

**T.C.
MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI**

UÇAK BAKIM

**UÇAK MALZEMELERİ
525MT0001**

Ankara, 2012

- Bu modül, mesleki ve teknik eğitim okul/kurumlarında uygulanan Çerçeve Öğretim Programlarında yer alan yeterlikleri kazandırmaya yönelik olarak öğrencilere rehberlik etmek amacıyla hazırlanmış bireysel öğrenme materyalidir.
- Millî Eğitim Bakanlığınca ücretsiz olarak verilmiştir.
- **PARA İLE SATILMAZ.**

İÇİNDEKİLER

AÇIKLAMALAR	iii
GİRİŞ	1
ÖĞRENME FAALİYETİ-1	3
1. MALZEME TANIMI ve ÇEŞİTLERİ	3
1.1. Madensel Malzemeler	3
1.1.1. Demirli Malzemeler	4
1.1.2. Demirsiz Malzemeler	5
1.2. Madensel Olmayan Malzemeler	6
1.2.1. Organik Malzemeler	6
1.2.2. İnorganik Malzemeler	7
1.3. Malzeme Seçerken Dikkat Edilecek Hususlar	8
UYGULAMA FAALİYETİ	11
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	13
ÖĞRENME FAALİYETİ-2	14
2. DEMİR CİNSİ UÇAK MALZEMELERİ	14
2.1. Uçakta Kullanılan Genel Alaşımli Çeliklerin Nitelikleri, Özellikleri ve Tanımlamaları	16
2.2. Alaşımli Çeliklerin Isıl İşlemleri ve Uygulamaları	28
2.2.1. Tavlama	28
2.2.2. Normalleştirme	29
2.2.3. Temperleme	30
2.2.4. Sertleştirme	31
2.2.5. Yüzey Sertleştirme	31
2.3. Demir Esaslı Malzemelerin Sertlik, Çekme Gücü, Yorulma ve Çarpma Direnci Deneyleri	33
2.3.1. Sertlik Ölçme Yöntemleri	33
2.3.2. Çekme Deneyleri	40
2.3.3. Yorulma Deneyi	41
2.3.4. Çarpma Direnci Deneyi (Çentik ve Darbe Deneyi)	41
UYGULAMA FAALİYETİ	44
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	48
3. DEMİR CİNSİ OLMAYAN UÇAK MALZEMELERİ	49
3.1. Uçakta Kullanılan Genel Anlamda Demir Olmayan Malzemelerin Nitelikleri, Özellikleri ve Tanımlamaları	50
3.1.1. Alüminyum	50
3.1.2. Titanyum	56
3.1.3. Bakır ve Alaşımları	58
3.1.4. Kurşun ve Alaşımları	59
3.1.5. Lehimler	60
3.1.6. Magnezyum ve Alaşımları	60
3.1.7. Kompozitler	61
3.2. Demir Olmayan Malzemelerin Isıl İşlemleri ve Uygulamaları	61
3.2.1. Alüminyum Alaşımlarının Isıl İşlemi	61
3.2.2. Solüsyona Alma Isıl İşlemi	63
3.2.3. Titanyum Alaşımlarının Isıl İşlemi	65

3.3. Demir Olmayan Malzemelerin Sertlik, Çekme Gücü, Yorulma ve Çarpma Direnci	
Konularında Deneyleri.....	66
3.3.1. Sertlik Ölçme.....	66
UYGULAMA FAALİYETİ	67
ÖLÇE VE DEĞERLENDİRME.....	69
MODÜL DEĞERLENDİRME	70
CEVAP ANAHTARLARI.....	71
AYNAKÇA.....	73

AÇIKLAMALAR

KOD	525MT0001
ALAN	Uçak Bakım
DAL/MESLEK	Alan Ortak
MODÜLÜN ADI	Uçak Malzemeleri
MODÜLÜN TANIMI	Uçak üzerinde bulunan demirli ve demirsiz malzemeler, bu malzemeler üzerinde ısıl işlem ve mekanik testler ile ilgili temel bilgi ve becerilerin kazandırıldığı bir öğrenme materyalidir.
SÜRE	40/24
ÖN KOŞUL	Bu modülün ön koşulu yoktur.
YETERLİK	Madensel malzemeler üzerinde ısıl işlem ve mekanik testleri yapmak
MODÜLÜN AMACI	Genel Amaç Gerekli ortam sağlandığında madensel malzemeler üzerinde ısıl işlem ve mekanik testleri TSE, DIN, MKE, SAE ve ISO standartlarına uygun olarak yapabileceksiniz. Amaçlar: 1. Uçak üzerinde kullanılan malzemeyi bakım dokümanlarında (SRM, IPC) belirtildiği şekilde kullanılacağı yere göre seçebileceksiniz. 2. Demir cinsi malzemelerde ısıl işlem ve mekanik testleri TSE, DIN, MKE, SAE ve ISO standartlarına uygun olarak yapabileceksiniz. 3. Demir cinsi olmayan malzemelerde ısıl işlem ve mekanik testleri TSE, DIN, MKE, SAE ve ISO standartlarına göre tekniğine uygun olarak yapabileceksiniz.
EĞİTİM ÖĞRETİM ORTAMLARI ve DONANIMLARI	Ortam: Sınıf, işletme, kütüphane, hangar gibi bireysel veya grupta çalışabileceğiniz tüm ortamlar Donanım: Uçak malzeme çeşitleri, takım ve avadanlıklar
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	Modül içinde yer alan her öğrenme faaliyetinden sonra verilen ölçme araçları ile kendinizi değerlendireceksiniz. Öğretmen modül sonunda ölçme aracı (çoktan seçmeli test, doğru-yanlış testi, boşluk doldurma, eşleştirme vb.) kullanarak modül uygulamaları ile kazandığımız bilgi ve becerileri ölçerek sizi değerlendirecektir.

GİRİŞ

Sevgili Öğrenci,

Günümüzdeki hızla gelişen teknolojik çalışmalar içerisinde malzeme bilimi önemli bir yer tutmaktadır. Malzeme bilimi sayesinde insanların isteklerine cevap verebilecek yeni malzemeler üretilmekte veya mevcut malzemelere yeni özellikler kazandırılmaktadır.

Malzemeler kendilerinden bir şeyler oluşturulan veya yapılan maddelerdir. Medeniyetin başlangıcından beri malzemeler enerji ile birlikte insanın yaşam standardını yükseltmek için kullanılmıştır.

Malzemelerin üretilmesi ve kullanılabilir ürün hâline getirilmesi bizim bugünkü ekonomimizin büyük bir kısmını oluşturmaktadır.

Bu modülde havacılık alanında kullanılan demirli ve demirsiz malzemeler ile bunlara uygulanan ısı işlem ve malzeme üzerinde yapılan çekme, yorulma ve sertlik deneylerini öğreneceksiniz.

ÖĞRENME FAALİYETİ-1

AMAÇ

Uçak üzerinde kullanılan malzemeyi bakım dokümanlarında (SRM, IPC) belirtildiği şekilde kullanılacağı yere göre seçebileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- Çevrenizde gördüğünüz nesnelere bazılarını incelemeye alarak bu nesnelerin yapımında hangi malzemelerin niçin kullanılmış olabileceğini sınıf içinde tartışınız.

1. MALZEME TANIMI VE ÇEŞİTLERİ

Bir amacı gerçekleştirmek için kullanılan her madde malzeme adını alır. Malzemeler kendilerinden bir şeyler oluşturulan veya yapılan maddelerdir.

Endüstri, ham maddeleri işlenmiş duruma getirmek için uygulanan eylemlerin ve bu eylemleri uygulamak için kullanılan ve araçların tümüne verilen addır. Ham madde ve bunun işlenmesi için kullanılan araçları malzeme olarak düşünecek olursak endüstrideki eylemlerin yerine getirilmesi için malzemenin gerekli olduğu sonucuna varırız.

Malzemeler yaşamın her yerinde karşımıza çıkar. Buna yaşamın kaynağı sayılabilecek doğa da dâhildir. Zaten malzemenin ilk hâli doğadadır. Bu nedenle malzemeyi çeşitlerine ayırırken doğada bulunan malzemelerden başlayarak sınıflandırma yapılır.

Doğadaki malzemeler, madensel ve madensel olmayan malzemeler olmak üzere iki ana grup içinde sınıflandırılır.

1.1. Madensel Malzemeler

Yer kabuğunun çeşitli bölgelerinde bazı iç ve dış doğal etkenler nedeniyle toplanan, ekonomik yönden değer taşıyan mineral bileşimine maden adı verilir. Bu özellikleri taşıyan her şey madensel malzeme olarak adlandırılır.

Endüstride kullandığımız tüm metaller madensel malzeme grubuna girer çünkü metallerin yapımında kullanılan filizler yer kabuğundan alınır. Bu filizler yer kabuğunun iç ve dış etkileri sonucu oluşmuştur. Diğer yandan metallerin madensel malzeme grubuna girmesinde en önemli etken, belirgin özelliklerinin olmasıdır. Bunlara metalik özellikler demektir. Resim 1.1’de doğal elementlerden gümüş görülmektedir.



Resim 1.1: Gümüş

Metalik özellikler deyince aklımıza şunlar gelmelidir:

- Biçimlendirilebilir.
- Isı ve elektriği iyi iletir.
- Kristal yapıya sahiptir.
- Işığı geçirmeyip yansıtır.
- Oda sıcaklığında katı hâdedir
- Her metalin kendine özgü rengi vardır.



Resim 1.2: Bakır, gümüş ve altın

Her metalin kendine özgü bir rengi vardır. Yukarıdaki Resim 1.2’de bakır, gümüş ve altın görülmektedir.

Metalik özellikleri taşıyan her malzeme metaldir. Metaller içerisinde belki de en çok kullanılanlardan biri demir alaşımlı olanlardır. Bundan ötürü madensel malzemeler, demirli ve demirsiz olarak iki ana grup içerisinde ele alınır.

1.1.1. Demirli Malzemeler

Madensel malzemelerin çoğu tabiatta saf olarak bulunmaz. Tabiatta buldukları şekline filiz adı verilir. Bu filizler başka metal filizleriyle birliktedir. Metal filizlerini bu şekilde kullanamaz. Çeşitli aşamalardan geçirilerek üretimde ihtiyaçlara cevap verecek niteliklere dönüştürülmesi sonucunda kullanılır. Endüstrinin sonsuz ihtiyaçlarına cevap verecek malzemeler geliştirme gereksinimi, metallerin tek başına kullanılmasını sınırlamaktadır. Bunlardan dolayı bir ya da birden fazla metalin bir arada bulunduğu yeni metallerin ortaya çıkması kaçınılmazdır. Bunlara genel olarak alaşım adı verilir. Bir alaşımı meydana getiren metallerden biri, diğerlerine oranla daha fazladır. Bu fazla olan metal, ana metal olarak düşünülmelidir. Demirli malzemeler olarak ele alınan gruptakilerin iç yapısında ana metal olarak demir bulunmaktadır. Demirli malzemelere çeliği örnek verebiliriz. Resim 1.3’te rulo hâline getirilmiş çelik silindirler görülmektedir. Çeliğin birçok alt grubu vardır. Bunlardan biri olan paslanmaz çeliğin sadece 120 çeşidinin olduğunu düşünürsek madensel

malzemelerden demirli olanlarının neden tek başına büyük bir gruba sahip olduğunu kolayca kavramış olursunuz.



Resim 1.3: Çelik silindirler

Demirli malzeme üretiminde kullanılan ham demirdir. Ham demir, çeşitli işlemlerden geçirilerek çelik ve dökme demir üretilir. Dolayısıyla çelik ve dökme demir, demirli malzemelerin çeşitlerini oluşturur.

1.1.2. Demirsiz Malzemeler

Metalik özelliklere sahip olup madensel malzeme grubu içine giren ancak demir olmayan tüm metaller, demirsiz malzeme olarak adlandırılır. Demirsiz malzemelerin içinde dikkate değer demir yoktur. Demirsiz madensel malzemeler oldukça fazladır. Uçak yapımında kullanılan malzemelerin bir çoğunu demirsiz madensel malzemeler oluşturur. Bunlardan en çok kullanılanı alüminyum alaşımlarıdır.

Demirsiz madensel malzemeler şunlardır:

Kurşun	Kalay
Altın	Manganez
Platin	Magnezyum
Bakır	Kobalt
Nikel	Vanadyum
Krom	Gümüş
Volfram	Alüminyum



Resim 1.4: Uçak montaj hattı

1.2. Madensel Olmayan Malzemeler

Madensel malzemelerin dışındaki tüm malzemeler, madensel olmayan malzemeler grubuna girer. Genel olarak metalik özellik taşımayan tüm malzemeler madensel olmayan malzemelerdir. Madensel olmayan malzemeleri organik ve inorganik olarak iki grupta inceleyebiliriz.

1.2.1. Organik Malzemeler

Tüm canlıların vücut parçalarına organ denir. Canlılar öldüğünde bu organlar birikip katılaştır ve organik bir kütle hâline gelir. Uzun süreçler sonucu oluşan bu kütlelerden üretimde kullanılan malzeme elde ediliyorsa bu malzemelere organik malzeme denir.

Organik malzemeler de kendi arasında doğal ve yapay olarak ikiye ayrılır. Resim 1.5'te doğal organik malzemelerden reçine ve selüloz görülmektedir.



Resim 1.5: Reçine ve selüloz

➤ Doğal organik malzemeler

Odun	Karbonlu bileşikler
Mantar	Doğal gazlar
Selülozlar	Reçine
Deri	Kauçuk
Petrol	Lifler
Şellak	Basit karbonhidratlar

➤ Yapay organik malzemeler

- Yapay kağıt
- Yapay lifler
- Yapay reçineler
- Selüloz
- Yapay deri



Resim 1.6: Yapay deri

1.2.2. İnorganik Malzemeler

Tabiatta inorganik malzemelerin oluşumunda hayvan ve bitkilerin hiçbir etkisi yoktur. Bu nedenle organik olmayan anlamına gelen inorganik malzemeler olarak adlandırılmaktadır.

İnorganik malzemeler doğal ve yapay olmak üzere iki gruba ayrılır:

➤ **Doğal inorganik malzemeler**

- Kil
- Tuz
- Filiz
- Mineral



Resim 1.7: Taşlar

➤ **Yapay inorganik malzemeler**

- Çimento
- Beton
- Tuğla
- Porselen
- Emaye
- Grafit
- Kireç
- Cam
- Seramik
- Karbür



Resim 1.8: Seramik ve emaye

1.3. Malzeme Seçerken Dikkat Edilecek Hususlar

Endüstride üretim bir ekip işini gerektirir. Bu ekipte çalışan herkesin malzeme bilgisinin çok iyi olması beklenmez. Bu işle uzman bir kişinin ilgilenmesi gerekir. Küçük işletmelerde bu uzman kişiye gerek olmayabilir ama büyük işletmelerde malzemeci işin olmazsa olmazıdır. Genel olarak büyük endüstri kuruluşlarında malzeme seçimi bu kişilere bırakılır. Mekanikçilerin belirlediği yük ve dayanımlara karşı koyacak malzemeyi seçmek onun görevidir. Yeterli teknik ve malzeme bilgisi olmayan bir eleman dökme demirin kullanılacağı yerde çeliği, çeliğin kullanılacağı yerde alüminyum kullanırsa bunun sonunda can ve mal kaybına neden olabilir.

Malzeme seçiminde uyulması gereken kurallar vardır. Bunlar;

- Malzemenin temin edilebilme kolaylığı,
- Ekonomiklik değeri,
- Üretim işlerine uygunluk,
- Korozyon direnci,
- Fiziki, teknolojik ve mekanik özellikleridir.

- **Malzemenin temin edilebilme kolaylığı:** Bir işin yapılmasında kullanılacak malzeme şekil, miktar, ölçü bakımından her istenildiği zaman bulunabilmelidir. Seçilen malzeme o anki tüm ihtiyaçlarımızı karşılama bile piyasada üretilmeyen ya da az bulunan bir malzemeyi seçmenin sıkıntısını ilerde yaşayabiliriz. Üretim süreklilik arz eder. İşletmenin sürekliliği için malzemenin kolay temin edilebilme özelliğini hiçbir zaman akıldan çıkarılmamalıdır.
- **Ekonomiklik değeri:** Ekonomi faktörü, bir malzemenin seçiminde fiyat ve kullanma zamanıyla birlikte değerlendirilmelidir. Bir malzemenin fiyatı değerlendirme için yeterli bir ölçüt değildir. Bir malzemede fiyat ve kullanma zamanı birlikte değerlendirilmelidir. Malzeme, ödenen paraya karşılık bir süre hizmet vermelidir. Bu malzeme veya makine parçası ödenen paraya karşılık belli süre hizmet vermemişse ekonomik olduğundan söz edemeyiz. Herhangi bir malzemeye veya makine elemanına başlangıçta ödediğimiz para fazla olsa da malzeme veya makine parçası görevini aksatmadan uzun süre hizmet etmişse malzemenin ekonomik olduğunu söyleyebiliriz. Malzeme seçiminde, malzemenin ekonomik olup olmadığına malzeme seçimindeki diğer faktörler de değerlendirilerek karar verilir.

- **Üretim işlerine uygunluk:** Bir makine elemanını yapmak için piyasada çok çeşitli malzeme bulmak mümkündür. Ancak bu malzemelerden bir tanesi en uygun olanıdır. Biz de en uygun olan malzemeyi bulmalıyız. Üretim işlerinde seçeceğimiz malzeme metalse biçimlendirilebilme özelliğine sahip olmalı, gerektiğinde yüzeyinden talaş kaldırılabilir. Resim 1.9’da motor bloku üzerinden talaş kaldırma işlemi görülmektedir. Seçeceğimiz malzeme üretim işlerine uygun olmazsa zaman ve ekonomik kayba uğrarız.



Resim 1.9: Motor bloku üzerinden talaş kaldırma işlemi

- **Korozyon direnci:** Korozyon, metallerin içinde buldukları ortam ile kimyasal veya elektrokimyasal reaksiyonlara girerek metalik özelliklerini kaybetmeleridir. Metallerin büyük bir kısmı su ve atmosfer etkisine dayanıklı olmayıp normal koşullar altında dahi korozyona uğrar. Bazı soy metaller hariç bütün metal ve alaşımları az veya çok korozyona uğrar. Korozyon olayı endüstrinin her bölümünde kendini gösterir. Uçaklar, direkler, taşıtlar, gemiler, borular ve birçok makine parçası korozyon olayı ile karşı karşıyadır. Bütün bu yapılar korozyon nedeniyle beklenenden daha kısa sürede işletme dışı kalmakta ve büyük ekonomik kayıplar meydana gelmektedir. Malzeme seçerken çalışacağı yere göre korozyon direnci yüksek malzemeler seçmeliyiz.



Resim 1.10: Korozyona uğramış piston



Resim 1.11: Korozyona uğramış tel halat

- **Fiziki, teknolojik ve mekanik özellikleri**
 - **Fiziksel özellikler:** Malzemenin boyutları, nem oranı, ergime sıcaklığı, magnetik özellikleri vb.
 - **Teknolojik ve mekanik özellikler:** Çekme, basma, burulma, kesilme dayanımları, sertlik, elastiklik vb.

UYGULAMA FAALİYETİ

Verilen kriterlere göre malzemeleri seçme işlemini yapınız.

İşlem Basamakları	Öneriler
<ul style="list-style-type: none">➤ Madensel malzeme çeşitlerinden birer adet numune alınız.➤ Madensel olmayan malzeme çeşitlerinden birer adet numune alınız.➤ Malzemenin temin edilebilme kolaylığına göre malzemeleri seçiniz.➤ Ekonomiklik değerine göre malzemeleri seçiniz.➤ Üretim işlerine uygunluğuna göre malzemeleri seçiniz.➤ Korozyon direncine göre malzemeleri seçiniz.➤ Fiziki, teknolojik ve mekanik özelliklerine göre malzemeleri seçiniz.	<ul style="list-style-type: none">➤ Numunenin seçme işlemine uygunluğunu kontrol ediniz.➤ Malzemenin çeşitli fiziksel ve kimyasal özelliklerini araştırınız.➤ Numunenin korozyona uğramış kısımlarını tespit ediniz.

KONTROL LİSTESİ

Bu faaliyet kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız becerileri Evet, kazanamadığınız becerileri Hayır kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

Değerlendirme Ölçütleri		Evet	Hayır
1	Madensel malzeme çeşitlerinden birer adet numune aldınız mı?		
2	Madensel olmayan malzeme çeşitlerinden birer adet numune aldınız mı?		
3	Malzemenin temin edilebilme kolaylığına göre malzemeleri seçtiniz mi?		
4	Ekonomiklik değerine göre malzemeleri seçtiniz mi?		
5	Üretim işlerine uygunluğuna göre malzemeleri seçtiniz mi?		
6	Korozyon direncine göre malzemeleri seçtiniz mi?		
7	Fiziki, teknolojik ve mekanik özelliklerine göre malzemeleri seçtiniz mi?		

