilmiştir.

Sabit banyo sıcaklıklarında ideal koşullar içerisinde sertleştirme süresi arttıkça ulaşılan sertlik değerinin de arttığı tespit edilmiştir. Sıcak çubuğun banyo ortamında soğuması için yeterli süre bekletilmesi gerekmektedir. Tam soğumadan banyo ortamından çıkartılan çubuklarda sertleşme tamamlanamadığı, parçanın yüzeyi ile merkezi arasındaki soğumanın dengelenememesinden dolayı ulaşılan sertlik değerleri düşmektedir.

Yapılan incelemeler sonucunda en sertlik değerleri ve uygun mikroyapı 60 saniye sertleştirme sürelerinde 25^oC banyo sıcaklığında DP3 grubu çubuklarında elde edilmiştir.

8.2.1.3 Yağda sertleştirme ve meneviş sonrası mikroyapı kontrolü;

Yağ banyosunda yapılan sertleştirme işlemi için 6 farklı banyo sıcaklığında ve 6 farklı banyoda kalma sürelerinde 33 adet dolu çubuk malzemeden üretilmiş denge çubuklarına sertleştirme yapılmıştır.

U formundaki denge çubukları 43-48-51-55-62 ve 66° C sıcaklıktaki banyo ortamında 15-24-23-30-35 ve 45 dakika sertleştirme yapılmıştır. Çubuklar $460\pm5^{\circ}$ C sıcaklıkta 60 dakika menevişleme işlemine tabi tutulmuştur.

Yağ banyosunda sertleştirilen DY1-DY2-DY3-DY4, DY5 ve DY6 grubu çubukları için menevişleme sonrası mikroyapı, dekarbürizasyon derinliği ve tane boyutu değişimi kontrol edilmiş olup Çizelge 8.40 ve Çizelge 8.41'de verilmiştir.

Çizelge 8.40 : DY1-DY2-DY3-DY4, DY5 ve DY6 çubuklarının mikroyapı ve tane boyutları.

	Milmovani	Tane Bo	yutu (ASTM)
	wiikroyapi	Düz	Omuz
DY1M	Temper Martenzit	8-9	8-9
DY2M	Temper Martenzit	9	9
DY3M	Temper Martenzit	9	8-9
DY4M	Temper Martenzit	9	9
DY5M	Temper Martenzit	9	9
DY6M	Temper Martenzit	9	9

Çizelge 8.41 : DY1-DY2-DY3-DY4, DY5 ve DY6 çubuklarının dekarbürizasyon derinliği.

	Dekarbüri (1	zasyon Derinliği nikron)
	Düz	Omuz
DY1M	0	5
DY2M	0	0
DY3M	0	0
DY4M	0	0
DY5M	0	0
DY6M	0	0

Farklı banyo sıcaklıklarında ve bekleme sürelerinde yapılan yağda sertleştirme işlemi ve menevişleme sonrası denge çubuklarının mikroyapı ve sertlik değerlerindeki değişim aşağıda verilmiştir. Tüm mikroyapı resimleri 200 büyütmede alınmıştır.

DY1 Grubu mikroyapı - sertlik incelemesi

 43° C sıcaklıktaki yağ banyosunda 15 dakika sertleştirilen 5 adet DY1 grubu çubuklarına $460 \pm 5^{\circ}$ C sıcaklıkta 60 dakika menevişleme yapılmıştır. Menevişleme sonrası mikroyapı incelemeleri ve sertlik testi sonuçları aşağıda verilmektedir. Menevişleme sonrası incelenen çubuk DY1M tanımlaması ile verilmiştir.

DY1M kodlu çubuk için menevişleme sonrası mikroyapı dönüşüm resimleri Şekil 8.100'de verilmiştir.



Düz Bölge-Yüzey(a) Düz Bölge-Merkez(b) Omuz Bölgesi-Yüzey(c) Omuz Bölgesi-Merkez (d)

Şekil 8.100 : Yağ banyosunda sertleştirilmiş ve menevişlenmiş DY1M çubuğunun mikroyapısı (Sertleştirme 43 0 C – 15 dk, Menevişleme 460 ± 5 0 C – 60 dk, 200X).

Menevişleme sonrası tempermartenzit yapı oluşmuştur. Çubuğun tane boyutu düz ve omuz bölgesinde ASTM 8-9 olup ince taneli bir yapı meydana gelmiştir. DY1M çubuğunda dekarbürizasyon meydana gelmemiştir.

DY1M çubuğunun menevişleme operasyonu sonrasındaki sertlik değerleri Çizelge 8.42'de verilmiştir.

Yüzeyden		DY1M (HV)										
Ölçüm			Düz	z Bölge		Omuz Bölgesi						
Araligi (mm)	1	2	3	4	Ortalama	1	2	3	4	Ortalama		
0,1	443	440	440	440	441	466	462	431	429	447		
0,2	453	452	442	438	446	473	454	432	419	445		
0,3	450	448	436	437	443	476	456	441	414	447		
0,5	448	451	441	444	446	468	417	432	446	441		
1	445	442	440	434	440	464	444	438	416	441		
Merkez	427	450	428	401	427	444	430	430	411	429		
Genel Ort.			44	40,42		441,38						

Çizelge 8.42 : Menevişleme sonrasın DY1M çubuğun sertlik değerleri (HV).

DY1M çubuğunun sertleştirme operasyonu sonrasındaki yüzeyden merkeze doğru sertlik değişimi Şekil 8.101'de verilmiştir.



DY1M-Sertlik - Mesafe Değişimi



DY1 grubundaki çubuklarda sertleştirme sonrası elde edilen sertlik değerleri 55Cr3 malzemesinden beklenen mekanik özellikleri sağlayacak sertlikten düşük olduğu tespit edilmiştir.

DY2 Grubu mikroyapı - sertlik incelemesi

48 0 C sıcaklıktaki yağ banyosunda 24 dakika sertleştirilen 5 adet DY2 grubu çubuklarına 460 ± 5 0 C sıcaklıkta 60 dakika menevişleme yapılmıştır. Menevişleme sonrası mikroyapı incelemeleri ve sertlik testi sonuçları aşağıda verilmektedir. Menevişleme sonrası incelenen çubuk DY2M tanımlaması ile verilmiştir. DY2M kodlu çubuk için menevişleme sonrası mikroyapı dönüşüm resimleri Şekil 8.102'de verilmiştir.

Menevişleme sonrası tempermartenzit yapı oluşmuştur. Çubuğun tane boyutu düz ve omuz bölgesinde 9 olup ince taneli bir yapı meydana gelmiştir. DY2M çubuğunda dekarbürizasyon meydana gelmemiştir.



Düz Bölge-Yüzey(a) Düz Bölge-Merkez(b) Omuz Bölgesi-Yüzey(c) Omuz Bölgesi-Merkez (d)

Şekil 8.102 : Yağ banyosunda sertleştirilmiş ve menevişlenmiş DY2M çubuğunun mikroyapısı (Sertleştirme 48 0 C – 24 dk, Menevişleme 460 ± 5 0 C - 60 dk, 200X).

DY2M çubuğunun menevişleme operasyonu sonrasındaki sertlik değerleri Çizelge 8.43'de verilmiştir.

Yüzeyden Merkeze		DY2M (HV)										
Ölçüm			Düz	z Bölge		Omuz Bölgesi						
Araligi (mm)	1	2	3	4	Ortalama	1	2	3	4	Ortalama		
0,1	476	469	461	466	468	480	474	474	478	477		
0,2	469	475	470	482	474	471	485	480	488	481		
0,3	476	475	478	478	477	469	478	480	476	476		
0,5	469	474	482	475	475	469	473	469	482	473		
1	482	473	484	471	478	477	473	473	484	477		
Merkez	492	461	475	474	476	496	473	476	495	485		
Genel Ort.		474,46 478,04										

Çizelge 8.43 : Menevişleme sonrasın DY2M çubuğun sertlik değerleri (HV).

DY2M çubuğunun sertleştirme operasyonu sonrasındaki yüzeyden merkeze doğru sertlik değişimi Şekil 8.103'de verilmiştir.





Şekil 8.103 : DY2M çubuğunun sertleştirme sonrası yüzeyden merkeze doğru sertlik değişimi.

DY3 Grubu mikroyapı - sertlik incelemesi

51 0 C sıcaklıktaki yağ banyosunda 23 dakika sertleştirilen 5 adet DY3 grubu çubuklarına 460 ± 5 0 C sıcaklıkta 60 dakika menevişleme yapılmıştır. Menevişleme sonrası mikroyapı incelemeleri ve sertlik testi sonuçları aşağıda verilmektedir. Menevişleme sonrası incelenen çubuk DY3M tanımlaması ile verilmiştir.

DY3M kodlu çubuk için menevişleme sonrası mikroyapı dönüşüm resimleri Şekil 8.104'de verilmiştir.



Düz Bölge-Yüzey(a) Düz Bölge-Merkez(b) Omuz Bölgesi-Yüzey(c) Omuz Bölgesi-Merkez (d)

Şekil 8.104 : Yağ banyosunda sertleştirilmiş ve menevişlenmiş DY3M çubuğunun mikroyapısı (Sertleştirme 51 0 C – 23 dk, Menevişleme 460 ± 5 0 C – 60 dk, 200X).

