

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AZ ALAŞIMLI KROM-MOLİBDEN
ÇELİKLERİNİN YAPI KONTROLÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Metalurji Müh. Burçin AYDINOĞLU**

**Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ
Programı : ÜRETİM METALURJİSİ**

MAYIS 2002

**AZ ALAŞIMLI KROM-MOLİBDEN
ÇELİKLERİNİN YAPI KONTROLÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Metalurji Müh. Burçin AYDINOĞLU
(506981088)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 13 Mayıs 2002
Tezin Savunulduğu Tarih : 27 Mayıs 2002**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Niyazi ERUSLU

Diğer Jüri Üyeleri Prof. Dr. Erman TULGAR

Prof. Dr. Mehmet KOZ (M.Ü.)

MAYIS 2002

ÖNSÖZ

Hassas döküm, endüstride kullanılan ürünler için döküm teknolojisinde yer alan en ileri yöntemlerden biridir. Hassas döküm yöntemi kullanılarak üretilen parçaların bir bölümünü ıslah çelikleri oluşturmaktadır. Bu tez çalışmasında, ıslah çelikleri içerisinde en yaygın kullanılanlardan biri olan 42CrMo4 ıslah çeliğine bakır elementi ilavesi ile mekanik ve metalografik özelliklerin değişimi incelenmiştir.

Az alaşımlı Cr-Mo çeliklerinin yapı kontrolü konulu tez çalışmam süresince pek çok konuda beni yönlendiren, fikirleriyle yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen hocam Sn. Prof.Dr. Niyazi ERUSLU'ya teşekkürlerimi arz ederim.

İlk çalışma hayatımın “Gedik Döküm ve Vana San. ve Tic. A.Ş.” firmasında başlamasına vesile olan değerli büyüğüm Sn. Noyan KORAY'a, Sn. Adnan AYTAÇ ve Sn. Mehmet ÜZER'e; çalışmalarımın başından sonuna kadar beni destekleyen ve çalışmamla ilgili bilgilere ulaşmamda bana kolaylık sağlayan Gedik Döküm A.Ş. firmasının değerli çalışanlarından, Sn. Fatma SERİN'e, Sn. M.Cüneyt DİNÇEL'e, Sn. Ali Murat KAYA'ya, Sn. Ahmet ERGÖZ'e, Sn. Raşit ŞAHİN'e, Sn. Selma AKSOY'a, Gedik Holding Kimya Laboratuvarı'nın değerli çalışanlarından Sn. Tülay ÖZGÜL'e ve Sn. Emin KÜLEÇ'e, bilgisiyle bana ışık tutan değerli abim Sn. H. Hüseyin TÜRKER'e teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasıyla yakından ilgilenen, elinden gelen yardımı esirgemeyen ve çalışmama büyük emek veren İTÜ'nün değerli çalışanlarından değerli dostum Sn. Alper YEŞİLÇUBUK'a, tezimi baştan sona kontrol eden ve yazımı aşamasında yardımlarını esirgemeyen dostum Sn. Ayşegül AYGÜN'e; mekanik ve metalografik deneylerimde bana yardımcı olan değerli dostlarım Sn. M.Ali AKOY'a, Sn. Candan YAMAN AYHAN'a, Sn. M.Uğur ILGAZ'a, Sn. Gökhan BAŞMAN'a, Sn. Fahir ARISOY'a, Sn. Dr. Havva KAZDAL ZEYTİN'e, T.M.M.O.B. Metalurji Mühendisleri Odası'na ve **hayatım boyunca beni sabırla destekleyen, tüm benliklerini ortaya koyan ve beni bugünlere getiren aileme** sonsuz minnet duygularımı sunarım.

Yüksek lisans eğitimim boyunca hem ders aşamasında hem de tez aşamasında desteğini hiçbir zaman esirgemeyen müdürüm, değerli ablam Sn. Aslı KURUL GÜL'e ve üç sene boyunca bana her zaman itici güç olan en sıkıntılı dönemlerimde hep yanımda bulunan değerli dostum Sn. Özlem ERCAN'a ne kadar teşekkür etsem az gelir.

Bu çalışmamı, yazımı aşamasında kaybettiğim **sevgili teyzem Emine ORHAN**'a atfediyorum.

Mayıs 2002

Burçin AYDINOĞLU

İÇİNDEKİLER	iii
KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖZET	x
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ	1
2. HASSAS DÖKÜM YÖNTEMİ	2
2.1 Hassas Dökümün Tarihi Gelişimi	2
2.2 Hassas Döküm Yöntemi Ve Prensipleri	4
2.2.1 Seramik Kabuk Hassas Döküm Yöntemi	4
2.2.2 Dereceli Hassas Döküm Yöntemi	7
2.2.3 Seramik Kabuk Hassas Döküm Yöntemi ile Dereceli Hassas Döküm Yöntemlerinin Karşılaştırılması	7
2.3 Mum Enjeksiyon	8
2.3.1 Mum-Model Kalıbını Hazırlama	8
2.3.2 Hassas Döküm Mumunun Yapısı	9
2.3.3 Mum Enjeksiyon Tekniği	11
2.3.4 Yolluk ve Kafa Hazırlama	11
2.4 Mum Model Çapak Alma Ve Montaj	12
2.4.1 Çapak Alma ve Doğrultma	12
2.4.2 Mum Montaj (Salkımlama İşlemi)	12
2.5 Seramikhane	13
2.6 Kalıptan Mum Giderme İşlemi	15
2.7 Dökümhane	16
2.7.1 Seramik Kalıbının Yakılması	16
2.7.2 Seramik Kalıbın Ön Isıtılması -Sinterleme	16
2.7.3 Sıvı Metalin Hazırlanması	17
2.8 Döküm Sonrası İşlemler	18
2.8.1 Seramik Kabuğun Kırılması	18
2.8.2 Kesme İşlemi	18
2.8.3 Kumlama İşlemi	18
2.8.4 El ve Tambur Kumlama	19
2.8.5 Taşlama İşlemi	19
2.8.6 Tavlama İşlemi	19
2.8.7 Sıfırlama İşlemi	19
2.9 Kalite Kontrol	19
2.10 Hassas Dökümün Genleşme ve Çekme Kısıtları	20
2.11 Hassas Döküm Yönteminin Diğer Yöntemlerle Karşılaştırılması	20
2.12 Hassas Dökümde Son Gelişmeler	21
2.13 Hassas Döküm Parçaların Uygulama Alanları	22

3. ÇELİKLER	23
3.1 Çelikler	23
3.2 Islah Çelikleri	25
3.3 Islah Çeliklerine Alaşım Elementlerinin Etkisi	27
3.3.1 Karbon ve Etkisi	29
3.3.2 Mangan ve Etkisi	30
3.3.3 Silisyum ve Etkisi	31
3.3.4 Kükürt ve Etkisi	31
3.3.5 Fosfor ve Etkisi	32
3.3.6 Krom ve Etkisi	32
3.3.7 Nikel ve Etkisi	33
3.3.8 Vanadyum ve Etkisi	33
3.3.9 Molibden ve Etkisi	34
3.3.10 Bakır ve Etkisi	34
3.3.11 Oksijen ve Etkisi	36
3.3.12 Hidrojen ve Etkisi	36
3.4 Islah Çeliklerine Isıl İşlemin Etkisi	36
3.4.1 Sertleştirme İşlemi	37
3.4.1.1 Sertleştirme Ortamının Cinsi	39
3.4.1.2 Sertleştirme Ortamının Sıcaklığı	40
3.4.1.3 Parça Boyutu	40
3.4.2 Temperleme İşlemi	41
3.4.3 Islah İşlemi:	42
3.5 Islah Çeliklerinin Seçimi	43
3.6 Islah çeliklerinin kullanım yerleri	43
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	44
5. SONUÇLAR VE İRDELEME	50
5.1 Bakırın Mekanik Özelliklere Etkisi	51
5.2 Bakırın Mikroyapıya Etkisi	54
5.2.1 Optik Mikroskop İncelemesi	54
5.2.2 SEM İncelemesi	76
6. GENEL SONUÇLAR	79
KAYNAKLAR	80
ÖZGEÇMİŞ	82

1. GİRİŞ

Hassas Döküm, ilk uygulandığı yıllardan bugüne sürekli gelişip değişerek, günümüzde bilim ve sanatı birlikte en iyi kullanan parça üretim yöntemlerinden biri olmuştur. İngilizce “Investment Casting”, “Precision Casting” veya “Lost Wax” olarak, Fransızca “Cire Perdu” ve Almanca “Feinguss” olarak adlandırılmaktadır. Türkiye’de bu teknolojinin tanımında şimdiye kadar “Kaybolan Mum Yöntemi”, “Investment Döküm” ve “İncelikli Döküm” gibi adlar kullanılmıştır. Daha sonraları yaygın olarak kabul görmüş “Hassas Döküm” ifadesi kullanılmıştır.

Hassas döküm, mum veya plastik gibi harcanan bir modelin etrafının oda sıcaklığında sertleşen refrakter bir çamur ile çevrelenmesi ve daha sonra modelin eritilerek dışarı alınması ile oluşan kalıp boşluğuna, sıvı metalin boşaltılmasıyla şekillendirilen bir döküm yöntemidir [1].

Bu yöntemin temel adımları; mumdan model yapımı, besleme mumu/sistemi üzerine mum modellerin montajı (salkım oluşturma), oluşturulan salkımın seramik çamura daldırılması ve refrakter toz püskürtme, mumun ısı ile kalıptan uzaklaştırılması, daha kuvvetli bağların oluşturulması ve ergimiş metalin kalıbın ince ayrıntılarına daha kolay ilerleyebilmesi için dökümden önce seramik kabuğun ön ısıtılması, metalin ergitilmesi ve dökümü, döküm parçalarının yolluklardan ayrılması, temizlenmesi ve kontrol edilmesidir [2,3].

Hassas döküm, endüstride kullanılan ürünler için parça üretiminde döküm teknolojisinde yer alan en ileri yöntemlerden biridir. Seri üretimde; boyut dağılımının diğer döküm yöntemlerine göre daha dar tolerans aralığında yer alması, yüzey hassasiyetinin mükemmel olması, hassas dökümün; Türkiye ve dünyada daha çok kullanılan bir üretim yöntemi olmasına neden olmaktadır [4].

2. HASSAS DÖKÜM YÖNTEMİ

Bu bölümde, hassas dökümün tarihsel gelişimi, prensipleri, döküm tekniği ve hassas döküm parçaların kullanım yerleri anlatılmıştır.

2.1 Hassas Dökümün Tarihi Gelişimi

İlk hassas döküm uygulamalarının M.Ö. 4500’lü yıllarda Tayland civarında olduğu tahmin edilmektedir. Daha sonra Mezopotamya’da M.Ö. 4000-2000 yılları arasında, Çin’de, Hindistan’da Ege Denizi çevresinde ve Kuzey Avrupa’da, İtalya’da, Merkez ve Güney Amerika’da ve Batı Avrupa’da takı, süs eşyası ve özellikle heykel yapımında kullanılarak günümüze kadar geldiği arkeolojik araştırmalar sonucu anlaşılmıştır. Mezopotamya’da M.Ö. 4000-3000 yılları arasında hassas döküm yöntemiyle elde edilen altın, gümüş ve bakır ile ilgili metalurjik ve mühendislik tekniklerini kapsayan olgu ve bilgilere rastlanmıştır. Tayland ve Güney Doğu Asya, metalurjik tekniklerin kullanıldığı diğer yerleşim yerleridir [1,5].

16. yüzyılda, Benvenuto Cellini, hassas döküm yöntemini heykellerinde ve diğer sanatsal çalışmalarında kullanmıştır. İtalya’nın Floransa kentinde 1554 yılında tamamlamış olduğu heykeller günümüze kadar gelebilmiştir. 1897 yılında Amerikalı diş doktoru Dr. D. Philbrook, hassas dökümü diş hekimliğinde protez yapımında kullanmıştır. 1907’de diş hekimi Dr. William H. Taggart, sıvı metali hassas döküm kalıplarına santrifüj kuvvet yardımı ile doldurmuştur [1,6]. Bu nedenle; dişilikte protez yapımı ve kuyumculuk alanında hassas döküm tekniği kullanımı “Santrifüj Döküm” adıyla da kullanılmaktadır. 1929 yılında R.W. Erdel ve C.H. Prange bu tekniği biraz geliştirip kobalt alaşımları için kullanmışlardır. Takip eden yıllarda hassas döküm gelişimini devam ettirmiştir. 1935 yılında protez aletlerin ve ortopedik implantların üretiminde bu yöntem kullanılmaya başlanmıştır [3,7].

Hassas döküm, binlerce yıldır sanatçılar tarafından kullanılmış olmasına rağmen bir mühendislik imalat yöntemi olarak ancak 1900’lerin sonlarında benimsenmiştir [3].

Hassas dökümün kuyumculuk alanında yaygın kullanımı 1930’larda kauçuğun model malzemesi olarak geliştirilmesinden sonra gerçekleşmiştir. Böylece ziynet eşyalarının kullanımına hazır, şekil ve boyutta, seri ve ucuz olarak üretimi yapılabilmiştir. Bu tarihe kadar en yaygın olarak diş hekimleri ve kuyumcular tarafından kullanılmıştır. II. Dünya Savaşı yıllarında ve sonrasında mamul parça talebinin artması, talaşlı imalattan daha hızlı bir teknoloji arayışına yol açmıştır. Diş hekimliği ve kuyumculukta kullanılan teknikler birleştirilip hızla geliştirilerek endüstriyel anlamda hassas dökümün temelleri atılmıştır. Böylece döküm, talaşlı imalat, kaynak, montaj gibi birçok işlemin yerini; kullanıma yakın boyut ve şekilde, tek parça halinde, düzgün yüzeyli ve boyut toleransları dar parça dökümü almıştır [1,6] .

Hassas döküm, karmaşık şekilli ve belli adette eş ölçümlerin gerekli olduğu, işleyerek elde edilmesi her bir parçası için kalıp titizliğini ve pahalılığını gerektiren parçaların üretiminde ucuz olmaktadır. Örneğin taşıt lastiği üretiminde kullanılacak bir kalıpta, taşıt lastiğinin girinti profillerini verecek olan parçalar hassas döküm yöntemi ile üretilebilir. Böylece taşıt lastiği kalıplarının dışa bağımlılığı veya çok verimsiz yapılması önlenmiştir. Benzer örnekleri vana sektöründen de verebiliriz. Gedik Döküm ve Vana Sanayi A.Ş. bünyesinde üretilen vanaların bazı parçaları (kelebek vana klapesi, paslanmaz dişli küresel vanaların gövdesi, emniyet ventili bilezikleri gibi vananın çalışma performansını etkileyecek kritik parçalar) hassas döküm yöntemiyle elde edilmektedir [4].

Türkiye’de faaliyet gösteren firmaların kapasitelerinin, Amerika’da ortalama tesis kapasitesi 230 ton olan hassas döküm firmaları ile kıyaslandığında, bu ortalamaya yakın olduğu görülmüştür. Üretim yapılan sektörler içinde savunma, tıp, otomotiv ve tekstil ağırlık göstermektedir. Firmalar, genelde piyasa koşulları gereği çok çeşitli parça üretimi yapmak zorunda kalmaktadırlar.

Dünyada savunma sanayinin gelişmesine çekirdek oluşturmuş bir üretim yöntemi olan “Hassas Döküm Yöntemi”; karmaşık geometrili parçaların amaca uygun dizayn ve üretiminde savunma sanayinin gerektirdiği kalite koşullarını sağlayacak en ileri döküm yöntemidir [1,4].

Türk Hassas Döküm Sanayi Kurulu kapasite olarak dünya ortalamalarına yakın bir noktada sayılabilir. Hassas döküm sektörü Türkiye’de dövme ile şekillendirme (otomotiv parçalarında tercih edilir), kum kalıba döküm ve hatta işçiliğin ucuz olması

nedeniyle talaşlı imalatla rekabet edebilmek zorunda kalmaktadır. Hassas döküm; araştırma ve geliştirmeye açık, geleceği parlak bir döküm yöntemidir [1,6].

2.2 Hassas Döküm Yöntemi Ve Prensipleri

Hassas döküm yönteminde; harcanan bir modelin etrafı, oda sıcaklığında sertleşen refrakter çamurla sarılarak hazırlanan bir kalıp kullanılmaktadır. Genellikle balmumu veya plastikten hazırlanan model daha sonra ergitilerek veya yakılarak kalıp boşluğu meydana getirilmektedir. Bu nedenle hassas döküm yöntemine “Lost Wax” ya da “Harcanan Balmumu Yöntemi” adı verilmektedir. Hassas döküm yönteminde model, kalıp ve gerektiğinde kullanılan seramik maçalar harcanan tiptendir; bir başka deyişle tekrar kullanılamamaktadır [8].

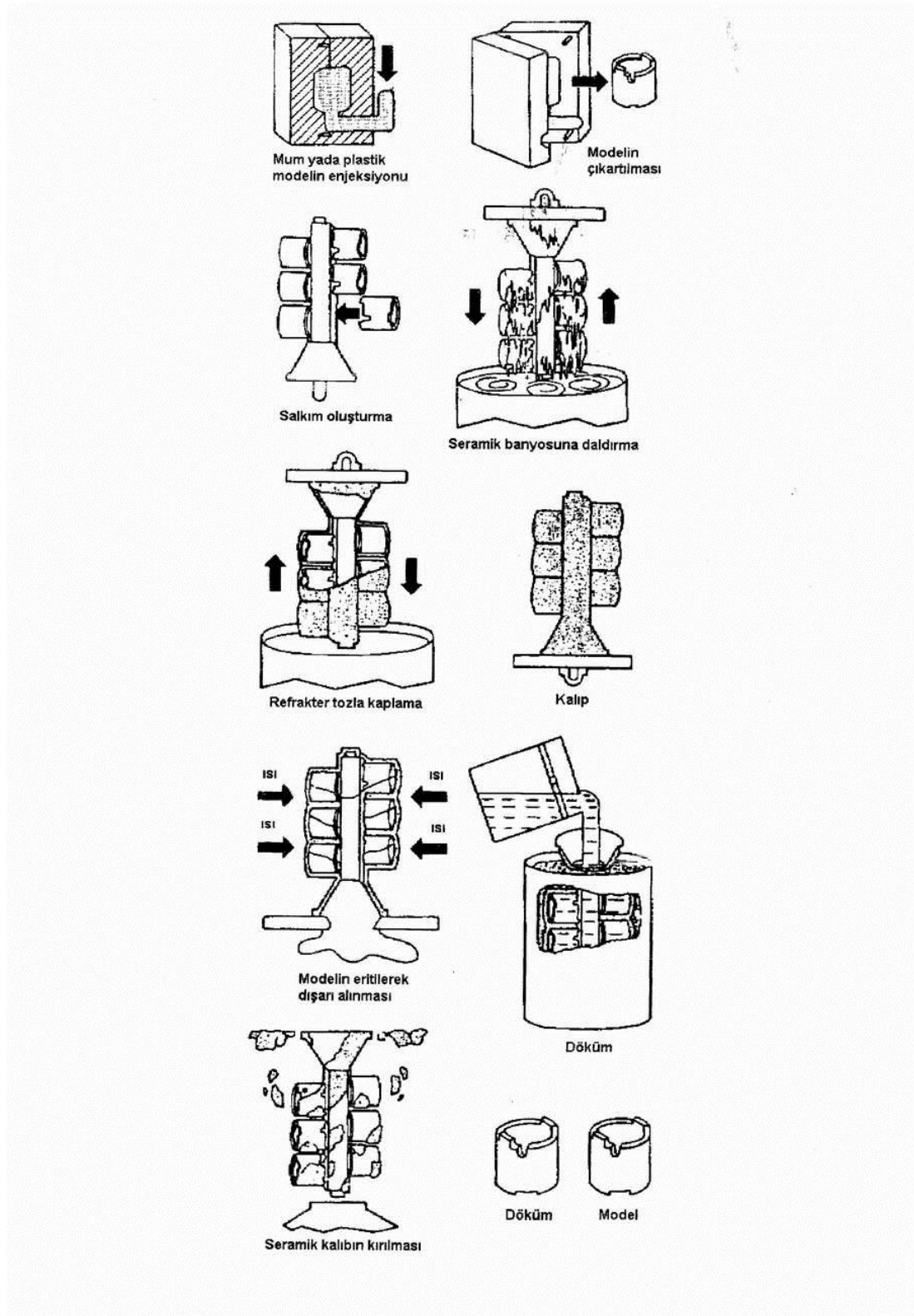
Hassas döküm ile döküm parçası, tek parçalı bir kalıpla elde edildiğinden ve döküm sonu durumu ile veya çok az bir ek işlem ile kullanıma hazır olabildiğinden, parça dizaynı ve malzeme seçiminde özgürlük sağlamaktadır. Metalurjik özellikleri kontrol edilebilen parçalar üretilebilmektedir. Her ne kadar hassas döküm yöntemi tüm diğer döküm yöntemlerinden daha maliyetli görünse de, parçanın küçük, alaşımın sert veya işlenmesinin zor olduğu ve hassas ölçülerde mükemmel yüzey istendiği durumlarda düşük maliyetli çözümler sunmaktadır. [1,4].

Hassas dökümün kalıp hazırlama şekli açısından seramik kabuk kalıplama (Shell Proses, Monolithic Shell Process) ve dereceli kabuk kalıplama (Flask Process, Solid Mold Process) olmak üzere iki farklı yöntemi vardır. Her iki metod, model hazırlama tekniği açısından tamamen aynıdır. Seramik kabuk hassas döküm yönteminin farklı yanı, modellerin her zaman bir ön kaplama işlemine tabi tutulmasıdır. Dereceli hassas döküm yönteminde ise; modeller ön kaplama işlemine tabi tutulabilmekte veya hiç ön kaplama yapılmamaktadır [1,8].

2.2.1 Seramik Kabuk Hassas Döküm Yöntemi

Seramik kabuk hassas döküm yöntemi; karbon çelikleri, alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler ve ısıya dirençli alaşımların dökümünde kullanılmaktadır. Bu yöntemle modeller, bir sıvı içinde süspansiyon halinde bulunan seramik tozunun meydana getirdiği çamur içine daldırılmakta ve seramik kaplı ıslak yüzeye, kuru refrakter

taneleri bir akışkan yatak içinde veya başka bir yöntemle püskürtülerek yapıştırılmaktadır. Bu işlem yeterli kabuk kalınlığı elde edilinceye kadar tekrar edilmektedir. Seramik kabuklar her daldırma işleminden sonra kurutularak sertleştirilmektedir. Bu işlem, seramik kabuğu oluşturan bağların daha güçlü olması için gerekli olmaktadır. Başlangıçtaki kaplamaya “Ön Kaplama” adı verilmekte ve genellikle çok ince öğütülmüş tanelerden oluşan bir çamur kullanılmaktadır. Böylece düzgün yüzey elde edilmektedir. Ön kaplamanın düzgünlüğü, döküm yüzeyinin düzgünlüğünü tayin etmektedir. Bundan sonraki kaplamalarda giderek artan refrakter tane iriliği söz konusu olmaktadır. Yapılan kaplamaların sayısı, kabuktan beklenen kalınlığa bağlı olmaktadır. Kabuk kalınlığı, genel olarak 5-15 mm arasında değişmekte ve dökülen parçanın şekline, ağırlığına ve refrakter ve bağlayıcıların cinsine bağlı olmaktadır [8,9]. Mum ergitme işleminden sonra döküme geçilmekte, katılaşma tamamlandıktan sonra da seramik kabuk kırılarak parçalar kesilmektedir. Şekil 2.1., bu yöntemi şematik olarak göstermektedir [2].



Şekil 2.1. Seramik kabuk hassas döküm yönteminin şematik gösterilişi.

2.2.2 Dereceli Hassas Döküm Yöntemi

Dereceli hassas döküm yöntemi, uygulamada demir esaslılar ve demir dışı alaşımlar için olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Demir esaslılarda ve döküm sıcaklığı yüksek olan demir dışı alaşımlarda kalıp malzemesinin 1100°C'a kadar bozulmadan dayanabilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla demir dışı alaşımlar için kullanılabilen alçı, demir esaslılar için uygun bağlayıcı veya refrakter malzeme olamamaktadır. Dereceli hassas döküm yönteminde döküm sıcaklığı nispeten düşük olan demir dışı alaşımlar için modelde ön kaplamaya ihtiyaç olmamakla beraber, demir esaslılarda ön kaplama yapmak standart uygulama haline gelmiştir. Ön kaplama ince taneli refrakter çamurla yapılmakta, bunun üzerine yapılacak kaplama ise daha iri taneli (>150 mesh) olmaktadır. Ön kaplama ve sonraki dolgu ve destek kaplamalar başlıca iki bileşenden oluşmaktadır. Refrakter malzemenin esasını ince silis kumu teşkil etmekte, geri kalanını ise alüminyum oksit ve silikatlar oluşturmaktadır. Etil silikat, en çok kullanılan bağlayıcıdır [8].

Dereceli hassas döküm tekniğinde salkımlar uygun bir zemine yerleştirilmekte ve etrafına uygun bir metal derece geçirilmektedir. Refrakter malzeme ve bağlayıcıdan oluşan önceden hazırlanmış kalıp malzemesi, bu metal derecenin içerisine hava boşluğu kalmayacak şekilde doldurulmaktadır. Belirli bir süre sertleşmesi için beklenilmekte ve dereceli kütle kalıp, mum giderme işlemine hazır hale gelmektedir. Bu yöntemin bir avantajı, daha ince kesitlere sahip parçaların dökümünün daha iyi sonuç vermesidir [1,9].

2.2.3 Seramik Kabuk Hassas Döküm Yöntemi ile Dereceli Hassas Döküm Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Seramik kabuk hassas döküm ile dereceli hassas döküm yöntemleri birbirleri ile karşılaştırıldığında hangi yöntemin tercih edileceği, döküm boyutu, istenen boyutsal toleranslar, dökülen metalin bileşimi ve fiyat gibi faktörler tarafından belirlenmektedir. Örneğin karmaşık maçalar içeren bir döküm parçasının dereceli hassas döküm yöntemi ile üretilmesi, seramik kabuk hassas döküm yöntemine nazaran daha zor olmaktadır. Parça boyutunun artışı nedeniyle iri parçaların seramik kabuk yöntemi ile elde edilmesi daha ekonomik olmaktadır. Ayrıca sayılamayacak kadar çok değişik metalurjik faktörler de yöntem seçimini etkilemektedir.

Seramik hassas döküm yöntemi ile dökülen parçalar, dereceli hassas döküm yöntemi ile dökülen parçalara nazaran daha hızlı soğumaktadır. Bu farklılık da, bazı alaşımlar için işleme sırasında parçanın çatlamaması için önem kazanmaktadır. Yavaş soğuma sonucunda yapıda oluşan masif karbür bölgeleri, işleme sırasında çatlamalara sebep vermektedir. Dolayısıyla bu dökümün, seramik kabuk hassas döküm yöntemi ile yapılması gerekmektedir.

Seramik kabuk yönteminde kalıplardan mumun uzaklaştırılması esnasında, seramik kalıbın ve mumun ergimeden önceki genleşme hızlarının farklı olmasından dolayı problem teşkil etmektedir. Termal genleşme miktarı mumun cinsine bağlı olmakla beraber, genleşme %10 gibi yüksek değerlere ulaşabilmekte ve bu hacim artışının yarattığı basınç, seramik kabuğu kırabilecek seviyeye erişebilmektedir. Kırılmayı azaltmak için kabuk mukavemetini arttırmak yarardan çok zarar sağlamaktadır. Çünkü; artan mukavemet, seramik kalıbın dökümden sonra dağılabilme kabiliyetini azaltmaktadır. Kalıp içindeki ısı dağılımı farklı olmakta ve bu da dökülen parçada sıcak yırtılmaya sebep olabilmektedir. Kalıbın kırılmasının önlenmesi için iki yöntem vardır. Bunlardan ilki; kabuğa dışarıdan basınç uygulayarak içeriden mumun genleşmesi sonucu oluşan basıncı karşılamak, ikincisi ise; çok hızlı olarak, model ile kabuk arasında ince bir tabakayı eritmek ve geri kalan henüz ergimemiş mumun genleşebileceği bir boşluk meydana getirmektir.

Dereceli hassas döküm yönteminde ise; mumun genleşip kalıbı çatlatma problemi yoktur [8].

2.3 Mum Enjeksiyon

Bu bölümde, mumdan modellerin yapıldığı preshane kısmından bahsedilmiştir.

2.3.1 Mum-Model Kalıbını Hazırlama

Model kalıbı, imalatı istenen parçanın çekme payları ve gerekiyorsa, işleme payları verilmiş bir dişi kalıbı veya model biçiminin negatifi olmaktadır [4]. Mum modelin veya plastik modelin üretilmesinde yaygın olarak iki tip model kalıbı kullanılmaktadır. Bunlar; karmaşık dizaynlar için, geliştirilmiş dökümlerden yapılan ve küçük hacimli üretimlerde ise; düşük ergime noktalı yumuşak demir dışı alaşımlardan yapılan kalıplardır. Alaşımlar genel olarak, kurşun, kalay, bizmut,

seryum ve antimon içermektedir. Yüksek üretim hacimlerinde çelik ve çinkodan yapılmış kalıplar kullanılmaktadır. Düşük ağırlıklı kalıplar için alüminyum ve magnezyum tercih edilmektedir. Kalıplar için malzeme seçiminde rol oynayan kriterler; model malzemesi, modelin geometrisi ve üretilecek model miktarı olmaktadır [10].

Model malzemeleri, cinslerine bağlı olarak değişen basınç altında model kalıplarına doldurulmaktadır. Sertleşmesi tamamlanan model, kalıptan çıkarılmaktadır. Modeller, bir merkezi yolluk etrafına giriş yollukları ile bağlanarak salkım oluşturulmakta ve sonraki işlemler bu salkım ile yapılmaktadır.

