

85033

JOMİNY DENEYİ VE DENEY PARAMETRELERİNİN
DENEY ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Mak. Müh. Serdar Özden KARACA

F.B.E. Makina Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. A. Ulvi AVCI

Prof. Dr. A. Ulvi AVCI

TC YÜKSEK ÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Prof. M. ALIŞVERİŞÇİ

85033

İSTANBUL, 1999.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÖNSÖZ.....	ix
ÖZET	x
ABSTRACT.....	xi
1. GİRİŞ	1
2. ÇELİKLERDE SERTLEŞTİRME MEKANİZMALARI.....	2
2.1 Soğuk Sertleştirme.....	2
2.2 Çökme Sertleştirme (Yaşlanma Sertleştirme, Ayrışma Sertleştirme)	3
2.2.1 Çelikte çökme sertleşmesi	6
2.2.1.1 Yaşlanma olayı	9
2.2.1.2 Dayanım arttırmak amacıyla çökme sertleşmesi	13
2.3 Dönüşüm Sertleştirme.....	14
3. DÖNÜŞÜM SERTLEŞTİRMESİ	15
3.1 Dönüşüm Sertleştirme Prosesine Genel Bir Bakış ve Ön Bilgiler	15
3.1.1 Demir – karbon sistemi.....	16
3.1.2 Sertleşmede önemli faktörler	23
3.2 Sertleştirme İçin Tavlama.....	23
3.2.1 Sertleştirme sıcaklığına karbonun etkisi	24
3.2.2 Sertleştirme sıcaklığına alaşım elementlerinin etkisi	26
3.2.3 Östenit oluşumuna ısıtma tavlama derecesinin etkisi	26
3.2.4 Hypooytektik ve hyperoytektik çeliklerin östenitleştirilmesi.....	27
3.2.5 Östenitik tane büyüklüğünün tayini ve önemi.....	27
3.2.6 Östenitin homojenizasyonu	30
3.2.7 Fırın atmosferinin önemi	31
3.3 Östenitin Dönüşümü	31
3.3.1 İzotermik zaman-sıcaklık-dönüşüm diyagramları (İZSD diyagramları, TTT diyagramları).....	32
3.3.2 Sürekli soğutmada zaman-sıcaklık-dönüşüm diyagramları (SZSD diyagramları, CCT diyagramları)	39
3.3.3 Alaşım elementlerinin dönüşüm karakteristiklerine etkileri.....	40
3.3.4 Alaşım elementlerinin ZSD (zaman-sıcaklık-dönüşüm) diyagramlarına etkisi	42
3.3.5 Alaşım elementlerinin kalıntı östenit miktarına etkisi	44

3.4	Su Verme.....	45
3.4.1	Su vermede yüzeyde ve merkezdeki bağıl soğutma derecesi	45
3.4.2	Su verme sırasında ısının iletimi ve yüzeyin soğuma aşamaları	49
3.4.3	Soğutma ortamının sıcaklığı ve hareketi	50
3.4.4	Yüzey koşulları	50
3.4.5	Soğutma ortamları.....	51
3.4.5.1	Suda sertleştirme	54
3.4.5.2	Sodyumhidroksit ve tuz çözeltilerinde sertleştirme	56
3.4.5.3	Yağda sertleştirme	58
3.4.5.4	Havada sertleştirme	62
3.4.5.5	Sıcak banyoda sertleştirme	63
3.4.5.6	Kademeli sertleştirme (Kesikli su verme)	64
3.4.5.7	Sulu tuz çözeltilerde sertleştirme	65
3.4.5.8	Sıcak şekillendirme sıcaklığından sertleştirme	65
3.4.5.9	Düşük sıcaklıklarda soğutma işlemi (Derin soğutma işlemi)	66
3.4.5.10	Polimer soğutma ortamları	67
3.4.6	Soğutma sıvısının seçimi	68
3.4.7	Su vermede karşılaşılan problemler	69
3.4.7.1	Isıl işlem esnasında çarpılma	70
3.4.7.1.1	Boyut çarpılması veya hareket	70
3.4.7.1.2	Şekil Çarpılması veya Eğilme	70
3.4.7.1.3	Su verme sürecinde şekil değişimi	71
3.4.7.1.4	Sıcak yağ sulaması	72
3.4.7.2	Sulama yağlarında su kirliliği	73
3.4.7.3	Duman, sis ve yangın tehlikesi	74
3.4.8	Soğutma şiddeti	75
3.4.8.1	Jominy deneyi yoluyla soğutma şiddetinin bulunması	77
4.	SERTLİK VE SERTLEŞEBİLME	82
4.1	Sertlik – Yapı İlgisi ve Alaşım Elementlerinin Etkileri	82
4.1.1	Çelikte alaşım elementlerinin kullanılma sebepleri	82
4.1.2	Çeliğe alaşım elementlerinin ilavesiyle iç yapıda oluşacak etkiler	83
4.1.3	Alaşım elementlerinin çeliğin iç yapısındaki dağılımı	83
4.1.4	Alaşım elementlerinin α ve γ alanlarına etkisi	85
4.1.5	Birden fazla alaşım elementinin çeliğe etkisi	86
4.2	Su Verme ile Erişilen Maksimum Sertlik ve Alaşım Elementleri ile Karbon Miktarı Arasındaki Bağntı	86
4.3	Sertlik ile Sertleşebilme Arasındaki İlişki	87
4.4	Kavram Olarak Sertleşebilirlik	88
4.5	Teknik ve Ekonomik Yönleri ile Sertleşebilirlik	89
4.6	Çeliğin Sertleşebilirliğini Etkileyen Faktörler	90
4.7	Standart Sertleşebilme Sayısı (İndeksi) – İdeal Kritik Çap ve Kritik Çap	91
4.7.1	İdeal kritik çapın bulunması	92
4.7.2	İdeal kritik çaptan martenzit yüzdesinin bulunması.....	92

4.7.3	Kimyasal bileşimden ideal kritik çapın bulunması.....	95
4.8	Sertleşebilme Hesaplamasında Grossmann Metodu.....	96
4.9	Mekanik Özelliklerle Sulanmış Yapı Arasındaki İlişkiler	98
4.10	Alaşım Elementlerinin Sertleşme Kabiliyetine Etkileri	99
4.10.1	Genel	99
4.10.2	Alaşım elementlerinin sertleşilmeye etkilerinin bağıl olarak incelenmesi	101
4.10.2.1	Karbonun sertleştirilme etkisi	102
4.10.2.2	Manganın sertleştirilme etkisi.....	102
4.10.2.3	Silisyumun sertleştirilme etkisi	102
4.10.2.4	Fosforun sertleştirilme etkisi	105
4.10.2.5	Sülfürün sertleştirilme etkisi	105
4.10.2.6	Nikelin sertleştirilme etkisi	105
4.10.2.7	Kromun sertleştirilme etkisi	105
4.10.2.8	Molibdenin sertleştirilme etkisi	105
4.10.2.9	Vanadyumun sertleştirilme etkisi	109
4.10.2.10	Titanyumun sertleştirilme etkisi	109
4.10.2.11	Zirkonyumun sertleştirilme etkisi	109
4.10.2.12	Bakırın sertleştirilme etkisi	109
4.10.3	Alaşım elementlerinin sertleşebilirliğe etkisinin tablo halinde ifadesi	111
4.10.4	Bor'un sertleşebilirlik üzerine etkisi	111
5.	SERTLEŞEBİLME DENEY METODLARI VE JOMİNY DENEYİ	116
5.1	Jominy Deneyinin Prensipleri	117
5.2	Jominy Deney Parçalarının Biçimi ve Hazırlanmaları	118
5.3	Jominy Düzenegi	122
5.4	Jominy Deneyinin Yapılışı	122
5.4.1	Jominy deney parçasının ısıtılması	122
5.4.2	Jominy deney parçasının sertleştirilmesi	123
5.5	Jominy Sertleştirmesinden Sonra Sertlik Ölçümleri İçin Hazırlık	123
5.6	Jominy Deney Sonuçlarının Gösterilmesi, Sertlik Eğrilerinin Çizilmesi	125
5.6.1	Çeliğin sertleşebilme özelliklerinin belirlenmesi	127
5.6.2	Çeliğin sertleşebilme özelliğinin tayininde kullanılan metodlar	127
5.7	Jominy Deneyinin Yararları ve Sakıncaları	130
6.	JOMİNY SERTLEŞEBİLME KONTROLÜ.....	132
6.1	Jominy Eğrisinin İdeal Kritik Çaptan Hesaplanması	133
6.2	Jominy Eğrilerinin Kimyasal Analizden Saptanılması	135
6.3	Jominy Deneyi ve Sürekli Soğuma Diyagramları	136
6.4	Jominy Eğrilerinin Kullanımı	136
6.5	Sertleşebilirlik Aralıklarını Belirtme Biçimleri	139
7.	SERTLEŞEBİLME VE MEKANİK ÖZELLİKLER	141

8.	ÇELİK SEÇİMİNDE SERTLİK VE SERTLEŞEBİLME AÇISINDAN FAKTÖRLER	142
8.1	Çeliğin Çalışma Niteliğini Etkileyen Özellikler: Tam Sertleşme	143
8.2	Çeliğin Çalışma Niteliğini Etkileyen Özellikler: Tam Olmayan Sertleşme ..	144
8.3	Sıcak İşlemeyi Etkileyen Faktörler	145
8.4	Makinada Talaş Kaldırarak İşlemeyi Etkileyen Faktörler	145
8.5	Çelik İşlemlerindeki Diğer Önemli Değişkenler	146
8.6	Çelik Seçiminin Genel Prensipleri	148
8.7	Standart – Dışı Bileşimlerdeki Bir Çeliğin Seçimi	148
8.8	Standart Bileşimde Bir Çeliğin Seçimi	149
9.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR	151
9.1.	Deneyde Kullanılan Örnekler	151
9.2	Deney Donatımı	153
9.3	Deneyin Yapılışı	155
10.	SONUÇLAR	157
	KAYNAKLAR	163
	ÖZGEÇMİŞ	166

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	Kısmen çözünürlük gösteren bir faz diyagramı.....	7
Şekil 2.2	Şekil 2.1’de belirtilen “x” alaşımının a) yavaş soğuma, b) hızlı soğuma , c) yaşlandırma işleminden sonra mikroyapıları.....	7
Şekil 2.3	Çökeltme yaşanmasında çökelen fazın oluşumu a) aşırı doymuş, b) bağdaşık geçiş kafesi, c) katı eriyiğin çökeltmesi	7
Şekil 2.4	Sıcaklığa bağlı olarak karbonun α - katı çözeltisinde maksimum çözülebilirliği	7
Şekil 3.1	Bakırın soğuma eğrisi	17
Şekil 3.2	Çeliğin soğuma eğrisi	17
Şekil 3.3	Saf demirin soğuma ve ısınma eğrileri	21
Şekil 3.4	HMK α - demirinde karbon atomlarının yerleşebileceği arayerlerin konumu	21
Şekil 3.5	Kararlı (Fe – C) ve yarı kararlı (Fe – Fe ₃ C) durumlar için Demir – Karbon diyagramı (DKD)	21
Şekil 3.6	Demir – Sementit faz diyagramının δ - fazı bölgesi	25
Şekil 3.7	Karbon ve düşük alaşımlı çeliklerin ısıtılmasında gözönünde bulundurulması gereken faktörlerin şematik gösterilişi.....	25
Şekil 3.8	Demir – Karbon denge diyagramının temel şekilleri	25
Şekil 3.9	Çelikteki alaşım elementlerinin ötektoid sıcaklık üzerinde etkileri	28
Şekil 3.10	Elementlerin ötektoid noktasının karbon içeriği üzerine etkileri	28
Şekil 3.11	Ötektik bir çeliğin izotermal zaman – sıcaklık eğrisi.	28
Şekil 3.12	Ötektoid bir çeliğin 705°C deki izotermik reaksiyon eğrisini elde etmek için kullanılan metod (a) deney parçasının elde edilişi (b) (a)’daki gibi hazırlanmış deney parçalarının metalografik muayenesi ile elde edilmiş eğri	33
Şekil 3.13	Ötektoid bir çelikte östenitin ayrışmasını gösteren ZSD diyagramı	34
Şekil 3.14	0.8 karbonlu çeliğe ait ZSD diyagramı. Soğuma eğrisindeki çapraz taralı alanlar dönüşümleri gösterir	34
Şekil 3.15	Ötektoid karbonlu çelik için yaklaşık SZSD diyagramı	41
Şekil 3.16	Karbonun, M_s ve M_f sıcaklıklarına etkisi	41
Şekil 3.17	ZSD eğrileri C % 0.91, Mn % 0.65, Ni % 1.35, Cr % 0.60; C % 0.42, Mn % 0.78, Ni % 1.79, Cr % 0.80, Mo % 0.33	43
Şekil 3.18	Alaşım elementlerinin ve diğer etkenlerin ZSD diyagramında dönüşüm kademelerini ötelemesi	43
Şekil 3.19	Bazı alaşım elementlerinin etkisiyle perlit ve beynit kademelerinin belirgin olarak ayrılması	46
Şekil 3.20	Sade karbonlu çeliklerde karbonun kalıntı östenit miktarına etkisi	46
Şekil 3.21	Suda soğutulduğunda bir yuvarlak çubuk içindeki değişik noktaların soğuması için gerekli zamanlar	46
Şekil 3.22	Ilık suda soğutulan küçük bir silindirin tipik soğuma eğrisi (3 soğuma aşamasını göstermektedir)	53
Şekil 3.23	125 mm çapında ve 63.5 mm uzunluğunda paslanmaz çelik örnekler için hareketsiz soğutma ortamlarında oluşan merkez-soğuma eğrileri	53

Şekil 3.24	Yangın tehlikesinde sallanma ve yağ sirkülasyonunun etkisi	76
Şekil 3.25	Çubuk çapı, sertlik derinliği ve soğuma şiddeti arasındaki ilişkiler	78
Şekil 3.26	Düşük alaşımlı bir çeliğin Jominy sertleşebilme eğrisi	78
Şekil 3.27	101.6 mm çapta şekil 3.26'da da gösterilen çeliğin enine kesit sertliği	79
Şekil 3.28	Soğutma şiddeti, Jominy derinliği ve $r / R = 0.5$ kesirindeki derinlikte, çubuk boyutu arasındaki ilişkiler	79
Şekil 3.29	% 50 oranında sertleşmemiş yuvarlak çubukta Jominy deney sertliğinin denk düştüğü bölgeler	80
Şekil 4.1	Bazı alaşım elementlerinin ötektoid noktanın karbon bileşimi üzerine etkisi	93
Şekil 4.2	Küçük çapta çubuklar için kritik çap, soğutma şiddeti ve ideal kritik çap arasındaki ilişkiler	93
Şekil 4.3	Büyük çapta çubuklar için kritik çap, soğutma şiddeti ve ideal kritik çap arasındaki ilişkiler	94
Şekil 4.4	% 5'den fazla martenzit içeren yapılarda, çubuk çapı ile ideal kritik çap arasındaki ilişkiler	94
Şekil 4.5	İdeal kritik çap ile karbon miktarı ve tane büyüklüğü arasındaki ilişkiler ...	97
Şekil 4.6	Beş genel alaşım elemanı için çarpım faktörleri	97
Şekil 4.7	Karbonun martenzitin sertliği üzerine etkisi	97
Şekil 4.8	Karbonun % 0.8 Mn'lı çeliğin sertleşebilirliği üzerine etkisi	100
Şekil 4.9	Karbonun SAE 8600 çeliklerinin sertleşebilirliği üzerine etkisi	100
Şekil 4.10	Saf Fe – C alaşımlarının sertleşebilirliği (% 90 martenzit, suda su verilmiş, ASTM no. 4)	103
Şekil 4.11	% 0.5 Mn'lı çelikte C miktarının sertleşebilirliğe etkisi (% 90 martenzit, suda su verilmiş, ASTM no. 4) (saf Fe – C alaşımları ile karşılaştırarak)	103
Şekil 4.12	Çelikte Mn miktarının sertleşebilen çap üzerine etkisi (% 90 martenzit, suda su verilmiş, ASTM no. 4, C içeriği % 0.2)	104
Şekil 4.13	Çelikteki Si miktarının sertleşebilen çap üzerine etkisi (% 0.2 C, % 0.5 Mn) (% 90 martenzit, suda su verilmiş, ASTM no. 4)	104
Şekil 4.14	Çelikteki P miktarının sertleşebilen çap üzerine etkisi (% 0.2 C, % 0.5 Mn) (% 90 martenzit, suda su verilmiş, ASTM no. 4)	106
Şekil 4.15	Çelikteki S miktarının sertleşebilen çap üzerine etkisi (% 0.2 C, % 0.5 Mn) (% 90 martenzit, suda su verilmiş, ASTM no. 4)	106
Şekil 4.16	Çelikteki Ni miktarının sertleşebilen çap üzerine etkisi (% 0.2 C, % 0.3 Mn) (% 90 martenzit, suda su verilmiş, ASTM no. 4)	107
Şekil 4.17	Çelikteki Cr miktarının sertleşebilen çap üzerine etkisi (% 0.2 C, % 0.3 Mn) (% 90 martenzit, suda su verilmiş, ASTM no. 4)	107
Şekil 4.18	Çelikteki Mo miktarının sertleşebilen çap üzerine etkisi (% 0.2 C, % 0.3 Mn) (% 90 martenzit, suda su verilmiş, ASTM no. 4)	108
Şekil 4.19	Çelikteki V miktarının sertleşebilen çap üzerine etkisi (% 0.2 C, % 0.5 Mn) (% 90 martenzit, suda su verilmiş, ASTM no. 4)	108
Şekil 4.20	Çelikteki Ti miktarının sertleşebilen çap üzerine etkisi (% 0.2 C, % 0.5 Mn) (% 90 martenzit, suda su verilmiş, ASTM no. 4)	108

Şekil 4.21	Çelikteki Zr miktarının sertleşebilen çap üzerine etkisi (% 0.2 C, % 0.5 Mn) (% 90 martenzit, suda su verilmiş, ASTM no. 4)	110
Şekil 4.22	AISI 1045 çeliğinde Cu'un sertleşebilir çap üzerine etkisi (% 90 martenzit, tuzlu – su çözeltisinde su verilmiş)	110
Şekil 4.23	Aynı ideal kritik çapta bir çelikte Bor'un sertlik artışı derecesi üzerine etkisi. Eğriler alüminyumlu 0.40 karbon ve 1.75 manganezli; bor'lu 0.40 karbon, 1.15 manganez alaşımındaki çeliklerin Jominy sertlik eğrileridir	110
Şekil 4.24	Bor'un sertleşebilirlik üzerindeki etkisi	112
Şekil 4.25	Efektif bir bor ilavesiyle (en az % 0.001) karbon çeliklerinde ideal kritik çapla karbon miktarı arasındaki ilişkiler	112
Şekil 4.26	Bor'un % 50 ve % 100 martenzitle ideal kritik çap arasındaki ilişkilere etkisi	114
Şekil 4.27	Farklı karbon seviyelerinde bor'un sertleşebilirlik üzerine etkisi	114
Şekil 5.1	Deney parçasının boyutları	119
Şekil 5.2	Sertleştirme düzeni	120
Şekil 5.3	Su borusunun ucu	121
Şekil 5.4	Deney parçasının ısıtılması için kullanılan yumuşak çelik kap	121
Şekil 5.5	Sertlik ölçme noktalarının yeri ve sertleşmenin ölçülmesi için deney parçasının hazırlanması	124
Şekil 5.6	SZSD diyagramı ile birlikte parçada soğuma seyir eğrileri (üstteki diyagram) ve Jominy yüzeyinden ölçülen sertliklerin diyagramda gösterilmesi	126
Şekil 5.7	Alt ve üst sınır eğrileri	128
Şekil 5.8	d uzaklığındaki sertlik değeri	128
Şekil 5.9	İki uzaklık sınırı arasındaki sertlik	129
Şekil 5.10	Belirli bir uzaklıktaki sertlik dağılımı	129
Şekil 6.1	İdeal kritik çapla, IH / DH başlangıç sertliğinin derinlik sertliğine oranının ilişkileri	134
Şekil 6.2	Jominy deney çubuğunun sulanmış ucundan 1/16'' lik uzaklıkta başlangıç sertliği ile karbon miktarı arasındaki ilişkiler	134
Şekil 6.3	a) 1.28 Ni, 0.7 Cr, 0.86 Mn, 0.26 Si, 0.41 C bileşimindeki çelik için SZSD diyagramı b) Aynı çeliğe ait Jominy sertlikleri (A = Östenit, B = Ferrit, P = Perlit, B = Beynit, M = Martenzit)	137
Şekil 6.4	Çeşitli su verme ortamlarında su verme çapı ile Jominy deneyinde uçtan uzaklık arasındaki ilişki	137
Şekil 6.5	4140 çeliğine ait Jominy deneyi eğrisi	138
Şekil 6.6	Sertleşebilirlik bantlarından sertleşebilirlik belirlemeleri	138
Şekil 9.1	Elektrikli direnç fırını	154
Şekil 9.2	Jominy düzeneği	154
Şekil 10.1	AISI 1040 çeliğine ait Jominy eğrileri	159
Şekil 10.2	AISI 1050 çeliğine ait Jominy eğrileri	160
Şekil 10.3	AISI 1070 çeliğine ait Jominy eğrileri	161
Şekil 10.4	2344 sıcak iş takım çeliğine ait Jominy eğrileri	162

ÖNSÖZ

Bana bu deneysel konuda çalışma olanağı sağlayan, çalışmam süresince değerli zamanını benim için harcayan ve tezimi büyük bir sabırla yöneten Sayın Hocam Prof. Dr. A. Ulvi AVCI'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca, tüm öğrenimim boyunca verdikleri bilgilerle yetişmemi sağlayan Makina Fakültesinin tüm öğretim üyelerine, çalışmam süresince çok yardımlarını gördüğüm Arş. Gör. Murat KIYAK'a ve İbrahim ŞAHİN'e teşekkür ederim.

Aynı şekilde deneysel çalışmalarım süresince her türlü yardımlarını esirgemeyen İmal Usulleri Labaratuvar görevlisi Sayın Ahmet ARABACI'ya müteşekkirim.

Bu arada tezimin yazımına sabır ve titizlikle katkıda bulunan kızkardeşim Sevda Özlem KARACA'ya içten teşekkürlerimi sunarım.



ÖZET

Bu çalışma, kuramsal ve deneysel olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır.

Kuramsal bölümde, ilk olarak sertleşme mekanizmaları ele alınmış ve bu mekanizmalardan konuya esas dönüşüm sertleşmesi ayrı bir başlık altında geniş kapsamlı olarak incelenmiştir. Sertlik ve sertleşebilirlik kavramlarının ayrı bir başlık altında sentezi sağlanmış ve Jominy deneyi detaylı olarak ele alınmıştır. Ayrıca son bölümlerde sertleşebilme ile mekanik özellikler arasındaki ilişkiler incelenmiş ve çelik seçimi ile ilgili bazı genel bilgiler verilmiştir.

Deneysel kısımda ise; Jominy deneyinde farklı çelikler ve su verme ortamları kullanılarak deneyler yapılmıştır. Deneylerde; 1040, 1050, 1070 sade karbonlu çelikler ve 2344 sıcak iş takım çeliği kullanılmıştır. Soğutucu ortam olarak ise aşağıdaki soğutma ortamları hazırlanmıştır:

- a) 65 mm su sütunu yüksekliği sağlayacak basınçta su
- b) 130 mm su sütunu yüksekliği sağlayacak basınçta su
- c) % 10 NaCl tuzlu su çözeltisi
- d) 0.75 bar basınçta hava ve 2 lt/dak debideki su ile oluşturulan basınçlı hava - su karışımı.

4 farklı çelik için yukarıdaki ortamlar kullanılarak toplam 16 adet Jominy deneyi gerçekleştirilmiş ve her deney sonunda elde edilen sertlik değerlerine göre Jominy sertlik eğrileri çizilmiştir.

Sonuç olarak, farklı soğutma ortamları kullanılarak elde edilen soğutma şiddetlerinin farklı çelikler üzerinde değişik sertleşebilirlik etkileri yarattığı görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Jominy deneyi, sertleşebilirlik, sertlik, soğutma ortamları, alaşım elementleri.

ABSTRACT

This study consists of two parts that are theoretical and experimental.

In the theoretical part, hardening mechanisms were taken into consideration first and one of these mechanisms, which occurs with high transformation rates of austenite, was studied under a different title comprehensively. A synthesis of hardness and hardenability concepts was discussed under a different title and the Jominy test was discussed in extreme detail. In addition to these, the relationship between hardenability and mechanical properties of steel was studied and some general information about the selection of steel was given in the last sections.

In the experimental part; series of Jominy tests were held using different steels and quenching media. During the tests; AISI 1040, 1050, 1070 steels and 2344 hot-work-die-steel were used. Following quenching media was prepared as the quenching media.

- a) Water at the standart pressure which obtains a water column at the heigth of 65 mm**
- b) Water at the pressure which obtains a water column at the heigth of 130 mm**
- c) % 10 NaCl aqueous brine solutions**
- d) Water spray which is created by using air at the pressure of 0.75 bar and water at the flow mass of 2 lt / min**

For 4 different types of steel, 16 Jominy tests were held by using the medias above and Jominy curves were drawn according to the hardness data which was obtained after each Jominy test.

As result, it was concluded that the quench severities obtained by using different quenching media had different hardenability effects on different types of steel.

Keywords: Jominy test, hardenability, hardness, quenching media, alloying elements.

1. GİRİŞ

Yüzyıllar boyunca sertlik, Fe – C alaşımlarına atfedilen en önemli değerlerden biri olmuştur. Öyle ki; eski kültürlerde demire karbon katan, daha doğrusu bir “ruh” kazandıran, ve böylece çeliğin sertleşmesini bilen insanlara adeta birer “sihirbaz” gözüyle bakılmıştır. Ancak, ne yazık ki, sertlik – tıpkı yüz güzelliği gibi – sadece malzemenin yüzeyinde elde edilebilen bir özellik olarak kalmıştır. Daha sonra metalurjistler farkına varmışlardır ki, belirlenmiş soğuma şartlarında belli bir parçada martenzitin meydana geldiği derinlik olarak tanımlanan sertleşebilirlik en az – belki de daha fazla – sertlik kadar önemli bir özelliktir. Mühendislik açısından çeliklerin sertleşebilirlik özellik ve kriterlerinin belirlenmesi uygulamalardaki önemini bugün de korumaktadır.

Günümüzde en yaygın kullanılan sertleşebilirlik deneyi Jominy tarafından geliştirilen Jominy deneyidir. Jominy deneyi sonucunda elde edilen Jominy eğrileri aynı sınıf çeliklerin farklı sertleşebilirliklerini karşılaştırmak için kullanılabilir ilk akla gelen eğrilerdir. Jominy eğrileri aynı zamanda çeşitli ortamlarda soğutulmuş farklı boyutlardaki çelik çubuklarda beklenen sertlik dağılımını tahmin etmede de kullanılabilir.

Bu araştırmanın amacı Jominy deneyi üzerinde, soğutucu ortam şartlarını değiştirerek bunun Jominy deney verileri ve dolayısıyla sertleşebilirlik üzerindeki etkilerini araştırmaktır.

Amaca yönelik olarak tezin teorik kısmında, ilk olarak sertleşme mekanizmaları ele alınmış ve bu mekanizmalardan konuya esas dönüşüm sertleşmesi ayrı bir başlık altında detaylı olarak incelenmiştir. Sertlik ve sertleşebilirlik kavramlarının gene ayrı bir başlık altında sentezi sağlanmış ve Jominy deneyi detaylı olarak ele alınmıştır. Ayrıca son bölümlerde sertleşebilme ile mekanik özellikler arasındaki ilişkiler incelenmiş ve çelik seçimi ile ilgili bazı genel bilgiler verilmiştir. Deneysel kısımda ise Jominy deneyindeki soğutucu ortamın basınç, bileşim gibi parametreleri değiştirilerek deneyler yapılmış ve bunlardan elde edilen veriler ile Jominy deneyi ve sertleşebilirlik özellikleri irdelenmiştir.

2. ÇELİKLERDE SERTLEŞTİRME MEKANİZMALARI

Çeliklerin dayanım değerlerinden en iyi şekilde yararlanabilmek için, sertleşme mekanizmalarının ve bunları kontrol eden faktörler ile bu faktörlerin özellikle, tokluk ve süneklik özellikleri üzerine etkilerine dikkat etmek gerekir. Çeliklerde sertleşme mekanizmaları, başlıca 3 ana grupta toplanabilir:

Bunlar:

- a) Soğuk sertleştirme
- b) Çökelme sertleşmesi
- c) Dönüşüm sertleşmesi

olarak belirtilebilir. Son olarak belirtilen, dönüşüm sertleştirmesine geçmeden önce, diğer mekanizmaların da kısaca açıklanması yararlı olacaktır.

2.1 Soğuk Sertleştirme

Soğuk sertleştirme, soğuk şekil verme esnasındaki sertlik artmasına denir, bunun sonucu süneklik azalır (Weisbach, 1977).

Soğuk şekil değiştirmede (çekme, çekiçleme v.s.) tane içi kayma düzlemlerindeki kaymalar sonucu taneler parçalanır veya en azından şekil değiştirir, ortam sıcaklığında bu yapı tekrar eski halini alamaz. Bu suritle, bir çok soğuk işlemler sonunda buna bağlı olarak oldukça önemli bir sertleşme husule gelir (Scheer, 1971).

Düzgün kayma düzlemleri boyunca görülen ideal kayma, yalnız tek kristallerde (tanelerde) mümkündür. Yapı içerisindeki tane sınırları kayma hareketini güçleştirir. Bu bölgelerde kafes yapısı düzensiz olduğu için kayma düzlemleri düzgün değildir ve komşu tanelerin kafeslerine kolay bir geçiş yapılamaz. Tane sınırlarında ilk olarak atomların kayması engellenir. Devam eden bir şekil değiştirmede kayma düzlemleri eğrilir. İkiz oluşumu ile geçiş yapabilen kayma düzlemleri katlanır. Daha fazla bir şekil değişimi gittikçe zorlaşır, yani daha fazla kuvvet gerektirir.

Belirli bir şekil değiştirme oranından sonra bütün kayma imkanları engellenir, taneler birbirlerini bloke eder. Bu duruma varıldığında metal artık pekleşmiştir. Yanıkayma sistemleri

tükenmiş, dislokasyon yoğunluğu artmıştır ve daha fazla şekil değiştiremez. Metal sertleşmiş aynı zamanda sünekliği de azalmıştır (Weisbach, 1977). Bunu en iyi, şu şekilde aydınlatabiliriz: Malzeme yüzeyine bastırılan bir cisme, mesela Brinell sertlik bilyasına, karşı belirli bir batma direnci oluşur. Bu davranış sertlik olarak tanımlanır. Yumuşak demirde bu batma direnci (malzeme dayanımı) o kadar büyük değildir, zira metal taneleri düzlemleri üzerinden soğuk durumda kolayca büyük ölçüde kayarlar, Brinell bilyası metalin içine gömülür. Taneler soğuk sertleştirme sonunda parçalanmış veya kuvvetli şekil değiştirmişlerse, artık bu kayma zorlaşacaktır. Evvelce düzgün olan tane yüzeyleri şimdi girintili çıkıntılı (kayma tapolojisi) olmuştur, yani kayma düzlemleri az veya çok bozulmuştur. Bu esnada kayma düzlemlerinin hareket kabiliyeti azaldığından Brinell bilyası içeri sokulurken daha büyük bir direnci (dayanmayı) yenmeye zorunlu olacaktır. Soğuk sertleşme, saf metaller gibi dönüşme sertleşmesine imkan vermeyen alçak karbonlu çeliklerde de dayanım arttırmanın bir yoludur.

Soğuk şekil değiştirmiş çelikler tavlınırsa yukarıda anlatılan özel durum ortadan kalkar, zira gerekli tav sıcaklığında dislokasyon hataları en aza indirilir ($\sim 10^{6-7}$), bir nevi malzeme yapısı yenilenmiş olur.

Bundan ötürü, soğuk şekil değiştirmenin belirtisi olan sertlik istenmediği takdirde, soğuk şekil değiştirmiş çelikler daima bir tavlamaya tabi tutulurlar. İşte bundan dolayı, bir çok soğuk işleme kademelerinden teşekkül eden tel çekmede ara tavlamalar yapılır, yapılmadığı takdirde çelik o kadar sertleşir ki, çekmeyi sonuna erdirmek mümkün olamaz (Scheer, 1971).

Isıtma ile yüksek sıcaklıklara çıkarma sonucu, düzeni bozulmuş kafes yapısı daha çok hareket imkanı elde eder. Atomlar düzenli yerlerini yeniden alırlar. Bu olaya yeniden (tekrar) kristalleşme (rekristalizasyon) veya yeniden billurlaşma denir (Weisbach, 1977).

Pratikte soğuk sertleştirmeden, yarı mamul ve makina parçalarını daha yüksek akma sınırına ulaştırmada faydalanılır (Weisbach, 1977).

2.2 Çökelme Sertleştirme (Yaşlanma Sertleştirme, Ayrışma Sertleştirme)

Bir alaşımın mukavemetini arttırmak için önceki sayfalarda da belirtildiği gibi iki yol vardır: Biri soğuk işlem, ikincisi ısı işlemidir. Demir dışı metal alaşımlarında mukavemet arttırıcı en önemli ısı işlem çökelme sertleştirme (Age hardening veya precipitation hardening)

işlemdir. Bu işlemin uygulanabilmesi için o alaşımın faz diyagramı kısmen çözünürlük göstermelidir. Solvüs (çözünürlük) çizgisinin eğimi öyle olmalıdır ki yüksek sıcaklıkta çözünürlük fazla, düşüğe ise çözünürlük az olmalıdır. Bu koşulları sağlayan faz diyagramına örnek şekil 2.1' de görülmektedir. Diyagramda ötekiğin solunda kalan kısmı dikkate alırsak, çökme sertleşmesi işlemi uygulanabilecek alaşımlar ancak H-F aralığında bulunan alaşımlardır. Ötekiğin sağ tarafını dikkate alırsak, G-J arasında kalan alaşımların bu ısıl işleme uygun olduğu anlaşılır. Endüstride yaşlanma sertleşmesi uygulamak için genellikle F noktasının az bir miktar solunda olan alaşımlar seçilir. Maksimum sertleşme etkisi F noktasında elde edildiği halde, emniyet payı açısından tam bu noktadaki alaşım genellikle seçilmez.

Çökme sertleşmesi ısıl işlemi iki aşamada olur. Birincisi çözeltili alma (Solution Treatment) ve ikincisi yaşlandırma (aging).

Örnek olarak şekil 2.1'deki (x) alaşımının çökme sertleşmesi ısıl işlemini açıklayalım: Bu alaşım oda sıcaklığında $\alpha + \beta$ 'dan oluşmuştur. M noktasına kadar ısıtıldığı zaman β fazı, α içinde çözünerek alaşım α fazdan ibaret olur. Bu sıcaklıktan oda sıcaklığına hızlı soğutulursa β fazı, α 'dan ayrılacak zaman bulamaz. Alaşım oda sıcaklığında aşırı doymuş bir katı eriyik (α - katı eriyiği) durumundadır. Hızlı soğutma işlemi alaşımı soğuk su banyosuna daldırmakla veya su püskürtmekle sağlanabilir. Hızlı soğutma, farklı soğuyan kısımlarda iç gerilmelere ve dolayısıyla çarpılmalara sebebiyet verebilir. Bu durumda soğutma kaynar suda da yapılabilir. Eğer α fazı yumuşak bir faz ise meydana gelen çarpılmalar kolayca düzeltilebilir. Düzeltme işlemi mümkün olduğunca soğutma (su verme adı da verilir) işleminden hemen sonra yapılmalıdır. Şekil 2.2'de alaşımın a) yavaş soğutma sonunda, b) ısıtma ve hızlı soğutma sonunda ve c) yaşlandırma işlemi sonundaki mikroyapısı görülmektedir (Ünal, 1991).

Hızlı soğutmadan sonra alaşım aşırı doymuş olduğu için termodinamik açıdan kararsızdır. β fazı çökme eğilimindedir. Çökme işleminin hızı sıcaklığa bağlıdır. Düşük sıcaklıkta difüzyon yavaş olduğundan β fazının α - katı eriyiğinden ayrılması uzun zaman alır. Sıcaklık biraz arttırılınca α - katı eriyiği içinde gayet ince ve homojen dağılmış β taneleri çökler. (Şekil 2.2c) Sıcaklık daha da arttırılırsa (hiçbir zaman solvüs eğrisinin üzerine çıkarılmamalıdır). β taneleri kısa sürede çökler. Fakat taneler iri olur ve yapı içinde daha seyrek dağılmış bulunurlar (aglomerasyon). Bu da sertliğin düşmesine sebep olur. α 'dan β

tanelerinin çökmesi çok küçük ve homojen dağılımlı partiküller halinde olduğu oranda sertlik de o oranda artmaktadır.

Yaşlanma işlemi, hızlı soğutulma işleminden sonra oda sıcaklığında yapılırsa, yani dışarıdan hiç ısı verilmeden β taneciklerinin çökmesi beklenirse, 4 - 5 gün gibi uzun zamanda gerçekleşir. Bu işleme “doğal yaşlanma” denir. Eğer çökme hızlandırılmak istenirse (birkaç saat içinde gerçekleşmesi) alaşım ısıtılır. Buna da “yapay yaşlanma” denir. Hızlı soğutulmuş alaşım ısıtılacağı yerde soğukta bırakılırsa yaşlandırma işlemi geciktirilmiş olur. 0°C 'da yaşlanma işleminin başlaması birkaç gün sürer. -40°C veya -50°C gibi çok düşük sıcaklıklarda ise bu işlem çok daha uzun süre alır. Bu durumda uçak sanayinde yararlanır. Alüminyum alaşımından yapılmış perçinler önce katı çözeltiliye alınır ve hızlı soğutulur. Bu durumda henüz β fazı çökmediğinden alaşım yumuşaktır. İşlenene (perçin yapılarına) kadar sertleşmemesi için sıfırın altındaki sıcaklıkta bir dolapta bekletilir.

Çökelen taneciklerin alaşımın sertliğini neden arttırdığı kesinleşmemiştir. Bunun için çeşitli kuramlar ortaya atılmıştır. Bunlardan en bilineni “bağdaşık kafes kuramı” (coherent lattice theory) dir. Katı çözeltiliye alma ve hızlı soğutmadan sonra alaşım aşırı doymuş haldedir. Çözünen atomlar ana metal kristal sisteminde rastgele dağılmışlardır. (Şekil 2.3a) Belli bir süre sonra çözünen atomların (solute atom) fazlası belirli kristalografik düzlemlerde toplanmaya başlarlar ve çekirdek oluştururlar. Daha sonra bir geçiş kafesi (transition lattice) meydana getirirler. (Şekil 2.3b) Bu fazla faz, çözücü kristal kafesi ile farklı kafes parametrelerine sahiptir ve çözücü ana kütle atomlarının kafes yapısında çarpılmalarına neden olur. Bu çarpılmalar dislokasyon hareketine engel oluşturarak sertliği ve mukavemeti hızla arttırırlar. Zaman arttıkça bu çekirdekler büyüyerek kendi kristal kafesini meydana getirirler. Bu durumda ana element kristal kafesi ile bağdaşık kalmaz ve mukavemet düşer. Alaşıma “aşırı yaşlanmış” denir. Şimdi artık ana faz ile çökelen faz arasında tane sınırı vardır ve çökelen taneler mikroskopta görülecek kadar büyümüştür. Kafesteki çarpılma (deformasyon) yüzünden azalan elektrik iletkenliği tekrar artar.

Çökme sertleşmesi (çökme yaşlanması) bütün alaşımlarda aynı etkiyi yapmaz. Bazı alaşımlarda yaşlanma sonunda sertlik ve mukavemette çok küçük artışlar gözlenir. Bu etki ayrışan fazın miktarına göre değil de kafeste yarattığı çarpılmaya göredir. Örneğin, magnezyum % 46 oranında kurşunu ötektik sıcaklığında çözebilir (yani katı eriyik oluşturabilir). Oda sıcaklığında ise ancak % 2 kadar kurşunu çözebilir. Bu durumda % 46'ya kadar kurşun içeren magnezyum alaşımına çökme yaşlandırması yapılabileceği düşünülür,

fakat işlem sonunda yaşlanma sertleşmesi meydana gelmez. Sebebi de çökme sırasında geçiş kafesinin oluşmaması ve çok az kafes çarpılmasının meydana gelmesidir. Buna karşılık bazı alaşımlarda az bir miktar çözünen element atomları çözücü kafesinde büyük çarpımalara sebep olup sertliği büyük oranda arttırabilir. Bakır – berilyum alaşımlarında bu durum görülür. % 1.9 – 2.15 oranında berilyum içeren bir bakır alaşımı çökme sertleşmesi işleminden önce RB 45 – 65 sertliğine sahipken, işlemden önce sertlik RC 36 – 40'a yükselir (Ünal, 1991).

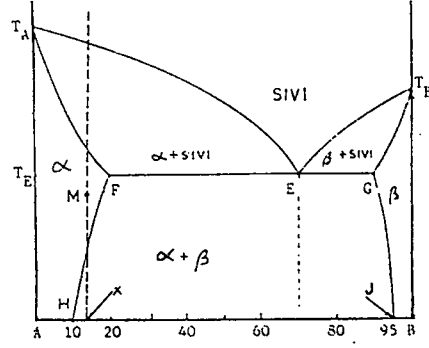
2.2.1 Çelikte çökme sertleşmesi

Çökme sertleşmesi mekanizmasının teknikte yararlı halde kullanılması, öncelikle sertleştirilebilir alüminyum alaşımlarında başlamıştır. Ancak, benzer mekanizmaların demir alaşımlarında mevcut olduğu ve bu olaylar sonucunda bazı durumlarda özelliklerin kötüleştiği, ancak uygun düzenlemeler ile önemli özellik iyileşmesi sağlanabileceği görülmüştür.

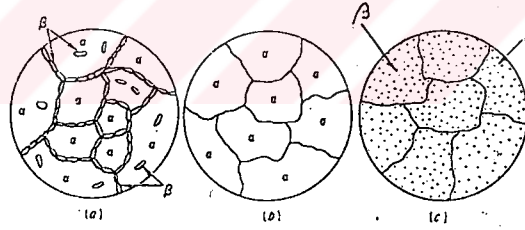
Çökme sertleşmesi olayı, genel olarak yaşlanma terimi ile belirtilir. Bu olayda, çeliğin üretiminde cevher ve üretim tarzına bağlı olarak, istenilmediği halde yapıda kalabilen elementler (empürite – arıtlamayan elementler) intermetalik bağlantı tarzında çökme yaparak, sertliğin ve dayanımın artmasını sağlarlar, fakat bu esnada kabul edilemeyecek düzeyde de kırılganlık meydana getirirler. Buna karşın, çökme olayı denetim altına alındığında da, kırılganlık yaratılmadan dayanım özelliklerin iyileştirilmesi mümkün olabilmektedir. Bunun sonucu olarak da, bugün endüstride çökmeyle sertleştirilebilen çelik malzemeler ve maraging çelikleri geliştirilmiştir.

Çeliklere uygulanan çökme olayı, özellikle çok düşük miktarda karbon içeren çeliklerde önemlidir. Demir – karbon denge diyagramından da bilindiği gibi, Ar₃ sıcaklığının altında teşekkül eden ferrit, karbon çözülebilirliği sınırlı olan bir katı çözüldür. Yüzey merkezli γ -kafesinde olduğu gibi kafesin ortasında boş yer yoktur ve hacim merkezli α - kafesinin karbon alabilirliği çok azdır. Alaşımsız çeliklerde 723°C'de ferrit içerisinde karbonun çözülebilirliği en üst düzeye ulaşarak en fazla % 0.02 kadardır. (Şekil 2.4) Oda sıcaklığında çözülebilirlik çok daha azdır ve 723°C'deki değerin yaklaşık ondabirine kadar düşer (Topbaş, 1993).

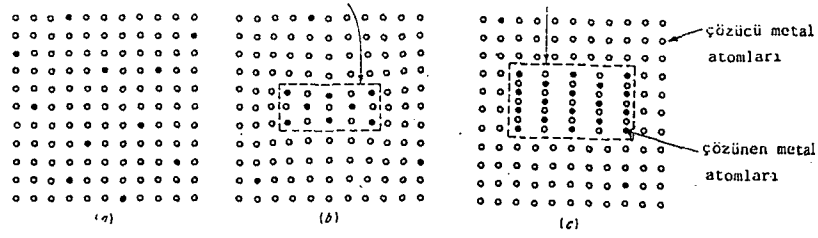
Eğer çelik yavaş olarak soğutulursa, 723°C'nin altında düşen sıcaklıkla birlikte, α - demirinde çözünen karbon, Fe₃C olarak çökler. Teşekkül eden bu sementite, γ - demirinden çökelen



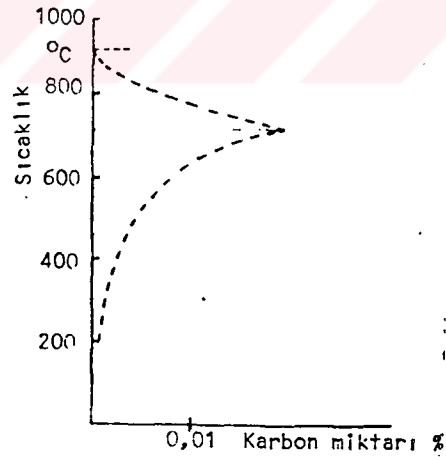
Şekil 2.1 Kısmen çözünürlük gösteren bir faz diyagramı (Ünal, 1991; s.23)



Şekil 2.2 Şekil 2.1'de belirtilen "x" alaşımının a) yavaş soğuma, b) hızlı soğuma, c) yaşlandırma işleminden sonra mikroyapıları (Ünal, 1991; s.24)



Şekil 2.3 Çökeltme yaşlanmasında çökelen fazın oluşumu a) aşırı doymuş, b) bağdaşık geçiş kafesi, c) katı eriyiğin çökeltmesi (Ünal, 1991; s.26)



Şekil 2.4 Sıcaklığa bağlı olarak karbonun α - katı çözeltisinde maksimum çözülebilirliği (Topbaş, 1993; s.310)

sekunder sementitden ayırmak için, tertier (üçüncül) sementit olarak adlandırılır. Yavaş soğutmada teşekkül eden tertier sementit, önemli bir sertlik artması sağlamaz.

Buna karşın, eğer karbon içeren α - demiri su içerisinde ya da ince parça ise havada hızlı soğutulursa (ani soğutma), düşük sıcaklıklarda difüzyon için yeterli ortam olmadığından, karbon α - demiri içerisinde çözülmüş olarak kalır. (Aşırı doymuş katı çözelti) Aşırı doymuş α - demirinde çözülmüş karbon, oda sıcaklığındaki çok düşük difüzyon kabiliyetine karşın çok uzun zaman içerisinde karbür halinde çökeler. Bu çökelmeler, α - kristalinin kayma düzlemlerinde olur ve kayma düzlemlerini kısmen bloke ederek, herbir kristalin şekil değiştirme direncini artırırlar. Bu esnada akma sınırı, çekme dayanımı ve sertlik yükselirken, şekil değişebilirlik azalır. Demir içerisinde karbonun difüzyon katsayısının oda sıcaklığında çok düşük olması nedeniyle olay çok yavaş geliştiğinden, çökme ve özellik değişimleri günlerce, haftalarca, hatta yıllarca devam eder.

Aşırı doymuş katı çözeltinin sıcaklığı biraz yükseltilirse, karbonun demir içerisinde difüzyon olanağı iyileşeceğinden olay hızlanır ve birkaç saat içerisinde tamamlanabilir. Daha yüksek sıcaklıklara çıkıldığında, α - demiri içerisinde karbonun çözülebilirliği de artacağından, oda sıcaklığındaki çökelmeye nazaran çökelen karbür miktarı azalır. Ayrıca, yükselen sıcaklık çökelen karbürün küreselleşmesine de neden olacağından kayma düzlemlerindeki blokaj etkisi azalır, çökelmiş sert partiküller blokaj etkisi yerine, yumuşak ferritik yapı içerisinde çok sayıda hatalı nokta oluştururlar.

Demir içerisinde karbon için açıklanan bu olaylar, karbon dışında başta azot olmak üzere, fosfor, kükürt, hidrojen gibi arıtılmayan elementlerle ve ayrıca ilave olarak katılan alaşım elementleriyle meydana gelebilir (Topbaş, 1993).

2.2.1.1 Yaşlanma olayı

Hammededen ergiyiğe intikal eden ya da üretim tarzına bağlı olarak üretim esnasında karışan arıtılmayan elemanlar, çeliğin özelliklerini çok yönlü etkilerler. Çeliğin kalitesinin belirtilmesinde karakteristik olarak, özellikle azot, fosfor ve kükürt önemlidir. Üretim yöntemine bağlı olarak, bu elemanların miktarına etki edilebilir.

α - demirinde 590°C sıcaklıkta (Fe – N sisteminde ötektoid sıcaklığı) yaklaşık % 0.1 azot çözülebilir. Buna karşın, oda sıcaklığında çözülebilirlik yalnızca yüzde onbindebirden (<%

0.0001) daha azdır. Çeliğin, örneğin haddeleme, tavlama ya da kaynaktan sonra soğumasında, azot miktarı tüm teknik çeliklerde oda sıcaklığında çözülebileceğinden fazla kalacağından, aşırı doymuş bir çözelti meydana gelir. Azot, uzun süreli dinlendirmeden sonra, metastabil formda demirnitür olarak ayrışır. Dayanımın yükselmesi yanında kırılmalık da yaratan bu olay, “yaşlanma” ya da “ihtiyarlama” olarak adlandırılır. Sıcaklığın yükselmesi ya da soğuk şekillendirme, bu olayı hızlandırır. Yaşlanma, düşük karbonlu çeliklerde yaklaşık % 0.01 azot miktarlarında, dayanımın ve sertliğin artması şeklinde hissedilebilir. Ancak, bu esnada şekillenebilirlik ve süneklilik önemli ölçüde düşer ve malzeme kırılmalık hale gelir. Çentik darbe dayanımının ve kırılmalığa meylin geçiş sıcaklığı (Darbe geçiş sıcaklığı) bu olaydan dolayı yükselir. Özellikle kaynak bağlantılarında, ısı etkisinin de olması, daha sonraki darbeleri zorlamalarda tehlikeli kırılmalara neden olur. Yaşlanma olayı, fosforla şiddetlenir ve pek az karbon ve oksijen miktarlı yumuşak çeliklerde deformasyon görülür. Bu tür yaşlanmaya karşı dayanım değeri, en iyi şekilde çentik darbe dayanımının ölçülmesiyle bulunabilir.

Alışılmış miktarlardaki fosfor, çelikte α - demiri içerisinde çözülebilir. Yumuşak çeliklerde sertliğin ve dayanımın önemli ölçüde artmasına, fakat sünekliliğin çok fazla azalmasına neden olur. Yükselen fosfor miktarı, soğuk kırılmalık meydana getirir ve bükülebilirliği çok azaltır. Bu tür malzemedan üretilmiş saclar, gemi inşası için uygun değildir. Fosfor, çelik kütüklerde çok fazla homojensizlik gösteren özelliğe sahip bir elementtir. Özellikle kütüklerin üst kısımlarının ortasında meydana gelen fosfor zenginleşmesi (blok ayrışmalar) haddeleme ile giderilemez ve fosfor demirin ergime sıcaklığını düşürdüğünden, kaynak esnasında hatalar meydana gelir (Topbaş, 1993).

Kükürt, kuvvetli blok ayrışmalarına eğilimi olan elementlerden sayılır. Fosforun aksine, kükürt çelik içerisinde çözülmez ve düşük ergime sıcaklıklı demirsülfür teşekkül ettirir. Demirsülfür, sıcak şekillendirmeyi zorlaştırır ve sıcakta kırılmalık meydana getirir. Bundan dolayı, mangan ilavesi ile yüksek ergime sıcaklıklı mangansülfür teşekkül ettirilir.

Çelikte en önemli alaşım elementi olan karbon, özellikle yumuşak çeliklerde çökelme yaparak, diğer empüritelere benzer olarak özellik değişmesi meydana getirir.

Çok düşük karbonlu yumuşak çeliklerde, $\gamma \Rightarrow \alpha$ dönüşmesinden sonra yavaş soğumada, ferritin tane sınırlarında tertier sementit formunda, ferritden karbon ayrışır. Çökelmenin bu tarzı, teknik için pek az ilginçtir ve malzeme özelliklerinde fazla değişme yapmaz. Buna karşılık, ferrit hızlandırılmış soğutma ile soğutulursa (örneğin ince parçalarda haddeleme

sonrasında açık havada soğutma), daha sonra yapılan ısınmalarda meydana gelen reaksiyonlar oldukça önemlidir. Eğer, dönüşüm noktası civarında bulunan α - katı çözeltilisi, ani soğutulur ve ısıtma işlemi ile karbon çökeltirirse, bu işleme “ani soğutma yaşlanması” ya da “ani soğutma dinlendirmesi” adı verilir. Ani soğutulmuş α - katı çözeltilisi yapısına soğuk şekillendirme yapılırsa, ısıtma yapılmadığında bile olay hızlanır ve gerilim yaşlanması meydana gelir. Doğal yaşlanma ise, önemli bir ısıtma olmaksızın, çok uzun zaman içerisinde meydana gelen metastabil sistemin değişmesidir.

Diğer alaşım elementleri ve artılamayan elementler, azot ve karbonla birlikte yaşlanmayı değişik tarzlarda etkilerler. Bunlar, 4 gruba ayrılabilir:

- a) Azot ve karbonla birlikte, pek az değişken etki meydana getiren elementler: Bakır, nikel, mangan ve fosfor.
- b) Stabil nitür teşekkül ettiren elementler: Alüminyum, silisyum ve bor.
- c) Stabil karbür teşekkül ettiren element: Molibden.
- d) Stabil karbür ve nitür teşekkül ettiren elementler: Krom, vanadyum, niob, tantal, zirkonyum ve titan.

Bu elementlerin teşekkül ettirdikleri intermetelik bağlantıların oluşumu ve yaşlanmaya olan etkileri oldukça fazladır. Özellikle tane küçültücü ve dayanımı artırıcı etkileri denetim altına alınarak, bu özelliklerinden yararlanılmak suretiyle, kırılma olmayan yüksek dayanımlı çelik üretilir (Topbaş, 1993).

Çökelme olayları sonucunda ortaya çıkan yaşlanma olayının, değişik çeliklerdeki etkileri ve önlenmesi genellikle büyük farklar içerir. Örneğin, dayanımda düşme ve çökelme kırılma, yüksek alaşımlı sığa ve tufallaşmaya dayanıklı çeliklerde sorunlar yaratır. Eğer işletme sıcaklığı, çökelmenin kuvvetli olduğu sıcaklık sahasında ise, kullanım esnasında kırılma görülebilir. Bu çökelmeler, tane sınırlarında olabilir ya da tane içlerinde yığılma yapabilir ve çeliğin kayma düzlemlerinde dayanım azalmasına neden olurlar.

Yüksek alaşımlı takım çeliklerinde çökelme ve bununla ilgili dayanım yükselmesi 550°C civarında, oldukça yüksek sıcaklıklarda görülür. Bu esnada özel alaşım karbürleri çökeler. Meneviş işleminden dolayı ortaya çıkabilecek sertlik düşüşü, bu sıcaklıktaki çökelmeyle karşılanır ve hatta sertlik yükselmesi bile ortaya çıkar. Bu olaya sekonder sertlik adı verilir.

Karbonu çözülmüş olarak içeren α - katı çözeltileri, çözülme sıcaklığı olan 723°C'den yavaş soğutulursa, daha önce de açıklandığı gibi, daha sonraki yapılacak dinlendirme işlemlerinde çökelme olmaz. Çökelme, yavaş soğuma esnasında meydana gelecektir. Bu durumdaki çökelme, ince partiküller halinde olmayıp, aksine küresel tanecik formundan meydana geleceğinden, pek az dayanım artması olur. Örneğin fırında yapılacak yavaş soğumadan yeterli zaman olması nedeni ile, çekirdek rolü oynayan tane sınırlarında çökelme olur. Yani tane sınırı sementiti oluşur. Miktarı çok az olduğu için ötektoid üstü çeliklerdeki gibi karbür ağları teşekkül edemez, daha çok yığılma görülür. Bu tane sınırı sementitleri de, plastik şekillendirmede kuşkusuz az çok zorluk doğururlar. Fakat kapalı karbür ağı oluşmadığından, önemli bir şekillendirme sorunu oluşmaz.

Alaşımız düşük karbonlu çeliklerde, aşırı doymuş α - katı çözeltilerinden çökelen fazlar nedeniyle kırılma da meydana geldiği için, daha yüksek dayanım değerine daha yüksek karbon miktarlı çeliklerle ya da yakın zamanda geliştirilen mikro alaşımlı çeliklerle ulaşılması da düşünülebilir. Özellikle, % 0.1 ya da daha az karbon içeren derin çekme ve boru imalatında kullanılan çeliklerde, çoğu zaman yaşlanmaya karşı da direnç aranır. Bu durumlarda, 723°C'nin altına yavaş soğutma yapılarak, dinlenmede kırılma artması önlenir. Derin çekme gibi ince cidar kalınlıklı parçalarda, tavlama sonrası soğutmalar mutlaka fırında yapılmalıdır (Topbaş, 1993).

Gerilme Yaşlanması

Gerilme yaşlanmasına, çökelme sertleşmesinin özel bir durumu olarak bakılabilir. Gerilme yaşlanmasında çökelme işlemi malzemenin soğuk şekillendirilmesi ile olmakta, daha doğrusu çökelmeye şekillendirme ile etki yapılmaktadır. Yüksek çözülebilirlik sahasından ani soğutulmuş aşırı doymuş katı çözeltilerden gerilme ile çökelme yaptırılır. Yani, çökelme olayı için bir ek gerilmeye gereksinim vardır bu durum, östenitin sertleştirme sıcaklığından ani soğutulması ile oluşan martenzit teşekkülünde de vardır. Burada, dıştan verilen gerilmeler, martenzit teşekkülünü artırır.