Menevişleme sonrası tempermartenzit yapı oluşmuştur. Çubuğun düz bölgesinin tane boyutu ASTM 9, omuz bölgesinin tane boyutu ASTM 8-9 olup ince taneli bir yapı meydana gelmiştir. DY3M çubuğunda dekarbürizasyon meydana gelmemiştir.

DY3M çubuğunun menevişleme operasyonu sonrasındaki sertlik değerleri Çizelge 8.44'de verilmiştir.

Yüzeyden	DY3M (HV)											
Ölçüm		Düz Bölge						Omuz Bölgesi				
(mm)	1	2	3	4	Ortalama	1	2	3	4	Ortalama		
0,1	436	425	402	408	418	430	428	407	411	419		
0,2	426	420	413	413	418	426	416	413	411	417		
0,3	422	421	408	425	419	422	421	410	423	419		
0,5	428	424	412	445	427	430	424	414	450	430		
1	426	418	414	440	425	423	420	410	444	424		
Merkez	436	430	453	473	448	436	424	455	467	446		
Genel Ort.			42	25,75		425,63						

Çizelge 8.44 : Menevişleme sonrasın DY3M çubuğun sertlik değerleri (HV).

DY3M çubuğunun sertleştirme operasyonu sonrasındaki yüzeyden merkeze doğru sertlik değişimi Şekil 8.105'de verilmiştir.



DY3M- Sertlik - Mesafe Değişimi

Şekil 8.105 : DY3M çubuğunun sertleştirme sonrası yüzeyden merkeze doğru sertlik değişimi.

DY3 grubundaki çubuklarda sertleştirme sonrası elde edilen sertlik değerleri 55Cr3 malzemesinden beklenen mekanik özellikleri sağlayacak sertlikten düşük olduğu tespit edilmiştir.

DY4 Grubu mikroyapı - sertlik incelemesi

55 0 C sıcaklıktaki yağ banyosunda 30 dakika sertleştirilen 6 adet DY4 grubu çubuklarına 460 ± 5 0 C sıcaklıkta 60 dakika menevişleme yapılmıştır. Menevişleme sonrası mikroyapı incelemeleri ve sertlik testi sonuçları aşağıda verilmektedir. Menevişleme sonrası incelenen çubuk DY4M tanımlaması ile verilmiştir.

DY4M kodlu çubuk için menevişleme sonrası mikroyapı dönüşüm resimleri Şekil 8.106'da verilmiştir.



Düz Bölge-Yüzey(a) Düz Bölge-Merkez(b) Omuz Bölgesi-Yüzey(c) Omuz Bölgesi-Merkez (d)

Şekil 8.106 : Yağ banyosunda sertleştirilmiş ve menevişlenmiş DY4M çubuğunun mikroyapısı (Sertleştirme 55 0 C – 30 dk, Menevişleme 460 ± 5 0 C – 60 dk, 200X).

Menevişleme sonrası tempermartenzit yapı oluşmuştur. Çubuğun düz ve omuz bölgesinin tane boyutu ASTM 9 olup ince taneli bir yapı meydana gelmiştir. DY4M çubuğunda dekarbürizasyon meydana gelmemiştir.

DY4M çubuğunun menevişleme operasyonu sonrasındaki sertlik değerleri Çizelge 8.45'de verilmiştir.

Yüzeyden	DY4M (HV)										
Ölçüm			Düz	z Bölge		Omuz Bölgesi					
(mm)	1	2	3	4	Ortalama	1	2	3	4	Ortalama	
0,1	461	454	479	475	467	456	467	471	461	464	
0,2	467	466	482	472	472	467	477	474	467	471	
0,3	465	465	470	468	467	472	490	489	471	481	
0,5	462	468	473	471	469	470	473	482	466	473	
1	474	458	465	480	469	472	463	476	473	471	
Merkez	479	489	473	500	485	482 464 476 474 474					
Genel Ort.			4′	71,50		472,21					

Çizelge 8.45 : Menevişleme sonrasında DY4M çubuğun sertlik değerleri (HV).

DY4M çubuğunun sertleştirme operasyonu sonrasındaki yüzeyden merkeze doğru sertlik değişimi Şekil 8.107'de verilmiştir.



DY4M-Sertlik - Mesafe Değişimi

Şekil 8.107 : DY4M çubuğunun sertleştirme sonrası yüzeyden merkeze doğru sertlik değişimi.

DY5 Grubu mikroyapı - sertlik incelemesi

 $62 \ ^{0}$ C sıcaklıktaki yağ banyosunda 35 dakika sertleştirilen 6 adet DY5 grubu çubuklarına $460 \pm 5 \ ^{0}$ C sıcaklıkta 60 dakika menevişleme yapılmıştır. Menevişleme sonrası mikroyapı incelemeleri ve sertlik testi sonuçları aşağıda verilmektedir. Menevişleme sonrası incelenen çubuk DY5M tanımlaması ile verilmiştir.

DY5M kodlu çubuk için menevişleme sonrası mikroyapı dönüşüm resimleri Şekil 8.108'de verilmiştir.



Düz Bölge-Yüzey(a) Düz Bölge-Merkez(b) Omuz Bölgesi-Yüzey(c) Omuz Bölgesi-Merkez (d)

Şekil 8.108 : Yağ banyosunda sertleştirilmiş ve menevişlenmiş DY5M çubuğunun mikroyapısı (Sertleştirme 62 0 C – 35 dk, Menevişleme 460 ± 5 0 C – 60 dk, 200X).

Menevişleme sonrası tempermartenzit yapı oluşmuştur. Çubuğun düz ve omuz bölgesinin tane boyutu ASTM 9 olup ince taneli bir yapı meydana gelmiştir. DY5M çubuğunda dekarbürizasyon meydana gelmemiştir.

DY5M çubuğunun menevişleme operasyonu sonrasındaki sertlik değerleri Çizelge 8.46'da verilmiştir.

Yüzeyden Merkeze	DY5M (HV)											
Ölçüm		Düz Bölge						Omuz Bölgesi				
(mm)	1	2	3	4	Ortalama	1	2	3	4	Ortalama		
0,1	453	475	466	474	467	461	447	455	457	455		
0,2	473	472	470	460	469	455	467	452	456	458		
0,3	462	466	476	464	467	457	458	461	456	458		
0,5	454	471	464	463	463	451	456	466	450	456		
1	469	469	464	464	467	453	461	456	454	456		
Merkez	518	457	458	466	475	465	455	497	461	470		
Ortalama			40	57,83				4	58,63			

Çizelge 8.46 : Menevişleme sonrasın DY5M çubuğun sertlik değerleri (HV).

DY5M çubuğunun sertleştirme operasyonu sonrasındaki yüzeyden merkeze doğru sertlik değişimi Şekil 8.109'da verilmiştir.





Şekil 8.109 : DY5M çubuğunun sertleştirme sonrası yüzeyden merkeze doğru sertlik değişimi.

DY6 Grubu mikroyapı - sertlik incelemesi

 $66 \ ^{0}$ C sıcaklıktaki yağ banyosunda 45 dakika sertleştirilen 6 adet DY6 grubu çubuklarına $460 \pm 5 \ ^{0}$ C sıcaklıkta 60 dakika menevişleme yapılmıştır. Menevişleme sonrası mikroyapı incelemeleri ve sertlik testi sonuçları aşağıda verilmektedir. Menevişleme sonrası incelenen çubuk DY6M tanımlaması ile verilmiştir.

DY6M kodlu çubuk için menevişleme sonrası mikroyapı dönüşüm resimleri Şekil 8.110'da verilmiştir.



Düz Bölge-Yüzey(a) Düz Bölge-Merkez(b) Omuz Bölgesi-Yüzey(c) Omuz Bölgesi-Merkez (d)

Şekil 8.110 : Yağ banyosunda sertleştirilmiş ve menevişlenmiş DY6M çubuğunun mikroyapısı (Sertleştirme 66 0 C – 45 dk, Menevişleme 460 ± 5 0 C - 60 dk, 200X).

Menevişleme sonrası tempermartenzit yapı oluşmuştur. Çubuğun düz ve omuz bölgesinin tane boyutu ASTM 9 olup ince taneli bir yapı meydana gelmiştir. DY6M çubuğunda dekarbürizasyon meydana gelmemiştir.

DY6M çubuğunun menevişleme operasyonu sonrasındaki sertlik değerleri Çizelge 8.47'de verilmiştir.

Yüzeyden	DY6M (HV)											
Ölçüm		Düz Bölge						Omuz Bölgesi				
(mm)	1	2	3	4	Ortalama	1	2	3	4	Ortalama		
0,1	458	467	464	467	464	459	456	452	451	455		
0,2	461	467	469	468	466	453	458	456	452	455		
0,3	473	467	460	461	465	461	457	453	453	456		
0,5	487	464	459	466	469	455	457	451	458	455		
1	467	470	472	456	466	450	461	451	436	450		
Merkez	459	446	450	448	451	462	461	450	456	457		
Ortalama	463,58 454,54											

Çizelge 8.47 : Menevişleme sonrasın DY6M çubuğun sertlik değerleri (HV).

DY6M çubuğunun sertleştirme operasyonu sonrasındaki yüzeyden merkeze doğru sertlik değişimi Şekil 8.111'de verilmiştir.



DY6M- Sertlik - Mesafe Değişimi



Yağ banyosunda sertleştirilen çubukların sertlik değerlerindeki değişim Şekil 112' de verilmiştir.



