ISIL İŞLEMLER

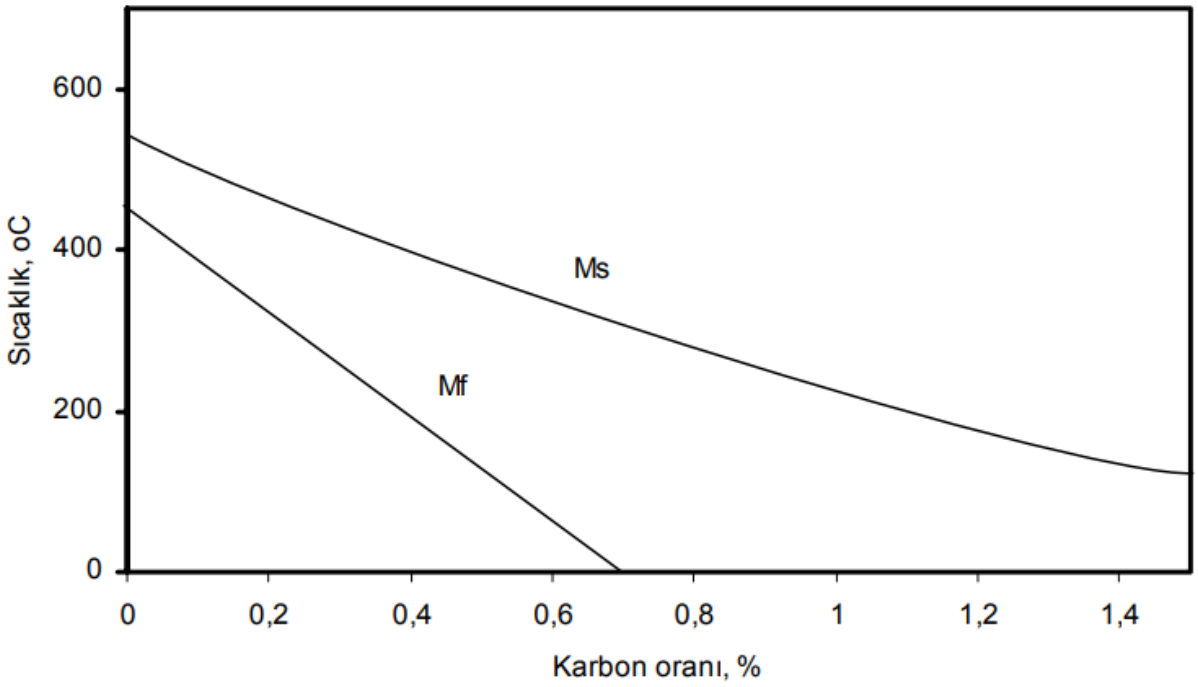
11. HAFTA

SIFIR ALTI ISIL İŞLEMLER

- Sıfıraltı temperleme esas olarak, malzemenin -50°C ile mutlak sıfır değeri olan - 273°C aralığında soğutulması, bu ortamda malzemenin tamamında yapısal değişim meydana gelecek kadar tutulması ve daha sonra bu ortamdan çıkarılarak oda sıcaklığına ısınması
- İsteğe bağlı temperleme uygulanabilir.

- Sıfıraltı ısıl işlem özellikle % 0.83’den yüksek karbon içeren ötektoid üstü çeliklerde önemlidir. Martensit yapısı, sabit bir sıcaklık yerine Ms ve Mf sıcaklık aralığında oluştuğu için, çeliğin soğutulmasıyla daha çok östenitin martensite dönüşümünün sağlanması mümkündür.

- Martensit oluşumu için sıcaklık değişimi malzemenin karbon oranına bağlı olarak değişmektedir



Buna göre % 0.7 C içeren bir çelik için Mf sıcaklığı 0°C'nin altına düşmektedir. Çoğu çelik üretim tesisinin ortam sıcaklığının bu sıcaklıktan yüksek olduğu düşünülürse yüksek karbonlu çeliklerde harici bir soğutma olmadan östenitin tamamen martensite dönüşmesinin olanaksız olduğu kolaylıkla görülebilir.

- Sıfıraltı ısıl işlemin amacı ötektoid üstü çeliklerde kalıntı östenitin tamamen martensite dönüşümünü sağlayabilmektir. Bu işlem ile %0.83 C içeren bir çelikte kalıntı östenit oranı %42'den %0.9'a düşürülebilmektedir. Martensitik dönüşümün tamamlanması yüksek sertlik sağlarken kabul edilebilir tokluk değerlerini de karşılamaktadır.

