

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TAKIM ÇELİKLERİNİN KAYNAĞI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gökhan AKÇA

Anabilim Dalı: Savunma Teknolojileri

Programı: Malzeme, İmalat ve Tasarım Teknolojileri

Tez Danışmanı: Doç.Dr. Murat VURAL

MAYIS 2006

ÖNSÖZ

Öncelikle bu tezin hazırlanması esnasında yakın destek, ilgi ve yardımını gördüğüm ve beraber çalışma şansına sahip olduğum sayın Doç.Dr.Murat VURAL'a, teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım esnasında yardımlarını ve bilgilerini esirgemeyen sevgili arkadaşlarım Teknik Alüminyum Sanayi A.Ş., AR-GE şefi Yüksek Metalurji ve Malzeme Müh. Burcu KAVAKLIOĞLU ile Quantum Takım Sanayi Ürünleri A.Ş., Isıl İşlem İşletme Müdürü, Metalurji ve Malzeme Müh. Erman KORKMAZ'a, deneylerin gerçekleştirilmesindeki yardımlarından ötürü Araş.Gör. Dr. Ahmet AKKUŞ'a ve herşeyden öte, tüm öğrenim hayatım boyunca, desteklerini her zaman yanımda hissettiğim aileme teşekkür ederim.

12 Mayıs, 2006

Gökhan AKÇA

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖZET	x
SUMMARY	xi

1.GİRİŞ	1
2.ÇELİKTEKİ KARBON MİKTARI	2
2.1. Düşük Karbonlu Çelikler	2
2.2. Orta Karbonlu Çelikler	3
2.3. Yüksek Karbonlu Çelikler	3
3.TAKIM ÇELİKLERİ HAKKINDA GENEL BİLGİ	4
3.1 Soğuk İş Takım Çelikleri	7
3.2 Sıcak İş Takım Çelikleri	9
3.3 Hız Çelikleri	9
4.TAKIM ÇELİKLERİNİN KAYNAĞI	12
4.1. Takım Çeliklerine Uygulanan Kaynak Yöntemleri	13
4.1.1. Örtülü Elektrotla Ark Kaynağı	13
4.1.2. Gaz Tungsten Ark Kaynağı (GTAW or TIG)	15
4.1.3. Gaz Basınç Kaynağı	16
4.2. Kaynak İşleminin Gerçekleştirileceği Atölyede Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar	16
4.2.1. Kuru Hava Kabini (Havası Alınmış Kabin)	16
4.2.2. Kaynak İşleminin Yapılacağı Tezgah	17
4.2.3. Ön Isıtma Ekipmanı	17
4.3. Dolgu Metaller	18
4.3.1. Sertlik	19
4.3.2. Meneviş Direnci	20
4.3.3. Tokluk	20
4.3.4. Aşınma Direnci	21
4.3.5. Parlatılabilirlik	21
4.3.6. Photo Dağlama	21

4.4. Takım Çeliklerinin Hidrojen Duyarlılığı	22
4.4.1. Mikroyapı / Sertlik	23
4.4.2. Gerilim Seviyesi	23
4.5. Yüksek Çalışma Sıcaklığı	23
5. KAYNAK PROSEDÜRÜ	25
5.1. Kaynak Dolgusunun Oluşturulması	27
5.2. Kaynak Sonrası Isıl İşlem	28
5.2.1. Temperleme	29
5.2.2. Yumuşak Tavlama	30
5.2.3. Gerilim Giderme	30
6. DENEYSEL ÇALIŞMA	33
6.1. Malzeme	33
6.2. Sertlik Ölçümü	42
6.3. Isıl İşlem	47
6.4. Sonuçlar ve Tartışma	51
KAYNAKLAR	54
ÖZGEÇMİŞ	56

KISALTMALAR LİSTESİ

DIN	: Deutsches Institut für Normung (Alman Standart Enstitüsü)
MMA	: Manual metal arc
GTAW	: Gas tungsten arc welding
TIG	: Tungsten inert gas
ITAB	: Isı tesiri altında kalan bölge
AC	: Alternative current (Alternatif akım)
DC	: Direct current (Doğru akım)

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1 :Takım malzemelerini mekanik özellikleri.....	4
Tablo 3.2 :Bazı takım çeliklerinin kompozisyonları.....	5
Tablo 3.3 :Bazı takım çelikleri ve kullanım alanları.....	7
Tablo 3.4 :Alaşım elementlerinin çelik üzerindeki etkileri.....	8
Tablo 4.1 :Takım çeliklerinde ön tav sıcaklığının seçimi.....	13
Tablo 5.1 :Malzemelere göre önerilen ön ısıtma ve gerilim giderme sıcaklıkları.....	31
Tablo 6.1 :DIN 2379 takım çeliğinin kimyasal bileşimi.....	33
Tablo 6.2 :DIN 8555 \cong E6-UM55GRP Standartlı elektrotun kimyasal bileşimi.....	43
Tablo 6.3 :Yatay eksen boyunca 55 hd elektrotla kaynaklanan numunedeki sertlik değerleri.....	43
Tablo 6.4 :DIN 8555 \cong E10 –UM60GRZ elektrotun yaklaşık kimyasal bileşimi.....	45
Tablo 6.5 :Yatay eksen boyunca 63 Hd elektrotla kaynaklanan numunedeki sertlik değerleri.....	45

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.1 : Temperleme eğrisi üzerine alaşım elementlerinin etkileri.....	6
Şekil 3.2 : Bir yüksek hız çeliğinin temper davranışı.....	10
Şekil 3.3 :Yüksek hız çeliklerinin sertleştirme ve temperlenmesinde sıcaklık ve zaman diagramı.....	11
Şekil 3.4 : Kobalt içeren bir yüksek hız çeliği için çeşitli sıcaklıklardaki sertlik değerlerinin, her bir sıcaklıkta tutma süresine bağlı olarak değişimi	11
Şekil 4.1 : Elektrot Ark Kaynağı.....	14
Şekil 4.2 : TIG Kaynağı	15
Şekil 4.3 : Kuru hava kabini ve portatif ısıtıcı taşıyıcı.....	17
Şekil 4.4 : İzole edilmiş ön ısıtma ünitesi	18
Şekil 4.5 : Kaynak boyunca sertlik profili.....	20
Şekil 4.6 : Farklı kaynak yöntemleri ve elektrotları için kaynak metal hidrojen miktarları ve kapabilirliği.....	22
Şekil 5.1 :Takımların kaynak bağlantılarının temel türleri.....	26
Şekil 5.2 :Dolgu metalde paso sırası.....	27
Şekil 5.3 :Bir S7 takım çeliğinde kaynaktan sonraki ITAB.....	28
Şekil 5.4 :Temperleme İşlemi.....	29
Şekil 6.1 :Kaynak yapılan parçanın kesit görüntüsü.....	33
Şekil 6.2 :63 Hd elektrotla kaynak işlemine maruz kalan çeliğin kaynak bölgesinin makro yapısı.....	34
Şekil 6.3 :55 Hd elektrotla kaynak işlemine maruz kalan çeliğin kaynak bölgesinin makro yapısı.....	35
Şekil 6.4 :DIN 2379 takım çeliğinin mikroyapısı.....	35
Şekil 6.5 :ITAB 'ın tane yapısına etkisi.	36
Şekil 6.6 :Isı tesiri altında kalan bölgenin metalurjik yapısı.....	37
Şekil 6.7 :Kaynakta ısıdan etkilenmiş bölgenin oluşumu.....	38
Şekil 6.8 :Isı tesiri altında kalan bölgedeki tane yapısı.....	39
Şekil 6.9 :Isı tesiri altında kalan bölgedeki tane yapısı.....	39
Şekil 6.10 :Isı tesiri altında kalan bölgedeki tane yapısı.....	40
Şekil 6.11 :Erime bölgesi ile eriyiğe yakın bölgede irileşen tanelerin mikroyapı.....	41
Şekil 6.12 :Erime Bölgesi.....	41
Şekil 6.13 : Erime Bölgesi.....	42
Şekil 6.14 : Kaynak kesitinin yatayı boyunca sertlik dağılımı.....	44
Şekil 6.15 : Isıdan etkilenen bölgede çelik malzeme iç yapı değişimi.....	44
Şekil 6.16 :63 Hd elektrotla kaynaklanan kaynak metalin yatayı boyunca sertlik dağılımı.....	46
Şekil 6.17 :55 Hd elektrotla dikine kesitte alınan sertlik ölçümü.....	47
Şekil 6.18 :63 Hd elektrotla dikine kesitte alınan sertlik ölçümü.....	47
Şekil 6.19 :55 Hd elektrotla kaynak yapılan takım çeliğinin sertleştirme sonrası kaynak eriyiği boyunca sertlik dağılımı.....	47

Şekil 6.20 : 55 Hd elektrotla kaynak yapılan takım çeliğinin sertleştirme sonrası kaynak eriyiğinin dikeyi boyunca sertlik dağılımı.....	48
Şekil 6.21 : 63 Hd elektrotla kaynak yapılan takım çeliğinin sertleştirme sonrası kaynak eriyiği boyunca sertlik dağılımı.....	49
Şekil 6.22 : 63 Hd elektrotla kaynak yapılan takım çeliğinin sertleştirme sonrası kaynak eriyiğinin dikeyi boyunca sertlik dağılımı.....	50
Şekil 6.23 : Sertleştirme öncesi ve sonrası sertlik değerlerinin karşılaştırması.....	51
Şekil 6.24 : Takım çeliklerinin kademeli ısıtılıp sertleştirilmesi ve menevişlenmesi.....	52
	53

SEMBOL LİSTESİ

A₁	: 100% ostenite geçmek için gereken sıcaklık
A₃	: Ötektoid çelik için ostenite ulaşma sıcaklığı, 727 °C
Ms	: Martenzitik dönüşüm başlangıç sıcaklığı
Mf	: Martenzitik dönüşüm bitiş sıcaklığı
T_{yk}	: Yeniden Kristalleşme Sıcaklığı

TAKIM ÇELİKLERİNİN KAYNAĞI

ÖZET

Takım çeliklerinin bugünün modern endüstrisindeki yeri kolayca takdir edilebilmektedir. Bunlar arasında çok yüksek sertlikleri, aşınma ve oksitlenmeye dayanıklılıkları ve bu özelliklerini yüksek sıcaklıklarda koruyabilmeleri en önemlileri arasında gelmektedir.

Üretim aşamasının en kritik ve en önemli unsurlarından biri kullanılan takım ve kalıplardır. Üretim maliyetinden üretilen ürün kalitesine kadar birçok faktörü etkilerler. Yaptığı tasarımın ve işlemenin kalitesine güvenen üretici için tek bir bilinmez vardır, buda kullandığı kalıp ve takım malzemesidir.

Bu çalışmada öncelikle takım çelikleri hakkında genel bilgi verilip arkasından kaynak edilebilirlikleri ve takım çeliklerine uygulanan kaynak yöntemleri sırasıyla incelenmiştir. Deneysel kısımda, DIN 1.2379 (D2) takım çeliğine iki farklı elektrotla alın kaynağı yapılmış ve ardından sertlik değerleri ölçülmüştür.

Elde edilen sertlik değerlerinden , esas metal ile kaynak eriyiği arasında sertlik farkı olduğu gözlenmiş, sertlik farkını gidermek için numunelere sertleştirme işlemi uygulanmıştır. Sertlik ölçme işleminin ardından deney numuneleri 1020°C sıcaklıkta 45 dakika tutulup ardından suda soğutularak sertleştirme işlemine maruz bırakılmıştır. Sonuçları literatürdeki çalışmalarla karşılaştırdığımızda, numunelerin fırında tutma sürelerinin daha uzun olması gerektiği gözlenmiştir.

WELDING OF TOOL STEELS

SUMMARY

In today's modern industry, the position of tool steel can easily be appreciated. It's highly hardness, it's resistance to corrosion and oxidation and it's capacity to maintain these properties at high temperature are among the most important ones.

One of the most important and vital elements of the production period is the tools and molds being used. They effect many elements from the cost of production to the quality of products. There is only one uncertain thing for the producer who depends on the quality of his projects and construction, it is die and tool materials that he used.

In this study, firstly general information about tool steel is given and then their suitability of being welded and the welding methods that are applied to tool steel is examined in order. In experimental part butt-welding is made to DIN 1.2379 (D2) with two different electrode and then their degree of hardness is measured.

From the degrees of hardness that are obtained, it is understood that there is hardness difference between main metal and weld solution. In order to remove hardness difference, quenching is applied to the samples. After the hardness measurement process, test samples are left for 45 minutes at 1020°C and then they are exposed to be cooled in the water. When we compare the results with the studies being done, it is observed that the period which samples are left at furnace must be longer.

1. GİRİŞ

0,2% den fazla karbon içeren çeliklerin kaynak edilebilirlikleri düşük olarak değerlendirilir. Dolayısıyla 0,3-2,5% karbon içeren çelikleri kaynak yapmak zordur ve birçok çelik üreticisi bu tür çeliklerin kaynak yapılmamaları konusunda tavsiyelerde bulunacaktır. Ancak, geliştirilmiş ürün kalitesi, hassaslaştırılmış kaynak ekipmanları, kaynak tekniğindeki gelişmeler ve takım çeliklerinin kalitesindeki iyileşmeler takımlarının kaynak edilebilirliklerini ekonomik şartlar dahilinde mümkün kılıyor.

Takımların sık sık kaynak yapılması gerekebilir, bu özellikle döküm kalıpları, büyük dövme kalıpları, plastik kalıpları, karoseri takımları gibi kaynak işleminin yeni takımın üretilmesiyle karşılaştırıldığında fiyat bakımından oldukça çekici olduğu pahalı takımlarda karşımıza çıkmaktadır [1]. Takım çeliklerinin kaynağı ekonomik nedenlere dayanır, burada imalat kaynağı değil, tamir kaynağı uygulanır [2].

2. ÇELİKTEKİ KARBON MİKTARI

Çelikteki en önemli alaşım elmanı karbondur [3]. Çelikler sahip oldukları özellikleri büyük oranda yapılarında bulunan karbona borçludur [4]. Karbon ve yalnızca az miktarda mangan ve silikon içeren çelikler Karbon Çelikleri olarak adlandırılır [5]. Krom, nikel, ve molibden gibi alaşım elemanları bu çeliklerde bulunmaz [6].

Çelikler bünyelerinde bulunduracakları karbon miktarları göz önüne alınarak aşağıdaki sınıflandırmaya göre dizayn edilirler [3].

1. Düşük Karbonlu Çelikler	0,08-0,30% karbon
2. Orta Karbonlu Çelikler	0,35-0,55% karbon
3. Yüksek Karbonlu Çelikler	0,60-1,5% karbon

Karbon miktarındaki küçük bir artış dahi çeliğin muhtelif özelliklerini değiştirmede kuvvetli bir etkiye sahiptir. Çelikte karbon miktarı arttıkça [3].

1. Çeliğin ergime noktası düşer.
2. Sertiği artar.
3. Dayanımı artar.
4. Gevrekleşir.
5. Aşınma Direnci yükselir.
6. Kaynak kabiliyeti azalır.
7. İşlenebilme özelliği azalır.
8. Daha kolay ısıl işlem uygulanabilir.
9. Maliyeti yükselir.

2.1 Düşük Karbonlu Çelikler

Dayanımı, işlenebilirliği ve düşük maliyeti nedeni ile endüstride en çok kullanılan çelik türüdür [4]. Düşük karbonlu çeliklere az miktarda silikon ve mangan katılarak kalitesi artırılır [5]. Hemen hemen tüm kaynak yöntemleri ile kolaylıkla kaynak edilebilir. Birleştirilen kaynaklı parçaların kalitesi oldukça iyidir [4].

2.2. Orta Karbonlu elikler

Orta karbonlu çelikler ne 0,3 % den daha az nede 0,6% dan daha fazla karbon içerirler [4]. Kaynak tekniği ve kullanılan malzemelerin metalurjik yapıları esas metalle benzer olmalıdır. Özellikle 0,4% den fazla karbon içeren çeliklerde ön ısıtma ve birbirini takip eden ısıl işlemler arzu edilen kaynak kalitesi için gerekebilir [5].

2.3. Yüksek Karbonlu elikler

0,6% 'dan fazla karbon içeriğine sahip çelikler yüksek karbonlu çeliklerdir. Bu elikler genellikle matkap ucu, kalıp, yay, testere yapımında kullanılır. Yüksek karbon içeriğinden dolayı bu tür çelikleri kaynak yapmak diğer iki elik türüne göre daha zordur [4].