Yavaş soğutulmuş çeliklerin soğuk şekillendirmeden sonra dinlendirilmesinde de kırılma görülebilir. Yavaş soğumada aşırı doymuş karbon ve azot bağlantılarının yalnızca bir kısmı çökeler ve çökelme olayı dinlendirme ile devam ederse bu durum ortaya çıkar. İlave olarak gelen gerilmeler, çökelmeye yardımcı olur ve oda sıcaklığındaki dinlendirmede yaşlanma olayı ve bunun sonucu olarak da kırılma meydana gelebilir. Şekillendirme oda sıcaklığının

üzerinde yapılırsa, karbon ve azot bağlantılarının difüzyon hızı yükseleceğinden, şekillendirme esnasında çökeltme olur ve dayanım yükselir. Yani, oda sıcaklığına nazaran daha yüksek sıcaklıklarda şekillendirilen malzemede, daha yüksek dayanım, akma sınırı ve sertlik görülür. Fakat bu tarzdaki şekillendirme esnasında süneklik oldukça düşer ve hatta şekillendirme esnasında kırılmaya rastlanabilir. Alaşımız çeliklerde, α - katı çözeltilerinin çökeltme sertleşmesinde, şekillendirme hızı ve difüzyon hızı arasındaki denge yaklaşık 300°C'de olmaktadır. Elbetteki bu sıcaklık, şekillendirme derecesine de bağlıdır. 300°C'de ki çelik mavi meneviş rengine sahip olduğu için, bu sıcaklık sahasında ki şekillendirmede kırılma olayı, çeliğin "Mavi Kırılma" olarak tanımlanır.

Soğuk şekillendirilmiş çelik daha yüksek sıcaklıkta dinlendirilirse, şekillendirilmemiş çelikte olduğu gibi bir yaşlanma (kırılma) hızlanır. Bu durumdaki kırılma olayına " yapay yaşlandırma" denir. Yaşlanma olayı oda sıcaklığındaki dinlendirmede olursa, diğerinden ayırmak için "doğal yaşlandırma" adı verilir (Topbaş, 1993).

2.2.1.2 Dayanım arttırmak amacıyla çökeltme sertleşmesi

Dayanımı yükseltmek amacıyla ferriten arayer ya da değişik atom olarak çözülmüş elementlerin çökeltmesine, geçmişte fazla önem verilmemiştir. Bunun nedenleri olarak, ferritik ana yapının dayanımının artırılmasının klasik yöntemlerle daha kolay ve ucuza yapılabilmesi ve konuyla ilgili teorik bilgilerin henüz yeni ortaya konması olarak söylenebilir. Zamanla özellikleri değişmeyen yüksek dayanımlı çeliklerin (Maraging çelikleri) gelişmesinden beri, bu konuya ilgi oldukça artmıştır. Östenitik çeliklerde, çökeltme sertleşmesi uzun zamandan beri teknik olarak kullanılmakta ve bu konuda çok sayıda ekonomik çalışma yapılabilmektedir.

Çeliklerde çökeltme sertleşme olanağı sınırlıdır ve olay düşen sıcaklıkla birlikte katı çözelti içerisinde alaşım elementlerinin çözülebilirliğinin azalmasına dayanır. Çözeltiye alınmış katı çözelti, ani soğutmayla aşırı doymuş halde korunduktan sonra, dinlendirme yapılarak çökeltme partikülleriyle dayanım artırılır.

Çökeltme ile dayanım arttırmada erişilebilecek özellikler için, yöntemin yanında öncelikle çökeltme partiküllerinin büyüklüğü, sayısı, formu ve dağılımı oldukça önemlidir. Aşırı doymuş çözeltilerin durumu, özellikle boş yerler, dislokasyonlar, küçük ve büyük açılı tane sınırları gibi

strüktüel kafes hatalarının sayısı ve dağılımı, çökme seyrini büyük ölçüde etkiler. Ayrıca, gerekli çözme tavlama sıcaklığı ve ani soğutmanın hızı da önemlidir (Topbaş, 1993).

2.3 Dönüşüm Sertleştirilmesi

Diğer sertleşme mekanizmalarına göre çok daha fazla öneme ve uygulamaya sahip, ayrıca Jominy deney ve uygulamalarının temelini teşkil eden dönüşüm sertleştirilmesi müteakip bölümde (3) ayrı bir başlık altında ele alınmış ve çeşitli başlıklar altında incelenmiştir.



3. DÖNÜŞÜM SERTLEŞTİRMESİ

3.1 Dönüşüm Serleşirmesi Prosesine Genel Bir Bakış ve Ön Bilgiler

Çeliklerin sertleştirilmesinde dönüşüm sertleştirilmesi, özellikle martenzit teşekkülü ile sertleşme olayı, diğer sertleşme mekanizmalarına nazaran çok daha fazla öneme sahiptir (Topbaş, 1993).

Martenzitik ya da bainitik yapı elde edilerek sağlanan dönüşüm sertleştirilmesi, çelikte katı halde dönüşüm meydana gelmesinden yararlanılarak gerçekleştirilebilmektedir. Östenitik duruma getirilmiş çelik yavaş soğumada ferritik – perlitik ya da perlit ve demirkarbürden oluşan yapı meydana getirirken, kritik soğuma hızının üzerinde ani soğutma yapılarak bu yapılardan ferrit ve perlitin oluşumunun engellenmesiyle martenzit adı verilen yapı teşekkül ettirilmekte ya da östenitik yapıya izotermik dönüşüm yaptırılarak bainitik yapı elde edilmektedir (Topbaş, 1993).

Gama alanında (katı eriyik yani G-O-S eğrisi üstündeki sıcaklıkta) arı demirin hacimsel kafesi, bilindiği gibi, yüzey merkezli olup hacimsel kübün merkezinde demir atomları yoktur. Çeliğin içinde karbon bulunduğundan, bu karbon atomları yüksek sıcaklıkta hacimsel kübün merkezine yerleşir. Sıcaklık yavaş yavaş düşmeye başlayınca yüzey merkezli gama-demiri hacimsel merkezli alfa-demirine dönüşür yani demir atomları hacimsel kübün ortasına doğru göçüm ederler. Bundan ötürü burada bulunan karbon atomu yerini terk etmeye mecbur olur ve hacimsel kübün sınırlarında herhangi bir yerde sıkışır.

Fakat A_3 durak noktası üstünde ısıtılan çelik ani olarak birden soğutulursa, mesela soğuk suya daldırılırsa, çok küçültülmüş olan soğutma müddeti, yukarıda anlatılan yer değiştirmenin düzenli olarak husule gelmesine yetmeyecektir. Her ne kadar gama-demiri alışılmış alfa-demirine dönerse de, karbon atomları, ani soğutma ile hızla düşen sıcaklıkta gereken hareketi yapmaz ve yer değiştirme imkanı tamamen ortadan kalkar. Her ne kadar kübün ortasında karbon için hiçbir yer bulunmuyorsa da karbon atomu sıkışır kalır, zira hacimsel kübün merkezinde şimdi demir atomu bulunmaktadır. Kübün merkezinde demir atomu ve karbon atomu hacimsel dar kafes içinde sıkışır, bu yer için karşılıklı mücadele ederler; biri diğerini dışarı çıkarmaya uğraşır. Fakat alçak sıcaklıkta kafes iyice kapalı bulunduğundan her iki atom birlikte sıkışmış olarak kalır. İşte bu zorunlu iç yapı durumu çeliğin sertliğini husule getirir.

Anlatılan etkiye erişebilmek için sıcaklık o kadar hızla düşmelidir ki, “kritik soğutma hızı” denen hız saniyede yüzlerce dereceyi aşmalıdır.

Bir çeliğin sertleşmeye elverişli olması için bileşiminde en az bir karbon miktarı bulunması lazımdır. Dönüşme sertleştirilmesi için ortalama % 0.40 karbon bulunması kabul edilmektedir (Scheer, 1971).

Dönüşüm sertleşmesiyle çeliklerde sertlik artması, çeliğin tüm kesitinde olabileceği gibi (tam sertleştirme), yalnızca yüzeyinde belirli bir derinliğe kadar da (yüzey sertleştirilmesi) uygulanabilir. Yüzey sertleştirmede, çeliğin bileşimi değiştirilmeksizin, yalnızca sertleştirilmek istenilen cidar kalınlığının alev ya da indüksiyonla ısıtılması suretiyle dönüşüm sertleştirilmesi uygulanabileceği gibi, bu bölgenin bileşimi (karbon miktarı) yabancı element atomu difüzyonuyla değiştirildikten sonra dönüşüm sertleştirilmesi uygulanabilir (Topbaş, 1993).

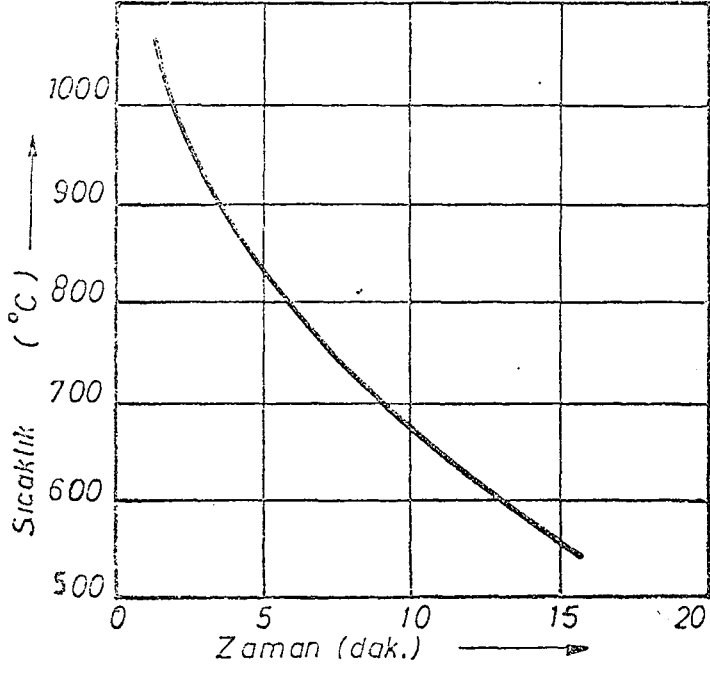
Isıl işlemin belki de temelini teşkil eden Dönüşüm Sertleşmesi Prosesinin detaylarını daha doğrusu proses kademelerini incelemeyen evvel aşağıda alt başlıklar altında verilmiş bazı ön bilgilere değinilmesi yararlı olacaktır.

3.1.1 Demir – karbon sistemi

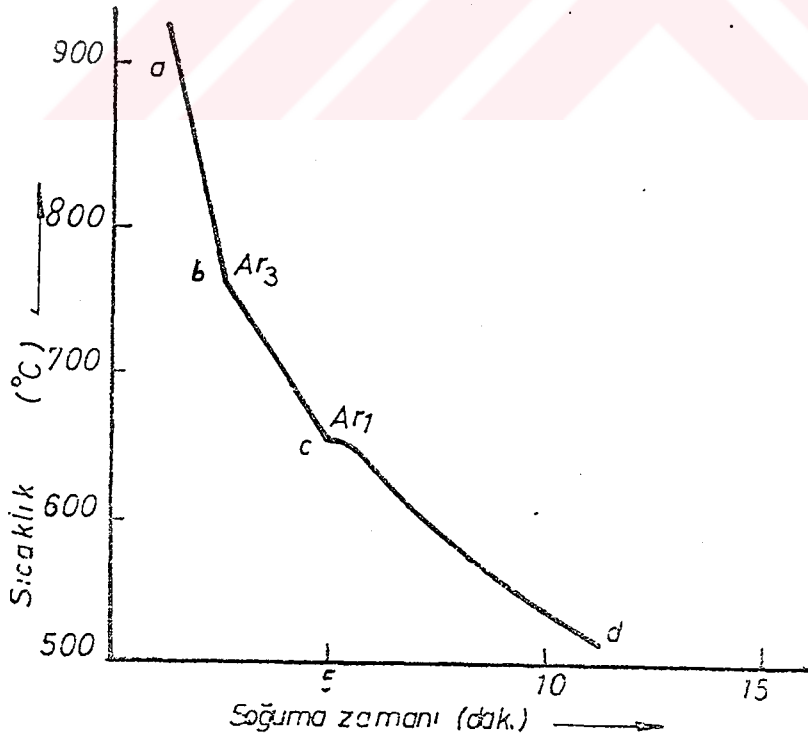
Çeliklerin çoğu % 0.04 ile 1.5 arasında C içerir. Sınıflamada % 2.06'ya kadar karbon içeren demirler “çelikler”, daha fazla karbon içerenler “dökme demirler” adını alır (Ünal, 1991).

Bakır gibi dönüşüm göstermeyen kızdırılmış bir metal parçası soğumaya terk edilir ve sıcaklık ile soğuma zamanı ölçülürse şekil 3.1 deki eğriye benzer bir soğuma eğrisi elde edilir. Eğri süreklidir. Sıcaklık belirli bir fonksiyona göre devamlı olarak düşer.

Bakır yerine bir demir parçası alınırsa, bu soğuma eğrisinin sürekli olmadığı görülür. % 0.25 karbonlu bir çeliğin soğuma eğrisi örnek olarak şekil 3.2 de verilmiştir. Bu eğri b noktasında bir kırıklık, c noktasında ise bir bükülme göstermektedir. Bu her iki süreksizlik şekli de çeliğin içinde ekzotermik ısı meydana gelmesinden kaynaklanır. Ortaya çıkan bu ısı ile çeliğin soğuması yavaşlar ve hatta c noktasında da görüldüğü gibi kısa bir müddet için tamamen durur. Çeliğin iç bünyesinde meydana gelen bu ısı yukarıda bahsetilen dönüşümden ortaya



Şekil 3.1 Bakırın soğuma eğrisi (Herbers, 1969)



Şekil 3.2 Çeliğin soğuma eğrisi (Herbers, 1969)

çıkan ısıdır. Diğer bir deyişle serbest kalan bu ısı iç yapı dönüşümü ile beraber ortaya çıkan bir görünüştür.

% 0.9 karbonlu çelik diğerlerine nazaran sadece c noktasındaki süreksizliği gösterir (723°C da) zira bu çeliklerde toplam katı eriyik, ferrit'e dönüşmeden, doğrudan doğruya perlit'e ayrışır. Yavaş yavaş ısıtma ile elde dilecek olan eğriler, yavaş soğutma eğrilerinin düzlem simetriği olarak çıkarlar; yalnız şu farkla ki, dönüşüm noktaları biraz daha yüksektir.

“Histerezis” adı verilen bu sıcaklık farkı büyük miktarda soğutma hızına bağlıdır ve bu yüzden de çeliklerin ısıl islah işleminin temelini meydana getirir (Herbers, 1969).

Bir başka deyişle ve özetlenecek olursa; Yukarıda soğuma eğrileri ile de ortaya çıkan süreksizliğe demirin allotropik özelliği denir. Yani, katı halde metal çeşitli sıcaklıklarda faz dönüşümleri geçirir.

Bu faz değişimleri bir şematik soğuma diyagramı üzerinde şekil 3.3'de gösterilmiştir. Kritik dönüşüm sıcaklıkları soğuma ve ısıtma hızına bağlı olarak değişir. Sıvıdan ilk katılaştıran faza δ fazı adı verilir. Bu faz HMK'dir. 1392°C'ye kadar δ fazı dönüşüm göstermez. 1392°C'de δ demiri kristalleri YMK faza (γ demiri) dönüşürler. γ fazı 900°C'ye kadar karalıdır. 900°C'de HMK yapıya (α fazı) dönüşür. α fazı 769°C'de manyetik hale geçer. Fakat kristal yapısını değiştirmez. 769°C'nin altında artık faz dönüşümü olmaz. Bu sıcaklığa Curie sıcaklığı denir. her faz dönüşümünde soğuma eğrisi dönüşüm tamamlanana kadar apsise paralel kalmaktadır (Ünal, 1991).

Isıtma sırasında faz dönüşümleri hemen hemen aynı sıcaklıklarda olur. Yalnız göreceli olarak hızlı soğutmada 900°C'deki dönüşüm 915°C'ye kaymaktadır. Soğutma sırasında dönüşüm sıcaklıkları A_{r4} , A_{r3} , A_{r2} diye simgelenirler. Isıtmada ise bu semboller A_{c4} , A_{c3} , A_{c2} , A_{c1} ile gösterilir. Genel ifade de A_4 , A_3 , A_2 simgeleri kullanılır. A, Fransızcada duraklama noktası demek olan Arret sözcüğünün baş harfinden gelmektedir. (Ünal, 1991) Benzer şekilde c indisi Fransızca ısıtma anlamına gelen chauffe ve r indisi gene Fransızca bir kelime olan ve soğutma anlamına gelen refroidissement'den alınmıştır. Ar sıcaklıkları daima Ac sıcaklık noktalarından düşüktür (Awner, 1974).

Dönüşüm sıcaklıkları, bir metalik malzemenin faz değişiminin olduğu sıcaklıklardır. Bu dönüşümlerdeki simgeler şu şekilde özetlenebilir:

- A_{C1} = Isıtma sırasında östenitin oluşmaya başladığı sıcaklık.
- A_{CM} = Ötektoid üstü çeliklerin ısıtılması sırasında östenit ile birlikte bulunan sementitin östenite dönüşümünün tamamlandığı sıcaklıktır.
- A_{C3} = Isıtma sırasında ferritin östenite dönüşümünün tamamlandığı sıcaklık.
- A_{R1} = Soğutma sırasında östenitin ferrit ve sementite (perlit) dönüşümünün başladığı sıcaklık.
- A_{RCM} = Ötektoid üstü çeliklerin soğutulması sırasında östenitten sementitin ayrılmaya başladığı sıcaklık.
- A_{R3} = Soğutma sırasında östenitin ferrite dönüşmeye başladığı sıcaklık.
- A_{R4} = Soğuma sırasında δ demirin östenite dönüşümünün tamamlandığı sıcaklık.
- M_S (veya " A_R ") = Soğutma esnasında östenitin martenzite dönüşmeye başladığı sıcaklık.
- M_F = Soğutma sırasında martenzit oluşumunun bittiği sıcaklık (Ericsson, 1991).

Karbon demirin en önemli alaşım elementidir. Karbon derişikliğindeki küçük bir değişim bile çeliğin özelliklerini belirgin şekilde etkiler.

Karbon α -, γ - ve δ - demiri kafeslerindeki arayerlere yerleşir ve dolayısıyla demir içindeki çözünürlüğü sınırlıdır. α - demiri ile katı çözeltilisine ferrit (α - KÇ), γ - demiri ile katı çözeltilisine de östenit (γ - KÇ) denir.

Demirin kafes geometrisi karbon çözünürlüğünü belirler. α - demiri birim hücresinde iki tür "boşluk" bulunur (Şekil 3.4). A boşluğunda dört, B boşluğunda ise sadece iki komşu atomun denge konumundan ötelenmesi gerekir. Bu nedenle yabancı atomlar, daha küçük olmasına rağmen B kafes boşluklarını tercih ederler. YMK kafeste ise küp kenarlarının ortasına yabancı atomlar yerleşebilir. Dolayısıyla atom düzeni daha sıkı olduğu halde γ - demirinde α - demirinden daha fazla karbon çözünebilir (Bargel ve Schulze, 1995).

Teknikte kullanılan demir alaşımları karbon yanında, özellikleri ve içyapıyı önemli ölçüde değiştirebilen başka elementler de içerir. Buna rağmen temel olaylar demir – karbon diyagramı (DKD) yardımıyla açıklanabilir. Belirli bir demir esaslı malzeme için

- soğuma veya ısınma hızı yükseldikçe,

- karbon dışındaki diğer alaşım elementlerinin miktarı arttıkça bu diyagramın geçerliliği azalır.

Demir ve karbon, sementit olarak adlandırılan Fe_3C arafazını oluştururlar. Yüksek sıcaklıklarda uzun süre tutma veya özellikle sıvı durumdan yavaş soğutma sonucu, bu faz karbon (grafit) ile demire ayrışma eğilimi gösterir. Diğer bir deyişle sementit karbona göre daha yüksek enerjili durumdadır, yani daha az kararlıdır. Bu nedenle şekil 3.5’de görüldüğü gibi DKD kararlı Fe – C (grafit) ve yarı kararlı Fe – Fe_3C olmak üzere iki ayrı sistemi kapsar (Bargel ve Schulze, 1995).

Uygulamada çoğunlukla yarı kararlı Fe – Fe_3C diyagramından yararlanır. Yarı kararlı kavramı sadece belirli bir termodinamik durumu ifade eder., düşük sıcaklıkta zamanla değişme anlamına gelmez. Sementit ve karbon miktarları birbirine bağlı olduğundan ve çelikler genellikle karbon oranı ile tanımlandıklarından Fe – Fe_3C diyagramında da derişiklik karbon cinsinden verilir (Bargel ve Schulze, 1995).

Diyagramda saf demirin karbonla farklı sıcaklıklarda oluşturduğu üç katı eriyik türü vardır. Bunlardan δ katı eriyiği HMK’dir ve karbon çözünürlüğü çok azdır. γ katı eriyiği % 2.06’ya kadar karbon çözüdürür ve YMK yapıdadır. γ katı eriyiğine östenit (austenite) adı verilir. α katı eriyiğinin karbon çözünürlüğü en fazla $723^{\circ}C$ ’de olur ve % 0.025 kadardır. Oda sıcaklığına kadar çözünürlük gittikçe azalır ve bu sıcaklıkta % 10^{-5} ’e düşer. Oda sıcaklığında α fazı özellikleri bakımından saf demire çok benzer. α katı eriyiğine ferrit (ferrite) adı verilir. HMK yapıdadır (Ünal, 1991).

Teknik demir – karbon alaşımlarının karbon oranı en çok % 5 olabilir. (döküm malzemeleri) Bu nedenle DKD’nin sadece demirce zengin ve % 6.67 C (% 100 Fe_3C) derişikliğine kadar olan bölümü kullanılır. Anılan bölüm

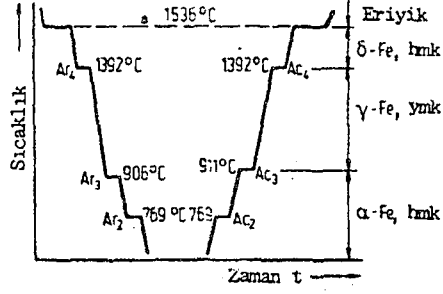
- Bir ötektik
- Bir ötektoid

ve pratikte pek önemli olmayan

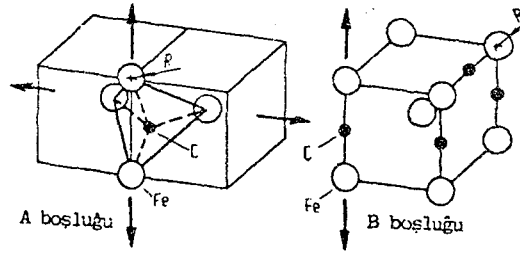
- Bir peritektik reaksiyondan oluşur.

Demir – Karbon diyagramında artan karbon miktarıyla

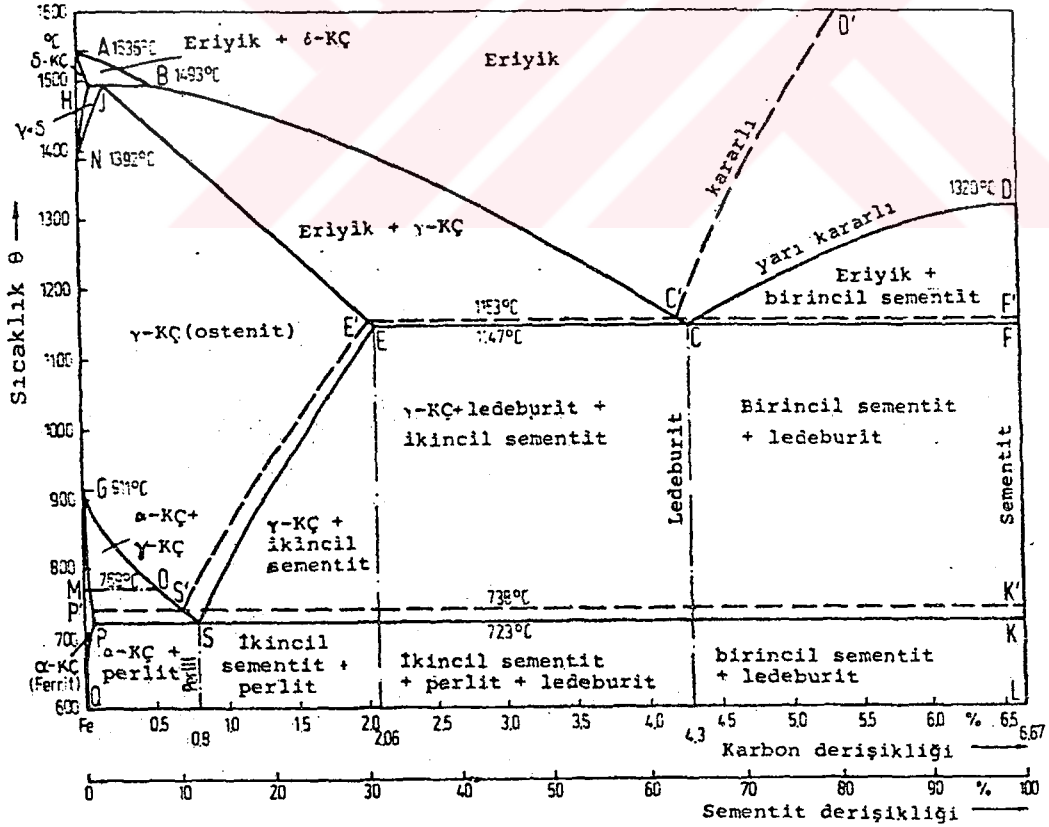
- Fe-C alaşımlarının ergime sıcaklığı azalır, (likidüs çizgisi ABC)
- Benzer şekilde $\gamma \rightarrow \alpha$ dönüşümünün meydana geldiği A_3 sıcaklığı da düşer, (GOS çizgisi)
- Öte yandan A_4 sıcaklığı yükselir. (NJ çizgisi)



Şekil 3.3 Saf demirin soğuma ve ısınma eğrileri (Bargel ve Schulze, 1995; s.1)



Şekil 3.4 HMK α - demirinde karbon atomlarının yerleşebileceği arayerlerin konumu (Bargel ve Schulze, 1995; s.2)



Şekil 3.5 Kararlı (Fe - C) ve yarı kararlı (Fe - Fe₃C) durumlar için Demir - Karbon diyagramı (DKD) (Bargel ve Schulze, 1995; s.3)

Buna göre karbon γ alanını genişleten östenit yapıcı elementlerden biridir (Bargel ve Schulze, 1995).

δ katı eriyiği bölgesindeki 1493°C 'de bulunan yatay çizgi peritektik reaksiyona aittir:



Faz diyagramının bu bölgesinin daha büyük çizilmiş durumu şekil 3.6'da görülmektedir. %0.50'den daha fazla karbon içeren çeliklerde peritektik reaksiyon göstermeden doğrudan doğruya sıvı fazdan γ (östenit) kristalleri ayrılacaktır.

DKD diyagramında C noktası ötektik alaşımı vermektedir. 1147°C 'de ötektiğin tanımına göre sıvı faz iki katı faza dönüşmektedir:



Bu iki faz karışımına (östenit + sementit) ledeburit (ledeburite) adı verilir. Diyagramdaki üçüncü sabit sıcaklık reaksiyonu, katı fazın, iki katı faza ayrıldığı ötektoid reaksiyon olup 723°C 'de meydana gelmektedir.



Ferrit + sementit karışımına "perlit" (pearlite) adı verilir. Yavaş soğuma koşullarında östenit 723°C 'nin altında kararlı kalmayıp ferrit + sementit karışımına dönüştüğünden, ledeburit içindeki östenitin de 723°C 'de faz dönüşümü göstereceği anlaşılmaktadır. Bu nedenle 723°C 'nin üzerindeki ledeburit östenit + sementit den oluştuğu halde, 723°C 'nin altındaki ledeburit ferrit + sementit den oluşmaktadır. Her ikisini birbirinden ayırt etmek için ilkinde 1. Ledeburite, sonrakine 2. Ledeburite denir. (değişmiş veya dönüşmüş ledeburite de denir.) (Ünal, 1991).

Diyagramdaki fazlar biraz daha yakından incelenirse:

- Sementit : Bir bileşik olduğundan sert ve kırılımandır. Çekme dayanımı düşük, basma dayanımı yüksektir.
- Östenit : Yüksek tokluğa sahiptir. Yaklaşık sertliği RC 40'tır. Yüksek sıcaklık fazı olmasından dolayı ancak özel koşullarda (yüksek alaşımlama gibi) oda sıcaklığında elde edilebilir.
- Ferrit : Ferrit de östenit gibi arayer katı eriyiğidir. Diyagramdaki en yumuşak fazdır. Sertliği RSD_C ile ölçülemez. RSD_B 90'dan daha küçüktür. % uzaması ise 40 kadardır.
- Perlit : Perlit taneleri 723°C'de östenitten tabaka tabaka ferrit ve sementitin ayrışması ile meydana gelir. Perlit içindeki tabakaların kalın veya ince oluşundan çeliğin soğuma hızı hakkında fikir edinilebilir. İnce levhali perlitin sertliği ve dayanımı kalın levhaliye göre daha fazladır. Perlitin ortalama sertliği RSD_C 20, uzaması da % 20 kadardır.
- Ledeburit : Daha önce bahsedildiği gibi 1147°C'de oluşan sementit + östenit ötektidir. Bazı özel alaşımlı çeliklerin haricinde çelikte ledeburit görülmez (Ünal, 1991).

3.1.2 Sertleşmede önemli faktörler

Özel vakalar dışında ısıtma işlemcinin gayesi tavlama homojen bir östenit yapı elde etmektedir. Zira sertleşebilmenin temel ve birinci başarısı karbonun östenitin içinde üniform şekilde ergiyip dağılmış bir eriyik meydana getirmesine bağlıdır.

Sertleşmede yer alan reaksiyonlar esas olarak şekil 3.7'de gösterilen faktörlerle kontrol edilmektedir. Soğuma derecesi, kimyasal yapı ve diğer değişkenler östenit dönüşümünün sıcaklığını ve derecesini, sonuç olarak elde edilen sertlik derecesini diğer deyimle oluşan martenziti dolayısıyla dayanıklılık ve çekme direncinin gelişmesi kabiliyetini tayin eder ve bu değişkenlerin anlaşılabilmesi için de östenitin oluşum mekanizmasının anlaşılması önemlidir (Crafts ve Lamont, 1971).

İlerki bölümlerde bu faktörler sırasıyla detaylı olarak ele alınıp, incelenecektir.

3.2 Sertleştirme İçin Tavlama

Çeliğin sertleştirilmesi için yapılacak ısıtma ideal olarak öyle bir sıcaklıkta ve öyle bir zaman boyunca yapılmalıdır ki: 1) ferrit ve karbit östenit içinde tamamen absorbe olmalı, 2) karbon

ve alaşım elemanları üniform bir östenit yapı doğuracak şekilde dağılmalıdır. Kritik sıcaklıklar tahmin ya da tayin edilebilir fakat başarılı bir ısıtma işlemi çeliğin bileşimine, işlemden önceki kristal yapısı konumuna ve o konum sıcaklığında kaldığı zamana bağlı olarak tayin edilen kritik sıcaklığın 30 ile 85°C üstünde östenitlemesine bağlıdır. Bu sıcaklık çeliğin tane büyüklüğü karakteristiğine ve bitmiş iş parçasında elde edilmek istenen tane büyüklüğüyle uyum içinde olmalıdır. Yüksek karbonlu çeliklerde karbürlerin tamamlanmamış çözünme dağılımını, tane büyümesini bastırmak ve östenit kalıntısını minimuma indirmek arzu edilebilir fakat düşük karbonlu çeliklerde ferritin tamamlanmamış dönüşümü kötü sertleşme sonucu verdiği gibi kırılabilirlik ve çatlama eğilimi de doğurur.

Isıtma şartlarının ısıtma işleminin başarısı üzerinde büyük temel etkileri vardır. Çarpılma ve çatlamadan sakınabilmek için yavaş yada kademeli ısıtma yapılmalıdır; hızla ısıtma ise büyük ölçüde basit şekillerin, küçük parçaların ya da yüzey kabuklarının ısıtma işlemlerinde olanaklıdır (Crafts ve Lamont, 1971).

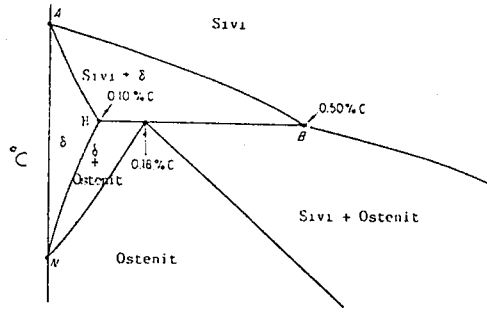
Tavlama prosesi aşağıdaki başlıklar halinde ele alınıp, incelenmiştir.

3.2.1 Sertleştirme sıcaklığına karbonun etkisi

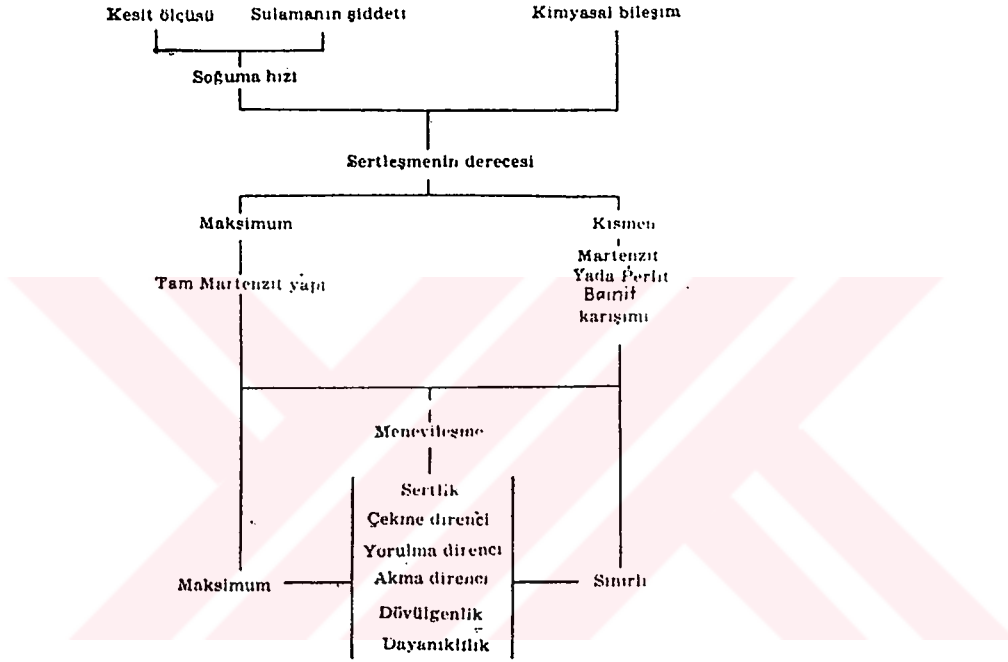
Çeliğin ısıtılınca ferritten östenite dönüşme sıcaklığı bütün çelikler için aynı olmayıp, içindeki karbon ve alaşım elemanlarına olduğu gibi, ısıtmadan evvelki yapısıyla ısıtma derecesine de bağlıdır.

Saf demirde ferritin östenite dönüşümü tek bir sıcaklık derecesinde, 910°C'de olur ve gama allotropik şekli 1400°C kadar sürekliliğini korur. Karbon ilavesi dönüşümün bir sıcaklık alanına yayılmasına sebep olur. A_1 ve A_3 sınırları arasında ve % 0.8 den aşağı karbon miktarlarında hipoytektik çeliklerde östenit ve ferrit bir arada mevcuttur ve % 0.8 den yukarı karbon miktarlarında da A_1 ile A_{CM} sınırları arasında hiperoytektik çeliklerde östenit ve 2. sementit bir arada bulunurlar. Oytektik bileşim olan % 0.8 karbon değerinde ise dönüşüm tek bir sıcaklık derecesinde olur.

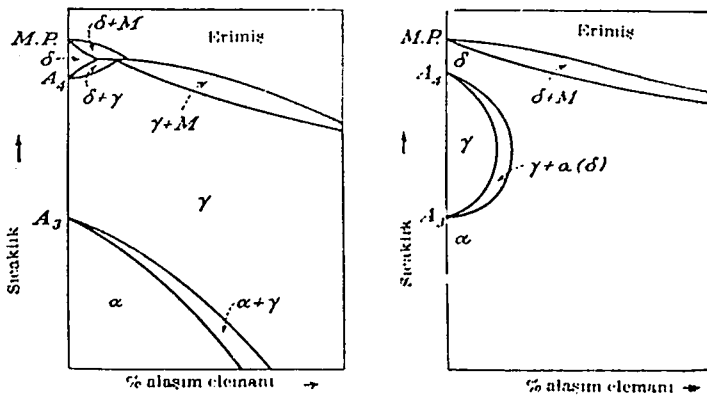
Ferrit ve sementitin tamamen östenite dönüşmemesi çeliğin sertleştirme kapasitesini azaltacağından, genellikle, sertleştirme tavlamasında A_3 ya da A_{CM} sıcaklıklarının aşılması arzu edilir. Bu kuralın temel olarak ötektoidüstü çeliklerde rastlanan bazı ayrıcalıkları vardır (Crafts ve Lamont, 1971).



Şekil 3.6 Demir – Sementit faz diyagramının δ - fazı bölgesi (Ünal, 1991; s.34)



Şekil 3.7 Karbon ve düşük alaşımlı çeliklerin ısı işleminde gözönünde bulundurulması gereken faktörlerin şematik gösterilişi (Crafts ve Lamont, 1971; s.9)



Şekil 3.8 Demir – Karbon denge diyagramının temel şekilleri (Crafts ve Lamont, 1971; s.18)

3.2.2 Sertleştirme sıcaklığına alaşım elemanlarının etkisi

Alaşım elemanlarının demir ve demir – karbon alaşımlarının faz dönüşümlerine etkileri temel olarak kritik sıcaklığı yükseltip alçaltmak şeklinde olur. Genel olarak bu elemanların demirin dönüşüm karakteristiği üzerindeki etkileri şekil 3.8’de gösterilen iki tipik diyagramla açıklanıp gösterilebilir.

Manganez ve nikel kararlı dengeli östenitin sıcaklık alanını, östenitin ferrite ve karbide dönüştüğü sıcaklığı bastırarak genişletirler, bunların etkileri şekil 3.8’de soldaki diyagramda gösterilmiştir. Alüminyum, vanadyum, molibden, tungsten, krom ve silisyumun eğilimleri de sağdaki diyagramda belirtilmiştir. Bunların etkileri kararlı östenit bileşim ve sıcaklığı alanını sınırlamak şeklindedir. Bunun sonuç etkileri öyle olur ki östenit alanı gama gözü (gama loop) denilen tamamıyla kapalı bir alan meydana getirir (Crafts ve Lamont, 1971).

Alaşım elemanlarının demir – karbon alaşımlarının dönüşüm karakteristiklerine etkisi, demirin dönüşümüne olan etkileriyle hemen aynı şekildedir (Crafts ve Lamont, 1971).

Çeliğe alaşım elementlerinin eklenmesi, ötektoid dönüşüm sıcaklığını değiştirdiği gibi gama demirinin alfa demirine dönüştüğü sıcaklığa da etkir. Bu etki dönüşüm sıcaklığını artırıcı ya da azaltıcı yönde olabilir. Daha ötesi, ısıtma veya soğutmadaki kritik sıcaklıklar aynı şekilde etkilenmeyebilir. (biri artarken diğeri düşebilir) Bir başka ilgi çekici nokta ise alaşım elementi ilavesiyle değişen ötektoid kompozisyonudur. Şekil 3.9’da bazı alaşım elementlerinin ötektoid sıcaklık üzerindeki etkileri görülmektedir. Şekil 3.10’da ise yine bazı alaşım elementlerinin ötektoid kompozisyonunu ne şekilde değiştirdikleri görülmektedir. Dikkat edilmelidir ki manganez ve nikel ötektoid sıcaklığı diğer alaşım elementleri yükseltirken düşüren iki elementtir ve bütün elementler ötektoid noktanın kompozisyonunu düşük karbon miktarlarına çekerler (Clark ve Varney, 1962).

Karbonun östenit içindeki ergiyip çözülmesi yüksek alaşımli çeliklerde adi karbon çeliklerine göre biraz daha azdır (Crafts ve Lamont, 1971).

3.2.3 Östenit oluşumuna ısıtma tava derecesinin etkisi

Sertleştirme tavlama genellikle ısıtmanın radyasyon yoluyla meydana geldiği elektrik, gaz veya sıvı yakıt fırınlarında yapılır. Tuz banyolarında veya kurşun banyolarında ısıtma

kondüksiyon yoluyla, endüksiyon ocaklarında ise indüksiyonyoluyla yapılır. Bu çeşitli ocakların ısıtma dereceleri oldukça birbirinden değişiktir. Elektrik ve gaz fırınlarındaki tuz banyolarının veya yüksek frekans indüksiyon ocaklarındakinden daha düşüktür. Bu son metodla, özellikle, son derece süratli ısıtma dereceleri elde etmek kabildir. Bununla beraber çok ince kesitler hariç bu metod genellikle yumuşak bir göbek ve sert bir yüzey isteyen yüzey ısıtmalarıyla sınırlanmıştır. Aynı gaye için oksiasetlen aleviyle yapılan yüzey tavlama da keza kullanılmaktadır.

Ferritin ve karbitin östenit içinde absorpsiyonu oldukça uzun zaman isteyen bir reaksiyondur ve sıcaklık yükseldikçe daha süratle oluşur. Bu olayın zaman – sıcaklık ilişkileri hakkında bir fikir şekil 3.11'deki grafikte verilmiştir (Crafts ve Lamont, 1971).

3.2.4 Hypooytektik ve hyperoytektik çeliklerin östenitleştirilmesi

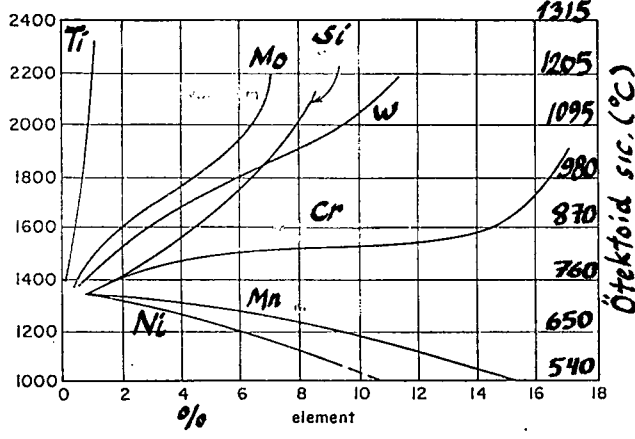
Düşük ve orta karbonlu (hypooytektik) çeliklerde, karbitler önce çözülerek östenitin ilk başlangıç noktalarını meydana getirirler ve ferrit son olarak absorbe edilir.

Sertleşebilmenin kontrol ve incelenmesinde sertleştirilecek çeliklere önce tercihen sertleşme sıcaklığının 30°C üstündeki bir sıcaklıkta ön normalizasyon uygulamak alışlagelmiş bir işlemdir.

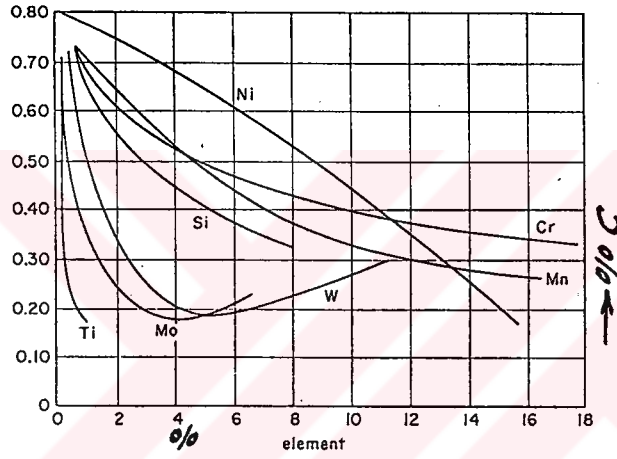
Ferrite veya karbidin tam bir çözülmesine erişildikten sonra bile hala bir dağılım zamanına müsaade edilmeli ve homojen bir östenitin üretilmesine imkan yaratılmalıdır. Çeliğin fırında, kalınlığının beher inç'i başına 1 saat ısıtılmasını öngören eski kural pek birşey ifade etmez, zira genel olarak kritik sıcaklığın üstünde geçen zamanlar önemlidir, ama bu uygulama geleneksel bir tutumu temsil etmektedir. Benzer olarak kritik sıcaklığın 40-60°C üstünde bir sıcaklığa kadar ısıtma, ancak tane büyümesi tehlikesine yol açmadığı sürece arzu edilir bir haldir (Crafts ve Lamont, 1971).

3.2.5 Östenitik tane büyüklüğünün tayini ve önemi

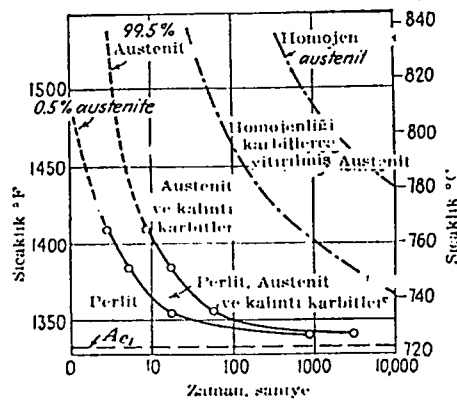
Östenit tane büyüklüğünün çeliğin sertleşme davranışı ve nihayi özellikleri üzerinde çok belirli bir etkisi vardır. Tane büyüklüğünün ölçülmesinde birkaç yol vardır: Genellikle mikroskop gözlemiyle tayin edilir ve A.S.T.M. tane büyüklüğü numarasıyla numaralanır. No 1 tane büyüklüğü 100 defa büyütmede bir inç kareye bir tane, No 2 iki tane, No 3 dört tane, No 4 sekiz tane, No 5 onaltı tane ve böylece sırasıyla No 8 ise inç kareye 128 adet tane girmiş



Şekil 3.9 Çelikteki alaşım elementlerinin ötektoid sıcaklık üzerindeki etkileri (Clark ve Varney, 1959)



Şekil 3.10 Elementlerin ötektoid noktasının karbon içeriği üzerine etkileri (Clark ve Varney, 1959)



Şekil 3.11 Ötektik bir çeliğin izotermal zaman - sıcaklık eğrisi. Başlangıç yapısı normalize edilmiş ince perlitir. (Crafts ve Lamont, 1971; s.20)

olduğunu temsil eder. Kaba ve ince taneli çeliklerin ayrılma sınır çizgisi genellikle A.S.T.M. No 5 olarak kabul edilir (Crafts ve Lamont, 1971).

Çelik kritik bir dönüşüm sınırı boyunca ısıtılırken yapısı ince tanecikler halinde yeniden kristalleşir. Bu tanecikler sıcaklık yükseldikçe irileşme eğilimindedirler fakat büyüme karakteristik bir sıcaklıkta az çok keskinleşir. Önce bir takım kaba ve ince kristaller karışımı daha sonra nihayi olarak kaba kristaller oluşur. Isıtmanın uzatılması da keza tane büyüklüğünü arttırma eğilimini doğurur.

Her çeliğin belirli bir tane kabalaşması sıcaklığı alanı vardır ve eğer bu sıcaklık sertleştirme için kullanılan maximum sıcaklığın, diyelimki, 925°C nin altında ise, çelik kaba taneli olarak sınıflandırılır. Eğer çelik etkili miktarlarda alüminyum, zirkonyum, titanyum veya vanadyum içeriyorsa, bu takdirde mutad sertleştirme sıcaklığında taneler kabalaşmaz ve çelik ince taneli olarak sınıflandırılır.

Kaba taneli çeliklerin (tane No. 1-5) kolay talaş kaldırılması, yüksek sıcaklıklarda daha yüksek, salma (creep) direnci, daha fazla sertleşebilme ve bir derece de yorulmada daha az çentik hassasiyeti gibi, bir takım avantajları vardır. Fakat buna karşılık çentikli çubuk deneyinde daha az darbe direnci gösterdikleri gibi darbe dirençleri sıfır altı sıcaklık arttıkça süratle düşer. Bunların temel uygulama alanları krank millerinin sertleştirilmemiş kesitleri, ağır döğme parçalar ve kolay torna edilen (free machining) yapı çelikleridir. İnce taneli çelikler (tane No. 5-8 kadar) ise bunlardan çok daha iyi dayanıklılığa sahiptirler ve hemen ayrıncasız bütün makina yapımında kullanılan ısıtma işlemi uygun alaşım çelikleri daha ingot dökümü sırasındaki ergimelerinde ince taneli olmalarını sağlayacak şekilde muamele görürler. Yapısında hem kaba hem ince taneli kristaller meydana gelen çelikler ise çok dengesiz ve kötü özellikler gösterme eğilimindedirler, ısıtma işlemi sırasında çarpılırlar ve genellikle kullanılmazlar.

İnce taneli çeliklerin, tanelerinin kabalaşmaya başlama sıcaklıkları çeliğine göre değişir örneğin alüminyumla deokside edilmiş çeliklerde 980°C, zirkonyumda 925°C, titanyumda 980°C ve vanadyumla deokside edilmiş olanlar için ise 955°C civarındadır. Yüksek karbonlu çelikler için kabalaşma sıcaklığı biraz düşük olma eğilimindedir, fakat tane büyümesi çözülmemiş karbitler tarafından geciktirilebilir, engellenebilir. Vanadyum bu gaye için hem karbon hem de alaşım çeliklerinde özellikle çok uygun ve etkilidir (Crafts ve Lamont, 1971).

İnce taneli çeliklerin östenitik durumdan daha hızlı dönüşüm hızlarına sahip oldukları belirlenmiştir ve sığ sertleşen çeliklerdir buna mukabil kaba taneli çelikler daha yavaş soğuma hızları sayesinde daha derin ve kolay sertleştirilebilen çeliklerdir (Johnson, 1946).

Östenitin tane boyutunun arttırılması dönüşümün hem başladığı hem de tamamlandığı zaman sürecini uzatır (Niebel vd., 1989).

Tane büyütme, yüksek sertlik elde etmede ucuz bir metod olarak görülebilirse de bu yaklaşım oldukça az uygulanır. Bunun yerine çeliğe alaşım elementleri eklemek daha verimli olacaktır (Smith, 1993).

3.2.6 Östenitin homojenizasyonu

Eğer ötektoid altı bir çelik ısıtılmaya başlamışsa A_{c1} sıcaklığına geldiğinde önce perlit taneleri östenite dönüşecektir ve bu östenitler % 0.8 C içerecektir. Sıcaklık A_{c3} 'e doğru yükseldikçe ferrit taneleri östenite dönüşmeye başlayacaktır. Ferritten oluşan östenitler ise daha az karbon içerecektir. Öyle ki A_{c3} sıcaklığına çıkıldıkça çelik farklı oranlarda karbon içeren östenit tanelerinden ibaret olacaktır. Soğutma süresince daha az karbon içeren östenit tanelerinde kritik soğuma hızına ulaşılmamış olabilir ve bu taneler martenzitten başka yapıya dönüşebilirler. Daha yüksek oranda karbon içeren tanelerde ise kritik soğuma hızına ulaşılmış olabileceğinden bu taneler martenzite dönüşebilecektir. Buna engel olmak için karbonun östenit fazında difüzyonuna olanak tanıyarak daha su vermeden önce bütün östenit yapının karbonca homojen olmasını sağlamak gerekir. Bu da ya çeliği östenitleşme sıcaklığına çok yavaş ısıtmakla veya östenitleşme sıcaklığında uygun bir süre tutmakla olur. Östenitleşme sıcaklığı yüksek bir sıcaklık olduğundan, karbonun östenit taneleri içinde difüzyonu kısa sürede gerçekleşir. Homojenleştirme için yavaş ısıtma ise çok zaman aldığından ticari anlamda ekonomik değildir (Awner, 1974).

Özetleyecek olursak, homojen olmayan östenitin genel etkisi dönüşümün başlangıcını hızlandıracak yöndedir. Bunun meydana gelişinin sebebi de ilk dönüşümlerin östenitin alaşımca zayıf olan bölgelerinde başlamasıdır. Buna ek olarak çözünmemiş karbitler çekirdek davranışı gösterip dönüşümün başlangıcını hızlandırabilirler (Mc Gannon, 1964).

3.2.7 Fırın atmosferinin önemi

Sertleştirme için yapılan ısıtmada çelik parçalar, fırın içinde önemli miktarlarda oksijen, karbon monoksit, karbondioksit, su buharı ve bazen de sair reaktif gazlar bulunan bir atmosferle çevrilidir ve gerekli önlemler alınmadığı takdirde bu gazlar metalle reaksiyona girerek, oksidasyona, karbürasyona, dekarbürasyona veya yüzeylerin kabalaşmasına yol açabilirler. Bu reaksiyonlar bitmiş ürünün görünüşüne ve sertliğine etki yaptığından metalin yüzeyini korumak ya da reaksiyona meydan vermeyecek şekilde fırın atmosferi kontrol edilir.

Kalın kesitli parçalarda yüksek sıcaklıkta uzun süre tavlama derin dekarbürasyona neden olur (Crafts ve Lamont, 1971).

3.3 Östenitin Dönüşümü

Karbon ve alaşımlı çeliklerin nihai yapılarına etki yapan pek çok faktörden, en belirgin olanları östenitin dönüşümüne girenlerdir. Bu nedenle bunlar ayrıntıları ile incelenecektir.

Çelik temel olarak, ısıtıldığı vakit içindeki karbiti östenitik koşullara uygun şekilde çözen soğutulduğu vakitte bu karbiti dışarı atan (çökerten) bir demir karbon alaşımıdır. Östenitin dönüşümünün meydana geldiği kritik altı sıcaklık yapıdaki bu karbit parçacıklarının şekil ve boyutlarını ve dolayısıyla sertleşmenin derecesini kontrol eder (Crafts ve Lamont, 1971).

Çeliğin bir çok ısıtma işlemlerinde reaksiyon şartları denge halinden o kadar ayrılmıştır ki, denge diyagramlarının bu işlemlerde kullanımı çok sınırlıdır. Bu gibi reaksiyonlarda denge diyagramlarından ancak östenitizasyon sıcaklığını tesbit ve belirli bir bileşim ve sıcaklıkta nihai olarak elde edilecek yapıyı saptamada yararlanılır. Östenitin dengesiz ayrışmasında oluşan olaylar hakkında en fazla bilgi veren diyagram zaman-sıcaklık-dönüşüm, kısaca (ZSD) diyagramıdır. Bu diyagram östenitin maruz bırakıldığı sıcaklık ve zaman şartları altındaki dönüşme durumunu gösterir. Bu diyagramın diğer isimleri S-eğrisi veya TTT eğrisidir (Guy, 1959).

Çeliğin östenitik sahadan soğutulmasında meydana gelebilecek yapılar, zaman-sıcaklık-dönüşüm (ZSD) diyagramları ile kolaylıkla açıklanabilir. Yaygın olarak kullanılan bu diyagramlarda, hangi dönüşmenin, hangi zaman içerisinde olduğu izlenebilir (Topbaş, 1993).

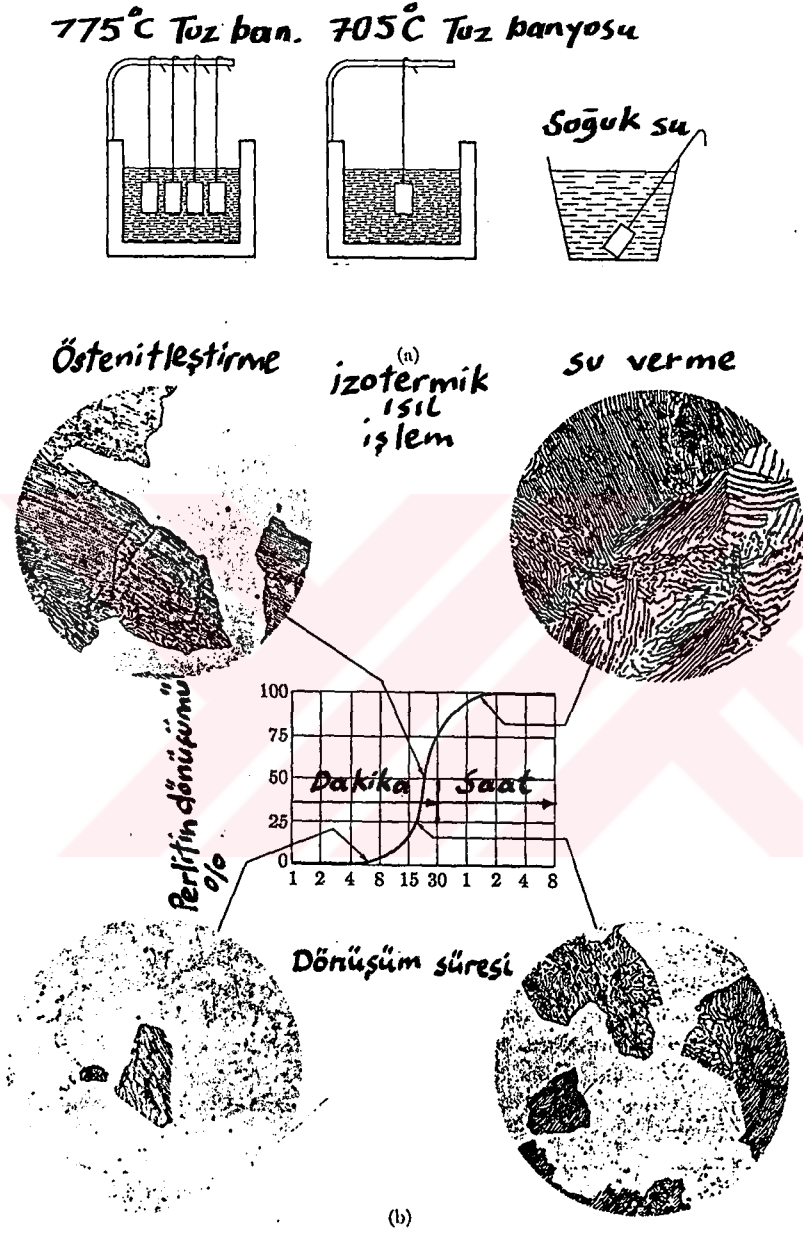
3.3.1 İzotermik zaman-sıcaklık-dönüşüm diyagramları (İZSD diyagramları, TTT diyagramları)

TTT diyagramı belirli bir çelikte östenitin ne şekilde ayrıştığını tasvir eder. Dolayısı ile her çelik bileşimi için ayrı bir diyagram mevcuttur. Ayrıca östenitin tane büyüklüğü ve içerisindeki yabancı kalıntılar da diyagramları değiştirirse de bu faktörler genellikle ihmal edilir. TTT diyagramlarını anlamak için en iyi yol tipik bir diyagramın elde edilmiş şeklini gözönüne almaktır (Guy, 1959).