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme sonunda “Hayır” şeklindeki cevaplarınızı bir daha gözden geçiriniz. Kendinizi yeterli görmüyorsanız öğrenme faaliyetini tekrar ediniz. Bütün cevaplarınız “Evet” ise “Ölçme ve Değerlendirme”ye geçiniz.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki cümlelerin başında boş bırakılan parantezlere, cümlelerde verilen bilgiler doğru ise D, yanlış ise Y yazınız.

1. () Bir amacı gerçekleştirmek için kullanılan her madde malzeme adını alır.
2. () Madensel malzemelerin çoğu tabiatta saf olarak bulunur.
3. () Doğadaki malzemeler, madensel ve madensel olmayan malzemeler olarak iki ana grup içinde sınıflandırılır.
4. () Demirli malzemeler olarak ele alınan gruptakilerin iç yapısında ana metal olarak demir bulunur.
5. () Demirli malzemelere çeliği örnek verebiliriz.
6. () Alüminyum, demirli malzeme grubuna girer.
7. () Odun doğal inorganik malzemedir.
8. () Malzeme seçiminde uyulması gereken kurallardan biri de malzemenin temin edilebilme kolaylığıdır.
9. () Korozyon, metallerin içinde buldukları ortam ile kimyasal veya elektrokimyasal reaksiyonlara girerek metalik özelliklerini kaybetmeleridir.
10. () Genel olarak metalik özellik taşımayan tüm malzemeler madensel malzeme grubu içine girer.

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçiniz.

ÖĞRENME FAALİYETİ-2

AMAÇ

Demir cinsi malzemelerde ısıtım işlem ve mekanik testleri TSE, DIN, MKE, SAE ve ISO standartlarına uygun olarak yapabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- Demir, çelik ve dökme demir malzemelerden birer parça temin ederek bunlar arasındaki temel farklılıkları çeşitli gözlem ve incelemelerle belirlemeye çalışınız.

2. DEMİR CİNSİ UÇAK MALZEMELERİ

Demir, kimyasal simgesi (Fe), yoğunluğu $7,88 \text{ g/cm}^3$ ergime derecesi $1535 \text{ }^\circ\text{C}$, kaynama noktası $3000 \text{ }^\circ\text{C}$, 67 Brinell sertlik değeri ile oldukça yumuşak çekme mukavemeti 27 kg/mm^2 , gri renkli, miktatsızlanabilen, elektrik ve ısıyı iyi iletebilen bir metaldir. Yer kabuğunun yaklaşık %5'ini teşkil eden demir kolay biçimlendirilebilen, çeşitli alaşım türleriyle en fazla kullanılan metal malzemedir.



Resim 2.1: Demir madeni

Demir saf hâliyle çalışma hayatında kullanılmaz çünkü saf demir üretimde kullanılmaya elverişli değildir. Başta karbon olmak üzere krom, nikel, kobalt, manganez, vanadyum, molibden, volfram, kükürt, silisyum, fosfor, azot gibi katkı elemanları katılarak yeni özellikler kazandırmak suretiyle iş parçalarının yapımında kullanılır.

Alüminyumdan sonra doğada en çok bulunan metaldir. Metal üretiminde kullanılan ham demirlere filiz ya da cevher adı verilir. Filizler yer kabuğundan çıkarılır. Demir filizleri dünyanın birçok yerinde yüzeye yakın olduğundan, açık tavanlı ocak sistemiyle çıkarılır. Filizlerin bazılarında demir oranı %50' ye yakındır.

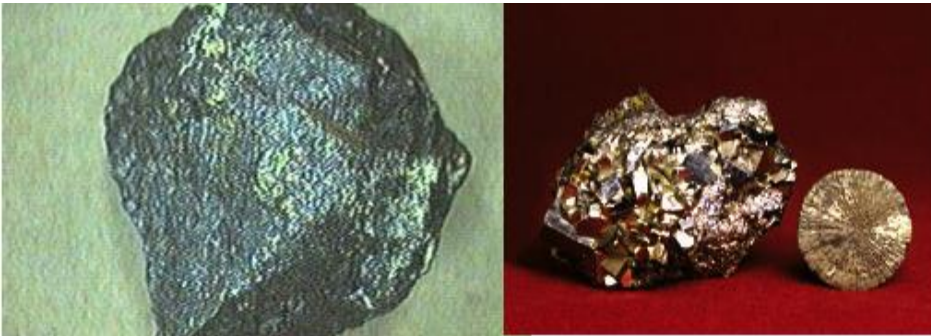
Tabiatta demir ihtiva eden pek çok filiz (cevher) bulunmaktadır ancak bunlardan işleme kolaylığı ve içerdikleri demir yüzdesi sebebiyle özellikle beş çeşit demir filizi işlenmektedir. Bu demir filizleri magnetit, hematit, limonit, siderit, pirittir.

- **Magnetit:** Tabiatta çok fazla bulunmasına ve içerisindeki demir oranının yaklaşık %70 olmasına rağmen dünya demir üretiminin sadece %5'i bu filizden sağlanmaktadır. Magnetit filizi Fe_3O_4 bileşiminde, yoğunluğu 5 kg/dm^3 ve rengi kurşuni siyahtır. Manyetik olması sebebiyle yüksek fırında tıkanmalara neden olduğundan işlenmesi oldukça zor ve masraflıdır.
- **Hematit:** Dünya demir üretiminde en çok kullanılan filizdir. Yaklaşık %60 oranında demir ihtiva eder. Doğada Fe_2O_3 bileşiminde bulunur ve yoğunluğu $5,3 \text{ kg/dm}^3$ tür. Kırmızı, kırmızı-kahverengi, siyah, çelik mavisi olmak üzere değişik renkleri vardır.



Resim 2.2: Hematit, limonit ve siderit filizleri

- **Limonit:** Yaklaşık % 40 oranında demir ihtiva eden ve hematit filizinden sonra en sık işlenilen bir filizdir. Temel olarak hematit filizinin su ile olan $Fe_2O_3 + H_2O$ bileşimindedir. Yeryüzünde geniş bir alana yayılmıştır.
- **Siderit:** Demir oranı %35 olan bir filizdir. Doğada $FeCO_3$ bileşiminde karbonatlı olarak bulunur. Bu filiz içerisinde nikel, kalsiyum magnezyum da bulunmaktadır. Karbonat ihtiva ettiği için yüksek fırında işlenirken kireç taşı kullanmayı gerektirmez.
- **Pirit:** Demir ve kükürt ihtiva eden FeS_2 bileşiminde bir filizdir. Yüksek fırına atılmadan önce kükürdü yakılmalıdır. Demire kırılmalık özelliği verdiği için kükürt istenmeyen bir maddedir.



Resim 2.3: Magnetit ve pirit filizleri

2.1. Uçakta Kullanılan Genel Alaşımli Çeliklerin Nitelikleri, Özellikleri ve Tanımlamaları

İçerisinde % 1,7'ye kadar karbon, % 1'e kadar mangan % 0,5 kadar silisyum bulunan kükürt ve fosfor oranı da % 0,05'ten az olan demir karbon alaşımıdır. Çelik içindeki karbon miktarı çeliğin özelliklerinde önemli ölçüde değişimlere neden olur. Karbon oranı arttıkça sert ve kırılğan olur. Günümüzde modern binaların, köprülerin, otomobillerin, uzay araçlarının makinelerin ve ev araçlarının yapımında çelik kullanılır.



Resim 2.4: Uçak iniş takımı

- **Çelik üretim metotları:** Ham demir içinde yüksek oranda karbon ve kısmen de refakat elemanları bulunur. Refakat elemanlarından silisyum ve mangan % 0,8 değerini aşmadığı sürece çelik de bulunabilir. Kükürt ve fosfor her oranda zararlıdır ve mümkün olduğu kadar malzemedan uzaklaştırılması lazımdır.

Çelik üretiminde, karbon miktarını istenilen değere düşürmek, demir refakat elemanı olan fosfor ve kükürdü uzaklaştırmak gerekir. Demir refakat elemanlarını ham demirden uzaklaştırmak için ham demir içine hava üflenerek yakılması mümkündür.

Oksidasyon için gerekli oksijen çeşitli şekillerde sisteme verilir. Böylece çelik üretim yöntemleri ortaya çıkar.

Sıvı hâldeki ham demir ile temas eden oksijen, demirle reaksiyona girer. Bu reaksiyon sonunda demir oksit oluşur (FeO). Demir oksit, demir içinde çözünür. Demir refakat elemanlarıyla tepkimeye girer. Oksijen, demir oksitten demir refakat elemanlarına geçer. Demir redüklenir refakat elemanları ise oksitlenir.

Tüm bu reaksiyonlar sonucunda ham demir iç yapısında bulunan karbon baca gazı olarak, silisyum ve mangan fazlalığı cüruf olarak, kükürt cüruf ve baca gazı olarak, fosfor ise banyo içinde çözünerek istenilen oranlara indirilir. Eskiden bu işlem demircilerin demiri dövmesiyle elde edilirdi.

Çelik üretim yöntemleri şunlardır:

- Pota çelik üretim sistemi
- Elektrik ark çelik üretim sistemi
- Siemens martin çelik üretim sistemi
- Oksijen konvertörle çelik üretim sistemi
- Endüksiyonla çelik üretim sistemi çelik üretim sistemi



Resim 2.5: Pota çelik üretim sistemi ve elektrik ark çelik üretim sistemi

➤ **Çeliklerin sınıflandırılması:** Üretim metotlarına göre, kullanma alanlarına göre, kaliteye göre ve karbon oranına göre sınıflandırabiliriz.

- **Düşük karbonlu çelikler:** Bu çelikler, % 0,30 oranına kadar karbon içerir ve çok yumuşak ve yumuşak çelikler olmak üzere iki gruba ayrılır. Çok yumuşak çelikler; % 0,07 ile % 0,15 arasında karbon içerir ve soğuk şekillendirmeye elverişlidir. Yumuşak çelikler; % 0,15 ile % 0,30 oranında karbon içerir. Çok yaygın olarak kullanılan alaşımsız çeliklerdir. Çok iyi kaynak edilebilir ancak su verme yöntemiyle iyi sertleştirilemez. Telgenliğe müsait olduğundan emniyet tellerinin yapımında kullanılır.



Resim 2.6: Emniyet teli

- **Orta karbonlu çelikler:** Bu çelikler % 0,30 ile % 0,50 oranları arasında karbon içerir. Isıl işlem için çok uygun çeliklerdir yani bu çeliklerin yapı ve özellikleri ısıl işlemle büyük ölçüde değiştirilebilir. Bu çelikler, karbon oranlarına göre genel dövme çelikleri, mil çelikleri ve aşınmaya dayanıklı çelikler olmak üzere üç gruba ayrılır:
 - **Genel dövme çelikleri:** % 0,25 ile % 0,35 arasında karbon içerir.

- **Mil çelikleri:** % 0,35 ile % 0,45 oranları arasında karbon içerir. Mil, tel ve dingil yapımında kullanılır.
- **Aşınmaya dayanıklı çelikler:** % 0,45 ile % 0,50 arasında karbon içerir. Ray, ray tekerleği, silindir ve pres kalıplarının yapımında kullanılır.



Resim 2.7: Krank mili orta karbonlu çelikten yapılmış

- **Yüksek karbonlu çelikler:** % 0,50 ile % 1,05 arasında karbon içerir. Yüksek mukavemet ve aşınma direnci gerektiren yerlerde kullanılır. Kullanım alanına örnek olarak pres kalıp blokları gösterilebilir.
- **Yüksek karbonlu takım çelikleri:** Bu çelikler % 1,05 ile % 1,6 oranları arasında karbon içerir. Yüksek aşınma direnci ve yüksek mukavemet gerektiren yerlerde kullanılır. Kullanım yerlerine örnek olarak torna klemi ve matkap uçları verilebilir.



Resim 2.8: Matkap uçları

- **Çelik standartları:** Üretilen malzemelerin standartlaştırılması, belli kalitede bir malzemeyi aynı isim ve kodlama sistemi altına almak ve böylece ortak bir dil kullanmak ihtiyacından doğmuştur. Bugün bu konuda çok sayıda standart mevcuttur. SAE (Society of Automotive Engineers), AISI (American Iron and Steel Industries), ASTM (American Society of Testing Materials), NE (National Emergency), DIN (Deutsche Industrie Norms), TS (Türk Standartları) yurdumuzda kullanılan ve bilinenleridir. Bunun yanında yurdumuzda başta MKE olmak üzere çelik üreticileri kendileri de bir norm oluşturmuş veya

oluşturmaktadır. MKE normları esas olarak SAE' yi alır. TS normları kendisine örnek olarak DIN normlarını seçmiş ve onun düzenlemesine paralel bir düzenleme getirmiştir. Çeliklerle ilgili ilk TS, 1972'de kabul edilmiş "Çelik, Demir, Karbon, Döküm Malzemelerinin Sınıfları ve İşaretleri" isimli TS 1111' dir. Daha sonra değişik tarihlerde çeliklerle ilgili standartlar geliştirilmiştir.





















- **Çeliklerin Türk standartlarına göre kısa gösterilme şekilleri:** Çeliklerin TSE'ye göre çelikler; kitle çelikleri, kalite çelikleri alaşım-sız ve alaşım-lı asal çelikler olarak gruplara ayrılır.DIN normuna göre alaşım-lı ve alaşım-sız olarak yapılan temel ayırım TSE'de asal ile kalite ve kitle çelikleri olarak yapılmıştır.
- **Kalite ve kitle çeliklerinin kısa gösterilişi:** Burada şu sıralamaya dikkat edilir:
 - Üretim yöntemi
 - M - Siemens Martin
 - I - Endüksiyon
 - E - Elektrik ark
 - O- Oksijen konvertör
 - Üretim yönteminde durum
 - S - Sakin dökülmüş
 - Sy - Yarı sakin dökülmüş
 - K - Kaynar dökülmüş
 - Y - Yaşlanmayan çelik
 - Çelik sembolü (Fe, esasının demir olduğu kabulüyle)
 - Minimum çekme dayanımı
 - Garanti edilen özellik
 - Akma sınırı
 - Katlama ve şişirme
 - Vurma dayanımı
 - Akma sınırı ve katlama-şişirme
 - Vurma, katlama ve şişirme
 - Akma, katlama ve şişirme, vurma
 - Aşınma ısı dayanımı
 - Uygulanan ısı işlemler
 - Sr - Sertleştirilmiş
 - Me - Menevişlenmiş
 - Yt - Yumuşatma tavı görmüş
 - Nr - Normalleştirilmiş
 - Gt - Gerilim giderilmiş
 - Is - Islah edilmiş
- **Kitle çeliklerin kısa gösterilişine örnekler**
 - Fe 37: minimum çekme dayanımı 37 kgf/mm² olan yapı çeliği
 - MB5 Fe 37-3 Nr: Bu çelik Siemens Martin ocağında üretilmiş, bazik karakterli, sakin dökülmüş, çekme dayanımı minimum 37 kgf/mm², vurma dayanımı garanti edilmiş ve normalleştirme tavlanmasına tâbi tutulmuştur.

































- **Kalite çeliklerinin kısa gösterilişleri**
 - C 15: İçinde % 0,12 - % 0,15 karbon bulunan kalite çelik
 - 0 5 C 35-3 Nr: Oksijen konvertörde üretilmiş, sakin dökülmüş, içinde maksimum % 0,35 C bulunan, vurma dayanımı garanti edilmiş, normalize edilmiş çeliktir.
 - 45 S 20: İçinde karbondan başka element bulunan bir çelikte C işareti kullanılmaz. Bu çelik % 0,45 C ve % 0,15-0,25 S içerir.
- **Alaşımız asal çeliklerin kısa gösterilişi: İndislerin anlamı şunlardır:**
 - k - Çok az P ve S içerir.
 - f - Endüksiyon, alevle sertleştirilebilir.
 - a - Soğuk şekil vermeye uygun
 - m - Belli bir % kükürt aralığı olan çelik
 - T1, T2, T3, Tö takım çeliklerini gösterir.
 - C 100, % 1,0 C içeren çeliği gösterir.
 - Ck 100, % 1,0 C içeren çok az miktarda P ve S ihtiva eden çelik
 - Cf 45, Endüksiyonla sertleştirilebilen % 0,45 C ihtiva eden çelik
 - C 100 T1, Takım çeliğini gösterir. % 1 C ihtiva eder.
- **Alaşımız asal çeliklerin kısa gösterilişi:** Alçak alaşımız çeliklerde ilk gelen iki rakam çelikteki karbon miktarının 100 ile çarpılmış değerini gösterir. Bundan sonra çelikteki başlıca alaşım elemanlarının simgeleri bulunur ve bu simgeleri takiben gelen rakamlar, belli kat sayılarla çarpılmış değerleri gösterir.





Çarpım Katsayısı	Elemanlar
4	Cr, Co, Mn, Si, Ni, W
10	Al, Be, Cu, Mo, Nb, Ta, Zr, Ti, V
100	P, S, N, Ce, C
1.000	B


- **21 Cr Mo V 5 11:** % 0,21 C, $5/4 = 1,25$ % 1,25 Cr, $11/10 = 1,1$ Mo ve bir miktar V içeren alçak alaşımız çeliktir.
- **25 Cr Mo 4:** % 0,25 C, $4/4 = 1$ % 1 Cr ve bir miktar Mo içeren çeliktir.
- **Yüksek alaşımız çeliklerin kısa gösterilişi:** Bu çelikler de bileşimlerine göre belirlenir. Burada sadece P, S, N, Ce, C miktarı 100 ile çarpılır, diğer alaşım elementlerinin değerleri aynen sırasıyla yazılır. Ayrıca baş tarafa X işareti konulur.
 - X 5 Cr Ni 18 9 çeliği yüksek alaşımız çeliktir. % 0,05 C ve ayrıca % 18 Cr ve % 9 Ni ihtiva eder.
 - X 210 Cr W 12 çeliği % 2,1 C, % 12 Cr ve az miktarda W içeren yüksek alaşımız çeliktir.
 - Alaşımız elementleri % miktarı toplamı %5 ise alçak alaşımız
 - Alaşımız elementleri % miktarı toplamı %5 ise yüksek alaşımız


- **Dökme çeliklerin gösterilmesi:** Gösterimde baş tarafta Dç var ise dökme çelik demektir.
- **Dç 42,** Çekme mukavemeti 42 kg/mm² olan dökme çelik
 - **Dç C 35,** % 0,35 C içeren dökme çeliktir.
 - **Dç X DDL - 22,** Çekme dayanımı 22 kg/mm² olan lamel grafitli dökme demirdir.
 - **15 Cr 20 Ni 14,** % 0,15 C, % 20 Cr, % 14 Ni ihtiva eden yüksek alaşımli çelik dökümdür.
 - **Dç -S C 10 Mn Si,** sakın dökülmüş, % 0,1 C ihtiva eden az oranda Mn ve Si bulunduran çelik dökümdür.
- **Çeliğin renk koduna göre gösterilişi**

KALİTE	AÇIKLAMA	RENK	KALİTE	AÇIKLAMA	RENK
080A47	MAVİ/GRİ NOKTA		C 25	BEYAZ / MOR ŞERİT	
080M40	BEYAZ / GRİ		C 30	MAVİ / MOR	
1008	BEYAZ/SİYAH		C 33	MOR ŞERİT	
1010	BEYAZ / KAHVE		C 35	KIRMIZI / YEŞİL	
1015	YEŞİL / KAHVE		C 40	KIRMIZI / MAVİ	
1018	BEYAZ / SİYAH ŞERİT		C 43	PEMBE / KAHVE	
1020	BEYAZ / KIRMIZI		C 45	KIRMIZI / PEMBE	
1025	BEYAZ / MOR		C 55	KIRMIZI ŞERİT	
1030	YEŞİL		C 60	BEYAZ / YEŞİL NOKTA	
1035	BEYAZ / MOR NOKTA		C70S6By	SİYAH / GRİ ŞERİT	

1040	BEYAZ		C35+P+S	MAVİ / YALDIZ NOKTA	
1043	SARI / KIRMIZI NOKTA		Ck 10	SARI ŞERİT	
1045	SARI / MOR		Ck 15	BEYAZ / MAVİ NOKTA	
1050	MAVİ		Ck 22	KAHVE / TURUNCU	
1055	A.YALDIZ / PEMBE		Ck 30	YALDIZ / MOR	
1060	MAVİ / TURUNCU		Ck 33	A. YALDIZ / MOR	
1065	SARI		Ck 35	KAHVE / MOR	
1070	YALDIZ / KIRMIZI		Ck 40	SİYAH / YALDIZ NOKTA	
1080	YALDIZ ŞERİT		Ck 43	SİYAH / TURUNCU NOKTA	
1090	A. YALDIZ / TURUNCU		Ck 45	YEŞİL / TURUNCU	
1544 Mod	A.YALDIZ / SİYAH		Ck 50	KIRMIZI / SARI NOKTA	
ASTM A36	A.YALDIZ/BEYAZ		Ck 55	KAHVE ŞERİT	
C 10	SİYAH / KAHVE		Ck 60	TURUNCU / MOR	
Cq 10	KAHVE / GRİ		Cf 45	BEYAZ/GRİ NOKTA	
C 15	SİYAH / TURUNCU		Cf 50	YALDIZ / MAVİ ŞERİT	
C 20	SİYAH / MOR		Cf 60	SİYAH/BEYAZ ŞERİT	

C 22	MAVİ ŞERİT		Gr 60	YALDIZ / YEŞİL	
C 22.8	BEYAZ / KAHVE NOKTA		ZF 50	KIRMIZI / MOR ŞERİT	

PASLANMAZ ÇELİKLER		
KALİTE	AÇIKLAMA	RENK
X20Cr13	SARI NOKTA	
X46Cr13	SİYAH NOKTA	

KARBON TAKIM VE RULMAN ÇELİKLERİ		
KALİTE	AÇIKLAMA	RENK
C80W1	MAVİ / SARI	
100Cr6	MAVİ/PEMBE	

Tablo 2.1: Çeliğin renk kodlarına göre gösterimi

- **Madenleri ayırmada kullanılan bazı terimler**
 - **Mukavemet:** Bir madenin kırılmaksızın yüke veya kuvvete dayanma kabiliyetidir. Örneğin, kurşunun mukavemeti düşük olduğu hâlde çeliğin yüksek bir mukavemeti vardır.
 - **Sertlik:** Madenin nüfuz, aşınma ve kesme tesirine karşı mukavemet etme kabiliyetidir.
 - **Dayanıklılık:** Kolayca kırılmayan veya kesilmeyen, kopmadan uzayabilme kabiliyeti olan bir madendir. Örneğin, silindirden geçirilmiş çeliğin dayanıklılığı çok fazladır.
 - **Telgenlik:** Kırılmaksızın madenin yayılma kabiliyetidir. Örneğin, yumuşak demir ve bakır yüksek derecede telgen maddelerdir.
 - **Gevreklik:** Madenin kolayca kırılmasına müsaade eden veya sebebiyet veren bir özelliktir. Örneğin dökme demir, dökme alüminyum ve çok sert çelikler gevrek olan madenlerdir.
 - **Dövülgenlik:** Madeni kırılmadan veya çatlamadan uygun şekilde silindirden geçirilmeye, çekiçlemeye veya çekmeye müsaade eden özelliktir. Bakır ve altının yüksek dövülgenlik kabiliyeti vardır.



