



DÖKÜM

(Ders Notları)

Hazırlayanlar
Prof. Dr. Gençğa Pürçek

Trabzon, 2008

İÇİNDEKİLER

- 1. GİRİŞ**
- 2. METAL ÜRETİM TEKNİĞİ**
- 3. METAL DÖKÜM TEKNİĞİ**
- 4. KATILAŞMA**
 - 3.1.Saf metallerde katılaşma
 - 3.2.Alaşımlarda katılaşma
 - 3.3.Katılaşmaya bağlı olaylar
 - 3.3.1. Hacim azalmaları (büzülme) ve sonuçları
 - 3.3.2. Kalıp içinde katılaşma
 - 3.3.3. Lunger oluşumu
 - 3.3.4. Segregasyon
- 5. DÖKÜM YÖNTEMLERİ**
 - 4.1.Modeller
 - 4.2.Maçalar
 - 4.3.Yolluklar
 - 4.4.Çıkıcı ve besleyiciler
 - 4.5.Döküm Yöntemleri
 - 4.5.1. Kum kalıba döküm,
 - 4.5.2. Kalıcı kalıplara döküm
 - Kokil kalıba döküm,
 - Basınçlı döküm
 - 4.5.3. Hassas (Investment) döküm,
 - 4.5.4. Savurma (Santrifüj) döküm,
 - 4.5.5. Alçı kalıba döküm,
 - 4.5.6. Seramik kalıplara döküm,
 - 4.5.7. Dolu kalıplara döküm,
 - 4.5.8. Diğer yöntemler.
- 5. BİTİRME İŞLEMLERİ**
- 6. DÖKÜM HATALARI VE KONTROLÜ**
- 7. DEMİR ESASLI DÖKÜM MALZEMELERİ**
- 8. DEMİR DIŞI DÖKÜM MALZEMELERİ**

ÖNSÖZ

Bu ders notu Makine Mühendisliği Bölümü öğrencilerinin altınca yarıyılta aldıkları “Üretim Yöntemleri” dersinin ilk bölümünü oluşturan “Döküm” konularını içermektedir. Değişik kaynaklardan derleme yöntemiyle hazırlanan bu ders notu, “Metal Üretim Tekniği” ve “Metal Döküm Tekniği” olmak üzere iki ana bölümden oluşmaktadır. Ancak, bu ders kapsamında daha çok metal döküm tekniği ön plana çıktığı için anlatımda ağırlık daha çok o kısma verilmiştir. Öğrencilerin konuları daha iyi kavrayabilmeleri için konular bol şekil ve grafiklerle zenginleştirilmiştir. Sınırlı ders saati göz önüne alınarak hazırlan bu ders notu, döküm konusuyla ilgili temel kavram ve bilgileri vermektedir. Öğrencilerin konuları pekiştirebilmeleri için piyasada bulunan Türkçe ve İngilizce değişik kaynaklardan da yararlanmaları onların başarısı açısından önemli olacaktır.

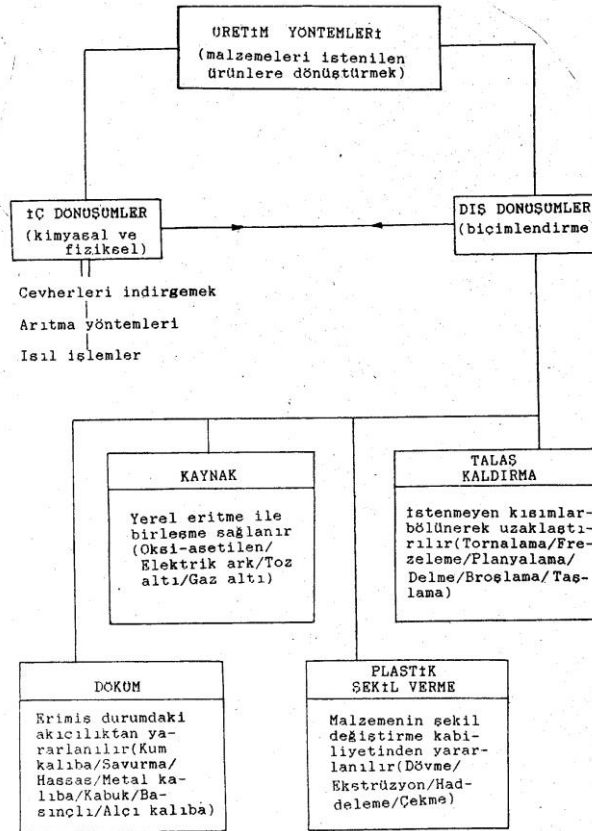
Bu ders notunun tüm öğrencilere faydalı olmasını temenni eder kendilerine başarılar dilerim.

PROF. DR. Gençğa PÜRÇEK

1. GİRİŞ

Günümüz insanının yaşam standardında son elli yıldır sağlanan olağanüstü artış büyük ölçüde yüksek kaliteli ürünlerin tasarımı ile bunların seri ve ucuz olarak üretimini sağlayan yöntemlerin geliştirilmesi sayesinde olmuştur. Bu üretim yöntemlerini tanımak günümüzde sadece makine mühendisleri için değil, pek çok mühendislik disiplinleri için kaçınılmaz bir zorunluluktur. Mühendisler her bir imal usulünün imkânlarını, üstünlüklerini ve sınırlarını tanıyarak amaçladıkları tasarıma en ucuz ve doğru yoldan ulaşmak için gerekli bilgileri edinmek zorundadır.

Üretim, doğada bulunan maddeleri istenilen özellik ve biçimdeki ürünlere dönüştürmek olarak tanımlanabilir. Bu kapsamda üretim yöntemleri ya da imal usulleri; döküm, kaynak, plastik şekil verme ve talas kaldırma bölümlerinden oluşmaktadır.



Şekil 1.1: Üretim Yöntemleri

2

Şekil 1. Üretim yöntemleri

Arkeolojik bulgular döküm yöntemi kullanarak parça üretiminin M.Ö. 4000 yıllarına kadar indiğinin göstermektedir. Bu kapsamda, insanların ilk ilgisini çeken metal altın olmuştur. Daha sonra bakır metali keşfedilmiştir. Önceleri dövülerek şekillendirilen bakırın yüksek sıcaklıklarda eridiğini gören insanlar bu malzemeyi dökerek kullanmaya başlamışlardır. Bir bakır alaşımı olan bronz da bir rastlantı sonucu bulunmuştur. Dayanım olarak saf bakıra göre çok üstün olan bronz alaşımı bir tarih öncesi çağa “bronz devri” olarak adını vermiştir.

Önceleri tek parça açık kalıplara balta ve diğer yassı parçaların üretimi için kullanılan döküm tekniği, yuvarlak kesitteki parçaların üretilmesi için iki veya daha çok parçalı kalıpların kullanılmasıyla geliştirilmiştir. M.Ö. 2000 yıllarında iç boşlukların elde edilmesi için pişirilmiş kilden maçalara kullanılmaya başlanmıştır. Bunun yanında kalıplamada mum modellerin kullanıldığı ve ısıtılarak eritilen mumun kalıbı terk etmesiyle kalıp boşluğunun oluşturulduğu hassas döküm yönteminin de aynı asırlarda geliştirildiği görülmektedir. Özellikle M.Ö. 1500 yıllarından sonra dökümcülük Çin başta olmak üzere Orta ve Uzak Doğuda gelişmiş ve buralardan Akdeniz havzasına yayılmıştır. Avrupalı dökümcülerin ise 13. y.y.'a kadar en önemli uğraşları Kilislere çan dökmektir. Bu nedenle Avrupa'da döküm uygulamaları başlangıçta kiliselerin himayesinde ve kontrolünde gerçekleşmiştir. Nitekim tarihte ilk top bir rahip tarafından bronz malzemeden 1313 yılında dökülmüştür. Döküm teknolojisi hakkındaki ilk yazılı eser ise Popalık dökümhanesinin başında bulunan Biringuccio tarafından yazılmıştır. Rönesans'tan sonra canlanan ticaret, Avrupa'da bağımsız bir döküm sanayinin gelişmesini sağlamıştır.

Ülkemizde döküm yönteminin bilinen ilk önemli uygulamaları Kosova savaşında ve İstanbul'un fethinde kullanılan topların üretimidir. Fatih tarafından Tophane'de kurulan dökümhane, diğer padişahlar zamanında da geliştirilmiştir. Cumhuriyet döneminde büyük döküm fabrikalarının ilki 1937 yılında Sivas'ta Devlet Demir Yolları bünyesinde kurulmuştur. 1950'lerden ve özellikle 1960'lardan sonra otomotiv ve inşaat sektöründeki gelişmelere paralel olarak ülkemizdeki döküm sanayi de hızlı bir gelişme göstermiştir.

Değişik ülkelerdeki bilim adamları, mühendis, teknisyen ve ustaların katkılarıyla kalıp malzemeleri, kalıplama yöntemleri, eritme ocakları, döküm malzemeleri gibi alanlarda sürekli geliştirilen döküm teknolojisi, günümüzde yaygın olarak kullanılan bir üretim yöntemi haline gelmiştir. Bu yöntemle biçimlendirilen metallerin en önemlileri; dökme demirler, çelikler, bakır ve alüminyum alaşımlarıdır. Günümüzün dökümhaneleri, modernizasyon ve otomasyon yöntemlerinin yaygın olarak uygulandığı modern üretim tesisleridir.

Bu ders kapsamında ele alınacak döküm yöntemi, sıvı halde akıcı olan metallerin, üretilmek istenilen parçanın biçimindeki bir boşluğa sahip olan kalıplara dökülerek katılaştırıldığı bir imalat yöntemidir. Sıvı metalin içine döküldüğü kalıp olarak, her dökülen parçadan sonra bozulan (örneğin kum kalıp) kalıplar kullanıldığı gibi, birden fazla parçanın üretimine imkan veren kalıcı kalıplar da (örneğin metal kalıplar) da söz konusu olabilir.

Döküm yoluyla üretimin diğer yöntemlerden üstünlükleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Yöntemin sınırları çok geniş olup, hem çok küçük parçaların, hem de tonlarca ağırlıktaki büyük parçaların üretimine uygun değişik döküm teknikleri bulunmaktadır.
- Çok karmaşık ve içi boş parçaların üretimi mümkündür.
- Bazı malzemeler (örneğin dökme demirler) sadece döküm yöntemiyle üretilirler
- Seri üretime uygun ekonomik bir yöntemdir

Döküm yönteminin sınırları ise aşağıda verilmiştir.

- Çok ince kesitlerin elde edilmesi güçtür
- Az sayıda parça üretilmesi için genellikle ekonomik değildir
- Aynı malzemenin plastik şekil verme yöntemleri (örneğin dövme) ile elde edilmiş olanı, dayanım bakımından genelde daha üstündür.

2. METAL ÜRETİM TEKΝİĞİ

2.1. Hammaddeler

Doğada yalnız soy metaller metalik halde bulunur. Bunlar okside olmadıkları için parlak metalik yüzeylerini korurular. Bunlar, altın, gümüş ve platin gibi elementlerdir. Bütün diğer metaller yerkabuğunda kimyasal bileşik halinde bulunurlar. Bunlar en çok aşağıdaki formlarda bulunurlar;

- Oksitler: oksijen bileşikleridir ve taş şeklinde bulunurlar.
- Sülfürler: Kükürt bileşikleridir.
- Karbonatlar: Karbon oksidi bileşikleridir.

Metal bileşikleri, metal olmayan maddelerle, yani *gangla* bir arada iç içe bulunurlar. Genellikle birçok metal bileşiğinin bir arada bulunduğu da görülür. Bunların hepsine birden *cevher* denir.

Cevherlerin ihtiva ettikleri metal miktarı (*tenörü*) çıkarıldıkları yere göre değişir. Tablo 1'de çeşitli cevherlerde metal miktarları görülmektedir. Yer kabuğundan çıkartılan cevher genellikle doğrudan doğruya metal üretim işlemine tabi tutulmaz. Teknik nedenlerle belirli maddelerin uzaklaştırılması ve cevherin uygun bir tane büyüklüğüne getirilmesi gerekir. Ticari nedenlerden dolayı metalik bileşiklerin yani cevherin zenginleştirilmesi gerekir. Bu nedenle cevher çeşitli cevher hazırlama kademelerinden geçirilir.

Tablo 1. Önemli metal cevherleri ve içerdikleri metal miktarları

Cevher	Metal oranı (tenör) (%)	Bulundukları bölge
Demir cevherleri		
Manyetit (Fe_3O_4)	50-70	İsveç, Urallar
Hematit (Fe_2O_3)	35-60	Fas, Ukrayna, İngiltere, Brezilya
Limonit	25-50	İspanya, Kırım
Siderit (FeCO_3)	25-40	İngiltere, Siegerland
Bakır cevheri		
Kalkopirit	0,3-5	Şili, Katanga, Rodezya, ABD
Kalkozin (CuO)		
Bornit (Cu_3FeS)		
Kalay cevheri		
Kasiterit (SnO)	0,1-2	Bolivya, Malaya, Tayland
Çinko cevheri		
Stalerit (ZnS)	0,5-20	Dünyanın bütün bölgelerinde
Alüminyum cevheri		
Boksit ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	25-30	Fransa, Macaristan, Hindistan, Brezilya

2.2. Cevher Hazırlama

Cevher hazırlama; cevheri zenginleştirme, kısmen redükleme ve diğer işlemler için uygun bir şekil ve büyüklüğe getirme usullerini kapsar.

2.2.1. Cevher Zenginleştirme

Cevherde bulunan yüksek miktardaki gang, metal üretim işlemini zorlaştırır. İşlem sırasında metalle birlikte ergitilmesi gerekir ki, bu da büyük ölçüde enerji kaybına neden olur. Bu nedenle ölü kısmını cevherden ayırmak gerekir.

- a) **Demir cevherinin manyetik ayırımı:** Bütün demir cevherleri hemen kuvvetli olarak manyetikleşmezler. En iyi manyetik özelliği *manyetit* (Fe_3O_4) gösterir. Diğer demir cevherleri kavrularak manyetik özellik kazanabilir. Cevherin manyetik ayırma tabi tutulabilmesi için, yaklaşık 2 mm çapında taneler halinde kırılması gerekir. Uygun tane büyüklüğündeki cevherlerden manyetik tambur sayesinde işe yaramayan kısmı ayrılır.
- b) **Yaş (ıslak) hazırlama:** Esas metal bileşiğinin özgül ağırlığı gang mineralinden genellikle daha büyüktür. Ayırım için, özgül ağırlığı metal bileşiği ile gangın özgül ağırlığı arasında bir değere sahip bir sıvı hazırlanır. Bu sayede gang mineralleri sıvı üzerinde yüzdürülürken metal ihtiva eden kısımlar sıvının dibine çöker.
- c) **Flotasyon (yüzdürme) ile cevher hazırlama:** Flotasyon işleminde minerallerin suyu seven ve suya düşman özelliğinden yararlanılır. Çok ince öğütülmüş cevher, karıştırıcılar vasıtasıyla çökmesi önlenerek su içerisinde tutulur. Aynı anda aşağıdan yukarı doğru hava üflenir. Yukarı çıkan hava kabarcıkları ıslanmış olan parçaları suyun yüzeyine taşır. Yüzeyde biriken parçacıklar özel kaşıklar ile toplanır.
- d) **Kavurma:** Öğütülmüş cevherin hava akımı ile ısıtılmasına kavurma denir. Sıcaklık parçaları birbirine yapıştıracak kadar yükseltilmemelidir. Cevherin çeşidine göre kavurma işleminin gayesi değişir. Örneğin, sülfürün oksit haline gelmesi için kavurma yapılır. Bu esnada kükürt, kükürt dioksit (SO_2) halinde yanar ve sülfürik asit üretiminde kullanılır. Yoğun cevherler (manyetit ve hematit gibi) kırılğan ve gözenekli hale getirmek için kavrulur. Bu sayede gazlar yapı içerisinde daha kolay girebileceğinden, yüksek fırındaki redüksiyon işlemleri kolaylaşır.

2.2.2. Elekten geçirme ve kırma

Zenginleştirme ve fırında üretim işlemleri için belirli büyüklükte cevher gereklidir. Toz ve ince taneli cevherin elekten geçirilmesi, büyük parçaların kırılması lazımdır. Örneğin, yüksek fırın için yaklaşık 30 mm büyüklüğünde parçalar istenir. İnce taneli cevherler, yüksek fırında yapılan üretimde fırını tıkayabileceği için, burada üretim işleminden önce belirli tane büyüklüğü gerekir. Bu ise aşağıdaki yollarla sağlanır.

- a) **Sinterleme:** İnce taneli cevherlerin 900°C ile 1350°C arsında ısıtılarak, gangın kısmi ergimesi sonucu tanelerin birbirine yapışacak şekilde pişirilmesine sinterleme denir. Bu işlem sonucu, çok iyi redüklenebilen ve gazları geçirebilen (gözenekli) bir yapı oluşur. Sinterlenecek malzeme yanma ızgaralarının üzerine konur. Sinterlenecek madde ateşlendikten sonra, ızgaranın altında hava bu maddenin arasından geçecek şekilde emilir.
- b) **Peletleme:** Tane büyüklüğü 0,2 mm'den küçük olan un halindeki cevherler sinterlemeye uygun değildir. Bunlar yapıştırıcı maddeler ve su ile karıştırılarak peletleme tepsileri veya tamburları içerisinde yuvarlatılıp, yaklaşık 2 mm çapındaki topaklar haline getirilir. Peletleme, tepsilerin belirli bir hızda döndürülmesi ile yapılır.
- c) **Krup-Renn usulü:** Fakir ve asitik cevherle uygulanan bir usuldür. Zenginleştirme ve redüksiyon işlemlerinin bir kombinasyonu biçimindedir. Reaksiyon kabı hafif eğimli yatay bir fırındır. Fırının üst kısmından ince, toz cevher ve kömürden oluşan bir

karışım boşaltılır. Fırının alt kısmında ise ısıtma yapılır. Üstten boşaltılan karışım, dönme hareketi nedeniyle alt kısma doğru yuvarlanır. Yüksek kısımlarda cevher ön ısıtmaya tabi tutulur ve katı halde demir süngeri biçiminde redüklenir. Böylece, yüksek fırında meydana gelmesi gereken redüksiyonun bir kısmı önceden yapılmış olur ve bu sayede yüksek fırına pahalı kok yerine ucuz kömür tozu veya kok artığı yakıt olarak verilir.

2.3. Yüksek fırında ham demir üretimi

2.3.1. Yüksek fırının yapısı

Şematik olarak Şekil 2’de gösterilen modern bir yüksek fırında yaklaşık olarak günde 2000 ton ham demir üretilebilmektedir. Yüksek fırınlar çelik sacların birbirine kaynak edilmesiyle oluşturulur. Yükseklikleri yaklaşık 26 m ve taban haznesi çapı ise 9 m’dir. İçerisi şamot tuğlalarla örülmüş olup duvar kalınlığı 1m civarındadır. Gövde ve hazne dıştan su ile soğutulur.

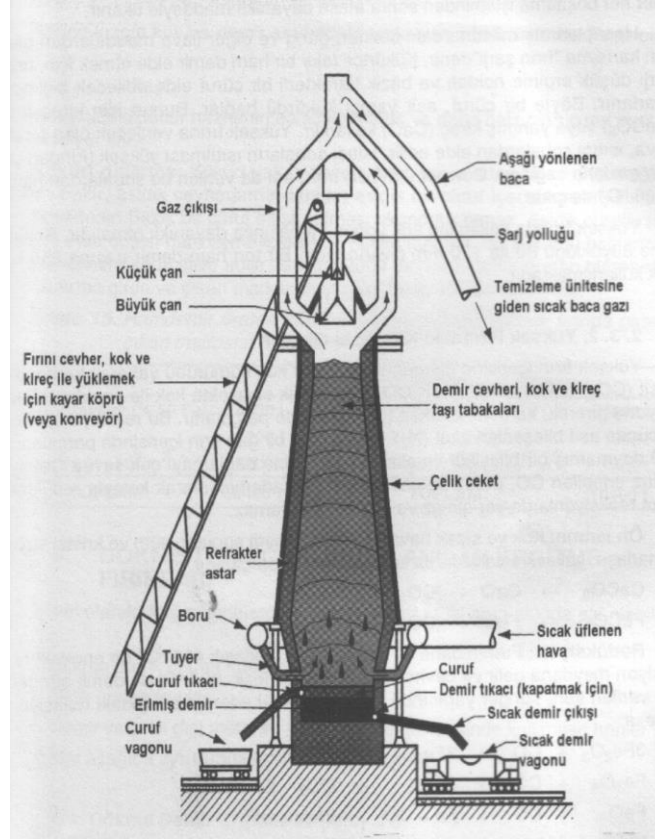
Bir yüksek fırın aşağıdaki kısımlardan oluşur.

Üst kısım: Silo, çan ve çan kapaklarının bulunduğu fırının en üst kısmıdır. Yüksek fırın gazları buradan dışarı çıkar. Şarj çan kapakları vasıtasıyla yüksek fırın gazı kaçmayacak biçimde fırına boşaltılır.

Gövde: Fırının uzun ve aşağıya doğru genişleyen kısmıdır. Cevher-kömür karışımı burada katı durumdadır.

Karın: Fırının alt tarafında yeniden daralmaya başlayan kısımdır. Cevher burada kısmen erimeye başlamıştır.

Hazne: Erimiş haldeki demir ve cürufun toplandığı, fırının alt kısmıdır. Haznenin üst kısmında fırına hava vermeye yarayan 22-24 adet üfleme borusu vardır. Daha aşağıda devamlı olarak cüruf boşaltılan akıtma delikleri bulunur. Haznenin en alt kısmında ham demir boşaltma delikleri yer alır ve bu delikler her boşaltma işleminden sonra ateşe dayanıklı maddeyle tıkanır. Hesaplanmış miktarlardaki cevher, gang ve diğer ilave maddelerden oluşan karışıma “*fırın şarjı*” denir.

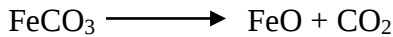


Şekil 2. Modern bir yüksek fırının kesitinin şematik resmi

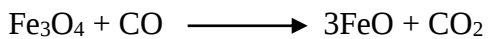
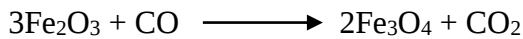
2.3.2. Yüksek fırındaki kimyasal olaylar

Yüksek fırın içerisinde üflenen sıcak hava kok kömürünü yakarak CO_2 haline dönüştürür. CO_2 ise yüksek sıcaklıkta kok ile yeniden reaksiyona girerek CO şeklinde parçalanır. Bu reaksiyonlar sonucunda asıl bileşenleri azot ve CO olan bir gaz fırın içerisinde parçalanır. CO doymamış bir bileşiktir ve oksijeni kendisine bağlamayı çok sever. Çok iyi nüfuz edebilen CO , gözenekli cevheri kademeli olarak kolayca redükler. Azot reaksiyonlarda yer almaz ve değişime uğramaz.

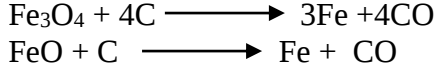
Ön ısıtma: Kok ve sıcak havanın verdiği enerji sonucu, nem ve kristal suyu buharlaşır, yüksek sıcaklıkta ise karbonatlar parçalanır.



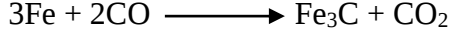
Redüksiyon: Fırının daha alt kısımlarında yaklaşık 400°C 'de endirekt reaksiyon meydana gelir ve cevher oksijenle fakirleşir. 800°C 'de demir dūngeri adı verilen sert, sünger yapısında demir teşekkül eder ve aşağıdaki reaksiyonlar oluşur.



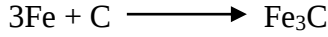
Yaklaşık 750°C'den sonra daha yüksek sıcaklıklarda demir oksidin kızgın kok ile teması sonucu direkt redüksiyon oluşur.



Karbürizasyon: Katı halde 900°C civarında demir karbür oluşur:



Ayrıca kızgın kok ve demir arasındaki reaksiyon sonucunda da Fe₃C oluşur:



Sıvı haldeki demir haznenin en alt kısmında ve daha hafif olan cüruf bunun üzerinde yer alır.

2.4. Ergitme fırınları

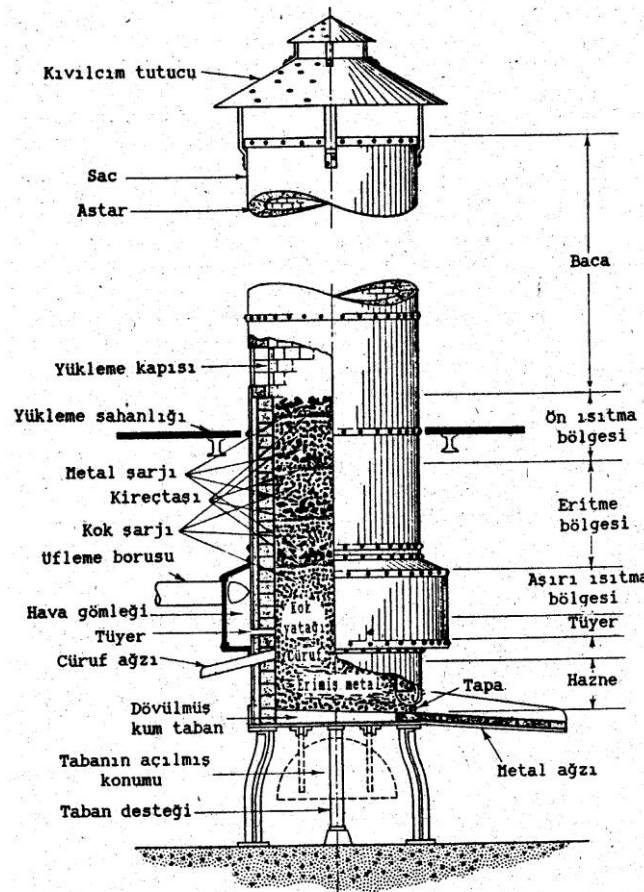
2.4.1. Dökme demir ergitme fırınları

Demir dökümün doğmasına, demir cevherinin redüklenmesinde kullanılan yüksek fırındaki gelişmeler sebep olmuştur. Başlangıçta yüksek fırında üretilen **pik** demir direkt olarak demir dökümleri için kullanılırdı. Zaman geçtikçe ve dökme demirin de önemi arttıkça, ufak tipte kır döküm için saft tipi fırınlar imal edildi. Son olarak ise kupol ocağı geliştirildi.

