

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

POLİMERLİ SU VE YAĞ SERTLEŞTİRME PROSESLERİNDE
MEYDANA GELEN ÇARPILMALARIN BORU DENGE
ÇUBUĞU YORULMA ÖMRÜNE ETKİSİ

ÖMER EMRE UÇAKKUŞ

KOCAELİ 2018

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

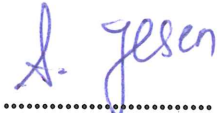
POLİMERLİ SU VE YAĞ SERTLEŞTİRME PROSESLERİNDE
MEYDANA GELEN ÇARPILMALARIN BORU DENGE
ÇUBUĞU YORULMA ÖMRÜNE ETKİSİ

ÖMER EMRE UÇAKKUŞ

Prof. Dr. Adalet ZEREN
Danışman, Kocaeli Üniv.

Prof. Dr. Ahmet ÜNAL
Jüri Üyesi, Yıldız Teknik Üniv.

Dr. Öğr. Üyesi Ersin Asım GÜVEN
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.







Tezin Savunulduğu Tarih: 28.06.2018

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜRLER

Otomotiv sektöründe emniyet ve konfor açısından yüksek öneme sahip olan denge çubuğu üretiminde dolu denge çubuklarında yay çeliği, boru denge çubuklarında ise bor çelikleri kullanılmaktadır. Bu malzemelerde genel olarak yüksek yorulma dayanımı, yüksek akma mukavemeti, yüksek korozyon direnci, yeterli süneklik gibi özellikler beklenmektedir. Bu özelliklerin elde edilmesi için uygun hammaddenin seçilmesi yeterli olmamaktadır. Isıl işlem prosesinin de uygun şekilde seçilmesi gerekmektedir. Denge çubuğu malzemesinin ısıl işlem prosesinde sertleştirme ortamı olarak su, polimerli su ve yağ kullanılmaktadır. Genel olarak boru denge çubuğunda kullanılan hammaddenin karbon oranının yüksek olmasından dolayı suda sertleştirme durumunda kullanılan çelikte çatlak meydana geldiğinden dolayı polimerli su ve yağ banyoları kullanılmaktadır. Polimerli su ve yağ banyolarında sertleştirme esnasında meydana gelen buhar, kaynama ve konveksiyon fazları teorik olarak incelenmiştir. Teorik bilgilere ışığında deneysel çalışmalar yapılmıştır. Yağ sertleştirme ortamında meydana gelen çarpılma miktarları polimerli su ortamına göre daha az olduğu ölçümler ile tespit edilmiştir. Çarpılmalara paralel olarak da çubuğun formunu düzeltmek için yapılan doğrultma işlemi miktarı da az olmuştur. Bunun sonucunda da yağda sertleştirme işleminin polimerli suda sertleştirme işlemine göre çubuğun yorulma ömrü üzerine pozitif etkisinin olduğu görülmüştür.

Tez çalışmalarımın her safhasında yardımlarını esirgemeyen, katkılarıyla beni sonuna kadar destekleyen ve yönlendiren değerli danışman hocam Prof. Dr. Adalet ZEREN Hanıma ve çalışmalarımda doğrudan destek olan Kimya Mühendisi Nazik YILDIRIM Hanıma, Metalurji ve Malzeme Mühendisi Emrullah ÇELİKKOL Beye, Metalurji ve Malzeme Mühendis adayı Aylin ARMAN Hanıma ve Makine Mühendisi adayı Abdullah CEBECİ Beye sonsuz şükran ve teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim sürecinde maddi ve manevi desteğini esirgemeyen Rözmaş Çelik Genel Müdürü Yüksek Makine Mühendisi Tolga YALGI Beye, Metalurji Mühendisi Murat SOPACI Beye ve bölüm şefim Makine Mühendisi Kaan BALİMRE Beye; metod belirlemede Dr.-Ing. Dipl.-Math. Bertram BRUST Beye, Ar-Ge Müdürümüz Yüksek Uçak Mühendisi İlker DEMİR Beye ve Kimya Mühendisi Züleyha YÜNKÜL Hanıma; mühendislik çalışmalarında Makine Mühendisi Ayhan SOYDAŞ Beye, Yunus Ercan BAYRAKCI Beye ve Satılmış DALKIN Beye; mikroyapı analizlerinde Cihan GÜRBÜZ Beye, yorulma testleri ve raporlamasında yardımlarından dolayı Ömer YILDIZ Beye ve tüm Rözmaş Çelik çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Maddi ve manevi destekleriyle her zaman yanımda olan, beni cesaretlendiren ve bu günlere getiren annem ve babama, eşim Deniz UÇAKKUŞ'a ve bu süreçte fazla vakit ayıramadığım oğlum Deniz Emre UÇAKKUŞ'a sonsuz teşekkür eder saygılarımı sunarım.

Haziran – 2018

Ömer Emre UÇAKKUŞ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜRLER.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	vi
SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR	vii
ÖZET.....	viii
ABSTRACT	ix
GİRİŞ	1
1.DENGE ÇUBUĞU	3
1.1. Denge Çubuğu Bağlantı Bölgelerindeki Hareketleri	6
1.2. Denge Çubuğunda Oluşabilecek Problemler	7
2.DENGE ÇUBUĞU ÜRETİMİNDE KULLANILAN HAMMADDE	8
2.1. Dolu Denge Çubuğu Hammaddesi	8
2.2. Boru Denge Çubuğu Hammaddesi	9
2.3. Denge Çubuğu Hammaddesinden Beklenen Özellikler.....	9
2.3.1. Kimyasal kompozisyonun denge çubuğu davranışına etkisi	11
2.3.1.1. Karbon (C)	11
2.3.1.2. Bor (B)	11
2.3.1.3. Silisyum (Si)	11
2.3.1.4. Mangan (Mn)	12
2.3.1.5. Fosfor (P)	12
2.3.1.6. Kükürt (S).....	12
2.3.1.7. Krom (Cr).....	12
2.3.1.8. Bakır (Cu).....	13
2.3.1.9. Alüminyum (Al).....	13
2.3.1.10. Nikel (Ni)	13
2.3.1.11. Molibden (Mo)	13
2.3.1.12. Vanadyum (V).....	14
2.3.1.13. Tungsten (W)	14
3.DENGE ÇUBUĞUNUN ÜRETİM YÖNTEMLERİ	15
3.1. Soğuk Büküm.....	18
3.1.1. CNC soğuk büküm.....	19
3.1.2. Kondüksiyon ısıtma yöntemi ile tavlama.....	20
3.1.3. Sertleştirme	21
3.1.4. Menevişleme	21
3.1.5. Ön doğrultma	22
3.1.6. İç kuşlama.....	22
3.1.7. Uç dövme ve kaynak.....	24
3.1.8. Final doğrultma	25
3.2. Sıcak Büküm	25
3.2.1. Uç dövme veya kafa şişirmeli dövme	25
3.2.2. Tavlama – Sıcak büküm.....	26

3.2.4. Menevişleme	27
3.2.5. Final doğrultma	27
3.3. Ortak Prosesler	28
3.3.1. Çatlak kontrol.....	28
3.3.2. Kumlama (Shot peening)	28
3.3.3. Markalama.....	29
3.3.4. Halka montajı.....	30
3.3.5. Toz boyama.....	30
3.3.6. Tanım rengi	31
3.3.7. Aksesuar montajı.....	31
3.3.8. %100 kontrol ve etiketleme	32
4.DENGE ÇUBUĞU ISIL İŞLEMİ.....	33
4.1. Tavlama-Östenitleştirme	34
4.2. Sertleştirme	37
4.2.1. Sertleştirme esnasında oluşan fazlar	39
4.2.1.1. Buhar fazı	40
4.2.1.2. Kaynama fazı	40
4.2.1.3. Konveksiyon fazı	41
4.2.2. Sertleştirme prosesinin kabiliyetini belirleyen etkenler	41
4.2.2.1. Soğuma hızını etkileyen faktörler	40
4.2.2.2. Soğutma kabiliyetini etkileyen faktörler.....	43
4.2.3. Sertleştirme ortamları.....	44
4.2.3.1. Suda sertleştirme	45
4.2.3.2. Polimerli suda sertleştirme	46
4.2.3.3. Yağda sertleştirme.....	48
4.3. Menevişleme	49
5.DENEYSEL ÇALIŞMALAR	50
5.1. Soğuk Büküm.....	50
5.2. Kondüksiyon Tavlama	51
5.3. Sertleştirme	52
5.3.1. Polimerli suda sertleştirme.....	52
5.3.2. Yağda sertleştirme.....	54
5.4. Meneviş	55
5.5. Ön Doğrultma	57
5.6. Yorulma Testi.....	59
6.SONUÇLAR VE ÖNERİLER	62
KAYNAKLAR	68
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	70
ÖZGEÇMİŞ	71

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Denge çubuğunun araçtaki konumu.....	3
Şekil 1.2. Virajda aracın savrulması	4
Şekil 1.3. Aktif ve pasif denge çubuklu araçların görsel savrulma miktarları, soldaki araçta aktif denge çubuğu; sağdaki araçta ise pasif denge çubuğu yer almaktadır	5
Şekil 1.4. Aktif denge çubuğu aktüatör.....	5
Şekil 1.5. Farklı denge çubukları	6
Şekil 1.6. Denge çubuğunun çalışma prensibi	7
Şekil 3.1. Denge çubuğu üretim prosesleri	15
Şekil 3.2. Kullanılan hammaddelerin kesitleri, a) dolu kesitli b) boru kesitli c) değişken kesitli boru	16
Şekil 3.3. Çubuk üzerindeki stress dağılımı.....	17
Şekil 3.4. Ağırlık azaltma oranı	18
Şekil 3.5. Soğuk büküm kalıbı	19
Şekil 3.6. Büküm esnasındaki kesit değişimi.....	20
Şekil 3.7. Isınma esnasında büküm iç ve dış bölgelerinn görünümü	21
Şekil 3.8. Doğrultmada vurulmaması gereken bölgeler.....	22
Şekil 3.9. Kırılma durumları, a) dış yüzeyden b) iç yüzeyden kırılma	23
Şekil 3.10. İç kumlama makinesi	23
Şekil 3.11. Makine kumlama bölgesi	24
Şekil 3.12. Dövme bölgesinde istenilen örnek ölçiler.....	25
Şekil 3.13. Sıcak büküm kalıbı	27
Şekil 3.14. Kumlama prosesinde bilyaların püskürtülmesi.....	29
Şekil 3.15. Markalama örneği	29
Şekil 3.16. Koların konumu	30
Şekil 3.17. a) Toz boya kabini b) Pişirme fırını.....	31
Şekil 4.1. Tavlama-sıcaklıkta tutma-su verme sıcaklık zaman grafiği	34
Şekil 4.2. Çelikler için ısıl işlem sıcaklık aralığı	35
Şekil 4.3. Demir-Karbon denge diyagramı	36
Şekil 4.4. TTT Zaman-Sıcaklık-Dömuşüm Diyagramı.....	38
Şekil 4.5. Su verme işleminin 3 fazı	39
Şekil 4.6. Su verme eğrileri ile soğuma hızı eğrilerinin sıcaklık-zaman ekseninde karşılaştırılması	40
Şekil 4.7. Soğutma ortamı – soğutma hızı ilişkisi	42
Şekil 4.8. Banyoda kalma süresi-yüzey sertliği ilişkisi	43
Şekil 5.1. Rözmaş1 nolu ürünün formu	51
Şekil 5.2. Sapmaların ölçüldüğü noktalar	53
Şekil 5.3. Bükülmüş form	53
Şekil 5.4. Bükülmüş form ile polimerli suda sertleştirilmiş (turuncu) formun karşılaştırılması	53
Şekil 5.5. Bükülmüş form ile polimerli suda sertleştirilmiş (turuncu) formun ilk beş noktasında meydana gelen sapmaların hesabı	54

Şekil 5.6. Bükülmüş form ile yağda sertleştirilmiş (mor) formun karşılaştırılması.....	55
Şekil 5.7. Bükülmüş form ile yağda sertleştirilmiş (mor) formun ilk beş noktasında meydana gelen sapmaların hesabı	55
Şekil 5.8. Mikroyapı ve sertlik ölçüm için bakalite alma a) bölgeler b) ölçüm derinliği [mm]	56
Şekil 5.9. Polimerli suda sertleştirilmiş ürünün mikroyapısı a)temper martenzit mikroyapı b) temper martenzit mikroyapının dış yüzeyindeki 22 mikron kısmi dekarbürizasyon	57
Şekil 5.10. Yağda sertleştirilmiş ürünün mikroyapısı, a) temper martenzit mikroyapı b) temper martenzit mikroyapının dış yüzeyindeki 19 mikron dekarbürizasyon.....	57
Şekil 5.11. Polimerli suda sertleştirilen ürünlerdeki çarpılmanın kontrol masterındaki görünümü	58
Şekil 5.12. Yağda sertleştirilen ürünlerdeki çarpılmanın kontrol masterındaki görünümü	58
Şekil 5.13. Polimerli su banyosunda üretilen ürünün doğrultma yapılan bölgeleri.....	59
Şekil 5.14. Yağ banyosunda üretilen ürünün doğrultma yapılan bölgeleri	59
Şekil 5.15. Kırılma evreleri.....	60
Şekil 5.16. Toplam ömür tayini	60
Şekil 5.17. FEM analizi sonucu	61
Şekil 6.1. Banyoya girişten 1 saniye sonraki durum.....	64
Şekil 6.2. Banyoya girişten 60 saniye sonraki durum.....	64
Şekil 6.3. Su bazlı banyoda gelen üç faz.....	65

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 2.1. 55Cr3 malzemesinin kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)	8
Tablo 2.2. 55Cr3 malzemesinin hammadde mekanik özellikleri.....	8
Tablo 2.3. 34MnB5 malzemesinin kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça).....	9
Tablo 2.4. 34MnB5 malzemesinin hammadde mekanik özellikleri	9
Tablo 3.1. Dolu hammadde ile eşdeğeri boru hammaddenin karşılaştırılması.....	17
Tablo 5.1. Rözmaş1 nolu ürünün ölçüleri.....	50
Tablo 5.2. Rözmaş1 nolu ürünün meneviş sonrası sertlik değeri	56
Tablo 6.1. Polimerli su ve yağ sertleştirme ortamında meydana gelen çarpılma miktarları	62
Tablo 6.2. Yorulma testi şartları	62
Tablo 6.3. Yorulma testi sonuçları.....	63

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Al	: Alüminyum
B	: Bor
C	: Karbon
Co	: Kobalt
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
Mn	: Mangan
Mo	: Molibden
Ni	: Nikel
P	: Fosfor
S	: Kükürt
Si	: Silisyum
V	: Vanadyum
W	: Tungsten
%A	: Uzama
ØD	: Boru veya Dolu Kesitin Dış Çapı
Ød	: Borunun İç Çapı

Kısaltmalar

DG	: Dövme Genişliği
DK	: Dövme Kalınlığı
FEM	: Finite Element Method (Sonlu Elemanlar Yöntemi)
HMK	: Hacim Merkezli Kübik
HMT	: Hacim Merkezli Tetragonal
HRC	: Hardness Rockwell C (Rockwell C Sertliği)
HV	: Hardness Vickers (Vickers Sertliği)
Mf	: Martenzit Bitiş Sıcaklığı
MPa	: Megapascal (N/mm ²)
Ms	: Martenzit Başlangıç Sıcaklığı
Rm	: Çekme Dayanımı
Rp	: Akma Dayanımı
t	: Boru Et Kalınlığı
t'	: Dövme Kalınlığı
TTT	: Time - Temperature - Transformation (Zaman-Sıcaklık-Dönüşüm)
YMK	: Yüzey Merkezli Kübik

POLİMERLİ SU VE YAĞ SERTLEŞTİRME PROSESLERİNDE MEYDANA GELEN ÇARPILMALARIN BORU DENGE ÇUBUĞU YORULMA ÖMRÜNE ETKİSİ

ÖZET

Denge çubuğu araçta sürüş esnasında emniyet ve konforu birlikte sağlayan en önemli süspansiyon sistemi elemanlarından biridir. Virajlarda ve ani frenlemelerde aracın yola tutunmasını arttırarak savrulmayı ve devrilmeyi önler ve sürüş için uygun olmayan yollarda arabaya gelen titreşimleri sönmüleyerek emniyetli bir sürüş sağlar. Denge çubuğunun araçta bulunduğu konumu gereği yağmur, kar, silecek suyu vb. korozif etki oluşturacak maddelere maruz kaldığından korozyon direncinin yüksek olması gerekmektedir. Kullanımı esnasında da değişken yüklerde çalıştığı için yorulma dayanımının yüksek olması gerekmektedir.

Bu tez çalışmasının amacı boru denge çubuğunun yorulma dayanımını etkileyen en önemli proseslerden biri olan ısıtma işlemi prosesinin optimizasyonunu yaparak denge çubuğunun yorulma ömrünü iyileştirmektir. Sertleştirme esnasında çubuk üzerinde meydana gelen çarpılmalar meneviş prosesi sonrasında çubuğa ait kontrol mastarına göre hidrolik pres ile basılarak doğrultulur. Çarpılma fazla ise eğer yüksek stresli bölgelerden doğrultma yapılabilir. Bu durum yorulma ömrünü azaltır. Bu yüzden çarpılmaların en az olduğu sertleştirme ortamı seçilmelidir. Bu amaçla polimerli su ve yağ sertleştirme ortamlarında sertleştirilen çubukların çarpılma miktarları ve yorulma ömürleri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Boru Denge Çubuğu, Isıtma İşlem, Otomotiv, Yorulma Ömrü.

THE EFFECT OF DISTORTIONS OCCURRING DURING POLYMERIZED WATER AND OIL HARDENING PROCESSES IN FATIGUE LIFE OF TUBE STABILIZER BAR

ABSTRACT

Stabilizer bar in a car is one of the most important elements which provides safety and comfort simultaneously while driving. It avoids rollover in bends and sudden brakes by increasing the hold of the car on the road and ensures a safe drive on unsuitable roads for driving by absorbing vibrations within the car. Due to the location of stabilizer bar, as it is exposed to materials causing corrosive effect such as rain, snow and wiper water, it needs to have a high corrosive resistance. Since it works in changeable loads during its usage, it requires a high fatigue strength.

The aim of this study is to improve the fatigue life of stabilizer bar by optimising the heat treatment process which is one of the most effective processes on the fatigue life of stabilizer bar. During the hardening, the distortions on the stabilizer bar are straightened by hydraulic press after temper process by means of its entering into the control fixture of the stabilizer bar. If distortions are excessive, stabilizer may be straightened from high stress areas. This reduces fatigue life. Therefore, hardening medium where distortions are minimum must be chosen. For this purpose, distortion amount and fatigue life of the stabilizerbars which are produced in polymerized water and oil hardening bath have been examined.

Keywords: Tube Stabilizer Bar, Heat Treatment, Automotive, Fatigue Life.

GİRİŞ

Denge çubuğu (piyasada viraj çubuğu, denge demiri olarak da bilinmektedir) aracın en önemli süspansiyon sistemi elemanlarından biri olup sürüş esnasında emniyet ve konforu bir arada sağlar. Denge çubuklarının araç içerisinde kullanılmalarının en önemli nedenleri; dönüş esnasında aracın yana yatması ile meydana gelen merkezkaç kuvvetine bağlı olarak aracın savrulmasını önlemesi, manevralı dönüşlerde, ani frenlemelerde araçların yol tutuşunu arttırarak devrilmeyi önlemesi, bozuk yollarda araca gelen titreşimleri sönümleyerek güvenli bir sürüş sağlamasıdır.

Denge çubukları uç noktalardan aracın her iki tarafında bulunan süspansiyon sistemine ve yatak bölgelerinden de aracın şasesine bağlanarak yukarıda bahsedilen görevleri yerine getirir. Yataklanan denge çubuğuna sürüş şartlarında gelen farklı yükler süspansiyon sistemi ile çubuğun uç kısımlarına aktarılır. Emniyet ve konfor açısından üstlendikleri bu görevleri istenilen şartlarda yerine getirebilmeleri için tasarımı (çap ölçüsü, büküm yarıçapı vb.), malzeme seçimi, üretim şekli, yorulma ve korozyona dayanımı gibi konulara çok dikkat edilmelidir.

Denge çubuklarının mekanik özellikleri; kullanılan hammaddenin yapısına, üretiminde uygulanan proseslerden özellikle ısıtma işlem prosesine bağlıdır. Kullanılan hammaddenin muhtevası(içeriği) denge çubuğundan beklenen fonksiyonu yerine getirecek şekilde olmalıdır. İstenilen yorulma dayanımı ve sertlik değerleri gibi mekanik özelliklerin elde edildiği ısıtma işlem prosesinde çarpılma kontrol altına alınabilir olmalıdır [1].

Denge çubuklarının kullanım esnasında sahip olması gereken en önemli özelliği yüksek yorulma dayanımıdır. Bu kapsamda Rözmaş Çelik Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi firmasında hammaddesi 34MnB5 olan boru denge çubuklarında kullanılan polimerli su ve yağ sertleştirme ortamlarında çalışmalar yapılmış olup her iki ortamda üretilen boruların çarpılma miktarı sertleştirme öncesi bükülmüş çubuk referans alınarak ölçülmüştür. Meydana gelen çarpımalara göre doğrultma yapılan

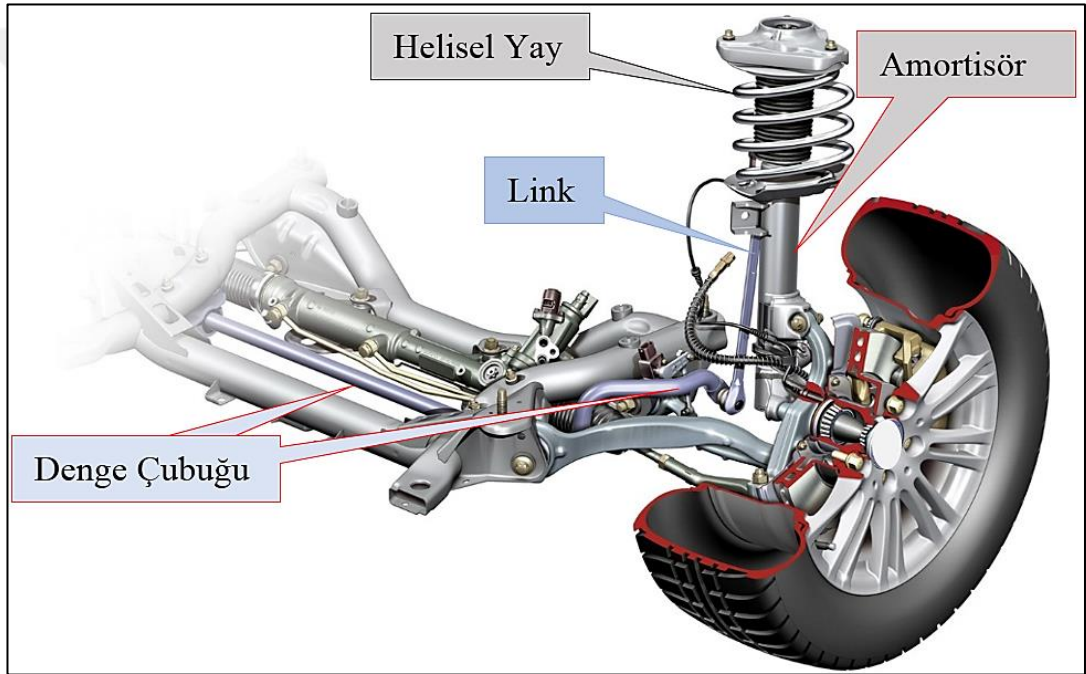
bölgeler karşılaştırılmıştır. Test sonuçlarına göre ürettiğimiz ürünlerin mevcut prosesler şartlarımızda yağda sertleştirilmesi gerektiği kararı verilmiştir.

Bu tezin amacı, boru denge çubuklarının ısıtılması esnasında çarpılmasının kontrol edilebileceği ve ısıtılma sonrasında da oluşan çarpılmanın en az seviyede olacağı sertleştirme ortamını (ısıtılma sıvısını) belirlemektir.



1. DENGE ÇUBUĞU

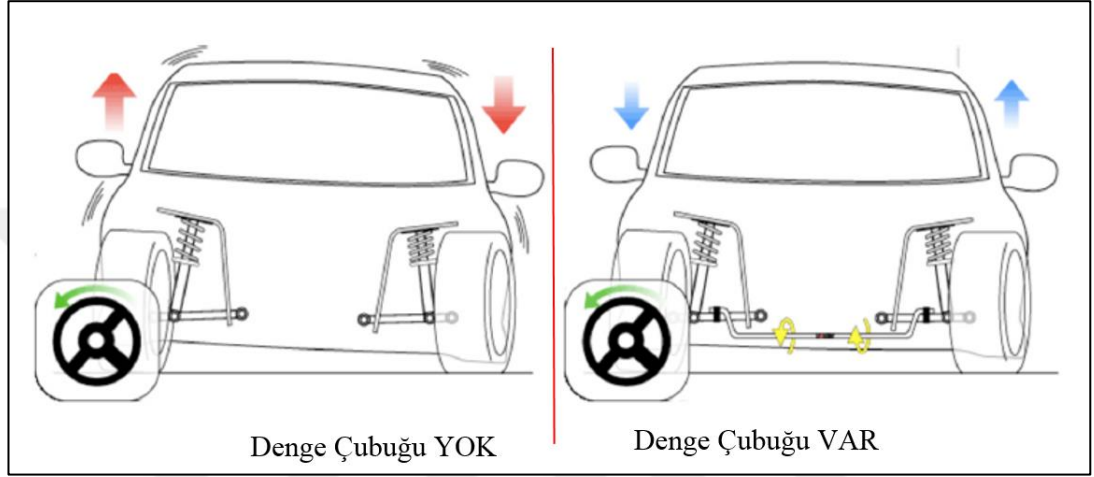
Süspansiyon sistemi parçası olan denge çubuğu anti-roll bar, stabilizatör, stabilizer ve viraj demiri olarak bilinmektedir. Denge çubuğu bağlantı şekli ve komşu parçaları Şekil 1.1’de gösterilmektedir. Denge çubuğu tasarımı komşu parçaların konumuna göre değiştiği için “U” şeklinde basit 2 boyutlu denge çubukları tasarlandığı gibi şekilleri karmaşık yani bükümleri 3 eksende olan denge çubukları da tasarlanabilir.