Resim 2.9: Haddeme makinesi

- **Uçakta kullanılan çelik alaşımları:** Havacılıkta yapısal elemanların imalinde yüksek mukavemet değerleri sayesinde geniş kullanım alanına sahip vazgeçilmez metallerdir. Ağırlık dezavantajına rağmen uçakların ana iskeletinin ve iniş takımı dikmelerinin ana elemanlarıdır ancak tali yapılarda yerini alüminyum alaşımlarına bırakır.

- **Uçak çeliklerinin tanınması:** (The Society of Automotive Engineering) yani kısaca (SAE) standardına göre her (SAE) kodu 4 veya 5 rakamdan oluşur. Bu rakamlardan birincisi çeliğin tipini, ikincisi alaşımı oluşturan madenlerin yüzde miktarını ve son iki veya üç rakamı alaşımda yüzde karbon miktarını ifade eder. Örneğin, SAE standardında 4150 seri numaralarından 4 rakamı karıştırılan esas madenin molibden olduğunu, 1 rakamı molibdenin yüzde miktarını ve 50 rakamı da bu çelik alaşımında % 0,50 karbon mevcut olduğunu ifade eder.

Çeliğin Tipi	Sınıflandırılması
Karbon	1000 Serisi
Nikel	2000 Serisi
Nikelli krom	3000 Serisi
Molipten	4000 Serisi
Krom	5000 Serisi
Krom vanadyum	6000 Serisi
Tungsten	7000 Serisi
Silisyum manganez	9000 Serisi

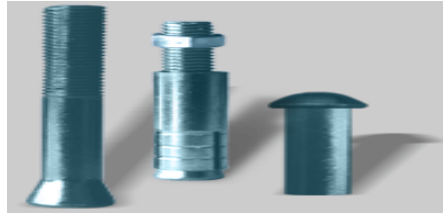
Tablo 2.2: Çelik tiplerinin sınıflandırılması

- **Karbon çelikleri:** İçinde bulunan karbon miktarına göre karbon çelikleri aşağıdaki gibi sınıflandırılır.
 - **Düşük karbonlu çelikler:** Karbon oranı % 0,10-0,30 arası çeliklerdir (1010-1030). Emniyet teli, somun, kablo burçları vs. yapımında kullanılır. Levha formları tali yapısal parçalar, kelepçelerin yapımında nispeten az gerilme taşıyan parçalarda kullanılır. Düşük karbonlu çelikler telgenliğe müsait çeliklerdir.
 - **Orta karbonlu çelikler:** Karbon oranı % 0,30 ile % 0,50 arası çeliklerdir. Bu çelikler yüzey sertliğinin önemli olduğu yerlerde, dövme ve makine işçiliğinde genellikle uygundur. Bazı rod uçları, ince bükme ürünlerinde, motor silindirlerinde göbek flençlerinde bu tür malzemeler tercih edilir.



Resim 2.10: Motor silindir bloğu

- **Yüksek karbonlu çelikler:** Karbon oranı % 0,50-1,05 arası çeliklerdir. Alaşımdaki diğer elementlere bağlı olarak sertliği artar. Isıl işleme tabi tutulduğunda çok sertleşir. Yüksek kesme ve aşınma mukavemeti gösterir fakat az deformasyona uğrar. Uçaklarda kullanım sınırlı olup özellikle (1095) levha formları düz, yaylar ve kablo şeklinde formları ise sarmal yay yapımında kullanılır.
- **Nikelli çelik alaşımı:** Düşük karbonlu çeliğe % 3- 5 miktarında nikel ilave etmekle elde edilir. Nikelli çelik alaşımı, az dövülgen olup yüksek mukavemete sahip olduğundan saplamaların, kamaların ve tandörlerin yapılmasında kullanılır.



Resim 2.11: Nikelli çelik ile yapılan saplama

- **Krom çelikleri:** Yüksek sertlik mukavemete sahip, korozyona karşı direnci yüksektir. Örneğin 51335 çeliği, normal karbon çeliklerine nazaran sıcak şekillendirme işlemi için gerekli yüksek mukavemete sahiptir. Özellikle sürtünmeye karşı dayanıklı bilyelerin yapımında kullanılır.



Resim 2.12: Çelik bilye

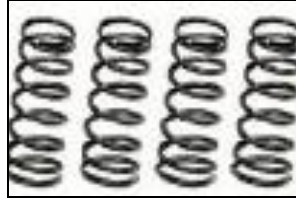
- **Krom-Molibden çelikleri:** Çok az miktarda molibden kullanılır. Havacılıkta çok önemli uygulamaları vardır. Alaşımda % 0,15-0,25

oranında molibden olmasına karşılık krom oranı % 0,80-1,10 arasındadır. Çelikler üzerindeki etkiler bakımından molibden, tungsten'e benzer. Bazı özellikleri değişkenlik göstermekle birlikte %1'in üzerinde alaşımları çok yüksek gerilme mukavemeti ve elastik limit vermesinin yanı sıra süneklikte çok az bir azalmaya da sebep olur. Özellikle kaynak işlemine çok uygun olduğundan kaynakla bağlanan yapısal parçalarda bolca kullanılır. 4130 tipi malzemeden yapılan parçalar uçak ve füze yapısal parçalarında kullanılır. Motor kaputu, cıvata-somun ve dişli yapılarında kullanılır.



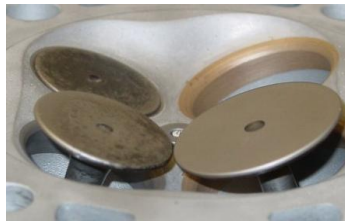
Resim 2.13: Uçak yapısal atölyesi

- **Krom-Vanadyum çelikleri:** Yaklaşık % 1,00 Cr+ % 0,18 Va oranı mevcuttur. Isıl işleme tabi tutulmuş alaşımları, aşınma ve yorulmaya karşı yüksek mukavemetli mükemmel malzemelerdir. Levha formdaki özel tipleri soğuk şekillendirilebilir. Orta karbon içeren 6150 tipi yay yapımında kullanılır. Resim 2.16'da yay görülmektedir. Yüksek karbon içeren 6195 tipi ise bilye elemanları (yuvarlak, yassı) yapımında kullanılır.



Resim 2.14:Yaylar

- **Tungstenli çelik:** Tungstenli çelik alaşımı yüksek sıcaklıklarda sertliğini muhafaza eder. Yüksek ısı dayanımı isteyen egzoz, supaplar ve diğer cihazların yapılmasında kullanılır.



Resim 2.15: Supaplar

- **Paslanmaz çelik:** Geniş miktarda egzoz boruları, yangın duvarı, manifoldlar ve egzoz kolektör halkaları gibi uçak parçalarının yapımında kullanılır çünkü bu maden sıcak gaz veya asitlerin korozyon tesirine karşı dayanıklıdır. Paslanmaz çelik lehimlenebildiği gibi kolaylıkla kaynak da olabilir.



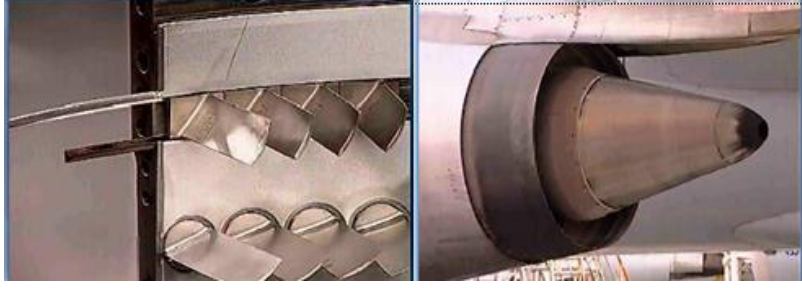
Resim 2.16: Manifold

- **Inconel Nikel-Krom alaşımı (76Ni - 16Cr - 8Fe):** Yüksek korozyon direnci, iyi mukavemet ve özellikle yüksek sıcaklıkta oksitlenmeye karşı mükemmel direncin istendiği durumlarda kullanılır. 20 °C'deki yoğunluğu 8,51 g/cm³tür. Sıcak çalışma aralığı 870-1260 °C arasındadır. Tavlama sıcaklığı 870 °C'de 3 saat ve 980 °C'de 7-15 dakika arasındadır.
- **Hastelloy alaşımı W (62Ni - 24.5Mo - 5Cr - 5.5Fe):** 750 °C'nin üzerindeki yapısal uygulamalarda, özellikle yüksek sıcaklıkta kullanılan bir alaşımdır. Ayrıca kısa süreli mukavemet değerleri de ergime sıcaklığının %75-90'ı kadar yüksek sıcaklıklarda iyidir. Kaynak malzemesi olarak farklı metallerin kaynağında çok üstün özelliklere sahiptir. 22 °C'deki yoğunluğu 9,03 g/cm³tür. Tavlama sıcaklığı 1176 °C'dir. Bütün bilinen kaynak yöntemleri ile kaynak yapılabilir. Karbon oluşumu yüzünden oksitlenmiş kaynağından kaçınılmalıdır. Resim 2.17'de görülen kaynak işleminde Hastelloy alaşımı bir malzemenin kaynatılması işlemi görülmektedir.



Resim 2.17: Kaynak yapımı

- **Hastelloy Alaşımı X (47Ni-9Mo-22Cr-18Fe):** 1200 °C'ye kadar mükemmel mukavemet değerlerine ve oksit direncine sahiptir. Uçakların ark yanma odaları, türbin kanatçık ve vanaları, egzoz çıkış kaplamalarında geniş bir uygulama alanına sahiptir. 22 °C'deki yoğunluğu 8,23 g/cm³tür.

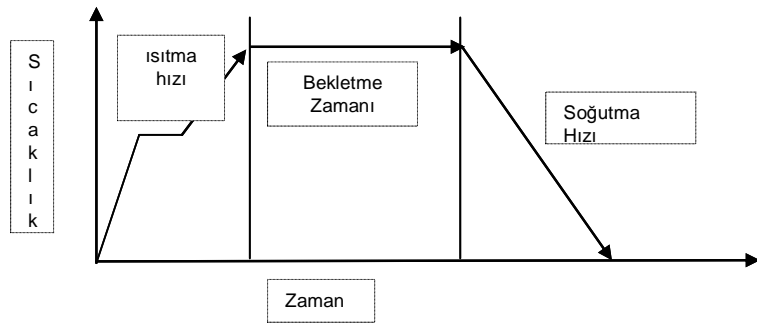


Resim 2.18: Motor türbin kanatçıkları ve egzoz çıkış nozulu

2.2. Alaşımli Çeliklerin Isıl İşlemleri ve Uygulamaları

Isıl işlem, metal malzemeyi belirli bir sıcaklığa ısıtıp bu sıcaklıkta belirli bir süre tuttuktan sonra kontrollü olarak gereken hızda soğutma işlemidir. Malzemeyi oluşturan atomlar, yüksek sıcaklıkta hareketlilik kazanıp yeni konumlara yayıldıklarından ısıl işlemde amaç, atom hareketlerini kontrol altına alarak malzemeye istenen özellikleri veren mikro yapı kazandırmaktır. Isıl işlemlerin hemen hepsi ısıtma, bekletme ve soğutma kademelerinden oluşur.

Bekletme süresinin kısa olması ve bekletme sıcaklığının gerekenden düşük olması mikro yapısal dönüşümlerin tamamlanmamasına; gereğinden uzun olması ise tane büyümesine, enerji ve zaman kaybının yanı sıra oksitlenme ve bileşim farklılaşmasına (dekarbürizasyon) neden olur. Bu nedenle bekletme kademesinde en uygun sıcaklık ve en uygun bekletme süresinde bekletilmelidir. Isıl işlemin son kademesi olan soğutma işleminde, uygun mikro yapıyı elde etmek için uygun ortamda (su, yağ vb.) soğutma yapılır. Özellikle çok farklı kesit farklılığındaki karmaşık şekilli parçalar alaşımlarına da bağlı olarak soğutma esnasında çarpılma ve çatlama riski taşır. Bu nedenle uygun soğutma sıvısı yani soğutma hızı seçilmelidir.



Şekil 2.1: Isıl işlemde sıcaklık zaman grafiği

2.2.1. Tavlama

Tavlama, metali yumuşatma amaçlı uygulanan ısıl işlemlerin geneline verilen addır. Tavlama yapılarak malzemenin işlenebilirliği, sıcak ve soğuk şekillendirme kabiliyeti artırılır ve işleme, dövme veya kaynak sonrası oluşan iç gerilimler alınır. Tavlama ile mekanik özellikler iyileştirilir, süneklik artırılır ve kimyasal homojensizlik kaldırılır. Bunun yanında sertleştirme öncesi yapılan tavlama malzemenin iç yapısını sertleştirmeye uygun

hâle getirir. Tavlama terimi genellikle östenit fazı içinde ısıtma ve daha sonra yavaş soğutmayı ifade eden “tam tavlama” olarak belirtilir. Tavlama kelimesiyle beraber kullanılan diğer kelimeler tavlama işleminin şeklini gösterir.

- **Tavlama işleminin amacı:** Malzeme sertliğini düşürmek ve sonraki üretim operasyonlarının gelişimini kolaylaştırmaktır. Tavlama çoğunlukla döküm dövme veya haddeleme sonrası malzemelerin yapılarını dikkatle kontrol altında tutarak, yumuşatmak ve kalıcı gerilimleri minimize etmek, işlenebilirliği iyileştirmek, tokluğu arttırmak için kullanılır. Birçok takım ve paslanmaz çelikler gibi bant hâlindeki çeliklerin çoğu tavllanır. Demir-dışı metaller de tavllanır.
- **Tavlama işleminin yararları:** Gerilim giderme, normalizasyon veya tavlama işlemlerinin hepsi metalleri ve alaşımları daha sonraki işlemlere veya amaçlanan kullanım şartlarına hazırlar. Malzemelerin kolaylıkla işleme kabiliyetini kontrol eder, serviste çarpılmalarını önler, çatlama veya yarıлма olmadan şekillendirilmelerini sağlar. Minimum çarpılmayla sertleşme veya sementasyon sağlar, paslandırıcı ortamlara dayanımını yükseltir.



Resim 2.19: Tavlama işleminin yapıldığı vakum fırını

2.2.2. Normalleştirme

Bazı mühendislik çeliklerine uygulanan normalizasyon işlemi malzemelerin ilk durumuna göre bunları yumuşatır, sertleştirir veya gerilimlerini giderir. İşlemin amacı döküm, dövme veya haddeleme gibi ön işlem etkilerinden kaynaklanan mevcut homojen olmayan yapıyı talaşlı/talaşsız işlenebilirlik için iyileştirmek veya bazı ürünlerde gerekli son mekanik özellikleri karşılaması içindir. Asıl amaçlarından biri de şekillendirme sonrası çeliğin yapısını düzelterek bir sertleştirme işlemine tatmin edici bir tepki vermesini sağlamaktır (örneğin ölçüsel stabilizeye yardımcı olmak vb).

Normalizasyon işlemi uygun bir çeliğin tipik olarak 830-950 °C aralığında ısıtılması, (sertleşebilen çeliklerin sertleştirme sıcaklığı veya üzeri, sementasyon çelikleri için sementasyon sıcaklığı üzeri) ve sonra havada soğutulmasından meydana gelir. Isıtma da genellikle açık atmosferde yapılır. Bu nedenle tufal veya dekarbürüzyon tabakalarını

kaldırmak için daha sonra talaşlı işlem veya yüzey tamamlama işlemleri gereklidir. Havada sertleşen çelikler (bazı otomotiv dişli çelikleri) çoğu kez normalizasyon sonrası yapıyı yumuşatmak ve işlenebilirliği arttırmak için menevişlenir (kritik sıcaklık altı tavlama). Birçok uçak sanayi standardı bu işlem kombinasyonunu öngörür.

Genel olarak normalize yapılmayan çelikler, havada soğutma sırasında belirgin olarak sertleşebilen çelikler (takım çelikleri vb.) veya yapısal yarar sağlamayan veya uygun olmayan yapı ve mekanik özelliklerle sonuçlanan çeliklerdir (paslanmaz çelikler vb.).

- **Normalleştirme işleminin amacı:** Malzemenin normal yapıyı (eşit boyda, yuvarlak tanelerden oluşan ince taneli yapı) yeniden kazanmasıdır. Mekanik imalattan sonra ısıtma işlemi görecektir, yüksek hassasiyette ölçü gerektiren, dövülmüş, haddelenmiş, çekilmiş, dökülmüş, iri taneli ve eş yönlendirilmiş yapılar düzelir ve malzeme her zaman yeniden kazanabileceği özelliklere (çekme mukavemeti, süneklik vb.) geri döner. Bu amaçla parçalar gerekiyorsa bir ön ısıtmayı takiben östenit sıcaklığına kadar ısıtılır, iç ve dış yüzeyler aynı sıcaklığa gelinceye kadar beklenir ve ardından hemen hareketsiz havada soğutulur.

2.2.3. Temperleme

Tüm sertleştirme işlemlerinde, parçalar çok sert ve kırılgandır. İstenilen şekilde kullanılabilmesi için belirli bir sünekliğe ihtiyaç vardır. Malzeme bu sünekliğe, sertleştirme işlemi sonrasında kavuşamaz.

Temperleme (Menevişleme), çelik çeşidi ve parçanın ısıtma işleminden sonra hangi gaye ile kullanılacağına bağlı olarak yapılır. Temperleme sıcaklığı, parçanın kimyasal analizine, gördüğü ısıtma şartlarına, sertliğine ve kullanım yerine bağlı olarak değişir. Gerilim giderme amacıyla kullanılan fırınlar, bu amaç için de kullanılır. Temperleme 150-750 °C arası değişen sıcaklıklara tekrar ısıtılması ve havada soğutma operasyonu ile ulaşılır. Temperleme işlemi, malzemenin sertleştirme işleminden sonra kısa sürede yapılarak çatlama riski ortadan kaldırılmalıdır.