3. TAKIM ÇELİKLERİ HAKKINDA GENEL BİLGİ

Takım çelikleri sahip oldukları 0,8-1,5% karbon içeriği ile Karbon Çeliği olarak ele alınır ve oldukça zor yöntemler ile üretilir [4]. Takım çeliklerinin pek çoğu su verme ve temper ısıl işlemi ile yüksek sertlik elde edilebilen yüksek karbonlu çeliklerdir.

Kullanım alanları talaş kaldırma işlemleri için kesme takımlarını, döküm kalıplarını, şekillendirme kalıplarını ve yüksek dayanım, sertlik, tokluk veya yüksek sıcaklık direnci gibi özellik kombinasyonları gerektiren diğer uygulamaları içerir [7]. Bu çelikler, metal veya metal olmayan malzemelerin değişik yöntemlerle (talaşlı, talaşsız) şekillendirilmesinde kullanılır [8].

Tablo 3.1: Takım Malzemelerinin Mekanik Özellikleri

Özellik	Yüksek Hız Çeliği	Döküm Alaşımı	WC	TiC	Al ve Si Esaslı Seramik	CBN	Elmas
Sertlik (Gpa)	8.5	8.0	14-24	18-32	20-30	40-50	70-80
Basma mukavemeti (MPa)	4100-4500	1500-2300	4100-5850	3100-3850	2750-4500	6900	6900
Darbe mukavemeti (J)	1.35-8	0.34-1.25	0.34-1.35	0.79-1.24	<0.1	-	-
Elastisite Modülü (Gpa)	200	200	520-600	310-450	310-410	850	820-1050
Yoğunluk (g/cm ³)	8.6	8-8.7	10-15	5.5-5.8	4-4.5	3.48	3.5
Ergime/Bozunma Sıc. (°c)	1300	-	1400	1400	2000	1300	700
Isıl iletkenlik (W/m°C)	-	-	42-125	17	17-29	13	70
Isıl Genleşme Katsayısı (x10 ⁻⁶ /°c)	12	-	4-6.5	7.5-9	3.2-8.5	4.8	1.2

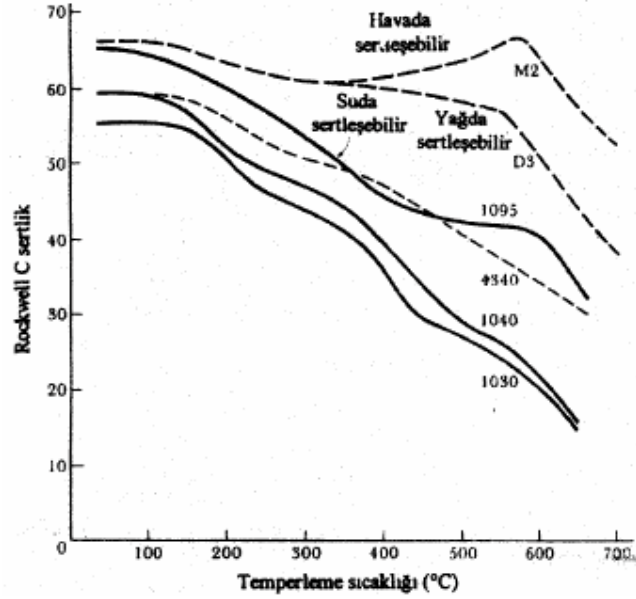
Yukarıdaki tablo 3.1’de takım malzemelerinin mekanik özellikleri görülmektedir[9]. 10100 gibi sade karbonlu çeliklerden çok yüksek karbonlu çeliklere kadar, yüksek alaşımlı olmak üzere geniş bir aralıkta (tablo 3.2) pek çok değişik takım çeliği bulunur. Takım çeliklerinin sertleştirilebilirlikleri veya temperlemeye karşı dirençleri farklıdır (AISI M1 : İngiliz Standartı BM1) [7].

Tablo 3.2: Bazı Takım Çeliklerinin Kompozisyonları

Çelik		%C	%Mn	%W	%Mo	%Cr	%V
W1	Suda Sertleştirme	0,6-1,4					
O1	Yağda Sertleştirme	0,9	1,0	0,5		0,5	
A2	Havada Sertleştirme	1,0			1,0	5,0	
S1	Şok Dirençli	0,5		2,5	0,5	1,5	
D1	Krom Soğuk Şekillendirme	1,0			1,0	12,0	
H11	Krom Sıcak Şekillendirme	0,35			1,5	5,0	0,4
H20	Tungsten Sıcak Şekillendirme	0,35		9,0		2,0	
H41	Molibden Sıcak Şekillendirme	0,65		1,5	8,0	4,0	1,0
T1	Tungsten Yüksek Hız	0,75		18,0		4,0	1,0
M1	Molibden Yüksek Hız	0,85		1,5	8,5	4,0	1,0
D2	Havada veya Yağda	1.55	0.30		0.7	11.5	1.00

Alaşım elementleri takım çeliklerinin yüksek sıcaklık dengelerini de (kararlılıklarında) iyileştirir (Şekil 3.1). Suda sertleşebilen çelikler, nispeten düşük sıcaklıklarda bile hızla yumuşarlar, yağda sertleşebilen çelikler daha yavaş bir şekilde temperlenir, fakat halen yüksek sıcaklıklarda yumuşarlar. Havada sertleşebilen ve özel takım özellikleri A₁ sıcaklığı yakınına kadar yumuşayabilirler. Gerçekte yüksek alaşımlı çelikler, 500 °C’ ye yakın sıcaklıklarda normal sementit çözülüp ve sert alaşım karbürleri çökeldiğinde ikinci doruk sertleşmesine uğrayabilirler. Alaşım karbürleri özellikle dengeli olup büyüme veya

küreselleşmeye direnç gösterir ve bu özellikler bu çeliklerin yüksek sıcaklık dirençlerinin esasının oluşturulmasında önemlidir [7].



Şekil 3.1: Temperleme eğrisi üzerine alaşım elementlerinin etkileri (Burada M2 ve D3 takım çelikleridir).

İşlenen malzemeye (yumuşak,sert) ve işleme yöntemlerine (vurmalı, sürtünmeli,itmeli) bağlı olarak takım çeliklerinden beklenen çeşitli özelliklerin en önemlileri şunlardır.

- *Sertlik ve dayanım*, özel karbürlerin miktarı ile birlikte aşınmaya karşı direnci belirlerler.
- *Kesme kabiliyeti*, sertlik ve aşınmaya dayanıklılıkla ilişkilidir.
- *Sertleşme derinliği*, alaşım elementlerinin tür ve miktarına göre değişir.

İş parçasına ayrıca ısı verilmemiş olsa bile, şekillendirme (işleme) sırasında sürtünme nedeniyle takım ısınır. Hangi nedenle olursa olsun yüzey sıcaklığı 200 °C düzeyini geçmeyecek takımlar *soğuk iş* takım çeliklerinden diğerleri ise *sıcak iş* ve *yüksek hız çeliklerinden* yapılırlar [8].

Tablo 3.3: Bazı takım çelikleri ve kullanım alanları [8].

		Uygulama Örnekleri	
Soğuk İş Takım Çelikleri	Alaşimsız Takım Çelikleri		
	C105W1	Diş açma paftaları,derin çekme,soğuk ekstrüzyon,kabartma baskı takımları	
	C60W3	Yüksek hız çeliğinden takımların sap ve gövdeleri	
	Alaşimsız Soğuk İş Takım Çelikleri		
	X210Cr12	Kesici takımlar, makas bıçakları, broşlar,derin çekme takımları, kum püskürtme memeleri	
	115CrV3	Helisel matkaplar,diş açma klavuzları,metal testereleri	
	145V33	cıvata ve perçin soğuk baş dövme takımları	
	45WCrV7	Basınçlı hava takımları, çapak alma takımları	
	35WCrV7	Makine bıçakları	
	X45NiCrMo4	Yüksek tokluğa sahip kabartma baskı takımları makas bıçakları	
	X19NiCrMo4	Havada su alan semantasyon çeliğinden plastik kalıpları	
Sıcak İş Takım Çelikleri	55NiCrMoV6	Çekiçleme kalıpları, en yüksek tokluk	
	X38CrMoV51	Dövme kalpları,dövme makinaları için takımlar,basınçlı döküm kalıpları,pres istampaları, yüksek tokluk	
	X32CrMoV33	Cıvata ve perçin üretimi için takımlar, sıcakta aşınmaya karşı yüksek dayanıklılık	

3.1. Soğuk İş Takım Çelikleri

Soğuk iş çeliklerinin sertleşme kabiliyeti ve aşınmaya dayanıklılık bakımından alaşımsızlara üstünlükleri çok belirgindir. Sertleşme derinliği özellikle mangan, krom, molibden ve nikel gibi elementlerle artırılır. Alaşımlama türü ve miktarına göre havada, yağda veya gerektiğinde sıcak banyoda su verme ile kesit sertleştirilir.

Takımlarda abrozyan aşınması, oksitlenme veya adezyon sonucu ortaya çıkan diğer aşınma tiplerinden çok daha önemlidir. Malzemeye özgü bir büyüklük olarak tanımlanamayan aşınmanın , öncelikle iç yapı (karbür miktarı) ve sertliğe bağlı olduğunu deneyler göstermektedir. En başta kesme takımlarında kullanılan çelikler için gereken sert aşınmaya dirençli karbürler çoğunlukla krom, molibden, vanadyum ve volfram ile oluşturulur.

Tablo 3.4: Alaşım elementlerinin çelik üzerindeki etkileri [10].

Alaşım Elementi	Sertlik	Mükavemet	Akma Noktası	Uzama	Kesit Büzülmesi	Darbe Direnci	Esneklik	Yüksek Sıcaklığa Dayanım	Soğuma Hızı	Karbur Derinliği	Agrınma Direnci	Dövülebilirlik	İşlenebilirlik	Oslitenme Eğilimi	Korozyon Dayanımı
Si	↑	↑	↑↑	↓	-	↓	↑↑↑	↑	↓	↓	↓↓↓	↓	↓	↓	-
Mn*	↑	↑	↑	-	-	-	↑	-	↓	-	↓↓	↑	↓	-	-
Mn**	↓↓↓	↑	↓	↑↑↑	-	-	-	-	↓↓	-	-	↓↓↓	↓↓↓	↓↓↓	-
Cr	↑↑	↑↑	↑↑	↓	↓	↓	↑	↑	↓↓↓	↑↑	↑	↓	-	↓↓↓	↑↑↑
Ni	↑	↑	↑	-	-	-	-	↑	↓↓	-	↓↓	↓	↓	↓	-
Al	-	-	-	-	↓	↓	-	-	-	-	-	↓↓	-	↓↓	-
W	↑	↑	↑	↓	↓	-	-	↑↑↑	↓↓	↑↑	↑↑↑	↓↓	↓↓	↓↓	-
V	↑	↑	↑	-	-	↑	↑	↑↑	↓	↑↑	↑↑	↑	-	↓	↑
Co	↑	↑	↑	↓	↓	↓	-	↑↑	↑↑	-	↑↑↑	↓	-	↓	-
Mo	↑	↑	↑	↓	↓	↓	-	↑↑	↓↓	↑↑↑	↑↑	↓	↓	↑↑	-
S				↓	↓	↓	-	-	-	-	-	↓↓↓	↑↑↑	-	↓
P	↑	↑	↑	↓	↓	↓↓↓	-	-	-	-	-	↓↓↓	↓↓↓	↓↓	↑↑

* perlitik çeliklerde
**östenitik çeliklerde

↑ artırır ↓ azaltır - değiştirmez . önemsiz

Aşınmaya dayanıklılığın artması ve soğuk kanama eğiliminin azalması, X165CrMoV12 ve 21MnCr5 gibi bazı çeliklerde ayrıca nitrürasyonla sağlanabilir.

Takım malzemelerinin kullanım amacına göre seçiminde en güvenilir yol işletme deneyine başvurmaktır. Bu arada takımların davranışlarının malzeme bileşimi yanında biçim, yüzey durumu ve gördükleri ısıl işlemlerle de ilişkili olduğunu unutulmamalıdır[8]. DIN normlarına göre bazı soğuk iş takım çelikleri şunlardır; 1.2363, 1.2379, 1.2436, 1.2550, 1.2721, 1.2767 [10].

3.2. Sıcak İş Takım Çelikleri

İşletmede 200°C 'nin üzerindeki sıcaklıklarda sürekli çalışacak takımlar için kullanılan sıcak iş çeliklerinden başlıca şu özellikler beklenir.

- Yüksek sıcaklık dayanımı özellikle molibden, volfram ve vanadyum ile elde edilir.
- Temper kararlılığını sağlayan krom ayrıca molibden, nikel ve manganla birlikte sertleşme kabiliyetini de artırır.
- Yüksek sıcaklıklarda aşınmaya dayanıklılık ana kütlenin (matrisin) yüksek sıcaklık dayanımı ile özel karbürlerin tür ve miktarına bağlıdır.

Alaşımli olan bu çeliklerdeki kararlı özel karbürlerin çözünmesi yüksek sertleştirme sıcaklıklarını gerektirir. Isıtma hızını düşük tutmak için, sertleştirme sıcaklığına kademeli olarak çıkmak daha uygundur. Temperleme, işletme sıcaklığının yaklaşık 100 °C üstünde yapılır.

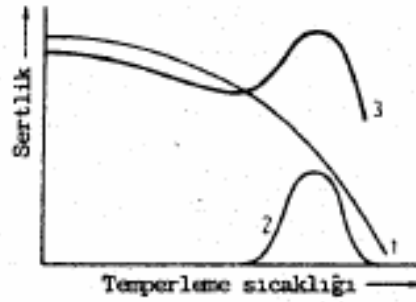
Yüzey sertliğini artırmak ve sürtünme katsayısını küçültmek amacıyla sıcak iş çelikleri sert krom kaplanabilir. Aşınma ve yapışma eğilimi nitrürleme ile giderilebilir (8) . DIN normlarına göre bazı sıcak iş takım çelikleri şunlardır; 1.2343, 1,2344, 1.2367, 1.2714, [10].

3.3. Hız Çelikleri

Takım ağzı kızaracak ölçüde yüksek kesme hızlarında dahi talaş kaldıracak olan, yani bu koşullara rağmen yüksek sıcaklık sertliğini büyük oranda ve uzun süre koruyan malzemelerdir. Söz konusu özelliklerin malzemeye kazandırılabilmesi için belirli alaşım elementlerinin katılması, özenli erime (elektrik ocağı),karbürlerin homojen dağılımını sağlayacak şekilde sıcak haddeleme ve kullanıcı tarafından malzemeye uygun bir ısıtma işlem programının gerçekleştirilmesi zorunludur.

Yüksek hız çeliklerinin kızıl sıcaklıkta bile çok iyi olması, iç yapılarında öncelikle volfram, krom, molibden, vanadyum elementlerinin oluşturduğu özel karbürlerin büyük miktarda bulunmasından ileri gelir. Yumuşatılmış durumdaki kararlı karbürlerin su vermeden önce yeteri kadar çözünmesi gerektiğinden, ostenitlenme sıcaklığı solidüs çizgisinin hemen altında (1200 °C...1300 °C) seçilir. Öte yandan tane irileşmesine yol açmamak için sıcaklık ve tutma süresine kesin şekilde

uyulmalıdır. Çarpılma ve çatlamayı önlemek üzere, bu malzemeler iki veya üç kademede ve çoğunlukla tuz banyosunda ısıtılırlar. Sertleştirmeden sonra çeliğin iç yapısı yaklaşık % 70 martenzit, %10 karbür ve %20 artık östenitten meydana gelir. 550°C dolayında yapılan temperleme ile, önceden çözülmüş olan özel karbürlerin yeniden oluşturulup ince dağılmış biçimde çökeltilmesi sertlikte büyük artış sağlar (ikincil sertleşme). Temperlenen martenzitin ferrit ve Fe₃C benzeri karışık karbürlere ayrışması sertlik düşüşüne neden olurken, çökeltme ile elde edilen bu sertlik kazancı yüksek hız çeliklerine özgü temper davranışını ortaya çıkarır (şekil 3.2).

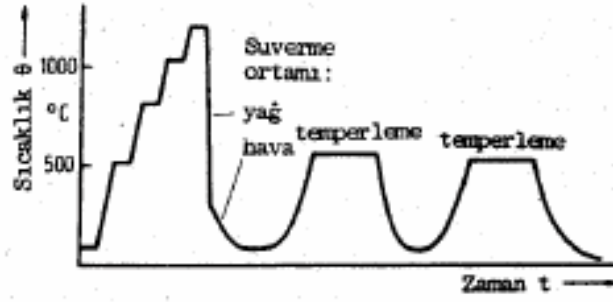


ŞEKİL 3.2 : Bir yüksek hız çeliğinin temper davranışı

1. Martenzitin Fe₃C benzeri karışık karbürlere ile ferrite ayrışması (sertlik kaybı).
2. Çökeltme sertleşmesi. Östenitleme sırasında çözünen özel karbürlerin yeniden oluşarak çökeltmesi (sertlik kazancı).
3. 1 ve 2 'nin toplam etkisi.