- Martensit dönüşümü esnasında bir miktar serbest karbon atomu arayer katı eriyiğinin dışarısında çökelmekte ve martensit kristal büyümesi esnasında oluşan basınçla bir araya gelmektedir.
- Bu ince karbon oluşumları, karbür olarak bilinmekte ve mikroskop altında martensit tane sınırlarında sıkışmış ince kömür parçaları gibi görünmektedirler.
- Bu karbürler martensit kristallerinin homojen yapılarını bozarak, sertleştirilmiş ve temperlenmiş çeliklerde kırılganlığını arttırmaktadır.
- Sıfıraltı ısıl işlemi, bu karbürlerin boyutlarının belirgin olarak küçültülmesi, oluşumlarının yavaşlatılması, karbon atomlarının yapı içerisinde daha fazla dağıtılması ve bunun sonucunda daha az boşluk içeren daha sıkı bir tane yapısının oluşması sağlanabilmektedir.

- Normal koşullarda oda sıcaklığına soğutularak sertleştirilen çeliklerde, kalıntı östenitin giderilmesi amacıyla da sıfıraltı işlem uygulanması yaygındır, ancak bu durumda oluşan kristal yapı, çeliğin doğrudan sıfıraltı sıcaklığa soğutulmasıyla oluşan martensit yapısınınki kadar homojen değildir

- Alaşımlı çeliklerin sıfıraltı ısıl işlemi aşınma direncinde önemli gelişmelere sebep olmaktadır.
- Bu başarının ana sebebi kalıntı östenitin giderilmesi ile ilişkilendirilmiştir. Konvansiyonel yöntemlerle yapılan işlemler -100°C'nin üzerinde gerçekleştirilmektedir.
- Bu sıcaklığın su verilen çelikteki östenitin tamamen martensite çevrilmesinde yeterli olduğu kabul edilmiştir.
- Ancak günümüzdeki araştırmalar ultra düşük sıcaklıklarda yapılan sıfıraltı işlemlerin aşınma direncini daha da arttırdığını ortaya koymaktadır.

- Günümüzdeki bilgiler ışığında temperleme ile martensitin yapısal dönüşümünün aşağıdaki aşamalarla gerçekleştiği belirtilmektedir:
- Karbon atomu kümelerinin oluşumu, değişmiş yapılar ve düzenli yapılar,
- Martensitin ağırlıkça % 0.2 – 0.3 C içeren düşük karbonlu martensite ve geçiş karbür parçacıklarına ayrışması,
- Kalıntı östenitin ferrit ve sementite ayrışması,
- Geçiş karbürün sementite dönüşümü ve martensitin tetragonal yapısının tamamen kaybedilmesi.

- Su verilerek sertleştirilmiş numunelerin mikroyapıları temelde ince martensit ve kalıntı östenitten oluşmaktadır.
- Soğuk işlem ve sıfıraltı işlemin çelikler üzerine etkileri farklıdır .
- Doğru yapılan bir ısıl işlem sonrasında sıvı azot sıcaklıklarında gerçekleştirilen sıfıraltı işlem sayesinde özellikler, kalıntı östenitin martensite dönüşümünde sağlanan iyileşmeden çok daha fazla oranda geliştirilebilir.
- Sıfıraltı işlem sonrasında yapılan temperleme işlemi esnasında çöken geçiş karbürleri özelliklerin gelişmesini sağlamaktadır.

- Sıfıraltı sıcaklıkta tutma süresi arttıkça, karbür sayısı artmakta, östenitleme sıcaklığının artmasıyla ise aynı sıfır altı işlem sıcaklığında elde edilen karbür sayısı azalmaktadır.
- Öte yandan, östenitleme sıcaklığının artması ve belirli bir sıfıraltı işlem sıcaklığında tutma süresi arttıkça, çeliğin sertliği artmaktadır. İşlem süresinin 24 saati aşmasıyla sertlik değeri daha da yükselmektedir.

