İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ISIL İŞLEM PARAMETRELERİNİN VE KİMYASAL KOMPOZİSYONUN SICAK İŞ TAKIM ÇELİKLERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Zeynep ALBARAZ

Anabilim Dalı : Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

Programı : Malzeme Mühendisliği

EYLÜL 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ISIL İŞLEM PARAMETRELERİNİN VE KİMYASAL KOMPOZİSYONUN SICAK İŞ TAKIM ÇELİKLERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Zeynep ALBARAZ
(506071419)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 02 Eylül 2010
Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Eylül 2010

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hüseyin ÇİMENOĞLU (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Eyüp Sabri KAYALI (İTÜ)
Prof. Dr. Mehmet KOZ (MÜ)

EYLÜL 2010

ÖNSÖZ

Eğitim öğretim hayatımın son perdesini kapatırken; bu zorlu süreçte bana her türlü katkıyı sağlayan, zaman zaman 'beni yüksek lisanstan atabilirsiniz, göze aldım' dediğimde pes etmememi salık veren sevgili hocam Prof.Dr. Hüseyin ÇİMENOĞLU'na, laboratuvar olanaklarını benden esirgemeyen Doç.Dr. Murat BAYDOĞAN'a, her aşamada yardımlarıyla yanımda olan, tecrübeleriyle ve sakinliğiyle kontrolü ele alan Araş.Gör. Mert GÜNYÜZ'e, kendimi iyi hissetmemi sağlayan, varlığı yeten Yiğit KURTTEPELİ'ye, yüksek lisansa başlamamda, bitirmemde ve mesleğimin inceliklerini öğrenmemde büyük payı olan Hakan KURTTEPELİ'ye, her zaman olduğu gibi tezi yazarken de yanıbaşımda olan, candostum olduğu için çok mutlu olduğum Övgü GENÇER'e, şahane lisans yılları geçirmemde emeği geçen arkadaşlarıma ve Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümü hocalarına, tez stresinin son safhalarını birebir yaşayan, destek için arkadaşlarını seferber eden iş arkadaşım Ali BİBER'e, teslim aşamasında tezi baştan sona toparlayarak beni büyük dertten kurtaran Araş.Gör. Kemal Mert ÖNAL'a, teknik destek konusunda yardımını esirgemeyen tüm Schmolz-Bickenbach Çelik A.Ş. çalışanlarına ve en önemlisi de; beni ben yapan; hayatım boyunca arkamda olan en önemli varlıklarım canım annem Meral ALBARAZ'a ve canım babam Hasip ALBARAZ'a çok teşekkür ederim.

Eylül 2010 Zeynep ALBARAZ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ……. iii
İÇİNDEKİLER……... v
ÇİZELGE LİSTESİ……...……... vii
ŞEKİL LİSTESİ……...……... ix
ÖZET……... xi
SUMMARY……..….. xiii
1. GİRİŞ……..…….. 1
2. ÇELİK TANIMI……..….. 3
2.1 Takım Çelikleri…….. 4
2.1.1 Takım çeliklerinin genel özellikleri…...……... 4
2.1.2 Sıcak iş takım çelikleri……..…… 4
2.1.3 Soğuk iş takım çelikleri……..……... 6
2.1.4 Yüksek hız takım çelikleri...……..... 7
2.1.5 Plastik kalıp çelikleri..... 7
2.2 Çeliklerde Alaşım Elementlerinin Etkisi.....8
3. SICAK İŞ TAKIM ÇELİKLERİ KARAKTERİSTİĞİ……... 9
3.1 Sıcak İş Takım Çeliklerinin Kullanım Alanları……..... 9
3.2 Sıcak İş Takım Çeliklerinin Mekanik Özellikleri……. 11
3.3 Sıcak İş Takım Çeliklerinin Seçimi…….. 12
4. ISIL İŞLEM ……..…….. 13
4.1 Isıl İşlem Tanımı ve Uygulaması…….. 13
4.2 Sıcak İş Takım Çeliğinin Isıl İşlemi ……. 15
5. SICAK İŞ TAKIM ÇELİKLERİNDE HASAR……... 17
5.1 Aşınma Mekanizması……... 17
5.1.1 Aşınma türleri ve aşınmaya etki eden faktörler……..……... 17
5.2 Isıl Yorulma……. 18
5.3 Kırılma Mekanizması ……... 20
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR……... 23
6.1 Deneyin Amacı…….. 23
6.2 Numunelerin Hazırlanması…….. 23
6.3 Deneylerin Yapılışı…… 23
6.3.1 Isıl işlem prosesleri……..... 23
6.3.2 Aşınma deneyi……..... 24
6.3.3 Serlik ve darbe deneyleri…….. 24
6.3.4 Mikroyapı inceleme çalışmaları …….. 24
7. DENEYSEL SONUÇLAR……... 25
7.1 Mikroyapı Görüntüleri ve Sertlik Ölçümleri…… 25
7.2 Darbe Deneyi Sonuçlarının Kıyaslanması……..... 27
7.3 Aşınma Deneyi Sonuçlarının Kıyaslanması……. 29
8. GENEL SONUÇLAR……..... 33
KAYNAKLAR……... 35
ÖZGEÇMİŞ……... 37

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : ASTM A681 Standardına göre sıcak iş takım çeliklerin sınıflandırılması…… 6
Çizelge 3.1 : Sıcak iş takım çeliklerinin kullanım alanları ve imal edilen ekipmanlar…… 9
Çizelge 3.2 : Çalışmada incelenen çeliklerin uygulama alanları……11
Çizelge 3.3 : Çalışmada incelenen çeliklerin kimyasal kompozisyonları…….....11
Çizelge 6.1 : Isıl işlem parametreleri…… 24
Çizelge 7.1 : DIN 1.2714, DIN 1.2344 ve E38K numunelere ait sertlik değerleri …….....…….. 27
Çizelge 7.2 : E38K, DIN 1.2714 ve DIN 1.2344 kalite numunelere ait darbe deney sonuçları……..……. 27
Çizelge 7.3 : Numunelerin alümina ve çelik bilya ile aşınma iz derinlikleri kıyaslaması…… 30
Çizelge 7.4 : Numunelerin alümina ve çelik bilye ile aşınma iz derinlikleri kıyaslamasının rölatif değerleri……..…… 30

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Sırasıyla dövme, ekstrüzyon ve metal enjeksiyon uygulamalarında kullanılan sıcak iş takım çeliğinden imal edilmiş kalıplar…….....2
Şekil 2.1 : Demir-Karbon denge diyagramı……..... 3
Şekil 3.1 : Sıcak iş takım çeliği ile üretilmiş kalıp……..……..10
Şekil 4.1 : Isıl işlem ile özelliklerin belirlenmesini etkileyen faktörlerin birbirleri ile ilişkisi…….. 14
Şekil 5.1 : Sertleştirme ve temperleme sonrasında çekme dayanımının ısıl yorulma çatlaklarına (sıcak yırtılma) etkisi……..... 20
Şekil 5.2 : Kırık yüzey örneği – üst kısımda gevrek, alt kısımda sünek kırılmaya örnek…….. 21
Şekil 7.1 : (a) DIN 1.2714, (b) DIN 1.2344 ve (c) E38K kalite malzemelere ait 500X büyütmede mikroyapılar……... 25
Şekil 7.2 : (a) DIN 1.2714, (b) DIN 1.2344 ve (c) E38K kalite malzemelere ait XRD paternleri……..……. 26
Şekil 7.3 : E38K, DIN 1.2714 ve DIN 1.2344 kalite numunelere ait darbe deneyi sonuçlarının sıcaklıkla değişimi……...…… 28
Şekil 7.4 : DIN 1.2714, DIN 1.2344 ve E38K kalite numunelerin oda sıcaklığında, 200ºC ve 360 ºC'deki darbe deneyleri sonucu oluşan kırılma yüzeyleri…...……...…..... 29
Şekil 7.5 : Alümina ve çelik bilye ile aşındırılan numunelerin aşınma alanları……...……30
Şekil 7.6 : Numunelerin rölatif aşınma oranlarının kıyaslaması……31

ISIL İŞLEM PARAMETRELERİNİN VE KİMYASAL KOMPOZİSYONUN SICAK İŞ TAKIM ÇELİKLERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

ÖZET

Sıcak iş takım çelikleri; yüksek sıcaklıkta aşınma ve kopma dayanım değerlerini koruyabilmeleri, yüksek tokluk değerlerine sahip olmaları ve yine yüksek sıcaklıklarda darbe dirençlerinin yüksek olması sebebiyle pek çok endüstriyel alanda tercih edilen bir çelik grubudur. Günümüzde enjeksiyon, ekstrüzyon gibi pek çok yüksek sıcaklık uygulamada sıcak iş takım çelikleri kullanılmakta olduğundan, bu çeliklerin uzun ömürlü olması beklenmektedir.
Takımın ömrü malzemenin kalitesine ve türüne bağlı olup; çelikteki karbon konsantrasyonu ve diğer alaşım elementleri direkt olarak metalurjik işlemler, plastik şekil verme ve ısıl işlem esnasında oluşan yapı ve faz dönüşümlerine etki eder. Malzemenin performansını, kullanım ömrünü, dayanımını belirleyen etmenler ise sertlik, aşınma dayanımı, darbe direnci ve tokluk gibi mekanik özellikleridir.
Bu çalışmada amaçlanan; farklı kalitede sıcak iş takım çeliklerinin ısıl işlem sonrasında aşınma -darbe dirençleri ile mikroyapılarının ve sertliklerinin incelenmesi ve sonuçlara bağlı olarak, kimyasal kompozisyonun ve ısıl işlem prosesinin malzemenin mekanik özelliklerine etkisinin belirlenmesidir. Bu çalışma kapsamında hedeflenen; endüstriyel uygulamalarda kullanılacak sıcak iş takım çeliği kalitesinin seçimi aşamasında gerekli olabilecek deneysel verileri sunmaktır.

Çalışma süresince DIN 1.2344, DIN 1.2714 ve E38K (patent) kalite sıcak iş takım çelikleri konvansiyonel ısıl işlemler sonrasında darbe, aşınma ve sertlik deneylerine tabi tutulmuştur. Deneyler sonucunda bulunan değerler kıyaslanmış ve rölatif değerler hesaplanmıştır. Çeliklerin mikroyapıları optik mikroskop incelemeleri ve X-ışınları analizi ile değerlendirilmiştir.

EFFECT OF HEAT TREATMENT AND CHEMICAL COMPOSITION ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF HOT WORK TOOL STEELS

SUMMARY

Hot work tool steels are preferred in many industrial areas and applications, since they can protect their wear resistance and strength values at elevated temperatures while exhibiting superior impact resistance. At the present time, long lifetime is expected for hot work tool steels, since they are used in many industrial applications like injection and extrusion.

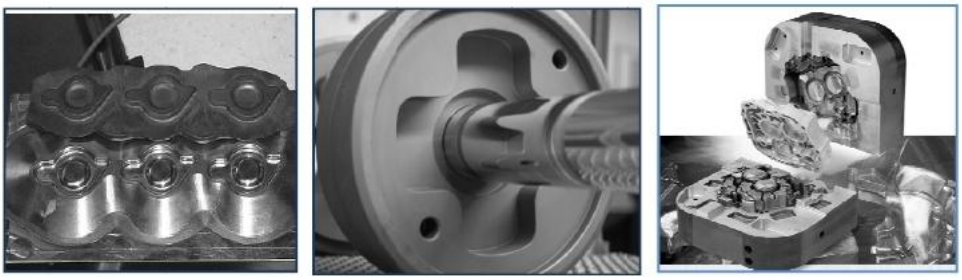
Tool life is depends on the quality and type of the material; the carbon concentration and other alloying elements effects directly the phase transformations which tends to take place during metallurgical processing, ie. thermomechanical and/or heat treatments. The factors which effect to the performance, lifetime and strength of the material are the mechanical properties lise hardness, wear resistance, impact resistance and toughness.