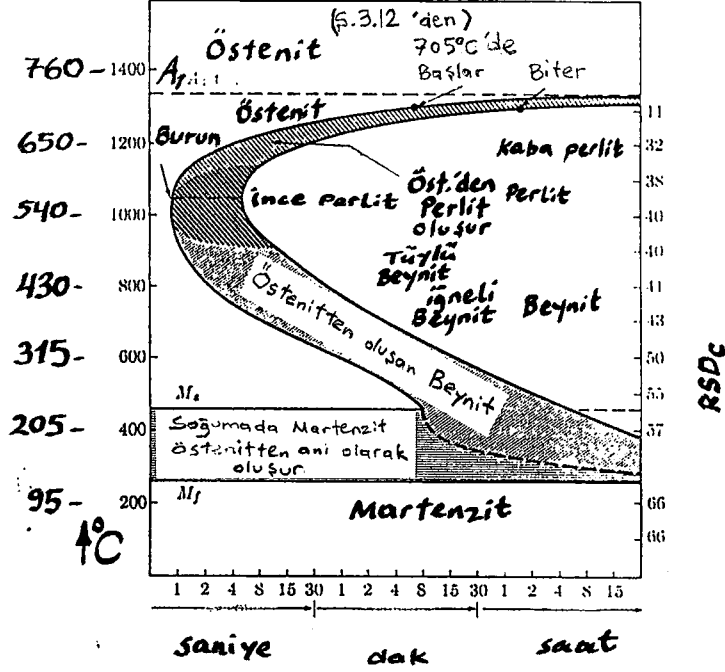
Şekil 3.12'de belirli bir çeliğin belirli bir sıcaklıktaki izotermik reaksiyon eğrisini tespit etmekte kullanılan metod şematik olarak gösterilmiştir. Çok sayıda küçük deney parçaları uygun bir sıcaklıkta östenitize edilir ve bunların bir kısmı A_1 in altındaki bir belirli sıcaklıkta tutulan banyoya süratle nakledilir. Boyutlarının küçük oluşundan dolayı bu deney parçaları saniyenin bir kesri kadar zaman içerisinde reaksiyon sıcaklığına soğurlar. Belirli bir deney parçasının muayyen bir zaman boyunca izotermik olarak dönüşmesine müsaade edildikten sonra bu parça su içine atılır. Bu su verme reaksiyonu durdurur ve henüz dönüşmemiş östeniti hemen hemen ani olarak martenzite dönüştürür. Bu deney parçası mikroskop ile muayene edildiğinde genel olarak kolayca östenitin izotermik olarak reaksiyona uğramış kısmı ile ani soğuma neticesinde martenzite dönüşmüş kısmını birbirinden ayırdetmek mümkün olur. Şekil 3.12 (b)'de reaksiyon zamanları ile, bunlara tekabül eden östenit dönüşme miktarları diğerlerinden bir izotermik dönüşme eğrisinin ne şekilde elde edilebileceği gösterilmiştir. Östenitin kararsız olduğu bölgedeki bir sıra sıcaklık için elde edilen izotermik reaksiyon eğrilerinden elde edilen bilgiyi bir araya toplamak mümkün olup neticede tetkik edilmekte olan çeliğin ZSD diyagramı elde edilir. Ötektoid bir çelik için elde edilmiş olan diyagram şekil 3.13'de verilmiş ve şekil 3.12 (b)'den elde edilen zaman değerleri bu diyagram üzerinde işaretlenmiştir. Diyagram östenitin bünye bakımından birbirinden farklı iki şekilde ayrıştığını göstermektedir. Yüksek sıcaklıklarda reaksiyon ürünlerinin sabit sıcaklıkta oluşumu için zaman değerinin artması gerekmektedir. Diğer taraftan martenzit ancak sıcaklığın düşmesi ile oluşmakta ve sabit sıcaklıkta oluşum için hemen hemen hiç bir meyil göstermemektedir. Aşağıda östenitin bu iki tarz ayrışması incelenecektir (Guy, 1959).

Perlit ve Beynit Kademesinde Dönüşüm

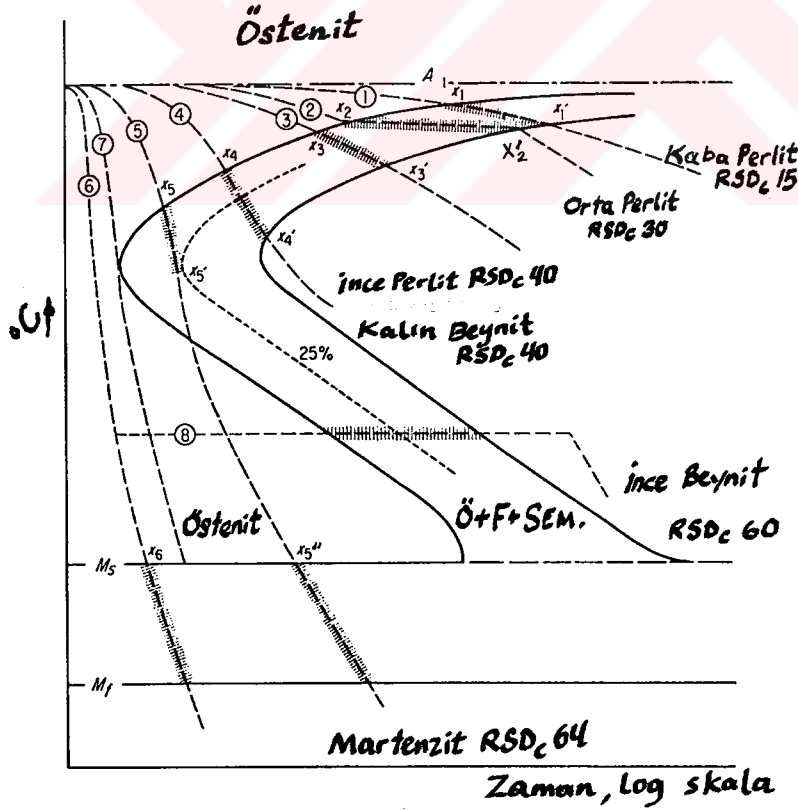
TTT diyagramını tesbitte kullanılan şartlar altında gerek perlit ve gerekse beynit östenitten izotermik olarak yani sabit sıcaklıkta zamanın artması ile meydana gelirler. Şekil 3.13'den



Şekil 3.12 Ötektoid bir çeliğin 705°C'deki izotermik reaksiyon eğrisini elde etmek için kullanılan metod (a) deney parçasının elde edilişi (b) (a)'daki gibi hazırlanmış deney parçalarının metalografik muayenesi ile elde edilmiş eğri (Guy, 1959)



Şekil 3.13 Ötektoid bir çelikte östenitin ayrışmasını gösteren ZSD diyagramı (Guy, 1959)



Şekil 3.14 0.8 karbonlu çeliğe ait ZSD diyagramı. Soğuma eğrisindeki çapraz taralı alanlar dönüşümleri gösterir (Awner, 1974; s.271)

görüldüğü gibi perlit östenitin A_1 ile TTT diyagramının burnu (veya dirseği) arasındaki sıcaklıklardaki ayrışma ürünüdür. Östenit bu bölgedeki bir sıcaklığa soğutulursa başlangıçta perlit oluşumuna ait herhangi bir ize rastlanılmayan bir zaman süreci geçer. Daha sonra östenitin ayrışması bir perlit nodülü için çekirdek rolünü oynayan bir sementit parçacığının oluşumu ile başlar. Bu çekirdek tercihen östenitin tane sınırında veya bir cüruf parçacığı gibi homojenliği bozan bir noktada oluşur. Perlit nodülünün büyümesi, yanyana birbirini takip eden sementit ferrit levhalarının oluşumu, aynı zamanda bu levhaların kenarları boyunca büyümeleri ile devam eder. Perlitin oluşumu için gerekli zaman izotermik reaksiyon sıcaklığı düşürüldükçe devamlı olarak azalır. Sıcaklık ne kadar düşük ise ferrit ve sementit levhalarının da kalınlıkları o kadar azalır ve sertlik de artar. Östenitin ayrışma sıcaklığı düştükçe sertliğin artması beynitin oluşum karakteristiğidir (Guy, 1959).

TTT diyagramının burnu civarında hem perlit hem de beynit teşekkülü olur. Fakat bu bölgenin altında ve M_s noktasının (martenzitin oluşuma başladığı sıcaklık) üzerindeki sıcaklıklarda östenitin izotermik dönüşmesinin yegane ürünü beynittir. Beyninin görünüşü, teşekkül sıcaklığına bağlı olarak değişir. Bu sıcaklık bölgesinin üst kısmında tüysel (tüye benzer) beynit ve daha düşük reaksiyon sıcaklıklarında iğnesel (iğneye benzer) beynit görülmektedir. Beyninin oluşum tarzı sıcaklıkla değişirse de genel olarak beynit bir ferrit çekirdeğinden büyüyerek oluşan bir ferrit karbür agregatıdır. Bazı alaşımlı çeliklerin ZSD diyagramları iki burun göstermekte olup, bunlardan biri perlit oluşumu, diğeri ise beynit oluşumu ile ilgilidir. Bu gibi hallerde beynitin su vermedeki soğuma sırasında oluşumu mümkündür. Fakat karbonlu bir çelikte karakteristik beynit yapısının elde edilebilmesi için izotermik bir reaksiyon gereklidir (Guy, 1959).

Martenzit Kademesinde Dönüşüm

Her ne kadar ötektoid bir çelikte östenit A_1 in altındaki bütün sıcaklıklarda kararsız ise de A_1 in çok fazla altında olmayan sıcaklıklarda soğutulduğundan yüzey merkezli kübik östenit derhal hacim merkezli kübik ferrit (artı sementit) e değişmektedir. Bu sıcaklıklarda ayrışma denge fazlarının çekirdeklenme ve büyümesi yolu ile olur; ve bu gibi reaksiyonların gerektirdiği yayınma nispeten uzun bir zaman alır. Bununla beraber, kafi derecede düşük sıcaklıklarda yüzey merkezli demirden hacim merkezli demire dönüşmeye sebep olan reaksiyon kuvvetleri o kadar büyür ki değişme karbon yayınması başlamadan olur. Mevcut karbon miktarı katı eriyik halinde muhafaza edebileceği miktardan yaklaşık 100 defa fazla olduğundan, hacim merkezli kübik kafes distorsiyona uğrayarak tetragonal bir hal alır ve bu

yapıya da martenzit ismi verilir. Martenzitin çok sert olmasına, kafes içinde “hapsolmuş” karbon atomlarının meydana getirdiği kafes gerilmelerinin sebep olduğu kabul edilmektedir. Martenzitin oluşmaya başladığı en yüksek sıcaklığa M_S noktası denir. Östenitin soğuma sırasında bu noktada yaklaşık yüzde bir oranında martenzit oluşmuştur. Östenit gittikçe daha düşük sıcaklıklara doğru soğutuldukça martenzit miktarı gitgide artar; ve nihayet süratli bir soğuma neticesinde M_F noktasında yapı esas itibariyle tamamen martenzitten (% 99) oluşur. Eğer östenit süratle M_S ile M_F arasındaki bir sıcaklığa kadar soğutulur ve burada tutulursa soğuma sırasında martenzite dönüşmemiş olarak kalıntı östenit bu reaksiyon sıcaklığında uzun zaman tutma neticesinde izotermik olarak beynite dönüşür. Karbon ve diğer birçok alaşım elemanları gerek M_S ve gerekse M_F sıcaklıklarını düşürürler. Bazı çeliklerde (ki bunlarda M_S noktası bile oda sıcaklığının altında bulunabilir) bazı özellikler, soğutma işlemleri ile, ilave martenzit teşekkülü sağlanarak iyileştirilebilir. Her ne kadar martenzit dönüşmesi sonlu bir zamana ihtiyaç gösterirse de birçok ticari çeliklerde martenzit oluşumu o kadar hızlı olur ki bu yapı pratikte ani olarak oluşmuş addedilebilir (Guy, 1959).

Martenzitin dönüşümünün karakteristiklerini aşağıdaki gibi özetleyebiliriz:

1. Dönüşüm difüzyonsuzdur. Kimyasal bileşimde değişim olmaz.
2. Dönüşüm sadece sıcaklığın düşüşüne bağlıdır. Zamana bağlı değildir. Sıcaklığın düşüşü durdurulursa, martenzite dönüşüm de durur. M_S sıcaklığının altında bir sıcaklığa soğutulan çelik, bu sıcaklıkta tutulursa martenzite dönüşüm durur ve sıcaklık tekrar düşünceye kadar bir dönüşüm olmaz.
3. Soğutma hızını büyütmeyle M_S sıcaklığı değiştirilmez. M_S sıcaklığı, kimyasal bileşime bağlıdır. Kimyasal bileşimden yararlanarak M_S sıcaklığını bulmak için çeşitli formüller geliştirilmiştir. Bunlardan biri:

$$M_S (^{\circ}F) = 1.000 - (650 \% C) - (70 \%M_n) - (35 \%Ni) - (70 \% Cr) - (50 \%Mo) \quad (3.4)$$

4. Martenzit bir denge fazı değildir. Buna rağmen ısıtılmadığı sürece oda sıcaklığında veya oda sıcaklığı civarında sonsuza kadar kararlı kalabilir.
5. Martenzitin sertliği çeliğin karbon yüzdesine bağlıdır. C yüzdesi arttıkça önce martenzitin sertliği artar. Örneğin % 0.40 C içeren çelikte martenzit RSD_C 60 sertliğindedir. % 0.8 C'lu çelikteki martenzitin sertliği ise RSD_C 65'e çıkar. Sertlikteki artış, C yüzdesi fazla olan östenitin martenzite dönüşümünde fazla miktarda deforme olmasından kaynaklanmaktadır (Ünal, 1991).

Su vermede amaç tamamen martenzitik yapı elde etmektir. Martenzitin yanında diğer fazların da olduğu bir su verme işlemi başarılı olamamış demektir. Tamamen martenzit oluşması için de çelik en az kritik soğuma hızına eşit bir hızla soğutulmalıdır (Ünal, 1991).

Özetlenecek olursa, soğuma hızına göre çeşitli iç yapıların ortaya çıkışı, anılan dönüşüm kademelerinde yayınmanın farklı olmasından kaynaklanmaktadır:

- Perlit kademesi

Karbon ve demir kolaylıkla yayınır, iri karbürler oluşur.

- Beynit kademesi

Sadece karbon yayınabilir, ince ve çok ince karbürler oluşur.

- Martenzit kademesi

Karbon ve demirin yayınmaları mümkün değildir, karbür oluşmaz. Karbon martenzit kafesinin arayerlerinde zorunlu çözünmüş olarak kalır (Bargel ve Schulze, 1995).

% 0.8 C'lu çeliğe ait tipik bir diyagram şekil 3.14'de görülmektedir. Bu diyagram üzerinde görülen soğutma eğrisi "1" tipik bir ticari tavlama işlemindeki soğuma hızını göstermektedir. Buna göre östenitin bir süre A_1 sıcaklığı altında dönüşmeden kaldığı anlaşılmaktadır. Östenitin dönüşümü diyagramda X_1 ile işaret edilen noktada başlamaktadır. Dönüşüm ürünü iri taneli perlittir. Bu soğuma hızı tam tavlama sonunda yapılan soğuma hızı kabul edilir. Dönüşüm X_1' 'de sona erecektir. Burada dönüşümün başlangıcı ile bitişi arasında az bir sıcaklık farkı vardır. Bu da ilk dönüşen perlit ile daha sonra dönüşen perlit arasında tane iriliği farkı meydana getirecektir. X_1' noktasında dönüşüm tamamlandığından bu noktadan sonra artık soğuma hızının az veya çok oluşunun bir önemi yoktur. Çelik artık hızlı soğutulsa da herhangi bir faz dönüşümü olamaz. Bu durumun işletmecilik açısından büyük önemi vardır. X_1' noktasından sonra gereksiz yere parçayı fırında soğutmak maliyeti çok yükseltir. Parça havada soğutulabilir.

2 no'lu soğuma eğrisi izotermal (eş sıcaklıkta) soğumayı göstermektedir. Parça yüksek sıcaklıktan (A_1 üzerinden) X_2 sıcaklığına kadar soğutulmuş ve bu sıcaklık östenitin dönüşümü sona erene kadar sabit tutulmuştur. 1 no'lu soğumaya göre bu işlemde tane iriliği ve sertlik ilk ve sonradan dönüşen tanelerde aynı olmalıdır.

3 no'lu soğuma eğrisi daha hızlı bir soğumayı göstermektedir ve normalizasyon işlemindeki soğuma olarak kabul edilebilir. Östenitin dönüşümü X_3 noktasında başlamıştır. Dönüşüm, burada 1 no'lu eğridekinden (ticari tavlama işlemi) çok daha önce başlamıştır. Dönüşüm

ürünü başlangıçta yine iri taneli perlittir. Dönüşüm X_3' 'de sona ermiştir. Dönüşüm sona ererken meydana gelen perlitler orta iriliktir. Çünkü X_3' sıcaklığı X_3' 'e göre daha düşüktür. X_3' ile X_3 sıcaklığı arasındaki fark X_1 ile X_1' arasındaki farktan fazladır. Östenitten ilk dönüşen perlitin tane iriliği arasında önemli fark olacaktır.

Soğuma eğrisi 4, yağda yavaş soğutma hızını temsil etmektedir. Dönüşüm sonunda mikro yapı orta ve ince taneli perlit karışımı olacaktır.

Soğuma eğrisi 5, tipik bir orta şiddette soğuma hızını göstermektedir. Dönüşüm X_5' 'de nispeten kısa zamanda başlayacak ve ince perlit meydana gelecektir. Östenitten ince perlite dönüşüm belirli bir yüzdenin, örneğin % 25'in dönüştüğü noktaya teğet olana kadar devam edecektir. (X_5' sıcaklığına kadar) X_5' 'den sonra dönüşümün sağa doğru ilerlemediği diyagramdan görülmektedir. (diyagramda eğri sağa doğru kayarsa dönüşen kısmın % oranı da artar.) Bu durumda östenitten ince perlite dönüşüm X_5' noktasında durur. Bu sırada henüz dönüşmeden kalan östenit beynite de dönüşmez. Çünkü soğuma eğrisi yukarıda da bahsedildiği gibi sağa doğru kaymamaktadır. Mikroyapı X_5' noktasında % 25 ince perlit ve % 75 henüz dönüşmemiş östenitten oluşmaktadır. Bu durumunu da M_s sıcaklığına kadar korur. (X_5'' noktasına kadar) Bu noktadan itibaren henüz dönüşmemiş östenit martenzite dönüşmeye başlayacaktır. Oda sıcaklığında yapı % 25 ince perlit, %75 martenzitten ibaret olacaktır. Soğuma eğrisi 6, tipik hızlı soğumayı göstermektedir (drastic quench). Östenit X_6 noktasına kadar dönüşmeden kalabilmekte, bu noktadan itibaren martenzite dönüşüm başlamaktadır. Dönüşüm M_f sıcaklığında sona ermektedir.

Diyagramda görülmektedir ki yapıda soğutma sonunda sadece martenzit elde etmek için soğuma hızı en az 7 no'lu eğride gösterildiği gibi olmalıdır. Bu soğuma hızına kritik soğuma hızı denir. Yine diyagramdan görüldüğü gibi yapıda yavaş bir soğuma hızı ile % 100 perlit elde etmek mümkün olacaktır. Fakat devamlı soğuma ile % 100 beynitik yapı, ancak östenit sıcaklığındaki çelik, perlit burnunun altında bir sıcaklığa kadar soğutulmak, sonra bu sıcaklıkta çeliği bütün östenit dönüşümü tamamlanana kadar tutmakla elde edilir. Bu işlem diyagramda 8 no'lu soğuma eğrisi ile temsil edilmektedir. Burada beynit yapı söz konusu olur. Beynit, ferrit ana kütlesi içine çok küçük kürecikler halinde çökelmiş sementit kristallerinden oluşmuş bir yapıdır. Sertliği ince perlitten daha yüksektir. Sıcaklık düşük olduğu için perlit levhaları oluşacak zaman bulamamış ve beynit oluşmuştur. Diyagramdan anlaşılmaktadır ki devamlı soğuma ile yapıda bir miktar beynitin meydana gelmesi, ancak 4 ve 5 no'lu eğriler arasında kalan bir soğuma hızı ile soğutulmakla mümkündür (Ünal, 1991).

İZSD diyagramlarının daha çok kullanıldığı alan, sertleştirme işlemleridir. Isıl gerilmelere karşı hassas parçaların, özellikle kalıpların sertleştirilmesinde daha güvenli ve daha az riskli çalışma, bu diyagramlardan yararlanılarak, sıcak banyoda sertleştirme ile başılır.

Çeliklerdeki alaşım durumuna bağlı olarak, dönüşümlerin başlama ve bitme süreleri, sıcaklıklar, daha doğrusu tüm dönüşüm eğrileri değişik olur (Topbaş, 1993).

3.3.2 Sürekli soğutmada zaman-sıcaklık-dönüşüm diyagramları (SZSD diyagramları, CCT diyagramları)

Büyük çelik parçalarının östenitizasyon sıcaklığından itibaren soğutulmasını gerektiren ticari ısıtma işlemlerinde soğuma hızları, TTT diyagramını elde etmek için meydana getirilenlere nispetle daha düşüktürler. Dolayısı ile çeliğin, mesela martenzit teşekkül ettirmek için, ani olarak herhangi bir sıcaklığa soğutulabileceğini kabul etmek imkansızdır. Bu sebeple çeliklere tatbik edilen çeşitli ticari ısıtma işlemlerinde meydana gelen değişik soğuma hızlarında çelikte vuku bulan değişiklikleri gösteren bir diyagram faydalı olacaktır. Pratikteki soğuma olayları çok komplike olduğundan böyle bir diyagramın hazırlanması çok büyük güçlükler arzeder. Fakat bu diyagramı, östenitin Jominy deney parçası üzerinde muhtelif mevkilerde mevcut soğuma hızlarındaki dönüşmesine bakarak, yaklaşık olarak çizmek kabildir. TTT'ye benzeterek bu diyagramlara CCT (devamlı soğuma dönüşmesi) diyagramları ismi verilebilir.

Her ne kadar hassas olarak çizilmiş hiçbir SZSD(CCT) diyagramı mevcut değil ise de, şekil 3.15 ötektoid çeliğe ait bu tip yaklaşık bir diyagramı göstermektedir. Buna tekabül eden TTT diyagramı şekil 3.13'dedir. CCT diyagramında en önemli soğuma hızları yüzde 99 martenzit ve bir de yüzde 50 martenzit oluşumunu temin eden hızlardır. Bunların ilki (kritik soğuma hızı) bu diyagramda burun mevkiini tayin eder ki burada buna ait zaman TTT diyagramı burnu için geçen zamanın yaklaşık iki mislidir. Yüzde 50 martenzit oluşumuna sebep olan hızın da pratikte çok önemi vardır. Çünkü genellikle merkezinde yüzde 50 martenzit oluşmuş çubuk tarif olarak tam sertleşmiş kabul edilir. Ötektoid karbon çeliklerinde devamlı soğuma sırasında beynit teşekkül etmez (Guy, 1959).

İZSD diyagramları, ısıtma işlemlerinde, özellikle sertleştirme olaylarında soğutma koşullarına bağlı olarak, nihai yapının ne olacağını detaylı bir şekilde verdiğinden oldukça önemlidirler.

3.3.3 Alaşım elementlerinin dönüşüm karakteristiklerine etkileri

Genel olarak, karbon ve alaşım yüzdesinin artışı dönüşüm hızlarını düşürecek yönde etkilidir (Mc Gannon, 1964).

Karbon yüzdesi arttıkça isothermal diyagram sağa doğru kayar ki bu östenit dönüşümünün yavaşladığını belirtir (Manufacturing Engineer's Reference Book, 1993).

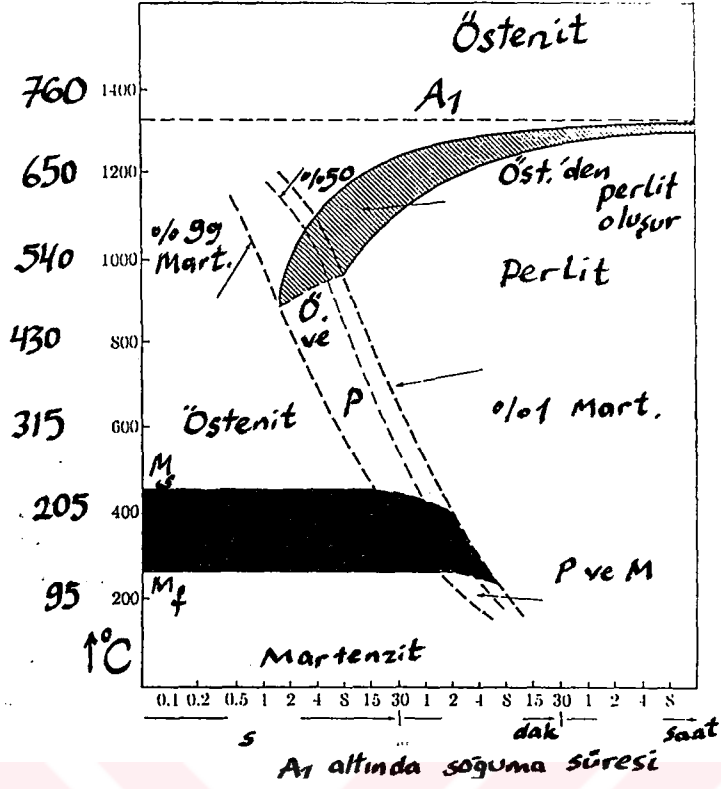
Kobalt haricindeki bütün alaşım elementleri östenitin perlit'e dönüşümünü geciktirir ve böylelikle sertleşebilirliği artırır. Sertleşebilirlik açısından manganez, krom ve molibden en yaygın kullanılan elementlerken, nikel ve vanadyum daha değişik amaçlar doğrultusunda kullanılmaktadır (Llewellyn, 1992).

Alaşım elementlerinden ötürü ZSD diyagramında perlit ve beynit alanlarının sağa kayması kritik soğuma hızının düşmesi demektir. Yağ ve hava gibi soğutma gücü zayıf olan su verme ortamları bile böylece sertleştirme (martenzit oluşturma) için yeterli hale gelir. Dolayısıyla yağ ve hava çelikleri diye nitelenen alaşımlı çelikler daha büyük sertleşme derinliği sağlarlar. Sözkonusu özellikler pratik açıdan aşağıdaki sonuçları doğurur:

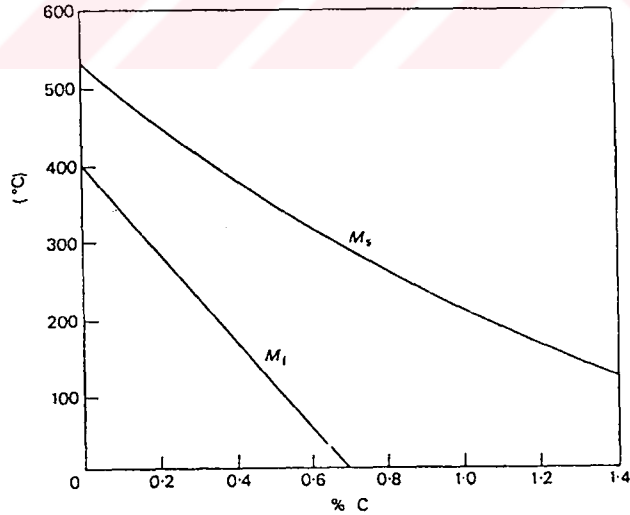
- Kalın etli parçaların tüm kesiti sertleştirilebilir. Ayrıca su verme hızı düşük olduğundan iç gerilmeler ile birlikte çarpılma ve çatlama tehlikesi de azalır.
- İnce etli karmaşık biçimli parçaların da çarpılmaları minimum düzeye iner (Clark ve Varney, 1962).

Alüminyum ve kobalt haricindeki alaşım elementleri M_s sıcaklığını düşürür. M_s ve M_f sıcaklıklarına karbon yüzdesinin etkisi şekil 3.16'da gösterilmektedir (Honeycombe ve Hancock, 1981).

Öte yandan artan alaşım elementi ile M_s ve M_f sıcaklıklarının düşmesi alaşımlı çeliklerin tam sertleştirilmesinde sorun yaratır. Yüksek alaşımlı çeliklerde M_f noktası oda sıcaklığının oldukça altına inebileceğinden, iç yapının tümüyle martenzite dönüştürülmesi ek masraflara yol açan özel önlemlerle mümkün olur (düşük sıcaklık banyolarında su verme gibi). Bu nedenle sertleştirilmiş alaşımlı çeliklerin iç yapılarında büyük miktarda artık östenit bulunabilir.



Şekil 3.15 Ötektoid karbonlu çelik için yaklaşık SZSD diyagramı (Guy, 1959)



Şekil 3.16 Karbonun, M_s ve M_f sıcaklıklarına etkisi (Honeycombe ve Hancock, 1981)

M_s sıcaklığının kabaca 300°C 'nin altında olması halinde normal su verme sırasında önemli oranda artık östenit ortaya çıkar. M_f 'nin çoğunlukla gösterilmemesine karşın, M_s sıcaklığı çeliğin ZSD diyagramından alınabilir veya aşağıdaki formülle yaklaşık olarak hesaplanabilir:

$$M_s (C) = 550 - 350C - 40 \text{ Mn} - 20 \text{ Cr} - 10 \text{ Mo} - 17 \text{ Ni} - 8 \text{ W} - 10 \text{ Cu} + 15 \text{ Co} + 30 \text{ Al}$$

(Elementlerin ağırlık yüzdeleri konur.)

(3.5)

(Bargel ve Schulze, 1995)

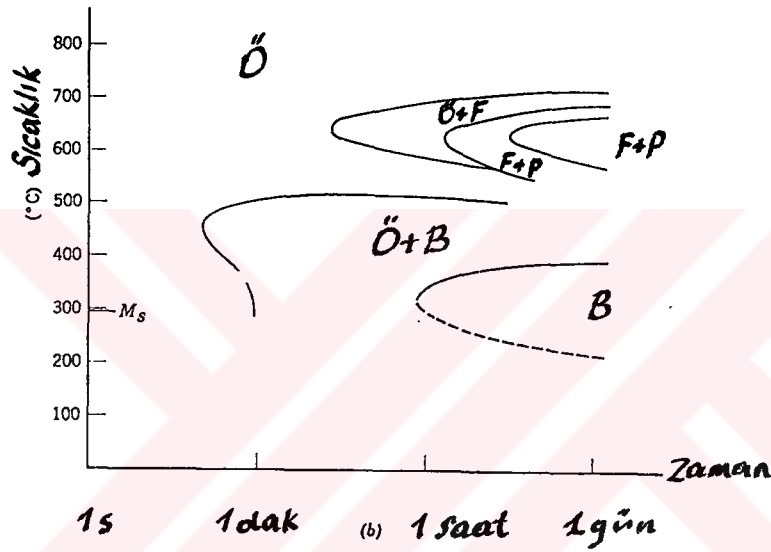
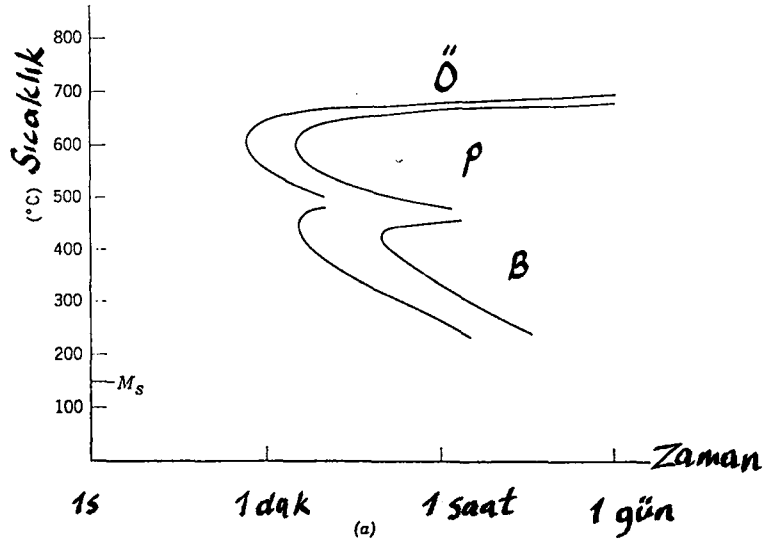
Alaşım elementlerinin dönüşüm karakteristiği üzerindeki etkileri özetlenecek olursa görülebilir ki alaşım yüzdesinin artırılmasının genel etkisi dönüşümün başlangıç ve tamamlanma sürelerinin gecikmesi yönündedir. Alaşım elementlerinin etkileri toplanabilir olabilsede hepsinin perlitik ve beyritik alanlardaki dönüşümlerde farklı özel etkileri olduğundan, genel olarak çok alaşımlı çeliklerin davranışlarını tahmin etmek pek mümkün değildir (Mc Gannon, 1964).

3.3.4 Alaşım elementlerinin ZSD (zaman-sıcaklık-dönüşüm) diyagramlarına etkisi

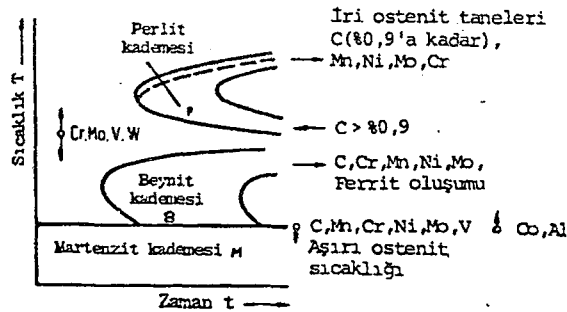
Alaşım elementlerinin ZSD diyagramlarına etkisini ilk olarak iç yapıda meydana gelen kinetik olayları inceleyerek belirlemek yerinde olur;

Alaşım elementlerinin çoğunun dönüşüm kinematiği üzerinde, onun daha yavaş meydana gelmesini sağlayan kayda değer etkileri vardır. Bu, alaşım elementlerinin ferrit formda östenit forma nazaran daha az çözünür olmasına ve ayrıca sementitle rekabet halinde olmasına bağlanabilir. Diğer karbitler perlit oluşumu için muhtemelen yeterli çekirdek davranışını gösteremeyecekler ve böylece oluşumun çekirdeklenme bölümünü yavaşlatacaklardır. Karbon ile karşılaştırıldığında daha yavaş yayınma hızına sahip elementler dönüşüm prosesinin gelişme safhasını yavaşlatabileceklerdir. Şekil 3.17'de alaşım elementlerinin bu etkilerinin önemini gösteren birkaç ZSD diyagramı görülmektedir (Chalmers, 1959).

Çeliğe alaşım elementleri ilavesi ZSD diyagramları üzerindeki eğrileri gerek şekil gerekse pozisyon açısından etkiler. Kobalt hariç tüm alaşım elementleri eğrinin sağa doğru kaymasına neden olabilir. Böylece (diğer faktörlerin eşit olduğu kabulü ile) martenzit oluşumunun daha düşük soğuma hızlarında vuku bulması mümkün olur. Bununla beraber bunun sağlanması için alaşım elementlerinin su verme öncesi östenit yapıda katı eriyik durumunda olmaları gerekmektedir. Eğer alaşım elementleri çözünmemiş partiküller halinde ise, (çoğunlukla karbit) eğriyi sola doğru çekebilirler. Bu martenzit oluşumunu zorlaştırır çünkü çözülmeyen



Şekil 3.17 ZSD eğrileri C % 0.91, Mn % 0.65, Ni % 1.35, Cr % 0.60; C % 0.42, Mn % 0.78, Ni % 1.79, Cr % 0.80, Mo % 0.33 (Chalmers, 1959)



Şekil 3.18 Alaşım elementlerinin ve diğer etkenlerin ZSD diyagramında dönüşüm kademelerini ötelemesi (Bargel ve Schulze, 1995; s.62)

partiküller, verilen herhangi bir sıcaklıkta daha kısa sürede perlit veya beynit oluşumuna imkan vererek, ferrit ve karbit çekirdeklenmelerini yaparlar (Keyser, 1959).

Çelik alaşım elementlerini içerdiği zaman, ZSD diyagramı sade karbonlu bir çelik için sahip olduğu eğrilerden çok uzaklaşır. Bazı alaşım elementleri eğrinin alt kısmından çok üstünü değiştirirken bunun tam tersi de olabilir (Keyser, 1959).

Şekil 3.18'de belirtildiği gibi alaşım elementleri, perlit ve beynit kademelerini genellikle daha uzun sürelerle ötelir, yani kararsız östenitin dönüşüm eğilimini azaltırlar. Bu durum alaşımli çeliklerde kritik soğuma hızını düşürerek, martenzitin daha kolay meydana gelmesi sonucunu yaratır (Bargel ve Schulze, 1995).

Alaşımli çeliklerde burun bölgesindeki perlit ve beynit alanları, yaklaşık aynı soğuma eğrisi üzerinde birbirini izler biçimde bulunurlar. Böylece beynitin sürekli soğuma ile elde edilmesi güçleşir (şekil 23 a). Karışık ve özel karbürlerin ayrışması için karbonun yanında yayınması gereken alaşım elementleri, öncelikle perlit oluşumunu daha yüksek sıcaklıklara ve uzun sürelerle kaydırırlar.

Şekil 3.19 b'den açıkça görüldüğü gibi beynit burnu ayrılarak öne çıkar. Dolayısıyla beynit sürekli soğumayla önemli oranlarda elde edilebilir. Karbür yapıcı elementlerin büyük miktarlarda bulunması halinde ise, perlit ve beynit kademeleri arasında dönüşüm eğiliminin çok zayıfladığı bir bölge belirir (şekil 3.19 c) (Bargel ve Schulze, 1995).

3.3.5 Alaşım elementlerinin kalıntı östenit miktarına etkisi

Alaşım elementleri içinde kalıntı östenit miktarına en etkili element karbondur. Karbonun % 1 artması kalıntı östeniti % 50 arttırır. Aynı şekilde Mn, Cr, Mo ve W'un % 1 artması kalıntı östenitin sırasıyla % 20, % 11, % 9, % 8 artmasına sebep olur. Şekil 3.20'de karbonun kalıntı östenit miktarına etkisi görülmektedir (Khoee vd., 1986).

Östenitleme sıcaklığının yükselmesiyle sözü edilen sıcaklıklarda karbon ve alaşım elementlerinin, östenit içindeki çözünürlüğü artar; daha fazla karbon ve alaşım elementi içeren östenitin M_f sıcaklığı daha düşük ve dolayısıyla oda sıcaklığında su vermeden sonra yapıda kalan kalıntı östenit miktarı daha yüksek olacaktır (Khoee vd., 1986).

3.4 Su Verme

Verilen herhangi bir çelikte su verme ile elde edilen sertlik derecesi ve sonuç olarak ortaya çıkan yapı ve özellikler iki ana faktöre bağlıdır. Bunlar su vermenin şiddeti ve su verilen parçanın kütesidir. Diğer bir deyimle soğutma ortamının çeliğin yüzeyini istediğimiz yapıyı oluşturabilecek derecede hızlı soğutup soğutamayacağını ve keza parçanın merkezinin ya da yüzeyinin derinliğindeki belirli bir bölgenin, o bölgede elde etmeyi istediğimiz yapıyı oluşturabilecek derecede hızla soğutulabildiğini bilmemiz gerektir.

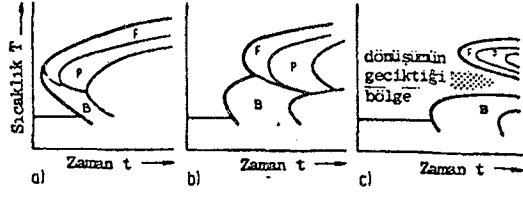
Kütle etkisinin değerlendirilmesi ise ısının parçanın merkezinden yüzeye doğru yani ısıyı parçadan çeken soğutucuya doğru hareket etmesi ve bunun nispeten daha yavaş ve esas olarak malzemenin ısı geçirgenliğine bağlı olduğu, soğutucunun soğutma kabiliyetine çok daha az bağlı bulunduğu gerçeğinden ötürü daha da karışıktır. Bundan başka ısının merkezden yüzeye doğru hareket hızı, bütün pratik ölçüler içinde, kimyasal bileşimden bağımsızdır (Crafts ve Lamont, 1971).

3.4.1 Su vermede yüzeyde ve merkezdeki bağıl soğutma derecesi (Kesit faktörü)

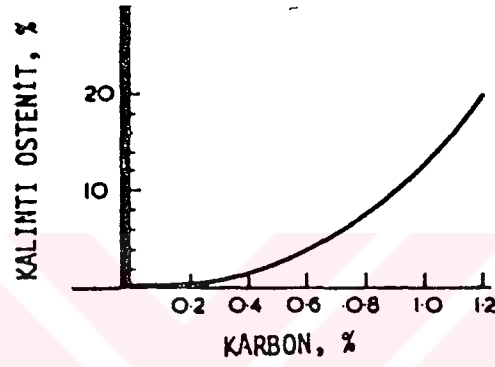
Belirli bir çubuk içindeki su verme derecesi onun yüzeyinin su verme banyosu sıcaklığına indirilmesi hızına bağlıdır. Isıl geçirgenliğe bağlı sınırlardan ve ısının sadece çubuğun yüzeyinden dışarı çekilmesi gerçeğinden ötürü, çubuğun merkezi ile yüzeyi arasında şekil 3.21'de işaret edilen bir soğuma hızı düşüşü vardır. Yüzeyde ki soğutma hızı ne kadar yüksek olursa, düşüş o derece daha dik olur ve bunun sonucu olarak da çubuk içindeki bütün noktalarda da soğuma şiddeti o derece hızlı olur.

Bir çelik parçasının yüzeyinin verilen bir sıcaklığa soğutulma hızı, parçanın ölçülerine, şekline ve soğutmanın şiddetine bağlıdır. Belirli bir soğutma şiddetinde, silindirik bir çubuğun yüzeyindeki soğuma hızı parçanın çapının artması ile azalır ve çubuğun iç kısımlarının soğuma hızında genel bir azalma ile sonuçlanır.

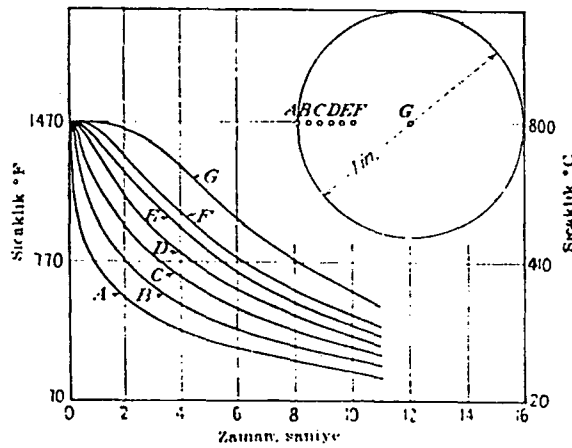
Kalın kesitli parçalarda, çeliğin kötü ısı iletim kabiliyeti, büyük sıcaklık farklarının ortaya çıkmasına sebep olur. Parçanın dış yüzeylere yakın kısımları doğrudan su verme ortamı ile temas halinde bulunduğu için (merkez) kısımlardan daha düşük sıcaklıkta bulunur. Parçanın dışı oda sıcaklığına indirildiğinde içi daha 200...400°C sıcaklıkta bulunur. Merkezde kritik soğuma hızına erişilmediğinden martenzitik iç yapı teşekkül etmez. Malzeme



Şekil 3.19 Bazı alaşım elementlerinin etkisiyle perlit ve beyrit kademelerinin belirgin olarak ayrılması (Bargel ve Schulze, 1995; s.63)



Şekil 3.20 Sade karbonlu çeliklerde karbonun kalıntı östenit miktarına etkisi (Khoee vd., 1986; s.691)



Şekil 3.21 Suda soğutulduğunda bir yuvarlak çubuk içindeki değişik noktaların soğuması için gerekli zamanlar (Crafts ve Lamont, 1971; s.59)

bu nedenle tamamen sertleşmemiştir; yalnız kısmi sertleşme derinliğine kadar martenzitik bir yapıya sahiptir. Merkeze yaklaştıkça giderek daha fazla ince lamelli perlit görülür (Weisbach, 1977).

Sertleşme derinliği ve kesit – sertlik dağılımı şu faktörlere bağlıdır:

- 1) Sertleştirme sıcaklığı
- 2) Sertleştirme sıcaklığında bırakma süresi
- 3) Metalurjik üretim yöntemine, özellikle çeliğin deoksidasyon işlemine bağlı olarak oluşan östenit tane büyüklüğüne
- 4) Sertleştirme ortamında bırakma süresince malzemedeki soğutma hızının değişimi

Malzeme soğutma hızı ise, sertleştirme ortamı soğutma şiddetine, malzemenin bu ortamda göreceli hareketine, malzeme kesiti, şekli yüzeyi özelliklerine, malzemenin ısı değeri ve ısı geçirgenliği gibi fiziksel büyüklüklerine bağlıdır (İzgiz, ?).

Kısmi sertleşme derinlikleri şu şekilde büyütülebilir:

- 1- Daha yüksek sertleştirme sıcaklıkları uygulayarak. Bu tedbir tane irileşmesi tehlikesi nedeni ile sınırlanmıştır. Aksi takdirde iri iğneli bir martenzitik yapı oluşur. Perlit üstü çeliklerde ise artık östenit oranı yükselir.
- 2- En uygun soğutma etkisi gösterecek su verme ortamları. Mesela, suya %10 NaOH veya siyan tuzu ilave edersek maksimum soğutma alanı genişler.

İdeal bir su verme ortamı en yüksek soğutma kabiliyetini, parçanın dış kısımları perlit oluşum sıcaklığına yaklaştığında, etki ettirir ve ancak parça merkezi de bu sıcaklığı, dönüşüme uğramadan atlattıktan sonra, soğutma hızını düşürür.

- 3- Alaşımli çeliklerin kullanılması. Kritik soğuma hızı küçülür. Bu nedenle normal bir soğutma ile kalın parçaların merkezlerinde dahi kritik soğuma hızı aşılabılır. Parçanın kesiti büyüdükçe bileşimindeki alaşım elementi oranı da artmalıdır.

Alaşımli çeliklere bu nedenlerle genel olarak yağda su verilir. Yüksek miktarda krom ve manganez ihtiva eden çelikler ise, hareket halindeki havada sertleştirilebilirler (Weisbach, 1977).

Çubuk çapının artması ile SAE 1045 çeliğindeki yüzey sertliği belirgin bir şekilde düşer, merkezdeki sertlik de aynı davranışı gösterir. Fakat diğer taraftan SAE 6140 alaşımlı çeliği çapın arttırılmasına rağmen SAE 1045 çeliğine nazaran merkezden yüzeye doğru bilhassa geniş çaplarda sertliğini muhafaza eder (Krauss, 1980).

Kritik soğutma hızı

Östeniti martenzite dönüştürmek için gerekli en küçük soğutma hızına “kritik soğutma hızı” denir. Bu hız, alaşımsız çelikler için, ~87 °C/s saniye civarındadır. Bu müddet zarfında 720°C ile 200°C arasındaki sıcaklık aralığı katedilmelidir. 200°C’den oda ısısına kadar olan soğuma esas olarak mühim değildir. Fakat bu soğuma da iç yapı üzerinde tesirler yapar: Meydana gelen martenzitin şekli bu hıza bağlıdır.

- Kritik hız, alaşım derecesi, boyutlar, su verme sıcaklığı, banyo ortamı, su veriş şekli ve karbon muhtevasına bağlı olarak değişir.
- 15 mm ‘nin üzerindeki kalınlıklara sahip karbon çeliğinden parçalar, yüksek dönüşüm hızlarından dolayı, yalnız cidarlarında sertleşirler.
- Bu cins çelikler, benzer kimyasal yapılarına rağmen, su verme işleminde değişik özellikler gösterirler.
- Ni, Cr, Mn, Si vs. gibi elementler kritik dönüşüm hızını düşürerek, parçanın bütün kesit üzerinde sertleşmesine yardımcı olurlar (Herbers, 1969).

Soğuma hızı için malzemenin yüzey alanı / kütle oranı önemlidir. Bu oran küre için en küçüktür. Alt ve üst taban alanlarının yan yüzey alanına göre çok küçük olduğu bir çelik silindir dikkate alalım ve taban alanlarını ihmal edelim.

$$\frac{\text{Yüzey alanı}}{\text{Kütle}} = \frac{\pi \cdot D \cdot L}{\pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot \rho \cdot L} \quad (3.6)$$

ρ = yoğunluk, D = çap, L = uzunluktur.

Görülüyor ki oran çapla ters orantılıdır ve oran büyüdükçe cismin soğuma oranı artar. Diğer bir deyişle bir soğuma ortamına atılan iki farklı çelikten, çapı büyük olanın dış yüzeyinde kritik soğuma hızına ulaşamayabilinir (Ünal, 1991).

3.4.2 Su verme sırasında ısının iletimi ve yüzeyin soğuma aşamaları

Bir metal yüzeyinin sıvı bir ortam tarafından soğutulmasında ilk önce, meydana gelen buharın metal yüzeyi ile sıvıyı ayırarak yavaş bir ısı geçişine yol açtığı bilinmektedir. Düşük ve ani buharlaşma noktası gösteren sıvılarda, örneğin su gibi, metalden soğutucuya ısı transferi daha verimsizdir. Soğumada ikinci aşama en etkili olandır; çünkü bu aşamada, buhar kürecikleri metal yüzeyini terkettikçe soğuk sıvı metal yüzeyi ile sürekli temasa geçmektedir, su bu aşamada çok etkilidir. Üçüncü aşamada, soğutma, artık metal yüzeyi soğutucu sıvının kaynama noktasının altına düştüğünden direkt konveksiyon yoluyla olmaktadır. Bu aşamadaki aktivitenin tayininde temel faktör artık sıvının ısıl geçirgenliğidir (Crafts ve Lamont, 1971).

Çeliğin sertleştirilmesinde en arzu edilen su verme ortamı yağlarda olduğu gibi, birinci aşamayı geçirmeyen sıvılardır, böylece, suda olduğu gibi, ikinci aşamada hızlı bir ısı kaybı olanağı doğururken üçüncü safhada da martenzitin oluşum alanı olan alçak sıcaklık bölgesinde ani sıcaklık düşüşünü, önlemek mümkün olur (Crafts ve Lamont, 1971).

Şekil 3.22'de küçük bir çelik silindirin östenit sıcaklığından sertleştirilmesi sırasında yüzeyinde sıcaklık düşüşü görülmektedir. Devamlı soğuma eğrisinin gerçekte sabit soğuma hızı olmadığı ve soğumanın üç farklı hızdan meydana geldiği anlaşılmaktadır. Bunlar için aşağıdaki gibi bir açıklama yapılabilir:

Birinci aşama (Aşama A), Buhar kılıfı aşaması:

Bu aşamada metalin sıcaklığı o kadar yüksektir ki, soğutma sıvısı metal çevresinde hemen buharlaşır ve ince bir film halinde sıcak metalin etrafını çevirir. Buhar kötü bir ısı iletici olduğundan soğuma nispeten yavaştır.

İkinci aşama (Aşama B), Buhar fazının uzaklaşması ile soğuma:

Bu aşama metalin buhar kılıfının kararlı kalmayacağı kadar soğuduğu zaman başlar. Soğutma sıvısı metal yüzeyini ıslatır ve kuvvetli bir kaynama meydana gelir. Isı parça yüzeyinden hızla uzaklaşır.

Üçüncü aşama (Aşama C), Sıvının soğutması aşaması:

Bu aşama metal yüzeyi ile sıvının kaynama sıcaklığı aynı olduğu zaman başlar. Artık buhar meydana gelmez. Soğuma, sıvıdan “Kondüksiyon ve konveksiyonla ısı iletimi” ile olur. Soğumanın en yavaş olduğu süreçtir (Ünal, 1991).

Gerçek sulama hızını birçok faktör etkiler. Bunların en önemlileri soğutucu ortamının tipi, soğutucu ortam sıcaklığı, parçanın yüzey durumu ve parçanın boyut ve kütesidir.

3.4.3 Soğutma ortamının sıcaklığı ve hareketi

Genel olarak su verme ortamının sıcaklığı arttıkça, su verilen parçanın soğuma hızı düşer.

Soğutma ortamı yağ ise, yağın sıcaklığı arttıkça buhar kılıfı daha kararlı olur. Bu da soğuma hızını azaltır. Fakat burada soğumanın azalmasına ters etki yapan bir durum da vardır. Yağın viskozitesi azaldığından kondüksiyonla ısı iletimi de artmıştır. Sonuçta ikisinin toplam etkisi yağın sıcaklığı arttıkça soğutma hızının da artması şeklinde olur. Soğutma ortamının sıcaklığının artmasını engellemek için daima su verme ortamının hacmi büyük tutulur. Hatta bazı durumlarda soğutma (su verme) tankına soğutma boruları yerleştirilir.

Soğuma hızının azalmaması için sıvı ortamı sirküle ettirilir veya parça hareket ettirilir (Ünal, 1991).

Karıştırma sözü ile soğutucu sıvının parçaya göre hareketi kastedilir. Bu hareket çoğunlukla sıvının karıştırılması ile fakat bazen sıvı içindeki parçanın hareketi ile elde edilir. Isı transferi üzerinde çok mühim tesiri vardır. Karıştırma ile A aşamasındaki buhar kılıfı yırtılır ve B aşamasındaki soğutma durumuna daha çabuk geçilir. Karıştırmanın artırılması A aşamasındaki soğutma süresini kısaltır ve üç aşamadaki soğuma hızını yükseltir (Ericsson, 1991).

3.4.4 Yüzey koşulları

Fırın atmosferinde su buharı ve oksijen olması nedeniyle su verilecek parçanın yüzeyinde östenitleştirme sırasında işletmelerde “tufal” adı verilen bir demir oksit tabakası oluşur. İnce bir oksit tabakasının parçanın soğuma hızı üzerine çok az bir etkisi vardır. Fakat kalın bir oksit tabakası soğuma hızını düşürür. Fırından su verme ortamına daldırılan parçanın yüzeyinde yer yer tufal tabakası dökülebilir. Bu da yüzeyde yer yer farklı oranda martenzite

dönüşüme neden olabilir. Daha önemlisi tufal yumuşaktır ve talaşlı üretimde işlemleri zorlaştırır.

Endüstride tufal oluşumunu minimuma indirecek birçok yöntem geliştirilmiştir. Bunlardan birini seçmek fırın tipine, su verilecek parçanın özelliğine ve maliyetine bağlıdır.

Bakır kaplama:

Parçanın yüzeyini ince bir bakır film ile kaplamak çelik yüzeyini oksitlenmeden koruyacaktır.

Koruyucu atmosfer:

Parça fırında koruyucu atmosfer altında ısıtılır. Koruyucu atmosfer hidrojen (metan veya propan) gibi gazların yanma ürünleri veya elementlerine ayrılmış amonyak gazı olabilir.

Sıvı tuz banyoları:

Parçalar, çelikle reaksiyona girmeyen ve östenitleşme sıcaklığındaki sıvı tuz banyoları içinde ısıtılabilirler.

Dökme demir talaşı:

Parçalar dökme demir talaşı içeren kapalı kutularda östenitleştirilebilirler. Fırına giren oksijen çelikten önce dökme demirdeki karbonla reaksiyona girer (Ünal, 1991).

3.4.5 Soğutma ortamları

Isı transferi mekanizmasına göre, ideal soğutma ortamı TTT diyagramının burun kısmındaki dönüşümden kaçınacak yüksek bir soğutma hızına ve akabinde daha düşük sıcaklık bölgelerinde distorsiyonu minimuma indirecek olan yavaş soğuma hızlarına sahip olmalıdır. Maalesef bu ideal özellikleri sergileyecek bir soğutma ortamı mevcut değildir. Su ve inorganik tuzların sulu çözeltileri A ve B aşamaları boyunca yüksek soğuma hızlarına sahiptirler, fakat bu yüksek soğuma hızları çarpılma ve çatlamanın meydana gelmeye meyilli olduğu düşük sıcaklık derecelerinde de varlıklarını sürdürürler. Geleneksel soğutma yağları daha uzun bir A (veya buhar kılıfı) aşamasına ve daha kısa bir B aşamasına daha yavaş bir soğuma hızı beraberinde sahiptirler (Awner, 1974).

Su verme işlemleri için kullanılmakta olan sıvıların sayısı hemen hemen sonsuzdur. Bunların içinde en önemlileri şunlardır:

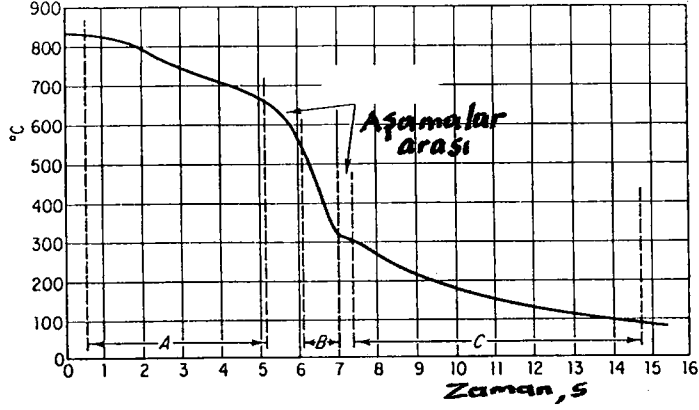
Su	Hayvansal yağlar
Su – Tuzlar	Balık Yağları
Su – Kostik	Mineral Yağlar
Sıvı Tuzlar	Polimer su verme ortamları
Sıvı Metaller	Su soğutmalı kalıplar
Basınçlı Hava	
Asal Gazlar	

Bunlar içerisinde en önemlileri;

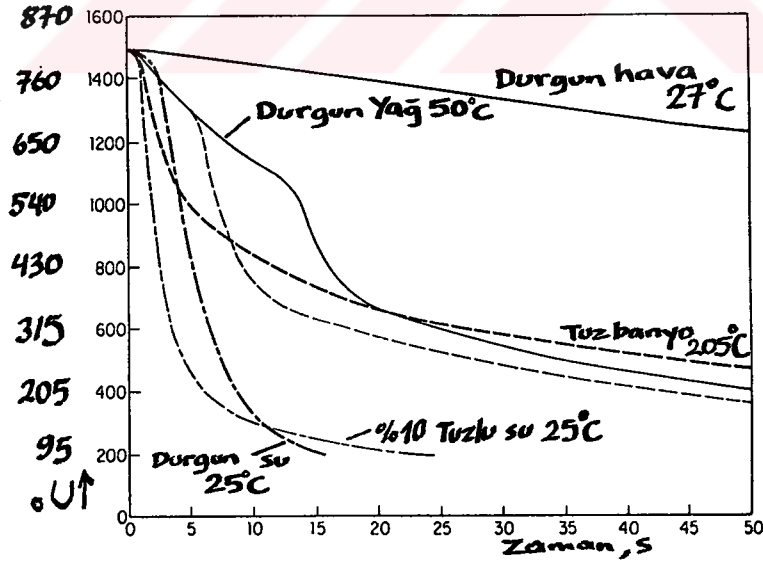
- Su ve su çözeltileri
- Mineral Bazlı Yağlar
- Sıvı Tuzlar
- Polimer su verme ortamları
- Asal Gazlar

Soğutma ortamlarını teker teker incelemeden önce bunların belli başlıcalarının birbirine göre irdelenmesi yerinde olur:

Farklı ortamlardaki yarım inç çapında paslanmaz çelik çubuklardan elde edilen soğuma eğrileri şekil 3.23’de gösterilmiştir. En soldaki eğri 25°C’de % 10’luk tuzlu su çözeltisidir. Dikkat edilirse bu soğutma ortamı yaklaşık 1 s süren çok kısa bir buhar fazına sahiptir ve soğutma hızının çok hızlı olduğu kaynama aşamasına çabukça geçer. Yaklaşık 10 s civarında ise 3. aşamaya geçmiştir. 25°C’deki durgun suyun soğuma eğrisine bakıldığında görülecektir ki buhar fazı tuzlu suya nazaran biraz daha uzundur. Yaklaşık 3 s sonra kaynama aşamasına geçer. Bu aşama müddetince soğuma hızı çok hızlı olmasına rağmen tuzlu su kadar hızlı değildir. 3. aşamaya yaklaşık 15 s sonra erişilir. Şimdi erimiş tuz için soğuma eğrisini inceleyelim. Bu sıvı hale gelinceye kadar ısıtılan düşük erime sıcaklığına sahip inorganik tuzdur; sıvı böylece soğutma ortamı olarak kullanılır. Bu durumda erimiş tuz 205°C’dir. Erimiş tuzun ortalama olarak tuzlu suyunkine eşit çok kısa bir buhar aşamasına sahip olduğu dikkati çeker. Bununla beraber kaynama aşaması süresince soğuma hızı tuzlu su veya durgun su kadar hızlı değildir ve 3. aşamaya yaklaşık 10. s’de ulaşır. Yağla ilgili iki eğriden noktalı olan 50°C’deki gufl süper – soğutma yağına(ticari bir marka) ve düz çizgili olan ise gene 50°C’deki durgun yağa aittir. Her ikiside göreceli olarak uzun buhar aşaması gösterirler,



Şekil 3.22 Ilık suda soğutulan küçük bir silindirin tipik soğuma eğrisi (3 soğuma aşamasını göstermektedir) (Awner, 1974; s.284)



Şekil 3.23 125 mm çapında ve 63.5 mm uzunluğunda paslanmaz çelik örnekler için hareketsiz soğutma ortamlarında oluşan merkez - soğuma eğrileri (Awner, 1974; s.285)

farkları durgun yağ kaynama aşamasına yaklaşık 13 s sonra girerken gufl süper – soğutucu kaynama aşamasına yaklaşık 7 s sonra girer. Üçüncü aşamaya gufl süper – soğutucu yaklaşık 15 s sonra ulaşır ve durgun yağ için bu değer 22 s’dir. Yaklaşık 30°C’deki durgun hava için çizilen soğuma eğrisi buhar aşamasından hiçbir zaman çıkmaz ve böylelikle bütün kademeler boyunca çok düşük bir soğuma hızı gösterir.