Sıfıraltı Isıl İşlem Uygulamaları

- Sıfıraltı işleminin genel hatları önceki bölümlerde anlatılmış olmasına rağmen, her çelik grubuna özgü işlem parametreleri (sıcaklık ve süre) bulunmaktadır.
- **Soğuk iş takım çelikleri:** Genellikle 200°C'nin altında kullanılan bu çelikler sıfıraltı işleme iyi cevap vermektedir. W ve D serisi çelikler soğuk ısıl işlemin D2 kalite soğuk iş takım çeliğinin tokluğunu yaklaşık % 40 oranında düşürdüğü bulunmuştur. Ancak, -100°C'nin altında gerçekleştirilen sıfıraltı işlemlerle aynı çeliğin tokluğunda önemli bir iyileşme sağlanmaktadır.

- **Sıcak iş takım çelikleri** (H sınıfı çelikleri de içerir): Bu çeliklerin çoğu 200°C’nin üzerinde çalışmaktadır ve çoğunlukla dövme, döküm ve aluminyum ekstrüzyon kalıpları gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. H13 kalite sıcak iş takım çeliğinden yapılmış kalıbın ömrü, sıfıraltı işlem ile %50 oranında arttırılabilmektedir.

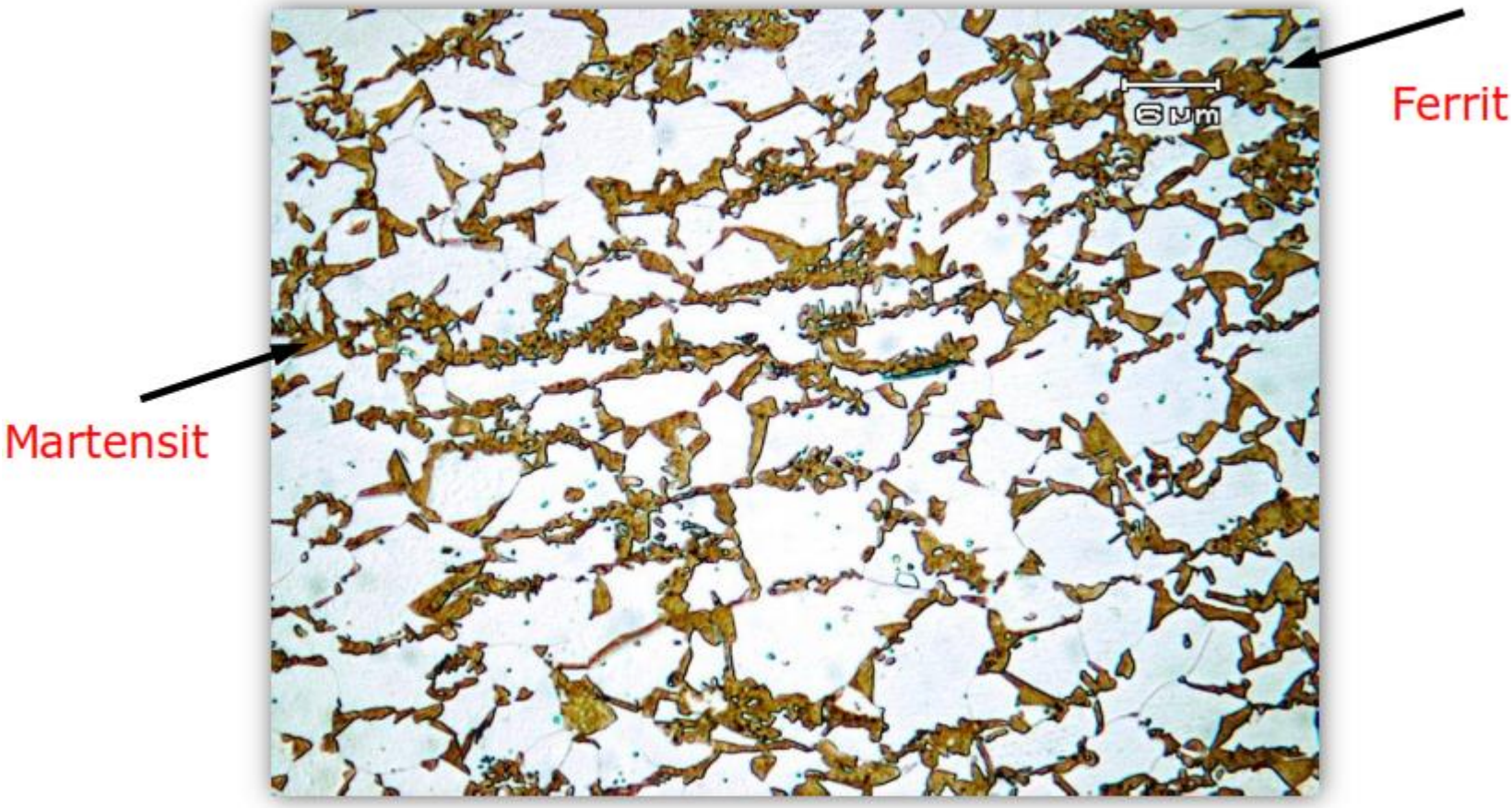
- **Yüksek hız çelikleri (M sınıfını da içerir):** Bu çelikler kesme uygulamaları için kullanılmaktadır. Aşınmaya direnci kesici ve delicileri içeren pek çok parçada sıfıraltı işlem ile arttırılmıştır