Şekil 1.1. Denge çubuğunun araçtaki konumu [2]

Araç, sürüş için uygun olmayan zeminlerde veya viraja girdiği zamana meydana gelen merkezkaç kuvvetinden dolayı dışarı doğru savrulur ve araçta yalpa hareketi meydana gelir. Denge çubuğu da meydana gelen bu durumlarda aracın kontrollü hareket etmesini sağlar. Virajlarda dönme merkezine yakın taraftaki yay açılmaya; diğer taraftaki yay ise kapanmaya zorlanır. Amortisöre bağlı olan denge çubuğunun uçlarına gelen aynı hareketten dolayı iç kısımdaki uç yukarı doğru diğer ucu ise aşağı doğru burulur. Denge çubuğu ise bu burulmaya karşı koymaya çalışır. Yani oluşan bu direnç ile aracın savrulmasını azaltır ve aracı olabildiğince yola

paralel tutmaya çalışır. Aynı zamanda virajın iç kısmında kalan tekerleğe baskı yaparak güvenli bir dönüşü temin eder ve lastiklerin yola tutuşunu artırır. Şekil 1.2’de denge çubuğu olan ve olmayan aracın virajdaki şekli gösterilmiştir. Denge çubuğu olmayan araç dönüş yönünün tersi yönünde dışa doğru savrulmaktadır. Denge çubuğu olan araçta ise savrulma eğilimi olsa da denge çubuğu ters yönde tepki göstererek aracı dengede tutar [3].

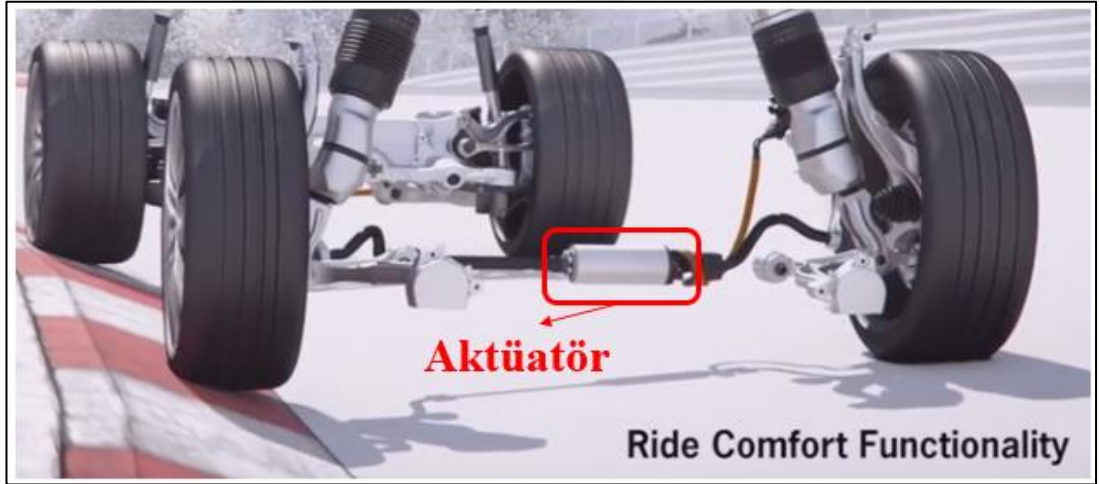


Şekil 1.2. Virajda aracın savrulması [4]

Günümüzde ise Porsche gibi firmalar yeni nesil denge çubukları ile aracın virajda yere paralel kalmasını sağlamıştır. Bu denge çubukları “split denge çubukları” olarak adlandırılır ve iki yarım parçadan oluşurlar. Orta bölgesinde hidrolik aktüatör yer almaktadır. Bu sayede her iki kol viraj içerisinde birbirlerinden bağımsız hareket ederler. Şekil 1.3’te Porsche firmasının aktif (split denge çubuğu) ve pasif denge çubuğu sisteminin karşılaştırılması konulu videosundan alınan görüntüde aracın virajdaki savrulması temsilen gösterilmiştir. Mavi araçta (soldaki araç) aktif; gri araçta (sağdaki araç) ise pasif denge çubuğu sistemi yer almaktadır. Şekil 1.4’te de aktif denge çubuğunda yer alan aktüatörün görünümü yer almakta olup sağ ve sol kolun viraja girerken birbirinden bağımsız şekilde hareket ettiği görülmektedir.



Şekil 1.3. Aktif ve pasif denge çubuklu araçların görsel savrulma miktarları, soldaki araçta aktif denge çubuğu; sağdaki araçta ise pasif denge çubuğu yer almaktadır [5]



Şekil 1.4. Aktif denge çubuğu aktüatörü [5]

Araçta meydana gelen aşırı zorlanmaya süspansiyon sisteminde yer alan diğer parçalar bu karşı koyamaz; ancak bu durumlarda denge çubuğu bu zorlanmayı kendi içerisinde bükülmeye karşı zorlanarak sönmülemektedir. Yani denge çubuğu maruz kaldığı ağır yük hangi tarafta ise diğer tarafa yükü aktararak çalışır.

Denge çubuğunun geometrisi araç tiplerine göre değişmektedir. Şekil 1.5'te Rözmaş Çelik San. ve Tic. A.Ş. firması tarafından farklı araç modelleri için üretilen denge çubuklarına ait fotoğraflar yer almaktadır.



Şekil 1.5. Farklı denge çubukları [6]

1.1. Denge Çubuğun Bağlantı Bölgelerindeki Hareketleri

Ön ve arka şaside olması veya binek ve kamyon tipi araçlarda olması gibi durumlara göre denge çubuğu farklı şekillerden oluşmaktadır. Genelde en son tasarlanan parçalardan bir tanesi olduğu için şekli komşu parçaların konumuna göre değişir. Uç kısımları (sektörde genelde dövme bölgesi olarak adlandırılır) amortisör sistemine link ile bağlanır; yatak bölgeleri ise (sektörde genelde braket bölgesi, burç bölgesi olarak adlandırılır) şaseye burç ile sabitlenir. Genelde tek parça olarak üretilse de split denge çubuğu olarak 2 parçadan meydana gelen denge çubukları sektörde yerini almıştır. Denge çubuğunun çalışma sırasındaki hareketi Şekil 1.6'da verilmiştir. Çalışma esnasında burç ile sabitlenen yatak bölgesindeki çubuğun hareketleri;

$${}^1U_x, U_y, U_z = 0$$

$${}^2R_x, R_y, R_z = \text{Serbest}$$

Dövme bölgesindeki hareketler;

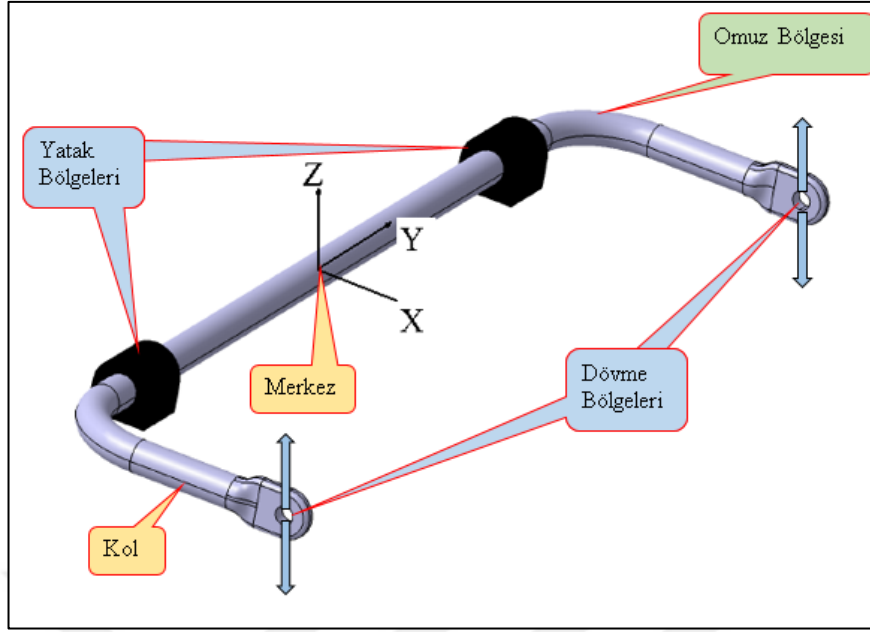
$$U_x, U_y = \text{Serbest}$$

$$U_z = \text{Yoldan amortisör sistemine gelen yer değiştirme miktarı}$$

$$R_x, R_y, R_z = \text{Serbest}$$

¹ U_x, y, z : X, Y, Z eksenindeki doğrusal hareket

² R_x, y, z : X, Y, Z eksenini etrafındaki dairesel hareket



Şekil 1.6. Denge çubuğunun çalışma prensibi [5]

Şekil 1.3'ten de anlaşıldığı gibi yoldan aktarılan hareket ($\pm z$ mm) denge çubuğunda burulma ve eğilme gerilmesi meydana getirmektedir. Bu yüzden denge çubukları burulmaya dayanıklı malzemelerden üretilir. Ayrıca virajdan çıkıldığında, bozuk yoldan düz yola geçildiğinde veya araç düz bir zemine park edildiği zaman yani çubuk üzerindeki yük kalktığı zaman çubuk eski haline dönebilmesi için elastik özelliğini koruması için akma sınırının yüksek olması gerekmektedir. Bu da sertleştirilebilirlik kabiliyetinin iyi olması gerektiğini göstermektedir.

1.2. Denge Çubuğunda Oluşabilecek Problemler

Denge çubuğu şaseye kauçuk ve metal braketler ile amortisör sistemine de link olarak adlandırılan z-rot ile bağlanır. Dövme bölgesinde istenilen düzlemsellik ve paralellik ölçüleri uygunsuz olduğu zaman link yüzeyi ile dövme bölgesi yüzeyi arasında problem oluşur ve sürüş esnasında ses yapar. Tekerlekten seken taşlar ayrıca denge çubuğuna çarparak kaplamaya zarar verebilir. Çubuk da bulunduğu konum gereği yağmur, kar suyu ve silecek suyu gibi sıvılara maruz kaldığından kaplamanın zarar gördüğü yerlerde korozyon başlayabilir ve bunun sonucunda gerilmeli korozyon meydana gelir. Bu yüzden malzeme seçiminden, üretimine ve sevkiyatına kadar her adımda dikkat edilmelidir. Araçta beklenmedik durumda denge çubuğunda kırılma vs. olduğu zaman sürüş hakimiyeti kaybolup kaza meydana gelebilir.

2. DENGE ÇUBUĞU ÜRETİMİNDE KULLANILAN HAMMADDE

Denge çubuğu çalışma esnasında sürekli olarak değişken yüklere maruz kaldıklarından dolayı yüksek yorulma dayanımı, yüksek akma mukavemeti, yüksek korozyon direnci, yeterli süneklik gibi özelliklere sahip malzemelerden üretilir. İstenilen bu özellikleri sağlayan malzemelerin başında ise dolu denge çubuklarında 60SiCr7, 55Cr3, 51CrV4 gibi yay çelikleri kullanılırken boru denge çubuklarında 22MnB5, 26MnB5, 34MnB5 gibi bor çelikleri kullanılır.

2.1. Dolu Denge Çubuğu Hammaddesi

Yay çelikleri kimyasal bileşimlerine göre %0,40-1,0 karbon, Si, Cr, Si-Cr, Si-Mn, Cr-V, Cr-Mo-V içeren düşük alaşımlı çeliklerdir. Yay çelikleri yüksek oranda karbon içerdikleri için mukavemet açısından ideal malzemelerdir. Örneğin 55Cr3 dolu denge çubuğu (yay çeliği) malzemesinin Tablo 2.1'de kimyasal kompozisyonu ve Tablo 2.2'de de mekanik özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.1. 55Cr3 malzemesinin kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça) [7]

	C	Si	Mn	P	S	Cr	V	Cu	Sn
Min	0,52	0,10	0,70	-	-	0,70	-	-	-
Max	0,59	0,45	1,00	0,025	0,025	1,00	-	0,25	0,035

Tablo 2.2. 55Cr3 malzemesinin hammadde mekanik özellikleri [7]

	Çekme Mukavemeti (Rm) MPa	Akma Mukavemeti (Rp 0,2) MPa	Uzama % (A)	Sertlik HV
Min	850	650	6,0	295
Max	-	-	-	-

2.2. Boru Denge Çubuğu Hammaddesi

Boru denge çubuğu malzemesinde bor içeren çelik olarak bilinen düşük alaşımlı ıslah çeliği kullanılmaktadır. Bor kullanılmasının sebebi, borun çeliğin ısıtma işlemi esnasında sertleştirme derinliğinin arttırmasıdır.

Tez çalışmasında kullandığımız 34MnB5 boru denge çubuğu malzemenin Tablo 2.3'te kimyasal kompozisyonu ve Tablo 2.4'te de mekanik özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.3. 34MnB5 malzemesinin kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça) [8]

	C	Si	Mn	P	S	Cr	B	Cu	Al
Min	0,33	0,15	1,20	-	-	0,10	0,0015		0,02
Max	0,37	0,30	1,40	0,02	0,005	0,18	0,0035	0,10	0,05

Tablo 2.4. 34MnB5 malzemesinin hammadde mekanik özellikleri [8]

	Çekme Mukavemeti (Rm) MPa	Akma Mukavemeti (Rp 0,2) MPa	Uzama % (A)	Sertlik HV
Min	600	300	20	185
Max	-	-	-	-

2.3. Denge Çubuğu Hammaddesinden Beklenen Özellikler

Denge çubukları süspansiyon sisteminin en önemli elemanlarından birisi olması ve emniyet amaçlı kullanılmasından dolayı; mekanik özelliklerinin çok iyi olması gerekmektedir. Denge çubuğu üretiminde kullanılacak malzemedan beklenen bazı özellikler;

- Yüksek akma mukavemeti,
- Yüksek yorulma dayanımı,
- Yüksek korozyon direnci,
- Yeterli süneklik, uygun kimyasal bileşim vb. dir.

Dinamik yükler altında çalıştıkları için yorulma dayanımının yüksek olması gerekir. Çubuk da bulunduğu konum gereği yağmur, kar suyu ve silecek suyu gibi sıvılara

maruz kaldığından kaplamanın zarar gördüğü yerlerde korozyon başlayabilir. Bundan dolayı gerilmeli korozyon meydana geleceğinden çubuğun ömrünü olumsuz yönde etkiler.

Büküm plastik şekil verme yöntemi ile yapıldığı için şekil verme esnasında kırılmaması için uygun süneklikte olması gerekmektedir.

Şekil 1.3'te gösterildiği gibi denge çubuğunun kol kısmı amortisörden gelen $\pm z$ yönünde hareketin etkisinde kaldığı için sürekli yukarı aşağı hareket eder. Tekrarlayan bu hareketler sonucunda çubukta kalıcı deformasyon oluşmamalıdır, yani çubuğun akma sınırı yüksek olmalıdır. Çalışma esnasında maruz kaldığı gerilme seviyesi elastik alanda kalmalıdır.

Şekil 1.6'da denge çubuğunun bölgeleri tanımlanmış olup her bir bölgeden beklenen özellikler aşağıdaki gibidir [4].

Dövme Bölgesi (Forging Area-End): Link bağlanan bölgedir ve bu bölge sert bir yüzeye ve yumuşak bir çekirdeğe sahip olmalıdır. Yumuşak çekirdek bağlantı yükünü taşıırken aşınmaya ve sürtünmeye dayanım için sert bir yüzey gereklidir.

Kol Bölgesi (Arm): Linkten gelen yükü transfer eder. Bu yüzden sürekli eğilmeye maruz kalır. Dövme bölgesinden farklı olarak burada sert bir yüzeye gerek yoktur; ancak kesit boyunca eğilmeye dayanacak kadar sert olması gerekmektedir. Bu bölge için temper martenzit yapı uygundur.

Omuz Bölgesi (Elbow): Koldan gelen eğilme kuvveti omuz aracılığı ile burulmaya çevrilir ve yatak bölgesine aktarılır. Bu nedenle omuz bölgeleri burulma ve eğilmeye dayanmak için daha fazla dayanıklı olmalıdır.

Yatak Bölgesi (Bushing Area): Yatak bölgesinde çubuk içerisine burulmanın transferi meydana gelir. İç yüzey daha sertken dış yüzey ise dövme bölgesine benzer şekilde sürtünmeye dayanıklı olmalıdır.

Merkez (Center): Bu bölgede yükleme tamamen burulmadır. Temper martenzit yapı dayanım için uygundur.

2.3.1. Kimyasal kompozisyonun denge çubuğu davranışına etkisi

Kullanılan üründen beklenen özelliklere, çevre ve kullanım şartlarına bağlı olarak, denge çubuğu malzemesinden beklenen mekanik ve kimyasal özellikler yapıya ilave edilen alaşım elementleri ile sağlanır. Elementlerin çeliğin özelliklerine etkileri aşağıda verilmiştir.

2.3.1.1. Karbon (C)

Karbon östenit yapıcıdır. Çeliğin akma ve çekme dayanımını arttıran ve çeliğin sertliğine etkisi olan elementtir. %0,26 karbon oranına sahip çelik ile %0,34 karbon oranına sahip çeliği aynı şartlarda yağda sertleştirildiğinde ulaşacakları sertlikler farklı olacaktır. Yüksek karbon içeriğine sahip olan çelik daha fazla sertlik değerine sahip olur; ancak daha kırılabilir bir yapıya sahip olur. Çelikler en yüksek sertlik değerine %0,6 C düzeyinde ulaşır. Bundan daha fazla karbon oranına sahip çeliklerde kalıntı östenit oluşumu nedeniyle sertlik artmaz. Ayrıca karbon içeriğinin yüksek olması yüzde uzamayı, şekillenebilirliği ve kaynak kabiliyetini azaltır [1,9].

2.3.1.2. Bor (B)

Düşük ve orta karbonlu çeliklerde sertleştirme derinliğini artırır. Sakinleştirilen çeliklere %0,0005- 0,003 kadar düşük oranda katılırlar.

2.3.1.3. Silisyum (Si)

Si dökümde fiziksel özellikleri ve özgül ağırlığı artırır ve Mn gibi bütün çeliklerde bulunan bir elementtir. Si cevherden veya ocak duvarındaki tuğlalardan da bir miktar yapıya girer. Yapıda %0,4'ten fazla Si var ise "Silisyumlu Çelik" olarak adlandırılır.

Elastiklik özelliğinden dolayı yay çeliklerinin vazgeçilmez elementidir. Si çeliğin akma mukavemetini, çekme mukavemetini ve yüzde uzama miktarını artırır; fakat etkisi Mn'den daha azdır. Ferrit yapıcı olduğu için yapıda SiC oluşturabilir [9,10].

2.3.1.4. Mangan (Mn)

Mangan özellikle yay çeliklerinin ingot dökümünü, haddelenme prosesini, dövme prosesini, çekilme prosesini olumlu yönde etkiler ve kaynak kabiliyetini artırır. Korozyon direncini artırır, esnekliğini de düşük miktarda azaltır.

Manganın sertlik ve dayanımı artırıcı etkisi karbon oranına bağlıdır. Yüksek karbon oranına sahip çeliklerde etkisi daha yüksektir. Mn oranı sertleştirme derinliğini arttırdığından çekirdeğe kadar sertleşmeyi sağlar. Yüksek karbonlu çeliklerde çatlak oluşumunu önlemek için su yerine polimerli su veya yağ banyosunda sertleştirme yapılır. Mangan kükürt ile birleşerek (MnS) ergime sıcaklığı düşük olan ve hadde sırasında sıcak kırılmalığa neden olan FeS fazının oluşumuna engel olur [1].

2.3.1.5. Fosfor (P)

Fosfor çeliğin üretim metodları doğası gereği yapıda kalır ve yapıda istenmez. Bu yüzden mümkün olduğunca yapıdan uzaklaştırılır. Fosfor yüzdesi en çok olarak %0,030-0,050 arasında tutulur. Fosfor akma ve çekme dayanımını arttırsa da yüzde uzamayı (%A) ve eğme özelliklerini yüksek oranda düşürür. Soğuk kırılmalık oluşur, talaşlı işleme özelliğini artırır.

2.3.1.6. Kükürt (S)

Akma ve çekmeye etkisi olmasa da kaynak kabiliyetini, tokluğu ve yüzde uzamayı düşürür. Kükürt çeliği kırılmalık yapar ve hadde prosesini zorlaştırır. Kullanılacak olan çelikte işlenme özelliği (şekillendirmeye uygun otomat çelikleri) istenmiyor ise eğer fosfor gibi istenmeyen elementlerdendir. Maksimum %0,025-0,050 arasında sınırlandırılır.

2.3.1.7. Krom (Cr)

Krom çeliğin sığağa, korozyona dayanımı gibi özelliğini arttıran fakat buna karşılık, esnekliğini çok az bir dereceye kadar eksi yönde etkileyen bir alaşım elementidir. Tufal oluşumunu engeller. Krom oranı arttıkça kaynak kabiliyeti azalır. Çelikte beher %1 oranındaki krom yüzdesi artışına karşılık, çekme dayanımında yaklaşık olarak 8-

10 kg/mm²'lik bir artış görülür. Aynı oran içinde olmamakla beraber, akma dayanımı yükselirse de çentik dayanımı düşer.

2.3.1.8. Bakır (Cu)

Akma ve çekme dayanımını artırır, yüzde uzamayı ve şekillendirilebilirliği azaltır. Soğuk çekilebilirliği kötü yönde etkiler. Bu yüzden bakır oranı olabildiğince düşük olması istenir. Korozyon direncini yükselten etki yapar.

2.3.1.9. Alüminyum (Al)

Oksijen gidermek için kullanılır. Akma dayanımını ve darbe tokluğunu artırıcı etki gösterir. Yüksek Al miktarı sürekli dökümlerde nozul tıkanmalarına sebep olur. Ayrıca Al'nin tane küçültücü etkisi vardır. Nitür yapma kabiliyeti nedeniyle nitrasyon çeliklerinin temel alaşım elementidir.

2.3.1.10. Nikel (Ni)

Dayanımı artırıcı elementlerden olan Silisyum ve Mangana kıyasla Nikel çeliğin dayanımını daha az artırır. Nikel ile birlikte bulunduğu zaman sertliğin çekirdeğe doğru ilerlemesinde rol oynar. Sertleştirme için gerekli olan sıcaklığı düşürür, aşınma direncini, mukavemetini ve tokluğu artırır. Krom nikelli çelikler paslanmaz, kabuklaşmaya ve ısıya dayanımlıdır. Düşük sıcaklıkta makine yapım çeliklerinin çentik dayanımını artırır. Krom ile birlikte oda sıcaklığında östenit yapı oluşumuna yardımcı olur.

2.3.1.11. Molibden (Mo)

Sertlik, tokluk, sertleşebilme kabiliyeti, kaynak kabiliyeti, sürünme dayanımı, aşınma direnci ve yüksek sıcaklıkta işlenebilme özelliklerini artırır. Düşük miktarda Ni-Cr içeren çeliklerin meneviş gevrekliği oluşma eğilimini azaltır. Cr ile birlikte akma ve çekme dayanımını artırır. Tane büyümesini engeller, yüksek oranda olur ise dövme yeteneğini düşürür.

2.3.1.12. Vanadyum (V)

Yüksek sıcaklıkta tane büyümesinin kontrol edilmesini sağlar, sertleştirme derinliğini, yüksek sıcaklıktaki dayanımı, akma-çekme mukavemetini ve tokluğu artırır.

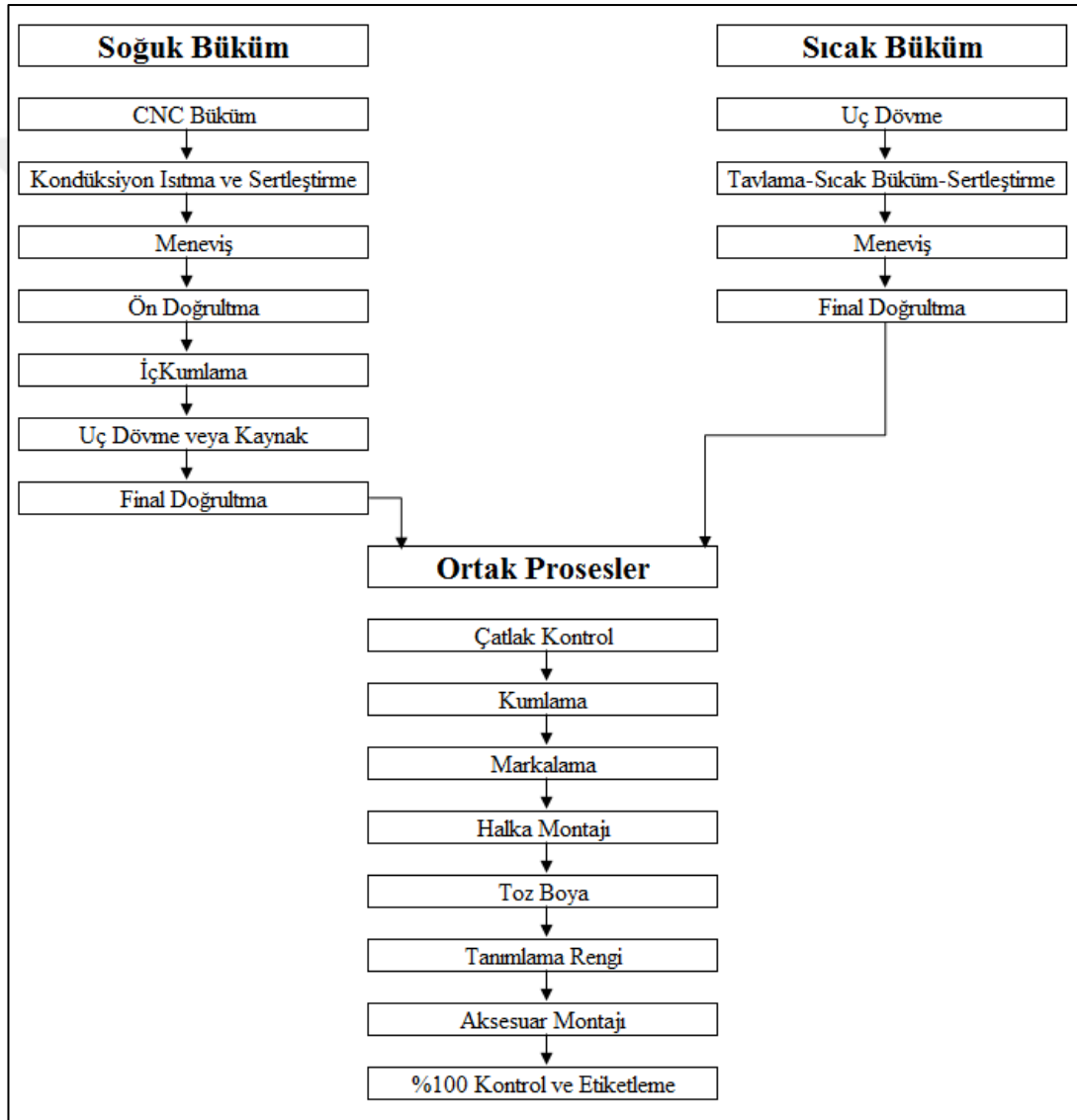
2.3.1.13. Tungsten (W)

Yüksek sıcaklık dayanımını artırır ve menevişleme sırasında sertlik değerinin düşmemesine neden olur.



