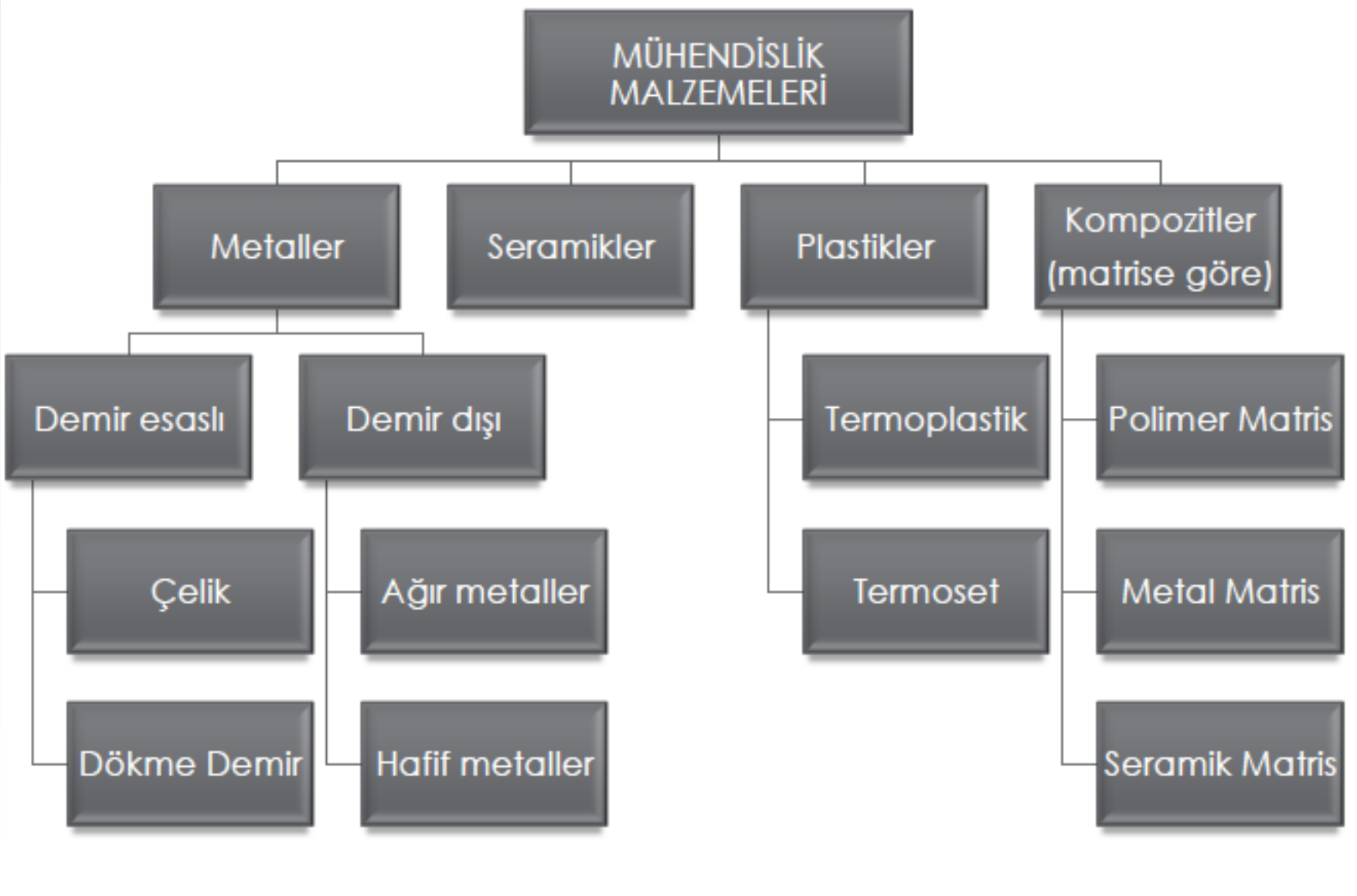


Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

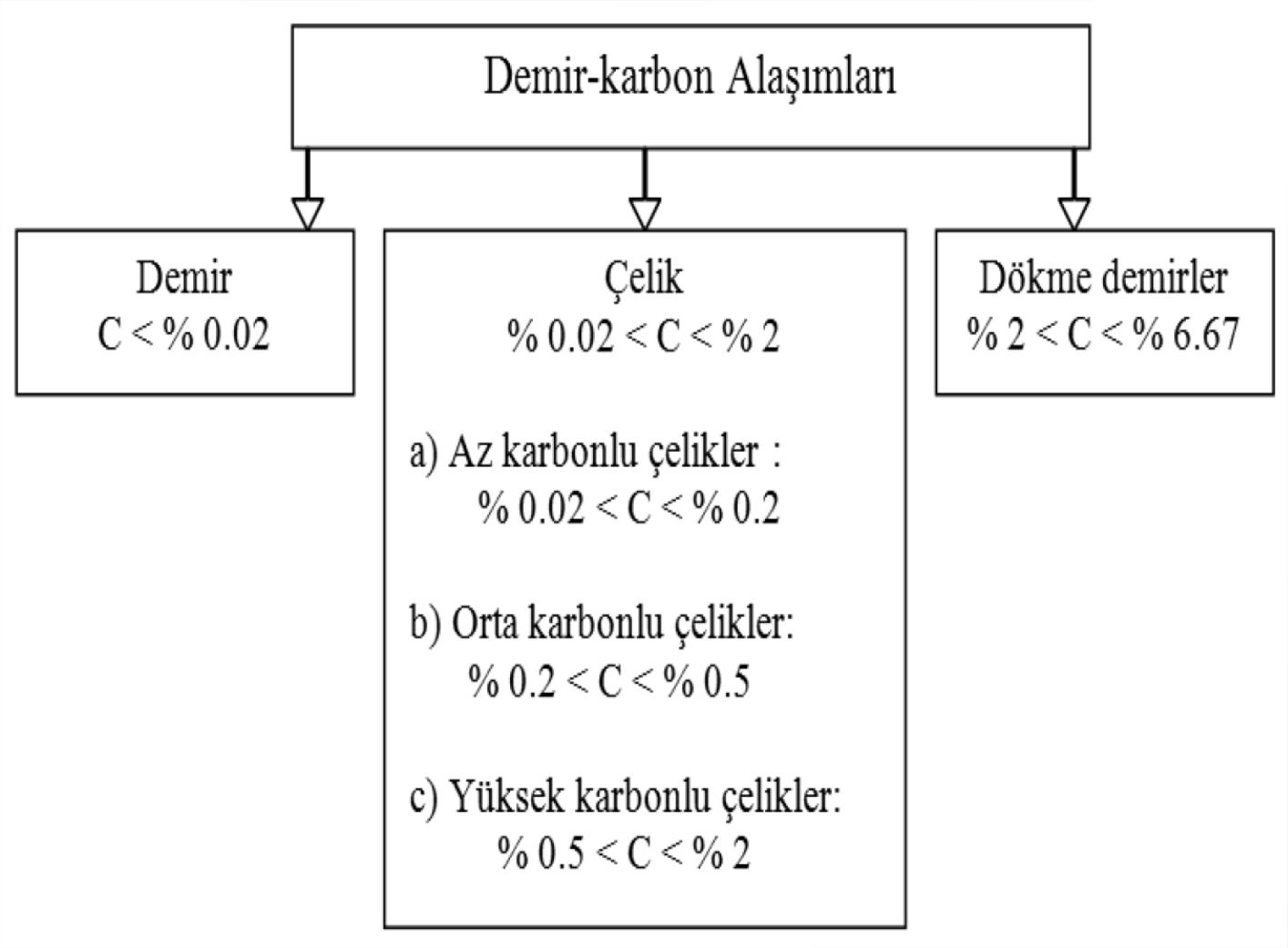
DEMİR ESASLI MALZEMELER

Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

Saf Fe ve Genel Özellikleri

- Fe tabiatta **Fe_3O_4, Fe_2O_3, $FeCO_3$** halinde bulunur.
- Farklı saflaştırma işlemlerinden geçirilerek %99'a varabilen saflığa ulaşır.
- Saf Fe oda sıcaklığında α-HMK yapıdadır. Sıcaklık arttıkça ϒ-YMK ve δ-HMK'ya dönüşerek **polimorfik** özellik sergiler.
- 769°C'nin altında Fe **ferromanyetik** özellik kazanır (Curie noktası).
- Fe'deki sıcaklığa bağlı faz dönüşümleri **dilatometre** ile ölçülür.
- Saf Fe'nin mekanik özellikleri düşük, ancak manyetik geçirgenliğinin yüksek olması nedeniyle elektronik sanayinde tercih edilir.

Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN



Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

Üretim Yöntemleri

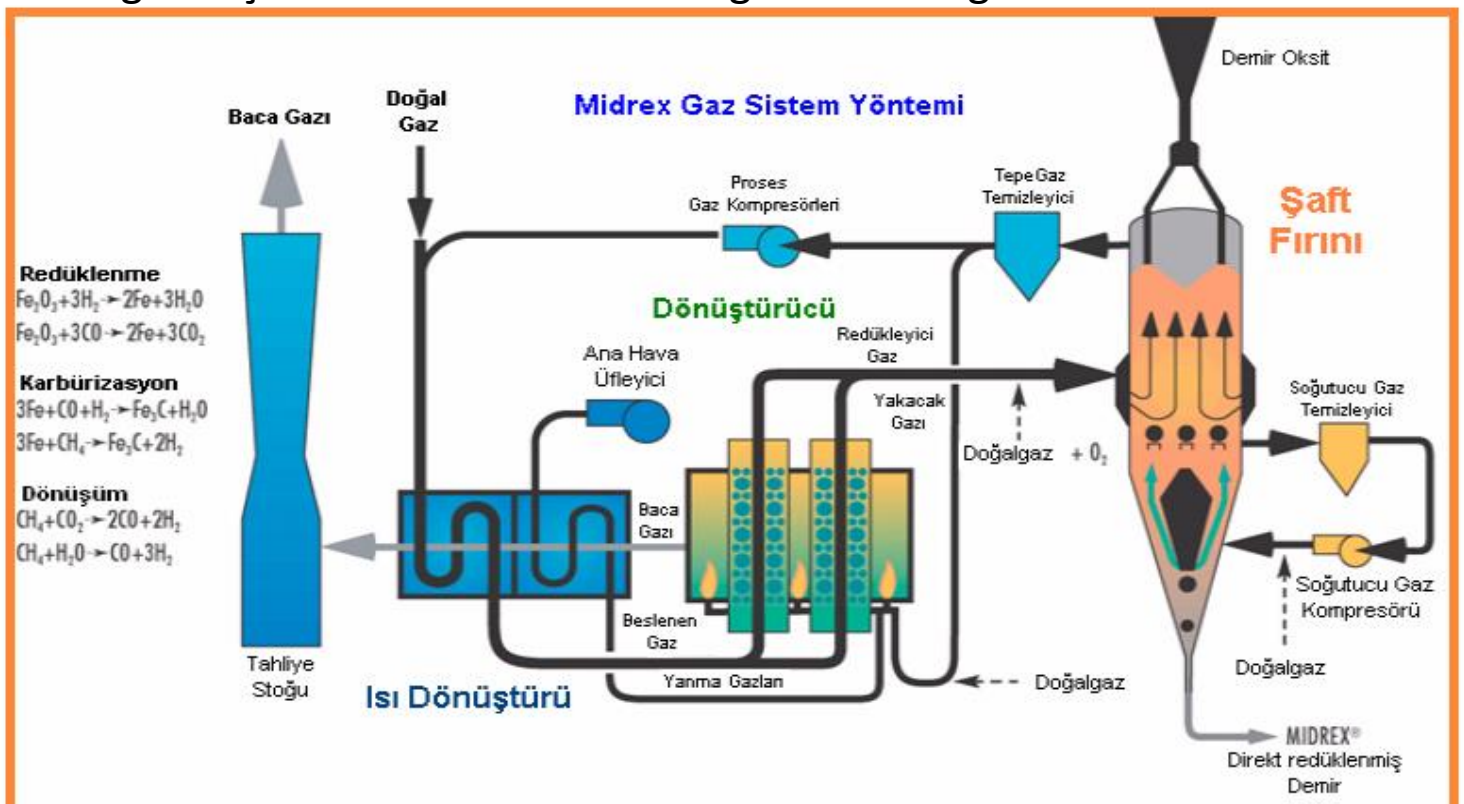
Proses ürününe göre, Ergitmeli İndirgeme Prosesleri ve Doğrudan/Direkt İndirgeme Prosesleri (DR-Direct Reduction, Sünger Demir Üretim Prosesleri) olmak üzere sınıflandırılabilmektedir.

- Buna göre katı halde metalik demir üretimi sağlayan prosesler; direkt indirgeme prosesleri (Direct Reduction Processes). Şaft fırını kullanılır.
- Sıcak (sıvı) metal üretimi sağlayan prosesler; ergitmeli indirgeme prosesleri olarak adlandırılır. Yüksek fırın kullanılır.
- Doğrudan indirgeme (sünger demir üretim) prosesleri ile daha temiz çelik elde edilebilir.
- http://www.demircelik.com.tr/-1-3206-direkt--indirgeme--proseslerii.html

Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

Direkt indirgeme prosesi

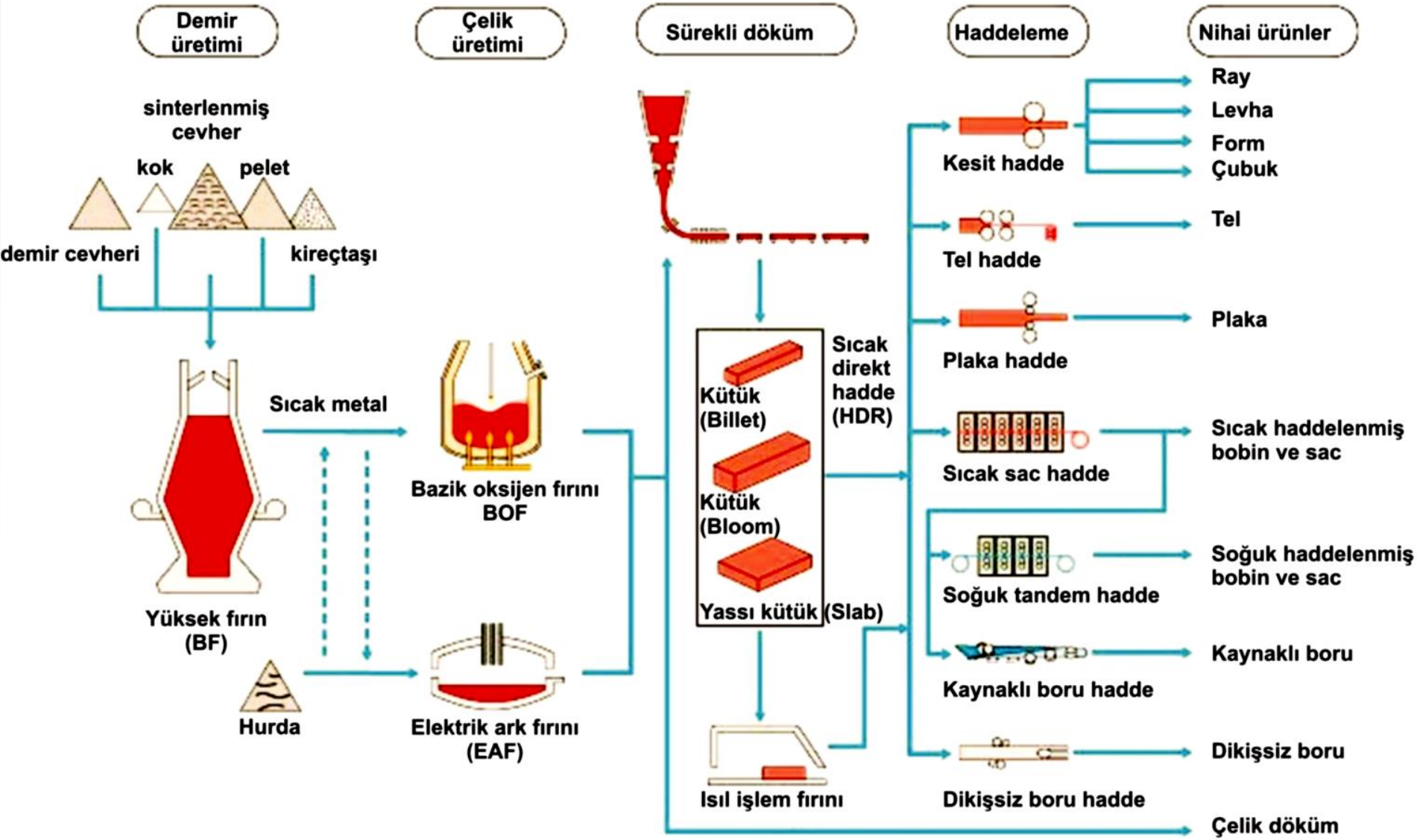
- Midrex prosesinde redüklenme olayı ters akım prensibine göre tasarlanmış düşey şaft fırını kullanılarak yapılmaktadır. Fırının üstünden şarj edilen demir oksitli malzeme aşağı inerken yukarı doğru çıkan H2 ve CO içeren gazlarla fırının üst bölgesinde ısıtılır ve aşağı iniş sırasında redüklenir. İndirgenmiş sıcak ürün fırının alt bölgesindeki soğutma sistemine alınır.



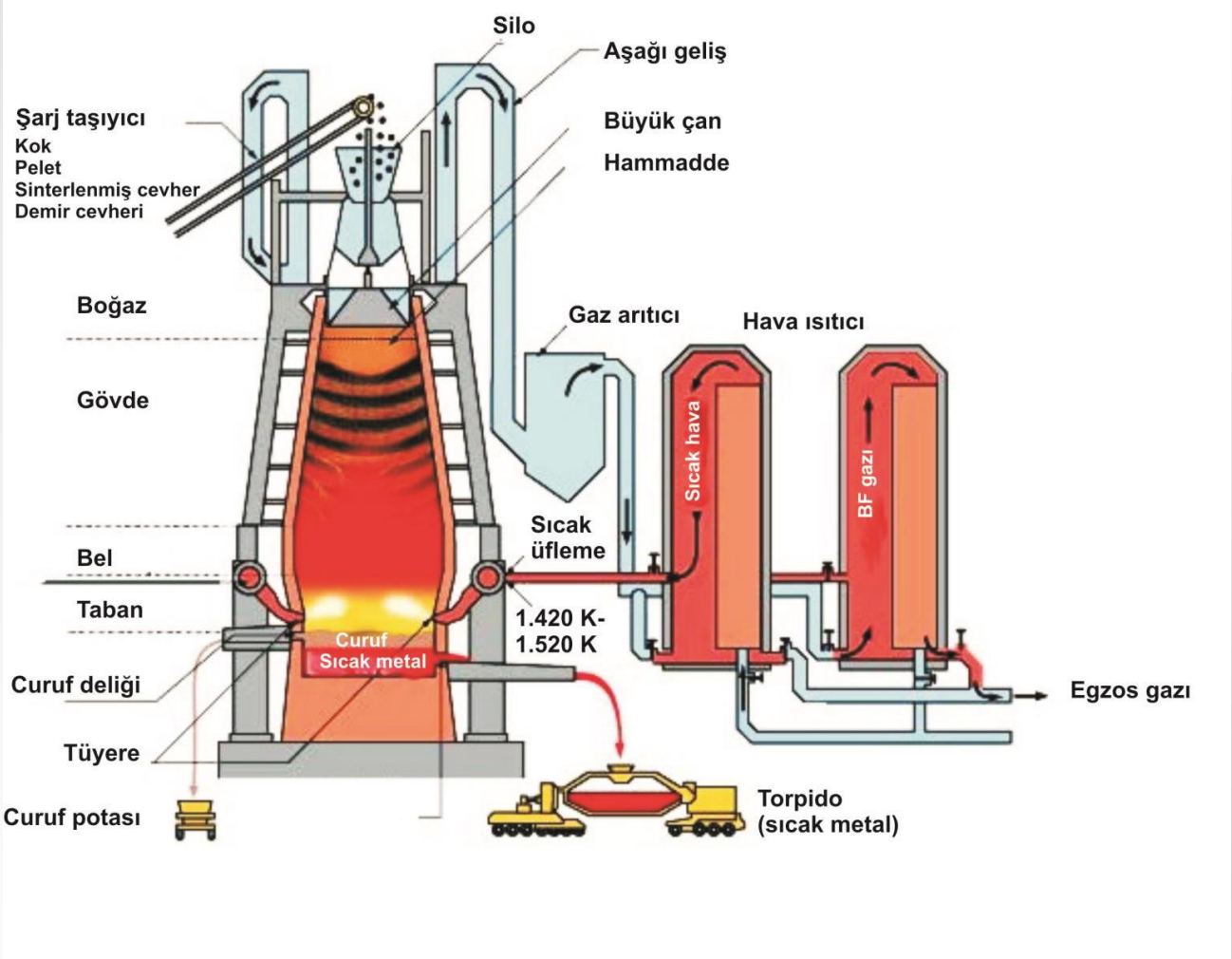
Ref: http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/70504/48412/d%C3%A7m-3.pdf

Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

Ergitmeli indirgeme prosesi



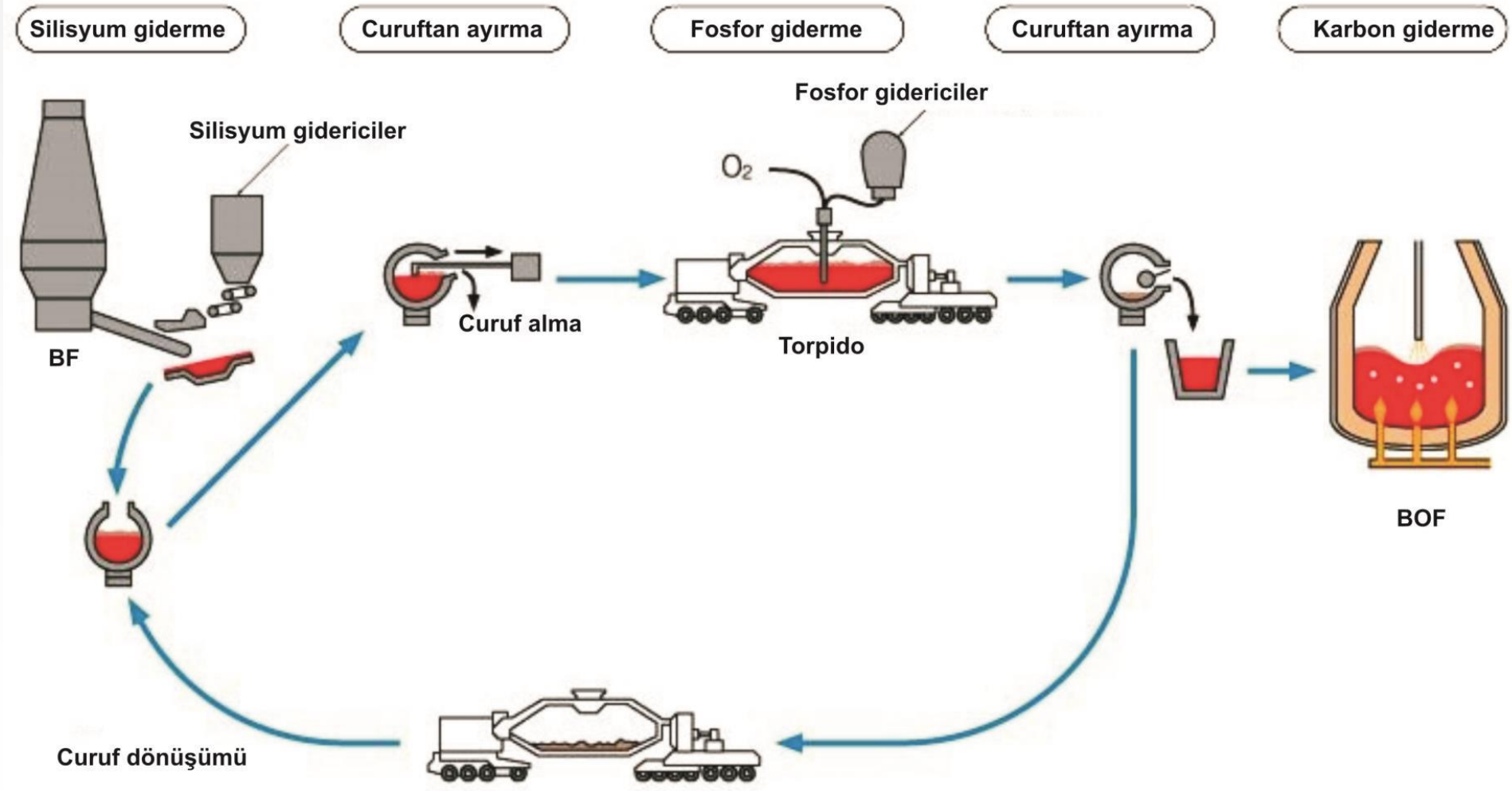
Yüksek Fırın



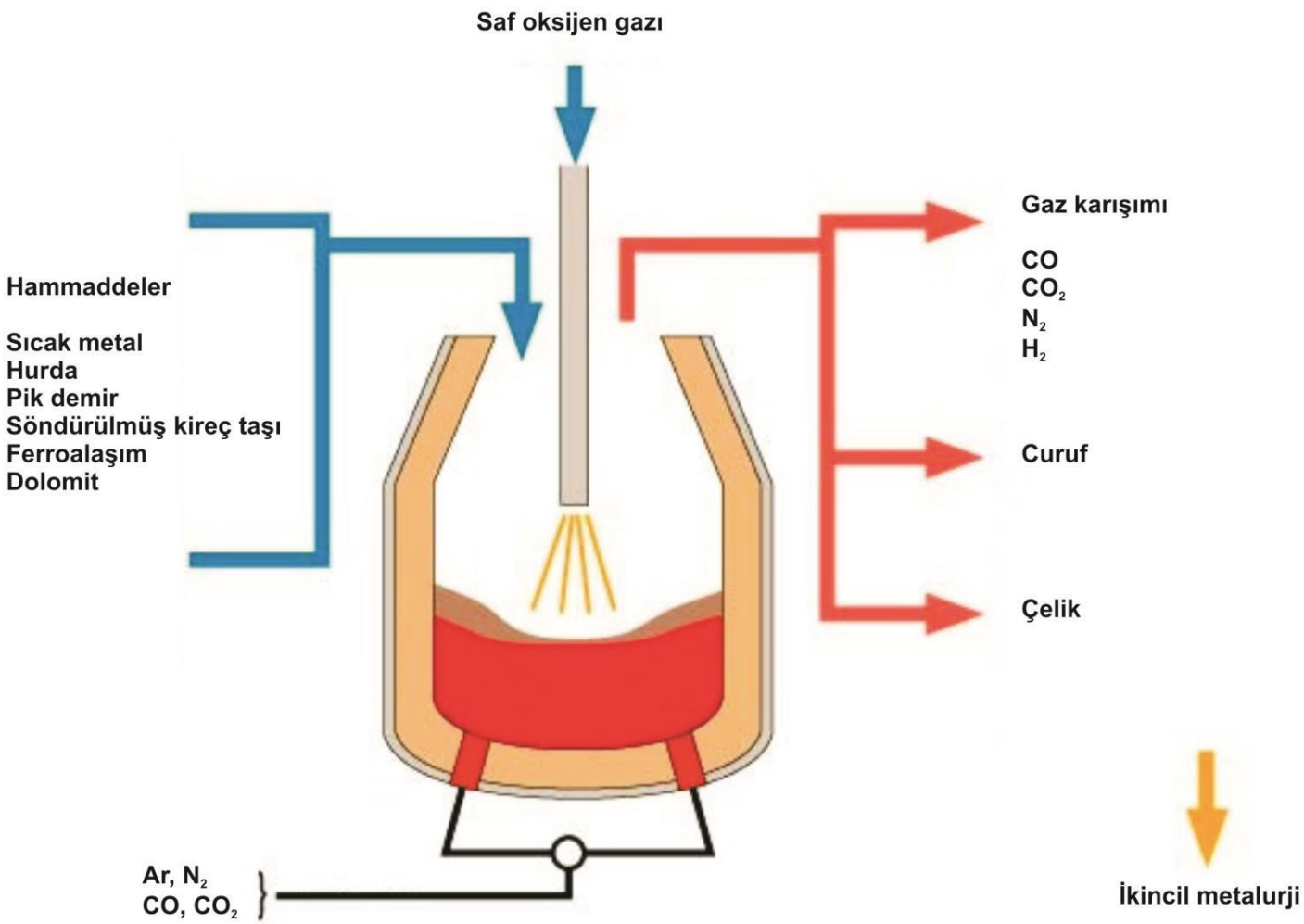
http://www.kuark.org/2014/02/yuksek-firinlar-ile-ham-demir-uretimi/

Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

Ham Çelik Ön Hazırlık



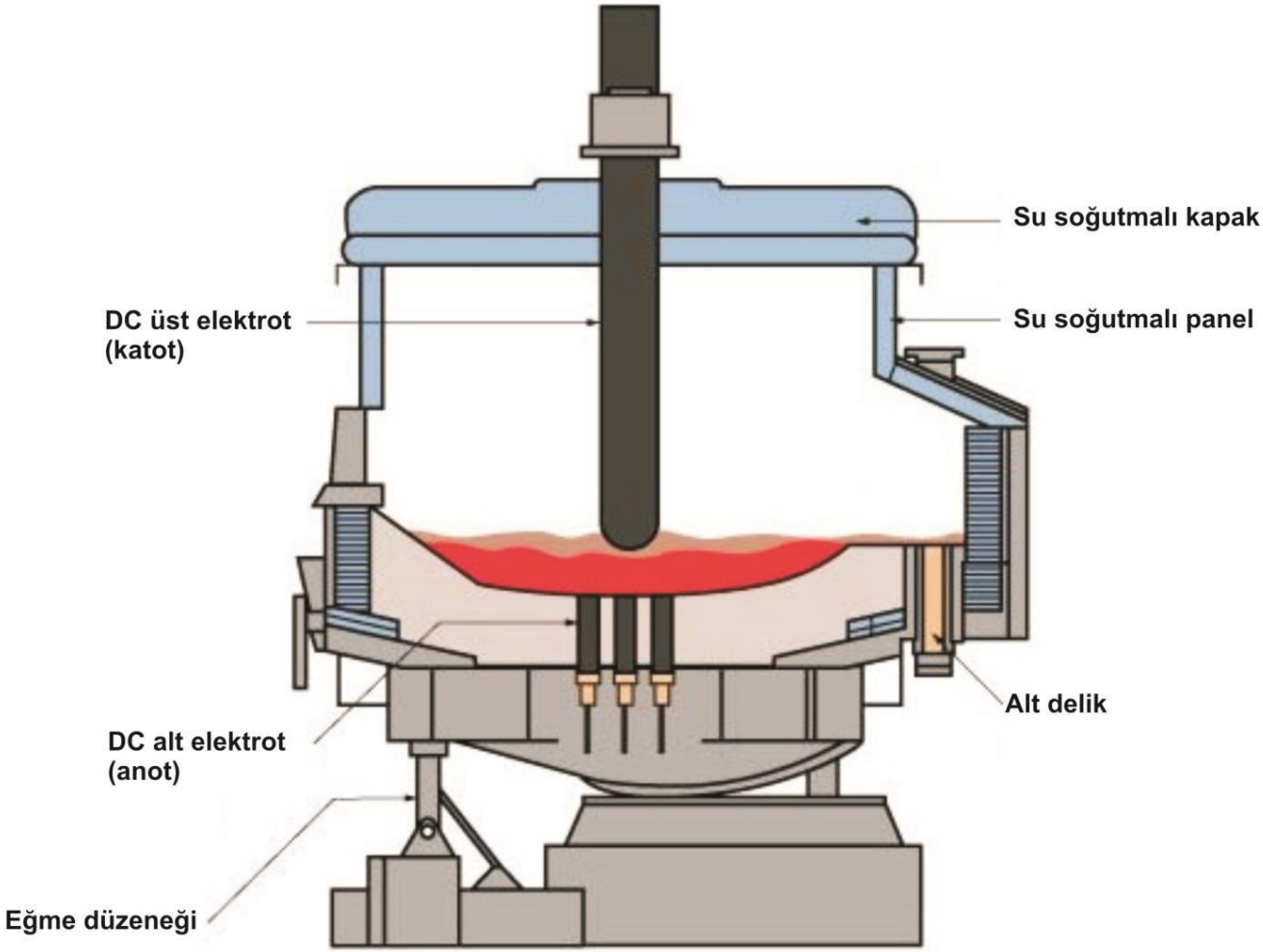
Bazik Oksijen Fırını



http://www.kuark.org/2014/03/bazik-oksijen-firinlari-ile-sivi-ham-demirden-celik-uretimi/#prettyPhoto

Ref: Doç. Dr. Kaniye ERDHİN

Elektrik Ark Fırını

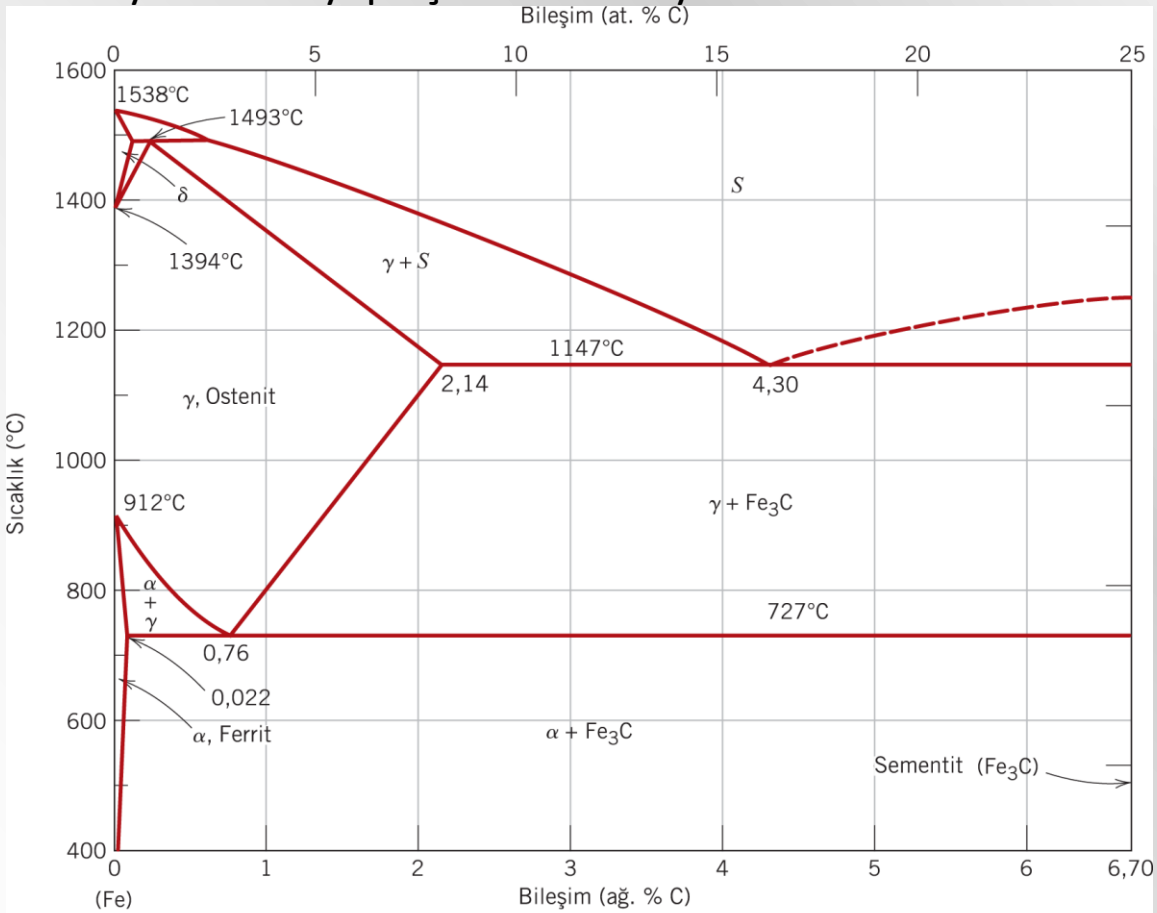


http://www.kuark.org/2014/05/elektrik-ark-ergitme-firinlari-ile-celik-uretimi/

Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

DEMİR-SEMENTİT ($Fe-Fe_3C$) FAZ DİYAGRAMI

- Fe ergimeden (1538°C) önce iki defa kristal yapı değişimine uğrar: Oda sıcaklığında ferrit(α - HMK), 912°C üzerinde östenit(γ - YMK) ve 1394°C üzerinde ferrit(δ - HMK) dir.
- C-elementi ucuzdur ve çok az oranı bile büyük değişikliklere sebep olur. Atom yarıçapının küçük olması nedeniyle kristal yapı içerisinde arayer atomu bulunurlar.



Şekil 9.24 Demir-Sementit faz diyagramı. (*Binary Alloy Phase Diagrams*, 2nd edition Vol.1, T. B. Massalski, Editor, 1990. ASM International, Metals Park, OH izni ile basılmıştır.)

Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

DEMİR-SEMENTİT ($Fe-Fe_3C$) FAZ DİYAGRAMI

- Fe-C faz diyagramında %2 den az C içeren bileşimler **çelik** %2 den daha fazla C içeren bileşimler **dökme demir** olarak adlandırılır.

- Çelikler ve dökme demirlerde kendi aralarında ayrılır . %0,8 C altında C içeren çelikler ötektoid altı çelikle %0,8 C üzerinde C içeren çelikler ise ötektoid üstü çelikler olarak adlandırılır.

Ötektoid nokta: Bu nokta faz diyagramında 727**°C (A1)** ve %0.76C nun kesiştiği noktadır. Ostenit bölgesinden soğumaya başlayan çelik bu noktaya geldiğinde tek fazlı(γ)yapıdan çift fazlı(**α+Fe3C**) dönüşür.Bu dönüşüm esnasında ferrit ve sementit lamelli bir yapı oluşturur ve bu yapı **perlit** olarak adlandırılır. Dönüşüm izotermal olarak gerçekleşir.

Ötektik nokta: 1147 **°C** ve %4.3 C içeren dökme demirin kesiştiği noktada bulunur. Bu noktada sıvı faz katılaşarak iki ayrı katı fazdan(**γ+ Fe3C**)oluşan **ledeburit**e dönüşür.

Peritektik nokta: 1492**°C** ve %0.25 C içeren çeliğin kesiştiği noktada bulunur. Bu noktada üç faz(**δ+γ+sıvı**) dengede bulunur Sıvı faz önceden meydana gelen bir katı fazla reaksiyona girerek yeni bir katı faz oluştururlar yani sıvı faz + **δ** ferrit, ostenite dönüşür.

Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

Demir Karbon Sisteminde Fazlar

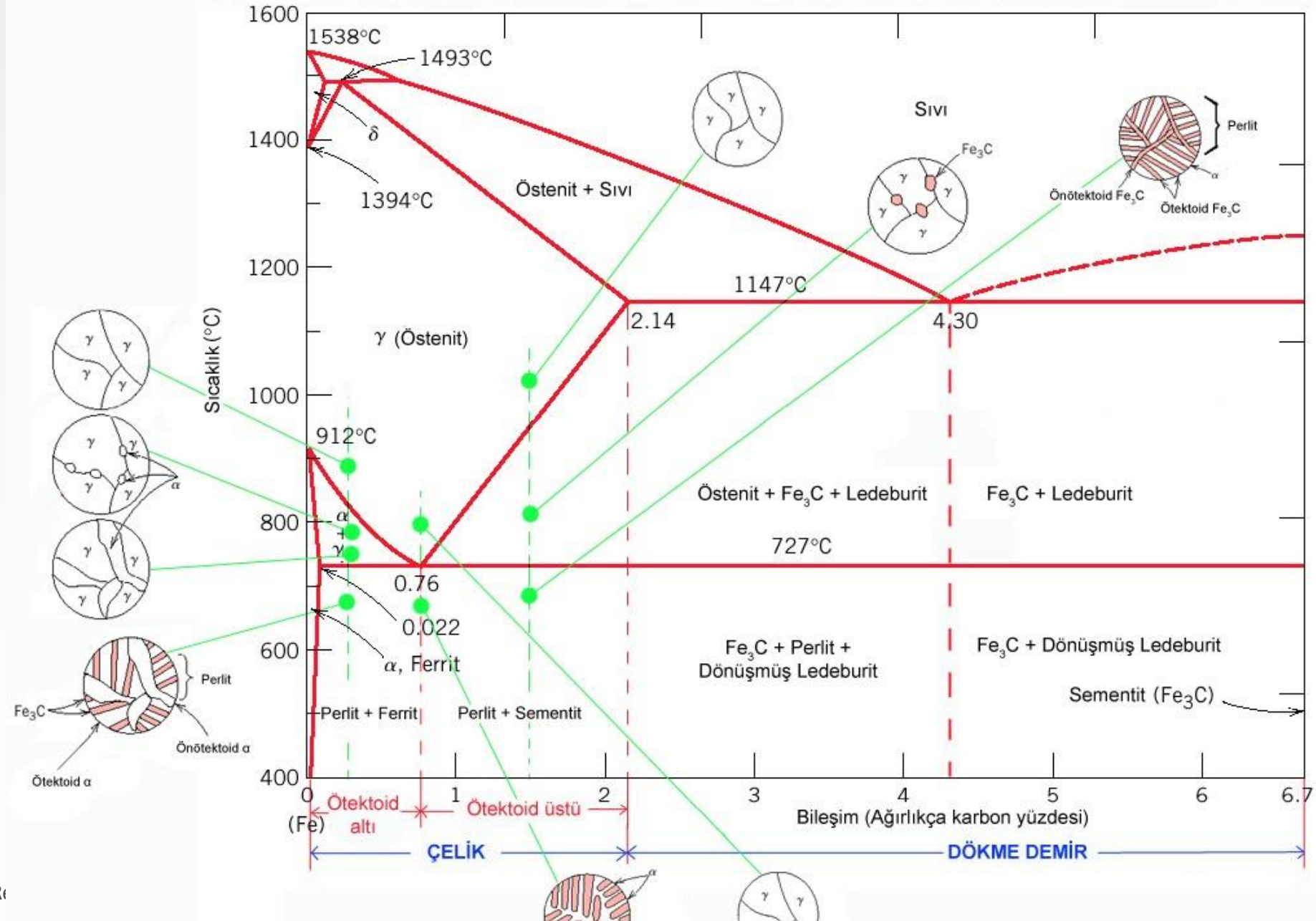
- **Ferrit (α-demir):** Saf demirin oda sıcaklığında ki HMK yapısına verilen isimdir .Bu faz içerisinde çok az miktarda C çözündürür 727 **°C** (A1) sıcaklıkta %0,022C çözündürürken oda sıcaklığında %0,008 değerine düşmektedir içerisinde çok az C olduğundan nerdeyse saf demir gibidir ve manyetiktir. Atomik dolgu faktörü (ADF) 0,68 kafes parametresi ise 2,86 Å dur. Az miktarda C içerdiği için sertliği ve mukavemeti düşüktür fakat sünekliği ve işlenebilirliği yüksektir
- **Ostenit (γ- demir):** Yüzey merkezli kübik (YMK) yapıya sahiptir. 912-1394**°C** arasında kararlı yapıya sahiptir. Atomik dolgu faktörü (ADF) 0,74 kafes parametresi 3,57 Å dur. Ostenit yüksek sertliğe(HRC 40) ve tokluğa sahiptir. Oda sıcaklığında kararlı halde değildir fakat bazı alaşım elementleri ilavesi ile kararlı hale getirilebilir.
- **Sementit (Fe3C):** İntermetalik bir bileşiktir. Ortorombik kristal yapıya sahip demir karbürüdür. Sert ve kırılgan bir yapıya sahiptir. Bir çok ticari çeliğin sertleştirilmesinde önemli rol oynar .

Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

Demir Karbon Sisteminde Fazlar

- **Perlit (α+Fe3C):** Ötektoid bileşime sahip çeliğin ostenit bölgesinden yavaş soğutulmasıyla 727**°C** sıcaklıkta meydana gelen ötektoid dönüşüm sonucu elde edilir . 12 sementit %88 ferritten oluşur .Perlit demir ve çelik teknolojisinde çok önemli bir yere sahiptir uygun ısıl işlem ile bütün çeliklerde oluşturulabilir. %0,8 C içeren çeliğin oda sıcaklığındaki mikro yapısı %100 perlittir.
- **Ledeburit :** Ostenit ve sementit fazlarının oluşturduğu bir ötektik bileşimdir. Sıcaklık A1 çizgisinin altına düştüğünde yapıdaki ostenit perlite dönüşür yapı perlit +sementitten oluşur. %4.3 C içeren dökme demirlerin yapısında bulunur. Ledeburit fazı oldukça sert ve mukavemetlidir.
- Faz diyagramları çok yavaş soğuma koşullarında çizilmiştir. Soğuma hızı arttırıldığında faz diyagramında görünmeyen **Martenzit** ve **Beynit** gibi kararsız fazlar ortaya çıkar
- **Martenzit:** Ostenitin hızlı soğutulmasıyla elde edilir. Kristal yapısı hacim merkezli tetragonaldir. Karbonca aşırı doymuştur. %0,6 C daha fazla C içeriyorsa hacim merkezli kübik yapıda bulunur .Martenzit fazı oldukça sert ve kırılgan bir fazdır. Mukavemet değeri oldukça yüksektir.
- **Beynit:** Demir ve sementit fazlarının oluşturduğu iki fazlı bir yapıdır.. Beynit iki farklı morfolojik yapıya sahiptir bunlar üst beynit ve alt beynittir.

Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN


1600
1400
1200
1000
800
600
400
Sıcaklık (°C)
1538°C
1493°C
δ
1394°C
Östenit + Sıvı
Sıvı
Fe3C
Perlit
Önötektoid Fe3C
Ötektoid Fe3C
1147°C
2.14
4.30
γ (Östenit)
912°C
Östenit + Fe3C + Ledeburit
Fe3C + Ledeburit
727°C
0.76
0.022
α, Ferrit
Fe3C + Perlit + Dönüşmüş Ledeburit
Fe3C + Dönüşmüş Ledeburit
Sementit (Fe3C)
Perlit + Ferrit
Perlit + Sementit
Perlit
Fe3C
Önötektoid α
Ötektoid α
0
1
2
3
4
5
6
6.7
(Fe)
Ötektoid altı
Ötektoid üstü
Bileşim (Ağırlıkça karbon yüzdesi)
ÇELİK
DÖKME DEMİR

Demire Eşlik Eden Elementler

- **Mangan:** α-demirinde oda sıcaklığında %10 Mn çözünebilir. %1,6'nın üzerinde Mn içeren çelikler alaşımlı, altındakiler de alaşımsız olarak isimlendirilir. Mn çeliğin bileşiminde FeS bileşiği olarak bulunan kükürdü MnS'ye dönüştürerek kızıl sıcaklıkta kırılma riski ortadan kalkar ve sıcak şekillendirme mümkün olur. MnS haddeleme doğrultusunda uzayarak bu doğrultuya dik yöndeki tokluğu düşürür. Mn çeliğin dayanımını arttırır, sünekliğini düşürür. Tavlanmış ve normalleştirilmiş çeliklerde Mn tokluğu arttırır. Çeliğin dövülebilirliğini ve sertleşebilirliğini olumlu yönde etkiler.

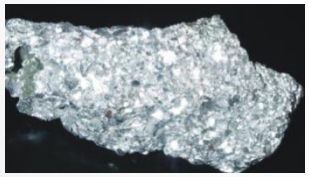
- **Silisyum:** α-demirinde oda sıcaklığında %14 Si çözünebilir. Haddelemede şekil değiştirmeden sıra halinde dizilirler. Düşük alaşımlı ve yay çelikleri %2'ye kadar Si içerirler. %5'e kadar Si içeren çelikler, elektriksel uygulamalarda kullanırlar. Yüksek oranda Si (%14-15) içeren çeliklerin korozyon direnci yüksek ancak dövülemeyecek kadar gevrektirler.

- **Fosfor:** Tokluğu en fazla azaltan elementlerden bir tanesidir. Otomat çeliklerinde %0,2'ye kadar kullanılarak talaş kaldırma sonucundaki yüzey kalitesini iyileştirirler. %0,2'nin üzerinde soğuk kırılganlık meydana gelir. Korozyon dayanıklılığını arttırır.

- **Kükürt:** S az miktarda bile tehlikeli olduğu için Mn katılarak MnS fazı oluşturur.

Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

- **Krom:** Çekme mukavemetini ve korozyon direncini arttırır.



- **Molibden:** Ni ve Cr ile birlikte çeliklerin sertleşebilirliklerini ve dayanımlarını arttırır. Bir karbür oluşturucu olduğundan aşınma direncini arttırmak amacıyla yüksek oranlarda (% 5-6) takım çeliklerinde kullanılır. Sürünme dirençli çeliklere sürünme direncini artırıcı etkisi için katılır.

- **Hidrojen:** Atom çapı en küçük olan elementtir. Azot gibi dayanımı çok değiştirmeden yapıyı gevrekleştirir. Fe içinde özellikle kusurlu bölgelere yayınan H atomları molekülüne dönüşür ve basıncı arttırır.

- **Oksijen:** Fe içinde hemen hemen hiç çözünmez. H ve N gibi çok az miktarı gevrekleşmeye neden olur. Düşük C'lu çeliklerde FeO, FeS gibi kızıl sıcaklıkta çeliği kırılgan yapar.

- **Azot:** Fe N'yi çözebilir. Akma ve çekme mukavemetini çok az arttırır, ancak tokluğu önemli oranda düşürür. Bu yüzden azot oranı düşük çelikler tercih edilir veya azota afinitesi yüksek olan Al,Ti,Ni gibi elementler katılır.

- **Nikel:** Çekme mukavemetini ve çentik darbe mukavemetini arttırır. Kritik soğuma hızını düşürür. Sertleşebilirliği az da olsa arttırır. Isıl genleşme katsayısını düşürür. Elektrik direncini arttırır. Isı iletimini zorlaştırır. Isıtma kaynatma kaplarının saplarının imalatında kullanılır. Cr ile beraber yüksek korozyon direnci, tokluk ve yorulma dayanımı sağlar.

Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

Çeliklerde Isıl İşlemler

Isıl işlemler, malzemenin kompozisyonu değiştirmeden özelliklerini değiştirmek için farklı basınç, sıcaklık, tutma süresi ve soğutma hızında yapılan işlemlerdir. İstenilen sıcaklığa ısıtma ya bir dış kaynaktan yapılır, ya da malzemenin içerisinde oluşturulur. Isının dışardan verilmesi durumunda malzemenin merkezi ile yüzeyi arasında sıcaklık farkı oluşur. Bu sıcaklık farkı ısıtma hızı arttıkça, malzemenin ısı iletim katsayısı azaldıkça ve kalınlık arttıkça artar. Hızlı ısıtma ve soğutma sırasında oluşan ek gerilmeler çatlak oluşumuna sebebiyet verir. Özellikle karmaşık şekilli parçalarda.

Bu ısıl işlemler:

- Su Verme
- Islah Etme
- Martemperleme, Ostemperleme ve Patentleme
- Tavlamalar
- Yüzey Sertleştirme İşlemleri

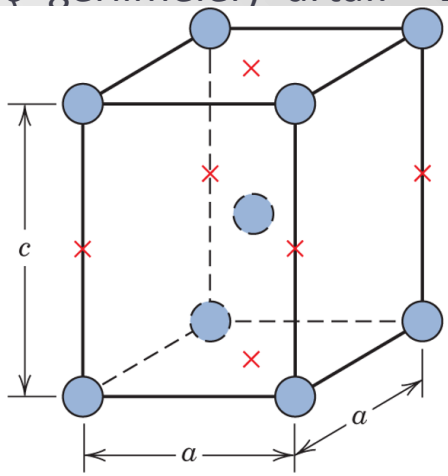
Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

Hızlı Soğutma ile Su Verme ve Martenzit Oluşumu

- Fe-C diyagramında verilen dönüşüm sıcaklıkları ve iç yapılar yavaş soğutma için geçerlidir. Hızlı soğutma ile difüzyonun engellenmesi sonucu faz dönüşümleri gecikir ve yeni fazlar oluşur.

- C atomları YMK yapılı ostenit içinde yüksek sıcaklıklarda hızlı soğutma ile ostenit→ferrit dönüşümü engellenir ve normal soğutma ile çok az C çözebilen ferrit (HMK) içerisinde C'lar sıkışır (zorunlu erimesi).

- Kübik yapı çarpılarak tetragonal hale gelir. Çarpılma derecesi C oranına bağlı olarak değişir ve çarpılma arttıkça sertlik (iç gerilmeler) artar. En yüksek sertlik değeri sadece C miktarına bağlıdır.

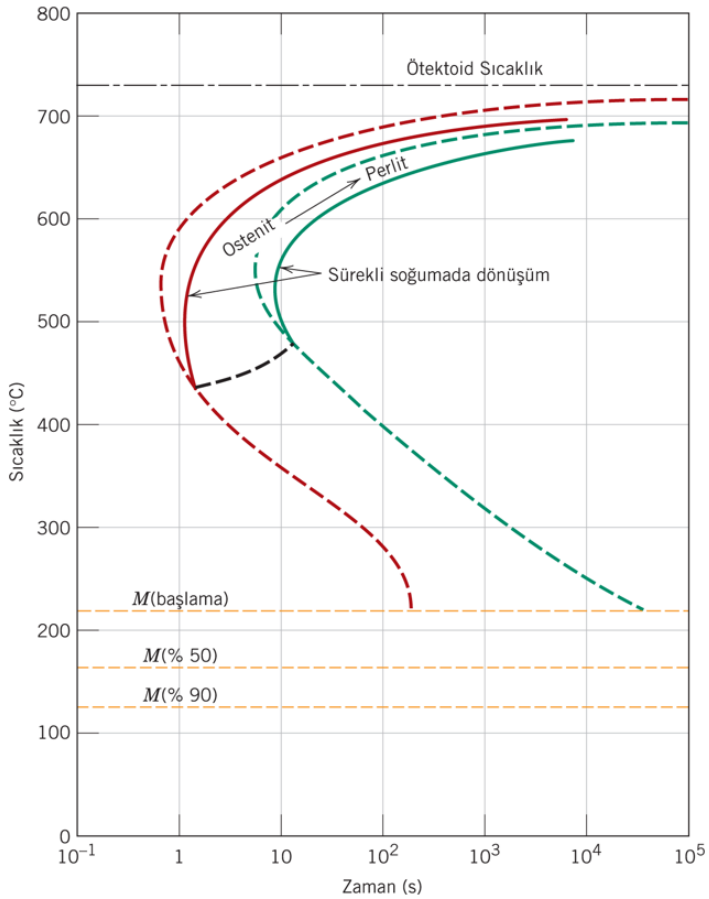


Şekil 10.20 Martenzitik yapıyı oluşturan hacim merkezli tetragonal (HMT) birim hücre. Daireler demir atomlarını, X işaretleri ise karbon atomlarının yerleşmek zorunda kaldığı kafes noktalarını göstermektedir (HMT birim hücrede $c > a$ olduğuna dikkat ediniz).