Resim 2 .20: İndüksiyon fırını

2.2.4. Sertleştirme

Sertleştirme çeliklerin daha önceden belirlenmiş sertleştirme sıcaklıklarına kadar tavlama, bunun ardından soğutulması ve son olarak da sert yapının istenilen düzeyde sünek hâle getirilmesi şeklinde yapılır. Dolayısıyla sertleştirme işlemi üç aşamada yapılır: Tavlama, soğutma, gerginlik giderme.

- **Gerginlik giderme:** Bu işlem malzeme cinsine, parça şekline ve kullanılacağı yere bağlı olarak değişik sıcaklıklarda uygulanır. Amaç var olan iç gerilmeleri en az düzeye indirmektir. Sıcak dövülmüş, dökülmüş malzemelerde ve kaynak yapılmış parçalarda düzensiz soğuma neticesinde meydana gelen iç gerilim farklılıklarının giderilmesi amacıyla 550 - 650 °C' ye yavaş ısıtma ve bekletme, fırında çok yavaş soğutma şeklinde yapılır. Sertleştirme işleminden önce de gerilmeleri almak için gerektiğinde uygulanabilir. Sertleştirilmiş parçalarda gerilim giderme ısıl işlemi, temperleme sıcaklığının minimum 25 °C altında yapılmalıdır ki sertlikte düşüş olmasın. Aksi belirtilmedikçe gerilim giderme minimum 2 saat yapılacaktır.
- **Sertleştirmede kullanılan soğutma ortamları:** Sertleştirmede kullanılan soğutma ortamları su, yağ, havadır. Yağ, soğuma hızını düşürür. Yağda sertleştirme bütün çeliklerde en yüksek korozyon direnci sağlar. Çeliklerin suda soğuma hızı yüksektir.



Resim 2.21: Yağ ve su tankı

2.2.5. Yüzey Sertleştirme

Yüzey sertleştirmede sertleştirilecek parçanın tamamı sertleştirme sıcaklığına yükseltilmeyip yalnız sertleşmesi gereken bölgeler yani parçaların üst yüzeyleri ısıtılır. Yüzey sertleştirme, yüzeyin kimyasal yapısını değiştirmeden ve yüzeyin kimyasal yapısını değiştirerek yapılan yüzey sertleştirme olmak üzere iki türlü yapılabilir.

- **Yüzeyin kimyasal yapısını değiştirmeden yapılan yüzey sertleştirme:** Bu işlem bünyesinde yeteri oranda karbon bulunan çeliklere yapılır. Özellikle iç yapıları yumuşak dış yüzeylerinde sertlik istenilen yerlerde uygulanır. Alevle ve indüksiyon akımıyla olmak üzere iki türlü sertleştirme yapılır.
- **Alevle sertleştirme:** Sertleştirilecek yüzeye oksijen alevinin uygun olarak tasarlanmış, yerleştirilmiş beklerle direkt uygulanması ve daha sonra su verme işlemiyle yapılır. Sertlik derinliği alev başlığı tasarımı, ısıtma süresi ve malzeme sertleşebilirliği ile kontrol edilir. Sertleştirme yine tek seferde veya sürekli olarak yapılabilir.
 - **İndüksiyon akımıyla sertleştirme:** Yüksek veya orta frekanslı alternatif akımın uygun şekillendirilmiş bir sargıdan (indüktör) geçirilerek elektromanyetik alanına uygun olarak yerleştirilmiş parçanın yüzeyinin hızlı ısıtılmasıyla uygulanır. Sertlik derinliği indüksiyon sertleştirme tezgâhının parametreleri, işlem süresi ve malzeme sertleşebilirliği ile kontrol edilir. Parçanın geometrisine bağlı olarak değişik uygulamalar kullanılabilir: Sertleştirilecek parça yüzeyinin tamamının "tek seferde" ısıtılarak su verilmesi veya indüktör, su verme kafası ve iş parçasının hareketleriyle "sürekli sertleştirme". Seçili alanı sertleştirme bu şekilde uygun indüktör tasarımı ve hareketlerle elde edilebilir.
- **Yüzeyin kimyasal yapısını değiştirerek yapılan yüzey sertleştirme:** Çeliklerin sertleştirilmesi için başta gereken karbon oranıdır. Düşük karbonlu çelikler normal yolla sertleştirilemez. Bu gruptaki çeliklerin karbon oranı 0,20'nin altındadır. Bu çeliklere karbon emdirerek sertleştirme yapılabilir.
- **Karbürizasyon (sementasyon) ve karbonitrasyon:** Sementasyon ve karbonitrasyon genel olarak 800–940 °C sıcaklıklarda uygulanan "termokimyasal" işlemlerdir. Bu işlemler düşük karbonlu bir çelik parçanın yüzey kimyasal bileşimini değiştirir. Böylece daha sonraki hızlı soğutma, "su verme" işlemiyle "yumuşak/tok" bir çekirdekle birleşen sert bir "kabuk" meydana gelir. Su verme işlemini normal olarak bir düşük sıcaklık meneviş / gerilim giderme işlemi takip eder. Sementasyonda yüzeye kontrollü miktarlarda karbon verilir ve kontrollü bir derinliğe girinimi sağlar; karbonitrasyonda ise karbon yanında nitrojen de verilerek yüzey sertleşebilirlik özelliği artırılır. Isıl işlemci bu hedefleri sağlamak için kontrollü gaz atmosferleri ve sıvı tuz (siyanürleme) gibi değişik işlem ortamları kullanır.
 - **Nitrürasyon:** Çeliğin yüzeyden azot difüzyonuyla sertleştirilmesi demektir. 590 °C' nin altındaki sıcaklıkta (500-590 °C) yapılır. Sıcaklık düşük olduğu için deformasyon etkisi azalır. Yüzeyde kayganlık sağlar. Çeliğin üst yüzeyinde azot atomlarının meydana getirdiği nitrür katmanının oluşturulma işlemidir. Diğer yüzey sertleştirme işlemlerinden ayrılan en önemli özelliği yüzeyde sementit kristalleri yerine bu kristallerden daha sert özelliklere sahip olan nitrür katmanının oluşturulmasıdır. Bu sebeple sertleşme sonucunda daha iyi netice alınabilir.

2.3. Demir Esaslı Malzemelerin Sertlik, Çekme Gücü, Yorulma ve Çarpma Direnci Deneyleri

Herhangi bir amaç için malzeme seçimi veya seçilen malzemenin yerinde görevini yapıp yapmayacağını anlamak için veya herhangi bir malzemenin özelliklerini belirlemek için bu deneyler yapılır.

2.3.1. Sertlik Ölçme Yöntemleri

Herhangi bir malzeme kendisine batmak isteyen daha sert bir malzemeye karşı bir direnç gösterir. Bu direnç sertliktir. Sertlik ölçümünü günümüz endüstrisinde güvenli bir şekilde yapabilmek için yöntemler geliştirilmiştir.

Sertlik ölçme yöntemleri Rockwell, Vickers ve Brinell olmak üzere üç ana gruba ayrılmaktadır.

2.3.1.1. Rockwell sertlik ölçme yöntemi

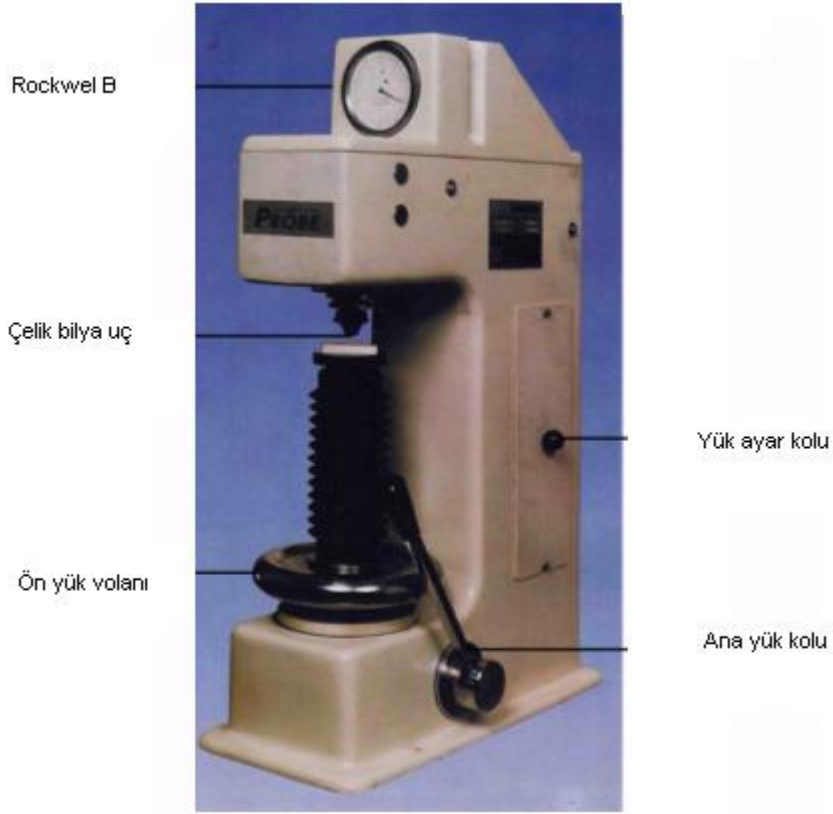
Rockwell sertliği, koni ya da küre biçiminde delici bir parçanın belli bir yük altında bir malzeme üzerinde oluşturduğu izin derinliğinden yararlanarak bu malzemeye ilgili ölçülen sertlik değeridir. Tablo 2.3'de Rockwell sertlik ölçme yönteminde kullanılan baskı uçlarının tipleri verilmiştir. Sertlik değeri birimsizdir. Uç, malzemeye ne kadar fazla batarsa malzeme o kadar yumuşak ne kadar az batarsa malzeme o kadar serttir. Uç, malzemeye hiç batmamışsa elmas sertliğinde deriz.

Sembol	Baskı Ucu	Ana yük (kg)	Tipik Uygulama Yerleri
B	1,588 mm (1/16") çelik bilye	100	Bakır alaşımları, yumuşak çelikler, alüminyum alaşımları
C	120 ° lik elmas konik uç	150	Çelik, sert dökme demir, titan, derin olarak yüzeyi sertleştirilmiş çelikler ve Rockwell B değeri 100 RBS ¹ den fazla olan malzemeler
A	Elmas konik uç	60	Sert metaller, ince çelik ve yüzeyi ince tabaka hâlinde sertleştirilmiş çelikler
D	Elmas konik uç	100	İnce çelik ve orta kalınlıkta yüzeyi sertleştirilmiş çelik ve perlitik temper, döküm
E	3,1 75 mm (1/18") Çelik bilye	100	Dökme demir, alüminyum ve magnezyum alaşımları, yumuşak ince sac malzemeler
H,K,L	3,75 mm' lik uç	60,150,60	Tavlanmış bakır alaşımları yumuşak ince sac metalleri
M,O,R	6,3 mm' lik uç	100,150, 60	
S,V	12,7 mm' lik uç	100,150	

Tablo 2.3 : Sertlik yöntemleri

En çok kullanılan Rockwell sertlik ölçekleri B ve C ölçekleridir. Bu sertlik belirleme yönteminin ayırt edici en temel özelliği, parçanın yüzey durumunun etkisini büyük ölçüde ortadan kaldıran 10 kg'lık bir ön yük altında bulunan bir delicinin ilk konumu ile yine delicinin sürekli ön yük altında kalması koşuluyla asıl yükün kaldırılmasında sonra aldığı son konumu arasında saptanan farktır. B ölçeği orta sertlikteki malzemeler (tavlanmış çelikler, bakır alaşımları), C ölçeği sert malzemeler (su verilmiş çelikler) için kullanılır. Kurşun alaşımları, plastik maddeler vb. gibi pek sert olmayan malzemelerin sertliğini ölçmek için deliciye ve ön yüke göre değişen başka Rockwell ölçekleri de vardır. Yüzeysel katmanların sertliğini belirlemek için 3 kg'lık bir ön yükün uygulandığı özel ölçekler (yüzeysel rockwell sertliği) kullanılır.

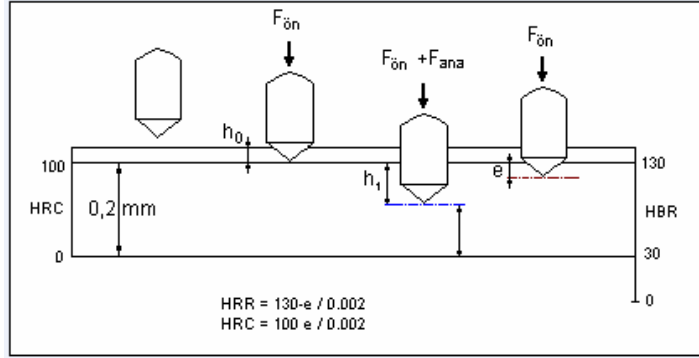
- **Deneyde dikkat edilecek hususlar:**
 - Sertliği ölçülecek malzeme için uygun Rockwell skalası seçilmelidir.
 - Sertliği ölçülecek yüzey temiz ve zımparalanmış olmalıdır.
 - Yük, daima yüzeye dik ve darbesiz olarak uygulanmalıdır.
 - Sertliği 100 RBS'yi geçen malzemelerde Rockwell C yöntemi, sertliği 20 RCS'den küçük malzemelerde Rockwell B yöntemi kullanılmalıdır.
 - Oluşturulan izler parça kenarından ve diğer izlerden en az 2-3 mm uzakta olmalıdır.
 - Numune yeterli kalınlıkta olmalı ve deney sırasında esnememelidir.
 - Sertlik değeri en az üç değerın ortalaması olarak alınmalıdır.
- **Kullanılan cihaz ve ortam şartı:** Rockwell sertlik ölçme yönteminde kullanılan cihaz aynı zamanda baskı ucunun değiştirilebilmesi sebebiyle Brinell sertlik ölçme yönteminde de kullanılabilir şekilde dizayn edilmiştir. Ortam şartları bakımından da metalsel malzemelerin mekanik özelliklerinin sıcaklık ve basınçla değişmesi nedeniyle oda sıcaklığında ve normal atmosfer basıncında bir ortamda deneyin gerçekleştirilmesi, deney sonuçlarının doğruluğu bakımından uygun olacaktır.



Resim 2.22: Rockwell sertlik cihazı

- **Numuneler:** Rockwell sertlik deneyi yeteri derecede kalın parçalar üzerinde yapılarak en yüksek yoğunluk elde edilebilir. Yeteri kadar kalın olan numunelerin yüzeyinde izin aksi tarafında parça üzerinde yükün etkisini gösteren bir kabarıklık veya başka bir şekil değiştirme hâlinin bulunmaması ile anlaşılır.
- **Deneyin yapılışı:** İlk önce deney şartlarına uygun kalınlıkta ve sertlikte deney parçası seçilir. Daha sonra sertliği ölçülecek malzemenin cinsine uygun olarak Rockwell B veya C yöntemlerinden biri seçilmelidir. Burada seçilen numune malzemesinin fazla sert olmadığını düşündüğümüzden Rockwell B yöntemi uygun görülmüştür. İlk denemede sertlik değeri 100 RBS'yi aşarsa malzemenin tahmin edildiğinden sert olduğu anlaşılacak ve deney Rockwell C yöntemi ile tekrar yapılacaktır. O nedenle bundan sonra anlatılacaklar Rockwell B yöntemine göre olacaktır. Uygun yöntem belirlendikten sonra 1/16" çapındaki sert çelik bilyeli baskı ucu cihaza takılarak toplam yük 100 kg'a göre ayarlanır. Sertliği ölçülecek numune tabla üzerine konulduktan sonra malzemeye ön yükleme kolu vasıtasıyla 10 kg'lık ön yük uygulanır. Bu sayede baskı ucu malzeme üzerine oturur ve onu yerinde tutar. Ön yükleme kolunun çevrilmesi ile küçük kadrandaki ibrenin kırmızı nokta hizasına gelmesi ile 10 kg'lık ön yüklemenin verildiği anlaşılır. Burada dikkat edilmesi gereken husus, ibrenin bu noktayı geçmesi durumunda ölçüm sonucu hatalı olacağından ön yükleme kaldırılır ve deney numune yüzeyinin başka bir noktasına tekrar uygulanır.

Bu hususa da dikkat ettikten sonra sıra 90 kg'lık ana yükün uygulamasına gelmiştir. Böylece toplam yük 10 kg'lık ön yükle beraber 100 kg olacaktır. Ana yükün uygulanmasıyla büyük kadradaki ibrenin hareketsiz hâle gelmesi (durması) beklenir ve ibrenin durmasıyla ana yük kolu ters yönde çevrilerek ana yük kaldırılır. Tekrar harekete geçen ibre durduğunda bize malzemenin RBS cinsinden sertlik değerini verecektir. Son olarak ön yükün de kaldırılması ile deney sona erdirilir. Ancak bu ölçümün sonucun doğruluğu bakımından numunenin en az üç farklı noktasına uygulanması gerektiği unutulmamalıdır.



Şekil 2.2: Deney parçasına uygulanan kuvvetler

2.3.1.2. Brinell sertlik deneyi

Belli çaptaki sert bir bilye malzeme yüzeyine belli bir P yükü uygulanarak 30 saniye bastırılır. Deneyde uygulanan yükün meydana gelen izin alana bölünmesiyle Brinell sertlik değeri (BSD) bulunur. 400 Brinell değerine kadar sertlik değerleri için sertleştirilmiş çelik bilyeler, daha büyük sertlikler için sinterlenmiş malzemeden yapılmış bilyeler kullanılır. Baskı ucu olarak kullanılan bilyelerde max +- % ½ çap farklarına izin verilir. En fazla kullanılan bilye çapları 0,625; 1,25; 2,5; 5 ve 10 mm'dir. Parça kalınlığına bağlı olarak tercih edilir. Tercih edilecek bilye çapları şunlardır:

Malzeme kalınlığı (mm)	Bilye çapı
>6	2,5 –5 –10
3 – 6	2,5 –5
2 – 3	2,5

Küçük bilyeler kullanılmışsa deney sonuçlarında bunun belirtilmesi gerekir. Örneğin 165 BSD 2,5 / 187,5 gibi. Burada 187,5 kgf cinsinden deney yükü, 2,5 mm cinsinden bilye çapı, 165 ise malzemenin Brinell sertliğidir. Malzemenin üzerine uygulanacak yük değeri sertliği ölçülecek malzemenin cinsine ve bilye çapına göre seçilmektedir. $d/D = 0,20 - 0,70$ oranı sağlandığı durumlarda uygulanan yük değeri doğru kabul edilir. Çeşitli bilye çapları ve malzemelere göre uygulanacak yükler Tablo 1'de verilmiştir. Deney yükünün saptanmasında $P=CD^2$ bağıntısı kullanılır. Burada P deney yükü, C malzeme cinsine göre değişen yükleme derecesidir.

Bilye çapı	30.D ²	10.D ²	5.D ²
10	3000	1000	500
5	750	250	125
2	187,5	62,5	31,25
Ölçme aralığı	67 - 450	22 - 315	11 - 158
Malzeme grubu	Çelik, dökme demir, Ti alaşımı	Cu ve hafif metal alaşımı	Saf Al, Mg, Zn

Tablo 2.4: Bilye çapları uygulanacak yükler

Brinell sertliği ile malzemenin çekme dayanımı hakkında bilgi edinebiliriz. Bunun için $\sigma_{max} = X \cdot BSD$ bağıntısı kullanılır. X faktörü malzemenin cinsine göre değişen bir kat sayıdır. X faktörü çelikler için 0,35, tavlı çelikler için 0,36, bakır alaşımları için 0,55'tir.

➤ **Deneyde dikkat edilecek hususlar**

- Sertliği ölçülecek malzemenin yüzeyi parlak ve zımparalanmış olmalı, yüzey tabana paralel olmalıdır.
- Esnemeye imkân tanınmamalıdır.
- Deney izleri birbirinden ve parçanın kenarlarından en az d çapı kadar uzak olmalıdır.
- Homojen iç yapıya sahip olmayan malzemelerde Brinell sertlik deneyi uygulanmalıdır. Ayrıca bu tip malzemelerde 10 mm çapında bilye tercih edilmelidir.
- Bu yöntem çok sert malzemelerle ince yüzey tabaka sertliklerinin ölçülmesinde uygun değildir.
- En az üç sertlik ölçümü yapıp bunların ortalaması alınmalıdır (homojen olmayan bölgeler ve hatalı ölçümden doğan yanlışlıkları azaltmak amacıyla).

Not: Bütün sertlik ölçme yöntemlerinde ilk ölçümdeki hata miktarı, toz ve pisliklerden dolayı daha fazladır. Bu göz ardı edilmemelidir.