Dökme demir ergitme fırını olarak kullanılan fırınlar içerisinde en fazla kullanılanı kupol ocağıdır (Şekil 3). Ayrıca **alevli fırınlar**, **pota fırınları** ve **ark fırınları** da dökme demir ergitilmesinde kullanılmaktadır.

Kupol ocağı saçtan yapılmış ve içi refrakter tuğla ile örülerek astarlanmış, silindirik düşey bir ocaktır. Sıvı dökme demir elde etmek için kullanılan kupol ocakları farklı boyutlarda yapılabilir. Ancak ticari ocakların dış çapı genellikle 1-2 m arasındadır. Kapasiteleri ise 20 ton/saat'e kadar çıkabilir.

Kupol ocağını çalıştırmak için taban kapatılarak üzerinde bir kum tabakası dövülür. Bunun üzerine uygun kalınlıkta bir kok tabakası doldurularak ateşlenir. Ateşleme tamamlandıktan sonra yükleme kapısından ocak içine **pik, hurda, kok ve kireçtaşı** belli oranlarda birbirini izleyen tabakalar halinde üst üste yüklenir ve şarj, alttan sıvı alınmasıyla kendi ağırlığı ile aşağı iner. Rejim halindeki ocakta alttaki kok yatağına tüyerlerden üflenen havanın sağladığı yanma ile oluşan ısı, birbirini izleyen kok ve metal tabakalarından geçerek metali eritir. Eriyen metal kok yatağından aşağı süzülerek ocak tabanında toplanır ve zaman zaman metal ağzından bir potaya alınır. Cürufun alınması için ayrı bir ağız da vardır.

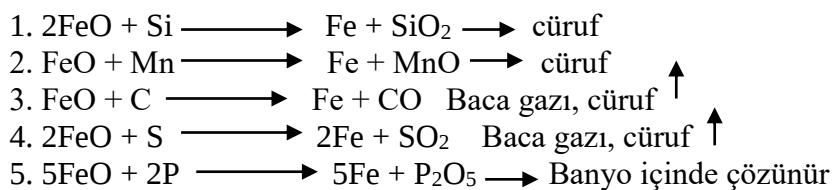


Şekil 3. Kupol ocağı

2.4.2. Çelik ergitme fırınları

Alman DIN normuna göre çelik, herhangi bir işlemten geçmeden dövülebilir ve genellikle %1,7'den fazla karbon ihtiva etmeyen bir demir-karbon alaşımıdır. İstisna olarak %2 karbon ihtiva eden yüksek alaşımlı çelikler de vardır.

Ham demir üretimden çıktığında, içerisinde büyük miktarda karbon ve kısmen de refakat elemanları bulunur. Bunlardan Si ve Mn %0,8'den fazla olmamak şartıyla çelikte istenir. S ve P ise her oranda zararlıdır ve mümkün olduğu miktarlarda uzaklaştırılmalıdır. Refakat elemanlarının oksijene karşı ilgileri demire karşı ilgilerinden daha yüksek olduğundan hava üflenerek ham demir içerisinden yakılarak uzaklaştırılmaları mümkündür. Oksidasyon için gerekli oksijen çeşitli şekillerde sisteme verilebilir. Oksijen ilk olarak, daha fazla miktarlarda bulunduğu için demir ile reaksiyona girer ve demir oksit (FeO) teşekkül eder. Demir oksit demir içerisinde çözünür ve demir refakat elemanları ile reaksiyona girer. Bu reaksiyonlar aşağıdaki gibidir:



Oksitlenen demir refakat elementlerinin en büyük kısmı cürufa veya baca gazlarına karışmaktadır. Sadece zararlı fosfor bazik bir maddeyle bağlanabilir. Bunun için, kireç ilave edilir ve fosforun kalsiyum trifosfat halinde cürufa karışması sağlanır.

Dökümhanelerde çelik ergitilmesinde aşağıdaki tip fırınlar kullanılmaktadır.

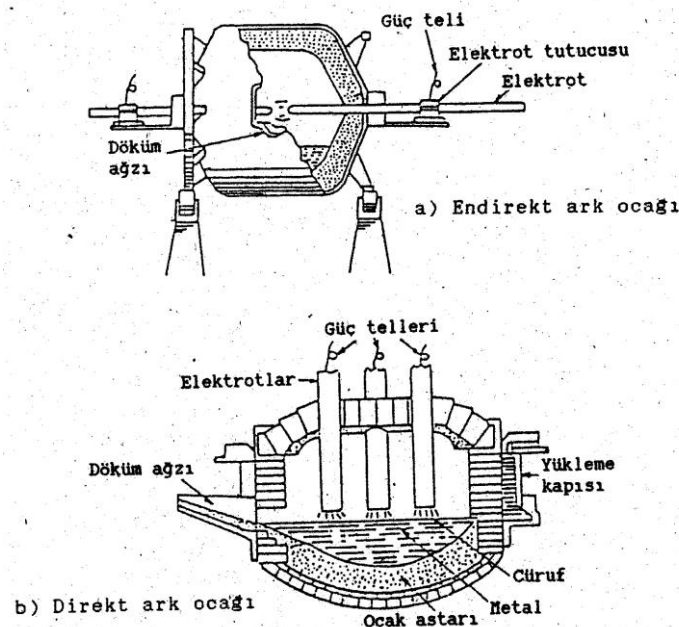
2.4.2.1. Elektrikli ocaklar

Elektrikli ocakların üstünlükleri aşağıdaki gibi sayılabilir.

- 3000°C gibi yüksek sıcaklıklara erişmek mümkündür,
- Sıcaklığın kontrolü kolaydır,
- Çalışma ortamı temizdir,
- Eritilen metalin bileşimi bozulmaz,
- Her türlü alaşım için değişik kapasitelerde ocaklar geliştirilmiştir.

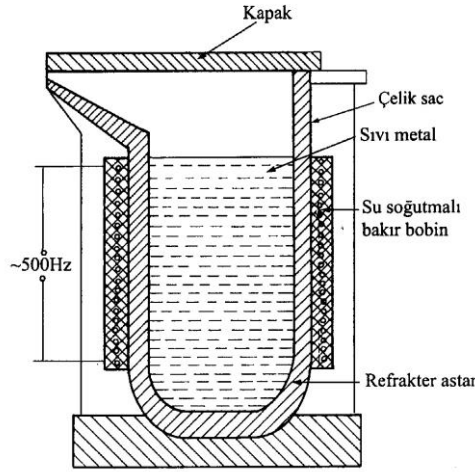
Elektrikli ocaklar; Ark Ocakları, Endüksiyon Ocakları ve Direnç Ocakları olmak üzere üç gruba ayrılır.

a) **Ark Ocakları:** Burada metalin eritilmesinde, ocak içinde oluşturulan elektrik arkından açığa çıkan ısıdan yararlanılır. Elektrik arkı, iki elektrot arasında oluşturulursa endirekt ark, elektrotlarla erimiş metal banyosu arsında oluşturulursa direkt ark ocağından söz edilir. Direkt ark ocaklarının kullanımı daha yaygındır. Pahalı olan bu eritme yöntemi yüksek sıcaklıkta eriyen kaliteli çeliklerin ve alaşımlı dökme demirlerin eritilmesinde tercih edilir. Direkt ark ocaklarının kapasiteleri 1-1500 ton olabilir, ancak en çok 30-40 ton kapasiteye sahip olanlar kullanılır. Eritme kapasiteleri çok daha düşük olan indirekt ark ocakları ise genellikle demir dışı metallerin eritilmesinde kullanılırlar.



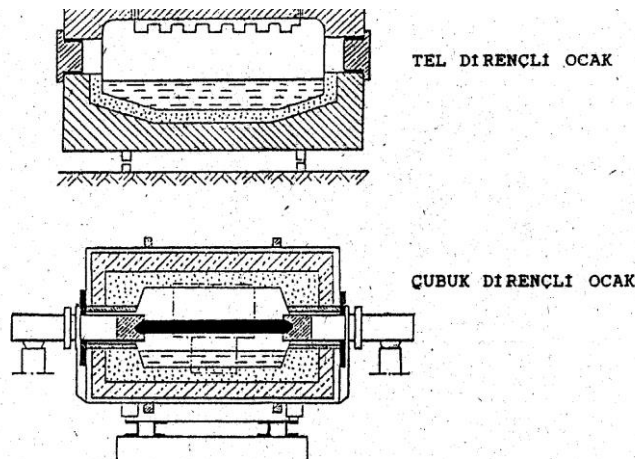
Şekil 4. Ark ocakları

- b) İndüksiyon Ocakları:** İndüksiyon ocakları çekirdeksiz ve çekirdekli (kanallı) olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Her iki ocakta da erimiş metali normal bir transformatörün primer sargısı olarak düşünülebilecek elektrik bobini çevreler. Bu bobinden geçen alternatif akım, sekonder sargı olarak düşünülebilecek iletken sıvı metal içinde girdap akımları indükleyerek ısı oluşturur. Isı, doğrudan ergitilecek metal içinde ortaya çıktığından, çok temiz ve hızlı bir ergitme gerçekleştirilir. İndüksiyon ocaklarının bir diğer türü de vakum endüksiyon ocaklarıdır. Bu şekilde metal eriyiklerinin hava ile teması önlenerek saf ve temiz olması sağlanabilir. Çekirdeksiz tip endüksiyon ocaklarında potanın etrafı su ile soğutulan bakır boru ile yapılmış bir bobin ile çevrilir. Çekirdekli veya kanallı tipte, sıvı metal primer sargının çekirdeği çevresinde bir kanal oluşturur.



Şekil 5. İndüksiyon ocakları

- c) Direnç Ocakları:** Bu ocaklarda elektrik akımının bir direnç üzerinden geçmesi sırasında oluşan ısıdan yararlanılır. Direnç ocaklarının uygulama alanı çok sınırlı olup, genellikle erime sıcaklığı düşük malzemeler için tercih edilirler. Direnç olarak tel veya içinden yüksek akım geçirilen grafit ve silisyum karbür çubuklar kullanılabilir.



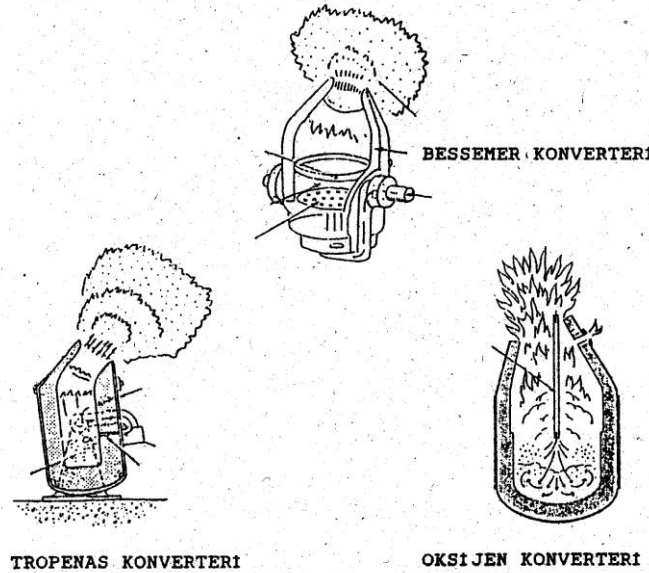
Şekil 6. Direnç ocakları

2.4.2.2. Alevli Ocaklar

Bu ocaklar, dökme demirin kimyasal bileşiminin hassas olarak ayarlanmasının gerektiği (örneğin temper döküm) durumlarda kullanılır. Kapasiteleri 7-30 ton arasında değişen tavalı tip ocaklarda sıg ve uzun bir eritme bölgesi vardır. 15 ton kapasiteye kadar çıkabilen döner tip ocaklarda ısı verim daha iyidir. Ocak, eritme başlangıcında zaman zaman, metal eridikten sonra ise sürekli döndürülür. Yakıt olarak genellikle pülverize kömür ve hava karışımı kullanılır.

2.4.2.3. Konverterler

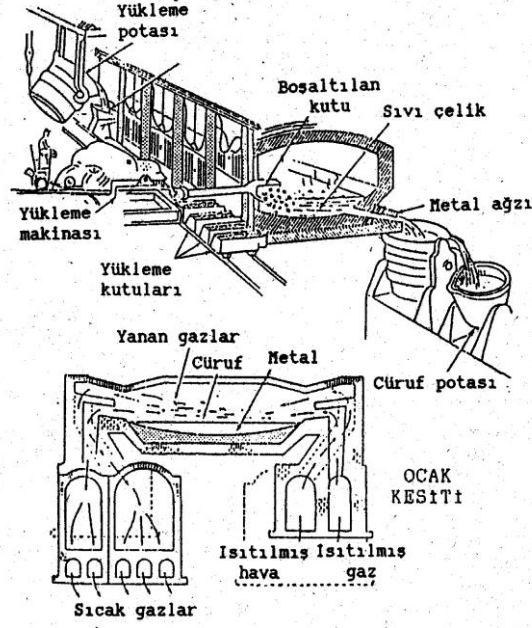
Konverterlerde pik veya dökme demirlerin bileşimindeki C, Si, Mn, P, S gibi elementler ve diğer katışkılar arıtılarak çelik elde edilir. Yani bu ocaklarda, esas amaç metali eritmek değil, pik demiri arıtarak çelik üretmektir. Konvertere doldurulan sıvı metalin içine veya yüzeyine hava veya saf oksijen üflenerek, istenmeyen elementler yakılarak giderilir. Gerektiğinde alışılmama da yapılarak çeliklerin bileşimlerinin de ayarlandığı bu ocakların değişik türleri vardır. İlk geliştirilen ocaklar, havanın tabandan üflendiği Bessemer konverterleri olup, günümüzde daha yaygın olarak kullanılanları, havanın metal üzerine yandan üflendiği Tropenas konverterleri ile üstten saf oksijen üflenerek oksijen konverterleridir.



Şekil 7. Konverterler

2.4.2.4. Siemens-Martin Ocakları

Genellikle demir-çelik tesislerinin çelikhanelerinde kullanılan Siemens-Martin ocaklarında sıg, eliptik kesitli ve genellikle bazık astarlı bir eritme bölümü vardır. Modern ocakların kapasiteleri 100-150 ton arasındadır. Ocağa pik demir ve hurda yüklenir. Ayrıca curuf oluşturacak kireç taşı ve diğer katkıları eklenir. Bu ocaklar genellikle yüksek fırının yakınında kurularak, hem pik demirin ocağa sıvı halde doldurulması, hem de yüksek fırının gazından yakıt olarak yararlanılması mümkün olur. Genellikle gaz yakıtları kullanılır, ancak sıvı yakıtlar ve pülverize kömür de kullanılabilir.

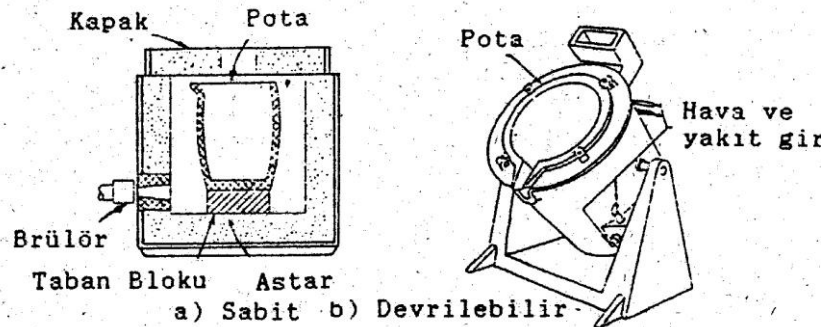


Şekil 8. Siemens-Martin ocağı

2.4.3. Demir dışı metal ve alaşımların ergitilmesinde kullanılan fırınlar

Demir dışı metal ve alaşımların ergitilmesinde potalı, alevli ve endüksiyon fırınları kullanılır. Yakıtle çalışan potalı ve alevli fırınlar ya direkt alevli veya indirekt alevlidir. Daha çok potalı fırınlarda kullanılan indirekt alevli ergitmede alev şarja direkt temasta değildir. Alevli fırınlar direkt alevli olup, şarj alevle direkt temas halindedir.

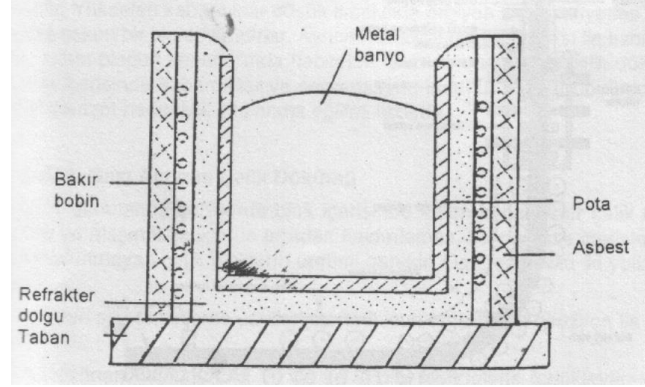
a) Potalı fırınlar: Metal eritmede kullanılan en basit ve eski araç, potalı fırınlardır. Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi bu ocakların sabit ve devrilebilen tipleri vardır. Potalı ocak içi ateş tuğlası ile örülmüş bir çelik kabuk ile sarılıp kapanabilen bir kapaktan oluşur. Ocağın içinde metalden veya refrakter özellikli malzemelerden (grafit, silisyum karbür, dökme demir v.b.) yapılmış bir pota bulunur. Kapasiteleri 15 kg ile 1000 kg arasında değişen potalı ocaklarda, ısı kaynağı olarak çoğunlukla gaz ve sıvı yakıtlardan, bazen de kömür veya elektrik enerjisinden yararlanılır. Potalı ocaklarda genellikle alüminyum ve bakır alaşımları gibi düşük sıcaklıkta eriyen demir dışı metaller eritilir.



Şekil 9. Potalı fırınlar

b) Alevli fırınlar: Büyük tonajlar için kullanılır. Direkt alevli fırınlar olup, alüminyum ve bakır alaşımlarının ergitilmesinde kullanılır.

d) Endüksiyon ocakları: Şekil 10'da görünen tipte bir fırındır. Ergime hızlı ve oksitlenme kaybı minimumdur. Yüksek frekanslı bakır bobin su ile soğutulur.



Şekil 10. Yüksek frekanslı endüksiyon ocağı kesiti

2.4.4. Çeliğin dökülmesi

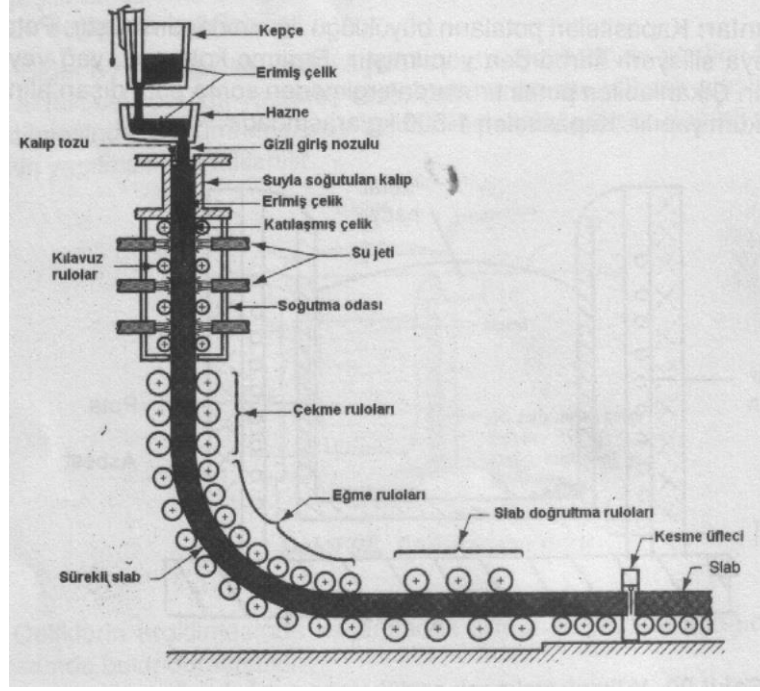
2.4.4.1. Kokil döküm

Üretim fırınından potalara alınan çelik, kokil adı verilen ve kır dökme demirden yapılmış olan kalın cidarlı kaplara dökülür. Çeliğe dökümden sonra yapılacak olan işlemin cinsine göre, kokiller 1-150 ton kapasitededir. Çeliğin kokillere dökülmesi büyük bloklar ve Thomas çeliklerinde “üstten dökme” biçimindedir. Diğer bir döküm işlemi ise, sıvı çeliğin kokil içerisine yolluklar vasıtasıyla “alttan döküm” şeklindedir. Alttan döküm sayesinde, metalik olmayan parçacıklar yukarı çıkar ve pürüzsüz bir döküm elde edilir.

2.4.4.2. Sürekli döküm

Bu işlem için sıvı çelik, tabanı olmayan ve su soğutmalı bir bakır kokil içerisine dökülür. Kokilin alt ucundan katı halde sürekli olarak çıkan çelik haddeleme tertibatı ile devamlı olarak sabit hızda çekilir (Şekil 11). Oluşan kızgın blok soğutulur ve hareketli kesiciler ile belirli uzunluklarda kesilir.

Bu yöntem kokil döküm yöntemine göre daha basittir ve üretim hızı çok yüksektir. Ayrıca blok segregasyonu da önlenmiş olur ve dökümün atıl kısmı azaltılmış olur. Böylece işe yarar ürün miktarı %96'lara kadar çıkar. Sağlanan bu avantajlar sürekli döküm tesislerinin pahalılığının etkisini ortadan kaldırır.



Şekil 11. Sürekli döküm yöntemi

3. DÖKÜM TEKNİĞİ

Metal dökümü, arzu edilen katı şekilleri elde etmek amacıyla metalleri ergitme ve kalıp adı verilen boşluklara dökerek katılaştırma işlemidir. Parçanın şekli kalıbın şekli ile tayin edilir. Döküm metallerin kullanılabilir hale dönüştürülmesinin çeşitli kademelerinde yer alabilir. Cevherden elde edilen metal ve alaşımların ingot adı verilen bloklar halinde dökülmesi, çok girintili ve çıkıntılı parçaların tek işlemle kullanılabilir hale getirilmesi gibi çeşitli formlar elde etmek için dökümden faydalanılabilir.

Yarı mamul ve mamul parçaların üretiminde bazı hallerde yalnızca dökümden faydalanmak yeterli olmasına rağmen, bazı hallerde kaynak, dövme, plastik şekil verme ve talaşlı imalat gibi usullerden de faydalanmak gerekmektedir. İmalatta her usulün yeri ayrıdır. Her usulün üstün olduğu ve tercih edildiği üretim kademeleri mevcuttur. Döküm yoluyla imalatın tercih edilmesini gerektiren hususlar ve dökümün avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

Döküm yoluyla üretimin diğer yöntemlerden üstünlükleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Yöntemin sınırları çok geniş olup, hem çok küçük parçaların, hem de tonlarca ağırlıktaki büyük parçaların üretimine uygun değişik döküm teknikleri bulunmaktadır.
- Çok karmaşık ve içi boş parçaların üretimi mümkündür.
- Bazı malzemeler (örneğin dökme demirler) sadece döküm yöntemiyle üretilebilirler
- Seri üretime uygun ekonomik bir yöntemdir

Döküm yönteminin sınırları ise aşağıda verilmiştir.

- Çok ince kesitlerin elde edilmesi güçtür
- Az sayıda parça üretilmesi için genellikle ekonomik değildir
- Aynı malzemenin plastik şekil verme yöntemleri (örneğin dövme) ile elde edilmiş olanı, dayanım bakımından genelde daha üstündür.

3.1. Dökümde katılaşma

Hemen hemen tüm metal ve alaşımları, bazı seramik ve polimer malzemeler üretimlerinin bir aşamasında sıvıdır. Sıvı, katılaşma sıcaklığının altına soğutulduğunda katılaşır. Malzeme katılaşmış durumda veya ısı işlem ve mekanik işlemler uygulanmış halde kullanılabilir. Katılaşma süreci içerisinde ortaya çıkan yapı, mekanik özellikleri etkiler ve istenilen özellikleri elde etmek için başka işlemlere de ihtiyaç duyulabilir. Özellikle, tane boyutu ve şekli katılaşma ile kontrol edilebilir. Katılaşma, döküm gibi temel pratik uygulama alanına sahip en ekonomik şekil verme metodu olmasından dolayı çok önem taşımaktadır. Katılarda dövme ve benzer işlemlerde şekil verebilmek amacıyla uygulanan yüksek kuvvet ve gerilimlere nazaran sıvı metalin hemen hemen sıfır kayma kuvveti ve oldukça düşük viskozite özelliğine sahip olması ergitmeyi daha uygun kılmaktadır. Eğer dökümün özelliklerini kontrol edebilmek daha kolay olabilseydi, katılaşma da çok daha önemli bir proses olacaktı. Bu sebeplerden ötürü, katılaşmada mikroyapının temeli ve kontrolü, döküm kalitesini artırmada büyük önem taşımaktadır. Dolayısıyla özellikle döküm malzemelerin özelliklerinin kontrol edilebilmesi için katılaşma olayının (kristalleşme) iyi bilinmesi gerekir.

Bir sıvı metalin katılaşması birincil kristalleşme (katılaşma) ve bu sırada oluşan katılaşma içyapısı (döküm içyapısı) birincil içyapı olarak adlandırılır. Döküm parçalarda birincil içyapı parça ömrü boyunca hiç değişmeyeceğinden katılaşma olayının çok iyi kontrol edilmesi zorunludur.