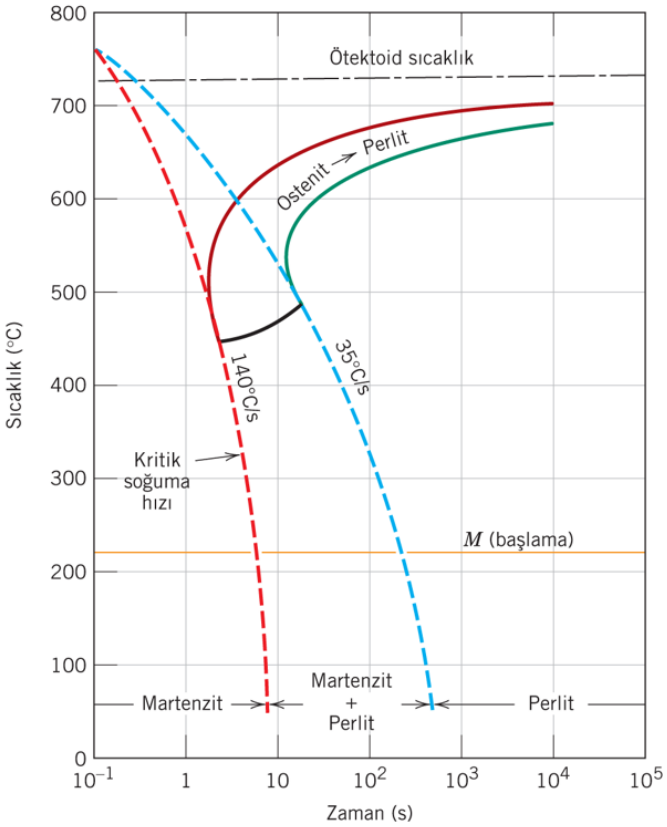
Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

Zaman-Sıcaklık-Dönüşüm (ZSD) Diyagramları

Zaman –Sıcaklık –Dönüşüm Diyagramları; Sürekli Soğuma İçin Z-S-D Diyagramları ve Sabit Sıcaklık (İzotermal) Z-S-D Diyagramları olarak 2 grupta incelenebilir.



Malzeme Bilimi ve Mühendisliği - Sekizinci Basımdan Çeviri

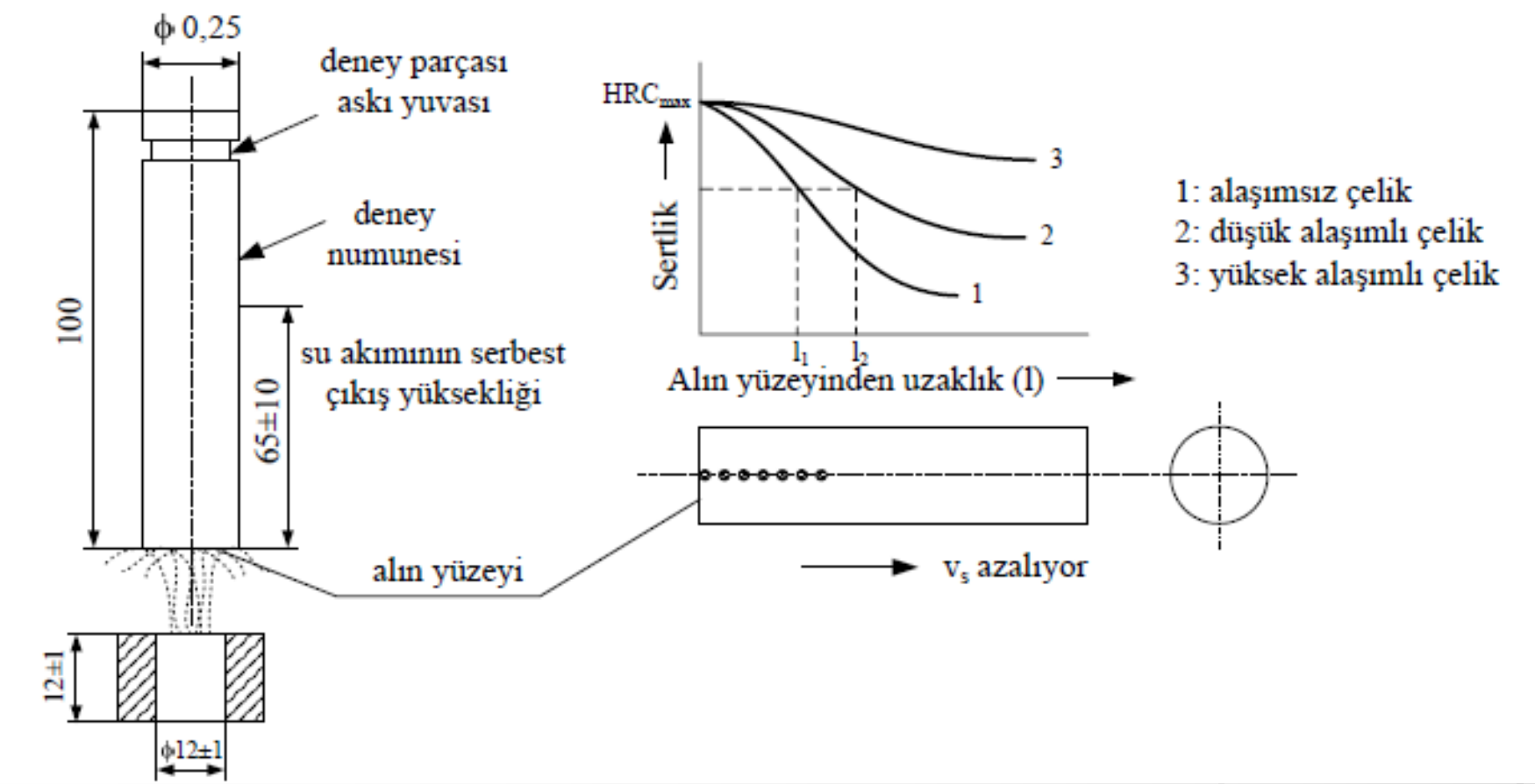


Malzeme Bilimi ve Mühendisliği - Sekizinci Basımdan Çeviri

Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

Sertleşebilirlik (Jominy Deneyi)

- Sertleşebilirlik su verme ile sertleşebilen en yüksek derinliği ifade eder. Çeliğin sertleşme davranışı DIN 50191'de verilen Jominy (Alından Su Verme) Deneyi ile saptanır. Çeliğin sertleşme derinliği, genellikle %50 martenzit içeren, yani böyle bir içyapının sertliğine sahip olan noktanın, alın yüzeyinden uzaklığıdır.

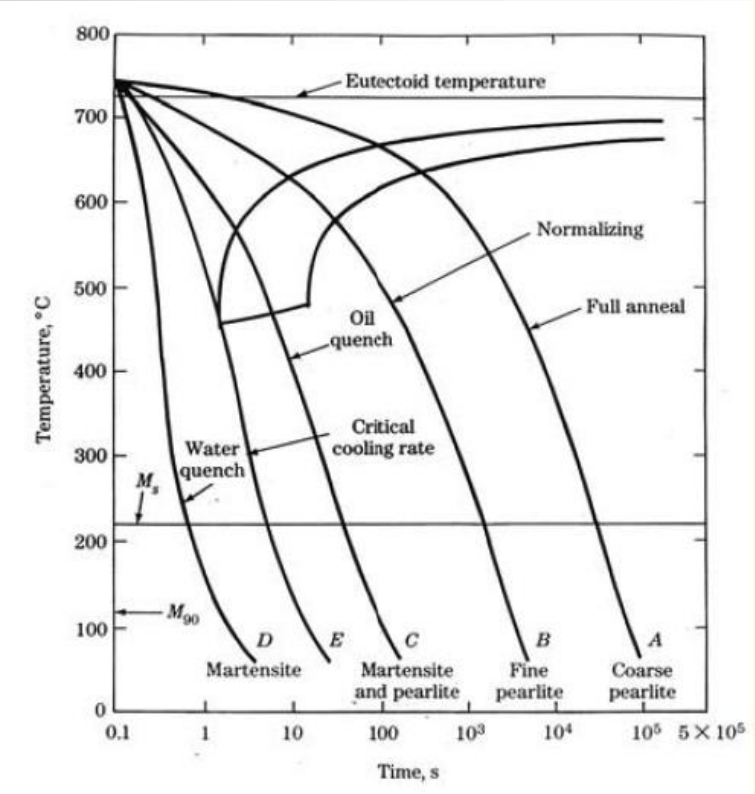


Ref: Do

Su Verme Ortamları

Su verme işleminin etkisini aşağıdaki koşullar belirler:

- Çeliğin C ve alaşım miktarı
- Su verme ortamının soğutma kabiliyeti
- Soğutma ortamının sıcaklığı ve hareketi
- Parçanın boyut ve biçimi
- Parçanın soğutma süresi
- Parçanın yüzey durumu

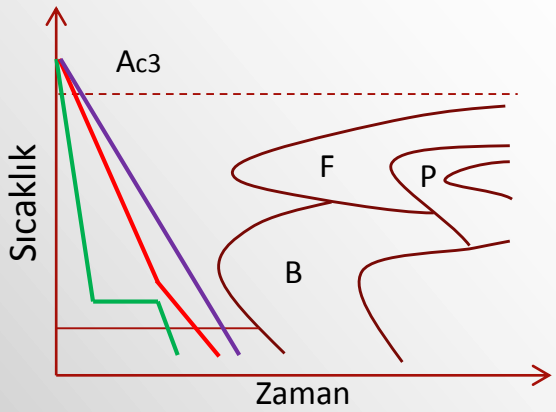


Soğutma yağlarının soğutma etkisi suya göre üç kat daha azdır.

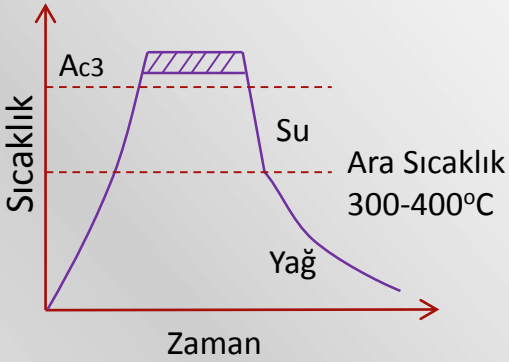
Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

Su Verme Ortamları

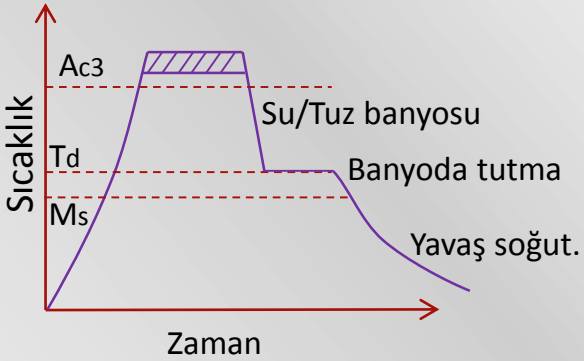
Basit Su Verme: Su veya yağ gibi ortamlarda sürekli soğutmaya dayalı bir yöntem. Sertleşme derinliği çok fazla olmaya alaşımsız çeliklerde ve karmaşık kesitli parçalara bu yöntemle su verilirse yüksek gerilmelerin etkisiyle çarpılma ve çatlama oluşabilir. Bu tür parçalarda kritik soğuma hızı düşük olan alaşımlı tercih edilmeli. Kesikli su verme veya duraklı su verme yöntemleri de tercih edilebilir.



Kesikli Su Verme: Ostenitlenmiş parça 300-400°C'ye kadar hızlı soğutulur. Parçanın iç ve dış yüzeylerinde sıcaklık farkının dengelenmesini beklemeden ortam değiştirilerek yavaş soğutulur. İşlemde ara sıcaklığının yakalanması deneyim gerektirdiğinden işlem nadiren uygulanır.



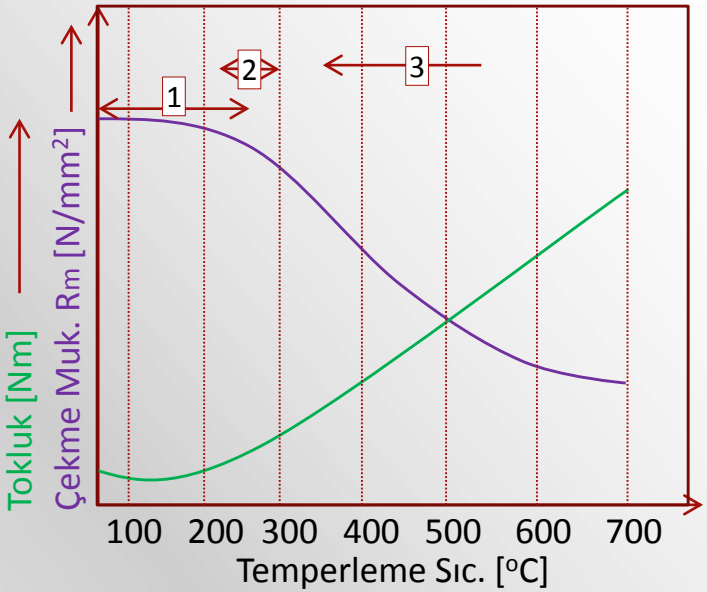
Duraklı Su Verme (Martemperleme): Ostenitlenmiş parça Ms'nin üzerinde bir Td sıcaklığına kadar hızlı soğutulur. Parçanın iç ve dış yüzeylerinde sıcaklık farkının dengelenmesi beklenir ve ortam değiştirilerek yavaş soğutulur. Sabit sıcaklıkta bekletme sırasında ostenitin kolayca şekil değiştirmesiyle ısıl ve dönüşüm gerilmeleri azaltılmış, parçanın her yerinde eş zamanlı martenzit oluşumu sağlanmıştır.



Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

Islah Etme

Su verme sonucunda çelikler çok yüksek sertliğe (gevrek) ve iç gerilmelere sahip olurlar. Islah etme ile yüksek oranda C sıkışması sonucu tetragonalitesi artan martenzit kristalleri içerisinde C difüzyonuna izin verilerek mikro sementitlerin çökelmesine izin verilir. Oluşan bu yapıya beynit denir. Çökelme ile martenzit içerisindeki iç gerilmeler azalarak malzeme bir miktar süneklik kazanır, sertlik ve mukavemet bir miktar düşer.



Temperleme (menevişleme) sıcaklığı A_1 sıcaklığının altında olmakla birlikte C oranına ve oluş mekanizmalarına bağlı olarak 3 farklı temperleme kademesi mevcuttur.

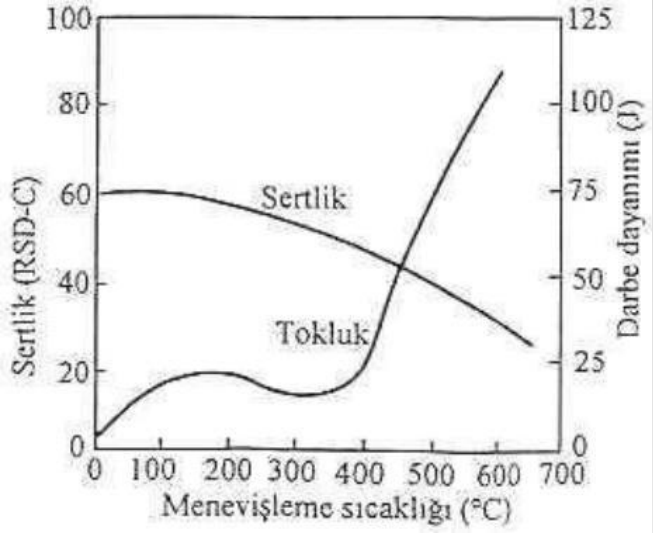
1. **Temperleme kademesi:** Oda sıcaklığından 250°C'yekadar ayrışan C atomlarının ince Ɛ-karbür ($Fe_{2,4}C$) oluşturması suretiyle tetragonal martenzit gerilmesi daha düşük kübik martenzite dönüşür. Hacim azalır,sertlikte önemli bir düşüş olmaz. Cam sertliği giderilmiş olur.
2. **Temperleme kademesi:** 230-300°C arasındadır. Çökelen karbürler Fe3C bileşimindedir. Kübik martenzit ile gerilmeler azalmıştır, sertlik ve çekme mukavemeti düşmüştür. İnce karbürler dislokasyon hareketlerini engelledikleri için akma mukavemeti değişmez. Yüksek C'lu çeliklerde var olan reostenit içinde de karbürler ayrışır ve C oranı azalan ostenitin Ms ve Mf sıcaklıklara yükselerek artık ostenit kübik martenzite dönüşerek hacim artar(veya beynitik yapı oluşur).
3. **Temperleme kademesi:** 350°C'den Ac1'e kadar olan sıcaklıklarda sementitin büyük parçacıklar halinde çökelmesiyle kübik martenzitin yerini ferritin almasıyla hacim azalır. Süneklik artar.

Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

Temper Gevrekliği

Mn, Cr, Cr-Mn ve Cr-Ni çeliklerinde belirli sıcaklık aralıklarında temperleme sonrasında yaşanabilen yüksek sertlik artışı (kırılganlık) meydana gelir. Bu aşırı gevreklik Sb, Sn, P, As gibi elementlerin tane sınırlarında birikmesi ile oluşur.

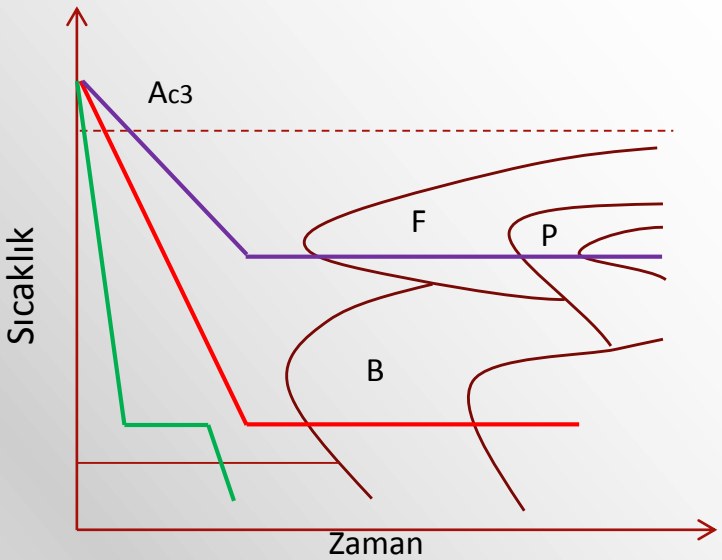
Bu tür çeliklerde **temper gevrekliği**ne sebep olan sıcaklık aralığında temperlenmesinden kaçınılır. Temper gevrekliğini gidermek için ise gevrekleşme aralığı dışındaki bir sıcaklıkta temperleme yapılır. Çökeltiler dağıtılarak gevreklik giderilir. Mo, Ti, Nb gibi elementler alaşım içine katılarak gevrekleştirici elementler tutulur ve temper gevrekliği bastırılır.



Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

Diğer Toklaştırma Yöntemleri

Uygulanan ısıl işlemler sırasında oluşabilecek ısıl gerilmeler ve dönüşüm gerilmeleri değişik yöntemler ile en aza indirgenebilir. Isıl gerilmeler malzemenin iç ve dış kısımları arasında sıcaklık farkları nedeniyle farklı büzülme oranlarının meydana gelmesi sonucunda oluşur. Dönüşüm gerilmeleri ise su verilen parçanın her tarafında ve aynı zamanda martenzit dönüşümünün gerçekleşememesinden ve C sıkışmasına bağlı olarak homojen olmayan hacim artışından kaynaklanır.



Martemperleme: Ostenit bölgesinden Ms sıcaklığının üzerindeki bir Td sıcaklığına hızla soğutulan (tuz banyosunda) malzeme bu sıcaklıkta beynitik dönüşüm sınırına varmadan bir süre bekletilir ve martenzit oluşumuna fırsat verecek bir hızla soğutulur. Ms'nin üzerindeki sıcaklıkta bekletme esnasında ısıl gerilmeler büyük oranda düşer ve ostenitik yapının plastik deformasyona izin vermesiyle dönüşüm gerilmeleri en aza indirgenir. Martemperleme yapılacak çeliklerin Ms sıcaklığı çok yüksek olmamalıdır, yoksa beynit dönüşümü engellenemez. Bu yüzden en az %0,6 C'lu çelikler tercih edilir.

Ostemperleme: Ostenit bölgesinden bir Tb sıcaklığına hızla soğutulan (tuz banyosunda) malzeme bu sıcaklıkta kararsız ostenitin beynite izotermik dönüşümü tamamlanıncaya kadar bekletilir ve havada soğutulur. Ostenitin ısıl gerilmelerin etkisiyle hızla şekil değiştirmesiyle gerilmeler giderilir. Ostemperleme çatlamaya duyarlı ve karmaşık parçalarda uygulanır. Temperlenmiş martenzitin tokluk değerleri aşılabilir. Ancak özellikle alaşımlı çeliklerde veya ince kesitli bazı alaşımsız çelikler dışındaki çeliklerde ferrit ve perlit dönüşümünün engellenememesi sebebiyle tokluk azalabilir.

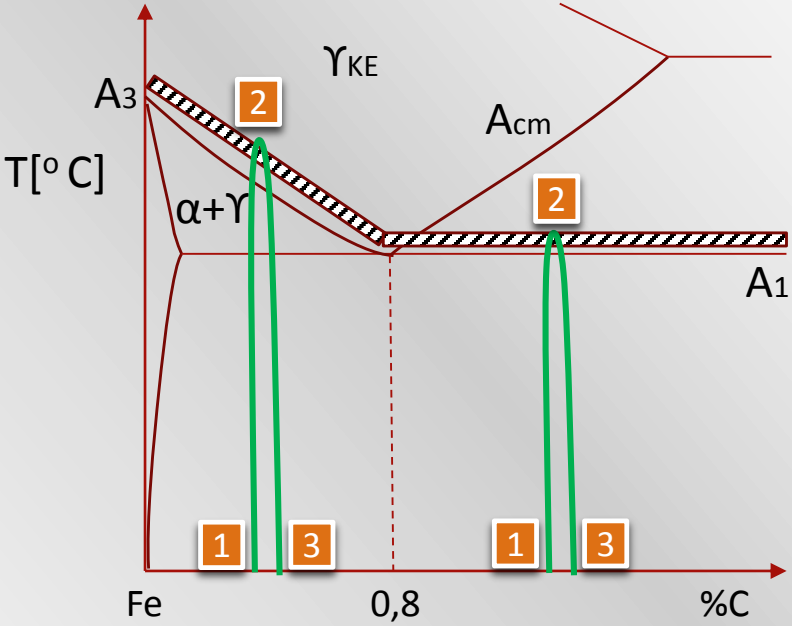
Patentleme: Ostemperlemeye benzer şekilde dönüşümün perlit kademesinde yapıldığı çok ince lamelli perlitik yapının sorbitik-trostitik bir iç yapı eldesi sağlayan bir işlemdir. Çok yüksek dayanımlı tellerin üretimi bu yöntemle mümkündür.

Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

Tavlamalar

Normalizasyon Tavlaması: Bu tavlamanın amacı her türlü muhtemel işlemden sonra yapısı değişmiş olan çeliğe tavlama sonucunda normal (ince ve eş eksenli) içyapıyı kazandırmak ve tokluğu arttırmaktır. Bu tavlama soğuk şekil verme (haddeleme), döküm ve kaynak sonrası içyapısı bozulmuş olan malzemelere uygulanır.

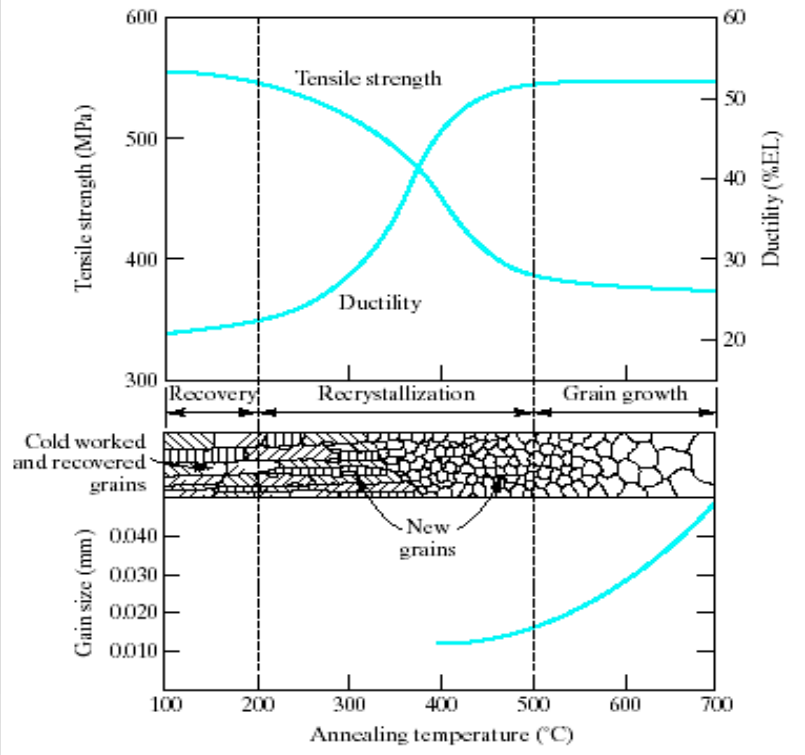
- Isıtma hızı mümkün mertebe yüksek seçilir ki tam çözünemeyen sementit lamelleri ostenit için çekirdek görevi görerek ince taneli bir ostenit oluşur. Soğutma durgun veya basınçlı havada yapılır.
- Aşırı ısıtma ve tutma sürelerinden kaçınılmalı yoksa tane irileşmesi meydana gelir.
- Ötektoidüstü çeliklerden takım çeliklerinden üretilmiş karmaşık şekilli parçalarda normalizasyon sonucunda çatlama ve kırılma tehlikesi azalır.



Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

Yeniden Kristalleşme (Rekristalizasyon)

PŞV sonucunda malzemedeki enerji içeriği önemli oranda artar (pekleşme). Biriken enerji yoğunluğu artmış olan dislokasyonların elastik enerjisidir. Bu durumda aktivasyon enerjisinin (sıcaklık) arttırılmasıyla kristal kusurlarının düzenlenmesi ve kısmen yok olmasıyla enerjide bir düşme (**toparlanma**); dislokasyon yoğunluğunun şekil değiştirmeden önceki haline geri dönmesiyle **yeniden kristalleşme**; sıcaklığın arttırılmaya devam edilmesiyle **tane irileşmesi** meydana gelir.