Şekil 8.112 : Yağda sertleştirmenin sertlik ile ilişkisi.

Yağ banyosunda sertleştirilen çubukların mikroyapıları ve sertlik incelemeleri sonuçlarına göre;

Banyoda kalma süreleri aynı olan DY2M ve DY3M çubuklarından banyo sıcaklığı düşük olan DY2M çubuğunda daha yüksek sertlik değerleri elde edilmiştir. 6 farklı banyo sıcaklığında yapılan sertleştirmelerde banyo sıcaklığı arttıkça çubuktaki ortalama sertliğin düştüğü tespit edilmiştir.

DY1M ve DY2M çubuklarının sertlikleri kıyaslandığında DY2M çubuğunun banyo sıcaklığı daha yüksek olmasına rağmen soğumasını tamamlayacak kadar süre banyoda kaldığı için daha yüksek sertlik değerleri elde edilmiştir.

Tüm çubuklarda yüzeyden merkeze doğru sertlik değişimi incelendiğinde homojen bir dağılımın olduğu tespit edilmiş olup çubuğum düz ve büküm bölgelerinde yakın sertlikler elde edilmiştir.

Tüm sertleştirme koşullarında uygun soğuma hızı yakalanmış olup ince taneli bir yapı elde edilmiştir. Tüm çubuklarda uygun yapı dönüşümleri gerçekleşmiş olup tempermartenzit yapı elde edilmiştir.

55Cr3 malzemesinden beklenen mekanik özelliklerin sağlanması için gereken sertlik değeri DP1 ve DP3 çubuklarında elde edilememiş olup düşük sertlik değerleri meydana gelmiştir.

Çubuklarda dekarbürizasyon meydana gelmemiş yüzeyde sertlik kaybı yoktur.

Yağda sertleştirme sonuçlarına göre en yüksek sertlik değerleri ve uygun mikroyapı DY2 grubu çubuklarının sertleştirildiği 48 ⁰C banyo sıcaklığında 24 dakika banyoda kalma süresinde elde edilmiştir.

3 farklı banyo ortamında farklı sıcaklık ve sürelerde sertleştirilen 55Cr3 dolu malzemeden üretilen denge çubuklarının menevişleme sonrası sertlik değerlerindeki değişim Şekil 8.113'de verilmiştir.



FARKLI SERTLEŞTİRME ORTAMLARI-SERTLİK DEĞİŞİMİ



Mikroyapı ve sertlik incelemesi sonucunda 3 farklı banyo ortamının kendi grubu içerisindeki ideal koşulları aşağıda verilmiştir;

Su banyosunda tek bir operasyon koşullarında deneme yapılmış olup 25 ^oC banyo sıcaklığında 45 sn sertleştirme süresinde uygun sertlik değerleri ve mikroyapı elde edilmiştir.

Polimerli su banyosunda sertleştirme sonrasında en uygun sertleştirme koşulları 25 ⁰C banyo sıcaklığında 60 sn sertleştirme süresinde DP3 çubuklarında elde edilmiştir.

Yağ banyosunda sertleştirme sonrasında en uygun sertleştirme koşulları 48 ^oC banyo sıcaklığında 24 dakika sertleştirme süresinde DY2 çubuklarında elde edilmiştir.

3 banyo ortamı ve sertleştirme koşulları kıyaslandığında en yüksek sertlik, suda sertleştirilmiş çubuklarda elde edilmiştir. En düşük sertlik değerleri ise yağda sertleştirilmiş çubuklarda elde edilmiştir. Tüm sertleştirme işlemlerinden sonra ince taneli yapı elde edilmiş olup dekarbürizasyon meydana gelmemiştir.

Kondüksiyonlu ısıtma ile tavlanan dolu çubuklarda et kalınlığı farkı oluşmadığı için büküm iç, dış ve düz bölge arasında, boru çubuklarda olduğu gibi sertlik, tane boyutu ve dekarbürizasyon farkı görülmemektedir.

Farklı banyo ortamlarında sertleştirilen çubukların sertleştirme ve meneviş sonrası yüzeyden merkeze doğru ortalama sertlik dağılımı incelendiğinde en homojen dağılım polimerli suda sertleştirme sonrasında elde edilmiştir. Yüzey merkez sertlikleri arasında en yüksek fark ise yağda sertleştirilmiş çubuklarda elde edilmiştir. Sertlik farkının oluşması banyo ortamının soğutma kabiliyetine bağlı olduğu kadar kalma sürelerinden sıcaklıklarından çubukların banyoda ve banyo da etkilenmektedir. Sertleştirmesinin tamamlanması için yeterli süre banyoda kalmayan çubuklarda daha yüksek farklar elde edilmiştir. Banyo sıcaklığı düştükçe yüzeydeki hızlı soğuma etkisinde yüksek sertliklere ulaşılırken merkezde aynı soğuma hızının sağlanamamasından dolayı daha düşük sertlikler elde edilmektedir.

Sertleştirme sonrası malzemede ulaşılan sertlik değerleri arttıkça yorulma dayanımı artmaktadır. Fakat hızlı soğuma sonucunda sertlik artışı ile birlikte malzemenin yapısında meydana gelen çatlaklar yorulma ömrünü ciddi oranlarda azaltmaktadır. Ayrıca sertleştirme sırasında yüzey ile merkez arasındaki sertlik dağılımı ne kadar homojense yorulma dayanımı o oranda iyileşmektedir. Yüksek sertlikteki yapılarda meydana gelen gerilme yığılmaları malzemenin tokluğunu düşürerek yorulmaya karşı direncini azaltmaktadır. Yüksek yorulma dayanımı ve ömrü istenilen denge çubuklarında malzemeden beklenen en önemli mekanik özellik tokluk olup yüksek malzeme sertliklerinde istenilen yorulma ömrü sağlanamayabilmektedir.

8.2.2 Yorulma testi sonuçları

55Cr3 yay çeliği dolu malzemesinden soğuk şekillendirme yöntemi ile üretilen denge çubuklarına, sabit şekil değiştirme koşuluna göre çalışan mekanik yorulma tezgâhında yorulma testi yapılmıştır. Testler Rözmaş Çelik San. Ve Tic. A.Ş.'de yapılmıştır.

Test koşulları; yorulma frekansı dakikada 120 çevrim (2 Hz) olarak belirlenmiş olup test sırasında yukarı aşağı çubuk kollarının şekil değişim aralığı (strok) 31 mm'dir. Her çubuk için yorulma testi çubuk kırılıncaya kadar devam ettirilmiş olup aynı test koşullarında ömür kıyaslaması yapılmıştır. Yorulma ömrü dinamik yüklemeler

altında çubuğun kırılıncaya kadar geçen çevrim sayısı ile ifade edilmektedir. Test sonrasında çubukların kırık yüzey incelemesi yapılmıştır.

Dolu yay çeliği malzemesinden üretilen denge çubuklarının yorulma sonrası kırılma bölgelerinin tanımlaması Şekil 8.114'te verilmiştir.



Şekil 8.114 : Yorulma Testi Sonrası Kırılma Bölgeleri Tanımlaması.

Dolu yay çeliği malzemesinden üretilen denge çubuklarının yorulma test düzeneği Şekil 8.115'de verilmiştir.



Şekil 8.115 : 55Cr3 Dolu malzemeden üretilen denge çubukları için yorulma test düzeneği.

8.2.2.1 Suda sertleştirilmiş denge çubukları için yorulma testi sonuçları

Suda sertleştirilen denge çubuklarının yorulma testi sonuçları Çizelge 8.48'de verilmiştir.

Çubuk	Frekans (Hz)	Strok (mm)	Ömür (N)	Kırılma Bölgesi	Kopma Türü
DS11	2	31	105112	Sağ Omuz	Gevrek
DS12	2	31	144772	Sağ Omuz	Gevrek
DS13	2	31	92840	Sağ Omuz	Gevrek

Çizelge 8.48 : Suda sertleştirilmiş denge çubuklarının yorulma testi sonuçları.

25 ⁰C'de su banyosunda 45 saniye sertleştirilmiş **DS1** grubundaki denge çubuklarının kırık yüzey fotoğrafları aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

DS11 çubuğunun yorulma ömrü 105112 çevrimdir. Çubuğun sağ braket içinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde çubuk, 45° açı ile kırılarak gevrek kopmuştur. Test sırasında çubuk kesitinde % 60 yorulma sonucunda kopma gerçekleşmiştir. DS11 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.116'da verilmiştir.



Şekil 8.116 : DS11 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

DS12 çubuğunun yorulma ömrü 144772 çevrimdir. Çubuğun sağ braket içinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Çubuk kesiti boyunca %50 yorulma sonucunda burulma gerilmesi etkisinde gevrek kopma meydana gelmiştir. DS12 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.117'de verilmiştir.



Şekil 8.117 : DS12 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

DS13 çubuğunun yorulma ömrü 92840 çevrimdir. Çubuğun sağ braket içinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. %50 yorulma sonucunda burulma gerilmesi etkisinde gevrek kopma meydana gelmiştir. DS13 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.118'de verilmiştir.



Şekil 8.118 : DS13 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

Suda sertleştirilmiş denge çubuklarının yorulma ömür kıyaslaması Şekil 8.119'da verilmiştir.



Şekil 8.119 : Suda sertleştirme – Yorulma ömrü.