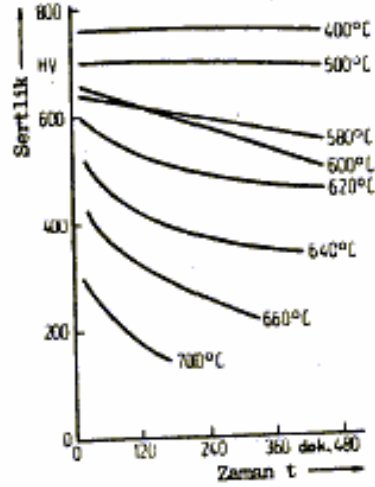
Temperlemede karbürlere sadece martenzitten değil artık östenitten de ayrışır. Böylece karbon ve alaşım elementi miktarı azalarak Ms sıcaklığı yükselen artık östenitin, soğuma sırasında büyük ölçüde (temperlenmemiş) martenzite dönüşmesi yeniden temperlemeyi gerektirebilir.

Temperlemede, yayınmaya bağlı oldukları için olaylar çok yavaş gelişir. Dolayısıyla çoğu durumda ve öncelikle temperlenmemiş martenzit oranı yüksekse iki veya üç kez temperleme yapılır (şekil 3.3).



Şekil 3.3: Yüksek hız çeliklerinin sertleştirme ve temperlenmesinde sıcaklık ve zaman diagramı (şematik)

Yüksek hız çeliklerinde son olarak vurgulanması gereken nokta , işletme sıcaklığı arttıkça özellikle temperleme sıcaklığının üzerinde (>550 °C) sertliğin zamanla azalmasıdır (şekil 3.4) [8].



Şekil 3.4: Kobalt içeren bir yüksek hız çeliği için çeşitli sıcaklıklardaki sertlik değerlerinin, her bir sıcaklıkta tutma süresine bağlı olarak değişimi.

4. TAKIM ÇELİKLERİNİN KAYNAĞI

Takım çeliklerinin kaynağı ekonomik nedenlere dayanır, burada imalat kaynağı değil, tamir kaynağı uygulanır [2].

Diğer çeliklerle karşılaştırıldığında takım çeliklerini kaynak yapmak daha zordur [4]. Bu zorluk takım çeliklerinin sahip olduğu %0,8-1,5 'luk karbon içeriğinden kaynaklanmaktadır [5]. Takım çeliklerinin kaynağındaki ana problem yüksek sertleşebilirliğe sahip olabilmelerinden doğmaktadır. Isı kaynağı kaynak bölgesinden uzaklaştırıldıktan sonra kaynak çok çabuk soğur, kaynak metali ve ısıdan etkilenen bölge sertleşir. Bu dönüşüm gerekli dikkatin gösterilmemesi halinde kaynağın oldukça zorlanmasıyla birlikte çatlama riski doğuracak gerilmeler yaratır [1].

Takım çelikleri genel olarak oldukça mühim miktarda alaşım elementi içerirler ve kullanılmadan evvel muhakkak bir sertleştirme işlemine tabi tutulurlar [2]. Yüksek alaşımlı ve oldukça fazla miktarda karbon içeren takım çeliklerinin kaynağı, iç gerilmeleri azaltıp çatlak oluşumunu gidermek için ön ve son ısıtma gerektirir. Kaynak öncesi tav işleminin bazen elverişsiz olması halinde dahi takım çeliklerinin temperlenerek kaynak edilmeleri tercih edilir [11].

Takım çeliklerinin kaynağını gerekli kılan sebepler ;

- Daha basit elementlerden oluşan takımların kaynağında
- Kırılan, çatlaman ve hasar gören takımların tamirinde
- Yeri değişmeyecek durumda olan bir takımın özelliklerinin iyileştirilmesinde
- Aşınan yüzey ve kenarların tamirinde [11]
- Tasarım değişikliklerinde [1].

Takım çeliklerinin kaynağı şu sırayı takip edilerek yapılmalıdır .

- Esas metalin bileşiminin tespiti
- Esas metal bileşimine uygun elektrotun seçilmesi
- Parçanın yüzeyinin temizlenmesi ve kaynak ağızlarının hazırlanması

- Kaynak makinesinin uygun akım şiddetine ayarlanması ve parçanın ön tav sıcaklığına kadar ısıtılması
- Arkın oluşturulup kaynağa başlanması
- Her pasoda oluşan cürufunun temizlenmesi ve dikişin sıcak halde uygun bir şekilde çekişlenmesi
- Parçanın temperlenmesi
- Kaynak dikişinin temizlenmesi ve işlenmesi.

Parçanın kaynağa hazırlanmasında en önemli husus parça yüzeyinin iyice temizlenmesi, parçada çatlak olup olmadığının kontrolü, kaynak ağızlarının hazırlanması ve uygun ön tav sıcaklığının tespitidir. Kaynak ağızları hazırlanırken keskin kenar ve köşelerden kaçınmak gereklidir, zira bunlar ileride ve kaynak esnasında çatlak başlangıcına sebep olabilirler. Diğer önemli husus ön tav sıcaklığının seçimidir , bu hususta genellikle aşağıdaki sıcaklık dereceleri uygulanmaktadır [2].

Tablo 4.1: Takım çeliklerinde ön tav sıcaklığının seçimi [10].

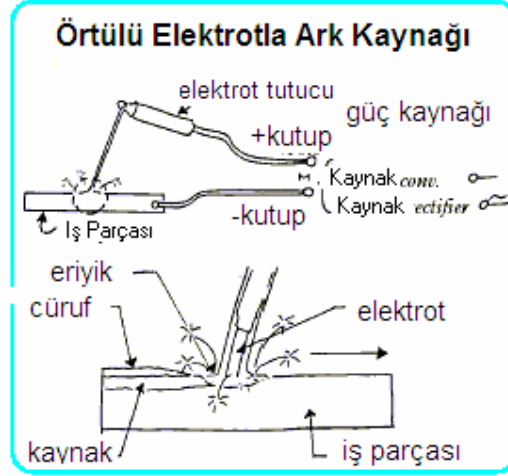
Suda sertleşen takım çelikleri	100-250 °C
Yağda sertleşen takım çelikleri	100-300 °C
Havada sertleşen takım çelikleri	150-500°
Sıcak iş çelikleri	400-600 °C
Hız çelikleri	500 °C

4.1 TAKIM ÇELİKLERİNE UYGULANAN KAYNAK YÖNTEMLERİ

4.1.1 Örtülü Elektrotla Ark Kaynağı

Takım çeliklerinin kaynağında en sık kullanılan yöntem örtülü elektrotla elektrik ark kaynağıdır. Bu malzemelerin kaynatılması için bir doğru akım kaynak malzemesine ve ehil bir kaynakçıya ihtiyaç vardır; ayrıca bu tür çeliklerin kaynağında uygun bir ön tav ve kaynağa müteakip temperleme gerektiğinden , bu ısıl işlemlerin gerçekleştirilebileceği donanımlara ihtiyaç vardır [2].

Çubuk şeklindeki örtülü elektrot ile iş parçası arasındaki elektrik arkı doğru ve alternatif akım güç kaynakları ile üretilir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Elektrot Ark Kaynağı

Elektrotların içinde genellikle, sıkıştırılmış tozla örtülü tel şeklinde düşük karbonlu çelik bulunur. Karışık bir yapıya sahip bu örtü demir tozu, tozlaştırılmış ferro alaşımlar, cüruf yapıcı ve uygun bağlayıcılar içerir. Kaynak esnasında elektrot, arkın hareketi ile tükenir ve eriyik metal damlaları iş parçasına geçer. Eriyik damlaların elektrottan iş parçasına geçişleri ve kaynak bölgesinin soğuma ve katılaşması esnasında oluşan kirlenme, elektrot örtüsünün yapısındaki unsurlar ve kısmen elektrotun ergimesiyle oluşan gazlar tarafından engellenir [1].

Takım çeliklerinin kaynağında örtülü metal ark kaynağı, geniş dolgu malzemesi çeşitliliğine sahip olması, yöntemin çok yönlülüğü ile katı cüruf örtüsünün gaz örtüden daha fazla koruma sağlaması ve soğumayı geciktirmesi gibi faydalarından ötürü tercih edilmektedir.

Dezavantajları ise, elektrot değişimi esnasındaki kesilme, cüruf kırıcı ve temizleyici ihtiyacı, ön ısıtma sıcaklığını korumadaki zorluk ve elde edilen sonuçlardaki değişiklik olarak sayılabilir [11].

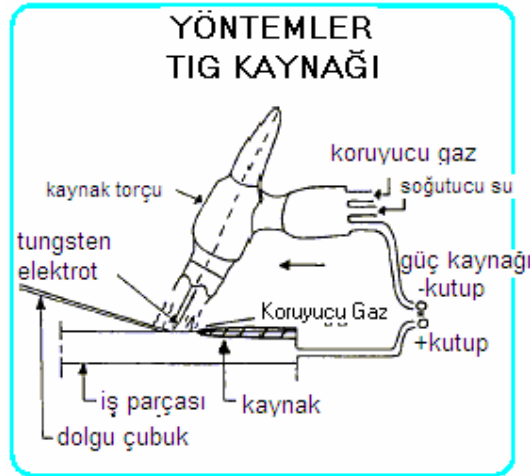
MMA kaynağı için hem AC hem de DC güç kaynaklarını kullanmak mümkündür. Bununla birlikte hangi güç kaynağı kullanılırsa kullanılсын güç kaynağının elektrotla

uyumlu akım ve voltaj sağlaması gerekir[1]. Tipik kaynak gerilimleri 15-45 V'tur ve kaynak akım değerleri 10 ile 500 A arasındadır [12].

4.1.2. Gaz Tungsten Ark Kaynağı (GTAW or TIG)

Takım çeliklerinin TIG kaynağında argon gazı ve çeliğin bileşimine uygun elektrot kullanılır. Standart kaynak donanımı ve bilinen kaynak usullerinin uygulanması ile takım çelikleri kolaylıkla kaynak edilebilir [2].

Metal ark kaynağında elektrot çubuk, kaynak esnasında arkın etkisi ile tükenir. TIG kaynağında, yüksek ergime noktasına sahip (3300°C) tungsten veya tungsten alaşımlarından üretilen elektrot, kaynak esnasında tükenmez [1].



Şekil 4.2: TIG Kaynağı [1].

Bu yöntemde, ucunda delikli bir meme bulunan modifiye edilmiş bir TIG kaynak tabancası kullanılır. Parçaları yeterli bir temas durumunda tutabilmek için, tabancanın memesi malzemeye sıkıca bastırılır (temas direncini sürdürebilmeleri için parçaların yeterli rijitlikte olması gerekir.). Koruyucu bir atmosfer oluşturmak için, meme içinden genellikle argon veya helyum olan inert gaz akar. Ark süresi, yeterli bir nokta ark kaynağı üretmek için otomatik olarak ayarlanmıştır. Kaynak çekirdeğinin derinliği ve boyutu, amperaj, süre ve koruyucu gaz türü tarafından kontrol edilir [12].

Tungsten elektrot daima doğru akım güç kaynağının negatif terminaline bağlanır. Böylece ısı oluşumu ve elektrotun ergime riski minimize edilir [1].

4.1.3. Gaz Basınç Kaynağı

Takım çelikleri sık sık matkap ve makine takımlarının üretiminde daha az pahalı çeliklerle birleştirilir[4].

Gaz basınç kaynağı, boru ve demiryolu rayları gibi nesnelere uçları arasında alın kaynağı yapmakta kullanılan bir yöntemdir. Uçlar, erime sıcaklığının altındaki bir sıcaklığa kadar gaz aleviyle ısıtılır ve yumuşayan metal, yüksek basınç altında birbirine bastırılır. Bu nedenle bu işlem, gerçekte bir katı-hal kaynağıdır [12].

Basınçlı kaynaklar bu tür çeliklerde, ısı işlemlerle giderilemeyecek olumsuz metalurjik etkilere yol açmaması için düşük sıcaklıklarda yapılır. Isıl işlem daima kaynaklı parçada arzu edilen fiziksel özelliklerin kazandırılması bakımından gereklidir [4].

4.2. Kaynak İşleminin Gerçekleştirileceği Atölyede Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar

Takım çelikliklerin kaynağında memnun edici sonuçların alınabilmesi için aşağıdaki önlemler azami ihtiyaç olarak sağlanmalıdır.

4.2.1. Kuru Hava Kabini (Havası Alınmış Kabin)

Metal ark kaynağında kullanılan örtülü elektrotların hidrojene olan ilgileri fazla olduğundan, bu elektrotların kuru hava dışında temasta olacağı bir atmosferde bulunmalarına izin verilmemelidir. Aksi takdirde kaynak bölgesi hidrojen kapar. Bu nedenle kaynak atölyesinde elektrotların depolanması için kuru hava kabini bulunmalıdır. Kabin sıcaklığı 50-150 °C aralığında tutulmalıdır.



Şekil 4.3: Kuru hava kabini ve portatif ısıtıcı taşıyıcı

Takımların kaynak atölyesi dışında kaynak edileceği durumlarda ise portatif ısıtıcı taşıyıcı ile kaynak yerine kadar taşınmaları gerekmektedir [1]

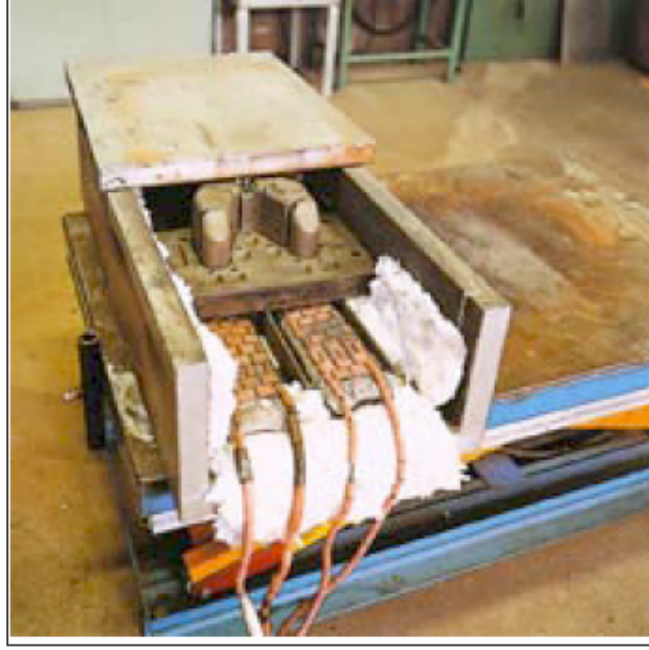
4.2.2 Kaynak İşleminin Yapılacağı Tezgah

Özellikle takım çeliklerinin kaynağı gibi kritik kaynak operasyonlarında, kaynak teknisyeninin rahat bir pozisyonda çalışması önemlidir. Bu yüzden tezgah doğru ve güvenli bir pozisyonda çalışabilecek yükseklikte olmalıdır. Tezgahın kaynak operasyonunu kolaylaştırmak açısından düşey doğrultuda yüksekliğinin ayarlanabilir ve döndürebilir olması avantajlı olacaktır [1].

4.2.3 Ön Isıtma Ekipmanı

Takım çelikleri oda sıcaklığında yüksek çatlama riski olmaksızın kaynak yapılamaz. Bu yüzden takım ve kalıplara herhangi bir kaynak işlemi uygulanmadan önce ön ısıtma yapılmalıdır.

Fırında ön ısıtma uygulanmış takımlara başarılı bir şekilde kaynak yapılırken, çalışma tamamlanmadan ısının başlangıç sıcaklığına birden düşme şansı vardır. Bundan dolayı, doğru akım kaynağına bağlı elektrikli ısıtıcı ile takımların doğru sıcaklıkta tutularak kaynak edilmesi tavsiye edilir. Bu ekipman ayrıca, takımların uniform ve kontrollü hızda ısıtılmalarını mümkün kılar [1].



Şekil 4.4: İzole edilmiş ön ısıtma ünitesi

4.3. Dolgu Metaller

Kaynak dikişinin bileşimi kullanılan tükenir dolgu elektrotun bileşimini sergiler. Kaynak yapılan bölge ;

- Uniform bileşim, sertlik ve ısıtma işlemine duyarlı olmalı
- Non-metalik inklüzyon, porozite ve çatlaklardan yoksun olmalı.
- Takımların kullanılacağı uygulamalar için uygun özellikleri sağlamalıdır.