Mikrosegregasyon

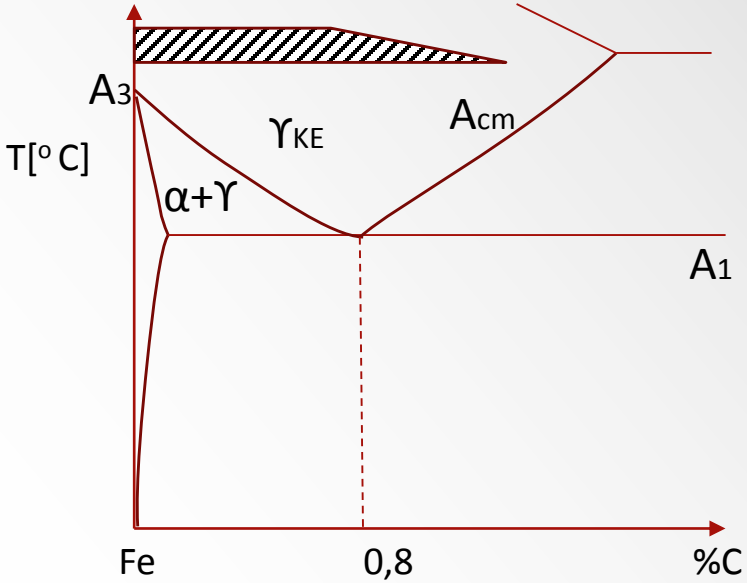
Bir alaşımın sıvı halden katılaşması esnasında ilk katılaşan bölge ile son katılaşan bölge arasındaki konsantrasyon farkına denir.

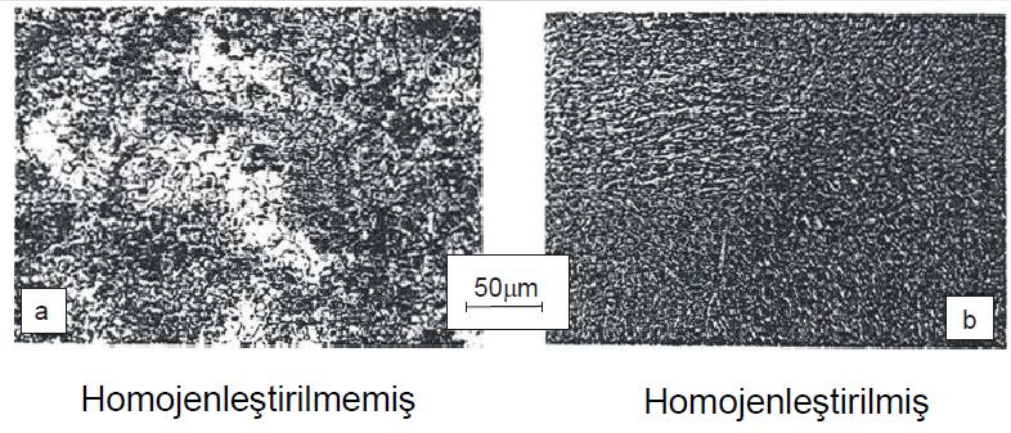
Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

Yayınma Tavı (Homojenleştirme)

Malzeme içindeki konsantrasyon farkını ortadan kaldırmak için uygulanır (mikro segregasyon gibi). 1100-1300°C'de 40 saat süreyle yapıldığı için oksit tabakası oluşumuna ve tane irileşmesine sebebiyet verebilir. Bu yüzden yarı mamul halinde iken uygulanır. İrileşmiş taneler normalizasyon veya haddeleme (termomekanik işlemler) ile tekrar ufaltılabilir. Bu ısıl işlemle:

- Atom dağılım farklılıkları ortadan kalkar.
- Çökelti fazları çözülür. Çözünmeyen intermetalik fazlar (karbürler, nitrürler) ise yuvarlaklaşır ve ornı/şekline bağlı olarak sıcak çatlak meyli azalır ve tane irileşme meyli azalır. Bazı çeliklerin mekanik özellikleri iyileşir.
- Çoğunlu alaşımlı çelik döküm normalleştirmeden önce yayınma tavlaması uygulanarak çentik darbe tokluğu arttırılır.

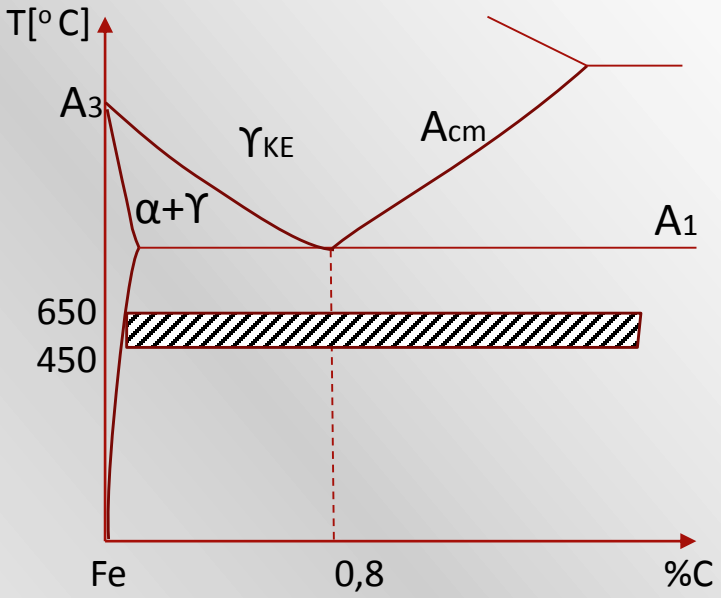




Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

Gerilme Giderme Tavı

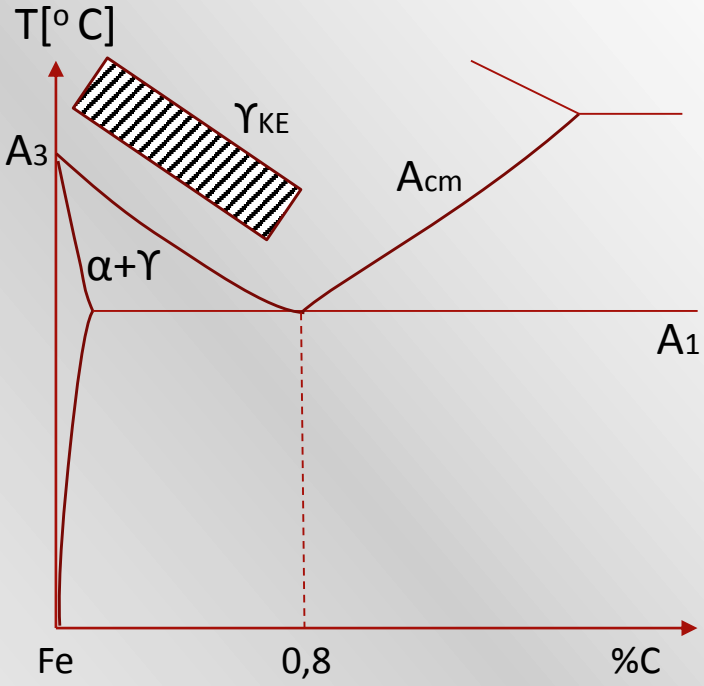
- Üniform olmayan ısıtma-soğutma (döküm, kaynak, sertleştirme), üniform olmayan şekil değişimi, talaşlı imalat ve dönüşüm olayları esnasında parça içerisinde büyük oranda gerilmeler meydana gelir. Bu gerilmeler kullanım esnasında beklenmedik çatlaklara ve kusurlara yol açabilir. Yorulma ve aşınma dayanımında düşüş, ölçü sapmaları, çarpılmalar, mikro çatlaklar ve beklenmedik fonksiyon bozukluklarına sebep olur.
- Kalın parçalara ve sıcaklığa duyarlı hassas parçalara uygulanan bir işlemdir. 450-650°C arasında ısıtma ve yavaş soğutma ile yapılır. Artan sıcaklıkla birlikte akma dayanımı da düşer ve iç gerilmeler kolayca plastik şekil değiştirerek gerilme azalır. Eş dağılım göstermeyen makro gerilmelerin şekil değiştirmesi çarpılmalara yol açabilir. Bu yüzden parça son boyutlarına getirilmeden bu işlem yapılır. Soğutma tekrar iç gerilme oluşumuna sebebiyet vermeyecek kadar yavaş olmalı.



Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

Tane İrileştirme Tavlaması

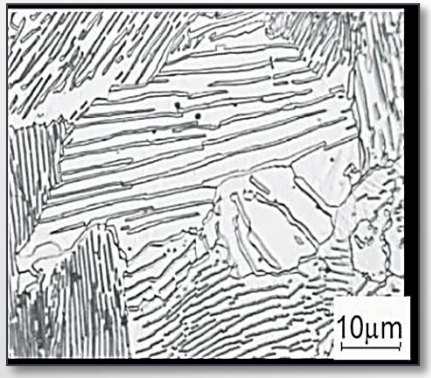
Ötektoidaltı çeliklerin talaşlı imalat ile işlenebilirliğini iyileştirmek için taneleri irileştirmeye dayalı bir yöntemdir. A_3 sıcaklığının 100-250°C üzerinde bir sıcaklıkta tavlama ve A1 sıcaklığına kadar yavaş soğutarak, bu sıcaklığın altında ise daha hızlı soğutarak yapılan bir işlemdir. Böylece gevrek ve kaba taneli bir içyapı sayesinde sıvanmayan, kısa ve kırılgan talaşlar elde edilir.

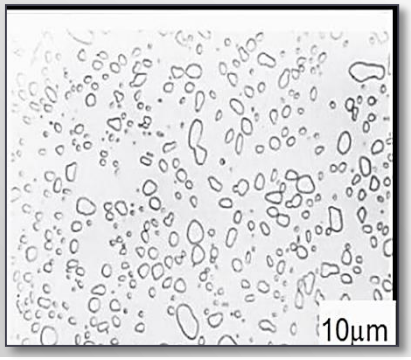


Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

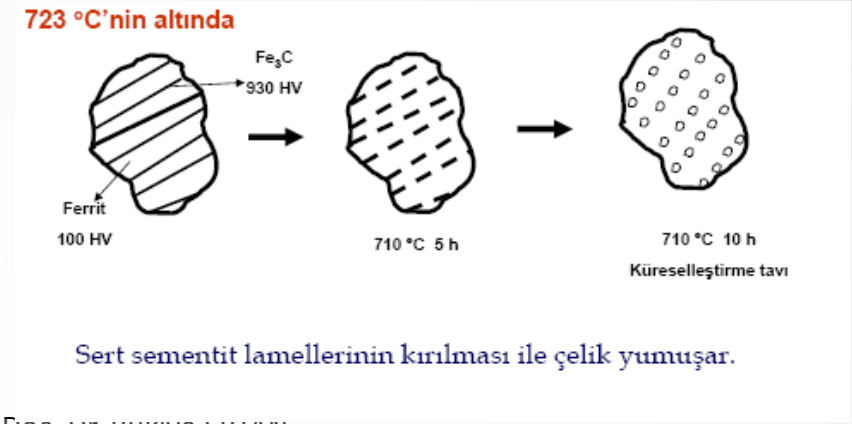
Yumuşatma (Küreselleştirme) Tavlaması

Talaşlı imalata ve PŞV'ye uygun bir yapı elde etmek için yapılır. Ferritik iç yapı içerisinde yuvarlatılmış sementitlerden oluşur. Ötektoidaltı çeliklerde A1'in altında, ötektoidüstü çeliklerde ise A1'in altında ve üstünde salınım şeklinde ince sementit lamellerinin perlit içindeki ferrit içinde kısmen çözünmesine ve difüzyonuna fırsat vermek için yapılır. Sementit daha düşük enerjili (küre) haline geçerek yumuşak bir yapı elde edilir. Soğutma yavaş yapılır. Salınım şeklinde ısıtma ile tav süresi kısaltılmış olur.





Ötektoidaltı çeliklerde karbür çökelmesini önlemek için Ac1'in altına ısıtılır. C>0,4 olan çeliklere uygulanır. Daha düşük C'lularda çok fazla yumuşama olduğu için tane irileştirme tavlaması uygulanır.



Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

Yüzey Sertleştirme İşlemleri

Tribolojik zorlanmalara maruz kalan parçaların yüzey bölgesinin sert, aynı zamanda yüksek darbelere ve tekrarlı yüklemelere de maruz kalıyorsa tok (veya sünek) olması gerekir. Malzemeden bu iki farklı beklenti ancak yüzey sertleştirme yöntemleri ile mümkün olabilmektedir. Genellikle cıvata, muylu, mil, dişli çark, yatak gibi makine elemanlarına uygulanır. Yüzeyde oluşturulan basma iç gerilmeleri ile sağlanan yerel sertlik dönüşüm gerilmeleri ve çarpılmayı azaltır.

Yüzey sertleştirme yöntemleri:

- Parçadan beklenen fonksiyona
- Mevcut malzemenin türüne
- Parçanın hassasiyetine
- Maliyet göz önüne alınarak seçilir.

Bu yöntemler:

- Tüm kesiti ostenitleyerek
- Sadece yüzey bölgesini ostenitleyerek
- Yüzey bölgesinin kimyasal bileşimini değiştirerek yapılır.

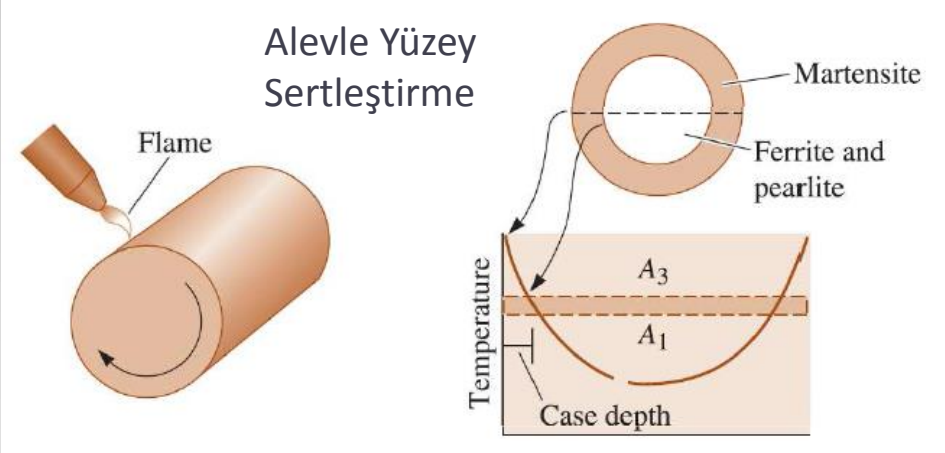
Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

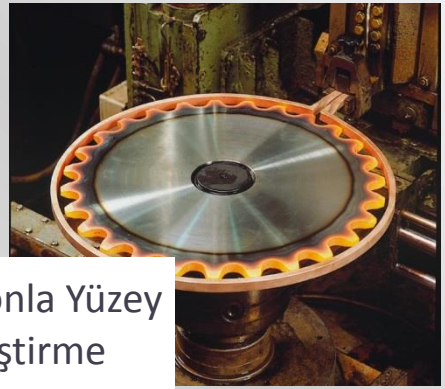
Yüzey Bölgesini Ostenitleyerek

Alevle: Oksijen ile asetilen gazının yakılmasıyla oluşan ısı kaynağından faydalanılarak, üfleç yardımıyla ısının belirli süre yüzeyde gezdirilmesi esasına dayanır. Yüzeyi belirli derinliğe kadar ostenitlenen parça şekline uygun duşlar altında 1-6mm kalınlıklarda sertleştirilir. Genellikle büyük parçaların sertleştirilmesinde kullanılır.

İndüksiyonla: Parçanın etrafına yüksek frekanslı akımlarla beslenen bir bobin sarılır. İndüklenen bobin parçanın yüzeye yakın kısımlarının akıma karşı gösterdikleri elektrik direnci sebebiyle ısınır. İşlem çok kısa sürdüğü için parçada çarpıma, çatlama ve tane irileşmesi olasılıkları düşüktür. Kolay ve kontrollü bir yöntem olmasına rağmen pahalıdır. Seri imalatta tercih edilir.

Daldırmayla: Parça çok yüksek sıcaklıktaki sıvı banyosuna (Sn Bronzu) daldırılır ve uygun bir süre bekletilir. Bu yöntem karmaşık parçalar (dişli çark) için uygundur, kolaydır ve ucuzdur. Ancak sertleşme derinliğinin hassas olarak kontrol etmek zordur.



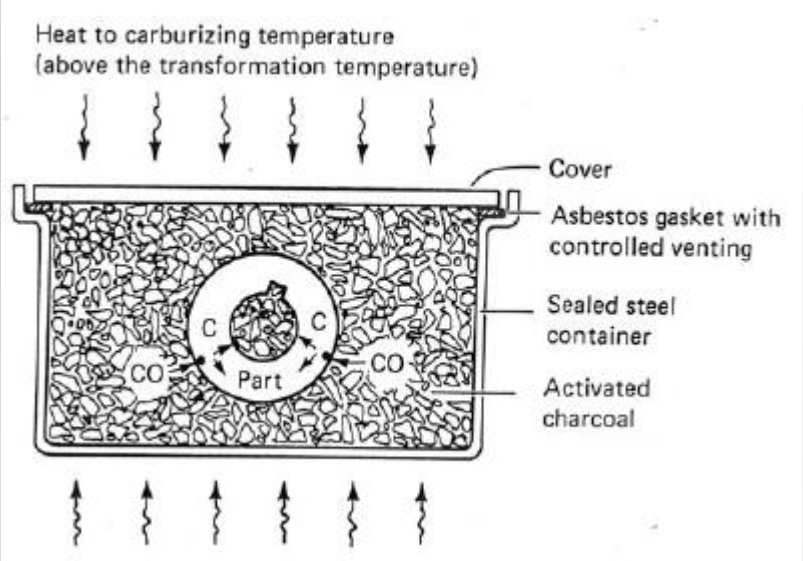


İndüksiyonla Yüzey Sertleştirme

Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

Termokimyasal İşlemler

Sementasyon: Düşük C'lu çeliklerin (%C<%0,25) yüzeyine C emdirilmesi ve su verilmesi işlemlerini kapsamaktadır. Vurma tokluğu çok fazla düştüğü için sementit ağı oluşturmadan (%C<%0,8) malzemenin belirli kalınlıktaki sertliğinin arttırılması hedeflenmekte. C ancak ostenit içerisinde çözünebildiğinden Ac3 sıcaklığının üzerindeki bir sıcaklıkta ve uzun bir sürede bu işlem yapılır (2 mm için 16 saat gibi).Alaşım elementi oranı arttıkça işlem süresi uzar. Ortalama yayınma derinliği:



Atomsal C, gaz fazı (CO) üzerinden meydana gelir ve 3 farklı ortamda oluşturulabilir.

Katı Karbonlama: Temel bileşeni odun kömürüdür. Karbonlanan parçaya odun kömürü çepeçevre sarılarak ostenitleme sıcaklığına getirilir. Isı iletiminin düşük olması nedeniyle işlem uzun sürer.

Gaz Karbonlama: Doğalgaz veya propan katılmış havagazı ortamında yapılır. Yöntemin tüm parametreleri çok kolay ayarlanabilir. Pahalıdır.

Sıvı Karbonlama: Siyanür banyolarında (NaCN) işlem yapılır. Isı iletimi katıya göre daha yüksektir. İstenen sementasyon kalınlığı daha hızlı ve hassas ayarlanabilir. Çok sayıda parça tel sepetler içinde siyanür banyolarına daldırılır ve seri işlem yapılabilir. Dezavantajları ise yöntemin pahalı, siyanürün ise zehirli olmasıdır.

Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

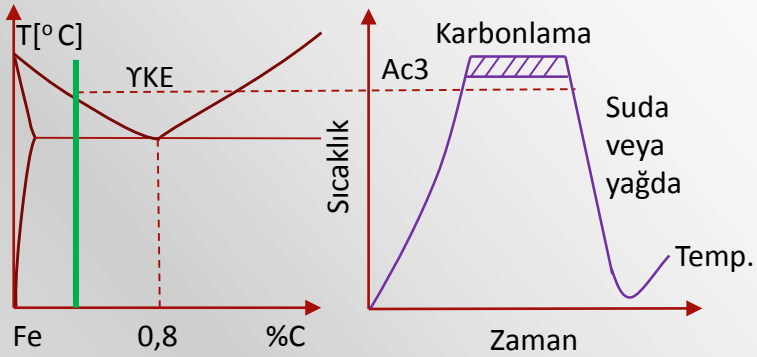
Karbonlamadan sonra Su Verme

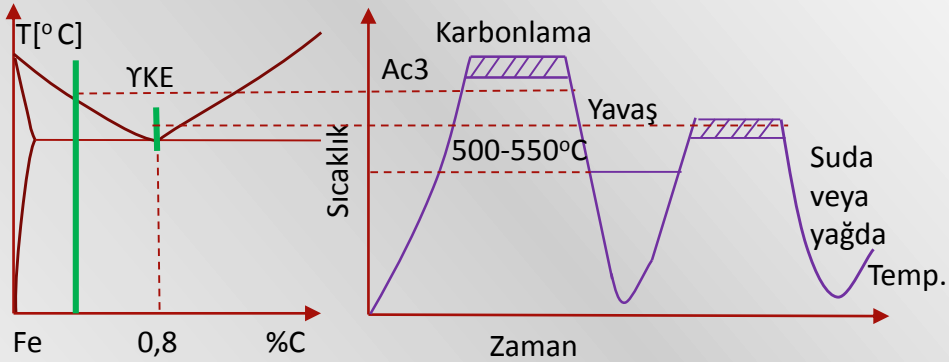
Sementasyon karbonlama ve su verme olmak üzere iki aşamalı bir işlemdir. Yüzeyde C oranı arttırılan parçanın su verme ile martenzitik iç yapı oluşturulur. Böylece yüzeyin aşınma direnci artar. Bunun için de farklı sertleştirme programları uygulanır.

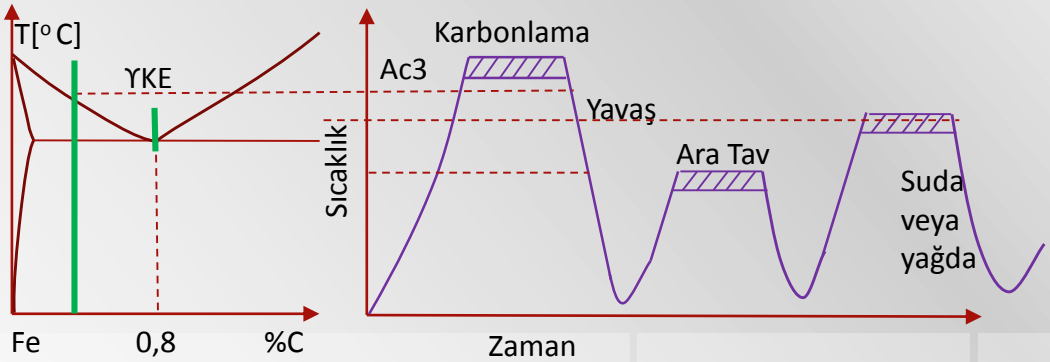
Doğrudan Sertleştirme: Kolay ve ucuz bir yöntem olmasına karşın uzun, aşırı ısıtma nedeniyle kaba martenzit ve artık ostenit oluşumuna sebep olan bir yöntemdir. Ayrıca aşırı ısıtma nedeniyle göbekte tane irileşmesi ve tokluk düşüşü meydana gelir. Aşırı ısınmaya duyarsız Cr-Mo çelikleri dışında yüksek zorlamalara maruz kalmayan parçaların üretimine elverişlidir.

Yeniden Ostenitleyerek Sertleştirme: Karbonlanan parça önce yavaş olarak oda sıcaklığına veya 500-550°C'ye kadar soğutularak ostenitin izotermik dönüşümü sağlanır ve göbekte ince lamelli perlit yapısı elde edilir. Daha sonra tekrar ostenitleme sıcaklığına çıkartılarak su verme işlemi gerçekleştirilir.

Çift Sertleştirme: Cr-Ni-Mo alaşımlarına uygulanır. Kalın parçalarda bile göbek tokluğu iyileşir. Ara tav ile ısıl gerilmeler giderilir. Bu aşamada çarpılma olmadan talaşlı imalat ile işlenebilir. 2. su verme ile ince martenzit tabakası oluşturulur.







Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

Nitrürleme

Bu yöntem ile sağlanan yüzey sertliği martenzit dönüşümünden değil Ac1 sıcaklığının altında yüzeyden azot emdirerek nitrür oluşturmadan ileri gelmektedir.

Alaşımsız çeliklerde ortaya çıkan iri demir nitrürler (Fe_4N,Fe_2N) yüzey tabakasında çatlamalara neden olur. Bu yüzden nitrürleme yapılacak çeliklerin bazı alaşım elementlerini içermesi gerekir. Azota karşı afinitesi yüksek olan AL, Cr ve Ti gibi elementler azot ile birleşerek ince ve homojen dağılmış sertlik meydana getirirler.

Gazlı nitrürleme 510-550^oC'de amonyak akımı içinde yapılır. ($2NH3 \rightarrow 3H2+2N$) denklemine göre ayrışan azot yüzeyden içeri yayınır. 5mm için 50h işlem devam ettirilir. Öncesinde ıslah etme yapılıp göbek tokluğu arttırılır ve difüzyon kolaylaştırılır. Ancak işlem uzun sürdüğü için aşırı temperleme etkisi yapar.

Tuz banyosunda nitrürleme siyanür (CN) ile 570^oC'de yapılır. Azotla beraber C da yayınır. Isınma hızlı olduğu için işlem daha kısadır, aşırı temperleme olmaz. Yüksek hız çeliğinden üretilmiş takımlar nitrürleme ile yüzey kısmının yüksek sıcaklıktaki işletme koşullarına dayanması ve uzun bir ömür sağlaması amaçlanır.

Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

Nitrürleme ve Sementasyon Karşılaştırıldığında…

- Nitrürleme ile elde edilen yüzey sertliği daha fazla.
- Nitrürleme ile daha ince tabaka sertliği sağlanabilir.
- Aşınmaya karşı direnç nitrürlenmiş parçada daha yüksektir.
- Yüksek yüzey basınçlarında sementasyon daha iyi.
- Nitrürlemede su verme olmadığından çarpılma riski yok.
- Nitrürlemede yüzeyin ısıl kararlığı çok yüksek.
- Korozyon dayanımı da yüksek.
- Nitrürlemede, darbeli zorlamalarda ince ve gevrek yüzey tabakası çatlayıp kırılabilir.

Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

Demir Esaslı Malzemelerin Standart Gösterilişi

Standartlar	Örnek
TSE Türk Standartları Ensitütüsü	1.4301 / X5CrNi1810
ASTM American Society for Testing and Materials	S30400
SAE – AISI (Society of Automotive Engineers-American Iron and Steel Institute)	304
DIN = EURONORM (EN) Deutsches Institut für Normung	1.4301 / X5CrNi1810
BSI British Standards Institution	304 S 17
AFNOR Association française de Normalisation	Z 6 CN 18-09
JIS Japanese Industrial Standards	SUS 304

Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

Çeliklerin terminolojisi, sınıflandırılması ve dizaynı

• EURONORM'a göre çelik, ısıl işlem için uygun ve maksimum kütle % 2 karbon içeren (zengin oranda Cr içeren birkaç tip hariç) tüm demir esaslı malzemelerdir.