Model malzemesindeki genleşme ve çekilme karakteristiklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Bunlar; modeldeki ve model malzemesindeki çekilme, katılaşma sırasında oluşan maksimum çekilmenin yönü, metalin katılaşmadan sonraki oda sıcaklığına kadar olan büzülmesi, ön ısıtma safhasında kalıptaki genleşmedir [2,11].

2.3.2 Hassas Döküm Mumunun Yapısı

En yaygın kullanılan model malzemesi mumdur. Doğal veya sentetik, dolgu malzemesi ilave edilmiş veya edilmemiş, kullanıma hazır biçimde mumlar bulunmaktadır. Mum, insanlar tarafından bilinen en eski termoplastik maddedir. Mumlar; karbon, hidrojen ve oksijenin organik bileşiklerinden oluşmaktadır. Hassas döküm mumları; doğal hidrokarbon, mum, doğal ester mumu, sentetik mum ve sentetik reçine, organik dolgu malzemesi ve su gibi önemli bileşenlerden oluşmaktadır [9]. Döküm mumları farklı zincir uzunluklarına sahip pek çok bileşiğin karışımı olduklarından diğer maddelerden farklı fiziksel davranış göstermektedirler. Zincir uzunluğu aynı zamanda viskozite ve mumun çözünürlüğünü de etkilemektedir [1,11].

Mumlar, diğer homojen kimyasal bileşikler gibi birdenbire erimemektedirler. Mum ısıtılırken, katı durumdan yumuşamaya başlamakta, daha sonra plastik ve biraz daha ısıtıldığı zaman yarı plastik olmaktadır. Daha yüksek sıcaklıklarda ise; yarı sıvı durumdan sıvı fazına geçmektedir. Bu büyük değişme sırasında kısa zincir uzunluğuna sahip olanlar öncelikle ergirken uzun zincir uzunluğuna sahip olanlar hala katı durumda kalmaktadır. Daha sonraki sıcaklık yükselmelerinde ise; bu uzun

zincire sahip olanlar da tamamıyla ergiyerek sıvı duruma geçmektedirler. Soğuma sırasında da yukarıda bahsedilen dönüşümün tersi gerçekleşmektedir.

Mum, ısı etkisi altında genişmekte ve soğuma sırasında da büzülmeaktadır. Mumun genişmesi bir metale göre yüksek olmaktadır [4,11].

Hassas döküm mumları kimyasal açıdan doğal ester mumları, doğal hidrokarbon mumları ve sentetik mumlar olmak üzere üç ana kategoride sınıflandırılmaktadır. Doğal hidrokarbon mumları da kendi aralarında üç gruba ayrılmaktadır. Bunlar; parafin mumlar, yarı mikro kristalin mumlar ve mikro kristalin mumlardır [4]. Mikro kristalin mumlar, geri dönüşüm mumlarına kırılabilirliği azaltmak ve esnekliği arttırmak amacıyla ilave edilmektedir. Hassas döküm mumları kullanım yeri açısından da sınıflandırılabilir. Bunlar ise; model mumları, yolluk mumları, tasfiye edilebilir mumlar, suda çözünabilen mumlar ve özel mumlardır. Genellikle yüksek miktarda reçine içeren ve viskoziteyi arttırma eğilimi olan yapıştırma mumları, tamir amaçlı yama mumları ve montaj mumları özel mumlar grubuna dahil olmaktadır [12]. Mumların haricinde polistiren tipi plastik ve geçmiş yıllarda kullanılmış günümüzde kullanımı olmayan “Mercast” tekniğinde de cıva, diğer model malzemelerindendir [9]. Plastikler, en çok ince ve kırılabilir modellerin yapımında kullanılmaktadır. Polistiren, model yapımında çok sık kullanılan bir malzeme değildir [12].

Mum modellerde karşılaşılan en önemli ve en çok fire kaybına sebep olan hatalar, model hazırlama sonunda oluşan çekme ve çökme hatalarıdır ki bu hatalara, özellikle yüzey alanı geniş olan düz yüzeyli modellerde oldukça sık rastlanmaktadır. Mum, mümkün olabilecek minimum çekmeye sahip olmalıdır. Çekme ve çökmenin önlenmesi hassas dökümcüler açısından son derece önemlidir. Ayrıca mumun kül içeriğinin maksimum BICTA (British Investment Casting Trade Association) tarafından tavsiye edilen sınır olan %0,05 olması gerekmektedir. Hassas döküm mumunun yeterli sertlik ve elastikiyete sahip olması da, mum modelin çapak alma, salkımlama ve daha sonraki aşamalarda kırılmalar, eğilmeler ve diğer istenilmeyen durumlar açısından önemli olmaktadır. İnce kesitli alanlara sahip büyük parçaların üretiminde mumun viskozitesinin düşük olması kalıp içinde en ince detayların sağlanması için gerekli olmaktadır. Katılma hızı da önemli parametreler arasında bulunmaktadır. Bazı dökümcüler için çok hızlı katılma ve kalıptan çıkarılma süresi

istenirken, bazı dökümcüler içinse; yavaş katılaşılan mumların kullanımı avantajlı olmaktadır. Mumun geri dönüşebilir olması da firma açısından ekonomik olmaktadır [3,5].

Enjeksiyon sırasında mumun sıcaklığı, fiziksel durumu ve kalıbın sıcaklığı; enjeksiyon hızı ve basıncı; kalıp boşluğu dolduktan sonra devam eden basınç ve zaman; ortamın sıcaklığı ve nem oranı mum modelin kalitesini etkileyen önemli faktörlerdir. Son iki parametre, hassas dökümün ileriki kademeleri için son derece önemlidir. Salkımların hazırlandığı ve bekletildiği ortamda mutlaka klima ve nem ayarlayıcısı bulunmalıdır [3,4].

2.3.3 Mum Enjeksiyon Tekniği

Mum model üzerinde hataların oluşmaması için, her parça için daha önceden tecrübeler sonucu belirlenmiş enjeksiyon verilerine göre enjeksiyon makinası ayarlanmakta, uygun kalıp makinaya bağlanmaktadır. Kazandaki mum sıcaklığı, nozül (meme) sıcaklığı, enjeksiyon süresi, enjeksiyon basıncı, mum modelin kalıpta bekleme süresi ayarlanmaktadır. Mumun sıcaklığı önemli bir parametredir. Sıcaklık azaldıkça, mumun viskozitesi artmakta ve mumu kalıba basmak için daha fazla güç uygulamak gerekmektedir.

Parça geometrisine bağlı olarak yukarıda bahsedilen mum türlerinden birisi kullanılmaktadır. Kazandaki mum eksildikçe, mum takviye edilir. Mum modelin, kalıp içinde soğuduktan sonra büyük bir titizlikle kalıp içinden çıkarılması gerekmektedir. Basınçlı hava tutularak soğuma hızı arttırılmaktadır. Mum modelin kalıba yapışmasını önlemek ve kolay çıkmasını sağlamak için silikon sprey ile kalıp içi yağlanmaktadır. Silikon sprey kalıba mümkün olduğunca az sıkılmalıdır. Aksi taktirde; seramik hatalarıyla karşılaşılabilir [4,11].

2.3.4 Yolluk ve Kafa Hazırlama

Otoklav Bölümü'nden geri dönen mum (döngü mum), ergitme kazanlarında eritildikten sonra yolluk dökümü yapılır. Kafa üretimi için kafa ekstrüzyon makinası içine yerleştirilen mum, biyet halindedir. Yollukların değişik salkımlama şekli ve ebatları için değişik kesitlerde dökümleri yapılır [4].

2.4 Mum Model Çapak Alma Ve Montaj

Bu bölüm, preshaneden gelen mum modellerin üzerinde son düzeltmelerin yapıldığı ve salkımların oluşturulduğu bölümdür.

2.4.1 Çapak Alma ve Doğrultma

Preshaneden tepsiler içinde gelen mum modellerin öncelikle maket bıçağı türü bir bıçak kullanılarak çapakları alınmaktadır.

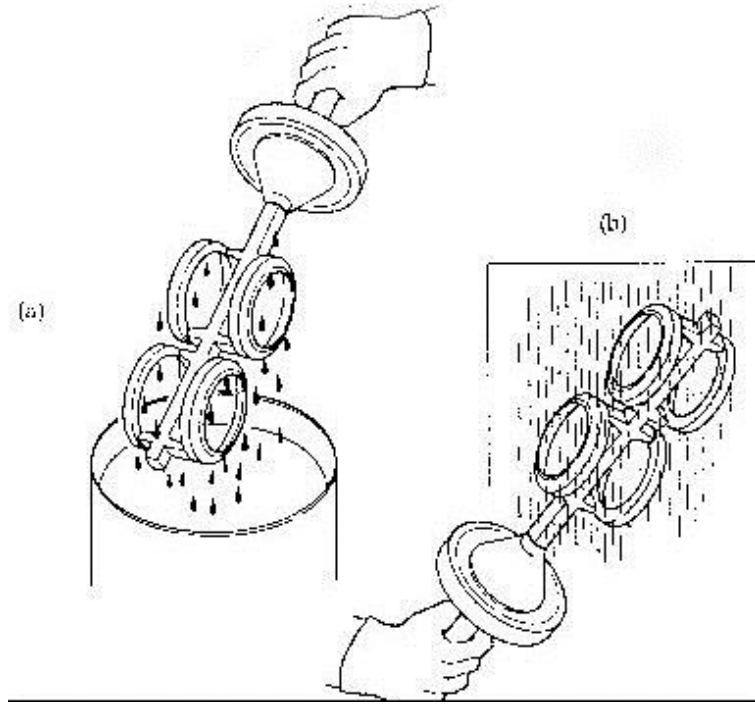
Çapakları alınan mum modellerin çarpılma riski varsa özellikle büyük, ince kesitli ve kanallı parçalarda doğrultma işlemi yapılmaktadır. Daha sonra, çökmeden dolayı kurtarılamayan bölümlere cila atılmaktadır [4].

2.4.2 Mum Montaj (Salkımlama İşlemi)

Çapağı alınan, doğrultulan ve çökmeden dolayı düzeltilen parçalar, salkım oluşturmak üzere Mum Montaj Bölümü'ne gelmektedir. Bazı parçaların yolluk kısımları, mum model ile birlikte kalıptan çıkarken, bazılarının ise sonradan parçaya montajı yapılmaktadır. Parçaların yolluklara montaj yerleri, döküm hataları açısından kritik noktalarlardır. Mesela sıvı metalin parçanın bazı kritik bölgelerini besleyememesi, döküm boşlukları ve maden yürümemesi gibi hatalara; oluşan sıcak bölgeler nedeniyle de çekinti hatalarına neden olmaktadır. Bu nedenle yolluk kesiti ve yerinin, parçanın geometrisine göre yolluğa en uzak noktaları besleyebilecek kadar kesit alanına sahip olması ve aynı zamanda da sıcak bölge yaratmayacak dizaynda olması gerekmektedir [3]. Bu, önemli bir husustur. Parçaların yolluklara bağlanma şekilleri, her yolluğa bağlanacak parça sayısı ve boyutu da döküm hatalarının oluşmasını önlemede son derece önemli yer tutmaktadır. Alüminyum dökülecek parçaların yolluklandırma ve salkım oluşturma şekli, çelik dökülecek parçalarinkinden farklı olmaktadır [5,11]. Doğru katılma elde etmek için yolluklandırma ve besleme sistemi uygun seçilmelidir. Gedik Döküm ve Vana A.Ş.'de her parçanın yolluklandırma ve besleme sistemleri için uzun süren denemeler sonucu uygun olanları tespit edilmiştir. Halen de daha yüksek verimin sağlanması için AR-GE çalışmaları devam etmektedir. Bu çalışmaların bir parçası olarak da, salkım dizaynları fotoğraflanarak güzel bir arşiv oluşturulmuştur.

2.5 Seramikhane

Mum Montaj Bölümü'nde hazırlanan salkımlar partiler halinde Seramikhane Bölümü'ne alınmaktadır. Bu bölümde yapılacak işlemler büyük bir titizlikle yürütülmektedir. Salkımlara basınçlı hava tutularak üzerlerinde mevcut olabilecek kalıntı mum parçaları giderilmektedir. Daha sonra trikloretilen, alkol ve su içeren karışıma daldırılan salkımlar, kurumaya bırakılmak üzere asılmaktadırlar. Salkımlara, seramik banyoya daldırılmadan önce üzerlerinde mevcut olabilecek sıvı partiküllerinin uzaklaştırılması amacıyla basınçlı hava tutulmaktadır. Bu işlem, banyonun kimyasal özelliklerinin sabit kalabilmesi için şarttır. Banyonun özelliğini yitirmesiyle döküm parçalarda seramik sürüklemesi, çapak gibi seramik hataları meydana gelmektedir. Bu nedenle; banyonun bileşimi, viskozitesi sürekli takip edilmesi gereken çok önemli parametrelerdir. Banyonun, salkımı tam olarak ıslattığından emin olduktan sonra salkımlar, dönen tambur içerisine sokularak üzerlerine kalsine edilmiş ince zirkon kumundan veya alüminadan ilk kat atılmaktadır. Şekil 2.2. (a)'da salkımın, seramik banyoya daldırılması ve Şekil 2.2. (b)'de ise; banyodan çıkarılan salkımın üzerine yağmurlama tekniği ile ilk katın kaplanması görülmektedir [5]. İlk katta daha çok, zirkon kumunun kullanılması tercih edilmektedir. Daha sonraki atılacak seramik katlar ve katlar arası bekleme süreleri parçanın geometrisine, salkım dizaynına ve yolluklandırma sistemine bağlı olarak değişim göstermektedir. Üst katlar için genellikle molohit (molochite) veya müllit (mullite) kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır [12].



Şekil 2.2. (a) Salkımın seramik banyoya daldırılması (b) Salkımın üzerine ilk katın yağmurlama tekniği ile atılması.

Hassas döküm kalıp malzemeleri; seçilen tekniğe, istenen döküm özelliklerine göre çok geniş bir çeşitlik göstermekte ve temel olarak; uygun seçilmiş bir refrakter malzeme ve bağlayıcıdan meydana gelmektedir. Karışıma; kalıplama işlemini ve kalıp yüzeyini uygun hale sokan bazı küçük ilaveler de yapmak mümkün olmaktadır. Yüksek ergime noktalı alaşımların dökümünde, bağlayıcı olarak etil silikat, kolloidal silika ve son yıllarda geliştirilen melez bağlayıcılar kullanılmaktadır. Düşük ergime noktalı alaşımların dökümünde daha çok alçı, sodyum silikat, fosfat bağlayıcılar ve kalsiyum alüminat kullanılmaktadır. Refrakter malzemelerden de yaygın olarak zirkon, fused silika, alümina silikatlar ve alümina kullanılmaktadır [12].

Hassas döküm seramik kabuklarında, değişik refrakter malzemeler kullanılmaktadır. Bu refrakter malzemelerden istenilen özellikler; yüksek refrakterlik özelliği, yüksek sıcaklık kararlılığı, yüksek özgül ağırlık, düşük ısısal genleşme katsayısı, düşük maliyet, iyi kabuk gaz geçirgenliği, iyi yüzey kalitesini sağlayabilmesi, sıvı metali taşıyabilecek bir mukavemete sahip olması, sıvı metalle reaksiyona girmemesi, hava

ve vakum altında döküme uygunluk, kabuğun dökümden sonra kolay kırılabilmesidir [4,8].

Kullanılan belli başlı refrakter malzemeler; alümina, kalsine alümina, fused alümina, boksit, %99,2 SiO₂ içeren silika, %99,7 SiO₂ içeren fused silika, %65 ZrO₂, %34 SiO₂ içeren zirkon kumu, %78 Al₂O₃, %21 SiO₂ içeren müllit, %41 Al₂O₃, %55 SiO₂ içeren bir tür ateş kili olan molohit ve genellikle son katlarda tercih edilen %2 Fe₂O₃, %53 SiO₂, %42 Al₂O₃, %3 TiO₂ içeren şamot (chamotte)'tur [12].

Kaplama malzemesine özel amaçlarla başka ilaveler de yapılmaktadır. Bunlar; viskoziteyi kontrol edici ilaveler, karışımın akıcılığını kontrol eden ve modelin ıslanma kabiliyetini arttırıcı ilaveler, köpük önleyici ilaveler, sıkışmış havayı giderici ilaveler ve jelatin gibi kurumayı kontrol eden ve kurumadaki büzülme sonucu meydana gelebilecek çatlamları azaltıcı ilavelerdir [1,8].

2.6 Kalıptan Mum Giderme İşlemi

Seramik kaplama ve kuruma işlemi tamamlandıktan sonra mum model, kabuk kalıba zarar vermeyecek şekilde ergitilip alınmalıdır. İçi mum dolu seramik kabuk yüksek sıcaklıkta bir fırına konularak ısı şoku yaratılmakta ve ince bir mum tabakasının hızla ergimesi sağlanmaktadır. Kalıbın hızlı ısınması, mum yüzeyini yani, kalıp/model arayüzeyini ertmekte ve yüzey mumunun arkasındaki katı kütlenin genleşmesi ile birlikte önemli bir basıncın oluşmasını engelleyecek miktarda olmaktadır. Mum, 90-150°C'de ergimekte ve dışarı alınmaktadır [3,8].

Mum giderme işleminde iki metod vardır. Bunlardan ilki, flash fırınında 1000°C'de alev ile yakarak mum giderme metodudur. Bu proses, oldukça kirli bir prostestir. Aynı zamanda mum da yandığı için, tekrar kullanılamaz ayrıca iyi bir filtre sistemine gerek duyulmaktadır. Yüksek sıcaklık uygulamalarının kabukta distorsiyona yol açabileceği de unutulmamalıdır. İkinci metod, otoklavda mum giderme metodudur ve tercih edilen metoddur [8]. Salkımlar, 16-48 saat gibi geniş bir zaman aralığında kurumaya bırakıldıktan sonra otoklav arabasına seramik odasında yerleştirilmeli ve mümkün olduğunca hızlı bir şekilde otoklava yüklenmelidir [12].

Otoklav ile, diğer tekniklere göre daha karmaşık şekilli parçaların mum ertirme işlemi yapılabilir. Ayrıca yüksek oranda mum geri kazanılmakta; çünkü mum

hiçbir şekilde yanmamaktadır. Normal şartlar altında mumun, %90'ı geri kazanılmaktadır ve bu mum, yolluk ve kafa yapımında kullanılmaktadır. Mum ergitme işlemi sırasında hiç duman oluşmadığı için de, davlumbaz türü bir filtre sistemine gerek yoktur [4,12].

2.7 Dökümhane

Dökümhane Bölümü, hassas dökümün mutfağı konumundadır. Metalin ergitilip kalıplara dökümünün gerçekleştirildiği bölümdür.

2.7.1 Seramik Kalıbının Yakılması

Mumu alınmış seramik kalıp, döküme alınmadan önce 900-1000°C'de yakılmaktadır. Yakma işlemi ile; kabuğun mukavemeti arttırılmakta, otoklavda ergitme sonunda geri kalmış olabilecek mum, karbon ve varolan uçucu maddeler giderilmekte ve sonuçta döküm sırasında bu maddelerden kaynaklanabilecek gaz oluşumu önlenmektedir.

Kalıpların, yakılmadan önce sıcak bir ortamda bekletilmesi gerekmektedir. Bunun nedeni; süzülmeyen olası mum artıklarının soğuyup fazlasıyla büzülmemesi ve kalıp boşluğu yüzeyinin kavlanma, yani pul pul dökülmesine sebep olmamasıdır. Ayrıca yabancı maddelerin seramik kalıbın içerisine girmesini önleyici şartlar altında bekletilmesi gerekmektedir. Mumlanmış kağıt veya alüminyum folyo kapaklar döküm deliğini kapatmak için kullanılmaktadır [1,4].

2.7.2 Seramik Kalıbın Ön Isıtılması -Sinterleme

Seramik kalıplar, ergimiş metal dökümü yapılmadan önce ön ısıtılmaya tabi tutulmalıdır. Genellikle dökülecek olan her malzeme için kullanılan bir kalıp sıcaklık aralığı vardır. Buna ek olarak genellikle parça ve salkım geometrisi ve döküm kesit kalınlığına da bağlı olarak çok daha geniş kalıp döküm sıcaklığı aralığı vardır. Bu sıcaklık yaklaşık olarak 1000-1100°C'dir.

Ön ısıtmanın avantajları; kalıbın çok ince kesitlerine sıvı metalin kolay yürümesi, kalıp ve sıvı metal arasındaki düşük sıcaklık farklarından dolayı termal şokların azaltılması, çıkıcıların ve besleyicilerin boyunun küçültülmesi ve sıcak yırtılma eğiliminin azaltılmasıdır [8].

Dezavantajları ise; özellikle kalın kesitlerde çekilme boşluğu (shrinkage) oluşma olasılığı, yavaş soğuma hızının bazı alaşımların mekanik özelliklerini negatif yönde etkilemesi, gaz boşluklarının oluşma olasılığın artması ve kabuk kırma işleminden önce daha uzun soğuma süresi gerektirmesidir.

Dökümde, seramik kalıplar için termal şokun problem teşkil etmeyeceği mümkün olan en düşük sıcaklığın tercihi tavsiye edilmektedir [8,13].

2.7.3 Sıvı Metalin Hazırlanması

Hassas döküm yöntemi; başlıca çelik ve çeşitli alaşımları, demir dışı olarak alüminyum ve alaşımları, bakır ve alaşımları (pirinç ve bronz), magnezyum ve alaşımları, çinko, kobalt, nikel ve krom alaşımları için uygulanabilen bir yöntemdir. Dökülecek malzeme türüne bağlı olarak seçilecek ergitme ortamı da çeşitlilik göstermektedir. Seçilen döküm malzemesinin minimum çekmeye sahip olması ve kimyasal olarak da seramik kabuk ile reaksiyona girmemesi gerekmektedir [7,10].

Hassas döküm fabrikalarında, demir bazlı alaşımların ergitilmesi genellikle indirekt ark fırını, hava indüksiyon fırını ve vakum indüksiyon fırınları ile demir dışı alaşımlarda indüksiyon fırını, pota fırınları veya elektrik direnç fırınları kullanılarak yapılabilmektedir [13].

Ocak pota astarı, şarj yapılmadan önce kontrol edilmelidir. Astar kalınlığı inceliyor kritik bir noktaya geldiği zaman, temizlenip tekrar astarlama işlemi yapılmalıdır. Bu işlem sırasında bir şablon kullanılmaktadır. Daha sonra astar, sinterleme işlemine tabi tutulmaktadır. Alınan siparişe göre dökülecek malzeme türü belirlenmekte ve şarj tablosundan faydalanılarak ilave edilecek elementlerin ve ferro-alyajların miktarları hassas olarak tartılıp hazırlanmaktadır. Öncelikle hurda olarak nitelendirilen hammaddeler (yolluk, filmaşın, çelik hurdası) ocağa şarj edilmekte ve daha sonra hazırlanan ferro-alyajlar, alaşım elementleri ve şarj hammaddesi olarak da önceki dökümlerden kesilen yolluklar ilave edilmektedir. Döküm, hem atmosferik ortamda (çevre ortamında) hem de vakum altında yapılabilmektedir [6,14].

Dökülecek parçanın istenen kompozisyonda olduğunu belirlemek için döküm sonunda numune parça alınarak kimyasal analizi yapılmaktadır.

Döküm sıcaklığı; döküm hataları açısından önemli bir parametredir. Fazla yüksek sıcaklık, gaz hatalarına; gereğinden düşük sıcaklık ise; maden yürümemesi hatalarına neden olmaktadır. Her alaşım için optimum bir döküm sıcaklığı aralığı belirlenmelidir.

2.8 Döküm Sonrası İşlemler

Bu bölümde, dökümü tamamlanmış salkımlara uygulanan işlemlerden sırasıyla bahsedilecektir.

2.8.1 Seramik Kabuğun Kırılması

Soğuması tamamlanan seramik kabuklu salkımlar, üzerlerindeki seramiğin temizlenmesi için kırıcıya alınmaktadır. Titreşimli darbe usulü ile çalışan bu makina seramik kabuğun temizlenmesini sağlamaktadır. Bu aşamada, dökümden sonra salkımın yeterince soğumuş olmasına ve darbe ile parçalara zarar verilmemesine dikkat edilmelidir. Zira bu darbe hareketi, doğrudan yolluklar üzerinde bir gerilim oluşturacağından parça zarar görmemektedir. Bazı salkımlarda parça; doğrudan kafaya bağlanır. Bu tür salkımlar, elle kırılmaktadır [4].

Seramik kabuğun kırılması için başka metodlar bulunmaktadır. Bunlar; kum püskürtme, yüksek basınçta su püskürtme ve bir ergiyik kostik soda (650-700°C) banyosuna daldırmadır. Bu son işlem, tehlikeli bir işlemdir [12].

2.8.2 Kesme İşlemi

Seramik kabukları kırılan salkımlar, taşıma arabaları ile Kesme Bölümü'ne alınmaktadır. Burada; salkımlardaki parçalar, kesim operatörü tarafından spiral taş vasıtasıyla yolluklarından kesilerek ayrılmaktadır. Daha sonraki dökümlerde hammadde olarak kullanılacak yolluklar da malzemelerine göre ayrılmaktadır.

2.8.3 Kumlama İşlemi

Kesme Bölümü'nde parçaları ayrılan merkezi düşey yolluklar, üzerlerinde kalan seramik artıklarının temizlenmesi için, çelik bilyalı aşındırıcı kullanılan büyük kumlama makinasında kumlanmaktadır.

2.8.4 El ve Tambur Kumlama

Yolluklarından ayrılan parçalar ise; ince taneli silis kumu ile kumlanarak yüzeylerindeki ve iç kısımlarındaki seramik artıklar temizlenmektedir. Kumlama işlemi için basınçlı hava ile kum püskürten kabinler ve tambur kullanılmaktadır. Aynı zamanda, sıfırlama işleminden sonra da kumlama yapılmaktadır.

2.8.5 Taşlama İşlemi

Taşlama işlemi ile; kesilen parçalar üzerinde yolluğa bağlantı kısımları, parça düzlemine getirilmeye çalışılmaktadır. (Kaba Sıfırlama)

2.8.6 Tavlama İşlemi

Yollukları kesilen ve taşlanan parçalardan tavllanması gerekli olanlar, tavlama fırınında gereken özelliklere uygun bir şekilde, belirli süre ve sıcaklıkta tavlama işlemine tabi tutulmaktadır. Bazı parçalar da, sertleştirme işlemi gerektiği durumlarda dökümden sonra ısıtılma işlemine tabi tutulmakta sonra da gerekli ise, talaşlı imalat ve/veya kaplama işleme gerçekleştirilmektedir.

2.8.7 Sıfırlama İşlemi

Taşlamadan sonra parça yüzeyinde kalan yolluk kısımları spiral taş veya radyüslü yüzeyler bant zımpara vasıtasıyla boyutsal gereksinimlere göre parça düzleminde işleme hassasiyetinde sıfırlanmakta (İnce Sıfırlama) ve tekrar kumlama işlemine tabi tutulmaktadır.

2.9 Kalite Kontrol

Sıfırlama işleminden sonra kumlanan parçalar, ek işleme tabi tutulup tutulmayacağına göre iki kategoride işlem görmektedir. Bazı parçalar, kumlama işleminden sonra göz kontrolü yapılarak hatalı parçalar ayrılıp sağlam olanlar doğrudan sevk edilmekte, bazıları da tavlama işlemine tabi tutulduktan sonra kumlanıp göz kontrolü yapılarak sevk edilmektedir. Hatalı parçalar ise; iki şekilde değerlendirilmektedir. Bunlardan ilki, parçalar tashih işlemine gönderilmekte ve kazanılmaya çalışılmaktadır. İkincisi ise; kazanılamayacak derecede hatalı olan parçalar doğrudan dökümhaneye gönderilmektedir. Gedik Döküm A.Ş. bünyesinde yapılan kalite kontrol işlemleri şunlardır: mum modellerde ve döküm sonrası çarpık

olan parçalarda ısıtım işlem öncesi veya sonrası uygulanan doğrultma işlemi, döküm sonunda bütün parçalara yapılan %100 göz kontrolü; yüzeye açık süreksizliklerin tespiti ve kontrolü için uygulanan sıvı penetrant yöntemi; ısıtım işlemine tabi tutulan parçalara yapılan sertlik kontrolü; bütün parçalar resim toleranslarında, ölçüm yerine göre her türlü ölçüm cihazı kullanılarak yapılan %100 boyut kontrolü; delikli parçaların genelde “Geçer/Geçmez” kontrol aparatları ile yapılan master kontrolü; her döküm için yapılan spektrometrik kimyasal analiz kontrolü; parçalar içinde hataların yeri ve tespitinin kontrolü için uygulanan radyografik yöntemlerdir.

Müşteri isteğine bağılı olarak; ısıtım işlem, talaşlı işlem ve kaplama işlemi yan sanayiye yaptırılmaktadır.

2.10 Hassas Dökümün Genleşme ve Çekme Kistasları

Ergime ve katılaşma sırasında, mum model ve döküm parçası farklı oranlarda çekmektedir. Dengeleme hesapları, mumun ve döküm parçasının çekme ve genleşme yüzdelere göre yapılmakta ve pirinç için örnek verilecek olunursa; mum modelin çekme payı %1,00 ve döküm parçasının çekme payı %1,80 olmaktadır. Böylece toplam çekme oranı %2,80 olmaktadır. Parçanın katılaşma genleşmesi %0,30 ve 650°C’de parçanın termal genleşmesi %1,00 ise; toplam genleşme %1,30 olmaktadır. Çekme ve genleşme arasındaki farklılık orjinal modelin ne kadar büyük olacağını göstermektedir. Buna göre orjinal model %1,50 büyük olmalıdır [10].

2.11 Hassas Döküm Yönteminin Diğer Yöntemlerle Karşılaştırılması

Hassas döküm yönteminin diğer yöntemlere göre bazı yönlerden üstünlükleri ve bazı yönlerden de kullanımının sınırlandığı durumlar vardır.