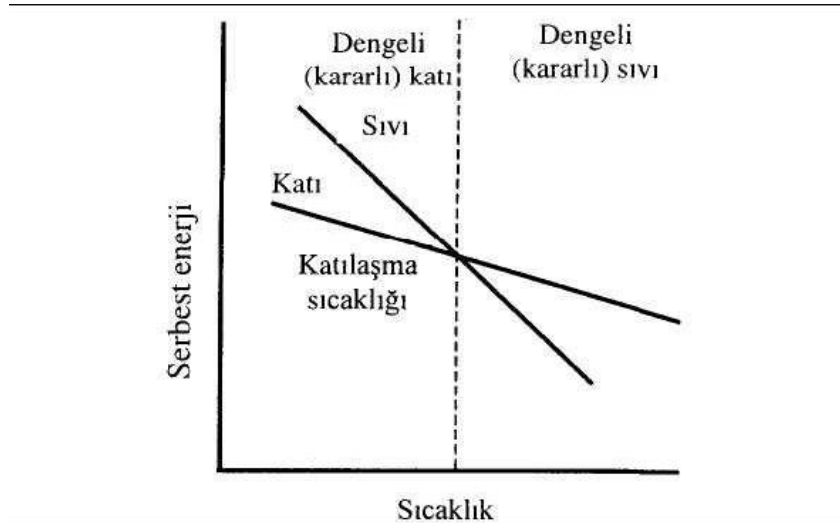
2. Ergime ve Katılaşma

Sıfır Kelvin sıcaklıkta metal atomları kristal kafesleri içerisinde bulundukları yerde hareketsiz olarak dururlar. Isı verilmesiyle gittikçe artan oranlarda bulundukları noktalarda salınımlarında ortalama konumlarını değiştirmeyecek şekilde salınmaya başlar. İki atom birbirinden denge durumuna göre belli ölçülerde uzaklaşacak olursa bunları birbirine yaklaştıran çekim kuvveti artma gösterir. Buna karşılık atomların birbirine yaklaşması durumunda şiddetli bir şekilde itme kuvveti ortaya çıkar. Artan salınım uzaklığı ile atomların uzaklığı denge durumundakine göre gittikçe büyür ve kafes sistemi genişler. Verilen ısı hareket enerjisine dönüşür ve bu da hem sıcaklığın yükselmesine ve hem de hacimsel büyümeye yol açar. Ergime sıcaklığına ulaşılması ile sıcaklık bir süre yükselme göstermez. Ergimenin başlamasıyla birlikte, verilen ısı daha çok atomların düzenli kafes yapısı durumundan, düzensiz olan sıvı fazdaki durumuna; yani salınım yerine belirgin olmayan bir atom hareketinin görüldüğü duruma geçmesine neden olur. Ergime esnasında harcanan ısıya ergime ısısı denir. Bu ısı malzeme içerisinde bir sıcaklık yükselmesine yol açmadığından buna ayrıca dönüşüm ısısı ya da gizli ısı denilmektedir. Bir eksen üzerinde özgül hacim, sıcaklığa bağlı olarak incelenecek olursa, ergime sıcaklığında malzemenin hacminde şiddetli bir büyümenin varlığı dikkati çeker. Ergime ve katılaşma durumunda, dönüşüm sıcaklıklarında sıcaklık - zaman eğrileri (ısıtma eğrileri) dönüşüm ısısı nedeniyle duraklama gösterir. Katılaşmada ergimenin tersi bir davranış gözlenir. Katılaşma sıcaklığına ulaşılmasıyla birlikte atomlar yeniden eski konumlarına ve salınan düzenli kafes yapılarına geri dönerler. Bu arada açığa çıkan dönüşüm ısısı katılaşma ısısı adını alır ve bu ısı ergime için harcanan ısıya eşittir. Burada da ısıtma eğride yine duraklama görülür. Katılaşma, tane çekirdekleri, çekirdekçik adı verilen çok küçük taneciklerden başlar. Tane büyümesi bu çekirdekler etrafında gerçekleşir. Sıvı metal içerisinde istenmeden önceden var olan ya da istenerek sıvıya katılan yabancı atom ve moleküller çekirdekçik görevi üstlenebilirler. Buna örnek olarak kendiliğinden çelik bünyesinde bulunan alümina (Al_2O_3) ve aşılama amacıyla ergiyiğe istenerek katılan Ti ve Ce elementleri gösterilebilir. Çok saf olan ergiyiklerde bile çekirdekçik oluşumu vardır. Soğutma esnasında sıcaklık, katılaşma noktasına ne kadar yaklaşırsa ve atomların ergiyik içerisindeki hareket hızları ne kadar azalırsa, buna bağlı olarak bazı atomlar hemen kristal kafesi oluşturmak üzere grup halinde bir araya gelirler. Ancak bu atomların durumlarını koruyabilmeleri ve tane çekirdeklerine dönüşebilmeleri için sıvı ortamdan ısının çekilmesi ve ortamla çevre arasında sıcaklık gradyanının bulunması gerekir.

Tanelerin büyümesi sırasında yapıda bulunan ve kafese kabul edilmeyen kirlenici elemanlar (inklüzyonlar) tane sınırlarına itilirler ve burada tane sınırı yapısını oluştururlar. Taneler birbirlerine temas edecek duruma gelinceye kadar büyürler. Oluşan tane sınırları oldukça düzensizdir. Tanelerin özellikleri üzerinde, tane sınırlarından çok onların atom dizilişleri rol oynar [4].

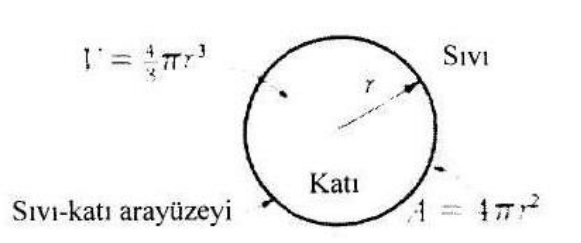
3. Çekirdeklenme

Katılaşma sırasında atomik diziliş, en düzenli kısa mesafeli düzenden uzun mesafeli düzene veya kristal yapıya kadar değişir. Katılaşma iki aşamadan meydana gelir. Bunlar; çekirdeklenme ve büyümedir. Çekirdeklenme, küçük katı parçacıklarının sıvıdan embriyolaşması ile olur. Çekirdek kararlı olmadan önce minimum kritik çapa gelmelidir. Katının büyümesi, atomların sıvıdan oluşan çekirdeklere geçmeleri ile olur ve bu şekildeki büyüme sıvı bitene kadar devam eder. Sıvı, katılaşma sıcaklığının altına soğutulduğu zaman bir malzemenin katılaşması beklenir. Çünkü katının kristal yapısı ile ilgili enerjisi; sıvının enerjisinden daha azdır. Sıcaklık katılaşma noktasından daha da aşağıya düştüğünde, giderek büyüyen enerji farkı katıyı daha dengeli (kararlı) hale getirir (Şekil 1). Katı ve sıvının arasındaki bu enerji farkı serbest hacim enerjisidir (ΔF_v). Buna karşın, katının oluşması için katı ile sıvıyı ayıran bir arayüzeyin oluşturulması gerekmektedir (Şekil 2). Yüzey serbest enerjisi, arayüzey enerjisi σ ile birleşmiştir. Geniş yüzeyler, yüzey serbest enerjisini artırır; büyük bir yüzey alanı daha büyük yüzey enerjisi demektir.



Şekil 12. Saf bir metal için, sıcaklığa karşı hacim serbest enerji değişimi.

Buna karşın, katının oluşması için katı ile sıvıyı ayıran bir arayüzeyin oluşturulması gerekmektedir (Şekil 2). Yüzey serbest enerjisi, arayüzey enerjisi σ ile birleşmiştir. Geniş yüzeyler, yüzey serbest enerjisini artırır; büyük bir yüzey alanı daha büyük yüzey enerjisi demektir.

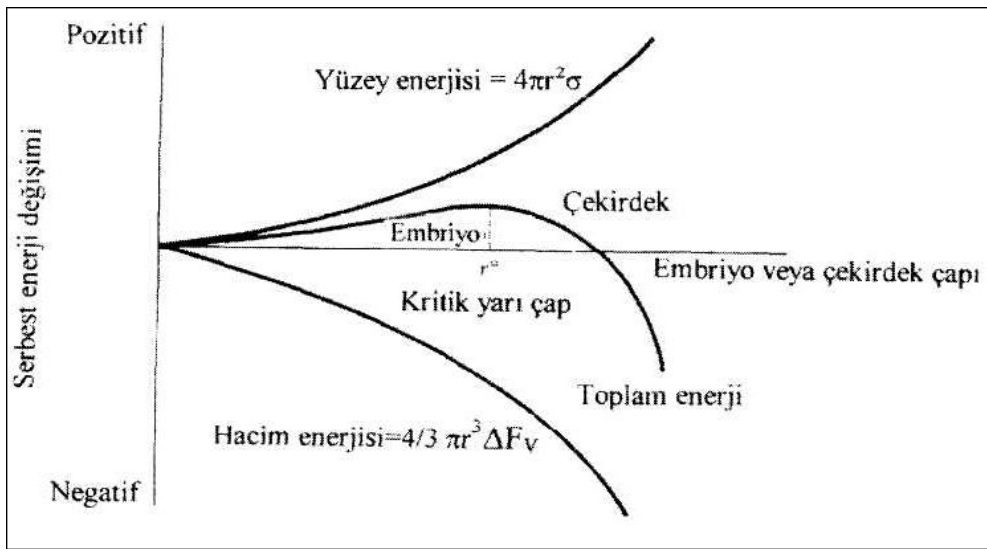


Şekil 13. Sıvıdan katı parçacıkları oluştuğunda arayüzey

Sıvı, katılaşma noktasına soğutulduğunda, sıvı içerisindeki atomlar kümeleşerek katı malzemeye benzeyen küçük bir bölge oluştururlar. Bu küçük katı parçacıkları "embriyo" olarak adlandırılır. Embriyo oluştuğunda, toplam serbest enerji değişimi, hacim serbest enerjisinde azalma ve yüzey serbest enerjisinde ise bir artış gösterir. Böylece toplam serbest enerji,

$$\Delta F = \frac{4}{3} \pi r^3 \Delta F_v + 4 \pi r^2 \sigma \text{ olur.}$$

Burada $\frac{4}{3} \pi r^3$, yarıçapı r olan küresel embriyonun hacmidir. $4 \pi r^2$ küresel embriyonun yüzey alanıdır, σ serbest yüzey enerjisi ve F_v negatif değişen hacim serbest enerjisidir. Serbest enerjideki değişiklik, embriyonun boyutuna bağlıdır (Şekil 3). Embriyo çok küçükse, embriyonun daha fazla büyümesi serbest enerjinin yükselmesine neden olabilecektir.



Şekil 14.Sistemin toplam serbest enerjisinin, katının boyutu ile değişimi[1].

Büyüme yerine embriyo tekrar erir ve serbest enerjinin azalmasına neden olur. Bu yüzden metal sıvı kalır. Sıvı, denge katılaşma sıcaklığının altında bulunduğu için alt soğumuş olacaktır. Gerçek sıvı sıcaklığı ile denge katılaşma sıcaklığı arasındaki fark alt soğumadır. Sıcaklık, denge katılaşma sıcaklığının altında olduğu halde çekirdeklenme henüz oluşmamıştır ve büyüme başlayamaz. Eğer, embriyo kritik çekirdek yarı çapından (r^*) büyükse, embriyonun boyutu arttığında toplam enerji azalır. Oluşan katı karardır ve çekirdeklenme oluşmuştur. Artık çekirdek olarak adlandırılan katı parçasının büyümesi başlar. Çekirdeklenme, ancak yeterli sayıdaki atom kendiliğinden katı üretmek için kümeleştiğinde ve bu katının çapı kritik çaptan büyük olduğunda oluşur. Bu durumda, kritik yarıçap, toplam serbest enerji değişim eğrisi üzerinde maksimum noktaya karşılık gelir. İki önemli çekirdeklenme tipi vardır:

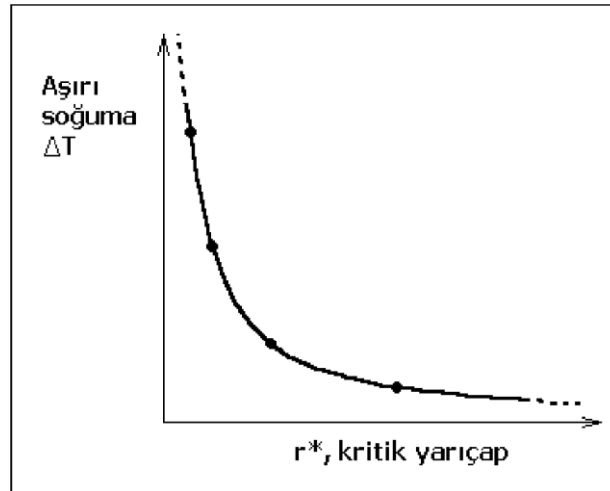
Homojen çekirdekleşme: yeni bir faz homojen (eş dağılımlı) olarak, mevcut faz içinde oluşur. Heterojen çekirdekleşme: yeni faz, mevcut faz içinde heterojen bölgelerde tercihli olarak oluşur.

3.1. Homojen çekirdeklenme

Bu teori 1925’de Volmer-Weber tarafından ileri sürülmüştür. Homojen çekirdek oluşumu sıvının aşırı soğuması ile mümkündür. Homojen çekirdek oluşumu ve bunu takiben katılaşmada iki faz (katı/sıvı) yer alır. Katılaşmada ısı açığa çıkar ve bu ısı uzaklaştırılmalıdır. Buradan katılaşma hızının, sıvının uzaklaştırılması hızı ile orantılı olduğu şeklinde önemli bir gerçek ortaya çıkmaktadır. Bu az ise veya bloke edilmişse aşırı soğuma derecesi ΔT azalmaktadır. Artan soğuma hızları ile aşırı soğuma derecesi artar [2]. Sıvının sıcaklığı denge katılaşma sıcaklığının daha da altına soğutulduğunda, büyük bir ihtimalle atomlar kümeleşerek, kritik yarıçaptan (r^*) daha büyük bir embriyo oluşturacaktır. Buna ilaveten büyük alt soğuma, embriyonun kritik boyutunu geçmesini sağlayacak kadar büyük olduğunda homojen çekirdeklenme olur.

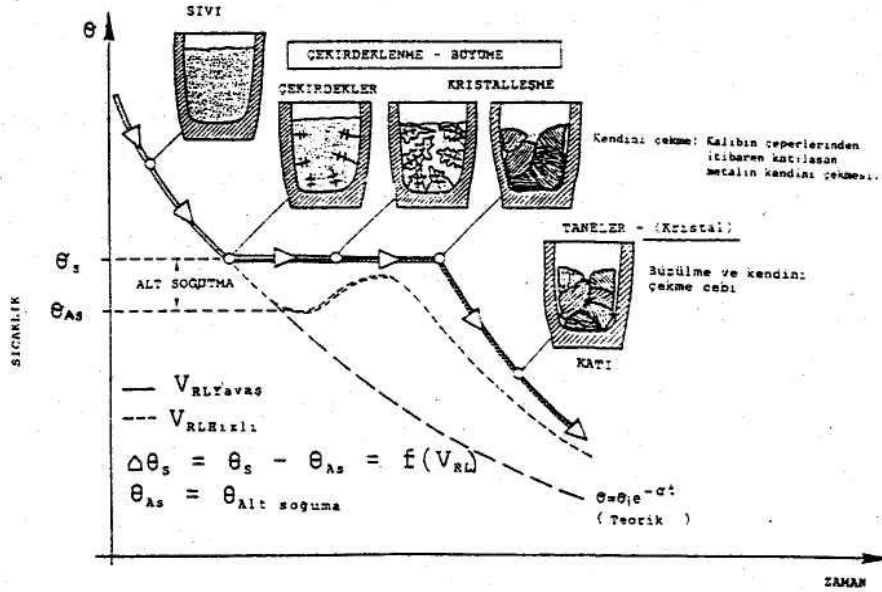
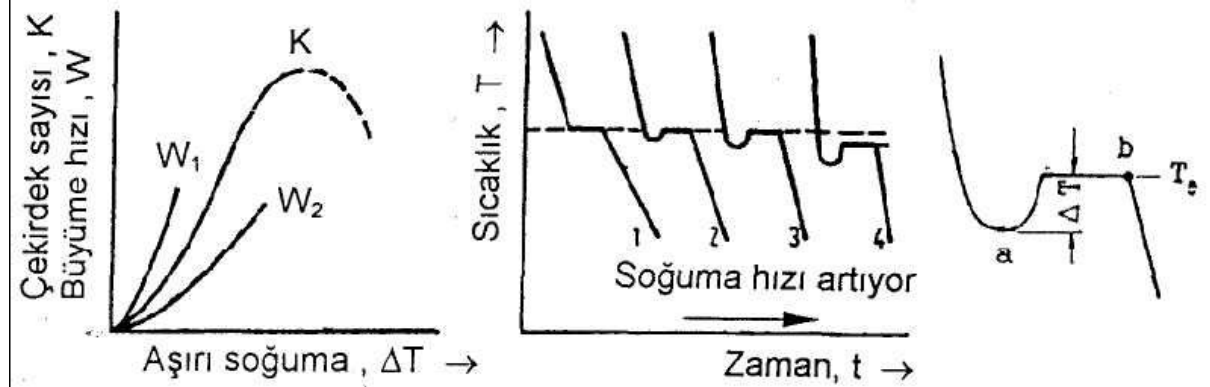
Deneyler, metallerin oldukça yüksek aşırı soğuma derecelerine sahip olduklarını göstermiştir. Metallerin maksimum aşırı soğumasının belirlenmesi için heterojen bir çekirdek oluşum prosesi (örneğin ilavelerle, cidar etkisi gibi) engellenmiş olunmalıdır. Maksimum aşırı soğuma maddenin karakteristik bir noktası olarak gösterilir. Metallerin erime noktaları ile maksimum aşırı soğumaları oranında yaklaşık lineer bir ilişki mevcuttur. İçinde çekirdek görevi yapabilecek parçacıklar (karbür, nitrür, oksit ve diğer katı bileşikler gibi) bulunmayan ideal ve homojen bir eriyikte kararlı çekirdeklenmeye ilişkin aktivasyon enerjisi, eriyiğin kendi enerji içeriğinden karşılanmalıdır. Bu nedenle homojen çekirdek oluşumu (öz çekirdeklenme) için bir ΔT ısı aşırı soğuması gereklidir. Yani eriyik katılaşmaya T_e erime sıcaklığında değil, daha düşük bir $T = T_e - \Delta T$ sıcaklığında başlar.

ΔT ne kadar büyükse, r^* o denli küçüktür, yani aşırı soğuma ne kadar büyükse, gelişme yeteneğine sahip çekirdekler o oranda küçük olabilir. Erime noktasında ΔT sıfıra gittiği için kritik yarıçap sonsuz büyüklükte olur. Bu gidiş aşağıdaki Şekil 4’ de gösterilmiştir.



Şekil 14. Bir sıvının aşırı soğumasına bağlı olarak kritik yarıçapının değişimi

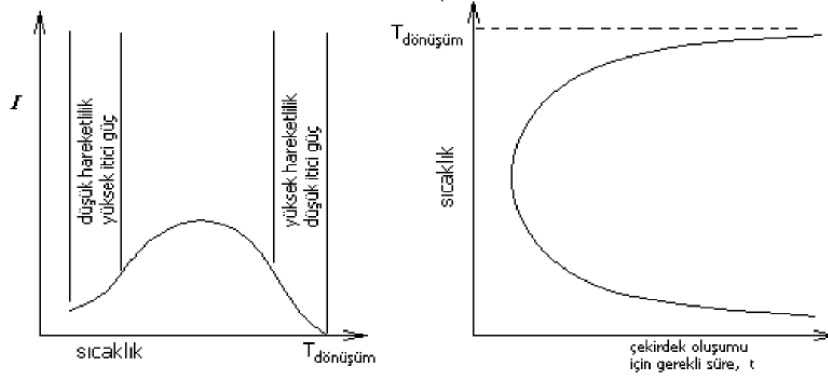
Artan aşırı soğuma (ΔT) ile, birim zamanda oluşan çekirdek sayısı (K) yükselir (Şekil 5.a). Ancak sıcaklığın çok düşmesi halinde atomların hareketleri güçleştiği için, K değerinde düşme görülür. Birincil içyapının tane büyüklüğü, birim zamanda oluşan çekirdek sayısı K ve kristallerin büyüme hızı W 'ye bağlıdır. K ne kadar büyük ise, birincil taneler o kadar ince olarak oluşur. Kristal büyüme hızının (W) çok büyük olması halinde ise ilk oluşan az sayıda çekirdek büyüyerek tüm içyapıyı kaplayacağından daha kaba taneler elde edilir. Şekil 5 a.da W_2 olarak gösterilen büyüme hızına sahip malzemenin içyapısı W_1 'inkine oranla daha küçük tanelidir.



Şekil 16. a) Aşırı soğumanın (ΔT), birim zamanda oluşan çekirdek sayısı (K) ve büyüme hızına etkisi. **b)** Saf metallerde soğuma hızının aşırı soğuma miktarına etkisi.

Teknikte kullanılan döküm alaşımlarında aşırı soğumanın kontrolü ile içyapıdaki tane büyüklüğü büyük ölçüde ayarlanabilir. Hızlı soğuma sırasında (örneğin kokil kalıba döküm)

aşırı soğuma miktarı ve dolayısıyla çekirdek sayısı artar. Daha yavaş soğuyan kum kalıba dökümde ise durum bunun tam tersidir. Ayrıca bir parçanın farklı bölgelerinde farklı soğuma koşullarının bulunması, aynı parça içinde farklı özelliklere sahip iç yapılarının ortaya çıkmasına neden olacaktır. Şekil 5.b'de saf metal eriyiklerinde soğuma hızının aşırı soğumaya (ΔT) olan etkisini özetlemektedir. Eğrinin (a) noktası çekirdek oluşumunun, yani kristalleşmenin başlangıcını temsil etmektedir. Açığa çıkan kristalleşme ısısı nedeniyle sıcaklık, erime sıcaklığına kadar artar. Daha sonra T_e sıcaklığı sabit kalarak katılaşma devam eder ve (b) noktasında sona erer. Çok hızlı bir soğutma sırasında uzaklaştırılan ısı, kristalleşme ısısından daha büyük olabilir. Bu durumda eriyik daha düşük bir sıcaklıkta katılaşır.



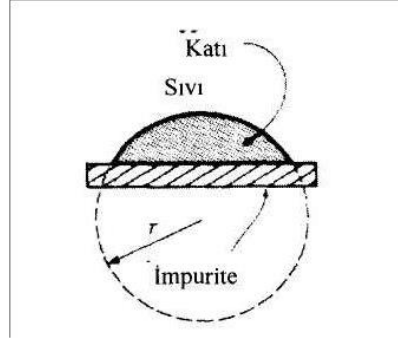
Şekil 17. Çekirdekleşme hızının sıcaklık ile değişimi.

Şekil 6.a' da görüldüğü gibi çekirdekleşme hızı, sıcaklık ile hareketliliğin düşük olmasından dolayı düşüktür. Çekirdekleşme hızını yüksek sıcaklıklarda düşüren etken ise, itici gücün azalmasıdır. Sonuç olarak çekirdekleşme hızları, dönüşüm sıcaklığı ile mutlak 0 arasında pik verir. Bunun bir diğer gösteriliş şekli ise, Şekil 6.b' de gibi TTT diyagramlarına benzer bir şekilde belirli sayıda çekirdek elde etmek için gerekli olan zaman ile sıcaklık arasında çizilen grafiklerdir.

Dengeli ergime sıcaklığı ile çekirdekleşmenin ilk başladığı sıcaklık arasındaki fark olan aşırı soğumanın maksimum olduğu noktada, çekirdekleşme hızı da maksimum seviyeye ulaşır. Çekirdekleşme hızı, çekirdek konsantrasyonu ve çekirdeğe transfer edilen atom hızına bağlıdır. Düşük aşırı soğumalarda çekirdek oluşumu için gerekli enerji bariyeri çok yüksek olduğundan, çekirdekleşme hızı da çok düşüktür. Aşırı soğuma arttıkça, çekirdekleşme hızı önce artar, sonra da azalır. Dengeli ergime sıcaklığının çok altında olan bu azalmanın nedeni, difüzyonun düşük sıcaklıkta azalmasıdır.

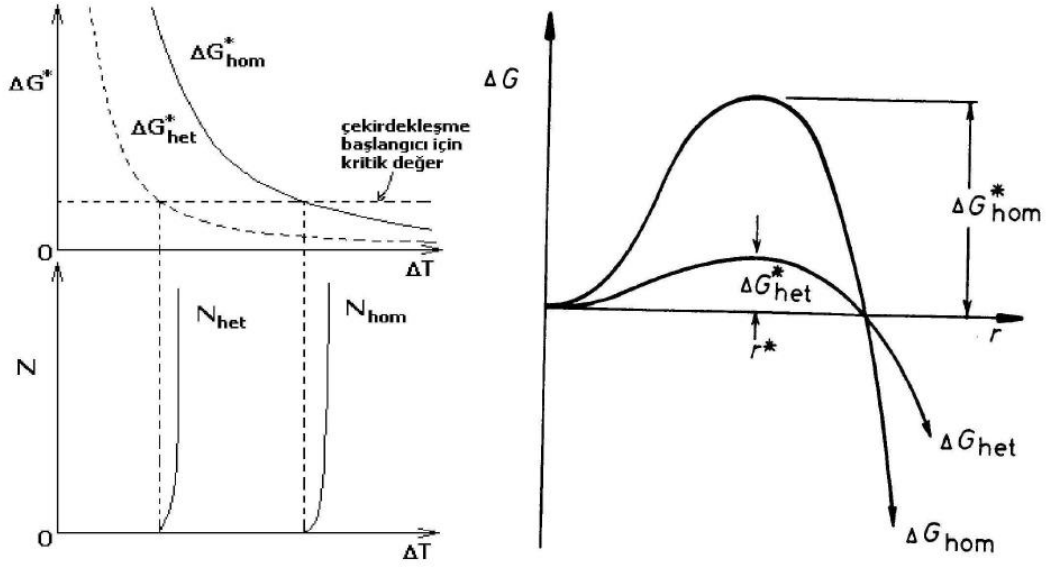
3.2. Heterojen çekirdeklenme

Alışılmamış laboratuvar deneyleri dışında, sıvı metal içinde homojen çekirdeklenme asla olmaz. Sıvı ile temas halinde bulunan kalıp duvarları, yabancı maddeler (impuritelere) veya katı parçacıkları, çekirdeklenme için uygun yüzey sağlayabilirler.