Alaşımsız (yalın karbonlu) ve alaşımlı çelikler, malzemenin kimyasal kompozisyonuna bağlı olarak, kullanım özelliklerine göre temel, kaliteli/özel (asil/asal) ve paslanmaz çelikler şeklinde alt sınıflara ayrılmaktadır.

• DIN EN 10027 normunda kullanılan çelik kısaltmaları için esas alınan, bu çeliklerin kimyasal formülasyonlarıdır. İfadenin önünde yeralan rakamlar ortalama karbon miktarının 100 katını göstermektedir. Bu sayıyı takiben ilave edilen alaşım elementlerinin kısaltmaları gelir. Alaşım elementi simgelerinin ardından gelen rakamlar ise aşağıdaki açıklamalara göre alaşım elementleri miktarının belirli sayılarla çarpımını gösterir:

Co, Cr, Mn, Ni, Si ve W = x 4

Al, Cu, Mo, Ti, V, Nb, Ta, Be, Pb ve Zr = x 10

N, P, S ve C = x 100

B = x 1000

İçerik olarak Al < % 0,1, Mn < % 1, Si < % 0,5 ve Ti < % 0,15 ise malzeme alaşımsız çeliktir. Düşük alaşımlı çelikler genel olarak toplamda %5'den fazla alaşım elementi içeriğine sahip değildir.

Yüksek alaşımlı çeliklerin alaşım elementi miktarı daima %5'ten fazladır. %5'ten fazla bir alaşım elementi bulunan çelikte yukarıdaki katsayı çarpanları kullanılmaz ve karbon içeriğini gösteren ilk sayıdan önce "X" harfi yeralır.

Örnek 1: Ck 60 (EN 10083-1; DIN 1652-4)

Alaşımsız çelik işareti

Düşük P ve S içerikli paslanmaz çelik

% karbon x 100

%0,6 karbonlu alaşımsız bir asil çelik.

Örnek 2: 50CrV4 (DIN 17221)

% karbon x 100

Alaşım elementleri

% alaşım elementi x faktör

%0,5 karbon, %1 krom ve <%0,2 vanadyum içeren alaşımsız ısıl işlemlik bir çelik.

Örnek 3: 40CrMnMoS8-6 (DIN 17350)

% karbon x 100

Alaşım elementleri

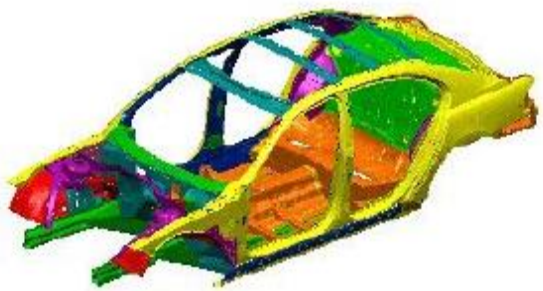
% alaşım elementi x faktör

%0,4 karbon, %2 krom ve %1,5 mangan ilave olarak <%0,2 molibden ve kükürt içeren bir takım çeliği.

Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

Gövdede Kullanılan Diğer Malzemeler

Steel unibody (BMW 7-series)

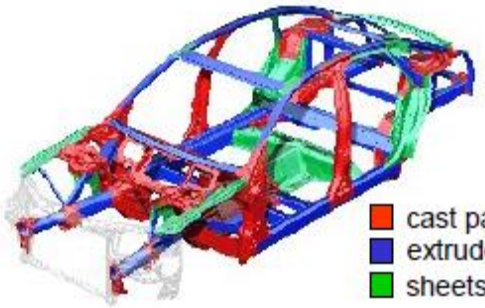


- DC06 (120 Mpa)
- DC04140
- ZStE180
- ZStE220
- ZStE260
- ZStE300
- ZStE380
- ZStE420
- CP800

Multi-Material-Design (Aston Martin V12 Vanquish)

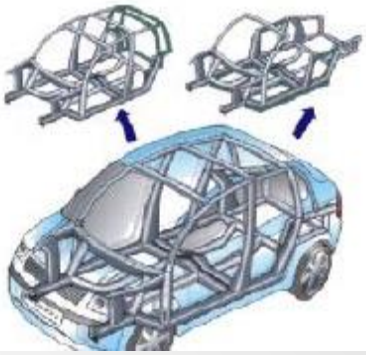
- outer skin: hot worked aluminium sheet
- body platform: bonded aluminium sections
- centre tunnel, A-pillar: carbon fibre reinforced plastic
- side sections, luggage compartment floor, crash structures: fibreglass reinforced plastic

Aluminium-Space-Frame (Audi A8)



- cast parts
- extruded profiles
- sheets

Steel-Space-Frame (TKS)



Magnesium-Space-Frame (VW)

Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

Sade Karbonlu Çelikler

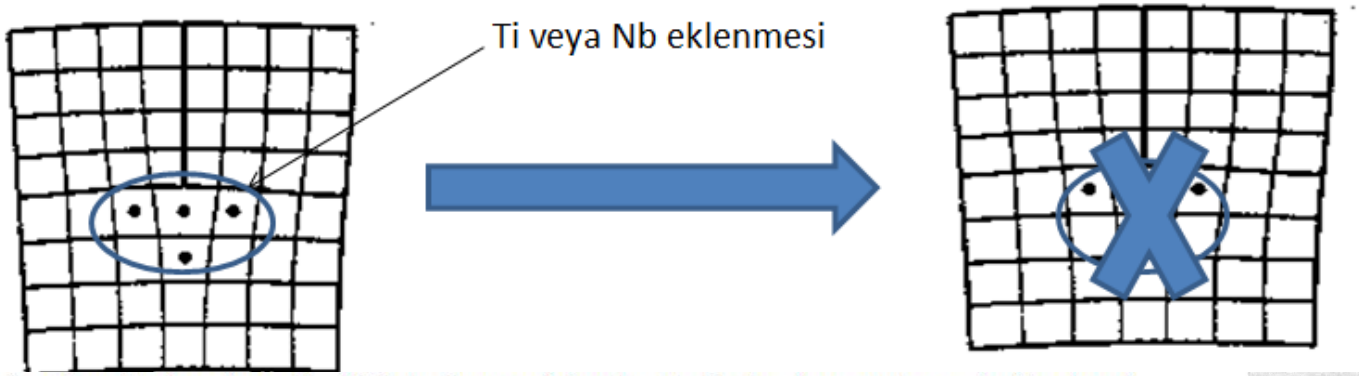
Yumuşak çelikler (Mild Steel): Çoğunlukla ferritik yapıya sahip olup düşük karbon ve alaşım elementi ihtiva ederler. Yumuşak ve kolay şekil alabilen malzemelerdir. Ucuzdurlar ve geniş kullanım alanına sahiptirler. Mukavemet değerleri oldukça düşüktür.

Arayer Atomsuz Çelikler (IF Steel): Çok düşük karbon oranına ve nitrojen oranına sahip olduklarından arayer atomlarının oluşturduğu Cottrel atmosferi meydana gelmez. Bu, çeliğe yaşlanmama ve üstün şekillendirilebilirlik özelliği kazandırmaktadır. Çok yüksek sünekliğe sahiptirler ve derin çekme malzemesi olarak idealdirler. Mukavemetleri düşüktür.

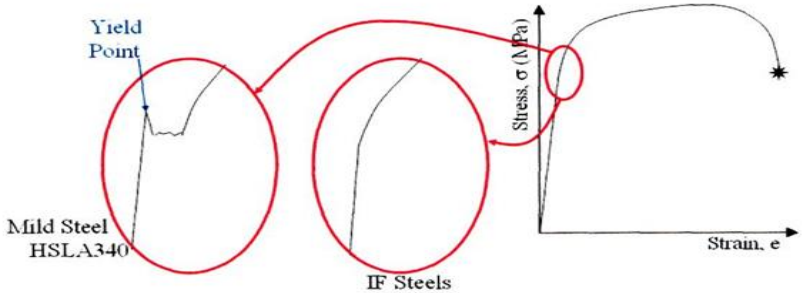
Fırında Sertleşebilen Çelikler (BH Steel): Basit bir ferritik yapıya olmalarına rağmen katı çözelti sertleşmesi ile yüksek bir mukavemete sahip olurlar. Üretiminde özel bazı teknikler kullanılarak katı halde karbonun dislokasyon hareketini engellemesi sağlanır. Böylece akma gerilmesi artar.

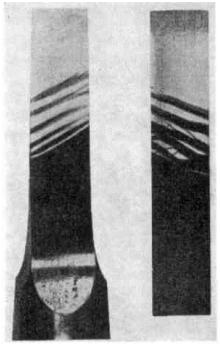
IF Çelikleri

- Bu çeliklerde C, N gibi arayer atomları çözelti içerisinden uzaklaştırılmıştır



- C ve N atomları çözeltide bulunmadığından belirgin akma ve buna bağlı olarak Lüders-Hardman bantları görülmez.





- Bu, çeliğe yaşlanmama ve üstün şekillendirilebilirlik özelliği kazandırmaktadır.

Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

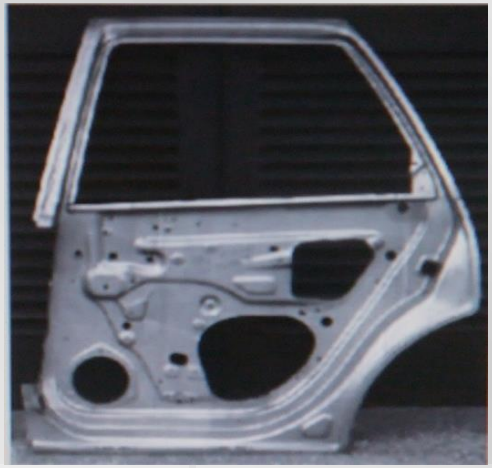
IF Çelikleri

Düşük akma ve çekme dayanımları ve yüksek r değerleri ile ekstra derin çekilebilme özelliği göstermekte ve çok karmaşık parçaların kolaylıkla üretilebilmesine olanak sağlamaktadırlar.

IF çeliklerinin üretimi, günümüzde sadece soğuk ve sıcak saclar için değil aynı zamanda çinko kaplı çelik saclar, yüksek dayanımlı çelik saclar vb. değişik uygulamalarla artmakta ve yüksek dayanımlı IF, paslanmaz IF şeklinde yeni tipleri oluşturularak dayanımları artırabilmektedir. IF çeliğinin yüksek r değeri ve mükemmel derin çekilebilirliğinden ötürü IF çelikleri otomotivde ön ve arka kapı iç paneli, arka taban paneli gibi parçalarda kullanılmaktadır.

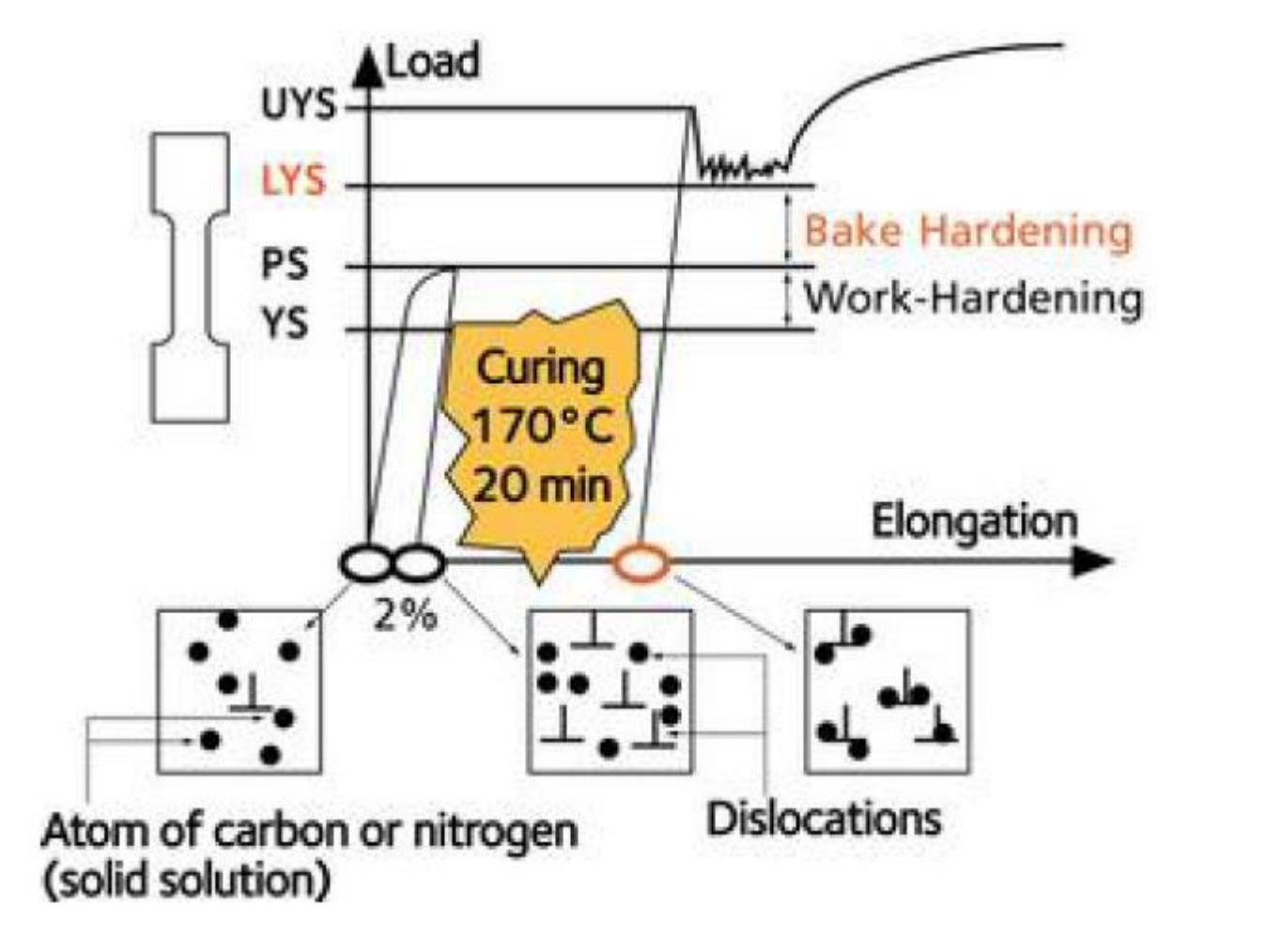
Çeşitleri

- Derin Çekme Kalite (DDQ) IF Çelikleri
- Ekstra derin çekilebilen (EDDQ) Çelikler



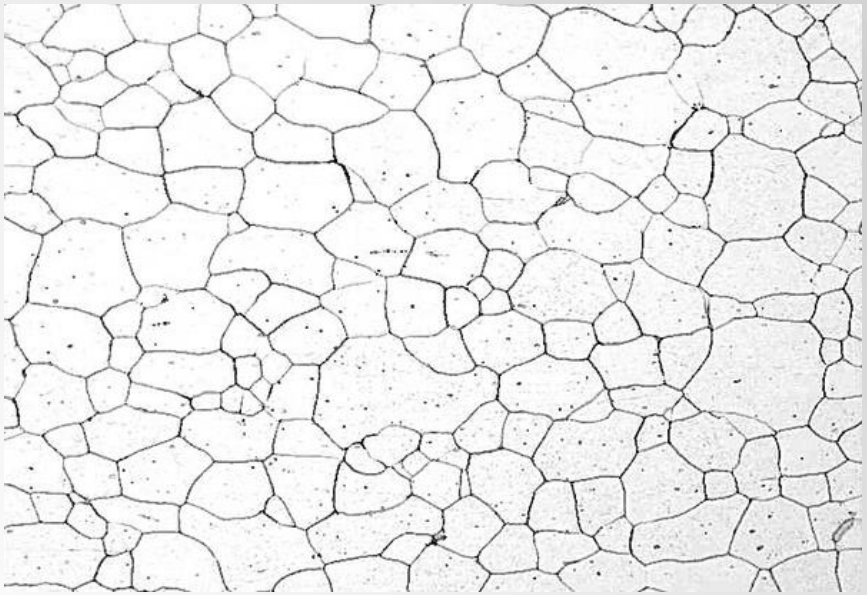
Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

BH Çelikleri



Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

BH Çelikleri



Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

Düşük Alaşımlı Çelikler

- Karbon hariç, alaşım elementleri toplamı %5 ten azdır
- Kare, dikdörtgen, veya yuvarlak çubuklar halinde bulunabilir.
- AISI 4140, 8620, 4340, 9260, vs.
- Yüksek dayanımlı düşük alaşımlı (HSLA) çelikler: C oranı % 0.1 den az ve alaşım %1 den azdır. Alaşım elementleri kuvvetli karbür yapıcı Ti, Nb vs. dir. Çok ince taneli yapısından dolayı dayanım ve süneklikler yüksektir.
- Saç ve levha şeklinde imal edilir ve otomotiv sektöründe yaygın kaporta malzemesidir.

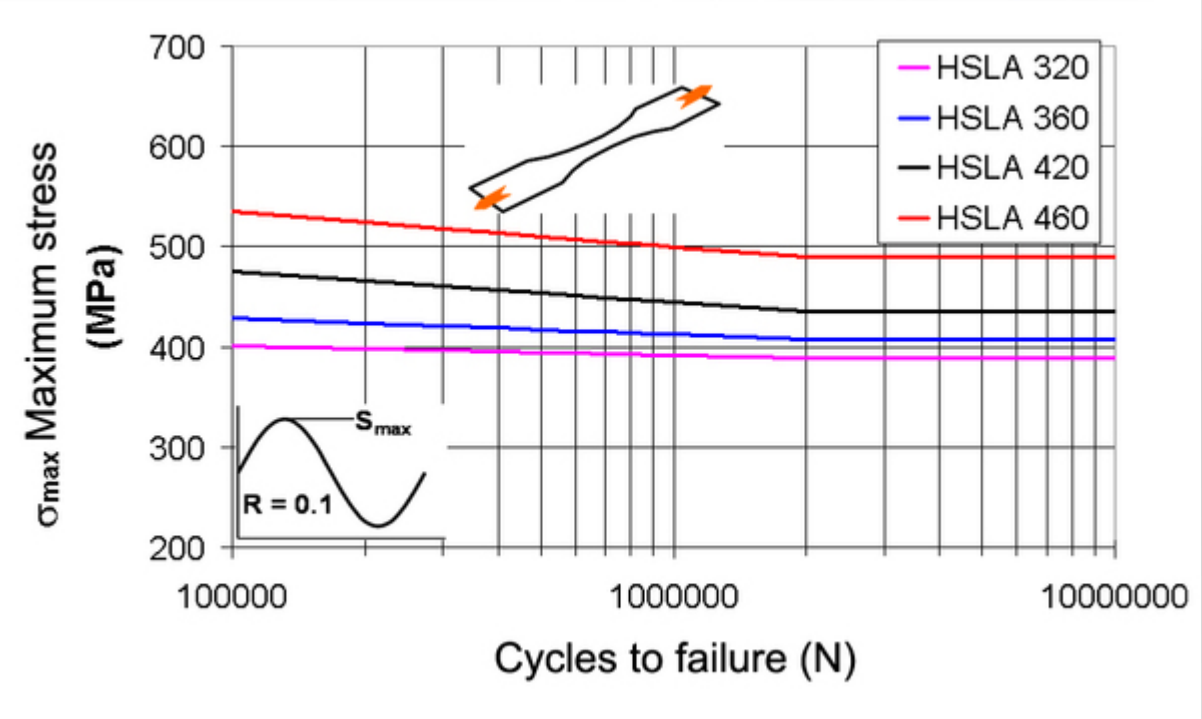
Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

HSLA Çelikleri

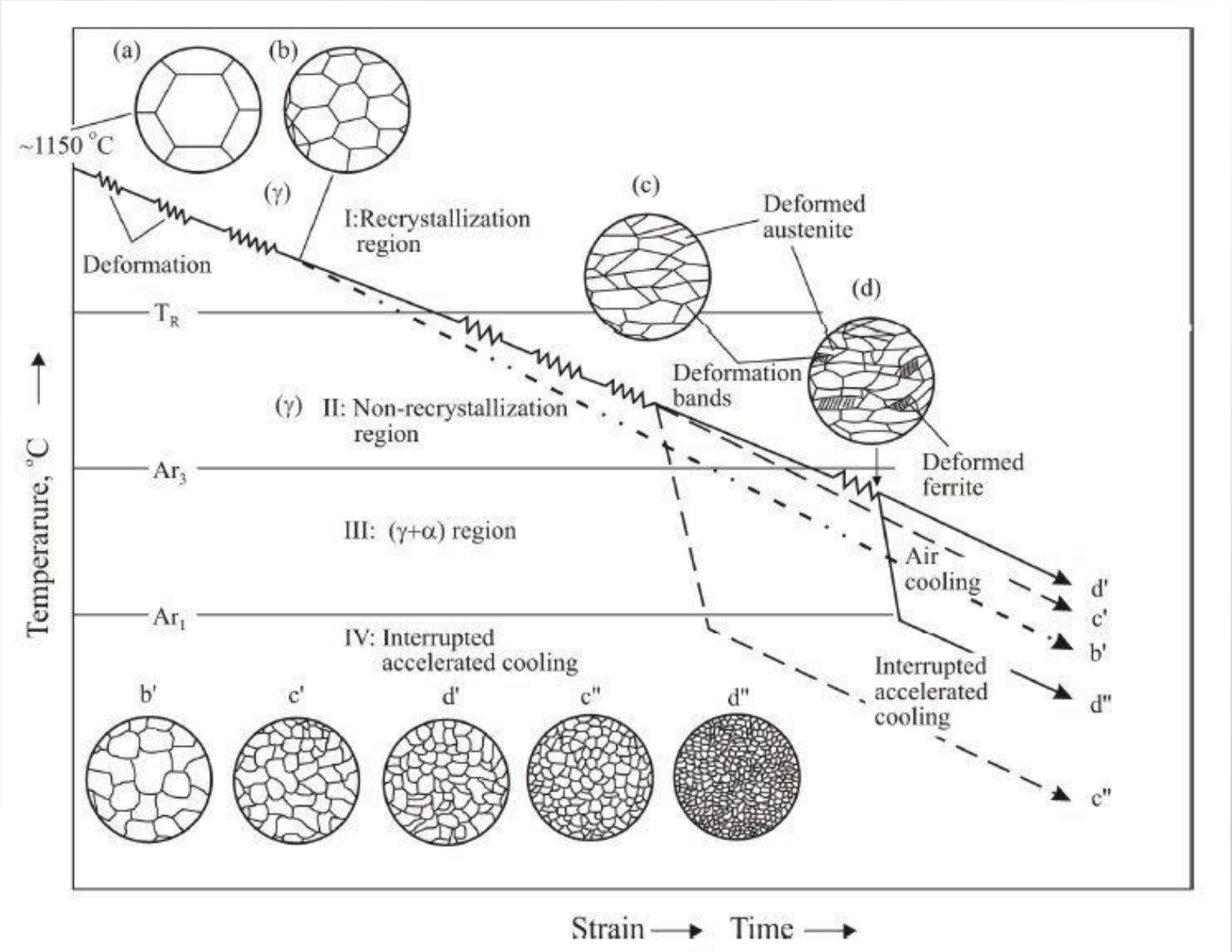
Mikro alaşımlı çeliklerin bir diğer adı HSLA çelikleridir. HSLA'nın açılımı High Strength Low Alloy (Yüksek Mukavemet Düşük Alaşım)'dır. Düşük alaşım oranlarında yüksek mukavemet elde edilir. Bunu da alaşım atomlarının sebep olduğu sertleştirme mekanizmaları sağlar.

Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

HSLA çelikleri geleneksel çeliklerden daha iyi mekanik özellikler veya korozyona karşı daha dirençli olabilmeleri için tasarlanmışlardır. Genel anlamda alaşımlı çelik sayılmazlar. Çünkü kimyasal kompozisyondan ziyade spesifik mekanizmalara dayalı bir tasarım içermektedirler. HSLA çelikleri 275 MPa'dan fazla bir akma mukavemetine sahiptirler. Kimyasal kompozisyonları ürün kalınlığına bağlı istenen özelliklere göre değişkendir. HSLA çelikleri, yeterli şekillendirebilirlik ve kaynaklanabilirlik elde etmek için düşük karbon oranlarına sahiptir (% 0.10 ile 0.50 arasında). Ayrıca % 2 kadar Mangan içerebilmektedirler.