- **Kullanılan cihaz ve ortam şartı:** Brinell sertlik ölçme yönteminde kullanılan cihaz aynı zamanda baskı ucunun değiştirilebilmesi sebebi ile Rockwell sertlik ölçme yönteminde de kullanılabilir şekilde dizayn edilmiştir. Ortam şartları bakımından da metal malzemelerin mekanik özelliklerinin sıcaklık ve basınçla değişmesi nedeniyle oda sıcaklığında ve normal atmosfer basıncında bir ortamda deneyin gerçekleştirilmesi deney sonuçlarının doğruluğu bakımından uygun olacaktır.

- **Deneyin yapılışı:** İlk önce tablaya uygun (sığabilecek büyüklükte) numune seçilir. Numune laboratuvara getirilemiyorsa dinamik ölçme yöntemleri uygulanır. Bundan sonra sıra uygulanacak yükün tayinine gelmiştir. Bunun için $P = C \cdot X \cdot D^2$ formülünden yararlanılır.

- **Uygulanacak basıncın tespiti:**

$$P= CxD^2$$

P= Uygulanacak basınç (kgf)

C= Numunenin malzemesine göre değişen katsayı

D= Bilye çapı (mm)

Demir esaslı malzeme (çelik, DD) C=30

Cu ve Al alaşımlı malzeme C=10

Yumuşak malzeme C=5

Uygulanacak basınç değeri de hesaplandıktan sonra yük ayar kolu yardımıyla cihazın uygulayacağı basınç hesaplanan değere getirilir, malzeme cinsine göre uygun çaptaki bilye yerine takılır.

Numune de tabla üzerine koyulduktan sonra yükleme işlemine geçilir. Ancak bizim kullandığımız cihaz Brinell sertlik ölçümünün yanı sıra Rockwell sertlik ölçümünü de gerçekleştirebilecek şekilde dizayn edildiğinden ana yükün uygulanabilmesi için Rockwell sertlik yönteminde olduğu gibi 10 kg'lık ön yükün uygulanması gerekmektedir. Ancak unutulmamalıdır ki bu işlem sadece bizim kullandığımız cihaz için geçerlidir. Aksi takdirde Brinell sertlik ölçme yönteminde kati suretle ön yükleme söz konusu değildir. Parça üzerine ön yüklemenin verildiği, Rockwell B-C skalası üzerindeki küçük kadranın ibresinin kırmızı noktaya gelmesiyle anlaşılır. Ancak bu ibrenin söz konusu noktayı geçmemesine dikkat edilmelidir. Aksi takdirde ölçüm sonuçları hatalı olacaktır. Kırmızı noktanın geçilmesi durumunda ön yükleme kaldırılıp deney, numune yüzeyinin başka bir noktasından tekrar uygulanmalıdır.

Bu hususa da dikkat ettikten sonra sıra ana yükün uygulanmasına gelmiştir. Ana yükün uygulanması sonucu harekete geçen büyük kadradaki ibrenin hareketsiz hâle gelmesi (durması) beklenir. Bunun için yaklaşık 30 sn. beklenmesi yeterli olacaktır. İbrenin durmasıyla ana yük kolu ters yönde çevrilerek ana yük kaldırılır. Son olarak ön yükün de kaldırılması ile deney sona erdirilir. Ancak bu ölçümün sonucunun doğruluğu bakımından numunenin en az üç farklı noktasına uygulanması gerektiği unutulmamalıdır.

- **İz çapının ölçülmesi:** Oluşan izin bilinen ölçme aletleri ile (kumpas, mikrometre, pasimetre vb.) ölçülmesi mümkün olmadığından ölçme mikroskobu veya iz çapını 100 kat büyütebilen optik yöntemler kullanılır.
- **Sertlik değerinin tespiti:** Sertlik değeri aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$BSD = \frac{P}{y} = \frac{2P}{\pi \cdot D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}$$

2.3.1.3. Vickers sertlik deneyi

Bu deney yönteminde baskı elemanı olarak tepe açısı 136° olan elmas kare piramit kullanılır. P yükü ile malzemeye bastırılan piramit ucun bıraktığı dörtgen izin köşegenleri ölçülerek hesaplanan ortalama köşegen uzunluğu formülde yerine konarak sertlik değerleri bulunur.

Vickers sertliği yüke bağlı değildir. Ölçme hatalarını azaltmak ve heterojen yapılarda ortalama değer elde edebilmek için yükü ve dolayısıyla izi büyütmek faydalıdır. Ancak köşegen uzunluğu sertliği ölçülen parça veya tabaka kalınlığının en çok üçte ikisi kadar olmalıdır. Yük 1-120 kgf arasında değişebilir. Normal yük olarak 30 kgf seçilebilir. Vickers yönteminde büyük piramit açısından dolayı az derinliklere rağmen geniş diyagonaller elde edilir. Böylelikle 5 - 200 kgf gibi çok küçük yüklerde bile ölçülebilir izler elde edilip çok küçük bölge veya ince tabakaların sertliğinin saptanması da mümkündür (mikro sertlik).

- **Deneyin yapılışı:** Vickers sertlik ölçme yönteminde uygulanabilecek yükler 1-120 kgf arasındadır. Gerekli ağırlıklar deney cihazı üzerine takıldıktan sonra baskı ucu mengenede bağlı olan numune üzerine getirilir. Baskı ucunun kolu aşağı çevrilerek ucun çıkması sağlanır. Sistem hidrolik olduğu için baskı ucu yavaş yavaş aşağı iner. Baskı ucunun numune üzerine temas etmesinden itibaren deney başlamıştır. Yükün numune üzerinde kalma süresi 20 saniyedir. Bu süre sonunda baskı ucu numune üzerinden kaldırılır ve deney bitirilir. Ancak bu ölçümün sonucunun doğruluğu bakımından numunenin en az üç farklı noktasına uygulanması gerektiği unutulmamalıdır.

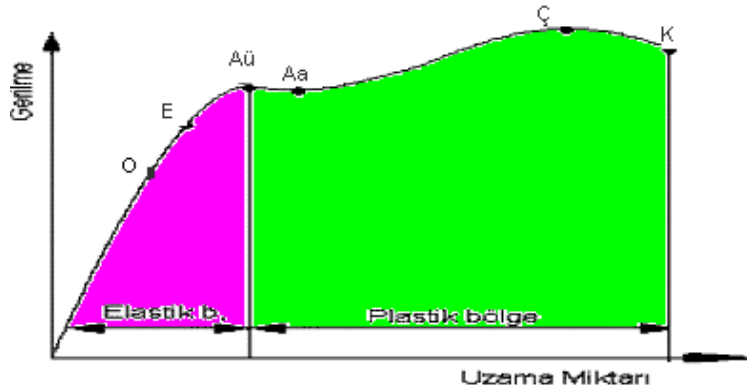


Resim 2.23: Vickers deney aleti

- **İz çapının ölçülmesi:** İzin ölçülmesi için cihaza ilave edilmiş metalürji mikroskobu kullanılır. Numune üzerinde meydana getirilen izin görüntüsü mikroskop yardımı ile ölçme ekranına aktarılır. Ölçme ekranındaki hareketli iki cetvel yardımıyla köşegen uzunluğu hassas bir şekilde ölçülür, izin köşegen uzunluğu $d=5a+20b$ olarak tespit edilir.
- **Sertlik değerinin tespiti:** $VS = 1, 8544.P/ d^2$ formülünden sertlik değerini tespit edebiliriz.

2.3.2. Çekme Deneyleri

Malzemelerin statik (darbesiz) yük altındaki mukavemet özelliklerini ortaya çıkarmak için uygulanan bir deneydir. Deney sonucu bulunan malzeme özellikleri, mühendislik hesaplamalarında doğrudan kullanılır. Çekme deneyi için önce test edilecek malzemeden standartlara uygun bir çekme numunesi hazırlanır. Resim 2.24'teki gibi bu numune iki ucundan özel çekme test cihazının çenelerine bağlanıp gittikçe artan bir yükü kopuncaya kadar çekilir. Bu esnada uygulanan F yükü ile buna karşı malzemenin gösterdiği uzama (Δl) ölçülür. Deney sonucu elde edilen yük (F) ve uzama (Δl) değerlerinden yararlanarak ($F - \Delta l$) diyagramı elde edilir. Bu diyagrama çekme diyagramı da denir.



Şekil 2.3: Gerilme uzama diyagramı

Deneyde;

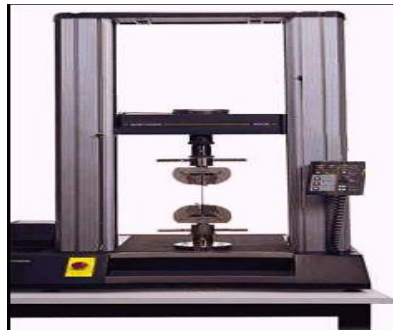
O - orantı sınırı: Bu noktada parça üzerindeki kuvvet kaldırıldığında deney parçası eski konumuna gelir.

E - Esneklik sınırı: Pratik olarak orantılı uzamanın sona erdiği yerdir. Gerçekte %0.01 kalıcı uzama kabul edilmiştir.

A - Hızlı ve kalıcı uzamanın olduğu bölgeler % 0,2 kalıcı uzama veren gerilim akma sınırı olarak kabul edilmiştir.

Ç - Çekme gerilimi: Akma sınırından sonraki kuvvet artışlarında deney parçasının boyu fazlaca uzar. Ç noktasında en büyük değerini alır. Çekme gerilimi uygulanan en büyük kuvvetin deney parçasının ilk başlangıçtaki kesitine bölünmesi ile bulunur.

K - Kopma gerilimi: Malzemenin koptuğu gerilimdir.

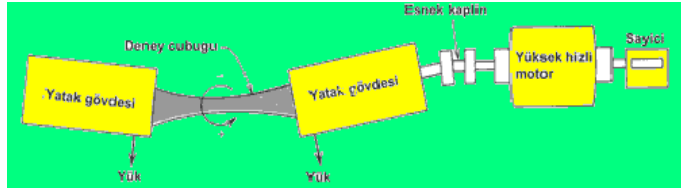


Resim 2.24: Çekme deneyi test cihazı

2.3.3. Yorulma Deneyi

Değişik yön ve şiddete sahip makine parçalarının çoğu kez az bir yük karşısında kırılması olayına malzeme yorulması denilir. Malzeme yorulması, statik zorlamalar sonucunda değil dinamik ve değişken zorlamalar sonucunda oluşur.

Sabit yükler için çekme deneyinden elde edilen neticeler çok iyi bir referans olabilir. Fakat değişken yüklerle çalışan parçalar çekme deneyi ile elde edilen mukavemet değerlerinden çok daha önce kırılır. Bu sebeple malzemelerin değişken yüklerle karşı dayanımlarını belirlemek için başka bir yöntem kullanılır.



Şekil 2.4: Yorulma deneyi şeması

Malzemelerin yorulma mukavemetini öğrenmek için değişik yüklemelere karşı çeşitli yorulma deneyleri yapılır. Şekil 2.4'te yorulma deneyinin yapılışı görünüyor. Yorulma deneyinde çekme-basma, eğilme veya burulma şeklinde alternatif yüke maruz bırakılan deney parçası yükün büyüklüğüne bağlı olarak belli çevrim sonrasında kırılır. Yük azaldıkça parçanın dayanabildiği çevrim sayısı artar. Malzemenin 10 milyon ve üzerindeki çevrim sayılarına dayandığı mukavemete sürekli mukavemet değeri, daha önceki çevrim sayılarına ise zaman mukavemeti denir. Tüm kırılma olaylarının %90'ı yorulma kırılmalarıdır.

Malzeme yorulmaları genel olarak makine parçasının sertleştirilen bölgelerinde daha öncelikli olarak başlar. Önceleri gözle görülmeyecek kadar küçük olan çatlaklıklar, değişken yüklerin etkisiyle büyük çatlaklara dönüşür ve malzemenin normal şartlarda çok rahat dayanabileceği bir yük etkisi bile makine parçasının kırılmasına neden olur.

Yorulma kırılmaları işaret vermeden, aniden meydana geldiklerinden önceden tespit edilmeleri güçtür. Tüm kırılma olaylarının % 90 gibi önemli bir oranın yorulmadan kaynaklandığı tespit edilmiştir.



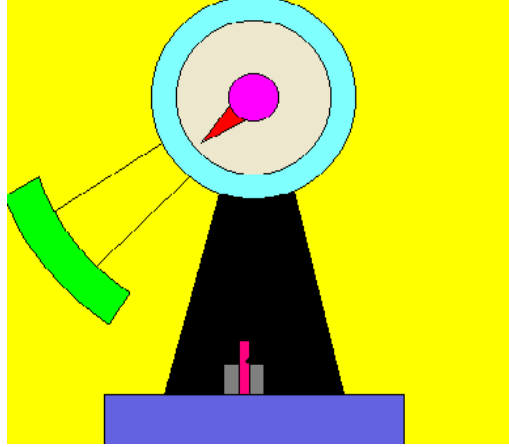
Resim 2.25: Yorulma deneyi cihazı

2.3.4. Çarpma Direnci Deneyi (Çentik ve Darbe Deneyi)

Birçok iş parçası, çalıştığı yerin şartlarına göre ani yüklenmelerin etkisi altında kalmaktadır. Gevrek malzemeler ani yüklenmelerin etkisiyle hemen koparken sünek malzemeler bir miktar plastik şekil değişimine uğradıktan sonra kopmaktadır. Gevrek malzemelerin kopma türüne “ayrılma kopma”, sünek malzemelerin kopma türüne de “sünek

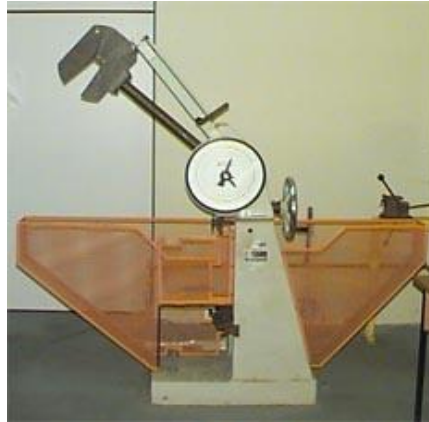
kopma” denir. Bazı parçalar ise farklı yer ve zamanlarda bu iki kopma türünün de özelliklerini taşıyarak kopar. Bu tür kopmalara da “karışık kopma” denir.

Malzemelerin gevrek kırılma etkisinde yeter tokluğa veya plastik şekil değişikliğine sahip olup olmadığının tespiti için çentik darbe (vurma) yöntemi uygulanır. Vurma deneyi, çelik ve çelik döküm malzemeler için yapılabildiği gibi demir dışı metaller için de yapılır.



Şekil 2.5: Çentik deneyinin yapılışı

- **Deneyin yapılışı:** Deney, sarkaçlı vurma cihazında yapılır. Cihazın sarkaç çekici önceden belirlenmiş H yüksekliğinden düşer ve en alt noktada arka yüzüne vurduğu çentikli numune parçasını eğmeye zorlar. Burada çekiç, hava ve çekicinin sap kısmının yataklarıyla temas eden yerlerde oluşan sürtünmeleri yenmesi gerekmektedir. Bundan dolayıdır ki çekiç numuneye vurmadan önce enerjisinde belli miktarda kayıplar ile karşılaşır. Deney parçasının kırılması veya desteklerin arasından şekil değiştirerek geçmesi için sarkaç enerjisinin bir kısmı kırma işi olarak tüketilir. Bu değer cihaz göstergesinden doğrudan doğruya okunur. Vurma değeri çentik dibindeki anma kesitine oranlanırsa çentik darbe mukavemeti elde edilir ($a\sigma = E_k/A$)



Resim 2.26: Çentik deneyi cihazı

- **Deney işlem sırası**
 - Deney için uygun standartlarda hazırlanmış deney numunesi alınır.
 - Numune çentik kısmı çekicinin vuracağı yönün tersine doğru, çentik mesnetlerin tam ortasına doğru gelecek şekilde yerleştirilir.
 - Çekiş düşey konuma getirilecek şekilde en üst noktaya kaldırılır.
 - Daha sonra çekiş sistemini ayakta tutan mandal çekildi ve çekiş serbest olarak harekete geçer.
 - Vurma işi olarak 10,6 kgm'lik enerji, deney makinesinden tespit edilir.
 - Deney sonunda değerlendirilme yapılır.

UYGULAMA FAALİYETİ

Demir cinsi malzemelerde mekanik testleri yapınız.

İşlem Basamakları	Öneriler
<ul style="list-style-type: none">➤ Deney için uygun deney numunesi alınız.➤ Numune yüzeyi temizleyiniz.➤ Numune çentik kısmı çekicinin vuracağı yönün tersine doğru çentik mesnetlerin tam ortasına doğru gelecek şekilde yerleştiriniz.➤ Çekici düşey konuma getirilecek şekilde en üst noktaya kaldırınız.➤ Daha sonra çekiç sistemini ayakta tutan mandalı çekiniz ve çekici serbest olarak harekete geçiriniz.➤ Vurma işi olarak 10,6 kgm'lik enerji deney makinesinden tespit ediniz.➤ Ölçülen değer hakkında arkadaşlarınızla yorum yapınız.	<ul style="list-style-type: none">➤ Numunenin deneye uygunluğunu kontrol ediniz. Malzemenin çeşitli fiziksel ve kimyasal özelliklerini araştırınız.➤ Numune yüzeyini temizlerken eldiven kullanınız. Gizli çapakların elinize batmasını engellemiş olursunuz.➤ Bağlantının doğruluğunu kontrol ediniz.➤ Çekicinin en üst düzeye geldiğinden emin olunuz.➤ Çekiç sistemini harekete geçiren mandalı çektiğinizde elinizi sıkıştırmayınız.➤ Okumayı doğru yapınız.

KONTROL LİSTESİ

Bu faaliyet kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için **Evet**, kazanamadığınız beceriler için **Hayır** kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

Değerlendirme Ölçütleri		Evet	Hayır
1	Deney için uygun deney numunesi buldunuz mu?		
2	Numune yüzeyi temizlediniz mi?		
3	Numune çentik kısmı çekicinin vuracağı yönün tersine doğru çentik mesnetlerin tam ortasına doğru gelecek şekilde yerleştirdiniz mi?		
4	Çekiç düşey konuma getirilecek şekilde en üst noktaya kaldırdınız mı?		
5	Daha sonra çekiç sistemini ayakta tutan mandalı çekiniz ve çekici serbest olarak harekete geçirdiniz mi?		
6	Vurma işi olarak 10, 6 kgm'lik enerji deney makinesinden tespit ettiniz mi?		
7	Ölçülen değer hakkında arkadaşlarınızla yorum yaptınız mı?		

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme sonunda “**Hayır**” şeklindeki cevaplarınızı bir daha gözden geçiriniz. Kendinizi yeterli görmüyorsanız öğrenme faaliyetini tekrar ediniz. Bütün cevaplarınız “**Evet**” ise “Ölçme ve Değerlendirme”ye geçiniz.

UYGULAMA FAALİYETİ

Demir cinsi malzemelerde ısı işlemleri yapınız.

İşlem Basamakları	Öneriler
<ul style="list-style-type: none">➤ Deney için uygun deney numunesi alınız.➤ Numune yüzeyini temizleyiniz.➤ Fırını kademeli olarak ısıtarak (100 °C/Saat) çelik parçanın cinsine, büyüklüğüne göre belirlenen uygun sertleştirme sıcaklığına getiriniz.➤ Parçaların boyutunu ve şeklini göz önünde bulundurarak sertleştirme fırınına veya tavalara homojen dağılmış ve düzgün bir şekilde dizilmesini sağlayınız.➤ Parçanın durumuna göre gerekiyorsa ön ısıtma uygulayınız.➤ Parçanın boyutuna ve kompleks yapısına göre fırında bekletme süresini tayin ediniz.➤ Parçayı ısıtma işlemine uygun belirlenen sıcaklık değerinde bekleterek parçada homojen ısı dağılımını sağlayınız.➤ Uygun soğutma ortamını belirleyiniz su verme işlemi uygulayınız.➤ Parçanın sertlik alıp almadığını sertlik cihazı ile kontrol ediniz.➤ Su verme işleminden sonra temperleme sıcaklığını tespit ediniz.➤ Fırında parçayı uygun sıcaklığa getirerek parçanın ölçülerini değerlendirerek 2 saat bekletiniz ve sakın havada soğutunuz.➤ Sertliği istenen resim değerine göre sertlik cihazını kullanarak kontrol ediniz.➤ Sertlik istenilen sertlik değerinden düşükse parçanın alaşımı ve kompleks yapısına göre gerekiyorsa normalize veya tavlama işleminin ardından sertleştirme işlemi yenileyiniz.	<ul style="list-style-type: none">➤ Numunenin deneye uygunluğunu kontrol ediniz. Malzemenin çeşitli fiziksel ve kimyasal özelliklerini araştırınız.➤ Numune yüzeyini temizlerken eldiven kullanınız. Gizli çapakların elinize batmasını engellemiş olursunuz.➤ Isıl işlem yapılacak parçaların nemden, yağdan, boyadan vb. arındırılmış olmasına ve çapak, kertik vb. kusurlar olmamasına dikkat ediniz. Gerekirse buhar veya diğer yöntemlerle (kumlama vb.) parçanın temizlenmesini sağlayınız.➤ Fırın sıcaklığını ve fırındaki ısı dağılımını kontrol ediniz.➤ Yağda su verilmiş ise yıkama tezgâhını kullanarak parçayı yağdan ve kirinden arındırınız.➤ En kısa süre içinde temperleme işlemine geçiniz.➤ Sertlik değeri yüksekse temperleme işlemi yenileyerek uygun sertliği ayarlayınız.➤ Isıl işlem sonrası gerekiyorsa yüzey temizliği için (kumlama vb.) ilgili atölyeye gönderiniz.