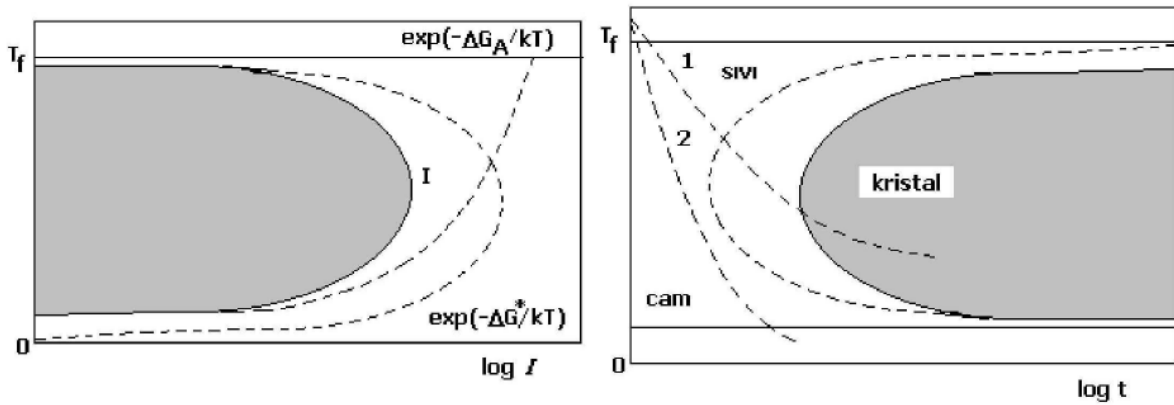
Şekil 18. Heterojen çekirdeklenme için gerekli olan kritik yarıçap

Heterojen çekirdeklenmenin oluşması için çekirdekleyici maddenin sıvı metalle ıslanması gerekir. Aynı zamanda sıvı, çekirdekleyicinin üzerinde kolaylıkla katılaşmalıdır. Ayrıca çekirdeklenmenin çekirdekleyici madde üzerinde meydana gelmesinin nedeni, bu durumda kararlı bir çekirdek oluşturmak için yüzey enerjisinin, homojen çekirdeklenmeden daha düşük olmasıdır. Heterojen çekirdeklenmede yüzey enerjisi daha düşük olduğundan, kararlı bir çekirdek oluşturmak için gerekli toplam serbest enerji değişimi ve çekirdeğin kritik yarıçapı daha düşük olacaktır. Dolayısıyla çok daha küçük alt soğumalar yeterli olacaktır [5]. Sıvı - katı arasındaki çok küçük toplam yüzey alanı artışı ile kritik yarıçaptan daha büyük olan kavis yarı çapına ulaşılmaktadır. Bir katı parçası üretmek için sadece birkaç atom birlikte kümeleşmek zorundadır ki, bu istenilen kavisin yarıçapıdır. Kritik boyuta ulaşmak için, istenilen alt soğuma daha azdır ve böylece çekirdeklenme daha kolay oluşur. İmpuriteler üzerindeki çekirdeklenme, heterojen çekirdeklenme olarak bilinir. Bütün mühendislik metalleri ve alaşımlar, katılaşma esnasında heterojen şekilde çekirdeklenir. Heterojen çekirdeklenmede kristalleşmenin başlayabileceği yabancı yüzeylere örnek vermek gerekirse; · Eriyiğin içinde bulunduğu kabın duvarları (örneğin dökümde kalıp duvarları), · Erime sıcaklığı yüksek olan ve eriyik içinde katı halde bulunan bileşikler (karbürler, nitrürler, oksitler) veya alaşımın diğer bileşenleri, · Aynı veya yabancı türden çekirdeklerin katılaşmadan hemen önce eriyiğe katılması aşılama (örneğin Al-Si alaşımlarında yaklaşık %0,1 Na ile aşılama yapılarak, kum kalıpta daha ince taneli bir iç yapının oluşumu sağlanabilir).



Şekil 19. ΔG^* ve N (çekirdeklenme konsantrasyonu) ΔT ile değişimi.

Özet olarak diyebiliriz ki, aşırı soğumanın (ΔT) artmasıyla ΔG^* küçülür. Malzemenin homojen çekirdeklenmesi için heterojen çekirdeklenmeden daha çok aşırı soğuma gerçekleşmesi gerekir. Pratikte daima minimum enerji harcamak istendiğinden, heterojen çekirdeklenme gerçekleşir. Çekirdeklenme hızı ne kadar küçük olursa, o kadar çok heterojen çekirdeklenme olması beklenir (Şekil 8). Küçük aşırı soğumalarda yavaş olan çekirdeklenme hızı, aşırı soğuma arttıkça yükselir ve maksimum noktaya erişir. Bundan sonra hız sabitlenir ve çekirdek oluşumu başlar. Bu konuma kadar çekirdeklenme hızına ΔG_n (çekirdeklenme için aktivasyon enerjisi) hakimken, belirli bir aşırı soğumadan sonra ΔG_A (difüzyon için gerekli aktivasyon enerjisi) etkin hale gelir. Malzeme çekirdeklenme meydana gelmeden soğutulduğu takdirde, sıvı çekirdeklenmeden katılaşır. Böylelikle camsı yapı oluşur ve buna ‘metalik cam’ denir (Şekil 9).



Şekil 20. Çekirdeklenme hızı ve çekirdeklenme zamanının sıcaklıkla değişimi.

4. Büyüme

Katılaşılan metalde katı çekirdekler oluştuktan sonra bu çekirdek büyüyerek bir kristal haline gelecektir. Her katılaşılan kristalde atomlar esas olarak düzenli bir şekilde dizilmekte, fakat her kristalin yönelmesi farklı olmaktadır. Metalin katılaşması bittikten sonra, farklı yönelimdeki kristaller birbirine bitişerek yönelmenin birkaç atom boyunca değiştiği tane sınırlarını oluştururlar. Katılaşılmış metaldeki kristaller taneler, taneler arasındaki yüzeylerde tane sınırlarıdır. Önce katı çekirdek oluşur. Sıvı içerisindeki atomların katı çekirdek yüzeyine difüz ederek tutunmasıyla büyüme meydana gelir. Saf metallerde, katılaşma sırasında büyüme, sıvının sıvıkatı sisteminden nasıl uzaklaştırıldığına bağlıdır. İki tip ısı uzaklaştırma vardır. Bunlar, sıvının özgül (spesifik) ısısı ve ergime veya gizli ısısıdır. Özgül ısı malzeme birim ağırlığının sıcaklığını 1°C değiştirmek için gerekli olan ısıdır. İlk önce özgül ısı, sıvı katılaşma sıcaklığına soğuyana kadar çevredeki atmosfere radyasyonla veya kuşatan kalıba iletilmekle uzaklaştırılmalıdır. Ergime veya gizli ısısı, düzensiz sıvı yapının daha kararlı kristal yapıya dönüşüm enerjisidir. Bu ısı, katılaşma tamamlanmadan önce sıvı-katı ara yüzeyinden uzaklaştırılmalıdır. Bu yolla uzaklaştırılan gizli ergime ısısı büyüme mekanizmasını ve son yapıyı belirler.

4.1. Düzlemsel büyüme

Bütün kristal büyüme tekniklerinde ısı akışındaki amaç bir denge şekli teşekkül etmiş sıvı katı arayüzeyinde bir sıcaklık gradyanı meydana getirmek ve sonradan bu gradyanı sıvı katı arayüzeyi istenilen bir hızda hareket edecek tarzda değiştirmek veya hareket ettirmektir. Bir çok metalin sıvı eriyiklerinin katılaştırılmasında, büyüme esnasında arayüzeyde denge olduğu kabul edilir. Yani katılaştırma esnasında katı ve sıvı içinde büyük konsantrasyon gradyanları oluşabilir. Fakat arayüzeyden geçişte atomların aktarılmasına karşı sadece ihmal edilebilir bir direnç mevcuttur [6]. İyi aşılınmış sıvının denge (kararlı) durumunda, yavaşça soğuduğu kabul edilsin. Sıvı metalin sıcaklığı, katılaşma sıcaklığından daha yüksektir. Diğer bir deyişle katının sıcaklığı katılaşma sıcaklığında veya altındadır. Katılaşmanın devam etmesi için gizli ergime ısısının sıvı-katı arayüzeyinden kondüksiyonla çevreye doğru uzaklaştırılmasını gerektirmektedir. Herhangi küçük bir şişkinlik, katılaşma sıcaklığının üzerindeki sıvı metal tarafından çevrilen arayüzeyde büyümeye başlar (Şekil 10). Bu şişkinliğin büyümesi, geride kalan arayüzeyle, aynı hizaya gelinceye kadar olur. "Düzlemsel büyüme" olarak bilinen bu büyüme mekanizması, düzgün katı-sıvı arayüzeyinin sıvıya doğru ilerlemesiyle olur.



Şekil 21. Düzlemsel büyümenin oluşumu.

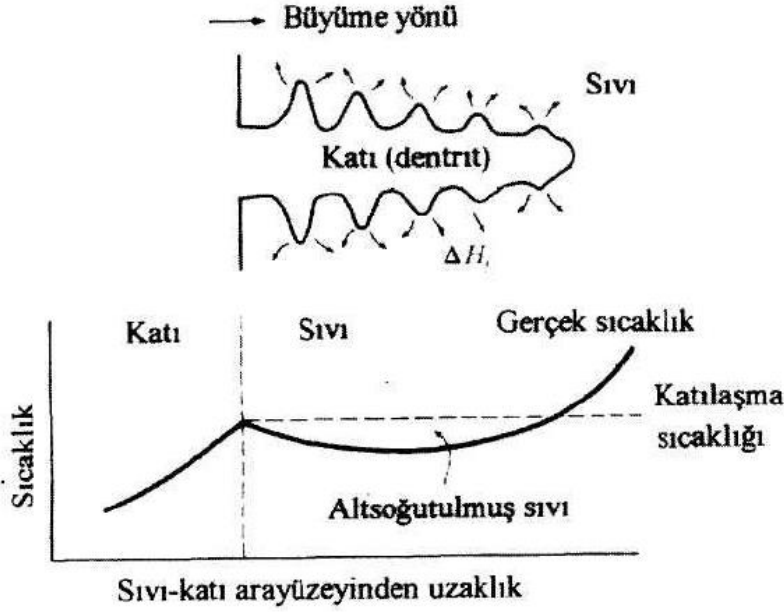
4.2. Dendritik büyüme

Dendrit oluşumu, yapısal aşırı soğuma sonucu kararsız ve düzlemsel olan katı-sıvı arayüzeyinin kırılmasıyla başlar. Bu karmaşıklığın tepe ve çukur noktaları arasında büyüme farklılığı oluştuğunda karmaşıklık artar ve tepe noktaları da çözünen atomları ittikçe, çukur noktalara oranla daha hızlı büyüme gösterirler. Bu nedenle, karmaşıklık artık sinüsoidal değil, kolonsal olma eğilimindedir. Şartlar elverişli olduğu takdirde (katı-sıvı arayüzey enerjisi ve büyüme kinetiğinin anizotropik özellikleri gibi) kristallografik olarak kazanılmış büyüme yönünde büyüme görülebilir. Bir diğer deyişle, ikinci ve diğer dendrit kolları oluşabilir. Ancak yönlenmiş katılaşmada olduğu gibi ısı akışı tek yönde tutulursa, ısı akışına ters yönde büyüyen hücresel yapılar elde edilecektir.

Hücresel katılaşmadan dendritik katılaşmaya geçiş, hücrelerin yan yüzlerinin kararsız hale gelerek yanlara doğru çıkıntılar meydana getirmesiyle olur. Alaşımarda katılaşma ile sıvı içine doğru itilen çözünen madde, hücreler arasında birikir ve hücre aralarını çözünen maddece zenginleşmesine sebep olur. Bu konsantrasyonca farklılıkta yapısal aşırı soğumaya, dolayısıyla ara yüzeylerin kararsız hale gelmesine, ara yüzeylerde katı çıkıntılarının (ikinci kolların) meydana gelmesini yani dendritik katılaşmaya sebep olur. Yüksek katılaştırma hızı çözünen maddelerin hücre ve dendritler arasında yanlara yayılmalarına fazla zaman vermediğinden hücre ve dendritler arasındaki mesafeler küçük olur.

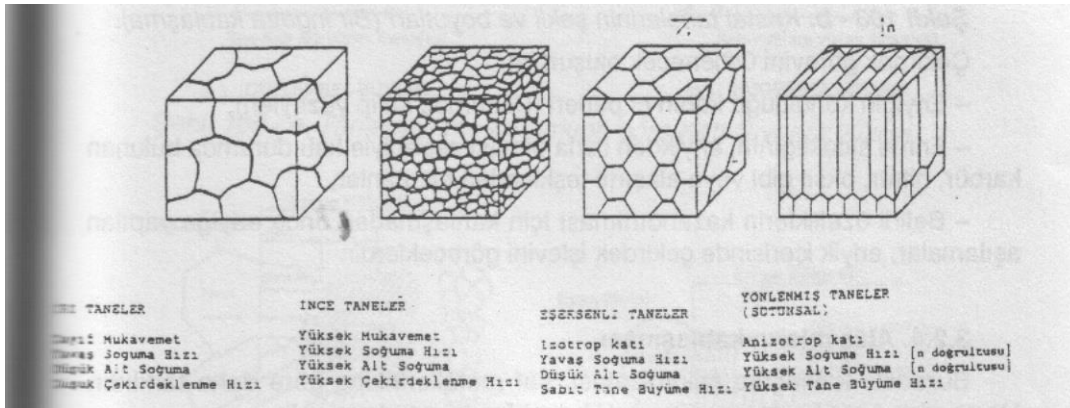
Çekirdeklenme zayıf olduğunda, katı oluşmadan önce, sıvı katılaşma sıcaklığının altında bir sıcaklığa soğur (Şekil 11). Bu şartlar altında, dendrit olarak bilinen ve arayüzeyde oluşan küçük katı şişkinlik, büyümeye devam ederken, ergime ısısı alt soğuyan sıvıya iletir. Sıvının sıcaklığı katılaşma sıcaklığına doğru yükselir. Gizli ergime ısısının dağılım hızına bağlı olarak, birincil dal üzerinde ikincil ve üçüncül dendrit kolları oluşabilir. Dendritik büyüme, altsoğuyan sıvının katılaşma sıcaklığına ulaşmasına (veya ısınmasına) kadar devam eder. Geriye kalan sıvı düzlemsel büyüme ile katılaşır. Düzlemsel ve dendritik büyüme arasındaki farklılık, farklı gizli ısılara sahip sıvı gölcükleri nedeniyle ortaya çıkar. Düzlemsel

büyümede sıvının içinde bulunduğu kap veya kalıp ısıyı emer (absorbe eder). Dendritik büyümede ise alt soğutulmuş sıvı ısıyı absorbe eder.

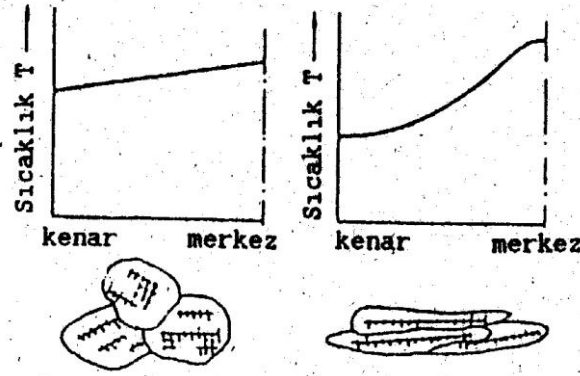


Şekil 22. Dendritik büyümenin oluşumu

Saf metallerde dendritik büyüme, normal olarak toplam büyümenin yalnız küçük bir kısmını temsil eder. Kısmi dendritik büyüme $= f = c\Delta T / \Delta H_f$ (2) Burada; C sıvının özgül ısısıdır. Pay, alt soğutulmuş sıvının emebileceği ısıyı ve paydadaki ergime ısısı katılma sırasında bırakılmak zorunda olan toplam ısıyı temsil eder. ΔT alt soğuma miktarı artarken daha fazla dendritik büyüme meydana gelir [1].

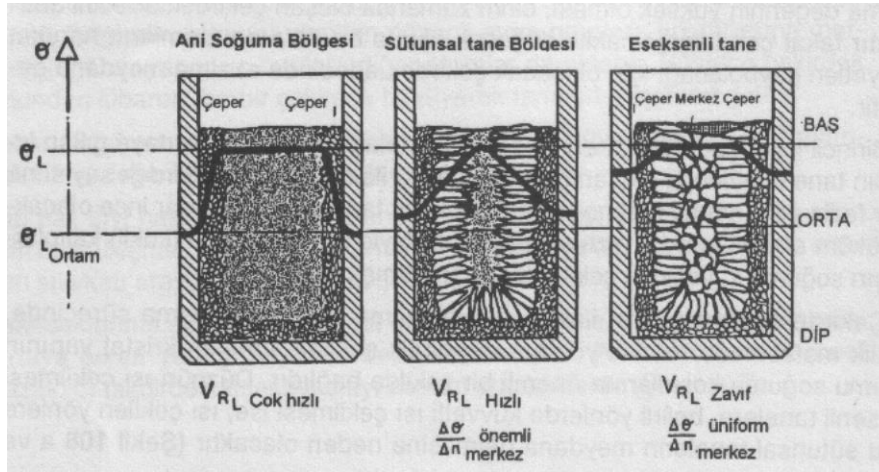


Şekil 23. Kristal tanelerinin şekli



Şekil 24. Soğuma sırasında soğuma gradyeninin tane oluşumuna etkisi

Uygulama: Bir ingotun soğuması



Şekil 25. Bir ingotun değişik bölgelerindeki oluşan birincil içyapılar ve bu yapıların soğuma hızına bağlı olarak değişimi

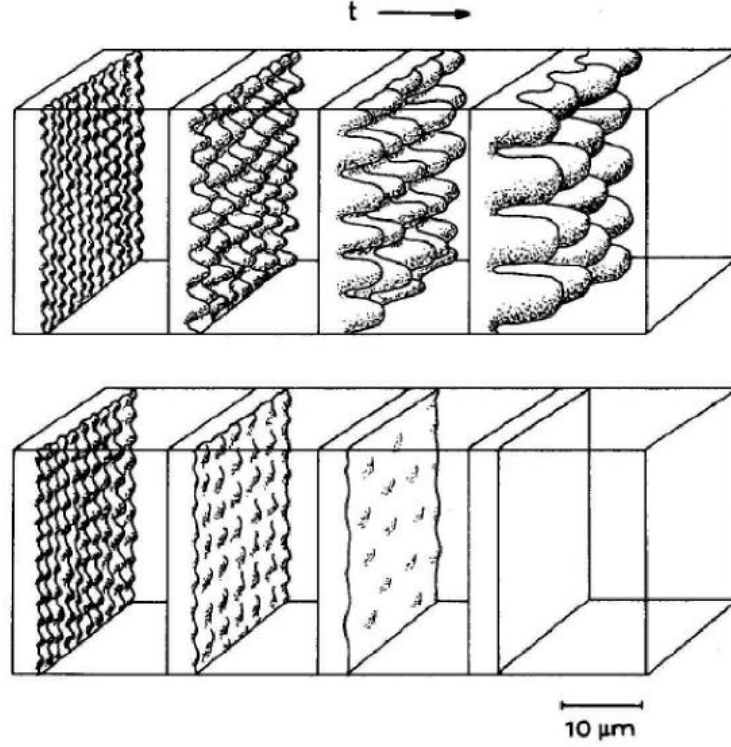
İngotta çekirdek görevini üstlenecek oluşumlar:

- Eriyiğin konulduğu kabın çeperleri (Dökümde kalıp yüzeyleri)
- Ergime sıcaklığının eriyiğin ergime sıcaklığından fazla olan ve bu nedenle katı durumda bulunan karbür, nitrür ve oksit gibi elemanlar
- Belirli özellikler kazandırılması için katılaşmadan önce eriyiğe yapılan aşılama

4.3. Saf Metaller ve Alaşımların Katılaşmasında Büyüme

Saf metallerde soğuma sırasında çekirdek oluşuktan sonra dönüşüm genellikle daha fazla çekirdeşme yerine, bu çekirdeğin büyümesi ile tamamlanır. Şekil 12' de şematik olarak saf maddenin büyüme şekilleri görülmektedir.

Kararlı arayüzelerde gradyan ($G = dT / dx$) pozitif olduğu sürece, ki bu çok özel ve yönlendirilmiş katılaşma şartları ile elde edilebilir, büyüme düzlemsel devam edecektir (Şekil 12.b). Burada, sıvıdaki sıcaklık gradyanı artarken, katıdaki sıcaklık gradyanı düşmektedir. Isı akışı gradyan ile orantılı olduğundan, tepe noktalara daha fazla ısı akarken çukurdaki katıya ise daha az ısı ulaşır (Şekil 12). Sonuç olarak, tepe noktaları erirken, arayüzey düzlemsel olarak büyür.



Şekil 26. Kararsız (a) ve kararlı (b) arayüzeyin değişim morfolojisi.

Sıvı içinde başlayan çekirdekleşme ile birlikte eş eksenli olarak katılaşan metal, gizli erime ısısını sıvı metal içerisinden iletmediğinden, katıdaki sıcaklık gradienti sıfır olur ve tepe noktaların önünde negatif gradient oluşur. Dolayısıyla tepe noktalarda daha çok ısı uzaklaştırılır yani ısı akışı artar. Sonuç olarak, tepe noktasında kararsız ve hızlı bir büyüme, diğer bir deyişle dendritik morfoloji gözlenir.

5. Katılaşma Zamanı

Katılaşma sırasında oluşan katı büyüme hızı soğuma veya ısı atma hızına bağlıdır. Yüksek soğuma hızı, hızlı katılaşma veya kısa katılaşma zamanına neden olur. Basit bir dökümün tamamen katılaşması için gerekli olan zaman Chvorinov kuralı uygulanarak hesaplanabilir.

$$t_s = B (V/A)^2$$

Burada t_s dökümün katılaşması için gerekli olan zaman, V dökümün hacmi, A kalıp ile temas

eden dökümün yüzey alanı ve B kalıp sabitidir. Kalıp sabiti metal ve kalıbın başlangıç sıcaklıklarına ve özelliklerine bağlıdır. Kısa bir katılaşma zamanı, hemen hemen her zaman küçük bir tane boyutu ve daha dayanıklı bir döküm oluşturur.

Katılaşma zamanı büyüyen dentritlerin boyutlarındaki etkiler. Normal olarak dentrit büyüklüğü, ikincil dentrit kolları arasındaki aralık ölçülerek tanımlanır. İkincil dentrit kolları arasındaki aralık döküm hızlı katılaştığında azalır. Çünkü ısı transferi için daha az zaman bulunduğundan, ergime ısısının atılması ile ilave dentrit kolları ortaya çıkar ve büyür. Daha ince ve yoğun dentritik şebeke, ergime gizli ısısının altsoğuyan sıvıya daha fazla iletilmesini sağlar.

3.1.3. Katılaşmaya bağlı olaylar

3.1.3.1. Mikrosegregasyon

Alaşımın katılaşması sırasında bileşim farklılıklarının ortaya çıkmasının bir diğer sonucu da, katılaşan taneler içinde çekirdekten dışarı doğru derişikliğinin değişmesidir. Bu olaya *mikrosegregasyon (kristal segregasyonu)*, ortaya çıkan içyapıya da *tabakalı katı çözelti* denir.

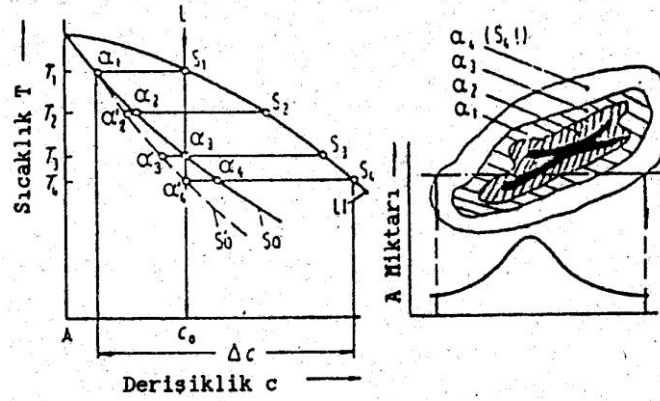
Aşağıdaki şekilde verilen L alaşımı, sıvı durumdan soğutulurken T_1 sıcaklığında bileşimleri α_1 olan ilk katı çözelti kristalleri oluşur. T_2 sıcaklığında ise faz diyagramına göre o anda katılaşanlar ile daha önce ayrılmış katı çözeltilerin tümünün ortalama bileşimi α_2 olmalıdır. Bunun gerçekleşmesi için önceden ayrılmış α_1 'in belirli bir miktar B-atomunu bileşimine alması zorunludur. Ancak soğuma hızlı olduğundan ve yayınma için gerekli zaman bulunmadığından bu kütle transferi genellikle gerçekleşemez. Yani ilk ayrılan α_1 katı çözeltileri, α_2 bileşimine ulaşamazlar. T_2 sıcaklığında oluşan α_2 katı çözeltisi kristalleri, α_1 çekirdeklerinin çevresine tabakalar halinde yerleşirler. Böylece tüm katı çözeltinin ortalama bileşimi α_2' civarında olur. Katılaşma olayının bitmesi gereken T_3 sıcaklığında da ortalama bileşim α_3 değil, α_3' değerindedir, yani kaldıraç kuralına göre geriye bir miktar S_3 eriyiğinin kalması gerekir. Bu nedenle eriyik katılaşmaya devam eder ve solidüs sıcaklığın altındaki sıcaklıklara ulaşılır (solidüs sürüklenmesi). Son olarak tanelere T_4 sıcaklığında α_4 katı çözeltisi tabakaları eklenir, bu tabakanın B-atomu derişikliği başlangıçtaki eriyiğinkinden daha yüksektir. Bu şekilde tanelerin ortalama bileşimi ilk eriyiğin derişikliğine ulaşır ($\alpha_4' = c_0$).