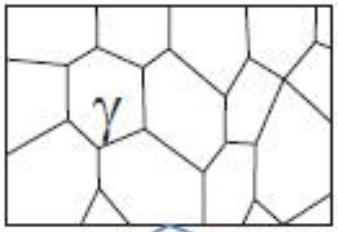


Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN



Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

HSLA Çelikleri

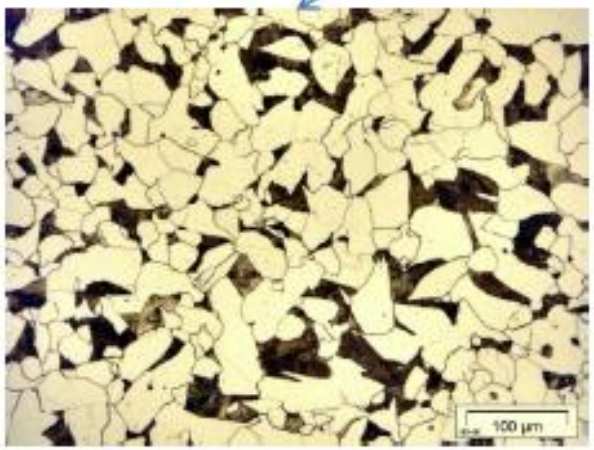


Yavaş soğuma

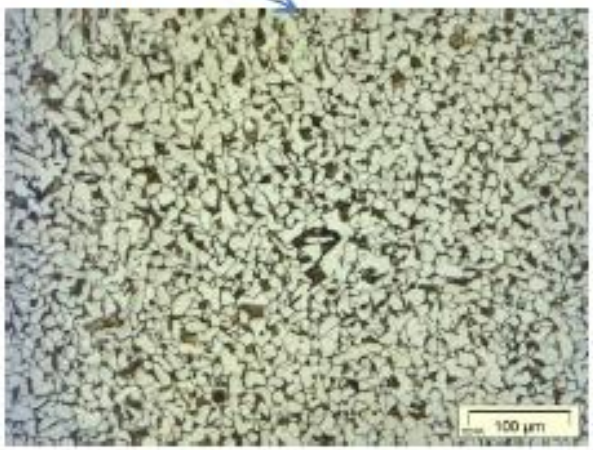
Hızlı soğuma

Yüksek dönüşüm sıcaklığı

Düşük dönüşüm sıcaklığı



Kaba taneli yapı



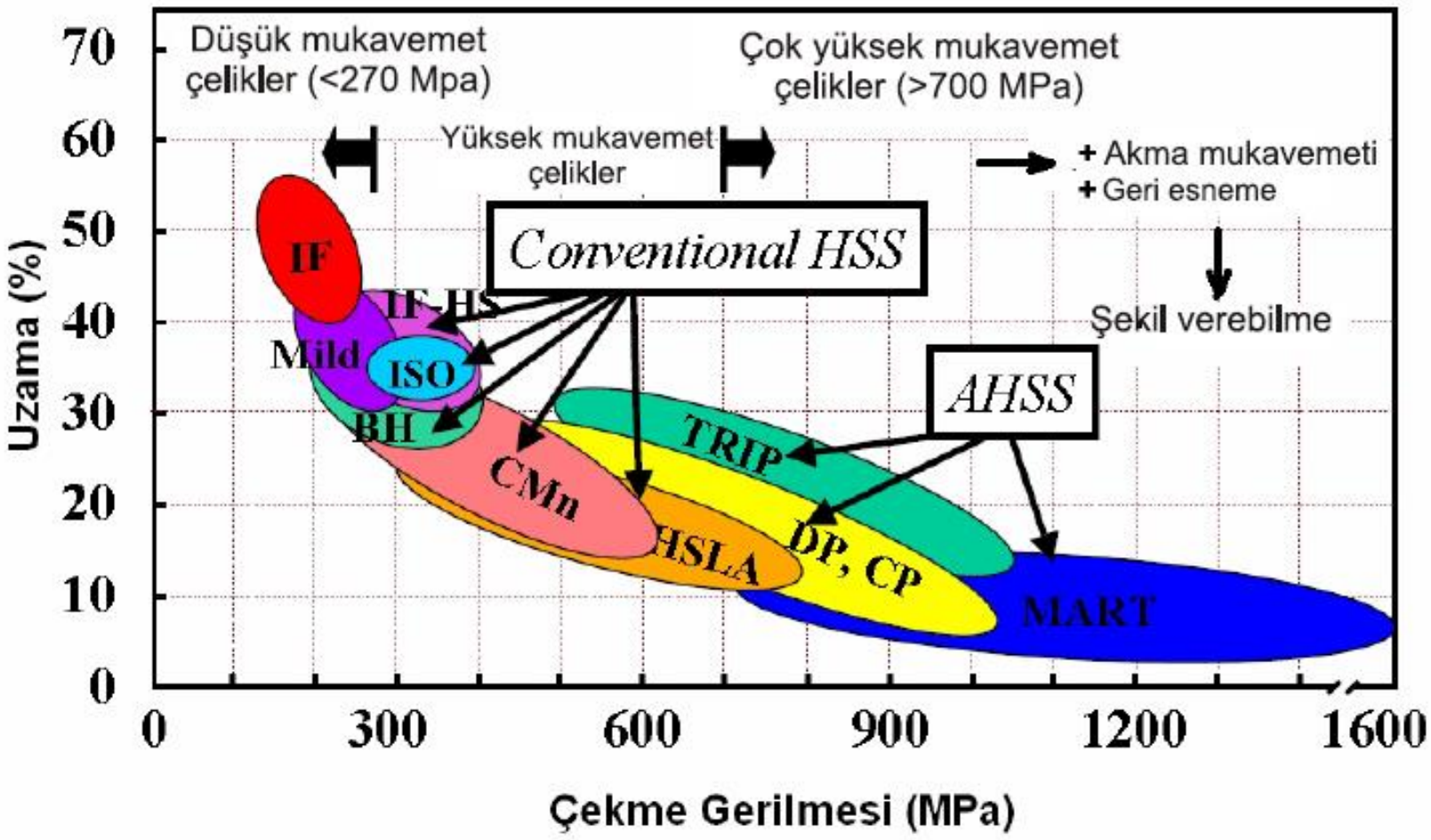
İnce taneli yapı

Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

HSLA Çelikleri

Mikro alaşımlanmış ve soğuk haddelenmiş çelikler olup yüksek mukavemet niyobyum ve titanyum gibi metallerin mikro alaşımlanması ile elde edilmektedir. Bu tarz çeliklerde akma dayanımı ile çekme dayanımı arasında çok az bir fark olup bükme ve presleme karakteristikleri akma noktalarına bağlı olarak çok iyidir. Bunlarla birlikte kaynak edilebilirlilikleri çok iyidir. Bu tarz malzemelerin kalitesi minimum akma mukavemeti üzerinden tanımlanmaktadır.

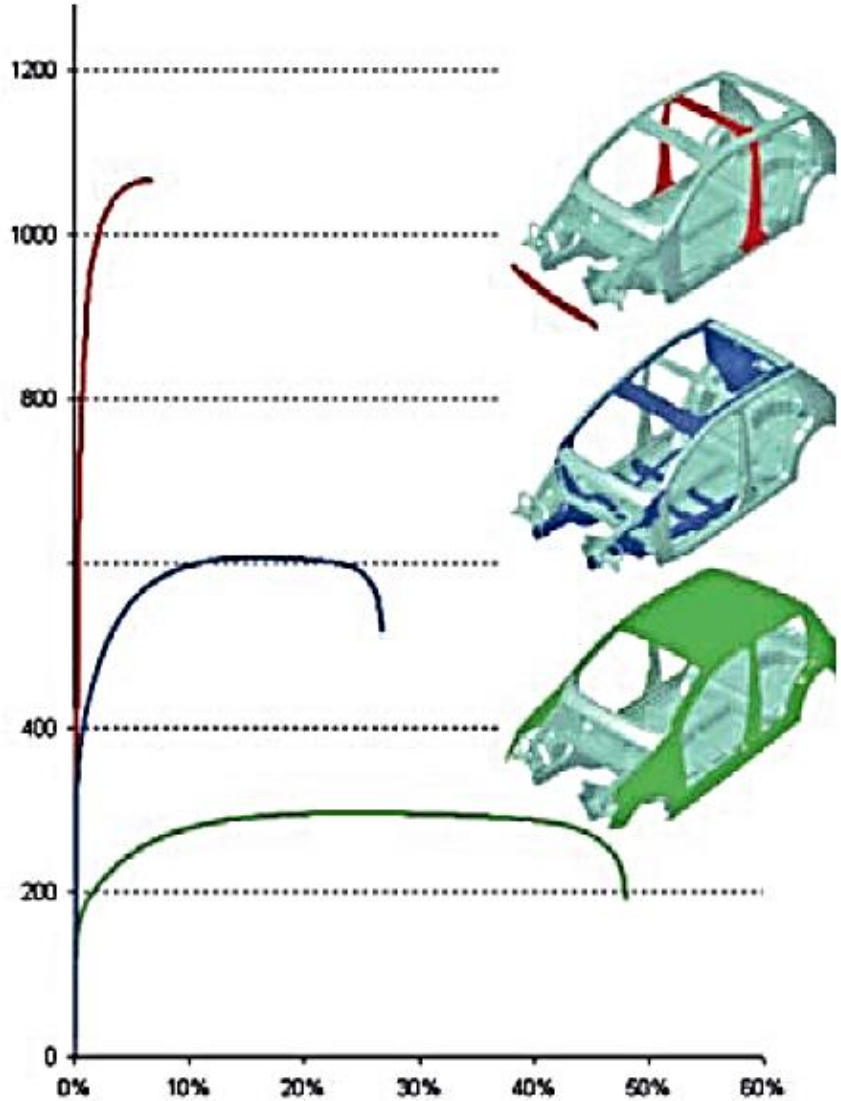
Yeni Nesil Çelikleri



Şekil 7. Çeliklerin Mukavemet Özelliğine Göre Uzama Miktarındaki Değişimi [13]

Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

Çeliklerin Kullanım Yerinin Tespiti



> Steels for safety-critical parts, especially for maintaining a passenger survival space in crash events

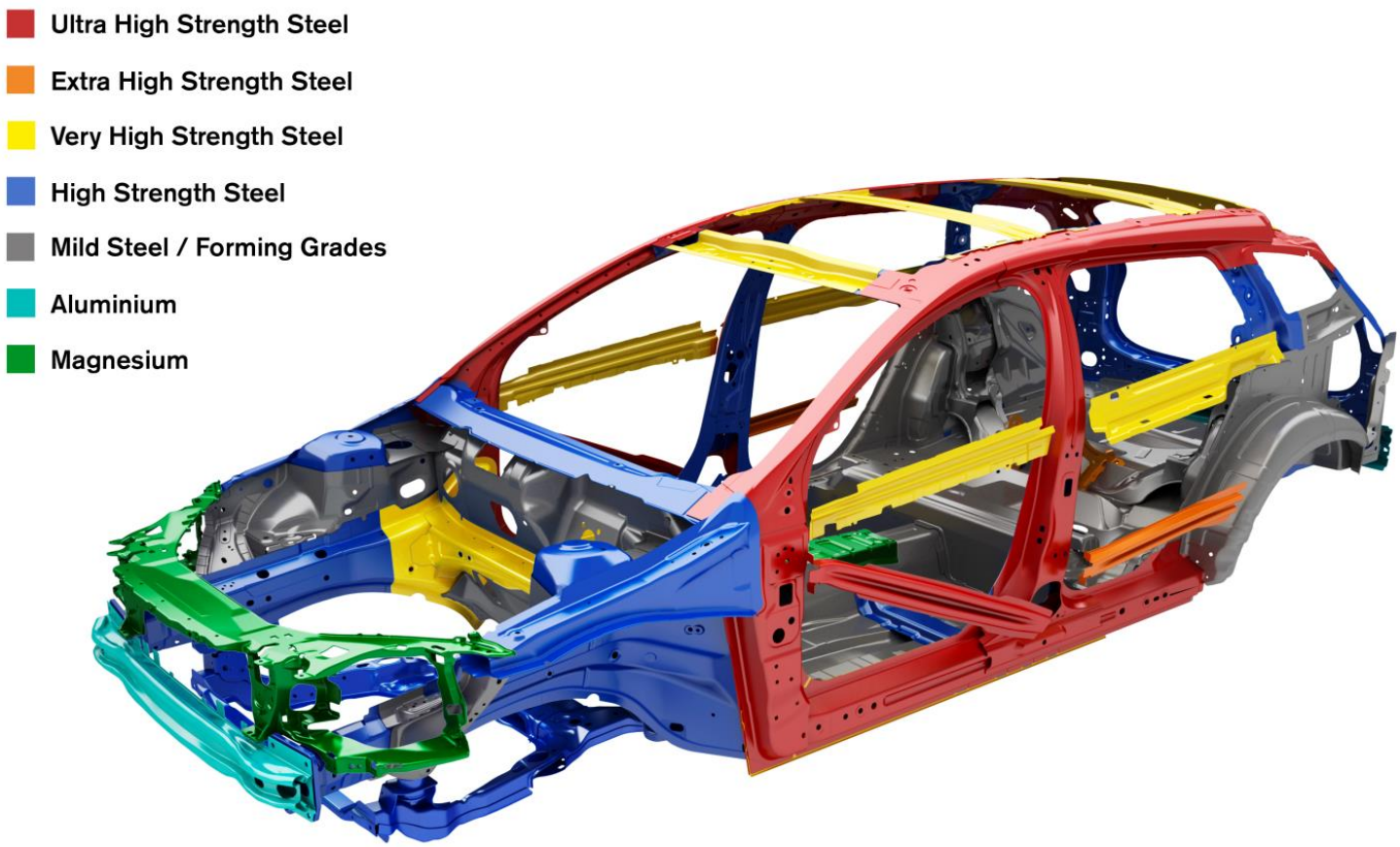
> High-strength steels with a good balance of strength, formability, energy absorption and durability

> Steels with excellent formability (eg. for deep drawing)

Figure 8.2: Stress (in MPa) vs. percent elongation for different steel types and their applications in body structure [Adapted from 19]

Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

Otomotivde Malzeme Dağılımı



Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

AHSS Çelikleri

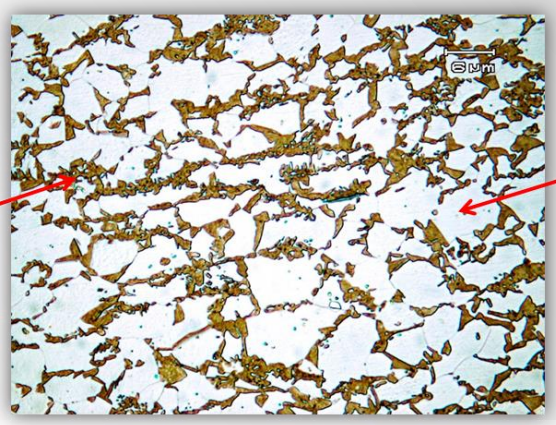
AHSS'ler yani geliştirilmiş yüksek mukavemetli çelikler çok yüksek mukavemet, deformasyon sırasında mükemmel enerji absorbsiyonu ve gerinim sertleştirmesi özellikleri sebebiyle tercih edilirler.

Dual Faz (DP) çelikleri
Komplex Fazlı (CP) çelikler
Martenzitik (MS) çelikler
TRIP çelikleri
TWIP çelikleri

Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

Dual Fazlı (DP) Çelikleri

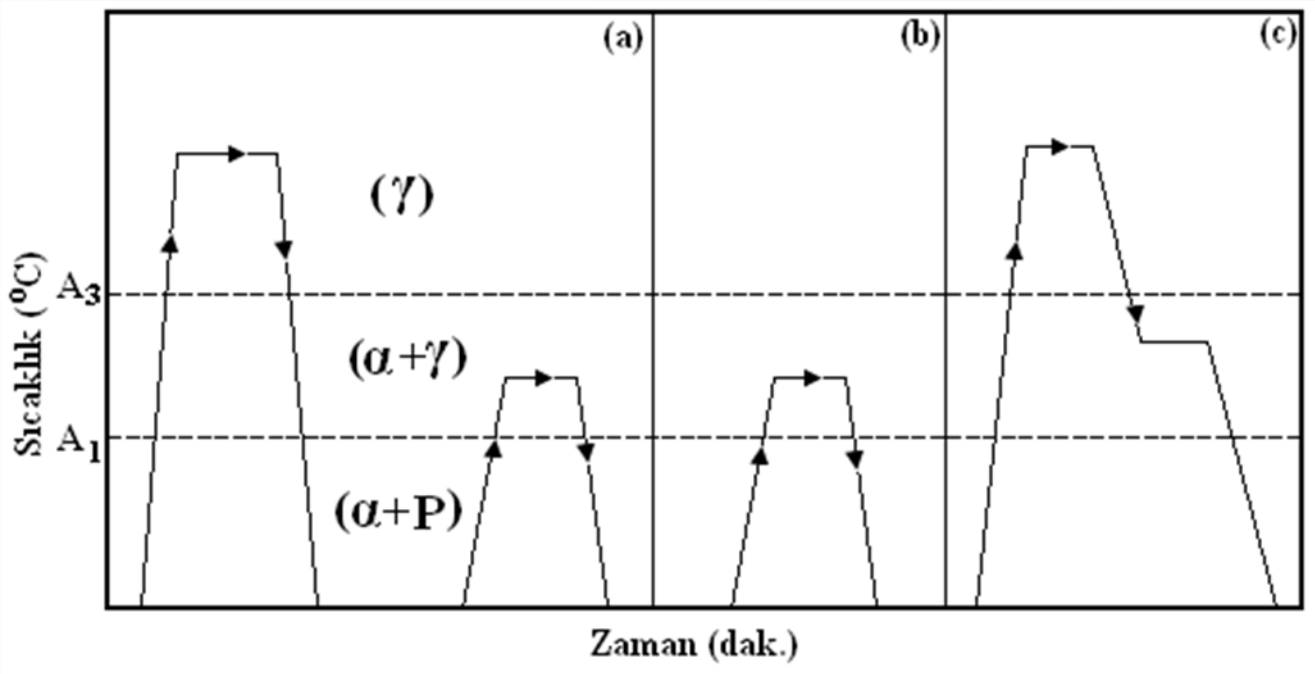
- Çift fazlı çelik kavramı, 1937 yılında Grabe'in, yeni bir yatak malzemesinin üretimi için % 0,25 karbonlu bir çeliği kritik sıcaklıklar arasındaki bölgeden soğutması sonucunda çift fazlı yapıyı elde etmesi ve patent almasıyla tanınmıştır.
- 1970'lere kadar çok az sayıda araştırmacının ilgisini çeken 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.



Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

DP Çeliklerinin Üretimi

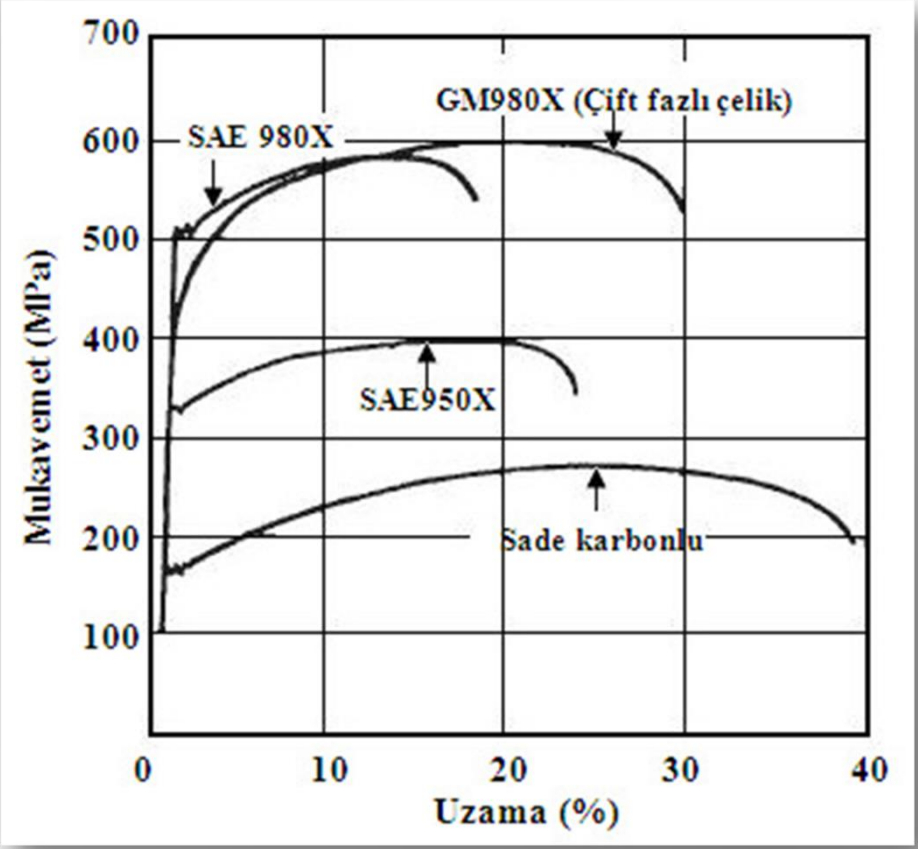
- Çift fazlı çelik yapısı esas olarak, söz konusu çeliklerin Fe-Fe3C faz diyagramında A1-A3 sıcaklık aralığında (ferrit-ostenit bölgesinden) herhangi bir sıcaklığa kadar ısıtılıp, bir süre tutulup ostenitin martensite dönüşebileceği hızlarda soğutulmasıyla üretilirler.



Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

DP Çeliklerinin Mekanik Özellikleri

- Çift fazlı çeliklerin dayanımı büyük ölçüde yapıdaki martensit hacim oranına (MHO) bağlıdır. MHO arttıkça malzemenin akma ve çekme mukavemetleri artarken, toplam uzaması azalmaktadır.
- Ayrıca yapıdaki martensitin düzgün dağılımı da malzeme özelliklerini iyileştirmektedir.
- Çift fazlı çeliklerde oluşan en bilindik hata ise, ferritin martensit tane sınırlarından ayrılırken oluşturduğu boşluklardır. Bu durum malzemede kırılmalara yol açabilmektedir.



Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

DP Çeliklerinin Kullanım Alanları

Ürün	Açıklama
Tekerlek diskleri ve jantları	Yolcu arabaları ve hafif kamyon tekerlekleri için
Tampon takviyeleri, yüzey çubukları	-
Kriko destekleri	
Su pompası makaraları	
Tekerlek diskleri	Takımlar şerit ölçüsüne adaptelidir
Fren levhası desteği (Girling)	
Kapı panelleri, bagaj kapakları	Hi-Form 80 çift faz çeliği iyi şekil verilebilirlik göstermiştir ve daha çok alüminyum gövde sacı gibi davranmıştır
Merkez direkleri, Rüzgarlık çerçeveleri	
Tekerlek aparatları	-
Tampon yüzey çubukları, tampon	2,2 mm'lik çift faz çeliği 2,8 mm'lik YMDA çeliğiyle yer değiştirmektedir.
Arka süspansiyon, tekerlek aparatları	
Alternatör fan pervaneleri, direksiyon	Daha iyi yorulma özellikleri
Mil takviyeleri	-

Ref: Doç. Dr. F

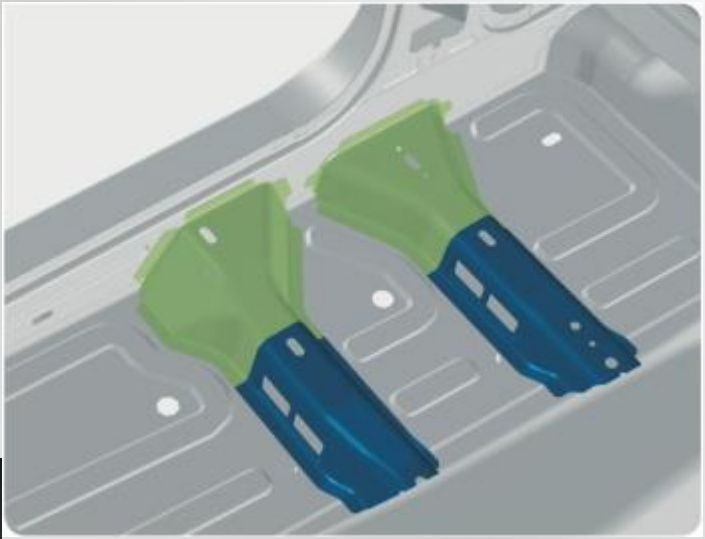
DP Çeliklerinin Kullanım Alanları

Stilli tekerlek diskleri	Lider Avrupa araba imalatçıları tarafından kullanılan
Kapı ve kaput panelleri, çamurluklar	Fosfatlamaya tepkisi AK çeliklerle olduğu kadar iyidir
Tampon durdurma, yan kapı darbe çubukları, çerçeve bölümleri	500-700 MPa (Çekme Muk.)
Dış ve iç paneller, kapı, kiriş ve tampon takviyeleri	-
Dış oto gövdesi panelleri	Kutu tavlanmış ürün
Araba, kamyon, otobüs, çiftlik ekipmanı	USS DP80
Ağır konstrüksiyon üniteleri	-
Endsütriyel kullanım ünitelerindeki parçalar	-

Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

Kompleks Fazlı (CP) Çelikler

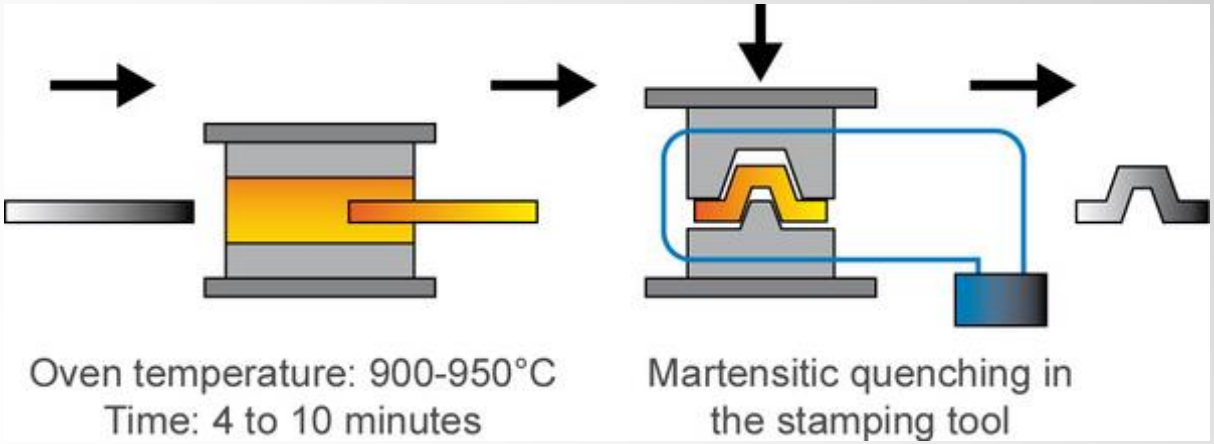
Kompleks fazlı çelikler yüksek çekme dayanımlarına ulaşan çelik türleridir . CP çelikleri çok ince mikroyapıdaki ferrit ve yüksek hacim oranlarındaki ince sert çökeltilerden oluşur. Beynit, kalıntı ostenit, perlit ve martenzitten oluşur. DP ve TRIP çeliklerinde de bulunan benzer alaşım elementleri kullanılır fakat çoğunlukla az miktarlarda niyobyum, titanyum ve vanadyum içerirler. CP çelikleri 800 MPa ve üzeri eşdeğer çekme dayanımlarında yüksek akma dayanımı gösterirler. Yüksek enerji abzorbe edebilirler.