Hassas döküm yöntemi; dar ölçü toleransları sayesinde, talaşlı imalatla birkaç parçanın birleştirilmesi ile oluşan komple bir parçanın yekpare olarak üretilebiliyor olması ve dökümden sonra genellikle mekanik işlem gerektirmeyen veya çok az gerektiren bir döküm yöntemi olması; “kolay işlenebilir metal seçimi” olgusunu ortadan kaldırması; birkaç gramdan başlamak üzere çok değişik ağırlıklarda, karmaşık şekilli, işlenmesi zor ve küçük parçaların ekonomik olarak seri halde dökümüne elverişli olması; mükemmel yüzey kalitesi ve düzgünlüğü sağlıyor olması;

yönlendirilmiş katılaşma ve tek kristal gibi en son teknolojik gelişmelerin uygulanmasıyla, üstün metalurjik özellikler taşıyan döküm parçalarının üretimine elverişli olması, vakum veya koruyucu atmosfer altında dökülmesi gerekli olan metal veya alaşımlara da uygulanabiliyor olması; parça üretiminde deliklerin, kanalların, motif ve yazıların, ince kesitlerin hassas olarak elde edilebiliyor olması; tek parça kalıp kullanıldığından ayırma yüzeyi veya mala işlem yüzeyi olmaması ve yöntemin tüm metalik alaşımlara uygulanabiliyor olması bakımından diğer üretim yöntemlerine göre üstünlük sağlamaktadır [3,8].

Bu yöntem ile üretilen parça boyutu ve ağırlığının fazla olmaması, daha büyük döküm parçaları için (5-25 kg) başlangıçtaki teçhizat maliyetinin oldukça yüksek olması, kalıp fiyatlarının çok pahalı olması, seramik kabuğun oluşturulması için gerekli olan zaman periyodunun uzun olması, kalifiye eleman gerekliliği ve diğer üretim yöntemlerine göre, daha yavaş bir üretim prosesi olması yöntemin kullanılabilirliğini sınırlayan parametrelerdir [2,15]. Tablo 2.1.'de hassas dökümün diğer döküm yöntemleri ile karşılaştırılması görülmektedir [10].

Tablo 2.1. Hassas döküm yönteminin diğer döküm yöntemleri ile karşılaştırılması.

Kriterler	Kum Döküm	Kokil Döküm	Hassas Döküm	Basınçlı Döküm
Alaşımlı Dökülebilirlik	İyi	Orta	İyi	Kötü
Döküm Yüzey Kalitesi	Kötü	Orta	İyi	İyi
Tolerans Hassasiyeti	Kötü	Orta	İyi	İyi
Parça Detay Hassasiyeti	Kötü	Orta	İyi	İyi
Boyut ve Şekil Sınırlaması	İyi	Kötü	Orta	Kötü
Proses Maliyeti	İyi	Orta	Kötü	Orta

2.12 Hassas Dökümde Son Gelişmeler

Hassas döküm yöntemi; kimya sanayinde, petrokimya sanayinde, gıda sektöründe ve diğer korozyon ortamlarının yoğun olduğu sektörlerde korozyona dayanıklı paslanmaz çelik vanaların hassas dökümü ile üretilmesiyle hızla gelişen bir pazar oluşturmuştur. Aynı zamanda bu döküm yöntemi ile işleme olmaksızın protatip dizaynlar üretilir. İşleme gerektiren diğer yöntemlere nazaran daha hızlı bir süreçtir ve gelecekte daha da hızlanacaktır [10].

2.13 Hassas Döküm Parçaların Uygulama Alanları

Hassas döküm yöntemi; otomotiv parçaları, bisiklet parçaları, silah parçaları, otomatik silah parçaları, tüfek parçaları, müzik aletlerinin bazı parçaları, roket ve uçak parçaları, tıp (implant parçalar, protezler, ortopedik uygulamalar), kuyumculuk, gaz türbin parçaları, tekstil makinaları parçaları (dikiş makinaları parçaları gibi), bilgisayar parçaları, pompa parçaları, gıda sanayi makina parçaları, enerji santrallerinde, elektrik-elektronik parçalar, deniz ekipmanları parçaları, vana sanayi (küresel vana gövdesi, kelebek vana klapesi, emniyet ventili bilezikleri, termodinamik kondenstop gövdeleri) gibi birçok sektörde uygulama alanı bulmaktadır [5,10].

3. ÇELİKLER

Bu çalışmada en çok kullanılan ıslah çeliklerinden biri olan 42CrMo4 ıslah çeliği anlatılmaktadır. Bu nedenle bu bölümde; çelikler, ıslah çelikleri ve ısıtıl işlem hakkında bilgi verilmektedir.

3.1 Çelikler

Demir-karbon alaşımları içerdikleri karbon miktarına göre; “Çelikler” ve “Dökme Demirler” olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. Bu ayrıma göre; %2’den daha az karbon içeren alaşımlar çelik ve %2’den daha fazla karbon içeren alaşımlar ise; dökme demir olarak isimlendirilmektedir.

Çeliklerin sınıflandırılmasında çeşitli kriterler mevcuttur. Bunlar; kimyasal bileşim, kullanım alanları, mikroyapı, uygulanan ısıtıl işlem, şekillendirme yöntemi ve üretim yöntemidir. Son ürün haline gelene kadar uğradıkları mekanik ve ısıtıl işlemlere bağlı olarak çok farklı mikroyapı ve özellikler kazanabildiklerinden, çeliklerin sınıflandırılmasında, içerdikleri alaşım elementlerinin kriter alınması büyük önem taşımaktadır. Kimyasal bileşimlerine göre çelikleri; “Alaşımsız Çelikler” ve “Alaşımlı Çelikler” olmak üzere iki sınıfa ayırmak mümkündür.

Alaşımsız çelikler, demirden başka ana alaşım elementi olarak sadece karbon içeren, fakat bileşiminde %0,5 silisyum, %0,8 mangan, %0,1 alüminyum, %0,1 titanyum ve %0,25 bakır düzeyinde elementler de bulundurabilen çelik türüdür. “Sade karbonlu çelik” olarak da isimlendirilmektedir. Tablo 3.1.’de alaşımsız çeliklerin kimyasal bileşim aralığı verilmiştir. Alaşımsız çeliklerde en önemli alaşım elementi karbon olduğundan bu çelikleri karbon içeriğine göre; “Az Karbonlu Çelikler”, “Orta Karbonlu Çelikler” ve “Yüksek Karbonlu Çelikler” şeklinde üç alt gruba ayırmak mümkündür [16].

Tablo 3.1. Alaşımsız çeliklerin kimyasal bileşim aralığı.

Element	Az C'lu Çelik	Orta C'lu Çelik	Yüksek C'lu Çelik
Karbon (%)	0.0 – 0.20	0.20 – 0.50	> 0.50
Silisyum (%)	0.30 – 0.60	0.60 – 0.90	0.70 – 1.00
Mangan (%)	0.10 – 0.20	0.15 – 0.30	0.15 – 0.30
Fosfor (%)	0.040 maks.	0.040 maks.	0.040 maks.
Kükürt (%)	0.050 maks.	0.050 maks.	0.050 maks.

Alaşımsız çelikler yüksek sıcaklıklarda yumuşamakta ve akma sınırları düşerek düşük zorlamalarda plastik şekil değişimine uğrayabilmektedir. Uzun süreli zorlamalarda yavaş olarak meydana gelen kalıcı şekil değiştirmeler belirli bir süre sonunda malzemenin kırılmasına neden olmaktadır [17].

Alaşımlı çelikler, alaşımsız çeliklerde bulunandan daha yüksek oranda alaşım elementi içeren çelik türüdür. Alaşım elementi, çelikte belirli bir özelliği geliştirmek için çelik bileşimine katılan elementtir. Alaşım elementinin türüne ve miktarına bağlı olarak alaşımlama ile çeliğin sertliği, sertleşme kabiliyeti, tokluğu, yüksek sıcaklığa dayanımı ve korozyon direnci gibi çeşitli özellikleri de geliştirilmektedir [16,18]. Tablo 3.2.'de EURO-NORM 20-74'e göre çeliklerin alaşımlı sayılması için içerebilecekleri element miktarlarına ilişkin alt sınırlar verilmektedir. Çeliklerin kalitesini, özel olarak ilave edilmiş yani "istenen" alaşım elementleri kadar, "istenmeyen" ilaveler ve kalıntılar da olumsuz yönde olmak üzere etkilemektedir. İlavelerin belirli miktarları aşmaları veya heterojen biçimde dağılmaları aynı kimyasal bileşime sahip çeliklerin özelliklerinin çok farklı olmasına yol açmaktadır [19].

Tablo 3.2. Çeliklerin alaşımlı sayılması için içerebilecekleri min. element miktarları.

Element	Alt Sınır (ağırlık yüzdesi)	Element	Alt Sınır (ağırlık yüzdesi)
Alüminyum	0,10	Lantanitler	0,05
Bor	0,0008	Mangan	1,60
Krom	0,30	Molibden	0,08
Kobalt	0,10	Nikel	0,30
Bakır	0,40	Niyobyum	0,05
Kurşun	0,40	Titanyum	0,05
Selenyum	0,10	Bizmut	0,10
Silisyum	0,50	Volfram	0,10
Tellür	0,10	Vanadyum	0,10

Zirkonyum	0,05	C, P, S, N ve O ₂ hariç diğerleri	0,05
-----------	------	--	------

Alaşımlı çelikler, içerdikleri alaşım elementi miktarına göre; “Az Alaşımlı Çelikler” ve “Yüksek Alaşımlı Çelikler” olmak üzere iki alt gruba ayrılmaktadır [16].

Alaşım elementi ve/veya elementlerinin toplamı %5’den az olan çelikler az alaşımlı çelikler olarak adlandırılmaktadır. Temelde alaşımsız çeliklere benzer davranışa sahip olan az alaşımlı çeliklerin en önemli özelliği, sertleşme kabiliyetlerinin çok daha iyi olmasıdır [16]. Alaşımsız çeliklerin kullanımını sınırlayan ve dolayısıyla az alaşımlı çeliklerin tercih edilmesine neden olan faktörler; alaşımsız çeliklerin korozyon ve oksidasyon direncinin düşük olması, su verme ile oluşan sertlik derinliğinin düşük olması, düşük sıcaklıklarda alaşımsız çeliklerin darbe direncinin çok düşük olmasıdır [18].

Az alaşımlı çelikler, alaşımsız çeliklerin bu dezavantajlarına karşı üretilen ve bileşiminde ana alaşım elementi olarak mangan, nikel, krom, molibden ve volfram bulunan çeliklerdir. Bu çeliklere vanadyum, alüminyum, bor, titanyum, niyobyum, kurşun, kobalt ve bakır gibi alaşım elementleri de ilave edilebilmektedir.

AISI/SAE çelik bölümlenmesinde 13XX, 4XXX, 5XXX, 6XXX, 8XXX ve 9XXX simgeli çelikler az alaşımlı çelikleri oluşturmaktadır. Bunların kimisi tek alaşım elementli, kimisi de iki ve bazıları da üç alaşım elementlidir [16,18].

Bu çalışmada ele alınacak çelik türü bu gruba ait olan az alaşımlı Cr–Mo çeliklerinden 42CrMo4 ıslah çeliğidir.

Alaşım elementi ve/veya elementlerinin toplamı %5’den fazla olan çelikler ise; yüksek alaşımlı çelikler olarak adlandırılmaktadır. Alaşımsız ve az alaşımlı çeliklerde istenilen özelliklerin bulunmaması veya yetersiz olması halinde yüksek alaşımlı çelikler kullanılmaktadır. Takım çelikleri ve paslanmaz çelikler bu gruba örnek olarak verilebilir [16,19].

3.2 Islah Çelikleri

Islah çelikleri, kimyasal bileşimleri özellikle karbon miktarı bakımından, sertleştirilmeye elverişli olan ve ıslah işlemi sonunda belirli bir çekme dayanımında yüksek tokluk özelliği gösteren alaşımsız ve alaşımlı makina imalat çelikleridir [20].

Genel olarak ıslah çeliklerinden, yüksek dayanım ve süneklilik birlikte istenmekte ve sertleştirildikten sonra yüksek sıcaklıkta temperlenmektedir. Islah elikleri, yeterli değerde martensit sertliği sağlayabilmek için, nispeten yüksek karbon (%0,25-0,60 C) içermektedir [18].

Islah işlemi; sonuçta parçaya yüksek tokluk özelliği kazandırılacağı, önce bir sertleştirme ve arkasından temperleme işlemlerinin bütünü olarak tarif edilmektedir. Islah işleminin iyi sonuç vermesi (istenilen tokluk veya sertlik değerine ulaşılması), kullanılan çeliğin iç yapı temizliği ile yakından ilgilidir. İç yapı temizliği, sıvı çeliğin bünyesinde hidrojen, oksijen ve azot gibi gazlardan arındırılması ve oksit, sülfür gibi kalıntılardan temizlenmesi işlemidir [20].

TS 2525'e (Ocak 1977) göre standartlaştırılmış ıslah çelikleri kimyasal bileşimlerine göre; alaşımsız ıslah çelikleri, mangan alaşımlı ıslah çelikleri, krom alaşımlı ıslah çelikleri ve krom-molibden alaşımlı ıslah çelikleri olmak üzere dört ana grupta toplanmaktadır [21].

Alaşımsız ıslah çelikleri makina parçaları imalinde kullanılmaktadır. ekirdeğe kadar yüksek mukavemette ıslah, ancak küçük boyutlu parçalar için geçerli olmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda yapılan hızlı soğutma tane kabalaşmasını ve bununla da mukavemet düşmesi meydana getirmektedir. Kesit büyümesiyle yüksek mukavemetin temini ancak çeliğin alaşımlanması ile mümkün olmaktadır[17].

Alaşımsız ve manganlı çeliklerde sıcak şekillendirme sıcaklığı 850-1100°C arasında, diğer çeliklerde ise; 850-1050°C arasında değişmektedir. Yumuşak tavlama sıcaklığı genellikle 650-700°C arasında değişmekte, bazı hallerde alt sınır 580°C'ye düşmekte ve st sınır 720°C'ye çıkmaktadır. Yumuşak tavlama kesite göre uygun sürede yapılmalıdır. Normal tavlama sıcaklığı, 900-920°C'ye çıkmakta, fakat genellikle 840-880°C arasında bulunmaktadır. Parçalar, çekirdeğe kadar ısıtılmalı ve sonra durgun (hava akımı olmayan) atmosferde soğutulmalıdır. Temperleme sıcaklığı ise; genellikle 540-580°C arasındadır. Temperleme sıcaklığı istenilen çekme mukavemeti ve kopma uzaması değerine göre ayarlanmalıdır. Temperleme süresi genellikle parça boyutlarına bağlıdır [22].

3.3 Islah Çeliklerine Alaşım Elementlerinin Etkisi

Elementlerin çeliğin yapısında tek elementli faz, katı çözelti ve intermetalik bağlantı durumunda bulunması, malzeme özelliklerini çok farklı şekilde etkilemektedir. Yalnızca kurşun ve bakırdan kaynaklanan tek elementli fazların yaratabileceği olumlu etkiler sınırlı olduğundan; diğer alaşım elementleri, katı çözelti veya intermetalik bağlantılar meydana getirerek çeliklerin alaşımlandırılmasında büyük önem taşımaktadır [23]. Bu elementlerin demirle katı çözelti oluşturması, atom çaplarının oranı ile kristal yapılarına bağlı olmaktadır. Bu elementlerden krom, alüminyum, titanyum, molibden, kalay, arsenik, antimon, niyobyum, zirkonyum, talyum, hafniyum, vanadyum, silisyum ve volfram ferrit yapıcılar; nikel, karbon, azot, kobalt, çinko, altın, bakır ve mangan ise, östenit yapıcılar olarak adlandırılmaktadır [14,19].

Östenit yapıcı elementler içerisinde nikel, mangan, kobalt, platin sınırlandırılmamış açık östenit sahası yaparken karbon, azot, bakır, çinko, altın ise; heterojen denge alanı ile sınırlandırılmış östenit sahası yapmaktadır. Ferrit yapıcı elementler içerisinde alüminyum, silisyum, titanyum, vanadyum, krom, arsenik, molibden, kalay, antimon ve volfram sınırlandırılmamış açık ferrit sahası yaparken niyobyum, talyum, zirkonyum ve hafniyum ise; heterojen denge alanı ile sınırlandırılmış ferrit sahası yapmaktadır [23,24].

İntermetalik bağlantılar, en az iki alaşım elementinin atomları arasında çok büyük çekme kuvvetlerinin bulunması sonucu ortaya çıkmaktadır. Bileşenlerinden farklı ve karmaşık bir kristal yapıya sahip olup, genellikle çok sert ve gevrekler. Çeliklerde genellikle özellikleri iyileştiren teknik açıdan en önemli intermetalik bağlantılar karbür ve nitrürler ile hem karbon ve hem de azot içeren karbonitrürlerdir [14,23].

Önemli karbür yapıcı elementler ve bu elementlerin karbür yapma eğilimleri; mangan, krom, molibden, volfram, talyum, vanadyum, niyobyum, zirkonyum, hafniyum, titanyum sırasına göre artmaktadır. Genelde zayıf karbür yapıcılar olan mangan ve krom, sementitte (Fe_3C) çözünerek, karışık karbürleri meydana getirmektedir. Bunların kararlılığı çok az olmakta ve yaklaşık 650°C sıcaklıkta çözünmeye başlamaktadır. Buna karşın ZrC , HfC ve TiC gibi özel karbürler çok yüksek sıcaklıklara kadar kararlılıklarını korumaktadır. Demirde birçok karbür,

karbür meydana getiren elementle birlikte demirin de girmesiyle meydana gelerek, üç elementten oluşmaktadır. Çift karbürlere örnek olarak $\text{Fe}_3\text{W}_3\text{C}$ ve $\text{Fe}_3\text{Mo}_3\text{C}$ verilebilir [14,23]. Islah çeliklerinde alaşım elementi karbürlerinin östenitleme sırasında çözünmesi, takım çeliklerindeki kadar yavaş değildir. Dolayısıyla aşırı ısınma halinde tane kabalaşması eğilimi olan bu çeliklerin su verme sıcaklığı belli bir aralıkta tutulmalıdır [19]. En önemli nitrür yapıcılar; alüminyum, molibden, volfram, talyum, krom, zirkonyum, niyobyum, titanyum, vanadyum ve bor elementleridir. Bu elementlerle AlN , TiN , NbN , ZrN , TaN , VN , W_2N , CrN , Cr_2N , MoN ve BN gibi nitrürler oluşmaktadır. Bunlardan kübik yapılı olanları oldukça kararlıdır, östenitte bile zor çözünürler, hatta TiN , ergiyikte bile kararlılığını korumaktadır [14,23].

Yapıya alaşım elementi girmesiyle birlikte, dönüşüm eğrilerinin sıcaklık ve bileşimleri değişime uğramaktadır. Alaşım elementleri, çeliğin TTT diyagramındaki eğrilerini değiştirmektedir. Kobalt hariç tüm alaşım elementleri, ötektoid öncesi reaksiyonu (östenit-ferrit dönüşümü) ve ötektoid reaksiyonu (östenit-perlit dönüşümü) geciktirerek TTT diyagramındaki dönüşüm eğrilerini sağa (daha uzun dönüşüm sürelerine) kaydırılmaktadır [16,19].

Alaşım elementlerinin perlit ve beynit dönüşüm başlangıcını geciktirmesi, daha düşük soğuma hızlarında da martensit oluşumuna imkan sağlamakta, yani çelikte üst kritik soğuma hızı azalmaktadır. Bundan dolayı, daha düşük soğutma gücü olan ortamlarda da martensitik yapı ve daha fazla sertleşme derinliği elde edilmektedir. Böylece, kalın kesitli parçaların tüm kesiti sertleştirilebilmektedir. Ayrıca, soğutma hızı daha düşük olduğundan, iç gerilmeler ile birlikte çarpılma ve çatlama tehlikesi de azalmaktadır.

Diğer taraftan, artan alaşım elementi cins ve miktarı ile martensit dönüşümün başladığı M_s ve dönüşümün tamamlandığı M_f sıcaklıklarının düşmesi, alaşımlı çeliklerde tam martensitik yapıya ulaşılmasını zorlaştırmaktadır. Özellikle yüksek karbonlu ve alaşımlı çeliklerde, ani soğutma işlemi oda sıcaklığına kadar yapıldığında, yapıda önemli miktarda artık östenit kalmaktadır. Artık östenitin martensite dönüştürülmesi istenirse, derin soğutma (M_f sıcaklığına veya daha da altındaki bir sıcaklığa soğutma) yapılması gerekebilmektedir. Ancak, artık östenitin

yüksek sıcaklıkta temperlenmesi ile yeni karbürler oluşturmak suretiyle, sekonder sertleşme etkisi yaratılabilmektedir [14].

Çelikte demir dışında bulunan arıtilamayan elementler ve önemli alaşım elementlerinin herbirinin çeliğin özelliklerine etkileri aşağıdaki bölümlerde açıklanmıştır.

3.3.1 Karbon ve Etkisi

Ergime sıcaklığı 3540°C olan karbon çeliğin en temel alaşım elementidir [25]. Karbon miktarının artmasıyla birlikte alaşımsız çeliklerin dayanımı ve sertliği önemli ölçüde artmaktadır. Karbon miktarı arttıkça ıslah çeliğindeki perlit oranı arttığından, çeliğin çekme dayanımı ve akma sınırı artmaktadır. Ancak, %0,80-0,85 C değerinden sonra dayanım daha fazla artmamasına karşılık, bünyeye giren sekonder sementit kristal tanecikleri bünyedeki bağlantıyı zayıflatacağından çekme dayanımı düşmeye başlamakta ve çelik giderek kırılganlaşmaktadır. Kopmaya kadar şekil değiştirme kabiliyetinin yani kopma uzaması δ 'nın ve kopmadaki büzülme Ψ 'nin en büyük değerlerine tam ferritik bünyede rastlanmaktadır. Kırılgan olan sementitin bünyeye girmesiyle bu özellikler artmaktadır. Bu arada aynı nedenle çentik dayanımı α_K 'nın da düştüğü görülmektedir [14].

Karbon miktarı arttıkça çeliğin sünekliliği, dövülebilirliği, derin çekilebilirliği ve kaynak edilebilirliği azalmakta, ısıtma işlemde çatlama ve deformasyon eğilimi artmaktadır. Esas olarak ferrit, soğukta dövülebilir. Karbon oranı arttıkça soğuk şekillendirme için gerekli güç harcaması da o oranda artmakta ve %0,8 C değeri soğukta şekillendirme için sınır kabul edilmektedir. Talaşlı şekillendirme kabiliyeti de artan karbon miktarı ile azalmaktadır. Karbon, genellikle birikime fazla yatkın değildir. Çelik içerisinde karbon birikimi (segregasyon) mekanik özelliklerde anizotropiye neden olmaktadır. Sıcak haddelenmiş çelik ürünlerde görülen bantlaşma, karbon birikiminin en belirgin örneğidir [17,18].

Islah çelikleri içerisinde en yüksek karbon oranına sahip ıslah çeliği X120Mn12 (1,3401) çeliğidir. İçerdiği karbon oranı maksimum %1,30'dur [22].

3.3.2 Mangan ve Etkisi

Ergime sıcaklığı 1221°C olan mangan, çeliğin yapısına genellikle cevherden geçmekte ve bünyeye kükürt ve oksijenli bağlantılar halinde girmektedir [25]. Östenit sahasını genişleten elementlerden biridir. Mangan, çoğu zaman ferrit içerisinde çözünmekte bazen de (Fe,Mn)₃C olarak sementit içerisinde girerek karbürler oluşturmaktadır [26]. Genel olarak, çeliğin dayanımı ve akma noktasını arttırmakta fakat sünekliliğini biraz azaltmaktadır. %3 Mn miktarına kadar, her %1 Mn artışı ile çekme dayanımı yaklaşık 100 MPa arttırmakta, %3-8 Mn miktarları arasında artış daha az olmaktadır ve %8 Mn miktarından itibaren düşme görülmektedir. Mangan, kritik soğuma hızını düşürerek sertleşebilirliği arttırmaktadır [25]. Aynı zamanda dövülebilirliği ve korozyon dayanımını da iyileştirmektedir [14,18].

Çelik içerisinde Mn, kükürt ile MnS inklüzyonu oluşturmaktadır. Bu inklüzyon, hadde yönünde uzayarak süneklik ve tokluğu özellikle enine ve boyuna yönlerde büyük ölçüde azaltmaktadır. Inklüzyonların, süneklik ve tokluk özelliklerinden olumsuz etkilerini gidermek için çeliğe toprak alkali metallerin (Ca, Zr, Ce gibi) ilavesi gerekmektedir. Bu elementlerin ilavelerinin amacı, inklüzyonların plastik özelliklerini azaltarak haddeleme sırasında uzamalarını önlemektir. Bu elementlerin sülfürleri haddeleme sırasında şekil değiştirmezler [25]. Ortamda MnS oluşumu için gerekli olandan fazla mangan bulunduğunda, Mn₃C oluşma eğilimi artmaktadır. Sementit ve mangan karbür kombinasyonları çeliğin sertliğini ve dayanımını arttırmaktadır. Mangan, ferrit tanelerini ve perlit nodül boyutlarını incelterek akma dayanımını ve östenitten soğutma sırasında da sertleşme derinliğini arttırmaktadır [24,27].

Manganlı ıslah çelikleri, orta büyüklükteki kesitler için uygun olup büyük kesitler için yeterli halde çekirdeğe kadar sertleşme kabiliyeti göstermemektedir. Dolayısıyla çekirdeğe kadar tam bir ıslah yapılamamaktadır. Yalnızca manganla alaşımlı olan çelikler, aşırı ısınmaya karşı da hassastırlar ve kaba tane teşekkülüne eğilimleri fazladır. Ayrıca, özellikle su içerisinde soğutmada, sertleştirme çatlağı meydana getirebilmektedir. Haddelemeye dik doğrultuda, çok düşük sünekliliğe sahiptirler. Bu kusurları; 37MnSi5, 50MnSi4, 37MnV7 ve 42MnV7 çeliklerinde olduğu gibi silisyum veya vanadyum ilavesiyle dengelenmektedir [17,21]. Islah çeliklerinde

mangan içeriği X120Mn12 (1,3401) çeliğinde olduğu gibi %12 ve üzerinde ise; yapı östenitiktir [19].

Islah çeliklerinin çoğunda mangan oranı %0,50-0,90 aralığında değişmektedir. En yüksek mangan içeriği X120Mn12 (1,3401) çeliğinde olup %13'tür. Minimum mangan miktarı ise; %0,30'dur [22].

3.3.3 Silisyum ve Etkisi

Cevherden ve ergitme sırasında ilave edilen materyallerden demire geçen silisyumun ergime sıcaklığı 1414°C'dır. Silisyum, oksijene olan yüksek afinitesi nedeniyle SiO_2 halinde bulunmakta ve diğer oksitlerle birlikte $\text{SiO}_2 \cdot \text{M}_x\text{O}_y$ gibi yüksek derecede ergiyen yuvarlak şekilli ve gevrek silikatlar oluşturmaktadır. Silisyum, oksijen mevcudiyeti söz konusu olmadığı durumlarda ferrit içerisinde çözünmektedir [26]. Kükürt ve fosfor gibi silisyum da, metalik bir element değildir [25]. Islah çeliğindeki silisyum içeriği %0,3'ün altında ise; silisyum, ferrit içinde tamamen çözünmekte ve büyük oranda sünekliliği düşürmesi dışında dayanımı ve sertliği arttırmaktadır [28]. Fakat etkisi mangandan az olmaktadır. Artan silisyum miktarı ile dövülebilirlik ve kaynak kabiliyeti azalmaktadır. Çeliğin sertleşebilirliği, aşınmaya karşı dayanımı ve elastikiyeti artmakta ama, çeliğin yüzey kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir [14,24]. Silisyum ilavesi ile kromlu ıslah çeliklerinin sertleşebilirliği daha da arttırılmakta ve manganlı ıslah çeliklerinin de özellikleri iyileştirilmektedir [21].

Islah çeliklerinin çoğunda silisyum içeriği maksimum %0,40'tır. Mangan silisyumlu ıslah çeliklerinde bu oran %1,00'e kadar çıkmaktadır. En yüksek silisyum içeriği %1,40 Si ile 37MnSi5 çeliğindedir [21,22].

3.3.4 Kükürt ve Etkisi

Ergime sıcaklığı 118°C olan kükürt, sülfürlü cevherlerden ve kullanılan yakıtlardan çeliğe geçmektedir [25]. Genel olarak, çelikte %0,08-0,33 oranlarında bulunduğu işlenebilirliği (talaşlı şekillendirmeyi) kolaylaştırmaktadır. Bunun dışında istenmeyen bir elementtir ve daima azaltılmaya çalışılmaktadır. Sertleşebilirliği olumsuz yönde etkilemektedir [14]. Demir içinde kükürt çözünürlüğü yok denecek kadar az olduğundan, iç yapıda karakteristik demir sülfür (FeS) fazı ortaya çıkmaktadır. Çelik içerisinde yapıda %0,05'den daha az kükürt içeriği, kaynak edilebilme özelliğini

iyileştirmektedir. Mangan ile dengelenmediğinde, kükürt taneler üzerinde çökelmekte ve yüksek sıcaklıkta ergiyik durumda bulunacağından sıcakta kırılmalık yapmaktadır. Manganın kükürde karşı afinitesi yüksek olduğundan kükürt, manganla ince tanecikler halinde 1600°C’de ergiyen MnS’i oluşturmaktadır. Böylece sıcakta kırılmalık önlenmiş olmaktadır [18,19]. Kükürt genellikle sülfür ve oksisülfür kalıntıları olarak ıslah çeliği yapısında bulunmaktadır. Birikim yatkınlığı yüksektir. Islah çeliklerinde kükürt miktarı maksimum %0,045’dir [14,17].