Katılaşma aralığı olan her alaşımın döküm yapısında görülen ve mikrosegregasyon veya tabakalı katılaşma olarak adlandırılan bu olay, istenmeyen özellik değişimlerine neden olur.

Mikrosegregasyon olayı.

- Katılaşma aralığı ne kadar büyük,
- Soğuma hızı ne kadar yüksek,
- Olaya katılan elemanların yayınma katsayıları ne kadar küçük ise,

o kadar belirgin olarak ortaya çıkar. Bu olayın olumsuz etkilerini gidermek için solidüs sıcaklığının hemen altında bir *homojenleştirme tavı* uygulanabilir.



Şekil 19. İki bileşenli alaşımlarda mikrosegregasyon oluşumu

3.1.3. 2. Katılaşma sırasında oluşan hacim azalmaları (büzülme) ve sonuçları

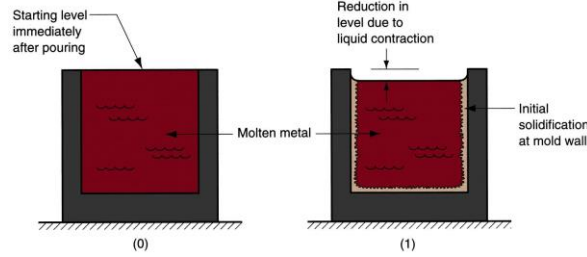
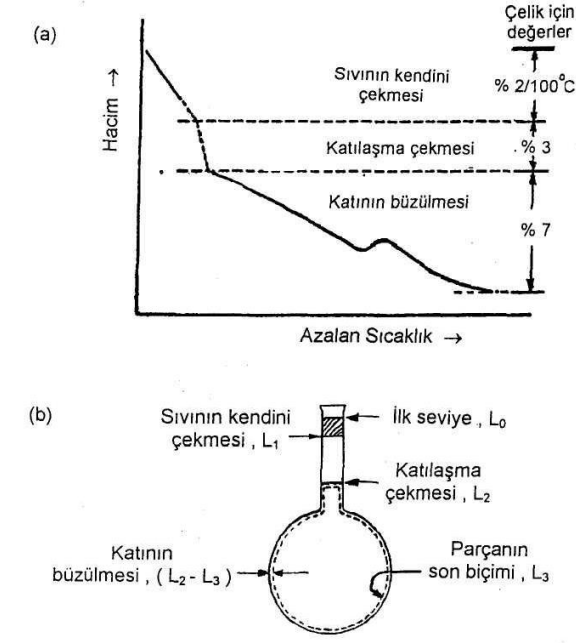
Katılaşma ve soğuma sırasında bazı özel durumların dışında metallerde daima hacim azalmaları söz konusudur. Hacim azalmaları üç safhada oluşur:

- Sıvının kendini çekmesi:** Döküm sıcaklığından itibaren katılaşmanın başlayacağı sıcaklığa kadar soğuma sırasındaki hacim azalmasıdır.
- Katılaşma çekmesi:** Sıvı/katı dönüşümü sırasında atomların yeniden düzenlenmesi ile ortaya çıkan hacim azalmasıdır.
- Katının büzülmesi:** Katılaşmış parçanın oda sıcaklığına kadar soğuması sırasındaki hacim azalmasıdır.

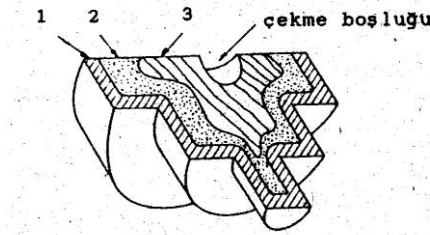
Sıvının kendini çekmesi ve katılaşma çekmesi nedeniyle döküm boşlukları, gözenekler, sıcak yırtılmalar ve iç gerilmeler ortaya çıkabilir. Katının büzülmesi ise boyut değişimlerine, çarpılmalara, çatlaklara ve iç gerilmelere neden olabilir.

Aslında sıvı durumundaki hacimsel azalma temel olarak atomların yeniden düzenlenmesi ile ilişkilidir. Olay, düzensiz atomların kristalin yapıdaki konumlarına yerleşme çabası durumudur. Dolayısıyla en büyük çekilme boşluğu değeri yoğun sıkı paket düzlemine sahip malzemelerde yani YMK metallerde gözlenir. $YMK > HMK > HSP$. Bi, Ce ve Si ile aksi bir davranış ile katılaşma sırasında genişleme özelliği gösterirler. Ama bu tip malzemeler arasında en önemlisi dökme demirdir. Karbon oranı %3.6'nın üzerinde olan grafitik dökmedemirler benzer özellik sergilerler. Bunun temel nedeni düşük yoğunluklu grafit fazının çökmesidir. Grafit yerine karbür şeklinde çöken Fe_3C fazının oluşması durumunda (beyaz dökmedemir) ise besleyici ihtiyacı olacaktır.

Kalıp içine dökülmüş metalin katılaşması, önce ısının hızla uzaklaştırıldığı cidarlarda katı bir kabuğun oluşumu ile başlar ve bu kabuğun kalınlaşması ile devam eder. En son katılaşan bölgede ise hacim azalmaları nedeniyle bir çekme boşluğu oluşur. Hacim azalması az ve son katılaşma bölgesi iç kısımda ise, boşluk yerine sıcak yırtılma veya iç gerilmeler meydana gelebilir.



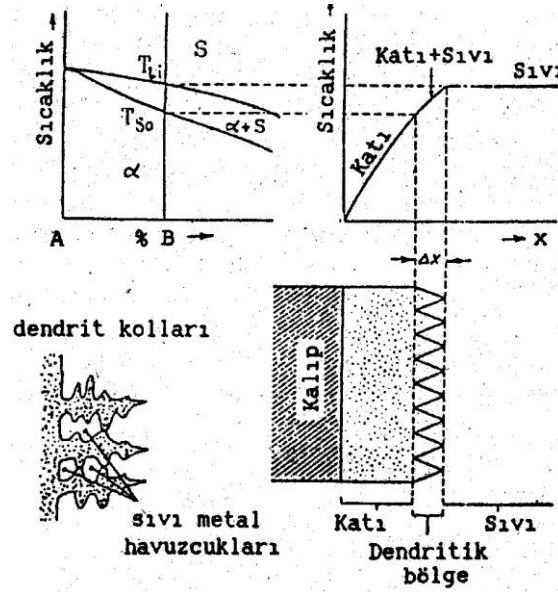
Şekil 20. (a) Katılaşma sırasında hacim değişimleri, (b) Çekme ve büzülme olaylarının şematik gösterilişi



Şekil 21. Katılaşma sırasında çekme boşluğu oluşumu

Alaşımlarda ise sıvı/katı dönüşümü T_{li} ile T_{so} arasındaki sıcaklık aralığında gerçekleştiğinden, katılaşma cephesinde sıvı ve katı fazların birlikte görüldüğü bir katılaşma aralığı (Δx) söz konusudur. Kristal büyümesi dendritik ise katılaşan dendrit kolları arasında küçük sıvı metal havuzcukları hapsolacak ve daha sonra bu bölgelerde katılaşma sırasında hacim azalması nedeniyle mikrogözenekler ortaya çıkacaktır. Mikrogözeneklerin miktarı katılaşma cephesinin genişlemesiyle artar. Sıvı ile katının birlikte bulunduğu bu bölgenin dar olması için

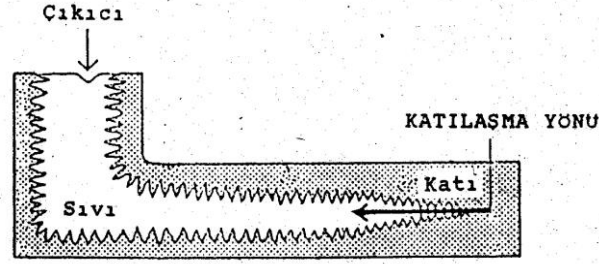
- a) Katılma aralığı dar olmalıdır (Döküm alaşımları için ötektik sistemi meydana getirenler tercih edilmelidir.
- b) Soğuma hızlı olmalıdır.



Şekil 22. Alaşımlarda katılma cephesi

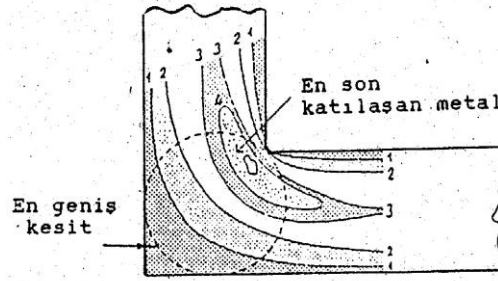
3.1.3.3. Döküm kalıpları içindeki katılma

Kalıp içine doldurulan sıvı metalin tümü birden bire katılaşmaz. Katılmanın hangi bölge veya bölgelerde başlayıp, nasıl ilerleyeceği çekme boşluklarının oluşumunu belirler. Katılma, öncelikle soğumanın hızlı olduğu ince kesitlerde başlar ve bu sırada oluşan hacim azalmaları nedeniyle o ana kadar katılaşmamış olan kalın kesitlerdeki sıvı bu bölgeleri besler. İyi tasarlanmış bir kalıpta, katılma kalın kesitlerin ince kesitleri beslemesiyle kademeli olarak ilerlemeli ve son katılan bölgelerin dışa açık olan yolluk ve çıkıcılarda kalması sağlanmalıdır. Böylece çekme boşluğu ve diğer kusurların parça içinde oluşması önlenir. Yani metal döküldükten sonra, en soğuk metalin kalıbın en uzak bölgesinde, en sıcak metalin ise yolluk ve çıkıcılarda bulunması amaçlanmalıdır. Döküm kalıplar için çok önemli olan bu tasarım prensibi katılmanın yönlendirilmesi olarak adlandırılır. Bu kuralın gerçekleştirilmesinin mümkün olmadığı durumlarda, katılmanın istene bölgelerde başlaması için *soğutma plakalarından*, çekme oluşabilecek yerlerin sıvı metal ile beslenebilmesi için *çıkıcı ve besleyicilerden* yararlanılır.



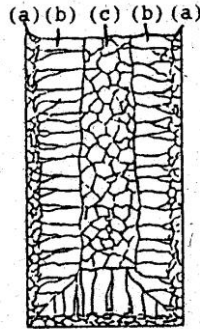
Şekil 23. Yönlenmiş katılaşma

Katılaşmada en sorunlu bölgelerden biri de köşelerdir. Birleşme noktasındaki kesit, genellikle birleşen kesitlerden büyük olduğundan, bu bölgeler en son olarak katılaşır ve iç kısımlarında çekme boşlukları oluşabilir. Dolayısıyla bu bölgelerde ya kesit inceltilmeli, ya da soğutma plakaları yardımıyla buralarda soğuma hızlandırılarak katılaşmanın köşelerden başlaması ve kollara doğru devam etmesi sağlanmalıdır.



Şekil 24. Köşelerde katılaşma

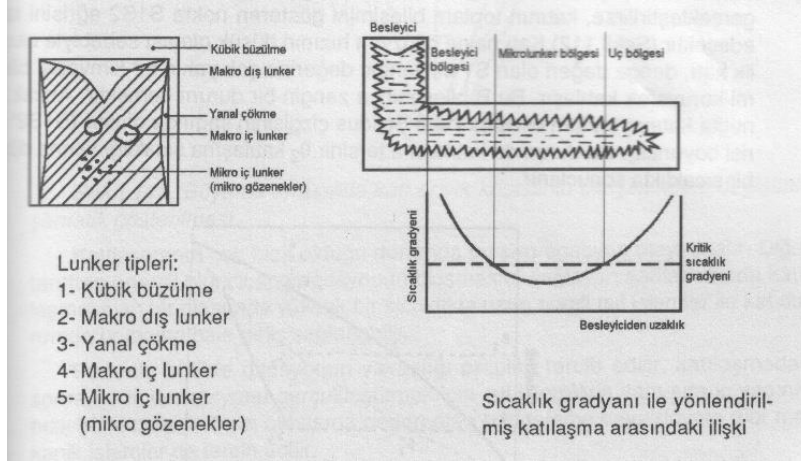
Döküm malzemelerinin iç yapısı da, katılaşmadaki soğuma koşulları ile belirlenir. Burada üç ayrı bölge söz konusudur. Kalıp cidarlarında ani soğuma (chill) etkisi ile kalıpta önce küçük ve eş eksenli tanelerden oluşan bir kabuk, bunu izleyen bölgede sıcaklık gradyeninin etkisiyle uzun çubuksu taneler, orta kısımda ise soğuma her taraftan olduğundan, tekrar eş eksenli taneler görülür.



Şekil 25. Kalıp içinde katılaşmada tane biçimlerinin farklı olduğu bölgeler. a) Hızlı soğuma etkisiyle oluşan küçük ve eş eksenli tanelerin bulunduğu kabuk, b) Sıcaklık gradyeni etkisiyle oluşan uzun çubuk taneler, c) Soğumanın her taraftan olmasıyla ortaya çıkan eş eksenli taneler

3.1.3.4. Lunker oluşumu

Lunker oluşumunda temel neden, katılaşma sırasında hacim değişimidir. Bizmut hariç tüm metal ve alaşımlarda bu hacim değişimi söz konusudur. İngot heterojen bir şekilde soğumaktadır. Isı, yan cepherler ve iç kısımlar tarafından çok hızlı bir şekilde çekilmektedir; bunun sonucu olarak sıvı ingot kalıbı içinde çökme eğilimi kazanmakta, gittikçe katılaşma ilerlemekte ve bunun yanı sıra üst kısımda yüzeyden itibaren bir çökme ortaya çıkmaktadır. Bu çökme katılaşmanın sonunda “*lunker*” dediğimiz içi gaz dolu bir çukur ortaya çıkmaktadır. Yüzeye yakın olma durumunda lunker dışarıdan görülebilir ve buna “*dış lunker*” denir. Lunker, yüzeyde metal katılaşması nedeniyle dışarıdan görünmeyebilir (Şekil 24).



Şekil 26. Lunker oluşumu

Lunker oluşumunu önlemek için pek çok çare önerilmektedir. Bunlardan en önemlileri:

- Sürekli besleme, yani katılaşma sırasında ingotu beslemek,
- Katılaşma sırasında, üst kısmın sıcak bir döküm başı pozisyonunda kalabilmesi için, ingotun kafa kısmını sıcak tutmak.

3.1. Döküm ve kalıplama yöntemleri

3.1. 1. Modeller

Modeller; kalıplama sırasında dökülecek sıvı metalin doldurulacağı boşluğu elde etmek için kullanılırlar. Modeller; *ağaçtan, polyesterden, çelikten, alüminyum veya seramik* malzemelerden yapılabilir. Üretilecek parçaların birebir ölçekli kopyaları olan modellerin biçim ve boyutlarının belirlenmesinde katılaşma sonrasında parçanın kendini çekmesi (büzülme), işleme payları ve modelin kalıptan sıyrılmasını kolaylaştıracak eğimler ve maça yuvalarının da düşünülmesi gerekmektedir.

Modeller çoğu zaman iki veya daha çok parçalı olarak yapılır. Model yapılırken dökülecek parçanın çekme payı dikkate alınarak esas parça ölçüsünden daha büyük yapılır.

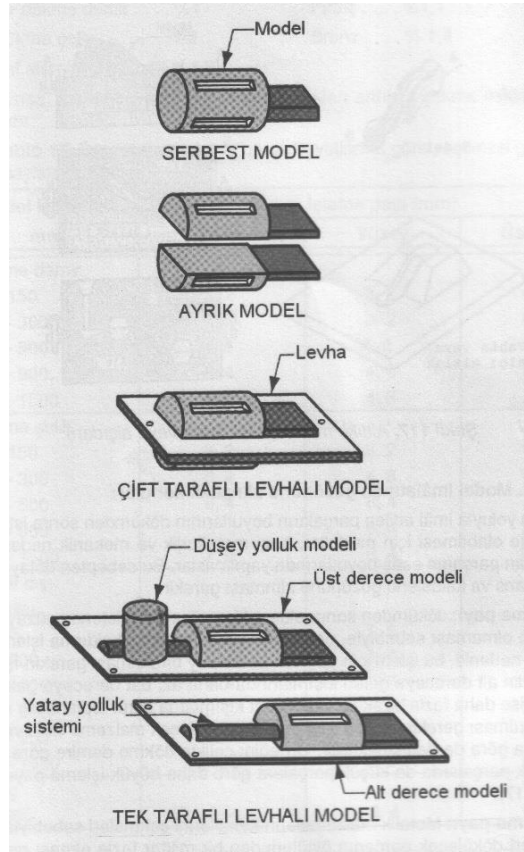
Metal dökümünde kullanılan modeller;

- a) Serbest modeller,

- b) Levhalı modeller,
- c) Altlıklı modeller

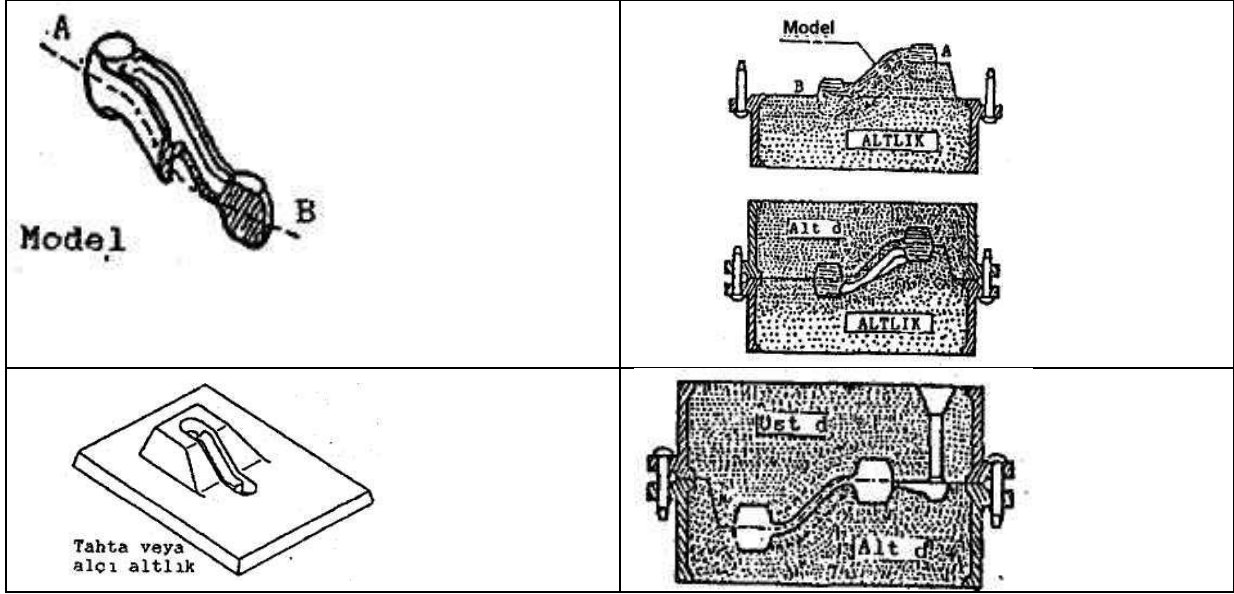
a) Serbest modeller: Serbest modeller, üretilecek döküm parçasının birebir kopyası olup ucuz, basit ve en yaygın olarak kullanılan model türüdür. Boyutlandırmada çekme ve işleme payları dikkate alınır. Bu kalıplar genellikle ahşaptan yapılırlar, ancak metal, plastik, alçı, mum veya diğer uygun malzemeler de kullanılır. Kalıplama çoğunlukla elle yapılır ve bu nedenle yöntem yavaş ve pahalıdır. Tek veya iki parçalı olarak yapılabilir.

b) Levhalı modeller: Kalıplama makinelerinin kullanıldığı durumlarda ve özellikle çok sayıda küçük parçaların üretiminde, çift taraflı levhalı modellerden yararlanılır. Modelin üst ve alt dereceye ait kısımları, bölüm yüzeyini oluşturan ahşap veya metal bir levhanın alt ve üst yüzeylerine monte edilir. Çoğunlukla metalik olan bu modeller kum veya alçı kalıba döküm yöntemiyle tek parça olarak üretilirler. Düşey ve yatay yolluklar ile mümkünse çıkıcılar da levhalı model üzerine yerleştirilir.



Şekil 27. Serbest modeller ile çift taraflı ve tek taraflı levhalı modeller

(c) Altlıklı modeller: Modellerin ayırma yüzeyleri düzgün olmadığı taktirde, modele düz bir altlık ilave edilerek altlık tipi modeller yapılır.



Şekil 28. Altılıklı model (Altılık tahta veya alçıdan)

3.1.1.1. Model tasarımı

Model yapımcıları üretecekleri modellerin teknik resimlerini yorumlayacak beceriye sahip olmalı, bitmiş modeli önceden gözünde canlandırabilmeli ve üretimde kullanacağı ahşap, metal, plastik v.b. malzemeleri biçimlendirebilmek için kullanılan yöntemlere hakim olmalıdır. Verilen parça biçim ve boyutları ile maça yuvaları düşünülerek önce modelin birebir ölçekli bir planı yapılır ve burada çekme ve işleme payları da eklenerek elde edilen boyutlar üretilecek modele aktarılır. Ayrıca, modelin bölüm yüzeyine dik yüzeylerinin kalıptan sıyrılabilmesi için gerekli eğimler de verilir.

- Çekme payı:** Model boyutlarına çekme payı eklenmesindeki amaç, metalin kalıp içerisindeki katılaşması bittikten sonra oda sıcaklığına kadar soğuması, yani katının kendini çekmesi sırasında boyut değişimlerinin dikkate almaktır. Dolayısıyla model, dökülecek parçanın çekme payı kadar büyük yapılmalıdır. Çekme payının sayısal değeri parçanın biçimi, metalin türü, döküm sıcaklığı ve kalıbın döküm parçasının büzülmesine karşı gösterdiği dirence göre seçilmelidir. Modelciler, çekme paylarını model boyutlarına eklemek için “çekme payı cetvellerinden” yararlanırlar.
- İşleme payı:** Eğer dökümden sonra parçanın bazı yüzeyleri işlenecekse, bu yüzeylerde yeterli bir işleme payının bırakılması gerekir. Bu pay, kullanılacak metale, parçanın biçimine, büyüklüğüne, çarpılma eğilimine, işleme yöntemi ve uygulamasına bağlıdır. Mümkünse işlenecek yüzeyle kalıbın alt yüzeyine getirilmelidir. Çünkü, cüruf, oksitler ve diğer katışkılar dökümde üst kısımda biriktiğinden döküm parçalarının alt kısımlarındaki yüzeyler daha temiz çıkar.
- Eğim ve köşe yuvarlatmaları:** Modellerin kalıptan sıyrılması sırasında kalıbın bölüm yüzeylerine dik kısımlarının bozulmaması için bu yüzeylere yeterli eğim verilmesi gerekir. Makine ile sıyrılan modellerde bu eğim daha küçük seçilir. Model

üzerindeki köşeler keskin olmamalı, uygun şekilde yuvarlatılmalı ve buralarda kendini çekme çatlakları ile gerilme yığılmalarının oluşması önlenmelidir.

3.1.1.2. Model malzemeleri

Malzeme olarak *ağşap, metal, alçı, plastik, köpük v.b.* malzemeler kullanılır. Model malzemelerinin seçiminde aşağıdaki kriterler göz önüne alınmalıdır.

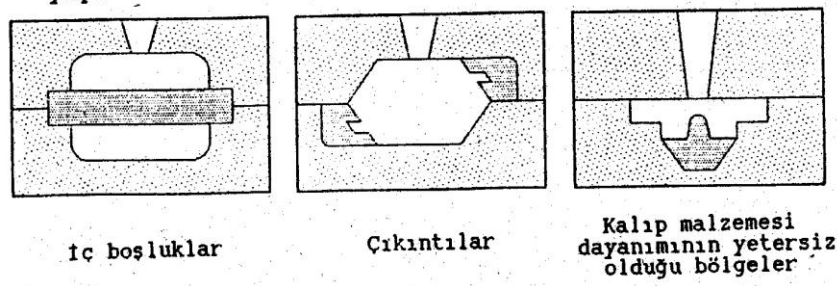
- Üretilecek parça sayısı,
- İstenilen boyut hassasiyeti,
- Uygulanacak kalıplama yöntemi,
- Parçanın boyut ve biçimi,
- Modelde düzeltme yapılıp yapılmayacağı.

En uygun olarak kullanılacak malzeme ağşaptır. Bunun nedeni ucuz, hafif ve kolay şekillendirilebilir olmalarıdır. Metal modeller ömür bakımından ağşaba göre çok daha üstündür. Yüzeyleri çok düzgün olan plastik malzemelerden yapılmış modeller tahta modellerden daha dayanıklıdır. Bunlar kalıplardan kolay sıyrılırlar, aşınmaya ve çizilmeye karşı daha dayanıklıdır ve hasara uğradıklarında tamir edilmeleri kolaydır. Plastik esaslı diğer bir model türü de dolu kalıba döküm yönteminde kullanılan köpük modellerdir. Bunlar dökümden önce kalıptan çıkarılmazlar ve erimiş metalle temasa geçtiklerinde gaz haline geçerek kalıbı terk ederler. Hassas döküm tekniğinde genellikle mum modeller kullanılır. Bu modeller, hazırlanan kalıbın ısıtılmasıyla eriyerek kalıbı terk ederler. Alçı modellerin üstünlüğü kolay şekillendirilebilir olmalarıdır. Dayanımlarının yetersiz kalması halinde katkı maddeleriyle takviye edilebilirler.