The aim of this project is to compare the wear and impact resistances, microstructure analysis and hardness values of different martensitic hot work tool steels having different chemical compositions. The goal of this project is to present the experimental values which could be useful for selection of hot work tool steels in industrial applications.

In this project; DIN 1.2344, DIN 1.2714 and E38K (patent) quality hot work tool steels were subjected to impact, wear and hardness tests after conventional hardening process. The values after examination are compared and relativ valuation is calculated. Microstructures of the steels were evaluated on the bases of optical microscopic survays and X ray diffraction analysis.

1.GİRİŞ

Çelik; iyileştirilebilir mekanik özellikleri sebebiyle günümüzde inşaat, otomotiv, tıp, havacılık gibi pekçok endüstriyel alanda kullanımı oldukça yaygın olan bir metaldir.
Kimyasal kompozisyonunun değiştirilmesi veya ısıl işlem uygulanması suretiyle yapısal davranışlarının iyileştirilmesi; çeliğin otomotiv, tıp, ve birçok diğer alanda oldukça yaygın kullanılmasına olanak tanımaktadır.
Karbonun sertleştirici özelliği milattan önceki yıllarda dahi bilinmesine rağmen; bugünkü anlamda çeliğin ortaya çıkışı 1740 yılında gerçekleşmiştir. Büyük çapta çelik üretimini, 1856 yılında Sir Henry Bessemer gerçekleştirmiş olup; 1857 yılında Sir William Siemens'in başka bir çelik üretim yöntemi olan açık ocak işlemini geliştirmesi ile dövme demir kullanımı azalırken, çelik kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır.
% 7 tungsten içeren ilk gerçek alaşım çeliği, 1868'de, R.F. Mushet tarafından yapıldı ve bunu diğer alaşımlı çelik üretimleri izlemiştir. Yüksek alaşımlı ve dayanıklı çelik türlerinden olan takım çelikleri, metal ve metal dışı malzemelerin şekillendirilmesinde kullanılan, aşınma dirençleri ve sertlik değerleri oldukça yüksek, çeşitli alaşım elementleri içeren ve yüksek sıcaklıklarda kullanıma elverişli çeliklerdir. Takım çelikleri; mevcut özelliklerinin kullanım alanına uygun hale getirilmesi ve kendilerinden beklenen performansın sağlanması için ısıl işleme tabi tutulurlar.
Sıcak iş takım çelikleri günümüz endüstriyel uygulamalarında çok büyük öneme sahip malzemeler olup; en geniş kullanım alanları demir esaslı ve demir dışı metallerin dövülerek şekillendirilmesi, hafif metal ekstrüzyonu ve yüksek basınçlı döküm uygulamalarıdır.
Bu çeliklerden üretilen takım ve kalıpların göstermiş olduğu randıman, kullanılan sıcak iş takım çeliğinin kalitesine, yapılan ısıl işleme, yüzey işlemlerine, kalıp dizaynına ve kullanım koşullarına bağlı olarak değişebilmektedir [1].



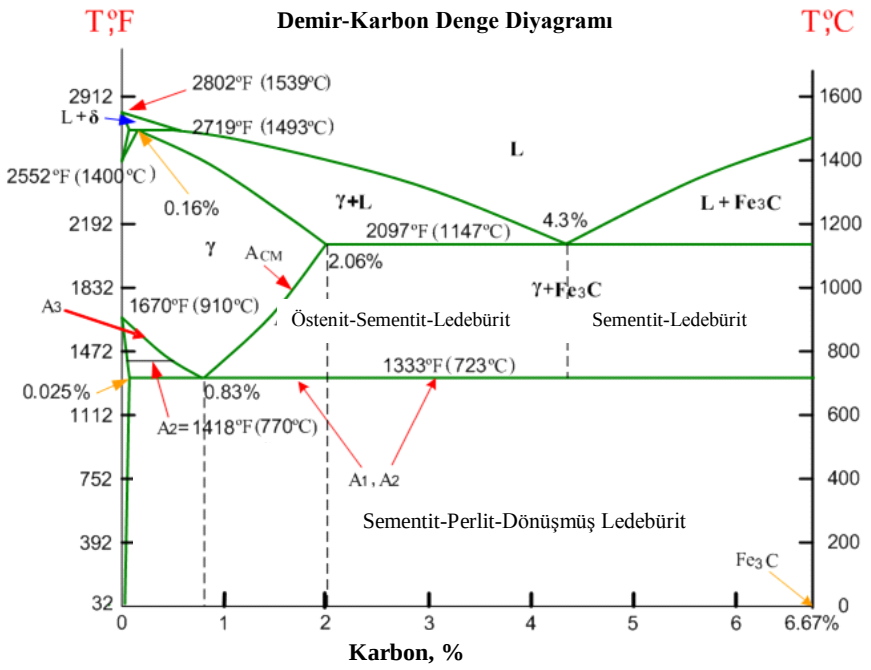
Şekil 1.1: Sırasıyla dövme, ekstrüzyon ve metal enjeksiyon uygulamalarında kullanılan sıcak iş takım çeliğinden imal edilmiş kalıplar [1].

Sıcak iş takım çelikleri endüstriyel alanda yaygın olarak dövme, ekstrüzyon ve enjeksiyon uygulamalarında kullanılırlar. Bu uygulamalara örnek teşkil edebilecek bazı kalıp örnekleri Şekil 1.1'de gösterilmiştir.

2. ÇELİK TANIMI

Çelik, en temel tanımıyla; Şekil 2.1'de de görüldüğü gibi ana alaşım elementi karbon olan bir demir-karbon alaşımıdır. Üretim yöntemleri ve kullanılan cevherlerden ötürü manganez, silisyum, fosfor ve kükürt çeliğin bünyesinde bulunabilen diğer elementlerdir.

Çeliğin yapısındaki karbon alaşımın yapısını sertleştirmekte ve demir atomlarının kaymasını engellemektir. Alaşımdaki karbon miktarı değiştirilerek çeliğin sertliği, esnekliği, sünekliği, aşınma-darbe direnci ve gerilme gücü gibi mekanik özellikleri geliştirilebilmektedir. Alaşımdaki karbon miktari artırılarak çeliğin sertliği artırılabilir, fakat bu işlem çeliğin kırılganlığını arttırıp; kaynaklanabilirlik ve süneklik gibi bir takım özelliklerini azaltmaktadır.



Şekil 2.1: Demir-Karbon denge diyagramı [2].

Dünya metal üretiminin yüzde 95'i demir olup demirin karbonla yaptığı alaşımlar yani çelikler en yaygın kullanılan mühendislik malzemelerini oluşturmaktadır.

Üretilen her 100 kilogram çeliğin 40 kilogramı yeniden kullanılan malzemeden üretilmektedir. Çelik çeşitlerinin bu denli çok olması, her biri başka özellikler isteyen yerlerde ve işlerde kullanılmasına olanak sağlamaktadır.
Ucuzluğu, hammadde kaynaklarının genişliği, üretim teknolojisinin gelişmişliği, çeşitlerinin ve dolaysıyla kullanım alanlarının çok yaygın oluşu çeliği dünyada en çok üretilen ve tüketilen metal durumuna getirmiştir.
20. yüzyılın başında 28 milyon ton olan dünya çelik tüketimi bu yüzyılın sonunda 780 milyon tona ulaşmıştır [3].

2.1 Takım Çelikleri

2.1.1 Takım çelikleri genel özellikleri

Endüstride yaygın olarak kullanılan takım çelikleri talaşlı veya talaşsız imalatta kullanılan, sıcak veya soğuk haldeki iş parçalarını kesme, dövme ve sıkıştırma yöntemlerinden biri veya birkaçı ile şekillendirme işi yapabilen yüksek nitelikli çeliklerdir. Uygulama alanlarına, kullanıldıkları sıcaklık aralığına ve içerdikleri alaşım elementlerine bağlı olarak dört ana grupta incelenirler. Bu sınıflandırma Sıcak İş Takım Çelikleri, soğuk İş Takım Çelikleri, Yüksek Hız Takım Çelikleri ve Plastik Kalıp Çelikleri şeklindedir.
Soğuk İş Takım Çelikleri ağırlıkla kesme, bükme, eğme, form verme, bükme kalıplarında ve 200°C'nin altında çalışırlarken, Yüksek Hız Takım Çelikleri yaygın olarak diğer takımların işleme ve talaşlı imalatında; 400-600°C aralığında kullanılırlar. Diğer türlere göre daha kısa bir geçmişi olan Plastik Kalıp Çelikleri ise korozyon dirençleri ve parlatılabilme özellikleri ile öne çıkmaktadırlar. Sıcak İş Takım Çelikleri sıcak aşınma direnci, ısıl iletkenliği, meneviş direnci ve tokluğu yüksek malzemelerdir. Metal enjeksiyon kalıpları, dövme kalıpları, ekstrüzyon profil kalıpları, sıcak dövme yoluyla şekillendirilen pres takımları sıcak iş takım çeliklerinden üretilmektedir.
Sıcak iş takım çelikleri demir ve demir dışı metallerin sıcak şekillendirilmesinde delme zımbaları, sert maden gömlekleri, matris, zımba, yolluk olarak kullanıldıkları gibi; aşınmanın yüksek oldugu plastik kalıpların yapımında yer almaktadırlar [4].

2.1.2 Sıcak iş takım çelikleri

Sıcak iş takım çelikleri yüksek sıcaklık (200°C ve üzeri) uygulamalarda kullanılan çelikler olup; kullanım alanları gereği sahip olması gereken en temel özelliği uygun kimyasal kompozisyonu sayesinde tekrarlanan sıcak şekillendirme uygulamalarında yumuşamaya karşı yeterli dayanımı göstermesidir.

Kullanım yerleri gereği yüksek sıcaklıkta mekanik özelliklerini korumaları gerekir ve bu nedenle sıcak iş takım çeliklerinde sıcak sertliği sağlayan prensip alaşım elemanları bulunur [1]. Çizelge 2.1'de ASTM A681 Standardına göre sıcak iş takım çeliklerinin sınıflandırılması verilmiştir.

Sıcak iş takım çelikleri; yüksek sıcaklıkta aşınma ve kopma dayanım değerlerini koruyabilmeleri, yüksek tokluk değerlerine sahip olmaları ve yine yüksek sıcaklıklarda darbe dirençlerinin yüksek olması sebebiyle pek çok endüstriyel alanda tercih edilen bir çelik grubudur. Bu çelikler AISI standartlarına göre H harfiyle adlandırılmakta olup; alaşım elementlerine göre 3 gruba ayrılırlar; bunlar kromlu sıcak iş takım çelikleri, tungsten sıcak iş takım çelikleri ve molibden sıcak iş takım çelikleri olarak sıralanabilir [5].

Takımın ömrü malzemenin kalitesine ve türüne bağlı olup; çelikteki karbon konsantrasyonu ve diğer alaşım elementleri direkt olarak metalurjik işlemler, plastik şekil verme ve ısıl işlem esnasında oluşan yapı ve faz dönüşümlerine etki eder.

Örneğin Krom elementi çeliğin sertleşebilirliğini, termal şok direncini ve dayanımını arttırır.

Kullanım alanlarındaki gereksinimden ötürü; sıcak iş takım çelikleri çok yüksek aşınma direncine sahip olmalı ve maruz kaldıkları yükü plastik şekil değiştirme olmaksızın taşımalıdırlar, bu da doğrudan çeliğin sertliği ile ilişkilidir.