3.3.5 Fosfor ve Etkisi

Ergime sıcaklığı 44°C’tır [25]. Fosfor, çelik içerisinde Fe₃P bileşiği şeklinde bulunmaktadır. Ferritin dayanımını en fazla arttıran elementtir. Bu nedenle, düşük miktarlarda bulunsan bile ferritin içerisinde çözündüğünden dolayı çeliğin dayanımını ve sertliğini artırıcı, buna karşın şekillendirme yönünde sünekliği ve darbe dayanımını azaltıcı etki yapmaktadır [14,24]. Diğer kalay olmak üzere tokluğu en çok azaltan iki elementten biridir. Fosforun küçük miktarlarda artması bile temper gevrekliğine meyili arttırmaktadır. Kuvvetli makrosegregasyon gösteren fosforun, demir içinde yayılma hızı çok düşük olduğundan mikrosegregasyonu da belirgin olmaktadır. Fosforun mikrosegregasyonu yüksek sıcaklıklarda yapılan uzun süreli bir tavlama ile çok zor olarak giderilebilmektedir [19]. Çelikte bakır ile az oranda bulunduğunda korozyon dayanımını iyileştirmesine karşın; kükürtle birlikte çelikte mümkün olduğunca az bulunmasına çalışılmaktadır ve kalite belirlenmesinde birinci planda rol oynamaktadır [14].

Islah çeliklerinde fosfor miktarı maksimum %0,100 P ile X120Mn12 çeliğine aittir. Genel olarak fosfor içeriği %0,035’tir [22]. Fosforun birikim yatkınlığı karbon ve kükürdünkünden azdır [18].

3.3.6 Krom ve Etkisi

Ergime noktası 1920°C olan krom, östenit sahasını daraltan ve ferritik bünye yapmaya eğilimli bir elementtir. Ferrit içerisinde çözünmektedir ve sementit içerisine girerek de (Fe,Cr)₃C karbürleri oluşturmaktadır. Aynı zamanda yapı içerisinde Cr₂₃C₆ ve Cr₇C₃ şeklinde karbürler de oluşturabilmektedir [26]. Islah çeliklerinin, oksidasyona ve korozyona karşı dayanımını, aşınma direncini ve özellikle kritik

soğuma hızının azalmasıyla sertleşebilirliğini arttırmaktadır. Karbür yapıcı element olduğundan, çekme dayanımını ve ısıya dayanımı arttırmakta, sünekliliği düşürmektedir. Sünekliliğini arttırmak için yapıya nikel ve vanadyum katılmaktadır. Artan krom miktarı ile kaynak edilebilirlik ve çentik darbe dayanımı azalmaktadır [14,18]. Her %1'lik krom artışı, çekme mukavemetinde 80-100 N/mm²'lik artışa tekabül etmektedir. Kromlu ıslah çelikleri aşırı ısınmalara karşı hassas değildir ama yüksek aşınma mukavemeti göstermektedir. 38CrSi6 ve 50CrV4, 58CrV4 çeliklerinde olduğu gibi silisyum ya da vanadyum ilavesi, sertleşebilirliği daha da arttırmaktadır [17,21].

Islah çelikleri içerisinde en yüksek krom oranına sahip çelik %3,30 Cr oranıyla 32CrMo12 çeliğidir. Genel olarak krom miktarı %0,90-1,20 arasındadır [22].

3.3.7 Nikel ve Etkisi

Östenit sahasını çok fazla genişleten elementtir. Dolayısıyla östenitik bünye yapmaktadır. Ergime sıcaklığı 1453°C olan nikel, genel olarak ıslah çeliğinin dayanımını arttıran bir elementtir. Bu artış, silisyum ve mangana nazaran daha az olmaktadır. Krom kadar olmasa da sertleşebilirliği iyileştirmekte ve tokluğu, çentik darbe dayanımını ve korozyon direncini arttırmaktadır [14,25]. Yapı içerisinde krom ile birlikte, yüksek süneklilik, yüksek sertleşebilirlik ve yüksek yorulma direnci göstermektedir. Bakır içeren çeliklere, bakırın yarattığı sıcak gevrekliği önlemek veya azaltmak amacıyla nikel katılmaktadır. Aynı zamanda düşük düzeylerdeki bakır ve fosfor ile birlikte, deniz suyu gibi korozif ortamlarda çeliklerin dayanımını arttırmak için de nikel kullanılmaktadır [14,18].

Nikel, ıslah çeliklerinin bir kısmında bulunmaz. 35NiCr18 ıslah çeliği, %4,75 Ni oranıyla en yüksek nikel içerikli ıslah çeliğidir. Genel olarak nikel miktarı maksimum %0,40'dır [22].

3.3.8 Vanadyum ve Etkisi

Ergime sıcaklığı 1726°C olan vanadyum, ıslah çeliğinin sertleşebilirliğini belli oranda arttırmaktadır. Özellikle kromlu ıslah çeliklerinde sertleşebilirliği daha da arttırmaktadır [21,25]. Vanadyumun kromlu ıslah çeliklerine bir başka olumlu etkisi de sünekliliği artırıyor olmasıdır [29]. Yalnız manganla alaşımlı ıslah çeliklerine

vanadyumun etkisi, çeliğin özelliklerini iyileştirmesi yönündedir. Çelikte çekme dayanımını ve akma sınırını yükseltmektedir. Vanadyum, ıslah çeliklerinde VN şeklinde ferritik yapıda tane küçülmesini sağlayarak çentik dayanımını da yükseltmektedir. Kuvvetli karbür yapıcı bir elementtir. Karbürü formu (V_4C_3) aşınma direncini ve yüksek sıcaklık dayanımını arttırmaktadır [14,26]. Islah çeliklerinde vanadyum miktarı maksimum %0,10 mertebesinde [22].

3.3.9 Molibden ve Etkisi

Ergime sıcaklığı $2622^{\circ}C$ 'dir. Karbür yapıcı ve aynı zamanda östenit sahasını daraltan bir elementtir. Molibden, yapı içerisinde Mo_2C şeklinde karbürler oluşturabilir [26]. Az alaşımlı çeliklerde ve ıslah çeliklerinde genellikle krom ve/veya nikel ile birlikte %0,15-0,30 arasında bulunduğunda, kritik soğuma hızını düşürerek sertleşebilirliği arttırmakta ve aynı zamanda çekme dayanımını ve özellikle sıcaklığa dayanımını çok arttırmaktadır. Ayrıca, temper gevrekliğini de azaltmaktadır. Yüksek molibden değerleri, çeliğin dövülebilirliğini zorlaştırmaktadır [17,25]. Molibden, kroma nazaran daha kuvvetli sertleşebilmeyi arttırmaktadır. Bu etkisi yüksek karbonlu çeliklerde, orta karbonlu çeliklere göre daha belirgin olmaktadır [30]. Temper gevrekliği tehlikesine karşın Cr-Ni çelikleri yerine çoğu zaman Cr-Mo çelikleri kullanılmaktadır. Aynı karbon miktarlarında Cr-Mo çeliklerinin mekanik özellikleri, Cr-V çeliklerine nazaran biraz düşük olmaktadır [21]. Islah çeliklerinde eskiden daha çok kullanılan nikel, özellikle sünekliliği iyileştirmektedir [14,18].

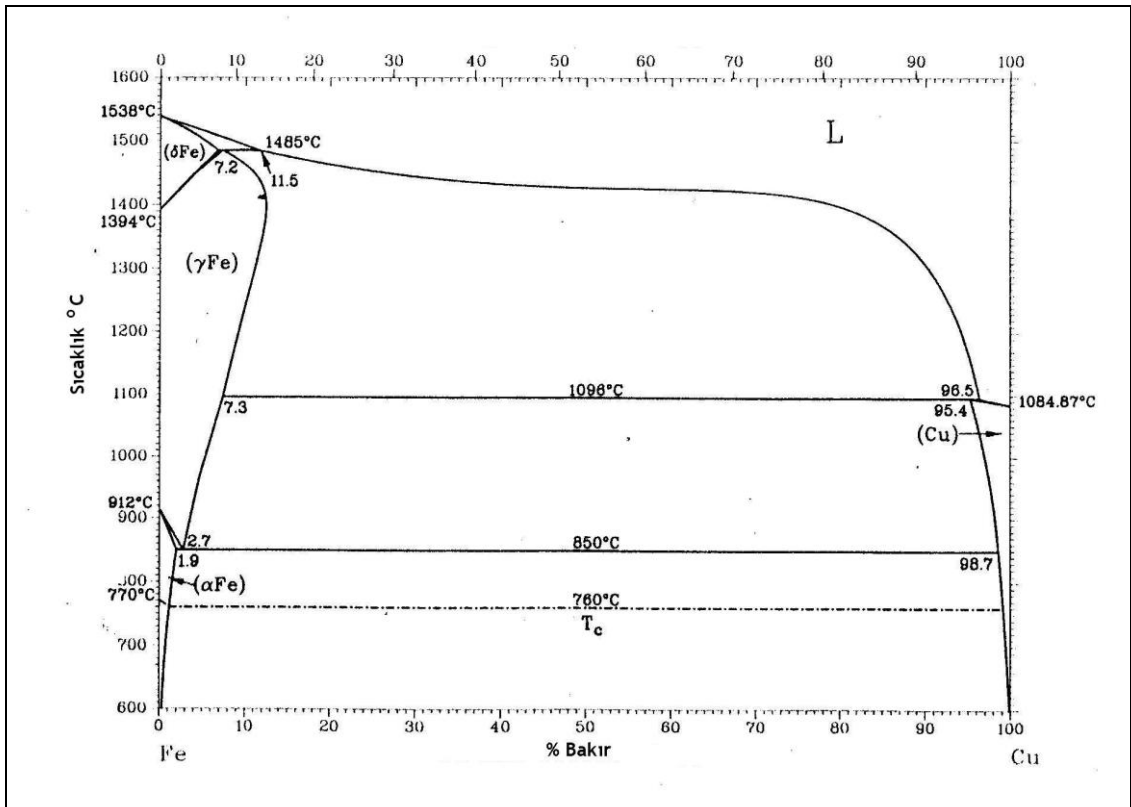
Islah çeliklerinde Mo miktarı genellikle %0,15-0,30 civarındadır. 14CrMoV6-9 ıslah çeliği, %1,00 Mo içeriği ile en yüksek Mo içeren ıslah çeliğidir [22].

3.3.10 Bakır ve Etkisi

Ergime sıcaklığı $1084^{\circ}C$ olan bakır; ıslah çeliğinin dayanımını, akma sınırını ve sertliğini arttırmakta, sünekliliğini çok fazla düşürmektedir [25]. Islah çeliğine bakır ilavesi, genel olarak çökelme ile mukavemet sağlamak ve atmosferik ortamda korozyon direncini arttırmak amacıyla yapılmaktadır [30]. Bakırın yanında az miktarda fosfor bulunması da korozyon direncini arttırmaktadır [14]. %0,30-0,35'in üzerinde bakır ilavesi çökelme sertleşmesine neden olmaktadır. Bu oranın altındaki bakır, ferrit içerisinde çözünmektedir. Fe-Cu ikili denge diyagramı Şekil 3.1.'de

görülmektedir. Denge diyagramına göre ferrit içerisinde maksimum bakır çözünürlüğü ötektoid sıcaklıkta ($850 \pm 5^\circ\text{C}$) $\%1,88 \pm 0,5$ Cu olmaktadır. Bakır içerisinde maksimum demir çözünürlüğü ise; peritektik sıcaklık olan $1096 \pm 5^\circ\text{C}$ 'ta $\%3,5 \pm 0,5$ Fe olmaktadır [31]. Bakırın kaynaklanabilirliğe etkisi yoktur [27]. Sıcak şekillendirmede kırılganlık yaratması, ıslah çeliklerinin kullanımında sorun teşkil ettiğinden $\%0,50$ miktarının aşılması tavsiye edilmemektedir [17,18]. Bakırın yarattığı bu sıcak gevrekliği önlemek veya azaltmak için yapıya nikel katılmaktadır [14].

Islah çeliklerinde bakır içeriği maksimum $\%0,35$ 'dir [22]. Çoğu ıslah çeliğinde bakır bulunmaz. Bakır; özel amaçlar için ıslah çeliklerine katılmaktadır. Islah çeliklerine katılan bakır ve nikel özellikle savunma sanayine ait parçalarda kullanılmaktadır. Bu nedenle önemli bir elementtir.



Şekil 3.1. Fe-Cu ikili denge diyagramı.

3.3.11 Oksijen ve Etkisi

Çelik üretimi sırasında FeO halinde demire geçmekte ve FeS ile birlikte curuf oluşturmaktadır. Kolay ergime özelliği nedeniyle sıcakta kırılabilirlik verdiği için oksijen miktarının %0,07'nin altında tutulması gerekmektedir. Oksijenin demirden daha fazla ilgi gösterdiği Mn, Al ve Ca gibi elementlerin eriyiğe ilavesi, oksijen miktarını istenen sınırlar altında tutmak için başvurulan önlemlerden biridir [17].

3.3.12 Hidrojen ve Etkisi

Çeliğin iç yapısı içinde en tehlikeli ve zararlı elementtir. Çeliğe, kullanılan hidrokarbon kökenli ve nemli hammadde ve katkı maddelerinden veya atmosferdeki nemden girmektedir. Katılaşmada gaz kabarcıkları meydana getirmektedir. Hidrojen atomları küçük olduklarından yapıya girip kafes yapısının hatalı yerlerinde moleküller halinde toplanmaktadır. Hidrojen gazı, çelik içerisinde kılcal çatlaklar yaratarak mekanik özellikleri olumsuz yönde etkilemekte, çentik darbe dayanımını düşürmektedir. Hidrojen, vakum altında gaz giderme işlemiyle sıvı çelikten giderilmektedir [17,18].

3.4 Islah Çeliklerine Isıl İşlemin Etkisi

İç yapı ve özellikler bakımından belirli bir durumu elde etmek üzere, malzemenin solidüs sıcaklığının altında uygun sıra ve süre ile ısıtılıp soğutulmasına ısıtılma işlemi denilmektedir. Isıl işlem; çeliklerin talaşlı işlenebilirlik özelliğini iyileştirmek, dayanımını arttırıp azaltabilmek, soğuk şekil verme etkisini yok edebilmek, mikrosegregasyonu ortadan kaldıracak, tane büyüklüğünü istenilen şekilde değiştirebilmek, iç gerilimleri azaltmak ve istenilen iç yapıları elde edebilmek amacıyla yapılmaktadır. Bütün çeliklerin ısıtılma işlemi esnasında, çelikleri belli bir sıcaklığa ısıtıp bu sıcaklıkta belli bir süre tutup önceden belirlenmiş soğutma hızı ile soğutmaktır [23].

Isıl işlemler, tavlama ve sertleştirme olmak üzere iki ana grupta toplanabilir. Tavlama ile iç yapının kararlı denge durumuna yaklaşması sağlanmaktadır. Sertleştirmede ise östenit, çeliğin bileşimine bağlı bir minimum hızın altına inilmeyecek şekilde soğutulmuş yarı kararlı bir iç yapı (martensit) oluşturulmaktadır. Bu her iki uygulamayı da içeren işleme, yani dengersiz bir yapı elde ettikten sonra istenilen

ölçüde denge durumuna yaklaşmaya “ıslah etme” denilmektedir. İki tür tavlama vardır. Bunlardan ilki; homojenleştirme, gerilim giderme, yeniden kristalleştirme işlemleri gibi belirli özelliklerin elde edilmesine yönelik tav işlemleri, ikicisi ise; yumuşatma, normalizasyon işlemleri gibi belirli iç yapı durumlarına ulaşmak için yapılan tav işlemleridir [19,32].

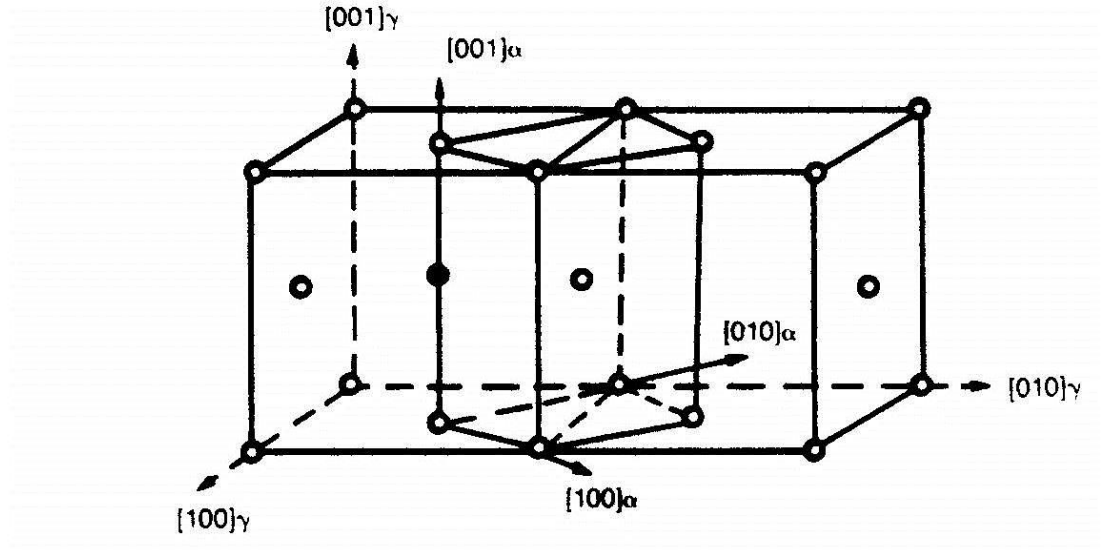
Hızlı soğutma, çeliği kırılgan yapmaktadır. Yavaş soğutma ve tavlama ise; çeliği yumuşak ve sünek yapmaktadır. Bu iki durum arasındaki özellikler, sertleştirilmiş çeliğin temperlenmesi ile elde edilmektedir. Bu özellikler çeliğin içindeki elementlerin dağılımı, boyutu, şekli ve cinsi ile ilgilidir. Özel uygulamalar için çeliklere mangan, krom, molibden ve nikel gibi çeliğin ısııl işlemdeki davranışını değiştiren ve özelliklerini iyileştiren alaşım elementleri katılmaktadır [32].

3.4.1 Sertleştirme İşlemi

Sertleştirme işlemi, çelik parçanın östenit faz sıcaklığına kadar ısıtılması ve bu sıcaklıkta belli bir süre tutularak, uygun bir ortamda hızla soğutulması işlemidir. İstenilen sıcaklığa ısıtmada iki yöntem vardır. Isı, parçaya ya bir dış kaynaktan temas yoluyla veya radyasyon yoluyla taşınmakta ya da doğrudan elektrik akımı geçirme veya indüksiyon yoluyla parçada oluşturulmaktadır. Isının dıştan verilmesi halinde parçanın merkezi yüzeyinden daha geç ısınmaktadır. Alaşım elementlerinin miktarı çoğaldıkça da ısı iletimi güçleşmektedir. Ekonomik açıdan, parçanın olabildiğince hızlı ısıtılması gerekmektedir. Ancak bu durumda iç ve dış kısımlar arasındaki sıcaklık farkı büyük olacağından çarpılma ve çatlama tehlikesi doğmaktadır [23]. Isıl işlemlerin çoğunda ısıtma ve soğutma sırasında faz dönüşümleri meydana gelmektedir. Bunların yarattığı ek gerilmeler de çatlamayı kolaylaştırmakta ve özellikle kalın ve karmaşık biçimli parçalar hızlı ısıtılmamalıdır [19,20] .

Östenit sıcaklığında tutma süresini çelik parçanın östenit fazda homojen bir yapıya ulaşması belirler ve bu süre çeliğin kimyasal bileşimine bağlı olarak değişmektedir. Az alaşımlı çeliklerin çoğu genellikle yetersiz sertleşebilirliğe sahiptirler [28]. Tutma süresi, parçanın kesatine de bağlıdır. Kalın kesitli parçalar daha uzun sürelerde tutulmaktadır. Tutma süresinin parça kalınlığı arttıkça uzatılmasının nedeni, karbür tanelerinin boyutu ve buna bağlı olarak katı eriyik içine girmelerinin zorlaşmasıdır [23,28].

Östenit faz sıcaklığında homojenliği sağlamak için yeterli süre bekletilmiş çelik parça, yüksek hızla soğutulursa martensite dönüşmektedir. Bu da, çeliğin kristal yapısının yüzey merkezli kübikten hacim merkezli tetragonal kristal yapısına dönüşümü ile olmaktadır [23,24]. Şekil 3.2.'de martensitin kristal yapısı görülmektedir [33]. Östenitin martensite dönüşümü, difüzyonla değil, bir kayma hareketi sonucu olmaktadır. Kimyasal bileşimde bir değişiklik olmamaktadır. Dönüşüm, sadece sıcaklık azalmasına bağlıdır ve soğutma durursa dönüşüm de durmaktadır. Yani; dönüşüm zamana bağlı değildir. Martensit dönüşümün başlama sıcaklığı M_s , sona erme sıcaklığı M_f olarak bilinmektedir. Eğer çelik parça, bu iki sıcaklık değeri arasında bir noktada tutulursa martensit dönüşümü durmakta ve sıcaklık düşmedikçe dönüşüm ilerlememektedir. M_s değeri, kimyasal bileşimin bir fonksiyonudur. Parçanın soğuma hızı değiştirilerek M_s sıcaklığı değiştirilemez. Martensitin en önemli özelliği çok sert oluşudur. Martensit sertliği, artan karbon miktarına bağlı olarak yükselmektedir. Ancak, karbon miktarının %0,70'i geçmesinden itibaren martensit yapıda görülebilecek artık östenit, sertlik azalmasına sebep olmaktadır [20,28].



Şekil 3.2. Martensitin hacim merkezi tetragonal yapısı

Sertleştirme ana gayesi, minimum soğuma hızında tamamen martensit yapı elde etmektir. Tamamen martensit yapı verecek minimum soğuma hızına “kritik soğuma hızı” denilmektedir. Kritik soğuma hızı, çeliğin kimyasal bileşimine ve östenit tane

büyükluğüne bağlı olarak değişmektedir. Sertleştirme sonucunda elde edilecek mikroyapı ile sertlik ve dayanım değerleri sertleştirme işlemindeki soğutma hızına bağlı olarak değişmektedir. Çelik parça, kritik soğutma hızından daha hızlı soğutulursa sonuçta yüksek sertlikte sadece martensit yapı elde edilmektedir. Fakat soğutma hızı, kritik soğuma hızından daha yavaşsa, östenitin bir kısmının veya tamamının ferrit ve perlite dönüşmesiyle yapıda martensit miktarı azalmakta ve sertlik düşmektedir. Parçanın soğuma hızı ile kritik soğuma hızı arasındaki fark büyüdükçe de östenitin ferrit ve perlite dönüşüm miktarı artmakta ve buna bağlı olarak sertlik de düşmektedir [20,28].

Alaşım elementleri, TTT diyagramında perlit ve beynit alanlarını sağa kaydırarak kritik soğuma hızını düşürmektedir. Böylece yağ ve hava gibi soğutma gücü zayıf olan sertleştirme ortamları bile martensit oluşumu için yeterli hale gelmektedir. Artan alaşım elementi ile M_s ve M_f sıcaklıklarının düşmesi, alaşımli çeliklerin tam sertleştirilmesinde sorun yaratmaktadır. Yüksek alaşımli çeliklerde M_f noktası oda sıcaklığının oldukça altına inebileceğinden, iç yapının tümüyle martensite dönüştürülmesi, ek masraflara yol açan düşük sıcaklık banyolarında sertleştirme gibi özel önlemlerle mümkün olmaktadır. Bu nedenle sertleştirilmiş alaşımli çeliklerin iç yapılarında büyük miktarda artık östenit bulunabilmektedir [19].

Sertleştirme ortamının cinsi ve sıcaklığı ile parçanın boyutu, parçanın soğuma hızına etki eden faktörlerdir [20].

3.4.1.1 Sertleştirme Ortamının Cinsi

İdeal sertleştirme ortamı, TTT diyagramının burun bölgesini kesmeyecek şekilde yüksek hızda soğutan ve sonra düşük sıcaklıklarda yavaş soğutma hızı veren ortam olarak tarif edilmektedir. Ancak, pratikte böyle ideal soğutma sağlayan ortam mevcut değildir. Çelik parçanın soğutulması üç safhada oluşmaktadır.

Birinci safhada, düşük sıcaklıktaki soğutma ortamıyla temasa geçen yüksek sıcaklıktaki çelik parçanın yüzeyinde, ince bir buhar tabakası oluşmaktadır. Bu tabakanın ısı iletimi çok düşük olduğundan, parça ısısının soğutma ortamına geçişi çok yavaş olmaktadır. Bu nedenle, bu safhada soğutma hızı oldukça düşüktür. Soğutma ortamına NaOH, NaCl gibi uçucu olmayan maddelerin %5-10 oranında

katılması, film oluşumunu engellemektedir. Böylece parçanın sertleşme derinliği artmakta ve çatlama tehlikesi de azalmış olmaktadır.

İkinci safha, parça yüzeyindeki buhar tabakasının bozulmasıyla başlamaktadır. Yüzeyde şiddetli kaynama meydana gelerek, çelik parçanın sıcaklığı hızla düşmektedir. Soğumanın en hızlı olduğu bölüm bu safhadır. Soğutma ortamı da hareketli ise; soğuma hızı daha da artmaktadır [19,20].

Üçüncü safha, parça yüzey sıcaklığının soğutma maddesinin kaynama sıcaklığına ulaşmasıyla başlamaktadır. Parça yüzeyinde kaynama durmuştur ve soğutma , ısı iletimi şeklinde olmaktadır. Bu safhada soğuma hızı tekrar yavaşlamıştır [20].

Azalan soğutma şiddetlerine göre çeşitli soğutma ortamları %10'luk NaCl₂ çözeltisi, su, tuz banyosu, yağ çözeltisi, yağ ve hava şeklinde sıralanabilmektedir. Yağların suya göre yaklaşık üç kat daha az olan soğutma etkisi, ancak alaşımlı çeliklerin sertleştirilmesi için yeterli olmakta ve gerilmelerin (ısı gerilmeler ve dönüşüm gerilmeleri) düşük seviyede kalmasını sağlamaktadır [32]. %0,3'ten az karbon içeren alaşımsız çelikler, sertleştirme ortamı olarak su kullanıldığı zaman bile etkili olarak sertleştirilememektedir. Elde edilebilecek maksimum sertlik, çelikteki karbon ve alaşım oranına bağlıdır. Alaşım elementleri kritik soğutma hızını düşürmektedir. Hatta zaman zaman havada bile soğutmak yeterli olabilmektedir [19,20].

3.4.1.2 Sertleştirme Ortamının Sıcaklığı

Genel olarak, sertleştirme ortamının sıcaklığı yükseldikçe soğuma hızı düşmektedir. Soğuma hızını arttırmak ve ortam sıcaklığını sabit tutmak için, ortamda çalkantı (sirkülasyon) sağlanabileceği gibi, parçanın ortam içinde hareketi de söz konusu olabilir. Böylece, soğumanın birinci safhasında parça yüzeyinde oluşan buhar tabakası etkili bir şekilde giderilerek soğuma hızı arttırılmış olmaktadır. Sertleştirme sıcaklığı arttıkça, tane boyutu ve dolayısıyla artık östenit miktarının da arttığı unutulmamalıdır [20,28].

3.4.1.3 Parça Boyutu

Parça yüzey alanının kütlesine oranı soğuma hızını belirleyen önemli bir faktördür. Bu oran parçanın geometrik şekline yakından bağlıdır ve oranın büyümesi soğuma

hızını arttırmaktadır. Küresel parçalar için bu oran fazlaca önemli değildir. Silindirik parçalarda ise oran, parça çapına ters orantılı olarak değişmektedir.

Tellerde ve ince levhalarda yüzey alanın kütleye oranı oldukça büyük olduğundan, yüksek soğuma hızı elde edilmektedir. Aynı sertleştirme şartlarında, büyük parça küçük parçadan daha yavaş soğumaktadır.

Aynı kimyasal bileşim ve aynı östenit tane büyüklüğündeki çelik parçalar için parçaların ebadı, şekli ve sertleştirme şartları dikkate alınmaksızın, aynı soğuma hızına sahip noktalarda aynı sertlik değeri elde edilebilmektedir. Bu cümlemin tersi doğru olmayabilir. Yani; aynı kimyasal bileşimdeki ve aynı östenit tane büyüklüğündeki bir çelik parça için, aynı sertlik değeri elde edilen farklı noktaların soğuma hızları aynı olmayabilir. Başka bir ifadeyle, bir çelik parçasının sertleştirilmesi işleminde, merkezinin soğuma hızı TTT diyagramındaki kritik soğuma hızını geçerse, parçanın kesiti boyunca aynı sertlik değeri elde edildiği halde, yüzey ve çekirdeği farklı hızlarda soğuyacaktır [20] .

3.4.2 Temperleme İşlemi

Sertleştirme sonrası elde edilen martensit yapı birçok uygulama için fazlasıyla sert ve gevrekler. Aynı zamanda, östenitin martensite dönüşümü, parçalarda yüksek gerilmeler oluşturmaktadır. Bu da, parçayı kırılgan yapmaktadır. Bu sebeplerden, hem parçanın gevrekliğini gidererek tok bir yapı kazandırmak hem de ortaya çıkmış gerilmeleri gidermek amacıyla temperleme adı verilen işlem uygulanmaktadır. Tüm bu özellik değişimleri, zamanla bağlantılı oluşmaktadır [20,32].

Temperleme, 150-723°C arasında yapılabileceğinden çeliğin mekanik özellikleri ve mikroyapısında bazı değişiklikler söz konusu olmaktadır. Temperleme sıcaklığı alanında, sıcaklık yükselirken genel olarak sertlikte azalma ve toklukta artma gözlenmektedir. 42CrMo4 ıslah çeliği üzerinde yapılan araştırmalara göre, temperleme sonrası parçada esas olarak sertlik ve aşınma direnci isteniyorsa, 200°C'nin altında; eğer tokluk esas olarak isteniyorsa, 425°C'nin üzerinde temperleme sıcaklığı seçilmelidir [20].