3.1.2. Maçalar

Döküm parçaların iç boşluklarını veya modelin kumdan sıyrılması sırasında bozulabilecek kalıp kısımlarını oluşturmak için kullanılan kalıp elemanları maça olarak adlandırılır. Bazı karmaşık parçalarda kalıpların tümüyle maçalardan yapılması da gerekebilir (maça kalıplar). Maça malzemeleri genellikle kum esaslı karışımlardır, ancak seramik, metal v.b. malzemelerden yapılmış maçalar da kullanılabilir. Aşağıdaki şekilde maçaların bazı kullanım yerlerine örnekler verilmiştir. Bir maçadan istenilen özellikler şunlardır:

- Maçalara, genellikle tümüyle sıvı metal içinde kaldığından yüksek sıcaklık dayanımları ve metal erozyonuna karşı dayanıklılıkları yeterli düzeyde olmalıdır.
- Döküm sonrası kolay dağılmalıdır. Bu özellik döküm sonrası temizleme işlemlerinin kolay ve ekonomik yapılabilmesi için gereklidir.
- Döküm sonrası soğuyan parçanın serbestçe büzülebilmesi ve sıcak yırtılmanın olmaması için maçaların sıkıştırılabilir veya dağılabilir olması gereklidir.
- Gaz geçirgenliği yeterli olmalı ve döküm sırasında mümkün olduğu kadar az gaz oluşturmalıdır,
- Çabuk pişmeli ve bu sırada biçimleri bozulmamalıdır,
- Yüzeyleri düzgün olmalıdır,
- Depolama sırasında özellikleri değişmemelidir.



Şekil 29. Maça kullanım yerlerine örnekler

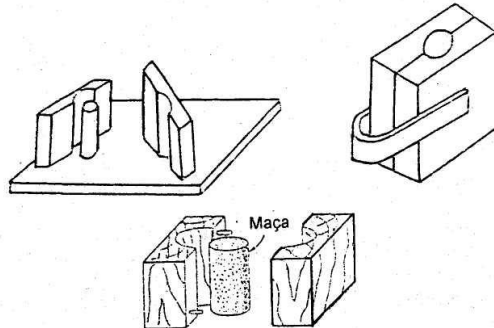
Kum esaslı maçalara üretildikleri malzemeye veya yönteme göre isimlendirilirler: yaş kum maçalar, kuru kum maçalara, kabuk maçalar, CO₂ yöntemiyle üretilen maçalar reçine veya diğer bağlayıcı maçalar. Maça malzemesi karışımının esasını silis zirkon, olivin gibi kumlar oluşturur. Kullanılan bağlayıcılar ise organik veya inorganik esaslı olabilir. Reçineler, maça yağları ve tahıl unları en çok kullanılan organik bağlayıcılardır. İnorganik bağlayıcılar ise killeri, sodyum silikat, çimento ve değişik kimyasal maddelerdir.

Maçalar genellikle ahşap, metal, plastik v.b. malzemelerden yapılmış kutularda, elle veya makinelerle sıkıştırılarak biçimlendirilir. Maça kutuları tek parçalı, çift parçalı veya açılır kapanır olabilirler. Maçalara yeterli gaz geçirgenliği kazandırabilmek için iç kısımlarında hava kanalları bırakılabilir. Bazı durumlarda ise dayanımlarını artırmak için maçaların için tel, çubuk, iskelet gibi takviyeler yerleştirilebilir. Sıkıştırma sırasında titreşimli tablolardan veya ezme aparatlarından yararlanılabilir.

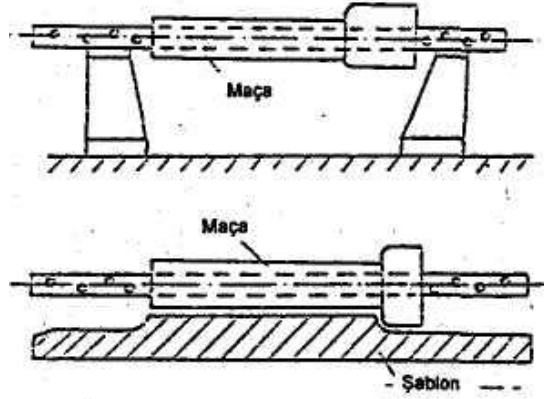
3.1.2.1. Maça imali

Maçaların imalatı ya maça sandığı ile ya da çevirme şablonu ile olmaktadır. Maça sandığı ile maça yapımında, içerisinde maçanın dış şekline sahip bir boşluk bulunan sandıklardan yararlanılır. Şekil 30'da bir örneği verilen maça sandığı iki veya daha çok parçalı olup, bu parçalar birbirine pimlerle geçirilir ve yay ile tespit edilir. Sandık düz bir yüzey üzerine konur ve içerisine maça malzemesi konarak sıkıştırılır. Mukavemeti artırmak için maça içerisine tel parçalar konur. Sıkıştırma sırasında şişleme ve tekrar sıkıştırma uygulanır.

Dönel şekilli büyük maçalar ise genellikle çevirme şablonla imal edilir. Bunun için maça tornaları ve maça demiri olarak, üzeri delikli bir gaz borusundan faydalanılır (Şekil 31). Bu boru şablon mili vazifesi görür ve aynı zamanda gazların dışarı çıkmasını sağlar. Borunun üzerine maçaya elastiklik vermek amacıyla saman veya ağaç talaşından yapılmış halat sarılır. Bunun üzerine de balçık sıvanarak şablonlanır.



Şekil 30. Maça sandığı



Şekil 31. Şablonla maça imali

Organik bağlayıcıların maçalara mukavemet kazandırması ancak maçaların pişirilmesiyle gerçekleşir. Pişirilmeden önce maçalar 110 °C civarında bir müddet ısıtılarak suyunun uçurulması sağlanır. Daha sonra 150-250°C arasında 2-6 saat pişirilir. Pişirme sırasında organik bağlayıcılar oksitlenerek katılaşır. Maçaların pişirme süresi ve sıcaklığı dikkatli seçilmelidir.

Maçalar kalıp boşluğuna, sıvı metalin etkisi ile yüzmeyecek biçimde yerleştirilmelidir. Bunun için oturma yerlerinde metalsel parçalarla destekleme yapılır. Maçaların dökümden sonra çıkartılmasında kalıp kumuna karıştırmamaya dikkat etmek gerekir.

3.1.3. Kalıplama

Modeller ve maçalar vasıtasıyla, çeşitli ortamlarda (kum, metal) kalıp adı verilen ve içerisine döküm yapılan boşlukların oluşturulmasına “*kalıplama*” denir. Kalıplamada model ve maçadan başka yolluk, çıkıcı ve besleyicilerden de faydalanılır. Kalıplamanın ayrıntıları her bir döküm yönteminde ayrı ayrı ele alınacaktır. Burada yalnız yolluk, besleyici ve çıkıcılar ile soğutucu levhalardan söz edilecektir.

Yolluk, çıkıcı, besleyici ve soğutucu levhalar, kalıba sıvı metalin dolmasını, katılaşarak hacmi azalan bölgelerin sıvı metal ile beslenmesini ve katılaşmanın istenilen şekilde yönlendirilmesini sağlayan ve bu nedenle kalıp tasarımında birbirlerine uygun olarak düzenlenmeleri çok önemli kalıp elemanlarıdır.

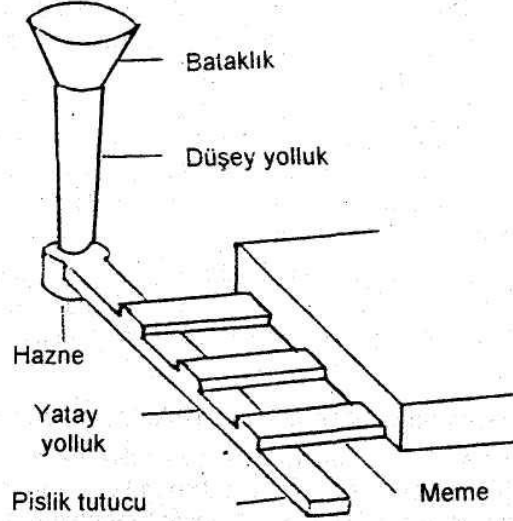
3.1.3.1. Yolluklar

Ergimiş metalin kalıp boşluğuna akışını sağlayan kanalların tümüne birden “yolluk sistemi” adı verilir. Bir yollukta genellikle; döküm ağzı ya da havşa, düşey yolluk veya gidici, cürufuk veya yatay yolluk ve meme (ara yolluk) bulunmaktadır.

İdeal bir yolluk sisteminin işlevleri şöyle sıralanabilir,

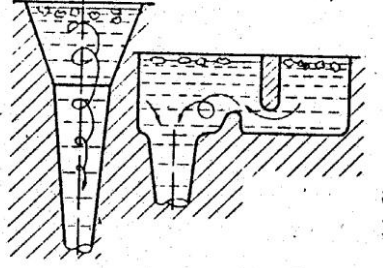
- Kalıbın sıvı metal ile dolmasını sağlamak,
- Kalıba dolan metalde türbülans oluşmasını önleyerek, metalin oksitlenmesine, gaz almasına, cürufun ve erozyonla koparılan kalıp parçalarının sıvı metali karışmasına engel olmak,

- c) Sıvı metal içindeki cüruf, köpük, oksit v.b. istenmeyen kısımların kalıp boşluğuna girmesine engel olmak,
- d) Metalin kalıba doluşunu düzenleyerek, yönlenmiş katılaşmayı kolaylaştırmak, çarpılmaya neden olmayan bir sıcaklık gradyeni oluşturmak,
- e) Kalıp boşluğunu gereken hızda doldurmaya yetecek kadar büyük, ancak malzeme kaybına neden olmayacak kadar küçük boyutta olmak.

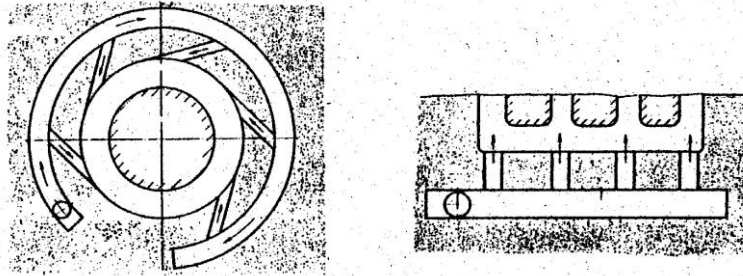


Şekil 32. Yolluk sistemi

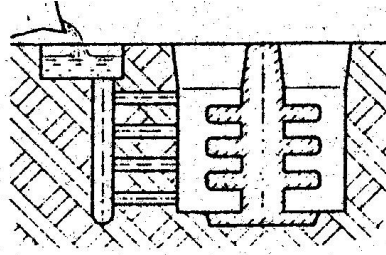
Kalıp boşluğunu dolduracak sıvı metal, düşey yolluğun üzerinde bulunan döküm ağzının içine dökülür. Basit bir huni olarak biçimlendirilen döküm ağzları olduğu gibi, metalin döküldüğü ve kalıba girdiği tümsek ve perdelerle ayrılarak cüruf, köpük ve havanın düşey yolluğa girmesinin önlendiği biçimler de vardır. Düşey yolluk, aşağı doğru daralır ve metali yatay yolluğa iletir. Düşey yolluk kesiti aşağıya doğru daraltılarak, metalin serbest akmasına tekabül edecek şekilde biçimlendirilir ve bu şekilde düşey yolluğa hava kaçması önlenir. Topuk boyutları ve biçimi, yön değiştirerek yatay yolluğa geçen metalin erozyonla kalıbı bozmasına ve türbülansla gaz almasına engel olacak şekilde düzenlenmelidir. Yatay yolluk, uygun konum ve boyutlardaki ara yolluklarla kalıp boşluğuna bağlanır. Yatay yolluğun ucunda pislik tutucu bulunur. Ara yolluklar, kalıp boşluğunun bir kenarı boyunca sıralanabilir veya yuvarlak parçalarda çevre boyunca düzenlenebilir. Ara yollukların konumu ve doğrultuları, kalıp boşluğuna giren sıvı metalin maça erozyonuna neden olmasını engelleyecek şekilde düzenlenmelidir. Derin kalıplarda ara yolluklar, düşey yolluğa bağlanarak basamaklı bir yolluk sistemi de kullanılabilir.



Şekil 33. Değişik döküm ağızları



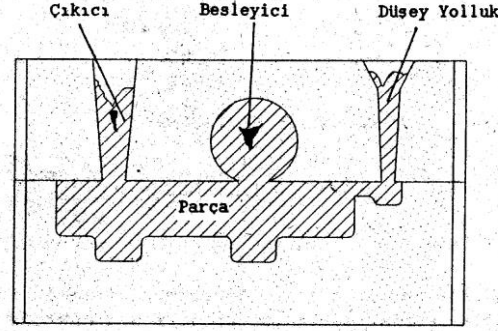
Şekil 34. Ara yollukların düzenlenişi



Şekil 35. Basamaklı yolluk sistemi

3.1.3.2. Çıkıcı ve besleyiciler

Çıkıcı ve besleyicinin görevi, kalıp içinde katılaşan parçanın iç ve dış çekme boşlukları oluşabilecek bölgelerini sıvı metal ile beslemektir. Yani çıkıcı ve besleyiciler, en son katılaşacak şekilde tasarlanmış sıvı metal depoları olup, kalıp içinde yönlendirilmiş katılaşmanın ve uygun bir sıcaklık gradyeninin sağlanmasındaki rolleri çok önemlidir. Çıkıcılar dışarıya açık, huni biçiminde, besleyiciler ise kapalı ve genellikle küresel biçimli kalıp elemanlarıdır. Besleyiciler biçimleri gereği daha yavaş soğuduğundan, döküm sonrasında parçadan ayrılmaları daha kolay olduğundan ve kalıbın istenilen her bölgesine yerleştirilebildiklerinden daha çok tercih edilirler.

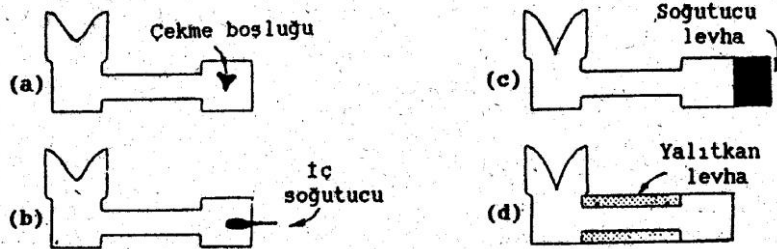


Şekil 36. Çıkıcı ve besleyiciler

Besleyici ve çıkıcıların, katılaşıırken hacmi azalan parçayı sıvı metal ile besleyebilmeleri için atmosfer basıncı ile sürekli temasta olmaları gerekmektedir. Bu nedenle çıkıcının üzerinde bir kabuk oluşmamalıdır.

3.1.3.3. Soğutucu plakalar ve iç soğutucular

Çekme boşlukların oluşumunu önlemek için, bazı durumlarda çıkıcı ve besleyiciler yerine soğutucu plakalar veya soğutuculardan yararlanılır. Bunlar çelik, dökme demir, bakır v.b. malzemelerden yapılmış kalıp elemanları olup, kalıplamada kalıp boşluğunun duvarına yerleştirilirler. Bu sayede normal soğumada çekme boşluğu oluşacak bölgelerin önceden katılaşmasıyla katılaşmanın istenilen şekilde yönlendirilmesi mümkün olur. Soğutma plakalarının yerleştirilmesinin güç olduğu bölgelerde iç soğutuculardan yararlanılabilir. Bir diğer çözüm de kalıbın bazı bölgelerinin yalıtılması yoluyla katılaşmayı yönlendirmektir. Aşağıdaki şekilde bu seçeneklerin tümü toplu olarak gösterilmektedir.



Şekil 37. Çekme boşluklarının önlenmesi için iç soğutucu ve yalıtkanlardan yararlanılması

3.1. 4. Kalıplama Yöntemleri

Uygulanacak kalıplama yönteminin seçiminde üretilecek parça sayısı, amaçlanan üretim hızı, boyut hassasiyeti, yüzey kalitesi, metalürjik kriterler ve yöntemle özgü diğer özellikler dikkate alınır. Kalıplama ve döküm yöntemleri aşağıdaki gibi sınıflandırılır.

- a) *Kum kalıba döküm*
- b) *Kokil kalıba döküm*
- c) *Basınçlı döküm*
- d) *Hassas (Investment) döküm*
- e) *Savurma (Santrifüj) döküm*
- f) *Alçı kalıba döküm*
- g) *Seramik kalıplara döküm*
- h) *Dolu kalıplara döküm*

3.1.4.1. Kum kalıba döküm

Kum kalıba döküm yöntemi en çok uygulanan döküm yöntemidir. Kalıplama işleminin ekonomik olması ve farklı ağırlıktaki parçaların dökülebilmesi sebebiyle tercih edilmektedir. Kum kalıp metodunun esası, üretilecek parçanın şeklinde olan model vasıtasıyla kum sıkıştırılarak oluşturulan kalıp boşluğu içerisine ergitilmiş metalin yolluklardan doldurulmasından ibarettir. Kalıplamada kullanılacak model, tek parçalı, çok parçalı, yolluklu veya levhalı tipte olabilir.

Kum dökümde kullanılan modeller genellikle ağaçtan yapılır. En çok kullanılan ağaç malzemeler; *çam, akçaağaç, veciz ve ıhlamurdur*. Modeller rutubetten korunmak, kalıptan kolay çıkarılmak ve birbirinden kolayca ayırt edilebilmek için boyanır. Örnek olarak; dökme demir modelleri kırmızı, dökme çelik modelleri mavi, demir dışı metal ve alaşımların modelleri ise renksiz, işlenecek yüzeyler sarı ve maça başları siyah renkte olur.

Seri imalatla döküm parça modellerinin uzun süre devam edecek kalıplama işlemine dayanması gerekir. Böyle durumlarda model metalden yapılabilir. Metalsel malzemelerden yapılan modeller, ağaç modellere göre daha pahalıdır, fakat herhangi bir tamirata gerek olmadan uzun süre kullanılırlar. Malzeme olarak genel olarak *alüminyum* kullanılır. Ayrıca *dökme demir, bronz, pirinç* de kullanılabilir. Model yapımında kullanılan metalin kolayca şekillendirilebilir olması gerekir.

Büyük fakat az sayıda dökülecek iş parçaları için ağaç malzemedan daha ucuz olan *seramik malzemeler* kullanılabilir. Seramik modeller kilden hazırlanır ve daha sonra pişirilir. Mühendislik özellikleri aranmayan heykel ve süs eşyası gibi parçaların dökümünde, genel olarak alçı modeller tercih edilir.

3.1.4.1.1. Kum dökümde kalıp hazırlama

Kalıp hazırlamak, kumda istenilen şekilde bir iz bırakmak demektir. Kalıp hazırlayabilmek için; *model, kalıp malzemesi* ve *kalıplama takımı* (veya makineleri) gereklidir. Kum dökümde kalıp malzemesi olarak *kum* kullanılır ve kalıp kumun ihtiva ettiği nem miktarına göre *yaş veya kuru kalıp* ismini alır. Kalıplar, ateşe dayanıklılığı artırmak, parça yüzeyine kumun yapışmasını önlemek ve parça yüzeyinin temiz çıkmasını sağlamak gayesi ile *tozlanır, boyanır ve kurutulur*.

Kalıplama işleminde kullanılan kumlar *tabii ya da sentetiktir*. Döküm işleminin emniyetli bir şekilde yapılabilmesi ve elde edilecek iş parçasının arzu edilen nitelikte olması için kalıplama kumunun aşağıdaki özelliklere sahip olması gerekir.

- a) **Mukavemet:** Kalıp kumunun *yaş, kuru veya sıcak* mukavemetinin yeterli seviyede olması istenir. Kuma su karıştırıldığı zaman kalıbın yapılabilmesi için kumun yeterli mukavemete sahip olması, yaş mukavemeti ifade eder. Sıvı metal hazırlanan kalıba döküldüğünde, sıvı metal ile temasta olan kum suyunu buhar olarak kaybeder. Bu durumda kumun metalin aşındırma ve basıncına karşı dayanıklı olması gerekir. Kumun bu özelliği kuru mukavemet ile belirlenir.
- b) **Plastiklik:** Kumun şekil alma ve aldığı şekli koruma özelliğidir. Bu özellik kumun bünyesinde mevcut kil ve su miktarına göre değişir.
- c) **Gaz geçirme kabiliyeti:** Döküm sırasında meydana gelen gazların kolayca kalıbı terk etmeleri gerekir. Aksi taktirde dökülen parçanın içinde ve yüzeyinde boşluklar meydana gelir.
- d) **Ateşe dayanıklılık:** Kalıbın sıcak metalle teması sırasında çatlamaması ve ergiyip parçaya yapışmaması lazımdır.
- e) **Dökümden sonra tekrar kullanabilme:** Kumun dökümden sonra tekrar kalıplama işleminde kullanılabilmesi için, kolay bir şekilde ergiyip topraklanmaya yol açmamalı ve çatlayıp ufalanmamalıdır.
- f) **Ucuz olma:** kalıp hazırlama masraflarının yüksek olmaması için, kumun kolay ve ucuz şekilde temin edilmesi gerekir.

Kalıplamada kullanılan **tabii kum**, tabiatta bulunduğu şekilde kullanılan kumdur. Kimyasal olarak SiO_2 olarak bilinen tabii kum, *kuvars tanelerinin kil, kireç ve diğer oksitler* tarafından çevrilmesiyle oluşur. Tabii kumun ateşe dayanımı düşüktür ve sistemde mevcut oksitler düşük sıcaklıkta ergir ve kumun parçaya yapışmasına neden olur. Tabii kum dökme demir ve demir dışı metallerin dökümünde kullanılır.

Kalıplamada kullanılan **sentetik kum**, bir yıkama sonucu elde edilmiş *saf kuvars kumuna* arzu edilen miktar ve özellikte *kil ve diğer yardımcı maddelerin* ilavesi ile elde edilen bir karışımdır. Yardımcı madde olarak *bentonit, silis tozu, pülverize kömür, odun talaşı* gibi maddeler kullanılır. Yıkamış kuvars kumu tane büyüklüğüne göre sınıflandırıldıktan sonra, %3-5 oranında bentonit ile karıştırılır. Bentonit çok iyi özelliğe sahip bir kildir ve ergime sıcaklığı yüksektir.

Kalıp kumunun tabii ve sentetik olarak sınıflandırılması dışında içindeki kil miktarına, kullanma yeri ve menşesine göre de gruplandırılması mümkündür.

Kalıp kumu içerisinde mevcut kil miktarına göre üç çeşittir:

- 1) **Zayıf kum:** İçerisinde %5-8 oranında kil bulunur. Yaş kalıp zayıf kumdan yapılır. İnce cidarlı döküm parçalarının kalıplanmasında kullanılır.
- 2) **Orta yağlı kum:** İçerisinde %8-20 oranında kil bulunur ve bu kum ile yapılan kalıp kurutulur. Böylece mukavemet artışı sağlanmış olur. Orta yağlı kum cidarlı döküm parçalarının kalıplanmasında kullanılır.
- 3) **Yağlı kum:** Fazla miktarda (%20-35) kil ihtiva eden kumdur. Bu kumdan yapılan kalıpların mutlaka kurutulması gerekir.

Kullanma yeri ve menşesine göre de kalıp kumları üç grupta toplanır:

- 1) **Taze (yeni) kum:** Ocaktan gelen veya yeni hazırlanmış ve hiç kullanılmamış kumdur.
- 2) **Eski kum:** Döküm sonrası bozulan kalıptan çıkan kumdur. Bu kumda bulunan kilin büyük bir miktarı yanmış ve dolayısıyla, bağlayıcı özelliğini kaybetmiştir. Kuvars taneleri ani sıcaklık değişimi nedeniyle ufalanmıştır. Bu nedenle gaz geçirgenlikleri zayıftır.
- 3) **Kullanma kumu:** Eski kuma %20-50 yeni kum, %5-15 taş kömürü tozu ve %5-12 oranında da su ilave edilerek elde edilir. Taş kömürü tozunun yanmasıyla açığa çıkan gazlar, kalıbın sıvı metal ile temasını önler.

3.1.4.1.2. Maça kumu ve maça imali

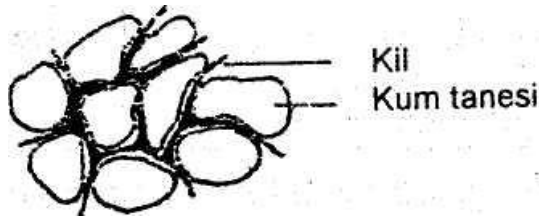
Dökmek istediğimiz parçanın iç şeklini veren maçalar; **kum, metal veya seramikten** yapılabilir. Fakat maçalar genel olarak kumdan imal edilirler. Kullanmaya hazır bir şekilde imal edilmiş maça, iki ucundan kalıba oturtulur. Maça imalinde kullanılan kumun mukavemeti ve gaz geçirme kabiliyeti yüksek olmalı, döküm işlemi sonunda döküm parçadan kolayca temizlenebilmelidir. Maça yapımında yüksek killi kum (yağlı kum) kullanılırsa dökümden sonra çok sertleşen maçanın dökümden ayrılması zorlaşır. Maça *imalinde %8'den az kil içeren kuma*, mukavemet sağlama üzere organik ve inorganik bağlayıcılar katılır. Organik bağlayıcı olarak çeşitli *yağlar, reçineler, inorganik bağlayıcı olarak da ateş kili, bentonit ve silis tozu* kullanılmaktadır. Maça hazırlandıktan sonra 100-200 °C'de pişirilir. Maça bünyesindeki yağ oksitlenerek kum tanelerini birbirine bağlar.