Ref: Doç. Dr. R

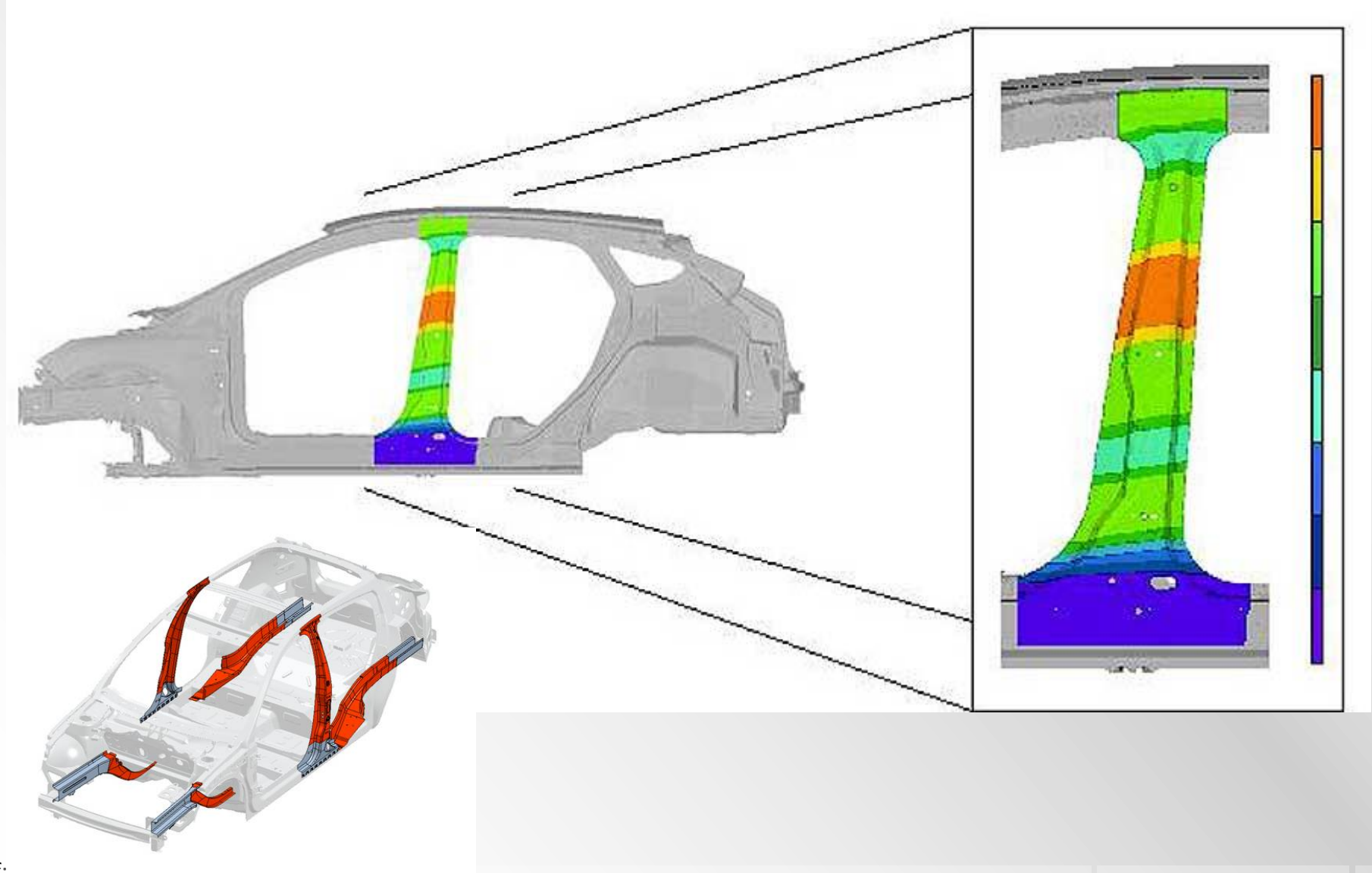
Martenzitik (MART) Çelikler

Martenzitik çelik elde etmek için, sıcak haddeleme ya da tavlama sırasında oluşan östenit, soğutma işlemi esnasında tamamıyla martenzite dönüştürülür. Yapı ayrıca, şekillendirme işlemi sonrasında uygulanan ısıl işlemle de elde edilebilir. Martenzitik çelikler 1700 MPa'a kadar çok yüksek çekme dayanımlarına çıkabilirler. Martenzitik çelikler çoğunlukla sünekliğin arttırılması için su verme sonrası temper işlemine tabi tutulurlar.



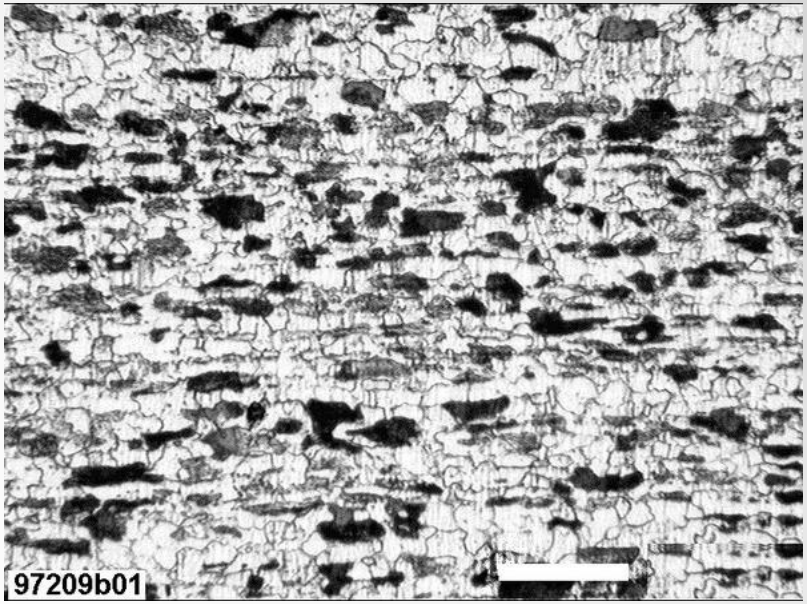
Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

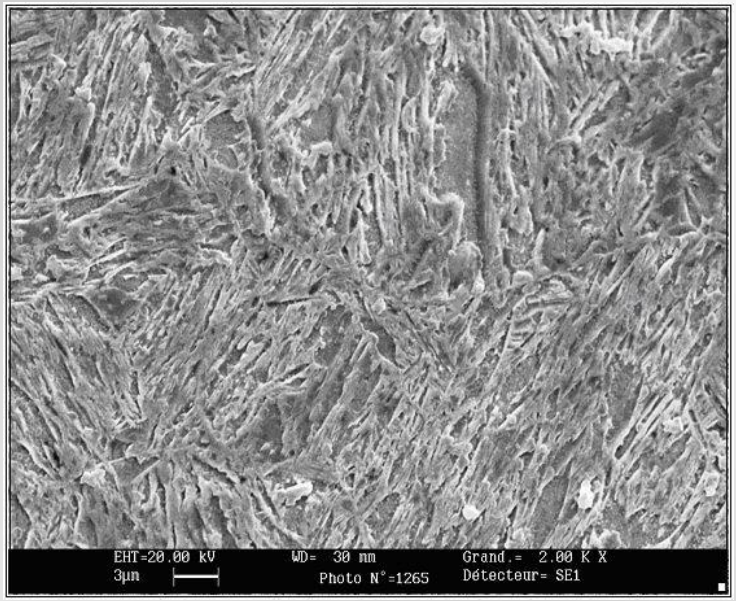
Martenzitik (MART) Çelikler



Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

USIBOR 1500



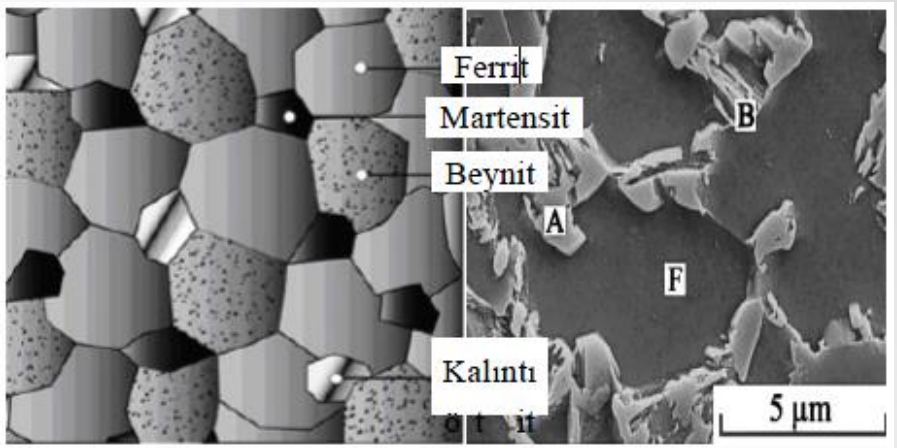


Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

TRIP Çelikleri

- TRIP (Transformation Induced Plasticity) çelikleri ilk olarak bulan Zackay ve arkadaşları olmuştur.

- Adından da anlaşılacağı gibi TRIP çeliklerin en büyük avantajı şekillendirme esnasında yapısında oluşan dönüşümdür. Şekillendirmeden önce yapıdaki kalıntı östenit şekillendirme kabiliyetini artırır ve şekillendirme esnasında martensite dönüşerek malzemeye son halinde mukavemet kazandırır.

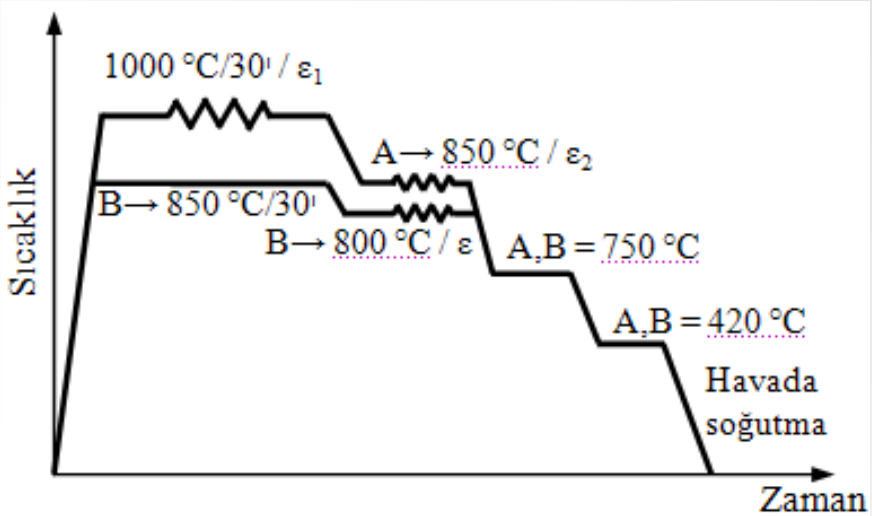


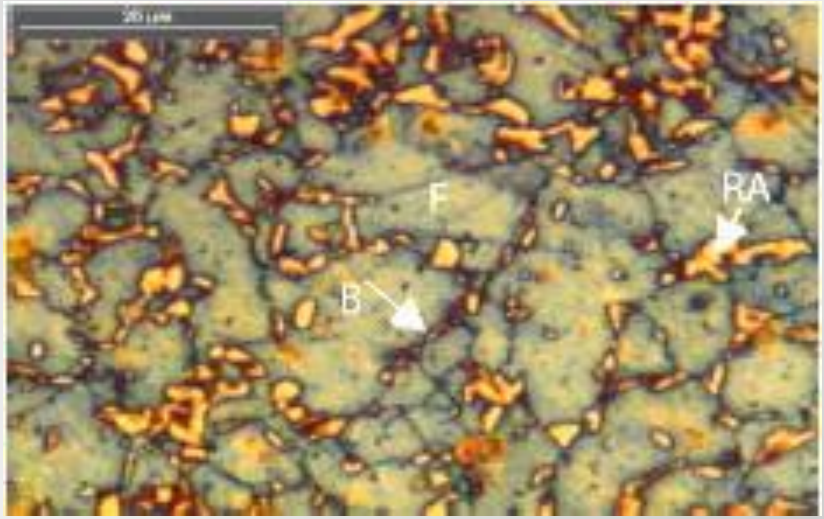
- Yapıda ferrit, beynit ve martensit fazları ile birlikte kalıntı östenit fazı bulunmaktadır. Bu kalıntı faz şekillendirme esnasında martensite dönüşerek malzemenin sertliğini artırmaktadır.

Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

TRIP Çeliklerinin Üretimi

- TRİP işlemi, malzemeye uygulanan deformasyon sonucu, östenitin martensite dönüşümü sırasında deformasyon sertleşme katsayısının artmasıyla, homojen deformasyon bölgesinin genişletilmesidir. Çeliklerde östenit mukavemetle birlikte özellikle süneklik sağlar.
- Uygulanan termo-mekanik işlemlere ait sıcaklık-zaman ilişkisine bağlı olarak farklı mikro yapılar meydana gelmektedir. Deformasyon şartlarının değişmesi ile farklı hacim oranı, dağılım, boyut ve morfolojide ferrit ve beynitten oluşan kompleks yapılara sahip numuneler elde edilmektedir.

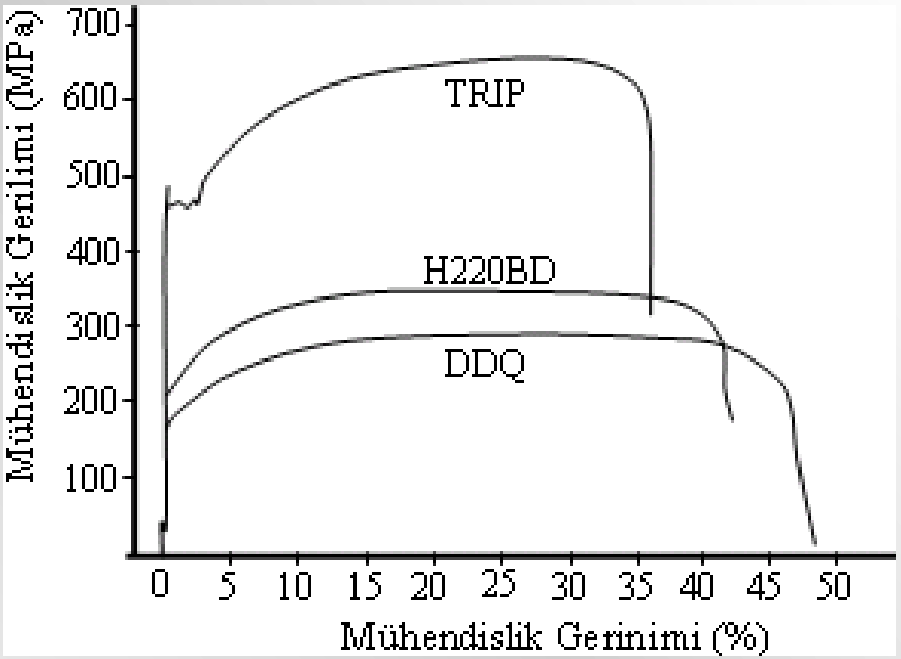


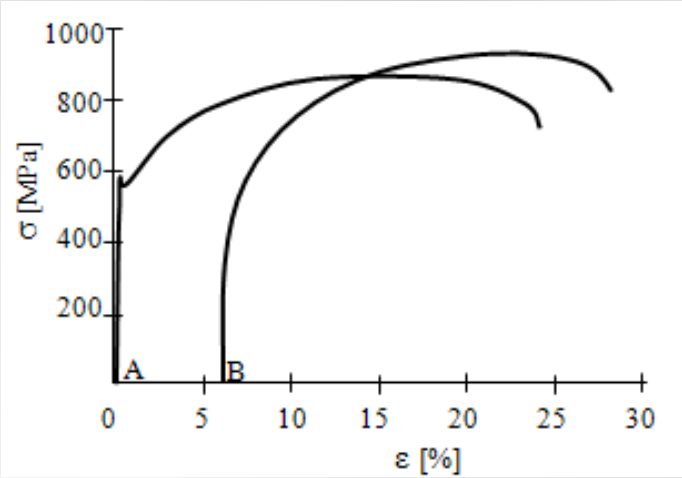


Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

TRIP Çelikleri Mekanik Özellikleri

- TRİP çeliklerinde mekanik özelliklerin malzemenin kimyasal bileşimine güçlü bir şekilde bağlı olduğu bilinen bir gerçektir. Fakat yapıda görülen fazlar ve hacim oranları da, örneğin kalıntı östenitin morfolojisi, tane boyutu ve karbon içeriği, mekanik özellikler üzerinde oldukça etkilidir. Ayrıca yapıda bulunan bu fazlar, deformasyon sırasında TRİP çeliğinin davranışını da belirlemektedir.
- Kalıntı östenit hacim oranı arttıkça çekme dayanımı, toplam uzama ve absorbe edilen enerji miktarı artarken, akma dayanımı azalmaktadır.
- TRİP çelikleri şekillendirme hızına duyarlı bir malzemedir. Artan şekillendirme hızının ve sıcaklığın martensitik dönüşümü sınırlandırdığını belirlenmiştir.





Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

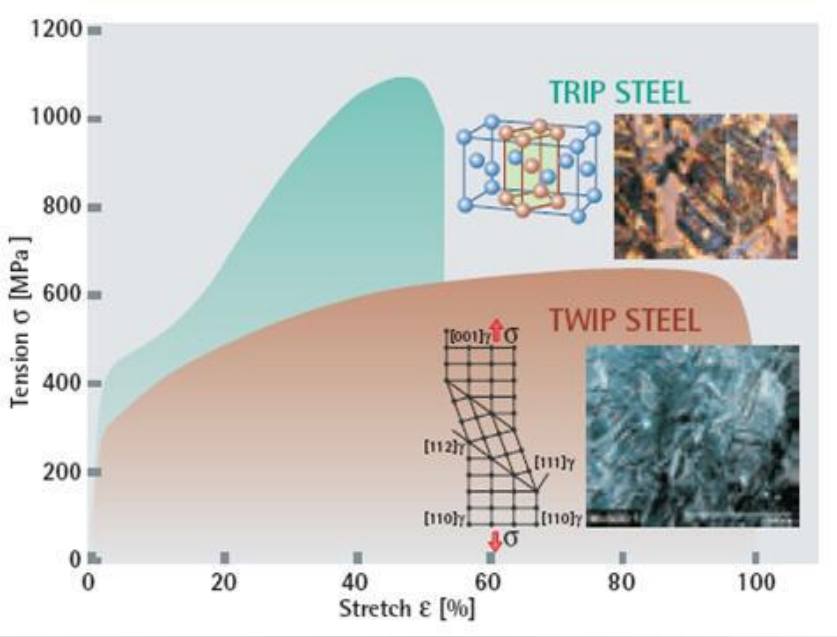
TRIP Çelikleri Kullanım Alanları

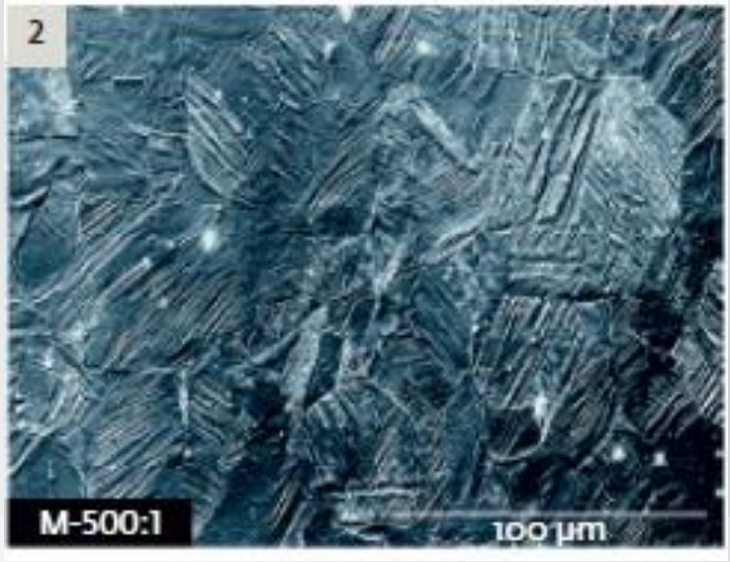
TRİP etkisinin bulunmasıyla yüksek dayanım ve sünekliğe sahip çelikler, boru hatlarından otomotiv sanayine kadar geniş üretim alanlarında ve ayrıca son yıllarda depreme dayanıklı çelik olarak da inşaat sektöründe kullanılmaya başlanmıştır

Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

TWIP Çelikleri

Yeni malzemelerin ortaya çıkarılması ya da kullanılan malzemelerin iyileştirilmesi; müşteri beklentisi (dizayn, performans, korozyon, düşük maliyetli kullanım, yakıt tasarrufu vb.) ve diğer gereklilikler (emisyon, çevresel düzenlemeler, kaza güvenliği, vb.) gibi iki faktörden çok etkilenir. Bu faktörler son yıllarda TWIP (Twinning induced plastisite) gibi çeliklerin geliştirilmesine yol açmıştır. Son yıllarda bu amaçlarla yapılan araştırmalarda yüksek mukavemetli ve mükemmel bir şekil alabilirliğe sahip yüksek manganlı (15-30 wt.%) östenitik çelikler geliştirilmiştir. Bunlar sahip oldukları mükemmel çekme mukavemeti-süneklik kombinasyonuyla çevre dostu ve daha güvenilir ürünleri mümkün kılmaktadırlar.





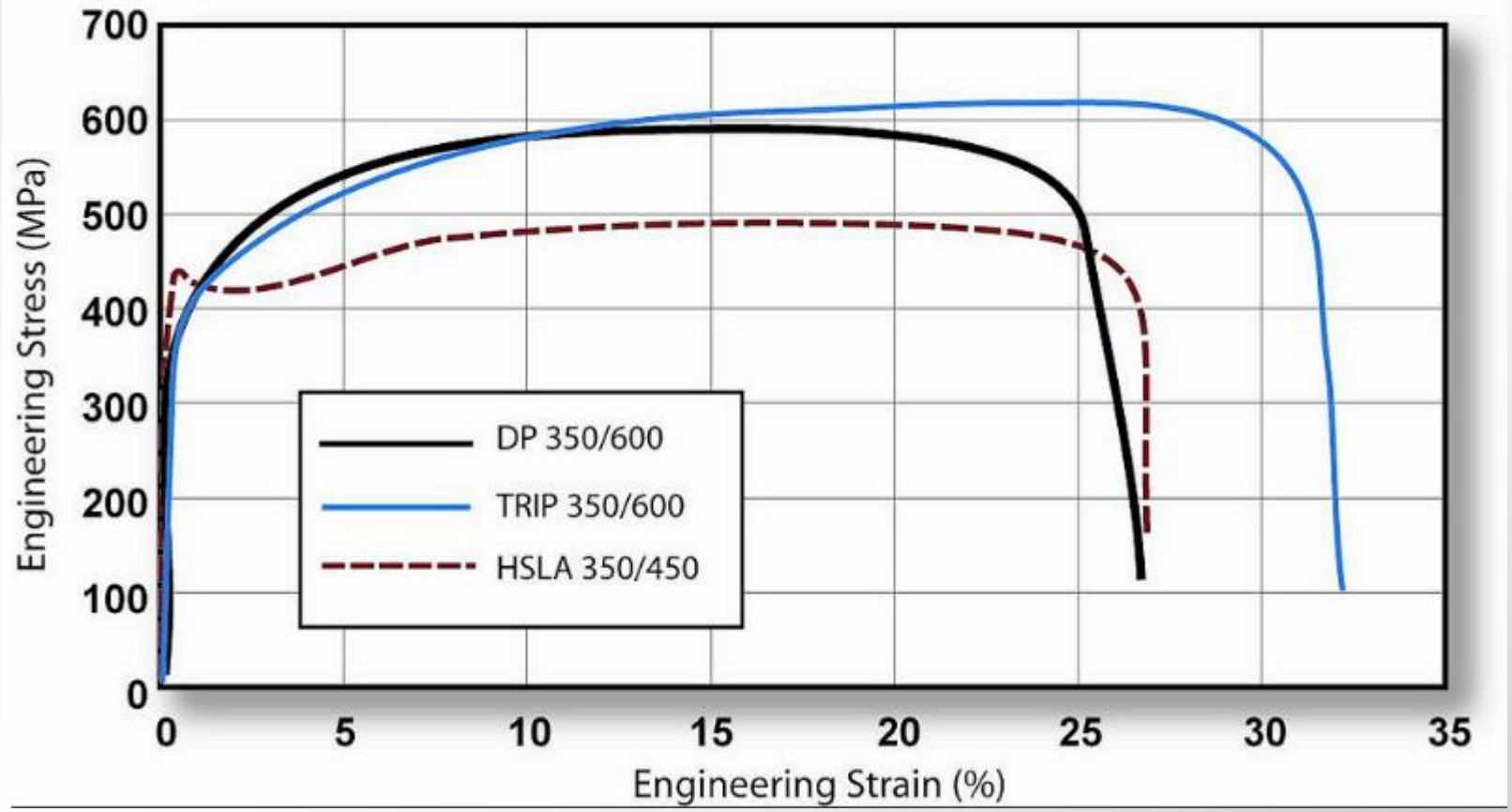
Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

TWIP Çelikleri

TWIP çelikleri genelde yüksek miktarda Mangan (Mn) içerir. Bunun yanı sıra Alüminyum (Al), silisyum (Si), karbon (C) gibi alaşım elementleri katılarak mekanik özelliklerin kontrolü sağlanır. 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 üstelenmeleridir.

TWIP çeliklerinin plastik deformasyonu iki mekanizma ile gerçekleşir; dislokasyon kayması, mekanik ikizlenme veya deformasyon ikizlenmesi. Bu deformasyon mekanizmaları daha çok östenit yapısının sahip olduğu ”hata yığını enerjisi (SFE)” ile ilintilidir.