3. DENGE ÇUBUĞUNUN ÜRETİM YÖNTEMLERİ

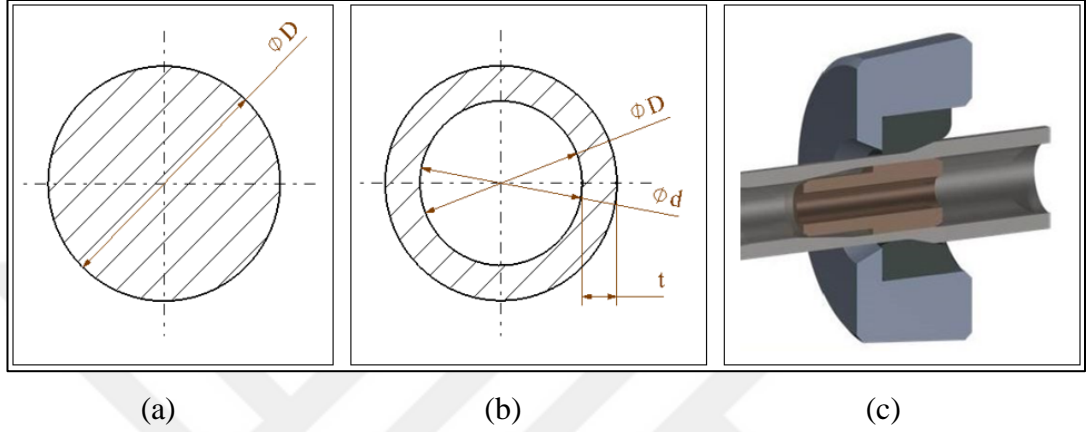
Denge çubuğu Rözmaş Çelik San ve Tic A.Ş. firmasında soğuk büküm ve sıcak büküm olmak üzere 2 farklı yöntemle üretilir. Üretim prosesleri Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Denge çubuğu üretim prosesleri

Denge çubuğu üretiminde kullanılan hammaddeler ise aşağıdaki gibidir ve Şekil 3.2’de kesitleri gösterilmiştir.

- Dolu kesitli hammadde
- Boru kesitli hammadde
- Değişken kesitli hammadde (boru)



Şekil 3.2. Kullanılan hammaddelerin kesitleri, a) dolu kesitli b) boru kesitli c) değişken kesitli boru [6,11]

Dolu kesitli hammaddeye sahip çubuklar otobüs, kamyon, tır ve hafif ticari, binek araçların bazı gruplarında kullanılmaktadır. Boru kesitli hammaddeye sahip çubuklar ise binek ve hafif ticari araçlarda büyük oranda kullanılsa da kamyonlarda da boru kesitli çubuklar kullanılmaktadır [12]. Dolu kesit ile benzer dayanım değerlerine sahip eşdeğer çapa sahip olan boru kesit hesaplanır. Hesaplanan borunun dış çapı ve et kalınlığı çubuğun gerilme seviyesi ve istenilen ömür ilişkisine göre belirlenir. Eşdeğer çap hesabı Denklem (3.1)’deki gibi [3];

$$\text{ØD}_{\text{eşdeğer dolu çap}} = \sqrt[4]{\text{ØD}_{\text{boru}}^4 \times \left(1 - \frac{(\text{ØD}_{\text{boru}} - 2t_{\text{boru}})^4}{\text{ØD}_{\text{boru}}^4}\right)} \quad (3.1)$$

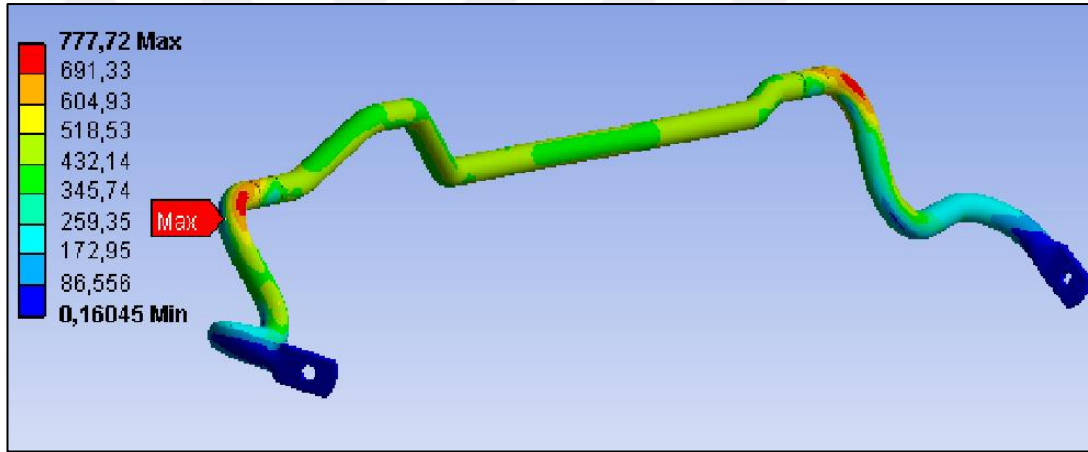
olacaktır.

Örnek: Hammadde boyu 1440 mm olan çapı 27 mm olan dolu kesitli hammadde ile eşdeğeri örnek borunun karşılaştırılması Tablo 3.1’de gösterilmiştir. 2,44 kg ağırlık kazancı olsa da gerilme seviyesi 47 MPa artmış. Bu noktada elde edilen yeni gerilme seviyesinin istenilen ömrü sağlayıp sağlayamayacağı düşünülmelidir. Gerekli ise ikinci çap denemesi yapılabilir.

Tablo 3.1. Dolu hammadde ile eşdeğeri boru hammaddenin karşılaştırılması.

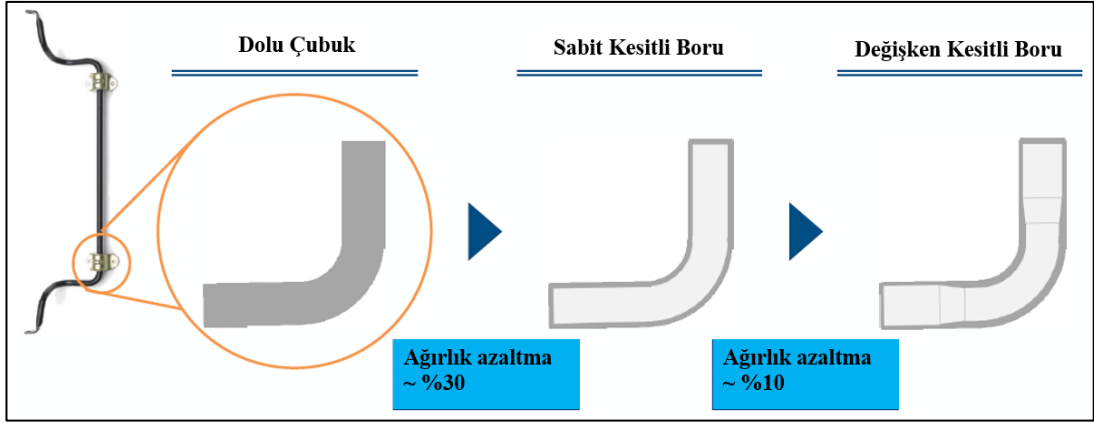
	ØD (Dış çap) [mm]	t (Boru et kalınlığı) [mm]	L (Hammadde boyu) [mm]	Ağırlık [kg]	Max Stres [MPa]
Dolu	27	-	1440	6,48	836
Boru	28,5	4,8	1440	4,04	883
Boru (2.deneme)	27,7	6,0	1440	4,63	858

Stres dövme bölgesinden yatak bölgesine doğru artmaktadır. Şekil 3.3'te denge çubuğu üzerinde stres dağılımı gösterilmiş. Genel olarak stres omuz bölgesinde maksimum değerini almaktadır; ancak yatak bölgesine yakın bir büküm olduğu durumlarda da stres omuz bölgesinden o bölgeye doğru kayabilir.



Şekil 3.3. Çubuk üzerindeki stres dağılımı [5]

Boru kesitli hammaddeye sahip denge çubuklarında da yine ağırlık azaltma kapsamında gerilmenin yüksek olduğu bölgelerde et kalınlığı fazla tutulur az olduğu bölgelerde ise et kalınlığı düşürülerek ağırlıktan daha fazla kazanç sağlanmış olur. Dolu hammadde yerine boru, sabit kesitli boru hammadde yerine değişken kesitli boru kullanımı durumunda yapılacak olan ağırlık azaltma oranı Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Ağırlık azaltma oranı [11]

Denge çubuğu bükümün yapıldığı prosese göre sıcak ve soğuk büküm olarak iki yöntemde üretilir. Dolu çubuk yüksek oranda sıcak büküm yöntemi ile üretilmektedir. Makine kapasitesi yeterli ve büküm açısı uygun ise dolu çubuk soğuk da bükülebilir. Boru çubuk ise yüksek oranda soğuk büküm yöntemi ile üretilmektedir. Borunun büküm bölgelerinde meydana gelecek olan ovallık müşteri tarafından kabul edilebilir sınırlarda ise ve çapının mevcut makinelerde bükülemeyecek kadar büyük olması durumunda boru hammaddeye sahip çubuk sıcak da bükülebilir. Denge çubuğunun prosesleri Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Halka montajı, markalama gibi prosesler her üründe olmayabilir. Müşteri tasarımına ve isteğine bağlıdır. Marka ve barkod veya sadece barkod isteyebilir.

3.1. Soğuk Büküm

Soğuk büküm prosesinde makine yeteneğine bağlı olarak dolu kesitli hammadde kullanılsa da ağırlıklı olarak boru kesitli hammadde kullanılır. Kullanılan boruların üretim yöntemi aşağıdaki gibidir;

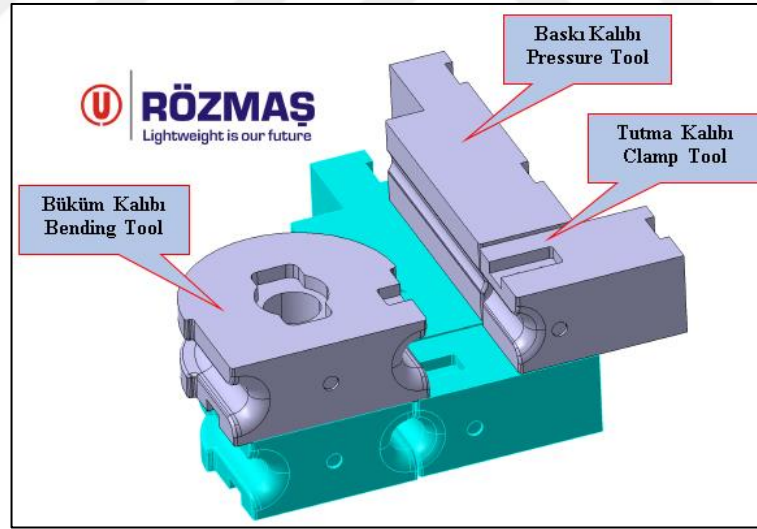
- Dikişsiz boru
- Kaynaklı çekilmiş boru
- Kaynaklı hassas çekilmiş boru

Borular tam ölçüye getirmek için yapılan soğuk çekim prosesinden sonra normalizasyona tabi tutulur. Sıcak büküm prosesinde kullanılan dolu kesitli hammadde ile arasında hammadde ton fiyatının yüksek olması ve genel olarak proses sayısının fazla olmasından dolayı aynı tip ürün için soğuk büküm bitmiş ürün

maliyeti daha yüksek olmaktadır. Sıcak büküm ile proses adımı açısından farkı birinci prosesin büküm olmasıdır.

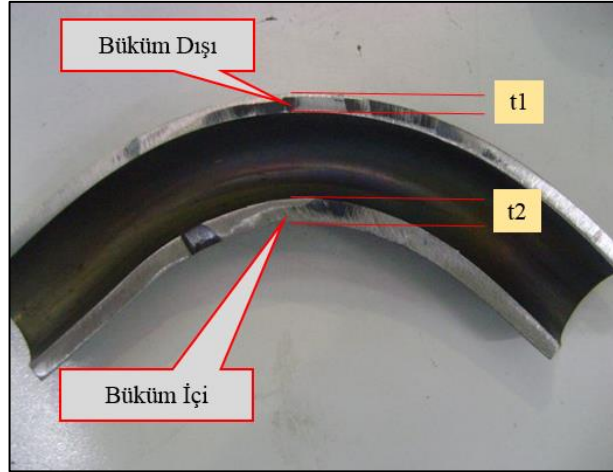
3.1.1. CNC soğuk büküm

Hidrolik pistonlarla veya servo motorlarla çalışan CNC büküm makinesi ile büküm işlemi yapılmaktadır. Burada makinenin tek yönlü&çift yönlü büküm yapabilmesi, büküm yapabileceği ısıl işlemlili-ısıl işlemsiz hammadde için min&max çap ve et kalınlığı oranı, makine özelliklerini ön plana çıkartmaktadır. Müşteriden gelen modellerden alınan koordinatlarla veya teknik resimde yer alan koordinatlarla makinede program oluşturulur. İki büküm arası minimum mesafeye göre bükümlerdeki radiuslerin ölçüsüne göre kalıplar tasarlanır ve bu kalıplarda üretilen bükülmüş denge çubuklarının formu master kontrolü ile kontrol edilir. Şekil 3.5'te Rözmaş Çelik firması tarafından tasarlanan soğuk büküm kalıbı yer almaktadır. Pressure tool(baskı) hammaddeyi desteklerken clamp(tutma) ile bending(büküm) boruyu sıkarak birlikte bending kalıbı ekseninde dönerek boruya şekli verilir.



Şekil 3.5. Soğuk büküm kalıbı [6]

Büküm esnasında büküm iç kısmında basma gerilmesi olduğundan kesitte artma; dış kısmında çekme gerilmesi olduğundan kesitte azalma görülmektedir. Şekil 3.6'da kesitteki değişim gösterilmiştir. Kesit boyunca et kalınlığında meydana gelen değişim ovalliğe neden olmaktadır. Müşterinin izin verdiği sınırlar dışında olmamalıdır. Mandrel ile büküm yapılarak ovallik en az seviyeye düşürülebilir.



Şekil 3.6. Büküm esnasındaki kesit değişimi [6]

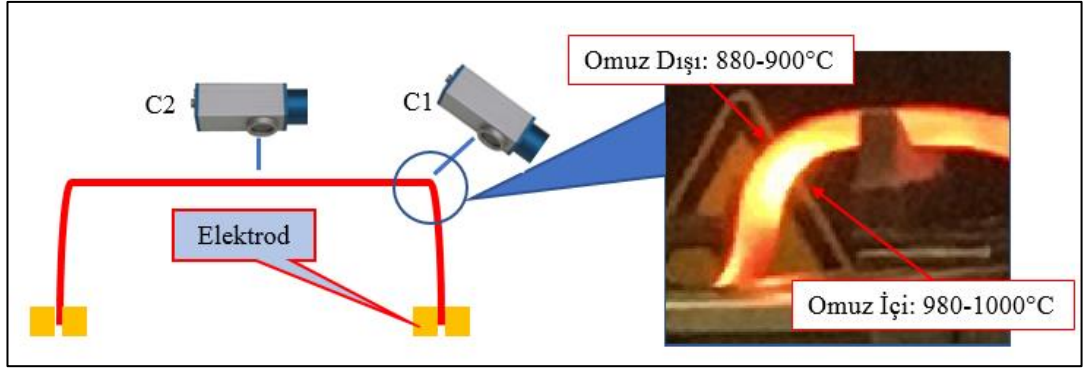
3.1.2. Kondüksiyon ısıtma yöntemi ile tavlama

Ferritik-perlitik yapıdaki hammaddenin dayanımını arttırmak için sertleştirme işlemi öncesi çubuğun her iki ucunun bakır elektrod ile elektrik akımı verilerek yapılır. Kullanılan hammadde ısıtma işlemi ise bu proses uygulanmaz. İki büküm bölgesi arasındaki düz bölgenin kesitinde farklılık olmasa da büküm bölgelerinin iç ve dış kısımlarındaki kesitlerin farklı olmasından dolayı ısıtma esnasında düz bölgeler ile büküm bölgelerinin iç ve dış bölgeleri arasında sıcaklık farkları oluşacaktır. Bu yüzden ısıtma sonrası martenzit yapının oluşabilmesi için; banyoya giriş sıcaklığının östenit sıcaklığının üzerinde olması gerekir. Martenzit yapının oluşması için robotun çubuğu ısıtmadan tanka taşınması esnasındaki sıcaklık kayıpları da dikkate alınarak çubuk östenizasyon sıcaklığının 50-100°C üzeri değerine ısıtılır. Minimum sıcaklık bölgesi de Şekil 3.6'da gösterilen omuz dış bölgesidir. Bu yüzden Şekil 3.7'de gösterildiği gibi ısıtma esnasında çubuğun omuz dış bölgesi pirometre veya kamera ile kontrol altında tutulur. Makine bu bölgenin istenilen sıcaklığa ulaşması ile ısıtma işlemini bitirir. Düşük sıcaklığın omuz dışında olmasının ifadesi Denklem (3.2) ve Denklem (3.3)'teki gibi;

$$R(\text{direnç}) = \rho(\text{öz direnç}) \frac{L(\text{boy})}{A(\text{alan})} \quad (3.2)$$

$$R(\text{direnç}) = \frac{V(\text{voltaj})}{I(\text{akım})} \quad (3.3)$$

şeklinde olacaktır.



Şekil 3.7. Isınma esnasında büküm iç ve dış bölgesinin görünümü

3.1.3. Sertleştirme

Perlit-ferrit iç yapıya sahip bükülmüş hammadde ısıtıldıktan sonra sertleştirme banyosuna daldırılarak martenzit yapının elde edilmesi hedeflenir. Elde edilen sertlik değeri banyonun; su, polimerli su ve yağ olması durumunda farklılık gösterecektir. Suda maksimum sertlik elde edilir. İstenilen sertlik değerini elde etmek için su ortamını kullanmak ile birlikte hammaddenin karbon oranı da elde edilecek sertlik değerini etkiler.

Isınma esnasında çubuk genişleceğinden dolayı bakır elektrodların olduğu sistem pnömatik sistem ile kontrol edilir. Çubuk ısındıkça pistonlar çubuğun her iki ucundan çekerek orta bölgenin bel vermemesini sağlar. Bu proseste sertleştirme sonrası meydana gelen çarpılmaya göre tersine ayar yapılmaz ise çarpılmalar kontrol altına alınamaz ve çubuklar birbirinden farklı farklı şekillerde çarpılır. Bu doğrultma prosesinde operatörün gereğinden fazla basmasına ve zaman kaybına neden olur.

3.1.4. Menevişleme

Sertleştirme prosesinde ani soğumadan dolayı gerilimli ve kırılğan bir martenzit yapı oluşur. Bu yapıdaki gerilimleri almak için dönüşüm sıcaklığının altında ve homojen ısıtılarak yapılan bir işlemdir. Sertleştirme sonrası elde edilen sertlik değerinde düşüş olsa da tokluğu artmış tempermartenzit yapı elde edilir. Sürekli(continuous) ve lot(batch) tip olmak üzere iki tip meneviş fırını bulunmaktadır. İki tipin de birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları vardır. Tek parça akış sağlanması adına sürekli(konveyörlü) tip tercih edilir.

3.1.5. Ön doğrultma

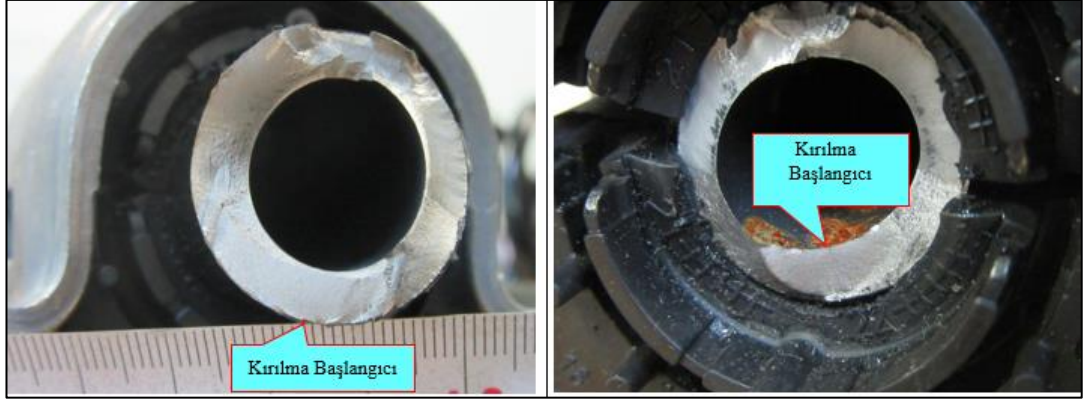
Isınma esnasında meydana gelen genleşmelerden ve aynı parçanın ani soğumasından dolayı parçada çarpılmalar meydana gelmektedir. Meydana gelen çarpılmaları düzeltmek için pres ile parça üzerinde doğrultma yapılır ve master ile formu kontrol edilir. Manuel yapılan bir işlemdir ve tecrübeye bağlıdır. Şekil 2.3'te de gösterildiği gibi omuz bölgesi, yataktan sonra yakın bir büküm var ise ve büküm yarıçapı düşük ise bu bölgelerde de stres en yüksek çıkabilir, çubuğun en stresli bölgesi olduğundan dolayı özellikle bu bölgeye vurulmaması gerektiği şahit numuneler ile gösterilmektedir. Şekil 3.8'te şahit numune görseli yer almaktadır.



Şekil 3.8. Doğrultmada vurulmaması gereken bölgeler [6]

3.1.6. İç kumlama

Kumlama belirli çapta sert çelik bilyaların yüksek hızda çubuk üzerine çarptırılarak çubukta kalıcı bası gerilmelerin oluşturulması işlemidir. Kumlama yüzey temizlemek, toz boya öncesi pürüzlü bir yüzey oluşturmak ve dayanımı arttırmak amaçlı yapılır. Denge çubuğunda ise yorulma ömrünü arttırmak için yani yüzeyde bası gerilmesi oluşturmak amaçlı yapılır; çünkü yorulma kaynaklı çatlaklar genelde yüzeydeki çekme gerilmeleri nedeniyle olduğundan dolayı bası gerilmeleri ile istenmeyen çeki gerilmeleri giderilir. Bu amaçla bütün denge çubuklarının dış yüzeyi kumlama operasyonuna tabi tutulur. İç kumlama ise, boru iç yüzeyindeki gerilme seviyesinin belirli bir limitin üzerinde olduğu zaman ve et kalınlığı/dış çap oranının da belirli bir seviyenin altında olduğu zaman kırılmalar borunun iç yüzeyinden başlayabilir. Bu gibi durumlarda borunun iç yüzeyi kumlanarak boru iç yüzeyinde bası gerilmesi oluşturulur ve dayanımı arttırılmış olur. Şekil 3.9'da içten ve dıştan kırılma durumlarına örnek verilmiştir.



(a)

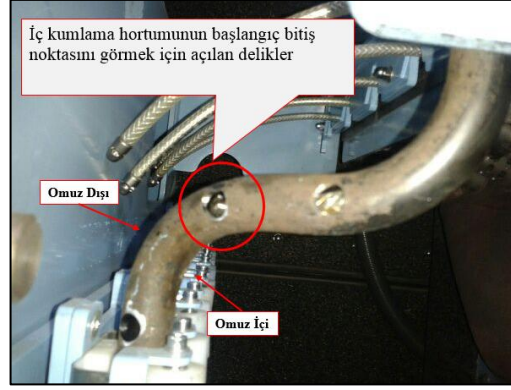
(b)

Şekil 3.9. Kırılma durumları, a) dış yüzeyden, b) iç yüzeyden kırılma

Şekil 3.10'da Rözmaş Çelik firmasında kullanılan iç kumlama makinesine ait görüntü yer almaktadır. Makine siloda basınç altında bekleyen kumların ek bir hava basıncı ile nozul ile boru iç yüzeyine püskürtülmesi prensibine dayanır. Maksimum strese sahip olan her iki taraftaki omuz bölgeleri ve yatak bölgeleri kumlanır. Şekil 3.11'de çubuk üzerinde delikler açılarak kumlamamanın başlayacağı ve biteceği yerin konumu doğrulanarak ayar yapılmış olur.