Farklı ortamların soğutma hızlarının karşılaştırılmasının alışlagelmiş yolları herhangi sabit sıcaklıkta soğutma hızının veya iki sıcaklık arasında ortalama hızın belirlenmesi ile olur (Awner, 1974).

3.4.5.1 Suda sertleştirme

Suyun soğutma etkisine, suyun başlangıç sıcaklığı ve durumu önemli rol oynar. Suda çözülmüş gaz ve tuzlarla birlikte, suyun konsantrasyonu büyük etki yapar. Farklı konsantrasyonlar, soğutma hızına % 50’ ye kadar etki yapabilmektedir. Buna ilave olarak, 15 ila 20°C’nin üzerindeki su sıcaklığının da etkisi büyüktür. Ayrıca, parçanın su banyosunda hareket ettirilmesi ya da suyun kendi hareketi de önemli etki yaratır. Özellikle, soğutma esnasında suyun yeterli miktarda olmaması nedeniyle ısınması, soğutma seyrini etkilemektedir. En yüksek soğutma hızına suyun püskürtülmesi ya da banyo içerisinde su türbülansı ile ulaşılabilir.

Isıtılmış çelik parçanın soğutulmasında, en yüksek soğuma hızı, parça ve su arasındaki sıcaklık farkının en yüksek olduğu durumda değil, bu farkın 350 ila 400°C olduğunda görülür. Suda görülen bu durum, yağ gibi diğer sıvılarda da geçerlidir. Yüksek sıcaklıklarda, parçanın etrafında bir buhar filmi oluşur. (Buharlaştırma aşaması) Bu buhar filmi, suyu parçadan uzaklaştırır. Buhar kötü bir ısı iletkeni olduğundan ve bu aşamada ısı transferinin buhar aracılığıyla yapılması zorunlu olduğundan, çeliğin soğuması bu aşamada çok düşük hızda olur. Yaklaşık 700°C gibi, daha düşük sıcaklıklarda buhar filmi parçalanır ve su, sıcak çelik parçasıyla temas etmeye başlar. (Kaynama aşaması) Temas eden su derhal buharlaşır bu esnada çelikten büyük ölçüde ısı çekilebilir. Bu durumda soğutma hızı oldukça artar. Yaklaşık olarak 350 – 400 °C’de buhar tabakası tamamen parçalanır ve maksimum soğumaya ulaşılır. Daha düşük sıcaklıklarda, parça ve su arasındaki sıcaklık farkı da azalacağından, buharlaşma çok azalır. Parçayı çevreleyen su, hızlı bir şekilde ısınır. Bu aşamada ısı transferi suyun ısı iletimiyle sağlanır. (Konveksiyon fazı) Daha düşük sıcaklıklara kadar, yani parça tamamen soğuyuncaya kadar bu aşama devam eder (Topbaş, 1993).

Konveksiyon aşamasında soğuma hızı için temel faktör, ani soğutma sıvısının ısı geçirgenliğidir.

Çeliğin sertleştirilmesinde en ideal sıvı ani soğutma ortamı, kaynama noktası östenitleştirme sıcaklığından yüksek olan yağlarda olduğu gibi, buharlaşma aşamasını geçirmeyen sıvılardır. Böylece, kaynama aşamasında hızlı bir ısı kaybı olurken, konveksiyon aşamasında da martensit oluşum alanı olan alçak sıcaklık bölgesinde de ani sıcaklık düşüşünü önlemek mümkün olur.

Buhar tabakasının parçalanmasıyla, perlit oluşum hızından daha büyük soğuma hızına ulaşmak mümkündür. Böylece, perlit teşekkülü engellenebilir. Su içerisindeki soğutmada, perlit kademesindeki soğumanın daima üzerindeki hızlarda kalınır. Ancak, suyun soğutma gücünün maksimum olduğu sıcaklık, perlit dönüşümünün maksimum olduğu sıcaklık bölgesinde değil, aksine daha düşük sıcaklıklardadır (Topbaş, 1993).

Öteki su verme ortamlarına göre birçok avantaja sahip, birçok su verme uygulamaları için kullanılan suyun avantaj ve dezavantajları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

Avantajları:

- Ucuzluk
- Kolayca temin
- Kullanma kolaylığı
- Muhafaza problemi yok
- Sağlık ve emniyet yönünden tehlikesiz
- Alevlenmez, yangın tehlikesi yok
- Zehirsiz
- Sulama esnasında duman ve sis yok
- Meneviş öncesi temizleme sorunu yok
- Pompa ve filtre kolaylığı
- Tank su ile soğutularak sıcaklık kontrol altına alınabilir.
- Suyun kirliliği soğutma etkisini etkilemez.

Dezavantajları:

Su verme karakteristiği: Bu suyun ana dezavantajıdır. Bu dezavantaj suyun pek çok kullanımını etkiler.

a) Suyun su verme özelliği genellikle sıcaklığa bağlıdır. Sıcaklık arttıkça buhar aşaması çok artar ve maksimum soğuma hızı azalır. Bu, parça yüzeyinde yumuşak noktaların veya kesit içinde yetersiz sertlik ve mekanik özelliklerinin oluşumuna yol açar. Bunu minimuma indirmenin üç yolu vardır.

1. Soğuma boyunca suyun sıcaklığının yükselmesini önlemek
2. Buhar örtüsünü dağıtmak için şiddetli sirkülasyon veya parça hareketi
3. İnorganik bir tuz ilave etmek

Klorik tuz (NaCl) % 9

Kostik Soda (NaOH) % 3

Aquarapid F % 10

Aquarapid F NaCl Korozyon özelliğini, kostik sodasıda zehirleyici özelliğini yok eder.

b) Buhar aşamasının kararlılığı:

Buhar aşaması yüzey kalitesine çok bağlıdır. Buhar düz ve hayli parlak yüzeylerde kalmaya meyillidir. Fakat kolayca parçalanır. Keskin köşelerde ve diğer gerilim yükselten yerlerde erken kaynama kademesinin oluşumunu sağlar. Bu, soğutulan parça kesitinde farklı soğuma hızlarını ortaya çıkartır. Bu sorunda parçanın çarpılmasına ve çatlmasına neden olur.

c) Kaynama noktası düşük sıcaklıklara iner ve netice itibariyle Ms ve Mf aralığında soğuma hızı çok yüksektir. Bu durum yüksek gerilmelere, çarpılmalara ve çatlamalara neden olur. Bu sebeplerden dolayı; su ile su verme, sade karbonlu çelikler, düşük alaşımli çeliklere uygulanır. Parçalar mümkün olduğu kadar homojen kesitli, kesit kalınlığındaki değişiklikler çok az, keskin köşe ve gerilim arttırıcı şekilli olmamalıdır (Demirok, 1988).

3.4.5.2 Sodyumhidroksit ve tuz çözeltilerinde sertleştirme

Suyun konsantrasyonunun değiştirilmesiyle, soğutma etkisi belirli sınırlarda azaltılabilir ya da arttırılabilir. Ortamın soğutma etkisini yükseltmek için sodyumhidroksit (NaOH) ve mutfak tuzu (NaCl) katılabilir. Mutfak tuzu, işlem sonrasında parçalarda ve banyo teknelerinde korozyona neden olduğundan, daha çok sodyumhidroksit kullanılır. Sodyumhidroksit ilavesiyle ortamın ısı iletme kabiliyeti artmaz, tam tersi azalır. Buna karşın, artık suya nazaran buharlaşmaya kadar ısı çekme artar ve özellikle buharlaşma sıcaklığı yükselir. Yani, buhar

tabakasının parçalanması 300 – 400°C civarında değil, daha yüksek sıcaklıklarda olur. Suyun soğutma hızının maksimumu da daha yüksek sıcaklıklara kayar ve yaklaşık % 10 NaOH içeren suda maksimum soğutma hızına, perlit dönüşümünün maksimum olduğu sıcaklıkta ulaşılır. Bundan başka, NaOH ilavesiyle buhar oluşumu homojendir ve soğuma hızının yüksek olduğu sıcaklık sahası geniştir.

Suyun soğutma hızını gösteren eğri perlit oluşum hızı ile irdelendiğinde, sodyum hidroksidin soğutma etkisinin, perlit oluşum hızının maksimum olduğu sahada yaklaşık iki kat olduğu görülmektedir. Bu nedenle, parçanın cidarındaki hızlı soğumanın çekirdeği de etkilemesiyle, sertleştirme derinliği de önemli miktarda artar.

Buharlaştırma aşamasının çabuk parçalanması , yalnızca soğutma hızını yükseltmekle kalmaz, bunun yanısıra buhar cebi nedeniyle oluşan yumuşak noktacıkların oluşumunu da önler ve komplike parçalarda çekmeleri azaltır.

% 10'luk sodyumhidroksitli su çoğu kez daha fazla sertlik derinliği, yani tam sertleşme istendiğinde ve özellikle çekmelerin azaltılması istenen sertleştirmelerde, kolaylıkla buhar cebi oluşturan ve gerilmeler meydana getiren karışık şekilli parçalarda tercih edilir. Suya nazaran daha yüksek sıcaklıklarda da kullanılmasına karşın, daha iyi sertleştirme sağlar. Bu esnada sertleştirmede oluşan ısıl gerilmeler oldukça küçüktür ve çatlama – çekme tehlikesi azdır. Sertleştirmede sodyumhidroksit çözeltisi sulu banyo genellikle 80°C'de kullanılır. Sodyumhidroksit kullanımının bir kusuru, çalışanların sağlığına zararlı olmasıdır ve mutlaka maske kullanılması gerekir. Bugün endüstride daha çok, özel tuzların sulandırılmış çözeltileri, değişik konsantrasyonda ve 80°C'ye kadar sıcaklıklarda kullanılmaktadır.

Daha az soğutma gücü olan, yüksek konsantrasyonlu tuz çözeltileri, çatlama tehlikesini azaltmak ve yumuşak nokta oluşmasını engellemek amacıyla kullanılmaktadır. Bunlarda ulaşılan sertleşme derinliği, suya göre daha azdır. Daha çok, küçük kesitli parçaların sertleştirilmesinde ya da alaşım elemanlarından dolayı perlit dönüşüm hızının azalmasında tercih edilirler. Bu tuz çözeltilerinin soğutma gücü, genellikle su ve yağ arasında olmaktadır. Normal olarak, doymuş tuz çözeltileri 150°C'ye kadar yüksek banyo sıcaklıklarında kullanılır. Tuz çözeltilerinin gerilim azaltıcı etkisi, özellikle suda sertleştirmede martenzit oluşumunun az olduğu durumlarda görülmektedir. Bu tarz dönüşümlerde yüksek gerilmeler olduğundan, daha yavaş ve homojen soğutan ortamlar daha uygun olmaktadır (Topbaş, 1993).

Aynı derecedeki karıştırma ile elde edilen soğuma hızlarından tuzlu su ile elde edilen su ile elde edilenden daha yüksektir veya alternatif olarak; verilen bir soğutma hızına ulaşmak için daha az karıştırmaya ihtiyaç duyulur (Ericsson, 1991).

Buraya kadar ki soğutma ortamlarının bir karşılaştırmasını yapmak açısından şu örnek yararlı olabilir:

Soğuma eğrileri göstermektedir ki 20°C de ve 0.9 m/s hızda, ağırlıkça % 5 NaOH içeren bir solüsyon, 12.5 mm çapında ve 50 mm uzunluğunda bir silindirin yüzeyini 870°C'den 200°C'ye 0.31 s'de soğutmaktadır. Aynı şartlar altında, % 5'lik NaCl solüsyonu 0.48 s'ye ve su 1.2 s'ye ihtiyaç duyulmaktadır. Bununla beraber, bir NaCl solüsyonu NaOH solüsyonuna nazaran daha düşük maliyetli ve kullanımı kolaydır ve belki de NaOH'in daha hızlı soğuma hızına rağmen tercih edilir konumdadır (Ericsson, 1991).

Suya nazaran daha yumuşak soğutma ortamı olarak yağ – su emülsiyonları da kullanılabilir. Bunların kaynamaya dirençleri yanında homojen soğutma sağlamaları, çatlama tehlikesini yok etmeleri ve korozyona karşı dayanımlarının yüksek olması gibi üstünlükleri vardır. Daha çok, alev ve indüksiyonla sertleştirmelerde kullanılırlar. Çatlamaya engel olmak için, emülsiyonlar çoğu kez 40°C'ye kadar ısıtılır. 40°C'nin üzerine ısıtılması, yumuşak noktacıklara (leke) neden olur. Daldırma banyolarında, soğuk banyoda buhar filmi teşekkülü nedeniyle yumuşak noktalar oluşması tehlikesinden dolayı, genellikle kullanılmazlar (Topbaş, 1993).

3.4.5.3 Yağda sertleştirme

Bütün su verme uygulamalarının % 75 - % 90'ı mineral yağ esaslı ortamlarda yapılmaktadır. Su verme karakteristiklerinin geniş bir aralığı yağ esaslı ürünlerle elde edilmektedir. İyi bir harmanlama gerekli ilave maddelerle uygun yağlar üretilir. Su verme işleminin birinci ve üçüncü kademelerindeki soğuma karakteristikleri su ile elde edilen karakteristiklerinden önemli derecede farklıdır. Bu su verme ortamı için en önemli özelliştir. Başlangıçtaki buhar örtüsü kademesindeki soğuma hızı, uniform su verme özelliği vermek için kontrol edilebilir. Üçüncü kademe azalan bir soğuma hızı çok geniş çelik aralığı için su verme işlemini mümkün kılar (Demirok, 1988). Yağ, çeliği son soğuma safhası boyunca çok daha yavaş

soğutur. Bu arzu edilir bir durumdur çünkü bu çok daha az iç gerilmeler, çarpılma ve çatlaklarla sonuçlanır (Johnson, 1946).

Yaklaşık olarak yağın soğutma gücü, suyun 1/3'ü kadar olmaktadır. Daha çok nebati ve mineral yağlar, nadiren de hayvanlardan elde edilen sıvı yağlar kullanılır. Yağlarda soğutma gücü, banyo sıcaklığıyla alakalı değildir. Soğutma gücünün bu bağımsızlığı, suya nazaran bir üstünlük sağlarsa da, yüksek banyo sıcaklıklarında buharlaşma tehlikesi artar ve buna karşın akışkanlığı hızla yükselir. Yüksek akışkanlık, buharlaşmanın artma sakıncasına karşılık ısı geçişini iyileştirir. Hatta 40°C gibi düşük sıcaklıklara ısıtmada, soğuk yağa nazaran soğutma gücü daha da fazladır (Topbaş, 1993).

Ekonomik nedenlerle ve tuz banyosundaki tuzların nebati yağları sabunlaştırması nedeniyle, bugün pek az nebati yağ kullanılmaktadır. Sertleştirme tesisleri için geliştirilmiş özel mineral yağlardan, daha iyi sonuç alınabilmektedir. Mineral yağların seçiminde birçok faktör, örneğin sertleştirilecek parçaların boyutları önemli rol oynar. Ayrıca soğutma gücü, nebati yağlarda olduğu gibi, banyo sıcaklığından bağımsız değildir. Büyük parçaların sertleştirilmesinde, küçük parçalarda kullanılabilecek nazaran daha kalın yağlar tercih edilir.

Bugün genellikle kullanılan mineral yağlar, parlak soğutma yağları ve yüksek güçlü soğutma yağları olarak ayrılırlar. Parlak soğutma yağlarıyla, ani soğutmadan sonra parlak bir yüzey elde edilirken, yüksek güçlü soğutma yağlarında siyah yüzey elde edilir. Yüksek polimer maddeler ilave etmekle, ikinci grup yağlarda oldukça yüksek soğutma gücüne ulaşılır. İyi bir sonuca ulaşmak için, viskozitenin ve alev alma noktasının düşük olması istenir.

Yağda sertleştirilmiş parçalarda yüksek temizleme masrafını önlemek için, bugün su ile yıkanabilen yağlar da kullanılmaktadır. Yağlar, sıcak parçaların ısı etkisi ile bozulmamaları ve yüksek sıcaklığa dayanıklı kalabilmeleri için, emülgatörde tutulur. İşlemden sonra parçalarda yapışmış yağ filmi, sıcak suyla hızlı ya da soğuk suyla yavaş bir şekilde temizlenir. Temizlemeden arta kalan sular dinlendirilerek, yıkamada biriken yağ alınır (Topbaş, 1993).

Su verme yağlarının karakteristikleri

Su verme yağlarının performansını etkileyen önemli özellikler şöyle özetlenebilir.

<u>Özellik</u>	<u>Performans</u>
Viskozite	
Bileşim oranı	Su verme hızı

Islatabilirlik	
Alevlenme noktası	Yangın tehlikesi
Oksidasyon mukavemeti	
Termal kararlılık	Yağın ömrü
Buharlaşma	
Yıkanabilirlik	Temizleme

Viskozite:

Viskozite su vermeye bağlı olarak önemli bir etkiye sahiptir. Çünkü; viskozite yağın kaynama aralığını, akıcılığı sirkülasyon kolaylığını etkiler. Genel olarak viskozite ne kadar düşük olursa su verme hızı o kadar yüksek olur. Mamafih viskozitenin düşürülmesi ile sağlanan su verme hızı belli bir sınıra kadar olur. Çünkü yağın alevlenme noktasında buna paralel olarak azalır.

Viskozitedeki değişikliklere bağlı olarak sıcaklık etkisi önemlidir. Çünkü bu su verme hızının yağ sıcaklığı ile nasıl değişikliğe uğrayacağını belirtir. Pratik olarak su verme hızında bir kararlılığın sağlanması için bu değişikliklerin minimumda tutulması arzu edilir. Bu durum bize bir çelik milin yağ soğukken sertleştirilmesi ile yağ sıcakken sertleştirilmesinde elde edilen sertlik değerinin ayrı olduğunu garantiler. Viskozite parça üzerinden yağın en kısa zamanda süzülmesi açısından da önem arz eder.

İlave seviyesi:

Mineral yağlarına belirli malzemelerin ilavesi ile parçanın etrafında buhar örtüsünün oluşumu önlenir. Bu ilave maddeler mineral esaslı düşük viskoziteli yağlarla birleştirildiği zaman çok yüksek su verme hızları elde edilir.

Islatabilirlik:

Bir yağın parçanın yüzeyine ıslatma kabiliyeti önemlidir. Bu özellikle bilhassa geniş yüzeyli parçaların sertleştirilmesinde büyük önem taşır.

Alevleme noktası:

Yağ buharlarının tutuşacağı en düşük sıcaklık o yağ için alevleme noktasıdır. Alevleme noktası yağın çalışacağı max. sıcaklığı belirlemesi açısından çok önemlidir. Pratikte yağın alevleme sıcaklığının 25°C altı yağın max. çalışma sıcaklığı olarak seçilir.

Oksidasyon mukavemeti:

Yağın oksidasyonu viskozitenin artmasına sebep olur ve asidik ürünler oluşturur. Bu da parçanın lekelenmesine sebep olur.

Termal kararlılık:

Su verme yağları sertleştirilen parçalarla temas haline geldiklerinde yüksek sıcaklıklara maruz kalırlar. Yağın bu sıcaklıklar için termik kararlılık göstermeleri gerekir. Oksitlenmiş yağdan oluşan karbon ve katı parçaların oluşumu kısa zamanda soğutucuların ve filtrelerin tıkanmasına sebep olur. Bu da işletmeyi güçleştirir.

Buharlaşma:

Yağın buharlaşması, tüketimi ve çevre sağlığı açısından önemlidir. Su verme anında oluşan duman bunun için bir ölçüdür.

Temizleme özelliği:

Su verme yağına ilave edilen özel kimyasallar, yağın soğutma şiddetini etkilemez fakat bu ortamda sertleşen parçaların soğuk suda yıkanmasını mümkün kılar. Böylece sertleşmiş parçaların özel alkaliler içinde yıkanmasına gerek kalmaz (Demirok, 1988).

Su verme yağlarının sınıflandırılması:

Su verme yağları geniş bir başlık altında iki sınıf olarak gruplandırılır.

A – Su verme hızına göre

B – İşlem sıcaklığına göre

Su verme hızı çok önemlidir. Sertleşen parçadaki sertlik ve sertlik derinliğini direkt etkiler. Bunun için istenilen fiziksel özellikler için optimum soğuma hızı seçilmelidir.

Su verme yağının işlem sıcaklığı da aşağıdaki sebeplerden dolayı çok önemlidir.

- a) Yağın ömrü
- b) Su verme hızı
- c) Viskozite

Su verme yağları üç sıcaklık aralığına göre gruplandırılır.

- a) Yağın ömrü
- b) Su verme hızı
- c) Viskozite

Parçanın çarpılma tehlikesi olmadığı haller için oda sıcaklığında su verme yağları uygundur. Kompleks şekilli parçalar, kesit kalınlığı değişen parçalar veya hassas olan parçalarda çarpılma en aza indirilmelidir. Bunun için (150°C – 200°C) sıcak su verme yağları seçilmelidir.

Bu tip yağlar yüksek oksidasyon direnci ile birlikte üniform soğutma özelliği de sağlar. Buna karşılık yüksek sıcaklıklarda uzun süre kullanılmaları termal kararlılığını değiştirmez. Bu sıcaklıklarda sıcak su verme yağları kullanılacağı zaman oksidasyonu minimumda tutmak için yağ üzerine azot, endotermik veya ekzotermik gaz gibi koruyucu bir atmosferin sağlanması önemli bir husustur. Böylece yağın ömrü uzatılmış olur.

Bazı uygulamalarda, sıcak su verme yağı ile normal su verme yağı arasında bir yağ seçilir. Bu yağlar genelde 100°C çalışarak optimum çarpılma ile kontrollü ısı işleme imkan sağlar.

Spesifik taleplere uygun olarak normal ve sıcak su verme yağları hızlandırılmış veya normal hızda olmak üzere piyasaya sürülmektedirler (Demirok, 1988).

3.4.5.4 Havada sertleştirme

Sertleştirmede su ve yağ ortamlarının dışında, hava da kullanılabilir. Soğutma ortamını tanımlamaya yarayan maksimum perlit teşekkül hızı sahasında, havada soğutma hızı suda soğutmanın birkaç yüzdebir değerindedir. Hatta, sakin hava %1'inde altındadır. Buna karşın,

parça ve hava arasındaki sıcaklık farkı ne kadar büyükse, havanın soğutma gücü de o kadar fazladır. Havanın hareketli olmasıyla soğutma gücü artar. Havanın düşük soğutma gücünden dolayı, uygulama yüksek alaşımlı çeliklerde (hız çelikleri) sınırlı kalmaktadır.

Yukarıda belirtilen sakıncalı yönleri dolayısıyla, özellikle sakın havada sertleştirme işlemi her zaman aynı soğutma hızını sağlamaz. Bu nedenle de, eskiye oranla sakın havada soğutma giderek terkedilmekte, kontrollü hava soğutması ya da yakın soğuma hızını sağlayan sıcak banyoda sertleştirme gibi yöntemler daha çok tercih edilmektedir.

Hava yerine diğer gazlar, örneğin oksitlemeyen gaz, sertleştirmede ani soğutma için kullanılabilir. Örneğin argon gibi bu gazlar, yüksek maliyeti nedeniyle kapalı devre sistemlerde ve soğutma ünitesi de olan endüstri fırınlarında kullanılır (Topbaş, 1993).

3.4.5.5 Sıcak banyoda sertleştirme

Sıcaklığı, martenzit dönüşümünün başladığı Ms sıcaklığının üzerinde ya da biraz altında olan sıcak banyolarda ani soğutma yapmakla, soğutmada teşekkül eden gerilmelerin azaltılması olanaklıdır. Bu esnada, hızlı soğutma sonucu martenzit teşekkül ettirilmediğinde, martenzit dönüşümünden doğacak dönüşüm gerilmeleri de olmaz. O halde, banyo sıcaklığına kadar ani soğutmada, yalnızca ısı gerilmeler oluşmaktadır. Bu ısı gerilmeler, kullanılan sıcak tuz banyolarında suda olduğu gibi buhar teşekkül etmediğinden, suda oluşan gerilmelere nazaran oldukça küçük değerdedir. Metal banyolar da aynı amaçla kullanılabilir, ancak kurşun gibi özgül ağırlığı fazla olan metal banyoları kullanılırsa çeliğin banyo yüzeyinde yüzmesini önlemek gerekir. Ayrıca, metal banyolarının uzun sürede difüzyon olaylarına neden olduğu ve bu olayların martenzit dönüşümünü engelleyebileceği de unutulmamalıdır.

Sıcak banyoda sertleştirme işlemi, önceleri yalnızca martenzit dönüşümü ile sertleştirme için geliştirilmiştir. Bugün ise, bu işlemle birlikte özellikle kalıpların bainitik ya da bainit – martenzit yapısı elde edilecek şekilde izotermik dönüşümle sertleştirilmesinde de sıcak banyolardan yararlanılmaktadır.

Martenzitik yapı elde etmek amacıyla sıcak banyoda soğutma uygulandığında, sıcak banyoda tutmayı takiben, oda sıcaklığına soğutma esnasında martenzit oluşur. Sıcak banyoda soğutmada ferrit ve perlit oluşumu engellendiğinden dolayı, oda sıcaklığına soğutma martenzit oluşumu için gerekli olan hızda yapılabilir. Bu esnada, yeniden ısı gerilmelerin

oluşmasını engellemek için, soğutmanın havada ve yavaş yapılması tercih edilir. Östenitin martenzite dönüşmesinden ileri gelen dönüşüm gerilmeleri, bu durumda aynı kalır. Ancak, ısı ve dönüşüm gerilmeleri toplamı, deformasyon ya da çatlama meydana getirebilecek değerlerin çok altına düşer (Topbaş, 1993).

Pratikte sıcak banyoda sertleştirme, karbon miktarı % 0.6'dan fazla olan çeliklere ve yaklaşık 180°C ila 240°C arasında uygulanır. Tuz banyolarına, genellikle potasyumnitrat ve sodyumnitrat eriyik karışımı kullanılır.

Sıcak banyo olarak tuz banyoları yerine, sıcak yağ banyoları da kullanılabilir. Tuz banyolarında kullanılan tuzların 135 ila 145°C arasında olan ergime sıcaklığının üzerinde, en az 160°C'den itibaren kullanma olanağı varken, sıcak yağ banyolarını 150°C'nin de altında ve 200°C'ye kadar kullanmak mümkündür.

Martenzitik dönüşüm dışında sertleştirme amacıyla bainitik yapı elde etmek için de sıcak banyolar kullanılır. İzotermik dönüşüm sıcaklığı izotermik zaman – sıcaklık – dönüşüm (İZSD) diyagramından, söz konusu çelik için arzu edilen perlitli ya da perlitsiz bainitik yapıya uygun soğuma tarzı tespit edildikten sonra, sıcak banyo sıcaklığı ayarlanır. Eğer yapıda martenzitik dönüşüm hiç istenmiyorsa, izotermik dönüşüm sıcaklığının Ms sıcaklığının üzerinde seçilmesi ve bainitik dönüşüm tamamlanıncaya kadar, sıcak banyoda bekletme yapılmalıdır. İZSD diyagramından da bilindiği gibi, bu tür dönüşümle elde edilen sertlik değerleri, martenzitik yapıya göre daha düşüktür, fakat iç gerilmeleri çok düşük olduğundan yapı yüksek sertliğine karşın oldukça sünektir (Topbaş, 1993).

3.4.5.6 Kademeli sertleştirme (Kesikli su verme)

Kademeli sertleştirme, sıcak banyoda sertleştirmenin değişik bir türü olarak bakılabilir. Burada da soğutma iki kademe olur, kademeli kullanılan ortamlarda bekleme süresi yoktur. Kademeli sertleştirmede, parça genellikle su içerisinde 300 ila 400°C'ye kadar soğutulur, bekleme yapılamadan alınır ve yağa daldırılır. Su içerisinde soğutmada, cidar ve çekirdek arasında sıcaklık dengesi meydana gelmez. Ani soğutma ile perlit teşekkülü önlenerek sertleşme artırılırken, yağ banyosu içerisindeki soğutmada, ısı gerilmelerin yüksek olması engellenir.

Gerilmelerin büyük kısmı martenzite dönüşüm gerilmeleri sahasında olduğundan, takiben yapılan yağda, soğutma bu amaca uygun ortam yaratmaktadır. Ancak, özellikle kalın parçalarda, ikinci kademede çekirdekteki ısı etkisiyle, soğuk cidar tekrar ısınabilir ve daha önce oluşmuş martenzit teşekkül sıcaklığının altında 180°C – 200°C olan tuz banyosuna da daldırılabilir. Ancak bu uygulama, su banyosundan tuz banyosuna su taşıyacağı için sorun yaratır. Aynı durum, yağ banyosu için de geçerlidir, ancak yağ – su ayırımı daha kolay yapılabilir (Topbaş, 1993).

3.4.5.7 Sulu tuz çözeltilerde sertleştirme

Yüksek miktarda tuz içeren çözeltilerle tuz oranını ayarlamakla, su veya yağ arasında daha uygun soğutma hızlarına ulaşılabilir. Suda ani soğutmaya nazaran daha az sertleşme derinliği elde edilmesine karşın daha az ısıl gerilme oluşur. Banyo konsantrasyonun ve sıcaklığının uygun düzenlenmesiyle, gerilmeler en aza indirilebilir. Burada dikkat edilecek nokta, yüksek sıcaklıklarda buharlaşmanın meydana gelebileceğidir. 100°C civarında banyo sıcaklıkları kullanılabilir. Tuzlarda buhar tabakası oluşumuna homojen olmayan buhar tabakası dağılımına ve yumuşak noktacıkların olmamasına dikkat edilmelidir. Sertleştirme esnasında su buharlaştığından ve devamlı su ilave etmek gerektiğinden, su miktarını sabit tutmak güçtür. Ayrıca, tuz çözeltisinin de sürekli kontrolü gerekir. (Topbaş, 1993).

3.4.5.8 Sıcak şekillendirme sıcaklığından sertleştirme

Haddeleme, dövme ya da çekme sıcaklığından direkt olarak sertleştirme yapılabilir veya bir dengeleme fırınında sıcaklık dengesi sağlandıktan sonra ani soğutma yapılabilir. Böylece, sıcak şekillendirmede ısısından yararlanılarak ısı tasarrufu sağlanmasının yanında, normal sertleştirmede çekirdek etkisi yaratmayan, fakat şekillendirme ile elde edilmiş çekirdek etkisinden de yararlanılarak daha uygun yapı sağlanabilir. Ayrıca, bu yöntemde sertleştirme sonu yapısı daha ince taneli ve sertleşme derinliği daha fazladır. Perlit için çekirdek etkisinin azaltılmasıyla, perlit kademesindeki dönüşme daha düşük sıcaklıklara kayar, yani difüzyon hızı azalır. Maksimum perlit teşekkül hızının azaltılmasıyla, su yerine yağ kullanılarak normal sertleştirme derinliğine ulaşılabilir. Eğer sıcaklık dağılımı dengesiz ise, son şekillendirmeden sonra, sıcaklığı normal sertleştirme sıcaklığına ayarlanmış dengeleme fırını kullanılabilir.

Sıcak şekillendirmeden sonra oda sıcaklığına kadar ani soğutmayla martenzit oluşturmak yerine, diğer daha az gerilme oluşturan soğutma ortamlarında soğutma yapılarak bainitik yapı oluşumu tercih edilebilir.

Şekillendirmeye bağlantılı ısı işlem ve özellikle sertleştirme işlemleri, son yıllarda çok fazla önem kazanmıştır (Topbaş, 1993).

3.4.5.9 Düşük sıcaklıklarda soğutma işlemi (Derin soğutma işlemi)

Sertleştirmede, soğutma sıcaklığının oda sıcaklığının altında seçilmesi ile, özellikle yüksek karbonlu çeliklerde 0°C 'nin altında da, östenitin martenzite dönüşmesine devam edilebilir. Bu durumda sertlik değeride, alışılmış yöntemle göre daha da yüksek olur ve artık östenit miktarı çok azaltılabilir. 0°C 'nin altındaki sıcaklıklara normal soğutma ortamları ile ulaşamadığından bu yöntem oldukça pahalıdır. Soğutma ortamının seçiminde, ortamın düşük sıcaklıklarda soğutma hızının perlit oluşma sıcaklık sahasındaki soğutma hızından, yani kritik soğutma hızından yüksek olmasına dikkat edilmelidir. Bundan dolayı, soğutmada gazlar ve kolay buharlaşabilen sıvılar kullanılamaz. Ancak, bu yöntemde kademeli sertleştirme uygulanabilir. Ani soğutma su içerisinde yapılır. Oda sıcaklığına erişildikten sonra, müteakip soğumaya sıvı soğutma ortamlarında ya da soğutma dolaplarında devam edilir.

Soğutma ortamı olarak, -75 ila -78°C 'ye kadar aşırı soğutulmuş alkol içerisinde katı karbondioksidin (kuru buz) buharlaştırılması, küçük takımlar ve az sayıda parçalar için kullanılabilir. İlk soğutmadan sonra uzun süre ara verme işlemi, martenzit dönüşümü durduğu için sakıncalı olabilir. Ancak daha çok menevişleme yapıldıktan sonra, düşük sıcaklıklara soğutma işlemi uygulanmaktadır. Böylece, ani soğutmada oluşan ve kırılmalara neden olabilecek yüksek gerilmelerin etkisi azaltılabilir. Şüphesiz burada ki menevişleme işlemi, kafesteki karbonun serbest hale geçmesini sağlamayacak şekilde, 100°C 'nin altında uygun sıcaklıkta yapılır.

Martenzit dönüşümü, çok kısa zamanda gelişen kafes deformasyonu olayı olduğundan, düşük sıcaklıktaki aşırı soğutma işleminde bekleme süresi önemli değildir. Uygun sıcaklık alanı, $+10^{\circ}\text{C}$ (sürekli akan su) ile -40 ila 50°C 'ye kadar olabilir. Sıcaklığın -80 ila -100°C 'ye indirilmesi, fazla bir sertlik artması sağlamaz, ancak maliyeti çok artırır.

Aşırı soğutma işleminde, aşınmaya maruz bıçaklarda sertliğinin oldukça artırılması yanında, imalatı bitmiş parçalarda artık östenitin neden olacağı daha sonraki deformasyonlar ve ölçü değişimleri de azalır. Bundan başka, taşlanan ve parlatılan hassas takımlarda, kesme işleminde çapak oluşması azaltılabilir, hatta tamamen önlenir. Ancak, artık östenit miktarının azaltılması ve martenzit oluşumunun artırılması, martenzit oluşumuyla hacim artmasını da fazlaştırır. Her ne kadar, menevişleme esnasında tetragonal martenzitin kübik martenzite dönüşümünde hacim kısmen azaltılabilirse de, bu durumun ölçü tamlığı yüksek olması istenen parçalarda gözönünde tutulması gerekir. (Topbaş, 1993)

3.4.5.10 Polimer soğutma ortamları

Su esaslı polimer soğutma ortamları sanayide gittikçe artan oranlarda sertleştirme yağları ve su yerine kullanılmaya başlanmıştır. Yağlara alternatif olarak polimerlerin ilgi çekme sebepleri şöyledir:

- a) Yangın tehlikesi yoktur.
- b) Yağda oluşan buhar ve duman yoktur.
- c) Yağlara oranla daha etkin olan soğutma hızı sayesinde daha iyi sertlik değerleri alınabilir. Veya daha az alaşımli ucuz çelikler kullanılabilir. Buna karşılık çatlama ve deformasyon tehlikesi daha fazladır.
- d) Sertleştirilmiş parçalardan yağda olduğu gibi yıkama sorunu yoktur.
- e) Su ile karıştırıldığında, daha homojen soğutma sonucu homojen sertleştirme, daha az deformasyon ve çatlama tehlikesi oluşturur.

Bütün bunlara karşılık polimerler konsantrasyon, sıcaklık, karıştırma hızı, kirlilik derecesi ve bakteri seviyesi yönüyle daha sıkı kontrol ve bakım şartları gerektirirler.

Dünyada en çok kullanılan polimerler şunlardır:

- Poly alkalın glikol
- Poly akrilat
- Poly vinil alkol

Polimer soğutma ortamlarında korozyona karşı da önlemler alınmalıdır. İndüksiyonla ve alevle sertleştirmede % 5 – 10 oranları yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Banyoda su vermelerde konsantrasyon genelde % 10 – 20 arasındadır.

Soğutma mekanizması:

Polimerlerin soğutma mekanizmaları yağ ve suya oranla farklılık gösterirler. Bu soğutma sıvıları 70 – 75°C civarında sudan ayrışır, bu sıcaklığın altında solüsyon yaparlar. Soğutma anında polimerler parça yüzeyindeki film tabakasının kalınlığı soğutma şiddetini tayin eder.

Soğutma şiddeti:

Polimerlerin soğutma şiddetini, polimer konsantrasyonu, sıcaklık ve karıştırma hızını ayarlayarak değiştirmek mümkündür.

Polimer çözeltileri, çevre korunması ve sağlık açısından fazla sorun çıkarmazlar. Polimerlere, korozyona karşı, bakteriye karşı ve özel katkı maddeleri ilave edilir. Bunlarda sağlığa fazla zarar vermezler.

Sonuç olarak polimer su verme ortamları, sertleştirme yağlarına göre soğutma özellikleri ve çevre kirliliği açısından cazip bir alternatiftir. Ancak polimerlerden olumlu sertleştirme sonuçları alınabilmesi için dikkatli bakım ve kontrol gerekir (Demirok, 1988).

3.4.6 Soğutma sıvısının seçimi

Özel bir uygulama için, en uygun su verme ortamı seçileceği zaman göz önüne alınacak hususlar şunlardır:

- 1- Çelik kompozisyonu,
- 2- Parça kesit ölçüsü,
- 3- Çarpılma kontrol talebi,
- 4- Su verme sistemi tipi,
- 5- Su verme ortamının temizlenmesi,
- 6- Çevre talepleri.

Çelik kompozisyonu:

Çelik kompozisyonu, sertleşebilirliği ifade ettiği için, soğutma ortamı buna göre seçilir.

Parça kesit ölçüsü:

Kesit ölçüsü arzu edilen özellikleri geliştirmek için, gerekli olan su verme hızını etkiler. Genel olarak kalın kesitli parçalar, ince kesitlilere oranla daha hızlı soğutulmalıdırlar. Aşırı derecede hızlı soğutan bir ortam seçilmemelidir. Aksi takdirde çarpılma veya çatlama riski yükselir.

Çarpılma kontrol talebi:

İnce ve kompleks parçalar sulama esnasında, çarpılmaya karşı hassas olurlar. Çarpılmayı önlemek için pek çok metod uygulanır.

- a) Pres altında sulama,
- b) Sıcak yağ sulaması,
- c) Martemperleme,

Sulama sistemi tipi:

Su verme sistemi dizaynı özellikle parça hareketi, su verme akışkanının sirkülasyonu ve sıvı sıcaklık kontrolü elde edilen su verme sonuçlarını etkileyebilir. Dolayısıyla su verme ortamının seçimini de etkiler.

Sertleştirilen parçanın temizlenmesi:

Temperlemeden sonra parçada arzu edilen yüzey temizliği ve meneviş esnasında is ve dumanın yok edilmesine duyulan ihtiyaç nedeniyle, menevişden önce su verme ortamının kirinin yüzeyden temizlenmesi gerekir. Yağlarla su verme yapıldığında, alkali temizleyiciler, buhar yağını gideren tesis kullanılır veya saf su içinde temizlik yapacak bir emülsiyon kalitesi seçilir. Polimer sulama ortamları için menevişden önce temizlik gerekmez.

Çevre talepleri:

Sağlık ve emniyet yasası günümüzün imalat sanayiinde önemli bir faktördür. Su verme işlemlerinde (prosesinde) çevre konularına, emniyet ve sağlık konularına, büyük önem verilmektedir. Polimer sulama ortamları kullanılarak, yağda su vermeye ilişkin yangın tehlikeleri, duman ve is oluşumu giderilmelidir. (Demirok, 1988).

3.4.7 Su vermede karşılaşılan problemler

Su vermede karşılaşılan problemler aşağıdaki başlıklar altında özetlenebilir:

3.4.7.1 Isıl işlem esnasında çarpılma

Isıl işlem esnasında oluşan çarpılmalar iki başlık altında sınıflandırılırlar:

- a) Boyut çarpılması veya hareket
 - b) Şekil çarpılması veya eğilme
- Tavlama sürecinde
 - Sulama sürecinde

3.4.7.1.1 Boyut çarpılması veya hareket

Sıcaklık ve iç yapı değişmelerinden dolayı çelikte genişlemeler veya çekmeler (büzülme) meydana gelir.

Sıcaklık değişimleri tavlama ve soğutma esnasında termal genişlemeler ve büzülme meydana getirir.

Isıl işlem esnasında meydana gelen iç yapı değişiklikleri parçanın hacminde değişimler meydana getirir.

- Östenitlenme büzülme meydana getirir.
- Sertleşme genişleme meydana getirir.
- Toplam olarak ısıl işlem görmüş malzeme biraz daha büyüktür. Yumuşak iken işgal ettiği hacim sertleşince daha büyük yer işgal eder.
- Hacim değişimleri şunlarla etkilenir:
 - Çelik kompozisyonu
 - Sertleştirme sıcaklığı
 - Ocakta tutma süresi
 - Sulama hızı
 - Meneviş işlemi

Verilen malzeme ve ısıl işlem şartları için bu değişimler yaklaşık olarak tahmin edilir. Bu sebepten talaşlı imalat toleransları buna göre verilir.

3.4.7.1.2 Şekil Çarpılması veya Eğilme

Çarpılmanın en önemli şeklidir. Tavlama veya su verme kademesinde meydana gelir.

Tavlama esnasında şekil çarpılması:

a) İç gerilimlerin oluşumu

Metalin şekillendirilmesi ve talaşlı imalatında oluşan iç gerilimler, bunlar daha önceden tavlama ve gerilim giderme işlemi ile giderilir.

b) Belverme veya kayma:

İş parçasının ocak içine uygun yerleştirilmemesinden meydana gelebilir. Uzun miller dikey halkalar ve burçlar yatay yerleştirilmelidir. Parçanın aparatlanmasına dikkat edilerek gerekli önlemler alınmalıdır.

c) Ocak sıcak zonunda mekanik hasar:

Parçaların termal genişlemeleri ocak sahası boyunca sıkışmalara sebep olabilir. Kontini fırınlarındaki otomatik vibrasyon besleme sistemleri iş parçasını sıcak bölge içinde zorlayabilir ve parça sıcak bölgede çarpılabilir.

d) Ocaktaki sıcaklık kademeleri:

Bloke yakıcılar, hatalı ısıtma elemanları, zayıf hava sirkülasyonu ve diğer sebepler homojen olmayan ısıtma hızlarına sebep olurlar. Ve böylece parçada iç gerilimlerin oluşmasına neden olurlar. Özellikle bu konu hassas büyük parçalarda çok önemlidir.

e) Parçalardaki ölçü değişimi:

Parça kesitlerindeki boyut farkları eşit olmayan ısıtma hızlarına yol açar ve netice olarak iç gerilimler teşekkül eder. Termal şokları engellemek için kesit kalınlığı yönünden büyük değişikliklere sahip olan kritik parçalarda mümkün olduğunca yavaş tavlama yapılmalıdır.

3.4.7.1.3 Su verme sürecinde şekil değişimi

Su verme işleminde çarpılmanın önlenmesi için su verme ortamı seçimine dikkat edilmeli ve çarpılmayı minimize etmek için çok miktarda ısıtma işlemi pratiği yapılmalıdır.

a) Aparatlama: Isıl işleme tabi tutulacak parçalar uygun aparatlanmazlarsa çok hasar görürler. Malzemenin mukavemet değeri, tavlendiğinde oda sıcaklığına göre 1/10 mertebesinde düşer. Bu sebepten dolayı parçaların ısıtma işlemi amacı ile aparatlanmasına azami itina gösterilmelidir.

b) Soğuma hızına bağlı çarpılmalar:

Soğuma hızlarındaki değişimler şunlara bağlıdır:

- Parçanın kesit kalınlığındaki değişimler

- Su verme ortamının sirkülasyon durumu
- Parçanın su verme esnasındaki sarsıntısı

Bu faktörler iş parçasının çeşitli kısımlarının soğutma hızlarını etkiler ve iç gerilimlere sebep olurlar.

Parçanın bütün kısımlarının, kritik dönüşüm periyodunda aynı soğutma hızı ile soğumalarını sağlamaya gayret edilmelidir. Bunun için şu noktalara dikkat edilmesi gerekir:

- Parça dizaynı
- Sulama ortamı sirkülasyon derecesi
- Akıntı yönü
- Sulama ortamı sıcaklığı
- Sulama esnasında parçanın sallanması

c) Kimyasal kompozisyonun bölgesel değişikliği, dekarburizasyon ve alaşım elementlerinin segragasyonu, bir parçanın kesitinde farklı dönüşüm karakteristiklerine sebep olan faktörler olabilir. Bu nedenler çarpılmaya ve çatlamaya neden olabilirler.

d) Su verme ortamının yanlış seçimi:

Su vermede soğuma hızı aşırı yükselince büyük gerilimler ortaya çıkar ve parça çok çarpılır veya çatlar. Su verme hızını düşürmek için ya daha yavaş bir hızla su verilmeli veya dönüşümünden önce sıcaklık dengelemesini sağlamak için bir sıcak soğutma yağı kullanılmalıdır.

3.4.7.1.4 Sıcak yağ sulaması

Su verme esnasında parçanın yüzeyi merkezinden daha hızlı soğur. Bunun anlamı şudur:

Yüzey Ms sıcaklığına kadar soğuduğunda, (burada martenzit oluşmaya başlar.) merkez daha yüksek sıcaklıklarda kalır. Çekirdek Ms sıcaklığına geldiğinde ise bu bölge sert martenzit tabakası ile çevrelenmiştir. Östenitten martenzite dönüşme esnasında malzemedeki hacim artışı olur, fakat çekirdek martenzite dönüşürken yüzeyde daha önceden oluşan sert martenzit çekirdeğin hacim artışı engeller. Bu olay malzemenin yüzeyini gerilimli hale sokar ve herhangi bir gerilim dengesizliği çarpılmalara veya su verme çatlamalarına neden olur.

Eğer bir parçaya Ms sıcaklığına yakın bir sıcaklıkta su verilirse (200°C sıcak yağda) ve bu sıcaklıkta bütün kesit boyunca ortam sıcaklığına soğuyuncaya kadar bekletilirse, kesit boyunca farklı sıcaklık kademeleri giderilmiş olur. Daha sonraki havada soğutma kesit boyunca dönüşümün homojen olmasını sağlar. Bu olay iç gerilimleri minimuma indirir ve çarpılmalar azalır(martemperleme işlemi).

Birçok klasik çeliklerin Ms sıcaklığı 250 – 350°C sıcaklık aralığındadır. Mevcut yağlar bu sıcaklıklarda işlem yapmaya uygun değildir. Sıcak yağlar 200°C kadar sıcaklıklarda kullanılır.

Bu sıcaklıkların üstünde sıcak tuz banyoları kullanılmalıdır. 150 – 200°C sıcaklıktaki sıcak yağlarla önemli miktarda çarpılmalar önlenir. Isıl işlem sektöründe bu mamüller çok miktarda kullanılmaktadır.

3.4.7.2 Sulama yağlarında su kirliliği

Kirlenme kaynakları:

Su kirliliğine sebep olan muhtemel kaynaklar:

- Su soğutma ekipmanından sızıntılar
- Sızan çatılar
- Ocağın tamiri için depo olarak kullanılan kapların kirliliği
- Kapalı ocaklarda oluşan yoğunlaşma
- Yetersiz toplu depolama tesisleri

Etkileri:

Su kirliliği parçada yumuşak noktaların oluşmasına, çarpılmalara ve hatta çatlamalara neden olur. Ayrıca yağın daha kolay yanmasına da neden olurlar. Su verme yağında bulunan % 0.1 miktarındaki su parçada yumuşak noktaların oluşmasına sebep olur. Bu su miktarı soğuma esnasında buhar cepleri oluşturur ve buharlaşma fazını uzatırlar. Su kaynama fazının daha şiddetli olmasına neden olur ve parçada çarpılma hatta çatlama riskini yükseltir.

Yağ içindeki suyun % 0.5 ve daha fazla olması halinde köpüklenme meydana gelir. Şayet ocak kapalı bir ocaksa ve bu köpükler ocağın sıcak bölgesine girerse feci kazalar meydana gelir.

Su kirliliğinin giderilmesi:

- Suyun çökmesini bekleyip alttan almak.
- Banyoyu bir santrifüjden geçirerek.
- Filtrasyonla, ancak filtrasyonda filtre elemanının iyi seçilmesi gerekir.
- Kullanılmış açık yağ banyolarında tabandaki pislikler yeterince temizlenmelidir. Bunlar su yatağı görevi yapabilirler ve yeniden doldurmada yağ ile karışabilirler.

3.4.7.3 Duman, sis ve yangın tehlikesi

Kaynaklar:

Tehlikeler çeşitli kaynaklardan gelebilir.

- Yetersiz yağ derinliği
- Yetersiz yağ hacmi
- Zayıf yağ sirkülasyonu
- Mekanik hata (parçanın yağ girişinde yükün sıkışması)
- Parçanın yağ aşırı derecede yavaş girmesi

Şekil 3.24'de görüldüğü gibi yağda sirkülasyon yok, sıcak yağ hemen yukarı çıkarak yangına sebep veriyor. Sağda sirküle edilen sistem var, yağın sıcaklığının her yerde homojen olmasını sağlıyor.

Etkileri:

Muhtemel etkiler şöyle sıralanabilir:

- Tesis ve binalarda hasar yapar
- Çevre kirliliği
- İşletmeci düşmanlığı
- Üretim kaybı
- İşin hurdaya dönüşümü
- Bozulan yağ

Tedbirler:

Bu riskleri ve onların neticelerini minimuma indirmek için şu önlemler alınabilir.

- Su verme sistemlerinin dikkatli dizaynı
- Su verme akışı için tedbirler
- İnert gaz perdeleri
- Söndürme plakaları
- Sıkışmanın önlenmesi
- Yağ buharlarını giderici sistemlerin kullanılması (Demirok, 1988).

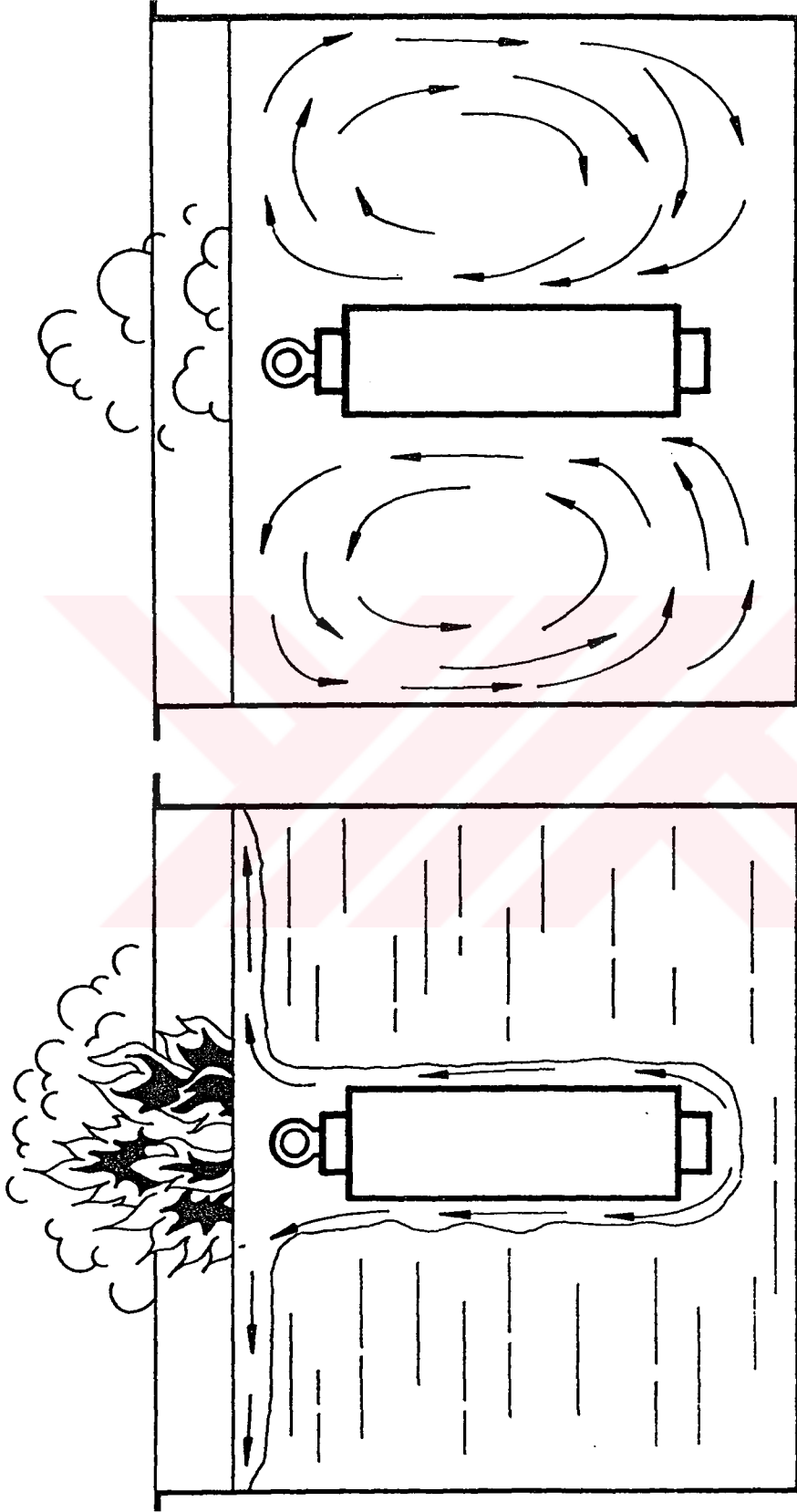
3.4.8 Soğutma şiddeti

Verilen bir soğutma ortamının verimliliği “soğutma şiddeti” olarak tanımlanan bir parametre ile ifade edilir. Soğutmanın ya da soğutma gücünün bu ölçüsü “H” ile belirtilir; ve verilen bir çeliğin bir seri yuvarlak örneğinin soğutulması ile deneysel olarak belirlenir. (Krauss, 1980) Mümkün olan en şiddetli su vermeye, yani yüzey sıcaklığını su verme ortamı sıcaklığına aniden indiren soğutma şiddetine, ideal soğutma şiddeti denmekte ve $H = \infty$ ile ifade edilmektedir. İdeal su verme kavramı çok değerlidir çünkü diğer su verme şiddetlerine bağıntı kurabilecek baz bir kavram oluşturmaktadır.

Değişik soğutma şiddetleri için, çeşitli boyutlardaki yuvarlak çubukların su verme sıcaklığı altındaki değişik sıcaklıklara soğuması için geçen zamanı hesaplamayı mümkün kılan katsayılar Grossmann Asimow ve Urban tarafından saptanmışlardır. Bu katsayılardan yararlanarak adı geçen araştırmacılar yuvarlak çubuklar ve levhalar için soğutma şiddetinin sayısal değerini bulmaya yarayan bir yöntem de geliştirmişlerdir. Bu yönteme göre, değişik ölçülerdeki çubuklar için değişik soğutma şiddeti değerlerinin derecelerini hesaplamak mümkündür. Hesap sonuçlarını çubuğun içindeki pozisyonlarına göre yarı izo – sıcaklık / zaman değerleri olarak bir grafiğe işlemek mümkündür (Crafts ve Lamont, 1971).

Hesaplara ve bazı deneysel çalışmalara dayanarak birkaç çeşit soğutucu ortam için Tablo 3.1’de gösterilen yaklaşık soğutma şiddetleri verilebilir (Crafts ve Lamont, 1971).