3.1.4.1.3. Kalıp kumu içindeki temel maddeler

1) **Kalıplama kumları:** Kum, kil ve sudan başka bazı katkılarla beraber hazırlanan bir karışımdır. Bu karışımın özellikleri aşağıda verilmiştir.

a) **Kum:** Kalıplama kumunun %50-95'ini oluşturur. Demir oksit, alkali oksitler ve kireçten ibarettir. Bu katkı maddelere kumun ergime sıcaklığını düşürür. Kumun şekli yuvarlak, köşeli veya karşı köşeli olabilir.

b) **Kil:** Kalıplama kumları %2-50 arasında kil içerir. Kil su ile birlikte kum tanelerini birbirine bağlayarak mukavemet ve plastiklik özelliği sağlar. Aşağıdaki şekilde kil ve suyun kum taneciklerini birbirine nasıl bağladığı görülmektedir.



Şekil 38. Kalıplama kumunda kum taneciklerinin birbirlerine bağlanması

c) Su: Kuma %1,5-8 oranında su katılır. Kilin kalıplama kumuna mukavemet ve plastiklik özelliği vermesini sağlar. Fazla olarak ilave edilecek su; yağ etkisi yaparak kumun plastiklik ve kalıp yapılabilirlik özelliğini artırmasına rağmen kumun mukavemetini azaltır.

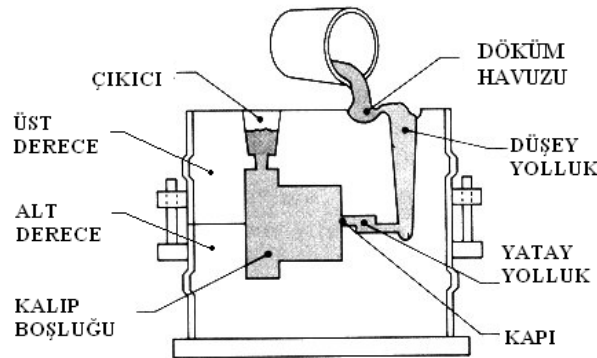
Diğer katkı maddeleri:

- a) Mısır unu:** Yaş ve kuru mukavemeti artırmak üzere %0,25-2 arasında katılabilir.
- b) Öğütülmüş zift:** Demir dökümlerde sıcak mukavemeti artırmak ve düzgün yüzey eldesi için %2 oranında katılır.
- c) Yumuşak kömür tozu:** Kolay temizleme ve temiz yüzey elde edebilmek için kır dökme demir kalıplama kumuna %2-8 oranında katılır. Büyüklüğü kum tanelerinden fazla olmalıdır.
- d) Talaş:** Kumun sıcak dayanımını artırmak için %0,5-2 oranlarında katılır.
- e) Silis tozu:** Sıcak mukavemeti artırmak için %35 oranına kadar katılır.
- f) Demir oksit:** Sıcak mukavemeti artırmak için %0,25 -1 oranında katılabilir.

3.1.4.1.4. Kum dökümde kalıplama yöntemleri

- a) Yaş kum kalıplama
- b) Kuru kum kalıplama
- d) Çukur kalıplama
- e) CO₂ yöntemiyle kalıplama
- f) Kabuk kalıplama
- g) Çimentolu kalıplama

a) Yaş kum kalıplama: Yaş kum kalıba döküm, dökümhanelerde en yaygın kullanılan döküm yöntemidir. Bu yöntemde erimiş metal yeniden kullanılabilir, sıkıştırılmış bir kum kalıba dökülür ve katılaşıncaya kadar kalıp içinde tutulur. Katılaştıktan sonrada kalıp bozularak parça dışarı çıkarılır.



Şekil 39. Yaş kum kalıba döküm işlemi

Yaş kum kalıba döküm yönteminde kalıp malzemesi; *kum tanecikleri, kil, su ve diğer katkıların bir karışımıdır*. Kum tanecikleri kalıp malzemesinin esasını, kil su ile birleşerek kumların bir arada tutulması için bir bağlayıcı vazifesi görür. Kalıplama, küçük parçalar için tezgah üzerinde, büyük parçalar için yerde kum havuzlarında yapılır. Elde edilen parçanın kalitesi belli ölçüde kalıpcı ustasının becerisi ile belirlenir. Saatte 60 kalıptan fazla üretilmesi gerektiğinde makinalı kalıplamaya geçilir ve bu durumda işlemler mekanik olarak yapıldığından kalıpcıların deneyimli olmasına gerek yoktur. Günümüzde kalıplama çoğunlukla makinelerde ve seri olarak yapılmaktadır. Ancak temel kalıplama bilgisi verebilmek amacıyla elle kalıplamanın aşamaları aşağıdaki resimlerle özetlenmiştir.



Adım-1: Resmin solunda bir üst derece sağında ise bir alt derece görülmektedir.



Adım-2: İki parçalı modelin pimsiz parçası bir sıkıştırma tahtası veya düz bir zemin üzerine yerleştirilir. Model ile derecenin arasında 50-100 mm boşluk bulunmalıdır.



Adım-3: Model önce kömürle tozlanır. İnce kuru kum serpilerek kalıp kumunun model ve zemine yapışması önlenir. Kullanılmamış kumdan 2-5 cm kalınlığında kum elenerek kalıba dökülecek sıvı metale komşu tabaka hazırlanır. Daha sonra dolgu kumu tabaka tabaka sıkıştırılır ve üst yüzey düzlenir. Gaz geçirgenliği için 20-50 aralıkla bölüm düzlemine zarar vermeden kalıp şişlenir.



Adım-4: İş biten alt derece ters çevirilerek bölüm yüzeyi düzlenir.



Adım-5: İki derecenin ara yüzeyini oluşturan bölüm düzlemine yapışmayı önlemek için araya kuru kum serpilir ve modelin pimli yarısı yerleştirilir.



Adım-6: Yolluk ve çıkıcılar yerleştirildikten sonra alt derecedeki işlemler üst dereceye uygulanır.



Adım-7: Kalıplama sonunda yolluk ve çıkıcılar çıkarılır.



Adım-8: Üst derece açılarak modeller sıyrılır. Gerekli onarımlar yapılır. Basınçlı hava ile serbest kumlar uzaklaştırılır.

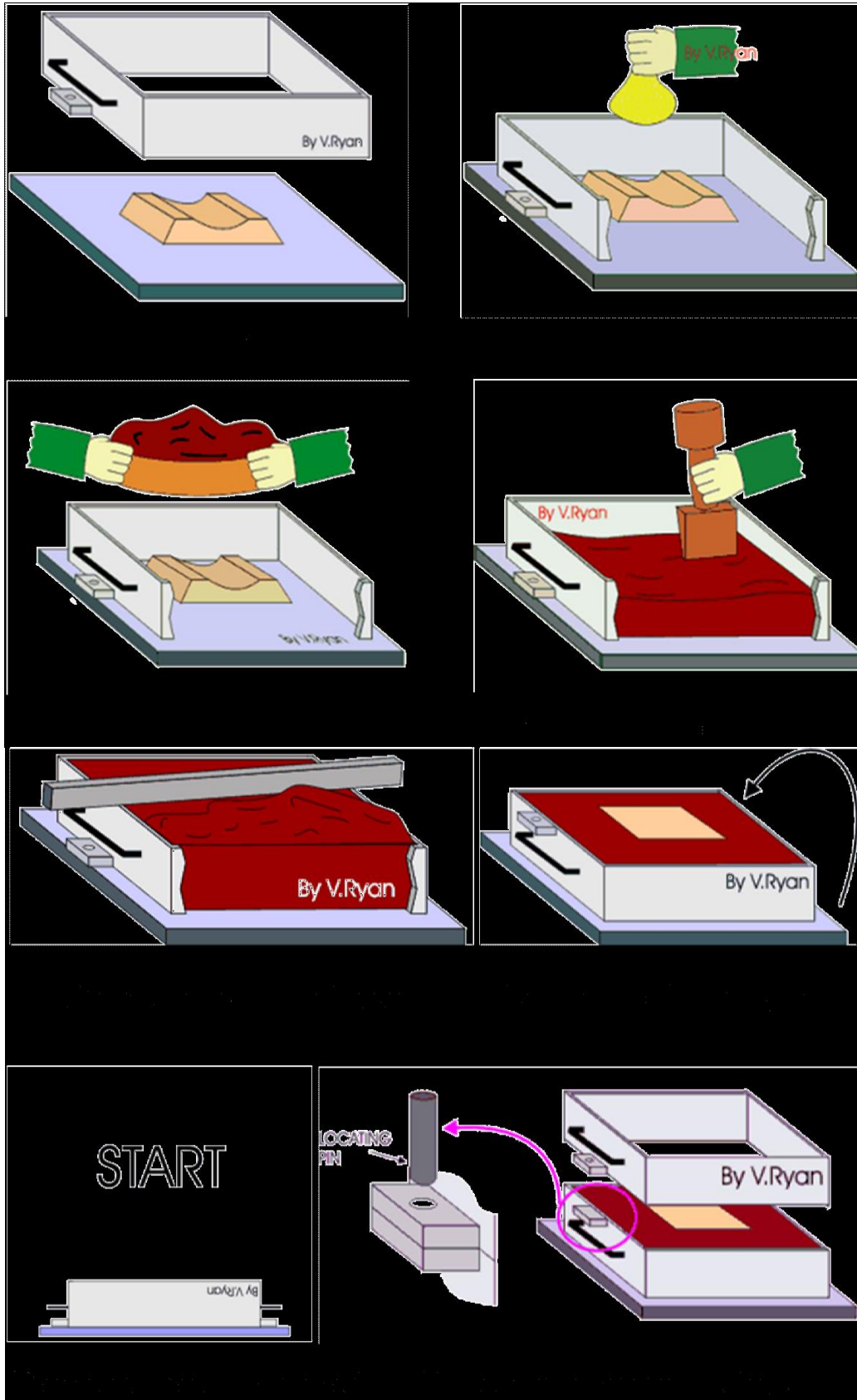


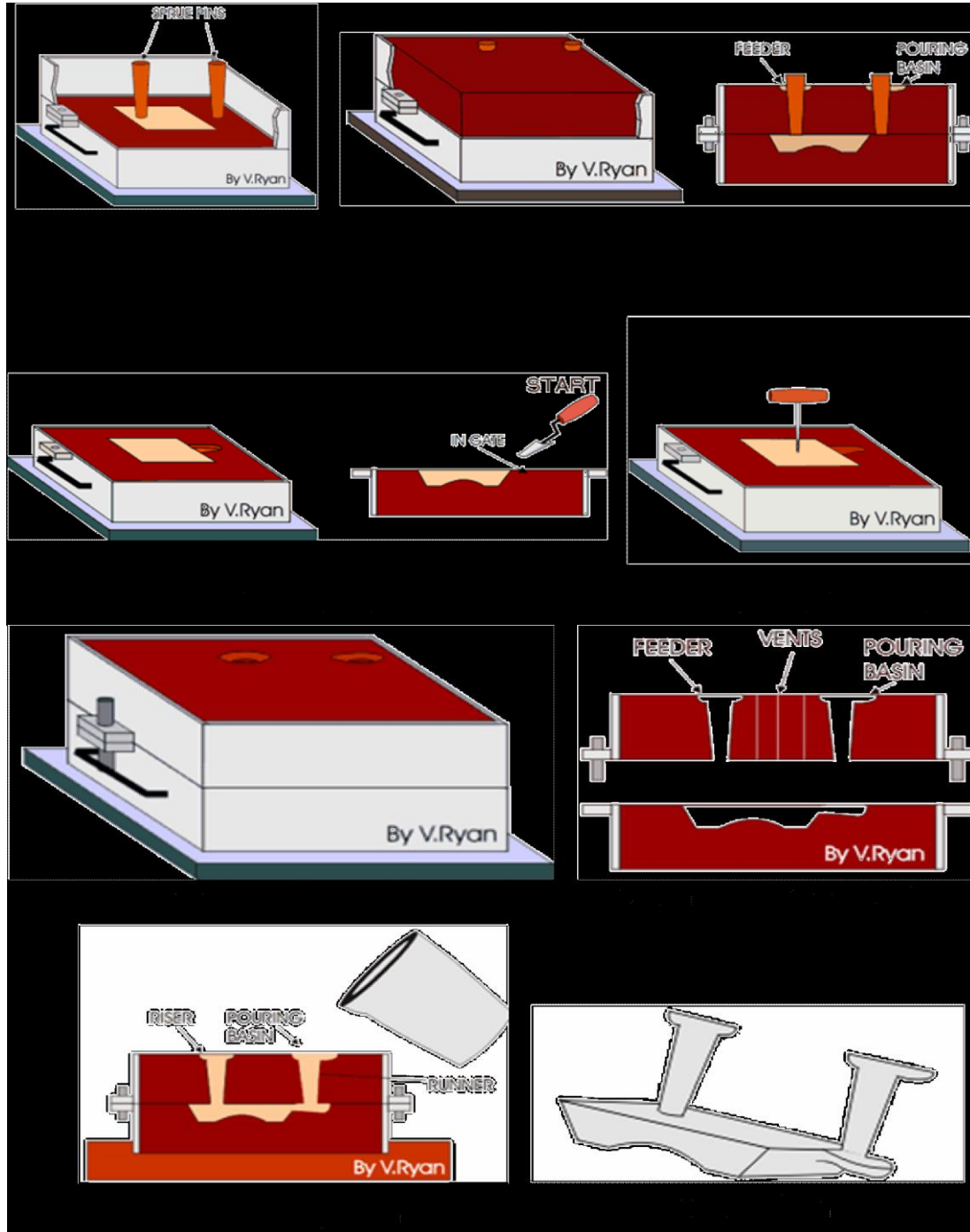
Adım-9: Alt derecede yolluk ve diğer gerekli kanallar tamamlanır



Adım-10: Kalıp kapatılıp üzerine ağırlıklar yerleştirilerek döküme hazır hale getirilir.

Şekil 40. Serbest model kullanılarak kum kalıpların elle hazırlanmasındaki başlıca aşamalar





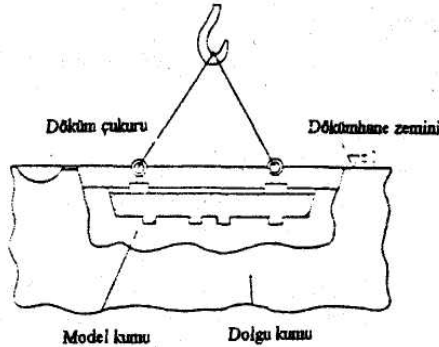
Yaş kum kalıba döküm yönteminin avantaj ve dezavantajları:

- Ucuzdur ve tazelenerek defalarca kullanılabilir,
- Yöntem basittir ve gerektiğinde makinelerle da yapılabilir,
- Değişik metallerin dökümü için uygundur,
- İnce, uzun karmaşık biçimli ve iri parçaların dökümünde kalıp malzemesinin dayanımı yetersiz kalır,
- Kalıp tasarım sırasında bozulabilir,
- Nemli kalıpta oluşan buhar kusurlara neden olabilir,
- Boyut hassasiyeti ve yüzey özellikleri iyi değildir,
- Optimum dayanım için nem miktarının çok iyi kontrol edilmesi gerekir.

b) Kuru kum kalıplama: Kuru kum kalıplar da yaş kum kalıplara benzer şekilde hazırlanır ve 150-350 °C arasındaki sıcaklıklarda kurutulur. Bağlayıcı görevi yapan kilin tüm suyunu kaybetmemesi için kurutma işleminde 400 °C sıcaklığın üzerine çıkılmamalıdır. Bu yöntemin avantaj ve dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Dayanımı ve metal erozyonuna karşı dayanıklılığı yaş kum kalıplardan yüksektir.
- Taşınırken bozulma tehlikesi daha azdır.
- Nem miktarının kontrolü kritik değildir,
- Ortaya çıkan buhar nedeniyle oluşan döküm kusurları söz konusu değildir,
- Gaz geçirgenliği daha iyidir.
- En önemli sakıncası ise kurutma işleminin kalıp hazırlama safhasını uzatması ve maliyeti artırmasıdır.

c) Çukur kalıplama: Çukur kalıplar, derecelere boyutları nedeniyle sığmayacak parçaların dökülebilmeleri için kullanılır. *Örneğin türbin gövdesi, gemi uskuru gibi.* Model bir çukurda kalıplanır. Üst derece zemine bağlanır. Büyük kütleli soğuma hızını azaltabilmek için soğutma işlemi günlerce sürebilir. Boyut hassasiyeti ise fazla iyi değildir.



Şekil 40. Çukur kalıplama

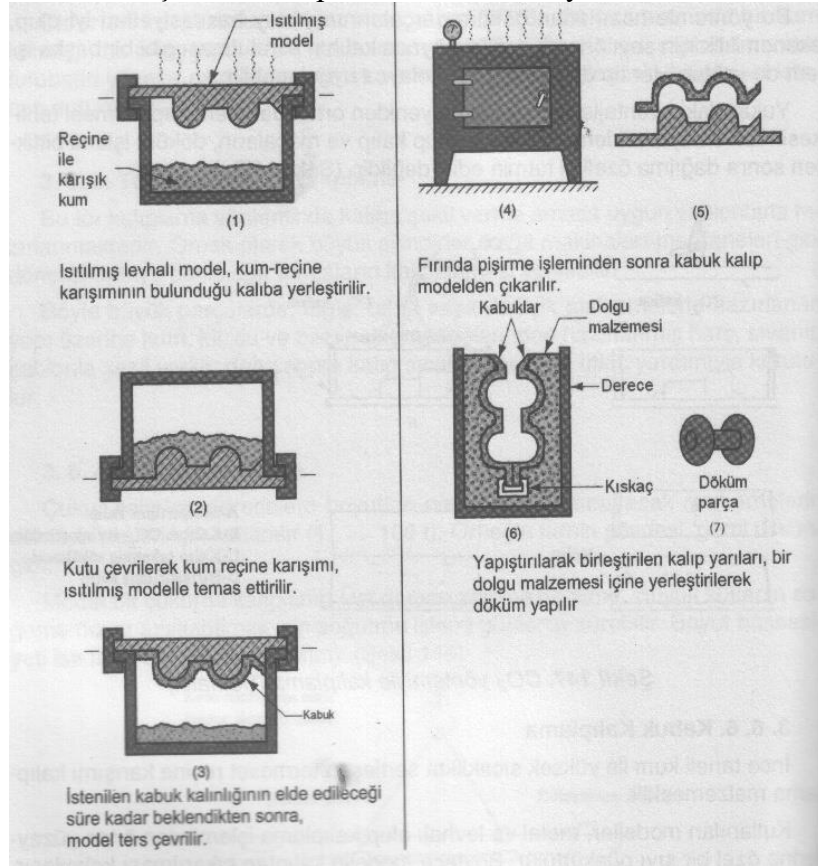
f) CO₂ yöntemiyle kalıplama: Kalıp ve maçaların karbondioksit gazı yardımıyla sertleştirildiği bu yöntem, ilk olarak 1950 yıllarında uygulanmaya başlanmış ve bunu izleyen yıllarda giderek geliştirilerek kullanımı yaygınlaştırılmıştır. Yöntemin prensibi, kalıplamada kuma %3-5 sodyum silikat (cam suyu) karıştırmak ve kalıp sıkıştırılarak biçimlendirildikten

sonra, gaz geçirgenliği olan kum kalıp malzemesi içerisinde kısa bir süre (15-60 sn) için CO₂ gazı geçirmektedir. Bu gaz sodyum silikatu silikajele dönüştürür ve kum tanecikleri bağlanır.

CO₂ Dökümünün Üstünlükleri

- Basittir, ustalık gerektirmez.
 - Mekanizasyona uygundur.
 - Üretilen parçaların boyut hassasiyetleri iyidir.
 - Daha karmaşık parçalar üretilebilir.
 - Kurutma işlemine gerek yoktur.
 - Bu yöntemle maça da üretilebilir.
- Dezavantajı ise kalıbın sertleşmesi ve döküm sonrası parçalamasının zor oluşudur

f) Kabuk kalıplama: Kabuk kalıplamada kullanılan kalıp malzemesi, ince taneli kum ile bağlayıcı olarak katılan ve yüksek sıcaklıkta sertleşen bir *termoset reçinenin* karışımıdır. Kullanılan bağlayıcı reçinenin sayesinde, kalıp malzemesi çok yüksek dayanımlara ulaştığından, ince kabuk biçiminde kalıpların kullanılması yeterli olur.



Şekil 41. Kabuk kalıplama yönteminin aşamaları

Metal malzemeden üretilen modellerin yüzeylerine kalıplamadan önce özel bir sıvı püskürtülerek kalıptan kolay ayrılmaları sağlanır. Daha sonra yaklaşık 200 °C sıcaklığa

ısıtılan modeller kum reçine karışımıyla kaplanır. Model üzerinde kabuk istenilen kalınlığa ulaştığında (6-12 mm) sertleşmemiş ve bağlanmamış kum geriye dökülür. Kalıplar iki veya çok parçalı yapılır ve daha sonra yapıştırılarak birleştirilir. Döküm sırasında kalıpların biçim değiştirmesini önlemek için kalıp malzemesinin etrafında dolgu kullanılır.

Kabuk kalıpların klasik kum kalıplara göre avantaj ve dezavantajları aşağıda verilmiştir.

- Hassas toleransların elde edilmesi mümkündür,
- Çok ince kum kullanıldığında yüzey kalitesi yüksektir,
- Makinelerle üretildiğinden seri üretime uygundur ve deneyimi gerektirmez,
- Daha düşük sıcaklıklarda ve daha ince cidarlar dökülebilir,
- Kalıplar hafiftir ve depolanabilir,
- Metal malzemeden üretilen modeller pahalıdır ve bu nedenle yöntem ancak seri üretime uygundur,
- Kabuk kalıplama makineleri yüksek bir yatırım maliyeti gerektirir,
- Dökülebilecek parça boyut ve ağırlıkları sınırlıdır,
- Reçine kullanıldığından, kalıp malzemesi maliyeti yüksektir.

g) Çimentolu kalıplama: Çimento kalıp malzemesi, kum, %8-12 çimento ve %4-6 sudan oluşur. Kalıplama diğer kum kalıplarda olduğu gibidir. Model çıkarılmadan önce kalıp malzemesinin yeterli dayanıma kavuşması beklenir. Bu yöntem, büyük parçaların dökümü için, dayanımı, yüzey kalitesi ve boyut hassasiyeti yüksek kalıpların üretiminde kullanılır.

3.1.5. Kokil kalıba döküm

Döküm teknolojisinde erimiş metal, kalıcı (genellikle metal) kalıplara dökülerek de biçimlendirilebilir. Bu yöntem karmaşık biçimli, boyut toleransları dar ve çok sayıda üretilecek parçalar için tercih edilir. Dökülecek metalin gerektirdiği refrakterliğe sahip olması gereken kalıp malzemesi olarak genellikle özel kalite *dökme demir* veya *çelik* kullanılır. Düşük sıcaklıklarda eriyen metallerin dökümü için *bronz* da kullanılabilir. Metal kalıba döküm yönteminde katılma sırasındaki soğuma, kum kalıplardan daha hızlı olduğu için iç yapı daha *ince taneli* olur. Ayrıca parça yüzeyleri temizleme işlemi gerektirmeyecek kadar yüksek kalitededir.

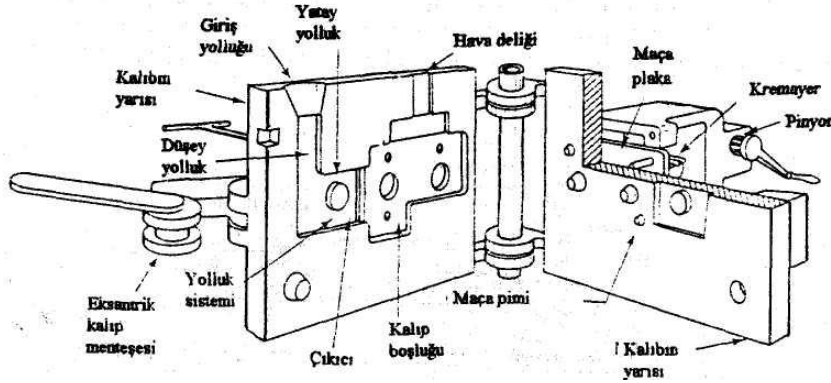
Metal kalıplarda kullanılan maçalar *metal*, *kum* veya *alçıdan* yapılabilir. Metal olmayan maçaların kullanılması halinde yöntem *yarı kalıcı kalıba döküm* olarak adlandırılır. Kokil kalıplar genellikle açılıp kapanan iki veya daha çok parçadan oluşur. Kalıp kapandıktan sonra oluşan boşluğa sıvı metal dökülür ve katılma beklendikten sonra kalıp açılarak parça çıkarılır. Bu işlemler el ile yapılabileceği gibi, bir tertibat yardımıyla veya mekanizasyona geçilmesi halinde makineler tarafından da yapılabilir. Kalıp üretiminde kalıp boşluğu ve diğer kanallara işlenerek oluşturulur. Kalıp malzemesi geçirgen olmadığından hava kanallarının da açılması zorunludur.

Kokil kalıba döküm yöntemin avantaj ve dezavantajları şöyle sıralanabilir.