KONTROL LİSTESİ

Bu faaliyet kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için **Evet**, kazanamadığınız beceriler için **Hayır** kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

Değerlendirme Ölçütleri		Evet	Hayır
1	Deney için uygun deney numunesi buldunuz mu?		
2	Numune yüzeyini temizlediniz mi?		
3	Fırını kademeli olarak ısıtarak (100 °C/saat) çelik parçanın cinsine, büyüklüğüne göre belirlenen uygun sertleştirme sıcaklığına getirdiniz mi?		
4	Parçaların, boyutunu ve şeklini göz önünde bulundurarak sertleştirme fırınına veya tavalara homojen dağılmış ve düzgün bir şekilde dizilmesini sağladınız mı?		
5	Parçanın durumuna göre gerekiyorsa ön ısıtma uyguladınız mı?		
6	Parçanın boyutuna ve kompleks yapısına göre fırında bekletme süresini tayin ettiniz mi?		
7	Parçayı ısıtma işlemi için uygun belirlenen sıcaklık değerinde bekleterek parçada homojen ısı dağılımını sağladınız mı?		
8	Uygun soğutma ortamını belirleyip su verme işlemini uyguladınız mı?		
9	Parçanın sertlik alıp almadığını sertlik cihazı ile kontrol ettiniz mi?		
10	Su verme işleminden sonra temperleme sıcaklığını tespit ettiniz mi?		
11	Fırında parçayı uygun sıcaklığa getirerek parçanın ölçülerini de değerlendirerek 2 saat bekletme süresini uygulayınız ve sakın havada soğutunuz mu?		
12	Sertliği istenen resim değerine göre sertlik cihazını kullanarak kontrol ettiniz mi?		
13	Sertlik istenilen sertlik değerinden düşükse parçanın alaşımı ve kompleks yapısına göre gerekiyorsa normalize veya tavlama işleminin ardından sertleştirme işlemini yenilediniz mi?		

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme sonunda “**Hayır**” şeklindeki cevaplarınızı bir daha gözden geçiriniz. Kendinizi yeterli görmüyorsanız öğrenme faaliyetini tekrar ediniz. Bütün cevaplarınız “**Evet**” ise “Ölçme ve Değerlendirme”ye geçiniz.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki cümlelerin başında boş bırakılan parantezlere, cümlelerde verilen bilgiler doğru ise D, yanlış ise Y yazınız.

1. () Esneklik sınırı, pratik olarak orantılı uzamanın sona erdiği yerdir. Gerçekte % 0,01 kalıcı uzama kabul edilmiştir.
2. () Bu deney yönteminde baskı elemanı olarak tepe açısı 130° olan elmas kare piramit kullanılır.
3. () (SAE) standardına göre her (SAE) kodu 4 veya 5 rakamdan oluşur. Bu rakamlardan birincisi çeliğin tipini, ikincisi alaşımı oluşturan madenlerin yüzde miktarını, son iki veya üç rakamı alaşımda yüzde karbon miktarını ifade eder.
4. () Malzemenin kimyasal yapısını değiştirmeden yapılan yüzey sertleştirme çeşidinden biri alevle yüzey sertleştirmedir.
5. () Tabiatта demir ihtiva eden pek çok filiz (cevher) bulunmaktadır. Bunlardan biri de semenittir.
6. () Oksijen konvertör çelik üretim yöntemlerinden biridir.
7. () Tungstenli çelik alaşımı yüksek sıcaklıklarda sertliğini muhafaza etmez.
8. () Tavlama, metali yumuşatma amaçlı uygulanan ısıl işlemlerin geneline verilen addır.
9. () Sertlik ölçme yöntemlerinden biri de Brinell yöntemidir.
10. () Hastelloy alaşımı W (62Ni – 24.5Mo - 5Cr – 5.5Fe) şeklinde gösterilir.

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçiniz.

ÖĞRENME FAALİYETİ-3

AMAÇ

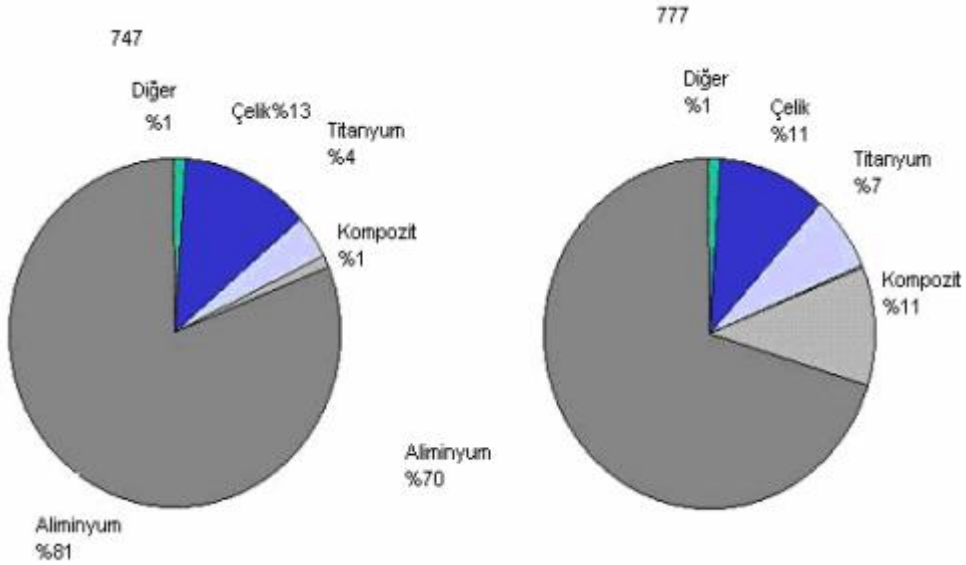
Demir cinsi olmayan malzemelerde ısıl işlem ve mekanik testleri TSE, DIN, MKE, SAE ve ISO standartlarına göre tekniğine uygun olarak yapabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

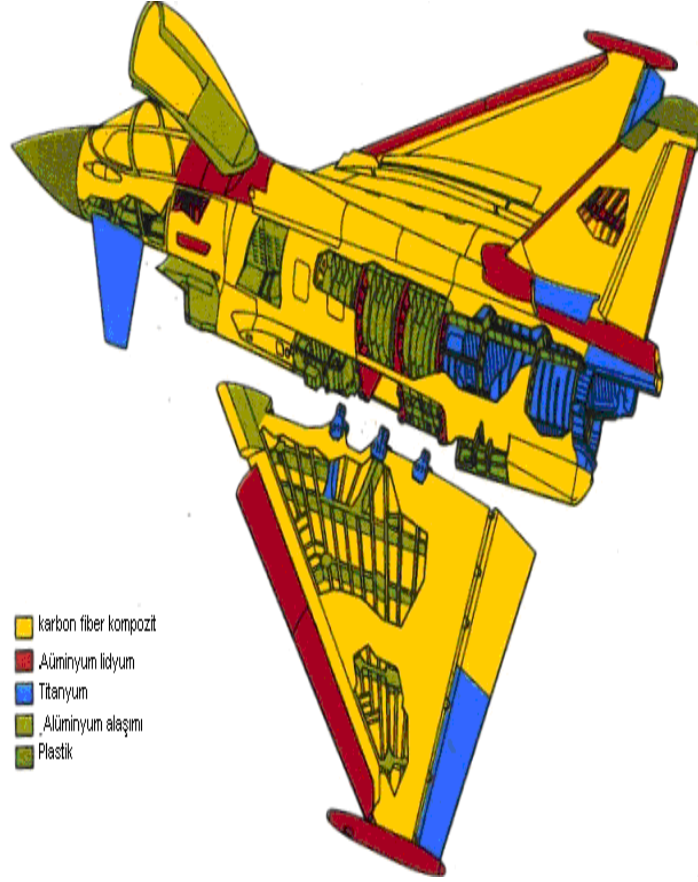
- Demirin doğada fazla bulunmasına ve ucuz olmasına rağmen çevrenizde gördüğünüz birçok eşyanın az bulunan ve daha pahalı olan diğer metallerden üretilmelerinin nedenlerini arkadaşlarınızla birlikte araştırınız.

3. DEMİR CİNSİ OLMAYAN UÇAK MALZEMELERİ

Uçaklarda en çok kullanılan demir cinsi olmayan malzemeler daha çok alüminyum ve alaşımlarıdır. Diğerleri ise titanyum ve alaşımları, Bakır ve alaşımları, kurşun ve alaşımları, Magnezyum ve alaşımları, kompozit malzemeler olarak sayabiliriz.



Şekil 3.1: Boeing 747 ve 777’de kullanılan malzemeler ve oranı



Şekil 3.2: Uçakta malzeme dağılımı

3.1. Uçakta Kullanılan Genel Anlamda Demir Olmayan Malzemelerin Nitelikleri, Özellikleri ve Tanımlamaları

Uçaklarda kullanılan demir cinsi olmayan malzemeler alüminyum ve alaşımları, titanyum ve alaşımları, bakır ve alaşımları, kurşun ve alaşımları, magnezyum ve alaşımları ile kompozit malzemeler olarak sınıflandırabiliriz.

3.1.1. Alüminyum

Alüminyum ve alaşımlarının uçak sanayinde yaygın olarak kullanılmaya başlanması, alüminyum metalürjisinin gelişmesi ve uçak yapılarının “yük taşıyan kaplama” yani monokok ve yarı-monokok olarak şekillendirilmesinin sonucudur. 1930 senelerinden önce yapılan uçaklarda ağaç malzeme gerekli mukavemeti sağlamakta iken 1940 senelerine doğru hızların ve kanat yüklemelerinin artması ile yerini çeliklere bırakmaya başlamıştı. Ancak çelik malzeme ile hafif, aynı zamanda yüksek hızlar için gereken aerodinamik verimliliği olan kanat, gövde ve kuyruk elemanlarının imalat zorluğu alüminyum alaşımlarının çok kısa bir zamanda esas uçak malzemesi olarak kabul edilmesine yol açmıştır. Günümüzde uçak ana elemanlarının büyük bir kısmında alüminyum alaşımların yerine, üzerinde yoğun araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılan kompozit malzemeler almaya başlamıştır.



Şekil 3.3: Alüminyumun kullanılış yerleri

Alüminyum, oksijene karşı olan yüksek kimyasal reaksiyon sebebi ile tabiatta saf olarak bulunmaz. En çok rastlanan bileşiği boksit adıyla tanınan Al_2O_3 alaşımıdır ve topraklarda, kilde ve kayalarda bulunmaktadır. En zengin yataklar Güney Fransa, Macaristan, Rusya, USA, Hindistan, Siyam, Brezilya ve Batı Afrika'da bulunmaktadır. Memleketimizde de Güney ve Batı Anadolu'da zengin boksit yatakları mevcut olup alüminyum üretimi için gerekli tesisler kurulmuştur. Alüminyumun iktisadi olarak elde edilebilmesi için boksitin en az % 55 Al_2O_3 bulunması zorunludur. Genel olarak boksitin yapısı; % 55 – 65 Al_2O_3 (kil), % 12 – 30 (kristal suyu), % 28 Fe_2O_3 (demir oksit), % 8 SiO_2 (silisyum dioksit)' ten meydana gelmektedir.

Alüminyum doğada saf hâlde bulunmadığı için bazı deneylerle saflaştırılır. Bunlar;

- Hall metodu, Bayer metodu ve Kriyolit adı verilen bir çözücüde çözünmesi (kriyolit: $3NaF-AlF_3$) şeklinde sınıflandırılabilir.

Elektroliz sonucu elde edilen alüminyum % 99,7 kadar saf olabilmekte ise de piyasaya verilen alüminyum bloklar % 99,4 saflıktadır. Saf alüminyum hava içinde çok hızla oksitlenir. Ancak yüzeyinde hızla oluşan ince oksit koruyucu bir tabaka niteliğini taşıdığından oksitlenmenin devamını önler. Saf alüminyum yumuşak ve düşük mukavemette olduğu için uçak elemanlarının yapımında kullanılmaz. Ancak saf alüminyumun yüzeyinde oluşan çok ince oksit tabakasının koruyucu niteliğinden yararlanmak amacı ile uçak yapımında kullanılan alüminyum alaşımı sac levhaların yüzeylerinin kaplanmasında uygulanmaktadır. Bu şekilde hazırlanan sac levhalar "Alclad" adı ile tanınmaktadır. Genel inşaatta kullanılan ticari % 99,4 saflığındaki alüminyumun tavlama ve mekanik işleme (haddeleme, presleme vb.) ile sertleştirilmesi ve mukavemet kazanması mümkündür.

3.1.1.1. Kullanılış şekilleri

Uçak elemanlarının yapımında kullanılan alüminyum alaşımları döküm veya haddeleme yolu ile şekillendirilir.

- **Döküm Alaşımları:** Dökme alüminyumun 20 °C' de yoğunluğu 2,65-2,69 g/cm³tür. Ergime noktası 658 °C kaynama noktası 800 °C'dir. Uçak ana yapı elemanlarının dışında diğer yardımcı sistemlerin parçalarının yapımında örneğin motorlarda, iniş takımlarında, kumanda düzeninde, basınçlandırma sisteminde ve hidrolik donanımda döküm yolu ile şekillendirilen alüminyum alaşımlara uygulanır. Uçak ana elemanlarının fazla yük taşımayan kısımlarında birleştirme parçaları ve takviye yapılarında sert kalıplara basınçlı olarak dökümü yapılan

(pres döküm) alaşımlar kullanılabilir. Bu parçalara örnek olarak kapı ve kapak menteşeleri, yapıda açılan deliklerin kenarına yerleştirilen takviye parçaları, teçhizat ve sistem elemanlarının uçak yapısına bağlanmasını sağlayan parçalar gösterilebilir. Döküm yolu ile yapılan parçaların mukavemet değerleri yeterli olduğu zaman karmaşık geometriye sahip parçaların üretimi, mekanik işleme şekillendirme yöntemine kıyasla daha ekonomik olmaktadır. Ancak döküm için gerekli olan kalıp masrafı ile yapılacak parça adedinin üretim fiyatını etkileyeceğini de unutmamak gerekir.



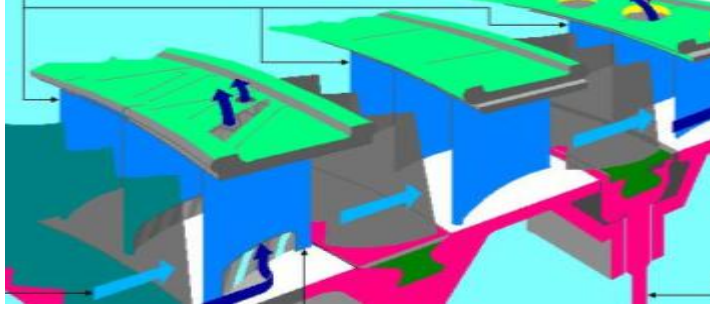
Resim 3.1: Hidrolik sistemden bir görüntü

- **142 Alaşımı:** (%4 Cu - %2 Ni - %1,5 Mg) Çok yüksek sıcaklık mukavemeti istenen yerlerde kullanılır. Uçak jeneratör yuvalarında, pistonlarında, hava soğutmalı silindir kafalarında kullanılır. 20 °C'deki yoğunluğu 2.81g/cm³tür. Kum döküm tipleri 345 °C'de tavllanır. Döküm sıcaklığı kum dökümde 677-788 °C arasındadır. Sürekli dökümde de bu sıcaklık aralığında döküm yapılır.142 alaşımından parçalar, 2117-T4, 2017-T4 dövme alüminyum alaşımlarından yapıma perçinlerle birbirlerine bağlanabilir. Metal ark kaynağı 4043 alaşımıyla, karbon ark kaynağı da 4043 alaşımıyla, argon koruyucu gaz atmosferinde tik kaynağı yapılabilir. Kaynak tozu gerekmez.
- **195 Alaşımı:** (% 4,5 Cu) Yüksek çekme özelliklerinin ve iyi işlenebilirliğin bir kombinasyonunun gerekli olduğu durumlarda uygulama alanı vardır. Uçak tekerleğinde bağlantılarında kullanılır. 20 °C'deki yoğunluğu 2,81 g/cm³tür. 345 °C'de tavllanır. Bu sıcaklıkta 2-4 saat beklenir. 2117-T4 ve 2017-T4 alaşımlarıyla perçin bağlantısı yapılabilir. 4043 alaşımıyla atomik-hidrojen kaynağı, metal ark kaynağı, karbon ark kaynağı ve argon atmosferi altında tik kaynağı yapılabilir.



Resim 3.2: Uçak tekerlek bağlantısı

- **220 Alaşımı:** (%10 Mg) Bir kum döküm alüminyum alaşımından en büyük mukavemet ve uzama, korozyona direnç ve çok iyi işlenebilirlik istendiğinde kullanılır. Uçak bağlantılarında, gerilme ve şok direnci gerektiren karışık dökümlerde kullanılır. 20 °C'deki yoğunluğu 2,57 g/cm³tür. Çekme gerilme mukavemeti 69,56, basma gerilmesi mukavemeti 39,13, kesme mukavemeti 49,3 N/cm²dir. Yorulma limiti 500 milyon tur kullandıktan sonra 11,6 N/cm²dir. 6053-T4 alaşımı ile perçin bağlantıları nokta ve alın kaynakları yapılabilir.
- **355 Alaşımı:** (%5 Si - %1,3 Cu - %0,5 Mg) İyi dökülebilirliğin, kaynak edilebilirliğin ve basınç altında sızdırmazlığın gerektiği uygulamalar tipik kullanımlarıdır. Uçak kompresör kaplamalarında, sıvı soğutmalı uçak motor kerterlerinde kullanılır. 20 °C'deki yoğunluğu 2,71 g/cm³tür.



Şekil 3.4: Kompresör şematik resmi

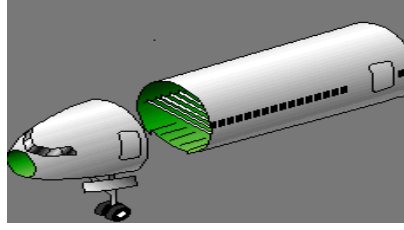
- **356 Alaşımı:** (%7 Si - %0,3 Mg) Çok iyi bir dökülebilme ve kaynak edilebilme, basınç altında sızdırmazlığa ve korozyona çok yüksek direncin olması özelliklerinin gerektiği uygulamalarda kullanılır. Uçak pompa parçaları, uçak bağlantı ve kontrol parçaları tipik kullanımlarıdır. 20 °C'de yoğunluğun 2,64 g/cm³tür.



Resim 3.3: Hidrolik pompa

- **Hadde alaşımları:** Bu maksat için hazırlanmış olan alüminyum alaşımlarından kokil kalıplarda veya pres döküm metodu ile bloklar dökülür. Bloklar, haddeleme, presleme, dövme veya çekme işlemlerine tabi tutularak sac levha, bant, çubuk, profil, boru vb. şekillerde yarı mamul duruma getirilir. Alaşımın kristal yapısı, bu işlemler sonucu daha homojen hâle geldiği için ısıl işleme

daha elverişli olur. Sac levhalar 0,35 ile 6 mm arasında değişik kalınlıklarda bulunabilmektedir. Bu malzeme en çok uçak yapılarında yük taşıyan kaplamalarda kullanılmaktadır. Ayrıca yükleri fazla olmadığı yerlerde sacdan bükme yolu ile elde edilen profiller de uygulanır. Çubuklar değişik boyutlarda ve kesit geometrisinde yapılmaktadır. Bu malzeme daha sonra uygulanan mekanik işlemlerle istenilen şekillere getirilir. Örnek olarak uçak yapı elemanlarının birleştirilmesinde kullanılan perçinler gösterilebilir. Dairesel kesitli alüminyum alaşımı çubuklarda istenilen çap, şekil ve boyda perçinler yapılır. Çekme işlemi ile yapılan profiller uçak kanatlarında, gövdede, kuyruk yüzeyleri konstrüksiyonunda vb. yerlerde enlem ve boylam yönlerinde çekme, eğilme ve bazı yüklerini taşıyıcı eleman olarak uygulanır. Sac levhayı bükme yolu ile veya çekme işlemi ile değişik kesit geometrisine sahip profiller üretilmektedir.