Şekil 3.25’de bir çubuğun soğuma şiddeti, çubuk çapıyla soğuma şiddetinin sayısal değerinin çarpımı olarak ifade edilmiştir. Eğer verilen (D) çapında bir çubuk belirli bir (H) soğutma şiddetiyle soğutulursa çubuğun içindeki belirli bir noktanın yine belirli bir sıcaklığa erişmesi için belirli bir zamana ihtiyaç vardır. Eğer çubuk daha küçük veya daha büyükse aynı

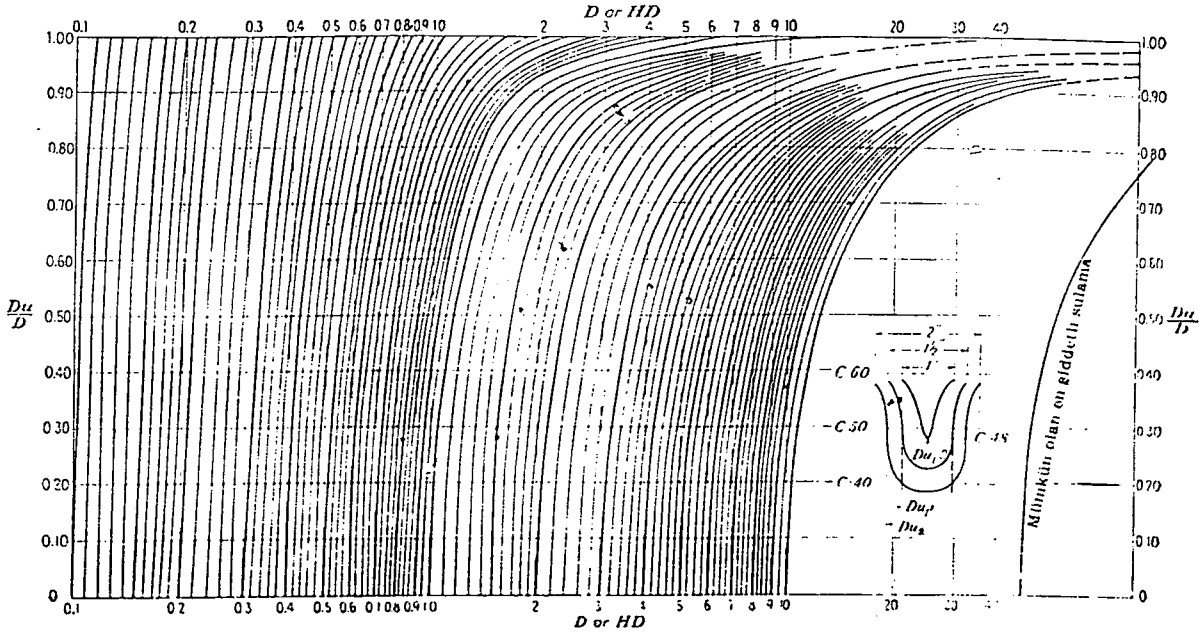


Şekil 3.24 Yangın tehlikesinde sallanma ve yağ sirkülasyonunun etkisi (Demirok, 1988; s.877)

sıcaklığa aynı zaman süresinde değişik çaplardaki çubukların başka başka pozisyonlarında erişilecektir. Eşit bir soğuma zamanı için çubuk içindeki kritik derinliğin ifadesi sertleşmemiş kısmın çapı (D_u)'nun bütün çubuk çapı (D)'ye oranı olarak verilir tanımlanmıştır. Eğer çeliğin sertleşmesine bağlı olarak zaman ve sıcaklık kritik bir konumda ise bu durumda çeliğin çeperi sertleştiği halde göbek kısmı sertleşmeyecek demektir, işte bu şekilde ortaya çıkan sertleşmemiş göbek kısmını belirten çap, kısmi çap (D_u) olarak tanımlanmıştır. Kesit kalınlaştıkça, soğutma şiddetinde bir değişme olmaksızın eşdeğer soğuma zamanının yeri dış yüzeye doğru ilerler. O zaman kesit çapı (D) büyüyeceğinden, sertleşmemiş kısmın çubuk çapına oranı – yani D_u / D oranı – artar ve şekil 3.25’de verilen soğutma şiddeti eğrisine uyan bir duruma girer. Böylece, eğer değişik çaptaki çubuklarda eşdeğer soğuma zamanları ölçülüp, D_u / D oranının D 'ye göre düzenlendiği bir grafik çizilirse, soğutma şiddetinin eğriler halinde temsil edilmesi kabil olur ve HD grafik olarak tarif edilir. Soğutma şiddeti (H) HD 'nin çubuk çapı D 'ye bölünmesi ile bulunur (Crafts ve Lamont, 1971).

3.4.8.1 Jominy deneyi yoluyla soğutma şiddetinin bulunması

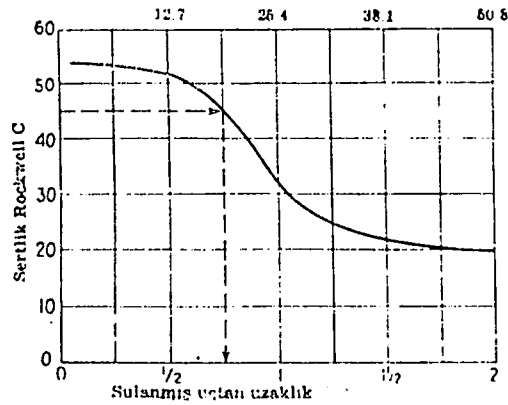
Lamont tarafından geliştirilen soğutma şiddetinin sayısal belirlenmesinde orta sertleşebilme kabiliyetinde bir çeliğe (ilerki bölümlerde incelikleriyle anlatılan) Jominy deneyi yapmak ve aynı çelikten bir parçayı, H değerinin arandığı koşullar altında su verildiği vakit merkezinde sadece kısmen sertleşebilecek boyutta bir çubuğa su vermek gerektir. Diyelim ki çeliğin Jominy sertlik eğrisi şekil 3.26’da gösterilen eğriye benzer şekilde ve 101.2 mm çapındaki su verilmiş çubuğunun enine sertlik dağılımı da şekil 3.27’de gösterilene benzerdir. Her iki eğride de bulunan (örneğin 45 RSD_C’lik) bir sertlik değeri seçilir. Bu sertlik şekil 3.26 ve 3.27’de görüldüğü gibi, Jominy derinliği olarak su verilmiş uçtan itibaren 19 mm içerde, su verdiğimiz çubukta ise 101.2 mm’lik çapın merkezinden 25.4 mm dışarda bulunmaktadır. Yani yüzeyden başlayarak merkeze kadar olan uzaklığın $r / R = 0.5$ kesrinde bulunmaktadır, burada r , çubuk merkezinden 45 RSD_C sertliğinin bulunduğu noktanın uzaklığı, R ise çubuk çapıdır(şekil 3.27). Değişik çubuk çaplarına çeşitli derinlik kesirlerindeki soğutma şiddetleri ile Jominy derinliğinin ilişkilerini gösteren özel grafik tablolar mevcuttur ve bu örnekte, $r / R = 0.5$ kısmi derinliği de şekil 3.28 ve 3.29’da gösterilmiştir. Bu grafiklerden soğutma şiddeti H , şekil 3.28’de de gösterildiği gibi, ordinattan çubuk çapı ve apsistende 19 mm’deki Jominy derinliği alınarak bunların kesişme noktalarından geçen eğrinin sağ skaladaki soğutma şiddetine karşı düşen değer olarak okunmaktadır, bu örnekte soğutma şiddetinin sayısal değeri $H = 2.0$ ’dır. Böylece bir kere bir çelikte H değeri bulunduğu, bunun aynı koşullar altında



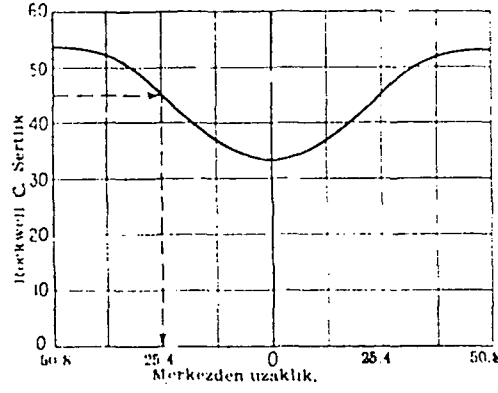
Şekil 3.25 Çubuk çapı, sertlik derinliği ve soğuma şiddeti arasındaki ilişkiler (Crafts ve Lamont, 1971; s.70)

Tablo 3.1 Çeşitli soğutucu ortamlar için yaklaşık soğutma şiddeti "H" değerleri (Crafts ve Lamont, 1971; s.68)

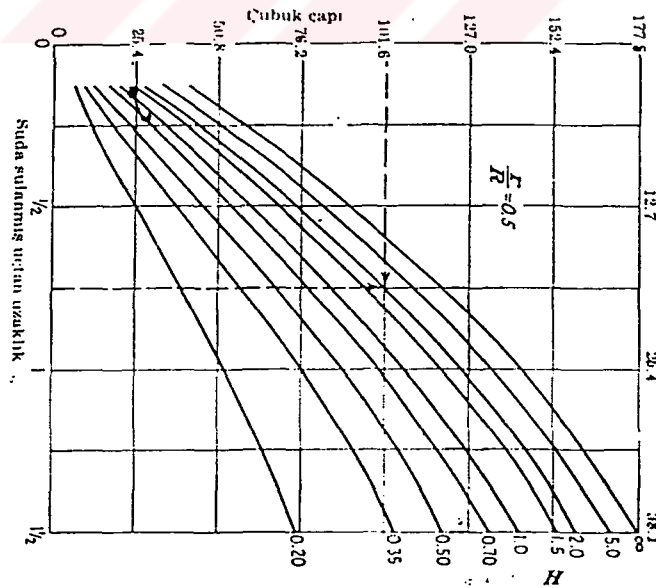
Sulama ortamının karıştırılması veya iş parçasının hareketi		Sulama Şiddeti «H»			
Sulama ortamı	Parça	Hava	Yağ	Su	Salamura
Yok	Yok	0,02	0,3	1,0	2,2
Yok	Mutedil	—	0,4—0,6	1,5—3,0	—
Yok	Şiddetli	—	0,6—0,8	3,0—6,0	7,5
Şiddetli veya Püskürtme sulama	—	—	1,0—1,7	6,0—12,0	—



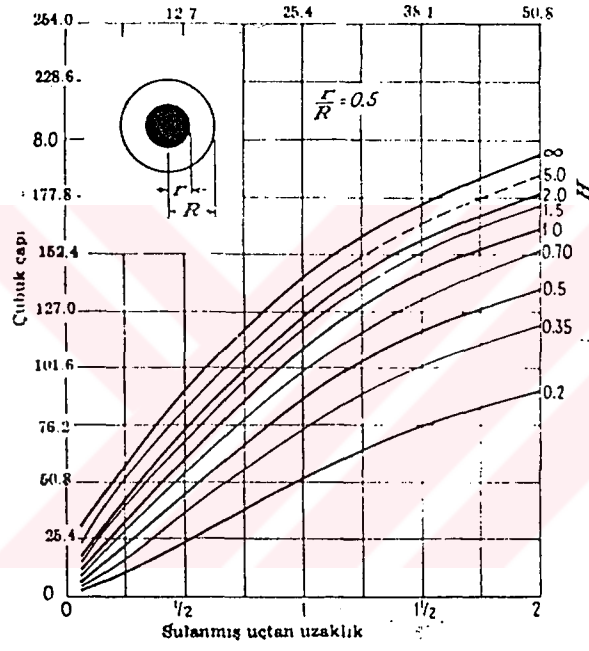
Şekil 3.26 Düşük alaşımli bir çeliğin Jominy sertleşebilme eğrisi (Crafts ve Lamont, 1971; s.74)



Şekil 3.27 101.6 mm çapta şekil 3.26'da da gösterilen çeliğin enine kesit sertliği (Crafts ve Lamont, 1971; s.75)



Şekil 3.28 Soğutma şiddeti, Jominy derinliği ve $r/R = 0.5$ kesirindeki derinlikte, çubuk boyutu arasındaki ilişkiler (Crafts ve Lamont, 1971; s.76)



Şekil 3.29 % 50 oranında sertleşmemiş yuvarlak çubukta Jominy deney sertliğinin denk düştüğü bölgeler (Crafts ve Lamont, 1971; s.81)

su verilen diğerk kesitteki çeliklere de uygulanabileceği varsayımı kabul edilmiştir (Crafts ve Lamont, 1971).

Lamont'un özel grafik tabloları sayesinde; Jominy sertliği, soğutma şiddeti ve çubuk ebatının ilgililerinin pratik işlemlerde uygulamaları yapılabilmektedir. Böylelikle bir çelik için verilen bir soğutma şiddetinde su verildiği zaman bütün kesiti boyunca tam sertleşebilen maksimum yuvarlak çubuk çapı, tam sertleşmiş çubuğun merkez sertliği, belli çaptaki bir çubukta tam sertleşmenin gelişebilmesi için gerekli soğutma şiddeti, belli çaptaki bir çubukta yüzeyden belli bir derinlikte tam sertleşme için gerekli soğutma şiddetinin değeri; gene belli çaptaki bir çubuğun belli bir soğutma şiddetiyle su verilmesi halinde kesiti boyunca elde edilecek sertliklerin ne oldukları gibi değerler bilinebilmektedir. Benzer şekilde kare çubuklar, 1x2 yassılar ve levhaların Jominy sertleşebilmesi ile olan bağıntıları çeşitli diyagramlarla gösterilmiştir. Bu diyagramların yardımıyla çeşitli sulama şiddetleri ile yapılan sertleştirmelerde bu şekillerin merkezlerinde gelişmesi beklenen sertlik derecelerini tahmin etmek mümkündür. Grafikler aynen yuvarlak çubukların merkezleri için uygulanan diyagramdaki tarzda kullanılmaktadır. Gerçi bu kesitlerin diyagramları ve ilişkileri yuvarlak çubukların ki kadar tamamlanmış değildir ama yine de bu diyagramlardan yeter derecede yaklaşık sertlik değerini elde etmek kabildir. Lamont ayrıca belli soğutma şiddetleriyle sertleştirilmiş kare çubukları, 1x2 yassıları, levhaların ve yuvarlak çubukların karşılaştırmasını çeşitli diyagramlar yardımı ile açıklamıştır. Bu diyagramlar yardımıyla, yuvarlaktan başka kesitlerdeki çubukların merkezindeki sertleşmeyi, aynı soğutma şiddetleriyle su verilmiş yuvarlaklarınkine benzer şekilde tahmin etmek kabildir.

4. SERTLİK VE SERTLEŞEBİLME

Su verilmiş ve menevişlenmiş bir karbon veya düşük alaşım çeliğinin mekanik özelliklerinin en tatminkar kombinezonunun, bütün kesiti boyunca temel olarak martenzit bir yapı oluşmasına bağlı olduğu genel olarak kabul edilmiş bir teoremdir ve pek çok sayıda çelik için, bu yapının elde edilip edilemeyeceği çeliğin sertleşebilme kabiliyetine bağlıdır (Crafts ve Lamont, 1971).

4.1 Sertlik – Yapı İlgisi ve Alaşım Elementlerinin Etkileri

Alaşımsız karbon çeliği temel olarak, kafesinde arayer çözülmüş karbon atomlu yumuşak ferrit taneleri arasında dağılmış bir demir karbit (sementit) karışımdır. Çeliğin özellikleri esas olarak ferrit matris içinde dağılmış sementitin boyutları ve bileşimine bağlıdır. Karbon çeliğine alaşım elemanları katıştırılınca bunlar, ferritin sertlik ve direncini etkiler, karbürler oluşturur ve evvelki bölümlerde anlatıldığı gibi, genellikle östenitin perlitte dönüşüm sıcaklığını etkileyerek oytetik bileşimini değiştirirler. İlaveten (kobalt hariç) genel olarak kullanılan alaşım elemanları – bazısı az bazısı çok olmak üzere – sertleşebilmeyi artırma eğilimindedirler. Sıradan alaşım elemanlarının, bu karakteristiklerinin pek çoğu üzerindeki etkileri “alaşım elementlerinin çeliğin iç yapısındaki dağılımı” başlıklı bölümde tablo halinde verilmiştir.

Kısaca, ısı işlemin etkisi yapıdaki karbür parçacıklarının boyut ve dağılımını değiştirmektir. Alaşım elemanlarının etkisi ise ferrit kafesin özelliklerini değiştirmek ve bazı durumlarda da karbür bileşimlerini değiştirmek ve en önemlisi sertleşebilmeyi – kritik altı sıcaklıklarda östenitin dönüşüm derecesini – etkilemektir. Çeliğin yüksek sertliği temel olarak yumuşak ferrit matrisinin (kütlesinin) gerilme altında kolayca akmasına karşı karbür parçacıklarının bu şekil değiştirmeye gösterdiği dirençten ileri gelmektedir (Crafts ve Lamont, 1971).

Bu noktada alaşım elementlerini ve çelik yapısına etkilerini aşağıdaki başlıklar altında incelemek faydalı olacaktır.

4.1.1 Çelikte alaşım elementlerinin kullanılma sebepleri

Alaşım elementleri belirli özellikleri kuvvetlendirirler; Ancak maalesef bazı istenmeyen hallerin ortaya çıkmasına da sebep olurlar. Bu durumlar diğer bazı alaşım elementlerinin

ilavesi ile tekrar dengelenebilir. Alaşımli çelikler yukardaki sebeplerden dolayı genellikle birkaç alaşım elementini birlikte içerirler (Weisbach, 1977).

Çelikte alaşım elementleri aşağıdaki sebeplerden ötürü kullanılır:

1. Çeliğin sertleşebilirlik özelliğini iyileştirmek (Ashby ve Jones, 1988)
2. Çeliğin dayanımını arttırmak (Alting, 1982)
3. Daha iyi teknolojik (üretim) özellikleri kazandırmak (Alting, 1982)
4. Korozyon ve yüksek sıcaklıktaki oksidasyon dayanımını arttırmak (Smith, 1993)
5. Çeliğin yüksek ve düşük sıcaklıktaki özelliklerini iyileştirmek (Alting, 1982)
6. Aşınma direnci ve yorulma davranışı gibi spesifik özellikleri iyileştirmek (Smith, 1993)
7. Manyetik özellikleri iyileştirmek (Awner, 1974)
8. Temperleme ve temperleme yumuşaklığına karşı direnci yükseltmek (Clark ve Varney, 1962)
9. Çeliğe oda sıcaklığında dahi östenitik yapı kazandırabilmek (Ashby ve Jones, 1988)
10. Yüksek dayanım ve iyi süneklik özellikleri elde edilirken daha yüksek temperleme sıcaklıklarına müsaade etmek (Smith, 1993).

4.1.2 Çeliğe alaşım elementlerinin ilavesiyle iç yapıda oluşacak etkiler

Çeliğe alaşım elementlerinin eklenmesiyle çeliğin yapısında oluşabilecek muhtemel etkiler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Alaşım elementleri katı eriyik (karışım kristali) veya metaller arası bağları meydana getirebilirler.
2. Faz dönüşümlerinin meydana geldiği sıcaklıkları değiştirebilirler.
3. Karbonun α ve γ demiri içindeki çözünebilirliğini değiştirebilirler.
4. Östenitin çözünme ürünlerine dönüşüm reaksiyonun hızını değiştirebilirler.
5. Elementlerin varlığı temperleme yumuşaklığını düşürebilir (Clark ve Varney, 1962).

4.1.3 Alaşım elementlerinin çeliğin iç yapısındaki dağılımı

Alaşım elementleri çelikte katı eriyik oluşturdukları gibi basit veya karmaşık karbürler de oluştururlar. Bu özelliklerine göre alaşım elementlerinin iki büyük grupta toplamak mümkündür (Ünal, 1991):

1. Ferritte çözünen katı eriyik oluşturanlar:

Bütün alaşım elementleri ferrit içerisinde küçük miktarlarda çözünürler. (çözünme oranları farklıdır) Bunun sonucu karışım kristalleri oluşur ki bunlar ferritin mukavemetini (dayanımını) yükseltir, akma sınırı artar (Weisbach, 1977).

2. Karbon ile karbür oluşturanlar:

Bazı alaşım elementleri metal ve karbonun kimyasal bileşikleri olan karbürleri oluştururlar. Bu, alaşım elementlerinin sementitin içindeki demir atomlarının yerine geçerek karışım karbürlerini oluşturması veya özel karbür denilen kendi karbürlerini oluşturması ile gerçekleşir. Karbürler çeliğin sertlik ve mukavemetini arttırlar. Bu, takım çeliklerinde çok önemlidir.

Karbon alaşım elementlerinin bir kısmını karbürler halinde bağlar. Bu kısım, ferrit için kaybolan (eksik) kısımdır. Ferritin de yeteri kadar alaşım elementine sahip olabilmesi için şu şart geçerlidir:

Yüksek karbon miktarı, yüksek alaşım elementi miktarını gerektirir (Weisbach, 1977).

Karbürlerin ısıtılma esnasında östenit içinde çözünmeleri zordur. Östenitte çözünmemiş karbürler (alaşım elementlerinin oluşturduğu karbürler), hem çözünemediklerinden, hemde tane irileşmesini engellediklerinden sertleşebilirliği (sertleşme derinliğini) düşürürler. Fakat östenit içinde çözünmeleri sağlanırsa (daha yüksek sıcaklık ve uzun zaman) sertleşme derinliğini büyük ölçüde arttırlar (Ünal, 1991).

Bu doğrultuda orta ve yüksek karbonlu çeliklere alaşım elemanlarının temel etkileri aşağıdaki gibi verilebilir:

Alaşım Elemanı	Ferriti Kuvvetlendirme Etkisi	Karbit Oluşturma Etkisi	Dönüşüm Sıcaklığına Etkisi	Sertleşebilmeye Etkisi
Manganez	Kuvvetli	Zayıf	Azaltır	Kuvvetli
Silisyum	Kuvvetli	Yok	Arttırır	Orta
Fosfor	Kuvvetli	Yok	Arttırır	Orta
Nikel	Orta	Yok	Azaltır	Orta
Krom	Zayıf	Orta	(+)	Kuvvetli
Bakır	Orta	Yok	Azaltır	Zayıf
Molibden	Kuvvetli	Kuvvetli	Arttırır	Kuvvetli

Vanadyum	Zayıf	Kuvvetli	Arttırır	Hafif (+ +)
Tungsten	Orta	Kuvvetli	Arttırır	Orta

(+) Karbon miktarına bağılı olarak arttırır veya azaltır.

(+ +) Eğer östenit içinde tamamen çözülürse kuvvetli olabilir (Crafts ve Lamont, 1971).

Sertleşebilirlik büyük oranda alaşım elementlerinin yapıdaki dağılım tarzına bağlıdır. Bu faktör aşağıdaki gibi bir tabloyu meydana getirir;

Sertleşebilirliği düşüren faktörler:

1. İnce taneli östenit
2. Çözülmemiş katışıklar
 - a. Karbür veya nitrürler
 - b. Metalik olmayan katışıklar
3. Östenitin homojen durumda olmayışı

Sertleşebilirliği arttıran faktörler:

1. Östenitte çözülmüş elementler (kobalt hariç)
2. Kaba taneli östenit
3. Östenitin homojenliği (Clark ve Varney, 1962).

4.1.4 Alaşım elementlerinin α ve γ alanlarına etkisi

Çeliğe, üçüncü bir element eklendiğinde Demir – Karbon diyagramı denge durumunu koruyamaz. Alaşım elementlerinin varlığı kritik soğuma hızını, ötektoid noktanın durumunu, alfa ve gama alanlarını etkileyecektir (Awner, 1974).

Bütün alaşım elementleri faz diyagramındaki faz sınırlarını kaydırırlar. Bu etkilenmeye göre alaşım elementleri iki grupta toplanabilir:

1- Östenit bölgesini daraltanlar:

Silisyum, krom, wolfram, molibden, titanyum, vanadyum, alüminyum. Bu elementler A_3 sıcaklığını yükseltip A_4 sıcaklığını düşürürler. Bazı yüksek alaşım konsantrasyonlarında östenit fazı tamamen ortadan kalkar ve doğrudan δ fazına geçirilir. Bu çeliklere ferritik çelikler denir.

2- Ferrit bölgesini daraltanlar:

Ni, Mn da karbon ve azot gibi A_3 sıcaklığına düşürüp A_4 sıcaklığını yükseltirler. Belli konsantrasyonlarda ise A_3 sıcaklığı oda sıcaklığına düşer. Böyle çeliklerde ferrit – östenit dönüşümü tamamen ortadan kalkar. (östenitik çelikler)

Çelik hem östenit bölgesini daraltan, hem de genişleten elementleri birlikte içeriyorsa (Cr – Ni'li çelikler), çeliğin tipi hakkında elementlerin ağırlık yüzdelerine bakılarak birşey söylenemez (Weisbach, 1977).

4.1.5 Birden fazla alaşım elementinin çeliğe etkisi

Birden fazla elementin iç yapıya etkisi zannedildiği kadar kolay açıklanamaz. Bu elementler meydana getirdikleri etkileri kısmen kuvvetlendirdikleri gibi, yeni etkilerin ortaya çıkmasına da neden olabilirler. Örnek olarak krom ve nikelin etkileri birbirinin tersidir. Şöyleki;

Krom: Karbür teşkil eder. Östenit bölgesini kapalı duruma getirir. Ferritik çelikleri oluşturur.

Nikel: Karışım kristali (katı eriyik) teşkil eder. Östenit alanını genişletir. Östenitik çelikleri oluşturur.

Her iki element de çelikte mevcut ise, zannedildiği gibi, tesirleri birbirlerinin tesirlerini ortadan kaldırmaz; aksine krom nikelin etkisini kuvvetlendirir. Bu, kural olarak şu şekilde ifade edilebilir:

Alaşım elementleri gösterdikleri tesirler bakımından birbirlerini toplamazlar, beraberce yeni tesirler meydana getirirler (Weisbach, 1977).

Bu arada alaşım elementlerinin birarada kullanılması esnasında ilgi çekici bir nokta bir örnekle şu şekilde ifade edilebilir; diyelim ki elimizde sertleşebilirlik üzerinde etkileri nispeten aynı iki element var. Eğer bu elementlerin herhangi birinden % 1'lik bir oran kullanmak yerine herbirinden % 0.5'lik miktarlar kullanırsak sertleşebilirlik üzerinde daha iyi sonuçlar alabiliriz (Sisco, 1948). Bu bize alaşım çeliklerin neden bu kadar kompleks yapıda olduğunu da açıklar; çünkü fazla sayıda alaşım elemanı kullanmak, büyük miktarda tek bir alaşım elemanı kullanmaktan ucuza gelmektedir (Hanson ve Parr, 1965).

4.2 Su Verme ile Erişilen Maksimum Sertlik ve Alaşım Elementleri ile Karbon Miktarı Arasındaki Bağını

Önemli miktarlarda karbon ihtiva eden çeliklerde maksimum sertliğe su verme sonunda tamamıyla martenzite dönüşüm sağlanmışsa erişilir (Crafts ve Lamont, 1971).

Herhangi bir çeliğin ulaşabileceği maksimum sertliği belirleyen tek faktör karbon bileşimidir. Alaşım elementleri ise sadece sertleşebilirliğe etkir ve tek başlarına çeliği daha sert yapmazlar. Bir başka deyişle aynı karbon miktarına sahip iki çeliği farklı alaşım elementleri kullanarak daha sert yapmak mümkün değildir (Oswald ve Munaz, 1997).

Alaşımli bir çelik ötektoid noktanın % 0.8'lik karbon miktarına ihtiyaç duymayabilir. Şekil 4.1'de bazı alaşım elementlerinin ötektoid noktanın karbon bileşimi üzerine etkisi görülmektedir. Bu şekilden anlaşılacağı üzere bir çelik % 1 krom içeriyorsa, ötektoid noktanın karbon bileşimi % 0.7 olmaktadır. Eğer birden fazla alaşım elementinin varlığı sözkonusu ise toplam etkiyi bulmak için herbir alaşım elementinin etkisi toplanır (Datsko, 1966).

4.3 Sertlik ile Sertleşebilme Arasındaki İlişki

Her çelik için, maksimum sertliği verecek belirli bir soğuma hızı vardır ki (kritik soğuma hızı) bu hızla en yüksek martenzitik sertliği elde edilir. Eğer soğutma hızı kesitin merkezinde yeter derecede yüksekse, maksimum sertliğe bütün kesit genişliği boyunca erişmek mümkündür. Daha aşağı sulama hızlarında ise merkez sertliğinde bir düşüş olacak ve çubuğun bütün kesit boyundaki sertlik dereceleri kademeli olacaktır (Crafts ve Lamont, 1971).

Sertlik derecesi, çeliğin bileşimi, kesit boyutu, kesit içindeki yeri ve soğutma ortamının etkisi altındadır.

Bir çelik kitlesinin içinde gelişen sertliğin derecesi parçanın kesitindeki belirli bir bölgenin tek sertlik derecesi olarak ifade edilebilir ve bu belirli bölgenin tanımlanan sertliğe erişmesi için gerekli soğutma hızı olarak da ölçülebilir.

İki çeliğin maksimum sertlik yönünden karşılaştırılmasında, karbon miktarları aynıysa yüzeyde sertliğin de aynı olduğu görülür fakat büyük kesitlerde iç kısımlarındaki setleşme dereceleri değişik olabilir. Bir çeliğin belirli bir sertlik derecesini geliştirmesi için gerekli soğutma hızı ne kadar yavaşsa o çeliğin sertleşme kapasitesi o kadar büyüktür. Sertliğin kesit boyunca dağılımı açısından çeliğin kitlesinin etkisini yenmek için gösterdiği bu duyarlılığa çeliğin sertleşebilme kabiliyeti denmektedir. Bunu karşılaştırma gayeleri için herhangi bir sertlik değeri veya herhangi bir soğutma şiddeti değeri cinsinden ifade edebilmek mümkündür. Pek çok durumlarda standart bir şarta, örneğin ideal soğutma şartlarında yapılan

su verme işleminden sonra elde edilen % 50 martenzitin temsil ettiği ideal kritik çapa, referetmek arzu edilir.

Bir çeliğin su verme işlemine verdiği cevabı evvelden bilebilmek ve bunu başka çelikleriyle karşılaştırabilmek için çeliğin sertleşebilmesini değerlendirebilmenin gerekliliği açıktır. Bu nedenle deney metodları geliştirilmiştir. Bütün bu sertleşebilme deneyi metodları hep deney prosedürünün basitleşmesi ve deney çubuğu sayısını azaltmaya yönelmişlerdir. Bazı deneyler extrapolasyon yoluyla sertlik derinliğinin açıklanmasına çalışırken diğer bazıları da artan sulama hızlarının incelenmesine göre düzenlenmişlerdir. Bunların içinde mühendislik yapı çelikleri için en yaygın ve kullanışlı olan laboratuvar deney metodu Jominy ve Goegehold tarafından geliştirilen ve ilerki bölümlerde anlatılan, Jominy uç sulama metodudur.

Sınırlı uygulamalardan daha fazla çeliği kapsayacak sertleşebilme deneyi yapabilmek için bunların kesin olarak tekrarlanabilir olması, soğuma hızlarının değerlendirilmesinde kullanılabilmesi ve basit şekiller arasında bir korelasyon geliştirilebilme olanağı vermeleri gereklidir. Bu yapıldıktan sonra bir çeliğe su vermede elde edilecek sertleşilmeyi belirlemek mümkün ve belirli bir şekil ve boyuttaki parçanın su vermeye vereceği cevabı evvelden bilip kestirmek mümkündür. Başka yapıdaki bir çeliğe su verme sırasında ortaya çıkacak reaksiyonların, ve hatta aynı çeliğin reaksiyonları için bileşiminin sertleşebilme üzerindeki etkileri konusunda bazı bilgileri bilmek arzu edilir. Ayrıca bu, çelik üretiminde doğru kontrol yapabilmek için gereklidir. Bu nedenle kimyasal bileşimin sertleşebilme kabiliyeti üzerindeki etkilerini tayin için birkaç değişik çalışma yapılmıştır (Crafts ve Lamont, 1971).

4.4 Kavram Olarak Sertleşebilirlik

Bir çeliğin özelliklerinin en başında hiç şüphesiz sertleşebilirlik özelliği gelir. Sertleşebilirlik, bir çelikte su verme işlemi ile oluşturulan sertliğin yüzeyden içe doğru dağılım özelliğine verilen addır (Tekin, 1992). Bu ifadenin sertliği de beraber vurguladığı açıktır. Bilindiği üzere sertlik martenzit oluşumu ve oransal varlığı ile alakalı olduğundan sertleşebilirliğin ikinci bir tanımı olarak; “çeliğin, belli koşullar altında soğutulduğunda ve belirlenmiş bir derinlikte, kısmen ya da tamamen, östenitten belli yüzdedeki martenzite dönüşme kapasitesi” tanımı yapılabilir ki bu tanım sertliğin de altını çizen daha doğru bir tanım olur (Krauss, 1980).

Bir çelik doğru östenitleme sıcaklığına ısıtıldığında bile onun tamamen sertleşmesine yetecek hızda soğutma her zaman mümkün olmayabilir. Parçanın yüzeyi merkezinden her zaman daha çabuk soğur ve ayrıca büyük bir parça küçük bir parçaya göre daha yavaş soğur. Sertleşebilirlik maksimum sertlik ile alakalı olmadığı gibi sertlik ve sertleşebilirlik terimleri birbirleriyle karıştırılmamalıdır (Cliffe, 1968). Sertlik ve sertleşebilirlik malzemenin iki ayrı özelliğidir. Bir alaşımın sertliği onun fiziksel sertliğinin gerçek ölçüsüdür (malzemenin nüfuziyete karşı direnci), ama malzeme yumuşak ve hala sertleşebilir nitelikte olabilir. Sertleşebilirliği tarif etmek için en basit yol olarak denebilirki sertleşebilirlik malzemenin martenzite dönüştüğü en yavaş soğuma hızının bir ölçüsüdür (Richman, 1967). Sertleşebilirlik, sertliğe doğrudan bağımlı değil fakat sertliğin derinlemesine dağılımı ile doğrudan ilişkilidir (Tekin, 1992).

Isıl işlem uygulanacak olan çeliklerde amaç belli bir bölge ve derinlikte istenilen sertliği elde etmektir. Bu nedenle ısıl işlem uygulanacak çeliklerin seçiminde en önemli etmen sertleşebilirlik özelliğidir (Tekin, 1992).

Bir çeliğin sertleşmiş kabul edilmesi için ne sertlikte olması gerekir? Bu sorunun cevabı alaşımın sertleşebilirliğini saptamada kullanılır. Ve bu soruya cevap sertleştirilmiş çelikte mikro yapının martenzit miktarı ile verilebilir. Eğer %50'den daha az martenzit varsa, malzeme sertleşmemiş durumdadır denir (Richman, 1967). %50'lik martenzit kriteri çok yaygın kullanılır. Bazı durumlarda %90'lık martenzit kriteri de kullanılabilir. (Örneğin sıg sertleşen çeliklerde)

4.5 Teknik ve Ekonomik Yönleri ile Sertleşebilirlik

Sertleşebilme ile bir malzemede öze kadar sertleşmenin hangi malzeme büyüklüğünde ne kadar mümkün olabileceğinin tespit imkanı doğmaktadır. Bu nedenle sertleşebilme çeliklerin sertleştirilmesi ve tretmanları sırasında erişilecek özelliklerin tespitinde önemli bir özelliktir (İzgiz, ?).

Özellikle kaynak yapılacak çeliklerde yüksek sertleşebilirlik arzu edilmez. Kaynak işlemi esnasında kaynak merkezinin iki tarafındaki komşu çeliklerde belli mesafelerde doğal olarak bir sıcaklık artışı meydana gelir ki bu çeliği östenitik bölgeye taşır. Eğer metalin sertleşebilirliği yüksek ise oda sıcaklığına soğumada sert ve kırılgan martenzit yapı meydana

gelebilir. Bu olayda ısı etkisi altında kalan bölgeyi çevreleyen soğuk çeliğin soğutucu etkisi vardır ki kaynak bölgesindeki ısı bu soğuk bölgeye akar. Bu nedenlerden ötürü köprü, bina, gemi yapımında kullanılacak yapı çelikleri ılımlı sertleşebilirlik özelliklerine sahip olacak şekilde üretilirler (Reed ve Hill, 1973).

Yüksek sertleşebilirlik, sert ve dayanıklı bir yüzeyin mukavim bir öz ile en iyi bileşimi oluşturduğu birçok alet ve makina parçalarında da arzu edilmez. Kimi sertleştirme durumlarında ise durum böyle değildir çünkü, soğutma esnasında yüzey sıkışma ile gerilme altında iken merkezde bir iç gerilme meydana gelir. Bu arzu edilir bir durumdur çünkü yüzeydeki gerilim bölgelerinde çekirdeklenen yorulma çatlakları zorlayıcı gerilmelerin varlığında daha zor yayılacaklardır (Honeycombe ve Hancock, 1981).

Yüksek sertleşebilirlik, parça üretimlerinin son aşaması olarak sertleştirilecek çeliklerde arzu edilir. Kimi durumlarda, eğer Mf sıcaklığı oda sıcaklığının altına düşerse, kalıntı östenitin giderilmesi için metalin sıfırın altındaki derecelere kadar soğutulması ihtiyacı oluşabilir. Bununla beraber, bir çelikte martenzit yapının teşekkülü için temel koşul ihtiyaç duyulan soğutma şartlarında bir çeliğin sertleşmesi için yeterli yüksek sertleşebilirliğe sahip olmasıdır. Maalesef, sertleşebilirlik, çeliğin maliyetini yükselten alaşım elementleri ile bağıntılıdır. Sonuç olarak, temel problem ekonomikliktir ve çeliğin gerekenden çok fazla sertleşebilirliği talep edilmemelidir. İhtiyaç duyulan sertleşebilirliğin tayininde bir önemli faktör aşılması zorunlu olan soğuma hızıdır. Yüksek soğuma hızları ciddi termal şoklarla da alakalıdır. Bunlar işlenmiş parçanın hurdaya gitmesine sebep olan ısıl işlem hatalarına sebep olabilirler. Bu yüzden, ticari uygulamalarda, hızlı soğuma işlemleri yüzünden zarar gören çelik oranını azaltmak için genellikle yağ ve hatta hava soğuma ortamları yaygın olarak kullanılır (Reed ve Hill, 1973).

4.6 Çeliğin Sertleşebilirliğini Etkileyen Faktörler

Çeliğin sertleşebilirliğini belirleyen en önemli iki etmenden birincisi **çeliğin kimyasal bileşimi** ikincisi de **östenit tane büyüklüğüdür**. Kimyasal bileşim, daha belirgin olarak östenitleme sıcaklığındaki östenitin bileşimi diye tanımlanmalıdır. Çünkü karbür, nitrür vb. bazı bileşikler oluştuğunda, östenitleme işlemi bunları çözündüremez ise östenit, çeliği oda sıcaklığındaki bileşiminden farklı bir bileşime sahip olur ve bunun sonucunda da farklı sertleşebilirlik değerleri elde edilir. Fakat, östenitleme işlemi gerektiği gibi yapıldığında pratik

uygulamalar için sertleşebilirlik çeliğin oda sıcaklığındaki bileşimi ile belirlenir (Tekin, 1992).

Bu doğrultuda sertleşebilirliğe etkiyen faktörler aşağıdaki gibi liste halinde verilebilir;

1. Su verme öncesi alaşım elementleriyle beraber östenitin kompozisyonu, östenitteki çözülmemiş karbitlerin ve metalik olmayan katışıkların varlığı,
2. Su verme öncesi östenit tane boyutu,
3. Su verme öncesi östenitin homojenliği (östenitteki karbon ve karbitlerin, alaşım elementlerinin dağılımındaki üniformluk derecesi) ,
4. Soğuma hızı (Shrager, 1961)

4.7 Standart Sertleşebilme Sayısı (İndeksi) – İdeal Kritik Çap ve Kritik Çap

Bir çeliğin sertleşebilme kapasitesi, soğuma hızına ve yüksek sıcaklıklarda dönüşümü kontrol eden tane büyüklüğü ve bileşimi gibi faktörlere bağlıdır. Bir çeliğin diğer bir çelikle sertleşebilme kapasitesi yönünden karşılaştırılması gayesiyle soğuma hızı, bileşimi ve tane büyüklüğü, östenitin dönüşümü ile sonuç olarak doğan mikroyapıyla olan ilişkileri hep birlikte düşünülmelidir. Bu açıdan değişik çeliklerin karşılaştırılmasında kullanılacak uygun bir indeks, verilen bir çelikte belirli bir yapıyı oluşturmaya yarayacak soğuma hızıdır. Grossmann, Asimow ve Urban % 50 martenzit yapıyı bir referans noktası olarak kullanmışlar ve ilaveten bu yapının sonsuz soğuma şiddeti ile elde edilebileceği kesitle ilgisini de kurmuşlar, böylece sertleşme kapasitesinin standart ifadesini oluşturmuşlardır. Bu metodunda uğradığı en geçerli eleştirisi; martenzit olmayan yapının değişik çeliklerde değişik cinslerde olacağı yani yapılarının prooytektik ferrit, karbür ve perlit, bainit ya da bunların bir karışımı olacağı şeklindedir.

Bu metodda değerlendirme mikro yapının % 50'den fazla martenzit bulundurması halinde çelik sertleşmiş, % 50'den az martenziti içerdiği zamanda sertleşmemiş olarak nitelenmesidir. Kritik çap (D) ise su vermeden sonra hiç sertleşmemiş yeri bulunmayan en büyük silindirik çubuk çapı, yani merkezde tam tamına % 50 martenzit içeren yapı kısmıdır (Crafts ve Lamont, 1971).

4.7.1 İdeal kritik çapın bulunması

Grossmann ve Urban universal uygulanabilecek standart bir su verme şekli sağlık önermişlerdir. Çubuğun yüzeyinin an içinde banyo sıcaklığına indiği ve bütün su verme sürecinde bu sıcaklığın korunduğu varsayımı kabul edilmiştir. Bu konum su verme şiddeti H 'ın sonsuz olduğu, erişilmesi mümkün en hızlı sulamayı, yani ideal su vermeyi temsil etmektedir. Bu su verme şekli mümkün olan en hızlı soğuma olduğundan böyle bir su vermenin ortaya çıkaracağı kritik çap da verilmiş sertlikteki bir çelik için tasarlanabilen en büyük çap olacaktır ve böylece ortaya değişik sertleşebilmeler için yararlı bir karşılaştırma sayısı (indeksi) çıkacaktır. Böylece sertleşebilme, standart ideal sulama için kritik çap olarak, ya da ideal kritik çap (D_1) olarak ifade edilebilecektir.

Kritik çap (D), sulama şiddeti ve ideal kritik çap (D_1) arasındaki ilişkiler, yuvarlak çubuklar için, şekil 4.2 ve 4.3'de, (H 'ın değişik soğutma şiddetleri beraberinde gösterilmiştir).

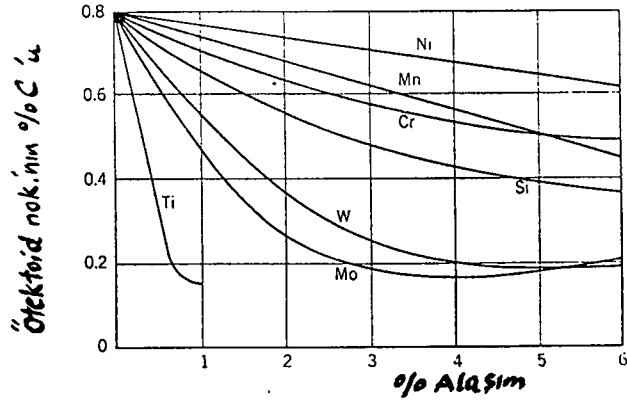
Gerçi şekil 4.2 ve 4.3'de gösterilen ilişkiler sadece % 50 martenzit sertliği kriteri için geçerlidirler ama analogik ilişkiler arzu edilen herhangi bir kriter için örneğin % 100, % 90 ya da herhangi uygun düşen bir sertlik derecesi için de geçerlidir.

Kritik çap tayin edildikten sonra, ideal kritik çap (D_1) diyagramlar yardımıyla tespit edilebilir. Örneğin, bir çeliğin kritik çapı $H = 0.50$ sulama şiddetinde 53.3 mm bulunmuşsa şekil 4.3'e göre ideal kritik çap 91.4 mm'dir.

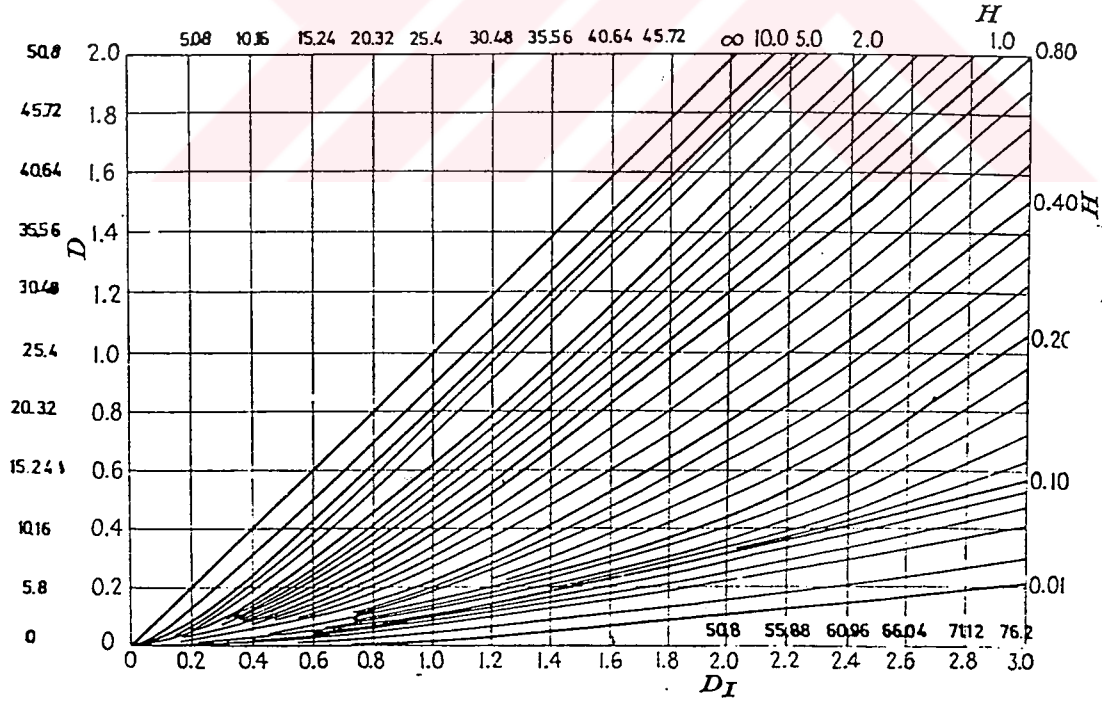
İdeal kritik çap keza bir Jominy deney çubuğunun su verilmiş ucundan itibaren % 50 martenzit yapının elde edildiği alanı metalografik olarak ölçmek ve daha önceki bölümlerde örnekleri verilmiş değişik çubuk çaplarında çeşitli derinlik kesirlerindeki soğutma şiddetleri ile Jominy derinliğinin ilişkilerini gösteren özel grafik tabolara başvurarak da belirlenebilir. Bu eğri aynı zamanda Jominy uzaklığı ile ideal kritik çap ilişkilerini de göstermektedir. Keza yaklaşık ideal kritik çap Jominy sertlik eğrisinde kritik sertliğin derinliğini tayin yoluyla da bulunabilir (Crafts ve Lamont, 1971).

4.7.2 İdeal kritik çaptan martenzit yüzdesinin bulunması

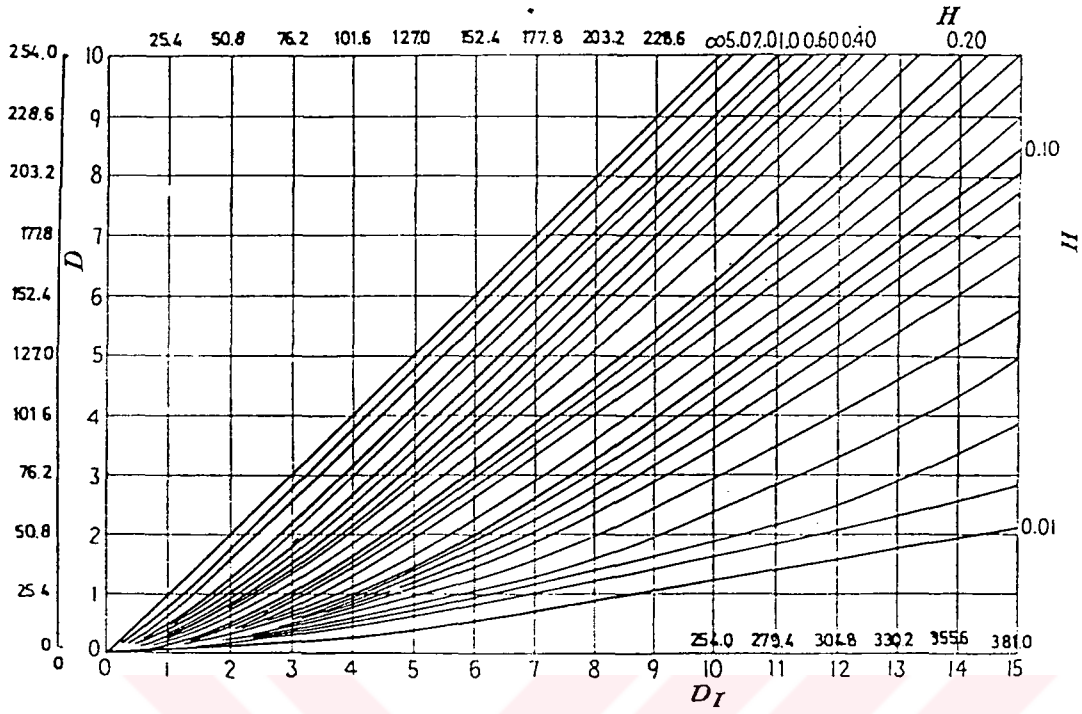
İdeal kritik çaptan, (sonsuz hızda ($H = \infty$) su verildiğinde merkezinde % 50 martenzit sertliğine erişebilecek çubuk ölçüsünü temsil eden çap) Hodge ve Orehoski'nin belirtmiş



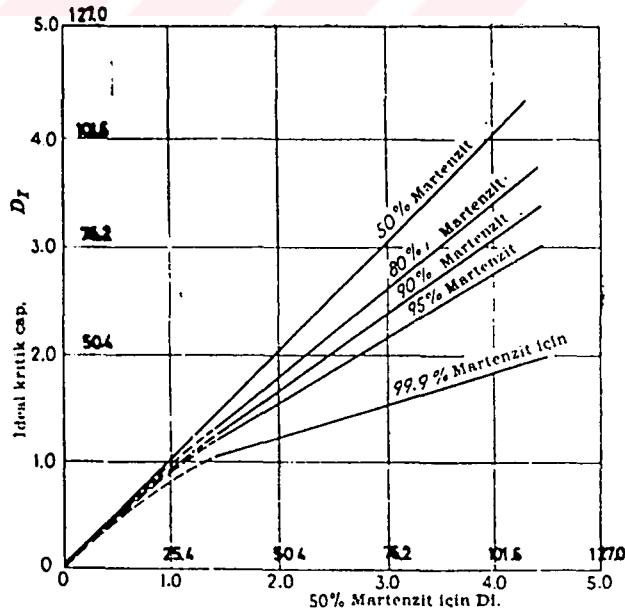
Şekil 4.1 Bazı alaşım elementlerinin ötektoid noktasının karbon bileşimi üzerine etkisi (Datsko,1966)



Şekil 4.2 Küçük çapta çubuklar için kritik çap, soğutma şiddeti ve ideal kritik çap arasındaki ilişkiler (Crafts ve Lamont, 1971; s.102)



Şekil 4.3 Büyük çapta çubuklar için kritik çap, soğutma şiddeti ve ideal kritik çap arasındaki ilişkiler (Crafts ve Lamont, 1971; s.103)



Şekil 4.4 % 5'den fazla martenzit içeren yapılar için çubuk çapı ile ideal kritik çap arasındaki ilişkiler (Crafts ve Lamont, 1971; s.107)

oldukları ilişkiler yoluyla, şekil 4.4'de gösterildiği gibi, % 50 ila % 99,9 oranlarında martenzit bulunduran yapılardaki sertleşen çubuk çaplarını da bulmak mümkündür. Örneğin, deneysel değerlerden bir çeliğin ideal kritik çapı 91.44 mm olarak bulunmuşsa şekil 4.4'de bu değere karşılık düşen absisden çıkılan dikmenin % 99.9 eğrisini kestiği noktanın ordinatı olan 45.72 mm'lik çap da aynı çelikten bir çubuğun sonsuz soğutma şiddeti ($H = \infty$) ile sulandığında merkezinin % 99.9 martenzit olacak şekilde tam sertleşeceğini buluruz.

Eğer 45.72 mm'lik çap, % 99.9 martenzit için tam sertleşmiş çubuğun ideal çapını (ideal kritik çapı değil) temsil ediyorsa, belirli bir soğuma hızı ile sulandığı takdirde aynı sertleşme derecesinde sertleşebilecek çubuk çapı şekil 4.2'deki grafikten bulunabilir. Böylece, eğer $H = 0.5$ 'lik bir soğutma şiddeti kullanılırsa, yaklaşık olarak 18.28 mm çapındaki bir çubuk merkezinde tam sertleşebilecek demektir (Crafts ve Lamont, 1971).

4.7.3 Kimyasal bileşimden ideal kritik çapın bulunması

Daha sonraki bölümlerde anlatılan Jominy deneyinin çabuk, hızlı ve kolayca tekrarlanabilen bir sertleşebilirlik değerlendirmesi sağladığından şüphe yoktur, fakat çelik üretiminde ve su alma yeteneği olan çeliklerin seçiminde bir çeliğin sertleşebilmesini, ya da ikiden daha fazla çeliğin sertleştirmeye verecekleri cevabın çok fazla deneyle uğraşmadan bilinmesinin istendiği haller de olmaktadır ve bu nedenle sertleşebilmenin kimyasal bileşimden hesaplanabilmesini mümkün kılmak için zahmetli araştırmalara girişilmiştir. Kimyasal bileşimden sertleşebilme hesapları için genel bir formül Grossmann tarafından geliştirilmiştir. Bu formül istenen özelliklere göre kontrollü sertleşebilme yeteneğinde çelik üretmeyi mümkün kılmıştır.

Grossmann sertleşilmeyi ideal kritik çap değeri üzerinden hesap etmiştir. Onun varsayım ve kabulüne göre çeliğin sertleşmesi esas olarak demir karbon alaşımında demirle karbon arasında bir reaksiyondur ve alaşım elementlerinin temel etkileri sadece bu reaksiyonun hızını etkilemektedir. Alaşım elementlerinin bireysel etkilerinin karbon miktarından, tane büyüklüğünden ve birbirlerinden bağımsız olduğu ve öyleki bir alaşım elementinin bir çelikte ideal kritik çapı artırma etkisinin bileşimi tamamen başka bir çelikteki etkisiyle tıpatıp aynı olduğu görüşünü savunmaktadır. Hesap % 50 martenzit kriterine dayandırılmakta ve geri kalan % 50 martenzit olmayan yapının, ferrit, perlit, bainit ya da bunların bir karışımı olmasının bir etki yapmayacağı önerisi kabul edilmektedir. Metodun yararlılığını diğer araştırmacıların daha sonra yaptıkları çalışmalar doğrulamış fakat eleman çarpım faktörlerinin

sayısal değerleri üzerinde bazı görüş ayrılıkları ortaya çıkmıştır. İlerideki kısımlarda ilgili bölümlerde oldukça büyük bir yaklaşıklık derecesi veren Boyd ve Field'in vermiş oldukları faktör değerleri kullanılmıştır (Crafts ve Lamont, 1971).

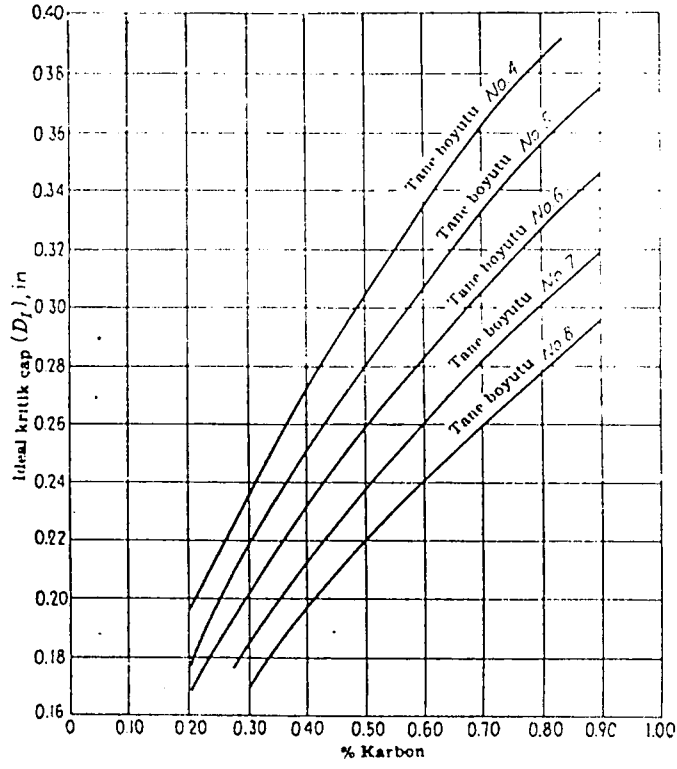
4.8 Sertleşebilme Hesaplamasında Grossmann Metodu

Grossmann'ın metodu, "saf" demir – karbon alaşımında karbon miktarına karşıt düşen (şekil 38'de gösterilen) ideal kritik çapın, çeliğin içindeki elementlerin miktarıyla, bu elementlere özgü karakteristik faktörlerin çarpımından ibarettir. Tane büyüklüğünün etkisi, şekil 4.5'de gösterildiği gibi "saf" demir – karbon alaşımının ideal kritik çapına uygulanmalıdır. Alaşım elementlerine özgü çarpım faktörleri ise şekil 4.6'da verilen eğri ve doğrularla belirtilmiştir.