Takım çelikleri yüksek sertliğe sahip olmalarından ötürü cüruf partikülleri veya gözeneklerden gelişebilecek çatlama riski taşır. Bu yüzden kullanılan dolgu elektrot yüksek kaliteli kaynak yapabilme özelliğine sahip olmalıdır. Benzer şekilde, üretilen her parti ürünün çok sıkı analiz kontrolleri yapılmalı ve ürünlerin sertlik ve ısıtma işlem duyarlılığı aynı olmalıdır.

Eğer kalıp kaynak sonrası parlatılacak yada foto dağlama yapılacaksa yüksek kaliteli elektrotların kullanılması zorunludur.

Genel olarak, takım çeliklerinin kaynağında kullanılan dolgu metalleri ana malzeme ile benzer kimyasal bileşime sahip olmalıdır. Tavlama şartlarında kaynak yapılacağı zaman, eğer takım yada kalıp imalat işleminde birleştirilecekse, kullanılan dolgu metalin ana çelikle aynı ısı işlem karakterine sahip olması çok önemlidir. Aksi takdirde birleştirilen takımlarda kaynak bölgesi farklı sertliğe sahip olacaktır. Geniş bileşimsel farklılıklar ayrıca artan çatlama riskine yol açar.

Açık olarak, takımların kaynağında kullanılan kaynak metalleri, farklı uygulamalar için farklı özellikler gerektirir. Takım eliklerinin 3 ana uygulama segmenti (soğuk iş, sıcak iş ve plastik kalıpları) için önemli kaynak metal özellikleri şunlardır;

Soğuk İş

- Sertlik
- Tokluk
- Aşınma direnci

Sıcak İş

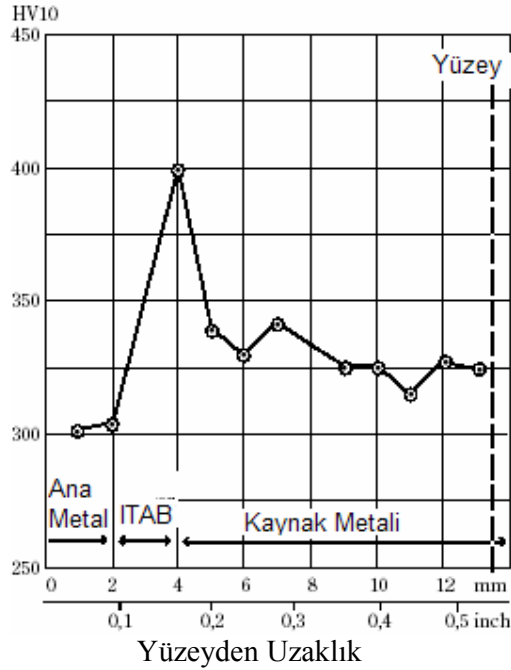
- Sertlik
- Tokluk
- Aşınma direnci
- Isı kontrol direnci
- Meneviş direnci

Plastik Kalıplar

- Sertlik
- Aşınma direnci
- Parlatılabilirlik
- Photo dağlama [1].

4.3.1 Sertlik

Sertleştirme ve menevişleme şartlarında kalıp kaynak yapılacağı zaman, kaynak bölgesinin esas çelikle aynı sertliği göstermesi önemlidir[1].



Şekil 4.5: Kaynak boyunca sertlik profili

4.3.2 Meneviş Direnci

Eğer kalıplara kaynak sonrası ısıl işlem uygulanacaksa, aynı sertliğin elde edilebilmesi için kaynak metali ile esas çeliğin sertleşme ve menevişleme karakteristikleri aynı olmalıdır [1].

4.3.3 Tokluk

Takım çeliklerindeki kaynak metali, yüksek katılaşma hızından kaynaklanan oldukça ince mikroyapı yüzünden şaşırtıcı şekilde tok olabilir. Ayrıca genel olarak tokluk, birbirini izleyen ısıl işlemler sonucu artacaktır. Bu yüzden, kaynak metali ve ana çeliğin sertliklerinin kaynak şartlarında birbirine uyumlu olması halinde bile tam sertleştirilmiş takımların geniş çaplı kaynağında kaynağa mütakip menevişleme işlemi yapılır.

Soğuk iş yakım çeliklerinde yüksek sertlik gerekli olduğunda, başlangıç katmanında yumuşak dolgu metali kullanılması ve takımın yüzeyinin ise sert dolu metali ile bitirilmesi tavsiye edilecektir. Bu yöntem tamamı ile sert elektrot kullanılmasından daha çok tokluk verecektir [1].

4.3.4 Aşınma Direnci

Kaynak metalinin aşınma direnci, kendi sertlik ve alaşım miktarının artması ile artar [1].

4.3.5 Parlatılabilirlik

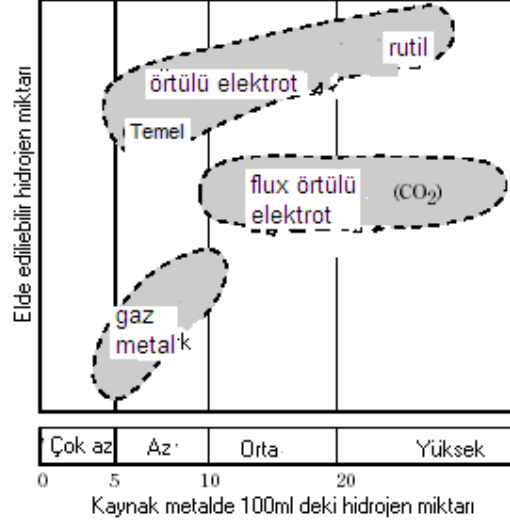
Kaynak sonrası parlatılmaları gereken plastik kalıplarda, kaynak metalinin sertlik ve bileşiminin esas çeliklerden farklı olmaması esastır. Aksi halde, bu kalıptan imal edilecek plastikte kaynak dikişinin ana hatları görülecektir [1].

4.3.6 Foto Dağlama

Foto dağlama, plastik kalıplarında istenilen desenin kalıp yüzeyine fotografik işlemle aktararak dağlanması işlemidir. Foto Dağlamada malzeme yapısı çok önemlidir [10]. Plastik kalıp ile dolgu metal aynı bileşime sahip olmalıdır. Aksi takdirde esas metal ve kaynak metalin dağlamaya karşı verecekleri tepki farklı olacağından plastik malzeme yüzeyinde belirgin lekeler olacaktır [1].

4.4 TAKIM ÇELİKLERİNİN HİDROJEN DUYARLILIĞI

Takım çelikleri yüksek sertliğe sahiptirler, bu nedenle kaynak esnasında hidrojen girişinden ötürü soğuk çatlamaya karşı dirençleri yoktur.



Şekil 4.6: Farklı kaynak yöntemleri ve elektrotları için kaynak metal hidrojen miktarları ve kapabilirlikleri.

Hidrojen çatlaklarına yol açan nedenler

- Kaynak metalinin mikroyapısı (farklı mikroyapılar farklı hidrojen duyarlılığı sergiler)
- Çeliğin sertliği (yüksek sertlik, yüksek hidrojen ilgisi)
- Gerilim seviyesi
- Elektrottaki yayınabilir hidrojen miktarıdır.

4.1. Mikroyapı / Sertlik

Karakteristik mikroyapılar ısıdan etkilenen bölgede yüksek sertlik verir. Martenzit ve beynit özellikle hidrojen gevrekleşmesine karşı duyarlıdır. Bu hassasiyet menevişleme ile azaltılır [1].

4.2. Gerilim Seviyesi

Gerilim kaynak esnasında şu 3 kaynaktan doğar;

- Eriyik havuzun katılaşmasıyla oluşan daralma
- Kaynak, ısıdan etkilenen bölge ve esas çelik arasındaki ısıl farklıklar
- Kaynak ve ısıdan etkilenen bölge soğurken ki gerilim dönüşümleri

Genellikle, kaynak çevresindeki gerilim seviyesi akma gerilim büyüklüğüne ulaşır. Bu durumda bir şey yapmak çok zordur, fakat uygun bir kaynak dizaynı ile durum iyileştirilebilir [1].

4.5. Yüksek Çalışma Sıcaklığı

Takım çeliklerinin kaynağının yüksek sıcaklıkta yapılmasının temel sebebi takım çeliklerinin kaynaklarının ve ısıdan etkilenen bölgenin çatlama duyarlılığından gelmektedir. Soğuk takımların kaynağı, kaynak metalinde ve ısıdan etkilenen bölgede gevrek martenzit dönüşümüne ve çatlama riskine yol açacak hızlı soğumaya neden olur. Kaynakta oluşan çatlak eğer kaynak soğuksa tüm takım boyunca yayılabilir. Bu yüzden takım yada kalıp , kaynak boyunca martenzit başlangıç (M_s) sıcaklığının 50-100 °C üzerinde tutulmalıdır (Kaynak metalinin kritik sıcaklığı M_s , esas metalle aynı olmaz).

Bazı durumlarda, esas çelik tamamıyla sertleştirilmiş ve M_s sıcaklığının altında menevişlenmiş olabilir. Bu nedenle, takımlara kaynak için ön ısıtma uygulanması sertlikte düşüğe neden olacaktır. Örneğin, düşük sıcaklıkta menevişlenen çoğu soğuk iş takım çeliğine menevişleme sıcaklığından fazla bir sıcaklıkta ön ısıtma uygulanması gerekecektir (yaklaşık 200 °C). Uygun bir ön ısıtma ve çatlama riskinin azaltılması için sertlikte düşüş kabul edilebilir olmalıdır.

Uygun bir şekilde ön ısıtma uygulanmış çelikte çok pasolu kaynak esnasında, tüm kaynak boyunca, kaynağın çoğu ostenitik yapısını korur ve takım soğurken yavaşça dönüşüme uğrar. Bu uniform sertlik ve mikroyapı dağılımını sağlar.

Bu bilgilerden kaynak işleminin kalıp sıcakken yapılması gerektiği sonucu çıkarılacaktır. Kısmi kaynakta, takımın soğumasına izin verilip ve sonradan tekrar ön ısıtılıp kaynak işleminin devam edilmesine, takımın çatlmasına yol açacağından ötürü tavsiye edilmemektedir.

Takımların fırın ortamında ısıtılmalarının uygun olduğu durumlarda, sıcaklığın sabit tutulamama ihtimali bulunmaktadır (gerilime sebep olur) ve takımın sıcaklığı kaynak işleminin tamamlanmadan hızla düşer (özellikle takım ufaksa).

Ön ısıtma ve kaynak boyunca gerekli sıcaklığı sabit tutmada en iyi yöntem, elektrik elemanlı duvar bulunan izole kabin kullanmaktır (şekil 4.4) [1].

5. KAYNAK PROSEDÜRÜ

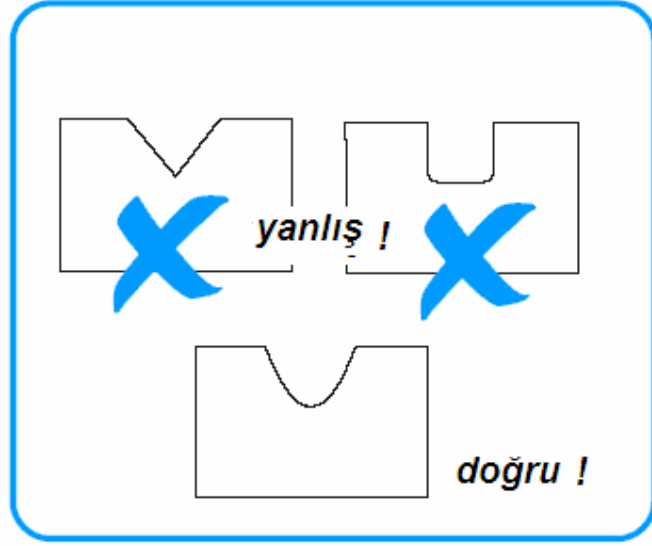
Takım çeliğinde yüksek özelliklere (yüksek aşınma direnci, yüksek sertlik, iyi korozyon dayanımı vb.) hep alaşım elementleriyle ulaşılır. Eğer takım çeliği % 0,5'den daha fazla karbon içeriyorsa bu özellikler zayıflar. Kaynak esnasında kaynak yapılan bölgeye yakın bölgede mikroyapı değişime uğrar. Ayrıca bu bölgede gerilimler oluşur.

Kaynak prosesi yapılması gereken ön ısıtma ve yeniden ısıtma kademelerini etkilemez. Sadece düşük alaşımlı yüzey sertleştirilebilir çeliklerde bu kademeler ihmal edilebilir. Çünkü bu tür çeliklerde parçanın yavaş soğuması esnasında fazla gerilim meydana gelmemektedir [10].

En iyi kaynak ekipmanı ve özel olarak tasarlanmış elektrotlarla dahi takım çelikleri, birleştirme hazırlığı, kaynak işlemi ve ısıtma işlem esnasında gerekli özenin gösterilmemesi halinde başarılı bir şekilde kaynak edilemezler [1].

Kaynak öncesi yapılan hazırlığın önemi büyüktür. Kaynakta dikkat edilmesi gereken noktalar şunlardır;

- Birleştirilecek oyuğun açısı dikeyle en az 30 °lik açı yapmalıdır [1].
- Kaynak oyuğu U- şeklinde hazırlanmalıdır [10].
- Birleşme yatağının genişliği kullanılacak maksimum elektrot çapından 1mm daha büyük olmalıdır.



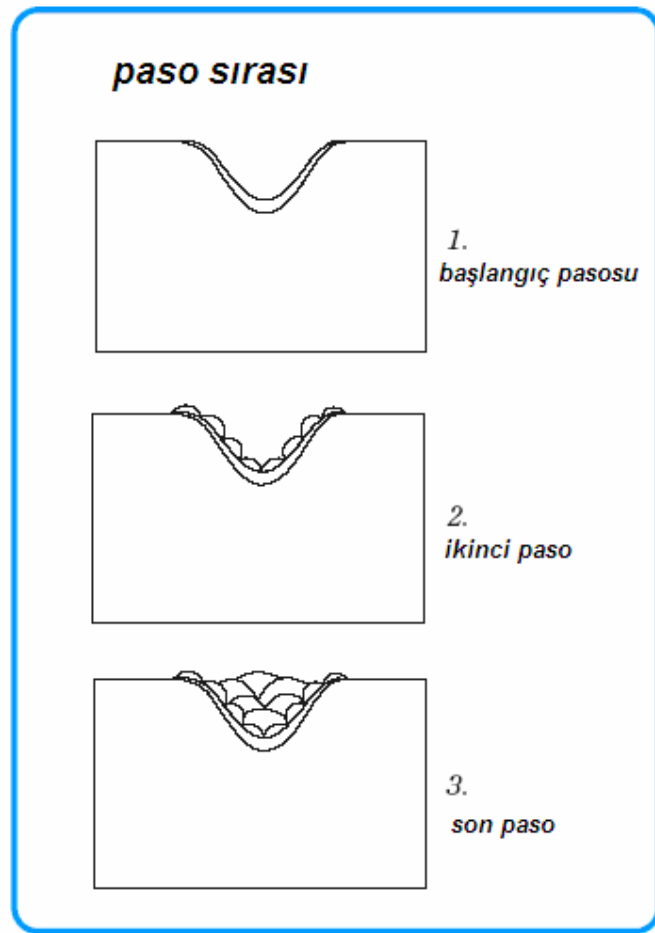
Şekil 5.1 : Takımların kaynak bağlantılarının temel türleri

- Kaynağa başlamadan önce, kaynak bölge yüzeyi penetratla kontrol edilerek mevcut hataların olup olmadığı araştırılmalıdır [1].
- Esas metalle uyum sağlayacak elektrot seçilmelidir.
- Kullanılan elektrot mümkün olan en küçük çapta seçilmelidir.
- Takım çeliği mutlaka ön ısıtılmalıdır. Böylece aşırı sertlik oluşumu ve ısıl gerilmelerden dolayı meydana gelebilecek olan kırılma çatlaklarının önüne geçilmiş olur. Kaynak operasyonunu uzaması durumunda ön ısıtma işlemi ortamın ısıtılmasıyla korunmalıdır.
- Herhangi bir sertlik düşüşünün önüne geçmek için ön ısıtma sıcaklığı son temperleme sıcaklığının 30-50 °C'nin üzerinde olmalıdır.
- Kaynaktan sonra parça gerilim giderme işlemi için 100°C'den daha aşağıya soğutulmamalıdır.
- Tavlanmış malzemeye yumuşama tavlama yapılmalıdır. Sertleştirilmiş ve temperlenmiş malzemeler ise son sıcaklığın 30-50°C altında yeniden temperlenir

Takım, kaynak için yapılan hazırlıklar biter bitmez kaynak edilmelidir. Aksi taktirde birleştirilecek yüzeylerin, toz, kir ve nem dolayısıyla kirlenme riski bulunmaktadır [1].