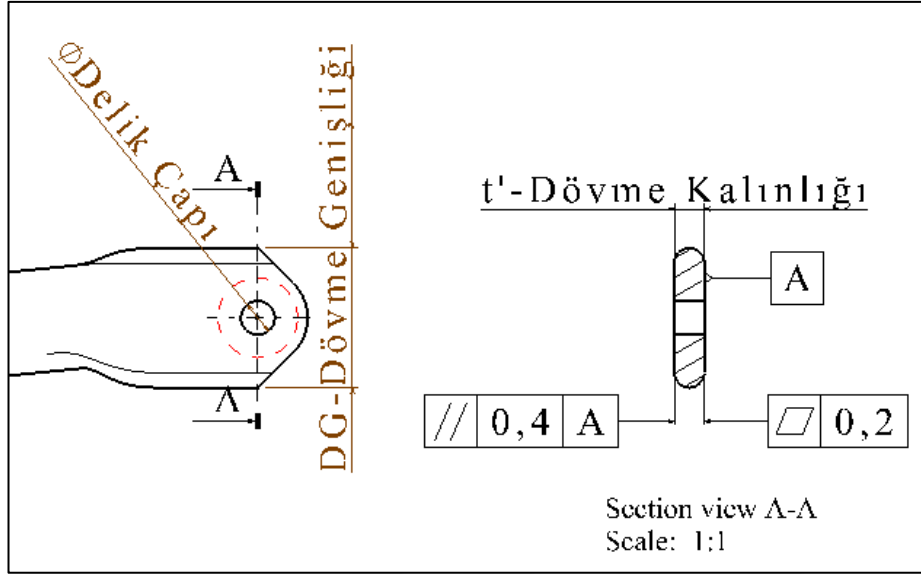
Şekil 3.10. İç kumlama makinesi



Şekil 3.11. Makine kumlama bölgesi

3.1.7. Uç dövme veya kaynak

Denge çubuğunun amortisör sistemine bağlandığı bölgesi olan dövme bölgesi eksantrik veya hidrolik presler ile uçları indüksiyon ile ısıtılarak dövülerek şekillendirilir. Aynı kalıp sisteminde sırasıyla dövme, delik delme-uç çapak kesme ve ütüleme işlemleri yapılır. Bu proseste dövme kalınlığı, delik çapı, düzlemsellik ve paralellik gibi istenilen önemli ölçüler ve toleranslar Şekil 3.12’de gösterilmiştir. Düzlemsellik ve paralellik toleranslar uygun olmadığı zaman araçta tork kaybı meydana gelir. Dövme sıcaklığı kalıbın teknolojisine göre değişmektedir. İstenilen sıcaklığın altında yapılan dövmede hem kalıcı zarar görülebilir hem de istenilen ölçüler elde edilemeyebilir. İstenilenden daha yüksek sıcaklıkta yapılan dövmede yüzeyde dekarbürizasyon ile birlikte sertlik düşüşü ve delik çevresinde ve uç kısımda kumlama prosesinde kaybolmayacak seviyede çapak oluşumu meydana gelir. Ayrıca müşteri isteğine göre borunun 2.tarafını dövmeden önce borunun içini korozyona karşı korumak için boru içine yağ püskürtülür. Bazı tiplerde ise çubuk ucuna dövülmüş ve delinmiş dövme parçası veya boru içine fitting ismi verilen içinde dış olan parça kaynatılır.



Şekil 3.12. Dövme bölgesinde istenilen örnek ölçüler

3.1.8. Final doğrultma

Çubuğun her iki ucundaki deliğin yatak bölgesine göre istenilen bir konum toleransı vardır. Dövme veya kaynak işlemleri esnasında her iki deliğin yatağa göre ve birbirlerine göre konumunu kontrol etmek için yapılan bir master kontrol prosedir. Gerekli durumlarda çubuğa doğrultma yapılarak mastara uygun hale getirilir.

3.2. Sıcak Büküm

Dolu kesitli çubuklar yüksek oranda sıcak büküm prosesinde üretilir. Bu yöntemde yüzey görünümüne göre siyah(black) veya parlak(peeled) olmak üzere iki tip hammadde kullanılmaktadır. Siyah hammadde hadde sonrası herhangi bir talaş kaldırılmadan üretilir. Parlak malzeme ise siyah malzemenin yüzeyindeki dekarbürizasyonlu kabuğun soyulması ile elde edilir. İki yöntem arası maliyet farkı olduğundan parlak malzemenin fiyatı yüksek olsa da gerilim değerleri belirli bir seviyeden yüksek olan çubuklarda parlak malzeme kullanımı şarttır.

3.2.1. Uç dövme veya kafa şişirmeli uç dövme

Sıcak büküm yönteminde ilk proses dövmedir. Denge çubuğunun amortisör sistemine bağlandığı bölgesi olan dövme bölgesi eksantrik veya hidrolik presler ile

uçları indüksiyon veya gazlı fırın ile ısıtılır ve dövülerek şekillendirilir. Sıralı kalıp sisteminde sırasıyla dövme, uç çapak kesme-delik delme ve ütüleme işlemleri yapılır.

Kafa şişirme prosesi ise kullanılan hammaddenin kesit alanı dövmenin kesit alanından küçük ise istenilen ölçüler elde edilemeyeceğinden dolayı ilk önce çubuğun uçları ısıtılarak pres ile uçları daha büyük bir çapa şişirilir ve sonrasında dövme işlemi yapılarak istenilen ölçü elde edilir. Kafa şişirme olmaması için hammadde kesit alanının dövme kesit alanından büyük olması gerekmektedir. Kafa şişirme prosesinin olup olmaması Denklem (3.4) ve Denklem (3.5)'teki gibi;

$$\frac{\pi \times D^2}{4} > (DK) \times (DG) \rightarrow \text{Kafa Şişirme Yok} \quad (3.4)$$

$$\frac{\pi \times D^2}{4} < (DK) \times (DG) \rightarrow \text{Kafa Şişirme Var} \quad (3.5)$$

ifadeleriyle hesaplanır.

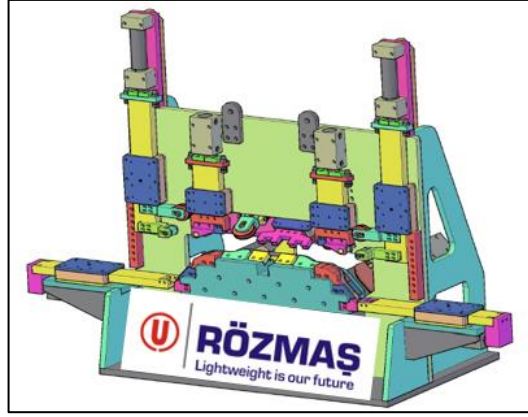
3.2.2. Tavlama – Sıcak büküm

Çubuğa istenilen şekli vermek için ve sonrasında da soğutma banyosuna daldırılarak sertleştirmek için uçları dövülmüş düz çubuklar fırında tavllanır. Çubuğun tav fırınında kalma süresi çubuğun çapına göre değişir. Tavlama süresi genel olarak Denklem (3.6)'daki gibi;

$$\text{Tavlama Süresi} = 20 \text{ dakika} + \text{ØD}/2 \quad (3.6)$$

ifadesiyle hesaplanır.

Fırın yaklaşık 950°C sıcaklık değerinde çubuğu ısıtır, robot çubuğu fırının çıkışından alır ve sıcak büküm kalıbına bırakır. Büküm işlemi bittikten sonra robot çubuğu alır ve banyoya bırakır. Şekil 3.13'te Rözmaş Çelik firması tarafından tasarlanıp üretilen örnek sıcak büküm kalıbı gösterilmektedir.



Şekil 3.13. Sıcak büküm kalıbı [6]

3.2.3. Sertleştirme

Büküm işleminde çıkan çubuk yağ banyosuna daldırılarak sertleştirme işlemi yapılır. Sıcak büküm yönteminde kullanılan dolu kesitli çubukların karbon oranı yüksek olduğundan su banyosunda sertleştirme durumunda çatlak oluşacağı için sertleştirme işleminde yağ kullanılır. Yağ sıcaklığının limitin üstünde olması duman oluşumuna ve yağın yaşlanmasına neden olduğu gibi, limitin altında olması ise çubuğun aşırı çarpılmasına ve çatlmasına neden olabilir.

3.2.4. Menevişleme

Sertleştirme prosesinde ani soğumadan dolayı gerilimli ve kırılğan bir martenzit yapı oluşur. Bu yapıdaki gerilimleri almak için dönüşüm sıcaklığının altında ve homojen ısıtılarak yapılan bir işlemdir. Sertleştirme sonrası elde edilen sertlik değerinde düşüş olsa da tokluğu artmış tempermartenzit yapı elde edilir. Sürekli(continuous) ve lot(batch) tip olmak üzere iki tip meneviş fırını bulunmaktadır. İki tipin de birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları vardır. Tek parça akış sağlanması adına sürekli(konveyörlü) tip tercih edilir.

3.2.5. Final doğrultma

Çubuğun her iki ucundaki deliğin yatak bölgesine göre istenilen bir konum toleransı vardır. Uçları dövülmüş ve bükülmüş çubuk ısıtılma işlemi yapıldığından dolayı her iki deliğin yatağa göre ve birbirlerine göre konumunu kontrol etmek için yapılan bir

mastar kontrol prosesidir. Gerekli durumlarda çubuğu doğrultma yapılarak mastar uygun hale getirilir.

3.3. Ortak Prosesler

3.3.1. Çatlak kontrol

Isıl işlem esnasında veya uçlarına fitting kaynatılan çubukların kaynağı esnasında meydana gelebilecek olan çatlakların testi için manyetik partikül ile çalışan çatlak kontrol makinesinde parça üzerindeki çatlaklar kontrol edilir.

3.3.2. Kumlama (Shot peening)

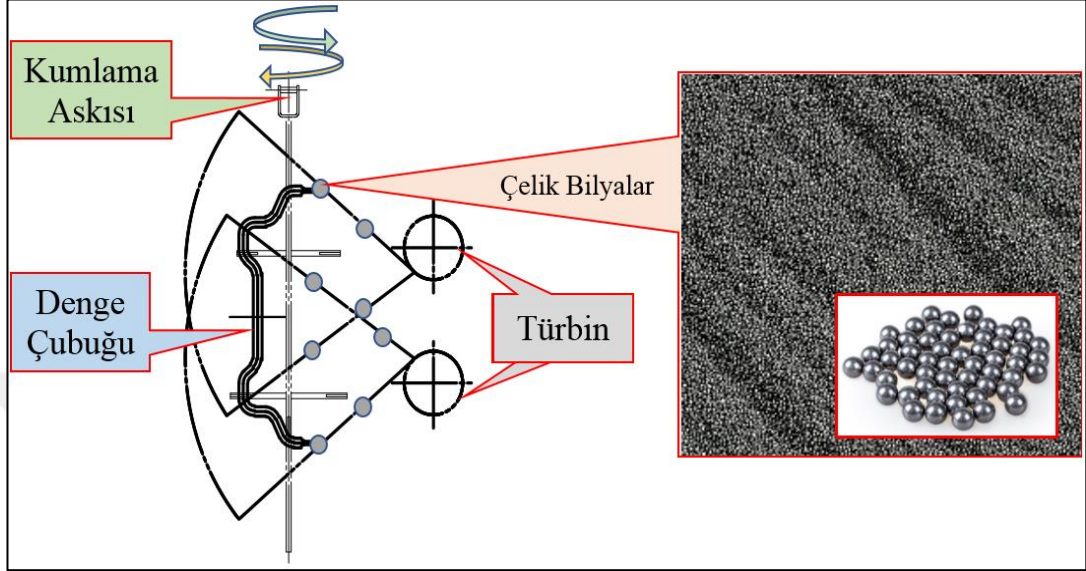
Kumlama belirli çapta sert çelik bilyaların yüksek hızda çubuk üzerine çarptırılarak çubukta kalıcı bası gerilmelerin oluşturulması işlemidir. Kumlama yüzey temizlemek, toz boya öncesi pürüzlü bir yüzey oluşturmak ve dayanımı arttırmak amaçlı yapılır. Denge çubuğunda ise yorulma ömrünü arttırmak için yani yüzeyde bası gerilmesi oluşturmak amaçlı yapılır; çünkü yorulma kaynaklı çatlaklar genelde yüzeydeki çekme gerilmeleri nedeniyle oluştuğundan dolayı bası gerilmeleri ile istenmeyen çeki gerilmeleri giderilir.

Çubuklar 30-40 adet kapasitesindeki askılara dikey olarak asılır. Makine üzerinde de belirli yerlerde konumlu türbinler vardır. Askı operasyon esnasında kendi etrafında döndüğünden dolayı çubuğun her yüzeyi kumlanmış olur. Şekil 3.14'te çubuğun kumlanma şekli ve kullanılan çelik bilya gösterilmiştir. Kumlama prosesinin etkinliği her vardiya başlarında yapılan aşağıdaki testler ile kontrol edilir;

Almen testi: Almen plakası çubuk üzerine bağlanarak plakada meydana gelen sehim miktarı ölçülür ve prosese onay verilir.

Örtücülük: Almen plakasının yüzeyi mikroskop altında incelenir ve katalogdaki değerler ile karşılaştırılır. İstenilen örtücülük sağlanmaz ise kumlama süresi kısa kalmıştır veya depodaki kumların tane boyutları küçülmüştür, yeni kum eklenmesi gerekmektedir.

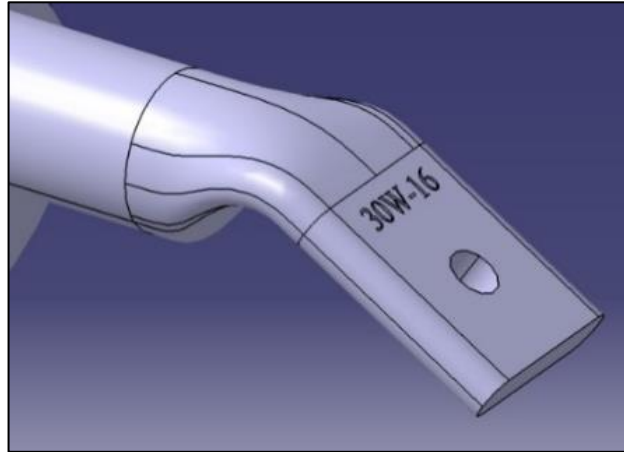
Elek analizi: Kumlama askısına asılan hazneye dolan kumlar elek analizine tabi tutulur. Elenen miktarın kütlesi toplam kütlenin %15'ini geçtiği zaman makineye yeni kum ilavesi yapılır.



Şekil 3.14. Kumlama prosesinde bilyaların püskürtülmesi

3.3.3. Markalama

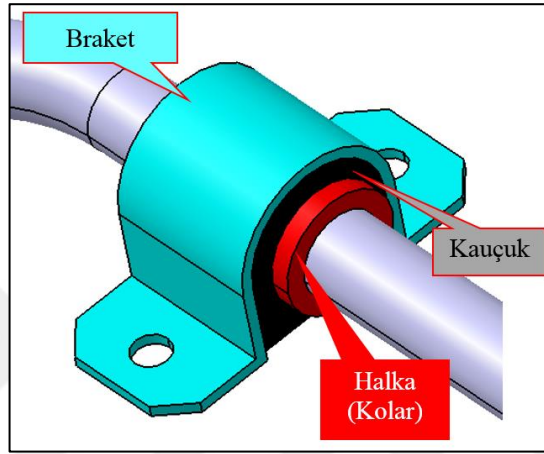
Müşteri isteğine bağlı bir prosestir. Çubuğun üretime başladığı hafta veya güne göre nokta vuruşlu makine ile markalama yapılır. Bu prosesin amacı çubukta herhangi bir problem meydana geldiği zaman geriye dönük izlenebilirliği sağlamaktır. Şekil 3.15'te dövme bölgesine uygulanan markalama işlemi gösterilmiştir. 30W-16: 2016 yılının 30.haftası anlamına gelmektedir.



Şekil 3.15. Markalama örneği

3.3.4. Halka montajı

Çubuk şaseye kauçuk ve braket ile bağlanır. Sürüş esnasına özellikle virajlarda çubuğun kauçuk içinde sürüş esnasında kaymasını önlemek amacıyla kullanılan stoper parçalarıdır. Yatak bölgelerinde kauçuğun iç veya dış kısımlarına bakan yerlere mekanik olarak çakılırlar. Şekil 3.16’da koların çubuk üzerindeki konumu gösterilmiştir.



Şekil 3.16. Koların konumu

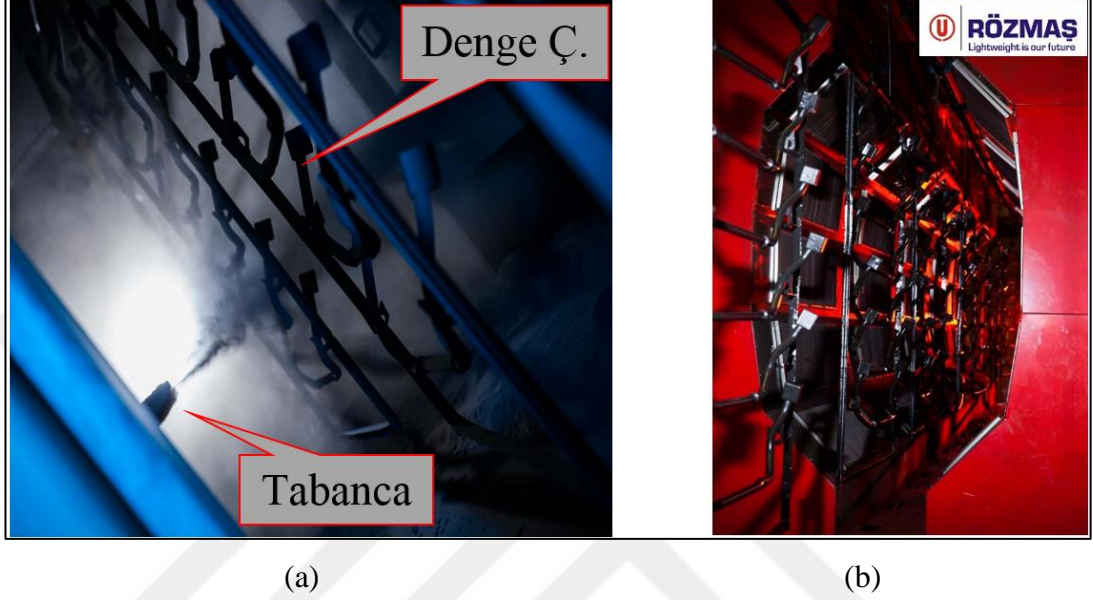
3.3.5. Toz boyama

Çubuğun korozyona karşı korunması için yapılan ve solvent içermeyen bir yüzey kaplama türüdür. Boya işlemi öncesi çubuklar yüzey hazırlama banyolarına girer. Yüzey hazırlama işlemleri sırasıyla yağ alma, durulama, aktivasyon, çinko fosfat, durulama, pasivasyon ve durulama işlemlerinden oluşur.

Toz boya prosesinde özel boya tabancaları kullanılır. Boya partikülleri bu tabanca ile püskürtülür. Çubuk ise konveyöre bağlı askılara asılır. Tabancadan çıkarken elektrostatik “-“ yük ile yüklenen toz boya partikülleri askıdaki çubuğa yapışarak boyama işlemi gerçekleşir. Aynı yükteki toz boya taneciklerinin de birbirini itmesi sonucu homojen bir dağılım elde edilir. Boyanın yüzeye iyi yapışabilmesi için askının da iyi topraklanması gerekmektedir.

Malzeme toz boya ile kaplandıktan sonra pişirme fırınına girer. 180°C-200°C arasında olan fırın ısısı toz boyanın erimesini ve malzeme üzerine yapışmasını sağlar. Sonuçta çok dayanıklı, ekonomik, çevre dostu, geniş renk yelpazeli ve parlak bir

yüzey kaplaması elde edilir. Solvent içermemesi, yüzey kalitesi, dayanıklılığı, boya geri kazanım sistemi, ekonomikliği ve çevre duyarlılığı elektrostatik toz boyamayı geleneksel boyama işlemlerine göre daha çekici bir alternatif yapmaktadır. Şekil 3.17’de toz boya kabini ve pişirme fırını gösterilmektedir.



Şekil 3.17. a) Toz boya kabini b) Pişirme fırını

3.3.6. Tanım rengi

Tanım rengi prosesinde boya sonrasında çubuğun dış çapı, dövme kalınlığı, delik çapı geçer geçmez masterları ile kontrol edilir. Boya vb. kusurlar ise göz ile kontrol edilir. Müşteri firma tarafınan istenmişse tanım rengi vurulur. Tanım rengindeki amaç aynı forma sahip dış çapı veya iç çapı farklı olan kardeş çubukların karışmasını önlemektir.

3.3.7. Aksesuar montajı

Müşterinin isteğine bağlıdır. Bazı projelerde müşteri kauçuk ve braketini kendi montaj hattında takmaktadır. Kauçuk ve braket çubuk üzerine mekanik birleşme yöntemi ile takılır. Braket alt-üst braket veya üst braket olarak iki farklı şekilde olabilir. Şasenin tasarımına bağlıdır. Şekil 3.16’da braket ve kauçuğun konumu gösterilmiştir.

3.3.8. %100 kontrol ve etiketleme

Bütün proseslerden geçen ürünün final kontrolü master ile yapılır ve üzerine müşteri isteğine göre içeriği değişen barkod yapıştırılır ve sevkiyata gönderilir. Bu proste de markalama prosesinde olduğu gibi barkod üzerinden ürünün izlenebilirliğini sağlanmaktadır.



4. DENGE ÇUBUĞU ISIL İŞLEMİ

Denge çubuklarının süspansiyon sisteminin en önemli elemanlarından birisi olması ve emniyet amaçlı kullanılmasından dolayı; mekanik özelliklerinin çok iyi olması gerekmektedir. Denge çubuğu olarak kullanılacak malzemenin;

- Yüksek akma mukavemeti,
- Yüksek yorulma dayanımı,
- Yüksek orantı sınırı
- Şekil verme esnasında kırılmaması için uygun süneklikte olması gibi özelliklere sahip olması gerekmektedir.

İstenilen mekanik özelliklerin sağlanabilmesi için kullanılacak olan hammaddenin karbon ve alaşım elementleri oranının ve yapılan ısıl işlemin prosesinin uygun olması gerekmektedir.

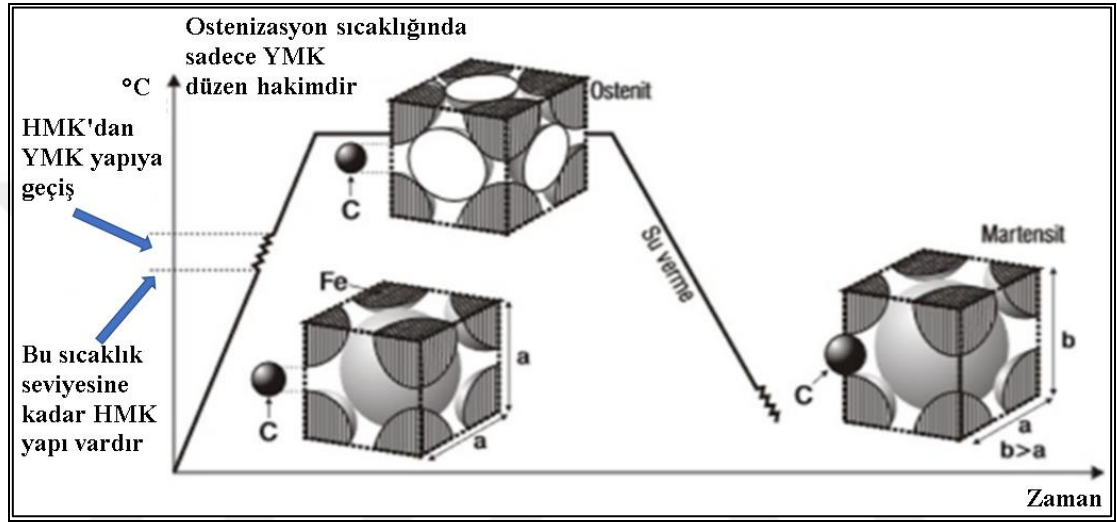
Kondüksiyon ile ısıtılan boruların yüzeyi ile iç yüzeyi arasında sıcaklık farkı olduğu gibi Şekil 3.7’de de gösterildiği üzere bükümün iç yüzeyi ile dış yüzeyinde de sıcaklık farkları oluşur. Sertleştirme esnasında bu sıcaklık farklarından dolayı ve faz dönüşümlerinden dolayı ısıl işlem esnasında oluşan hacim değişimleri sonrasında artık iç gerilmeler oluşur. Artık gerilmeler yük altında çalışan parçaların yorulma dayanımlarının azalmasına neden olur. Malzemede mekanik özelliklerim homojen olması için; alaşım elementlerinin dağılımının homojen, ısıl işlemin uygun olması, iç gerilmelerin ve tane sınırlarındaki kalıntıların en aza indirilmesi gerekmektedir.

Isıl işlem, bir malzemenin özelliklerini ve/veya içyapısını değiştirmek amacıyla, o malzemeye belli bir sıcaklık-zaman programı dahilinde uygulanan bir ısıtma ve soğutma işlemleri sırasındır.

Isıl işlem;

- Tavlama (östenitleştirme)
- Sertleştirme (su verme)
- Menevişleme olmak üzere üç aşamadan meydana gelir.

Şekil 4.1'de malzemenin tavlama, sıcaklıkta bekletme ve su verme adımları gösterilmiştir.