Temperleme sıcaklığının yükselmesi ile, çeliğin mikroyapısında da çeşitli değişiklikler meydana gelmektedir. 200°C'ye kadar martensit yapının dağılmış

görünümü optik mikroskopta koyu görünmektedir ve bu mikroyapı, siyah martensit olarak adlandırılmaktadır. Bu sıcaklığa kadar yapılan temperleme işleminde, yüksek sertlikteki martensitin tetragonal kristal yapısı bozularak epsilon (ϵ)-karbür veya eta (η)-karbür ve düşük karbonlu martensit meydana gelmektedir [24,33]. Bu durumdaki çelik hala yüksek sertlik değerine sahiptir. Ancak, gerilimlerin büyük bir kısmı ortadan kalkmıştır [20].

230-400°C aralığındaki temperleme sonucu, karbür sementite; düşük karbonlu martensit hacim merkezli ferrit yapıya ve eğer sertleştirme sonucu yapıda artık östenit kalmış ise; bu da alt beyrite dönüşmektedir [24,33]. Bu aralıkta çeliğin çekme dayanımında bir düşme görülmekle beraber hala yüksektir. Tokluk, yine düşük değerini korumaktadır. Sertlik ise; 40-60 HRc arasında bir değere düşmektedir [20] .

400-650°C aralığında yapılan temperleme işleminde, sementit taneleri büyümektedir [24]. Bu tanelerin birikerek büyümeleri, matriksi oluşturan ferrit yapının daha belirgin olarak görülebilmesini sağlamaktadır. Mekanik özelliklerde ise; önemli değişiklikler söz konusudur. Sertlik 20-40 HRc arasında bir değere düşerken, toklukta dikkat çekici bir artış gözlenmektedir. Eğer 650°C'nin üzerinde ısıtılmaya devam edilir ve yeterli süre beklenirse sementit taneleri küreselleşirler. Bu yapı aynen küreselleştirme tavı ile elde edilen küresel sementit yapının benzeri olmaktadır ve sonuçta yumuşak ve tok bir özellik göstermektedir [20,24].

Temperleme işleminde sıcaklıkla beraber, temperleme süresi de önemli bir faktör olarak dikkate alınmalıdır. Yani, işlem sonunda aynı mekanik özelliklere, temperleme süresini azaltıp sıcaklığı yükselterek veya temperleme sıcaklığını düşürüp süreyi arttırarak ulaşılabilir [20].

3.4.3 Islah İşlemi:

Islah işlemi, sertleştirme ve temperleme işlemlerinin bütünüdür. Islah işleminde seçilen temperleme sıcaklıkları, sertleştirilmiş duruma nazaran sertlikte önemli ölçüde düşme yapmaktadır. Uygun ıslah işlemi yapabilmek için, sertleştirme sıcaklığının doğru seçilmesi gerektiğinden çeliğin karbon miktarı ve alaşım durumu tam bilinmelidir [23].

3.5 Islah eliklerinin Seçimi

Islah eliklerinin seçiminde, yapılacak parçanın boyutları ve istenilen dayanım değerleri, birinci planda rol oynamaktadır. Alaşımsız elikler, ancak küçük kesitlerde homojen sertleşebilirlik sağlamakta, kalın kesitlerde ise; mutlaka alaşımlı elik kullanılması, hem sertlik dağılımının homojene yakın olması ve hem de belirli dayanım değerlerine ulaşılmaması için zorunludur. Seçimde göz önünde tutulacak diğer noktalar, Mn-Si ve Cr-Si eliklerindeki yüksek süneklilik ve Cr-Mo eliklerinin temper gevrekliğine karşı dayanıklılıklarıdır.

Islah eliklerinin seçiminde, yüzeyde ulaşılan sertlik ve sertlik derinliği de ölçü olarak alınmaktadır. Yüzeyde ulaşılabilecek sertlik, karbon miktarının artmasıyla artmaktadır. Alaşımsız elikler, pek az sertleşebilirliklerinden dolayı yaklaşık 4 mm'ye kadar, alaşımlı çelikler ise; 12 mm'ye kadar sertleştirilebilmektedir. Çatlama tehlikesi olan parçalarda, C 45 ve C 55 elikleri yerine, mangan miktarı azaltılmış Cf 45 ve Cf 55 elikleri kullanılmaktadır. Talaşlı şekillendirme, alaşımsız eliklerde %0,45 C'a kadar ve 40Mn4 eliğinde ise, normal tavllanmış halde iyidir. Pek az talaş kaldırma gerekli ise ya da çok iyi yüzey kalitesi isteniyorsa, talaşlı şekillendirme ıslah işleminden sonra yapılabilir [21].

3.6 Islah eliklerinin kullanım yerleri

Islah elikleri; krank mili, kam mili, aks milleri gibi taşıt parçalarında, takım tezgahlarında (torna mili, dişli ark), tetik, tetik mafsallı gibi tüfek ve silah parçalarında ve diğer fazla zorlanan parçalarda (zincir pimi, sonsuz dişli ve sonsuz dişli mili) kullanılmaktadır. Islah elikleri, çeliğinin içerisine bazı elementler ilave edilerek roket parçaları, kanatçıklar gibi savunma sanayine ait parça üretiminde de kullanılabilir [14].

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada ıslah çeliklerinden 42CrMo4 (SAE 4140) malzemesi incelenmiştir. Alaşım elementlerinden bakır ele alınmış ve bakır ilavesiyle 42CrMo4 malzemesinin mekanik özelliklerdeki ve mikroyapıdaki değişimleri gözlenmiştir.

Deneylerde kullanılan numuneler, hassas döküm yöntemi ile elde edilmiştir. Çapı $R=20$ mm ve boyu $L=200$ mm olan silindir şeklindeki numunelerin eldesi için öncelikle mumdan modeli yapılmıştır. Bunun için, Sirron marka preste, iki parçalı metal bir kalıp içerisine mum, yaklaşık 70°C 'de viskoz halde 3,5 bar basınçta basılmıştır. Mum modelin, kalıptan rahat ayrılabilmesi için her mum basma işleminden önce kalıbın iç yüzeyine, kalıp ayırıcı silikon adlı bir kimyevi madde sürülmüştür. Kalıbın mum basma işlemine hazırlanmasından, mum modelin kalıptan çıkarılıp tekrar mum basma duruma getirilmesi için geçen süre (çevrim süresi) 5-6 dakika olmuştur. Mum Enjeksiyon Bölümü'nde, numunenin geometrisinden dolayı şişme, yüzey pürüzlülüğü, gaz kabarcıkları ve yürümeme gibi mum hataları meydana gelmemiştir. Daha sonra mum modeller, Çapak Alma ve Mum Montaj Bölümü'ne sevk edilmiştir.

Çapak Alma Bölümü'nde mum modellerin son düzeltmeleri, maket bıçağı benzeri bir bıçak ile yapılarak salkım oluşturmak üzere montaj bölümüne gönderilmiştir. Yolluğa, iki adet model dikey konumda ara yolluklarla bağlanmıştır. Bu şekilde iki adet ana yolluk kullanılarak bir salkım oluşturulmuştur.

Seramikhane Bölümü'ne sevk edilen salkımların kafa kısımlarına askılık diye tabir edilen bir aparat bağlandıktan sonra basınçlı hava tutularak üzerlerinde mevcut olabilecek kalıntı mum parçaları giderilmiştir. Salkımlar, mum üzerindeki silikonu temizleyici özelliğe sahip %25 trikloretilen, %25 alkol ve %50 su içeren karışıma daldırılarak oda sıcaklığında ($\sim 20^{\circ}\text{C}$) kurumaya bırakılmıştır. Daha sonra salkımlara, seramik banyoya daldırılmadan önce mevcut olabilecek sıvı partiküllerinin uzaklaştırılması amacıyla basınçlı hava tutulmuştur. Viskozitesi 10 Poise, sıcaklığı

20°C olan ön banyoya daldırılan salkımların her noktasının banyo tarafından ıslatıldığından emin olduktan sonra salkımlara, dönen tambur içerisinde yağmurlama tekniği ile üzerlerine kalsine edilmiş ince zirkon kumu serpilerek kaplanmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta; salkımı banyodan çıkardıktan sonra üzerindeki fazla seramik kaplama maddesinin süzülmesini beklemektir. Daha sonra salkımın üzeri kalsine edilmiş zirkon kumuyla kaplanır. İlk katları atılmış olan salkımlar sabit oda sıcaklığında, %55 nem bulunan ortamda 3 saat süreyle kurumaya bırakılmıştır. Kuruma zamanı, salkımın dizaynına göre değişim göstermektedir. Ortamın nem değeri de önemli bir parametredir. Genel olarak nem, %50-60 arasında olmalıdır. Daha sonra salkımlar, özel refrakter toz, 200 mesh kalsine edilmiş zirkon pudra, ıslatıcı ve köpük önleyici madde içeren ve viskozitesi 30 Poise, sıcaklığı 20°C olan birinci banyoya daldırılmıştır. İçerisinde 30x80 mesh molohit, fused alümina ve zirkon kumu bulunan akışkan yatağa daldırılarak salkımlar kaplanmıştır. 1,5 saat kurumaya bırakıldıktan sonra salkımlar, viskozitesi 20 Poise olan ikinci banyoya daldırılmıştır. İçerisinde 16x30 mesh (daha iri taneler) molohit, fused alümina ve zirkon kumu bulunan diğer bir akışkan yatağa daldırılan salkımlar tekrar 1,5 saat süreyle kurumaya bırakılmıştır. Benzer işlemle salkımlar üzerine 16x30 mesh molohit, fused alümina ve zirkon kumu bulunan karışım ile 7 kat seramik kaplanmıştır. Seramik katın sayısı, dökülecek malzemenin yoğunluğu ve parçanın geometrisine göre değişmektedir. Örneğin; alüminyum dökümünde, alüminyumun yoğunluğu çeliğe nazaran düşük olduğu için seramik kat sayısı 5 veya 6 olmaktadır.

Paslanmaz çelik konteynerler içerisindeki seramik kaplama malzemelerinin çökmelerini önlemek gerekmektedir. Bu nedenle, 24 saat boyunca sürekli karıştırma yapılmalıdır. Kaplama malzemesinin özgül ağırlığı sürekli kontrol edilmelidir.

Seramikhane Bölümü, hassas dökümün kilit noktasıdır. Döküm sonrası parçalardaki hataların %55'i bu kısımdan kaynaklanmaktadır. Bu bölümde, dökümün kalitesini etkileyen parametreler (ortamın nemi, sıcaklığı, banyoların pH'ı, viskozitesi, kullanılan refrakter malzemenin özellikleri, kaplama kumlarının tane boyutu ve özellikleri, katlar arası bekleme süreleri gibi) oldukça fazladır. Salkımlar, 48 saat sonra Otoklav Bölümü'ne sevk edilmiştir.

Salkımlar, otoklava bir ızgara üzerinde baş aşağı gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Mum, ergirken bir miktar genleşir. Bu nedenle, seramik kabuk kırılmasın diye

dışarıdan basınç uygulanarak, mumun genişlererek kabuk üzerinde yarattığı basınç nötrale edilir. Standartlara uygun bir şekilde fason olarak üretilmiş otoklavda 7 bar basınç altında 150°C’de salkımların içindeki mum ergitilerek boşaltılmıştır. Salkımların ızgaraya yerleştirilip otoklava yüklenmesinden, işlem bittikten sonra otoklavdan çıkarılması arasında geçen süre 15 dakika olmaktadır. Süre, uygulanan basınca ve seramik kat sayısına göre değişim göstermektedir. Izgaradan süzülen ergimiş haldeki mum, katılaştırıldıktan sonra tekrar kullanılmak üzere Mum Enjeksiyon Bölümü’ne gönderilmektedir.

Salkımlar, döküme alınmadan önce yakma ve sinterleme proseslerinden geçirilmektedir. Yakma işlemiyle, seramik kabuk içerisinde kalmış olabilecek mum artıklarının giderilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda salkımlar, standartlara göre uygun olarak dizayn edilmiş fason olarak üretilmiş brülörlü fırında 1000°C’de 90 dakika yakılmıştır. Döküm alınacağı zaman salkımlar yine fason olarak üretilmiş sinterleme fırınına yüklenmektedir. Salkımlar ön ısıtma ile döküm sıcaklığına yakın bir sıcaklığa çıkarılmaktadır. Böylece ergimiş maden parçanın ince detaylarına rahatlıkla ilerleyebilmektedir. Sinterleme fırınında tutma süresi alınacak dökümün cinsine ve parçanın geometrisine göre değişmekle beraber genelde 45 dakika-1 saat arasında olmaktadır. Deney numuneleri sinterleme fırınında 1100°C’de 45 dakika tutulduktan sonra döküme geçilmiştir.

Deney numunelerinin malzemesi daha önce de bahsedildiği üzere 42CrMo4’dür. Malzemenin kimyasal analizi DIN Normları’na (Deutsches Institut für Normung) göre Tablo 4.1.’de gösterilmiştir [22]. 42CrMo4 ıslah çeliğinin DIN standartlarındaki malzeme numarası 1,7225’dir.

Tablo 4.1 42CrMo4 ıslah çeliğinin kimyasal bileşimi

% C	% Si	% Mn	% P	% S	%Cr	% Mo
0,38-0,45	≤ 0,40	0,60-0,90	≤ 0,035	≤ 0,035	0,90-1,20	0,15-0,30

Kullanılan ocak, 120 kg kapasiteli Eges marka indüksiyon ocağıdır. İndüksiyon ocağına öncelikle 76 kg pul hurda yüklenmiştir. Pul hurda ergidikten sonra sırasıyla 0,527 kg karbon tozu, 1,818 kg FeCr, 40 kg filmaşın, 0,755 kg FeMn ilave edildikten

sonra ocaktan numune alınarak karbon ve manganın yüzde oranları yaş analiz metoduyla kontrol edilmiştir. Sınırlar içerisinde gelen ocağa, 0,498 kg FeMo ve son olarak 0,504 kg FeSi katılmıştır. Ocak, şarj edildikten 50 dakika sonra döküme hazır hale gelmiştir. Ocak sıcaklığı 1685°C'dir. Döküm sıcaklığı önemli bir parametredir. Gereğinden yüksek sıcaklıkta döküm yapılırsa parçalarda gaz boşluğu hatası meydana gelmektedir. Karmaşık geometriye sahip parçalarda ise karşılaşılan en sık hata, çekinti hatasıdır. Oluşan sıcak bölgeler nedeniyle, parçanın bazı bölgeleri daha geç katılaşmakta ve o bölgelerde çekinti hataları meydana gelmektedir. Gereğinden düşük sıcaklıkta döküm yapıldığında ise; maden yürümeme hataları oluşmaktadır. Bu nedenle; ocaktaki dökümün malzemesine ve parçanın geometrisine göre her malzeme için optimum döküm sıcaklık aralığı tespit edilmelidir. Yapılan deneyler sonucu, 42CrMo4 ıslah çeliği için döküm sıcaklık aralığı 1660-1690°C olarak tespit edilmiştir.

Ocaktan alınan sıvı metal, porşemenler yardımıyla salkımlara dökülmüştür. Her defasında porşemen içerisine artan oranlarda bakır ilave edilerek dökümler alınmıştır. Deney numunesi kod numarası 9 ve 1.A.1 olan numunelere ilave yapılmadan döküm alınmıştır. Kod numaraları; E ve 5x olan numuneler dökülürken porşemene 5 gram bakır katılmıştır. 1x, ve 10x kod numaralı numunelerin dökümünde ilave edilen bakır miktarı 10 gram olmuştur. 11x ve 2x kod numaralı parçaların dökümünde 15 gram bakır ilave edilmiştir. K ve 13 kod numaralı numunelere ilave edilen bakır miktarı 20 gram olmuştur. K.3x ve Y.3x kod numaralı numunelere 30 gram, K.4x ve Y.4x kod numaralı numunelere 40 gram, K.5x ve Y.5x kod numaralı numunelere 50 gram, K.6x ve Y.6x kod numaralı numunelere 60 gram, K.7x ve Y.7x kod numaralı numunelere 70 gram ve K.8x ile Y.8x kod numaralı numunelere ise 80 gram bakır ilave edilerek dökümler alınmıştır.

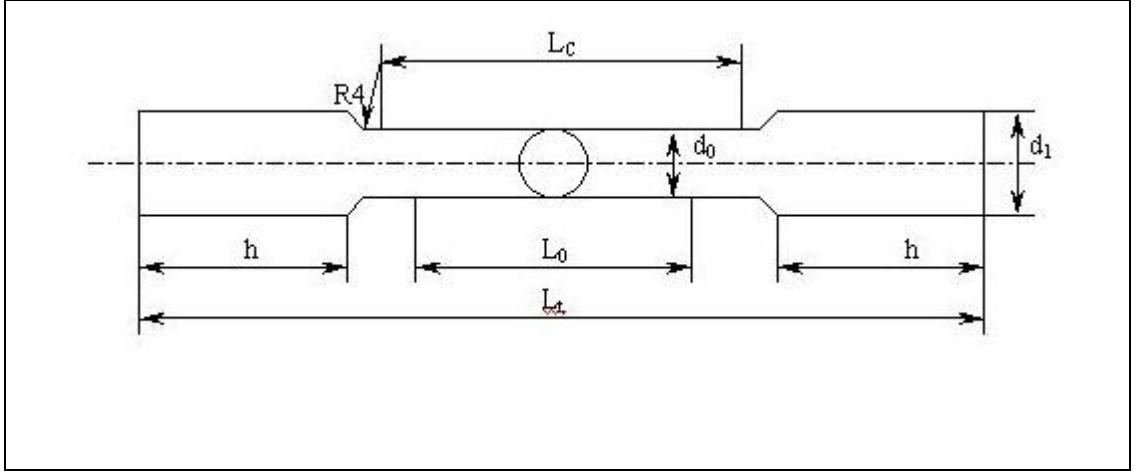
Döküm işlemi yapıldıktan sonra ana yolluk üzerine bir miktar mum atılarak salkımlar üzerine teneke kova kapatılmıştır. Mum, sıvı metalin sıcaklığı ile yanarak ana yolluğun hemen katılaşmasını engellemektedir. Böylece, deney numunelerinde besleme probleminin önüne geçilmiştir. Katılaşan salkımlar, seramik kabuklarının kırılması için dikey darbeli kırma makinasına yerleştirilmiştir. Darbe, düşey yolluklara gelmekte böylece parçalar zarar görmemektedir. Seramik kabuklarından

temizlenen salkımlar, parçaların yolluklardan ayrılması için Kesme Bölümü'ne sevk edilmiştir.

Kesme Bölümü'nde yolluklarından ayrılan numuneler, kumlama makinasında kumlanarak Sıfırlama Bölümü'ne gönderilmiştir. Sıfırlama Bölümü'nde, numuneleri ana yolluğa bağlayan ara yolluklar kesilerek yolluk yerleri seviyesi parça düzlemine getirilmiştir. Numunelerden kimyasal analiz yapmak için $h=10$ mm yüksekliğinde parçalar kesilmiştir. Daha sonra numunelerin bir kısmı ıslah edilmek üzere yan sanayine sevk edilmiştir. Islah işlemi gören numuneler; 9, 5x, 10x, 2x, K, Y.3x, Y.4x, Y.5x, Y.6x, Y.7x ve Y.8x kod numaralı numunelerdir. Numuneler, Nil Isıl İşlem Sanayi'nde 860°C sıcaklıkta 20 dakika tutulduktan sonra yağa atılarak soğutulmuş ve daha sonra da 475°C sıcaklıkta 1 saat süreyle temperlenmiştir. İşlemler, atmosfer kontrollü kamara tipi fırında gerçekleştirilmiştir.

Numunelerden kimyasal analiz için kesilen parçaların yüzeyleri taşlandıktan sonra Rigaku 3270 X-Ray Spectrometer marka spektrometreye yerleştirilmiştir. Kimyasal analiz yapıldıktan sonra numunelerin sertlikleri, Baha marka Rockwell/Brinel Sertlik Ölçme cihazında Rockwell C cinsinden ölçülmüştür. Buna göre; ölçümler sırasında 0,200 mm radyüse ve 120° tepe açısına sahip konik elmas uç kullanılmıştır. Uygulanan yük 150 kg'dır.

Deney çubuklarından, DIN 50 125 Type A Tensile Test Pieces/A 12x60 standardına göre çekme çubukları işlenmiştir. Deneylerde, adı geçen standarda göre boyutları; d_0 (orta kısmın çapı)=12 mm, L_0 (çubuğun orjinal ölçü uzunluğu)=60 mm ($L_0= 5.d_0$), d_1 (kafa kısımlarının çapı)=15 mm, h (çekme çubuğunun kafa kısımlarının uzunluğu)=40 mm, L_C (çubuğun gerilime maruz kaldığı kısmın uzunluğu – radyüsler hariç) =72 mm ($L_C \geq L_0 + d_0$) ve L_t (çekme çubuğunun toplam uzunluğu)=160 mm olan çekme çubukları kullanılmıştır. Şekil 4.1.'de çekme çubuğunun boyutları görülmektedir [34].



Şekil 4.1. DIN 50125 standardına göre çekme çubuğu boyutları.

Çekme numuneleri, Dartec marka çekme cihazına uygun konumda yerleştirilmiştir. Çekme hızı, her numune için sabit tutulmuş ve 0,01 mm/s olarak uygulanmıştır.

Deney numunelerinden kimyasal analiz için kesilen parçalar, metalografik incelemeler için hazırlanmıştır. Parçaların çapı 20 mm olduğu için bakalite almaya gerek duyulmamıştır. Önce 120'lik zımpara ile parçaların yüzeyinden bir miktar tabaka kaldırılmıştır. Daha sonra sırasıyla 240'lık, 400'lük, 600'lük, 800'lük, 1000'lik ve 1200'lük zımparalar ile numune yüzeyleri, her bir farklı zımparaya geçişte 90° çevrilerek zımparalanmıştır. Böylece, bir önceki zımparalamadan kalan çizikler yok edilmiştir. Zımparalama işlemi tamamlandıktan sonra parlatma kademesine geçilmiştir. Parlatma için önce 6µ'luk ve ardından da 1µ'luk elmas kullanılmıştır. Zımparalama ve parlatma kademelerinde Struers-Abramin marka cihaz kullanılmıştır. Parlatılan numuneler, %2'lik nital çözeltisi (2 ml HNO₃ ve 98 ml alkol) ile daldırma usulü 25'er saniye dağlanmıştır. Daha sonra numunelerin, Olympus PME 3 marka optik mikroskopta ve JEOL-JSM 840 ve JSM 5600 marka Scanning Electron Microscope'larda incelemeleri yapılmıştır. Optik mikroskop incelemelerinde x500 ve x1000 büyütmede mikroyapı fotoğrafları çekilmiştir. Parçalar, daha sonra JEOL-JSM 840 ve JSM 5600 marka SEM'de 30 kW / x2500 büyütmede incelenmiştir.

5. SONUÇLAR VE İRDELEME

Deney numunelerinin spektrometrik analiz sonucu kimyasal bileşimleri Tablo5.1.'de görülmektedir.

Tablo 5.1. Deney numunelerinin spektrometrik analiz sonuçları

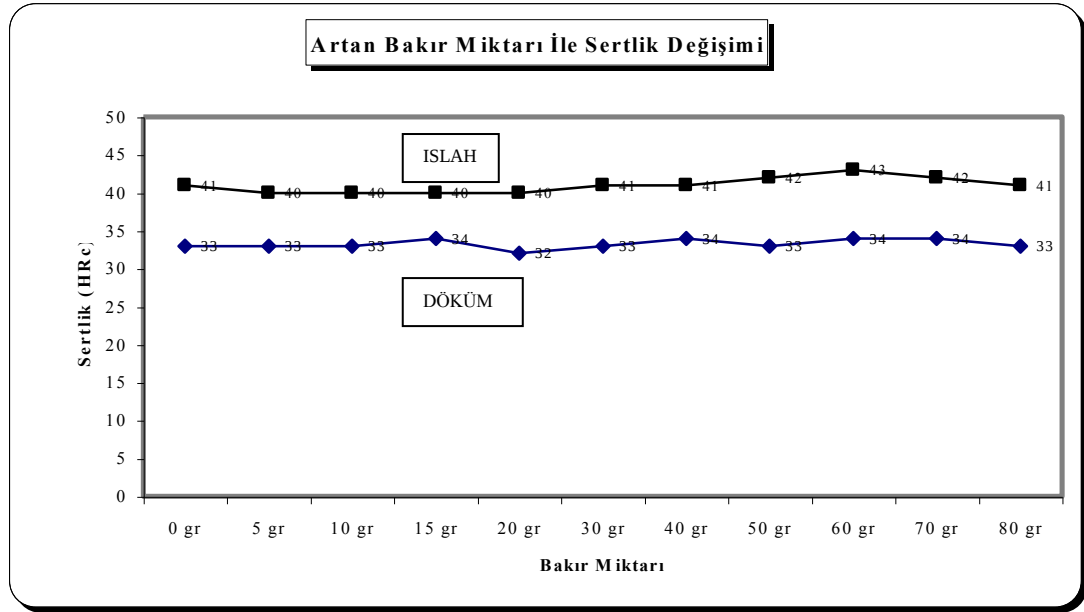
Kod No.	% C	% Si	% Mn	% P	% S	% Cr	% Mo	% Ni	% Cu
9	0,4100	0,2870	0,8362	0,0082	0,0178	1,0827	0,2388	0,0310	0,0828
1.A.1	0,4100	0,2870	0,8362	0,0082	0,0178	1,0827	0,2388	0,0310	0,0828
E	0,4100	0,2867	0,8364	0,0081	0,0175	1,0831	0,2383	0,0309	0,1119
5x	0,4100	0,2867	0,8364	0,0081	0,0175	1,0831	0,2383	0,0309	0,1119
1x	0,4100	0,2871	0,8367	0,0077	0,0184	1,0826	0,2390	0,0306	0,1748
10x	0,4100	0,2871	0,8367	0,0077	0,0184	1,0826	0,2390	0,0306	0,1748
11x	0,4100	0,2873	0,8359	0,0081	0,0179	1,0829	0,2387	0,0312	0,2152
2x	0,4100	0,2873	0,8359	0,0081	0,0179	1,0829	0,2387	0,0312	0,2152
K	0,4100	0,2870	0,8364	0,0080	0,0178	1,0827	0,2386	0,0307	0,2735
13	0,4100	0,2870	0,8364	0,0080	0,0178	1,0827	0,2386	0,0307	0,2735
K.3x	0,4100	0,2871	0,8362	0,0083	0,0179	1,0826	0,2386	0,0309	0,4366
Y.3x	0,4100	0,2871	0,8362	0,0083	0,0179	1,0826	0,2386	0,0309	0,4366
K.4x	0,4100	0,2872	0,8362	0,0086	0,0177	1,0828	0,2384	0,0308	0,6062
Y.4x	0,4100	0,2872	0,8362	0,0086	0,0177	1,0828	0,2384	0,0308	0,6062
K.5x	0,4100	0,2868	0,8363	0,0079	0,0181	1,0830	0,2391	0,0308	0,7778
Y.5x	0,4100	0,2868	0,8363	0,0079	0,0181	1,0830	0,2391	0,0308	0,7778
K.6x	0,4100	0,2867	0,8358	0,0075	0,0183	1,0829	0,2388	0,0307	0,9515
Y.6x	0,4100	0,2867	0,8358	0,0075	0,0183	1,0829	0,2388	0,0307	0,9515
K.7x	0,4100	0,2872	0,8361	0,0078	0,0179	1,0827	0,2392	0,0311	1,0919
Y.7x	0,4100	0,2872	0,8361	0,0078	0,0179	1,0827	0,2392	0,0311	1,0919
K.8x	0,4100	0,2870	0,83659	0,0080	0,0182	1,0826	0,2385	0,0309	1,2818
Y.8x	0,4100	0,2870	0,8359	0,0080	0,0182	1,0826	0,2385	0,0309	1,2818

5.1 Bakırın Mekanik Özelliklere Etkisi

Deney numunelerinden minimum üç adet sertlik ölçümü alınmıştır. Tablo 5.2.'de deney numunelerinden alınan sertlik değerlerinin ortalaması gösterilmiştir.

Tablo 5.2. Deney numunelerinin ortalama sertlik değerleri.