5.1. Kaynak Dolgusunun Oluşturulması

İlk önce birleştirilecek yüzeyler uygun sayıda paso ile kaplanır. Bu ilk başlangıç katmanı küçük çaplı MMA elektrot (3,25mm-1/8 inc-Ø) veya TIG kaynağı (maks. Akım 120 A) ile yapılmalıdır.



Şekil 5.2: Dolgu metalde paso sırası

İkinci paso ısıdan etkilenen bölgeyi çok genişletmemek için yine aynı çaplı eletrot ve akım ile yapılır. Buradaki amaç, birinci pasoyla metalde oluşan sert, gevrek mikroyapıdan doğan çatlama riskinin ikinci paso esnasında oluşan ısının temper etkisiyle düşürülmesidir.

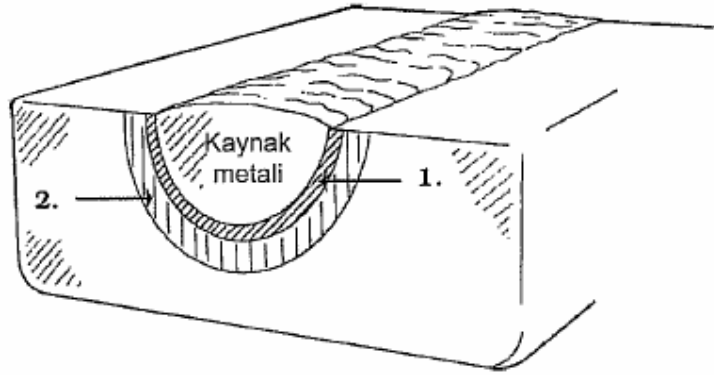
Takımın yüzeyini örtücek son paso itina ile yapılmalıdır. Ufak kaynaklar dahi en az 2 pasoyla oluşturulmalıdır.

Kaynak esnasında, arkın birleştirilmeyecek yüzey üzerinde oluşturulmasından kaçınılmalı, tam birleştirilecek kısımda oluşturulmalıdır. Ark çatlak oluşumuna neden olacak gözeneklere neden olur. Gözeneklerden kaçınmak için, kaynak kesilmeden devam edilmelidir.

Eğer MMA gibi tükenen elektrottan ötürü kaynak kesilir , sonra yeniden devam edilirse bu potansiyel bir çatlak oluşumuna yardım eder [1].

5.2. Kaynak Sonrası Isıl İşlem

Takım çeliklerini kaynak yaparken en önemli faktör, yüksek becerili işçiliktir. Kaynaktan sonra kalıp ömrünün anahtarı, gerilme gidermedir. Kaynaktan önce tamamen ve uygun şekilde uzaklaştırılmış çatlakların çatlama problemlerinin ana nedeni, ön tavlama, son tavlama, gerilme giderme ve temperlemenin hiç yapılmaması veya yeterince uzun yapılmamasıdır .



Şekil 5.3 : Bir S7 takım çeliğinde kaynaktan sonraki ITAB.

Kaynak metalinin altında, karışık yapıda (1'le gösterilen bölgede) kaynak ısısı tarafından yeniden sertleştirilmiş çelik, 58/60 HRC ve 2'yle gösterilen kısımda 35/40 HRC gibi yumuşak olduğu noktaya kadar yüksek seviyede tempelenmiş bir bölge bulunur. Bu iki bölge, servis sırasında çapaklanma ve kırılmanın nedenini oluşturmak üzere birlikte etkiyebilir [13].

Takımlara başlangıç şartlarına bağlı olarak aşağıdaki ısı işlemler uygulanabilir.

- Temperleme
- Yumuşak Tavlama
- Gerilim Giderme

5.2.1. Temperleme

Tamir için kaynak yapılan tam sertleştirilmiş takımlar mümkünse kaynak sonrası temperlenmelidir [1].

Soğuma sonrasında yapıda kalıntı ostenit ve çözülmüş karbürler vardır. Temperleme sonrası ikinci sertleşme meydana geldiği gibi çok küçük karbür çökmesi ve kalıntı ostenitin martenzite dönüşümü meydana gelir. Ayrıca temperlenmemiş martenzit temperlenmiş martenzite dönüşerek tokluk artışına neden olur. Bu durumda malzemenin kırılma ve çatlama riski minimuma indirilir. Bunun anlamı parça özelliklerinin iyi yönde artmasıdır. Yani, martenzit mutlaka temperlenmelidir [10].



Şekil 5.4: Temperleme İşlemi

Temper işlemi kaynak metalin tokluğunu artırır ve bu, kaynak bölgesinin oldukça yüksek gerilim içerdiği servis şartlarında önemlidir (sıcak iş ve soğuk iş takım çelikleri). Temper sıcaklığı esas metal ve kaynak metalin sertliklerine uygun şekilde seçilmelidir. Bu kurala istisna olarak, kaynak metalinin farkedilebilecek derecede yüksek temper direnci göstermesi halinde, kaynak mümkün olduğunca yüksek

sıcaklıkta temperlenmelidir (temper sıcaklığının yaklaşık 20° C altında). Ufak tamir işlemlerinden ise takımın temperlenme ihtiyacı yoktur [1].

5.2.2. Yumuşak Tavlama

Takımlar, tasarımdan kaynaklanan değişiklikler veya imalat için kullanımları esnasında oluşan hatalar nedeniyle maruz kaldıkları kaynak işlemi sonrası ısıtıl işlem görmeleri gerekir.

Kaynağa mütakip soğuma sonrası sertleşen kalıba, sertleştirme ve temperleme öncesi yumuşak tavlama yapılması gerekir [1].

5.2.3 Gerilim Giderme

Düzensiz soğumanın bir neticesi olarak yapıda meydana gelen gerilmeleri gidermek amacı ile uygulanmaktadır. Döküm işleminin ardından ilk katılacak kısım en dış tabakadır ve iç kısımlar yüzeye göre daha sıcaktır. Bunun bir neticesi olarak yapı dönüşümleri en son çekirdek kısmında olmaktadır ve yapıda gerilmeler oluşur. Talaşlı şekil verme sonucu ise yapıda işleme gerilmeleri oluşur. Bu gerilmeler ısıtıl işlem sırasında boyutsal değişime ve çarpılma denilen probleme neden olur. Bu durumu ortadan kaldırmak için 550-650 °C arasında 2-3 saat tutulan parça yavaş soğutulularak gerilim giderme işlemi gerçekleştirilir [10].

Tablo 5.1: Malzemelere göre önerilen ön ısıtma ve gerilim giderme sıcaklıkları

Malzeme No (DIN)	Durum	Ön ısıtma sıcaklığı °C	Gerilim giderme sıcaklığı °C
1.1730	Tavlanmış	350-400	650-700
1.2162	Tavlanmış	400-450	680-710
1.2162	Sertleştirilmiş	160-200	160-200
1.2764	Tavlanmış	400-450	620-650
1.2764	Sertleştirilmiş	160-200	160-200
1.2311	Temperlenmiş	350-480	400-550
1.2312	Temperlenmiş	350-480	400-550
1.2738	Temperlenmiş	350-480	400-550
1.2344	Tavlanmış	350-450	820-860
1.2344	Temperlenmiş	350-450	500-600
1.2379	Tavlanmış	300-400	800-850
1.2379	Sertleştirilmiş	160-250	160-250
1.2436	Tavlanmış	300-400	780-820
1.2436	Sertleştirilmiş	160-240	160-240
1.2713	Tavlanmış	400-500	680-720
1.2713	Temperlenmiş	300-400	450-650
1.2767	Tavlanmış	300-400	620-650
1.2767	Sertleştirilmiş	160-300	160-300
1.2842	Tavlanmış	300-400	680-720
1.2842	Sertleştirilmiş	160-240	160-300
1.2083	Tavlanmış	400-500	780-820
1.2083	Sertleştirilmiş	250-350	250-500
1.2316	Temperlenmiş	400-500	580-650
1.2709	Solüsyon tavlama	300-400	500/3 saat hava

Takım çeliklerinden imal edilen kalıplardan beklenen yüksek performansı elde etmek için özenli ısıl işlem prosesine ihtiyaç vardır.

Soğuk iş takım çeliklerinin sertleştirilmesi sonucunda yapıda kalan kalıntı ostenitin çelik özellikleri açısından farklı etkileri söz konusudur. Kalıntı ostenitin takım çeliklerinde sebep olduğu olumsuz özellikler şunlardır.

- Basma , akma ve maksimum mukavemetlerini düşürür ve bu yüzden malzemenin yük taşıma kapasitesini azaltır.
- Sertliği, aşınma ve çentik direncini düşürür.
- Taşlama operasyonlarında yanmaya ve ısı kontrolüne karşı duyarlılığı artırır.
- Dişliler, yataklar ve ölçü aletleri kalıntı ostenitin izotermal olarak dönüşebileceği sıcaklıklara maruz kalırsa servis esnasında istenmeyen boyut büyümelerine neden olabilirler.

Bunların yanında belirli orandaki kalıntı ostenitin olumlu etkileri de vardır. Ülkemizdeki DIN1.2379 normlu soğuk iş takım çeliğinde kalıntı ostenitin giderilmesi için yüksek sıcaklıkta temperleme işlemi uygulanmaktadır. Bu sayede tel erozyonda meydana gelebilecek olası çatlakların önüne geçilmektedir [10].

6. YAPILAN ÇALIŞMALAR

6.1. Malzeme

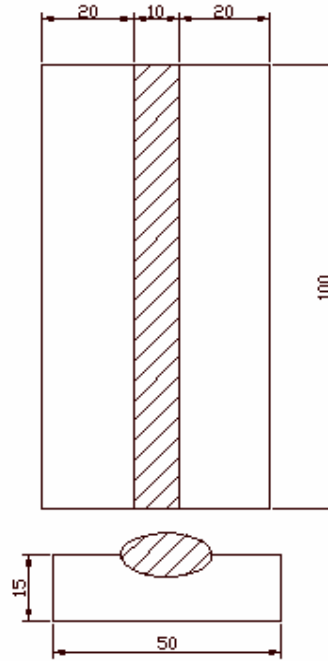
Bu çalışmada ledeburitik bir iç yapı ile %12 Krom' a sahip DIN 1.2379 (X155CrVMo121) soğuk iş takım çeliği kullanılmıştır. İki adet DIN 1.2379 takım çeliği numunesine farklı bileşime sahip 2 elektrotla (DIN 8555 \cong E6-UM55GRP ve DIN 8555 \cong E10 –UM60GRZ (AWS A5,13 \cong E F_cCr-A1)) elektrik ark kaynağı uygulanarak kaynak işlemi gerçekleştirilmiş ve mevcut yöntem ile içyapı tahmini yapılmıştır.

Ana malzemenin kimyasal bileşimi tablo 6.1 'de verilmiştir

Tablo 6.1: DIN 2379 takım çeliğinin kimyasal bileşimi

Kimyasal Analiz	C	Si	Mn	Cr	V	Mo
%	1,55	0,30	0,35	12,00	0,90	0,75

Kaynak için 15 mm kalınlığında ve 50 mm'e 100 mm ölçülerinde numuneler alınıp kaynak ağızı açılmadan aşağıdaki şekildeki gibi dolgu kaynağı yapılmıştır (Şekil 6.1).



Şekil 6.1 : Kaynak yapılan parçanın kesit görüntüsü.

Malzemelerin kaynak işlemleri için 2 farklı elektrot kullanılmıştır. Kullanılan elektrotlar DIN 8555 \cong E6-UM55GRP ve DIN 8555 \cong E10 –UM60GRZ (AWS A5,13 \cong E FeCr-A1) olup, rutil örtülü 3,25 mm çapında, 350 mm boyundadır ve kaynak için gerekli akım şiddeti elektrotlar için kataloglarda önerilen şekilde 120-125 Amper arasında uygulanmıştır. Daha sonra kaynak edilmiş parçalardan 50mm-30mm-15mm ölçülerinde mikroyapı numuneleri giyotin testerede kesilerek hazırlanmıştır. Bu işlemin ardından SiC su zımparasında 220, 400 ve 600'lük zımparalarla zımparalanmış ve çuha üzerinde 1 μ m'lik alümina içeren katı-sıvı karışımıyla parlatma işlemine tabi tutulmuştur. Zımparalama sonrası kaynaklı numunelerin görüntüsü Şekil 6.2'de görülmektedir.

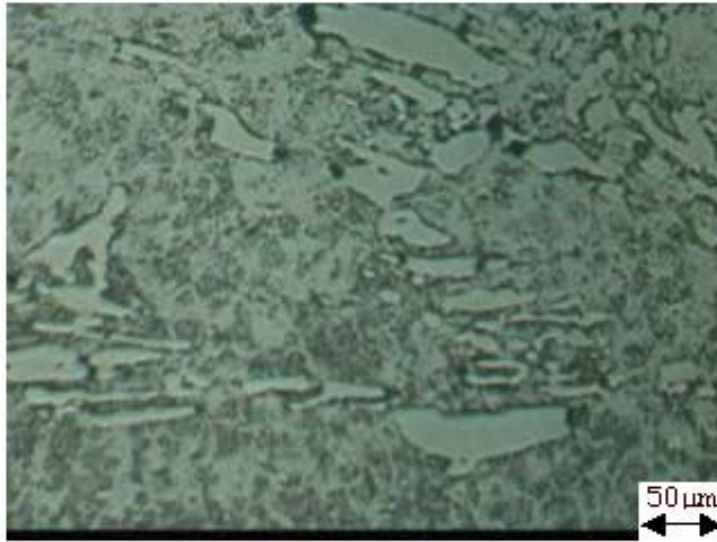


Şekil 6.2 : E6-UM55GRP ve E10-UM60GRZ elektrotla kaynak işlemine maruz kalan çeliğin kaynak bölgesinin makro yapısı



Şekil 6.3: 55 Hd elektrotla kaynak işlemine maruz kalan çeliğin kaynak bölgesinin makro yapısı

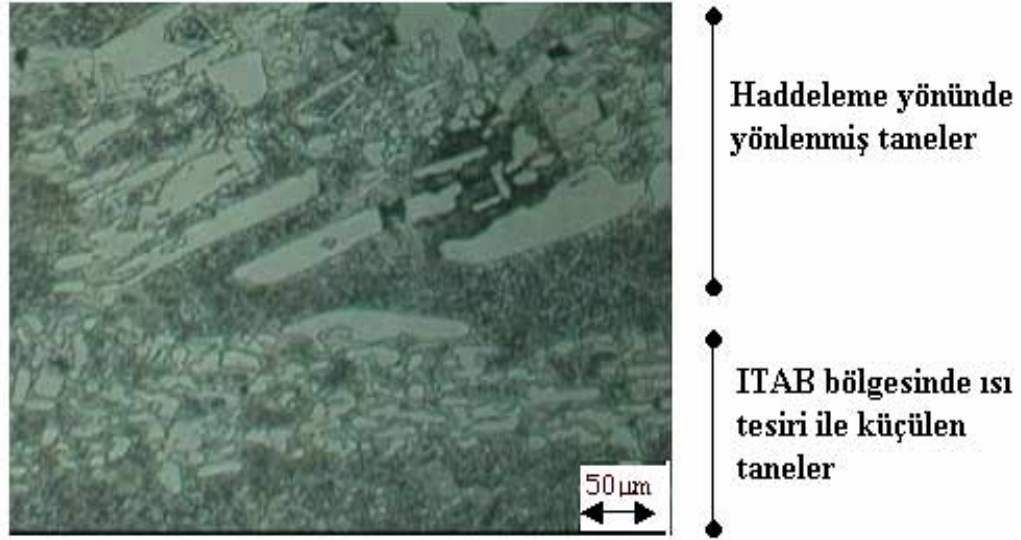
Ardından Mikroskopik incelemeye hazır hale getirilen numuneler, esas metal %2 Nital, dolgu metal 4gr CuSO₄, 20ml HCl ve 20ml H₂O ile dağlandıktan sonra mikroyapıları mikroskop altında incelenmiş ve bu görüntülerin fotoğrafları dijital kamera ile kaydedilmiştir .