Suda sertleştirilen çubukların yorulma ömürleri incelendiğinde diğer banyo ortamlarına göre daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durumun nedeni hızlı soğuma etkisinde çubukta ulaşılan yüksek sertlik ve gerilmelerdir. Yorulma davranışını etkileyen en önemli parametrelerden biri olan tokluğun önemi suda sertleştirilmiş çubuklarda görülmektedir. Sertliği yüksek olduğu halde tokluğu düşük olan suda sertleştirilmiş çubuklarda yorulma dayanımı azalmıştır.

8.2.2.2 Polimerli suda sertleştirilmiş denge çubukları için yorulma testi sonuçları

Polimerli suda sertleştirilen denge çubuklarının yorulma testi sonuçları Çizelge 8.49'da verilmiştir.

27 ⁰C'de polimerli su banyosunda 45 saniye sertleştirilmiş **DP1** grubundaki denge çubuklarının kırık yüzey fotoğrafları aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

DP11 çubuğunun yorulma ömrü 203012 çevrimdir. Çubuğun sağ braket içinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde gevrek kopma meydana gelmiştir. DP11 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.120'de verilmiştir.



Şekil 8.120 : DP11 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

-				1	
Çubuk	Frekans (Hz)	Strok (mm)	Ömür (Çevrim Sayısı-N)	Kırılma Bölgesi	Kopma Türü
DP11	2	31	203012	Sağ Braket İçi	Gevrek
DP12	2	31	62656	Sol Braket İçi	Sünek
DP13	2	31	72688	Sol Braket İçi	Gevrek
DP21	2	31	209000	Sol Omuz	Sünek
DP22	2	31	262320	Sağ Omuz	Sünek
DP23	2	31	234408	Sağ Braket İçi	Gevrek
DP24	2	31	260392	Sağ Omuz	Gevrek
DP31	2	31	261824	Sol Braket İçi	Sünek
DP32	2	31	528416	Sol Braket İçi	Gevrek
DP33	2	31	310076	Sol Braket İçi	Sünek
DP34	2	31	153928	Sol Braket İçi	Gevrek
DP35	2	31	168352	Sol Braket İçi	Gevrek
DP41	2	31	196612	Sağ Braket İçi	Sünek
DP42	2	31	143500	Sol Braket İçi	Gevrek
DP43	2	31	116320	Sağ Braket İçi	Sünek
DP44	2	31	328456	Sağ Braket İçi	Sünek
DP45	2	31	107888	Sol Braket İçi	Gevrek
DP51	2	31	463352	Sağ Omuz	Gevrek
DP52	2	31	249912	Sağ Braket İçi	Sünek
DP53	2	31	133592	Sağ Braket İçi	Sünek
DP54	2	31	156684	Sağ Braket İçi	Sünek
DP55	2	31	134040	Sağ Omuz	Sünek

Çizelge 8.49 : Polimerli suda sertleştirilmiş denge çubuklarının yorulma testi sonuçları.

DP12 çubuğunun yorulma ömrü 62656 çevrimdir. Çubuğun sol braket içinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde çubuk kesitine dik bir şekilde sünek kopma meydana gelmiştir. Test sırasında çubuk kesitinde %50 yorulma sonucunda kopma gerçekleşmiştir. DP12 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.121'de verilmiştir.



Şekil 8.121 : DP12 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

DP13 çubuğunun yorulma ömrü 72688 çevrimdir. Çubuğun sağ braket içinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Çubuk kesiti boyunca %50 yorulma sonucunda burulma gerilmesi etkisinde gevrek kopma meydana gelmiştir. DP13 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.122'de verilmiştir.



Şekil 8.122 : DP13 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

36 ^oC'de polimerli su banyosunda 45 saniye sertleştirilmiş **DP2** grubundaki denge çubuklarının kırık yüzey fotoğrafları aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

DP21 çubuğunun yorulma ömrü 209000 çevrimdir. Çubuğun sol omuz bölgesinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde sünek kopma

meydana gelmiştir. Test sırasında çubuk kesitinde %70 yorulma sonucunda kopma gerçekleşmiştir. DP21 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.123'de verilmiştir.



Şekil 8.123 : DP21 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

DP22 çubuğunun yorulma ömrü 262320 çevrimdir. Çubuğun sağ omuz bölgesinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde sünek kopma meydana gelmiştir. Test sırasında çubuk kesitinde %70 yorulma sonucunda kopma gerçekleşmiştir. DP21 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.124'de verilmiştir.



Şekil 8.124 : DP22 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

DP23 çubuğunun yorulma ömrü 234408 çevrimdir. Çubuğun sağ braket içinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde gevrek kopma meydana gelmiştir. Kopma yüzeyi incelendiğinde çubuk kesitinde %50 yorulmanın gerçekleştiği net bir şekilde görülmektedir. DP23 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.125'de verilmiştir.



Şekil 8.125 : DP23 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

DP24 çubuğunun yorulma ömrü 260392 çevrimdir. Çubuğun sağ omuz bölgesinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde gevrek kopma meydana gelmiştir. Kopma yüzeyi incelendiğinde çubuk kesitinde %50 yorulmanın gerçekleştiği görülmektedir. DP24 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.126'da verilmiştir.



Şekil 8.126 : DP24 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

25 ^oC'de polimerli su banyosunda 60 saniye sertleştirilmiş **DP3** grubundaki denge çubuklarının kırık yüzey fotoğrafları aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

DP31 çubuğunun yorulma ömrü 261824 çevrimdir. Çubuğun sol braket içinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde sünek kopma meydana gelmiştir. Test sırasında çubuk kesitinde %70 yorulma sonucunda kopma gerçekleşmiştir. DP31 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.127'de verilmiştir.



Şekil 8.127 : DP31 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

DP32 çubuğunun yorulma ömrü 528416 çevrimdir. Çubuğun sol braket içinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Test sırasında çubuk kesitinde %60 yorulma sonucunda kopma gerçekleşmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde gevrek kopma meydana gelmiştir. DP32 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.128'de verilmiştir.



Şekil 8.128 : DP32 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

DP33 çubuğunun yorulma ömrü 310076 çevrimdir. Çubuğun sol braket içinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Test sırasında çubuk kesitinde % 50 yorulma sonucunda kopma gerçekleşmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde sünek kopma meydana gelmiştir. DP33 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.129'da verilmiştir.



Şekil 8.129 : DP33 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

DP34 çubuğunun yorulma ömrü 153928 çevrimdir. Çubuğun sol braket içinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Test sırasında çubuk kesitinde %50 yorulma sonucunda kopma gerçekleşmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde gevrek kopma meydana gelmiştir. DP34 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.130'da verilmiştir.



Şekil 8.130 : DP34 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

DP35 çubuğunun yorulma ömrü 168352 çevrimdir. Çubuğun sol braket içinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Test sırasında çubuk kesitinde %50 yorulma sonucunda kopma gerçekleşmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde gevrek kopma meydana gelmiştir. DP35 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.131'de verilmiştir.



Şekil 8.131 : DP35 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

28 ⁰C'de polimerli su banyosunda 60 saniye sertleştirilmiş **DP4** grubundaki denge çubuklarının kırık yüzey fotoğrafları aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

DP41 çubuğunun yorulma ömrü 196612 çevrimdir. Çubuğun sağ braket içinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Test sırasında çubuk kesitinde %60 yorulma sonucunda kopma gerçekleşmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde sünek kopma meydana gelmiştir. DP41 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.132'de verilmiştir.



Şekil 8.132 : DP41 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

DP42 çubuğunun yorulma ömrü 143500 çevrimdir. Çubuğun sol braket içinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Test sırasında çubuk kesitinde %50 yorulma sonucunda kopma gerçekleşmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde gevrek kopma meydana gelmiştir. DP42 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.133'de verilmiştir.



Şekil 8.133 : DP42 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

DP43 çubuğunun yorulma ömrü 116320 çevrimdir. Çubuğun sağ braket içinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Test sırasında çubuk kesitinde %50 yorulma sonucunda gevrek kopma gerçekleşmiştir. DP43 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.134'de verilmiştir.



Şekil 8.134 : DP43 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

DP44 çubuğunun yorulma ömrü 328456 çevrimdir. Çubuğun sağ braket içinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Test sırasında çubuk kesitinde %60 yorulma sonucunda kopma gerçekleşmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde gevrek kopma meydana gelmiştir. DP44 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.135'de verilmiştir.



Şekil 8.135 : DP44 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

DP45 çubuğunun yorulma ömrü 107888 çevrimdir. Çubuğun sol braket içinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Test sırasında çubuk kesitinde %60 yorulma sonucunda gevrek kopma gerçekleşmiştir. DP45 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.136'da verilmiştir.



Şekil 8.136 : DP45 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

36 ⁰C'de polimerli su banyosunda 60 saniye sertleştirilmiş **DP5** grubundaki denge çubuklarının kırık yüzey fotoğrafları aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

DP51 çubuğunun yorulma ömrü 463352 çevrimdir. Çubuğun sağ omuz bölgesinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Test sırasında çubuk kesitinde %70 yorulma sonucunda kopma gerçekleşmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde gevrek kopma meydana gelmiştir. DP51 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.137'de verilmiştir.