Kod No.	Döküm	Sertlik (HRc)	Kod No.	Islah	Sertlik (HRc)
1.A.1.	Döküm	33	9	Islah	41
E	Döküm	33	5x	Islah	40
1x	Döküm	33	10x	Islah	40
11x	Döküm	34	2x	Islah	40
13	Döküm	32	K	Islah	40
K.3x	Döküm	33	Y.3x	Islah	41
K.4x	Döküm	34	Y.4x	Islah	41
K.5x	Döküm	33	Y.5x	Islah	42
K.6x	Döküm	34	Y.6x	Islah	43
K.7x	Döküm	34	Y.7x	Islah	42
K.8x	Döküm	33	Y.8x	Islah	41



Şekil 5.1. Artan bakır miktarı ile sertlik değişimi

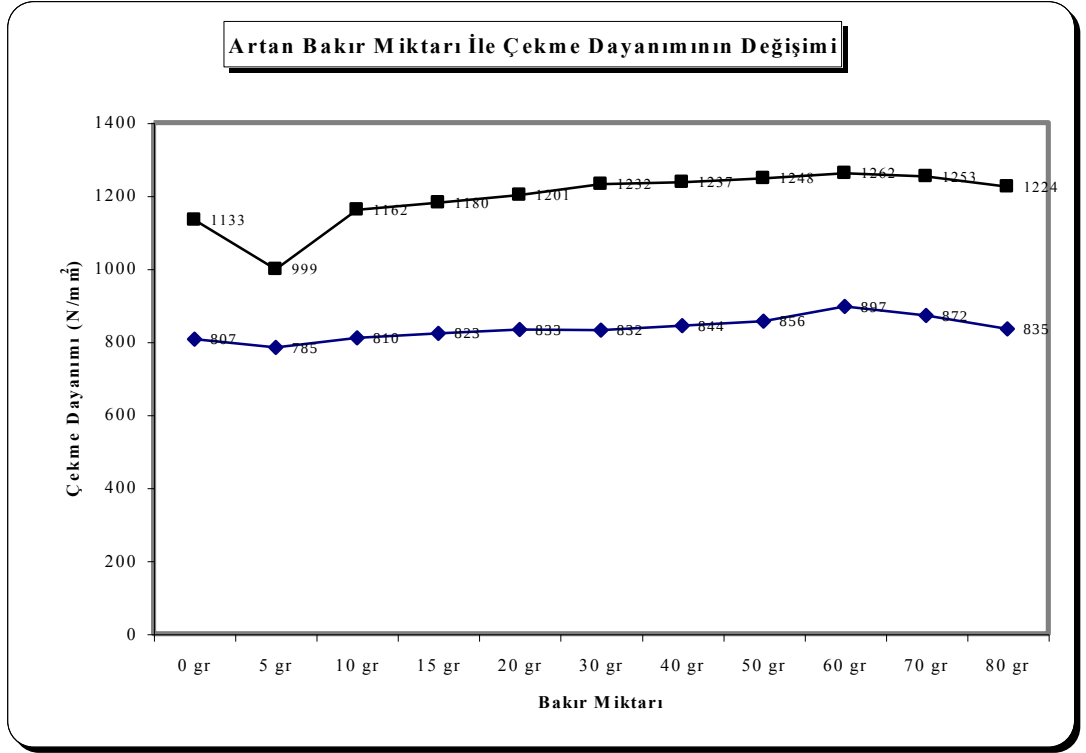
Şekil 5.1.'de artan bakır miktarı ile sertlik arasındaki ilişki görülmektedir. Döküm halinde alınan sertlik değerlerinin artan bakır miktarı ile pek değişim göstermediği

görülmektedir. Yapılan ıslah işlemi ile sertlik değerlerinde artış olduğu görülmüştür. Artan bakır miktarı ile sertlikte çok az bir artış meydana gelmiştir.

Tablo 5.3.'de numunelerin çekme deneyi sonuçlarında elde edilen çekme dayanım değerleri N/mm^2 cinsinden görülmektedir. Yapılan ıslah işlemi ile çekme dayanım değerlerinde, dökümden elde edilen çekme dayanım değerlerine göre gözle görülür bir artış kaydedilmiştir. Numunelerin bakır içerikleri yukarıdan aşağıya doğru artan şekilde tabloda sıralanmıştır. Buna göre artan bakır miktarı ile çekme dayanım değerlerinde bir artış görülmektedir. Bu artış; 60 gr bakır ilave edilen numunelerde (K.6x ve Y.6x kod no'lu numuneler) maksimum değerine ulaşmıştır. Bu durum, Şekil 5.2.'de de grafiksel olarak gösterilmiştir. Bu numunelerdeki bakır yüzdesi 0,9515'dir. E ve 5x kod no.'lu numunelerin çekme dayanım değerlerinde düşme görülmektedir. Bu düşüşün nedeninin, yapıdaki inklüzyonlardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 5.3. Deney numunelerinin çekme dayanım değerleri

Kod No.	Döküm	Çekme Dayanımı (N/mm^2)	Kod No.	Islah	Çekme Dayanımı (N/mm^2)
1.A.1.	Döküm	807	9	Islah	1133
E	Döküm	785	5x	Islah	999
1x	Döküm	810	10x	Islah	1162
11x	Döküm	823	2x	Islah	1180
13	Döküm	833	K	Islah	1201
K.3x	Döküm	832	Y.3x	Islah	1232
K.4x	Döküm	844	Y.4x	Islah	1237
K.5x	Döküm	856	Y.5x	Islah	1248
K.6x	Döküm	897	Y.6x	Islah	1262
K.7x	Döküm	872	Y.7x	Islah	1253
K.8x	Döküm	835	Y.8x	Islah	1224



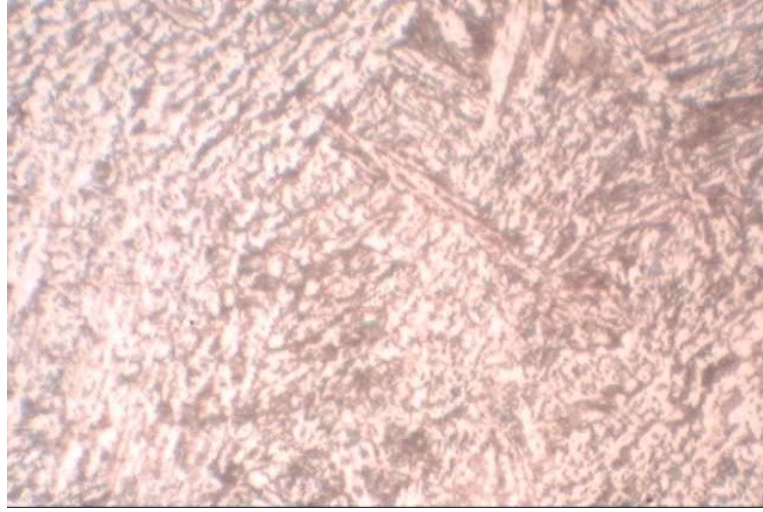
Şekil 5.2. Artan bakır miktarı ile çekme dayanımı arasındaki ilişki

5.2 Bakırın Mikroyapıya Etkisi

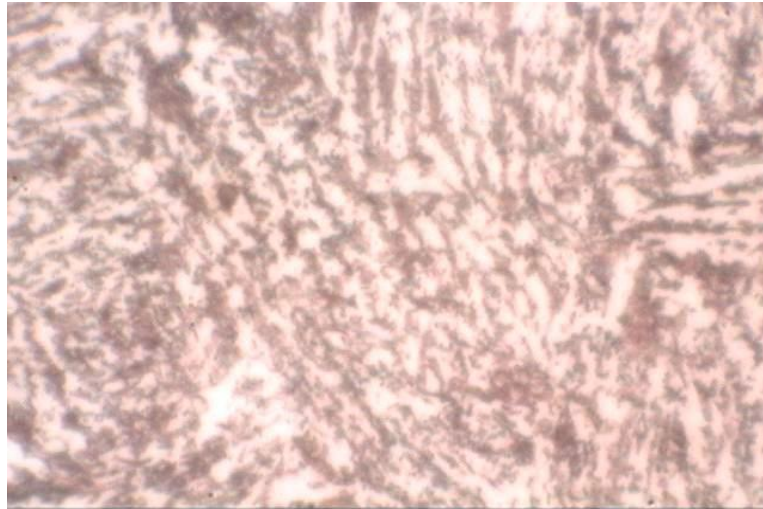
Bakırın mikroyapıya etkisi incelenirken hem optik mikroskop fotoğraflarından hem de SEM fotoğraflarından yararlanılmıştır.

5.2.1 Optik Mikroskop İncelemesi

Numune Kod No. : 1.A.1. (%0,0828 Cu) – Döküm hali; Sertlik: 33HRc; 807 N/mm²



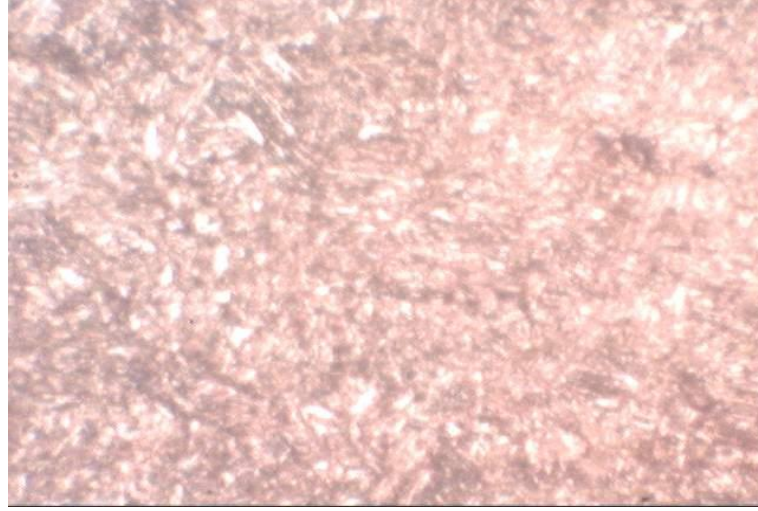
Şekil 5.3. 1.A.1. kod no'lu numunenin x500 büyütmedeki mikroyapısı



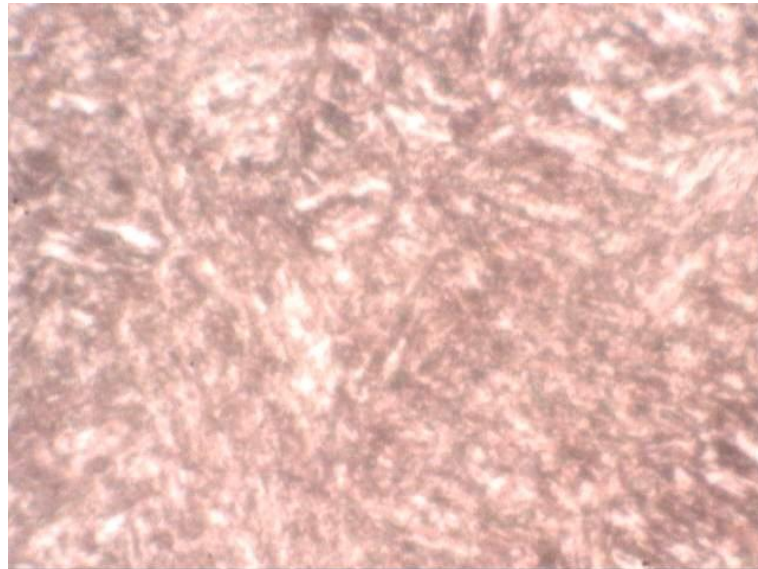
Şekil 5.4. 1.A.1. kod no'lu numunenin x1000 büyütmedeki mikroyapısı

Şekil 5.3.'de 1.A.1. kod no'lu numunenin x500 büyütmedeki mikroyapısı, Şekil 5.4.'te de x1000 büyütmedeki mikroyapısı görülmektedir. Yapıda genel olarak martensit ve ferritten oluşmaktadır. Bu nedenle, parçaların hızlı bir şekilde katılaştığı düşünülmektedir. Martensit, mikroskopta tam olarak siyah bölgeler halinde görünmemektedir. Bunun nedeni olarak; yetersiz süre dağlama gösterilebilmektedir.

Numune Kod No. : 9 (%0,0828 Cu) – Islah edilmiş; Sertlik: 41 HRc; 1133 N/mm²



Şekil 5.5. 9 kod no'lu numunenin x500 büyütmedeki mikroyapısı

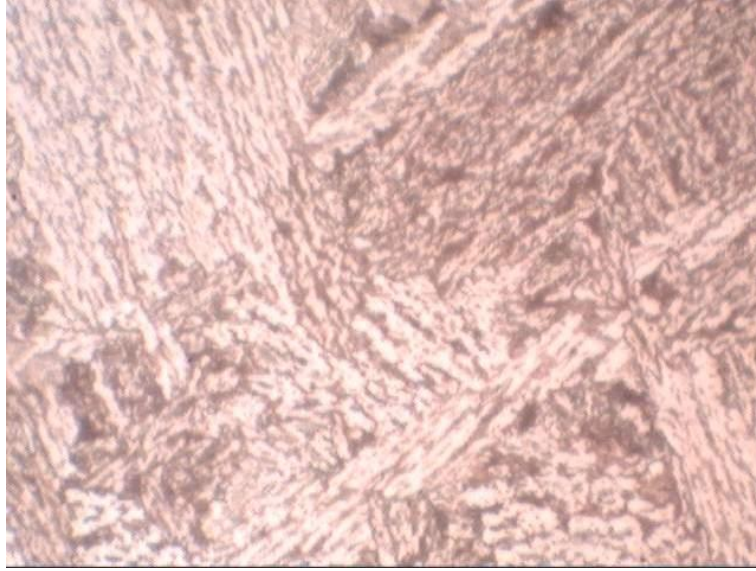


Şekil 5.6. 9 kod nolu numunenin x1000 büyütmedeki mikroyapısı

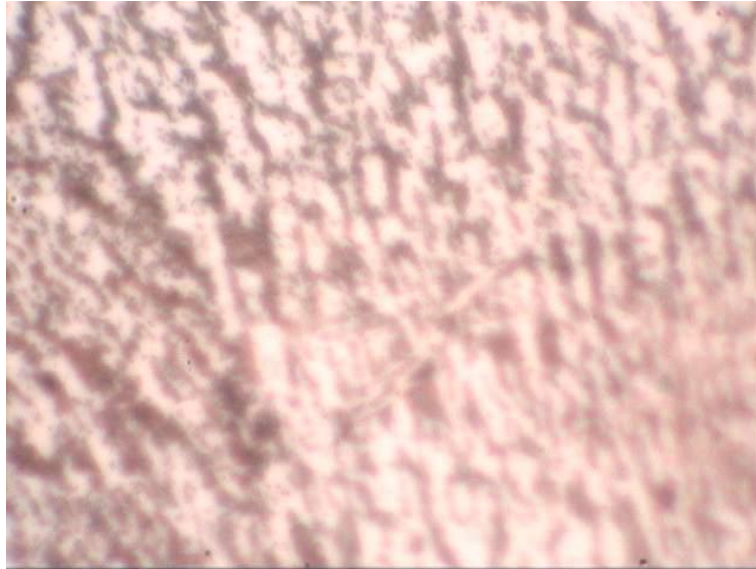
Şekil 5.5.'de 9 kod no'lu numunenin x500 büyütmedeki mikroyapısı ve Şekil 5.6.'da da x1000 büyütmedeki mikroyapısı görülmektedir. Bu yapı ıslah işlemi görmüş

yapıdır. Martensitik yapı, tüm yapıya hakimdir. Ayrıca yapıda kalıntı östenitler de bulunmaktadır. Numunenin çekme dayanım değeri ve sertlik değeri beklenenden daha iyi bulunmuştur.

Numune Kod No. : E (%0,1119 Cu) – Döküm Hali; Sertlik: 33 HRc; 785 N/mm²



Şekil 5.7. E kod no'lu numunenin x500 büyütmedeki mikroyapısı

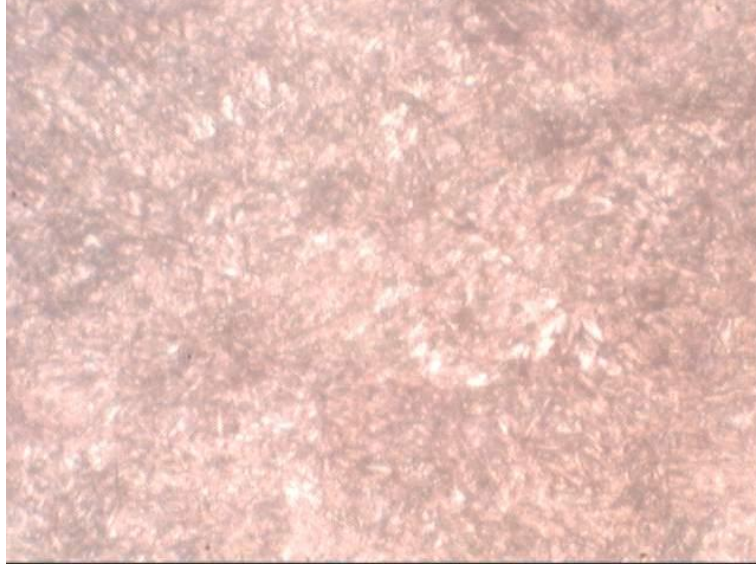


Şekil 5.8. E kod no'lu numunenin x1000 büyütmedeki mikroyapısı

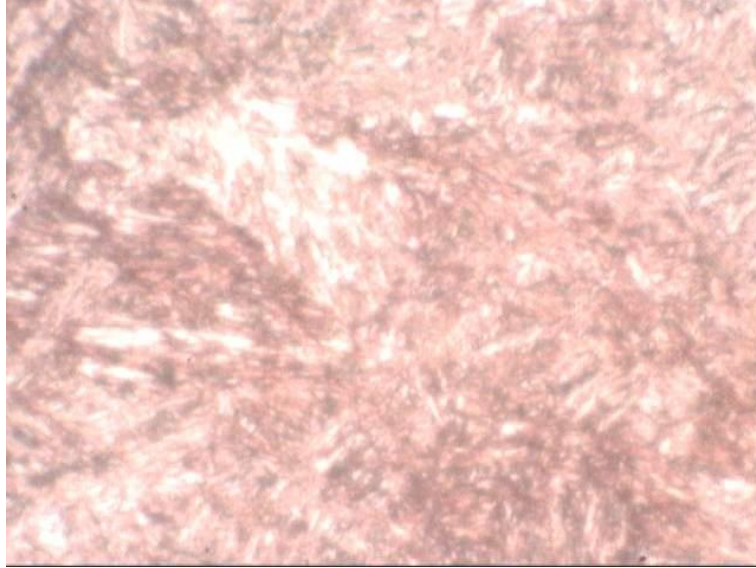
Şekil 5.7. E kod no'lu numunenin x500 büyütmedeki mikroyapısını ve Şekil 5.8.'te de x1000 büyütmedeki mikroyapısı görülmektedir. X500'lük büyütme de daha net

görülen sepet yapısı gözlenmiştir. Beklenenden daha düşük çekme dayanım değeri elde edilmiştir. Bu duruma, yapıdaki inklüzyonların sebep olduğu düşünülmektedir.

Numune Kod No. : 5x (%0,1119 Cu) – Islah edilmiş; Sertlik: 40 HRc; 999 N/mm²



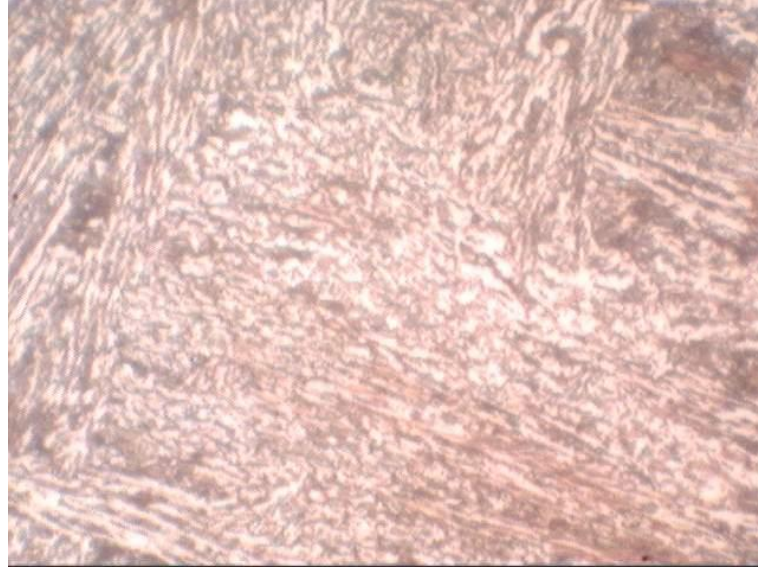
Şekil 5.9. 5x kod no'lu numunenin x500 büyütmedeki mikroyapısı



Şekil 5.10. 5x kod no'lu numunenin x1000 büyütmedeki mikroyapısı

Şekil 5.9.'da 5x kod no'lu numunenin x500 büyütmedeki mikroyapısı ve Şekil 5.10'da da x1000 büyütmedeki mikroyapısı görülmektedir. Yapı, genel olarak kalıntı östenit, martensit ve ferritten oluşmaktadır. Kalıntı östenit miktarı çok fazla gibi görünmektedir.

Numune Kod No. : 1x (%0,1748 Cu) – Döküm hali; Sertlik: 33 HRc; 810 N/mm²



Şekil 5.11. 1x kod no'lu numunenin x500 büyütmedeki mikroyapısı



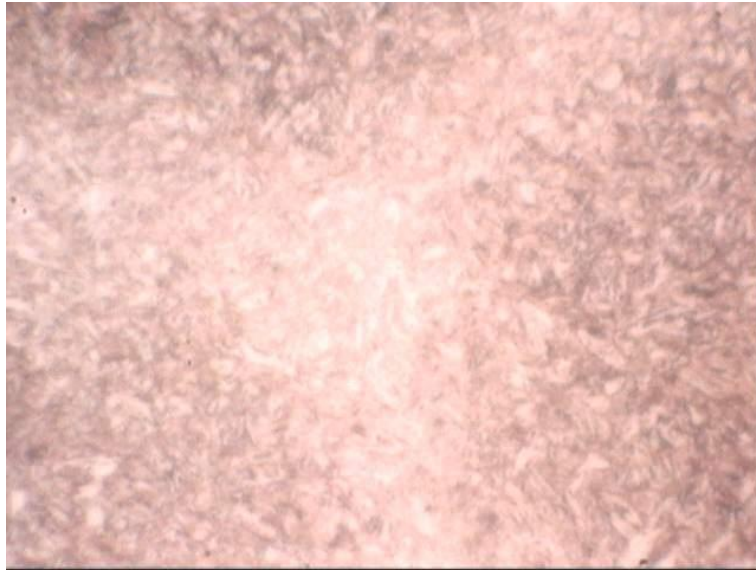
Şekil 5.12. 1x kod no'lu numunenin x1000 büyütmedeki mikroyapısı

Şekil 5.11.'de 1x kod no'lu numunenin x500 büyütmedeki mikroyapısı ve Şekil 5.12.'de de x1000 büyütmedeki mikroyapısı görülmektedir. Döküm yapısında martensit, ferrit ve kalıntı östenite rastlanmıştır. Bu yapıdan, dökümün hızlı bir şekilde katılaştığı anlaşılmaktadır.

Numune Kod No. : 10x (%0,01748 Cu) – Islah edilmiş; Sertlik: 40 HRc; 1162 N/mm²



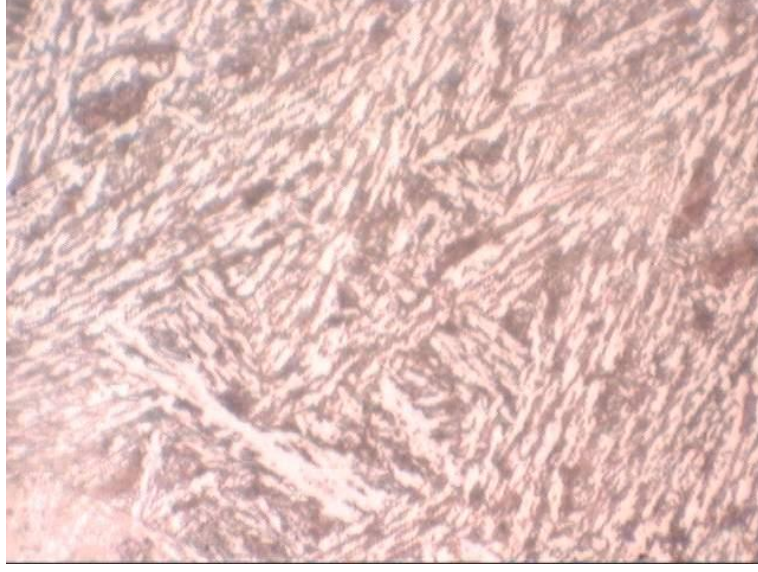
Şekil 5.13. 10x kod no'lu numunenin x500 büyütmedeki mikroyapısı



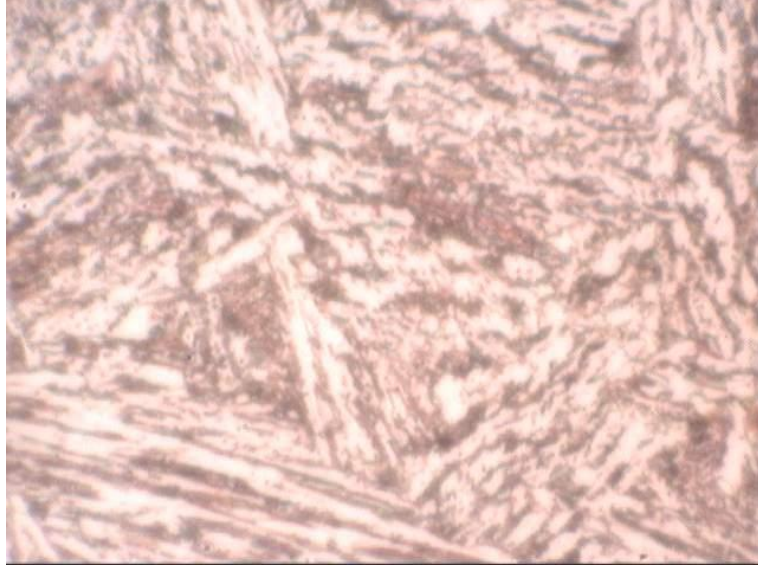
Şekil 5.14. 10x kod no'lu numunenin x1000 büyütmedeki mikroyapısı

Şekil 5.13.'te 10x kod no'lu numunenin x500 büyütmedeki mikoyapısı ve Şekil 5.14.'te de 10x kod no'lu numunenin x1000 büyütmedeki mikroyapısı görülmektedir. Yapıya martensit hakimdir. Açık renkli bölgelerde kimyasal kompozisyon farklılığı bulunmaktadır. Bu bölgeler, karbonca fakir bölgelerdir. Şekil 5.13.'te yapıda bir de inklüzyon görülmektedir.

Numune Kod No. : 11x (%0,2152 Cu) – Döküm hali; Sertlik: 34 HRc; 823 N/mm²



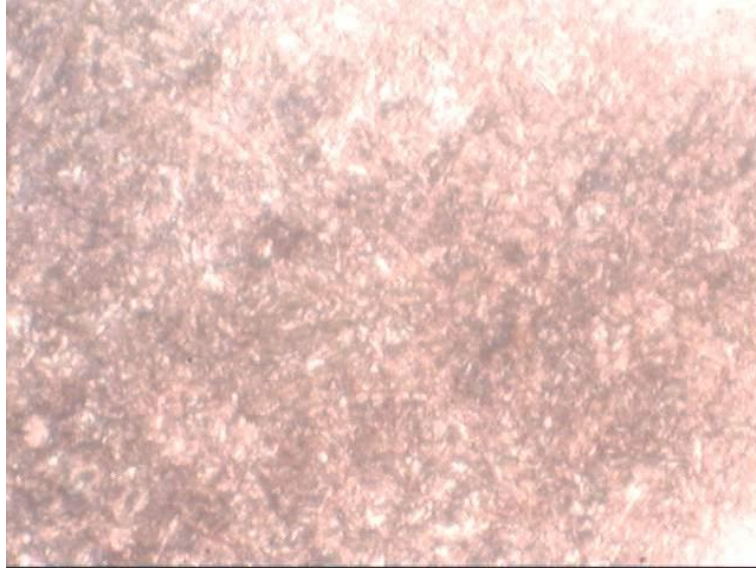
Şekil 5.15. 11x kod no'lu numunenin x500 büyütmedeki mikroyapısı



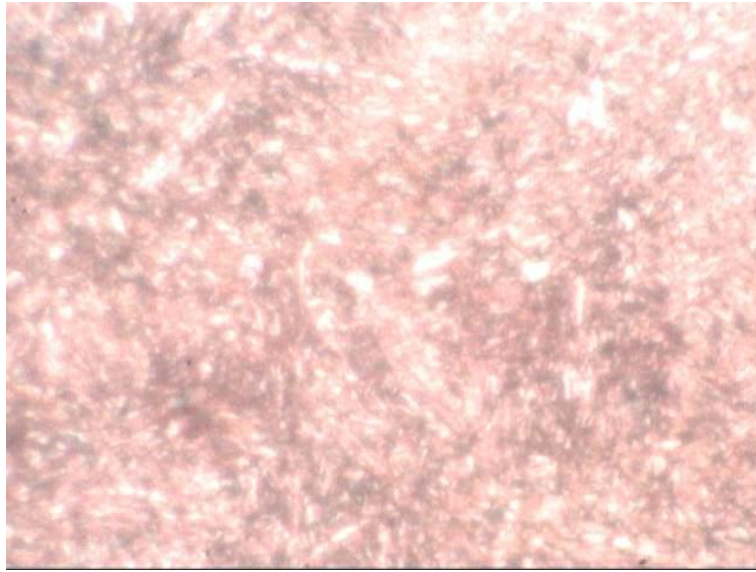
Şekil 5.16. 11x kod no'lu numunenin x1000 büyütmedeki mikroyapısı

Şekil 5.15.'te 11x kod no'lu numunelerin x500 büyütmedeki mikroyapısı ve Şekil 5.16.'da da x1000 büyütmedeki mikroyapısı görülmektedir. Döküm yapısı, diğer numunelerde olduğu gibi martensit, kalıntı östenit ve ferritten oluşmaktadır. Yapı içerisinde bir takım safsızlıklar da görülmektedir.