Sertlik artışı sünekliğin düşmesine yol açmaktadır ve ısıl işlem sonrasındaki maksimum sertlik değeri, doğru prosesin seçilmesinde en önemli kriterdir [6].

Sıcak iş uygulamalarında kullanılan tüm takımların sahip olması gereken özellikler şu şekilde sıralanabilir:

- Uygulama Sıcaklıklarında Deformasyona Karşı Direnç
- Mekanik ve Termal Şoklara direnç
- Yüksek Sıcaklık Aşınma Direnci
- Isıl İşlem Deformasyonlarına Direnç
- İşlenebilirlik
- Sıcak Yırtılmaya Karşı Direnç [5].

Belli başlı kullanılan sıcak iş çelikleri ise şunlardır: DIN 1.2344, 1.2343, 1.2365, 1.2367, 1.2714, 1.2581, 1.2606, 1.2713, 1.2885.

Çizelge 2.1 : ASTM A681 Standardına göre sıcak iş takım çeliklerin sınıflandırılması.

Gösterim	**Kimyasal Kompozisyon**									
AISI	UNS	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	W	V	Co
Krom Esaslı Sıcak İş Takım Çelikleri										
H10	T20810	0.35-0.45	0.25-0.70	0.80-1.20	3.00-3.75	0.30 max	2.00-3.00	-----	0.25-0.75	----
H11	T20811	0.33-0.43	0.20-0.50	0.80-1.20	4.75-5.50	0.30 max	1.10-1.60	-----	0.30-0.60	----
H12	T20812	0.30-0.40	0.20-0.50	0.80-1.20	4.75-5.50	0.30 max	1.25-1.75	1.00-1.70	0.50 max	----
H13	T20813	0.32-0.45	0.20-0.50	0.80-1.20	4.75-5.50	0.30 max	1.10-1.75	-----	0.80-1.20	----
H14	T20814	0.35-0.45	0.20-0.50	0.80-1.20	4.75-5.50	0.30 max	------	4.00-5.25	------	----
H19	T20819	0.32-0.45	0.20-0.50	0.20-0.50	4.00-4.75	0.30 max	0.30-0.55	3.75-4.50	1.75-2.20	4.00-4.50
Tungsten Esaslı Sıcak İş Takım Çelikleri										
H21	T20821	0.26-0.36	0.15-0.40	0.15-0.50	3.00-3.75	0.30 max	------	8.50-10.00	0.30-0.60	------
H22	T20822	0.30-0.40	0.15-0.40	0.15-0.40	1.75-3.75	0.30 max	------	10.00-11.75	0.25-0.50	------
H23	T20823	0.25-0.35	0.15-0.40	0.15-0.60	11.00-12.75	0.30 max	------	11.00	0.75-1.25	------
H24	T20824	0.42-0.53	0.15-0.40	0.15-0.40	2.50-3.50	0.30 max	------	14.00-16.00	0.40-0.60	------
H25	T20825	0.22-0.32	0.15-0.40	0.15-0.40	3.75-4.50	0.30 max	------	14.00-16.00	0.40-0.60	------
H26	T20826	0.45-0.55(b)	0.15-0.40	0.15-0.40	3.75-4.50	0.30 max	------	17.25-19.00	0.75-1.25	------
Molibden Esaslı Sıcak İş Takım Çelikleri										
H42	T20842	0.55-0.70(b)	0.15-0.40	-----	3.75-4.50	0.30 max	4.50-5.50	5.50-6.75	1.75-2.20	------

2.1.3 Soğuk iş takım çelikleri

Soğuk İş Takım Çelikleri endüstriyel olarak kesme, bükme, eğme, form verme, soğuk ekstrüzyon, bükme kalıplarında, haddeleme ve toz metalurjisi alanlarında; genellikle 200°C'nin altındaki sıcaklıklarda çalışan çeliklerdir.

Endüstride kesme takımları içerisinde önemli bir yere sahip olan bıçaklar; sıcak ve soğuk haldeki iş parçalarını keserek, şekillendiren, talaşlı ve talaşsız imalatta kullanılan yüksek nitelik gerektiren takım çeliklerinden yapılmaktadır [7].

Tüm bu uygulamalarda takım yüzeyi ve iş parçası arasında yüksek mekanik kuvvetler ve temas mevcut olup; takımın aşınma direnci ve plastik deformasyona karşı dayanımının yeterli olması için sertliğinin de yüksek olması istenir. Bu nedenle soğuk iş takım çelikleri; sert partiküller (karbürler) içeren matris yapısına ve yüksek alaşım oranlarına sahiptir.

Soğuk iş takım çelikleri yüksek gerilime maruz kaldıklarından; aşınma; eğme ve darbeye çok mukavim olmalıdırlar. Bu sebeple sürekli takım ömrünü uzatacak ve dayanımı arttıracak; mekanik özellikleri daha iyi çeliklerin geliştirilmesine uğraşılmaktadır [8].

En çok kullanılan soğuk iş takım çelikleri 1.2379, 1.2363, 1.2767, 1.2842 ve 1.2436 kaliteleridir.

2.1.4 Yüksek hız takım çelikleri

Yüksek Hız Takım Çelikleri yaygın olarak diğer takımların işleme ve talaşlı imalatında; 400-600°C aralığında kullanılan çelik grubu olup; sertlik, dayanım, aşınma ve darbe direnci gibi mekanik özelliklerin oldukça gelişmiş raddede görüldüğü malzemelerdir.

Bu çelikler mükemmel yüksek sıcaklık dayanımına ve temper sıcaklığına sahip; yaklaşık 600°C mertebelerine sahip uygulamalarda kullanılan takım çelikleri grubuna aittir.

Yüksek hız takım çeliklerinin yüksek sıcaklıklarda dahi iyi mekanik özelliklere sahip olmaları, bünyelerinde volfram, krom, molibden, vanadyum elementlerinin oluşturduğu karbürlerin bulunmasından ileri gelir. Bu sebeple içeriklerinde en az % 0.8 oranında karbon bulunmaktadır [9].

Bu çeliklerde alaşım elementi miktarı diğer takım çeliklerine kıyasla çok daha fazladır ve içeriklerinde Wolfram, Vanadyum, Molibden, Kobalt, Krom gibi elementler mevcuttur. En sık kullanılan yüksek hız takım çelikleri ise 1.3343, 1.3243, 1.3207 ve 1.3247 kalite çeliklerdir. Yüksek takım ömrü beklenen kaba ve hassas işlemelerde, her türlü freze, profil kesme bıçaklarında, broşlarda, ovalama tarak-makaralarında ve her türlü kesici takımda kullanım alanları yaygındır [4].

2.1.5 Plastik kalıp çelikleri

Diğer türlere nazaran daha kısa bir geçmişi olan Plastik Kalıp Çelikleri ise korozyon dirençleri ve parlatılabilme özellikleri ile öne çıkmaktadırlar. Endüstride sıklıkla plastik enjeksiyon, ekstrüzyon gibi şekillendirme kalıplarında, kalıp hamillerinde, korozif plastiklerin şişirme kalıplarında kullanılırlar. En yaygın kaliteler; 1.2738, 1.2311, 1.2312, 1.2316 ve 1.2083 çelikleridir.

2.2 Çeliklerde Alaşım Elementlerinin Etkisi

Çelik genel tanımıyla demir ve karbonun alaşımıdır; ancak bu iki elementin yanında bileşimlerinde farklı elementler de bulunabilir. Örneğin bir çeliğin yapısında Mn ve Si her zaman bulunmaktadır. Çeliğin türüne göre Cr, Ni, Mo, V, Nb, W, Co, Ti, Al, Cu gibi elementlerin yanında Se, Te, Pb, P ve S gibi elementler de yapıda yer alabilmektedirler. Çeliklerin mikroyapısı ve özellikleri üzerine en önemli etkiyi yapan element karbondur. Çelikler çoğunlukla ağırlıkça %1'den az karbon içerirler. Yapı çelikleri gibi bir grup çelikte ise karbon içeriği %0.25'ten daha azdır. Bu çeliklerdeki diğer ana element Manganezdir ve miktarı %1.5'a kadar yükselir. Kükürt (S), Fosfor (P), Azot (N) ve Hidrojen (H) gibi elementler çeliğin mühendislik özelliklerini kötü yönde etkilerler ve genellikle istenmezler. Çeliklere alaşım elementi eklenmesinin sebepleri şu şekilde sıranalabilir:

1. Sertleşme kabiliyetini iyileştirmek,
2. Sertlik ve mukavemetini arttırmak,
3. Mekanik özelliklerini iyileştirmek,
4. Tokluğu arttırmak,
5. Aşınma direncini arttırmak,
6. Korozyon direncini arttırmak,
7. Manyetik özellikleri iyileştirmek [10].

Bu elementlerin miktarları çelik üretimi sırasında düşürülür. Dökme demirler ağırlıkça %4 mertebesinde karbon içerirler. Bu derece yüksek karbon; dökme demirlerin yapı ve özelliklerinin çeliklerinkinden çok farklı olmasına neden olur.
Çelikler Fe ve C haricinde değişik alaşım elementlerinin oluşturduğu alaşımlar olup; bu elementlerin bazıları kaçınılmaz olarak empürite oluştururken; bazıları istenilerek katılmaktadır [11].

3. SICAK İŞ TAKIM ÇELİKLERİNİN KARAKTERİSTİĞİ

3.1 Sıcak İş Takım Çeliklerinin Kullanım Alanları

Yüksek sıcaklıklarda termal şok ve aşınmalara karşı mukavemeti ve ısıl iletkenlikleri ile tokluk değerleri yüksek, ısıl şoklara dayanıklı malzemeler olan sıcak iş takım çelikleri endüstride alüminyum gibi hafif metallerin enjeksiyon ve ekstrüzyon kalıplarında, sıcak dövme kalıplarında, kalıp ve boru presleri/aksamlarında; delici zımba/kalıplarında ve plastik enjeksiyon aşındırıcı plastiklerin kalıplarında kullanılırlar.

Sıcak iş takım çelikleri; demir ve demir dışı metaller ile alaşımların kesmeden şekillendirilmesi için kullanılırlar. Malzemenin yüksek sıcaklık ve basınç altında şekillendirilmesi veya yüksek sıcaklıklarda ergitilip döküm yöntemiyle şekillendirilmesi metodlarında kullanılan; yüksek gerilme ve sıcaklıklara direnç gösterebilen çelik türüdür [12].

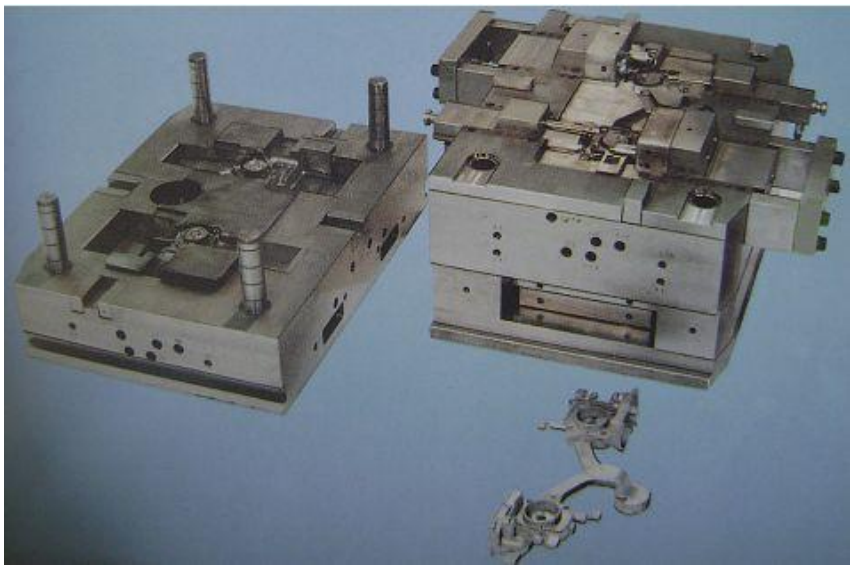
Sıcak iş takım çelikleri yüksek sıcaklık aşınma direncinin ve tokluk değerinin oldukça önemli olduğu uygulamalarda kullanılmaktadırlar. Yer aldıkları takımın uzun ömürlü olması ve performansı kullanılan takım çeliğinin aşınma direncine, sertliğine, tokluğuna ve dayanımına büyük ölçüde bağlıdır.