Şekil 8.137 : DP51 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

DP52 çubuğunun yorulma ömrü 249912 çevrimdir. Çubuğun sağ braket içinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Test sırasında çubuk kesitinde %50 yorulma sonucunda kopma gerçekleşmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde sünek kopma meydana gelmiştir. DP52 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.138'de verilmiştir.



Şekil 8.138 : DP52 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

DP53 çubuğunun yorulma ömrü 133592 çevrimdir. Çubuğun sağ braket içinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Test sırasında çubuk kesitinde % 50 yorulma sonucunda kopma gerçekleşmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde sünek kopma meydana gelmiştir. DP53 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.139'da verilmiştir.



Şekil 8.139: DP53 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

DP54 çubuğunun yorulma ömrü 156684 çevrimdir. Çubuğun sağ braket içinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Test sırasında çubuk kesitinde %50 yorulma sonucunda kopma gerçekleşmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde sünek kopma meydana gelmiştir. DP54 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.140'da verilmiştir.



Şekil 8.140 : DP54 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

DP55 çubuğunun yorulma ömrü 134040 çevrimdir. Çubuğun sağ omuz bölgesinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Test sırasında çubuk kesitinde %50 yorulma sonucunda kopma gerçekleşmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde sünek kopma meydana gelmiştir. DP55 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.141'de verilmiştir.



Şekil 8.141 : DP55 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

Polimerli suda sertleştirilmiş denge çubuklarının yorulma ömür kıyaslaması Şekil 8.142'de verilmiştir.



Şekil 8.142 : Polimerli suda sertleştirme – Yorulma ömrü.

Aynı banyo sıcaklığında farklı sürelerde sertleştirilen DP2 ve DP5 grubu çubuklarında, banyo ortamında daha uzun süre kalan DP5 çubuklarının DP2 çubuklarına göre daha yüksek sertlik değerlerine ulaştığı tespit edilmiş olup yorulma testi sonrasında yakın ömürlerde kırılmışlardır. DP1 ve DP4 çubuklarında da aynı koşullar geçerli olup banyoda daha uzun süre kalan DP4 çubuklarında hem sertlik değerinin hem de yorulma ömürlerinin DP1 çubuklarına göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda polimerli suda sertleştirilmiş çubuklar için aynı banyo sıcaklıklarında banyoda kalma süresi arttıkça sertleştirme sonrası ulaşılan serlik değerinin arttığı ve buna bağlı olarak yorulma dayanımının da iyileştiği tespit edilmiştir.

Aynı sertleştirme sürelerinde farklı banyo sıcaklıklarında sertleştirilen DP1 ve DP2 grubu çubuklarından, banyo sıcaklığı daha yüksek olan DP2 çubuklarında DP1 çubuklarına göre yüksek sertlik ve yorulma ömrü elde edilmiştir. DP3 ve DP5 çubuklarının test ve analiz sonuçları incelendiğinde ise banyo sıcaklığı yüksek olan DP5 çubuklarında daha yüksek sertlik elde edilirken DP3 çubuklarında daha yüksek yorulma ömürleri elde edilmiştir.

Sertleştirme operasyonu sonunda yüksek sertliğe ulaşılan DP3 grubu çubuklarında en yüksek yorulma ömürleri elde edilmiştir. En düşük yorulma ömürleri ise sertleştirme sonrası en düşük sertliğe sahip olan DP1 çubuklarında elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre sertleştirme sonrası ulaşılan sertlik arttıkça malzemenin yorulma dayanımının ve ömrün arttığı görülmektedir.

Yorulma testinde burulma gerilmesi etkisinde gerçekleşen kopma sonrası yüzey incelemesi yapıldığında DP5 grubu çubuklarında gevrek kopma gerçekleşirken, DP2, DP2 çubuklarında sünek kopma meydana gelmiştir. Aynı banyo sıcaklığında sertleştirilen 2 grup için kopma mekanizmalarındaki farklılık çubuk malzemesinin sertliğinden kaynaklanmaktadır. Banyoda kalma süresi kısa olan DP2 çubuklarında sertleşmenin tamamlanamaması ve yapıda yumuşak fazların kalmasından sertliğin düşmesine dolayısı ile sünek kopmanın meydana gelmesine neden olmuştur.

Bütün çubuklarda kesit boyunda en az %50 yorulma sonucunda kopma meydana gelmiştir.

Her grup içerisinde yorulma test sonuçlarının dağılımı incelendiğinde DP2 çubuklarında homojen bir değişim tespit edilmiştir. Soğumanın kontrollü yapılması ve koşulların güvenli olması, aynı gruptaki çubuklarda benzer yorulma ömürlerinin elde edilmesi ile kontrol edilebilir.

Çubukların yorulma ömürlerinin en yüksekten en aza doğru sıralaması; DP3-DP2-DP5-DP4-DP1'dir. Homojen sertleştirme koşullarının belirlenmesi için 5 farklı operasyon için ömürlerin standart sapması hesaplanmış olup güvenilirlik sıralaması yüksekten düşüğe göre; DP2-DP4-DP3-DP5-DP1 şeklindedir. Standart sapmalar dağılım faktörü olarak isimlendirilmiş olup ömür-sertleştirme ortamı değişim grafiklerinde gösterilmektedir.

5 farklı operasyon koşullarında yapılan sertleştirme sonrası çubukların yorulma ömürleri kıyaslandığında en yüksek ömrün DP3 grubu çubuklarının elde edilmesine rağmen ömür dağılımında büyük farklılıklar olması koşulların güvenli olmadığını göstermektedir. Bu şartlarda homojen ve yüksek ömür dağılımı DP2 çubuklarında elde edilmiş olup ideal şartlar 36°C banyo sıcaklığında 45 saniye sertleştirme olarak belirlenmiştir.

8.2.2.3 Yağda sertleştirilmiş denge çubukları için yorulma testi sonuçları

Yağda sertleştirilen denge çubuklarının yorulma testi sonuçları Çizelge 8.50'de verilmiştir.

43 ⁰C'de yağ banyosunda 15 dakika sertleştirilmiş **DY1** grubundaki denge çubuklarının kırık yüzey fotoğrafları aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

DY11 çubuğunun yorulma ömrü 166620 çevrimdir. Çubuğun sol braket içinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Test sırasında çubuk kesitinde %50 yorulma sonucunda gevrek kopma gerçekleşmiştir. DY11 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.143'de verilmiştir.



Şekil 8.143 : DY11 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

	Çubuk	Frekans (Hz)	Strok (mm)	Ömür (Çevrim Sayısı-N)	Kırılma Bölgesi	Kopma Türü
	DY11	2	31	166620	Sol Braket İçi	Gevrek
	DY12	2	31	138044	Sol Braket İçi	Gevrek
	DY13	2	2 31 152988 Sağ Braket İçi		Sünek	
	DY14	2	31	149232	Sağ Braket İçi	Gevrek
	DY21	2	31	121940	Sağ Braket İçi	Gevrek
	DY22	2	31	125712	Sağ Omuz	Gevrek
	DY23	2	31	116968	Sağ Braket İçi	Sünek
	DY24	2	31	171652	Sağ Braket İçi	Gevrek
	DY31	2	31	153312	Sol Omuz	Gevrek
	DY32	2	31	128980	Sol Braket İçi	Gevrek
	DY33	2	31	230676	Sol Omuz	Gevrek
	DY34	2	31	97120	Sol Braket İçi	Sünek
	DY41	2	31	136872	Sağ Braket İçi	Gevrek
	DY42	2	31	110664	Sağ Braket İçi	Gevrek
	DY43	2	31	104616	Sağ Braket İçi	Gevrek
	DY44	2	31	55380	Sağ Braket İçi	Gevrek
	DY45	2	31	113368	Sağ Braket İçi	Sünek
	DY51	2	31	186032	Sağ Braket İçi	Gevrek
	DY52	2	31	106616	Sol Braket İçi	Sünek
	DY53	2	31	133400	Sağ Braket İçi	Gevrek
	DY54	2	31	132372	Sol Braket İçi	Sünek
	DY55	2	31	149132	Sol Braket İçi	Sünek
	DY61	2	31	172312	Sol Braket İçi	Gevrek
	DY62	2 2 31 219912 Sol Braket İçi		Gevrek		
ſ	DY63	Y63 2 31 151488 Sol Braket İçi		Sünek		
	DY64	2	31	155696	Sol Braket İçi	Gevrek
	DY65	2	31	183332	Sol Braket İçi	Sünek

Çizelge 8.50 : Yağda sertleştirilmiş denge çubuklarının yorulma testi sonuçları.
DY12 çubuğunun yorulma ömrü 138044 çevrimdir. Çubuğun sol braket içinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde gevrek kopma meydana gelmiştir. Test sırasında çubuk kesitinde %50 yorulma sonucunda kopma gerçekleşmiştir. DY12 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.144'te verilmiştir.



Şekil 8.144 : DY12 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

DY13 çubuğunun yorulma ömrü 152988 çevrimdir. Çubuğun sağ braket içinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Test sırasında çubuk kesitinde %50 yorulma sonucunda burulma gerilmesi etkisinde sünek kopma gerçekleşmiştir. DY13 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.145'de verilmiştir.



Şekil 8.145 : DY13 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

DY14 çubuğunun yorulma ömrü 149232 çevrimdir. Çubuğun sağ braket içinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde gevrek kopma meydana gelmiştir. Test sırasında çubuk kesitinde %50 yorulma sonucunda kopma gerçekleşmiştir. DY14 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.146'da verilmiştir.