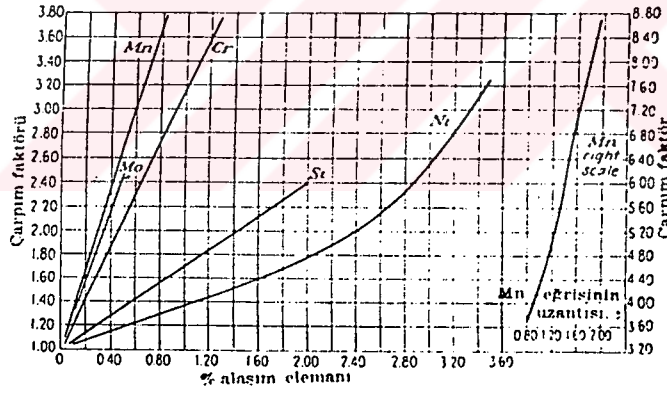
Çeliğin içindeki, gazlar hariç bütün elementler, hatta genellikle kimyasal analize katılmayanlar, eser miktarlarda dahi olsalar, hesaplamada dikkate alınmalıdır. Ayrı tutulan elementler sadece, normal olarak çelik üretiminde bulunan ve Simens – Martin (open – heart) ve elektrik ocağı proseslerinde çeliğin içindeki küçük miktarlardaki kükürt ve fosfordur; bu nedenle şekil 4.6'da bu elementlere ait faktörler verilmemiştir. Fosfor sertliği biraz artırır, kükürt ise biraz düşürür, eğer ikisinin çelikteki miktarları % 0.03 ila % 0.04'den az ise, etkileri birbirini yok edici niteliktedir.

Faktörler birbirleriyle çarpıldığından, alaşım elementlerinin ilk artım miktarlarının ideal kritik çap üzerindeki etkileri aynı elementin daha sonraki artım miktarlarından yüzde olarak daha büyüktür. İşte bir elementin büyük miktarlarda alaşımından ziyade küçük miktarlardaki bir çok elementin, örneğin düşük alaşımlı üçlü – alaşım çeliklerinin sertleşebilirliği geliştirip artırması bu özellikten kaynaklanmaktadır.

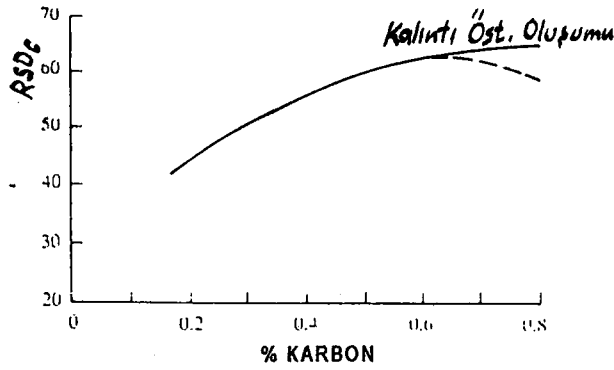
Sertleşebilmenin Grossmann metoduyla hesaplanmasında normal olarak beklenen hata payı % 15 sınırları içindedir. Bununla beraber bazı kompleks çelikler hesaplanandan kayda değer ölçüde daha aşağı sertleşebilme göstermektedirler. Sertleşebilmedeki bu verimsizlik en fazla krom ve molibden içeren çeliklerde görülür. Krom molibden çeliklerindeki bu uyuşmazlık kendini en fazla çelikteki alaşım miktarı arttığı ve karbon miktarı azaldığı zaman göstermektedir. Silis ve bir dereceye kadar nikel de durumu kötüleştirir. Standart çeliklerde, örneğin SAE 4100 ve üçlü – alaşım tiplerinde gerçek ideal kritik çap nadiren hesaplanan ideal kritik çapın % 60 ila 80'inden aşağı olur, fakat standart dışı yüksek alaşımlı



Şekil 4.5 İdeal kritik çap ile karbon miktarı ve tane büyüklüğü arasındaki ilişkiler (Crafts ve Lamont, 1971; s.109)



Şekil 4.6 Beş genel alaşım elemanı için çarpım faktörleri (Crafts ve Lamont, 1971; s.110)



Şekil 4.7 Karbonun martenzitin sertliği üzerine etkisi (Llewlynn, 1992)

kompozisyonlarda sertleşebilmenin hesaplanan ideal kritik çapın % 15 kadar düşük değerlerde olduğu gözlenmiştir.

Bu davranışın nedenleri tamamen açık değildir. Bunun bir nedeni, elemanların çarpım faktörlerinin genellikle incelenen elementin tek katkı olduğu basit çeliklere dayandırılmış olmasıdır. Faktörlerin bütün bir kimyasal bileşim yapısı içinde incelenmesi sadece karbon – manganez – silis ve alüminyum çeliklerinde Crafts ve Lamont tarafından yapılmıştır. Bu halde faktörler mevcut diğer elementler tarafından etkilenmemiştir. Grossmann SAE 4150 çeliği için yaptığı özel açıklamada hatanın karbitlerin östenit içindeki tam ergimemeleri veya östenit dönüşümünün tamamen homojen olmamasından ileri geldiğini düşünmüştür. Hollomon ve Jaffe ise, nedenin dönüşüm ürünlerinin martenzit olmayan kısımları perlitik ve bainitik yapıda olan bu çelikler için başka çarpım faktörlerine gerek olduğunu düşünmektedirler (Crafts ve Lamont, 1971).

4.9 Mekanik Özelliklerle Sulanmış Yapı Arasındaki İlişkiler

Sertleşibilme indeksi olarak kullanılan % 50 martenzit kriterinin, gerekli servis özellikleriyle özel bir ilgisi yoktur. Optimum mekanik özellikler gerektiren uygulamalarda parça kesitinin % 100 martenzit yapı elde edilecek şekilde su verilip sertleştirilmesi gereklidir.

Bazı önemli mühendislik uygulamalarında karbon ve düşük alaşımlı çelikler için tam sertleşme ve maksimum özellikler sadece parçanın yüzeyinde istenir. Otomobil makasları ve arka aksları gibi eğilme ya da burulma yüklemelerine maruz sığ sertleşen çeliklerde martenzit yüzdesi ya da sertliğin artım derecesi özellikle kritiktir. Bu gibi hallerde en fazla gerilme yüzydedir ve özelliklerin mümkün olan en iyi kombinezonu tam bu noktada gereklidir. Bu gibi parçalarda çalışma gerilmesi yüzeyin hemen altında hızla azalır ve optimum özelliklerin bütün kesit enine, derinliğince olması gerekliliği şüpheli bir sonuçtur. Eğer bu gibi parçalar, örneğin SAE 1045 gibi sığ sertleşen çeliklerden yapılacak olursa yüzeyleri şiddetli su verme sonucunda martenzitik olurken, derindeki kısımları nispeten yüksek sıcaklıklarda dönüşür. Böylece östenitin dönüşümünden ortaya çıkan genleşme yüksek sıcaklıktaki merkez kısmında meydana gelir halbuki yüzeyde düşük sıcaklığın olduğu yerde sadece martenzit dönüşümünden oluşan genleşme vardır. Bu durum çeliğin yüzeyini bir basınç gerilmesi altında bırakır ki, bu da servis esnasında parçanın yüzeyinde meydana gelen çekme gerilmesine karşı ters yönde yani yok edici yönde çalışır ve böylece görünür yorulma sınırı artar. Arzu edilen dik sertleşme derecesinin sadece belirli bir takım bileşimler ve ısı işlem

koşullarıyla gerçekleştirmek mümkün olduğundan değişik soğuma hızlarındaki sertleşme dereceleri hakkında bilgi edinmek esastır.

Hodge ve Orehoski tarafından yapılan % 50 ile % 99.9 martenzit kademeleri arasındaki durumları gösteren çalışmalar, şekil 4.4'de gösterildiği gibi martenzit sertleşme artım derecelerini ideal kritik çaptan önceden bulunabilmesinin mümkün olduğunu göstermiştir. Aradaki ilişkinin karbon miktarından veya alaşım elemanlarının bireysel etkilerinden bağımsız bulunduğu fakat çeliğin yapımında uygulanan deoksidasyon şekli ve cinsiyle bir anlamda değiştiği bulunmuştur (Crafts ve Lamont, 1971).

4.10 Alaşım Elementlerinin Sertleşme Kabiliyetine Etkileri

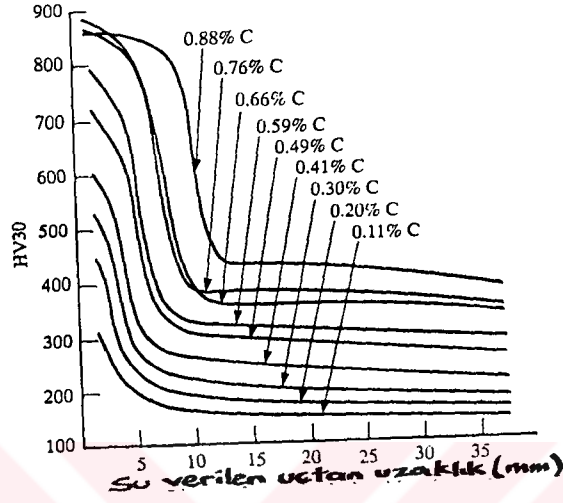
4.10.1 Genel

Sertleşebilirlik üzerindeki çok farklı etkilerden ötürü alaşım elementlerini üç farklı grupta incelemek uygundur:

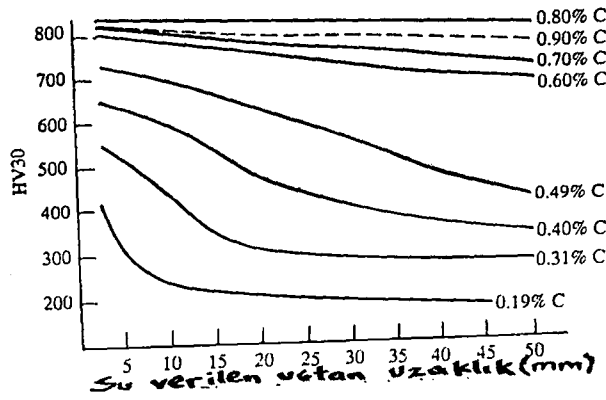
1. Karbon
2. Genel Grup – Cr, Mn, Si, Ni, V...
3. Bor

Karbon alaşım elementleri içinde özel bir kategoride yer almalıdır çünkü o martenzitin sertliğini kontrol eden ve böylece verilen bir çelik kompozisyonunda ulaşılabilecek maksimum sertliği belirleyen elementtir. Karbon yüzdesi ile sertlik arasındaki bağıntı şekil 4.7'de gösterilmektedir. % 0.6'lık karbon yüzdesine kadar etki lineer olarak artmakta ancak çeliğin alaşım yüzdesine bağlı olarak bu eğri bir platoya ulaşmakta ve daha yüksek karbon yüzdelerinde ise düşmektedir. Bu tamamlanmayan bir dönüşüme ve kalıntı östenite neden olarak, Mf sıcaklığının oda sıcaklığının altına düşmesine bağlıdır. Bununla birlikte sertlik üzerindeki önemli etkisinden ötürü, değişik karbon yüzdesindeki çeliklerin sertleşebilirlik özelliklerini karşılaştırırken karbonun bu özelliği gözardı edilebilir (Llewellyn, 1992) .

Karbonun sertlik üzerindeki etkisi yanında, sertleşebilirlik üzerinde de önemli etkileri vardır. Şekil 4.8 ve 4.9'da bu etki açıkça görülmektedir. Bununla beraber karbon sertleşebilirlik açısından fazla kullanılmaz çünkü tokluk üzerinde kötü bir etkisi vardır ve çarpılma ve



Şekil 4.8 Karbonun % 0.8 Mn'lı çeliğin sertleşebilirliği üzerine etkisi (Llewlynn, 1992)



Şekil 4.9 Karbonun SAE 8600 çeliklerinin sertleşebilirliği üzerine etkisi (Llewlynn, 1992)

kırılmaya sebep olabilir. Ayrıca yüksek karbonlu çelikler serttir ve tavllanmış durumda kesilmeleri veya makaslanmaları zordur (Llewellyn, 1992).

Daha önce de bahsedildiği üzere kobalt haricinde tüm alaşım elementleri östenitin perlitte dönüşümünü geciktirir ki böylelikle sertleşebilirlik artar. Sertleşebilirliği arttırmak için en yaygın olarak kullanılan elementler mangan, krom ve molibdendir. Nikel ve vanadyum ise daha değişik amaçları için tercih edilirler (Llewellyn, 1992).

Alaşım elementlerin etkisi karbon yüzdesi ve baz kompozisyona bağlı olarak çok farklılıklar gösterse de, genel grup içindeki alaşım elementlerinin sertleşebilirliğe etkisi şu şekilde sıraya konabilir (Azalan etkiye göre); Vanadyum, molibden, krom, mangan, silisyum, bakır, nikel.

Bununla beraber, karbon, çok az miktarlarda kullanılsalar bile sertleşebilirliğe etkileri karbonunkine benzer büyüklükte olan fosfor ve azot gibi elementler bu listenin en üstünde yer alabilirler. Vanadyum sertleşebilirlik üzerinde çok güçlü bir element olmasına karşın karbür oluşturmasından ötürü çeliklerde düşük çözünürlüğe sahiptir. Bu yüzden çelik içindeki yüzdesi düşüktür ve sertleşebilirliği arttırmaktan çok temperleme prosesini geciktiren bir element olarak kullanılır (Llewellyn, 1992).

4.10.2 Alaşım elementlerinin sertleşebilmeye etkilerinin bağıl olarak incelenmesi

Alaşım elementlerinin sertleşebilirliğe etkilerini anlayabilmenin bir yolu onları tek tek ve çelik içinde belli yüzdeleri ile deneysel olarak incelemek olduğundan aşağıda R.A. Grange tarafından geliştirilen ve hesaplanmış değerleri önceden hesaplanmış değerlerle çok büyük yaklaşım gösteren bir sertleşebilirlik deneyinin verileri elementlerin sertleşebilirliğe bağıl etkileri ile beraber açıklanmaya çalışılmıştır. Deneyde amaç, çeliklerin sertleşebilirliklerini kimyasal kompozisyondan ve tane boyutundan yeni ve daha basit bir metodla hesaplanabildiğini ispatlamaktır. Burada bu hesap metodundan çok alaşım elementlerinin sertleşebilirlikle alakası üzerinde durulacaktır. Grange'nin bu deneyi sığ – sertleşen çeliklere yönelik olup sertlik kriteri olarak suda sertleştirilmiş bir silindirin merkezindeki % 90'lık martenzit yüzdesi esas alınmıştır.

Alaşım elementi olarak bor'un etkisi ayrı bir başlık altında incelenecektir.

4.10.2.1 Karbonun sertleştirebilme etkisi

Karbon (C) direkt olarak sertleştirebilmeye etkili olduğundan, diğer elementler göz önüne alınmadan değerlendirilmelidir. Grange'nin deneylerde kullandığı yedi Fe – C alaşımının C içeriği % 0.1 ila % 1.0 arasındadır. Eriyen % 99.9 saflıktaki Fe'e sadece grafit ilave edildiğinden sertleşebilme üzerine empüritelerin etkilerini kontrol etmek mümkündür (Grange, 1973).

Sertleşebilir çaplar şekil 4.10'da verilmiştir. Düşük C konsantrasyonlarında geniş bir sertleşebilirlik söz konusudur. Ötektoid bileşimde maksimum sertleşme vardır, ötektoid üstü çelikte bir miktar düşme gözükür (Grange, 1973).

Bu eğri, sertleşebilmeyi anlamak için temeldir. Çünkü, çelikler içerisinde empürite ve alaşım elementi bulunan Fe – C alaşımlarıdır (Grange, 1973).

4.10.2.2 Manganın sertleştirebilme etkisi

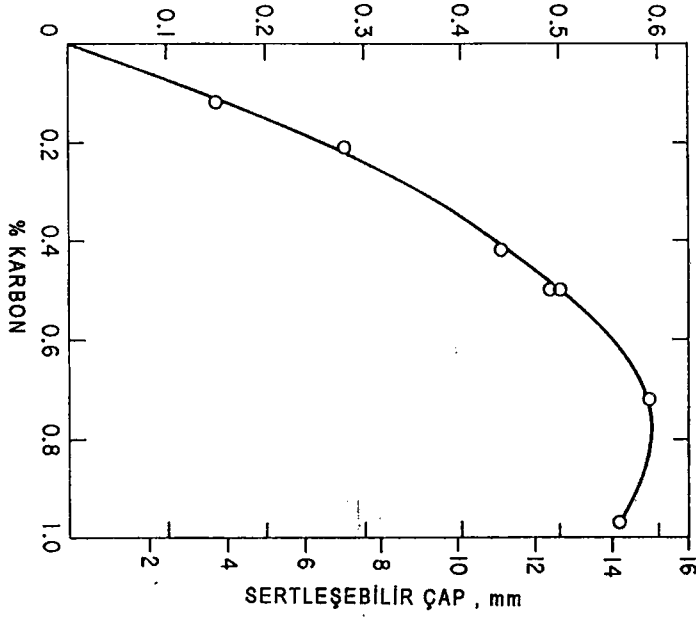
Grange tarafından iki seri alaşımda incelenmiştir. İlk seride, C % 0.07'den % 1.34'e kadar değişirken, Mn % 0.5'dir. İkinci seride ise C % 0.2 iken, Mn % 0.35 ila % 1.93 arasındadır. Tane boyutu ASTM No 4'tür. 870°C'de yapılan östenitleme ısıl işleminden sonra sertleşebilirlik deney sonuçları şekil 4.11'de gösterilmiştir. Bu eğri, şekil itibariyle Fe – C alaşımınıninkine benzer, yalnız % 0.5 Mn'in sertleşebilirlik etkisi eğriyi yukarıya kaydırmıştır (Grange, 1973).

Mn'in sertleşebilirlik etkisi, az C'lu çeliklerde çok daha büyüktür.

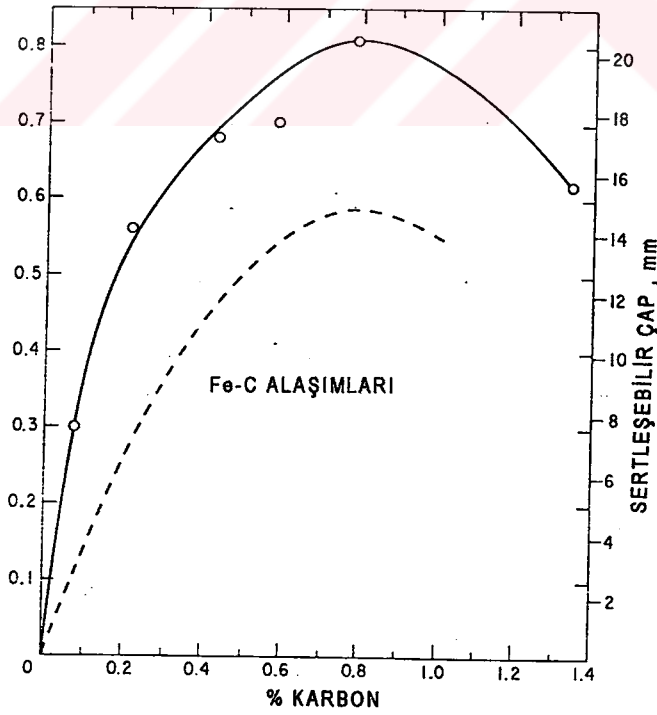
İkinci seri alaşımlar, ince ve iri taneli yapı elde edilmek için iki yönde östenitlenmiştir. Bu işlem hem tane boyutu düzeltilmesine engel olmak, hem de farklı östenit tane boyutuna sahip çeliklerde Mn'in sertleşebilirlik etkisine sahip olmadığını belirlemek için yapılır. Mn'in tüm tane boyutlarında aynı kantitatif sertleşebilirlik etkisine sahip olduğu şekil 4.12'de ortaya konmuştur (Grange, 1973).

4.10.2.3 Silisyumun sertleştirebilme etkisi

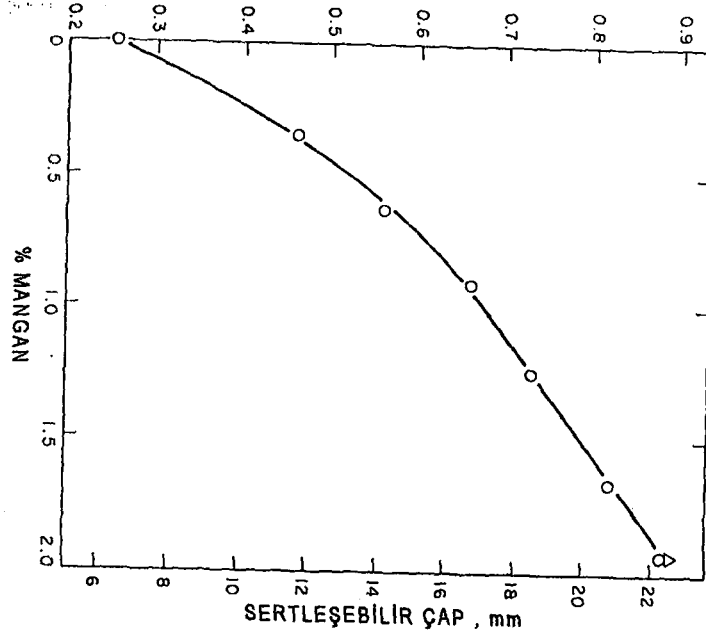
Si'un sertleşebilirlik etkisi % 0.09, % 0.30, % 0.57 ve % 0.86 Si içeren Fe – C alaşımlarıyla belirlenmiştir. Yüksek Si'li Fe – C alaşımının östenitleme sıcaklığını nispeten yüksek tutmak



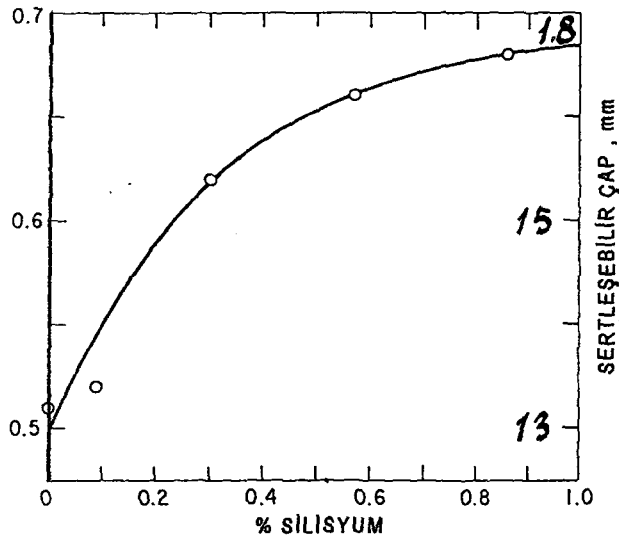
Şekil 4.10 Saf Fe – C alaşımlarının sertleşebilirliği (% 90 martenzit, suda su verilmiş, ASTM no. 4) (Grange, 1973; s.2235)



Şekil 4.11 % 0.5 Mn'lı çelikte C miktarının sertleşebilirliğe etkisi (% 90 martenzit, suda su verilmiş, ASTM no. 4) (saf Fe – C alaşımları ile karşılaştırarak) (Grange, 1973; s.2236)



Şekil 4.12 Çelikte Mn miktarının sertleşebilen çap üzerine etkisi (% 90 martenzit, suda su verilmiş, ASTM no. 4, C içeriği % 0.2) (Grange, 1973; s.2237)



Şekil 4.13 Çelikteki Si miktarının sertleşebilen çap üzerine etkisi (% 0.2 C, % 0.5 Mn) (% 90 martenzit, suda su verilmiş, ASTM no. 4) (Grange, 1973; s.2238)

gerekir. Şekil 4.13’de konsantrasyon artışından dolayı, sabit artan ilave başına Si’un daha az sertleşebilirlik etkisine sahip olduğu görülür (Grange, 1973).

4.10.2.4 Fosforun sertleştirilme etkisi

Şekil 4.14’de fosforun sertleşebilirlik üzerine etkisi özetlenmiştir. P’un küçük yüzdelerle, nispeten güçlü bir etkisi vardır. Fakat % 0.1 P’un üzerindeki seviyede sabit olduğu görülmektedir (Grange, 1973).

4.10.2.5 Sülfürün sertleştirilme etkisi

S’un sertleşebilirlik üzerine etkisini değerlendirmek için çok sayıda numunenin östenitleme sıcaklığını değiştirmek gerekir. Çelikte Mn ile birleşen S inklüzyonları oluşturur. Bundan dolayı S’un etkisi negatiftir. Çünkü östenitte çözülmüş olan S’un küçük konsantrasyonları bile, pozitif sertleşebilirlik etkisi gösteren östenitte çözülmüş Mn’in kaybolmasına neden olduğundan sertleşebilirlikte de kayıp olur. Çelikte S’un sertleştirme etkisini tahmin etmek oldukça güçtür (Grange, 1973). (şekil 4.15)

4.10.2.6 Nikelin sertleştirilme etkisi

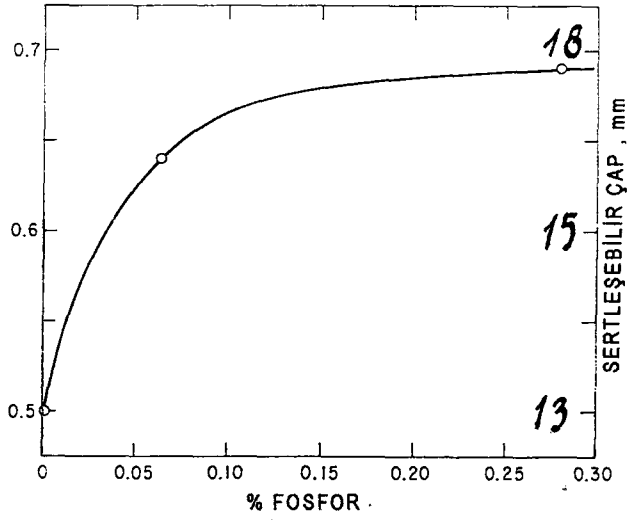
% 0.2 C - % 0.3 Mn’lı Fe alaşımlarında esas bileşimdeki Mn, maksimum sertleşebilir çapı aşmaksızın ilave edilebilen alaşımın miktarını azaltmaktadır. Veriler, C çeliklerinde muhtemelen kalıntı bir element olarak görülen Ni’in ancak, küçük bir sertleşebilirlik etkisi olduğunu göstermiştir. Grange’in yaptığı deney sonunda elde edilen veriler şekil 4.16’daki eğri ile gösterilmiştir (Grange, 1973).

4.10.2.7 Kromun sertleştirilme etkisi

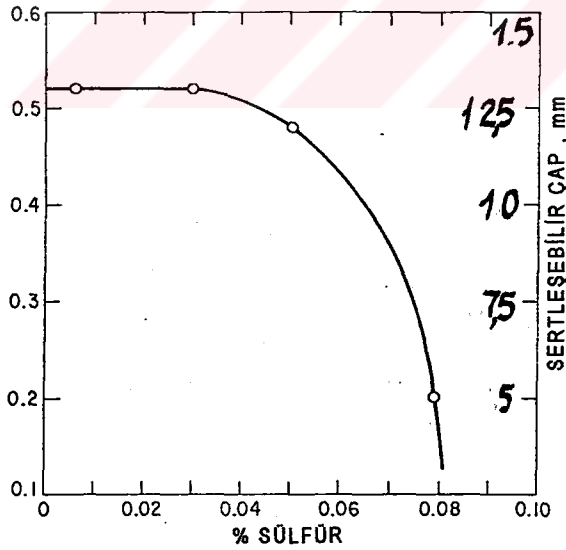
Şekil 4.17’de Cr’un %1’in oldukça altındaki miktarlarda sertleşebilirliği önemli ölçüde artırdığını gösteren veriler eğri ile belirtilmiştir (Grange, 1973).

4.10.2.8 Molibdenin sertleştirilme etkisi

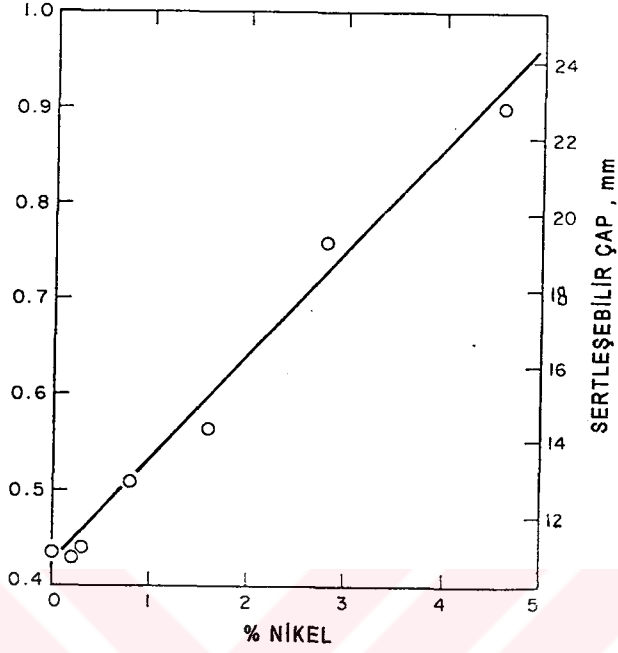
Şekil 4.18’de düşük konsantrasyonlarda nispeten geniş bir sertleşebilirlik etkisine sahip Mo’in verilerinin düz bir çizgi üzerinde olduğu gözlenmiştir (Grange, 1973).



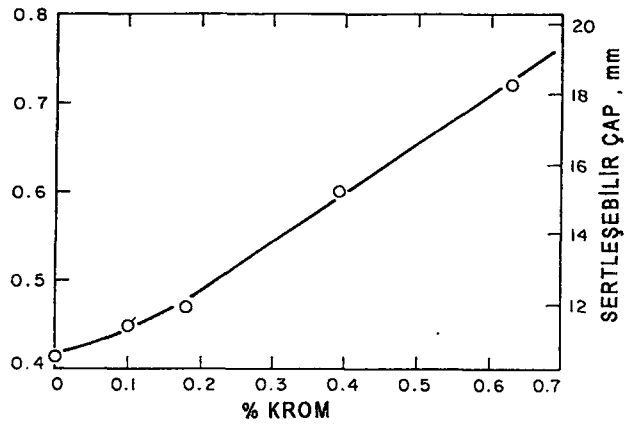
Şekil 4.14 Çelikteki P miktarının sertleşebilen çap üzerine etkisi (% 0.2 C, % 0.5 Mn) (% 90 martenzit, suda su verilmiş, ASTM no. 4) (Grange, 1973; s.2238)



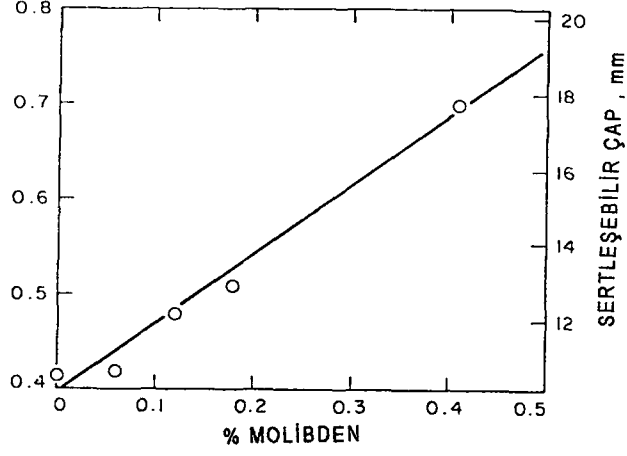
Şekil 4.15 Çelikteki S miktarının sertleşebilen çap üzerine etkisi (% 0.2 C, % 0.5 Mn) (% 90 martenzit, suda su verilmiş, ASTM no. 4) (Grange, 1973; s.2238)



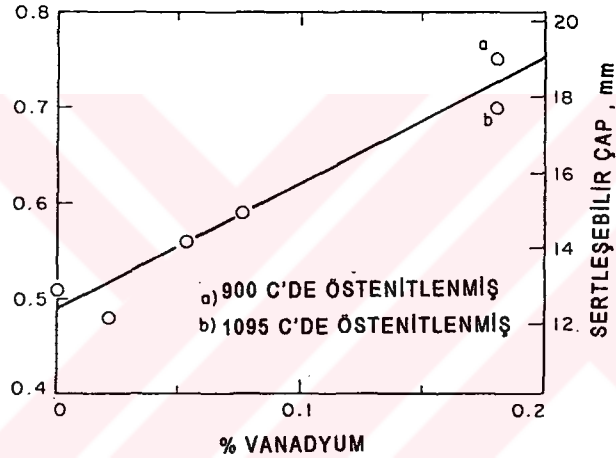
Şekil 4.16 Çelikteki Ni miktarının sertleşebilen çap üzerine etkisi (% 0.2 C, % 0.3 Mn) (% 90 martenzit, suda su verilmiş, ASTM no. 4) (Grange, 1973; s.2238)



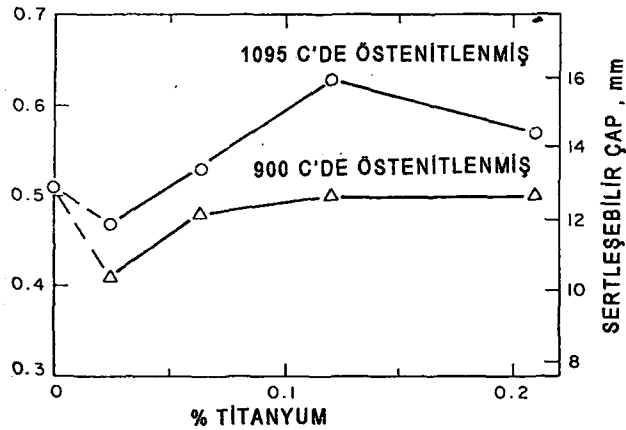
Şekil 4.17 Çelikteki Cr miktarının sertleşebilen çap üzerine etkisi (% 0.2 C, % 0.3 Mn) (% 90 martenzit, suda su verilmiş, ASTM no. 4) (Grange, 1973; s.2239)



Şekil 4.18 Çelikteki Mo miktarının sertleşebilen çap üzerine etkisi (% 0.2 C, % 0.3 Mn) (% 90 martenzit, suda su verilmiş, ASTM no. 4) (Grange, 1973; s.2240)



Şekil 4.19 Çelikteki V miktarının sertleşebilen çap üzerine etkisi (% 0.2 C, % 0.5 Mn) (% 90 martenzit, suda su verilmiş, ASTM no. 4) (Grange, 1973; s.2240)



Şekil 4.20 Çelikteki Ti miktarının sertleşebilen çap üzerine etkisi (% 0.2 C, % 0.5 Mn) (% 90 martenzit, suda su verilmiş, ASTM no. 4) (Grange, 1973; s.2241)

4.10.2.9 Vanadyumun sertleştirebilme etkisi

% 0.18 V içeren alaşımda tane boyutu ince olduğundan 900°C'deki östenitleme tane boyutu açısından uygun değildir. Bu nedenle % 0.18 V'lu alaşım üniform iri tane geliştirmek için 1095°C'de östenitlenmiştir. Östenit sıcaklığını artırma, 900°C'de bir çözünme yoksa daha fazla V'un çözünmesini sağlayacaktır. Şekil 4.19'da % 0.18 V'da iki nokta vardır. Bunlardan biri çizginin üzerinde, diğeryse altındadır. Bu sonuç normalden yüksek bir östenitleme sıcaklığının % 0.2 C'lu çelikte % 0.18 V esaslı tam çözelti için gerekmediğini göstermektedir. Nispeten küçük V yüzdeleri için sertleşebilirlikte önemli bir artış olduğu açıklanmıştır.

4.10.2.10 Titanyumun sertleştirebilme etkisi

Ti'un sertleşebilirlik etkisini değerlendirmede bazı güçlükler vardır. Ti çelikte C ve N ile kuvvetli olarak kombine olur ve daha yüksek östenitleme sıcaklıklarından dolayı, azar azar çözünen tanecikleri oluşturur. Ti'un açık olarak negatif sertleşebilirlik etkisine sahip olduğu söylenebilir. Böylece Ti'un kantitatif sertleşebilirlik etkisinin, muhtemelen, C ve N ile ve de östenitleme sıcaklığı ile değiştiği açıklanmıştır (Grange, 1973).

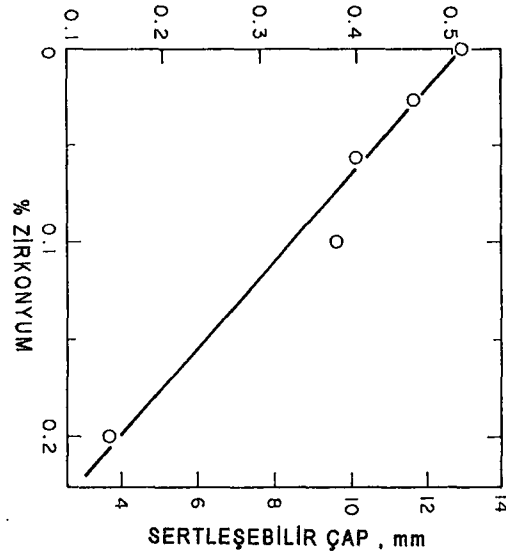
Grange'in ince ve kaba taneli yapılarda ve farklı östenitleme sıcaklıklarında yaptığı deney sonunda elde edilen veriler şekil 4.20'de gösterilmiştir. Burada yüksek sıcaklıklarda Ti'un daha büyük sertleşebilirlik etkisinin olduğu görülmektedir. Her iki östenitleme sıcaklığında en küçük Ti ilavesiyle (% 0.026) sertleşebilirlikte bir azalma görülür (Grange, 1973).

4.10.2.11 Zirkonyumun sertleştirebilme etkisi

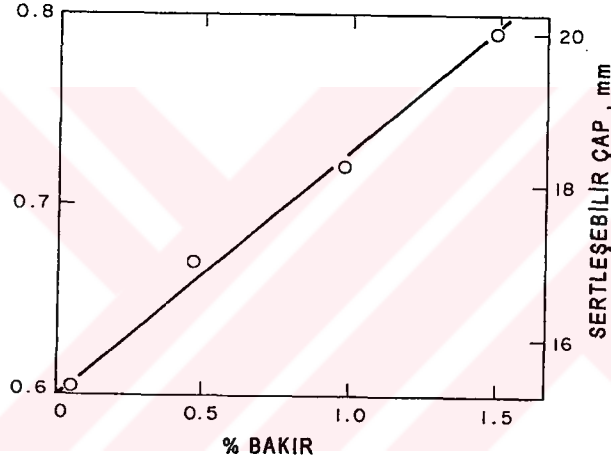
Şekil 4.21'den Zr'un kesin bir negatif sertleşebilirlik etkisi gösterdiği anlaşılmaktadır. Zr güç çözünen karbür ve nitrür teşkil etmede Ti'a benzer. Zr'un sertleşme etkisi C ve N'a bağlıdır. Zr'un küçük miktarlarının kantitatif sertleşebilirlik etkisi az olduğundan sertleşmeye etkisi ihmal edilebilir (Grange, 1973).

4.10.2.12 Bakırın sertleştirebilme etkisi

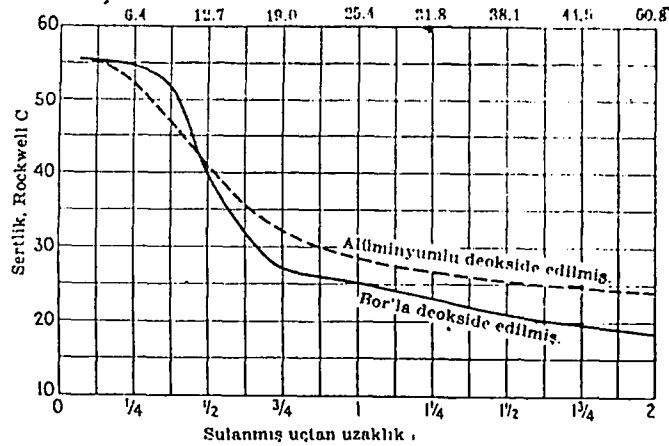
Ticari C çeliklerinde küçük kalıntı yüzdelerinde Cu'nun sertleşebilirlik etkisi küçüktür. (şekil 4.22) Bununla beraber deneysel çalışmalarda bir empürite olarak Cu bulunduran C çeliklerinin sertleşebilirliği tatmin edicidir (Grange, 1973).



Şekil 4.21 Çelikteki Zr miktarının sertleşebilen çap üzerine etkisi (% 0.2 C, % 0.5 Mn) (% 90 martenzit, suda su verilmiş, ASTM no. 4) (Grange, 1973; s.2241)



Şekil 4.22 AISI 1045 çeliğinde Cu'un sertleşebilir çap üzerine etkisi (% 90 martenzit, tuzlu – su çözeltisinde su verilmiş) (Grange, 1973; s.2242)



Şekil 4.23 Aynı ideal kritik çapta bir çelikte Bor'un sertlik artışı derecesi üzerine etkisi. Eğriler alüminyumlu 0.40 karbon ve 1.75 manganezli; bor'lu 0.40 karbon, 1.15 manganez alaşımındaki çeliklerin Jominy sertlik eğrileridir (Crafts ve Lamont, 1971; s.116)

4.10.3 Alaşım elementlerinin sertleşebilirliğe etkisinin tablo halinde ifadesi

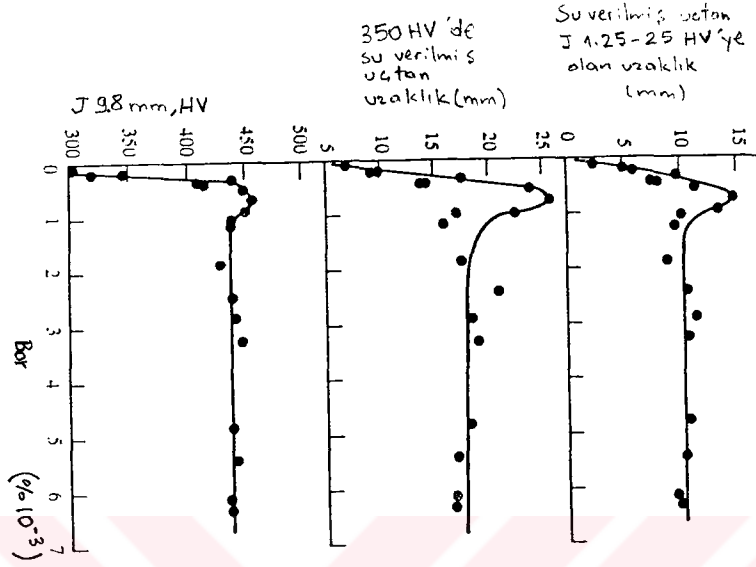
ELEMENT	SERTLEŞEBİLİRLİĞE ETKİSİ
Al - Alüminyum	Östenitte çözüldüğü takdirde sertleşebilirliği orta seviyede artırıyor
Cr – Krom	Sertleşebilirliği orta seviyede artırıyor
Co – Kobalt	Çözünmüş halde sertleşebilirliği düşürüyor
Mn – Mangan	Sertleşebilirliği orta seviyede artırıyor
Mo – Molibden	Sertleşebilirliği güçlü bir şekilde artırıyor (Mo>Cr)
Ni – Nikel	Sertleşebilirliği orta seviyede arttırmekla beraber, yüksek C yüzdesi ile beraber kullanıldığında kalıntı östenit oluşumuna neden olmaktadır
P – Fosfor	Sertleşebilirliği artırır
Si – Silisyum	Sertleşebilirliği orta seviyede artırıyor
Ti – Titanyum	Çözünmüş halde sertleşebilirliği çok güçlü bir şekilde artırıyor. Karbit etkisi sertleşebilirliği düşürür
W – Tungsten	Küçük miktarlarda kullanıldığında sertleşebilirliği güçlü bir şekilde artırıyor
V – Vanadyum	Çözünmüş halde sertleşebilirliği çok kuvvetli bir şekilde artırıyor (Awner, 1974).

4.10.4 Bor'un sertleşebilirlik üzerine etkisi

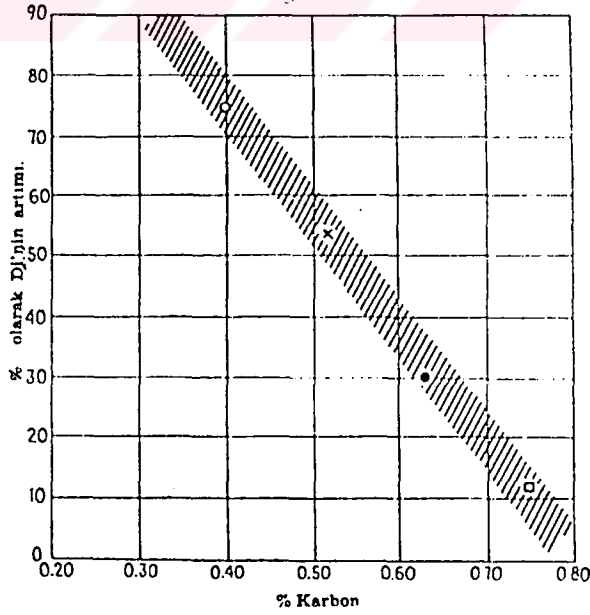
Düşük alaşımlı çelikler mevzu bahis olduğunda bor aşağıdaki özelliklerle diğer alaşım elementlerinden ayrı bir yer tutar:

1. Bor'un % 0.002 – 0.003'lük ilaveleri sertlik üzerinde % 0.5 Mo, % 0.7 Cr veya % 1 Ni ilavelerine eş etki yaratır.
2. Bor'un sertleşebilirlik üzerindeki etkisi kalıcıdır.
3. Ötektoid C seviyelerinde sıfır etkisine rağmen düşük C seviyelerinde yüksek bir verime sahip bor'un etkisi çeliğin C yüzdesi ile alakalıdır.

Bor oksijen ve azota karşı yüksek afiniteye sahiptir. Bu yüzden bor ilave edilecek çeliklerde oksijen ve nitrür yapıcı elementler var olmalıdır ki bor çözülebilir (Llewellyn, 1992).



Şekil 4.24 Bor'un sertleşebilirlik üzerindeki etkisi (Llewlynn, 1992)



Şekil 4.25 Efektif bir bor ilavesiyle (en az % 0.001) karbon çeliklerinde ideal kritik çapla karbon miktarı arasındaki ilişkiler (Crafts ve Lamont, 1971; s.117)

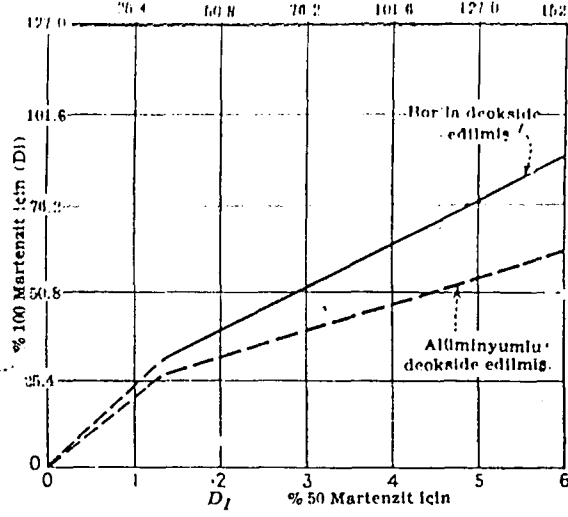
İnce taneli, (alüminyumla deokside edilmiş) ve borla alaşımlanmış çelikte, şekil 4.23'de görüldüğü gibi, bu işleme tabi tutulmayan çeliklere göre çok daha dik bir sertlik artım derecesi vardır (Crafts ve Lamont, 1971).

Bor 2. Dünya Savaşında, bulunması zor olan konvansiyonel alaşım elemanları yerine, kısmi bir çare olarak başarıyla kullanılmıştır (Crafts ve Lamont, 1971). Jominy sertleşebilirlik kriteri kullanılarak yapılan araştırmalar sonucunda görülmüştür ki % 0.0007'lik çözülebilir bor yüzdelerinde maksimum sertliklere ulaşılmaktadır. Daha fazla miktardaki bor ilavelerinde ise sertleşebilirlikte bir miktar düşme görülebilir ancak % 0.0015 ve daha fazla bor ilaveleri sonucu akla yatkın, tatminkar ve en önemlisi sürekli bir durum sağlanabilmektedir. (şekil 4.24) Ticari uygulamalarda ise % 0.002 – 0.003'lük oranlar kullanılır ve sertleşebilirlikteki küçük miktardaki düşüş birbirini tutan sertleşebilirlik etkisi sebebiyle kabul edilebilir (Llewellyn, 1992). Borun verimli olabilmesi için çeliğin iyi bir deoksidasyon işlemine tabi tutulması gerekmektedir. Borun çeliğin içinde üniform dağılımını elde etmek için deoksidasyon maddesiyle karıştırılmış şekilde katılmışsa, bor çeliğin haddelenme özelliğine zarar vermez, azaltmaz. Şekil 4.25'de bor'la deokside edilmiş çeliklerin ideal kritik çapları ile karbon miktarları arasındaki ilişki gösterilmiştir. Şekil 4.26'dan görülmektedir ki, (% 50 martenzitte) ideal kritik çaptaki artım belirgin derecede fazladır ve % 100 martenzit derinliği ise daha büyük ölçüde artmıştır (Crafts ve Lamont, 1971).

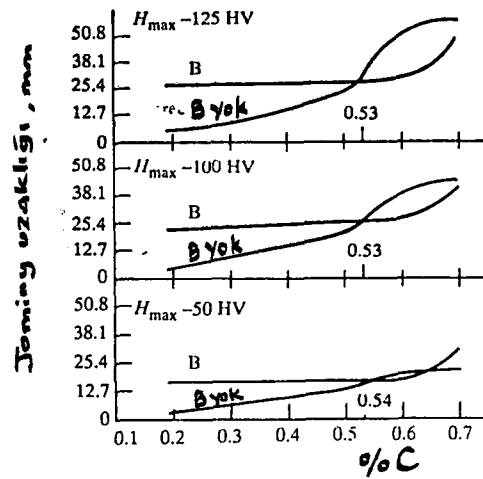
Şekil 4.27'den görülebileceği üzere bor'un % 0.2'lik karbon yüzdesinde sertleşebilirlik üzerinde kayda değer bir etkisi vardır. Ancak bu etki karbon oranı % 0.53 – 0.54'e ulaşıırken sıfır etkiye dönüşür. Daha yüksek C oranlarında ise bor'un sertleşebilirliğe etkisi zararlı yöndedir (Llewellyn, 1992).

Bor'un etkisi sadece C yüzdesi ile değil alaşım elementlerinin yüzdeleriyle de farklılıklar gösterir (Llewellyn, 1992).

Bor'la işlem çeliğin martenzit olmayan yapısına hemen hemen hiçbir şey ilave etmez, öyleki verilen bir ideal kritik çapta bor'la deokside edilmiş düşük alaşımlı çelik, genellikle aynı karşılaştırma bazındaki daha yüksek alaşımlı alüminyumla deokside edilmiş, haddelenmiş ve tavllanmış durumdaki bir konvansiyonel çelikten daha yumuşak ve daha iyi talaş kaldırma özelliğine sahiptir. Bor menevişlenmeye direnci de etkilemez. Bor kullanıldığı vakit kuvvetli deoksidasyon elemanları uygulandığı ve sertleştirilmiş bor çeliklerinde daha yüksek martenzit oranı eğilimi bulunduğu için bunların darbe dirençleri nispeten yüksektir. Bununla beraber,



Şekil 4.26 Bor'un % 50 ve % 100 martenzitle ideal kritik çap arasındaki ilişkilere etkisi (Crafts ve Lamont, 1971; s.118)



Şekil 4.27 Farklı karbon seviyelerinde bor'un sertleşebilirlik üzerine etkisi (Llewellyn, 1992)

bor, sertleşmemiş çeliğin darbe direncini azaltır bu sebepten bu element sadece su verilmiş yapılarında, hiç değilse yüzeylerinde hakim bir martenzit yapı verecek şekilde dizayn edilmiş parçalarda kullanılmalıdır.

Bor'la alaşımlamanın yüzeylerinde basınç gerilmesi doğuran, sertleşmemiş göbek ve martenzit bir yüzey bulunacak şekilde ısıtılma işlemi yapılan çeliklerde özel bir değeri vardır. Bu gibi uygulamalarda su verilmiş sert yüzeyden elde edilen yarar hafif gerilme yüklemesi uygulanan göbeğin düşük darbe direnci kusurunu ortadan kaldırmaktadır (Crafts ve Lamont, 1971).



5. SERTLEŞEBİLME DENEY METODLARI VE JOMİNY DENEYİ

Soğutma şiddeti ve kütle etkisinin çeliğin su verme işlemine verdiği cevap hakkındaki pratik bilgilerimizin uygulaması sertleşebilmenin çabuk, kolay ve ucuz olarak ölçülebilmesini gerektirir. Soğuma şiddetinin veya martenzit derecelerinin birkaç kesitte ve değişik boyutlardaki çubuklarda belirlenmesine yarayan klasik araştırma usulleri, çok zahmetli ve yüksek derecede deneysel bilgi ve kabiliyetle çok miktarda deney parçasını gerektirecek şekildedirler.

Standartlaşmış sertleşebilme deneylerinden, orta derecede sertleşebilen çelikler için en çok kullanılan ve yaygın olanı Jominy ve Boegehold tarafından geliştirilen Jominy deneyidir. Bu deney Türk Standartlarında "Alından Su Verme Deneyi" olarak (TS 1381) yer almaktadır. Uçtan su verme deney çubuğunun soğuma karakteristiği kalibre edilmiş olup, üniform olarak sulanmış parçalara göre gerekli açıklama da yapılmıştır. Jominy deneyini aynı kararlılıkta tekrarlayabilmek kolay olduğu için bu yöntem sertleşebilmenin tayininde standart metod olmuş ve sertleşebilmenin doğru ve duyarlı kontrolünde faktörlerin çabucak bulunup ortaya çıkarılmasında önemli bir nitelik kazanmıştır. Deney özellikle 100 – 125 mm çaplarındaki düşük alaşımlı çeliklere çok iyi uygulanabilmektedir.

Standart Jominy deneyi orta derecede sertleşebilme kabiliyetine sahip çelikler için en yararlı ve kullanışlı deney olup, kullanılmakta olan diğer deneyler ise esas olarak çok düşük ya da çok yüksek sertleşebilme niteliğindeki çelikler için uygulamaktadır. (Crafts ve Lamont, 1971).

Çeliğin sertleşebilirliğinin önemi ayrı bir bakış açısı ile aşağıdaki gibi de açıklanabilir:

Çelik satın alınmasında esas ölçüt kimyasal kompozisyona dayanır. Çeliklerin karbon ve alaşım elementleri yüzdesi belirli sınırlar içinde değişebilmektedir. Örneğin AISI 4340 çeliğinde kimyasal bileşim aşağıdaki sınırlar içinde değişebilir: C %0.38 – 0.43, Mn % 0.60 – 0.80, Si % 0.20 – 0.35, Ni % 1.65 – 2.0, Cr % 0.70 – 0.90 ve Mo % 0.20 – 0.30. Bu limitler içinde ortalama değer alınırsa karbonun üst sınırı karbonun ortalamasına göre % 12.5 fazla, manganınki % 28.7, silisyumunki % 53.8, nikelinki % 19.1, v.b. bulunur.

Bu durumda iki farklı üretim partisinden alınan AISI çeliği farklı kimyasal bileşimde (müsade edilebilir sınırlar içinde kaldığı halde) olabileceğinden kritik soğuma hızları da farklı olabilecektir. Element yüzdesi fazla olan parti için belirli bir soğutma ortamında örnek

parçanın merkezi kritik soğuma hızına ulaşabildiği haldе, element yüzdesi düşük olan parti aynı ortamda merkezinde kritik soğuma hızına ulaşamayabilecektir ve örnek parçanın merkezi yumuşak kalacaktır. Bundan dolayı çeliğin sertleşebilme yeteneğini ölçecek bir deney gereklidir. En çok kullanılan deney Jominy deneyidir (Ünal, 1991).

Bu deneyin sağladığı en önemli olanak, tek bir çubukta geniş bir soğuma hızı varyasyonları meydana getirmektir. Ve bunun sonucu çubuk boyunca sertlikleri ölçerek, östenitleme sıcaklığından farklı soğuma hızları ile elde edilecek sertliklerin bulunmasıdır (Flinn ve Trojan, 1986).

Bu deney yönteminden elde edilecek en dikkat çekici bilgi; numune üzerinde verilen bir noktadaki sertlik değil, verilen bir soğuma hızından elde edilecek olan sertliktir. (soğuma hızları farklı noktalarda ölçülmüştür ve farklı çelikler için değişmez değerlerdir.) Jominy çubuğu üzerindeki bir noktanın sertliği aynı soğuma hızıyla yağ veya suda su verilmiş bir parçadaki noktanın sertliğine eşit olacaktır (Flinn ve Trojan, 1986).

Deney çubuğuna kontrollü şartlarda su verildiğinden, sulanmış uçla havada soğuyan uç arasında çok hızlıdan çok yavaşa kadar değişen soğuma hızlarının, aynı şartlarda su verilen bütün deney çubuklarının eş değer noktalarında aynı olduğu düşünülmüştür. Böylece tek bir deney çubuğunda sertleşme karakteristiği ve gerçek sertlik, 100 – 125 mm'lik çubuklardaki soğuma hızlarıyla karşılaştırılabilecek soğuma hızları alanı için elde edilmiş olmaktadır (Crafts ve Lamont, 1971).

Jominy deneyi TSE tarafından TS 1381 numarası ile standartlaştırılmıştır. Aşağıda çeşitli başlıklar altında deney incelenmektedir.