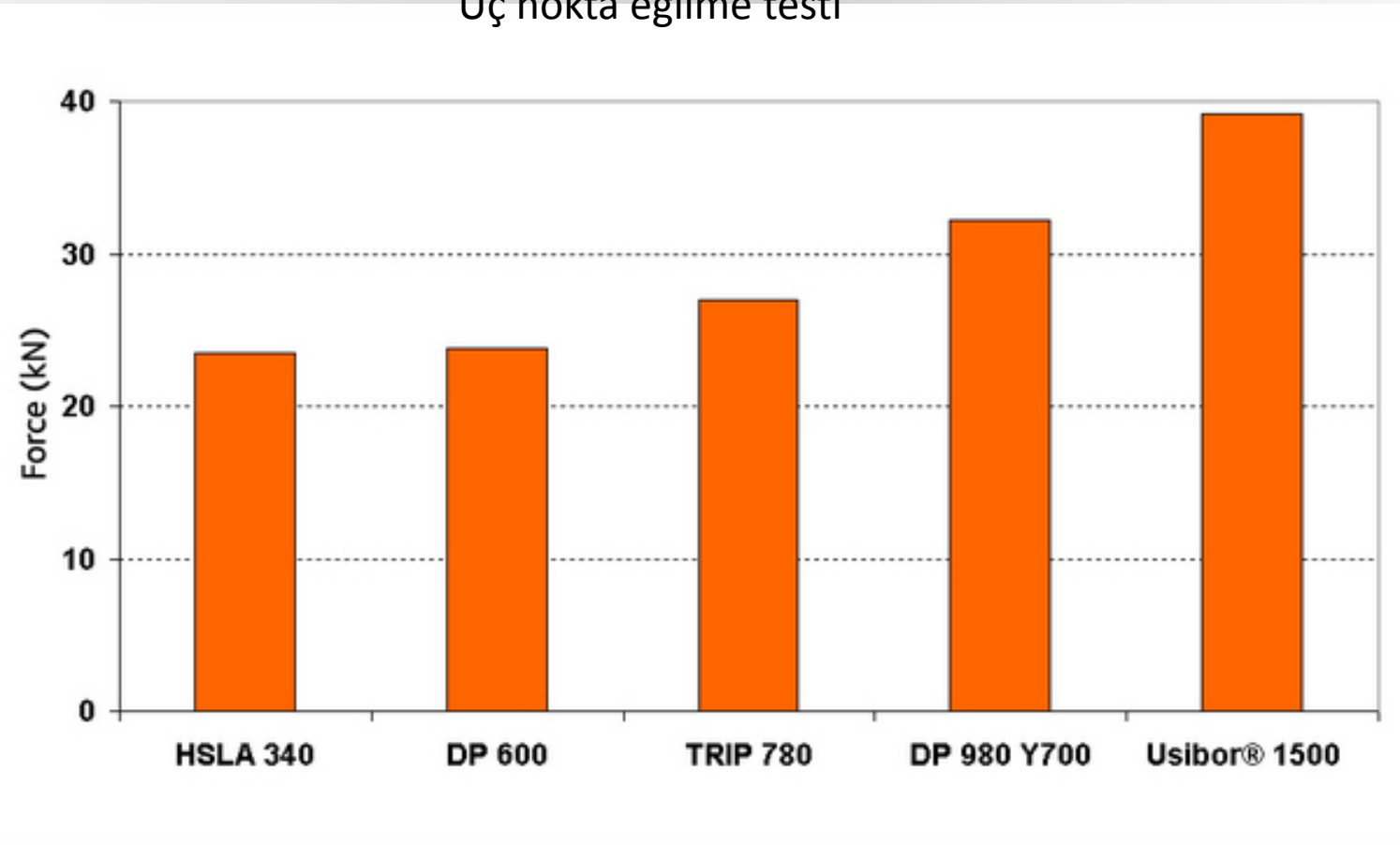
Yeni Nesil Çeliklerin Karşılaştırılması



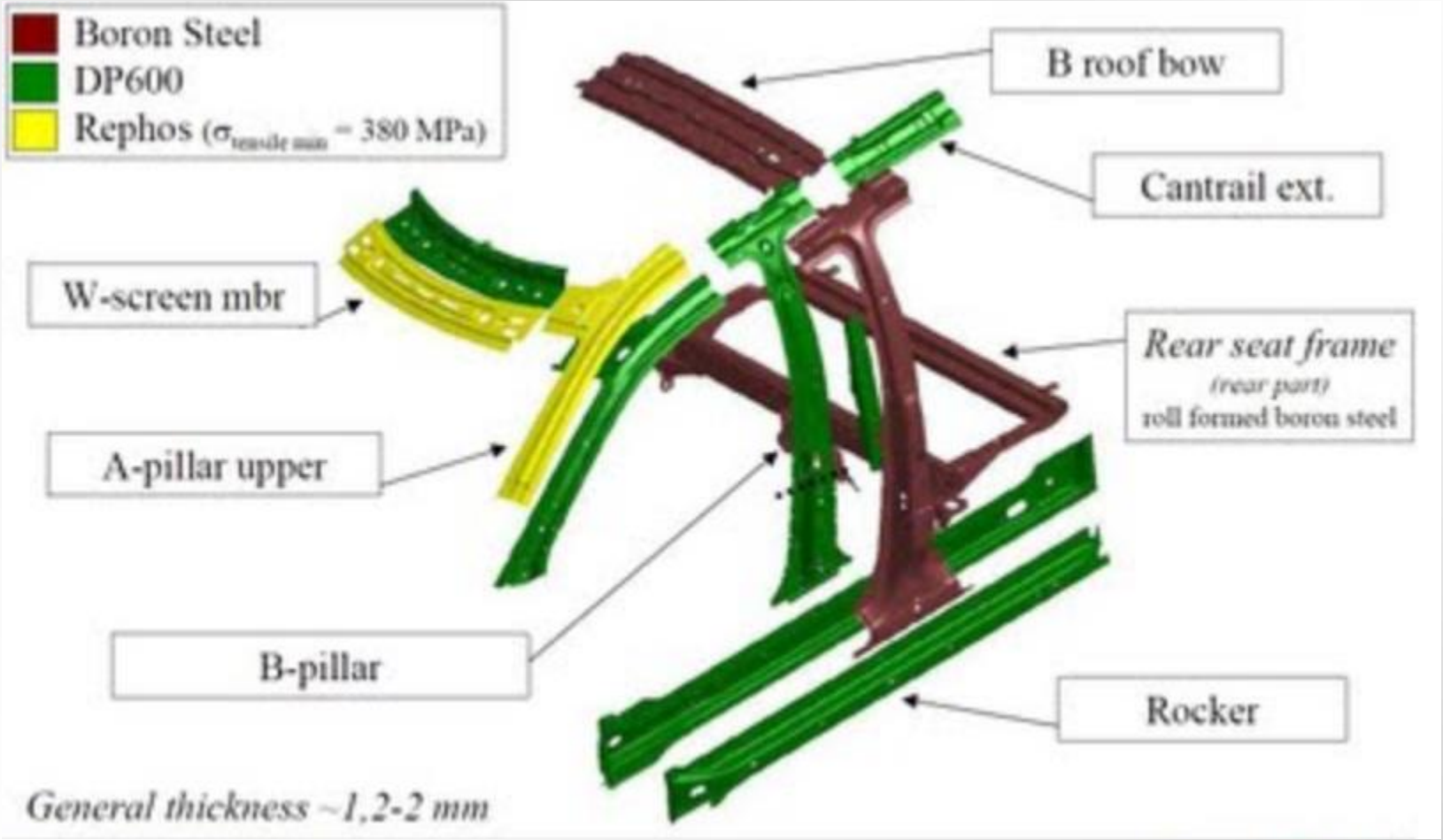
Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

Yeni Nesil Çeliklerin Karşılaştırılması

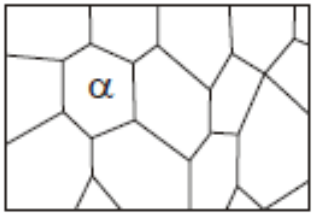
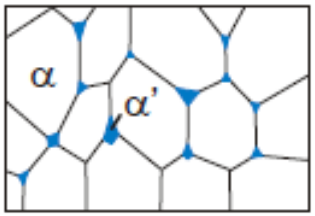
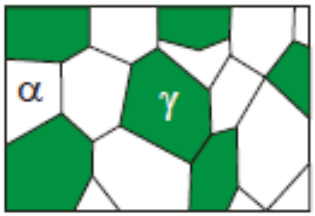
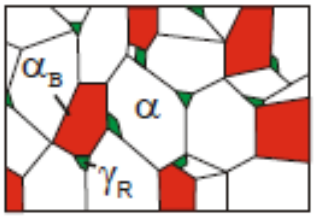
Üç nokta eğilme testi



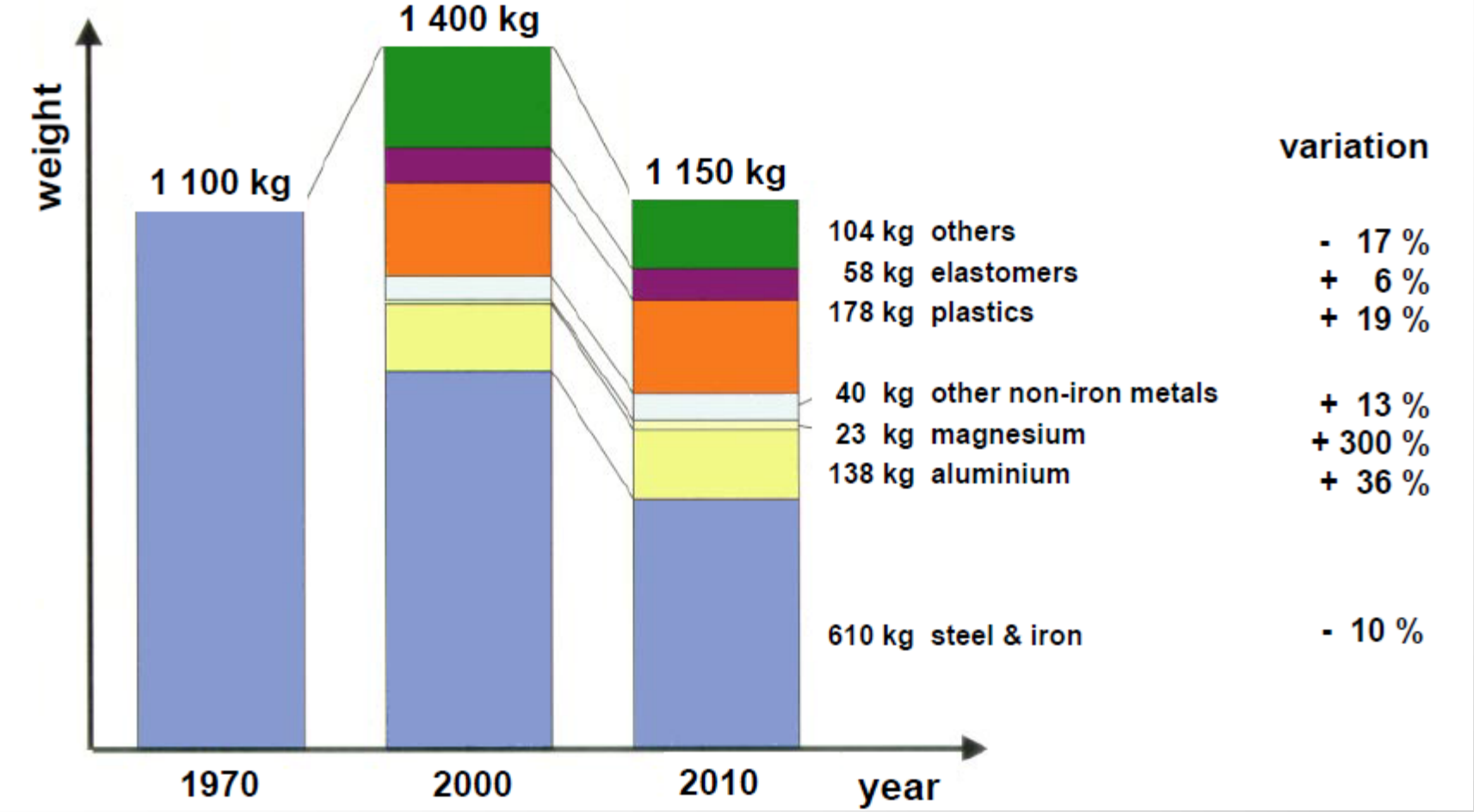
Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN



Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

Çelik tipi		Parametreler	Fazlar
Tek faz (Düşük karbonlu çelik)		- Tane boyutu - Tane şekli	α = ferrit
İki faz (Dual fazlı çelik)		- Tane boyutları - Hacimsel miktar - Yöresel kimyasal bileşim	α = ferrit α' = martenzit
İki faz (Dupleks çeliği)		- Tane boyutları - Hacimsel miktar - Yöresel kimyasal bileşim	α = ferrit γ = östenit
Çok fazlı (TRIP çeliği)		- Tane boyutları - Hacimsel miktar - Yöresel kimyasal bileşim - Faz stabilitesi	α = ferrit α_B = beynit γ_R = kalıntı östenit

Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN



Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

Diğer Çelik Türleri

- Yapı Çelikleri
- Islah Çelikleri
- Yüksek Sıcaklık Çelikleri
- Soğukta Tok Çelikler
- Paslanmaz Çelikler
- Takım Çelikleri….

Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

Yapı Çelikleri

- Akma mukavemetinin yüksek, yeterli sünekliğe ve tokluğa sahip olmaları en önemli özelliklerindendir. Korozyona dayanım veya sertleştirme ihtiyacı duyulmayan çeliklerdir. Başta kaynak olmak üzere talaş kaldırma, soğuk şekil verme gibi imalat yöntemlerine uygundur.
- Alaşımsız ve çoğunlukla kütle çeliği şeklinde bulunurlar. Köprü, depolama kabı taşıt ve makine yapımında kullanılırlar.

Profil, lama, çubuk, boru, vb..

Fe 37, Fe 42, Fe 50 (çekme dayanımına göre kodlama- Avrupa)

USA 1010, 1020 vb.

Yassı ürünler…

Fe10 Siyah sac

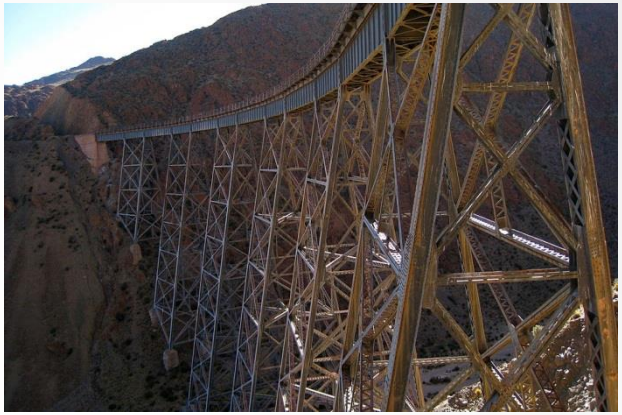
Fe12 DKP sac (Tufalı alınmış)

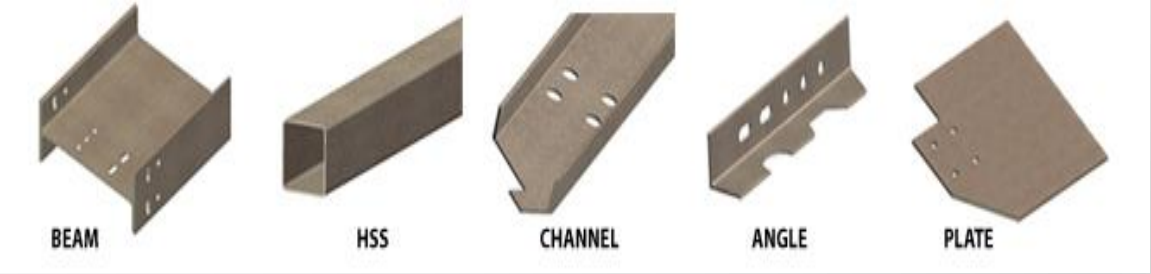
Fe13 ve Fe14 Derin çekme kalitesinde sac

Teneke,

Galvaniz sac,

Gemi sacları vb…

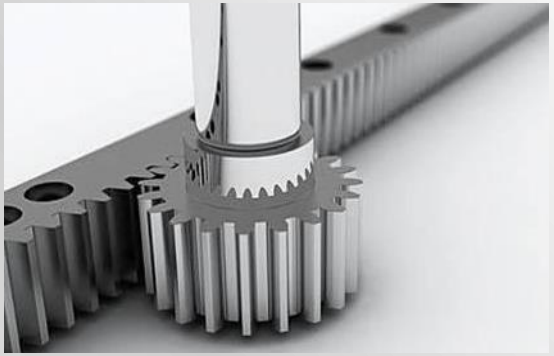




Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

Islah Çelikleri

- Bu çeliklerin % C karbon oranları fazla olduğu için sertleştirmeye elverişli, “ıslah işlemi” uyguladıktan sonra yüksek tokluk gösteren çeliklerdir. Alaşımsız ve alaşımlı makine imalat çelikleridir.
- Islah çeliklerinden, yüksek dayanım ile süneklik bir arada istenir. Yeterli değerde martenzit sertliğini sağlayabilmek için, nispeten yüksek karbon içerirler (%0,2-0,65).
- Yüksek dinamik zorlanmalara dayanıklı mil, aks perno, muylu, dişli çark, merdane üretiminde kullanılır. Kaliteli ve asal çelik olarak üretilirler.
- Kaliteli çelikler, kaynağa uygunluk, gevrek kırılmaya duyarsızlık, derin çekilebilme, işlenebilme gibi özellikler kazandırılması amacıyla özenle üretilen çeliklerdir. Asal çelikler ise özel üretim koşullarından ötürü kalitelilere göre daha az katışkı içerirler, P ve S oranı da daha azdır.



Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

Islah Çelikleri

Piyasada kullanılan Islah Çelikleri:

Alaşımsız çelikler: Sertleşme derinliği, dayanım, tokluk düşük. (C22, C30, C45)

Mangan Çelikleri: Sertleşme derinliği daha fazla. (28Mn6, 40Mn4)

Krom Çelikleri: Tokluk daha yüksek. (48Cr2)

Krom Molibden ve krom-nikel-molibden çelikleri: Çekme dayanımı ve tokluk yüksek. (25CrMo4, 34CrNiMo6)

Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

Paslanmaz Çelikler

- Bileşiminde en az %12 Cr içeren çeliklerin yüzeyine bağlanan çok ince bir oksit tabakası nedeniyle pasifleşir, korozyona karşı direnç kazanır. Söz konusu oksit tabakası oksijen bulunan ortamlarda oluşur ve dış etkilere (aşınma, kesme veya talaşlı imalat vb.) bozulsa dahi kendini onararak eski özelliğine tekrar kavuşur.
- Düşük alaşımlı olanları atmosferik korozyona, yüksek alaşımlı olanları asidik ortamlara karşı daha dayanıklıdır.
- Cr oranı yapıda krom karbür oluşumu ile %12'nin altına düştüğünde korozyon dayanımı düşer. Dolayısıyla çelik içinde C oranı arttıkça krom miktarı arttırılmalı veya karbür yapma eğilimi Cr'dan fazla olan alaşım elementleri katılmalıdır.
- Paslanmaz çeliklerde başlıca alaşım elementi Cr, Ni ve Mo'dir.

Paslanmaz çelikler 5 ana grupta toplanırlar:

- Ferritik
- Martenzitik
- Ostenitik
- Ferritik-Ostenitik (dubleks)
- Çökeltme sertleşmesi

uygulanabilen alaşımlar

Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

Ferritik Paslanmaz Çelikler

- Ferritik çelikler hem oda sıcaklıklarında hem de daha yüksek sıcaklıklarda demir elementinin sahip olduğu HMK yapısına sahiptirler ve ostenit-ferrit dönüşümü göstermezler. Dolayısıyla iç yapılarını ve mekanik özelliklerini ısıl işlemlerle etkilemek mümkün değildir.
- Düşük toklukları ve gevrekleşme hassasiyetleri nedeniyle, makina parçası olarak kullanımları özellikle kaynaklı montajlar ve kalın kesitler için sınırlıdır.
- Manyetiktirler. Maliyetleri düşüktür ve kolay işlenirler.

Üç ana gruba ayrılırlar:

- **Krom miktarı %11-13 arasında olanlar** (405 ve 409 kaliteleri) – egzost boruları
- **Krom miktarı yaklaşık %17 olanlar** (430 ve 434 kaliteleri) – egzost boruları, civata ve somun
- **Yüksek kromlular %19-30** (süperferritikler 442 ve 446 kaliteleri)

Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

Ostenitik Paslanmaz Çelikler

- Manyetik olmayan bu çelikler hem oda hem de yüksek sıcaklıklarda YMK yapıya sahip ostenitik içyapılarını koruduklarından, normalleştirme ve sertleştirme ısıl işlemi yapılamaz. Tavlanmış halde süneklikleri, toklukları ve şekillendirilebilme kabiliyeti düşük sıcaklıklarda bile mükemmeldir.
- Mukavemetleri ancak soğuk şekillendirme ile arttırılabilir. Genellikle %16 ile %26 Cr, %35'e kadar Ni ve %20'ye kadar Mn içerirler. Ni ve Mn temel ostenit oluşturuculardır. Mükemmel şekillendirilebilirliği, sünekliği ve yeterli korozyon dayanımı ile 304 kalite ostenitik çelik en yaygın olarak kullanılan türüdür.
- 304 kalite çeliklere Mo katılarak 316 ve 317 kaliteleri üretilir ve klorürlü ortamda noktasal korozyona dayanım sağlanır. 309 ve 310 kaliteleri gibi yüksek Cr'lu alaşımlar yüksek sıcaklıklarda ve oksitleyici ortamlarda kullanılır.
- Yüksek oranda Ni, %6-20 N içeren alaşımlara süperostenitikler de denir. 321 ve 347 kalitelerde C'nu stabilize etmek için (yüksek sıcaklıkta taneler arası korozyonu önlemek) Ti ve Nb eklenir. "L" ve "S" uzantılı alaşımlarda (304L, 309S gibi) tanelerarası korozyonu önlemek için C oranı düşük tutulmuştur.

Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

Martenzitik Paslanmaz Çelikleri

- Karbon miktar› % 0,1 den fazla olan çelikler türüne göre 950-1050°C ostenitlenir ve su verilerek martenzitik iç yapı elde edilir.
- C yüzdesine bağlı olarak sertlik ve mekanik özellikler değişir. Genellikle tavlama işlemlerine tabi tutulurlar. Tavlanmış olarak satın alınan ürünler biçim verildikten sonra ıslah edilir.
- Martenzitik çelikler yüksek çekme, sürünme ve yorulma dayanımı gerektiren ve en çok 650°C'a kadar sıcaklık uygulamalarında tercih edilir.
- 410 kalite çelik ve türevleri, buhar ve gaz türbinlerinde, jet motorlarında, civata, somun
- 420 ve benzeri alaşımlar dişli, rulman ve millerde
- 440 ve benzeri alaşımlar kam ve rulman bilyalarının en çok tercih edilen malzemeleridir.
- Cr ve C miktarları martenzit oluşumunu sağlayacak şekilde dengelenir. Temperleme özelliklerini ayarlamak üzere Nb, Si, Va, W ilave edilebilir.
- Orta derecede korozyona sahiptirler.
- Isıl işlem uygulanabilir.
- Kaynak kabiliyetleri düşüktür.
- Manyetiktirler.

Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

Dubleks Paslanmaz Çelikler

- Ostenitik ve ferritik çeliklerin her birinin de iyileştirilmiş özelliklerini sergilerler. Ostenitik çeliklere kıyasla daha iyi gerilme korozyonu dayanımına; ferritik çeliklerle göre de daha iyi tokluk ve sünekliğe sahip olurlar.
- Tavlanmış durumda bile 550 ile 690 MPa akma dayanımı gösterirler ki, bu değer, fazların tek başına bulunduğu duruma göre iki katıdır.

Başlıca dört ana kalitesi vardır:

(1) Fe-23Cr-4Ni-0,1N,

(2) Fe-22Cr-5,5Ni-3Mo-0,15N,

(3) Fe-25Cr-5Ni-2,5Mo-0,17N-Cu ve

(4) Fe-25Cr-7Ni-3,5Mo-0,25N-W-Cu.

Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

Takım Çelikleri

- Metal malzemelerin şekillendirilmesinde (talaşlı, PŞV, gibi) kesici uç, kalıp gibi ihtiyaç duyulan takımlar için kullanılmaktadır.
- Şu şekilde sınıflandırmak mümkündür:
  - Sıcak iş takım çelikleri (Hot work tool steels)
  - Soğuk iş takım çelikleri (Cold work tool steels)
  - Yüksek hız takım çelikleri (High speed steels - talaşlı imalatta)

Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

Designations			Composition (wt %)								
AISI	**SAE**	**UNS**	**C**	**Mn**	**Si**	**Cr**	**Ni**	**Mo**	**W**	**V**	**Co**
Molybdenum high-speed steels											
M1	M1	T11301	0.78–0.88	0.15–0.40	0.20–0.50	3.50–4.00	0.30 max	8.20–9.20	1.40–2.10	1.00–1.35	
Tungsten high-speed steels											
T1	T1	T12001	0.65–0.80	0.10–0.40	0.20–0.40	3.75–4.00	0.30 max		17.25–18.75	0.90–1.30	
Chromium hot-work steels											
H10		T20810	0.35–0.45	0.25–0.70	0.80–1.20	3.00–3.75	0.30 max	2.00–3.00		0.25–0.75	
Tungsten hot-work steels											
H21	H21	T20821	0.26–0.36	0.15–0.40	0.15–0.50	3.00–3.75	0.30 max		8.50–10.00	0.30–0.60	
Molybdenum hot-work steels											
H42		T20842	0.55–0.70	0.15–0.40		3.75–4.50	0.30 max	4.50–5.50	5.50–6.75	1.75–2.20	
Air-hardening medium-alloy cold-work steels											
A2	A2	T30102	0.95–1.05	1.00 max	0.50 max	4.75–5.50	0.30 max	0.90–1.40		0.15–0.50	
High-carbon, high-chromium cold-work steels											
D2	D2	T30402	1.40–1.60	0.60 max	0.60 max	11.00–13.00	0.30 max	0.70–1.20		1.10 max	1.00 max
Oil-hardening cold-work steels											
O1	O1	T31501	0.85–1.00	1.00–1.40	0.50 max	0.40–0.60	0.30 max		0.40–0.60	0.30 max	
Shock-resisting steels											
S1	S1	T41901	0.40–0.55	0.10–0.40	0.15–1.20	1.00–1.80	0.30 max	0.50 max	1.50–3.00	0.15–0.30	
Low-alloy, special-purpose tool steels											
L2		T61202	0.45–1.00	0.10–0.90	0.50 max	0.70–1.20		0.25 max		0.10–0.30	
Low-carbon mold steels											
P2		T51602	0.10 max	0.10–0.40	0.10–0.40	0.75–1.25	0.10–0.50	0.15–0.40			
Water-hardening tool steels											
W1	W108	T72301	0.70–1.50	0.10–0.40	0.10–0.40	0.15 max	0.20 max	0.10 max	0.15 max	0.10 max	
	W109										
	W110										
	W112										

Source: Data from *Metals Handbook*, 9th ed., Vol. 3, American Society for Metals, Metals Park, OH, 1980.

Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

Otomat Çelikleri

- Hızlı talaş alma işlemlerinde talaşları kırar, işlenebilirliği kolaylaştırır, seri imalata uygun çeliklerdir.
- Bu özelliği sağlamak için yapıya S,P ve Pb katılır.
- %S=0,15-0,40
- %P=0,07-0,1
- Serbest kükürt zararlı olduğundan MnS olarak bağlanmalıdır.
- Serbest kükürtü bağlamak için pratikte Mn=4,5S oranında ilave yapılır.
- MnS ve Pb talaşı kırılganlaştırır, yağlama etkisiyle temiz yüzey ve uzun takım ömrü sağlar.
- Mekanik mukavemetleri transmisyondan düşük, fakat uzama katsayıları yüksek olduğu için zımba perçini, somunlu perçin, hidrolik yüksük gibi elemanlar bu malzemeden üretilir.

Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

Yay Çelikleri

- Çeşitli kesitlerde olabilen yayların imalatında kullanılan çeliklerdir. Bu çeliklerin karbon oranları yapı çeliklerine göre daha yüksektir ve takım çeliklerinin karbon oranlarına göre de alt sıralardadır. “Akma sınırı/Çekme dayanımı” oranının yüksek ve elastisite modülünün kararlı olması gereken, su alabilen çeliklerdir.

Hız Çelikleri

- Yüksek kesme hızlarında çalışan takımların yapımında kullanılırlar.
- Bu çeliklerle takımlar yapıldığında hızlı kesme işlemi yapılabilir.
- Bu çeliklerle 50 m/dak. hızla kesme işlemleri yapılabilir.
- Kesici uç tavlama sıcaklığına kadar ısınsa bile kesmeye devam eder.600°C'nin üzerinde menevişleme gözlenir.
- Hız çeliklerinin bileşimleri genellikle %0,6-0,8 C, %3-5 Cr, %14-20 W'dan ibarettir.
  - Bunların dışında yapılarında V,Mo,Co elementleri de bulunabilir.
  - V seri çeliklerin kesme özelliklerini düzeltmek ve iyileştirmek, havada sertleşme özelliğini artırmak için katılır.
  - Mo çeliği kırılgan yaparsa da çelik C tarafından korunur.
  - Bu element (Mo) fazla aşındırıcı malzemelerin kesilmesine iyi gelir.
  - Co daha yüksek ısıtma derecesi sağlayarak C'un erimesini artırır.

Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN

Ana kalite sınıfına göre:	Temel Çelikler Kaliteli Çelikler Özel Çelikler
Garanti konusuna göre:	
Kimyasal bileşimine göre	Alaşımsız çelikler (Düşük-) alaşımlı çelikler (Yüksek-) alaşımlı çelikler (Avrupa standardı EN 10 020' ye göre sadece alaşımsız ve alaşımlı)
Dayanç değerlerine göre	Yapı çelikleri Eskiden çekme dayancına göre, Akma sınırına göre (günümüzde) İnce taneli yapı çelikleri akma dayancına göre Çelik boru çekme dayancına veya akma sınırına göre
Isıl işlem durumuna göre	Sementasyon çelikleri Islah çelikleri Takım çelikleri
Kullanım özelliklerine göre	İnce plakalar Beton çelikleri Otomat çelikleri Soğukta tok çelikler Yüksek sıcaklıkta dayançlı çelikler Isıya dirençli çelikler

Ref: Doç. Dr. Rukiye ERTAN