Şekil 6.4: DIN 2379 takım çeliğinin mikro yapısı

Ferritik matris doku içine dağılmış ledeburik tanelerin haddeleme doğrultusunda yönlendiği şekil 6.4 'da görülmektedir. Soğuk şekil verme sonrası dislokasyonların kilitlemesi ile yapı pekleşmiştir. Malzemenin sertliği 257-264 Hv (24-25 HRC) seviyelerindedir.

Kaynak sırasında kaynak metaline komşu ana malzemenin bir bölümünde termal evrime maruz kalmaktadır. Isı tesiri altındaki bölge (ITAB) olarak adlandırılan bu bölgede kimyasal bileşime ve termal çevrime bağlı olarak mikroyapı ve özelliklerde bir değişim olması beklenir [14].



Şekil 6.5 : ITAB 'ın tane yapısına etkisi.

Kaynak işlemi esnasında ısının yüksek sıcaklıklara çıkması ile ısı tesiri altında kalan bölgede yeniden kristalleşme görülür. Yeniden kristalleşme sonrası çok sayıda çekirdeklenme noktasıyla beraber tane boyutu küçülür. Oluşan eş eksenli taneler şekil değişimi yönünde uzamış olanların yerini alır [8]. Şekil 6.5'de Isı tesiri altında kalan bölgedeki tanelerin yeniden kristalleşme sonrası küçüldüğü açık şekilde görülmektedir [7].

Isı tesiri altındaki bölge (ITAB)'ın temel metalurjik karakteristikleri hakkında genel bilgi, takım veya kalıp kaynakçısı açısından önemlidir.



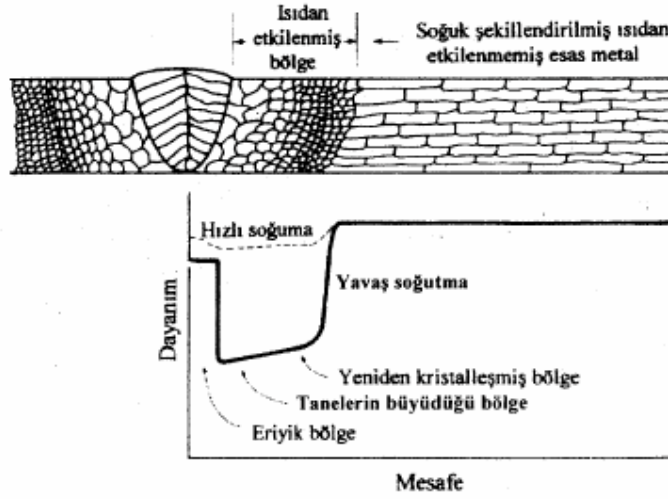
Şekil 6.6: Isı tesiri altında kalan bölgenin metalurjik yapısı

Erime hattı, esas metalle sulanmış olan erimiş dolgu malzemesinden (elektrottan) oluşur. Erime hattının özellikleri, kullanılan kaynak elektrotunun (telinin) türüne, esas metalin kimyasal bileşimine ve oluşan sulanma miktarına bağlıdır.

Kısmen erimiş bölgede, esas metal, “başlangıç erimesi” olarak adlandırılan aşamadır. Yine, bu bölgenin derinliği, kaynaktan gelen ısı girdisinin miktarına bağlıdır. Soğumadan sonra, bu bölge su verilmiş martenzit içerir. Su verilmiş martenzit içeren bölgede metal, kaynak esnasında yeniden ostenitleşmeye yeterli sıcaklıktadır ve daha sonraki soğuma sırasında su verilmiş martenzite dönüşür.

Kademeli temperlenmiş bölgede, temper yumuşamasına yeterli sıcaklığa ısıtılmış esas metalden, esas metalin genel sertliğinden daha düşük sertliğe sahip esas metale kadar kademelerden oluşur [13]

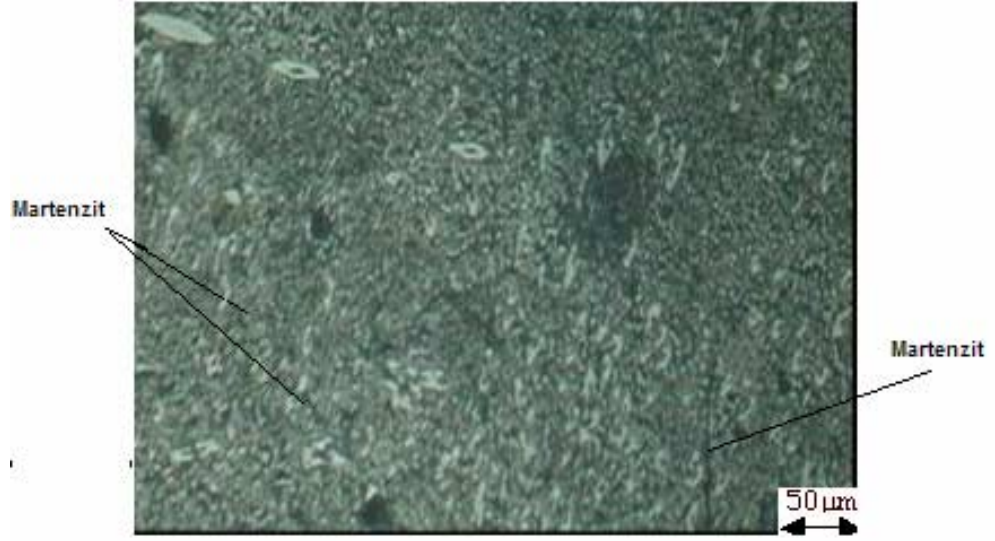
Kaynak esnasında kaynağa çok yakın metal A_1 sıcaklığının üzerinde ısınır ve ostenit oluşur. Soğuma esnasında bu ısıdan etkilenmiş bölgedeki ostenit, çelik için CCT diyagramına ve soğuma hızına bağlı olarak yeni bir yapıya dönüşür [7].



Şekil 6.7: Kaynakta ısıdan etkilenmiş bölgenin oluşumu.

Isıdan etkilenmiş bölgede yeniden kristalleşme ve tane büyümesinden ötürü dayanımdaki azalma şekil 6.7’de görülmektedir [7]. $T > T_{yk}$ olan bölgeler yeniden kristalleşir, yani pekleşme etkisi kalkar [8].

Takım çeliklerinin mikroyapısı, içinde karbürlerin gömülü olduğu yumuşak bir matristen oluşur. Karbon çeliklerinde bu karbürler demirkarbür’den oluşur, alaşımlı çeliklerde ise kimyasal bileşime bağlı olarak krom (Cr), tungsten (W), molibden (Mo) veya vanadyum (V) karbürler mevcuttur. Karbürler karbon ve bu alaşımlardan oluşan bileşiklerdir ve çok yüksek sertlikle karakterize edilirler. Yüksek bir karbür içeriği, aşınmaya yüksek direnç anlamına gelir.



Şekil 6.8 : Isı tesiri altında kalan bölgedeki tane yapısı

Takım çeliklerinde kobalt (Co) ve nikel (Ni) gibi alaşım elamanları da bulunur, ancak bunlar karbür oluşturmazlar [13].



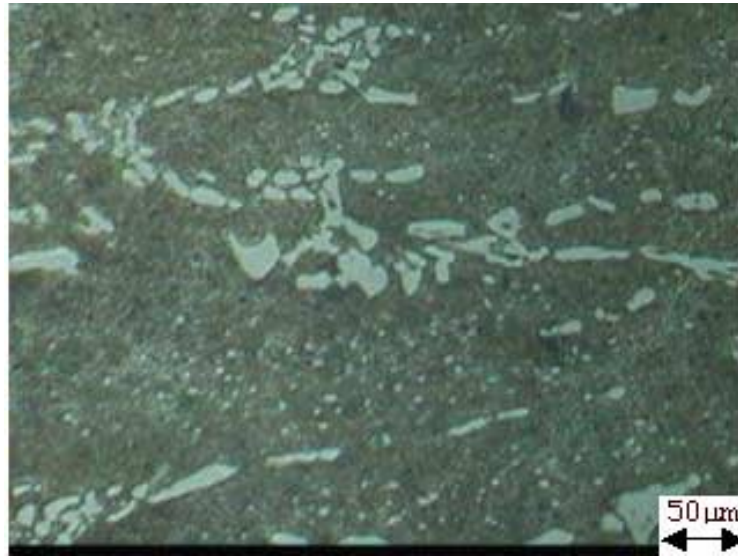
Şekil 6.9: Isı tesiri altında kalan bölgedeki tane yapısı

A_1 sıcaklığının üzerine ısıtılan, ısıdan etkilenmiş bölge kısmı, soğumadan sonra martenzit oluşturabilir [7]. Çeliğin kaynağında ana sorun eriyiğe yakın bölgelerdeki malzemenin sertleşme eğilimidir. Tümüyle ostenitleşmiş, iri taneli bölgede ($T > A_{c3}$) soğuma hızı kritik hızın üzerine çıkarsa malzeme kırılğan martenzite dönüşür. Çeliğin karbon miktarı ne kadar yüksekse, oluşan martenzit o kadar sert ve gevrek olur. Şekil 6.11’de ısı tesirinin etkisi ile tane boyutu küçülen bölgedeki krom karbür , kalıntı ostenit ve perlit fazları ile beraber tane sınırında birikmiş martenzitik yapı görülmektedir.

Çeliklerde alaşım oranı arttıkça martenzit oluşumunu engellemek güçleşir. Bu durumda,

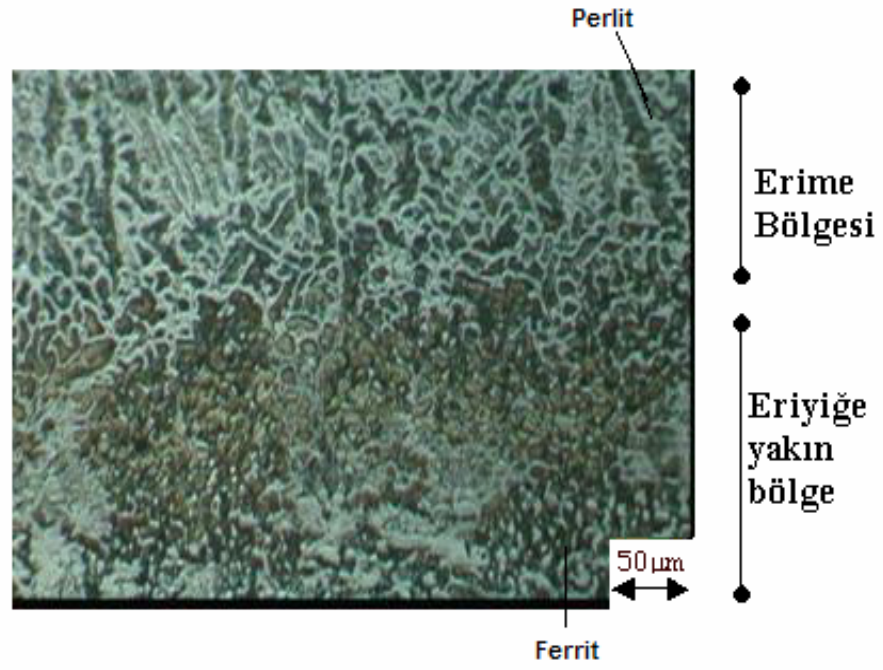
- Kaynaktan önce ön ısıtma yapılarak soğuma hızı düşürülür ve /veya
- Kaynaktan sonra bir ısıtma işlemi uygulanarak sertlik azaltılır [8].

Şekil 6.10 da , yine ısı tesiri altında kalan bölgenin mikro yapısı görülmektedir.

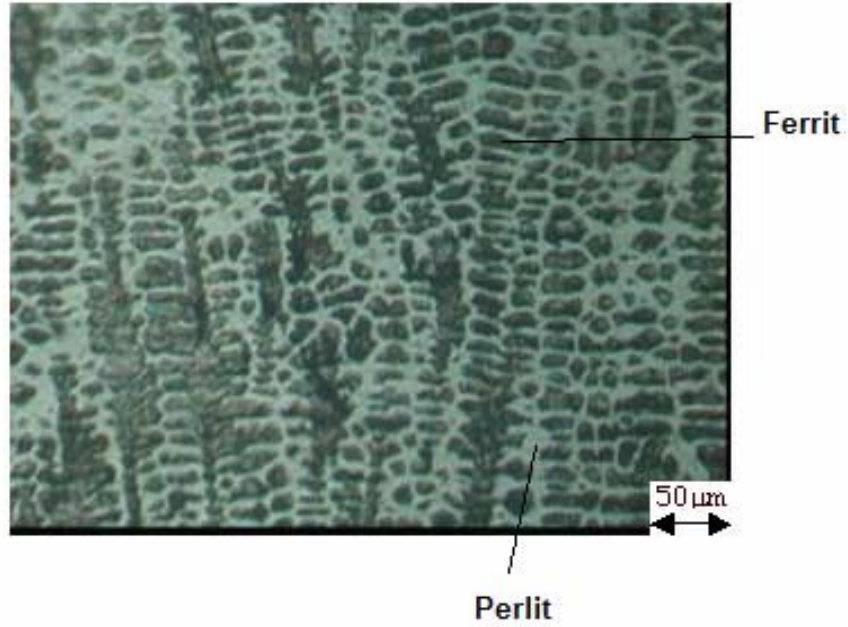


Şekil 6.10 :Isı tesiri altında kalan bölgedeki tane yapısı

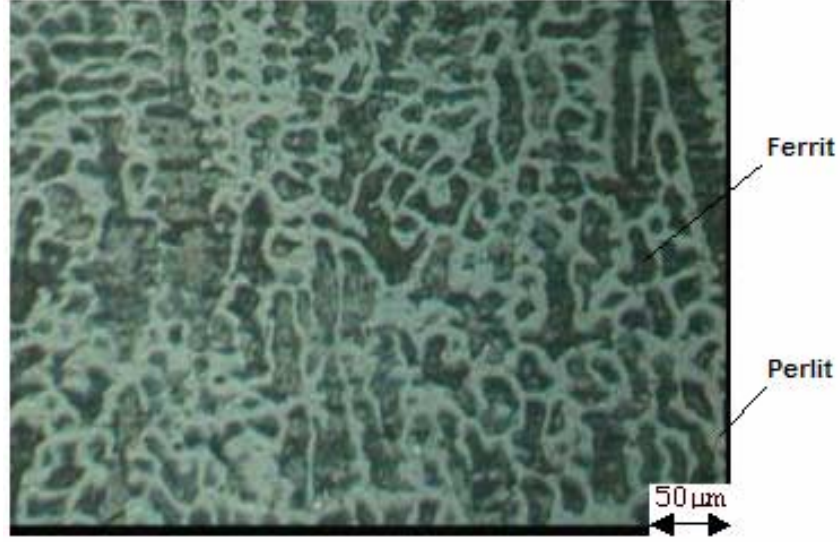
Eriyen bölge civarındaki yüksek sıcaklığa erişen kısımlar tane büyümesi şeklinde kendini gösterir [15]. Bilindiği üzere kaynak metali, ilave metal ve ana malzemenin karışımından meydana gelmektedir. Literatürde de , bu oluşum belirtilmekle beraber kaynak dikişinde ark esnasında yüksek sıcaklık sebebi ile türbülans olduğu ve iyi bir karışımın olduğu bildirilmektedir [16].



Şekil 6.11 : Erime bölgesi ile eriyiğe yakın bölgede irileşen tanelerin mikroyapı



Şekil 6.12 : Erime Bölgesi



Şekil 6.13 : Erime Bölgesi

Erime bölgesi, ekseriya kaynak bölgesindeki türbülansan ötürü, katılaşmadan evvel iyice birbirine karışmış esas ve kaynak metalden ibarettir [15]. Bu görüntü şekil 6.13’de net bir şekilde görülmektedir. Bu bölgedeki metalurjik incelemede, kaynak bölgesinde iğneli martenzitik yapılarla birlikte bu fazı çevreleyen Cr-karbürler görülmektedir.

6.2. Sertlik Ölçümü

Mikroskop altında iç yapıları incelenen numunelerin sertlik değerleri microvikers test cihazında ölçülerek aşağıdaki değerler elde edilmiştir.

Birinci numune $DIN\ 8555 \cong E6-UM55GRP$ (Ticari ismi ,GK Fazer 55 Hd) standartlı elektrot ile kaynak edilmiştir. Bu elektrotun yaklaşık kimyasal bileşimi tablo 6.2’de gösterilmektedir.