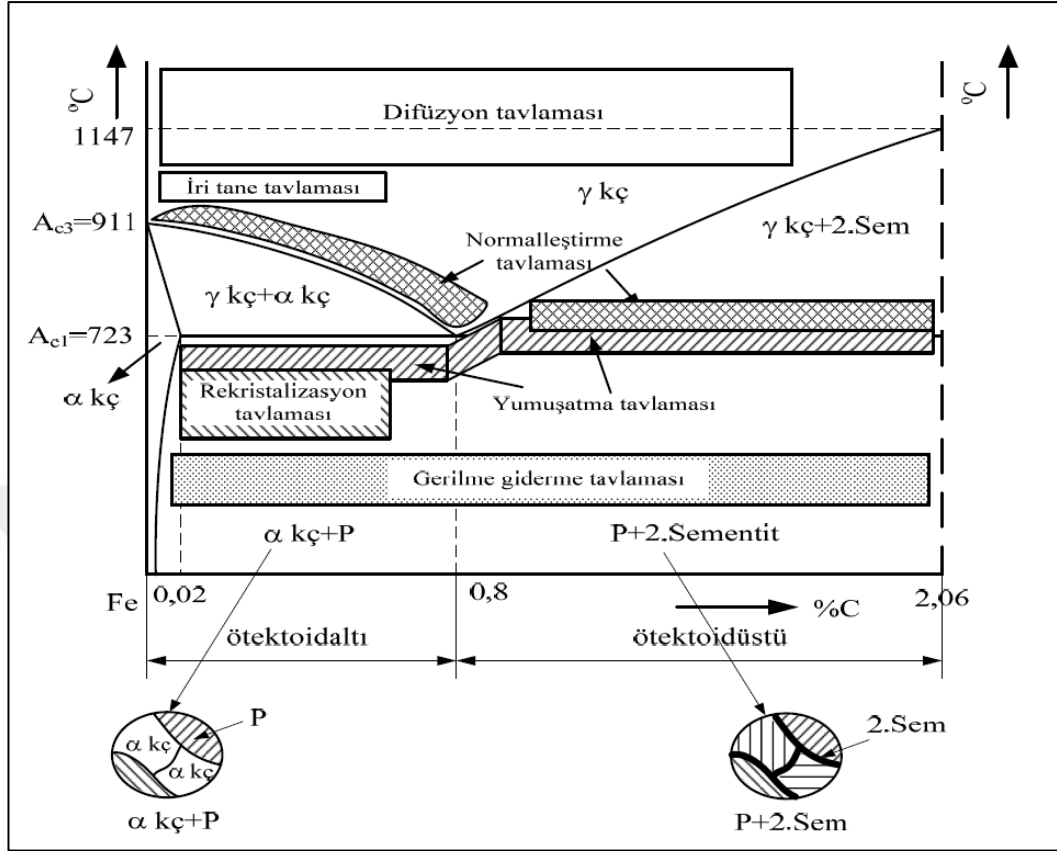


Şekil 4.1. Tavlama-sıcaklıkta tutma-su verme sıcaklık-zaman grafiği [13]

4.1. Tavlama- Östenitleştirme

Çeliklere uygun bir ısıl işlemin yapılabilmesinin birinci adımı östenitleştirme. Çelik bu fazda en yüksek karbon çözünürlüğüne sahiptir. Mekanik özelliklerin uniform olarak dağılabilmesi için karbon ve alaşım elementlerinin homojen dağılması gerekmektedir. Karbon ve alaşım elementlerinin homojen dağılımı ise çeliği uygun östenitleştirme sıcaklığına ısıtarak ve uygun sürede tutarak elde edilir. Östenitleştirme sıcaklığının çok üstüne çıkıldığı zaman tane boyutunun büyümesine ve parçanın karbon kaybetmesi (dekarbürizasyon) gibi olumsuz etkilere neden olabilir. Dekarbürizasyon yüzeydeki sertlik değerini düşürdüğü gibi tane büyümesi ile birlikte de yorulma ömrünü de olumsuz etkilemektedir.

Şekil 4.2’de Fe-C diyagramı üzerinden çeliklerin ısıtılma sıcaklığı gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Çelikler için ısıtılma sıcaklık aralığı [14]

Ferrit (α): %0,02 karbon içeren çeliklerin oda sıcaklığından 723°C’ye kadar yapısıdır. Hacim merkezli kübik yapıdadır. Karbon çözünürlüğü maksimum %0,022’dir. Manyettiktir.

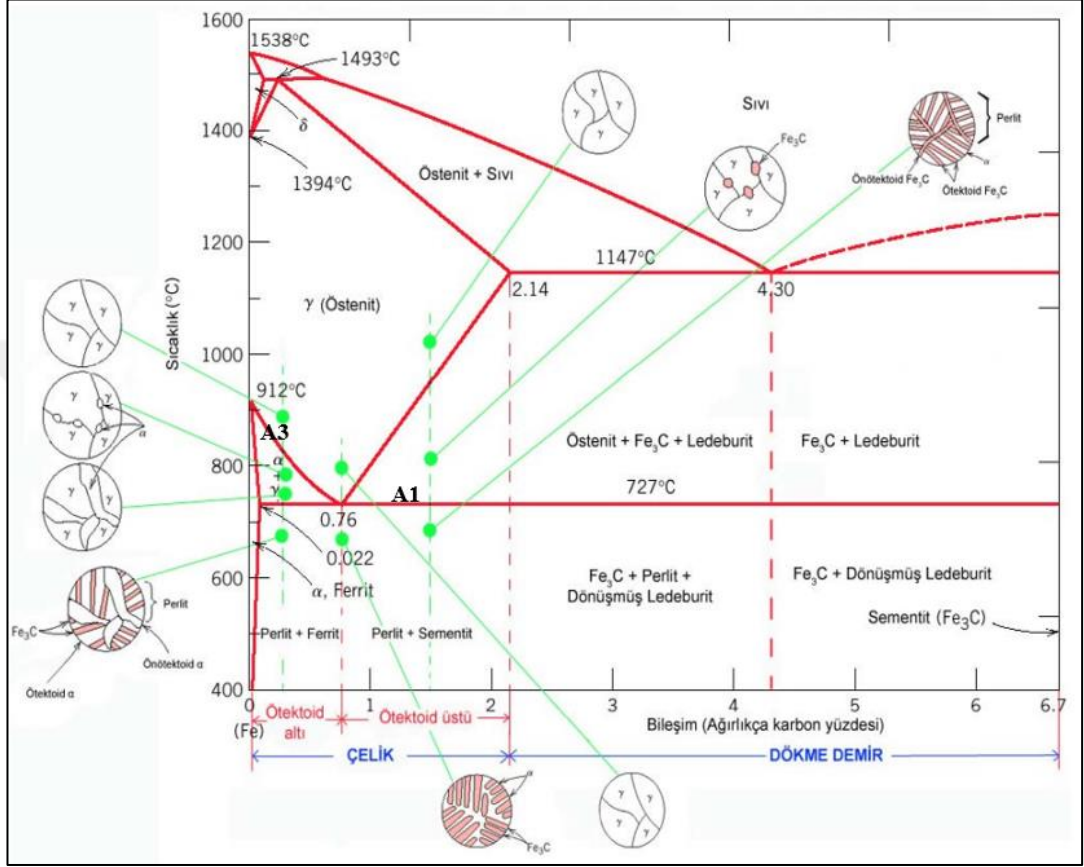
Östenit (γ): Çeliğin yüksek sıcaklık yapısıdır. Karbon çözünürlüğü; yüzey merkezli kübik yapı olduğu için yüksektir. Yüzey merkezli kübik yapıda olduğu için en kolay şekillendirilebilen faz yapısıdır. Antimanyettiktir.

Sementit (Fe_3C): Yapısında %6,67’ye kadar C içeren bir intermetalik yapıdır. Kırılgandır.

Perlit: Östenit fazından dönüşen ferrit ve sementit fazlarından meydana gelen lamelli bir yapıdır. Lamelli bir yapı olduğu için tane boyutu yoktur ancak lameller arası mesafesi vardır. %0,8 C içeriğinde (ötektoid noktada); yapı %100 perlittir. Çeliğin C

içeriği arttıkça; sementit miktarı artarken perlit miktarı azalır. Çeliğin C miktarı 0,8’ den 0,02’ ye gidene kadar perlit miktarı azalırken; ferrit miktarı artar.

Şekil 4.3’te Fe-C denge diyagramı verilmiştir.



Şekil 4.3. Demir-Karbon denge diyagramı [15]

Malzemenin östenit dönüşüm başlangıç sıcaklık değeri, bitiş değeri, martenzit dönüşümün başladığı sıcaklık değeri, martenzit oluşumu sıcaklık üst sınırı, östenitleştirme sıcaklıkları Denklem (4.1), Denklem (4.2), Denklem (4.3), Denklem (4.4), Denklem (4.5) ve Denklem (4.6)’daki gibi;

A_1 = Östenit dönüşümün başladığı sıcaklık değeri [16];

$$A_1 = 727 - 16,9Ni + 29,1Si + 6,38W - 10,7Mn + 16,9Cr + 290As \quad (4.1)$$

A_3 = Östenit dönüşümün bittiği sıcaklık değeri [16];

$$A_3 = 910 - 203\sqrt{C} + 44,7Si - 15,2Ni + 31,5Mo + 104V + 13,1W - 30Mn + 11Cr + 20Cu - 700P - 400Al - 120As - 400Ti \quad (4.2)$$

M_s = Martenzit dönüşümün başladığı sıcaklık [16];

$$M_s = 539 - 423C - 30,4Mn - 17,7Mn - 12,1Cr - 11Si - 7Mo \quad (4.3)$$

Martenzit oluşumu için uygulanacak sıcaklık üst sınırı (MS) [16];

$$\text{Log}(M_s) = 3,725C + 0,046Si + 0,626Mn + 0,706Cr + 0,52Mo + 0,026Ni + 0,675Cu - 1,818 \quad (4.4)$$

Östenitleştirme sıcaklığı [16];

$$\text{Ötektoid altı çelikler} = A_3 + (20-40)^\circ\text{C} \quad (4.5)$$

$$\text{Ötektoid üstü çelikler} = A_1 + (20-40)^\circ\text{C} \quad (4.6)$$

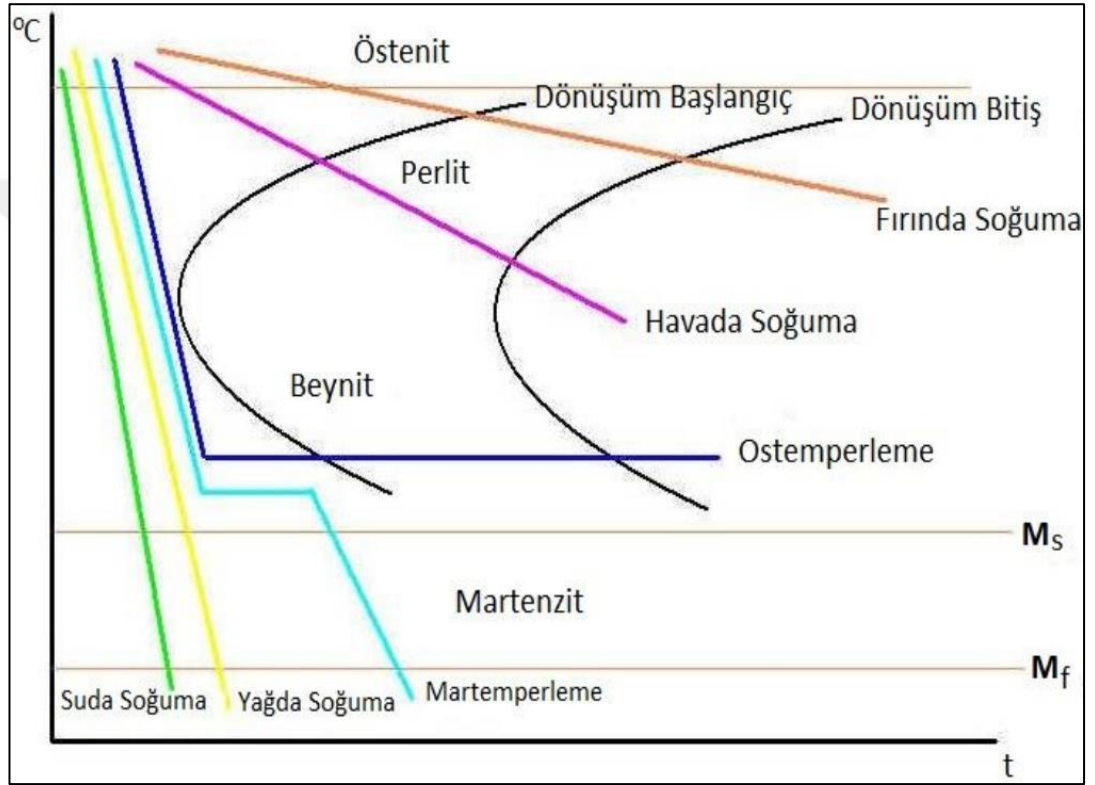
ifadeleriyle hesaplanır.

4.2. Sertleştirme

Çeliklerde sertlik ve akma dayanımı değerleri gibi özellikler ısıl işlem sürecinde sertleştirme operasyonu ile elde edilir. Çelik uygun bir sertleştirme ortamına uygun bir sıcaklık ve hız ile girip ve uygun sürede kaldığı zaman yüzey merkezli kübik(YMK) östenit yapı çeliğin karbon oranına göre hacim merkezli tetragonal(HMT) veya hacim merkezli kübik(HMK) kristal kafes yapısına sahip olan martenzit yapıya dönüşür. YMK yapıya sahip östenit faz soğuma sırasında HMT veya HMK yapılı sert martenzit yapıya dönüştüğü esnada YMK yapıda yer alan arayer atomları(C) kafesi terk edemediklerinden dolayı kafes içerisinde sıkışarak kafes yapısında değişimlere ve gerilimlere neden olurlar. Bu durumda malzemenin karbon oranı arttıkça daha fazla arayer atomları sıkışacağından dolayı sertliği de artacaktır. Karbon oranı %0,6'dan az ise lata martenzit oluşup kafes yapısı HMK'dır. Lata martenzit yüksek dislokasyon yığılması alt yapılıdır, paralel çubuksu yapılar gösterir ve birbirine göre homojen büyüme vardır. Karbon oranı %0,6'dan yüksek ise plaka martenzit oluşup kafes yapısı HMT'dir. Plaka martenzit ise ikizlenme yığımları alt yapılıdır ve birbirine göre heterojen açılı zigzaglı yapı vardır. 34MnB5 boru denge çubuğu malzemesi %0,34 karbon içerdiğinden dolayı sertleştirme sonrası lata martenzitik bir yapı göstermektedir. Oluşan martenzitik yapı malzemenin akma

dayanımını arttırsa da malzemenin gevrekleşmesine de neden olur. Gevrek yapı da malzemenin kullanım alanını kısıtlamaktadır.

Martenzitik yapı yarı termodinamik olarak kararsız bir yapı olduğu için Fe-C denge diyagramında olmayan bir faz olup TTT (Zaman, Sıcaklık, Dönüşüm) diyagramı ile gösterilir. Şekil 4.4'te TTT diyagramında martenzit başlangıç ve bitiş sıcaklık sınırları gösterilmiştir.



Şekil 4.4. TTT zaman-sıcaklık-dönüşüm diyagramı [17]

Yapıda artık östenitin kalması, soğuma sırasında perlit, ferrit gibi fazların oluşması sertlik değerinin ve tokluk, süneklik gibi mekanik özelliklerinin düşmesine neden olur. İstenmeyen bu ara fazların oluşumunu önlemek için hesaplanan-belirlenen süreler aralığında soğutma yapılmalıdır.

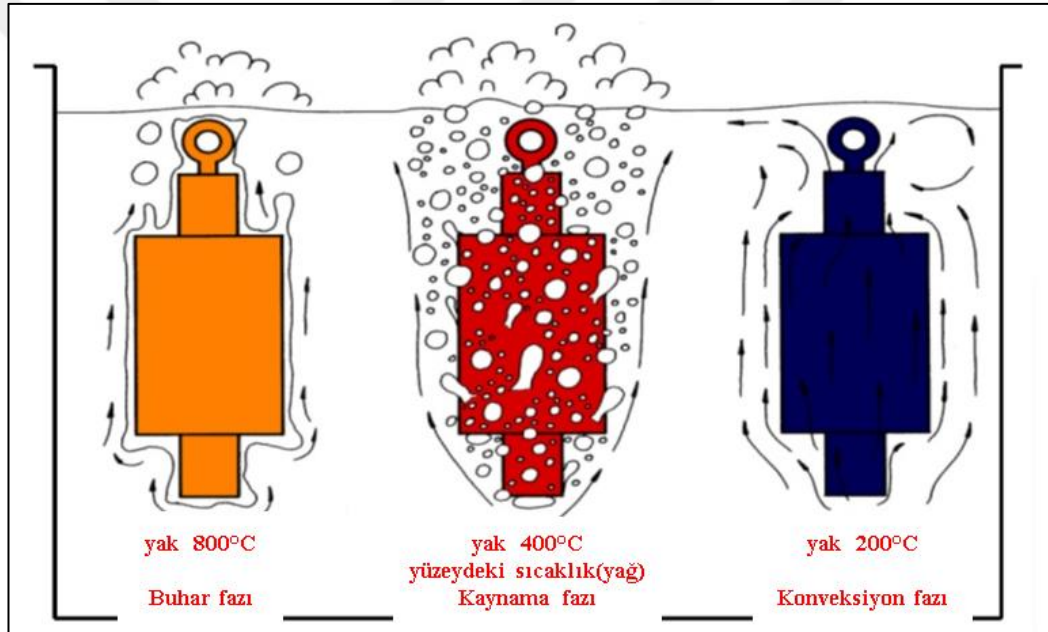
Elde edilen martenzit yapının sertliği yüksek olsa da yapının gerilimli ve tokluk özelliğinin düşük olması doğrudan kullanılmasına engel olmaktadır. Bu yüzden yapıdaki gerilimi almak, sertliğinde az bir düşüş olsa da tokluk özelliğini arttırmak için menevişleme operasyonu yapılır.

4.2.1. Sertleştirme esnasında oluşan fazlar

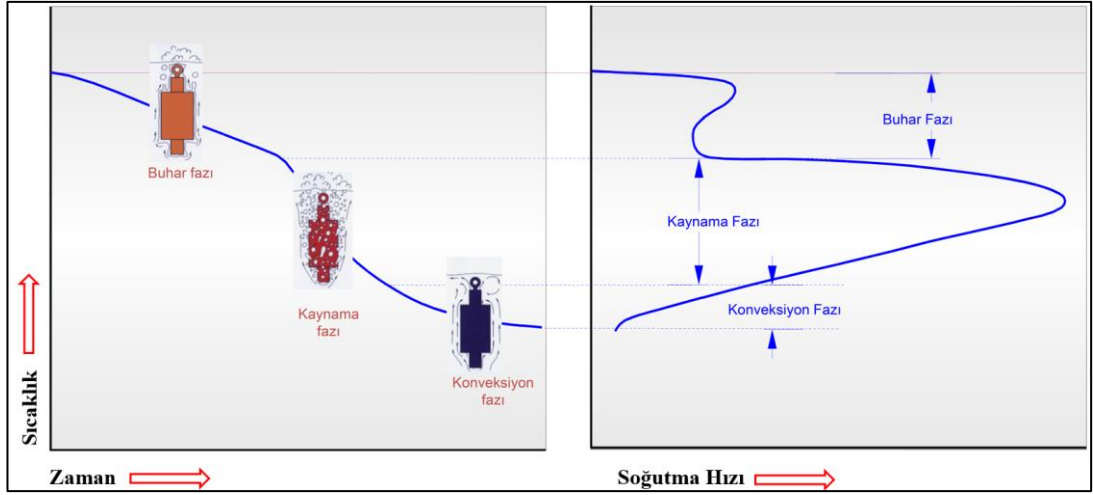
Tavlanmış parçanın sertleştirme banyosuna daldırılmasının ardından üç faz meydana gelir ve sırasıyla;

- 1- Buhar fazı
- 2- Kaynama fazı
- 3- Konveksiyon fazı

Fazlar Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Sıcaklık ve süreye bağlı olarak soğutma fazlarının değişimi ve su verme eğrileri ve soğutma hızı eğrilerinin sıcaklık-zaman ekseninde karşılaştırılması Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.5. Su verme işleminin 3 fazı [18]



Şekil 4.6. Su verme eğrileri ve soğutma hızı eğrilerinin sıcaklık-zaman ekseninde karşılaştırılması [18]

4.2.1.1. Buhar fazı

Malzeme sertleştirme banyosuna girdiği zaman meydana gelen fazlardan birincisi olup yüksek sıcaklıktaki parçanın etrafında yalıtkan buhar örtüsü (gömleği) oluşur. Bu fazda ısı iletimi radyasyonla meydana gelir ve yalıtkan buhar örtüsünden dolayı soğuma hızı düşüktür. Buhar örtüsü, parçadan ortama aktarılan ısı ısı işlem sıvısının buharlaşması için gereken miktardaki ısıya ulaşana kadar korunur.

Sıcak parçanın iç kısmından dışarıya doğru aktarılan sıcaklık banyo sıvısının kaynama sıcaklığının üstüne çıktığı anda kaynama fazı başlar. Buhar fazının kısa geçilmesi hızlı soğumayı engelleyerek parça yüzeyinin eşit miktarda soğumasını sağlar ve çatlak riskini azaltır.

4.2.1.2. Kaynama fazı

Yalıtkan buhar tabakası ortadan kalkar, kaynama fazı başlar ve parça ile ısı işlem sıvısı temas halinde olduğundan hızlı bir ısı transferi meydana gelir. Sıcaklık zaman grafiğinde burun ne kadar yukarda ise martenzit oluşumu gerçekleşip malzemenin sertlik alması kolaylaşacaktır.

4.2.1.3. Konveksiyon fazı

Malzemenin ısısı, ısıtma sıvısının kaynama sıcaklığının altına düştüğü zaman kaynama fazı biter konveksiyon fazı başlar. Kaynama durur, ısı sıvıya konveksiyon ile iletilir. Bu faz ne kadar yavaş olursa çarpılmalar kontrol altına alınır.

4.2.2. Sertleştirme prosesinin kabiliyetini belirleyen etkenler

Sertleştirilecek olan malzemenin soğuma hızı ve sertleştirme sıvısının soğutma kabiliyeti sertleştirme prosesinin en önemli parametreleridir.

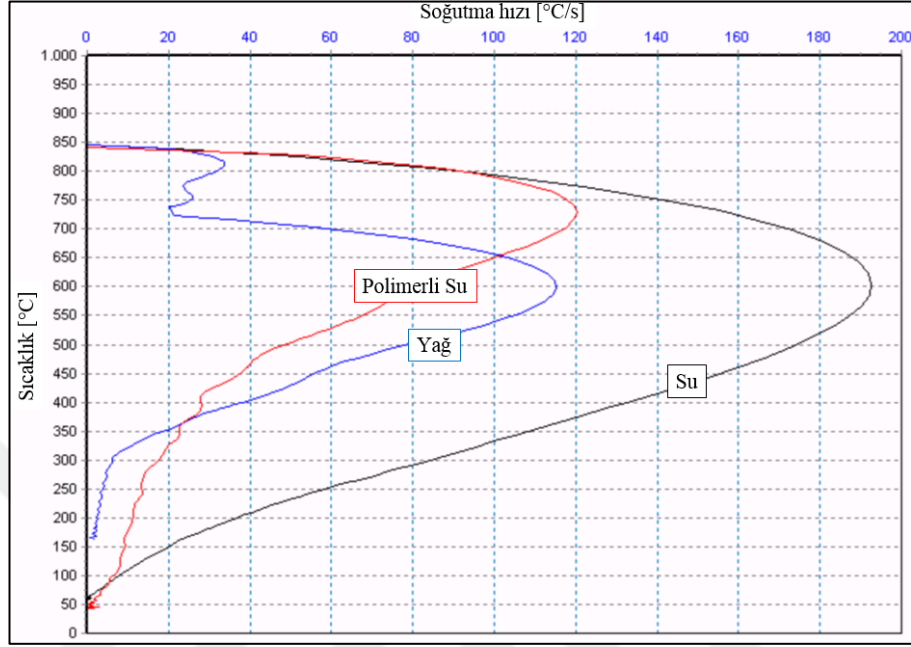
4.2.2.1. Soğuma hızını etkileyen faktörler

- Su verme ortamına daldırılan tavllanmış parçanın soğuma hızına etki eden faktörler;
- Sıcak parçanın formu, iki eksenli bükümlü veya üç eksenli bükümlü olması, kalınlığı veya çapı, boru-dolu kesitli olması,
 - Parçanın yüzey alanı,
 - Isıtma sıvısının tipi, soğutma kabiliyeti,
 - Banyo sıcaklığı,
 - Banyoda kalma süresi,
 - Parça yüzeyindeki oksit tabakasının kalınlığı,
 - Malzemenin ısı iletkenliğidir.

Şekil 4.6'da gösterildiği üzere büküm bölgelerinin dış kısmının et kalınlığı çekmeden dolayı hammadde et kalınlığından düşük olup iç kısmı ise basmadan dolayı hammadde et kalınlığından fazladır. Kondüksiyon ısıtma yöntemi ile yani çubuk üzerinden elektrik akımı geçirilerek tavlama yapıldığı için çubuk direnç gibi davranır. Bu yüzden et kalınlığın fazla olduğu büküm iç kısmı dış kısmına göre daha fazla ısınmaktadır. Aynı anda sertleştirme ortamına girdiklerinden dolayı büküm iç kısmı ile dış kısmı arasında sertlik farkları oluşacaktır. Parçanın düz bölgelerinde sertlik farkları düşüktür.

Isıtma sıvısının türüne göre soğutma hızı farklılık göstermektedir. En hızlı soğutucu sudur ve saf su ile şebeke suyu arasında yaklaşık 10°C/sn soğutma hızı farkı vardır. Su ve yağ arasında polimerli su kullanılmaktadır. Normalde yağ soğutma hızı polimerden düşüktür; ancak düşük viskoziteli ve hızlandırılmış yağın

polimerin birkaç tipinden daha hızlı soğutma etkisine sahip olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 4.7’de sertleştirme ortamlarının sıcaklık soğutma hızı grafiği gösterilmiştir [18].