Şekil 3.5: Uçak gövdesi

➤ **Dövme alüminyum alaşımları**

- **2014 Alaşımı:** (%4,5 Cu - %0,8 Si - %0,8 Mn - %0,4 Mg) Yüksek mukavemetin ve bununla ilgili olarak iyi işlenebilirliğin ve yüksek sertliğin istendiği durumlarda kullanılır. Uçak teçhizatının yapımında geniş olarak kullanılır. 20 °C'deki yoğunluğu 2,80 g/cm³tür. 260-480 °C arasında sıcak çalışabilir. Tam tavlama için 412 °C'de 2-3 saat bekletilir. Sonra saatte 10 °C'lik bir soğuma hızıyla fırında soğutulur.
- **2024 Alaşımı:** (%4,5 Cu - %1,5 Mg - %0,6 Mn) Uçak yapısında, perçinlerde, karışık şekilli elemanlarda kullanılır. 20°C'deki yoğunluğu 2,77 g/cm³tür Tam tavlama 413 °C'de 2-3 saat bekletildikten sonra saatte 10 °C'lik bir soğuma hızıyla fırında soğutulur. 260-480 °C arasında sıcak çalışabilir.



Resim 3.4: 2024 alaşımlı perçinler

- **5052 Alaşımı:** (%2,5 Mg - %0,25 Cr) Ortalama statik mukavemetin, iyi çalışabilirliğin, yüksek yorulma mukavemetinin ve korozyona çok iyi bir direncin istendiği uygulamalarda kullanılır. Uçağın yakıt ve yağ borularında, yakıt tanklarında kullanılır. 20 °C'deki yoğunluğu 2,68 g/cm³tür. 260-510 °C arasında sıcak çalışabilir. 345 °C'de tavllanır. Bu sıcaklıkta tutmak gerekmez. Hemen soğutulabilir.
- **6061 Alaşımı:** (% 1,0 Mg -% 0,6 Si - % 0,25 Cu - % 0,025 Cr) Yüksek mukavemetin, işlenebilirliğin, kaynak kabiliyetinin ve korozyona iyi bir direncin istendiği durumlarda kullanılır. Uçak iniş merdivenleri gibi elemanlarında uygulama alanı vardır. 20 °C'deki yoğunluğu 2.70 g/cm³tür. Çıplak ve kaplı alaşım olarak kullanılır. 260-510 °C arasında sıcak çalışabilir. Tam tavlama 413 °C'de yapılır. Bu sıcaklıkta 2-3 saat bekletildikten sonra saate10 °C hızla fırında soğutulur.
- **7075 Alaşımı:** (%5,5 Zn- %2,5 Mn - %1,5 Cu- %0,3 Cr)Yüksek mukavemetin ve korozyona iyi direncin gerektiği durumlarda kullanılır. Uçak yapı elemanlarının büyük bir kısmı 7075 alaşımından yapılır. 20°C'deki yoğunluğu 2,80 g/cm³tür. Mukavemeti çekme gerilmesi mukavemetinin yaklaşık %55'tir. 260-455 °C arasında sıcak çalışabilir. Tam tavlama 413 °C'de 2-3 saat bekletmeyle yapılır. Sonra havada soğutulur. Malzeme kullanılmadan önce bir süre depolanacaksa 232 °C'de yeni bir ısıtmaya tabi tutulmalıdır.



Resim 3.5: Resimde 7075 alaşımının kullanıldığı uçağın yapı elemanlarından stringer ve frame

3.1.1.2. Fiziksel özellikleri

Saf madde yumuşak olduğu için uçak yapımı için yeteri kadar yüksek mukavemeti olmamaktadır. Ticari maksatlar için elde edilen alüminyum içinde kalan yabancı maddeler aracılığı ile bu malzeme mekanik işlem sonucu bir miktar sertlik mukavemet kazanır. Bu basit alaşımlar ikinci derece uçak elemanları yapımı için uygundur ancak yük taşıyan ve kırılması uçağı tehlikeye sokabilen, birinci derece elemanların yapımı için daha yüksek mukavemeti olan alüminyum ve bakır alaşımları kullanılır.

3.1.1.3. Alaşım kompozisyonları

<u>Alaşım kodu</u>	<u>Ana alaşım elementi</u>
1XXX	Ticari saf alüminyum (% 99 + Al)
2XXX	Bakır
3XXX	Manganez
4XXX	Silisyum
5XXX	Magnezyum
6XXX	Magnezyum + Silisyum
7XXX	Çinko
8XXX	Diğer elementler

3.1.1.4. Alüminyum alaşımlarının içerdiği malzemeye göre kodla sembolize edilmesi

A	Alclad kaplama
2	Alaşımında % 2 bakır içeriyor.
0	Alaşımın modifikasyonu "0 modifikasyon yok"
24	Alaşım dizayncısı
T3	Isıl işlem türü, fırınlama, yaşlandırma

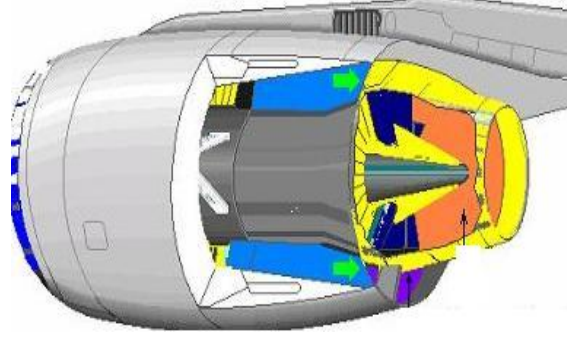
3.1.2. Titanyum

Nispeten hafif bir metal olan titanyum hayli pahalı olmasına rağmen yüksek dayanımı nedeniyle uçak ve uzay sanayinden alüminyum alaşımlarıyla rekabet edebilmektedir. Titanyum, üstün yenim direnci nedeniyle klor ve inorganik klorür çözeltileri gibi birçok kimyasal ortamda başarıyla kullanılmaktadır Titanyum metalinin pahalı olmasının nedeni bileşiklerinden saf hâlde elde edilmesinin güçlüğüdür.

Titanyum yüksek sıcaklıklarda oksijen, azot, hidrojen, karbon ve demirle birleştiğinden dökümü ve talaşsız işlenmesi için özel teknikler gerekmektedir (En önemli şekillendirme tekniği, vakumda arka eritilen yenir elektrodun doldurulduğu su soğutmalı bakır potadan özel kalıplara yine vakum altında döküm yapmaktır.)

3.1.2.1. Titanyum alaşımları

- **Titanyum - zirkonyum alaşımları:** Titanyum ve zirkonyumun atom çapları birbirine çok yakındır. Zirkonyum polifonik dönüşüm sıcaklığını hafifçe etkiler ve titanyum modifikasyonlarında iyi görünür.% 8-12 zirkonyum içeren titanyum alaşımları, oda sıcaklıklarında iyi dövülebilme özelliğine sahiptir. Uzama özelliği de vardır. Alaşımlar ısıl kararlılığa sahiptir.450-600 °C'de 100 saat bekletilmelerine karşın özellikleri çok az değişmiştir.Zirkonyum alüminyuma oranla oda sıcaklığında ya da daha yüksek sıcaklıklarda daha zayıf bir sertleştiricidir.



Şekil 3.6: Uçak egzoz kısmı

- **Titanyum - alüminyum alaşımları:** Alüminyum miktarı arttıkça dayanıklılık da artar. Ancak belirli bir miktardan (%7) sonraki artışlar, en son dayanıklılığı değiştirmez. En yüksek dövülebilme özelliği %8 alüminyum miktarında elde edilir. Mekanik özelliklerdeki benzer değişim de 550-600 °C'de 100 saatlik bir ısıtma sonucunda gözlenmiştir. 600 °C'de 100 saatlik bir ısıtma sonundaki kırılma ve sünme dayanımları da alüminyum miktarı ile birlikte artar. Sonuç olarak % 6-8 alüminyum içeren alaşımlar (alfa- fazındaki yapılarda) yeterli ısıl kararlılık ile birlikte en yüksek ısıl dirence sahiptir. En iyi bileşim özellikleri 800-900 °C'deki tavlama sonrası elde edilir.
- **Titanyum - alüminyum -zirkonyum -kalay alaşımları:** Yüksek sıcaklıklarda zirkonyum, titanyumu sertleştirmede oda sıcaklığına göre daha verimlidir. Kırılma ve kısa süreli dayanımlarda zirkonyum en yüksek dayanıma sahiptir Alüminyum da bu şartlarda iyi sonuç verir. Zirkonyumun miktarı arttıkça kırılma da artar.
- **Titanyum -kalay alaşımları:** Kalay, titanyumu zirkonyuma göre çok daha fazla sertleştirir. Alüminyuma göre ise daha düşük bir sertleştirme özelliğine sahiptir. Alaşımların ısıl direnci, kalay yoğunluğu ile artar.

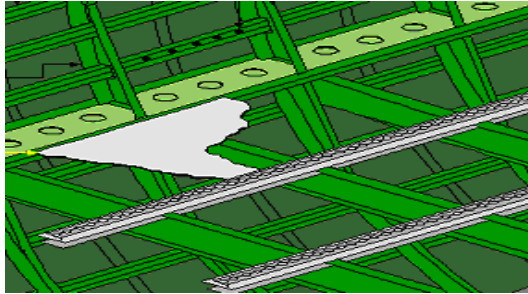
3.1.2.2. Uçak sanayisinde en yaygın olarak kullanılan titanyum alaşımları ve bunların özellikleri

- **99,0 Ti:** İyi işlenebilirlik ve orta düzeyde mukavemet özelliklerine sahiptir. Uçaklarda yanma duvarları, kompresör kaplamaları, egzoz çıkış kaplamaları, gövde bölme duvarlarında geniş çapta kullanılır. 20 °C'deki yoğunluğu 4,54 g/cm³tür. Tavlama sıcaklığı 590-732 °C'dir. Gerektiğinde gerilme giderme tavlama yapılar. Bu işlem 537 °C'de 15-20 dakikadır. Buna sonra havada soğutma uygulanır. Gazaltı koruyuculu ark kaynağı, direnç kaynağı ve nokta kaynağı uygulanır. Resim 3.6'da görülen uçak motorundaki kompresör kapakçıklarında Ti-6Al-4V alfa beta tipi alaşım kullanılır.



Resim 3.6: Bir uçak motoru

- **Ti - 6Al - 4V alfa-beta tipi alaşım:** 315 °C'ye ya da biraz daha yukarı sıcaklıklara kadar yüksek mukavemete sahiptir. Uçakların gaz türbin kompresör kapakçıklarında ve disklerinde, dövme uçak bağlantılarında, preslenmiş uçak çatısı yüzeylerinde, metal levha hâlindeki çatı parçalarında kullanılır.
- **Ti - 5Al - 2.5Sn alfa tipi alaşımı:** Uçak egzoz bağlantılarında ve diğer dövme levha komponentlerinde 480 °C'ye kadar çalışır. Roket yakıt tanklarında, uçak gaz türbini kompresörlerinin yataklarında, kaynaklı stator bağlantılarında ve içi boş kompresör kanatçıklarında, kaynaklı borularda geniş çapta kullanılır. 20 °C'deki yoğunluğu 4,46 g/cm³tür. Tavlama, 830 °C'de 30 dakika ya da 880 °C'de 10 dakikadır. 537 ya da 560 °C'de 1-2 saat tavlama sonra gerilme giderme işlemi yapılmalıdır. Ticari saf titanyuma uygulanan kaynak işlemleri bu alaşıma da yapılabilir.
- **Ti - 8Mn alaşımı:** 93-315 °C arasında çalışan uçak kaplama ve birincil yapı elemanlarında kullanılır. Tam tavlama 680-700 °C'de 1 saattir. Sonra havada soğutulur. Ergitme kaynağı uygulanamaz. Ancak nokta kaynağı dikkatlice yapılmış konstrüksiyonlarda kullanılabilir.



Şekil 3.7: Uçak yapı elemanlarından framerler floor beamler stringerler

- **Ti - 4Al - 4Mn alaşımı:** Uçak çatı elemanlarında kullanılır. 20 °C'deki yoğunluğu 4,52 g/cm³tür. Tavlamasında 720 °C'de 2 saat ısıtılır ve dakikada 2 °C düşecek biçimde fırında soğutulur.

3.1.3. Bakır ve Alaşımları

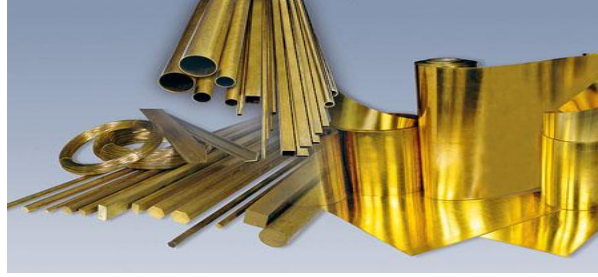
Bakır gerek alaşımsız gerekse de diğer elementler katılarak alaşımlı durumda geniş bir kullanım alanına sahip bir mühendislik malzemesidir. Bakırın en önemli özellikleri elektrik ile ısıyı çok iyi iletmesi ve korozyona dayanıklı olmasıdır. Soğuk şekil vermeye çok

elverişlidir. Ayrıca 650 °C üzerinde kolaylıkla sıcak şekil verilebilir. Süneklik ve tokluğunu alçak sıcaklıklarda kaybetmez. Talaş kaldırarak işlenmesi güçtür. Döküm kabiliyeti iyi değildir.

En saf hâli %99,9 bakır, %0,1 diğer elementler şeklindedir. En yaygın kullanım şekli çinko ile birleşerek oluşturduğu pirinç, kalay ile birleşerek oluşturduğu bronz alaşımlarıdır.

3.1.3.1. Bakır alaşımlarından bazıları ve genel özelliği

- **Çinko alaşımları (pirinç):** Sünek, dövülebilir, korozyon dirençli pembe ve sarı arası renk paletindedir.



Resim 3.7: Pirinç ürünler

- **Kalay alaşımları (bronz):** Yüksek mukavemetli, sünek, korozyon dirençli olup yay yapımında kullanılabilir.
- **Kurşunlu alaşımları:** Kolay işlenebilir malzemeler olup yüksek iletkenliğe sahip bakır çubuklar üretilebilir. Bronz ve pirinç katılarak işlenebilirliği artırılabilirdiği gibi bilye yapımına uygun malzemeler elde edilebilir.
- **Alüminyumlu alaşımları:** Alüminyum bronzlar olarak bilinir ve yüksek mukavemet ve korozyon direncine sahiptir.
- **Fosforlu alaşımları:** Fosforlu alaşımlar kullanılarak yayların esneklik özellikleri artırılabilir.
- **Nikel katılmış alaşımlar:** Daha yüksek mukavemet sağlandığı gibi malzemenin sünekliği de korunabilir. Korozyon direnci mükemmeldir. Bunlara ilave olarak silikon, berilyum ve manganez ile de alaşım oluşturulabilir. Berilyum ise alaşımları en sert türüdür.

Bakır alaşımları havacılıkta alüminyum ile birlikte özellikle boru-hortum elemanlarında, ısıtıcı-soğutucu olarak iklimlendirme elemanlarında, ideal iletken olarak elektrik donanımlarında ve diğer aksesuarlarda bolca kullanılmaktadır.

3.1.4. Kurşun ve Alaşımları

Kurşunun en önemli özellikleri yüksek özgül ağırlık, alçak erime noktası, çok düşük sertlik ($BS = 4 \text{ kgf} / \text{mm}^2$) meydana gelen koruyucu tabakadan dolayı deniz suyuna ve birçok kimyasal maddelere (özellikle sülfürik aside) dayanıklıdır. Çekme dayanımı $1-2 \text{ kgf} / \text{mm}^2$

düzeyindedir. Soğuk şekil verme ile sertleştirilemez. X- ve y- ışınlarından korumada çok önemli bir malzemedir.

Boya ve optik cam imalinde, Pb 99 ve Pb Sb 5 kimya endüstrisindeki cihazların kaplamasında, borularda ve kablo kılıflarında kullanılır Pb Sb 9 alaşımından örneğin akümülatör levhaları, basınçlı döküm alaşımlarından da matbaa harfleri yapımında yararlanır.

3.1.5. Lehimler

Yumuşak lehimler, alçak erime noktalı (<400 °C'de) düşük mukavemetlidir. Lehim bağlantılarının mukavemetini arttırmak amacıyla sert lehimler (pirinç ve gümüş lehimleri) kullanılabilir. Ancak seçilen lehimin çalışma sıcaklığının birleştirilecek metallere erime sıcaklıklarının altında olması gerekir. Örneğin çinkoya yalnız yumuşak lehimleme uygulanabilir. Pirinç lehimleri gümüş lehimlerine göre daha yüksek sıcaklıkta erirler. Genellikle demir, bakır, nikel ve alaşımları için kullanılan yumuşak, sert lehimler dışında alüminyum ve alaşımlarının birleştirilmesinde kullanılan Al lehimleri de vardır. Lehimlenecek parçaların yüzeylerinin oksitlerden temizlenmesi için yumuşak lehimlemede çinko klorürün sulu çözeltisi veya kolofon, donyağı, nişadır karışımı; sert lehimlemede boraks ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, 10 H_2O); alüminyum lehimlemede de Na, K, Li, Ca oksit ve klorürlerinden oluşan maddeler kullanılır.



Resim 3.8: Lehim yapılan bir radyatör

3.1.6. Magnezyum ve Alaşımları

Magnezyum alaşımları, döküm, dövme, ekstrude çubuklar, dolu çubuk, boru, levha şeklinde üretilebilir. Değişken gerilmeli ve gerilmesiz uygulamalar için çok uygundur. En başta gelen avantajları mukavemeti, düşük yoğunluğu, şok ve titreşim absorblayıcı özelliğidir. Alüminyuma göre 2/3, çeliklere göre 1/5 ağırlık avantajına sahiptir.

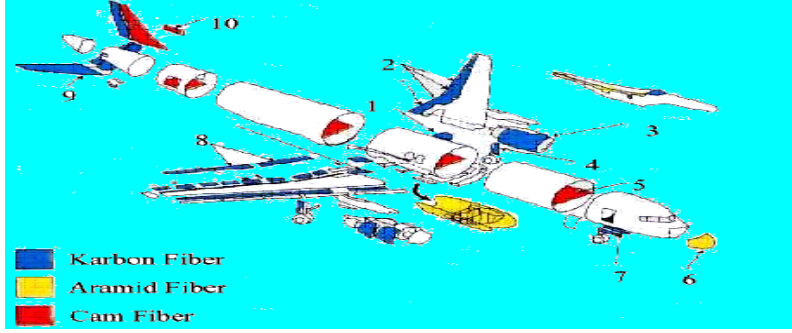
Bu tip alaşımları tanımlamada iki harf veya üç rakam kullanılır. 1. harf ve 1. rakam ilk elementin adını ve tam sayı olarak yüzdesini 2. harf ve 2. rakam diğer elementin adını ve tam sayı olarak yüzdesini belirtir. Özel bir durum olarak X harfi (sonda) çok az miktarda karışım (saf olmayan) olduğunu belirtir.

A Alüminyum	E Nadir toprak elementleri
H Toryum	K Zirkonyum
M Manganez	Z Çinko

Magnezyum alaşımları yanıcı olmasının yanı sıra toryum alaşımları özellikle az miktarda radyoaktifdir.

3.1.7. Kompozitler

Genel bir tanımı yoktur. Değişik tanımlamalar yapılabilir. Sözlük anlamı, değişik parça ve elementlerden oluşan maddelerdir.



Şekil 3.8: Kompozitlerin uçakta kullanım yerleri

3.2. Demir Olmayan Malzemelerin Isıl İşlemleri ve Uygulamaları

Isıl işlem, genel olarak mekanik ve fiziksel özellikleri değiştirmek amacıyla malzemelere uygulanan ısıtma ve soğutma işlemlerini kapsar.

3.2.1. Alüminyum Alaşımlarının Isıl İşlemi

Alüminyum alaşımlarının özelliklerini geliştirmek veya değiştirmek için uygulanan işlemler çeşitlidir. Buna göre esas işlemler tavlama, soğuk işlem, çözeltiye alma ve yaşlanmadır. Bu nedenle alüminyum alaşımlarının ısıl işlemi özel bir anlam taşır ve ağırlıklı olarak yaşlanma işlemini kapsar. Tablo 3.1'de, yaşlanabilen alüminyum alaşımları görülmektedir. Yaşlanabilir alüminyum alaşımlarından 2xxx, 7xxx serisi alaşımlar ve bunlara son yıllarda eklenen Al-Li alaşımları özellikle havacılık endüstrisinde kullanıldığından bu alaşımların ısıl işlemi teknolojik açıdan önem taşır. Bu alaşımların kullanımında mukavemet, tokluk, yorulma gibi mekanik özelliklerin yanı sıra gerilmeli korozyon direnci gibi özellikler ön plana çıkmaktadır. Yaşlanma sadece alüminyum alaşımlarının mekanik özelliklerini etkilemez aynı zamanda korozyon ve iletkenlik özelliklerine de etki eder.