Tablo 6.2: DIN 8555 \cong E6-UM55GRP Standartlı elektrotun kimyasal bileşimi

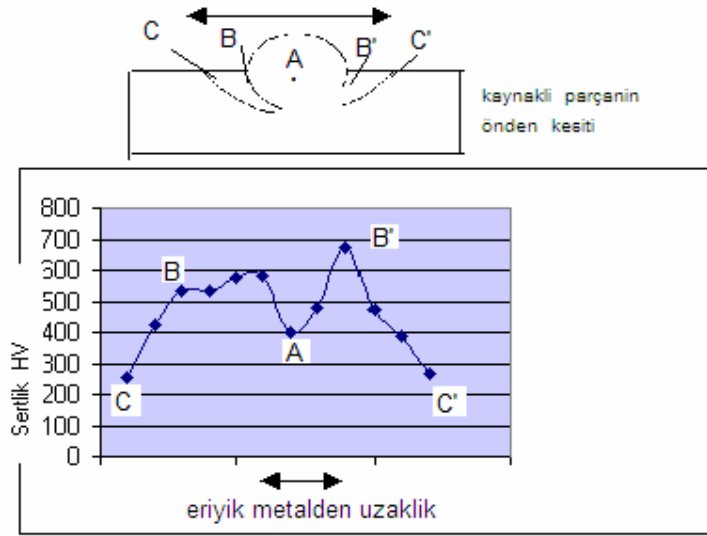
DIN 8555 \cong E6-UM55GRP Standartlı elektrotun kimyasal bileşimi	
C	% 0,5
Cr	% 11
Mo	% 1

Standart gösterimi DIN 8555 \cong E6-UM55GRP (55 Hd) olan elektrotla kaynak edilmiş numuneden yatay eksen boyunca yapılan ölçümün sertlik değerleri de tablo 6.3 'de gösterilmiştir.

Tablo 6.3: Yatay eksen boyunca 55 hd elektrotla kaynaklanan numunedeki sertlik değerleri

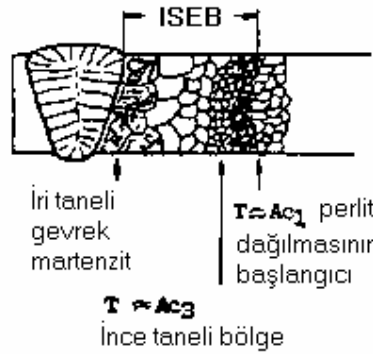
DIN 8555 \cong E6-UM55GRP		
1	257 Hv	24 HRC
2	427 Hv	44 HRC
3	535 Hv	51 HRC
4	532 Hv	51 HRC
5	578 Hv	54 HRC
6	579 Hv	54 HRC
7	397 Hv	41 HRC
8	478 Hv	47 HRC
9	672 Hv	59 HRC
10	472 Hv	47 HRC
11	387 Hv	39 HRC
12	264 Hv	24 HRC

Tablo 6. 3 den de görüldüğü gibi sertlik kaynak eriyiğinin merkezinde, dolgu metalin düşük karbon içeriğine sahip olmasından ötürü düşmektedir. Kaynak eriyiğine yakın bölgelerde ise artmaktadır. Tümüyle ostenitlemiş iri taneli bölgede ($T > A_{C3}$) malzeme kırılgan martenzite dönüştüğünden sertlik ısıdan etkilenen bölgede yükselme göstermiştir.



Şekil 6.14: Kaynak kesitinin yatay boyunca sertlik dağılımı

Malzeme türünden bağımsız olarak erime sınırına yakın bölgelerde, çok yüksek sıcaklıkların etkisiyle her zaman belirgin bir tane irileşmesi ve dolayısıyla tokluk azalması söz konusudur.



Şekil 6.15 : Isıdan etkilenen bölgede çelik malzeme iç yapısı değişimi

Şekil 6.14'den de görüldüğü üzere erime sınırına komşu bölgelerde martenzit oluşumu dolayısıyla sertlik tepeleri doğmuştur [8]. Bu bölgeden uzaklaştıkça sertliğin esas metalin sertlik seviyesine doğru azalma gösterdiği görülmektedir. Bu ısıdan etkilenen bölgeden uzaklaştıkça martenzitik dokunun kaybolduğunun da göstergesidir.

İkinci numune ise DIN 8555 \cong E10 –UM60GRZ (AWS A5,13 \cong E F_cCr-A1) (Ticari ismi ,GK Fazer 63 Hd) standartlı elektrot ile kaynak edilmiştir. Bu elektrotun yaklaşık kimyasal bileşimi tablo 6.4'te gösterilmektedir.

Tablo 6.4: DIN 8555 \cong E10 –UM60GRZ elektrotun yaklaşık kimyasal bileşimi

DIN 8555 \cong E10 –UM60GRZ standart gösterimli elektrotun kimyasal bileşimi 63Hd	
C	%5
Cr	%34
Si	%2-3

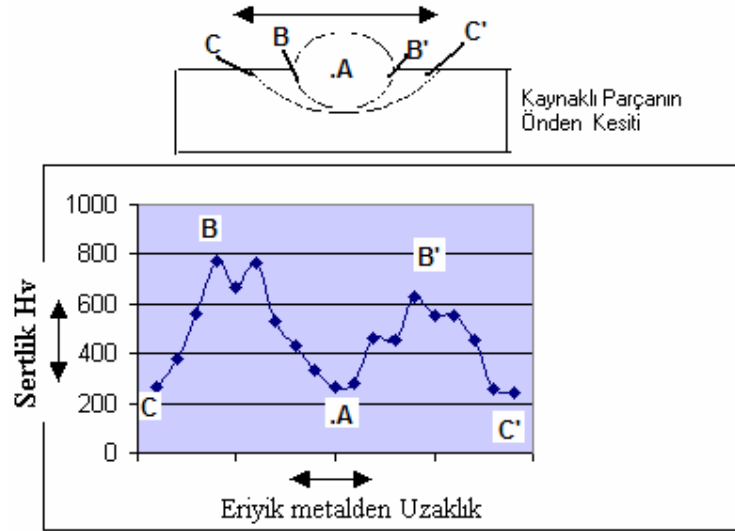
Standart gösterimi DIN 8555 \cong E6-UM55GRP (63 Hd) olan elektrotla ile kaynak edilmiş numuneden yatay eksen boyunca yapılan ölçümün sertlik değerleri de tablo 6.6 'da gösterilmiştir.

Tablo 6.5 : Yatay eksen boyunca 63 Hd elektrotla kaynaklanan numunedeki sertlik değerleri

DIN 8555 \cong E10 –UM60GRZ 63Hd		
1.	262 Hv	24 HRC
2	377 Hv	38 HRC
3	559 Hv	52 HRC
4	775 Hv	63 HRC
5	665 Hv	59 HRC
6	766 Hv	63 HRC
7	532 Hv	51 HRC
8	429 Hv	44 HRC
9	333 Hv	34 HRC
10 Merkez	266 Hv	25 HRC
11	279 Hv	27 HRC
12	463 Hv	46 HRC
13	452 Hv	45 HRC
14	631 Hv	57 HRC
15	552 Hv	53 HRC
16	550 Hv	53 HRC
17	458 Hv	46 HRC
18	258 Hv	24 HRC
19	241 Hv	20 HRC

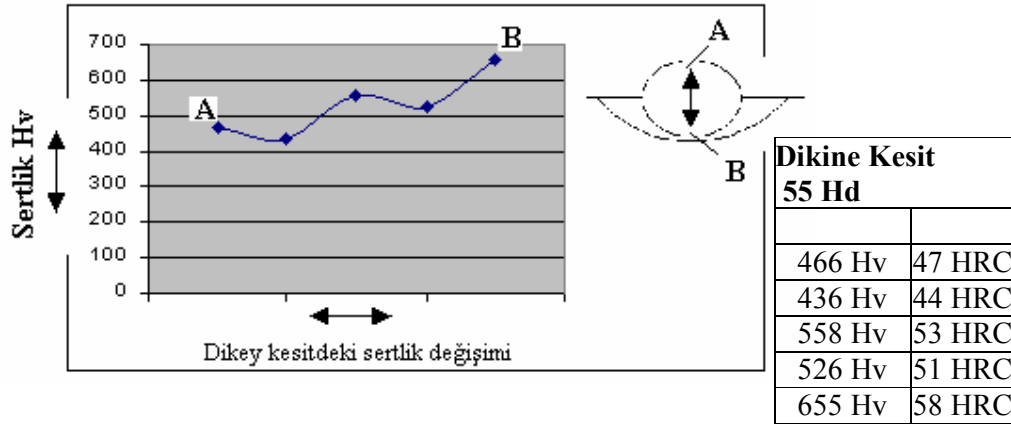
Tablo 6.4'den de görüldüğü gibi 63 Hd ticari gösterimli elektrotun gerek karbon gerekse krom miktarı 55 Hd elektrottan daha fazladır. Buna karşın yapılan sertlik ölçümü sonucu, tablo 6.5'den de görüldüğü gibi, 63 Hd elektrotla yapılan kaynakta kaynak eriyiğinin sertlik değerinin , 55 Hd elektrottan düşük olduğu görülmüştür. Bunun nedeni ısı etkisi ile oluşan temper etkisinin 63 Hd elektrotta yüksek miktarda görülmesidir.

Kaynağın temperleme etkisi, sertleştirilmiş ve temperlenmiş bir takım çeliğinde, kaynaktan doğan ısının sonucu olarak sertliğini kaybettiğinde oluşur. Örneğin S7 takım çeliğinde (sertleştirme ve 200°C'de temperleme) kaynağın temperleme etkisi, 56/58 HRC olan sertliğini 50/52 HRC'ye düşürür. Bu , sertlikte son derece önemli bir düşüştür [13].

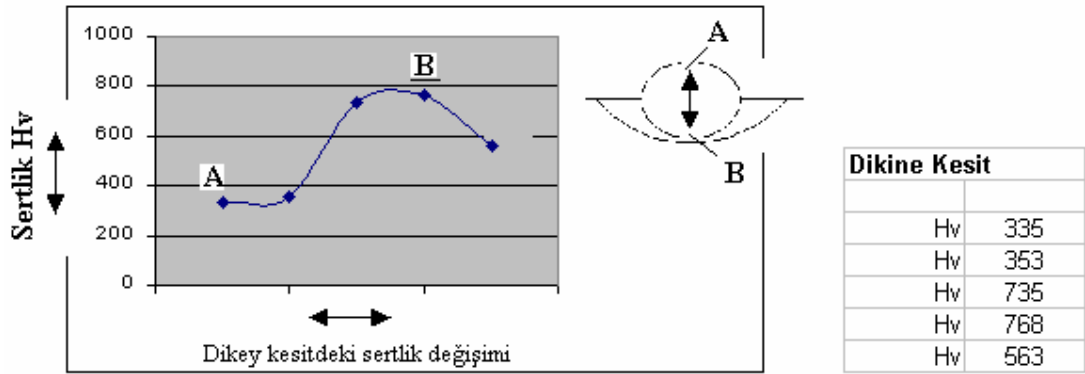


Şekil 6.16: 63 Hd elektrotla kaynaklanan kaynak metalin yatayı boyunca s sertlik dağılımı

Kaynak kesitine dikey doğrultuda sertlik değerleri karşılaştırıldığında, sertlik değerlerinin dikey eksen boyunca dağılımının benzerlik gösterdiği görülür. Her iki elektrotta da, A noktasından B noktasına doğru gittikçe (şekil 6.17-18)sertlik değerinin arttığı görülmektedir. Bunun nedeni B noktasında yeniden kristalleşme sonucu oluşan yeni tanelerin dayanım artışına yol açmasıyla açıklanır.



Şekil 6.17: 55 Hd elektrotla dikine kesitte alınan sertlik ölçümü



Şekil 6.18: 63 Hd elektrotla dikine kesitte alınan sertlik ölçümü

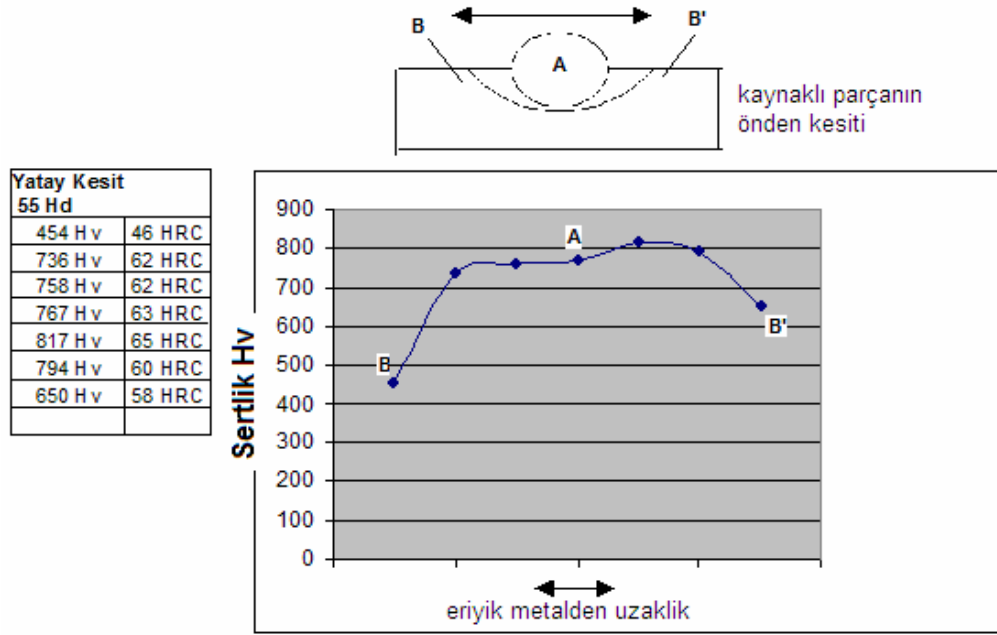
6.3. Isıl İşlem

Sertlik ölçümü sonucu elde edilen değerlerden de görüldüğü gibi, gerek 55Hd elektrotun düşük karbon içeriğinden dolayı gerekse 63 Hd elektrotla yapılan kaynakta ısının temper etkisi sonucu sertlik değerlerinin düşük çıkması bu malzemelere sertleştirme işlemini gerekli kılmıştır. Numunelerin kaynak eriyiğindeki düşük sertlik değerlerinden ötürü serviste kullanılmaları uygun değildir , dolayısıyla sertleştirme işlemleri uygulanmıştır.

Malzeme sertleştirme işlemi için 1020°C sıcaklıktaki fırında 45 dakika tutulup arkasından suda soğutularak mikroyapıda martenzitik dönüşüm gerçekleştirilmiştir.

Suda sertleştirme sonrası numuneler sertlik ölçümü öncesi tekrar sırasıyla 800, 400 ve 200'lük zımparalarda zımparalanmış ve arkasından çuha üzerinde alümina ile parlatılmıştır.

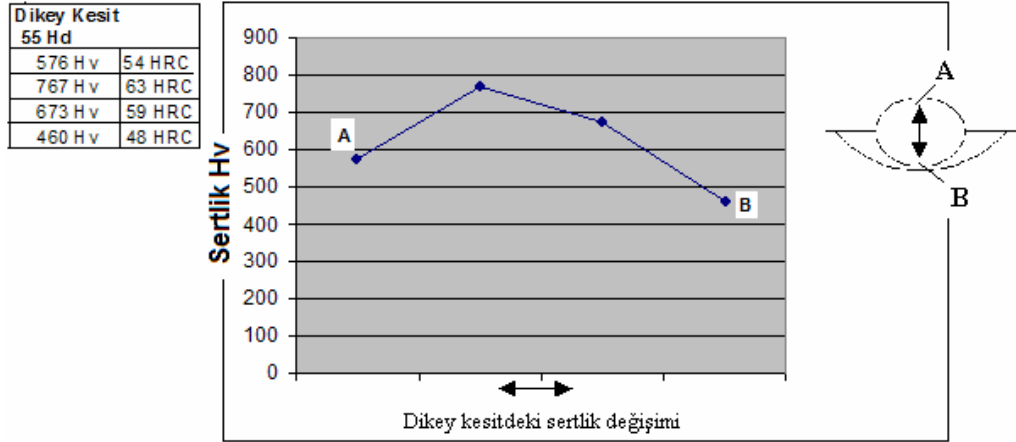
Microvikers cihazıyla yapılan ölçümün sonuçları aşağıdaki tablo ve şekillerde verilmiştir.