Numune Kod No. : 2x (%0,2152 Cu) – Islah edilmiş; Sertlik: 40 HRc; 1180 N/mm²



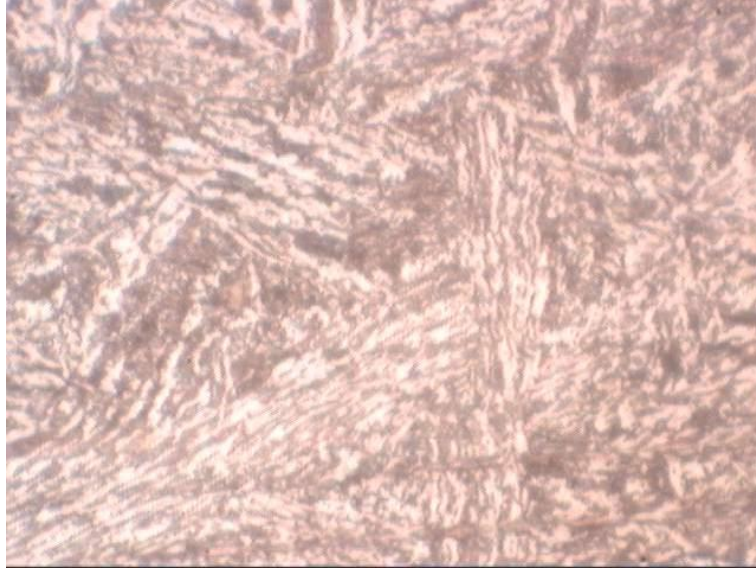
Şekil 5.17. 2x kod no'lu numunenin x500 büyütmedeki mikroyapısı



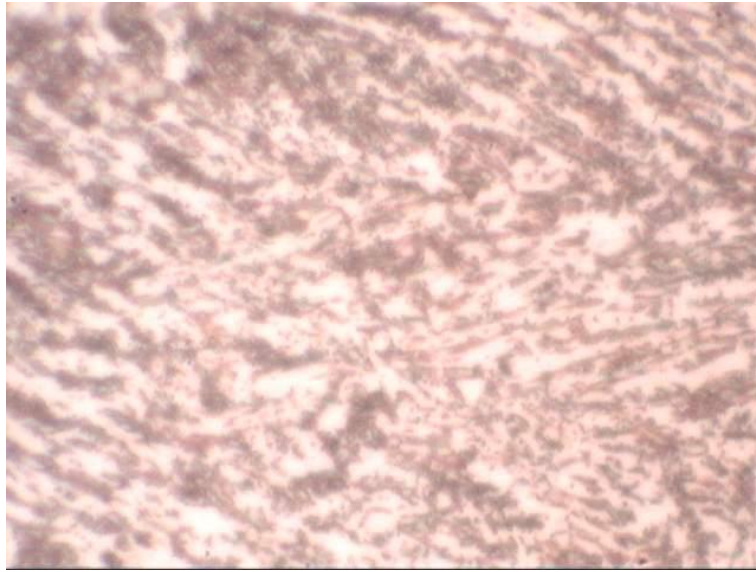
Şekil 5.18. 2x kod no'lu numunenin x1000 büyütmedeki mikroyapısı

Şekil 5.17.'de 2x kod no'lu numunenin x500 büyütmedeki mikroyapısı ve Şekil 5.18.'de de x1000 büyütmedeki mikroyapısı görülmektedir. Döküm yapısı çok ince taneli martensitten oluşmaktadır. Bu yapı yanında kalıntı östenitte görülmektedir.

Numune Kod No. : 13 (%0,2735 Cu) – Döküm hali; Sertlik: 32 HRc; 833 N/mm²



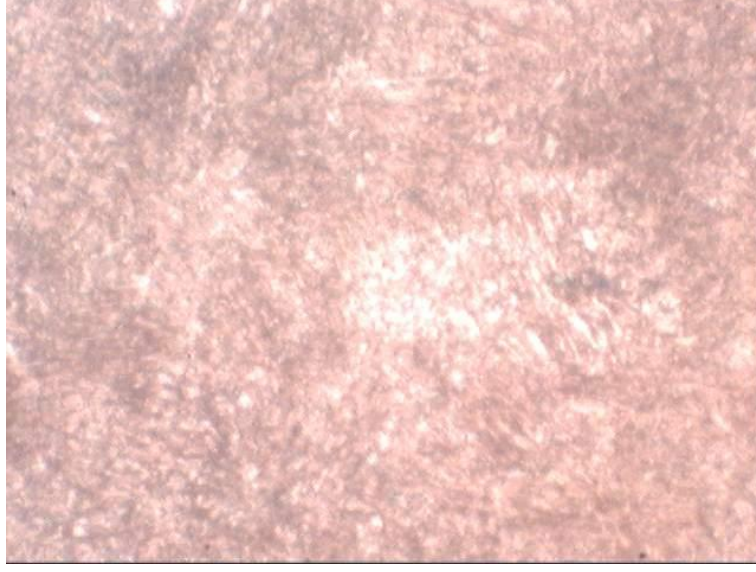
Şekil 5.19. 13 kod no'lu numunenin x500 büyütmedeki mikroyapısı



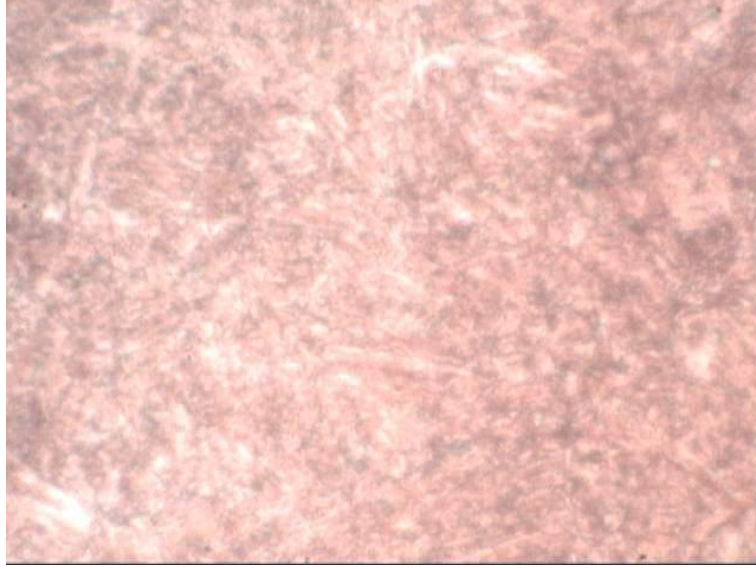
Şekil 5.20. 13 kod no'lu numunenin x1000 büyütmedeki mikroyapısı

Şekil 5.19.'da 13 kod no'lu numunenin x500 büyütmedeki mikroyapısı ve Şekil 5.20.'de de x1000 büyütmedeki mikroyapısı görülmektedir. Döküm yapısı martensit, kalıntı östenit ve ferritten oluşmaktadır. Kalıntı östenit bölgeleri fazladır.

Numune Kod No. : K (%0,2735 Cu) – Islah edilmiş; Sertlik: 40 HRc; 1201 N/mm²



Şekil 5.21. K kod no'lu numunenin x500 büyütmedeki mikroyapısı

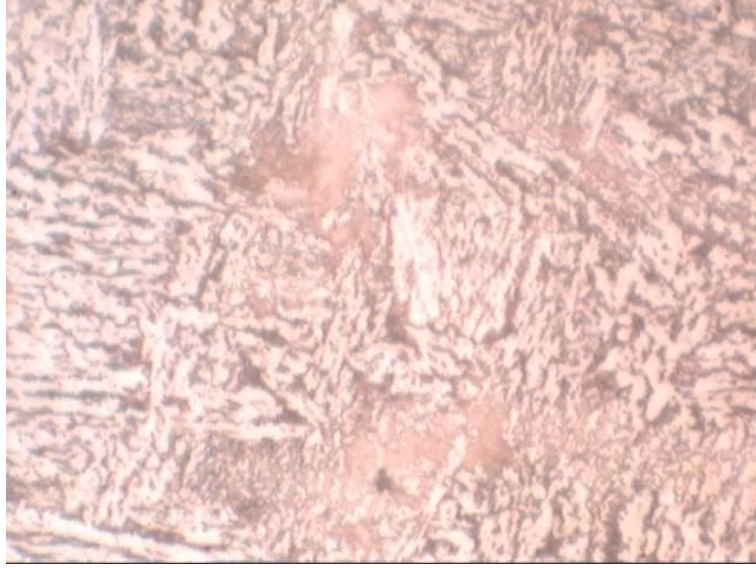


Şekil 5.22. K kod no'lu numunenin x1000 büyütmedeki mikroyapısı

Şekil 5.21.'de K kod nolu numunenin x500 büyütmedeki mikroyapısı ve Şekil 5.22'de de x1000 büyütmedeki mikroyapısı görülmektedir. Döküm yapısı, martensitten oluşmaktadır. Özellikle x500'lük büyütmede kalıntı östenit bölgesi (yığılma şeklinde) görülmektedir. Artan bakır oranıyla birlikte çekme dayanımı da yükselme eğilimine girmektedir. Bu çelik alaşımında 20 gr bakır ilave edilmiştir. Bu noktaya kadar elde edilen numunelerdeki bakır, ferrit içerisinde çözündüğünden

etkisi pek hissedilmemiştir. Bundan sonraki kısımlarda bakır, tane sınırlarına çökelerek çökelme sertleştirme yapmaktadır.

Numune Kod No. : K.3x (%0,4366 Cu) – Döküm hali; Sertlik: 33 HRc; 832 N/mm²



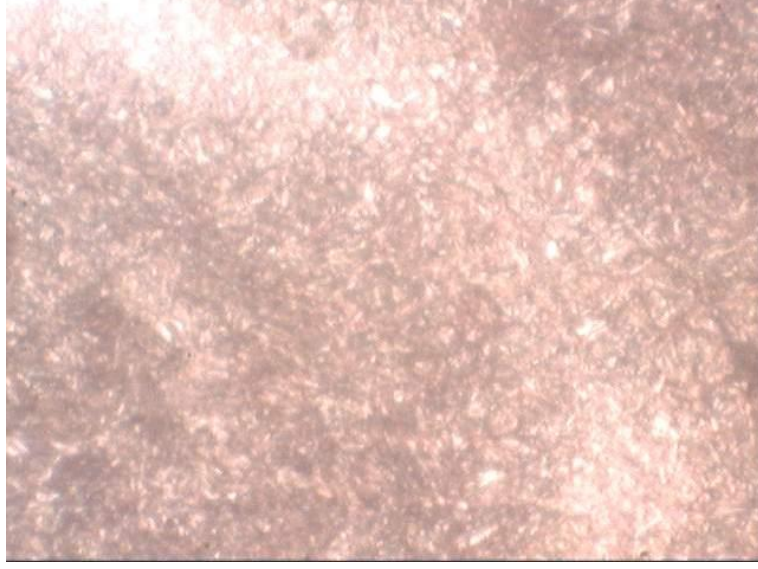
Şekil 5.23. K.3x kod nolu numunenin x500 büyütmedeki mikroyapısı



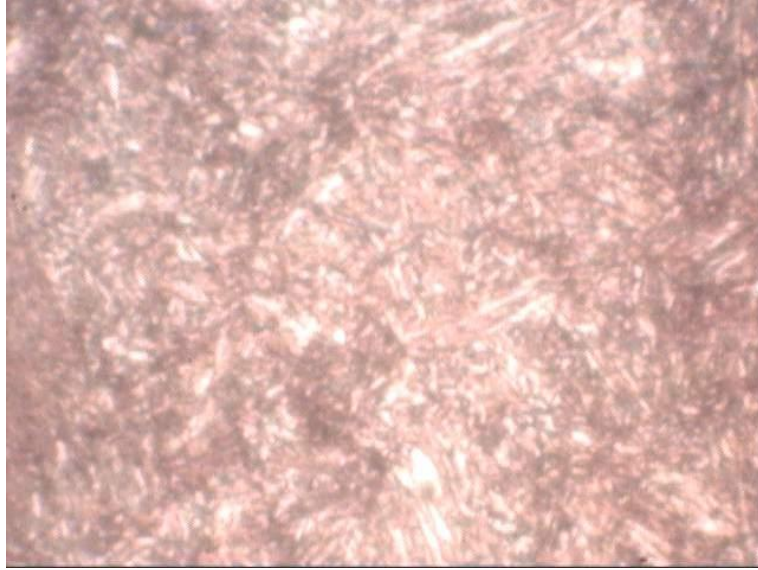
Şekil 5.24. K.3x kod no'lu numunenin x1000 büyütmedeki mikroyapısı

Şekil 5.23.'te K.3x kod no'lu numunenin x500 büyütmedeki mikroyapısı ve Şekil 5.24.'te de x1000 büyütmedeki mikroyapısı görülmektedir. Döküm yapısı; ferrit, martensit ve perlitten oluşmaktadır. Yapı içerisinde Fe-oksit içerikli inklüzyonlarda göze çarpmaktadır.

Numune Kod No. : Y.3x (%0,4366 Cu) – Islah edilmiş; Sertlik: 41 HRc; 1232 N/mm²



Şekil 5.25. Y.3x kod no'lu numunenin x500 büyütmedeki mikroyapısı

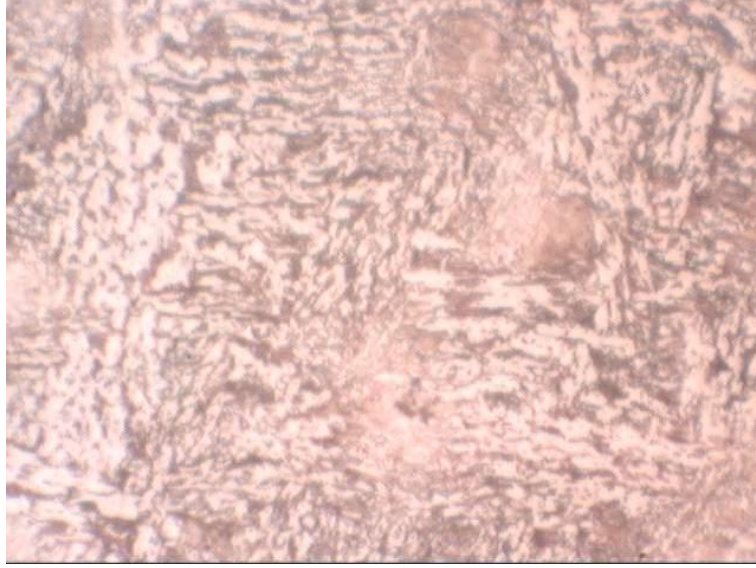


Şekil 5.26. Y.3x kod no'lu numunenin x1000 büyütmedeki mikroyapısı

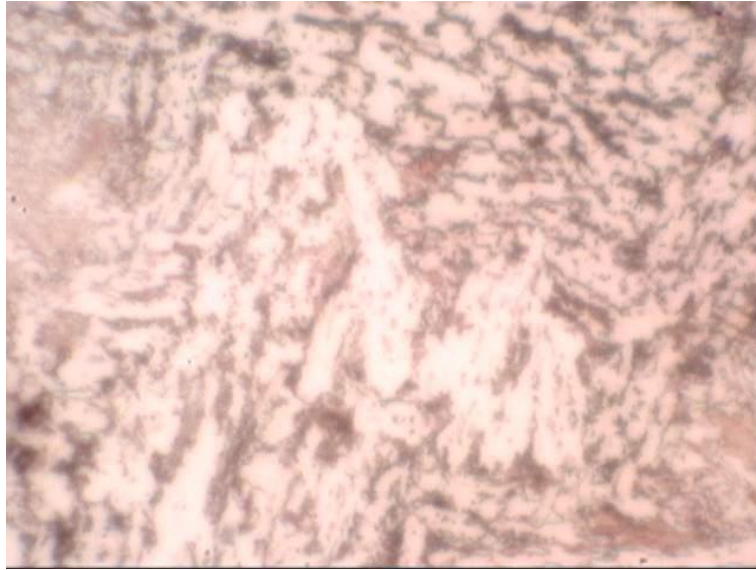
Şekil 5.25.'te Y.3x kod no'lu numunenin x500 büyütmedeki mikroyapısı ve Şekil 5.26.'da da x1000 büyütmedeki mikroyapısı görülmektedir. X500'lük büyütmede yapı içerisinde karbonca fakir bölgeler (beyaz renkli bölgeler) bulunmaktadır.

X1000'lik büyütmede ise; yapıda martensitin yanında kalıntı östenitin de bulunduğu görülmektedir.

Numune Kod No. : K.4x (%0,6062 Cu) – Döküm hali; Sertlik: 34; 844 N/mm²



Şekil 5.27. K.4x kod no'lu numunenin x500 büyütmedeki mikroyapısı



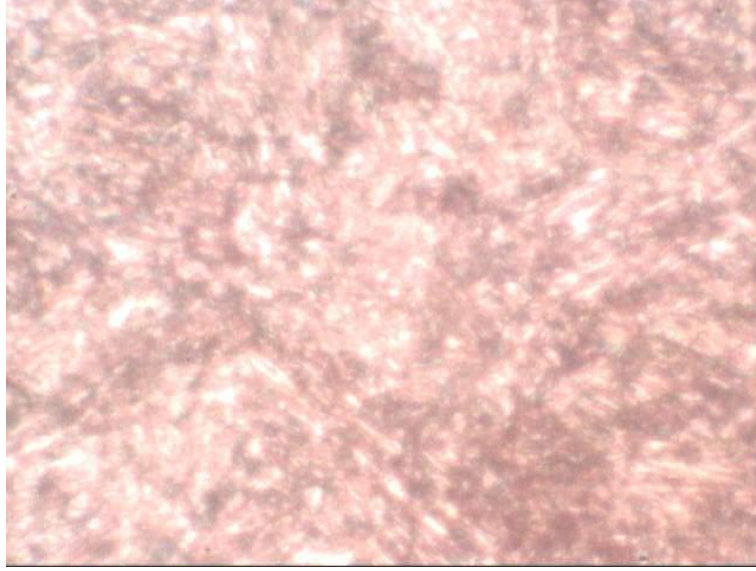
Şekil 5.28. K.4x kod no'lu numunenin x1000 büyütmedeki mikroyapısı

Şekil 5.27.'de K.4x kod no'lu numunenin x500 büyütmedeki mikroyapısı ve Şekil 5.28.'de de x1000 büyütmedeki mikroyapısı görülmektedir. Tipik bir döküm yapısı bulunmaktadır. Yapıya ferrit ve perlit hakimdir. Yapıda Fe-oksit içerikli inklüzyonların varlığı göz ardı edilmemelidir.

Numune Kod No. : Y.4x (%0,6062 Cu) – Islah edilmiş; Sertlik: 41 HRc; 1237 N/mm²



Şekil 5.29. Y.4x kod no'lu numunenin x500 büyütmedeki mikroyapısı

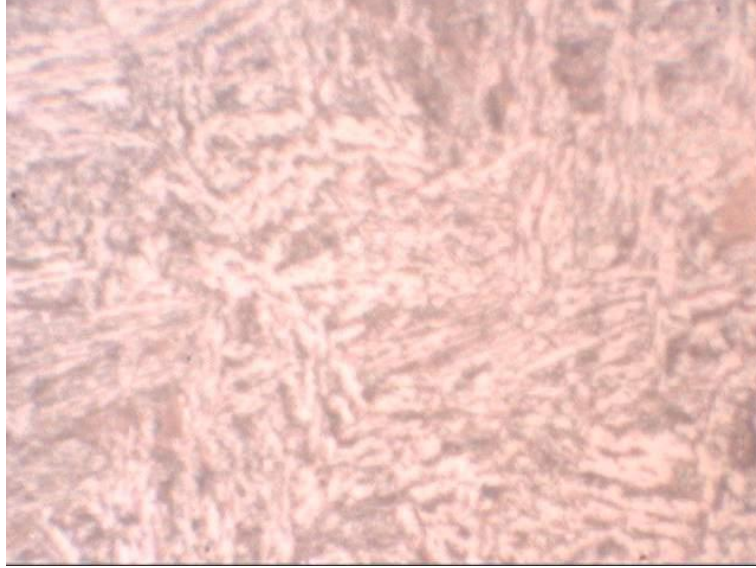


Şekil 5.30. Y.4x kod no'lu numunenin x1000 büyütmedeki mikroyapısı

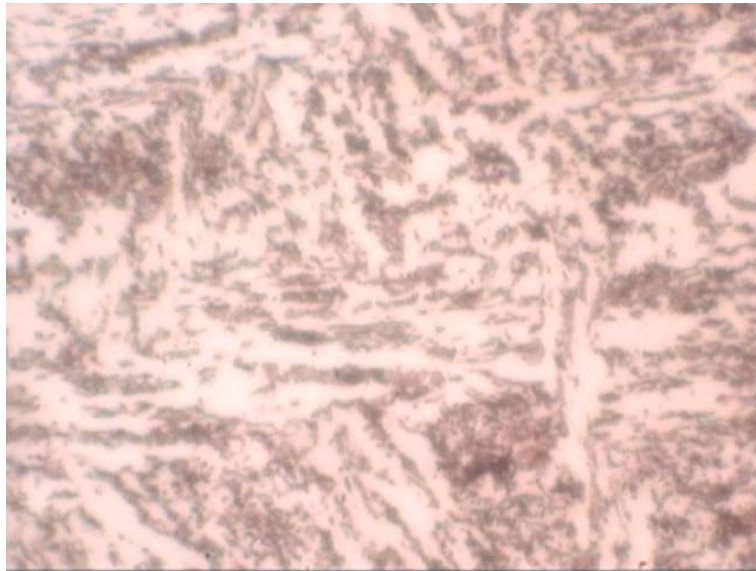
Şekil 5.29.'da Y.4x kod no'lu numunenin x500 büyütmedeki mikroyapısı ve Şekil 5.30.'da da x1000 büyütmedeki mikroyapısı görülmektedir. Yapı olarak, Y.3x numunesine benzer bir yapı karakteristiği vardır. Martensitik yapı hakimiyeti

bulunmaktadır. Yapıda kalıntı östenit de bulunmaktadır. Artan bakır miktarı ile çekme dayanımı artmaya devam etmektedir.

Numune Kod No. : K.5x (%0,7778 Cu) – Döküm hali; Sertlik:33 HRc;856 N/mm²



Şekil 5.31. K.5x kod no'lu numunenin x500 büyütmedeki mikroyapısı



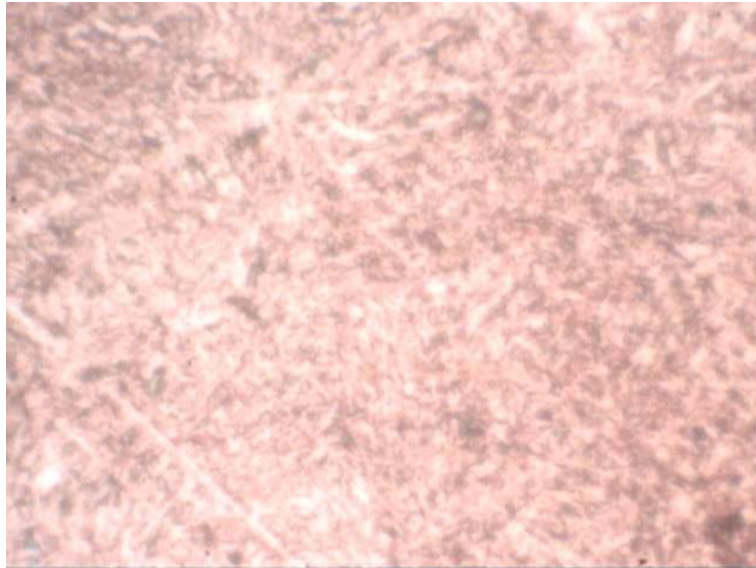
Şekil 5.32. K.5x kod no'lu numunenin x1000 büyütmedeki mikroyapısı

Şekil 5.31.'te K.5x kod no'lu numunenin x500 büyütmedeki mikroyapısı ve Şekil 5.32.'de de x1000 büyütmedeki mikroyapısı görülmektedir. Döküm yapısı, ferrit, perlit ve az miktar da martensitten oluşmaktadır.

Numune Kod No. :Y.5x (%0,7778 Cu) – Islah edilmiş; Sertlik: 42 HRC; 1248 N/mm²



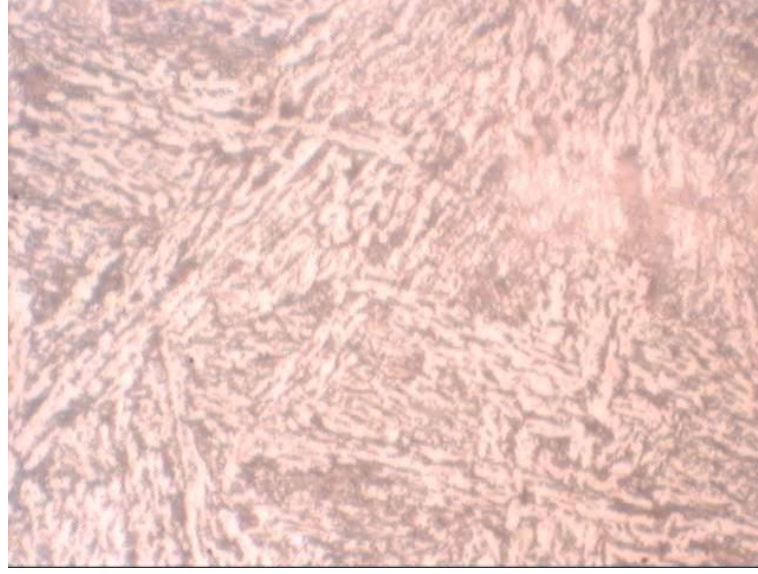
Şekil 5.33. Y.5x kod no'lu numunenin x500 büyütmedeki mikroyapısı



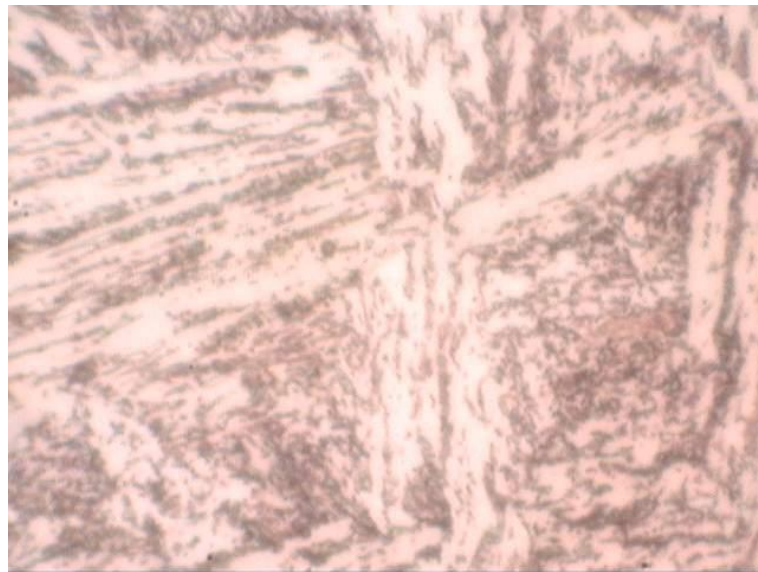
Şekil 5.34 Y.5x kod no'lu numunenin x1000 büyütmedeki mikroyapısı

Şekil 5.33.'te Y.5x kod no'lu numunenin x500 büyütmedeki mikroyapısı ve Şekil 5.34.'de de x1000 büyütmedeki mikroyapısı görülmektedir. Yapıda martensit ve kalıntı östenit bulunmaktadır. Bakır oranının artmasıyla çekme dayanımı değeri de artmaya devam etmektedir. Bu arada sertlikte de küçük değişimler olmaktadır.

Numune Kod No.: K.6x (%0,9515 Cu) – Döküm hali; Sertlik: 34 HRC; 897 N/mm²



Şekil 5.35. K.6x kod no'lu numunenin x500 büyütmedeki mikroyapısı



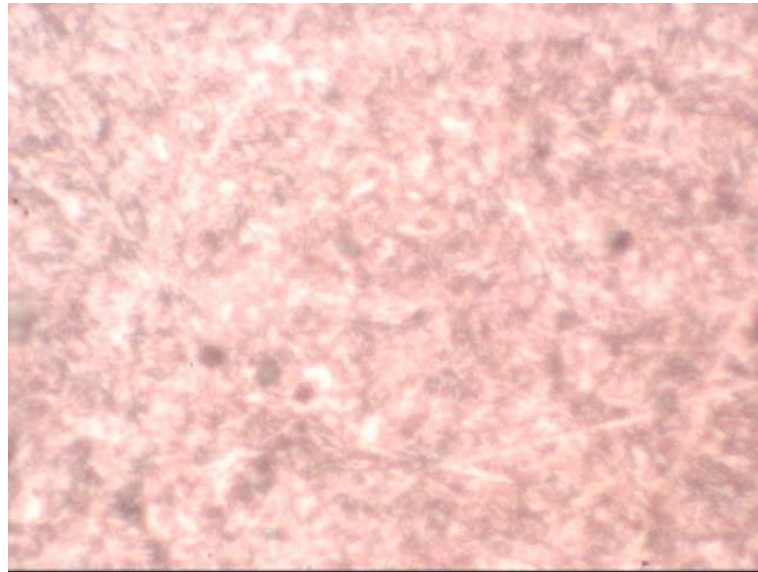
Şekil 5.36. K.6x kod no'lu numunenin x1000 büyütmedeki mikroyapısı

Şekil 5.35.'te K.6x kod no'lu numunenin x500 büyütmedeki mikroyapısı ve Şekil 5.36.'da da x1000 büyütmedeki mikroyapısı görülmektedir. Yapı, sepet yapısına benzemektedir. Ferrit, perlit ve miktarda martensitten oluşan yapıda X1000 büyütmede bakır yoğunluğunun arttığı bölgeler daha net olarak gözlemlenebilmektedir.