Şekil 8.146 : DY14 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

48 ⁰C'de yağ banyosunda 24 dakika sertleştirilmiş **DY2** grubundaki denge çubuklarının kırık yüzey fotoğrafları aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

DY21 çubuğunun yorulma ömrü 121940 çevrimdir. Çubuğun sağ braket içinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Test sırasında çubuk kesitinde %50 yorulma sonucunda burulma gerilmesi etkisinde gevrek kopma meydana gelmiştir. DY21 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.147'de verilmiştir.



Şekil 8.147 : DY21 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

DY22 çubuğunun yorulma ömrü 125712 çevrimdir. Çubuğun sağ omuz bölgesinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Test sırasında çubuk kesitinde %60 yorulma sonucunda burulma gerilmesi etkisinde gevrek kopma meydana gelmiştir. DY22 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.148'de verilmiştir.



Şekil 8.148 : DY22 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

DY23 çubuğunun yorulma ömrü 116968 çevrimdir. Çubuğun sağ braket içinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Test sırasında çubuk kesitinde %60 yorulma sonucunda burulma gerilmesi etkisinde sünek kopma meydana gelmiştir. DY23 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.149'da verilmiştir.



Şekil 8.149 : DY23 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

DY24 çubuğunun yorulma ömrü 171652 çevrimdir. Çubuğun sağ braket içinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Test sırasında çubuk kesitinde %50 yorulma sonucunda burulma gerilmesi etkisinde gevrek kopma meydana gelmiştir. DY24 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.150'de verilmiştir.



Şekil 8.150 : DY24 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

51 ⁰C'de yağ banyosunda 23 dakika sertleştirilmiş **DY3** grubundaki denge çubuklarının kırık yüzey fotoğrafları aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

DY31 çubuğunun yorulma ömrü 153312 çevrimdir. Çubuğun sol omuz bölgesinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde gevrek kopma meydana gelmiştir. Test sırasında çubuk kesitinde %50 yorulma sonucunda kopma gerçekleşmiştir. DY31 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.151'de verilmiştir.



Şekil 8.151 : DY31 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

DY32 çubuğunun yorulma ömrü 128980 çevrimdir. Çubuğun sol braket içinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Test sırasında çubuk kesitinde %50 yorulma sonucunda burulma gerilmesi etkisinde gevrek kopma meydana gelmiştir. DY32 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.152'de verilmiştir.



Şekil 8.152 : DY32 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

DY33 çubuğunun yorulma ömrü 230676 çevrimdir. Çubuğun sol omuz bölgesinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde gevrek kopma meydana gelmiştir. Test sırasında çubuk kesitinde %50 yorulma sonucunda kopma gerçekleşmiştir. DY33 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.153'de verilmiştir.



Şekil 8.153 : DY33 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

DY34 çubuğunun yorulma ömrü 97120 çevrimdir. Çubuğun sol braket içinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde sünek kopma meydana gelmiştir. Test sırasında çubuk kesitinde %50 yorulma sonucunda kopma gerçekleşmiştir. DY34 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.154'de verilmiştir.



Şekil 8.154 : DY34 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

55 ⁰C'de yağ banyosunda 30 dakika sertleştirilmiş **DY4** grubundaki denge çubuklarının kırık yüzey fotoğrafları aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

DY41 çubuğunun yorulma ömrü 136872 çevrimdir. Çubuğun sağ braket içinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde gevrek kopma meydana gelmiştir. Test sırasında çubuk kesitinde % 50 yorulma sonucunda kopma gerçekleşmiştir. DY41 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.155'de verilmiştir.



Şekil 8.155 : DY41 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

DY42 çubuğunun yorulma ömrü 110664 çevrimdir. Çubuğun sağ braket içinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde gevrek kopma meydana gelmiştir. Test sırasında çubuk kesitinde %50 yorulma sonucunda kopma gerçekleşmiştir. DY42 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.156'da verilmiştir.



Şekil 8.156 : DY42 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

DY43 çubuğunun yorulma ömrü 104616 çevrimdir. Çubuğun sağ braket içinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde sünek kopma meydana gelmiştir. Test sırasında çubuk kesitinde % 50 yorulma sonucunda kopma gerçekleşmiştir. DY43 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.157'de verilmiştir.



Şekil 8.157 : DY43 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

DY44 çubuğunun yorulma ömrü 55380 çevrimdir. Çubuğun sağ braket içinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde sünek kopma meydana gelmiştir. Test sırasında çubuk kesitinde %50 yorulma sonucunda kopma gerçekleşmiştir. DY44 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.158'de verilmiştir.



Şekil 8.158 : DY244 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

DY45 çubuğunun yorulma ömrü 113368 çevrimdir. Çubuğun sağ braket içinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde sünek kopma meydana gelmiştir. Test sırasında çubuk kesitinde %50 yorulma sonucunda kopma gerçekleşmiştir. DY45 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.159'da verilmiştir.



Şekil 8.159 : DY45 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

62 ⁰C'de yağ banyosunda 35 dakika sertleştirilmiş **DY5** grubundaki denge çubuklarının kırık yüzey fotoğrafları aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

DY51 çubuğunun yorulma ömrü 186032 çevrimdir. Çubuğun sağ braket içinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde gevrek kopma meydana gelmiştir. Test sırasında çubuk kesitinde %60 yorulma sonucunda kopma gerçekleşmiştir. DY51 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.160'da verilmiştir.



Şekil 8.160 : DY51 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

DY52 çubuğunun yorulma ömrü 106616 çevrimdir. Çubuğun sol braket içinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde sünek kopma meydana gelmiştir. Test sırasında çubuk kesitinde %50 yorulma sonucunda kopma gerçekleşmiştir. DY52 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.161'de verilmiştir.



Şekil 8.161 : DY52 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

DY53 çubuğunun yorulma ömrü 133400 çevrimdir. Çubuğun sağ braket içinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Test sırasında çubuk kesitinde %50 yorulma sonucunda burulma gerilmesi etkisinde gevrek kopma meydana gelmiştir. DY53 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.162'de verilmiştir.



Şekil 8.162 : DY53 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

DY54 çubuğunun yorulma ömrü 132372 çevrimdir. Çubuğun sol braket içinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde sünek kopma meydana gelmiştir. Test sırasında çubuk kesitinde %50 yorulma sonucunda kopma gerçekleşmiştir. DY54 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.163'de verilmiştir.



Şekil 8.163 : DY54 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

DY55 çubuğunun yorulma ömrü 149132 çevrimdir. Çubuğun sol braket içinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde sünek kopma meydana gelmiştir. Test sırasında çubuk kesitinde 2 taraflı yorulma meydana gelmiş olup %80 yorulma sonucunda kopma gerçekleşmiştir. Parçada ilk çatlak yorulma bölgesi geniş olan kısımda başlamış daha sonra karşı yüzeyde 2. Çatlak oluşarak yorulmayı hızlandırmıştır. DY55 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.164'de verilmiştir.



Şekil 8.164 : DY55 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

66 ⁰C'de yağ banyosunda 45 dakika sertleştirilmiş **DY6** grubundaki denge çubuklarının kırık yüzey fotoğrafları aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

DY61 çubuğunun yorulma ömrü 172312 çevrimdir. Çubuğun sol braket içinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde sünek kopma meydana gelmiştir. Test sırasında çubuk kesitinde %50 yorulma sonucunda kopma gerçekleşmiştir. DY61 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.165'de verilmiştir.



Şekil 8.165 : DY61 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

DY62 çubuğunun yorulma ömrü 219912 çevrimdir. Çubuğun sol braket içinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde sünek kopma meydana gelmiştir. Test sırasında çubuk kesitinde %50 yorulma sonucunda kopma gerçekleşmiştir. DY62 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.166'da verilmiştir.



Şekil 8.166 : DY62 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

DY63 çubuğunun yorulma ömrü 151488 çevrimdir. Çubuğun sol braket içinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde sünek kopma meydana gelmiştir. Test sırasında çubuk kesitinde %50 yorulma sonucunda kopma gerçekleşmiştir. DY63 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.167'de verilmiştir.



Şekil 8.167 : DY63 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

DY64 çubuğunun yorulma ömrü 155696 çevrimdir. Çubuğun sol braket içinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde gevrek kopma meydana gelmiştir. Test sırasında çubuk kesitinde %70 yorulma sonucunda kopma gerçekleşmiştir. DY64 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.168'da verilmiştir.



Şekil 8.168 : DY64 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

DY65 çubuğunun yorulma ömrü 183332 çevrimdir. Çubuğun sol braket içinde yorulma kırılması meydana gelmiştir. Burulma gerilmesi etkisinde sünek kopma meydana gelmiştir. Test sırasında çubuk kesitinde %50 yorulma sonucunda kopma gerçekleşmiştir. DY65 çubuğunun kırık yüzey incelemesi Şekil 8.169'da verilmiştir.



Şekil 8.169 : DY65 çubuğunun kırık yüzey incelemesi.

Yağ banyosunda sertleştirilen çubukların yorulma ömürleri kıyaslandığında;

23-24 dakika sertleştirme süresinde 48 °C banyo sıcaklığında sertleştirilen DY3 grubu çubuklarında 51 °C banyo sıcaklığında sertleştirilen DY2 grubu çubuklarına göre daha yüksek yorulma ömürleri elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre aynı sertleştirme sürelerinde banyo sıcaklığı arttıkça yorulma ömrünün azaldığı tespit edilmiştir.