- **Östenitik paslanmaz çelikler:** Sıfıraltı ısıl işlem ile östenitik paslanmaz çeliklerin de dayanımı arttırabilir. 300 ve 400 serisi paslanmaz çeliklerde yağ pompası uygulamalarında mükemmel aşınma ve korozyon direnci sonuçları elde edilmiştir. Bununla birlikte 301 kalite paslanmaz çelikte gerilmeli korozyon çatlaması direncinin sıfıraltı ısıl işlem sonrasında düştüğü görülmüştür. Bunda martensitin gerilmeli korozyon çatlaması hasarına karşı duyarlı olmasının neden olduğu belirtilmiştir.

- **52100 kalite (100Cr5) çelikler:** Yatak malzemesi olarak kullanılan bu çeliklerde, sıfıraltı işlemiyle ince geçiş karbürlerinin oranındaki artışa bağlı olarak aşınma direncinde önemli artışlar sağlanmıştır.
- Sade karbon çelikleri ve beynit dönüşümü gösteren diğer çeliklerin özelliklerinde sıfıraltı işlemi sonucu bir iyileşme beklenmemelidir. Ferritik paslanmaz çelik ve dökme demirlerde yapılan çalışmalarda da sıfıraltı işlemiyle özelliklerde önemli bir iyileşme sağlanamamıştır.

Kritik sıcaklıklar arası işlem (dual faz işlemi)

- Çift fazlı çelik kavramı, 1937 yılında Grabe'in, yeni bir yatak malzemesinin üretimi için % 0,25 karbonlu bir çeliği kritik sıcaklıklar arasındaki bölgeden soğutması sonucunda çift fazlı yapıyı elde etmesi ve patent almasıyla tanınmıştır.
- 1970'lere kadar çok az sayıda araştırmacının ilgisini çeken çift fazlı çelikler, bu yıldan sonra özellikle yaşanan ekonomik darboğazların ardından bilim adamlarının otomotiv endüstrisine sunduğu alternatif çözümler olarak üzerinde etraflıca çalışılan bir alan olmuştur.
- Çift fazlı çeliklerin yapısında ferrit yapısının içerisine dağılmış martensit bulunmaktadır. Yapıdaki ferrit yumuşak bir fazdır ve çift fazlı çeliğin şekillendirilme kabiliyetini artırmaktadır. Martensit fazı ise sert yapısı sayesinde malzemeye mukavemet kazandırmaktadır.


Ferrit
Martensit
6 µm

ÇİFT FAZLI ÇELİKLER (DUAL-PHASE STEELS)

- Çift fazlı çelikler, yumuşak ferrit matris içinde adacıklar şeklinde dağılmış %10- 30 civarında martenzit fazı içeren çeliklerdir. Çift faz terimi bu çeliklerin sahip oldukları ferrit ve martenzit fazlarından dolayı kullanılmaktadır.
- Çift fazlı çelikler üretildikleri yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çeliklere (HSLA) göre daha iyi dayanım-süneklik özellikleri göstermektedir. Bu özelliklerinden dolayı otomotiv endüstrisinde önemli bir konuma sahiptirler.

- Çift fazlı çelikler genellikle düşük karbonlu, az alaşımlı veya alaşımsız olarak üretilirler. Özellikle karbon oranı çok düşüktür. Yaklaşık %0,06-0,20 olan karbon iceriğinde meydana gelen küçük bir değişim özellikler üzerinde büyük farklılıklara neden olur.
- Çift fazlı çeliklerin temel alaşım elemanları C, Si ve Mn'dır. Bu elementlerin yapıdaki oranlarına bağlı olarak mukavemet artarken uzama değerlerinde düşme gözlemlenir.
- 1-1,5 oranındaki Mn, hızlı soğutma sırasında martenzit dönüşümüne yardımcı olur.