Çizelge 3.1'de sıcak iş takım çeliklerinin kullanım alanları ve bu çeliklerden imal edilen ekipmanlar gösterilmiştir.

Çizelge 3.1: Sıcak iş takım çeliklerinin kullanım alanları ve imal edilen ekipmanlar [1].

Dövme	**Ekstrüzyon**	**Yüksek Basınçlı Kalıp Döküm**
Kalıp (Çekiç)	Kalıp	Kalıp Çekirdekleri
Kalıp (Pres)	Dami Blok	Kovanlar
İtici Pimler	Kovan	Maçalar
	Piston	İtici Pimler
	Mandrel	Topuklar
	Destek Bloğu	Kovan Karşılıkları

Sıcak iş takım çeliklerinin bir kısmı yüksek oranda krom içeriğine sahip olup, genellikle mühendislik malzemesi olarak kullanılırlar [13].
Sıcak iş takım çelikleri ağırlıkla ekstrüzyon kalıplarında, bakır alaşımlarının sıcak preslenmesinde ve çelik dövme işleminde kullanılan takım malzemeleridir ve yüksek sertlik, süneklik ve iyi temperleme direnci ile karakterize edilebilirler [13].



Şekil 3.1 : Sıcak iş takım çeliği ile üretilmiş kalıp [14].

Sıcak iş takım çelikleri; ağırlıklı kullanım alanları olan hafif alaşım üretimi ve döküm kalıplarında ihtiyacı karşılayabilmek için mükemmel mekanik ve termofiziksel özellikler göstermelidirler. Bu çelikler, 200ºC'nin üzerindeki sabit sıcaklıklarda kullanılan takım çelikleri olarak bilinmektedirler. Genellikle hafif metallerin üretiminde, sıcak ekstrüzyon ekipmanlarında, plastik kalıp çeliklerinde, kalıp döküm ekipmanlarında ve kalıp insert malzemesi olarak kullanılmaktadırlar [15].
Bu çalışmada inceleyeceğimiz sıcak iş takım çelikleri kaliteleri DIN 1.2344 (X40CrMoV51), DIN 1.2714 (56NiCrMoV7) ve E38K (patent) olup; kimyasal kompozisyonları ve endüstriyel anlamda uygulama alanları aşağıda Çizelge 3.2'de belirtilmiştir.

Çizelge 3.2 : Çalışmada incelenen çeliklerin uygulama alanları [4].

	ENDÜSTRİYEL UYGULAMA ALANLARI
DIN 1.2344	Hafif metallerin basınçlı dökümü ve metal enjeksiyon preslerinde kalıp, piston, yolluk, gömlek, matris ve zımba olarak kullanıldığı gibi; plastik enjeksiyon makinalarında salyangoz, silindir ve gömlek olarak nitrasyon yapılarak kullanılır. Çok aşındırıcı plastik kalıplar ve küçük dövme kalıpları da bu kalitenin kullanıldığı uygulamalardandır.
DIN 1.2714	Bütün dövme kalıpları için standart bir çelik olup; parçalı pres kalıpları, ekstrüzyon presleri için baskı zımbaları, matris (mühre) taşıyıcıları, kovan ve benzeri takımları, koruyucu gömlekler ve sıcak makas ağızlarında da kullanılır.
E38K	Yüksek tokluğu sayesinde hafif metallerin ekstrüzyonunda ve basınçlı döküm kalıplarında; ayrıca dövme uygulamalarında da kullanılır.

3.2 Sıcak İş Takım Çeliğine Dair Mekanik Özellikler

Sıcak iş çeliklerinde aranan belli başlı özellikler; yüksek sıcaklıkta mekanik özelliklerini koruyabilmesi (Sertlik, yeterli akma ve çekme dayanımı, yeterli temper direnci vb.), yüksek sıcaklıkta yeterli aşınma direnci göstermesi ve ısıl iletkenliğinin yüksekliğidir.

Aşınma dayanımı; yüksek sıcaklık uygulamaları sebebiyle sıcak iş takım çeliklerinde en önemli mekanik özelliklerden biri haline gelmektedir. Çizelge 3.3'te çalışmada incelenen sıcak iş takım çeliklerinin kimyasal kompozisyonları gösterilmiştir.

Çizelge 3.3 : Çalışmada incelenen çeliklerin kimyasal kompozisyonları [4].

	C(%)	Cr(%)	Mo %	Ni(%)	V(%)	Si(%)	Mn(%)	S (%)
DIN 1.2344	0.40	5.30	1.40	------	1.00	1.00	------	-----
DIN 1.2714	0.56	1.10	0.50	1.70	0.10	-----	-------	-----
E38K	0.35	5.00	1.35	------	0.45	0.30	0.30	<0.003

Kullanım sırasında bazı ekstrüzyon kalıplarında çatlama veya kırılmalar meydana gelmektedir. Bunların sebepleri arasında lokal aşırı yüklenme, malzeme hataları ve takım-parça temas yüzeyindeki aşınmalar gösterilebilmektedir [16].

Bunun yanı sıra; en sık görülen mekanik çatlak yayılması; yüzey çatlaklarının ağsı yapıya gelmesiyle oluşan ısıl (sıcak) yorulma sebebiyle meydana gelir ve bu yorulmanın nedeni ağırlıklı olarak oksidasyon ve sürünmedir. İyileştirilmiş takım performansı ve takım yüzey şartlarının optimum şekilde seçilmesi; üretilen parçanın kalitesini ve takımın verimliliğini arttıracaktır [17].

Isıl yorulma özellikle basınçlı döküm kalıplarında en baskın kırılma sebebi olup; çoğu kalıbın ömrünü doğrudan etkilemektedir. Malzemenin sıcak akma dayanımı, sıcaklık direnci, ısıl iletkenlik, termal genleşme katsayısı, süneklik ve tokluk büyük oranda kimyasal kompozisyona bağlıdır. Bunun yanında; çelik üretim prosesi yüksek sünekliğe sahip malzeme elde edilmek istendiğinde oldukça kritik bir faktördür. Oldukça çeşitli takım operasyonu olmasına rağmen tüm uygulamalarda malzemenin performansını belirleyen belli başlı özellikler vardır. Bu özellikler takımın veya takım kenarlarının aniden kırılmasını önleyen tokluk ve lokal plastik deformasyonu önlemek için çok yüksek olması gereken sertlik şeklinde sıralanabilir. Belli uygulamalarda; örneğin kalıp döküm gibi; sünekliğin takım ömrü üzerindeki etkisi, tokluğun etkisinden daha fazladır. Sıcak iş takım çeliklerinin sertlik ve tokluk özellikleri, vakum ısıl işlem prosedürü ile yakından ilişkilidir [18].

3.3 Sıcak İş Takım Çeliklerinin Seçimi

Sıcak iş takım çeliklerinin seçilmesinde üretim parametreleri, çeliğin ısıl işleme uygunluğu, proses şartları gibi kriterler göz önünde bulundurulur. Proses sırasında kullanılacak sıcak iş takım çeliğinin seçimi, çeliğin maruz kaldığı şartlar göz önünde bulundurularak yani kalıp ömrünü sınırlandıran birincil hasar mekanizmasına gereken direnci gösterecek doğrultuda yapılmalıdır. Örneğin hafif metal ekstrüzyonu yapılacak ise; sıcak iş takım çeliğinin yüksek sıcak direncinin ve yüksek aşınma dayanımının iyi olması gerekmektedir. Eğer proseste darbe söz konusu ise tokluk, yani darbeyi sönümleme yetisi önemli bir parametre haline gelmektedir.

Isıl yorulmaların gözlendiği proseslerde ise ESR (cürufaltı yeniden ergitme), VAR (vakum ark yeniden ergitme) gibi ikincil metalurjik işlemler ile çeliğin yüksek saflığa ve homojenliğe sahip olması tercih edilmektedir.

Bunların haricinde; kullanılacak sıcak iş takım çeliğinin ısıl işleme uygun olup olmaması da seçimi etkileyen bir kriterdir [1].

4. ISIL İŞLEM

4.1 Isıl İşlem Tanımı ve Uygulaması

Bir malzemenin fiziksel ve bazı durumlarda kimyasal özelliklerini geliştirmek ve değiştirmek için kullanılan termal prosesler bütününe genel adıyla ısıl işlem denmektedir. En çok kullanıldığı alan metalurji olup; cam ve seramik gibi malzemeler için de uygulanmaktadır.

Metalik malzemelere uygulanan ısıl işlem; malzemenin ergime sıcaklığına göre değişiklik gösteren çok yüksek sıcaklıklara ısıtılması ve ardından soğutulması esasına dayanır ve bu işlemler sonucunda malzeme sertleşir veya yumuşar.

Isıl işlem yardımıyla geliştirilen mekanik özellikler; sertlik, dayanım, aşınma direnci, darbe dayanımı, ısıl dayanım ve korozyon direnci olarak sayılabilir.

Malzemenin sertliğinin artması ile aşınma dayanımı artar ancak kırılganlık da aynı ölçüde fazlalaşır. Isıl işlem sırasında; sıcaklık, zaman ve atmosferin eş zamanlı kontrolü ile en uygun şartların oluşması sağlanarak istenilen nitelikteki malzeme üretilir.

Uluslararası Isıl İşlem Federasyonu'nun tanımıyla ısıl işlem; malzemenin tamamının veya bir kısmının termal döngüye maruz kaldığı ve bunun sonucunda özelliklerinin değiştiği operasyonlar bütünüdür. Malzemenin kimyasal özellikleri bu işlemler sırasında değişebilmektedir [19].

Eğer çeliğin kimyasal kompozisyonu elverişli ise, ısıl işlem sayesinde istenen karakter değişikliği sağlanabilmektedir, bu da çeliğin ısıl işleme uygunluğunun göstergesidir.

Bu ve buna benzer pekçok tanım farklı standartlarda verilmiş olup; bu açıklamalara istinaden, ısıl işlemin çelik özelliklerini değiştirme hususunda önemli bir araç olduğu açıkça görülmektedir [19].

Çelik kalitesi kadar ısıl işlemin ve ısıl işlem sonrasında elde edilen mikroyapıların bir takım çeliğinin mekanik ve termal özelliklere etkisi son derece büyüktür [1].

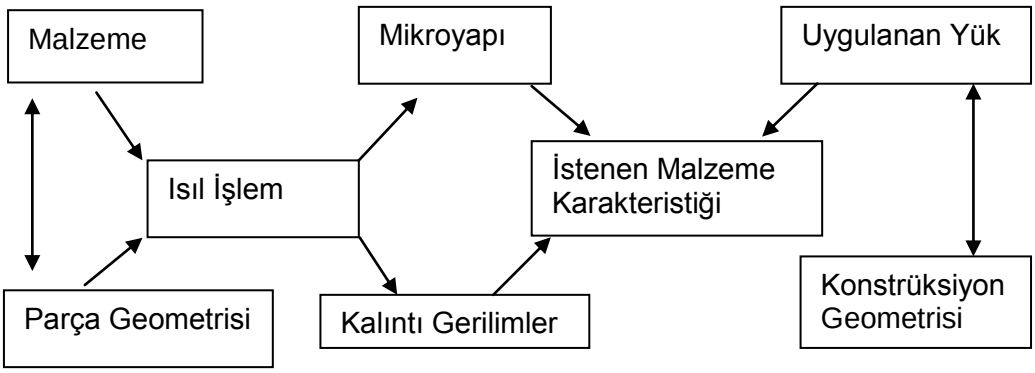
Mikroyapı detaylı olarak tanımlanmış ise, malzemenin tüm özellikleri bilinmekte ve böylelikle özellikleri değiştirmek için kullanılacak ısıl işlem metodu belirlenebilmektedir.