Yağda sertleştirilmiş denge çubuklarının yorulma ömür kıyaslaması Şekil 8.170'de verilmiştir.



YAĞDA SERTLEŞTİRME- YORULMA ÖMRÜ

Şekil 8.170 : Yağda sertleştirme – Yorulma ömrü.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda banyoda kalma süresi arttıkça yorulma ömrünün arttığı tespit edilmiştir. Sertleştirme sonrası en yüksek sertlik değerleri DY2 ve DY4 çubuklarında elde edilirken yorulma ömürleri kıyaslandığında en düşük ömre sahip çubuklar arasındadırlar. Bu sonucu göre sertleştirme sonrası ulaşılan yüksek sertlik değerlerinin yorulma ömrünü arttırmakta yeterli olmadığı görülmektedir. Sertliğin yapıda homojen dağılması, çubukların tam soğuması ve dönüşümünü tamamlaması için çubukların yeteri kadar banyo ortamında kalmaları gerekmektedir.

Farklı sıcaklıklarda ve sürelerde yağ banyosunda yapılan 6 farklı sertleştirme işleminin sonuçlarına göre en yüksek yorulma ömrü 66 °C banyo sıcaklığında 45 dakika sertleştirilen DY6 grubu çubuklarında elde edilmiştir. Çubukların yorulma ömürlerinin en yüksekten en aza doğru sıralaması; DY6-DY3-DY1-DY5-DY2 ve DY4 olup banyo sıcaklığı kadar banyoda kalma süresinin de yorulma davranışı üzerinde etkisi olduğu tespit edilmiştir.

Aynı koşullarda yağ banyosunda sertleştirilen çubukların yorulma ömürlerindeki değişim ne kadar azsa sertleştirme koşulların güvenilirliği artar. Homojen sertleştirme koşullarının belirlenmesi için 5 farklı operasyon için ömürlerin standart sapması hesaplanmış olup güvenilirlik sıralaması yüksekten düşüğe göre sıralaması;

DY6-DY1-DY2-DY5-DY4-DY3 şeklindedir. Standart sapmaya göre dağılım faktörü şekil 8.141'de verilmiştir.



3 farklı banyo ortamında sertleştirilen çubukların yorulma ömürleri kıyaslaması Şekil 8.171'de verilmiştir.



Yorulma testi sonuçlarına göre;

- Polimerli suda sertleştirilmiş denge çubukları için en yüksek yorulma ömrü 25°C – 60 saniye sertleştirilen DP3 gruplarında elde edilmiştir.
- Yağda sertleştirilmiş denge çubukları için en yüksek yorulma ömrü 66^oC 45 dakika sertleştirilen DY6 gruplarında elde edilmiştir.

3 farklı banyo ortamında yapılan sertleştirme sonrası kopma yüzeyleri karşılaştırıldığında;

- Suda sertleştirilmiş çubukların %34'ü sünek, %66'sı gevrek kopmuştur.
- Polimerli suda sertleştirilmiş çubukların %10'ui sünek, % 90'ı gevrek kopmuştur.
- Yağda sertleştirilmiş çubukların %25'i sünek, %75'i gevrek kopmuştur.

55Cr3 dolu çubuk malzemeden üretilen denge çubukları için ısıl işlem sonrası sertlik değerleri ile yorulma ömürleri kıyaslaması Çizelge 8.51'de verilmiştir. Çizelgede sıralama büyükten küçüğe doğru yapılmıştır.

55Cr3 Dolu Çubuklar									
Sertleştirme Ve Menevişleme Sonrası En Yüksek Sertlik Değerlerinin Elde Edildiği Koşullar			En Yüksek Yorulma Ömürlerinin Elde edildiği Sertleştirme Koşulları			Homojen Yorulma Ömürlerinin Elde Edildiği Koşullar			
Su= Tek operasyon yapıldığı için kıyaslama yapılmamıştır.									
						Polimerli	DD2	36 °C / 45	
Polimerli Su	DP3	25 °C / 60 sn	Polimerli Su	DP3	25 °C / 60 sn	Su	DP2	sn	
Yağ	DY2	48 °C /24 dk	Yağ	DY6	66 °C / 45 dk	Yağ	DY6	66 °C / 45 dk	

Çizelge 8.51 : 55Cr3 dolu çubuklar için test sonuçlarının kıyaslaması.

Denge çubukları değişken yüklemeler altında çalıştıkları için, yüksek yorulma dayanımına sahip olmaları gerekmektedir. Bu nedenle mekanik özellikleri karşılaştırıldığında yüksek yorulma ömrünün elde edildiği sertleştirme koşulları ideal koşul olarak kabul edilmiştir.

Sertleştirme sonrası malzemede ulaşılan sertlik değerleri arttıkça yorulma dayanımı artmaktadır. Fakat hızlı soğuma sonucunda sertlik artışı ile birlikte malzemenin yapısında meydana gelen çatlaklar yorulma ömrünü ciddi oranlarda azaltmaktadır. Ayrıca sertleştirme sırasında yüzey ile merkez arasındaki sertlik dağılımı ne kadar homojense yorulma dayanımı o oranda iyileşmektedir. Yüksek sertlikteki yapılarda meydana gelen gerilme yığılmaları malzemenin tokluğunu düşürerek yorulmaya karşı direncini azaltmaktadır. Yüksek yorulma dayanımı ve ömrü istenilen denge çubuklarında malzemeden beklenen en önemli mekanik özellik tokluk olup yüksek malzeme sertliklerinde istenilen yorulma ömrü sağlanamayabilmektedir.

Farklı banyo ortamlarında ve operasyon koşullarında sertleştirilen 55Cr3 dolu denge çubuklarının yorulma ömür kıyaslamasına göre en yüksek ömrün polimerli suda sertleştirilen çubuklarda elde edildiği tespit edilmiştir.

Sertleştirme operasyonu için ideal koşulların belirlenmesinde dikkat edilen unsurlar mikroyapı değişimi, sertlik değeri, yorulma ömrü ve test sonrası homojen ömür dağılımının elde edilmesidir. Tüm bu şartlar göz önüne alındığında 55Cr3 dolu çubuk malzemesi için en yüksek ve homojen ömür dağılımı, koşulları, DP2 çubuklarının sertleştirildiği 36° banyo sıcaklığında 45 saniye sertleştirme ile elde edilmiştir.

9. GENEL SONUÇLAR

55Cr3 ve 34MnB5 malzemelerinden üretilen denge çubukları için farklı banyo ortamlarında ve farklı operasyon koşullarında yapılan sertleştirme sonrasında yorulma davranışlarındaki değişim incelenmiş olup aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Üç farklı banyo ortamı karşılaştırıldığında en yüksek sertlik değerleri, ince tane yapısı ve en düşük dekarbürizasyon derinliği yüksek soğutma hızlarından dolayı su banyosunda yapılan sertleştirme sonrasında elde edilmiştir.
- Sertleştirme ve menevişleme sonrası en düşük sertlik ise diğerlerine nazaran düşük soğutma hızlarından dolayı yağ banyosunda yapılan sertleştirme sonrası elde edilmiştir.
- Su banyosunda yapılan sertleştirme operasyonunda diğer banyo ortamlarında sertleştirilen çubuklara göre daha yüksek sertlik değerlerine ulaşılmıştır.
- 4) Sertleştirme sırasında soğuma hızının etkisinde çubuk formunda çarpılmalar meydana gelmektedir. Her iki deneysel çalışmada da en fazla şekil bozuklukları suda sertleştirme sonrası meydana gelmiştir. 2 farklı çubuk formu ve hammadde kıyaslaması yapıldığında suda sertleştirilen 34MnB5 boru çubuklarında çatlak meydana gelirken, suda sertleştirilen 55Cr3 dolu çubuklarda çatlak tespit edilmemiştir.
- Sertleştirme operasyonunda banyo sıcaklığı arttıkça çubuk banyo ortamı arasındaki sıcaklık farkına bağlı olarak soğuma hızının yavaşlamasından dolayı ulaşılan malzeme sertliği düşmektedir.
- 6) Yetersiz sertleştirme sürelerinden dolayı çubukların soğutma sıvısından ortama sıcak çıkması, yapı dönüşümleri ve yüzeyden merkeze kadar derinlemesine sertleşebilirlik için gereken sürenin kısa tutulması ile ulaşılan sertlik değeri düşmektedir. Uygun banyo sıcaklıklarında banyoda kalma süresi arttıkça malzeme sertliği artmaktadır.

- 7) Sertleştirme sırasında yüzey ile merkez arasındaki sertlik dağılımı ne kadar homojense yorulma dayanımı o oranda iyileşmektedir. Yüksek sertlikteki yapılarda ise meydana gelen gerilme yoğunlaşmaları malzemenin tokluğunu düşürerek yorulmaya karşı direncini azaltmaktadır.
- 8) Farklı ortamlarda ve koşullarda sertleştirilen çubuklar için en yüksek sertlik değerleri su banyosunda elde edilirken çatlak oluşması ve yapıdaki gerilmelerden dolayı düşük yorulma direnci göstermişlerdir. 34MnB5 malzemesinden üretilen boru denge çubuklarında en yüksek yorulma ömrü yağda sertleştirme sonrasında elde edilmiştir. 55Cr3 malzemesinden üretilen dolu denge çubuklarında ise en yüksek yorulma ömrü polimerli suda sertleştirme sonrasında elde edilmiştir.
- 9) 34MnB5 boru çubuk malzemesinde üretilen denge çubuklarının;

Mikroyapı, tane boyutu, dekarbürizasyon incelemesi sonucunda uygun yapının ve en yüksek sertlik değerlerinin elde edildiği sertleştirme koşulları;

- Suda sertleştirme için 27 ⁰C banyo sıcaklığında 25 saniye sertleştirme (BS1 grubu)
- Polimerli suda sertleştirme için 28 ⁰C banyo sıcaklığında 35 saniye sertleştirme (BP1 grubu)
- Yağda sertleştirme için 39 ⁰C banyo sıcaklığında 10 dakika sertleştirme (BY1 grubu) olarak belirlenmiştir.