Çift fazlı çeliklerin mekanik özellikleri, mikro yapısındaki farklılıklara bağlı olarak değişim göstermektedir. Çift fazlı çeliklerin mekanik özelliklerini etkileyen pek çok faktör vardır. Bunların en önemlileri sırasıyla:

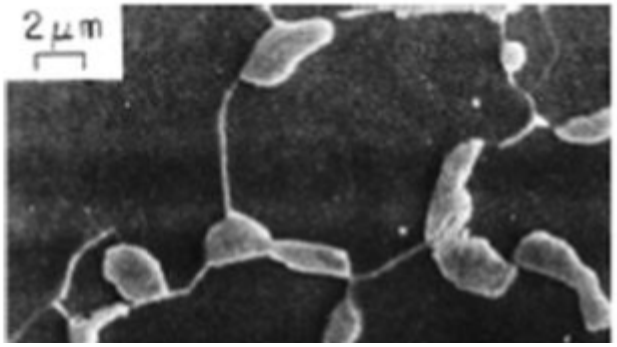
1- Ferrit ve martenzitin morfolojisi (tane boyutu – bicimi – dağılımı)

2- Ferrit ve martenzitin Özellikleri

3- Martenzitin hacimsal oranı (var olan fazların hacimsal oranları)

4- Martenzitteki karbon değişikliğinin etkisi

5-Çeliğin bileşimi, soğutma hızı ve alaşım elementlerinin etkisi.



Çift fazlı çeliklerin üretimi

- Fe-Fe3C faz diyagramında A1-A3 sıcaklık aralığında (ferrit-östenit bölgesinde) herhangi bir sıcaklığa kadar ısıtılıp, bir süre tutup östenitin martenzite üretilir. Çift fazlı çelikler interkritik bölgede (östenit+ferrit faz bölgesi) tavlama sonrasında uygun hızda soğutma sonucunda yeterli miktarda östenitin martenzite donuşumuyle elde edilir. Kritik soğutma hızında tamamı martenzite dönüşür ve oluşan yapı ferrit