5.1 Jominy Deneyinin Prensibi

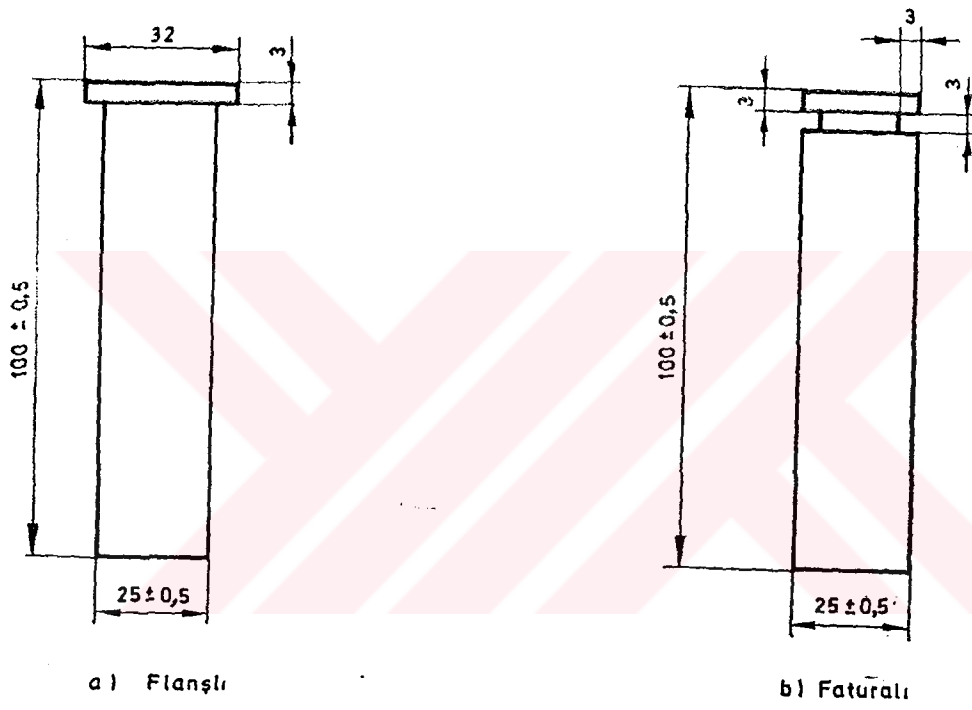
Deneyin çok genel olarak prensibi ve bazı sayısal değerleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Deney parçasının belirli sürede saptanan sıcaklığa ısıtılması
2. Su püskürtülerek ucun soğutulması
3. Sertlik değişikliklerinden yararlanılarak çeliğin sertleşebilirliğinin belirlenmesi için seçilen iki nokta arasındaki veya uzunlamasına belirli noktalardaki sertliğin belirlenmesi (T.S.E., 1974)

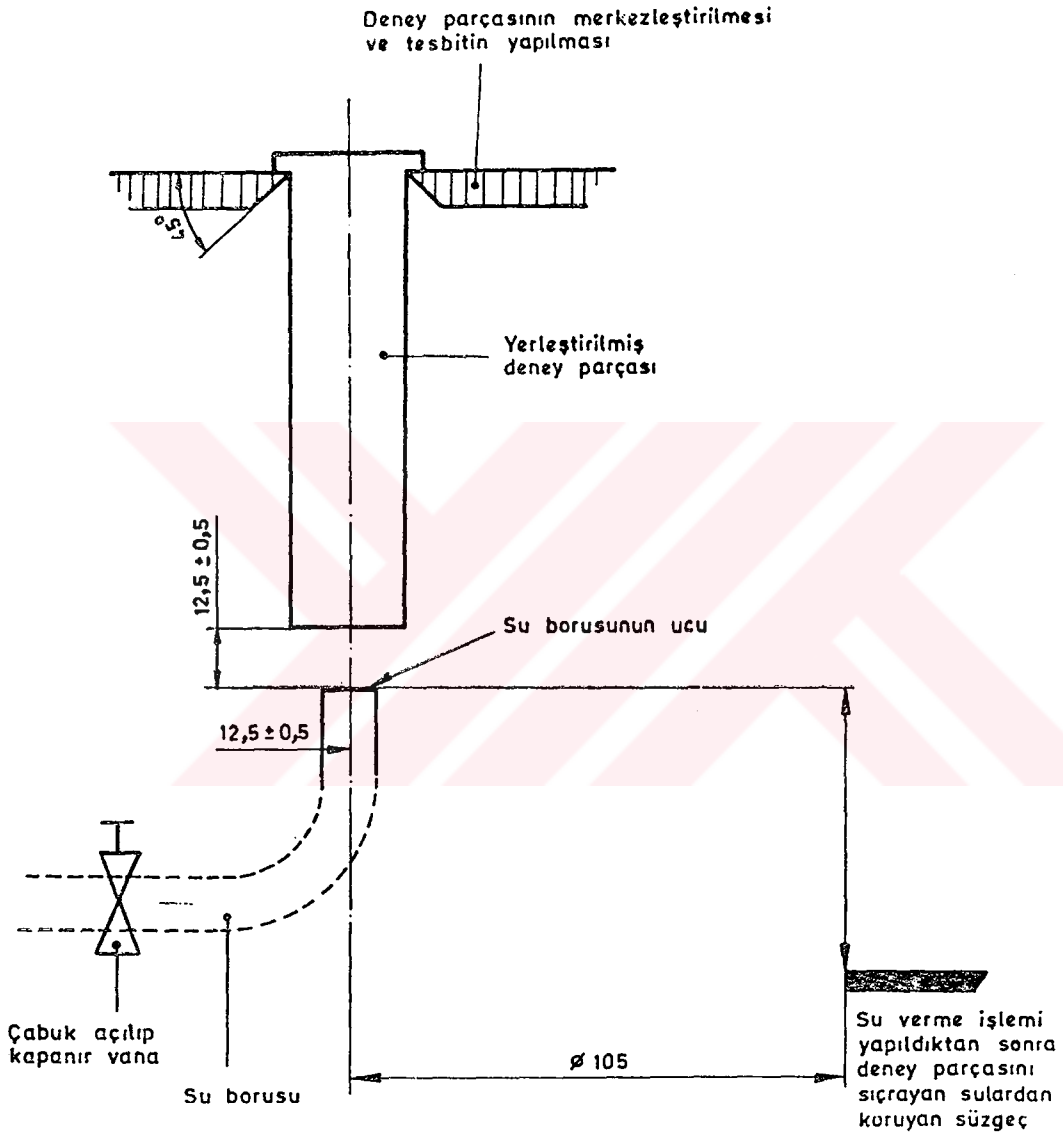
Sembol	Açıklama	Değer
	Deney parçasının tüm uzunluğu	100 ± 0.5 mm
	Deney parçasının çapı	25 ± 0.5mm
	Deney parçasının belirli sıcaklıkta ısıtılma süresi	30 ± 5 dakika
	Deney parçasının fırından çıkarılıp su verme anına kadar geçen en büyük süresi	5 saniye
	Soğutma suyunun sıcaklığı	5 – 30°C
	Dikey su besleme borusunun iç çapı	12.5 ± 0.5 mm
	Deney parçası bulunmadığı haldeki su püskürme yüksekliği	65 ± 10 mm
	Deney parçası alt yüzeyi ile su borusu ucu arasındaki uzaklık	12.5 ±0.5 mm
	Sertliğin ölçülmesi için uygulanan düzleme derinliği	0.4 mm
d	Sertleşmenin ölçüldüğü noktalar ile deney parçasının su verilen ucu arasındaki uzaklık	mm
J xx – d	“d” uzaklığındaki Jominy sertleşebilme indisi	Rockwell cinsinden RSD – C – mm
JVSD xx – d	“d” uzaklığındaki Jominy sertleşebilme indisi	Vickers cinsinden VCD 30 – mm

5.2 Jominy Deney Parçalarının Biçimi ve Hazırlanmaları

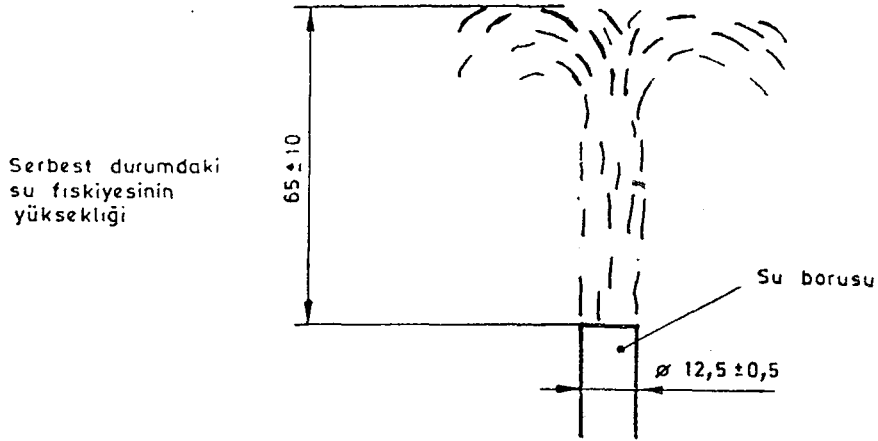
Deney parçası, 25 mm çapında ve 100 mm uzunlukta işlenmiş bir silindirik çubuktur. İşlenmemiş deney parçasının ucu flanşlı veya faturalı olmasına göre 32 veya 25 mm çapında olur. (bu düzen soğutma sırasında deney parçasının uygun bir destek yardımıyla çabuk merkezleştirilmesi ve yerine yerleştirilmesine yarar) (şekil 5.1) Deney parçası gerektiğinde orjinal çubuk üzerindeki durumunun tanınması için işaretlenmelidir (sertleşme deneyi yapılacak ucun karşı ucu). Dövülmüş veya haddelenmiş deney parçaları, işlenmeden önce normalize edilir. Özel isteklerde başka ısı işlemleri kullanılabilir. Deney çubuklarının



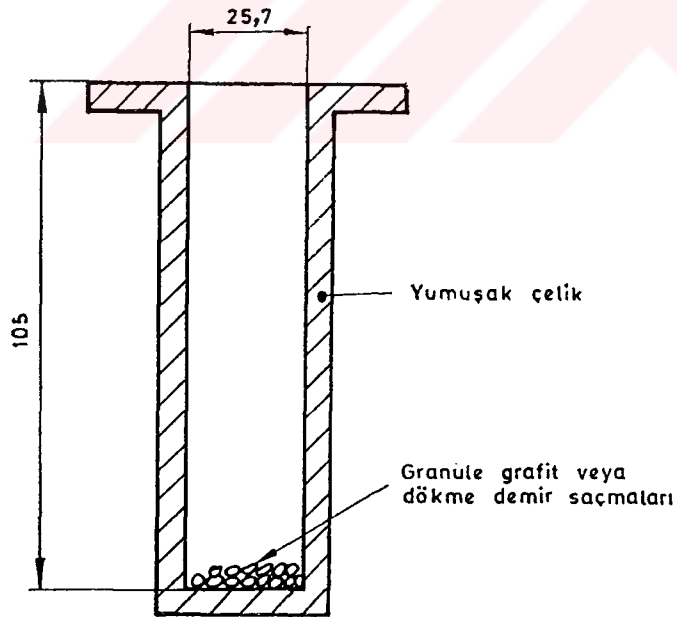
Şekil 5.1 Deney parçasının boyutları (T.S.E, 1974; s.5)



şekil 5.2 Sertleştirme dzenii (T.S.E, 1974; s.6)



Şekil 5.3 Su borusunun ucu (T.S.E, 1974; s.7)



Şekil 5.4 Deney parçasının ısıtılması için kullanılan yumuşak çelik kap (T.S.E, 1974; s.5)

işlenmesi sırasında çok az miktarda dahi karbon azalmasının önlenmesine dikkat edilmelidir. Deneysel parçasının silindirik yüzeyi, çok ince talaş kaldıracak şekilde tornalanır. Deneysel parçasının sertleştirilecek uç yüzeyi hassas şekilde işlenerek parlatılır (T.S.E., 1974).

5.3 Jominy Düzeneği

Düzenek deneysel parçasının sertleşebilmesini sağlayacak bir düzendir. Şekil 5.2’de gösterilen sertleştirme düzeni, deneysel parçasının su borusu üstünde, dik ve merkezi olarak yerleştirilmesini sağlar. Su gelen borunun üzerinde çabuk açılıp kapanabilen vana düzeni vardır. Deneysel parçası yerleştirildikten sonra sertleştirilecek yüzeyi ile su borusu ucu arasındaki uzaklık 12.5 ± 0.5 mm olacak şekilde deneysel parçası oturma yeri uzaklığı saptanmalıdır. Deneysel parçası taşıyıcısı deneysel parçasını su borusunun üzerinde merkezleyebilecek ve su püskürtülmesi sırasında sabit tutabilecek biçimde olmalıdır. Deneysel parçası yerine yerleştirilinceye kadar kuru olmalı ve su verme işlemi başlayıncaya kadar sıçrayan sulardan korunmalıdır. Deneysel parçası yerleştirilmeden önce su borusu ucundan püskürtülen suyun yüksekliği 65 ± 10 mm olmalıdır. (Şekil 5.3) Borudaki su sıcaklığı $5 - 30^{\circ}\text{C}$ arasında bulunmalıdır. Sertleştirme düzeni hava akımlarından korunmalıdır (T.S.E., 1974).

5.4 Jominy Deneyinin Yapılışı

5.4.1 Jominy deneysel parçasının ısıtılması

Deneysel parçası, malzemenin özelliklerine uygun ve homojen olarak belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılır ve bu sıcaklıkta 30 ± 5 dakika tutulur. Özel tip fırınlarda deneysel parçasının merkezinin istenilen sıcaklığa ulaşabilmesi için geçecek en az ısıtma süresi daha önce yapılan deneylerle saptanmış olmalıdır. (Örneğin bu sıcaklık, deneysel parçası uzunluk eksenine boyunca açılan deliğe yerleştirilen bir termokupl yardımı ile kontrol edilir.) (T.S.E., 1974) Termokupullar periyodik olarak kalibre edilmeli ve Jominy numuneleri termokupla yakın konmalıdır (Sinha, 1989).

Deneysel parçasında herhangi bir karbon azalması, artması veya tufal yapacak oksitlenme olayı önlenmelidir. Bunun için kontrollü atmosferli bir fırın kullanılabilir veya Şekil 5.4’de gösterildiği gibi deneysel parçası yumuşak bir çelik kap içine konulur; deneysel parçasının oturduğu kabın tabanı granüle grafit veya dökme demir saçmaları ile örtülür (T.S.E., 1974).

5.4.2 Jominy deney parçasının sertleştirilmesi

Deney parçasının fırından çıkartılıp alın yüzeyine su püskürtülmesine kadar geçen zaman 5 saniyeyi aşmamalıdır. Su borusunun vanası hemen açılmalıdır. Su püskürtme zamamı en az 10 dakika olmalıdır. Bu süreden sonra deney parçasının tam olarak soğutulması soğuk suya batırılmakla sağlanabilir (T.S.E., 1974).

Soğutma suyunun debisinin azalıp çoğalmasını önlemek için pompalar yerine basıncın sabit olduğu gravite kontrollü su beslemesi yapılmalıdır (Sinha, 1989).

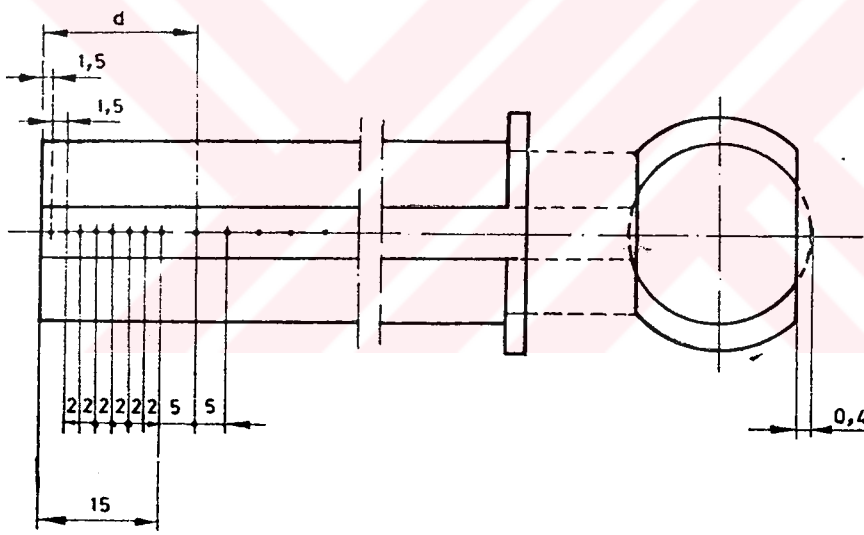
5.5 Jominy Sertleştirmesinden Sonra Sertlik Ölçümleri İçin Hazırlık

Sertleştirilmiş deney parçasının sertliğini ölçmek için, uzunluk eksenini doğrultusunda birbirinden 180° açıda karşılıklı iki yüzey taşlanır. Düzleme derinliği 0.4 mm olmalıdır. (şekil 5.5) Taşlama sırasında deney parçasının aşırı ısınarak mikrografik yapısının değişmemesi için, bol miktarda soğutucu verilmelidir.

Taşlama sırasında yumuşama olmamasına dikkat edilmelidir. Bunun için deney parçası % 5'lik (hacimce) nitrik asit çözeltisi içinde kararınca kadar tutulur. Sıcak suda yıkandıktan sonra, 2 veya 3 saniye % 50'lik (hacimce) seyreltik hidroklorit asit çözeltisine batırılır. Sıcak suda tekrar yıkanarak sıcak hava ile kurutulur. Renk her tarafında aynı olmalıdır. Eğer yumuşak noktaları belirten lekeler görülürse iki yeni düzleme daha yapılarak yukarıda belirtilen deneyler tekrarlanır.

Deney parçası uygun bir taşıyıcıya yerleştirilerek, hazırlanmış yüzeyleri uzunluk eksenleri boyunca 150 kgf / yük altında Rockwell "C" sertlik ölçümleri yapılmalıdır. (TS 140) Ölçme sırasında deney parçasının iyi oturması ve sabit olarak tutulması sağlanmalıdır. Taşıyıcı üzerindeki tutucunun bir vidalı kılavuz ile donatılması, ölçme noktaları aralıklarının daha duyarlılıkla işaretlenmesi tavsiye edilir. Rockwell "C" sertlik ölçüleri yerine 30 kgf yükle yapılan Vickers sertlik ölçüleri de kullanılabilir. (TS 207) İkinci düzlenmiş yüzeyde sertlik deneyi yapılmadan önce birinci yüzeydeki batıcı uç iz çıkıntılarının taşlanması yapılmalıdır.

Ölçme noktalarının yerleri aşağıdaki iki uygulamadan birinin yapılmasına uygun olacak şekilde seçilmelidir.



Şekil 5.5 Sertlik ölçme noktalarının yeri ve sertleşmenin ölçülmesi için deney parçasının hazırlanması (T.S.E, 1974; s.7)

- a) Sertlikteki değişmeleri belirten eğrinin çizilmesi
- b) Sertliğin bir veya birden daha çok noktalarda saptanması

Sertlik değişmelerini belirten eğrinin çizilmesi için sertleşmiş uçtan başlanarak ard arda 8 nokta alınır. (ara mesafesi mm olarak verilmiştir) Bunlar;

1.5 – 1.5 – 2 – 2 – 2 – 2 – 2 – 2 (toplam 15 mm)

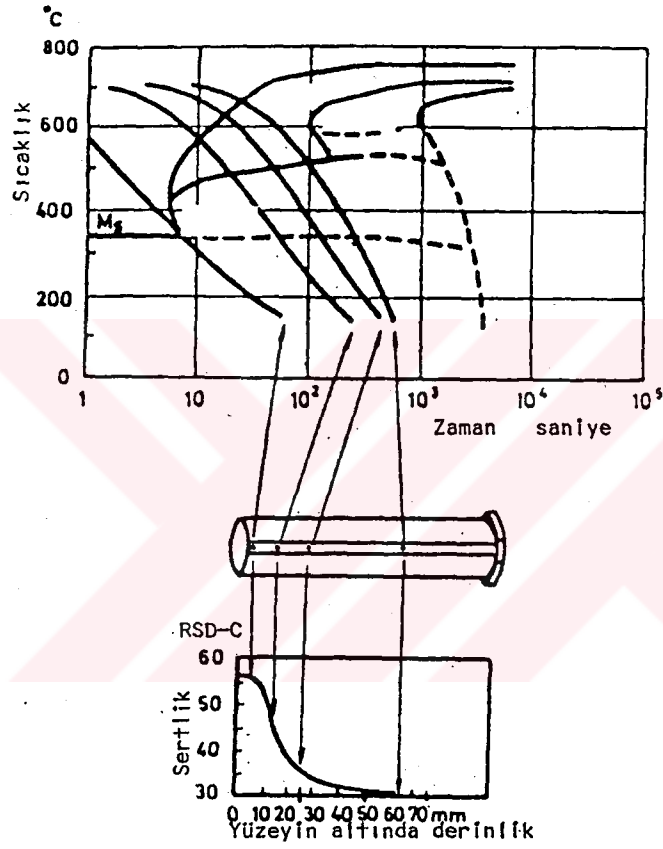
Bundan sonraki nokta aralıkları 5'er mm olarak alınır. Fakat birinci noktadan sonraki ölçü noktaları aralıklarına bağlı kalınmayabilir. Eğer eğride belirsizlik yok ise aralıklar çok yakın olmayabilir. Fakat eğrinin çok hassas olması isteniyorsa aralıklar daha sık yapılmalıdır. Sertleşme derinliği az olan çelikler için ilk ölçme noktası sertleştirilen uçtan 1.5 mm mesafededir. Bu noktadan başlanarak da 12 mm'ye kadar 0.75 mm'lik aralıklar alınmalıdır. En son 4 nokta aynı uçtan sıra ile 15 – 19 – 22 ve 25 mm uzaklıkta olmalıdır. (NOT – Verilen sertlik izlerinin aralıkları çelikler için Rockwell sertlik deneyinde belirtilen en az uzaklıkla bağdaşmayabilir. Fakat standartta verilen sertlik deney sonuçları yeterlidir. Ancak aşağıda sözü edilen zigzag vurma yapılması tavsiye edilir.)

Sertlik ölçme cihazında üzerinde deney parçasını hareket ettiren düzen batma iz aralıklarını duyarlı bir şekilde ve doğru olarak tespit etmelidir. Komşu batma izleri arasındaki karışıklığı önlemek için aynı düzlem üzerinde iki paralel çizgi boyunca, fakat zigzag atlamalı olarak ölçü yapılması (bir seri 1.5 ile 12 mm arasında öteki seri 2.25 – 11.25 mm arasında) gerekir. Eğer bu mümkün olmazsa, deney parçası üzerinde birbirinden 180° açı yapan, iki çift düzlem yapılır. Her iki komşu grubunun yukarıdaki gibi birer atlama ile sertlikleri tayin edilir (T.S.E., 1974).

5.6 Jominy Deney Sonuçlarının Gösterilmesi, Sertlik Eğrilerinin Çizilmesi

Düzlenmiş iki yüzeydeki her uzaklıkta "d" ölçülen sertlik değerlerinin ortalaması alınır. "d" uzaklıkları yatay, bunun karşılığı olan sertlikler dikey eksen üzerinde kolaylıkla okunabilen bir diyagramda gösterilir (T.S.E., 1974).

Bir çeliğin karakteristik sertlik eğrisinin elde edilebilmesi için, en az 4 – 5 deney yapılması zorunludur. Şekil 5.6'da, sürekli soğutmada Zaman – Sıcaklık – Dönüşüm (SZSD) diyagramı



Şekil 5.6 SZSD diyagramı ile birlikte parçada soğuma seyir eğrileri (üstteki diyagram) ve Jominy yüzeyinden ölçülen sertliklerin diyagramda gösterilmesi (Topbaş, 1993; s.189)

ile birlikte, bu deneyde yüzeyden itibaren belirli mesafelerde soğuma seyirleri ile test sonunda ölçülen sertlik değerlerine göre çizilmiş Jominy karakteristik eğrisi görülmektedir. Deneylerde bulunan değerler diyagram kağıdına işlenirse, sertliklerin genellikle bir eğri üzerinde olmayıp, bir saha ya da band içerisinde dağıldığı görülür. Belirtmelerde çoğu zaman, band formunda belirtme yerine, çizgi formunda gösterim yapılmaktadır. Ancak, çizgi formu kullanıldığında bu çizgiden belirli sapmaların olabileceği genel olarak kabul edilir (Topbaş, 1993).

5.6.1 Çeliğin sertleşebilme özelliklerinin belirlenmesi

Aşağıdaki metodlardan biri kullanılır.

- a) Sertlik eğrisinin çizilmesi
- b) Üç noktada sertlik ölçümü yapılması, birincisi sertleşmiş uçtan başlanarak 1.5 mm uzaklıkta, öteki iki nokta, önceden tespit edilen uzaklıkta
- c) Önceden tespit edilen aralıklar üzerinde sertliğin ölçülmesi
- d) Sertleştirilmiş uçtan, verilen uzaklıkta bulunan bir noktadaki sertliğin ölçülmesi (T.S.E., 1974)

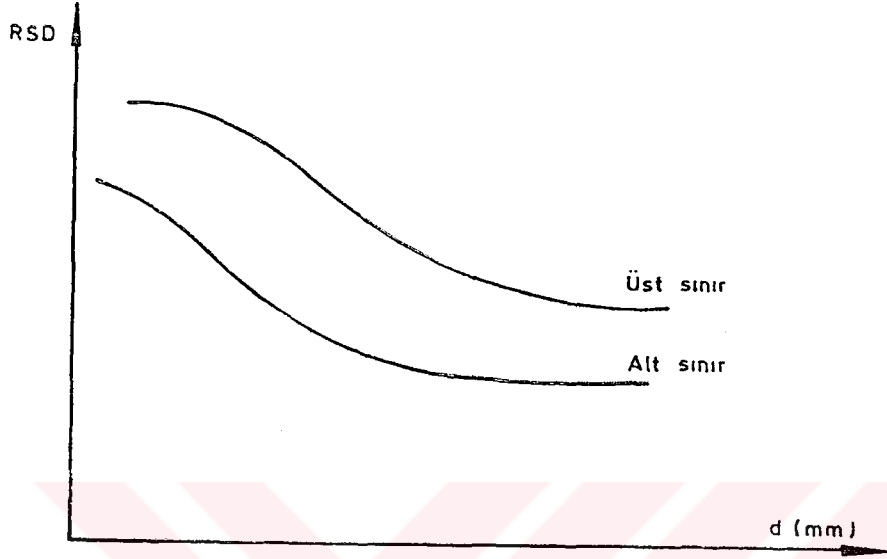
5.6.2 Çeliğin sertleşebilme özelliğinin tayininde kullanılan metodlar

Çeliğin sertleşebilme özelliğinin tayininde aşağıdaki metodlardan birisi kullanılır.

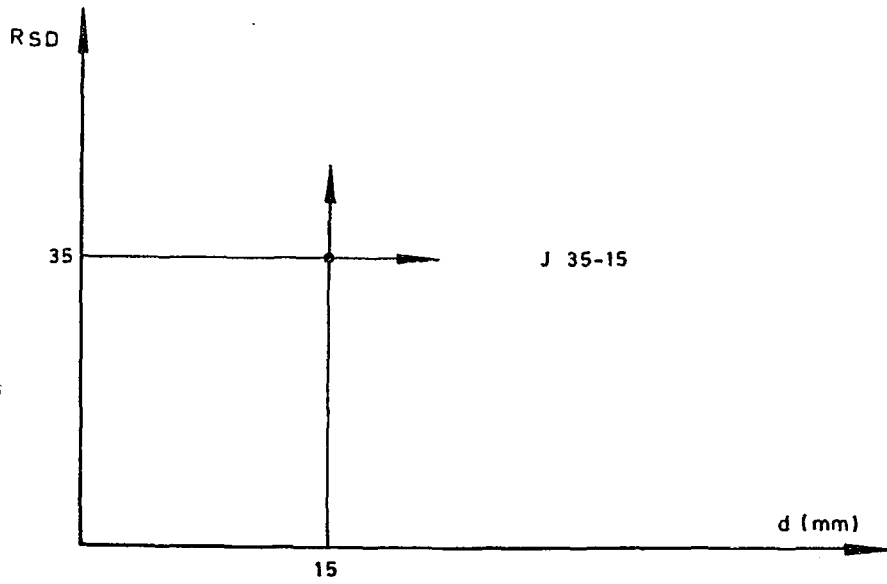
- a) Sertlik derinliğinin Jominy eğrisiyle belirtilmesi
 1. Çeliğin Jominy eğrisinin üstünde bir sınır eğrisi bulunması halinde
 2. Çeliğin Jominy eğrisinin altında bir sınır eğrisi bulunması halinde veya
 3. Üst ve alt jominy eğrileri arasında çeliğin Jominy eğrisi bulunması halinde
- b) Jominy eğrisi üzerindeki belirli noktaların gösterilişi
 - Bir üst sınır veya
 - Bir alt sınır ya da
 - İki sınır arasındaki değer (şekil 5.7)
 1. Verilen sertlik için sertleştirilmiş yüzeyden olan uzaklığıyla veya
 2. Sertleştirme yüzeyine göre belirli aralıktaki sertlik ile (T.S.E., 1974)

Bütün bu hallerde sertleşebilme karakteristiği "Sertleşebilme indisi" şeklinde ifade edilir. Bu indis, J harfi ve onu izleyen iki sayıdan oluşur.

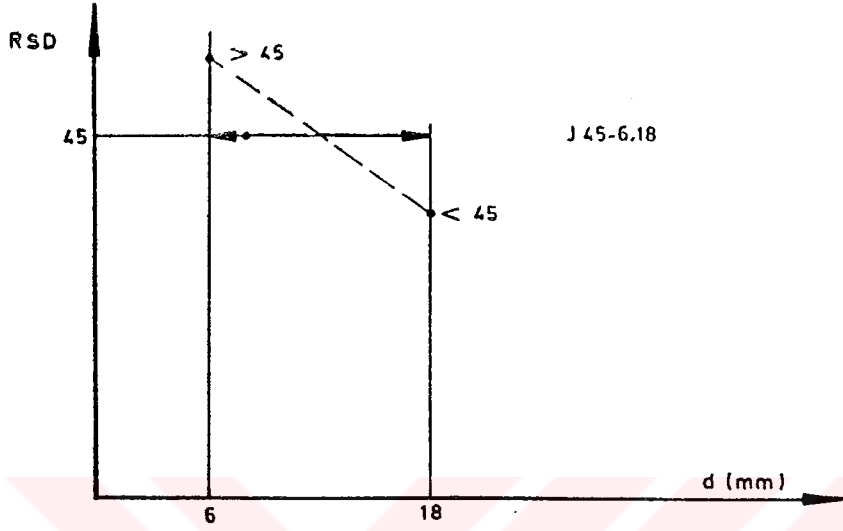
J R S D – C – d



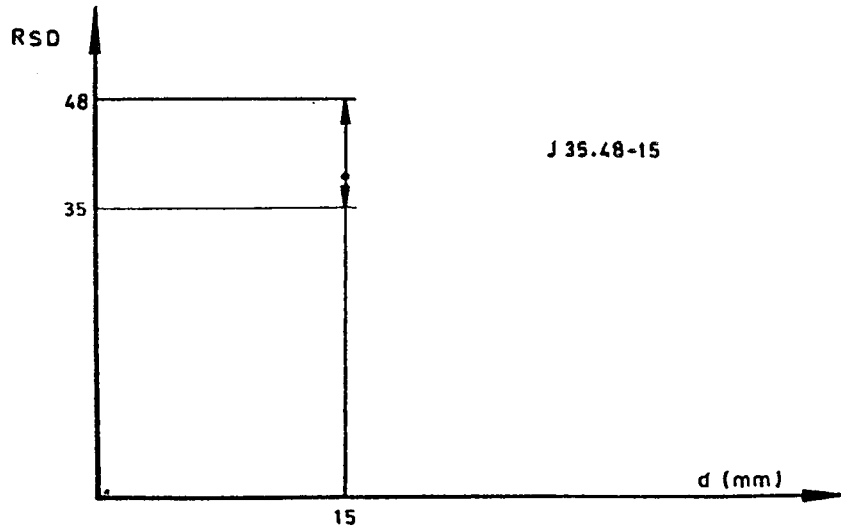
Şekil 5.7 Alt ve üst sınır eğrileri (T.S.E, 1974; s.8)



Şekil 5.8 d uzaklığındaki sertlik değeri (T.S.E, 1974; s.8)



Şekil 5.9 İki uzaklık sınırı arasındaki sertlik (T.S.E, 1974; s.9)



Şekil 5.10 Belirli bir uzaklıktaki sertlik dağılımı (T.S.E, 1974; s.9)

Burada;

RSD – C = Rockwell sertlik değeri “C”

d = Sertleşmenin ölçüldüğü yer ile numunenin su verilmiş ucu arasındaki uzaklık (milimetre olarak)

Örnekleri:

J 35 – 15 Bunun anlamı, sertleştirilen uçtan başlanarak 15 mm uzaklıktaki sertlik 35 RSD – C’dir (şekil 5.8).

J 45 – 6.18 Sertleştirilen uçtan 6 – 18 mm uzaklıklar arasındaki noktada sertleşme değerinin 45 RSD – C’ye ulaştığını gösterir (şekil 5.9).

J 35.48 – 15 Sertleştirilen uçtan 15 mm uzaklıktaki RSD – C sertliğinin 35 – 48 arasında olduğunu gösterir (şekil 5.10).

Sertlik belirleme metodu daima raporda belirtilmelidir. Eğer Jominy indisi, Vickers sertliği sembolü VSD 30 olarak ifade ediliyorsa karışıklığı önlemek amacıyla VSD sembolü kullanılmalıdır.

Örneğin:

J VSD 340.490 – 15 Bu sertleşmiş uçtan 15 mm uzaklıkta Vickers sertlik değerinin 340 – 490 arasında olduğunu gösterir (T.S.E., 1974).

5.7 Jominy Deneyinin Yararları ve Sakıncaları

Jominy deneyi kolayca ve ekonomik olarak yapılabilir bir deneydir ve eğer deney şartlarına uyulursa, sertleşebilme kabiliyetleri ne çok az ne de çok yüksek olmayan mühendislik yapım çelikleri için tamamıyla tekrarlanabilme niteliğindedir. Diğer bir deyimle bir laboratuvarında elde edilen Jominy deney değerleri aynı çelikten bir numune üzerinde herhangi bir başka laboratuvarında yapılan deneyle çok yakın olarak eşdeğerdir. Bununla beraber, daha da önemli olan şudur ki, deney su vermeye cevabın belirlenmesi bakımından hesapla yapılan herhangi bir sertleşebilme belirlenmesi yönteminden çok daha duyarlıdır ve niceliksel değerler gerektiği zaman mutlaka kullanılmalıdır.

Deneyin diğerk bir yararı da düşük alaşımlı çeliklerin üretimlerinde ergitilmeleri esnasında alaşımın sertleşebilme kontrolünü yapmaya elverişli olmasıdır. Dökme elikler için Jominy eğrilerinin, hadde eliklerinininkiyle hemen hemen tamamen uyuştukları kesin bir şekilde gösterilmiştir. Bunun ifade ettiği anlam üretim esnasında şarjdan alınan dökme örnekten sertleşebilme kapasitesini belirlemenin mümkün olduğu ve bu çeliklerden yapılan ingotlardan haddelenecek kütük veya yassıların sertleşebilme sonuçlarının böylece daha evvelden bilineceğı anlamıdır (Crafts ve Lamont, 1971).

Ayrıca, özellikle düşük sertleşebilirlik özelliklerine sahip çeliklerin deneylerinde Vickers sertlik deneyinin kullanılabilmesi deneyin diğerk bir avantajı olarak görülebilir (Sinha, 1989).

Jominy çubuğunda değışik noktalardaki soğuma hızının tayini ve soğuma şiddetinin deney ile ilişkileri üzerine bilgilerin birikimi ve değışik su verme şartları altında tam olarak sertleşen kesitlerin boyutlarının belirlenmesi gibi özellikler sertleşebilme tayininde bu yöntemin değılerini ve kullanımını büyük oranda arttırmıştır. Bununla beraber, bütün bunlara rağmen, metodun birkaç sakıncası, hatası da vardır. Deney geniş bir soğuma hızı sahasını kapsamaktadır fakat karbon çelikleri ve düşük alaşımlı sementasyon çelikleri gibi sığ sertleşen materyallerde oldukça kalın kesitlerde martenzit meydana getirmek için gerekli çok hızlı soğutma hızlarında doğru olmayan sonuçlar verebilmektedir. Bundan başka deney tam sertleşme meydana getirmek için soğutma hızlarının düşük olduğu (en az 3°C / s) hallerde de kullanılamaz dolayısıyla havada sertleşen alaşım çeliklerine uygulanamaz (Crafts ve Lamont, 1971).

Yöntemin zayıf kaldığı bir diğerk nokta ise; ısıl işlem gören çeliklerin bir çok mühendislik karakteristiklerinin sertlikten çok mikroyapıya bağılı olmasıdır (Sinha, 1989).

6. JOMİNY SERTLEŞEBİLME KONTROLÜ

Isıl işleme uniform bir cevabı sağlayabilmek için sertleşebilmenin kontrolü ve önceden bilinebilmesi temel koşuldur.

Tekrarlanabilir bir deney metodu ihtiyacı Jominy deneyi ile karşılanmıştır. Böylece düşük alaşımlı mühendislik yapım çeliklerinin üretimini yapanlar ile kullanıcıları ortak bir sertleşebilme ölçme yöntemi (bazı) elde etmişlerdir. Bundan da öteye gidilmiş, çelikler genellikle bileşimleri ile tanımlandıklarına göre, çelik üretimcileri sertleşilmeyi çeliğin bileşiminden tayin edebilecek duruma geçmişlerdir. Aynı yoldan, çelik üretimcisi arzu edilen sertleşmeyi elde etmek için bileşimi kontrol etme bilgisini de edinmiştir. Bileşimin temel etkileri, yeter derecede duyarlılıkla belirlenmiş ve standart çeliklerden beklenen sertleşebilme alanlarında bir anlaşmaya varılmıştır. **Sertleşebilme, Jominy sertlik değerlerinin bir bandı haline getirilmiş, bu değerler çelik yapımcıları tarafından garanti edilmiş ve kullanıcılar da bunlardan verimli bir şekilde yararlanmışlardır.**

Sertleşilmeyi, Grossmann'ın geliştirdiği ideal kritik çaplar çarpım metodu ile hesap etmek mümkündür. Bu metod bize, pek çok çelik cinsi için nispeten kabul edilebilir ve hızlı şekilde, çeliğin ısı işleme verdiği cevapları, özellikleri değerlendirme olanağı vermektedir. Fakat Jominy deneyinin verdiği gibi direkt olarak yapı hakkında niceliksel değerler ve su verme sonucu oluşan özellikleri vermemektedir. Bununla beraber su verme sonrası sertliğin direkt olarak bileşimden ve tane büyüklüğünden önceden belirlenebilme imkanı ve yöntemin aynı zamanda Jominy deneyi sertlik arttırmalarını da hesaplamak üzere geliştirilmiş olması sonucu yararlı ve kullanışlı olmaktadır. Bir başka deyimle Jominy eğrisini deney yapmadan da hesap yoluyla çizmek mümkündür.

Jominy eğrisindeki sertlikleri kimyasal analizden ve tane büyüklüğünden hesaplayabilmekte kullanılan temel metodlar Field tarafından önerilen ve ideal kritik çapa dayandırılan metoddur, bir de Crafts ve Lamont tarafından geliştirilen metoddur. Bunlar bu bölümde incelenecektir. Ancak, bu metodlar uç – sulama deneyinin yerini almazlar ve almamalıdır. Bunlar bir deney yapmanın imkansız ve elverişsiz olduğu hallerde yarar sağlamak için kullanılabilir. Fakat bu yolla elde edilecek eğriler deneysel metodla tayin edilen sertleşebilmenin sadece bir yaklaşığı olarak kabul edilmelidirler (Crafts ve Lamont, 1971).

6.1 Jominy Eğrisinin İdeal Kritik Çaptan Hesaplanması

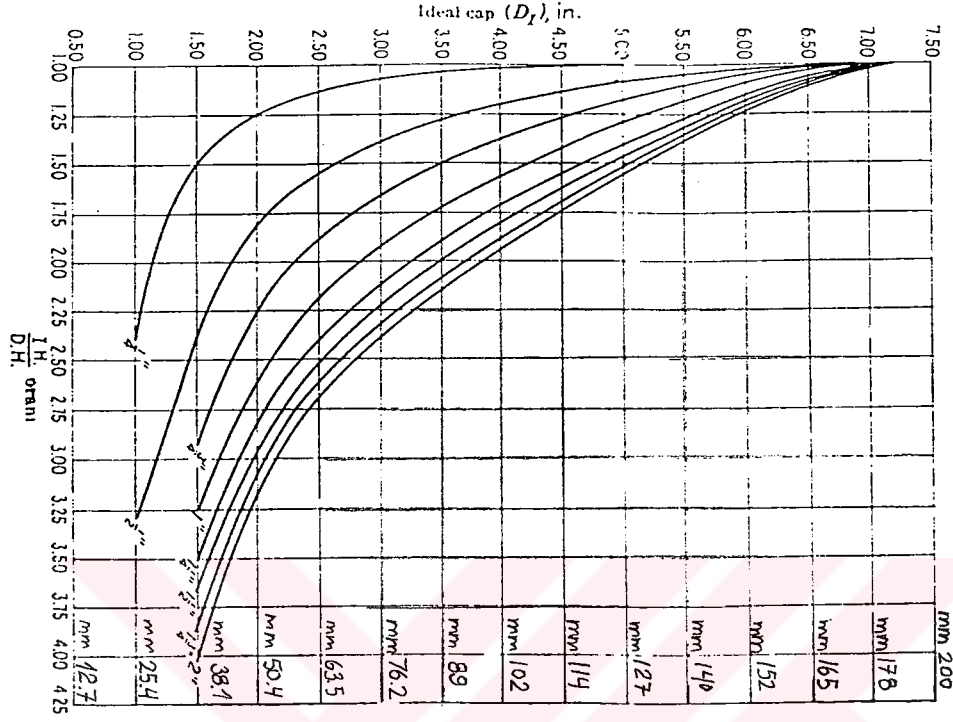
Field tarafından teklif edilen yöntem üç varsayıma dayanmaktadır. Bunlar; (1) Jominy deney çubuğunun su verilmiş en uç noktasındaki sertliğin, başlangıç sertliği (initial hardness) (IH)'nin çeliğin karbon miktarının bir fonksiyonu olduğu; (2) Jominy çubuğunda su verilmiş uçtan başlayarak herhangi bir uzaklıktaki sertliğin (DH) verilen bir karbon değerindeki çeliğin ideal kritik çapının bir fonksiyonu olduğu, ve (3) Başlangıç sertliği (IH)'nin, herhangi bir noktadaki sertliğe (DH) oranının herhangi bir karbon miktarının ideal kritik çapının sabit bir fonksiyonu olduğu kabulleridir. Yöntemde ilk adım, şekil 4.5 ve 4.6'da gösterilen Grossmann faktörlerini kullanarak, ideal kritik çapı hesaplamaktır. Bundan sonraki adım, istenilen değişik Jominy derinlikleri için, şekil 6.1'de verilen ampirik olarak tayin edilmiş ilişkilerden IH / DH oranını bulmaktır. Jominy eğrisinde bir noktadaki sertliği bulmak için, başlangıç sertliği, şekil 6.2'de gösterilen maksimum sertliğin karbonla olan ilişkileri eğrisinden aranan her pozisyon için IH / ID oranına bölünmek yoluyla tayin edilir (Crafts ve Lamont, 1971).

İdeal kritik çaptan jominy eğrisinin hesapla bulunuşuna örnek

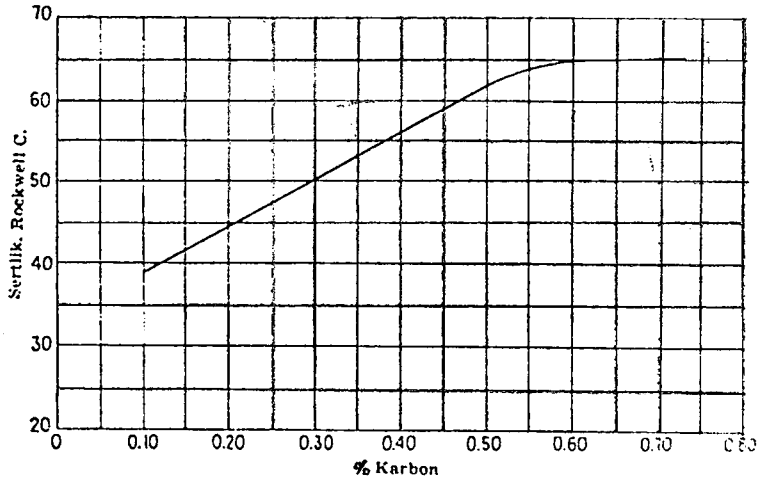
Field yöntemini örneklemek için, % 0.40 karbon, % 0.90 manganez, % 0.55 nikel, % 0.50 krom ve % 0.20 molibden ihtiva eden SAE 8640 çeliği örnek alınmıştır. Eğer jominy çubuğu hazırlamak için bu malzemedен hazırda yoksa, Jominy eğrisi yaklaşık olarak çizilebilir. Bu çeliğin ideal kritik çapı 93.47 mm olarak Grossmann metoduyla hesaplanır. Şekil 6.2'den de % 0.40 C için maksimum sertlik 56 Rockwell C 'dir ve bu değer başlangıç sertliği (IH)'ni temsil etmektedir. Bu sertlik değerinin, Jominy deney çubuğunda su verilmiş uçtan başlayarak 1.58 mm uzaklıktaki sertliği temsil ettiği düşünülmektedir.

Şekil 6.1'den de $D_1 = 93.47$ mm değerinden çizilen yatay doğrunun değişik konum eğrilerini kestiği noktalara karşıt düşen Jominy konumlarının IH / DH değerleri apsisten tayin edilir. Bulunan IH / DH değerleri, her Jominy konumundaki sertliği tayin edebilmek için (IH) değerine teker teker aşağıdaki gösterildiği gibi bulunur.

Jominy derinliği (mm)	IH / DH	IH / (IH / DH)	Hesaplanan Rockwell C
1.58	1.00	56 / 1.00	56.0
6.35	1.03	56 / 1.03	54.4
12.70	1.24	56 / 1.24	45.2
19.00	1.46	56 / 1.46	38.4



Şekil 6.1 İdeal kritik çapla, IH / DH başlangıç sertliğinin derinlik sertliğine oranının ilişkileri (Crafts ve Lamont, 1971; s.142)



Şekil 6.2 Jominy deney çubuğunun sulanmış ucundan 1/16'' lik uzaklıkta başlangıç sertliği ile karbon miktarı arasındaki ilişkiler (Crafts ve Lamont, 1971; s.143)

25.40	1.66	56 / 1.66	33.7
31.75	1.83	56 / 1.83	30.6
38.10	1.92	56 / 1.92	29.2
44.45	2.00	56 / 2.00	28.0
50.80	2.05	56 / 2.05	27.3

Bu bulunan değerler yardımıyla, da Jominy eğrisini çizmek mümkündür (Crafts ve Lamont, 1971).

6.2 Jominy Eğrilerinin Kimyasal Analizden Saptanılması

Deney yapmaksızın, kimyasal bileşimden yararlanılarak Jominy karakteristik değerlerinin yaklaşık olarak hesaplanması yapılabilmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi, sertleştirme sonrası, yüzeyde ulaşılabilecek sertlik değeri, çeliğin yalnızca karbon miktarına bağlıdır. Yüzeyden itibaren çekirdeğe doğru ise, sertlik dağılımına alaşım elementlerinin cins ve miktarı etki eder. Yüzeyden itibaren 6 ila 80 mm arasındaki mesafeler için, Jominy noktalarının sertlik değerleri, yaklaşık olarak şu bağıntı ile hesaplanabilir: (Topbaş, 1993)

$$J_{6-80} = 95\sqrt{C} - 0.0028 \cdot s^2 \cdot \sqrt{C} + 20 Cr + 38 Mo + 14 Mn + 6 Ni + 6 Si + 39 V + 96 P - 0.8 K - 12 \sqrt{s} + 0.9 s - 13 (RSD - C) \quad (6.1)$$

Burada;

J = Söz konusu derinlik için RSD – C olarak sertlik

s = Yüzeyden itibaren derinlik (mm)

K = ASTM tane büyüklüğü numarası

Yukarıdaki bağıntı, 6 – 80 mm aralığındaki yüzeyden itibaren mesafeler için ve aşağıda verilen alaşım elementi sınırları için geçerlidir:

$$C < \% 0.6, Cr < \% 2, Mn < \% 2, Ni < \% 4, Mo < \% 0.5, V < \% 0.2$$

Karbon hariç, alaşım elementlerinin 6mm'den daha az olan yüzeyden itibaren mesafelerde etkileri ihmal edilebilir düzeydedir. Bu nedenle, % 0.6'ya kadar karbon içeren çeliklerde Jominy alın yüzeyinde ve 6 mm'ye kadar mesafelerde sertlik için aşağıdaki bağıntı kullanılabilir:

$$J_0 = 60\sqrt{C} + 20 (RSD - C) \quad (6.2)$$

(Topbaş,1993)

6.3 Jominy Deneyi ve Sürekli Soğuma Diyagramları

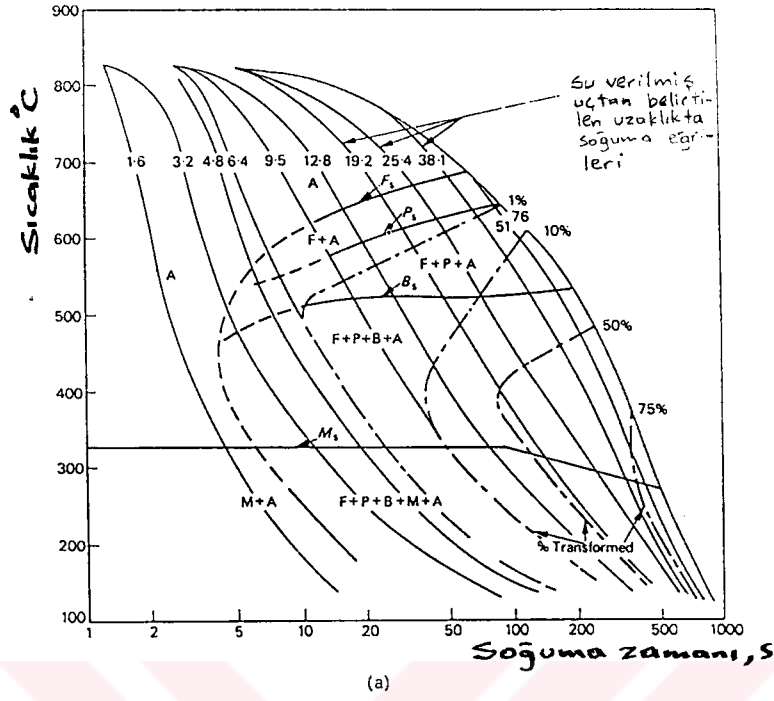
Bir sürekli soğuma diyagramı belirli bir çelikte farklı soğuma hızları boyunca meydana gelen fazları gösterdiğinden, jominy deneyinden elde edilen bilgilerle bu tip diyagramlar arasında bir bağlantı kurmanın mümkün olması gerekir. Jominy çubuğu üzerindeki her noktanın soğuma hızı karakteristikleri bilinir, böylece seçilmiş noktalarla ilişkili soğuma eğrileri bir sürekli soğuma diyagramı üzerine çakıştırılabilir. Sonuç olarak bir Jominy deney çubuğu boyunca belli noktalarda beklenen fazları tanımlayabiliriz. Soğuma hızlarının normal olarak su verilmiş çubuklarda belli noktalardaki soğuma hızları ile direkt olarak karşılaştırılması ile bu noktalardaki yapı tahmin edilebilir. Bunun gibi, Jominy sertlik bilgilerinden, özel bir yapının sertliği de belirlenebilir. Bir NiCr çeliği için tipik bir sürekli soğuma diyagramı, bu çeliğin sadece Jominy çubuğunun ilk 2 mm'sinde tamamen martenzitik olduğunu gösteren aynı malzemeye ait bir Jominy sertlik eğrisi (şekil 6.3b) beraberinde gösterilmiştir. (şekil 6.3a) Bu mesafenin ötesinde, yapıda ferrit, perlit ve beynit görülmeye başlar.

Üstüne basılarak söylenmelidir ki, Jominy deney çubuğu üzerindeki belli noktaların soğuma hızları çeliğin bileşimi değiştikçe daha geniş alanlarda çeşitlenecektir çünkü değişimler ısı iletkenlikle olur. Fakat düşük alaşımlı çelikler için durum bu kadar önemli değildir (Honeycombe ve Hancock, 1981).

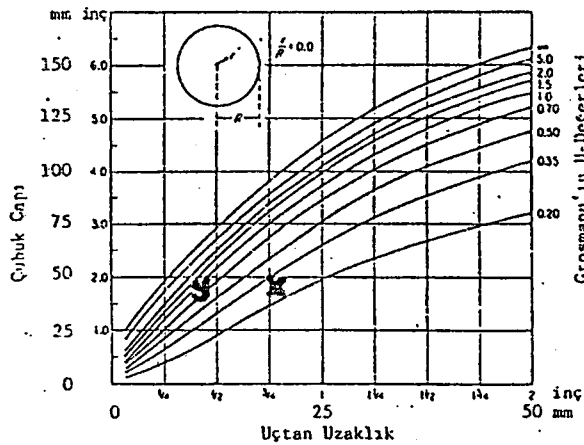
6.4 Jominy Eğrilerinin Kullanımı

Aşağıda; daha önceki bölümlerde de değinilmiş olan konuya bir örnekle pratiklik kazandırılmıştır.

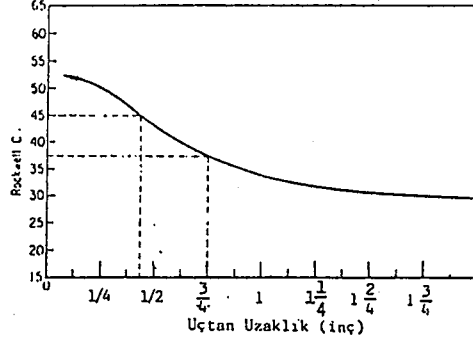
Jominy deneyi 25 mm çaplı çubukla yapılmaktadır. Pratikte ise çeşitli çap veya kare, dikdörtgen v.b. kesitli parçalara su verilmektedir. Üstelik su verme işleminde farklı soğutma ortamları kullanılmaktadır. Literatürde farklı çap ve soğutma ortamları ile farklı soğuma hızları (farklı soğuma hızlarının Jominy eğrisinde su verilen uçtan uzaklığa karşılık geldiği daha önceki paragrafta belirtilmişti) arasındaki ilişkiyi veren çok sayıda diyagram vardır. Böyle bir diyagram şekil 6.4'de görülmektedir. Diyagramın kullanımına ilişkin bir örnek



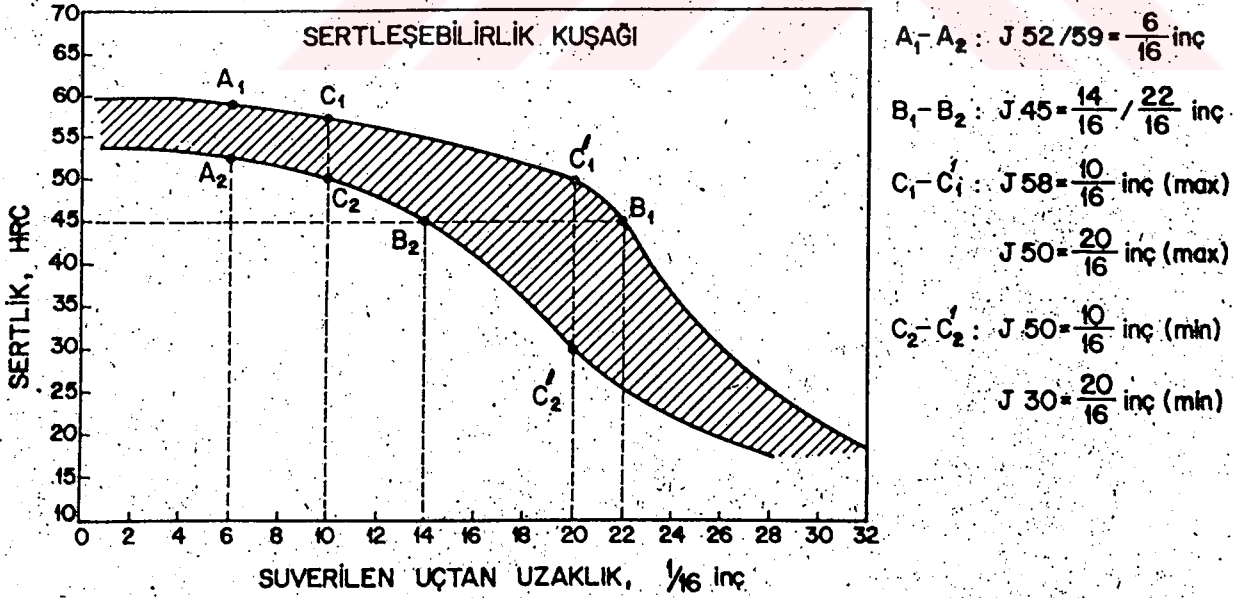
Şekil 6.3 a) 1.28 Ni, 0.7 Cr, 0.86 Mn, 0.26 Si, 0.41 C bileşimindeki çelik için SZSD diyagramı b) Aynı çeliğe ait Jominy sertlikleri (A = Östenit, B = Ferrit, P = Perlit, B = Beynit, M = Martenzit) (Honeycombe ve Hancock, 1981)



Şekil 6.4 Çeşitli su verme ortamlarında su verme çapı ile Jominy deneyinde uçtan uzaklık arasındaki ilişki (Ünal, 1991; s.66)



Şekil 6.5 4140 çeliğine ait Jominy deneyi eğrisi (Ünal, 1991; s.67)



Şekil 6.6 Sertleşebilirlik bantlarından sertleşebilirlik belirlenmeleri (Tekin, 1992)

verilirse: (şekil 6.4'deki diyagram su verilmiş çubukların merkezindeki sertliği vermektedir. $r/R = 0$ 'dır. $0 < r/R < 1.0$ olan çeşitli diyagramlar literatürde vardır.) (Burada r = merkezden uzaklık, R = çubuğun yarıçapı'dır.) Bir işyeri 4140 çeliğine orta şiddette hareketli yağ ortamında ($H = 0.35$) su vermek istesin. Çeliğin çapı 2 inç olsun. Su verme sonunda merkezde $RSD_c 42$ sertliği elde edilmesi planlanmaktadır. Çeliğin yapılan Jominy deneyinde elde edilen eğri şekil 6.5'de görülmektedir. Verilen koşullarda merkezde istenilen sertliğin elde edilip edilemeyeceğini şu şekilde belirlenir: Şekil 6.4'de 2 inç çapa ve $H = 0.35$ 'e karşılık gelen nokta X ile işaretlenir ve 3 / 4 inç su verilmiş uçtan uzaklığa karşılık gelen sertlik $RSD_c 37$ olarak belirlenir. İstenen sertlik $RSD_c 42$ olduğuna göre su verme ortamı bu sertliği sağlayamayacaktır. Su verme ortamının soğutma şiddetini değiştirir ve örneğin $H = 1.0$ alırsak şekil 6.5'de y noktasını buluruz. y noktasına karşılık gelen uçtan uzaklık 7 / 16 inçtir. Şekil 6.5'deki Jominy eğrisinde 7 / 16 inç uçtan uzaklık ise $RSD_c 45$ sertliğini vermektedir. Bu ortamda 2 inç çaplı çubuğun merkezinde istenenden yüksek sertlik elde edilecektir. Bu durumda ya sertleşebilme yeteneği daha fazla olan bir başka çelik seçerek $H = 0.35$ ortamını kullanmak veya H değeri 0.35 – 1.0 arasında bulunan bir su verme ortamı oluşturmak gerekir (Ünal, 1991).

6.5 Sertleşebilirlik Aralıklarını Belirtme Biçimleri

Birçok ülkelerin çelik standartları içine sertleşebilirlik bantları da alınmıştır. Bu standartlara göre çelik seçimi yapılacağı zaman, sertleşebilirlik değerlerinin belirlenip teknik şartnamelere geçirilmesi gerekir. Aşağıda bunun yöntemi gösterilmektedir.