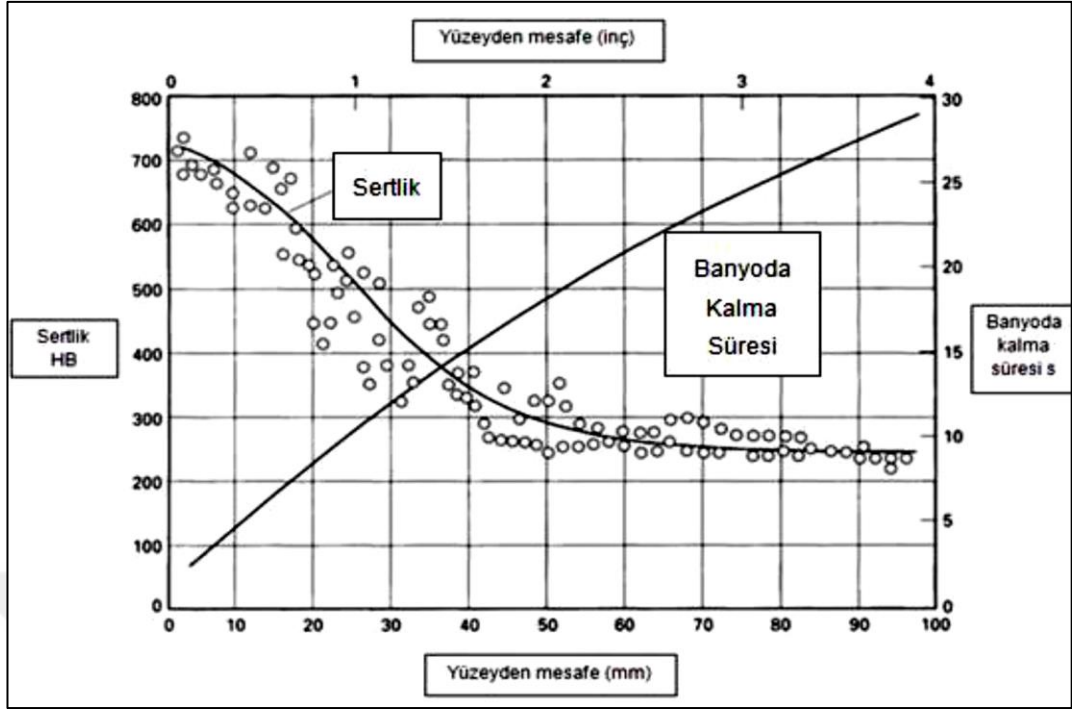


Şekil 4.7. Soğutma ortamı – soğutma hızı ilişkisi [18]

Banyoda yer alan ısı işlem sıvısının sıcaklığı arttıkça parça ile arasındaki sıcaklık farkı azalacağından bu durum soğuma hızını yavaşlatır. Banyo sıcaklığı ile parça arasındaki sıcaklık farkı 350-400°C olduğunda en yüksek soğuma hızı elde edilmiş olur. Banyo sıcaklığının yüksek olması;

- Buhar fazındaki soğuma süresini arttırır,
- Karıştırma ve konveksiyon fazlarındaki soğuma hızını yavaşlatır.

Banyo sıcaklığı sabit tutulup banyoda kalma süresi arttırılır ise parça yüzey sertlik değeri düşer; ancak yüzey ile çekirdek arasında sıcaklık farkı azalacağından dolayı çekirdeğe doğru sertleştirme sağlanmış olur. Banyoda kalma süresi kısaltılırsa, yani parça banyodan soğumadan çıkartılır ise sertleştirme sağlanamadığı gibi yüzey ile çekirdek arasında sıcaklık farkı olacağından dolayı termal yönlenmelerin oluşmasına, parçanın çarpılmasına ve parçada kalıntı gerilmelerin oluşmasına neden olur. Banyoda kalma süresi ile parçanın yüzey sertliği arasındaki ilişki Şekil 4.8’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Banyoda kalma süresi- yüzey sertliği ilişkisi [1]

Kondüksiyon ile tavlama yapılan ürünlerde dekarbürizasyon olacağından dolayı dekarbürizasyon miktarı fazla olduğu durumda bu katman yalıtkan özellik göstereceğinden dolayı soğuma hızı yavaşlayacaktır.

Sertleştirilecek olan malzemenin ısı iletkenliği ne kadar fazla olur ise banyo ile olan ısı transferi de o kadar artar ve hızlı soğuma elde edilmiş olur.

4.2.2.2. Soğutma kabiliyetini etkileyen faktörler

Sertleştirmede kullanılan ısı işlem sıvısının soğutma yeteneğine etki eden faktörler;

- Isıl işlem sıvısının ısı iletim katsayısı,
- Viskozitesi,
- Buharlaşma ısı- kaynama sıcaklığı,
- Buhar örtü tabakası,
- Banyoda sirkülasyon ve karıştırma yapıp yapılmamasıdır.

Isıl işlem sıvısının ısı iletim katsayısı ne kadar yüksek ise tavllanmış parça banyoya daldırıldıktan sonra banyonun soğutma kabiliyeti de o kadar artar.

Sıvının viskozitesinin yüksek olması ve yerel olarak farklılık göstermesi homojen olmayan ısı dağılımlarına ve parça üzerinden bölgesel sıcak bölgelerin kalmasına yani homojen olmayan sertlik dağılımına neden olur.

Banyoya parçanın daldırılmasından sonra buhar fazından kaynama fazına geçişin hızlanması ısı işlem sıvısının buharlaşma ısısına bağlıdır. Buharlaşma ısısı ne kadar düşük ise geçiş o kadar hızlı olur ve buhar tabakası kolay ve kısa sürede parçalanır. Buharlaşma ısısı ve kaynama sıcaklığı yüksek olan ısı işlem sıvılarının fazların oluşması için geçen süre artar ve soğuma yavaşlar. Bu nedenle buhar fazından kaynama fazına geçiş süresi arttığı zaman perlit dönüşümü artacağından dolayı malzemede istenilen sertlik elde edilmeyecektir.

Sertleştirme banyosunda sirkülasyon ve karıştırma sisteminin olması buhar fazında oluşan buhar tabakasının bozulmasını ve kısa sürede kaynama fazına geçilmesini sağlar. Sistemin olmaması parça boyunca homojen olmayan sertlik dağılımına, parçanın çarpılmasına ve parçada iç gerilmelerin oluşmasına neden olur. Benzer şekilde karıştırma hızının yüksek olması da özellikle martenzit oluşum bölgesinde çatlak oluşmasına neden olabilir.

4.2.3. Sertleştirme ortamları

Su verme ortamının seçimi sertleştirme sonrası istenilen sertliğe, alışımlı olup olmadığına, malzemenin çatlama riskine, parçanın kalınlığına (çekirdeğe kadar sertleşebilmesi) bağlıdır. Soğutma kapasitelerine göre çoğunlukla kullanılan su verme ortamları [18];

- Su
- Sulu çözeltiler
 - * Tuz çözeltileri
 - * Polimer solisyonlar
 - * Emülsiyonlar

- Su verme yağları
- * Normal hızlı su verme yağları
- * Yüksek hızlı su verme yağları
- * Yüksek performanslı sıcak banyo su verme yağları
- * Sıcak banyo su verme yağları
- Ergimiş tuz
- Gazlar

Sertleştirilecek olan parçanın soğuma karakterini belirleyen en önemli faktörlerden birisi soğutma ortamıdır. Bu tez çalışmasında; polimerli su ve yağ sertleştirme ortamlarında meydana gelen çarpılmaların denge çubuğunun yorulma ömrüne etkisi araştırıldığı için, bu kısımda soğutma ortamları olan polimerli su ve yağ olmak üzere iki farklı banyo ortamının özelliklerinden ve soğutma karakteristikleri ele alınacaktır.

4.2.3.1. Suda sertleştirme

En yüksek soğutma hızı suda sertleştirme ile elde edilir. Karbon oranı belirli bir seviyenin üzerinde olduğu durumda malzemenin çatlama riski söz konusudur. Örneğin numune olarak kullandığımız 34MnB5 suda sertleşme yapıldığında çatlamaktadır. Ayrıca suda sertleştirilen ürünlerde çarpılma(distorsion) seviyesi de yüksektir.

Yöntemin diğer ortamlara göre öne çıkan özellikleri;

- Ekonomik olması, herhangi bir katkı maddesi kullanmaksızın şebeke suyunun kullanılabilir olması,
- Mineral yağ veya herhangi bir zararlı madde içermemesi,
- Banyo duvarları korozyona karşı korunduğu sürece suyun bozulmamasıdır.

Dezavantajları;

- Karbon oranı %0,3'ün üzerinde olan ve Ni, V ve Cr gibi yüksek oranda alaşım elementi içeren alaşımlı çeliklerin suda çatlama riskinin olması,
- Çarpılma oranının yüksek olması,
- Kalıntı gerilmelerin oluşmasıdır.

Bu yöntemde parçalar sertleştirilirken buhar fazında homojen olmayan sertlik dağılımları ve stress yığılmaları meydana gelir. Buhar örtüsü yaklaşık olarak 700°C’de kısmen parçalanır ~350-400°C’de ise tamamen parçalanır, kaynama fazı başlar ve soğuma hızlanır. Parça sıcaklığı suyun kaynama sıcaklığının altına indiği zaman kaynama durur ve konveksiyon fazı başlar. A₃ ve A₁ hatları soğutma hızı yüksek olduğundan yüksek oranda çarpılmalar meydana gelir.

4.2.3.2. Polimerli suda sertleştirme

Suda çatlak riski olan parçaların sertleştirilmesinde alternatif bir yöntemdir. Soğutma hızı yağ ve su arasındadır. Polimerli su kullanımı yerine yağda da sertleştirme yapılabilir; ancak sertleştirme sonrası istenilen sertlik değeri yağda elde edilemeyecek kadar yüksek olduğu durumlarda ve parçanın yağda kalma süresinin uzun olması gibi nedenlerden dolayı polimerli su tercih edilir. Yani kullanılacak olan banyonun kapasitesi yeterli olmadığı durumda polimerli su kullanılabilir. Polimerli sertleştirme ortamında kullanılan en yaygın polimerler; polialkolin glikol, polivinil piroolidon ve polisodyum akrilat, polyethyl oxazoline’dir [1].

Yöntemin diğer ortamlara göre öne çıkan özellikleri;

- Suya göre daha az çarpılma,
- Konsantrasyon yardımıyla su verme özelliklerinin kolayca ayarlanması,
- Geniş kullanım alanının olması,
- Meneviş öncesi yıkama gerektirmemesi,
- Mineral yağ veya herhangi bir zararlı madde içermemesi.

Dezavantajları;

- Polimer banyosunun günlük görünüş, koku, pH ve konsantrasyon kontrolünün yapılması gerekmektedir. Haftalık da tankın temizlenmesi gerekmektedir. Ayrıca aylık da günlük kontrollere ek olarak iletkenlik, korozyon ve bakteriyolojik testlerinin yapılması gerekmektedir. Bu testler için gerekli cihaz altyapısı kullanıcı her firmada olmadığından dolayı sürekli bir analiz maliyeti oluşmaktadır. Temizlik, su ve polimer eklenme işlemi zamanında yapılmaz ve özellikle gerekli analizler takip edilmez ise aşağıdaki olumsuz durumlar meydana gelir.
- Gün içinde konsantrasyonunun değişmesi banyonun soğutma hızının da değişmesine neden olur (kullanılan polimer-su konsantrasyon aralığı %6-9).

- İletkenlik değerinin yükseldiği durumda parçada korozyon meydana gelmesi, bu durumda banyo komple temizlenir.
- Serbest yağ olmamalıdır. Olduğu durumda polimere karışarak bölgesel soğuma etkisinin değişmesine neden olur, bu durumda banyo dinlendirilerek yüzeye çıkan yağ tabakası temizlenmelidir.
- pH değerinin düşmesiyle bakteriler oluşur. Bakteriler banyo yapısını bozar ve banyonun yeniden kurulması gerekmektedir. Ayrıca bakteriler kötü kokuya ve cilt hastalıklarına neden olur.

Normal şartlar altında kurulmuş bir polimer su banyosunda yapılan sertleştirmede homojen soğutma sağlandığı takdirde ısıl yönlendirmeler ve çarpılmalar azalır.

Polimerli suda sertleştirmede soğutma hızını etkileyen 4 etken bulunmaktadır;

- Polimer su konsantrasyon oranı
- Banyonun sıcaklığı
- Karıştırma hızı
- Kirleticiler

Üretici firmanın malzeme bilgi formuna göre polimer konsantrasyon oranı %6-12 arasındadır. Konsantrasyon oranı yüksek olduğu zaman buhar fazında parça etrafında meydana gelen buhar gömleğinin kalınlığı da fazla olacağından dolayı soğuma da yavaş olacaktır.

Polimerli su banyosunda banyo sıcaklığı 25-45°C arasında olmalıdır. 45°C üzerinde ise banyo yapısında bozulmalar meydana gelmektedir.

Banyoda karıştırma yapılarak polimerin çökmesi engellenerek her yerde eşit şekilde dağılması sağlanmaktadır. Benzer şekilde parçadan ortama homojen bir ısı transferi olur ve istenmeyen dönüşümler engellenmiş olur. Karıştırma olmadığı zaman veya dengesiz olduğu zaman parça üzerinde homojen olmayan sertlik bölgeleri hatta soğumamış dönüşüm olmamış bölgeler olmaktadır.

Polimerli suyun viskozitesi sıcaklık ve konsantrasyona bağlı olsa da kirleticiler de viskoziteyi etkiler. Polimerli su banyosunda meydana gelen bakteri, çamur, parçadan gelen yağ, kazan hidrolik sisteminden gelen yağ veya pnömatik sisteminden gelen

kaçak hava gibi kirleticilerden dolayı homojen olmayan film parça yüzeyinde homojen olmayan ısı transferine yani termal gradyanların oluşmasına neden olur. Oluşan bu termal gradyanlar parçadaki çarpılmaların artmasına ve çatlak riskinin oluşmasına neden olur.

4.2.3.3. Yağda sertleştirme

Yağın soğutma hızı soğutma ortamı grafiğine göre suya göre yavaş bir soğuma hızına sahip olduğu anlaşılmaktadır. Yağda sertleştirme işleminde konveksiyon fazında yavaş bir soğuma olacağından dolayı çarpılmalar kontrol altına alınabilir.

Yöntemin diğer ortamlara göre öne çıkan özellikleri;

- Soğutma hızının düşük olması,
- Polimerli suda olduğu gibi parça üzerinde korozyon riskinin olmaması,
- Polimerli suda olduğu gib sürekli konsantrasyon ölçümü yapılmamasıdır.

Dezavantajları;

- Yangın tehlikesinin olması,
- Parçanın yağa teması ile duman ve N₂, CO₂ gazların oluşmasıdır.

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

- Kirleticiler,
- Viskozite ve karıştırma hızı,
- Yağ banyosunun sıcaklığıdır.

Polimerli su banyosunda olduğu gibi yağ sertleştirme ortamında da kirleticiler soğuma hızına etki etmekte ve çarpılmalara ve çatlamalara neden olmaktadır. Banyoya bir damla suyun girmesi yağın özelliklerini büyük oranda olumsuz yönde değiştirir ve su parça üzerinde homojen olmayan sertlik dağılımına neden olur. Yağ oksidasyona uğradığında yağda çapraz bağlı moleküllerin oluşmasına yani çamur oluşmasına neden olur. Oksidasyonu engellemek için yağın mümkün olduğunca hava ile temasını engellemek gerekmektedir.

Çalışma esnasında yağın sıcaklığı 40-70°C arasında olmalıdır; ancak 34MnB5 gibi düşük karbonlu çelikler için çalışma sıcaklık alt sınırı 25°C'ye çekilebilmektedir. Yağın çalışma sıcaklığı düşük olduğu zaman parçada çatlak oluşabilir. Çalışma

sıcaklığı yüksek olduğu zaman ise yağın yanmasına ve yaşlanarak kullanım ömrünün kısalmasına neden olur.

4.3. Menevişleme

Östenit fazdan martenzit yapıya dönüşüm esnasında yapıda gerilimler meydana gelir. Martenzit yapı sert olsa da tokluğu da düşüktür. Gerilimi almak ve tokluk özelliğini arttırmak için martenzit yapıya sahip çelik menevişleme operasyonuna tabi tutularak temper martenzit yapı elde edilir. Sertleştirme prosesine göre elde edilen sertlik değeri düşse de dayanıklı bir yapı elde edilmiş olur.



5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Polimerli su ve yağ sertleştirme ortamlarında meydana gelen çarpılmaları ölçmek, çarpılan çubuğun mastara uygun hale getirilmesi için yapılan doğrultma prosesinin ürün ömrüne etkisini görmek için yorulma testleri yapılmıştır.

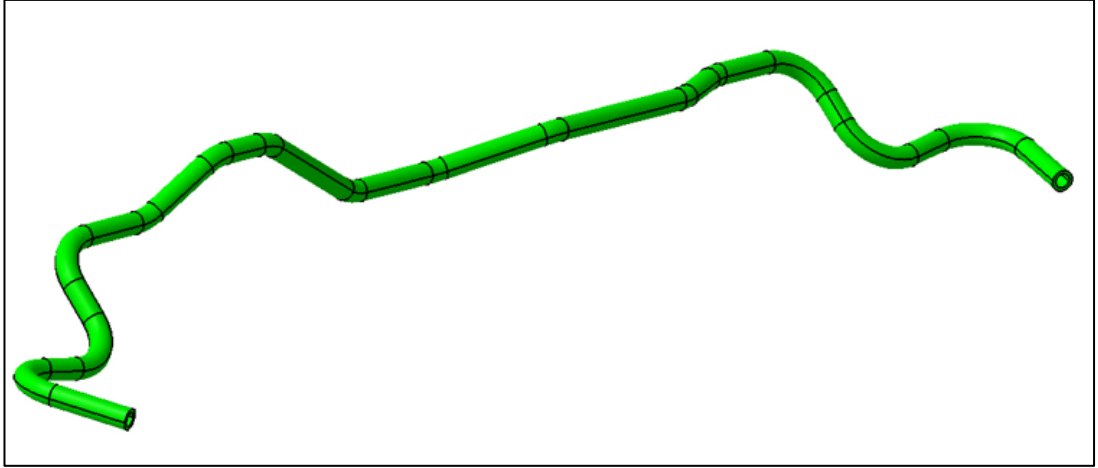
Hammaddesi 34MnB5 olan Rözmaş1 nolu boru denge çubukları CNC büküm makinesinde soğuk büküm yöntemiyle bükülmüş ve bükülmüş formları üç boyutlu ölçüm cihazında ölçülerek referans formlar oluşturulmuştur. Çubuklar polimerli su ve yağ ortamlarında sertleştirilmiştir ve sertleştirme sonrası formları da tekrar üç boyutlu ölçüm cihazında ölçülmüştür. Sonrasında bükülmüş referans forma göre olan sapmalar ölçülmüştür. Çubuklar meneviş prosesi sonrasında doğrultma prosesine tabi tutulmuştur. Meydana gelen çarpılmalardan dolayı çubuğu kontrol mastarına uygun hale getirmek için yapılan doğrultma sayısı, doğrultma yapılan bölgeler tespit edilmiştir. Daha sonra doğrultulan çubukların prosesleri tamamlanarak çubuklar yorulma testine bağlanmıştır. Çubuğa FEM analizi yapılarak çıkan max strese göre ömür tayin edilmiş olup yorulma testindeki değerler kıyaslanmıştır.

5.1. Soğuk Büküm

Polimerli su ve yağ sertleştirme banyosunda sertleştirilecek çubuklar 8 eksenli CNC soğuk büküm makinesinde kontrol mastarına uygun şekilde bükülmüştür. Bükülmüş çubukların formu üç boyutlu ölçüm cihazında ölçülmüştür. Tablo 6.1’de Rözmaş1 nolu ürünün ölçüleri ve Şekil 5.1’de de formu gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Rözmaş1 nolu ürünün ölçüleri

Ürün Kodu	Malzeme	“ØD”-Dış Çap [mm]	“t”-Et Kalınlığı [mm]
Rözmaş1	34MnB5	18,0	3,0



Şekil 5.1. Rözmaş1 nolu ürünün formu

5.2. Kondüksiyon Tavlama

Bükülen parçaların kondüksiyon yöntemi östenit bölgeye tavlannmıştır. Bükülen parçanın düz bölgelerindeki et kalınlıkları üniform olsa da büküm bölgelerinin iç kısmında hammadde et kalınlığına göre kalınlaşma dış kısmında ise incelmeye olacaktır. Bu yüzden kondüksiyon ısıtma yöntemi ile ısıtılan çubukta belirli bir süre de düz bölgede, bükümlerin dış yüzeylerinde ve iç yüzeylerinde farklı sıcaklıklar oluşacaktır. Yani min sıcaklık büküm dış yüzeyinde; max sıcaklık ise bükümün iç yüzeyinde oluşacaktır. Tam dönüşümün sağlanabilmesi için parçanın östenitleştirme sıcaklığına kadar tavlannması gerektiğinden parça üzerindeki en düşük sıcaklığa sahip olan omuz dış bölgesinin sıcaklığı sıcaklık ölçerler ile kontrol edilir ve makine ısıtmayı bu bölgenin sıcaklığına göre durdurur. 34MnB5 malzemesinin östenit sıcaklığı hesaplanarak kondüksiyon ısıtmada ısıtma parametreleri belirlenir. A_3 östenit dönüşümünün tamamlandığı sıcaklığın hesabı Denklem (4.2)'de verilmiştir; ancak 34MnB5 bor alaşımlı çelikler için Denklem (5.1)'deki gibi;

$$A_3(^{\circ}C) = 902 - 255C - 11Mn + 19Si - 5Cr + 13Mo - 20Ni + 55V \quad (5.1)$$

Hugardy denklemi kullanılmaktadır [19].

Denklem (5.2)'de 34MnB5 malzemesinin A_3 sıcaklığı hesaplanmıştır.

$$A_3(^{\circ}\text{C}) = 902 - 255 \times 0,339 - 11 \times 1,24 + 19 \times 0,246 - 5 \times 0,116 + 13 \times 0,007 - 20 \times 0,021 + 55 \times 0$$

$$A_3(^{\circ}\text{C}) = 806^{\circ}\text{C} \quad (5.2)$$

Denklem (4.5)'e göre östenitleştirme sıcaklığı A_3 sıcaklığına 20 ile 40 birim eklenmesi ile elde edilir. Yani östenitleştirme sıcaklığımız en az 826°C ile 846°C arasında olabilir.

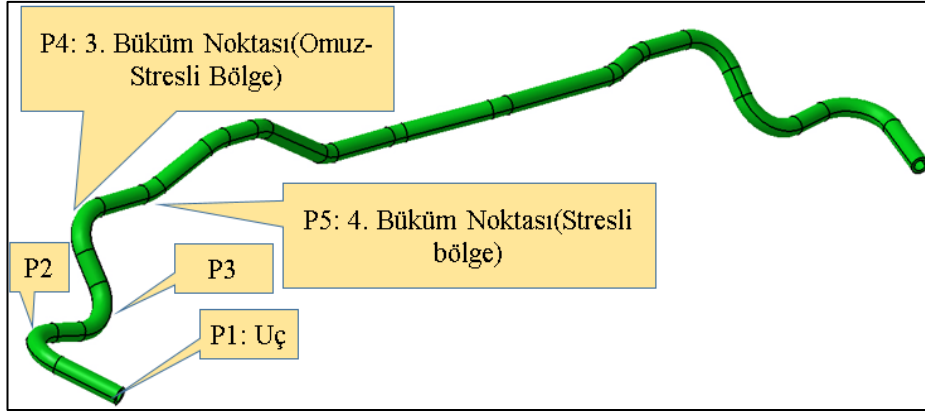
5.3. Sertleştirme

Aynı lottan üretilen çubuklar polimerli su ve yağ ortamlarında sertleştirilmiştir. Sertleştirme esnasında ısıtma bittikten sonraki sıcaklıklar, banyoya giriş sıcaklıkları ve banyo sıcaklıkları kaydedilmiştir. Her iki banyoya da çubuklar istenilen şartlarda girmiştir. Denklem (4.5)'e göre de çubuklar için banyoya giriş minimum sıcaklık şartımız 830°C belirlenmiştir.

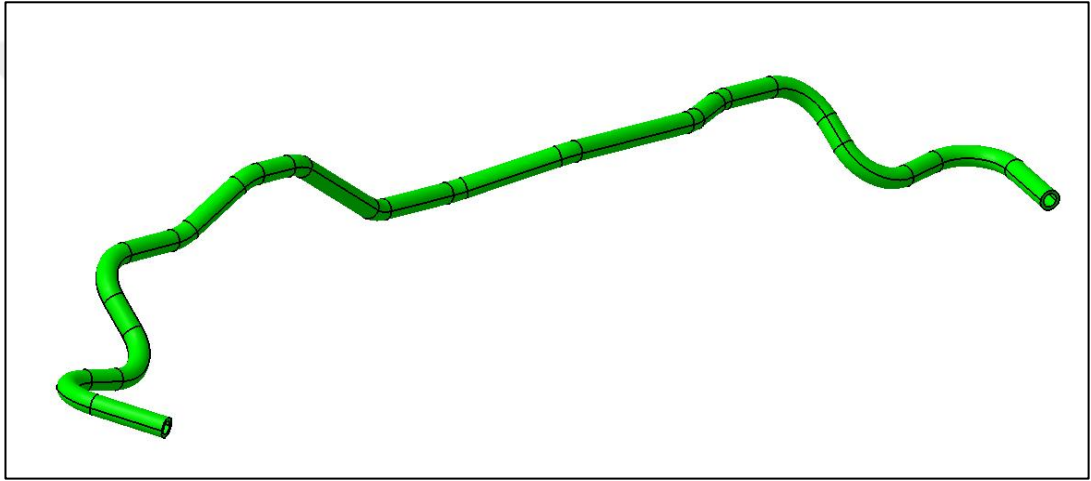
5.3.1. Polimerli suda sertleştirme

Bu proste polimer konsantrasyon oranının ve banyo sıcaklığının normal şartlarda olduğu durumda üretim yapılmıştır. Polimer konsantrasyon oranı üretici firma bilgi formuna göre %6 – 12 arasında olması gerekmektedir. Bu değeri üretimimize göre daraltarak %6 - 9 arası ve hedef ise %7 olacak şekilde düzenlenmiştir. Çalışma esnasındaki konsantrasyon değeri ölçülmüş olup çıkan değer ise %7'dir. Banyo sıcaklığı ise 25°C - 45°C arasında olmalıdır. Çalışma yapıldığı andaki banyo sıcaklığı ise 30°C ölçülmüştür. Çubuklar polimer sertleştirme banyosuna ortalama 865°C sıcaklıkta girmiştir.