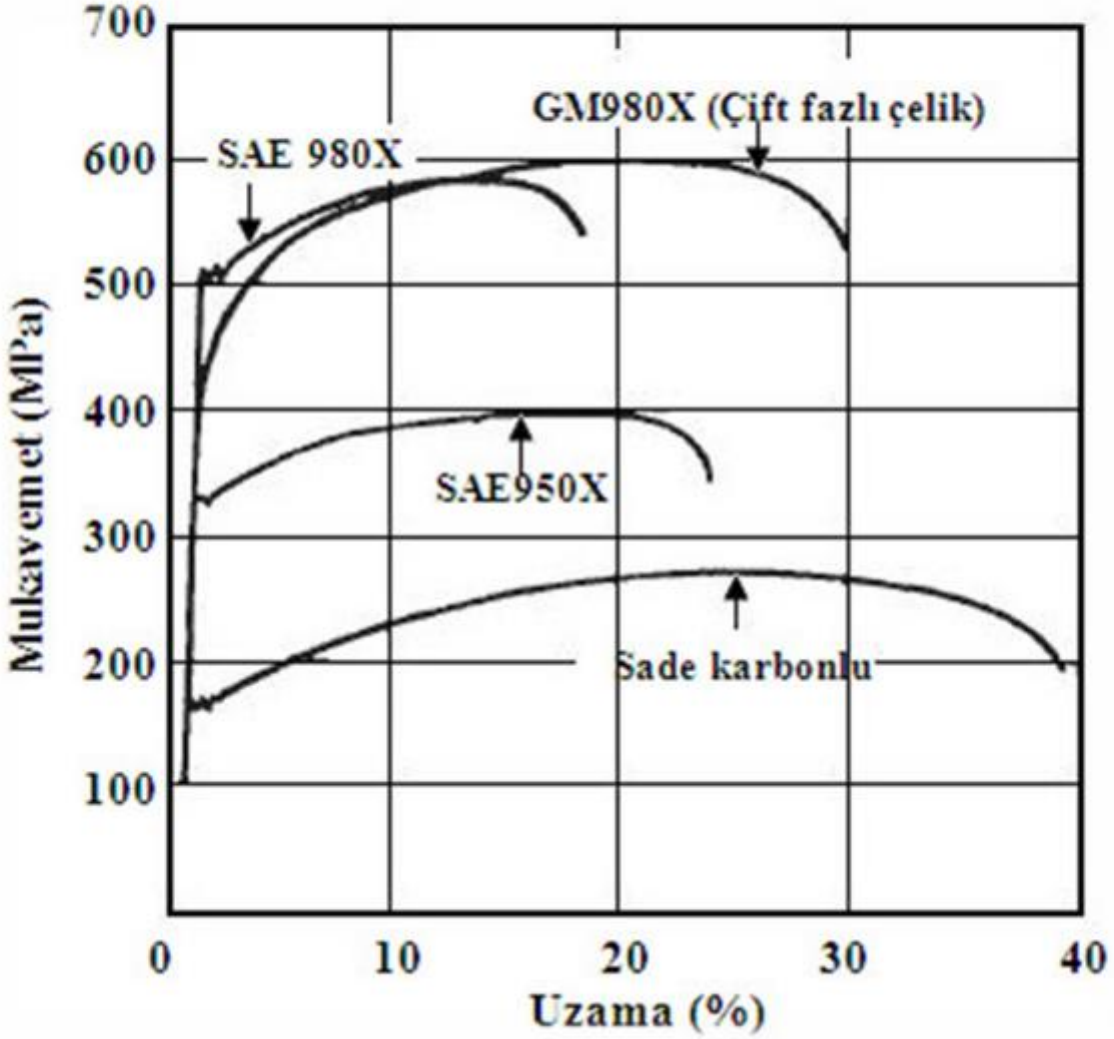
Çift Fazlı Çeliklerin Avantajları

- Çift fazlı çelikler sürekli akma gösterdikleri için şekillendirilen parçaların yüzeyleri çok düzgün olmaktadır.
- Akma mukavemetinin düşük olması plastik deformasyonda az bir kuvvetle şekillendirilebilirliği sağlamaktadır.
- Şekillendirilen parçaların tekrar şekillendirilmesinde aşırı kuvvetler gerekmemektedir.
- Çekme dayanımlarının yüksek olması ise parçaların hasara uğramasını geciktirmektedir.
- Mukavemet özelliklerinin yanı sıra süneklik özellikleri de iyi olan çift fazlı çeliklerin optimum pekleşme katsayısına sahip olması bu bakımdan bir avantajdır.

Çift Fazlı Çeliklerin Eksiklikleri

- Kalın kesitli sac parçalarda, bazı makine parçalarında ısıl işlemle dahi çift faz yapısı üretmek zordur.
- Seri üretim yapmak isteyen tesislerin kurulması maliyeti yükseltir fakat işlem maliyetini düşük tutmaktadır. Dolayısıyla çift fazlı sac parçalar üretmek isteyen işletmelerin kurulması maliyet acısından işletmeciyi her zaman düşündürmüştür.
- Gerek sürekli tavlama hatları ile gerekse ısıl işlem ile üretilen çift fazlı çeliklerde mikroyapıyı kontrol etmek kolay değildir. Bu olumsuzluğu alaşım elementleriyle gidermeye çalışan araştırmacılar için bu kez de alaşım elementlerinin çift fazlı bir çelikteki davranışları problem olarak ortaya çıkmıştır.

Dual fazlı çeliklerin ferrit+martensitten oluşan yapıları mukavemet-sünekliğin çok iyi bir kombinasyonunu ve yüksek soğuk işlem hızı ile sürekli akma göstermesini sağlar.



Çift fazlı çeliklerin mekanik özellikleri büyük ölçüde martensit hacim oranı ile morfolojisine bağlıdır.

1. Çeliğin karbon içeriği
2. Tavlama sıcaklığı
3. Ostenitin sertleşebilirliği martensitin mukavemeti ile hacim oranını etkiler

➢Kritik tavlama sıcaklığının artması martensit fazının karbon içeriğinin azalmasına sebep olmaktadır. Martensitin karbon içeriği bu fazın morfolojisini kontrol eden bir faktör olup, karbon miktarı arttıkça yapı çubuk (lath) martensitten plakalı martensite dönüşmekte ve martensitin sertliği artmaktadır. Plaka martensite dönüşüm mukavemeti arttırırken sünekliği azalttığından çift fazlı çeliklerde arzu edilen martensit morfolojisi çubuk martensittir

➢Martensit parçacıklarının çapı da çift fazlı çeliklerin mekanik özelliklerini etkileyen bir faktördür. Çift fazlı çeliklerin yapısında bulunan martensit adalarının çapı 5–10 μm arasında olup ideal mukavemet-süneklik kombinasyonu mümkün olduğu kadar düşük çaplı martensit parçacıklarıyla elde edilmektedir.