Şekil 6.19: 55 Hd elektrotla kaynak yapılan takım çeliğinin sertleştirme sonrası kaynak eriyiği boyunca sertlik dağılımı

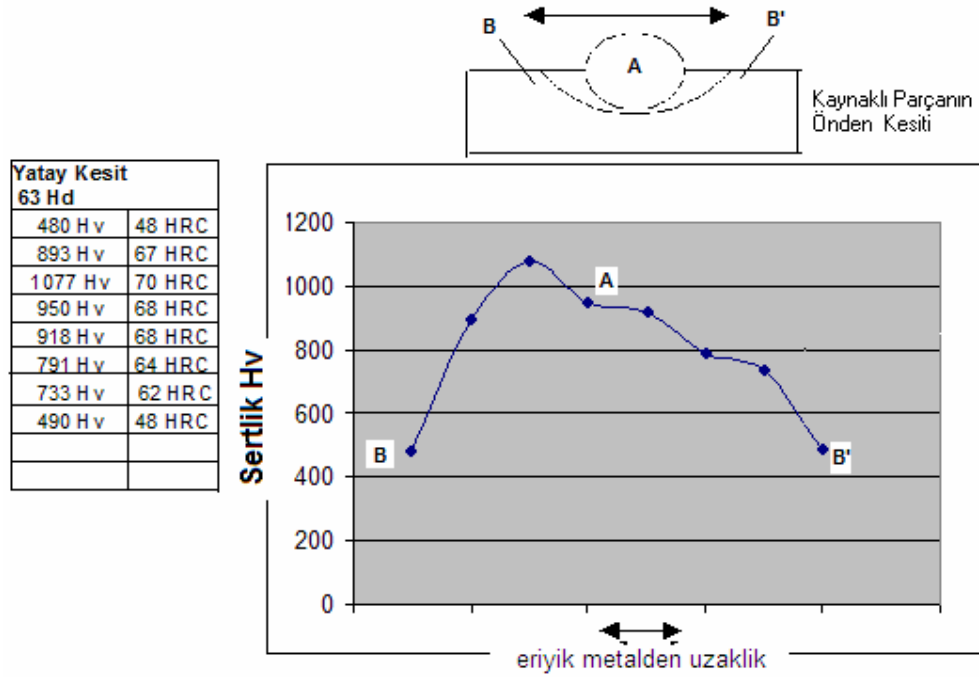
Sertlik ölçüm sonuçlarından görüldüğü üzere, 55 Hd elektrotla kaynak edilen esas malzemenin sertliği 24 HRC seviyelerinden 46 HRC seviyelerine ulaşmış, eriyik metal ise 63-65 HRC değerine yükselmiştir. Sertleştirme öncesi eriyik metal ile esas metal arasında var olan yüksek orandaki sertlik farkı , sertleştirme sonrası kısmen azalma göstermiştir.

Aynı malzemedede, kaynak dikişine dikey doğrultuda alınan sertlik ölçüm sonuçları ve sertlik dağılımını gösteren grafik aşağıdaki şekilde görülmektedir. Eriyik metalden esas metale doğru ilerledikçe sertlik 48 HRC seviyelerine inmektedir.



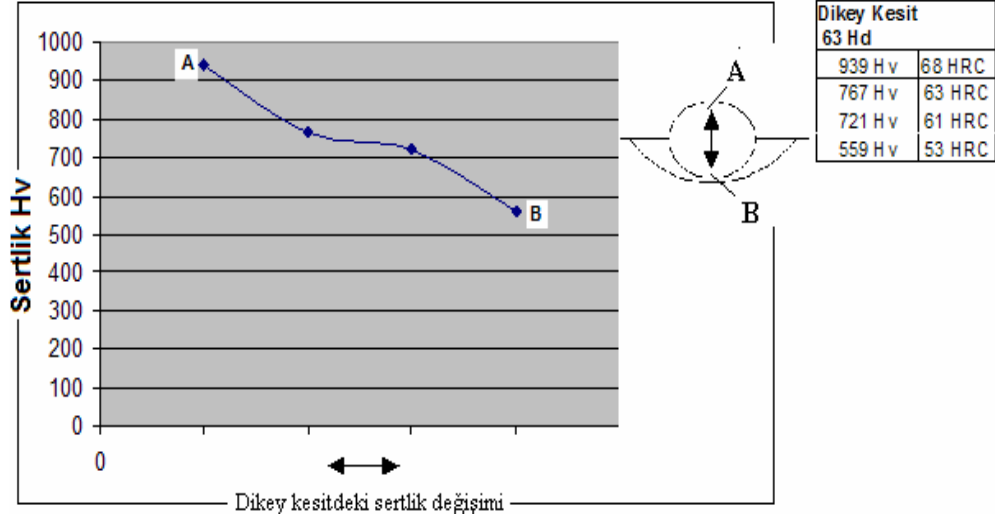
Şekil 6.20: 55 Hd elektrotla kaynak yapılan takım çeliğinin sertleştirme sonrası kaynak eriyiğinin dikeyi boyunca sertlik dağılımı

63 Hd elektrotla kaynak edilen takım çeliğinde , sertleştirme sonrası esas malzemenin sertlik değerleri 55 Hd elektrotla kaynak edilen malzemenin gösterdiği sonuçlarla benzerlik göstermektedir. Fırında bekleme süresinin yetersiz kalması sonucu deney parçalarında ostenit sıcaklığına tam olarak erişilemediğinden, takım çeliğinde oluşması istenen martenzitik faz tam anlamıyla elde edilememiş, buna rağmen her iki kaynak eriyiğinde ise sertleşme eğilimi esas metalden daha fazla olmuştur. 63 Hd elektrottaki karbon oranının daha yüksek olması , bu elektrotla kaynak edilen malzemede kaynağa yakın bölgelerdeki sertliğin daha yüksek çıkmasına neden olmuştur.



Şekil 6.21: 63 Hd elektrotla kaynak yapılan takım çeliğinin sertleştirme sonrası kaynak eriyiği boyunca sertlik dağılımı

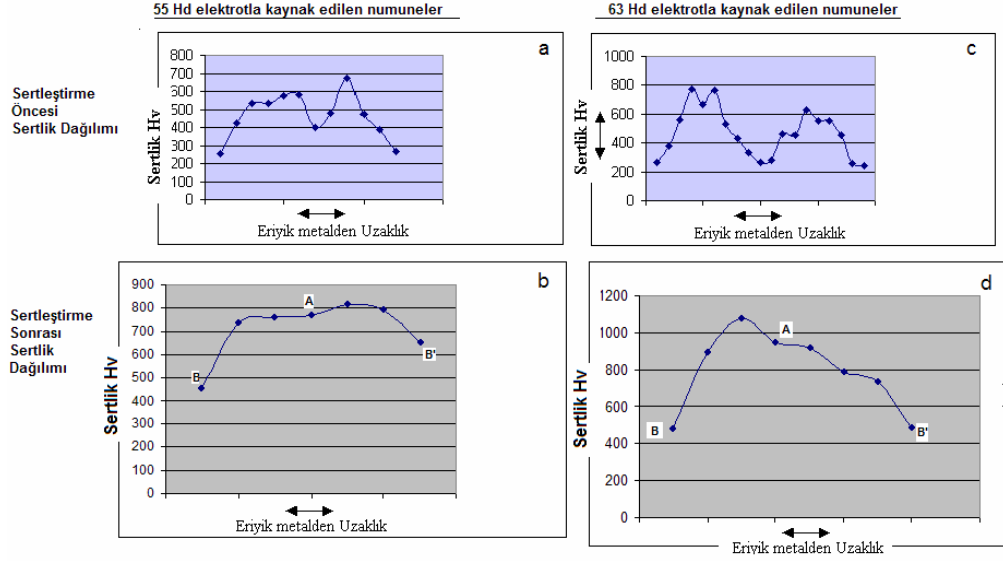
Şekil 6.22, 63 Hd elektrotla kaynak yapılan takım çeliğinin sertleştirme sonrası kaynak eriyiğinin dikeyi boyunca sertlik dağılımını göstermektedir. Burada dikkat edilecek olan, esas metale doğru sertlik değerinin, 55 Hd elektrotla kaynak edilen takım çeliğinden daha yüksek olmasıdır. Bu 63 Hd elektrotun sahip olduğu yüksek karbon oranı ile açıklanır.



şekil 6.22: 63 Hd elektrotla kaynak yapılan takım çeliğinin sertleştirme sonrası kaynak eriyiğinin dikeyi boyunca sertlik dağılımı.

6.4. Sonuçlar ve Tartışma

Sonuç olarak, kaynak işlemi esnasında ısının temper etkisi sonucu iki farklı elektrotla farklı iki numuneye yapılan kaynak işleminin ardından, kaynak eriyiğindeki sertlik değerlerinin ITAB'dan dūřuk çıkması bu malzemelere sertleştirme işlemini zorunlu kılmıştır. 1020 °C 'de, 45 dakika fırında beklemeye mütakip yapılan suda sertleştirme sonrası , ITAB'dan başlayan ve kaynak eriyiği boyunca devam eden keskin sertlik tepeleri ortadan kalkmış, daha tutarlı ve birbirine yakın sertlik değerleri elde edilmiştir.

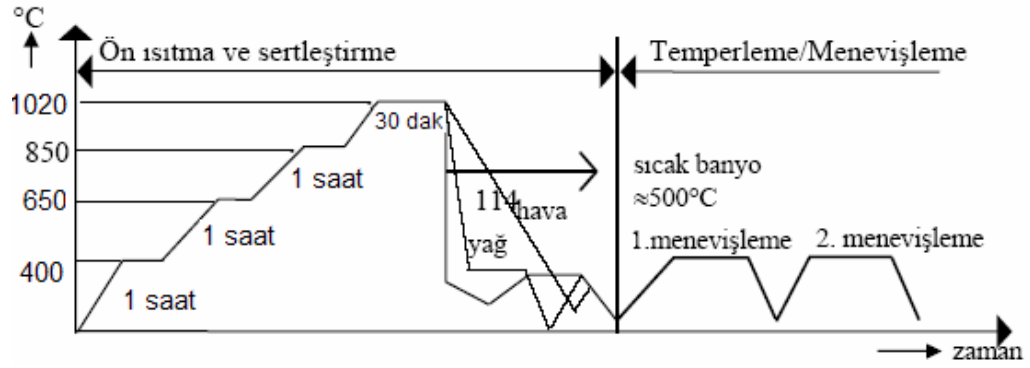


Şekil 6.23: Sertleştirme öncesi ve sonrası sertlik değerlerinin karşılaştırması

- 55 Hd elektrota kaynak edilen numunenin sertleştirme öncesi sertlik dağılımı
- 55 Hd elektrota kaynak edilen numunenin sertleştirme sonrası sertlik dağılımı
- 63 Hd elektrota kaynak edilen numunenin sertleştirme öncesi sertlik dağılımı
- 63 Hd elektrota kaynak edilen numunenin sertleştirme sonrası sertlik dağılımı

Esas metalin sertlik değerini yükseltmek için ostenitlenme sıcaklığında, TTT diyagramına bağlı kalınarak daha uzun süre bekleme yapılması uygun olacaktır. Bu işlem için 400 °C 'deki ön ısıtma , bu sıcaklıkta 1 saat bekleme , arkasından 650 °C'ye kadar ısıtılıp tekrar 1 saat bekleme, ve tekrar 850 °C de 1 saat bekleme, son olarak 1020 ° C deki 30 dakikalık beklemenin arkasından suda soğutma ideal mikroyapı elde etmek için uygulanmalıdır.

Kademeli ısıtma ile ostenitleme sıcaklığına ulaşan çeliğin yapısındaki karbürlerin çoğu, bu sıcaklıkta çözünür ve ostenit fazı oluşması için gerekli karbon ve alaşım elamanlarını yapıya verirler. Çeliğin soğutma ortamında hızla soğutulması ile karbon ostenit fazı içinde sıkışır, sert ve gerilimli hacim merkezli tetragonal bir yapı oluşur ki, bu yapıya martenzit denir [17].



Şekil 6.24: Takım çeliklerinin akdemeli ısıtılıp sertleştirilmesi ve menevişlenmesi

Sertleştirme esnasında amaç yapıda martenzitik yapıyı elde etmektir [10]. Ostenit sıcaklığında yeterli bekleme yapılmadığından, dolayısıyla oluşması gereken ostenit tam oluşmadan yapılan suda sertleştirme sonrası esas malzemede martenzitik oluşumu tam olarak gerçekleşmemiştir.

Tam ostenitleşme gerçekleşmezse, yani sertleştirme sıcaklığı Ac_3 'den düşükse, çözünmeyen ferrit sertleşmiş içyapıda yumuşak bölgelerin kalmasına neden olur; sertlik düşer ve eşdağılım göstermez. Yorulma dayanımını da önemli ölçüde azalır [8]. Bununla beraber TTT diyagramlarına göre düşük sıcaklıkta yapılan ostenitleme işlemlerinde perlit ostenite tam anlamı ile dönüşemez ve sertleştirme işleminin ardından yapı incelendiğinde martenzit fazı ile beraber yumuşak ferrit fazı da görülmektedir. Bu da malzemenin fiziksel özelliklerini kötü yönde etkilemektedir [10].

KAYNAKLAR

- [1] **UDDEHOLM**, Welding of Tool Steel, www.bucorp.com/CanadaSite/pdfs/UddeholmWeldingofToolSteel.pdf.
- [2] **DİKİCİOĞLU, A.**, *Kaynaklı İmalat ve Tasarım*, Mart 2006.
- [3] **PATTON, W. J.**, *The Science and Practice of Welding*, 1967 Prentice-Hall, Inc
- [4] **ROSSİ B, E.**, *Welding Engineering*, 1954 Mcgraw Hill Book company, Inc
- [5] **JEFFUS, L.**, *WELDİNG Principles and Applications*, Third Edition, Delmar Publisher Inc.
- [6] **GRİFFİNG, Len.**, *Welding Handbook*, 1972 by American Welding Society
- [7] **ERDOĞAN, M.**, *Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri*, Nobel Yayın Dağıtım.
- [8] **GÜLEÇ, Ş. ve ARAN, Ş.**, *Malzeme Bilgisi*, 1987 MBEAE Matbaası.
- [9] **ÖZDEMİR,Ö.,İPEK,M. ve ZEYTİN,S.*** *Kesici Takım Malzemeleri*, Sakarya Üniv., Teknik Eğit. Fak., Metal Eğitim. Böl. ** Sakarya Üniv., Metalurji ve Malzeme Müh. Böl.
- [10] **Quantum Takım Sanayi Ürünleri**, *Kalıp Malzemeleri ile İlgili Teknik Bilgiler*, V. Baskı, Temmuz 2005.
- [11] **Welding-Tool-Steel**, www.welding-advisers.com/Welding-Tool-Steel.html
- [12] **VURAL,Murat.**, *Kaynak Tekniği Ders Notları, İ.T.Ü.*
- [13] **VURAL, M.**, *Tofaş Kalıp ve Takım Kaynağı Semineri, 17 Şubat 2004.*
- [14] **KÖKEMLİ, V. ve KAÇAR, R.**, *Kontrollü atmosferin Gaz Altı Kaynak Bağlantılarının Isı Tesiri Altındaki Bölgesinin Özelliklerine Etkisi*, G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi, 18(4):671-680(2005).

- [15] **ANIK, S.**, *Kaynak Metalurjisi*, İskender Matbaası, istanbul, 1966.
- [16] **DURGUTLU, A., KAHRAMAN, N. ve GÜLENC, B.**, *Bakır ve çelik Levhaların Örtülü Elektrod ve TIG Yöntemleri ile Birleştirilmesi ve Arayüzey Özelliklerinin İncelenmesi*, Gazi Üniv. Müh.Mim.Fak.Der. Cilt20. No 2, 183-189,2005.
- [17] **TAYANÇ, M. ve ZEYTİN,G.**, *Yüksek Hız Çeliklerinin İç yapı ve Isıl İşlem Özellikleri*, BAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi (2000). 2 (1).

ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında Mümtaze ve Ahmet AKÇA çiftinin üçüncü çocukları olarak Boyabat/SİNOP'ta dünyaya geldi. İlköğretimini Sarıyer İlköğretim Okulu'nda, orta öğrenimini Necip Fazıl Kısakürek Lisesi'nde tamamladı. 1998 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi'ni kazandı ve 2003 yılında Metalurji ve Malzeme Mühendisi olarak buradan mezun oldu. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi , Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı, Malzeme İmalat ve Tasarım Teknolojileri bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı. 01 Nisan – 30 Eylül 2005 tarihleri arası askerlik hizmetini 12 nci Mknz.P.Tug.3 ncü Mknz.PTb.K.lığı Ağrı'da tamamladı. Su anda Universal Test Makinaları Satış ve Pazarlama Destek Mühendisi olarak SHIMADZU firmasında çalışmaktadır.