Dayanım ve tokluk gibi mekanik özellikler mikroyapısal oluşumların bir fonksiyonu olarak davranır ve mikroyapı istenen özelliklere ulaşılmasını garanti eder, buna bağlı olarak; uygun ısıl işlem sayesinde istenen mikroyapıda parçayı elde etmek mümkündür [19].

Isıl işlem türleri şu şekilde sıralanabilir;

- Sertleştirme (Vakum, yağ, su, hava)
- Temperleme (Menevişleme)
- Tavlama
  - Yumuşatma Tavlaması
  - Gerilim Giderme Tavlaması
  - Difüzyon Tavlaması
  - Yeniden Kristalleşme Tavlaması
  - Hidrojen Tavlaması
- Sementasyon
- Nitrasyon
- Oksidasyon
- Karbonitrasyon
- Islah
- Normalizasyon
- Sıfır altı işlemler (Subzero)
- İndüksiyonla Sertleştirme
- Yaşlandırma

Şekil 4.1'de Isıl İşlem ile özelliklerin belirlenmesini etkileyen faktörlerin birbirleriyle ilişkisi görülmektedir.



Şekil 4.1 : Isıl işlem ile özelliklerin belirlenmesini etkileyen faktörlerin birbirleriyle ilişkisi [19].

4.2 Sıcak İş Takım Çeliğinin Isıl İşlemi

Takım çeliklerinin kullanıldığı kalıpların ömrü pekçok faktöre bağlı olarak değişir; bunlar arasında kalıp çeliğinin kimyasal kompozisyonu, çeliğin üretim prosesi, kalıbın boyutu ve dizaynı, kalıp yapım teknikleri, üretim şartları, kalıbın bakımı ve ısıl işlem sayılabilir [20].

Sıcak iş takım çeliklerinin metalurjik ve mekanik özellikleri kritik şekilde ısıl işleme bağlıdır. Çoğu sıcak iş takım çeliği yüksek sertleşebilirliğe sahip olmasına ve havada sertleştirilebilmesine rağmen; mekanik özelliklerdeki iyileştirmenin, soğutma hızının arttırılmasıyla yükseltilebileceği bilinmektedir. Sertliğe ek olarak; bu prosesler malzemenin tokluğuna ve temper direncine de etki etmektedir.

Kalıp sektöründe; örneğin uç noktalarda seyreden sıcaklık döngülerinin, kalıbın çalışma yüzeyindeki çatlama-kırılmaların en önemli etmeni olduğu bölgelerde; malzeme özelliklerinin optimizasyonu çok kritik bir noktadır. Ayrıca; malzemenin temper direncinin de büyük oranda ısıl işleme bağlı olduğu görülmüştür [21].

Sıcak iş takım çeliklerinde beklenen performansı sadece kaliteli çelik kullanarak elde etmek mümkün değildir. Çelik kalitesi kadar ısıl işlemin ve ısıl işlem sonrasında elde edilen mikroyapıların bir sıcak iş takım çeliğinin mekanik ve termal özelliklere etkisi son derece büyüktür. Yüksek sıcaklık direnci, tokluk ısıl yorulma direnci gibi özellikleri östenitleme, soğutma ve temperleme işlemleri ile olumlu ya da olumsuz olarak değiştirmek mümkündür [1]. Karmaşık biçimli ve değişik kesitli takım ve kalıplara, su verme işleminde oluşacak kasılma ve çarpılmayı önlemek için mutlaka gerilim giderme tavı uygulanır. Bu işlem kaba mekanik işlemlerden sonra ve ince mekanik işlemlerden önce yapılır [2].

5. SICAK İŞ TAKIM ÇELİKLERİNDE HASAR

5.1 Aşınma Mekanizması

5.1.1 Aşınma türleri ve aşınmaya etki eden faktörler

Birbiriyle temas halindeki iki yüzey arasındaki göreceli bir hareket sonucu, yüzeylerden birinden veya her ikisinden bir miktar malzemenin yer değiştirmesine veya kayba uğramasına aşınma adı verilir [12].

Endüstriyel malzemelerde hatalara ve kırılmalara yol açan, katı yüzeylerde parça kopması olarak tanımlanır. Genelde; martensitik dönüşüm çeliğin aşınma dayanımını arttırmak için uygulanır, buna rağmen martensitik yapıya sahip pek çok çelik malzeme beklenenden önce kırılır ve bu parçaların kırılma sebebi genellikle aşınmaya bağlıdır [22].

Aşınma adheziv aşınma ve abrasiv aşınma olarak iki grupta incelenebilir.

Abrasiv aşınma; malzemenin yüzeyine sürtünen sert metalin yüzeyden parça koparması şeklinde tanımlanabilir. Abrasiv aşınma, ASTM standartlarına göre sert partiküllerin katı bir yüzey boyunca hareket etmesiyle oluşur [12].

Abrasiv aşınma esnasında yüzeylerin bozulması, dışarıdan yüzeyler arasına toz, talaş veya doğrudan eş çalışan malzemelerin yüzeyinde oksidasyon sonucu oluşan sert parçacıkların etkisi altında meydana gelir [2].

Abrasiv aşınmanın pek çok türü mevcuttur. Aşınmaya dirençli olması beklenen malzemenin özellikleri aşınma tipine bağlı olduğundan, bu türlerin kısa bir açıklaması faydalı olacaktır. Başlıca üç abrasiv aşınma türü bulunmaktadır; bunlar oymalı aşınma, yüksek gerilimli abrasiv aşınma ve düşük gerilimli abrasiv aşınma olarak sıralanabilir [23].

Aşınma yüzeydeki malzeme kaybı olduğundan, yüzeyde hasara yol açan bir mekanizma olarak göze çarpar. Yüzeydeki bu malzeme kaybı, adhezyon, abrezyon, erozyon ve yüzey yorulması gibi çeşitli mekanizmalar sonucu meydana gelebilir [12].

Adheziv aşınma bir metal yüzeyinin başka bir metal yüzeyindeki bağıl hareketi sırasında, birbirlerine kaynaklanmış veya yapışmış yüzeylerdeki pürüzlerin kırılması sonucu ortaya çıkan aşınma türü olup, en yaygın aşınma türlerinden biridir. Aniden meydana gelen hasarlarda çok etkili olmayıp, hasarı hızlandırır etkisi de çok şiddetli değildir.

Adhesiv aşınma hasarları genellikle uygun olmayan malzemelerin seçilmesi veya yağlayıcı sistemin yeterli olmayışı sebebiyle meydana gelir. Yüzeye etki eden yükün azaltılmasıyla bu aşınma türü azalabilir, ayrıca malzemenin sertliğinin arttırılması da adhesiv aşınmayı mümkün olduğunca giderebilir [12].

Aşınma çok geniş tanımlara sahiptir. ASLE (American Society of Lubrication Engineers)' ye göre aşınma; mekanik etkilerle malzeme kaybı olarak tanımlanır. OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) araştırma grubuna göre, yüzeyde relatif hareketin sonucu olarak cisimden sürekli malzeme kaybı olarak tanımlanmaktadır. Alman DIN 50320 normuna göre ise aşınma, kullanılan malzemelerin başka malzemelerle (Katı, Sıvı, Gaz) teması neticesinde mekanik etkenlerle yüzeyden küçük parçacıkların ayrılması sonucu meydana gelen ve istenilmeyen yüzey bozulması şeklinde tanımlanmaktadır [2].

Aşınma mekanizmasını tetikleyen ve oluşumunda rol oynayan faktörleri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

Metalurjik Değişkenler:

a- Sertlik,

b- Tokluk,

c- Mukavemet,

d- Mikroyapı,

e- Kimyasal Bileşim

Çalışmayla İlgili Değişkenler:

a- Temas Eden Malzeme,

b- Basınç veya Mukavemet,

c- Hız,

d- Sıcaklık,

e- Yüzey Düzgünlüğü.

Diğer Faktörler;

a- Yağlama

b- Korozif Etki [11].

5.2 Isıl Yorulma

Isıl yorulma sıcak iş takım çeliklerinin kullanıldığı uygulamalarda, örneğin metal enjeksiyon ve ekstrüzyonda, prosesin doğası gereği oluşan bir hasardır ve tekrarlı termal çevrim sonrasında kalıp yüzeyindeki ısı gradyenine bağlı meydana gelen ısıl genleşmeye bağlı gerilim hasarı oluşturmaktadır. Çeliğin termal genleşme katsayısına bağlı olarak ısısı artan yüzeyin aniden genleşmesi; genleşen bölgede

bası gerilmesine ve soğuk olan alt katmanda da çeki gerilmesine sebep olur. Bu gerilimler malzemenin akma mukavemetinin üzerine ulaştığında ise yüzeyde kılcal yorulma çatlakları oluşur ve ilerleyerek hasara yol açar [24].

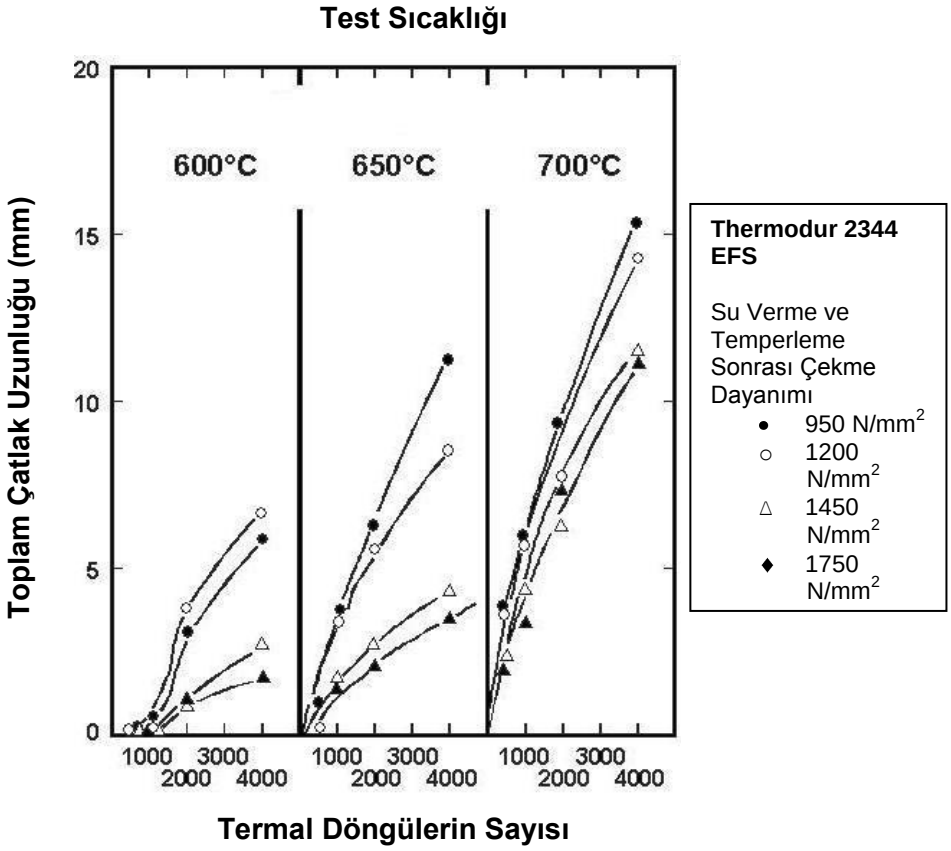
Isıl yorulma hasarı sırasında tekrar eden termal çevrimin kalıp yüzeyinde oluşturduğu ağ yapısındaki çatlaklar olup, bu çatlaklar topyekün kırılmanın başlangıcını oluşturabilmektedir. Isıl yorulma daha çok metal enjeksiyon kalıplarında kalıp ömrünü sınırlandıran bir hasar mekanizması olup; dövme ve ekstrüzyon uygulamalarında da karşılaşılmaktadır [1].