TRIP ve TWIP ÇELİKLERİ

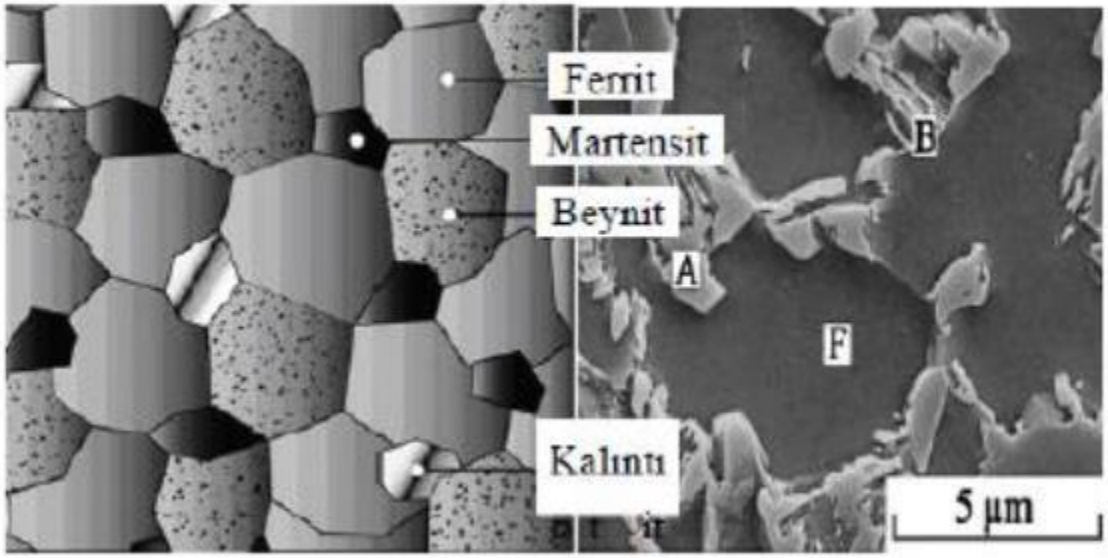
- TRIP terimi, TRansformation Induced Plasticity (dönüşüm kaynaklı plastisite).

- TWIP terimi, Twinning Induced Plasticity (ikizlenme kaynaklı plastisite).

Trip Çelikler

- Östenitin martenzite dönüşümü plastik deformasyon sırasında meydana geldiği zaman elde edilen özellikleri kullanmak için geliştirilen çelikler, dönüşüm kaynaklı plastisite (TRIP) çelikleri olarak isimlendirilmiştir.
- TRIP çelikleri, yüksek "mukavemet ve uzama" kombinasyonuna sahiptir. Bu da yüksek absorpsiyon enerjisi seviyesinin belirtisidir. TRIP çelikleri, hasar öncesi önemli ölçüde uniform uzama gösterirler.
- TRIP celiklerinin genel bileşimi, %0.25 C, %2 Mn, %2 Si, %10 Cr, %9 Ni ve %5 Mo şeklindedir.

- TRIP çeliklerinin genel mikroyapısı, yumuşak ferrit matrisi içinde bulunan beynit ve kalıntı östenit tanelerinden oluşmaktadır. TRIP çelikleri esasen kompozit malzemedir. Kalıntı östenit oda sıcaklığında yarı kararlıdır ve şekillendirme (deformasyon) sırasında martensite dönüşür.