3 banyo ortamında da tüm çubuklarda 34MnB5 malzemesinden beklenen mekanik özellikleri karşılayacak minimum sertlik değerleri elde edilmiştir.

Yorulma testi sonuçlarına göre en yüksek yorulma ömürleri;

- Suda sertleştirme için 27^oC banyo sıcaklığında 25 saniye sertleştirilmiş BS1 grubu çubuklarında,
- Polimerli suda sertleştirme için 37 ^oC banyo sıcaklığında 35 saniye sertleştirilmiş BP2 grubu çubuklarında,
- Yağda sertleştirme için 39 ^oC banyo sıcaklığında 10 dakika sertleştirilmiş BY1 grubu çubuklarında elde edilmiştir.

10) 55Cr3 dolu çubuk malzemesinde üretilen denge çubuklarının;

Mikroyapı, tane boyutu, dekarbürizasyon incelemesi sonucunda uygun yapının ve en yüksek sertlik değerlerinin elde edildiği sertleştirme koşulları;

- Suda sertleştirme için tek operasyon koşullarında sertleştirme yapılmış olup 25 ⁰C banyo sıcaklığında 45 saniye sertleştirme süresinde uygun yapı elde edilmiştir. (DS1 grubu)
- Polimerli suda sertleştirme için 25 ⁰C banyo sıcaklığında 60 saniye sertleştirme (DP3 grubu),
- Yağda sertleştirme için 48 ⁰C banyo sıcaklığında 24 dakika sertleştirme (DY2) grubu) olarak belirlenmiştir.

55Cr3 malzemesinden beklenen mekanik özelliklerin sağlanması için gereken sertlik değeri DP1 ve DP3 çubuklarında elde edilememiş olup düşük sertlik değerleri meydana gelmiştir.

Yorulma testi sonuçlarına göre en yüksek yorulma ömürleri;

- Polimerli suda sertleştirme için 25 ^oC banyo sıcaklığında 60 saniye sertleştirilmiş DP3 grubu çubuklarında,
- Yağda sertleştirme için 66 ^oC banyo sıcaklığında 45 dakika sertleştirilmiş DY6 grubu çubuklarında elde edilmiştir.
- 25 ^oC banyo sıcaklığında 45 saniye suda sertleştirilen DS1 çubuklarında diğer gruplara göre en düşük yorulma ömürleri elde edilmiştir.
- 11) İdeal sertleştirme koşulları belirlenirken uygun mikroyapı dönüşümü, sertlik değerleri ve yüksek yorulma ömürlerinin elde edilmesinin yanında homojen ömür dağılımının sağlandığı operasyon koşulları seçilmiştir. Tüm incelemeler sonucunda en uygun mekanik - mikroyapı özelikleri ve homojen sertleştirme;
 - 34MnB5 boru çubukları için yağ banyosunda 53°C banyo sıcaklığında 8 dakika sertleştirme,
 - 55Cr3 dolu çubuklar için polimerli su banyosunda 36ºC banyo sıcaklığında
 45 saniye sertleştirme ile elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Süspansiyon Sistemleri. (2005). MEGEP (Mesleki Eğitim ve Öğretim Sistemini Güçlendirme Projesi), Ankara. Alındığı tarih: 25.07.2011, adres: <u>http://www.obitet.gazi.edu.tr/MEGEP_files/SUSPANSIYON%20SIS</u> <u>TEMLERI.pdf</u>
- [2] **Taşatar, C.** (2006). *Viraj denge çubuğunun yapısal analizi*, (yüksek lisans tezi), Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- [3] Çalışkan, K. (2003). Automated design analysis of anti-roll bars, (yüksek lisans tezi), Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- [4] Yamada, Y. (2007). Materials for spring, Setsunan University, Japan.
- [5] Ezgi, E., Oflas, C., Aygün, A., Kaya, Ö., Yıldırım, A.F., Seren, M.C., Kocaoğlu, D., Baranoğlu, G. (2010). Otomotiv endüstrisi için krank mili ve yay tasarımı, test ve muayeneleri. (lisans tezi), Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [6] Wegst, A.C., Wegst, M. (2007). Stahlschlüssel, Verlag Stahlschlüssel West GmbH.
- [7] Url-1 <www.haddemetal.com> alındığı tarih: 15.09.2011.
- [8] Uygun, E.M. (2007). *Structural analysis of stabilizer bar under torsion*, (yüksek lisans tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [9] Dieter, E.D. (1986). Mechanical Metallurgy, 3.Baski, USA.
- [10] Dülek, E., Orman, Ş., Karataş, Ç., Sarıtaş, S. (2005). Bilyalı dövme parametrelerinin Ç1020 çeliğinin yorulma dayanımına etkisi ve oluşan kalıcı gerilmenin katman kaldırma yöntemi ile araştırılması. Gazi Üniversitesi, Ankara.
- [11] Htun, M.S., Kyaw, S.T., Lwin, K.T. (2008). Effect of heat treatment on microstructures and mechanical properties of spring steel, *Journal of Metals, Materials and Minerals*, 18,191-197.
- [12] Askeland, D.R. (1998). Malzeme bilimi ve mühendislik malzemeleri. Nobel yayın dağıtım. (Cilt 1).
- [13] **ASM Handbook.** (1990). Properties and selection; Iron, steel and high performance alloys. (Cilt 1, Sf. 812-860).
- [14] ASM Handbook. (1991). Heat treating, (Cilt 4, Sf. 160-290).
- [15] **Totten, G.E.** (t.y.). Polymer quenchants for induction heat treating applications: the basics. Union Carbide Corporation, Tarrytown, NY.
- [16] Totten, G.E., Bates, C.E., Clinton, N.A. (1993). Handbook of quenchants and quenching technology. (Sf. 35-238).
- [17] Han, S.W¹., Kang, S.H¹., Totten, G.E²., Webster, G.M². (t.y.). Immersion time quenching technology to facilitate replacement of quench oils

with polymer quenchants for production of automotive parts. ¹Kum Won Industrial Co. Ltd, Ghungham, Korea. ²Union Carbide Corporation, Tarrytown, NY.

- [18] Totten, G.E¹., Liscis, B²., Kobasko, N.I³., Han, S.W⁴., Sun, Y.H¹. (t.y.) Advances in polymer quenching technology. ¹Union Carbide Corporation, Tarrytown, NY, ²University of Zagreb, Croatia, ³National Thermophysics Institute, National Academy of Sciences, Kiev, Ukraine, ⁴Kum Won Industrial Company Ltd., Chungnam, Korea.
- [19] Demir, C., Menteşe, B.E., Togay, M.A. (t.y.). Alüminyum ısıl işleminde su verme uygulamaları ve kalıntı gerilime etkisi, Componenta Döktaş, Manisa.
- [20] Han, S.W¹., Kang, S.H¹., Totten ,G.E²., Webster, G.M². (t.y.). Applications of polymer quenchants for high hardenability, crack-sensitive steels. ¹Kum Won Industrial Co. Ltd, Ghungham, Korea. ²Union Carbide Corporation, Tarrytown, NY.
- [21] **Totten, G.E., Webster, G.M.** (t.y.) Importance of quench bath maintance. Union Carbide Corporation, Tarrytown, NY.

[22] **Deval, P.K.** (t.y.). New generation polymer quenchant for heavy forgings. Hardcastle Petrofer Pvt. Ltd.

- [23] Wachter, D.A., Totten, G.E., Webster G.M. (t.y.). Quenchant fundamentals; quench oil bath maintance. Union Carbide Corporation, Tarrytown, NY.
- [24] Harman, F.M. (2003). *Çeliğin ısıl işleminin teorik ve pratik esasları*, (yüksek lisans tezi), Ege Üniversitesi, İzmir.
- [25] Smith, W.F. (1986). Malzeme bilimi ve mühendisliği.
- [26] Çimenoğlu, H., Kayalı, E.S. Malzemelerin yapısı ve mekanik davranışları.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad	: Elif EZGİ				
Doğum Yeri ve Tarihi	:Eskişehir / 26.07.1987				
E-Posta	: elifeezgi@gmail.com				
Lisans	: Yıldız Teknik Üniversitesi				
	Metalurji ve Malzeme Mühendisliği				
Mesleki Deneyim	: Rözmaş Çelik San. Ve Tic. A.Ş. Ar-Ge Mühendisi (Haziran 2011 – Devam Ediyor)				
	Oerlikon Kaynak Elektrodları ve San. A.Ş.				
	Şatış Yöneticisi Asistanlığı (Ekim 2010- Mayıs 2011)				