Isıl işlem mikroyapısı da sıcak iş takım çeliklerinde yorulma hasarını etkileyen önemli bir faktördür. R. Ebner ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada, ısıl yorulma çatlaklarının ilk aşamada tane sınırlarındaki sekonder karbür çökelmesi noktalarında başladığı ve ilerleyen çevrimlerde ise beynit plakalarının arayüzeylerinde başladığını, en son martensitik plaka arayüzeylerinde çatlak oluşumunun meydana geldiğini ve ısıl yorulmaya en dayanıklı mikroyapının martensitik faz olduğunu tespit etmişlerdir [24].

Sıcak Yırtılma; sıcak iş takım çeliklerinin kullanıldığı uygulamalarda; örneğin alüminyum enjeksiyon kalıplarında, oluşması muhtemel bir hasardır. Yüksek sıcaklıklardaki (~1100 F) alüminyum, oksijenin yüzeye difüze olması suretiyle intergranüler oksidasyona ve kılcal yüzey çatlaklarına sebebiyet verir. Bu da yüzeyde kırılmalara yol açar. Sertleştirme ve Temperleme sonrasında çekme dayanımının ısıl yorulma çatlaklarına etkisi Şekil 5.1'de görülmektedir.

Sıcak yırtılma probleminin kritik olduğu durumlarda uygun ısıl işlem ve metalurjik proseslerin kontrolü ile,

- Uniform mikroyapı
- Homojen karbür dağılımı
- Uniform martensitik yapı
- Yüksek sertlik
- Yüksek tokluk sağlanması mümkün hale gelir [25].



Şekil 5.1 : Sertleştirme ve Temperleme sonrasında çekme dayanımının ısıl yorulma çatlaklarına (sıcak yırtılma) etkisi [26].

5.3 Kırılma mekanizması

Kırılma hasarı sıcak iş takım çeliklerinde çeliğin sahip olması gerek akma mukavemetinin üzerinde yapılan yüklemelerde meydana gelen hasar tipi olup; çeliğin sahip olduğu mikroyapıya ve yükleme şekline bağlı olarak interkristalin yada transkristalin şekilde ilerleyebilir.

Kırılma hasarı malzemedeki herhangi bir kusurdan ya da ısıl işlemden kaynaklanacağı gibi dizayn, çalışma şartları ya da çeliğin sahip olduğu sertlik değerinde olması gerekenden daha düşük çekme mukavemetine sahip olmasından kaynaklanabilmektedir [1]. Şekil 5.2'de kırık yüzey örneği görülmektedir.

Şekil 5.2 : Kırık yüzey örneği - üst kısımda gevrek, alt kısımda sünek kırılmaya örnek [27].

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1 Deneyin Amacı

Bu çalışmada amaçlanan; farklı kompozisyon ve özelliklere sahip sıcak iş takım çeliklerinin ısıl işlem prosesleri sonrasında mekanik özelliklerindeki değişimi, sertlikleri ve mikroyapıları incelemek, çıkan sonuçlara bağlı olarak, kimyasal bileşim, ısıl işlem ve üretim parametrelerinin malzemenin özelliklerine etkisinin tespit edilmesidir.

6.2 Numunelerin Hazırlanması

Tez çalışmasında incelenecek 3 farklı kaliteden numuneler kesilerek, darbe ve aşınma deneylerine uygun hale getirildi ve DIN 1.2714 (AISI L6) kalite, DIN 1.2344 (AISI H13) kalite ve E38K (patent) kalite numune hazırlandı. Çeliklerin yüzeylerinin temiz olması için hepsi frezelendi ve her gruptaki numunelere 'V' şeklinde standart çentik açıldı. Çentikli numuneler Schmolz Bickenbach Çelik A.Ş. firmasının ısıl işlem tesisinde vakum sertleştirme ve temperleme işlemine tabi tutularak belli bir sertliğe ulaşmaları sağlandı. Isıl işlem gören numunelere İ.T.Ü. laboratuvarlarında darbe deneyi uygulandı ve numuneler farklı sıcaklıklarda kırılarak darbe dirençleri belirlendi.

6.3 Deneylerin Yapılışı

6.3.1 Isıl işlem prosesleri

Çalışmada incelenen E38K, DIN 1.2714 ve DIN 1.2344 kalite çelik numunelere çentik açıldıktan sonra tüm malzemeler endüstriyel kullanım sertliklerine gelecek şekilde, Çizelge 6.1'deki koşullarda ısıl işlem prosesine tabi tutulmuştur. Isıl işlemlerin yapıldığı fırınlar Schmetz marka vakum fırını olup; 10^{-3} mbar hassasiyetle çalışmaktadırlar.

Çizelge 6.1 : İncelenen çeliklere uygulanan ısıl işlem parametreleri.

	Östenitleme Sıcaklığı	Östenitleme Süresi	Temperleme Sıcaklığı	Temperleme Süresi	Soğutma Basıncı
E38K	1020 °C	15 dakika	585 °C	6 saat	4 bar
DIN 1.2714	870 °C	15 dakika	480 °C	5 saat	6 bar
DIN 1.2344	1030 °C	15 dakika	585 °C	6 saat	4 bar

6.3.2 Aşınma deneyleri

Üç farklı kaliteden alınan numunelere alümina ve çelik bilya ile ileri geri aşınma deneyleri yapılmıştır. Aşınma testlerinde 10 N yük uygulanarak 12 mm aşınma izi oluşturulmuştur. Aşınma testi 3600 çevrim (86400 mm) olarak gerçekleştirilmiştir. Aşınma testi sonrasında numune yüzeyinde oluşan izin genişliği ve derinliği Veeco Dektak marka profilometre ile ölçülmüştür.

6.3.3 Darbe deneyleri

10x10x50 cm boyutlarında 3 farklı kaliteden numuneler hazırlanarak üzerlerine stnadart V çentik açılmış olup; Mohr&Federhoff marka darbe deney cihazı ile test yapılmıştır. Darbe deneyleri oda sıcaklığında, 200°C ve 360°C'de gerçekleştrilmiştir. Her bir çelik için her bir sıcaklıkta üç deney yapılmış ve bu üç deney sonucunun ortalaması darbe direnci olarak değerlendirilmiştir. Darbe deneyleri sonrasında kırılma yüzeyleri Leica stereo mikroskopta incelenmiştir.

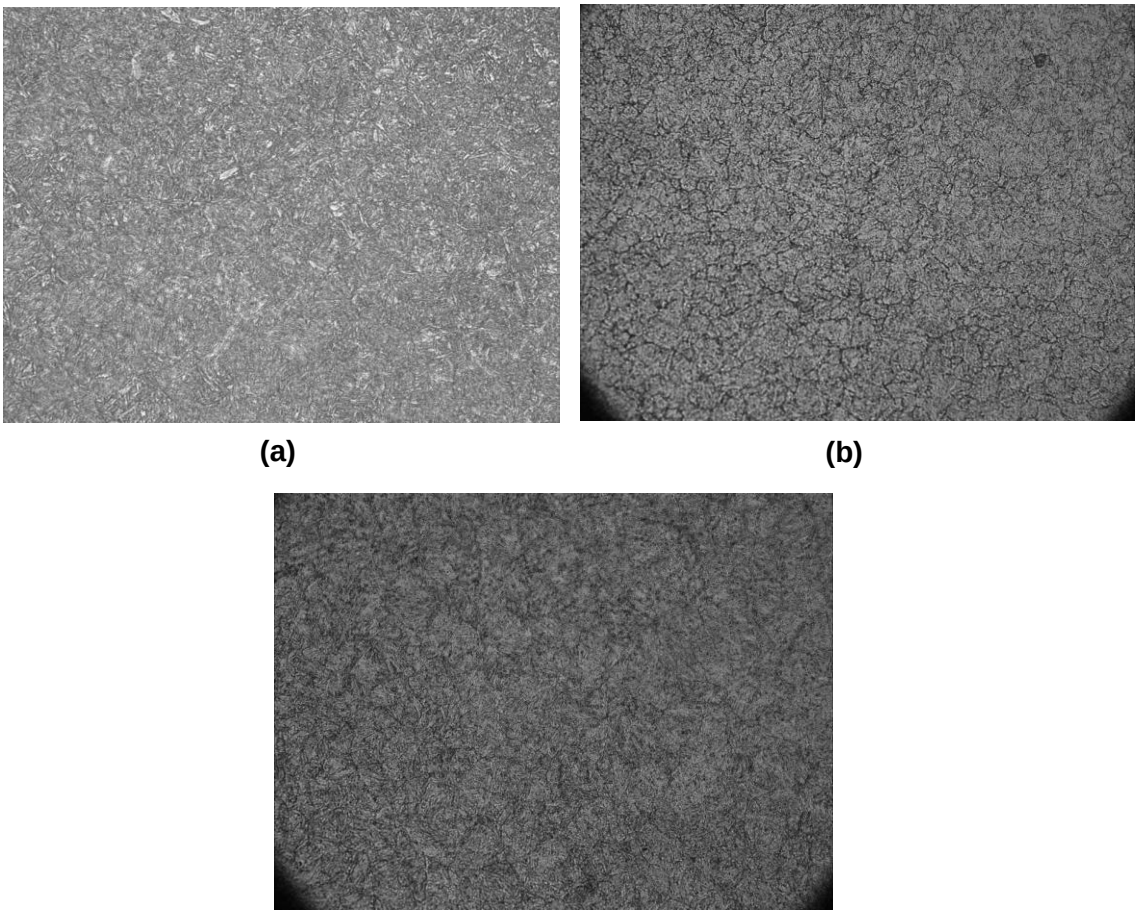
6.3.4 Mikroyapı inceleme çalışmaları

Oda sıcaklığında darbe deneyine tabi tutulan DIN 1.2344, DIN 1.2714 ve E38K kalite numunelerken kesilen parçalar bakalite alma ve zımparalama-parlatma işlemleri ile metalografik olarak hazırlanmıştır. Standart yöntemlerle yapılan zımparalama ve parlatma işlemleri sonrasında optik mikroskopta incelenmiştir.
İncelenen çeliklerin mikroyapı bileşenlerini saptmak amacıyla X-ışınları difraksiyon analizleri de gerçekleştirilmiştir. X-ışınları analizlerinde CuKα radyasyonu kullanılmıştır. X-ışınları analizi GBC marka cihaz ile 2°C/dk tarama hızında ile 20-120°C aralığında gerçekleştirilmiştir.