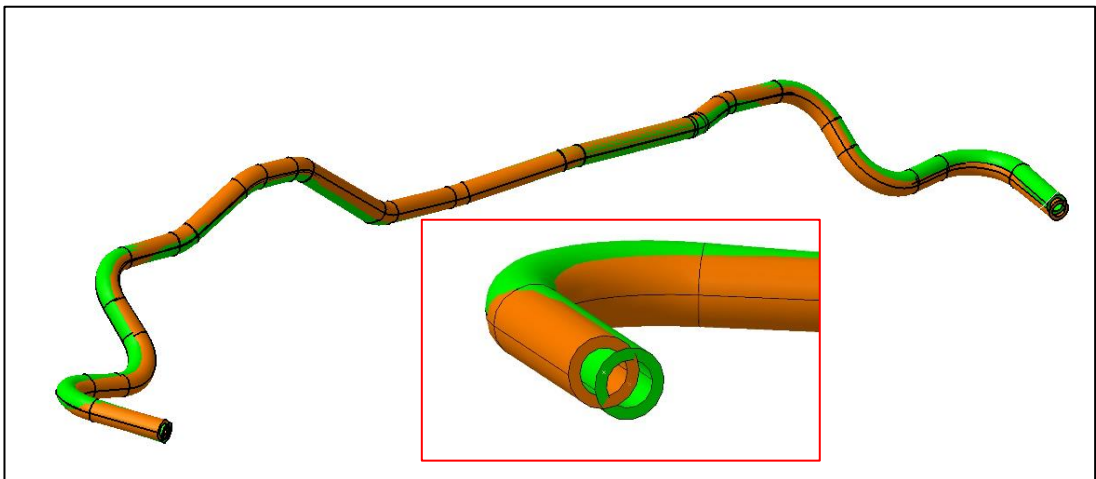
Sertleştirme sonrasında menevişe girmeden önce çubuklar tekrar üç boyutlu ölçüm cihazında ölçülmüş olup daha önce ölçülmüş olan bükülmüş formuna göre meydana gelen çarpılma miktarları hesaplanmıştır. Şekil 5.2'de ölçülen noktaların tanımı, Şekil 5.3'te bükülmüş form, Şekil 5.4'te bükülmüş form ile polimerli suda sertleştirilmiş formun karşılaştırılması ve Şekil 5.5'te de ilk beş noktada meydana gelen sapmalar gösterilmiştir.



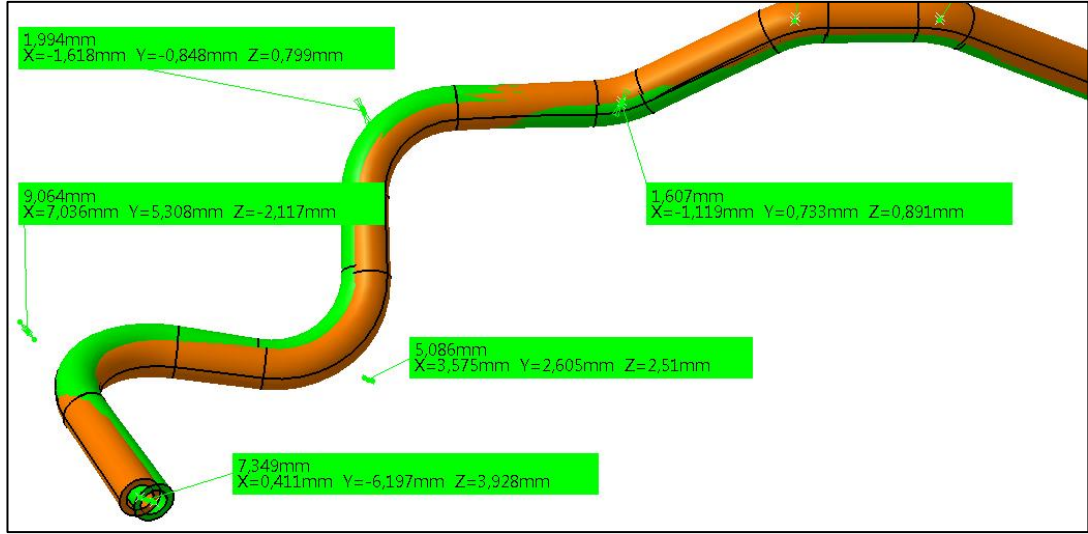
Şekil 5.2. Sapmaların ölçüldüğü noktalar



Şekil 5.3. Bükülmüş form



Şekil 5.4. Bükülmüş form ile polimerli suda sertleştirilmiş (turuncu) formun karşılaştırılması.

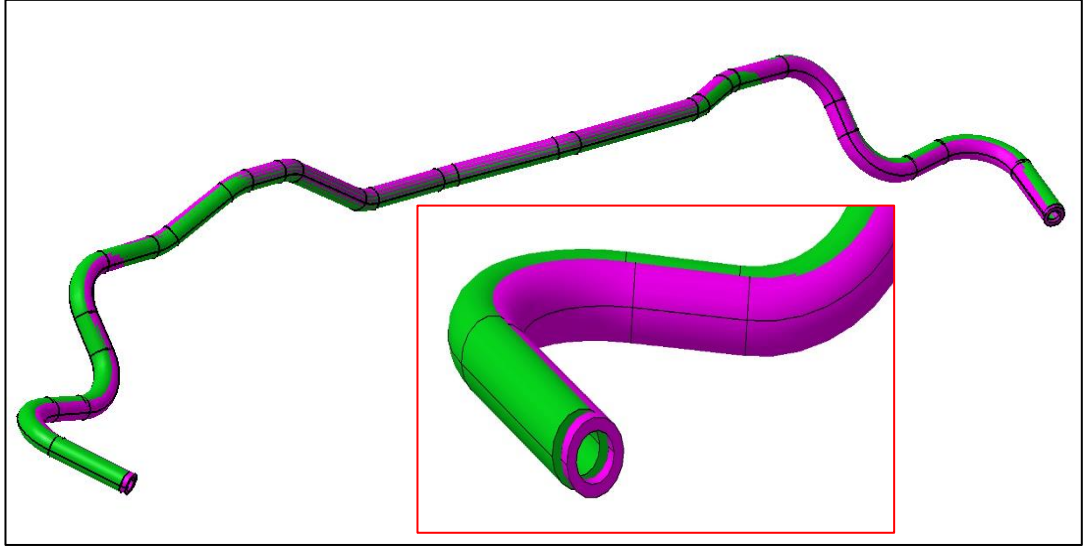


Şekil 5.5. Bükülmüş form ile polimerli suda sertleştirilmiş (turuncu) formun ilk beş noktasında meydana gelen sapmaların hesabı

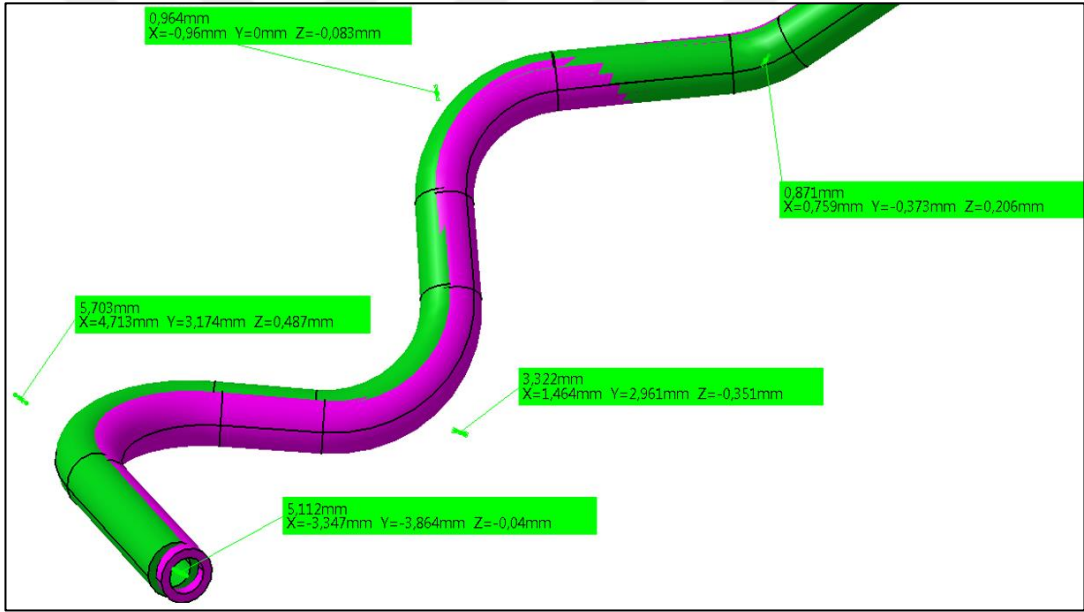
5.3.2. Yağda sertleştirme

Yağda sertleştirme prosesinde seri şartlarda üretim yapılmıştır. Hammade olarak yay çeliği kullandığımız hatlarda yağ banyosu sıcaklığı 40 - 70°C aralığında olması istenir. 26MnB5, 34MnB5 hammadde kullanılan banyolarda ise sıcaklık aralığı 40 - 70°C arasında istenir. Çalışma esnasında ise ölçülen sıcaklık 35°C olup tavlanan çubuklar ise banyoya ortalama 895°C sıcaklıkta girmiştir.

Yağda sertleştirmede de sertleştirme sonrasında menevişe girmeden önce çubuklar tekrar üç boyutlu ölçüm cihazında ölçülmüş olup daha önce ölçülmüş olan bükülmüş formuna göre meydana gelen çarpılma miktarları hesaplanmıştır. Şekil 5.6'da bükülmüş form ile yağda sertleştirilmiş formun karşılaştırılması ve Şekil 5.7'de de ilk beş noktada meydana gelen sapmalar gösterilmiştir.



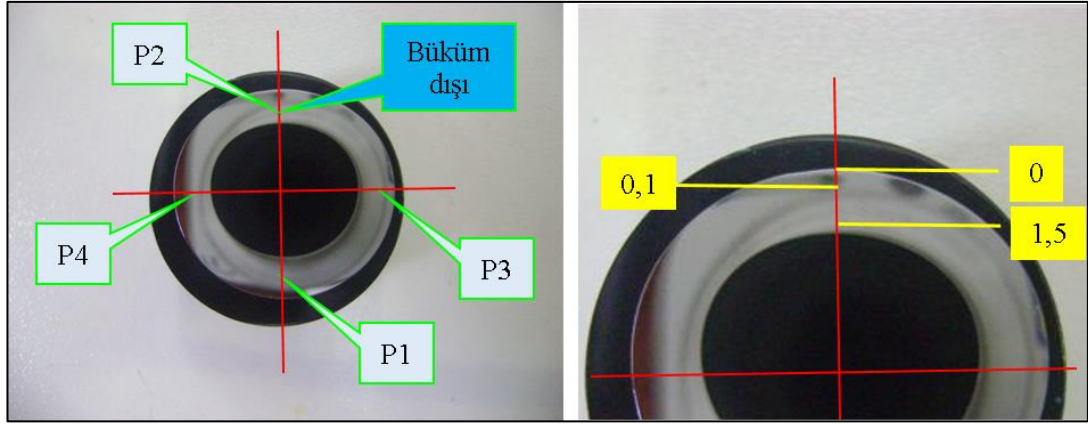
Şekil 5.6. Bükülmüş form ile yağda sertleştirilmiş (mor) formun karşılaştırılması



Şekil 5.7. Bükülmüş form ile yağda sertleştirilmiş (mor) formun ilk beş noktasında meydana gelen sapmaların hesabı

5.4. Meneviş

Polimerli su ve yağ sertleştirme banyosunda sertleştirilen ürünler birlikte aynı şartlar altında konveyörlü doğalgazlı meneviş fırınında menevişlenmiştir. Meneviş sonrasında her iki gruptan birer numune alınarak mikroyapı incelemesi yapılmıştır. Şekil 5.8’de sertlik ve mikroyapı için bakalite alınmış numunenin bölgeleri ve sertlik ölçülen derinlikler gösterilmiştir.



(a)

(b)

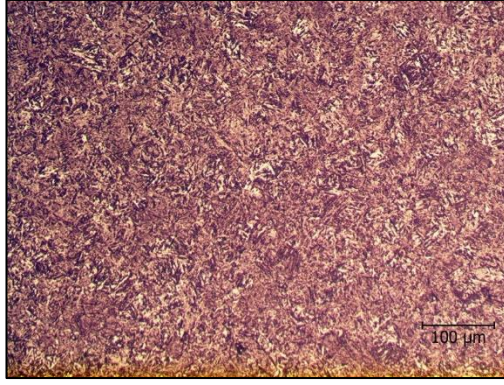
Şekil 5.8. Mikroyapı ve sertlik ölçüm için bakalite alma, a) bölgeler b) ölçüm derinliği [mm]

Tablo 5.2’de her iki ortamda sertleştirilen çubukların meneviş sonrası istenilen ve ölçülen sertlik değerleri yer almaktadır. Ölçülen değerler hedef değer aralığı içindedir.

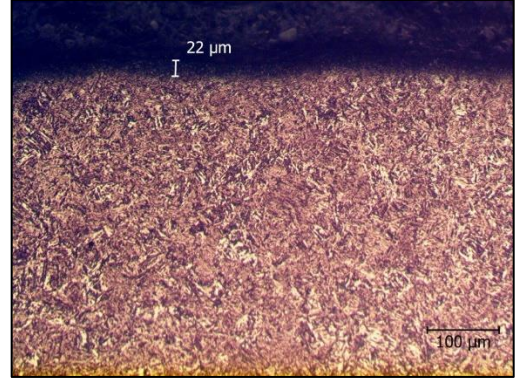
Tablo 5.2. Rözmaş1 nolu ürünün meneviş sonrası sertlik değerleri

Derinlik [mm]	Polimerli suda sertleştirme				Yağda sertleştirme				Hedef Sertlik [HV]
	[HV]				[HV]				
	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4	
0,1	526	545	534	539	518	517	544	533	499 545
0,5	515	539	518	531	527	541	540	534	
1,5	514	541	527	510	533	532	513	520	

Sertleştirme sonrası meydana gelen sert ve tokluğu düşük olan martenzit yapının tokluğunu arttırmak için yapılan meneviş prosesi sonrasındaki mikroyapı incelemeleri sırasıyla Şekil 5.9’da ve Şekil 5.10’da verilmiştir. İncelemede iç yapıya bakılmıştır ve dekarbürizasyon miktarı ölçülmüştür. Dekarbürizasyon (karbon kaybı) tavlama esnasında parçanın atmosfer ile temasından dolayı meydana gelmektedir. Dekarbürizasyon yüzeydeki sertlik değerini düşürdüğü gibi tane büyümesi ile birlikte de yorulma ömrünü de olumsuz etkilemektedir. Bu ürün için de izin verilen tam dekarbürizasyon değeri en fazla 20 mikron; kısmi dekarbürizasyon değeri ise en fazla 150 mikrondur.

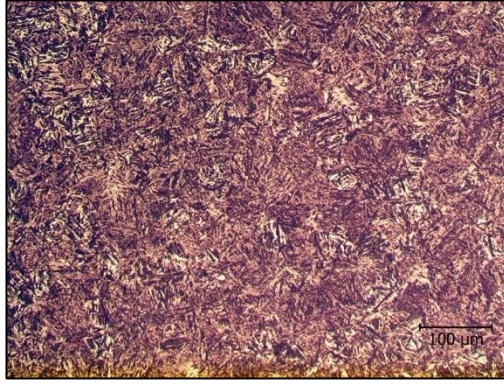


(a)

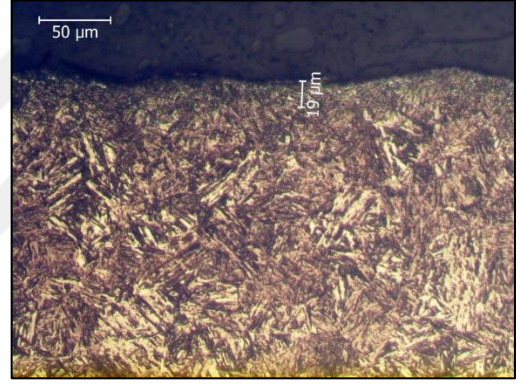


(b)

Şekil 5.9. Polimerli suda sertleştirilmiş ürünün mikroyapısı, a) temper martenzit mikroyapı b) temper martenzit mikroyapısının dış yüzeyindeki 22 mikron kısmi dekarbürizasyon



(a)



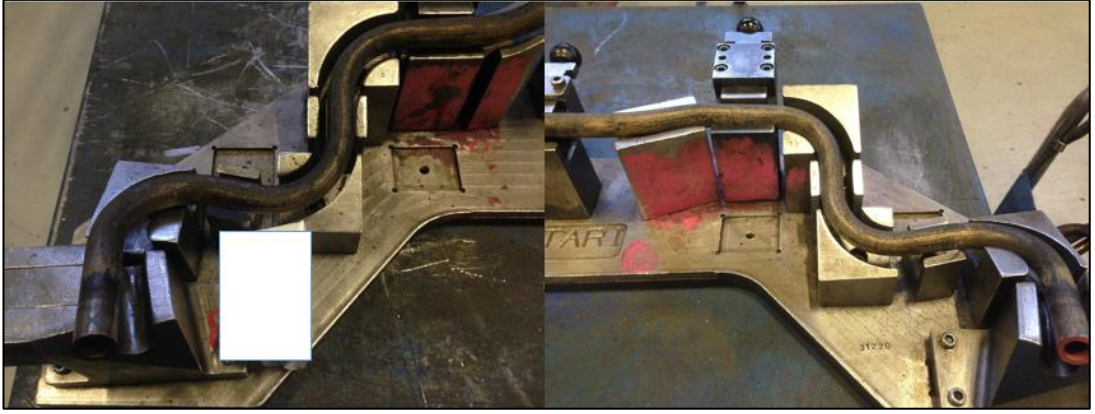
(b)

Şekil 5.10. Yağda sertleştirilmiş ürünün mikroyapısı, a) temper martenzit mikroyapı b) temper martenzit mikroyapısının dış yüzeyindeki 19 mikron kısmi dekarbürizasyon

Şekil 5.9 ve Şekil 5.10 incelendiğinde her iki ortamda da sertleştirilen ürünlerin meneviş sonrası yapısı temper martenzit olup yüzeyde de yorulma ömrünü etkileyecek seviyede dekarbürizasyon kalınlığı bulunmamaktadır.

5.5. Ön Doğrultma

Polimerli su ve yağ sertleştirme banyosunda çarpılan çubukların formu kontrol mastarına göre bu proseste düzeltilir. Üç boyutlu ölçüm cihazından elde edilen ölçüsel farklar çubuk mastara yerleştirildiğinde de görsel olarak anlaşılmaktadır. Şekil 5.11’de polimerli su banyosunda sertleştirilen çubuğun; Şekil 5.12’de ise yağ banyosunda sertleştirilen çubuğun doğrultma prosesindeki kontrol mastarına göre olan ilk konumu gösterilmiştir.

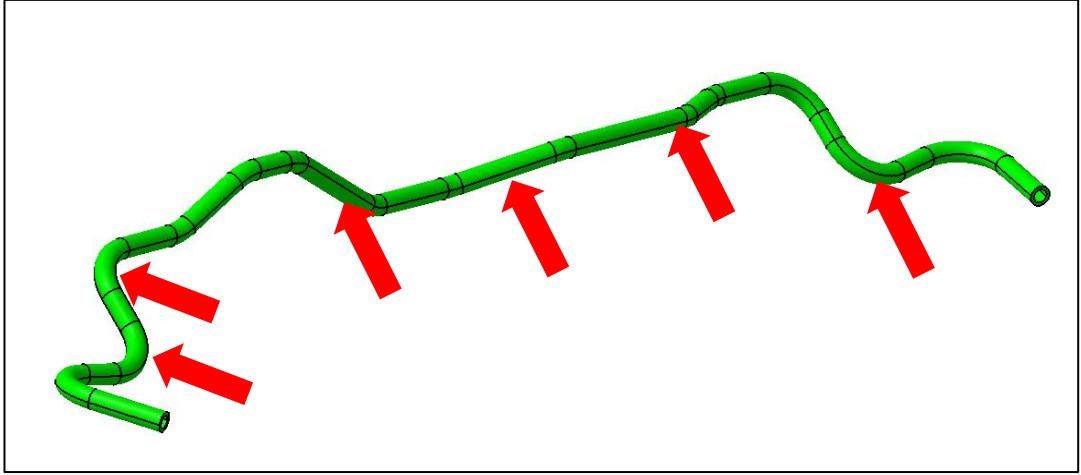


Şekil 5.11. Polimerli suda sertleştirilen ürünlerdeki çarpılmanın kontrol mastarındaki görünümü

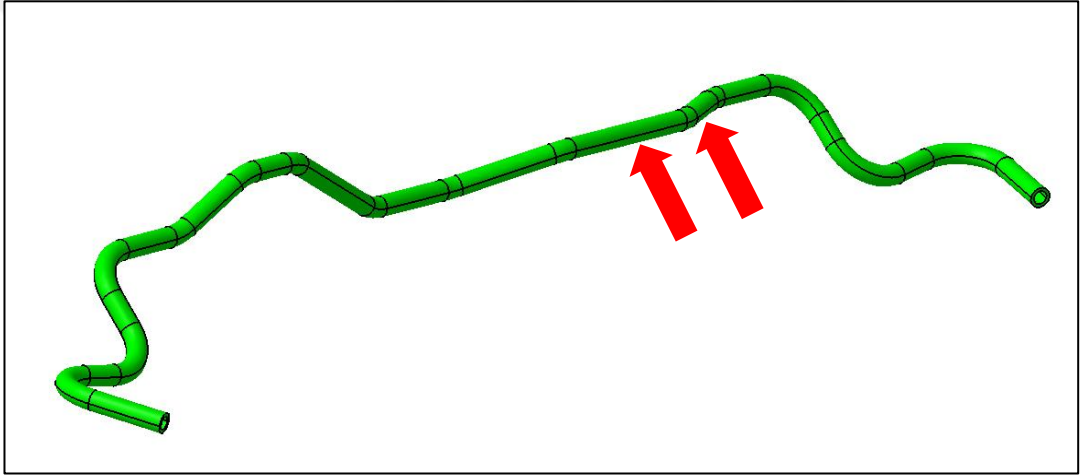


Şekil 5.12. Yağda sertleştirilen ürünlerdeki çarpılmanın kontrol mastarındaki görünümü

Şekil 5.11 ve Şekil 5.12’den görüldüğü üzere polimerli suda sertleştirilen ürün özellikle uç kısımlarındaki aşırı çarpılmalardan dolayı mastara girmemektedir. Mastara girmesi için çubuğa doğrultma işlemi yapılması gerekmektedir. Yağda sertleştirilen ürün genel olarak mastara girmektedir ancak dövme prosesindeki deliklerin doğru delinebilmesi için formunun mastar içinde rahatlatılması gerekmektedir. Bunun için bu çubuğa da doğrultma yapılır; ancak polimerli suda sertleşip çarpılan çubuğa yapıldığı miktarda yapılmaz. Şekil 5.13 ve Şekil 5.14’te her iki ortamda çarpılan çubukların mastara girmesi için yapılan doğrultma işleminin hangi bölgelere yapıldığı çubuk formu üzerinden gösterilmiştir.



Şekil 5.13. Polimerli su banyosunda üretilen ürünün doğrultma yapılan bölgeleri



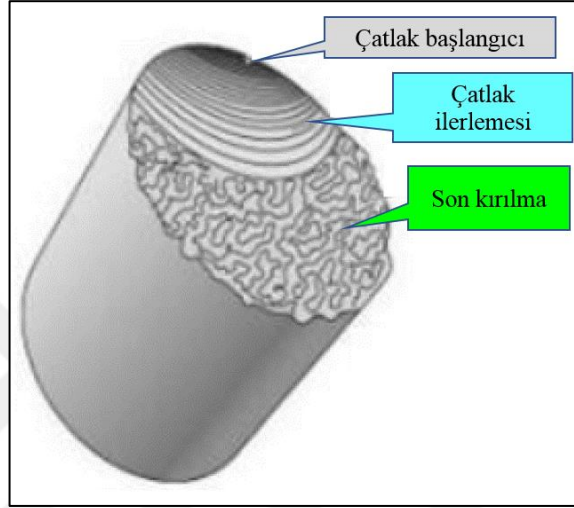
Şekil 5.14. Yağ banyosunda üretilen ürünün doğrultma yapılan bölgeleri

Şekil 5.13'ten ve Şekil 5.14'ten görüldüğü üzere polimerli suda daha fazla çarpılma meydana geldiğinden dolayı çubuk üzerine daha fazla pres ile basılır. Pres ile daha fazla basılması ve farklı noktalardan özellikle omuz ve yatak bölgesi etrafına basılması çubuğun yorulma ömrünü büyük oranda düşürmektedir.