Numune Kod No. : Y.6x (%0,9515 Cu) – Islah edilmiş; Sertlik: 43; 1262 N/mm²



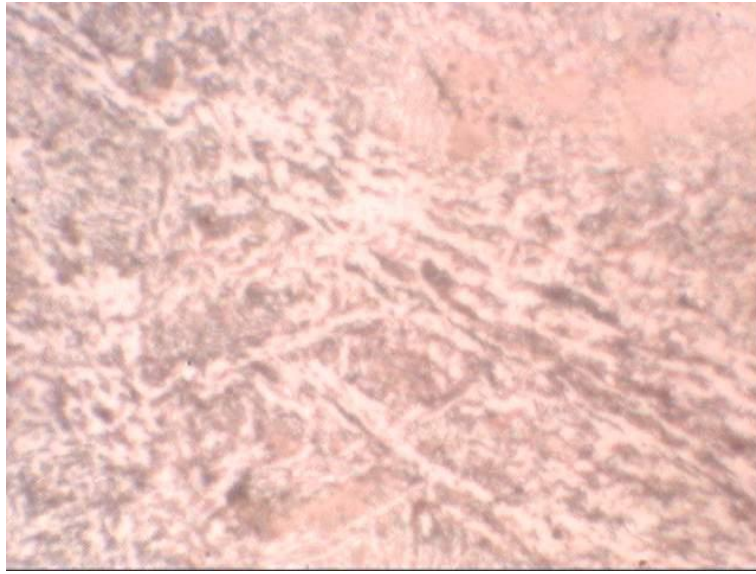
Şekil 5.37. Y.6x kod no'lu numunenin x500 büyütmedeki mikroyapısı



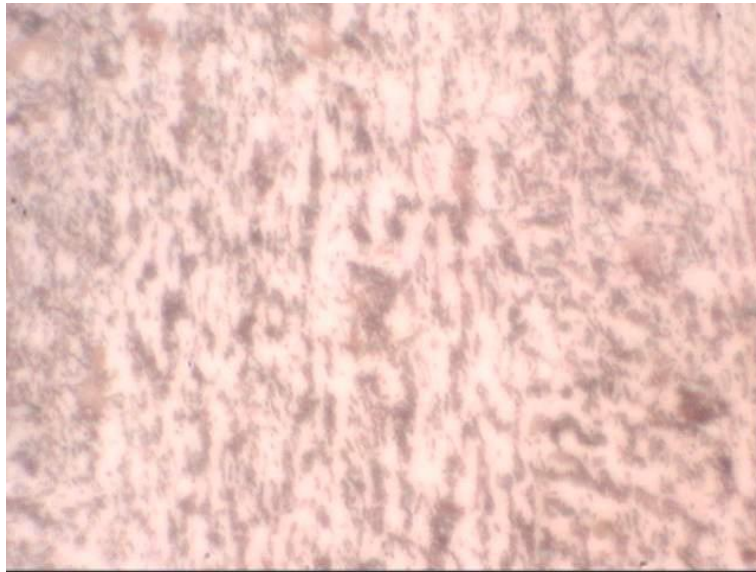
Şekil 5.38Y.6x kod no'lu numunede x1000 büyütmedeki mikroyapı

Şekil 5.37’de Y.6x kod no’lu numunenin x500 büyütmedeki mikroyapısı ve Şekil 5.38’de de x1000 büyütmedeki mikroyapısı görülmektedir. Maksimum çekme dayanımının ve sertliğin elde edildiği yapıdır. Yapı ince martensitik yapıdır. Kalıntı östenit de içermektedir. Az da olsa inklüzyonlara rastlanılmıştır.

Numune Kod No. : K.7x (%1,0919 Cu) – Döküm hali; Sertlik: 34 HRc; 872 N/mm²



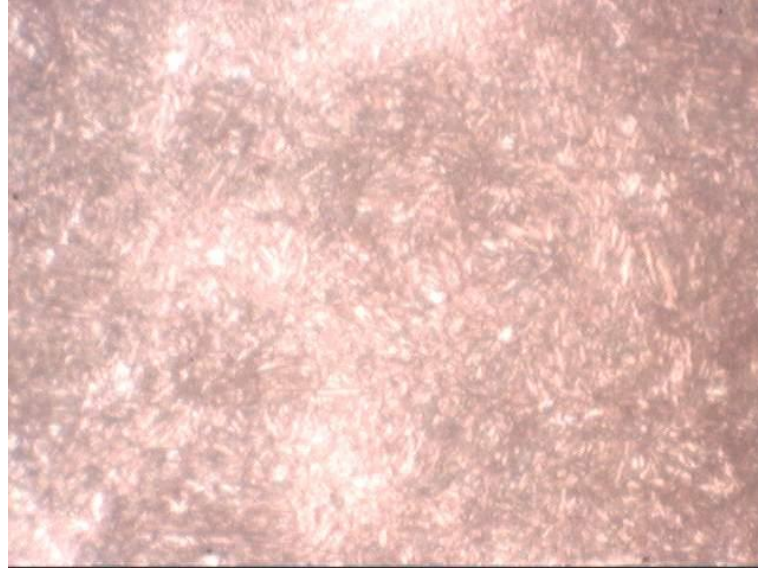
Şekil 5.39. K.7x kod no’lu numunenin x500 büyütmedeki mikroyapısı



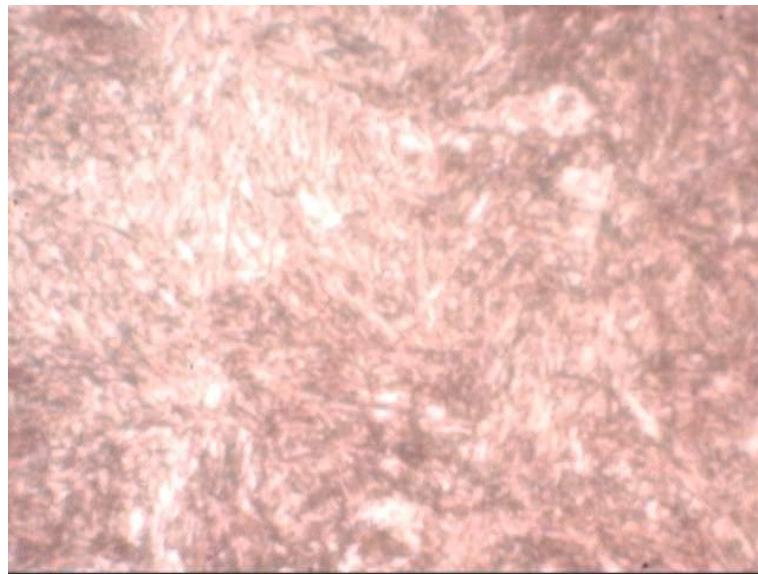
Şekil 5.40. K.7x kod no’lu numunenin x1000 büyütmedeki mikroyapısı

Şekil 5.39’da K.7x kod no’lu numunenin x500 büyütmedeki mikroyapısı ve Şekil 5.40’da da x1000 büyütmedeki mikroyapısı görülmektedir. Ferrit, perlit ve az miktarda martensitten oluşan yapıda segrege olmuş bakır bölgeleri görülmektedir.

Numune Kod No. :Y.7x (%1,0919 Cu) – Islah edilmiş; Sertlik: 42 HRc; 1253N/mm²



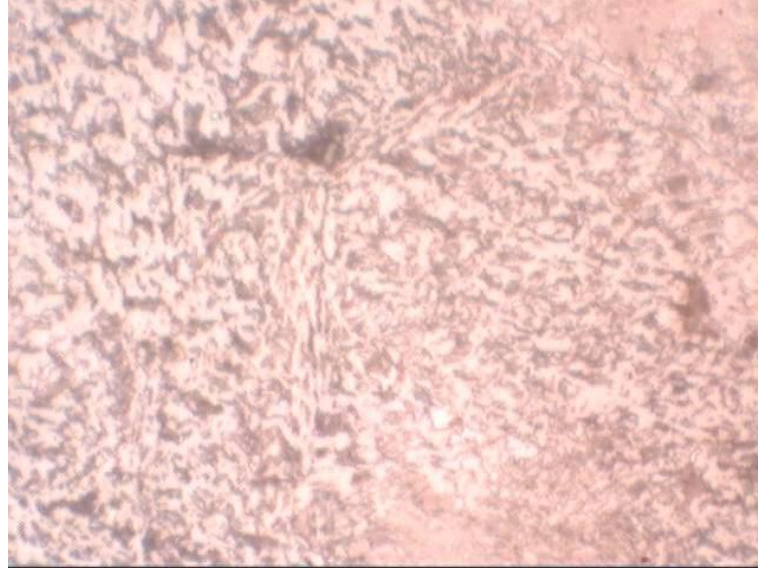
Şekil 5.41. Y.7x kod no’lu numunenin x500 büyütmedeki mikroyapısı



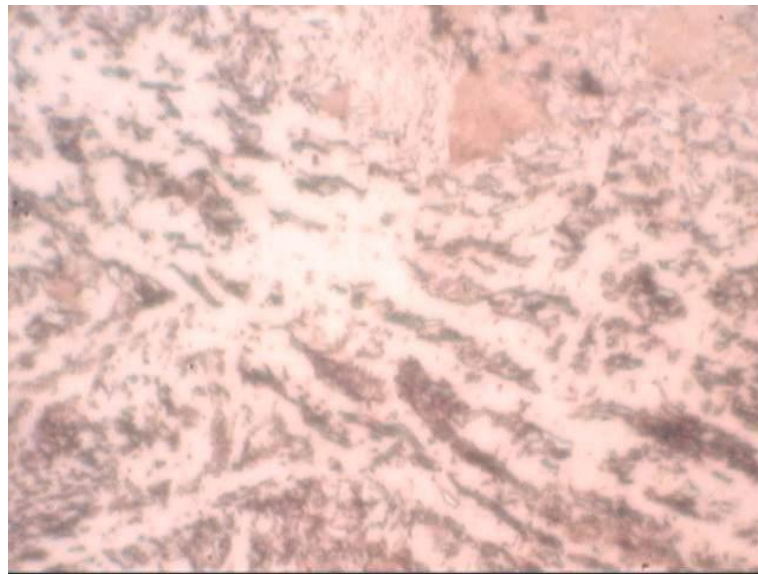
Şekil 5.42. Y.7x kod no’lu numunenin x1000 büyütmedeki mikroyapısı

Şekil 5.41’de Y.7x kod no’lu numunenin x500 büyütmedeki mikroyapısı ve Şekil 5.42’de de x1000 büyütmedeki mikroyapısı görülmektedir. Martensitik yapı içerisinde kimyasal kompozisyon farklılıklarının olduğu bölgeler açık renkli olarak görülmektedir. Bu bölgelerde karbon fakirleşmesi olayı vardır. Aynı zamanda kalıntı östenit bölgeleri de görülmektedir. Çekme dayanımında azalma meydana gelmiştir.

Numune Kod No. : K.8x (%1,2818 Cu) – Döküm hali; Sertlik: 33 HRc; 835 N/mm²



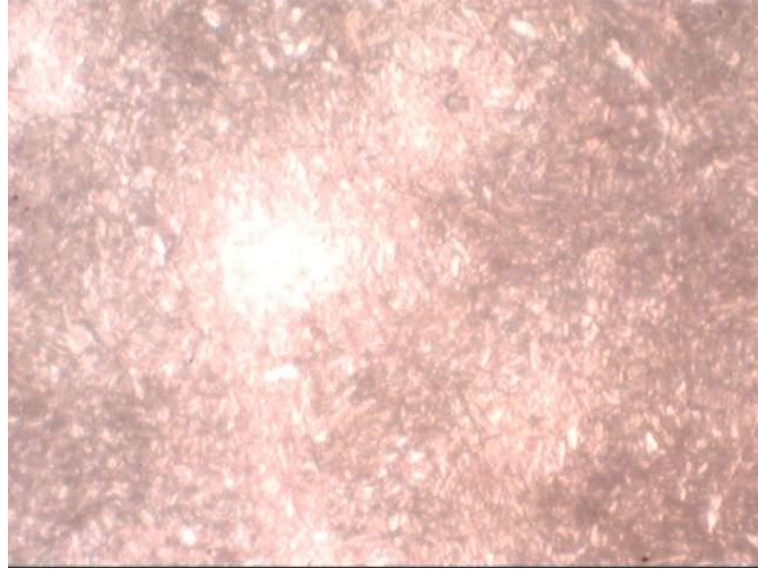
Şekil 5.43. K.8x kod no’lu numunenin x500 büyütmedeki mikroyapısı



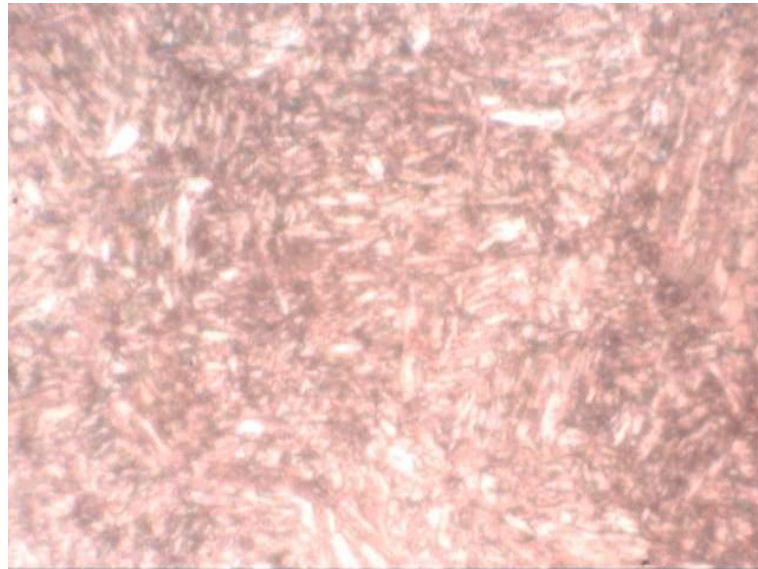
Şekil 5.44. K.8x kod no’lu numunenin x1000 büyütmedeki mikroyapısı

Şekil 5.43’de K.8x kod no’lu numunenin x500 büyütmedeki mikroyapısı ve Şekil 5.44’de de x1000 büyütmedeki mikroyapısı görülmektedir. Yapı içerisinde, kaba taneli bakır partikülleri görülmektedir. Çekme dayanımında azalma meydana gelmektedir. Böyle bir malzemenin seçimi, artık doğru olmamaktadır.

Numune Kod No. : Y.8x (%1,2818 Cu) – Islah edilmiş; Sertlik: 41 HRc; 1224 N/mm²



Şekil 5.45. Y.8x kod no’lu numunenin x500 büyütmedeki mikroyapısı

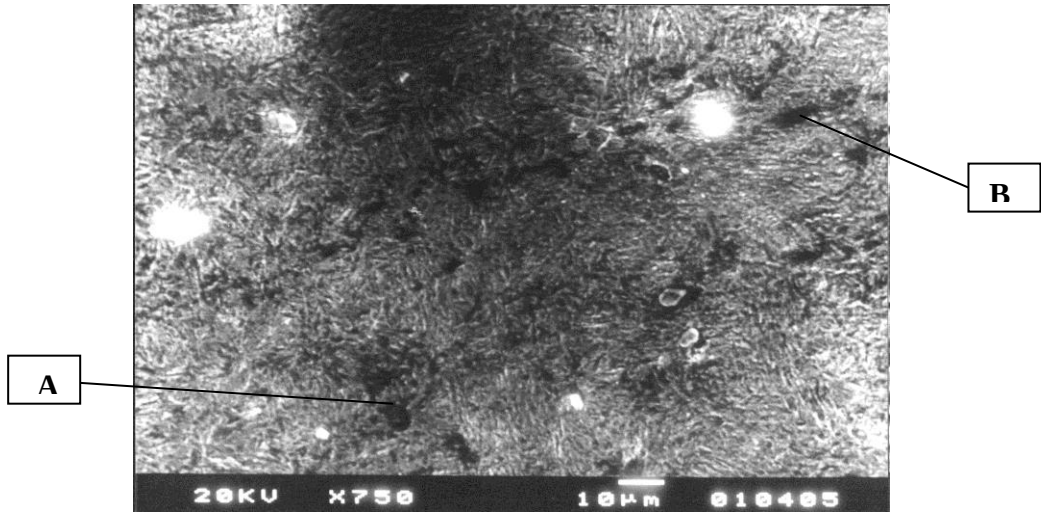


Şekil 5.46. Y.8x kod no’lu numunenin x1000 büyütmedeki mikroyapısı

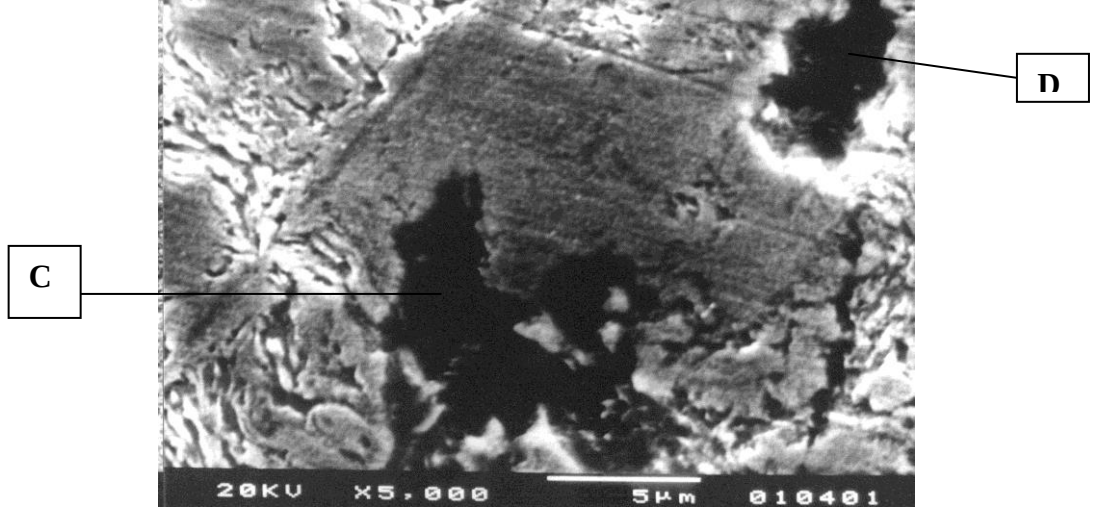
Şekil 5.45’de Y.8x kod no’lu numunenin x500 büyütmedeki mikroyapısı ve Şekil 5.46’da da x1000 büyütmedeki mikroyapısı görülmektedir. Bakır partikülleri yapıda görülebilmektedir. Ayrıca fazla miktarda kalıntı östenit mevcudiyeti vardır. Yapı, martensitiktir ve karbonca fakir bölgeler mevcuttur. Çekme dayanımında düşme devam etmektedir.

5.2.2 SEM İncelemesi

Optik mikroskop incelemesinden sonra bazı numune parçalara SEM’de yapı analizleri yapılmıştır. Şekil 5.47.’de Y.8x kod no’lu parçanın x750 büyütmede ve 20kV’da SEM’de çekilen yapı fotoğrafı görülmektedir. A bölgesinde görülen siyah bölgeden yapılan analiz sonucu o bölgede, %0,91 Cu, ~%1 Cr ve demir bulunmuştur. B bölgesinde ise ; %1,93 Cu analiz edilmiştir.

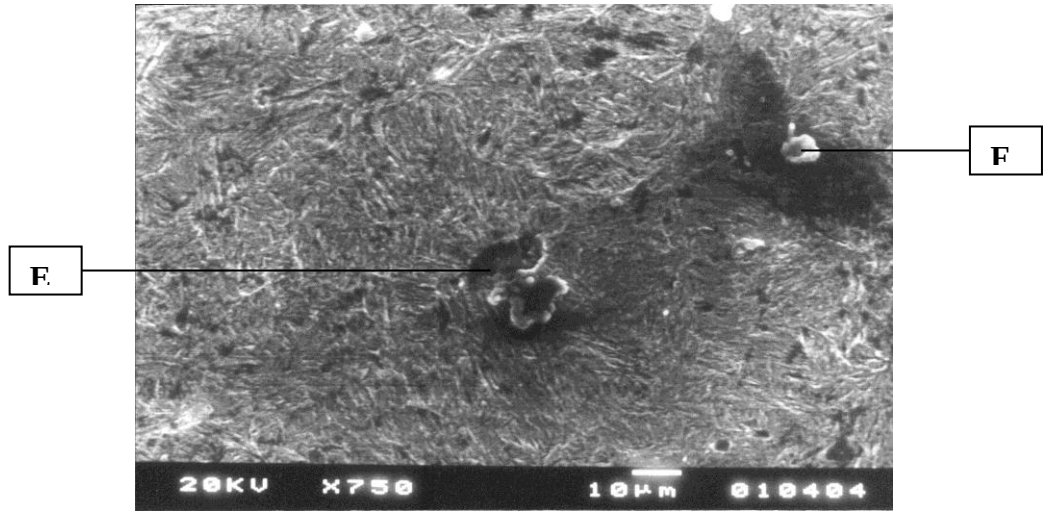


Şekil 5.47. Y.8x kod no’lu numunenin SEM fotoğrafı



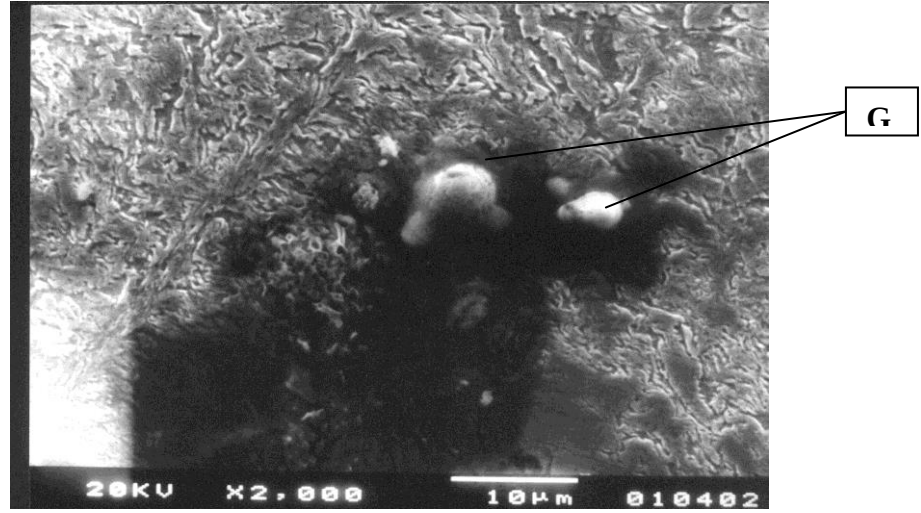
Şekil 5.48. 1x kod no'lu numunenin SEM fotoğrafı

Şekil 5.48.'de 1x kod no'lu numunenin x5000 büyütmede ve 20kV'de SEM'de çekilmiş fotoğrafı görülmektedir. C ve D bölgelerinden alınan analizlere göre bu bölgelerde Cr ve Mo'nin segrege olduğu ve bu bölgelerin son katılaştan bölgeler oldukları sonucuna varılmıştır.



Şekil 5.49. K.4x kod no'lu numunenin SEM'de fotoğrafı

Şekil 5.49.'da K.4x kod no'lu numunenin x750 büyütmede ve 20 kV'de SEM'de çekilen fotoğrafı görülmektedir. E bölgesinden alınan analize göre, o bölgede Cr segregasyonunun olduğu anlaşılmıştır. F bölgesinden alınan analize göre de, o bölgede oksijen konsantrasyonu yüksek çıkmıştır. Yani, o bölgede inklüzyon bulunmaktadır.



Şekil 5.50. 11x kod no'lu numunenin SEM'de fotoğrafı

Şekil 5.50.'de 11x kod no'lu numunenin x2000 büyültmede ve 20kV'de SEM'de çekilmiş fotoğrafı görülmektedir. G bölgesinden alınan analize göre bu bölgede oksikarbürler bulunmaktadır.



Şekil 5.51. Y.4x kod no'lu numunenin SEM fotoğrafı

Şekil 5.51.'de Y.4x kod no'lu numunenin x2000 büyültmede ve 20 kV'de SEM'de çekilmiş fotoğrafı görülmektedir. H bölgesinden alınan analize göre, o bölgede demir ve oksijen bulunmakta ve bu bölgenin inklüzyon olduğuna karar verilmektedir.

6. GENEL SONUÇLAR

Hassas döküm yöntemi ile üretimi yapılan 42CrMo4 ıslah çeliğinin bileşimine bakır katılarak mikroyapıdaki ve mekanik özelliklerdeki değişimleri incelemeye yönelik olarak yapılan bu çalışmada aşağıda sıralanan bulgulara ulaşılmıştır:

- Artan bakır miktarına bağlı olarak döküm sonrası alınan sertlik ölçümlerinde bir değişme olmamıştır.
- Artan bakır miktarına bağlı olarak ıslah işleminden sonra alınan sertlik ölçümlerinde 3 HRC'lik bir artış meydana gelmiştir. Bu artış, 20 gram bakır ilavesinden sonra belirginleşmektedir. En yüksek sertlik değerine 60 gram bakır ilavesiyle erişilmiştir.
- Çekme dayanımı değerleri, artan bakır miktarı ile artmakta ve %0,9515 Cu seviyesinde maksimum değerine ulaştıktan sonra azalmaktadır.
- Islah işlemi ile malzemenin hem sertlik hem de çekme dayanım değerleri olumlu yönde iyileştirilmiştir.
- Artan bakır miktarına bağlı olarak bakırın yapıda çökelti oluşturduğu gözlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] **Altınoğlu, A.**, 1996. Hassas Döküm Yöntemi, T.M.M.O.B. Metalurji Mühendisleri Odası Dergisi, 48-53.
- [2] **Blair, M., Stevens, T. L.**, 1995. Precision Processes for Static Casting, Steel Castings Handbook, 13/11-13.
- [3] **Rawson, L. W., Davidlee, V. L.**, 1952. Investment Casting for Engineers, 25, 220-439.
- [4] **Kurul, A.**, 1999. Hassas Döküm Prosesinin, Kalite Teknik ve Araçları Kullanılarak Optimizasyonu, İTÜ-Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- [5] **Beeley, P. R., Smart, R. F.**, 1995. Investment Casting, 13-29, 54, 66, 150, 151, 179-183, 392,393.
- [6] <http://www.hitchiner.com/Himco/History.html>
- [7] **Kotzin, E.L.**, 1981. Metalcasting&Molding Processes, AFS Publication, 39-43.
- [8] **Çavuşoğlu, E.N.**, 1992. Döküm Teknolojisi 1 – Hassas Döküm / Bölüm 7, İTÜ Kimya –Metalurji Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul.
- [9] **Webster, P.D.**, 1980. Fundamentals of Foundry Technology, U.K., 426-429.
- [10] **Salim,M.** 1996., Investment Casting, Industrial and Management Systems Engineering West Virginia University Morgantown, West Virginia.
- [11] **Clegg, A. J.**, 1991. Precision Casting Processes- Chapter 7, Loughborough University of Technology, Leicestershire, U.K, 145-172.
- [12] **Libouton, J.M.**,1991. Cerita waxes in Precise Foundry, Industiar Marketing Corporation S.A.&Argüeva, M. And Co. Inc.
- [13] **Campbell, J.S.,Jr.**, 1950. Casting and Forming Processes in Manufacturing, McGraw-Hill Book Company. Inc., 311-321.
- [14] **Topbaş, M.A.**,1993. Endüstri Malzemeleri- 1. Cilt, 44-141.
- [15] **Ekey, D.C., Winter, W.P.**, 1958. Introduction to Foundry Technology, New York, 67-71.
- [16] T.M.M.O.B Çelik ve Dökme Demirlerin Metalografisi ve Mekanik Muayenesi Kursu Eğitim Notları, 2001.
- [17] **Tükel, N.**, 1979. Demir- Karbon Alaşımları, İ.D.M.M.A. Makina Bölümü Malzeme ve Ölçme Tekniği Kürsüsü, İstanbul.
- [18] **Tekin, E.**, 1986. Mühendisler için Çelik Seçimi, T.M.M.O.B makina Mühendisleri Odası Yayını, Ankara.
- [19] **Güleç, Ş., Aran, A.**,1995. Malzeme Bilgisi-Cilt 2, İ.T.Ü Makina Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul, 16-90.
- [20] Asil Çelik Teknik Yayınlar Kitabı, Mayıs 2000. 162-183.
- [21] **Topbaş, M.A.**, Eylül 1998. Çelik ve Isıl İşlem El Kitabı, İstanbul, 169-231.
- [22] Stahllüssel 2001 versiyonu
- [23] **Topbaş, M.A.**, 1993. Isıl İşlemler, 90-102.
- [24] **Sinha, A.K.**, 1989. Ferrous Physical Metallurgy, Research&Engineering Center, Michigan, 14-40.

- [25] Stahllüssel 1995 versiyonu
- [26] **Smith, W.F.**, 1996. Principles of Materials Science and Engineering, Third Edition, McGraw-Hill, Inc.517-520.
- [27] **Tekin, A.**, 1981, Çeliklerin Metalurjik Dizaynı, İ.T.Ü Yayınları, İstanbul, 54-88.
- [28] **Tekin, A.**, 1984. Çelik ve Isıl İşlemi, İ.T.Ü Yayınları, İstanbul.
- [29] **Yıldırım,M.M.**, Haziran 1987. Çelik Malzemelerde Islah Tavisinin Önemi, Gereği ve Karşılaşılan Problemler, T.M.M.O.B Metalurji Dergisi, **50**, 30-38.
- [30] **Brooks, C.R.**, 1996. Principles of the Heat Treatment of Plain Carbon and Low Alloy Steels, USA, 36-480.
- [31] **Massalski, T.B., Okamoto, H., Subramanian , P.R., Kacprzak, L.**, 1990. Binary Alloy Phase Diagrams, Materials Park, Ohio,ASM International.
- [32] Nil Isıl İşlem eğitim Notları, Mayıs 2000.
- [33] **Krauss, G.**,1990. Steels: Heat Treatment and Processing Principles, Materials Park, Ohio, 43-240.
- [34] DIN 50125,1991. Test Pieces for the Tensile Testing of Metallic Materials, pp.8.

ÖZGEÇMİŞ

1977 yılında İstanbul’da doğan Burçin Aydınoglu, lise eğitimini 1994 yılında Kadıköy Kenen Evren Lisesi’nde tamamladıktan sonra aynı yıl İstanbul Üniversitesi Metalurji Mühendisliği Bölümü’ne başlamıştır. 1998 yılında bölüm ikincisi olarak mezuniyetinin ardından İTÜ Yabancı Diller Fakültesi’nde İngilizce Hazırlık Programı’nı tamamladıktan sonra İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı Üretim Metalurjisi Programı’nda yüksek lisans eğitimine başlamıştır. 1999 yılında ilk işi olan Gedik Döküm ve Vana Sanayi ve Ticaret A.Ş. firmasında sırasıyla Satınalma Mühendisi, Satış ve Pazarlama Mühendisi olarak görev yapmış ve son bir yıldır da Proses Kalite Kontrol Sorumlusu olarak görevine devam etmektedir.