İşlenmiş Alaşımlar		
1xxx	Ticari saflıkta alüminyum (%99Al)	Yaşlanmaz.
2xxx	Al-Cu	Yaşlanabilir.
3xxx	Al-Mn	Yaşlandırılmaz.
4xxx	Al-Si ve Al-Mg-Si	Mg bulununca yaşlanabilir.
5xxx	Al-Mg	Yaşlandırılmaz.
6xxx	Al-Mg-Si	Yaşlanabilir.
7xxx	Al-Mg-Zn	Yaşlanabilir.
Döküm Alaşımları		
1xxx	Ticari saflıkta	Yaşlanmaz.
2xxx	Al-Cu	Yaşlanabilir.
3xxx	Al-Si-Cu veya Al-Mg-Si	Bazıları yaşlanabilir.
4xxx	Al-Si	Yaşlandırılmaz.
5xxx	Al-Mg	Yaşlandırılmaz.
7xxx	Al-Mg-Zn	Yaşlanabilir.
8xxx	Al-Sn	Yaşlanabilir.

Tablo 3.1: Başlıca döküm ve işlenmiş alüminyum alaşımları

3.2.1.1. Tavlama

Soğuk işlem yapılmış parçalarda gerilim (deformasyon) sertleşmesini yumuşatmak veya ısıtılmış işlem yapılmış parçalarda gerilimi almak, özellik ve boyutları kararlı (stabil) hâle getirmek için yapılır. Döküm veya dövme ve çoğu ısıtılmış işlem yapılan Al-alaşımları belirtilen değerlerde tavlandıklarında, müteakip şekillendirme operasyonunu sağlayacak kadar yumuşar.



Resim 3.9: Tavlama fırını

3.2.2. Solüsyona Alma Isıl İşlemi

Alüminyum alaşımı bünyesindeki alaşım elemanlarını katı çözeltiliye almak için malzemenin 520 °C veya üzerinde belirli bir süre tutulup ani olarak soğutulmasıdır. Bu işlemde amaç ergime veya arzu edilmeyen rekristalizasyon olmaksızın alaşım elementlerini tam olarak katı hâlde çözeltiliye almaktır. Bu belirli bir sıcaklıktan çok hızlı soğutulmuş elde edilir.

3.2.2.1. Su verme

Solüsyona alma işlemini takiben parçaların mümkün olan en kısa sürede aşırı doymuş katı eriyik fazında istenmeyen kısmi çökelmeler meydana gelmeden fırından alınıp su verme tankına taşınmalıdır. Bu nedenle bu işleme su verme denilmektedir. Su verme alaşım elementlerinin kontrolsüz olarak çökmesini önler veya geciktirir. Böylece alaşım elementlerinin katı eriyikte kalması sağlanır. Kontrolsüz çökelmeler meydana gelirse mekanik özellikler ve korozyon direnci ters etkilenir. 7075 gibi bazı alaşımlar su verme gecikmesine aşırı duyarlıyken 2014 gibi alaşımlar daha az duyarlıdır. Fırın ve su verme ortamı arasında bir miktar gecikme olacağı aşıkardır. Ancak bu süre alaşıma ve kesit kalınlığına bağlı olarak çoğu durumlarda 5-15 sn. arasındadır. Su verme gecikmesi fırın kapağının açılmasından şarjın en üst noktasının suya gömülmesi aralığında geçen süre olarak ölçülür, kalınlık parçadaki minimum kesit kalınlığını gösterir.

Ham ve yarı mamul alüminyum alaşımlarının solüsyona alma suyu sıcaklıkları aşağıda görülmektedir.

Ham, yarı mamul	maksimum su sıcaklığı	100 °F (38 °C)
Dövmeler	2014 için su sıcaklığı	66 °C – 82 °C
7049,7050 için su sıcaklığı	54 °C – 66 °C	
Diğerleri için su sıcaklığı	60 °C - 71 °C	

Parçaların yüzey görünümü önemliyse su verme suyunun kalitesi önemlidir. Sert veya kirlili su parçaların yüzeyinde lekeler ve tortular bırakır.

Plaka veya içi dolu ağır kesitli ekstrüzyon parçalar gerekirse soğuk suyla spreyleme yöntemi kullanılır. Ağır kesitler içeren üniform olmayan kalınlıklara sahip dövme parçalara su verildiğinde belirli bölgelerde ortaya çıkan yüksek artı gerilimler gerilim korozyonu çatlamasına neden olur. Bu 140-160 °F (60 °C -71°C) arasında sıcak suda su verilerek azaltılır.

3.2.2.2. Doğal yaşlandırma işlemi

Alüminyum alaşımının oda sıcaklığında bekletilmesiyle katı çözeltili içindeki alaşım elemanlarının katı çözeltiliden ayrılıp çökerek "çökme sertleşmesi" mekanizması ile malzemenin sertliğinin artmasıdır. Isıl işlem yapılabilen Al-alaşımları, su verme işleminden sonra oda sıcaklığında son derece kararsızdır ve sertleşmeyi sağlayan fazların çökmesi derhal başlayabilir. Doğal yaşlanmadan önce alaşımın mekanik özellikleri çok düşüktür ve sünekliği tavanmış durumda karşılaştırılabilecek değerlerdedir.



Resim 3.10: Yaşlandırma fırını

Doğal yaşlanma da sıcaklığa bağlıdır ve alaşım düşük sıcaklıklarda soğutularak geciktirilebilir. Doğal yaşlanmanın hızı çok geniş bir aralıkta değişebilir ve alaşıma önemli oranda bağlıdır. 2000 serisi Al-Cu alaşımları oda sıcaklığında hızla sertleşir ve tam sertleşme yaklaşık dört günde tamamlanır.

6061 alaşımı ise su vermeyi takip eden dört günde önemli oranda sertleşmesine rağmen aylar sonra kararlı hâle gelebilir. 7075, 7079 gibi alaşımlar ise su vermeden sonraki birkaç günde önemli oranda sertleşmesine rağmen uzun yıllar boyunca mukavemetinde hafif bir artma devam eder. Kısacası doğal yaşlanma ile de sertlik, aynı zamanda mukavemette artış sağlanır.

➤ **3.2.2.3. Suni yaşlandırma işlemi**

Doğal yaşlandırma ile elde edilemeyecek kadar yüksek sertlik değerlerinin bir ısıl işlem fırınında belirli sıcaklık ve sürede yapılmasıdır.

Suni yaşlandırma ısıl işlemi ile homojenizasyon ve onu takip eden su verme işlemleri sonucu aşırı doymuş katı eriyik içersinde dağılmış olan partiküllerinin tercihen tane sınırlarından başlayarak arzu edilen şekilde çökelmeleri sağlanır. Bu ise sünekliği azaltıp mukavemeti arttırmaktadır. Çökelme ilerledikçe alaşımın mukavemeti artar ve maksimum bir tepe noktaya ulaşır. Daha fazla yaşlandırmaya devam edilirse mukavemet kararlı hâle ulaşıncaya kadar tedrici olarak azalır.

Isıl işleme tabi tutulan parça için yaşlandırma sıcaklığı ve süresi malzeme özelliklerinin kontrolü için kullanılacak iki değişkendir. Daha yüksek sıcaklıkların ve daha kısa sürelerin kullanılması daha yüksek akma mukavemeti ve daha düşük % uzama sağlar. Hâlbuki daha düşük sıcaklıklar daha büyük % uzama ve hafifçe daha düşük akma mukavemeti sağlar. Yaşlandırma süresinin başlangıcı yük içerisindeki en düşük sıcaklık, ayarlanan sıcaklığa 6 °C kadar yaklaşıncaya başlayacaktır.

T notasyonu, ısıl işlem yapılarak elde edilen temperleri ifade eder. Isıl işlemlerinin değişik türleri aşağıdaki harf ve rakam göstergeleriyle ifade edilmektedir.

T1 : Sıcak işlemden sonra soğutulur ve doğal yaşlanma ile kararlı duruma getirilir.

T2 : Sıcak işlemden sonra soğutulur, soğuk işlemden geçirilir ve doğal yaşlanma ile kararlı duruma getirilir.

T3 : Solüsyona alma ısıl işlemi uygulanır, soğuk işlemden geçirilir ve doğal yaşlanma ile kararlı duruma getirilir.

T4: Solüsyona alma ısıl işleminden geçirilir, doğal yaşlanma ile kararlı duruma getirilir.

T5: Sıcak işlemden sonra soğutulur ve yapay yaşlanma ile sertleştirilir (termik ısıl işlemi).

T6: Solüsyona alma ısıl işleminden geçirilir ve yapay yaşlanma ile sertleştirilir (termik ısıl işlemi).

T7: Solüsyona alma ısıl işleminden geçirilir ve yapay aşırı yaşlanma yapılır (termik ısıl işlemi).

T8: Solüsyona alma ısıl işleminden geçirilir, soğuk işlemden geçirilir, ve yapay yaşlanma yapılır (termik ısıl işlemi).

T9: Solüsyona alma ısıl işleminden geçirilir, yapay yaşlanma yapılır (termik ısıl işlemi) ve soğuk işlemden geçirilir.

T10: Sıcak işlemden soğutulur, soğuk işlemden geçirilir ve yapay olarak yaşlandırılır (termik ısıl işlemi).

3.2.3. Titanyum Alaşımlarının Isıl İşlemi

Titanyum ve alaşımlarına uygulanan ısıl işlemler gerilme giderme veya sertlik ve mukavemet gibi özellikleri geliştirme amaçlıdır. Saf titanyumda 385 °C'nin üzerindeki hacim merkezi kübik kristal kafesine sahip beta-titanyum tipinden itibaren yapılan soğumada hegzagonal kristal kafesli alfa-titanyum tipine dönüşme, soğuma hızı ile sertleştirme mümkündür. Bu amaçla 800 °C'den itibaren hızlı soğutma ve ardından alfa/beta dönüşme hattının 150 °C yukarısına kadar ısıtma gerekir.

Çeliklerde uygulanan ısıl işleme tane boyutunu küçültme yöntemleri titanyum için geçersizdir. Bu nedenle de sıcaklık değerleri iyi seçilmelidir.

Yüzey sertleştirmede ise 800 °C'de iki saat tuz banyosu içerisinde yapılan beklemede azot, oksijen ve karbon difüzyon yoluyla yüzeye nüfuz ettirilir ve böylece 40-60 mikron kalınlığında 750-850 HV sertliğinde tabakalar elde edilir.

3.3. Demir Olmayan Malzemelerin Sertlik, Çekme Gücü, Yorulma ve Çarpma Direnci Konularında Deneyleri

Demirli malzemelerde yapılan deneyler demirsiz malzemeler için de uygulanabilir.

3.3.1. Sertlik Ölçme

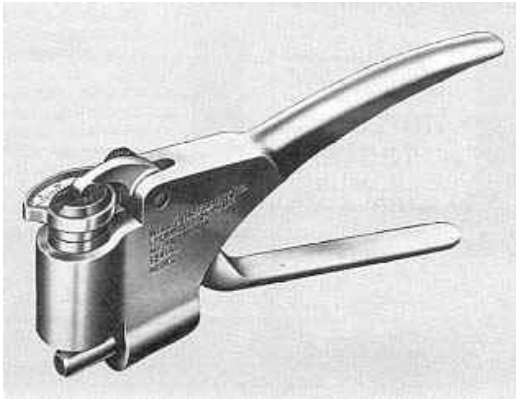
Sertlik ölçme detaylı olarak aşağıda anlatılmıştır.

3.3.1.1. Sertlik ölçme pensesi ile

Alüminyum, pirinç (sarı), bakır, çelik levha ve profillerin sertliklerini ölçebilir, temperlerini belirleyebiliriz. Bu cihazla diğer sertlik ölçme cihazlarının ölçemediği profil, boru, yassı ürünler (levha/sac) gibi şekillerde bulunan malzemelerin sertlikleri kolayca ölçülebilir.

➤ **Kullanım yerleri:**


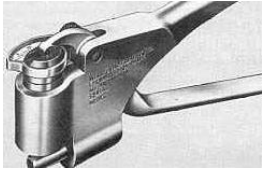



- Isıl işlem gören sertleştirilmiş malzemelerin yumuşak malzemelerden ayrılması örneğin, alüminyum ekstrüzyon profilleri üretiminde termikli ve termiksiz alüminyum profillerin belirlenmesinde
- Termik işlemi sonrasında alüminyum profillerin yeterli derecede sertleşip sertleşmediğinin anlaşılmasında
- Stokta bulunan malzemelerin sertliklerinin belirlenmesinde
- Yumuşak ve soğuk sertleştirilmiş malzemelerin belirlenmesinde
- Standarda uymayan malzemelerin belirlenmesi malzemenin ısıl işleme olan tepkisinin belirlenmesinde
- Laboratuvara getirilemeyen veya hasarlı teste uygun olmayan numunelerin sertlik ölçümünde kullanılır.
- Üretim hattında sertlik ölçümü yapılmasına uygun ve tezgâha monteli laboratuvar tipi sertlik ölçüm cihazları ile korelasyon sağlar.



Resim 3.11: Sertlik ölçme pensesi ve bağlantı ucu

UYGULAMA FAALİYETİ

Sertlik pensesi kullanarak sertlik ölçme işlemini yapınız.

İşlem Basamakları	Öneriler
<ul style="list-style-type: none">➤ Sertliği ölçülecek parçanın yüzeyini temizleyiniz.➤ Pensenin batma ucunu malzemenin özelliğine göre seçiniz.  <ul style="list-style-type: none">➤ Pensenin ağızlarını sertliği ölçülecek parçaya yerleştiriniz.➤ Penseyi elle sıkınız.  <ul style="list-style-type: none">➤ Batma miktarını elle hissediniz.➤ Ucu numuneye 25 mm'den fazla batırmayınız.➤ Ölçülen değeri pensenin kadranında okuyunuz.  <ul style="list-style-type: none">➤ Gerekirse ölçülen değeri standart değerlere dönüştürünüz (Brinell, Rockwell gibi).	<ul style="list-style-type: none">➤ Sertliği ölçülecek parçanın cinsine göre yüzeyi temizleme malzemesi belirleyiniz.➤ Cihazı kalibre etmeyi unutmayınız.  <ul style="list-style-type: none">➤ Yumuşak malzemelerde doğru sertlik ölçme değeri için numune 0,60 mm'den daha ince olmamalıdır.➤ Okuduğunuz değerleri kayıt altına alınız.➤ Cihazın temizliğini katalogda belirtilen yöntemle yapınız.➤ Cihazı diğer kullanımlar için çantasına yerleştiriniz. 

KONTROL LİSTESİ

Bu faaliyet kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için **Evet**, kazanamadığınız beceriler için **Hayır** kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

Değerlendirme Ölçütleri		Evet	Hayır
1	Sertliği ölçülecek parçanın yüzeyini temizlediniz mi?		
2	Pensenin batma ucunu malzemenin özelliğine göre seçtiniz mi?		
3	Pensenin ağızlarını sertliği ölçülecek parçaya yerleştirdiniz mi?		
4	Penseyi elle sıktınız mı?		
5	Batma miktarını elle hissettiniz mi?		
6	Ucu numuneye 25 mm'den fazla batırmamaya dikkat ettiniz mi?		
7	Ölçülen değeri pensenin kadranında okudunuz mu?		
8	Gerekirse ölçülen değeri Standard değerlere dönüştürdünüz mü?		

DEĞERLENDİRME

Değerlendirme sonunda “**Hayır**” şeklindeki cevaplarınızı bir daha gözden geçiriniz. Kendinizi yeterli görmüyorsanız öğrenme faaliyetini tekrar ediniz. Bütün cevaplarınız “**Evet**” ise “Ölçme ve Değerlendirme”ye geçiniz.

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki cümlelerin başında boş bırakılan parantezlere, cümlelerde verilen bilgiler doğru ise D, yanlış ise Y yazınız.

1. () Dökme alüminyumun 20 °C' de yoğunluğu 2,65-2,69 g/cm³tür.
2. () (% 5,5 Zn- % 2,5 Mn - % 1,5 Cu- % 0,3 Cr)Yüksek mukavemetin ve korozyona iyi direncin gerektiği durumlarda kullanılır.
3. () Doğal yaşlandırma ile elde edilemeyecek kadar yüksek sertlik değerlerinin bir ısıtım işlem fırınında belirli sıcaklık ve sürede yapılmasına suni yaşlandırma denir.
4. () Alüminyum alaşımı bünyesindeki alaşım elemanlarını katı çözeltiye almak için malzemenin 520 0C veya üzerinde belirli bir süre tutulup ani olarak soğutulmasına su verme denir.
5. () Titanyum ve alaşımlarına uygulanan ısıtım işlemler gerilme giderme veya sertlik ve mukavemet gibi özellikleri geliştirme amaçlıdır.
6. () Demirsiz uçak malzemelerinden çelik, uçakta en fazla kullanılır.
7. () 4XXX silisyumu ifade eder.
8. () Sertlik pensesi laboratuvara getirilemeyen veya hasarlı teste uygun olmayan numunelerin sertlik ölçümünde kullanılmaz.
9. () T notasyonu, ısıtım işlem yapılarak elde edilen temperleri ifade eder.
10. () Ti - 8Mn Alaşımı 93-315 °C arasında çalışan uçak kaplama ve birincil yapı elemanlarında kullanılır.

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçiniz.

MODÜL DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki cümlelerin başında boş bırakılan parantezlere, cümlelerde verilen bilgiler doğru ise D, yanlış ise Y yazınız.

1. () Bir amacı gerçekleştirmek için kullanılan her madde malzeme adını alır.
2. () Madensel malzemelerin çoğu tabiatta saf olarak bulunur.
3. () Doğada malzemeler, madensel ve madensel olmayan malzemeler olmak üzere iki ana grup içinde sınıflandırılır.
4. () Demirli malzemeler olarak ele alınan gruptakilerin iç yapısında ana metal olarak demir bulunur.
5. () Demirli malzemelere çeliği örnek verebiliriz.
6. () Esneklik sınırı pratik olarak orantılı uzamanın sona erdiği yerdir. Gerçekte % 0,01 kalıcı uzama kabul edilmiştir.
7. () Bu deney yönteminde baskı elemanı olarak tepe açısı 130° olan elmas kare piramit kullanılır.
8. () (SAE) standardına göre her (SAE) kodu 4 veya 5 rakamdan oluşur. Bu rakamlardan birincisi çeliğin tipini, ikincisi alaşımı oluşturan madenlerin yüzde miktarını ve son iki veya üç rakamı alaşımda yüzde karbon miktarını ifade eder.
9. () Malzemenin kimyasal yapısını değiştirmeden yapılan yüzey sertleştirme çeşidinden biri alevle yüzey sertleştirmedir.
10. () Tabiatta demir ihtiva eden pek çok filiz (cevher) bulunmaktadır. Bunlardan biri de semenittir.
11. () Demirsiz uçak malzemelerinden çelik, uçakta en fazla kullanılır.
12. () 4XXX silisyumu ifade eder.

DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki modüle geçmek için öğretmeninize başvurunuz.

CEVAP ANAHTARLARI

ÖĞRENME FAALİYETİ- 1'İN CEVAP ANAHTARI

1	D
2	Y
3	D
4	D
5	D
6	Y
7	Y
8	D
9	D
10	Y

ÖĞRENME FAALİYETİ- 2'İN CEVAP ANAHTARI

1	D
2	Y
3	D
4.	D
5	Y
6	D
7	Y
8	D
9	D
10	D

ÖĞRENME FAALİYETİ- 3'ÜN CEVAP ANAHTARI

1	D
2	D
3	D
4	Y
5	D
6	Y
7	D
8	Y
9	D
10	D

MODÜL DEĞERLENDİRME'NİN CEVAP ANAHTARI

1	D
2	Y
3	D
4	D
5	D
6	D
7	Y
8	D
9	D
10	Y
11	Y
12	D

KAYNAKÇA

- SERFİÇELİ Saip, **Malzeme Bilgisi**, Milli Eğitim Basım Evi, Ankara, 2000.
- BAYDUR Galip, **Malzeme**, Nadir Kitabevi, Ankara, 1976.
- GÜNGÖR Yasin, **Malzeme Bilgisi**, Beta Basım, İstanbul, 2001.
- KINIKOĞLU Nihat, **Malzeme Bilimi ve Mühendisliği**, Literatür Yayınları, İstanbul, 2001.