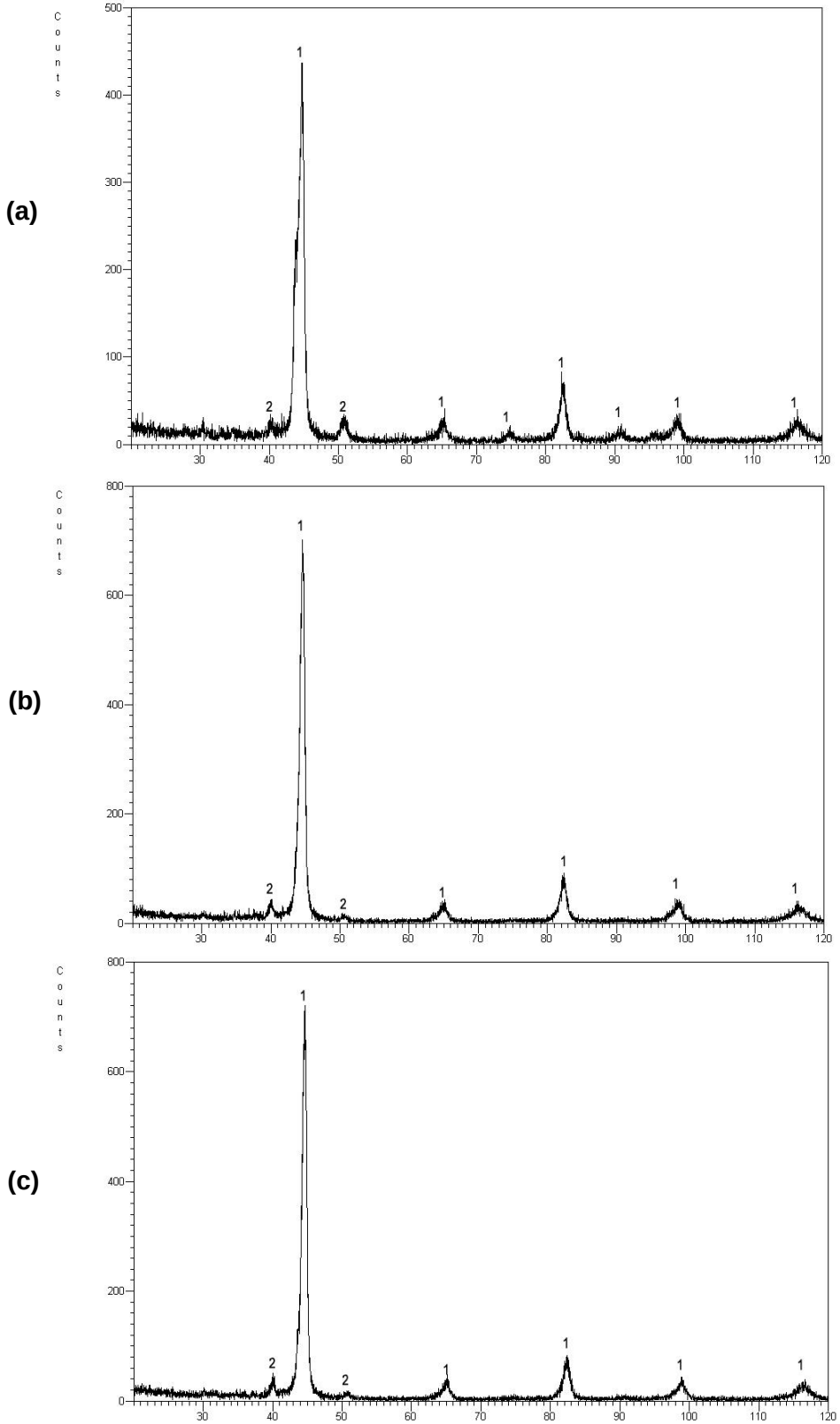
7. DENEYSEL SONUÇLAR

7.1 Mikroyapı Görüntüleri ve Sertlik Ölçümleri

DIN 1.2714, DIN 1.2344 VE E38K kalite malzemelerin her birinden alınan numunelere ait mikro yapı resimleri ve X-ışınları paternleri sırası ile Şekil 7.1 ve Şekil 7.2'de verilmiştir. Her üç tip çelik de martensitik yapıda olup, mikroyapısında krom karbür partikülleri de bulundurmaktadır.



Şekil 7.1 : (a) DIN 1.2714, **(b)** DIN 1.2344 ve **(c)** E38K kalite malzemelere ait 500X büyütmede optik mikroskop mikroyapı fotoğrafları.



Şekil 7.2 : (a) DIN 1.2714, **(b)** DIN 1.2344 ve **(c)** E38K kalite malzemelere ait XRD paternleri (1: martensit , 2: krom karbür).

Üç kaliteden alınan farklı numunelere ait sertlik değerleri Çizelge 7.1'de gösterilmiştir. Malzemelerin makrosertlik değerleri ölçülmüş olup; değerler HRC cinsinden verilmiştir. Makro sertlik ölçüm sonuçlarına göre en yüksek sertlik, DIN 1.2344, en düşük sertlik ise E38K kalite çeliklerde elde edilmiştir.

Çizelge 7.1 : DIN 1.2714, DIN 1.2344 ve E38K numunelere ait sertlik değerleri.

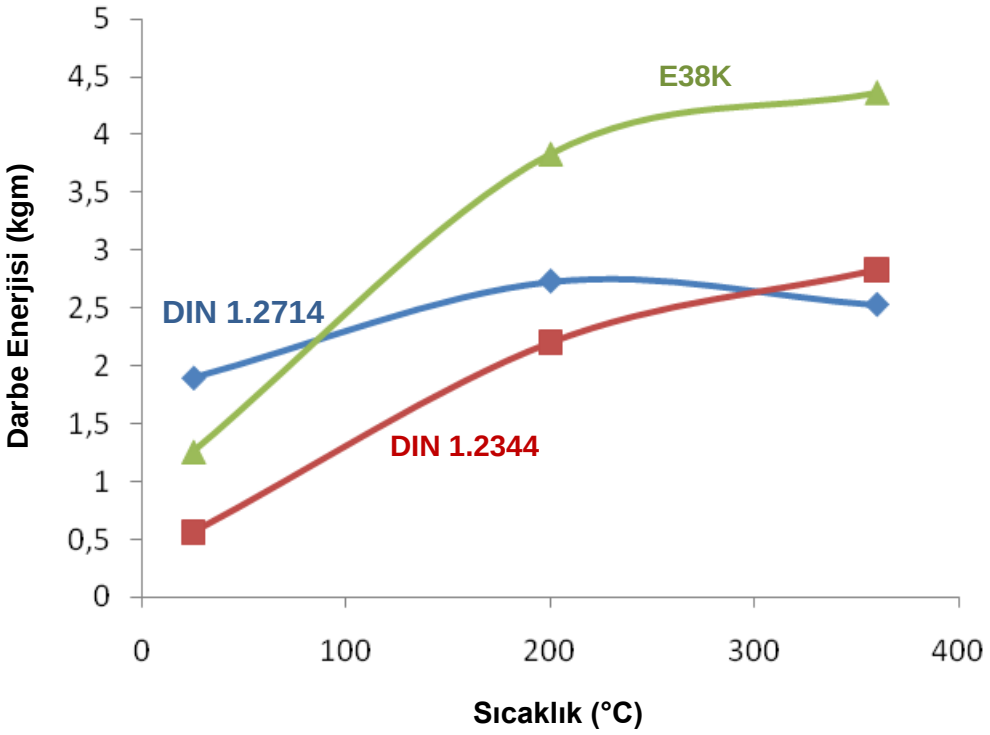
Malzeme	Makrosertlik (HRC)
DIN 1.2714	46.9
DIN 1.2344	47.8
E38K	45.9

7.2 Darbe Deneyi Sonuçlarının Kıyaslanması

Numunelere uygulanan darbe deneyi sonucunda bulunan değerler Çizelge 7.2'de gösterilmiştir. Şekil 7.3'de ise kırılma enerjilerinin sıcaklıkla değişimi verilmiştir.

Çizelge 7.2 : E38K, DIN 1.2714 ve DIN 1.2344 kalite numunelere ait darbe deney sonuçları.

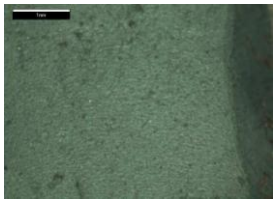
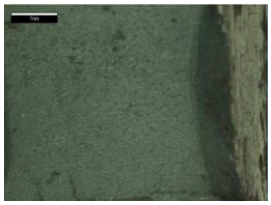
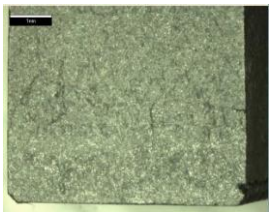
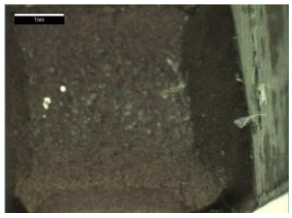
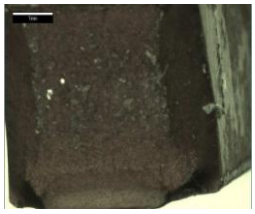
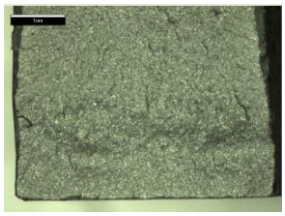
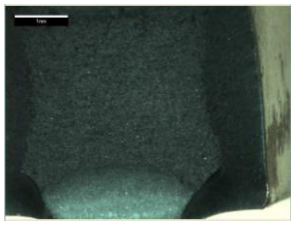
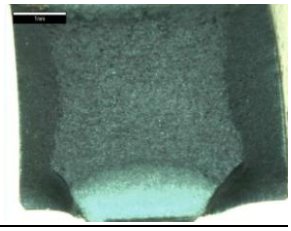
Malzeme	Darbe Deney Sonucu (kgm)		
	Oda Sıcaklığı	200ºC	360ºC
DIN 1.2714	1,9	2,73	2,53
DIN 1.2344	0,56	2,2	2,83
E38K	1,26	3,83	4,36



Şekil 7.3 : E38K, DIN 1.2714 ve DIN 1.2344 kalite numunelere ait darbe deneyi sonuçlarının sıcaklıkla değişimi.

Çizelge 7.2'te görüldüğü üzere; oda sıcaklığında tüm numuneler düşük enerji seviyelerinde kırılmakta olup; sıcaklık arttıkça süneklikleri artmaktadır. DIN 1.2714 kalite numunenin absorbe ettiği enerji miktarı, sıcaklık artışı ile birlikte fazla bir değişim göstermemiştir, ancak E38K kalite malzemenin soğurduğu enerji miktarı, sıcaklıkla beraber oldukça fazla bir artış göstermiştir. DIN 1.2344 kalite malzemede ise soğrulan enerji miktarı oda sıcaklığından 200ºC'ye geçişte ani bir artış göstermekle birlikte, artan sıcaklıkla birlikte artmaktadır.

Şekil 7.4'de 2714, DIN 1.2344 ve E38K kalite numunelerin oda sıcaklığında, 200ºC ve 360ºC'deki darbe deneyleri sonucu oluşan kırılma yüzeyleri görülmektedir. Buna göre kırılma yüzeylerinin sünek kırılma görünümü artan deney sıcaklığı ile artmaktadır.

Malzeme	DARBE DENEY SICAKLIĞI		
	Oda Sıcaklığı	200°C	360°C
DIN 1.2714			
DIN 1.2344			
E38K			

Şekil 7.4 : DIN 1.2714, DIN 1.2344 ve E38K kalite numunelerin oda sıcaklığında, 200ºC ve 360ºC'deki darbe deneyleri sonucu oluşan kırılma yüzeyleri.