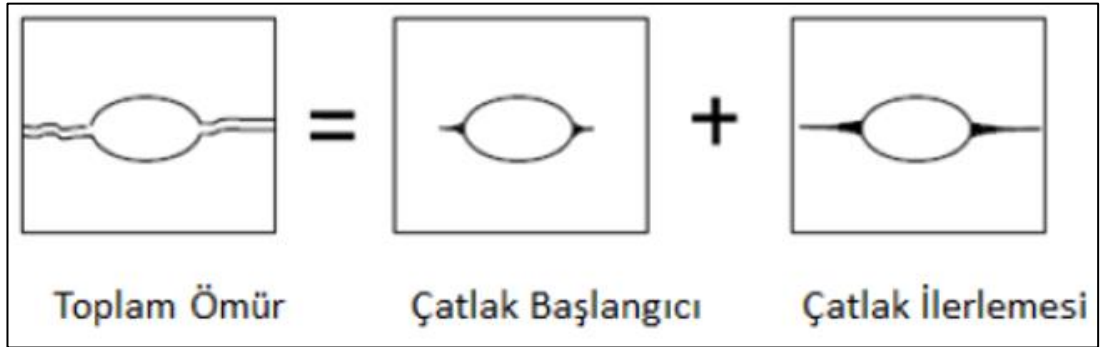
5.6. Yorulma Testi

Malzeme akma gerilmesinin altındaki tekrarlı yüklere maruz kalarak yorulur ve kırılır. Akma gerilmesinin altındaki yük kaldırıldığı zaman parça tekrar eski konumuna döner; ancak parça üzerinde etkisi olmayan bu yük belirli bir çevrim sayısına ulaştığı zaman yüzeyde çatlak oluşumu başlar ve akma gerilmesinin altındaki yükte hasar görür. Bu süreçte parçada mikroçatlaklar oluşur. Çatlak

genellikle mikroyapıdaki hatalı bölgelerde veya gerilme yığılmasının olduğu yerde başlar. Çatlaktaki çentik gerilme yığılmasına neden olarak tekrarlı plastik deformasyona uğrar. Yükleme basma yönünde ise çatlak gelişimi geçici bir şekilde durur; ancak yükleme gerilmeye dik yönde ise çatlak ilerlemesi hızlı olacaktır [12]. Şekil 5.15'te parça üzerindeki kırılma evreleri gösterilmiştir. Şekil 5.16'da ise toplam ömür tayini gösterilmiştir.



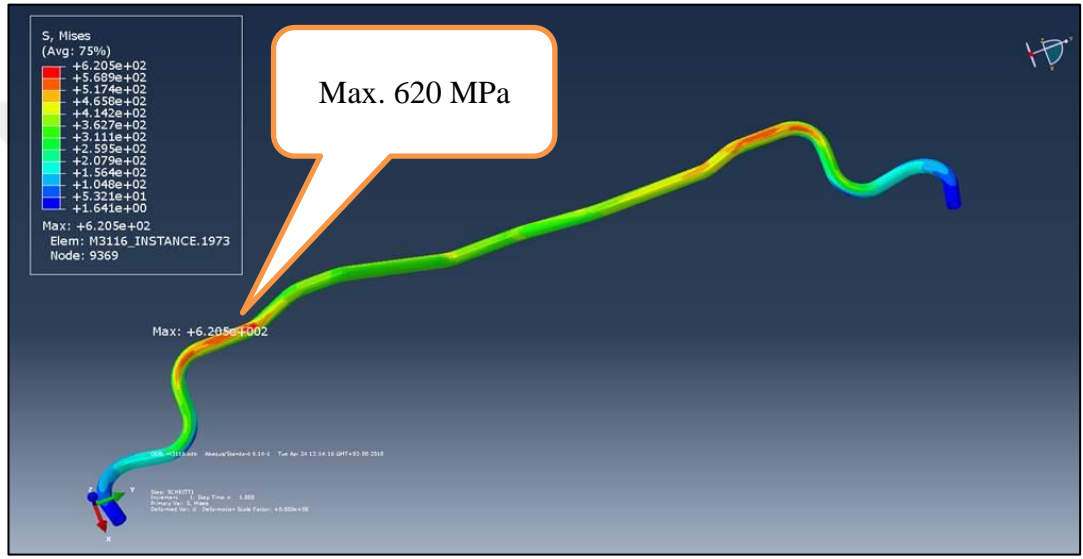
Şekil 5.15. Kırılma evreleri [12]



Şekil 5.16. Toplam ömür tayini [12]

Bu bilgiler ışığında çarpımalardan dolayı yapılan doğrultma işleminin denge çubuğu yorulma etkisini görmek için parçalar yorulma test cihazına bağlanmıştır. Genel olarak ve müşteri şartnamelerindeki istekler doğrultusunda yorulma testine en az dört çubuk bağlanması herhangi bir sistemin değerlendirilmesi için yeterlidir. Şekil 5.17'de FEM analizi sonucu yer almaktadır. Çubuklar yatak bölgesinden sabitlenip uç bölgelere $\pm 34,0$ mm strok (yer değiştirme) verilmiştir. Analiz sonucu max stres

değeri 620 MPa çıkmıştır. FEM analizi sonucunda çıkan en yüksek strese göre parçaya ömür tayin edilmiştir. Bu stres değerinde 34MnB5 malzemesi üzerinde yapılan test çalışmalarında oluşturulan gerilme ömür eğrisine göre çubuğun en az 300.000 çevrimi tamamlaması gerekmektedir. Çubuklar tayin edilen bu ömrü geçmelidir; ancak yorulma testlerinin sonucunun hedef değeri geçmesi yeterli olmamaktadır, prosesin kararlılığı da önemlidir yani standart sapmanın da uygun olması gerekmektedir. Denklem (5.3)'te parçaların ortalama ömrünün hesabı, Denklem (5.4)'te ise standart sapma hesabı denklemleri yer almaktadır.



Şekil 5.17. FEM analizi sonucu

\bar{N} , parçaların ortalama ömrü Denklem (5.3)'teki gibi;

$$\bar{N} = 10^{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log N_i\right)} \quad (5.3)$$

s_{\log} , örnek standart sapma Denklem (5.4)'teki gibi;

$$s_{\log} = \left(\frac{1}{(n-1)} \times \sum_{i=1}^n (\log N_i - \log \bar{N})^2 \right)^{1/2} \quad (5.4)$$

şeklinde hesaplanır.

n: Test edilen çubuk adedi

N_i : Test edilen 1., 2. ... n., çubuğun yorulma ömrü

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada polimerli su ve yağ sertleştirme banyolarında sertleştirilen denge çubukları üzerinde meydana gelen çarpımlardan dolayı uygulanan doğrultma prosesinin denge çubuğu yorulma ömrüne etkisi incelenmiştir. Her iki ortamda meydana gelen çarpılma miktarının sayısal farkı ve bu farkın temel nedenleri ile yorulma ömür sonuçları aşağıda verilmiştir. Tablo 6.1’de her iki sertleştirme ortamında meydana gelen çarpımların miktarı bükülmüş çubuk formuna göre gösterilmiştir.

Tablo 6.1. Polimerli su ve yağ ortamında meydana gelen çarpılma miktarları

Denge Çubuğu Noktaları (Şekil 6.2)	Sol kolda meydana gelen çarpılma miktarları [mm]		Sağ kolda meydana gelen çarpılma miktarları [mm]	
	Polimer	Yağ	Polimer	Yağ
Nokta				
P1(Uç)	7,35	5,11	5,68	3,69
P2	9,06	5,70	6,15	3,99
P3	5,07	3,32	3,76	2,24
P4(Omuz Bölgesi)	1,99	0,96	1,63	0,96
P5(Yatak sonrası büküm)	1,61	0,87	1,11	0,45

Tablo 6.2’de ve Tablo 6.3’te yorulma ömrü için gerekli şartlar ile test sonuçları verilmiştir.

Tablo 6.2. Yorulma testi şartları

Max Stress (FEM)	620 MPa
Hedef Ömür	300.000 çevrim
Test Stroğu	$\pm 34,0$ mm
S_{log}	$\leq 0,2$
Test Adedi	4 adet

Tablo 6.3. Yorulma testi sonuçları

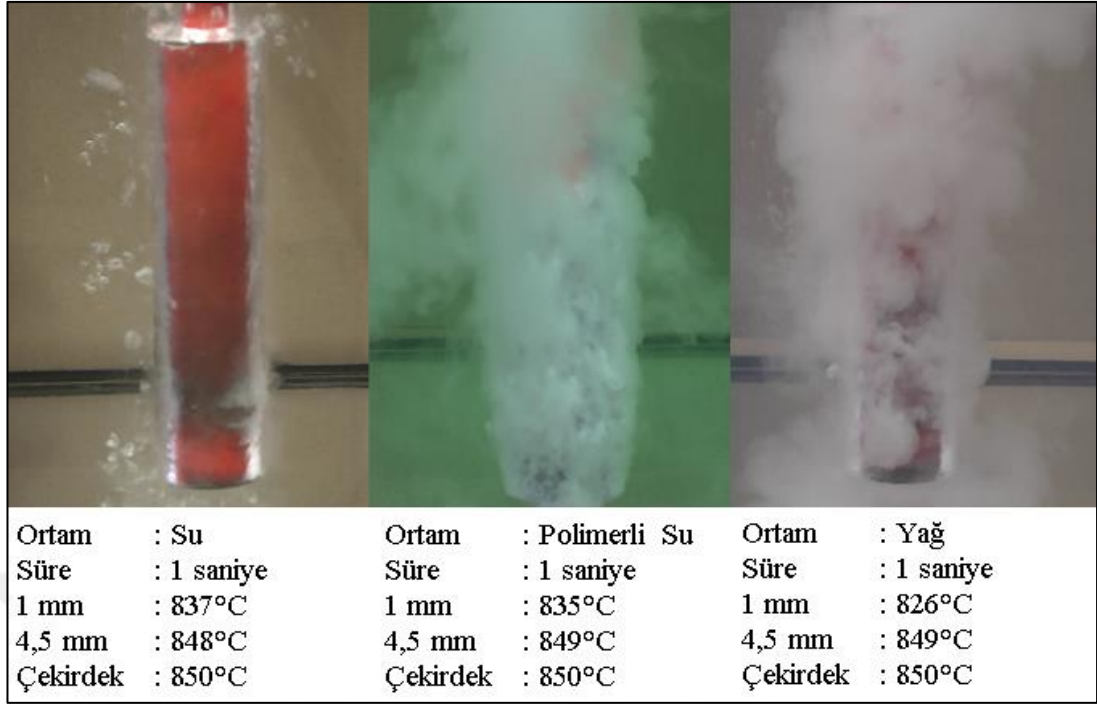
	Polimerli Su [çevrim]	Yağ [çevrim]
1.Çubuk	135.196 (kırıldı)	500.000 (sağlam)
2.Çubuk	302.325 (kırıldı)	500.000 (sağlam)
3.Çubuk	159.906 (kırıldı)	500.000 (sağlam)
4.Çubuk	510.000 (kırıldı)	500.000 (sağlam)
S _{log}	0,26	0,00

Öçülen çarpılma miktarlarına ve yorulma test sonuçlarına göre aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

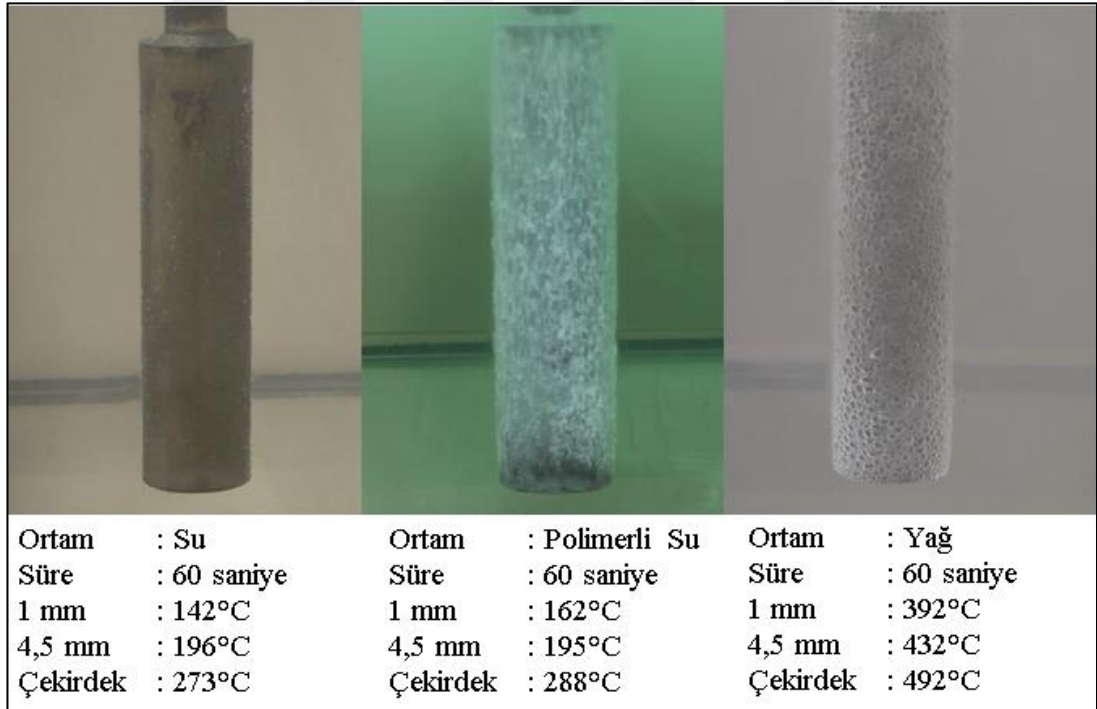
* Çarpılan çubuğun kontrol mastarına uygun forma getirilmesi için yapılan doğrultma işlemi çubuk üzerinde gerilme yığılmaları oluşturup çubuğun daha erken kırılmasına neden olmaktadır. Hatta çarpılmaların fazla olduğu durumlarda çubuğu doğrultmak için stresli bölgelere veya yakın bölgelere yapılan doğrultma işlemi çubuğun hedeflenen değerden daha önce kırılmasına neden olmaktadır.

* Sertleştirme esnasında meydana gelen fazlardan buhar fazının kısa sürede geçilmesi avantajdır; ancak çarpılmaların kontrol altına alınabilmesi için konveksiyon fazında düşük soğuma hızı gerekmektedir. Şekil 6.1’de ve Şekil 6.2’de INCONEL 600 Ø50 mm test probu ile yapılan deneyler gösterilmiştir. Sıcaklıklar 1 mm, 4,5 mm ve çekirdekten ölçülmüştür [18]³. Ölçülen sıcaklık değerlerinden de anlaşılacağı üzere belirli bir süre sonunda su bazlı sertleştirme ortamlarındaki konveksiyon fazındaki sıcaklık değeri yağ sertleştirme ortamlarına göre çok düşüktür. Yani konveksiyon fazı yağ sertleştirme ortamında daha uzundur, çünkü yağ parçadan iletilen ısıyı bünyesinde tuttuğu için özellikle konveksiyon fazında daha düşük hızda soğutma yapıyor ve parçada oluşan iç gerilmelerin dengelenmesini sağlayarak çarpılmaların daha az olmasını sağlıyor.

³ Şekiller firma onayı ile alınmış olup yağ bazlı ortama uyarlanmıştır.

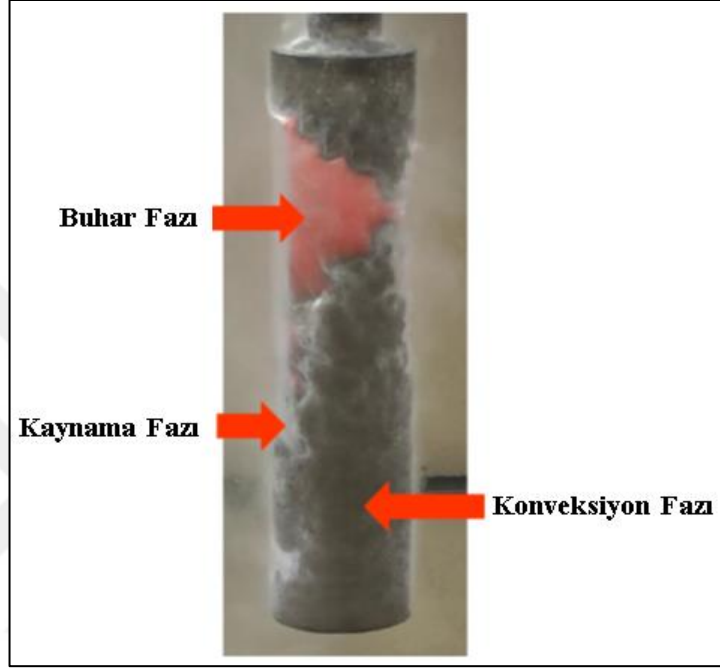


Şekil 6.1. Banyoya girişten 1 saniye sonraki durum [18]



Şekil 6.2. Banyoya girişten 60 saniye sonraki durum [18]

* Su bazlı banyolarda buhar fazı kısa olsa da soğutma hızının yüksek olması ve aynı anda üç faz birlikte gerçekleşebiliyor olmasından dolayı çarpılma miktarı yağa göre daha fazladır. Ayrıca üç fazın aynı anda oluşması mikroyapıda çeşitlilik ve daha düşük sertlik alan bölgelerin oluşmasına neden olur. Şekil 6.3'te su bazlı banyolarda sertleştirme esnasında aynı anda meydana gelen üç faz gösterilmiştir.



Şekil 6.3. Su bazlı banyoda meydana gelen üç faz [18]

* Polimerli suda sertleştirilen ürünlerin yorulma sonuçlarına baktığımız zaman doğrultmanın fazla olmasından dolayı hedefin altında değerler ile birlikte hedefin üstünde de değerler ölçülmüştür. Ayrıca test sonucunun istatistiksel olarak dağılımı da uygun değildir. Hatta 4.çubuk yağdaki değerleri yakalamıştır. Yani polimerli su banyosunda da hassas ayarlamalar ile çarpılmalar kontrol altına alınabilir; ancak polimerli su banyosunda polimer konsantrasyon oranının/viskozitenin sürekli değişim göstermesi ve konveksiyon fazının kısa olmasından dolayı lot boyunca farklı seviyelerde yüksek oranda çarpılmış ürünler ortaya çıkmaktadır/çıkacaktır. Bu durumda da doğrultma işlemi kaçınılmazdır. Ayrıca polimer-su banyosu polimer konsantrasyon oranı, pH ve iletkenlik günlük kontrol edilmelidir. Aksi durumda polimer-su konsantrasyon değerinin alt sınırın altına düşmesi (su arttırıcı yönde olması) borunun çatlamasına; pH değerinin düşmesi ise borunun paslanmasına neden olur.

* arpılmanın kontrol altına alınabildiği konveksiyon fazında polimerli su banyolarında soğutma hızını azaltmak için banyo sıcaklığı kontrol altında tutulmalıdır. Ayrıca arpımlara neden olan termal streslerin düşmesi için de banyo sıcaklığı ile parça sıcaklığı arasındaki fark olarn ΔT 'yi düşük tutmak gerekmektedir. Polimerli su banyolarında en fazla 45°C, yağ banyolarında da en fazla 70°C sıcaklıklarında çalışıldığından ΔT yağın kullanılması durumunda daha düşük olacaktır. Bu durum da yağda sertleştirmenin avantajını ortaya koymaktadır.

* Viskozite ne kadar yükek olursa konveksiyon fazında o kadar düşük soğutma hızı görülür. Polimerli suyun viskozitesi sıcaklık ve konsantrasyona bağlıdır. Bu yüzden mevcut banyomuzda dozajlama sistemi olmadığından dolayı üretim boyunca suyun buharlaşması ve polimerin de çubuk dış ve iç yüzeyine yapışmasından dolayı viskozite sürekli değişmektedir.

* Polimer banyosunun günlük görünüş, koku, pH ve konsantrasyon kontrolünün yapılması gerekmektedir. Haftalık da tankın temizlenmesi gerekmektedir. Ayrıca aylık da günlük kontrollere ek olarak iletkenlik, korozyon ve bakteriyolojik testlerinin yapılması gerekmektedir. Bu testler için gerekli cihaz altyapısı kullanıcı her firmada olmadığından dolayı sürekli bir analiz maliyeti oluşmaktadır. Temizlik, su ve polimer eklenme işleminde zamanında yapılmaz ve özellikle gerekli analizler takip edilmez ise aşağıdaki olumsuzluklar meydana gelir;

- Gün içinde konsantrasyonunun değişmesi banyonun soğutma hızının da değişmesine neden olur (kullanılan polimer-su konsantrasyon aralığı %6-9).

- İletkenlik değerinin yükseldiği durumda parçada korozyon meydana gelebilir. Bu durumda banyo komple temizlenir.

- Serbest yağ olmamalıdır. Olduğu durumda polimere karışarak bölgesel soğuma etkisinin değişmesine neden olur, bu durumda banyo dinlendirilerek yüzeye çıkan yağ tabakası temizlenmelidir.

- pH değerinin düşmesiyle bakteriler oluşur. Bakteriler banyo yapısını bozar ve banyonun yeniden kurulması gerekmektedir. Ayrıca bakteriler kötü kokuya ve cilt hastalıklarına neden olur.

Yağ banyosunda ise yukarıdaki olumsuzluklar ve belirlenen sıcaklığın üstünde çalışma söz konusu olmadığından dolayı yağ yaşlanmamaktadır. Bu durum da yağda sertleştirmenin avantajını ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak polimerli su banyosunun konveksiyon fazında soğutmanın hızlı olmasından, kullanım sıcaklık aralığının düşük olmasından ve parça ile arasındaki sıcaklık farkının yüksek olmasından, viskozitesinin sürekli değişmesinden dolayı çarpılma miktarları yağa göre daha fazla olduğundan ve boru iç yüzeyinde kalan polimer kalıntılarının pas olarak görülmesi hatta yapıdaki suyun pasa da neden olmasından dolayı müşteri tarafından istenmeyen bir durumdur. Bu yüzden polimerli su banyosu yerine yağ banyosu kullanılması önerilir.

KAYNAKLAR

- [1] Ezgi E., Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Denge Çubukları İçin Isıl İşlem Prosesindeki Farklı Sertleştirme Ortamlarının Yorulma Davranışına Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012, 323973.
- [2] Taşatar C., Viraj Denge Çubuğunun Yapısal Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2006, 181779.
- [3] Deppe P., Die Neue E-Klasse im Detail: Fahrwerk, Mbpassionblog, <https://blog.mercedes-benz-passion.com/2009/03/die-neue-e-klasse-im-detail-fahrwerk/>, (Ziyaret tarihi: 09 Mart 2018).
- [4] Prawato Y., Djuansjah J.R.P., Tawi K.B., Fanone M.M., Tailoring Microstructures: A Technical Note on an Eco-friendly Approach to Weight Reduction Through Heat Treatment, *Materials and Design*, 2013, **50**, 635-645.
- [5] 2017 Porsche Panamera PDCC Sport Electromechanical Roll Stabilization, YouTube, https://www.youtube.com/watch?v=pEVF_XgPuFQ, (Ziyaret tarihi: 09 Mart 2018).
- [6] RCS PGP-1, Rözmaş Çelik San ve Tic A.Ş. Proses El Kitabı, *Rözmaş Çelik San ve Tic A.Ş.*, Kocaeli, 2017.
- [7] MKT-55Cr3, Hammadde Giriş Kontrol Talimatı, *Rözmaş Çelik San ve Tic A.Ş.*, Kocaeli, 2011.
- [8] MKT-34MnB5, Hammadde Giriş Kontrol Talimatı, *Rözmaş Çelik San ve Tic A.Ş.*, Kocaeli, 2011.
- [9] Çarboğa C., Düşük Karbonlu Çeliklere Bor İlavesinin Mikroyapı ve Mekanik Özellikler Üzerine Etkisi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2010, 268588.
- [10] Meydan O., 20MnB4 Özel Alaşımli Çelik Tel Çubukların Haddelenmesi Esnasındaki Soğuma Hızının ve Serme Kafa Sıcaklığının Tufal Yapısına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2017, 450746.
- [11] Zysk L., Benteler Steel/Tube Stabilizer Bar Project Days Sunumu.
- [12] Sayılğan N., Ağır Ticari Araçların Havalı Süspansiyon Sisteminde Kullanılan Boru Denge Çubuğu Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2015, 421091.

- [13] Yüksel A.C., Belgin Madeni Yağlar Isıl İşlem Yağları Sunumu.
- [14] http://yildiz.edu.tr/~akdogan/lessons/malzeme1/Celigin_isil_islemleri.pdf, (Ziyaret tarihi: 27 Şubat 2018).
- [15] <http://www.kocaelimakine.com/ders-notlari/demir-karbon-denge-diyagrami/>, (Ziyaret tarihi: 09 Mart 2018).
- [16] Htun, M.S., Kyaw S.T., Lwin K.T., Effect of Heat Treatment on Microsturctures and Mechanical Properties of Spring Steel, *Journal of Metals, Materials and Minerals*, 2008, **18**(2), 2.
- [17] <http://www.metalurjiakdag.com.tr/dosya/seminer-notlari-2013.pdf>, (Ziyaret tarihi: 15 Mart 2018).
- [18] Beitz H., Petrofer Endüstriyel Yağlar San. ve Tic. A.Ş. Isıl İşlem Sempozyumu Mr. Beitz Sunumu.
- [19] Güler H., Ertan R., Özcan R., Effect of Heat Treatment on the Microstructure and Mechanical Properties of 30MnB5 Boron Steel, *Materials and Technology*, 2014, **48**(6), 973.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] **Uçakkuş Ö.E.**, Zeren A., Polimer ve Yağ Sertleştirme Proseslerinde Meydana Gelen Çarpımların Boru Denge Çubuğu Yorulma Ömrüne Etkisi, *IRDITECH 2018 Uluslararası Ar-Ge İnovasyon ve Teknoloji Yönetimi Kongresi*, İstanbul, Türkiye, 18 Mayıs 2018.
- [2] Aktaş M., **Uçakkuş Ö.E.**, Bir İnovasyon Çalışması Olarak Kalıp Ayar Sürelerinin SMED Yaklaşımı ile İyileştirilmesi, *IRDITECH 2018 Uluslararası Ar-Ge İnovasyon ve Teknoloji Yönetimi Kongresi*, İstanbul, Türkiye, 18 Mayıs 2018.

ÖZGEÇMİŞ

1988 yılında Kırıkkale’de doğdu. İlköğrenimini Kırıkkale İstiklal İlköğretim Okulu’nda, lise öğrenimini Kırıkkale Anadolu Lisesi’nde tamamladı. 2006 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nü kazandı. Makine Mühendisliği Bölümü’nden 2010 yılı bahar döneminde 3,71 ortalama ile bölüm 1.si fakülte 2.si olarak mezun oldu. 01.02.2011 tarihinden itibaren Rözmaş Çelik firmasında çalışmaktadır. İlk 4 yılı Ar-Ge Mühendisi olarak çalışmıştır ve şu an Proses Geliştirme Yöneticisi olarak çalışmaktadır. 2016 yılı güz döneminde Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans öğrenimine başlamıştır.