Şekil 6.6'da hayali bir çeliğin sertleşebilirlik kuşağı görülmektedir. Eğer buna göre değerler belirlenecekse bunun temelde 4 biçimi vardır. Her birinde J – uzaklığı diye anılan ve 1 / 16 inç birimiyle ölçülen uzaklıklar kullanılır.

1. Bu bant üzerinde A_1 ve A_2 noktalarıyla gösterildiği gibi, uçtan belli bir uzaklıktaki, örneğin 6 / 16 inç, en düşük ve en yüksek sertlik değerleri verilebilir. Sertlik değerleri RSD_c olarak verilir.

$A_1 - A_2$: $J52 / 59 = 6 / 16$ inç. Buna göre su verilmiş uçtan 6 / 16 uzaklığında sertlik en az 52 RSD_c ve en çok 59 RSD_c istenmektedir.

2. B_1 ve B_2 noktalarıyla gösterildiği gibi, belli bir sertlik değerinin, örneğin 45 RSD_c , bulunabileceği en yakın ve en uzak noktalar verilebilir:

$B_1 - B_2 : J45 = 14 / 16 / 22 / 16$ inç.

3. C_1 ve C_1' noktalarıyla gösterildiği gibi, istenilen iki uzaklıktaki en yüksek sertlik değerleri verilebilir:

C_1 ve $C_1' : J50 = 10 / 16$ inç (en çok)

$J30 = 20 / 16$ inç (en çok)

4. Bir öncekine benzer biçimde fakat istenilen iki uzaklıktaki en düşük sertlik değerleri verilir:

C_2 ve $C_2' : J50 = 10 / 16$ inç (en az)

$J30 = 20 / 16$ inç (en az)

Yukarıdaki gösteriş biçimlerinden en çok kullanılanlar ilk ikisidir (Tekin, 1992).



7. SERTLEŞEBİLME VE MEKANİK ÖZELLİKLER

Isıl işlem görmüş çeliklerin bir dizi mekanik özellikleri vardır ki bunlar, materyalin gerilmelere maruz kaldıkları zaman göstereceği davranışı belirlerler ve parçalar dinamik yüklerin etkisinde kaldıklarında sonuç olarak ortaya çıkan gerilmeleri belirtirler. Bunlar parçaların dizaynında büyük önem taşırlar ve bu nedenden de uzun ömürlü yapılar veya makinaların ekonomik olarak yapımlarında büyük önemleri vardır. Bu özellikler temel olarak çekme direnci ve sertliğe bağlı olup çeliğin sertleştirilmesi sırasındaki sertleşebilme kabiliyetinin etkisi altındadırlar. Çekme direncine bağlı özellikler, minimum sertleşebilmenin ve tatminkar servis için maksimum çekme direncinin belirlenmesi ve saptanmasında kontrol edici bir önem taşırlar.

Dirence bağlı özelliklerin hepsinin az çok bir duyarlılıkla önceden belirlenmesi mümkündür. Yorulma direnci niceliksel işlemlere en az uysallık gösteren özelliktir fakat belki de, en az akma direnci kadar da yapısal duyarlılıktadır. Denemeler göstermiştir ki, bir dereceye kadar deformasyon kapasitesi daha iyi bir servis sonucu doğurmaktadır. Enerji absorbe edebilme ölçülerinden uzama ve alan daralması, bu ölçümler genellikle aynı eksenli yüklemelerle, yani çeliklerin ani olarak kopmalarından çok, yavaş yavaş şekil değiştirmelerine imkan verecek şekilde uygulandıklarından nispeten duyarsızdırlar. Diğer taraftan, çentikli çubuk deneyi ise, serviste genel olarak rastlanan üç eksenli yükleme şartlarına daha çok yaklaşan bir tarzda dizayn edilmiştir.

Mekanik özelliklerin çeliğin sertleştirilmiş yapısının hemen hemen tamamen martenzitten meydana geldiğinde geliştikleri ve optimum değerlerine eriştikleri açıktır. Verilen bir çekme direncinde, en azından 7030 – 14060 kg / cm² değerleri arasında, yapısı martenzit ve bainit olan çelik menevişlendikten sonra yapısı tamamen martenzit olan bir çeliğe göre daha düşük bir akma oranı, daha düşük bir dayanıklılık oranı, daha düşük uzama ve alan daralması ve daha düşük bir darbe direncine sahip olmakta fakat sulanmış yapısında fazla perlit bulunan çeliklere göre de önemli derecede üstünlükleri bulunmaktadır. Bu nedenle, genel olarak, sertleştirildiği zaman çubuk merkezinde duyulur miktarlarda perlit bulunmayan yeter derecede sertleşebilme niteliği olan bir çelik seçimi sağlık verilmelidir (Crafts ve Lamont, 1971).

8. ÇELİK SEÇİMİNDE SERTLİK VE SERTLEŞEBİLME AÇISINDAN FAKTÖRLER

Bir yapıda veya bir makinada gerilme altında kullanılan bir karbon ya da düşük alaşım çeliğinin seçiminde düşünülecek pek çok faktör vardır. Şüphesiz bunlardan en önemlileri güvenilirlik ve ekonomik olmaktır. Güvenirlik büyük ölçüde servis gereklerini karşılayacak olan mekanik özelliklere dayanmaktadır. Bunlar da sırasıyla kimyasal bileşim, ısıl işlem, sertleşebilme ve diğer faktörlere bağlıdır.

Çelik seçimi için önce servis gereklerinin bir değerlendirmesini, ve bunu izleyerekte bu değerlerin mekanik özellikler cinsinden bir açıklamasını yapmak gerekir. En önemli özellik çekme direncidir. Akma direnci, dövülgenlik ve dayanıklılık gibi diğer özellikler sertleşebilme yoluyla çekme direncine bağlıdır. Çeliğin bileşiminin tahmin ve belirlenmesi, arzulanan çekme direncini geliştirebilmek için gerekli ısıl işlemin saptanması bir seri basit hesap sonucu elde edilir. Bundan sonra mekanik bir hesap yoluyla, içinden seçim yapılabilecek benzer özellikleri bulunan bir çelik grubuna erişilir. Bu noktadan sonra yapılacak seçim ise artık fabrikasyon sırasında gereksiz zorluklar yaratma eğiliminde olan çeliklerin ayrılması şeklinde olur.

Eğer bütün elle tutulan akla yakın faktörler doğru bir şekilde değerlendirilmişse, çeliğin seçimindeki son aşama fiyatına bağlı olur. Genel olarak en ekonomik çeliğin maliyeti sertleşebilmesi veya dayanıklı olarak erişebileceği çekme direnciyle ve içindeki alaşım elemanlarının cins ve miktarlarıyla orantılıdır.

Önemli değişiklikler ortaya koyan farklı kimyasal bileşimler arasından belirli bir uygulamanın gerekleri seçimi belirli bir grup çeliğin tekeline bırakır. Örneğin, parça aşınmaya maruz kalacaksa, özellikle yüzeyi sert olmalıdır bu takdirde seçim yüksek karbon, sementasyon ya da nitrürasyon çelikleri ile sınırlanır. Eğer parçanın kesiti küçükse karbon çeliğine suda su vermek yeterli olur. Eğer kesiti nispeten büyükse alaşım çeliği gerekli olabilir ve bileşimdeki karbon miktarında, çeliğe şiddetli su verildiği zaman çatlama eğilimini önlemeye yetecek miktarda sınırlı olur. Eğer sadece yük taşıma özelliği isteniyorsa, servis özellikleri darbeye dayanıklılığına bağlı olabilir.

Çeliğin yapısı tam martenzit olacak şekilde su verilmesi ve bünyesinde önemli iç gerilmeler bulunmamak kaydıyla, bütün düşük alaşımli çeliklerde kimyasal bileşime ve ısıtılma işlemine bağlı olmaksızın belirli bir çekme direnci düzeyindeki, akma direnci, uzama, alan daralması ve çentikli çubuk darbe direnci gibi özellikler yaklaşık olarak aynıdır. Keza özelliklerin bir benzerliği, tam sertleştirilmiş çeliklerde, ilişkileri değiştirmeye sebep olmadan bir alaşım elemanının diğeri ile yer değiştirebileceğini de göstermektedir. Bu korelasyon sertleşebilme bazına göre çelik seçebilme özgürlüğü için temel koşuldur. Tam sertleşmemiş çeliklerde de kısmi sertliğin derecesi aynı olduğu takdirde değişik tipteki alaşım çeliklerinin özelliklerinde yukarıda anlatılanlara analogik bir benzerliğin olacağı varsayılmıştır. Alaşım elemanlarında değiştirme prensibi, ikinci dünya savaşında stratejik yönden kritik alaşım elementleri kullanılan çelikler yerine kullanılan “National Emergency” çeliklerinin başarıyla kullanılması sonucu genel olarak doğrulanmıştır. NE çeliklerinin eski çeliklerle yer değiştirmedeki tek eksik yönü bileşimin bazı fabrikasyon özellikleri yönünden dengelenmemiş olduğu durumlarıdır. Değiştirme prensibinin geçerliliğinden ötürü çelikleri sertleşebilmelerine ve dolayısıyla ısıtılma işlemi sonucu elde ettikleri özelliklerine göre gruplandırmak mümkündür.

Arzu edilen özellikleri geliştirebilecek uygun bir çelik grubu seçince de bu grup içinden işleme prosesleri sırasında gereğinden fazla zorluk gösteren çeliğin ayrılması için ikinci bir seçim yapılabilir. Bazı çelikler çok kolay dekarbürize olur, bazılarını tavlama zorudur, bazılarını talaş kaldırarak işlemek zorudur, bazıları anormal kırılma eğilimindedir, bazıları su verme esnasında çarpılır ve çatlar ve bir kısmında ise ısıtılma işlemi kararlı olarak yapabilmek zorudur (Crafts ve Lamont, 1971).

8.1 Çeliğin Çalışma Niteliğini Etkileyen Özellikler: Tam Sertleşme

Bir çelikten özelliklerinin optimum derecesini elde edebilme, çeliğin bütün diğer işlemlerinden çok su verme esnasında tam sertleşmeye erişebilme derecesine bağlıdır. Su verme sonrası en yüksek sertlik derecesine yapısı tamamen martenzit olan tam sertleşmiş çeliklerde erişilir ve menevişlemeden sonra bu çeliklerde çekme direncinin, akma direnci, dövülgenlik ve dayanıklılıkla en yüksek kombinezonu, değişik alaşım kombinezonlarındaki ısıtılma işlem çeliklerinde, kararlı ve sürekli bir şekilde elde edilebilir. Bu nedenle, martenzit yapı tam sertleşmemiş yapıların değerlendirilmesinde güvenilir ve uygun bir bazdır ve optimum nitelikleri temsil eden bir standart olarak düşünülmektedir.

Eğer çelik aşırı sulanmış (martenzitin yanında sertliğin düşmesine neden olan önemli miktarda kalıntı östenit bulunduğunu belirten terim) ise ya da martenzit oluşumu oda sıcaklığında tamamlanmamışsa östenitin varlığından dolayı su verilmiş konumdaki sertlik nispeten oldukça düşük olabilir ve menevişleme sertliği de, menevişleme sırasında östenit dönüşümü olması dolayısıyla arzu edilenden yüksek olabilir. Bu yapısında östenit tutma eğilimi, bazı otomotiv ısıtma işlem ve sementasyon çeliklerinde algılanır derecededir. Bu özellik bir dereceye kadar sertleşebilmekle orantılıdır, ama bileşiminde nispeten yüksek nikel ve manganez bulunan çeliklerde daha fazla algılanabilme eğilimi gösterir. Bu duruma uyan maksimum altı sertlik, Jominy deney çubuğunda su verilmiş uca yakın yerlerde görülür. Serviste çalışmaları sırasında boyutsal ölçülerini korumaları kaçınılmaz olan dişlilerde arzu edilmeyen bir özelliktir. Bu durum, çelikte gerektiğinden fazla alaşım elemanı bulunduğu zaman ortaya çıkan bazı erken kırılma ve bozulmaları da açıklar (Crafts ve Lamont, 1971).

8.2 Çeliğin Çalışma Niteliğini Etkileyen Özellikler: Tam Olmayan Sertleşme

Tam sertleştirilmemiş çeliklerin su verilmiş yapıları kısmen martenzittir ve bunlar menevişlenince yalnız çekme dirençleri düşük olmakla kalmaz tam sertleşmiş çeliklere göre diğer bütün özellikleri de daha düşük olur. Bu nedenle yeter derecede dövülgenlik ve dayanıklılık elde etmek için çekme direncinden gerektiğinden çok daha fazla fedakarlık etmek gerekir.

Tam sertleşebilecek bir çelik seçme arzusuna rağmen maksimum özellikler gereğinin kullanılmadığı, tamamının ortaya konulmadığı, pek çok uygulama vardır. Bu gibi uygulamalarda, parçaya gelen kuvvetin karşılanmasında çekme direncinin tamamından yararlanılmamakta böylece zaman zaman ortaya çıkabilecek aşırı yüklerle dayanacak, tekrarlanan yüklerin ortaya çıkaracağı yorulmalara karşı koyabilecek ve erken ya da ani kırılmalardan sakınılmaya yarayan yedek bir dayanıklılık sağlayan “yastık (tampon)” bir çekme direncine ihtiyaç duyulmaktadır. Konu edilen dirence bağlı özelliklerden en kritik olanı darbe direnci olarak görünmekte bir çok uygulamada çalışma (servis) niteliğini temelden etkileyen ana kalite olarak düşünülmektedir. Bu kavrama dayanarak önceden yapılan tahminlerin, denemelere dayanarak yürütülen genel uygulamalar ile çok iyi uydukları gözlenmiştir (Crafts ve Lamont, 1971).

8.3 Sıcak İşlemeyi Etkileyen Faktörler

Sıcak işlemede, değişik düşük alaşımlı çelikler arasındaki fark küçüktür. Pek çoğunun dövülmeleri ya da haddelenmeleri karbon çeliğinden biraz daha zordur. Örneğin % 0.40 karbonlu düşük alaşım çeliğinin yüksek sıcaklıkta şekillendirmeye direnci aşağı yukarı % 0.60 – 0.70 karbonlu alaşımsız karbon çeliğinin direncine eşittir. Ayrıca, alaşım elemanlarının varlığından dolayı artan sertlik ve tokluktan ötürü, düşük alaşım çeliklerinin kritik sıcaklık altındaki sıcaklıklarda dövülmemelerine dikkat etmek gereklidir; aksi durumda iç çatlamlar meydana gelebilir. Düşük alaşım cinslerinde dövmedeki zorluk yükselen karbon miktarıyla biraz artar (Crafts ve Lamont, 1971).

8.4 Makinada Talaş Kaldırarak İşlemeyi Etkileyen Faktörler

Talaş kaldırma zorluğu, çeliğin sertlik ve çekme direncinin yüksekliğiyle diğer bütün özelliklerinden daha fazla artar.

Düşük alaşımlı çeliklerin talaş kaldırma işlemi esnasında 200 Brinell'in altında bir sertlik kullanılmalıdır.

Yüksek sertlik derecelerinde makinada işlem yapmak zorsa da bundan her zaman kaçınmak mümkün değildir. Derin sertleşen sementasyon çeliklerinin semente edilmemiş kısımlarını, su verildikten sonra eğer karbon miktarları maksimum % 0.12'yi ve sertlikleri 40 RSD_c'yi geçmiyorsa makinada talaş kaldırarak işleyip bitmiş iş haline getirmek mümkündür. Bu çeliklerde vanadyum maksimum göbek sertliğini önemli ölçüde düşürme eğilimindedir. Yüksek alaşımlı çelikler ise güçlüklerle beraber 400 Brinell'in biraz üstündeki düzeylere kadar işlenebilirler. Kritik altı soğutma hızlarında kolayca bainite dönüşme eğiliminde olan krom ve molibden çeliklerini makinada talaş kaldırarak işlemek, bainit oluşum imkanı kuvvetle bastırılan çeliklere göre daha kolaydır. Mikro ayrışma sonucu yapıda eser miktarda dahi bulursa martenzit, talaş kaldırmayı ölçüsüz oranda zorlaştırır. Talaş kaldırma konusunda Bor'un etkisi değişiktir. Bu eleman sertleştirilmemiş çeliğin sertliğine çok az katkıda bulunur, öyleki bor çelikleri aynı sertleşebilme niteliğindeki geleneksel alaşım çeliklerine göre tavlandıktan ya da normalize edildikten sonra nispeten daha yumuşak olurlar ve talaş kaldırma yoluyla çok daha kolay işlenirler. Bu özellik Bor'un son derece etkili ve kuvvetli olduğu düşük karbonlu çeliklerde özel bir değere sahiptir, çünkü bu çeliklerde

yüksek sertleşebilme elde edebilmek ancak büyük miktarlarda alaşım elemanı kullanmakla mümkün olmaktadır (Crafts ve Lamont, 1971).

8.5 Çelik İşlemlerindeki Diğer Önemli Değişkenler

Sementasyon işleminde, genel olarak kullanılan alaşım çelikleri arasında büyük değişiklikler vardır. Bütün sementasyon işlemlerinde, sementasyon sıcaklığının yüksekliği oranında kabukta yüksek karbon yoğunluğu ve daha büyük kabuk derinliği elde edildiği genellikle doğrudur. Karbür oluşumuna yardımcı olan krom, manganez ve molibden gibi elementler sıcaklığın artımına benzer bir etki yaparlarken, nikel ve silisyum gibi, karbür oluşumuna karışmayan elementler de aksi yönde bir etki gösterme eğilimindedirler. İster pozitif ister negatif olsun, alaşım elementlerinin etkisi, katkıda bulunacak yönde olmakta böylece karbon yoğunluğunu ve kabuk derinliğini hem tavlama çevrimi hem de bileşim yönüyle kontrol etmek mümkün olmaktadır.

İnce tane boyutu kabuk derinliğini azaltıcı eğilimdedir. Bazı düşük alaşım çeliklerinde özellikle nikelli çeliklerde, su verme sonrası kalıntı östenit bulunabilir ve bu hal düşük sertlik (RSD_c 55 kadar) le sonuçlanabilir. Bu hal genellikle zararlıdır fakat bazen boyutsal duyarlığın gerekli olmadığı dişlilerde yararlı olarak düşünülmektedir. Gerekirse, kalıntı östeniti uygun bir sıfır altı ısıl işlemle martenzite çevirmek kabildir.

Oksitleyici atmosferde yapılan su verme tavlı sırasında oksijenin çeliğin yüzeyinden içeriye doğru işleyen dekarbürize edici ve çeliğin içindeki elemanların da yüzeye doğru, tufallaşmaya yol açan, bir akımları vardır. Alaşım elemanlarının varlığı çeliğin dekarbürasyon ve tufallaşmaya olan bağıl eğilimlerini etkiler. Manganez ve krom dekarbürasyonu azaltırken, nikel artırır ve nispeten yüksek silisyum, molibden ve vanadyumun varlığında da değişik eğilimler gözlenmiştir. Genellikle, bileşimin bu yöndeki etkisi, tav fırını atmosferinde meydana gelecek önemsiz değişmelerin yarattığı etkilere oranla çok daha düşüktür.

Kalıntı gerilmeler, çarpılma ve su verme esnasında çatlama gibi problemler çeliğin kimyasal bileşimi dışındaki faktörlerin daha büyük ölçüde kontrolündedir. Bu gerçek özellikle bu yetersizliklere duyarlı olan ana çelik gruplarının tanımlanıp elemine edilmeleriyle, daha geçerli olur. Gerçi tav fırınında parçanın yeterince desteklenmemesi ve düzensiz ısıtma yoluyla çarpılma meydana gelebilirse de çarpılma problemlerinin büyük çoğunluğu su verme sırasında martenzit oluşumu ile meydana gelen hacim artmasından ileri gelmektedir. Hacim

değişmesi karbon miktarının yüksekliği ve martenzit oluşum sıcaklığının düşüşü ile daha büyüktür. Jaffe ve Hollomon su verme çatlama sıcaklığının düşük M_s sıcaklığıyla arttığını ileri sürmüşlerdir. Nikel çelikleri, çarpılma ve çatlama karşı düşük östenitleme sıcaklıklarından ötürü daha az duyarlı kabul edilmektedirler ama silisyum alaşımlı çeliklerde nispeten bu oran yükselir. Karışık tane büyüklüğü ve yapısal anormallikler arzu edilmez. Sementasyon çeliklerinde deoksidasyon işleminin şekli önemlidir ve kirli (bileşimi tam bilinmeyen) çelikler, özellikle önemli ölçüde manganez içerenler kolayca çatlama eğilimindedirler.

Grosman'da kalıntı östenitin ve kontrollü yapılan menevişlemenin hacim değişmesi üzerinde maddi etkileri olduğunu göstermiş ve böylece aynı yoldan kalıntı iç gerilmelerin giderilebileceğini ifade etmiştir. En belirgin faktör soğutma hızının büyük önemi olduğudur. Çarpılma ve çatlama en çok suda su vermede daha az derecede yağda ve bundan da az ölçülerde ergimiş tuz banyolarındaki su verme işlemlerinde görülür. Martempering yoluyla ise parça içindeki sıcaklık dağılımı M_s sıcaklığının hemen üstünde denge konumuna getirildiği için minimum düzeye indirilmiş olur.

Kaynak edilebilme özelliği de pek çok uygulama için gözönünde bulundurulup düşünülmesi gereken bir özelliktir. Bu özellik kompleks bir özellik olup tanımlaması da güçtür. Karbon ve alaşım elemanlarının kaynak edilebilme özelliğine etkileri ve kaynak edilmiş kesitin özellikleri yönünden çok büyük çalışmalar yapılmış olup, bunları burada şematik olarak dahi verebilmek mümkün değildir.

Genel olarak herhangi bir düşük alaşım çeliği, eğer karbon miktarı 0.15 ila 0.18'in üstüne çıkmıyorsa ve eğer çelik yeterince sığ sertleşen cinsten olup da kaynak bölgesinin dolaylarındaki dokusunda ani soğumadan ötürü martenzit ya da sert bainit oluşturmuyorsa, çarpılma veya çatlama tehlikesi olmadan ve kaynak bölgesinin önceden tavlanamasına gerek kalmadan kaynak yapmak mümkündür.

Eğer metal kaynak işlerinde, kaynağın dolaylarında ya karbonun çok yüksek olmasından veya mevcut alaşım elemanlarının kaynak şartları dolayısıyla normal olarak soğuma hızına erişip sertleşme doğurması sonucu sertleşiyorsa bu takdirde kaynak edilecek kesit önceden 205 ila 540°C dolaylarına kadar ısıtılmadıkça çarpılma ya da çatlama meydana gelir. Bu ön tavlama sıcaklığının derecesi çeliğin duyarlılığına ve alaşım miktarına bağlıdır. Çatlama ya da çarpılmanın önlenmesi için gerilmelerin giderilmesi için kaynaktan sonra bir tavlama yapıldığı

gibi bazen hem kaynak öncesi tavlama hem de kaynak sonrası tavlamanın her ikisi birden uygulanır (Crafts ve Lamont, 1971).

8.6 Çelik Seçiminin Genel Prensipleri

Çeliğin servis kabiliyetini etkileyen özelliklerin hepsi karbon miktarına, tane büyüklüğüne ve sertleşilmeye bağlıdır. Normal şartlar altında karbon miktarı ve tane büyüklüğü uygulamanın gerekleri ve proses metodları yoluyla kontrol edilir. Çekme direnci ve ona bağlı özellikler söz konusu oldukça, genel alaşım elemanlarından herhangi biri çoğu durumda diğeriyle değiştirilebilir. Eğer özel belirli bir şart yoksa, kullanılacak alaşım elemanının seçimi maliyeti, kolay bulunabilmesi ya da kişisel seçim yoluyla belirlenir.

Eğer parçadan istenen direnç düşük, kesit dar ve çalışma şartları çok zorlu değilse suda su verilebilen bir çelik seçilmekle yetinilebilir. Böyle bir halde tam sertleşme ne gerektir ne de beklenir ve düşük alaşımlı bir çeliğin yeterli olması mümkündür, ancak suda su vermede çatlamayı önlemek için karbon miktarı % 0.35'i geçmemelidir. Eğer daha zor ve ağır çalışma şartları varsa ve çatlama olmadan daha yüksek sertlik gerekiyorsa yağda su verme veya ergimiş tuz banyosunda sertleştirme gerektir. Bu durumda da karbon miktarı daha yüksek olacaktır ama bu yükselme, basit kesitler dışında, muhtemelen % 50'yi aşmayacaktır. Çeliğin karbon miktarı ve soğuma hızı (su verme ortamı) belirlendikten sonra da artık hesaplama işlemlerine başlanabilir.

Gerekli sertlik derecesi parçanın servisteki çalışma şartlarından belirlenmelidir. Eğer maksimum güvenilirlik gerekiyorsa çelik su verme esnasında tam sertleştirilmeli ve menevişlemede yeterince yüksek sıcaklıkta yapılmalıdır ki parça kafi dövülgenlik, dayanıklılık ve diğer gerekli özelliklerine yeter derecede sahip olsun. Eğer daha az zor şartlarda bir çalışma söz konusu ise bu takdirde bazı uzlaşmalara izin verilebilir. Bu durumda özelliğin derecesi sertleşebilmenin martenzit yüzdesi olarak ya da maksimum potansiyel sertlikle tahmin edilen su verilmiş sertlik arasındaki fark olarak ifade edilebilir (Crafts ve Lamont, 1971).

8.7 Standart – Dışı Bileşimlerdeki Bir Çeliğin Seçimi

Genellikle bir alaşım çeliği bileşimi üzerinde çalışırken önemli ölçüde kişisel yargıya dayanmak gereklidir. Tek başına manganez % 2 miktarlarına kadar genellikle

kullanılmaktadır fakat derin sertleşen çeliklerde bu yüksek manganezi diğer alaşım elementleriyle bir araya getirebilme gayretleri genellikle kalıntı östenit oluşumundan ötürü su verme çatlaması, tavlama zorlukları, düşük yorulma direnci, zayıf dayanıklılık gibi zorluklara yol açmaktadır. Keza nispeten yüksek manganez içeren çeliklerde ince tane büyüklüğünü koruyabilmekte zordur. Bu yüzden çelikteki manganez miktarı biraz düşük tutulmalı ve diğer elementler eklenmelidir. Bu nedenle orta ve derin sertleşen çeliklerde manganez miktarı, sertleşebilme düşüncelerinden hariç düşüncelerle % 1'in altında tutulur. Silisyum genellikle 0.25 ila 0.35 miktarlarında bulunur ama çok başarılı olarak % 1 ve % 2'ye kadar kullanılmıştır. Bununla beraber eğer çelik % 1 ve % 2 arasında silisyum içerirse haddeleme ve dövme sırasında zorluklarla karşılaşılabilir. Nikel ise, tavlama bazı zorluklara rastlanmasına ve kötü yüzey konumuna yol açmasına rağmen genellikle % 5'e kadar kullanılmaktadır. Krom, Simens – Martin fırınlarında % 1'in biraz üstüne, elektrik fırınlarında ise daha yüksek seviyelere kadar kullanılır. Simens – Martin fırınındaki sınırlama fırının soğuk alaşım metalini banyosunda ergitebilme kabiliyetiyle ilgilidir, ayrıca çelik potaya alınırken ferrokrom alaşımlarını ekzotermik pota – katışım maddeleriyle birlikte vererek daha yüksek kromlu çelikler yapmak mümkündür. % 2'nin üstünde kromlu çelikler nispeten yüksek sertleştirme sıcaklığı gerektirirken, aynı durum, çelikte % 0.5 ya da daha fazla molibden olduğu halde de geçerlidir. Bor ile deokside edilmiş çelikler ise, çelik su verme esnasında tam sertleştirilecekse kullanılmalı ve kaynak edilecek kesitlerde de bor kullanılmasından kaçınılmalıdır (Crafts ve Lamont, 1971).

8.8 Standart Bileşimde Bir Çeliğin Seçimi

Pek çok sayıda kullanıcının denemeleriyle denenmiş geniş bir bileşim alanını kaplayan SAE ve AISI çeliklerinin varlığı her uygulama problemi için yeni bir çelik şartnamesi hazırlanması gereğini ortadan kaldırmıştır. Üstelik bu çeliklerden yeter miktarda ve fazla tonajda üretildiğinden hem kullanıcıların hem de üreticilerin bunların karakteristikleriyle yakınlığı vardır.

Düşük alaşımlı ısı işlem görmüş belirli bir çeliğin yapıyla ilgili, sertlik, çekme direnci (akma direnci ve uzama ile alan daralması gibi dövülgenlik faktörleri), yorulma dayanıklılığı sınır ve darbe direnci gibi özellikleri temel olarak sertleşebilme ve tane büyüklüğüne bağlıdır ama bilinen belirli kimyasal bileşimdeki bir çelikten akla yatkın olarak beklenebilecek çekme direncini (ve buna bağlı özelliklerin) belirtmek için ek bilgi gereklidir. Böyle bir bilgi, örneğin, çeliğin su verildiği ve menevişlendiği özel koşulların ayrıntılarını kapsar. Ayrıca bu

koşullar büyük ölçüde değişebildiğinden kimyasal bileşim, ısıl işlem ve özelliklerle değişik metodlarla hesaplanan özellikler arasında çok geniş tutulan bir genellemeye gitmek şüphesiz ki güven verici değildir.

Bu gruptaki çeliklerde bir alaşım elemanının diğeri ile yer değiştirmesi, denenmemiş çeliklerdekine göre daha büyük bir güvenle yapılabilir. Bu nedenden aynı sertleşebilme kabiliyetindeki farklı çelikler için üretim maliyetlerinin daha dar sınırlar içinde değişmesi beklenebilir ve maliyet karşılaştırmalarının pratik önemi de artar (Crafts ve Lamont, 1971).



9. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Konuya esas Jominy deneyleri, % 0.4, % 0.5, % 0.7 C içeren 3 tür sade karbonlu çelik ve 2344 BÖHLER Sıcak iş takım çeliği üzerinde yapılmıştır. Deneyde, soğutma ortamının basınç ve bileşimi parametre olarak değiştirilerek bunların sertleşebilirlik üzerindeki etkileri saptanmıştır.

Deneylerde tam bir karşılaştırma yapabilmek için olanaklar elverdiğince nominal şartlar altında çalışma yapılmıştır. Jominy deneyi'ne özgü su verme biçimi aşağıdaki ortam ve şartlar kullanılarak irdelenmiştir.

- 1- Standart su basıncı (65 mm su sütunu), musluk suyu (~ 23°C)
- 2- Su basıncı 130 mm su sütunu, musluk suyu (~ 23°C)
- 3- Standart su basıncı, tuzlu su çözeltisi (% 10 NaCl; ~ 23°C)
- 4- 0.75 bar basınçta hava ve 2 lt / dak debideki su ile oluşturulan basınçlı hava – su karışımı (~ 23°C)

9.1. Deneyde Kullanılan Örnekler

Kimyasal bileşimleri:

Deneylerde aşağıda bileşimleri verilen üç farklı sade karbon çelikleri ve 2344 malzeme nolu sıcak iş takım çeliği (X40CrMoV51) kullanılmıştır.

Karbonlu çeliklerin kimyasal bileşimleri aşağıda verilmiştir:

	C	Mn	P. max	S, max
1040	0.37 – 0.44	0.60 – 0.40	0.040	0.050
1050	0.48 – 0.55	0.60 – 0.10	0.040	0.050
1070	0.65 – 0.75	0.60 – 0.90	0.040	0.050

(Benscoter, 1985)

2344 (X40CrMoV51) Sıcak iş takım çeliği hakkında bilgiler:

- Analiz sonuçları : C 0.4, Cr 5.0, Mo 1.3, V 1.1 %
- Malzeme no : 2344
- AISI : H 13
- DIN 17006'ya göre : X40CrMoV51

Nitelikleri ve kullanıldığı yerler:

Yüksek randımanlı, sıcağa ve aşınmaya çok dayanıklı bir çeliktir. (özellikle % 5 Cr içeren çelik grupları içinde) İş burcu, matrisler, pres zımbaları ve burçları, pres aynaları ve pres damgaları için tercih edilir. Ayrıca, hafif metallerin işlenmesinde kullanılan pres dövme kalıp ve takımları, dövme makinalarında damga, zımba, vida, somun ve perçin imalatında kullanılan matris ve zımbalar için uygundur.

Yüksek meneviş dayanıklılığı dolayısıyla bu çelik bilhassa Nitrit banyosu için son derece elverişlidir. (Assab & Korkmaz Takım Çelikleri El Kitabı ve Böhler Steels Handbook)

Isıl işlem değerleri:

- Dövme tava : 1100 – 900°C
- Yumuşatma tava : 800 – 840°C
- Tav (teslim) sertliği : 204 – 234 Brinell
- Sertleştirme sıcaklığı : 1040 – 1080 (yağda veya havada)
- Elde edilebilen sertlik : 52 – 56 Rockwell C (yağda)
50 –54 Rockwell C (havada)

Örnek sayısı:

Deneylerde, her çelik bileşimi için 4'er adet olmak üzere toplam 16 adet standart Jominy deney çubuğu kullanılmıştır.

Örnek boyutları ve hazırlanışı:

Numuneler standart Jominy deney çubuğu ebatlarına (ϕ 25 mm x 100 mm); torna tezgahında, faturalı tarzda, ince bir torna klemi kullanılarak indirilmiş, ayrıca gene torna tezgahında ince bir zımbara ile yüzeyde kalan kalem izleri yok edilmeye indirilmeye çalışılmıştır.

Örnekler, sertleştirme sonrası meydana gelebilecek muhtemel bir karışıklığı önlemek amacıyla su verilecek yüzeyin aksi tarafından stampalar yardımıyla kodlanmışlardır.

9.2 Deney Donatımı

Elektrik direnç fırını:

Kullanılan fırında maksimum 1200°C çalışma sıcaklığına ulaşabilmekte ve termostadı sayesinde sıcaklık sabit tutulabilmektedir. (Şekil 9.1)

Su deposu:

Jominy deney tesisatındaki su çıkış borusunun ucundan itibaren 150 mm su sütunu yüksekliği sağlayacak kadar yüksekliğe yerleştirilmiş (3 m) 100 x 60 x 60 mm ebatlarında bir su deposudur.

Su deposu ile Jominy tesisatı arasındaki su tesisatı:

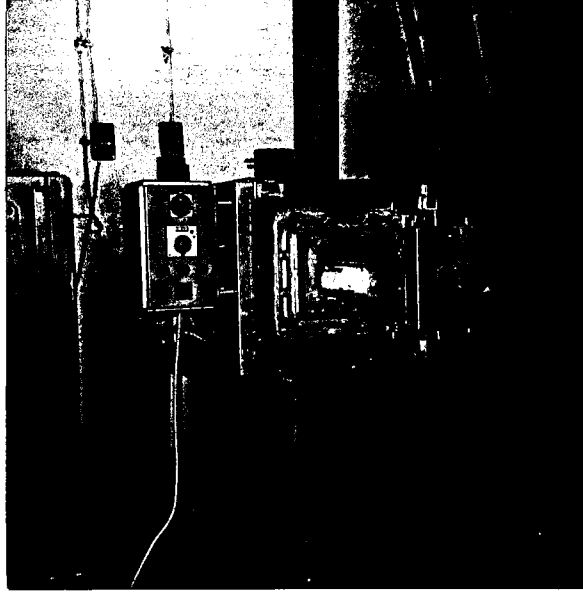
Gerekli su debisini sağlamak ve debiyi azaltacak kıvrımların önüne geçmek amacıyla nispeten kalın tutulmuş 40 mm çapında mukavim bir su borusu, gerekli maşon, nipel ve vana bağlantı ekipmanlarını içerir. Ayrıca, kullanılmış soğutma suyunun çabuk ve kolay tahliyesini sağlayan küçük bir çamaşır makinası pompası Jominy tesisatının çıkış bölümüne eklenmiştir.

Jominy tesisatı:

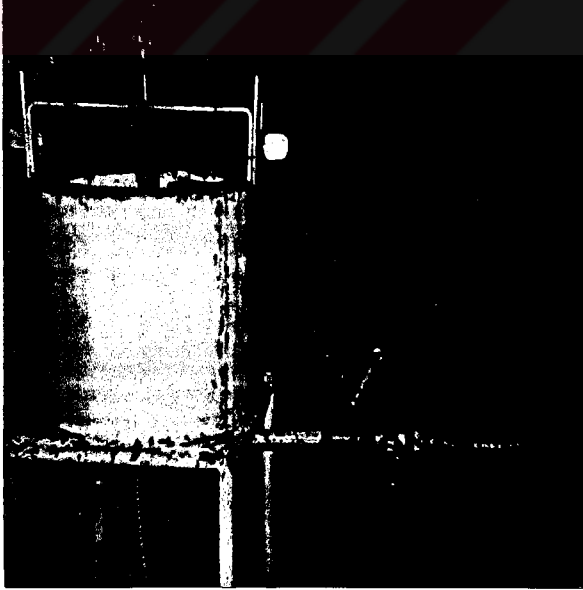
TSE 1381 normlarına göre standart olarak dizayn edilmiş ve laboratuvarımızda önceden mevcut Jominy tesisatı kullanılmıştır. (Şekil 9.2) Jominy tesisatı deneyde muhtemel ısı kayıplarının önüne geçmek için mümkün olduğunca fırına yakın olarak yerleştirilmiştir.

Komprasör:

Max. 7 atm basınç meydana getiren bir komprasör, hava – su karışımı gerektiren deneylerde basınçlı hava eldesi için kullanılmıştır.



Şekil 9.1 Elektrikli direnç fırını



Şekil 9.2 Jominy düzeneği

Sertlik ölçümü yapımında kullanılan cihazlar:

Rockwell C sertlik ölçme cihazı, Jominy numunelerini yataklamaya yarayan bir V – yatak ve 600 no kağıt zımparalar sertlik ölçümlerinde kullanılmıştır.

9.3 Deneyin Yapılışı

Bütün deneylerde aşağıdaki yol takip edilmiştir:

- Örnekler, 600'lük çok ince bir zımparayla herhangi okside olmuş noktaları gidermek için son olarak ihtiyati bir şekilde zımparalanarak, örnek önceden hazırlanan çelik silindirik kap içine konuldu ve çevresi hafif redükleyici bir ortam ile iyice örtüldü. Bu işlem yapılırken parça yüzeyinde olabilecek bir karbon azalması (dekarbürizasyon) olayının önüne geçilmesi amacı güdüldü.

- Parçanın gereksiz yere ısınması ve bu yolla çok daha fazla bir dekarbürizasyon olayının gerçekleşmemesi için fırın önceden boş pozisyonda her çeliğin östenitlenme sıcaklığına (% 0.4 C için 855°C, % 0.5 C için 850°C, % 0.7 C için 845°C ve 2344 çeliği için 1050°C) göre ısıtıldı. Termostat atınca parça fırına konuldu. Fırın sıcaklığının parçayı yerleştirirken düşmesi ve parça kütesinin fırından çektiği ısı dolayısıyla meydana gelen ısı kaybı termostadın yeniden atması için kısa bir süre bekleyerek ve normal östenitlenme sıcaklığına yeniden ulaşarak telafi edildi. Sonra parça homojen bir sıcaklık dağılımı sağlamak (ancak bunu yaparken gereksiz tane büyümesine izin vermemeye çalışarak) amacıyla fırında 30 dakika boyunca tavlandı.

- Daha sonra aşağıdaki şartlar altında her numuneye su verildi:

- a) Standart Jominy deney prosedürüne uygun olarak (65 mm su yüksekliği) (23°C)
- b) Su yüksekliğini 130 mm (65 mm x 2) olacak şekilde arttırarak (23°C)
- c) Soğutucu olarak % 10 NaCl kullanarak (23°C)
- d) 0.75 bar basınçta hava ve 2 lt/dak debideki su ile oluşturulan basınçlı hava – su karışımı ile

Su verme işlemi esnasında deney parçalarının fırından çıkarılıp üzerine su püskürtülmesine kadar geçen zamanın 5 s'yi aşmamasına çalışıldı. Su püskürtme süresi 10 dakika olarak belirlendi.

- Su verilmiş numunelerin sertlik ölçümlerini yapabilmek için numuneler önce 180° karşılıklı yüzeyleri boyunca eser miktarda ince taş ile soğutucu altında taş motorunda taşlandı ve 600'lük ince zımpara ile yüzeyler iyice pürüzsüz hale getirildi.
- Hafifçe taşlanan yüzeyler boyunca belli aralıklarla Rockwell C sertlik ölçümleri yapıldı. Ölçümler yapılırken parça bir V – yatakta yataklanarak hareketi önlendi.
- Bulunan sertlik değerleri ile Jominy eğrileri çizildi.



10. SONUÇLAR

Sertlik ölçümleri sonucunda elde edilen sertlik değerleri yardımıyla, yapılan 16 deneye ait 16 Jominy sertlik eğrisi çizilerek sonuçlar analitik olarak gösterilmiştir.

Eğrilerin bu analitik gösteriminde her çeliğe ait 4 farklı soğutma ortamına ait eğriler aynı koordinatlar üzerinde gösterilmiştir. (Şekil 10.1 – 10.4)

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen bulgular, ilgili deneyler için çizilen Jominy eğrilerinden de (Şekil 10.1 – 10.4) takip edilebileceği üzere aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

1 - Standart su basıncının (65 mm su sütunu) iki katına çıkarılmasının sade karbonlu çeliklerin sertleşebilme kabiliyeti üzerindeki etkisi çok az olup, bu parametrenin değişimi etkisini daha çok 2344 alaşımlı sıcak iş takım çeliği üzerinde göstermektedir. Öyle ki; bu çeliğe ait deney çubuğunun su verme sonrasında su verilen tarafından 60-70 mm uzaklıkta dahi başlangıç sertliğinden (IH) sadece 1-2 RSD_C düşme gözlenmektedir(Şekil 10.4)

2 - Soğutma ortamı olarak basınçlı hava-su karışımı kullanılmasının sade karbonlu çeliklerin sertleşme kabiliyetleri üzerinde çok belirgin artışlar meydana getirdiği gözlenmiştir. Sade karbonlu çelikler için çizilen Jominy eğrileri incelenecek olursa bu artışın, soğutma ortamı olarak tuzlu su kullanılan deneylerde sağlanan sertleşebilme kabiliyeti artışından çok daha fazla olduğu görülebilir (Şekil 10.1 – 10.3). 2344 alaşımlı sıcak iş takım çeliğinde ise; bu ortamın, sertleşme kabiliyeti açısından standart su basıncının kullanıldığı soğutma ortamına göre daha verimli olduğu fakat 130 mm su sütunu ile elde edilen sertleşme kabiliyeti artışına ulaşamadığı gözlenmiştir (Şekil 10.4). Basınçlı hava - su karışımı soğutucu ortam olarak çelikler üzerindeki bu verimli etkisini sürekli döküm teknolojisinde ingotların soğutulmasında kullanılmasıyla da ispatlamıştır.

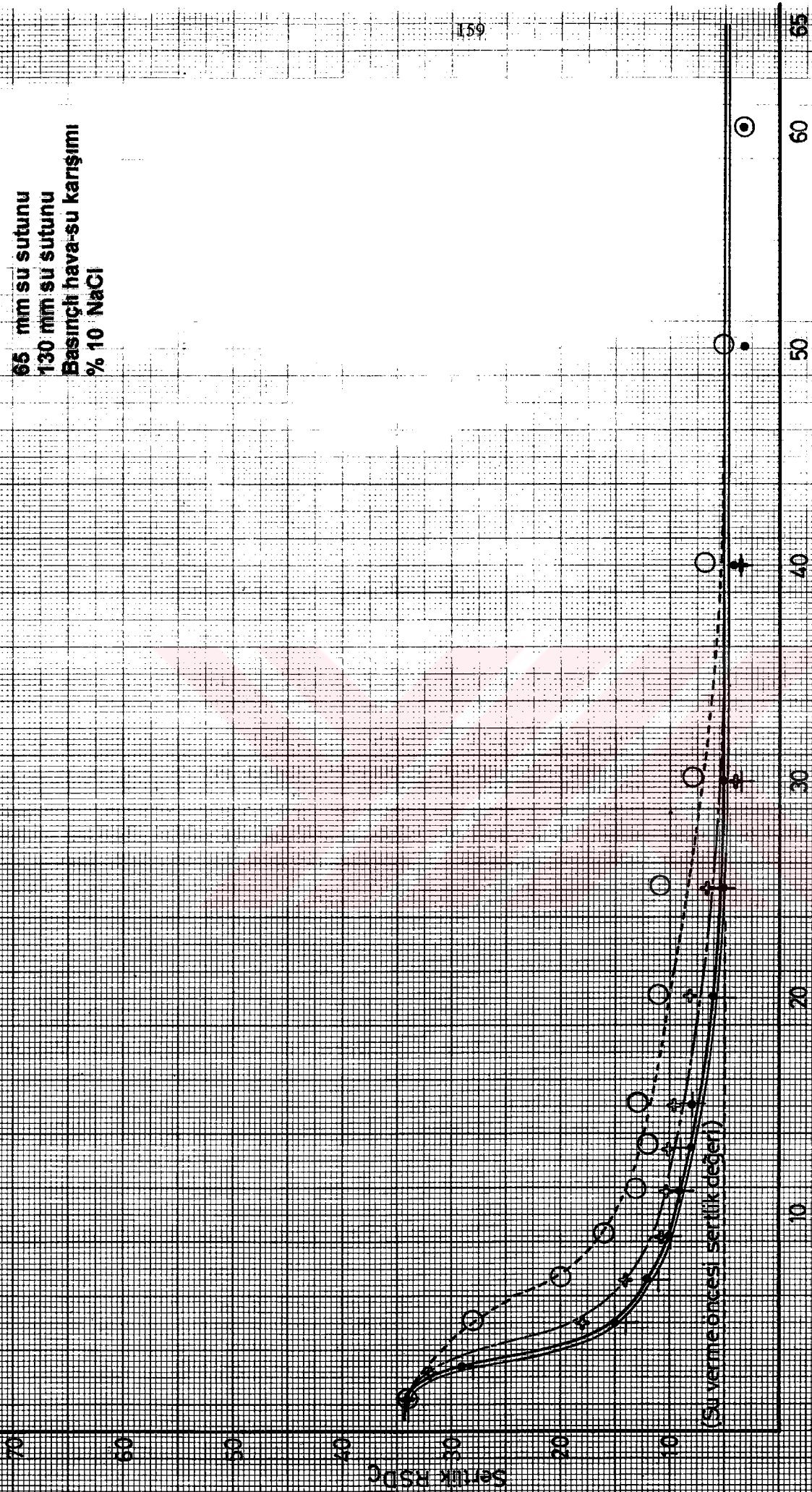
3 - Jominy deneyinde soğutucu ortam olarak % 10 NaCl tuzlu su çözeltisi kullanımının sertleşme kabiliyeti açısından sade karbonlu çeliklerde -basınçlı hava su karışımı kadar olmasa da- bir artış meydana getirdiği saptanmış, bununla beraber bu ortamın esas etkisi 2344 alaşımlı sıcak iş takım çeliği üzerinde gözlenmiştir (Şekil 10.1 – 10.4). Söz konusu ortam bu çelik üzerinde 130 mm su sütunu ile elde edilen sertleşebilirlik artımına eş bir artım yaratmıştır. (Şekil 10.4)

4 - Sade karbonlu çeliklere ait uç ayrı Jominy diyagramı (Şekil 10.1 – 10.3) soğutucu ortam şartlarından bağımsız olarak incelendiğinde de görölmektedir ki; eliğın bileşimindeki C oranının artışı sadece çeliklerde ulaşılabilir maksimum sertlik üzerinde değıl, sertleşebilirlik üzerinde de çok belirgin artışlar meydana getirmektedir.

5 - Bu sonuçların da gösterdiği gibi alından su verme deneylerinde standart koşullarına tam uyulmadığı taktirde deney sonuçları önemli ölçüde sapmış olabilecektir. Özellikle su tesisatında hava bulunması (hava yapmış tesisatlarda) deney sonuçlarının önemli ölçüde etkileneceğı saptanmıştır.



65 mm su sütunu
130 mm su sütunu
Basınçlı hava-su karışımı
% 10 NaCl



Şekil 01 AISI 1040 çelğine ait Jominy eğrileri

70

60

50

Sertlik RSDC

40

30

20

10

0

20

30

40

50

60

65

65 mm su sütunu

30 mm su sütunu

Basınçlı hava - su karışımı

7% 10 NaCl

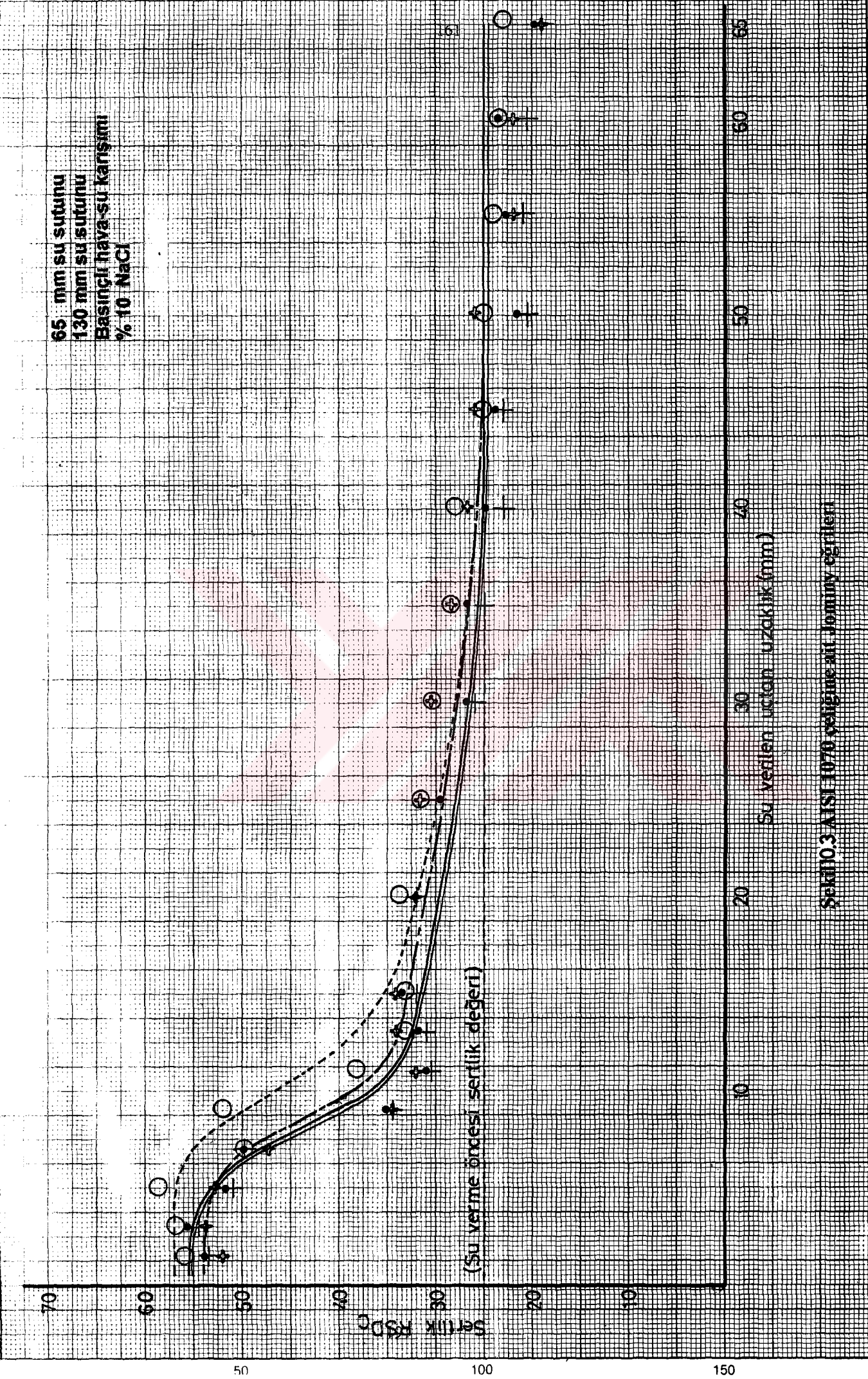
(Su verme öncesi sertlik değeri)

Su verilen uçtan uzaklık (mm)

Seçil 102 ATST 1050 çeşme-air-jominy cihazı

GATEWAY

60



ŞEKİL 10.3 AISI 1070 çeliğine ait Jominy eğrileri

65 mm su sütunu
130 mm su sütunu
Basınçlı hava-su karışımı
% 10 NaCl

162

(Su verme öncesi sertlik değeri)

Su verilen uçtan uzaklık(mm)

SeldiR04 2344 sıcaklık takım çeşidine ait Jominy eğrileri

GATEWAY

KAYNAKLAR

- Alting, L. , (1982), Manufacturing Engineering Processes, Marcel Dekker Inc. , New York.
- Amstead, B.H. , Oswald, P.H. ve Begeman, M. L. , (1987), Manufacturing Processes, John Wiley & Sons, New York.
- Ashby, M.F. ve Jones, D.R.H (1988), Engineering materials II – An Introduction to Micro – Structures, Processing and Design, Pergomon Press, Oxford.
- Assab & Korkmaz Takım Çelikleri El Kitabı, İstanbul.
- Awner, S.H. , (1974), Introduction to Physical Metallurgy, Mc Graw - Hill Book Company, ?.
- Bargel, H.J. ve Schulze, G., (1995), Malzeme Bilgisi (Çev. Ş. Güleç ve A. Arcan), İTÜ Yay., İstanbul.
- Benscoter, A.O. , (1985), “Carbon and Alloy Steels” , ASM, Volume 9
- BÖHLER Steels Handbook
- Chalmers, B. , (1959), Physical Metallurgy, John Wiley & Sons, New York.
- Clark, D.S. ve Varney, W.R. , (1962), Physical Metallurgy for Engineers, D. Van Nostrand Company, New Jersey.
- Cliffe, D.R. , (1968), Technical Metallurgy, Edwar Arnold Ltd. , London.
- Crafts, W. ve Lamont, J.L. , (1971), Çelik Seçimi ve Sertleşebilme (Çev., N. izar), TMMOB yayını, Ankara.
- Datsko, J, (1966), Material Properties and Manufacturing Processes, John Wiley & Sons, New York.
- Demirok, A. , (1988), “Isıl işlemden soğutma Ortamları” , 5. Metalurji Kongre ve Sergisi, 1988.
- Ericsson, T., (1991), “Principles of Heat treating of Steels” , ASM, 4: 3 – 4
- Flinn, R.A. ve Trojan, P.K. , (1986), Engineering Materials and Their Applications, Houghton Mifflin Company, Boston.
- Grange, R.A. , (1973), “Estimating the Hardenability of Carbon Steels” , Metallurgical Transactions, 4: 2231 – 2244
- Guy, A.G. , (1959), Elements of Physical Metallurgy, Addison – Wesley Publishing Com. , Massachussets.
- Hanson, A. ve Parr, J.G. , (1965), The Engineer’s Guide to Steel, Addison – Wesley Publishing Company, Massachussets.

Herbers, H. , (1969), Çeliğin sertleştirilmesi ve Islahı (çev. , A.O. Recepoğlu), İTÜ – Türk Teknik Haberleşme Merkezi yayını, İstanbul.

Honeycombe, R.W.K. ve Hancock, P. , (1981), Steels – Microstructure and Properties, Edward Arnold Ltd. , ? .

Hume, W. ve Rothery, (1966), The Structures of Alloys of Iron, Pergamon Press, Oxford.

İzgiz, S. , ? , Çelik El Kitabı, TMMOB Yayınevi, Ankara.

Johnson, C.G. , (1946), Metallurgy, American Technical Society, Chicago

Keyser, C.A. , (1959), Basic Engineering Metallurgy, Prentice – Hall Inc. , ? .

Khoe, M.M. , Bozkurt, N. , Koz, M. ve Safoğlu, R.A. , (1986), “Çeliklerde Kalıntı Östenitin Farklı İki Metodla Giderilmesi”, 4. Ulusal Metalurji Kongre ve Sergisi, 1986.

Krauss, G. , (1980), Principles of Heat Treatment of Steel, ASM, Ohio.

Llewellyn, D.T. , (1992), Steels: Metallurgy and Applications, Butterworth – Heinemann Ltd. , Oxford.

Manufacturing Engineer’s Reference Book (s. 1/24, 1/30, 1/31), Materials Properties and Selection – Ferrous Metals, (1993), ButterWorth – Heinemann Ltd. , Oxford.

Mc Gannon, H.E. , (1964), The Making, Shaping and Treating of Steel, United State Steels, ? .

Moore, H.D. ve Kibbey, D.R., (1965), Manufacturing Materials and Processes, Richard D. Irwin Inc., Illinois.

Niebel, B.W. , Draper, A.B. ve Wysk, R.A. , (1989), Modern Manufacturing Process Engineering, McGraw – Hill Book Company, New York.

Ostwald, P.F. ve Munaz, J., (1997), Manufacturing Process and Systems, John Wiley&Sons, New York.

Reed, E.R. ve Hill, (1973), Physical Metallurgy Principles, D. Van Nostrand Company, New York.

Richman, M.H. , (1967), An Introduction to the Science of Metals, Blaisdel Publishing Company, Massachusetts.

Scheer, L. , (1971), Çelik Nedir (Çev. M. Sağışman), Osmanbey Matbaası, İstanbul.

Shrager, A.M. , (1961), Metallography, Dover Publications, New York.

Sinha, A.K. , (1989), Ferrous Physical Metallurgy, Butterworths, Boston.

Sisco, F.T. , (1948), Modern Metallurgy for Engineers, Pitman Publishing Corporation, New York.

Smith, W.F. , (1993), Structure and Properties of Engineering Alloys, Mc Graw – Hill Inc. , New York.

Tekin, E. , (1992), Mühendisler için Çelik Seçimi, TMMOB Yayınevi, Ankara.

Topbaş, M.A. , (1993), Isıl İşlemler, Prestij Yayınları, İstanbul.

T.S.E, (1974) , “Çeliğin Ucuna Su Vererek Sertleşebilme Deneyi (Jominy Deneyi)” , T.S.E no: 1381

Unterweiser, P.M. , Boyer, H.E. ve Kubbs, J.J. , (1982), Heat Treater’s Guide, ASM, Ohio.

Ünal, N. , (1991), Malzeme Bilgisi (Alaşımın İç Yapısı ve Özellikleri), Akdeniz Üni. Basımevi, Antalya.

Weisbach, W. , (1977), Malzeme Bilgisi ve Muayenesi (Çev. S. Anık ve E.S. Anık), Birsen Yayınevi, İstanbul.



ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 26.06.1972

Doğum yeri İstanbul

Lise 1986 – 1989 Şişli Lisesi

Lisans 1989 – 1995 Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Fak.
Makina Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 1995 – 1996 Yıldız Teknik Üniversitesi Yabancı Diller Bölümü
İngilizce Hazırlık Programı

1996 – 1999 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Müh. Anabilim Dalı, İmal Usulleri Programı

Çalıştığı kurum

1998 – Anarem Dış Ticaret Ltd. Şti.