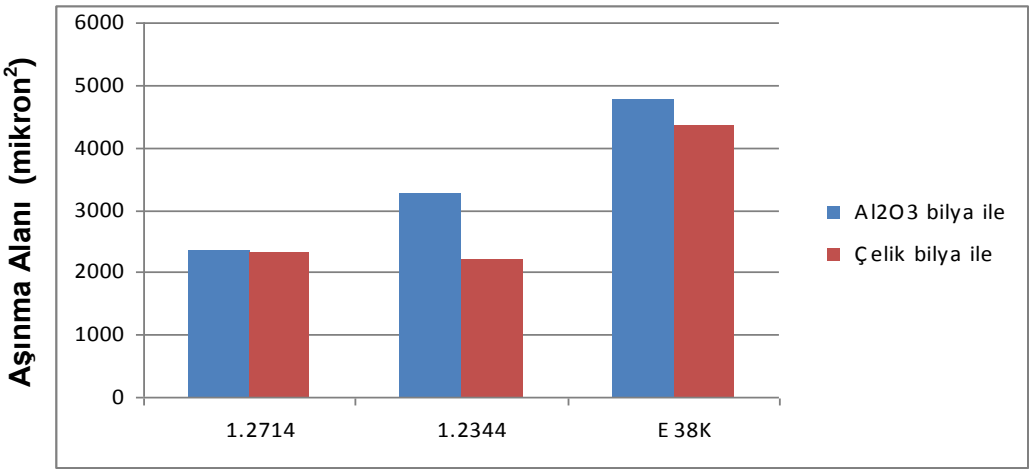
7.3 Aşınma Deneyi Sonuçlarının Kıyaslanması

Yapılan aşınma deneyi sonrasında elde edilen aşınma iz alanları (aşınma miktarları) Çizelge 7.3'de belirtilmiştir. Çizelgede belirtilen aşınma değerlerinden de görüldüğü üzere; E38K kalite malzeme en fazla aşınan kalite olup; DIN 1.2344 kalite orta seviyede ve DIN 1.2714 kalite numuneler de en az seviyede aşınmış olarak görülmektedir. Yapılan sertlik ölçümlerinde en düşük değere sahip olduğu belirlenen E38K kalite malzeme, buna orantılı olarak en yüksek aşınma oranını göstermiştir. DIN 1.2714 ve DIN 1.2344 numunelerden, daha yüksek sertliğe sahip olan DIN 1.2344 kalite malzeme DIN 1.2714 kalite malzemeye göre daha fazla aşınma oranına sahiptir.

Şekil 7.5'te ise alümina ve çelik bilye ile aşındırılan numunelerin aşınma alanları grafiği görülmektedir. Çizelge 7.4'te numunelerin alümina ve çelik bilye ile aşınma iz derinlikleri kıyaslamasının rölatif değerleri bulunmaktadır. Şekil 7.6 ise rölatif aşınma değerlerinin grafiğini göstermektedir.

Çizelge 7.3: Numunelerin Alümina ve Çelik bilya ile aşınma iz derinlikleri.

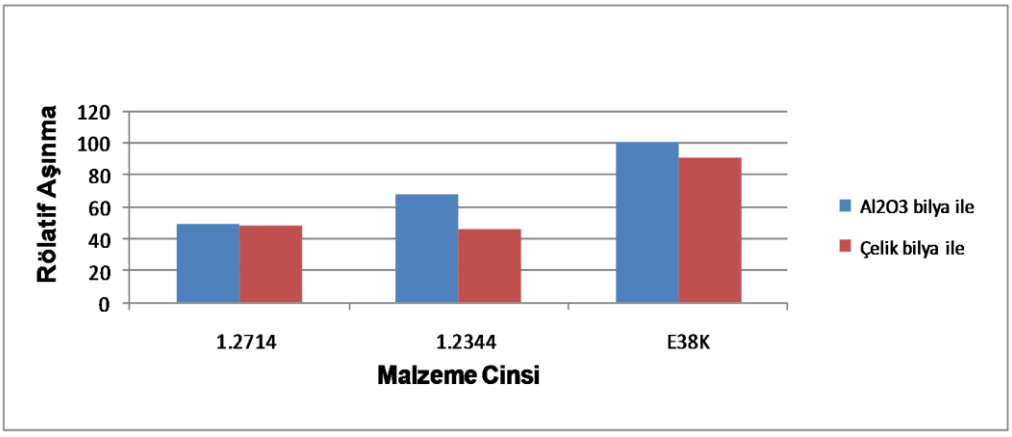
Malzeme	AŞINMA ALANI (mikron^2)	
	Al_2O_3 bilya ile	Çelik bilya ile
DIN 1.2714	2356.04	2317.53
DIN 1.2344	3252.24	2216,29
E38K	4778.75	4355.30



Şekil 7.5 : Alümina ve Çelik bilya ile aşındırılan numunelerin aşınma alanları.

Çizelge 7.4 : Numunelerin Alümina ve Çelik bilya ile aşınma iz derinlikleri kıyaslamasının rölatif değerleri.

Malzeme	Rölatif Aşınma Oranı (%)	
	Al_2O_3 bilya	Çelik bilya
DIN 1.2714	49.3	48.5
DIN 1.2344	68.1	46.4
E38K	100	91.1



Şekil 7.6 : Numunelerin rölatif aşınma oranlarının kıyaslaması.

8. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında; farklı kimyasal kompozisyonlara ve mikroyapılara sahip 3 farklı sıcak iş takım çeliklerine sertlik, darbe dayanımı, aşınma dayanımı ve mikroyapı incelemeleri yapılmıştır.

Bu incelemeler sonucunda DIN 1.2344 kalite malzemenin en yüksek sertlik değerine sahip olduğu, DIN 1.2714 ve E38K kalite malzemelerin ise daha düşük sertlik değerlerinde olduğu belirlenmiştir. X-ışınları testi ile malzemelerin tümünde martensitik yapı ve kromkarbür bulunduğu tespit edilmiştir.

Aşınma deneyleri sonucunda, en yüksek aşınma E38K kalite malzemede gözlemlenmiş olup; DIN 1.2344 ve DIN 1.2714 malzemelerde nispeten yüksek aşınma dirençleri tespit edilmiştir.

Darbe deneyleri neticesinde; tüm malzemelerin oda sıcaklığında daha düşük enerjilerde kırıldıkları gözlemlenmiştir. DIN 1.2714 kalite malzemenin absorbe ettiği enerji miktarı sıcaklık artışı ile birlikte ani değişim göstermemiş olup, E38K malzemede ise sıcaklık artışı ile birlikte absorbe edilen enerji değeri ani olarak artış göstermiştir. DIN 1.2344 malzemede ise oda sıcaklığından 200ºC'ye geçişte ani bir yükselme tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

[1] **Asan, N.Ö.,** 2008. Sıcak İş Takım Çeliklerinde Hasar Oluşumu ve Önlemleri, *Yüksek Lisans Tezi,* Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[2] **Çarkıt, G.,** 2009. Plazma Nitrürlenmiş H11 Sıcak İş Takım Çeliğinin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi,* Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.

[3] **Kayır, Y.Z.,** 2001. 1. Demir Çelik Sempozyumu ve Sergisi, Zonguldak.

[4] **Schmolz Bickenbach Çelik A.Ş.,** 2009. Takım Çelikleri El Kitabı.

[5] **Roberts, G., Krauss, G. and Kennedy, R.,** 1998. *Tool Steel*, Fifth Edition, ASM International, USA.

[6] **Bonek, M., Dobrzanski, L.A.,Hajduczek, E. and Klimpel, A.,** 2006. Strucure and Properties of Laser Alloyed Surface Layers on the Hot-Work Tool Steel, *Journal of Materials Processing Technology*, **175,** 45-54.

[7] **Onur, C. ve İnem, B.,** 2003. AISI W1 Ve L2 Soğuk İş Takım Çeliklerinin Düşük Sıcaklıklarda (120°C) Menevişlenmesi İle Optimum Tokluğun Geliştirilmesi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., **18,** 109-124.

[8] **Url-1** <*http://www.ssm.co.nz/products/cold-work-tool-steel.cfm*>,alındığı tarih, 18.02.2010.

[9] **Ertürk, İ.,**1994**,** Takım Çeliklerinin Kaynağı,Mersin Üniversitesi (Seminer), 19-21 Ekim 1994.

[10] **Erdem, S.,** Yüksek Karbon İçeriğine Sahip, Yüksek Kromlu, Manganlı ve Alaşımsız Düşük Karbonlu Çeliklerin Aşınma Davranışlarının Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi, 2006. FÜBAP Proje No: 1071.

[11] **Zeytin, S. ve Kurttepeli, H.,** TMMOB Met. Müh Oda. Çelik Seçimi Eğitimi, 23-24 Mayıs 2008.

[12] **Çalgın, M.,** 1996. Bazı sıcak iş takım çeliklerinin yüksek sıcaklık aşınma davranışları, *Yüksek Lisans Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[13] **Taktak, Ş.,** 2007. Some mechanical properties of borided AISI H13 and 304 steels, *Materials & Design,* **28,** 1836-1843.

[14] **Url-2** <*http://www.turkcadcam.net/rapor/malzeme-secimi/index2.html*>, alındığı tarih, 19.02.2010.

[15] **Mayer, S.,** Scheu, C., Leitner, H., Clemens, H. and Siller I., 2007. Influence of the Cooling Rate on the Mechanical Properties of a Hot-work Tool Steel, *BHM.,* **152.**

[16] **Sommitsch, C., Sievert, R., Wlanis, T. and Redl, C.,** 2007. Lifetime evaluation of two diferent hot work tool steels in aluminium extrusion, *Computational Material Science,* **43**, 82-91

[17] **Sjöström, J. and Bergström, J.,** 2004. Thermal fatigue testing of chromium martensitic hot work tool steel after different austenitizing treatment, Journal of Materials Processing Technology, **153-154,** 1089-1096.

[18] **Leskovsek, V., Sustarsic,B. and Jutrisa,G.,** 2006. The influence of austenitizing and tempering temperature on the hardness and fracture toughness of hot-worked H11 tool steel, *Journal of Materials Processing Technology,* **178,** 328-334.

[19]**Steel, A**., Handbook for Materials Research and Engineering, Volume 1 Fundamentals, Edited by Verein Deutscher Eisenhüttenleute.

[20] **Roche, P., Sandberg, O. and Yücel, Ö.,** 2006. Heat Treatment of Hot Work Tool Steels in Vacuum Furnace.

[21] **Klobčar, D., Tušek, J. and Taljat, B.,** 2008.Thermal fatigue of materials for die- casting tooling, *Materials Science and Engineering,***472**, 198-207.

[22] **Bahrami, A., Anijdan,S.H., Golozar, M.A., Shamanian, M. and Varahram, N.,** 2005. Effects of conventional heat treatment on wear resistance of AISI H13 tool steel , *Wear,* **258,** 846-851.

[23] **Neale, E., J.,** 1995**.** Tribology Handbook**,** 1995, UK.

[24] **Asan N.Ö., Keleşoğlu, E. ve Duman, M.,** 2009**.** H13 ESR Takım Çeliğinin Isıl Yorulma Davranışına Isıl İşlem Sonrası İşleme Tekniğinin ve Yüzey İşlemlerinin Etkisi, 14-15 Kasım 2009.

[25] **Pye, D**., Pye Metallurgical Consulting, Meadville.

[26] **Fuchs, K.D.,** Hot Work Tool Steels With Improved Properties for Die-Casting Applications, Edelstahl Witten-Krefeld GmbH, Quality Department Tool Steel, Germany.

[27] **Asan N.Ö.,** Tekrarlanan Gaz Nitrasyon İşleminin AISI H13 Ekstrüzyon Kalıbının Kırılma Hasarına Etkisi, 7-9 Kasım 2007.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Zeynep ALBARAZ

Doğum Yeri ve Tarihi : İstanbul / 23.08.1984

Lisans Üniversite : İstanbul Teknik Üniversitesi

Yayın Listesi :

♦ Kurttepeli, Y., **Albaraz, Z.**, Günyüz, M., 2009. Östenitleme Sıcaklığının ve Kriyojenik İşlem Parametrelerinin Soğuk İş Takım Çeliklerinin Yapısal Özelliklerine Etkisi. 3. Isıl İşlem Sempozyumu ve Sergisi, Kasım 14-15, 2009 İstanbul, Türkiye.