- Bu çelikler çok yüksek uzama değerlerinde mükemmel şekillenebilirlik özellikleri göstermekte ve yüksek darbe enerjisi absorblama ve uzun yorulma ömrü sayesinde otomotiv endüstrisinde yerini almaktadır.
- Otomotivde TRIP celikleri galvanizlenmiş olarak kullanılır.
- Bu çelikler kimyasal bileşimlerine göre farklı proses ve ısıl işlem kombinasyonlarıyla üretilmektedir
- Günümüzde, çoğu çelik üreticisi çok farklı kalitede çelikleri,

akma mukavemetleri 250- 550 MPa

çekme mukavemetleri 590 MPa

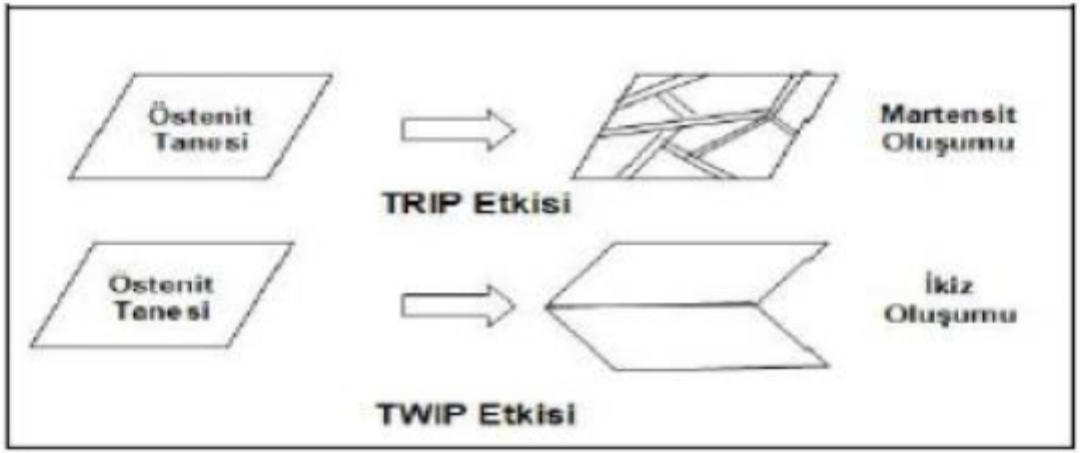
üretip piyasaya arz etmektedir.

Twip Çelikleri

- TWIP çelikleri yüksek mangan içeren östenitik çeliklerdir.
- Diğer yüksek mukavemetli çeliklerden farklı olarak plastik deformasyonda ikizlenme görülür.
- TWIP çelikleri, mükemmel “çekme mukavemeti-süneklik” uyumu nedeniyle otomotiv endüstrisinde yapı parçaları için büyük bir uygulama potansiyeline sahiptir. Özellikle karmaşık şekilli parçaların üretiminde kullanılmaktadır.
- Otomotiv uygulamaları için, yüksek Mn ‘lı TWIP çelikleri, yüksek enerji absorplama (konvansiyonel yüksek mukavemetli çeliklerinkinden iki kat fazla) ve yüksek tokluk (araç güvenliğini geliştiren) özellikleri ile de cazip olmaktadır.

Çeliklerin ortam sıcaklığında difüzyona başvurmadan kalıcı olarak deforme olabileceği üç esas mod vardır:

- Kafes vektörlerine uyan bireysel dislokasyonlar kayabilir, kristal yapıyı veya hacmini değiştirmeksizin şeklinde değişime neden olur.
- Yerdeğiştirme dönüşümü (orn. martenzit veya beynit), sadece plastik gerinime neden olmaz, aynı zamanda kristal yapı ve yoğunluğun değişimine de neden olur, bu, TRIP çeliklerinde kullanılan durumdur.
- Üçüncü mod deformasyon, mekanik ikizlenmedir. Burada çeliğin kristal yapısı korunur, fakat kaymış bölge, proseste yeniden yönlenir. Mekanik ikizlenme çok büyük kayma gerilmesine neden olur.



- Yüksek oranlı deformasyon, deformasyon ikizlerinin yolu ile oluşturulur,
- Bu deformasyon şekli çelik sınıfının adını verir,
- İkizlenme ani olarak sertleştirme üssünün (n) artışına sebep olur, buna karşılık mikroyapı daha ince bir hale gelir,
- Bu tip çelikler plastik şekil vermeden sonra oluşan yüksek ikiz miktarıyla birlikte tek fazlı östenitik bir yapıya sahiptir. Yapıya yüksek mukavemeti kazandıran bu ikiz sınırlarının dislokasyon hareketini önleyici rol üstlenmeleridir.
- Sonuç ikiz sınırları tane sınırı gibi hareket ederek çeliğin mukavemetini artırır

KAYNAKLAR

- Doç .Dr. Mediha İPEK, ısıl işlemler ders notları
- Dr. Öğr. Üyesi Aysun AYDAY, ileri teknolojik çelikler ders notları