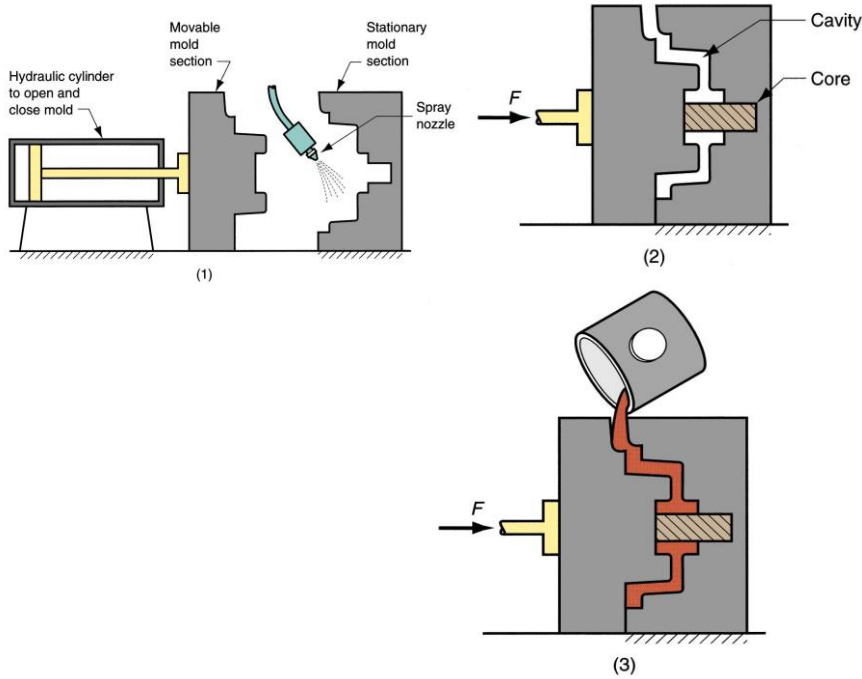
- İnce taneli içyapı sayesinde mekanik özellikler daha iyidir,

- Hassas boyut toleransları sağlanabilir,
- Karmaşık parçaların üretimi mümkündür,
- Parçaların yüzey kalitesi iyi olup, temizleme masrafları düşüktür,
- Kokil kalıp pahalı olduğundan ancak seri üretim için ekonomik bir yöntemdir,
- Bu yöntemle her malzeme dökülemez,
- Sadece küçük parçaların üretimi için uygundur.

Genellikle demir dışı metallerin dökümünde kullanılan kokil döküm yöntemiyle üretilen parçalara örnek olarak soğutucu kompresör gövdeleri, hidrolik fren silindirleri, biyel kolları, alüminyum daktilo parçaları ve mutfak eşyaları gösterilebilir.



Şekil 42. İki parçalı bir kokil kalıp



Şekil 43. Kokil kalıba döküm adımlarını gösteren şematik resimler: (1) Kalıp ön ısıtılır ve kaplanır, (2) Gerekliyse maça yerleştirilir ve kalıp kapanır, (3) Sıvı metal döküm boşluğuna dökülür ve katılaşmaya bırakılır.

3.1.6. Basınçlı (Püskürtme) döküm

Sıvı metalin çok yüksek basınç altında metalden yapılmış bir kalıba doldurulması esasına dayanır. Uygulanan basınç sayesinde fazla miktarda sıvı metalin kalıba çok hızlı bir şekilde doldurulması sağlanır. Katılaşma tamamlanıncaya kadar basınç uygulanmaya devam edilir ve ardından kalıp açılarak itici çubuklar yardımıyla parça kalıptan çıkarılarak işlem tamamlanır. Bu yöntem sayesinde çok karışık şekilli parçaların dökümü mümkün olur. Genellikle dökülecek malzemelerin erime sıcaklığı 1000 °C nin altındadır. İşlemler tamamıyla makinalar tarafından gerçekleştirildiği için yüksek üretim hızlarına erişilebilir (100...800 parça/saat). Kullanılan basınç 10 - 80 atmosfer arasında değişir. İşlem sonucu elde edilen parçalara genellikle talaşlı işlemeye lüzum kalmaz. Ayrıca parçaların yüzeyleri hızlı soğuma sonucunda ince taneli ve mukavemetli olurlar. Kalıplar pahalı olduğundan dolayı bu yöntem genellikle 5000 parçanın üstünde üretim yapılacaksa uygundur. Kalıp malzemesi olarak dökme demir, karbonlu çelik, alaşımlı çelik ve bazen de demir dışı malzemeler kullanılabilir. Dökülen metalin erime sıcaklığı yüksek ise alaşımlı çelik kalıplar, düşük ise karbonlu çelik kalıplar kullanılır. Basınçlı dökümde kurşun, kalay, çinko, alüminyum ve magnezyum alaşımları kullanılır. Kalıplar genellikle çift parçalıdır ve üzerlerinde parçaları çıkarabilmek için itici çubuklar vardır. Kalıpların sıcaklığının sabit kalması için genellikle su ile soğutulur. Hem kalıp ömrü artar hem de katılaşma esnasında hızlı soğuma sağlanır.

Yöntemin Üstünlükleri;

- Karmaşık biçimli küçük parçaların dökümüne uygundur.
- İnce cidarlı parçalarda kalıbın tam olarak dolması sağlanır.
- Üretim hızı yüksektir.
- Yüzey kalitesi ve boyut hassasiyeti çok yüksek olduğundan ek bitirme işlemlerine genellikle gerek kalmaz.
- Hızlı soğuma sonucu oluşan ince taneli içyapının mekanik özellikleri iyidir.

Yöntemin Sınırları;

- Sadece küçük parçaların üretimi mümkündür.
- Kalıp tasarımı güçtür.
- Döküm makinesi için yüksek bir ön yatırım gereklidir.
- Kalıp masrafı nedeniyle ancak seri üretimde ve çok sayıda parça için ekonomiktir.
- Yüksek sıcaklıkta eriyen malzemelerin dökümü yapılamaz.

Aşağıda basınçlı döküm ürünü bazı örnekler gösterilmiştir.



Otomobil parçaları



Ev aletlerine ait parçalar



Enerji ölçüm parçaları



Bilgisayar parçaları



Elektrik aletlerine ait parçalar

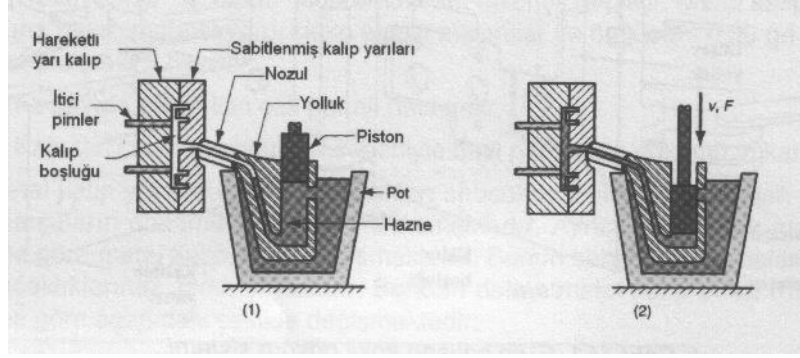


Diğer



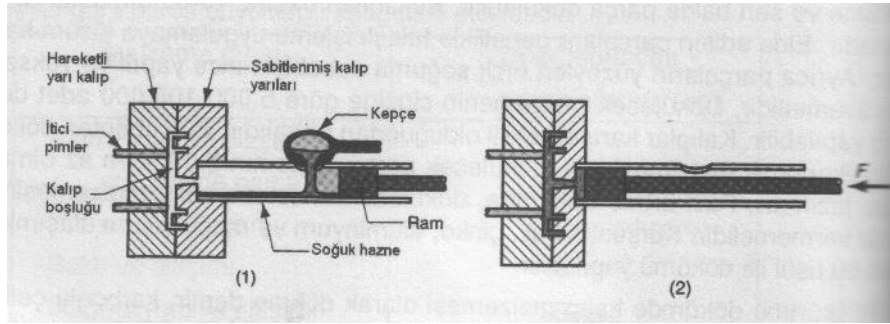
Şekil 43. Basınçlı döküm ürünü bazı parçalar

3.1.6.1. Sıcak Hazneli Basınçlı Döküm: Kalay kurşun ve çinko gibi düşük sıcaklıkta eriyen metallerin dökümünde kullanılan yöntemdir. Bu yöntemde hazne potanın içinde bulunur. Erimiş metalin içindeki hazneye dolan sıvı metal bir piston veya basınçlı hava yardımıyla kalıp boşluğuna basılır. Katılaşma tamamlanıncaya kadar basınç uygulanmaya devam eder. Ardından kalıp açılır ve itici çubuklar tarafından parça kalıptan ayrılır.



Şekil 44. Sıcak hazneli basınçlı döküm yöntemi

3.1.6.2. Soğuk Hazneli Basınçlı Döküm: Yüksek sıcaklıkta eriyen ve makinenin çalışan parçaları ile sürekli temas halinde bulunması sakıncalı olan alaşımlarda (bakır, alüminyum ve magnezyum alaşımları) soğuk hazneli basınçlı döküm yöntemi kullanılır. Bu yöntemde ocakta eritilen metal bir kepçe yardımıyla istenilen miktarda alınarak hazneye konulur. Sonra piston bu erimiş metali sıkıştırarak kalıba doldurur ve katlaşma işleminin sonuna kadar basınç uygulanmaya devam eder. Ardından sıcak haznelide olduğu gibi kalıp ayrılır, iticiler yardımıyla parça çıkarılır ve işlem devam eder.

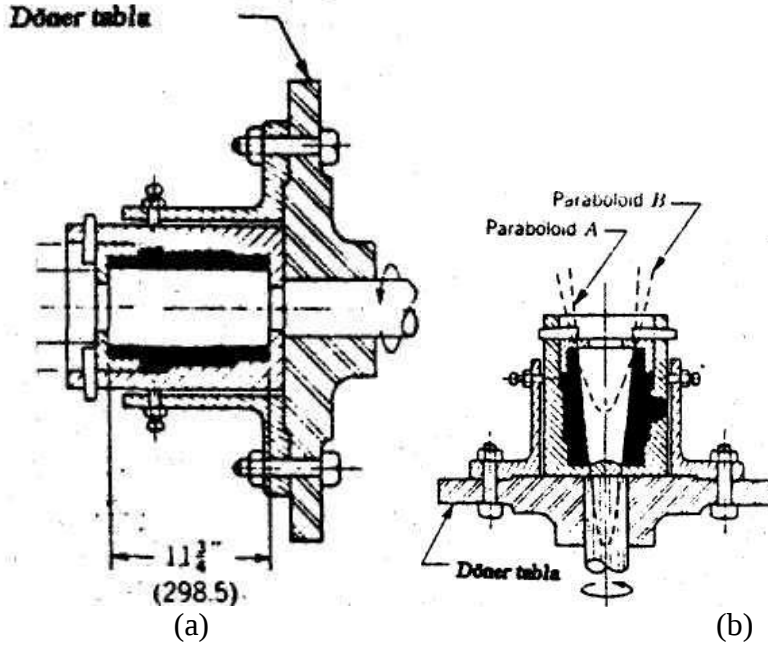


Şekil 45. Soğuk hazneli basınçlı döküm yöntemi

3.1.7. Savurma (Santrifüj) Döküm

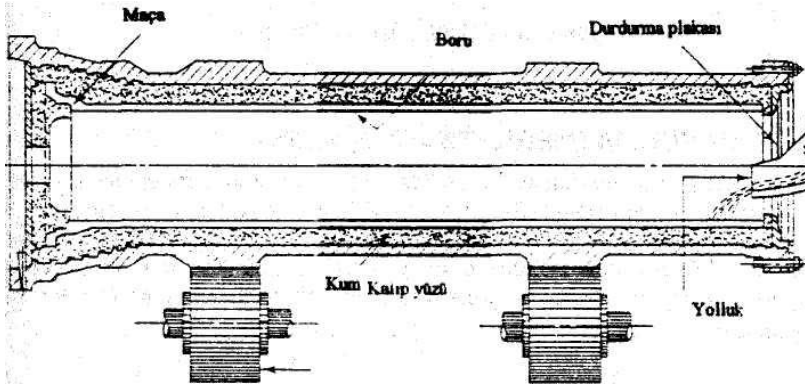
Savurma döküm yönteminde erimiş metal, bir eksen etrafında döndürülen kalıplar içine dökülerek biçimlendirilir. Merkezkaç kuvvetlerinin oluşturduğu basınç metalin kalıp cidarlarına homojen olarak dağılmasını, parçanın dışının kalıbın iç şeklini almasını sağlar. Oluşan yüksek merkezkaç kuvveti sayesinde dökülen sıvı metal içinde bulunan düşük yoğunluklu kum ve cüruf tanecikleri, metal olmayan kalıntılar ve gazlar dönme eksenine doğru sürüklenir. Dolayısıyla bu yöntemle parça yüzeyinin gözeneksiz, temiz ve ince taneli olarak elde edilmesi mümkün olur.

Döküm sırasında kalıp dönel bir hareket yapmaktadır. Kalıp eksenini düşey ve yatay olabilir. Buna göre savurma döküm, yatay eksenli ve düşey eksenli olmak üzere ikiye ayrılabilir.



Savurmalı dökümün özelliği ise parçalara ait kalıp boşluklarının kalıp dönme ekseninin dışına yerleştirilmeleridir. Metali aynı zamanda dönme eksenine olan bir düşey yolluktan beslenir ve yatay yolluklardan geçerek kalıp boşluklarına ulaşır. Bir kalıpta genellikle çok sayıda kalıp boşluğu bulunur.

Savurma dökümde maçaya gerek olmaması, son zamanlarda bu usulle boru imalatını yaygınlaştırmıştır. Aşağıdaki şekilde boru üretimiyle ilgili bir sistem görülmektedir. Burada dönen metal kalıp dıştan soğutulmaktadır. Dönel kalıp aynı zamanda ileri-geri hareket edebilmektedir. Böylece döküm sırasında kalıp yavaş yavaş ve sabit bir hızla ilerler.



Şekil 47. Savurma dökümle boru imalatı

Savurma döküm yönteminin avantaj ve dezavantajları aşağıda verilmiştir.

- Boru ve benzeri parçalara maçasız dökülebilir,
- Gözeneksiz ve temiz bir iç yapı elde edilebilir ve elde edilen mekanik özellikler diğer yöntemlere göre daha üstündür,

- Parça toleransları dar yüzeyler kalitelidir,
- Yolluk sistemi olmadığından hurdaya atılan malzeme çok azdır,
- Kalıbın ince cidarlı bölümleri kolaylıkla dolar,
- Erimiş metali besleme hızı yüksek olduğundan, döküm sıcaklığı düşük seçilebilir,
- Dökülecek parça biçimleri sınırlıdır,
- Döküm makinesi yüksek bir yatırım gerektirir. Yoğunlukları farklı olan bileşenler içeren alaşımlarda ağırlık segregasyonu görülebilir.

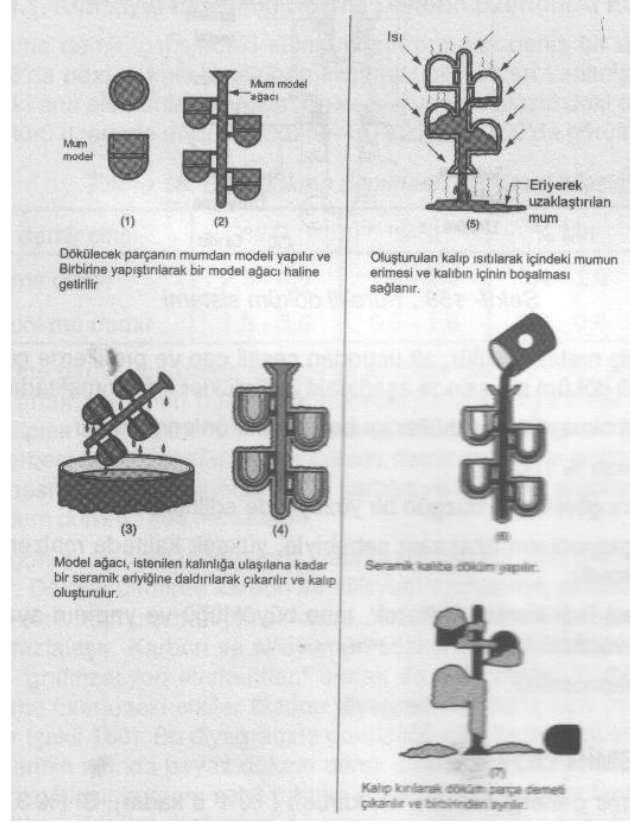
3.1.8. Hassas döküm (Kuyumcu dökümü)

Bu kalıplama yönteminin prensibi, *mum ve benzeri* modeller kullanılarak hazırlanan kalıpların ısıtılması ve eriyen model malzemesinin kalıptan dışarı akıtılarak kalıp boşluğunun oluşturulmasıdır.

Üretilen parça sayısı kadar modelin gerekli olduğu hassas dökümde *mum, plastik, donmuş civa v.b.* modeller kullanılır. Modeller, mum veya plastiğin metal bir kalıba enjeksiyonu ile üretilir ve çok sayıda model, ortak bir yolluğa bağlanarak salkım şeklinde düzenlenir.

Hassas döküm tekniği 2. Dünya Savaşına kadar ticari olarak sadece kuyumcu ve dişçiler tarafından uygulanmış; daha sonra özellikle uzay, havacılık ve savunma, tıbbi ve ortopedik cihaz, otomotiv ve motor, tekstil, mekanik ve elektromekanik sanayinde hassas parçalara duyulan ihtiyaç, yöntemin endüstriyel uygulamasını yaygınlaştırmıştır.

Bu usulde önce dökülecek parçanın mumdaki bir modeli yapılır. Bu model üzerine yolluk ve çıkıcılar yerleştirilir. Daha sonra bu model sıvı haldeki seramik malzeme içerisine yerleştirilir ve seramik malzeme kalıp etrafında bir kabuk teşkil edecek şekilde katılaşması sağlanır. Bundan sonra içerisinde mum model bulunan seramik kabuk ısıtılır. Böylece mum eriyerek dışarı akar ve seramik içerisinde dökülmesi istenen parçanın şeklinde bir boşluk elde edilmiş olur. Ergitilmiş metal bu boşluğa dökülür ve katılaşmadan sonra seramik kalıp kırılarak parça çıkarılır. Son derece karışık parçalar temiz ve tam bir şekilde bu usulün tatbiki ile elde edilebilir. Bilhassa talaş kaldırılarak işlenmesi veya dövülebilmesi mümkün olmayan alaşımlardan yapılacak hassas parçalar bu yöntemle imal edilir. Ayrıca son derece karışık şekilli parçaların dökümü kolayca yapılabilir. Çünkü bu usulde koniklik verme mecburiyeti yoktur. Bu dökümde dikkat edilmesi gereken en önemli husus dökülecek metalin karakterine uygun seramik ve bağlayıcının seçimidir.



Şekil 48. Hassas dökümde işlem sırası

Hassas Dökümün Üstünlükleri:

- Küçük ve karmaşık biçimli parçaların üretimi uygundur.
- Boyut hassasiyeti ve yüzey kalitesi mükemmeldir.
- Genellikle ek işlemlere gerek kalmadığından, işlenmesi güç malzemelerin dökümünde tercih edilir.
- Kalıp tek parçalı olduğundan parça yüzeyinde bölüm düzleminin izi kalmaz.
- Mum tekrar tekrar kullanılabilir.

Hassas Dökümün Sınırları:

- Her bir parça için ayrı bir modelin üretilmesi gerekir.
- Yöntem mekanizasyona uygun olmayıp, üretim hızı ve kapasitesi düşüktür.
- Model ile kalıp malzemelerinin pahalı olması ve üretimin çok sayıda işlem içermesi nedeniyle parça maliyeti yüksektir.
- Sadece 5 kg'dan küçük parçaların dökümüne uygundur.

3.1.9. Alçı kalıba döküm

Günümüzden 3000-4000 yıl önce Çinliler tarafından da kullanıldığı bilinen alçı kalıplar, genellikle bakır ve alüminyum alaşımları gibi düşük sıcaklıkta eriyen demir dışı malzemelerin dökümünde kullanılır.

Alçı kalıplar, iki veya daha çok parçalı yapılı ve kum kalıplar gibi bir bölüm yüzeyi içerirler. Kalıp malzemesi, 100 ölçü alçı ile 160 ölçü suyun krem kıvamına ulaşmaya kadar karıştırılmasıyla hazırlanır. Sulu harcın model üzerine dökülmesini izleyen birkaç dakika içerisinde gerçekleşen ilk sertleşmeden sonra model kalıptan çıkarılır ve kalıp 200°C sıcaklıkta kurutulur.

Alçı kalıpta üretilen parçaların döküm yüzeyleri çok temizdir. Alçının ısı iletimi düşük olduğundan soğuma yavaş ve üniforma olur. Bu nedenle büyük kesit farklılıklarının bulunduğu karmaşık şekilli parçaların dökümü için özellikle uygundur. Hızlı soğumanın gerektiği bölümlere soğutma plakaları yerleştirilir. Alçının dayanımı düşük olduğundan, bu yöntemle genellikle 10 kg'dan daha düşük olan parçalar üretilir. Alçı kalıpların en zayıf yönü gaz geçirgenliklerinin düşük oluşudur. Kalıbın gaz geçirgenliğini artırmak amacıyla, köpüklü alçı kalıplar ve antioch yöntemi uygulanabilir. *Köpüklü alçı kalıp* yönteminde karışıma bir köpükleştirici katılarak kalıp gözenekli ve daha geçirgen hale getirilir. Antioch yönteminde ise kalıp malzemesi bir kum, alçı, asbest, talk, sonyum silikat ve su karışımıdır.



Şekil 49. Alçı kalıp örnekleri

3.1.10. Seramik kalıba döküm

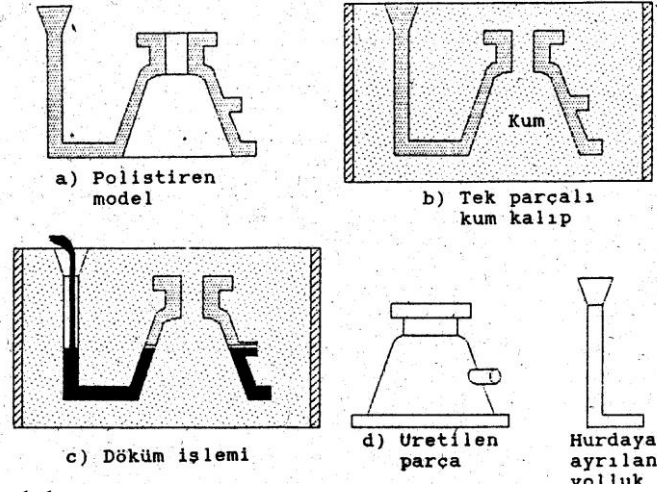
Seramik kalıba döküm yöntemi hassas döküm yönteminden türetilmiş olup, farklı modellerin tekrar kullanılabilmesi ve yöntemin standart dökümhane imkanlarıyla uygulanabilmesidir. Seramik kalıba dökümde, hassas dökümde olduğu gibi boyut sınırlaması yoktur ve özellikle yüksek sıcaklıkta eriyen metallerden karmaşık biçimli, yüzey kalitesi yüksek, boyutları hassas ve kusursuz döküm parçaların üretilmesi mümkündür.

Bu yöntemde, ahşap, alçı veya metalden üretilmiş modellerin üstüne refrakter tanecikler ve bir seramik bağlayıcıdan oluşan harç dökülür. Genellikle bir jel yapıcı içeren bu karışımın jelleşmesi beklendikten sonra model çıkarılır. Daha sonra karışımın içindeki uçucu maddeler bir üfleçle yakılır ve kalıp pişirilir. Sonuçta çelikler de dahil olmak üzere tüm metallerin dökülebileceği yüksek refrakter özellikte bir kalıp elde edilir. Dökümden önce ısıtılmaları gereken bu kalıplar çok pahalıdır ve bu nedenle sadece kalıbın metale temas eden 3-10 mm kalınlığındaki kısmının seramik bir kabukla kaplı olduğu karma kalıplar da geliştirilmiştir.

3.1.11. Dolu kalıba döküm

Dolu kalıba döküm yöntemi, yanarak gaz haline geçen polistiren köpük modellerin kullanıldığı bir kalıplama yöntemi tekniğidir. Bu malzemenin testere, bıçak veya sıcak tel ile kesilmesiyle model biçimlendirilir. Büyük modeller birçok parçanın birbirine yapıştırılmasıyla da oluşturulabilir. Kalıplama sonrasında köpük model kalıptan çıkarılmaz (dolu kalıp) ve erimiş metal kalıba dökülünce yanarak gaz halinde kalıbı terk eder. Böylece erimiş metalin köpük modelin yerini almasıyla parça biçimlendirilir.

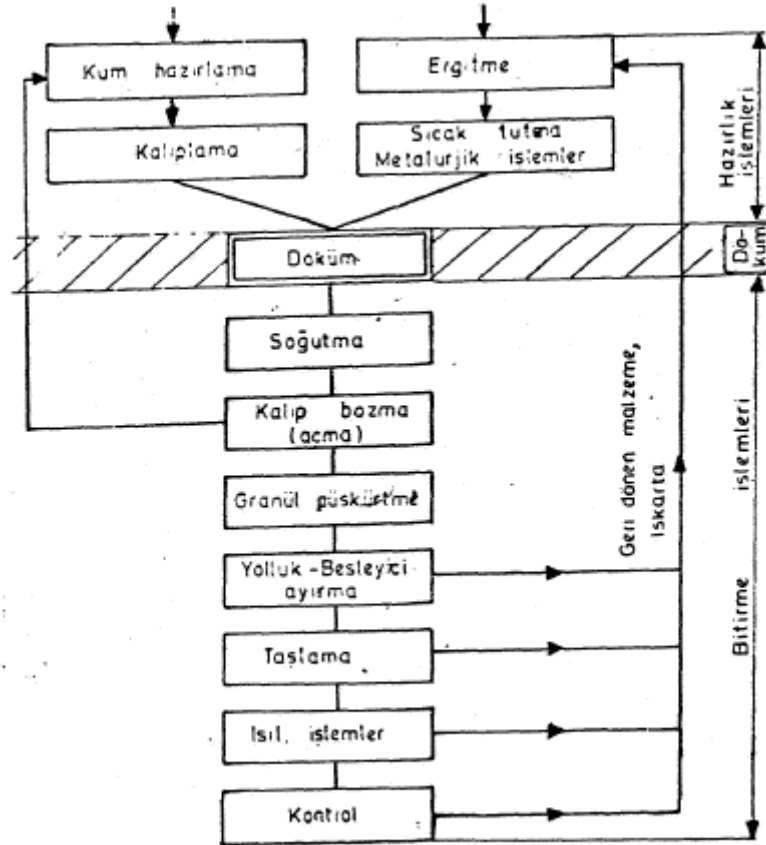
Bu yöntemde yolluklar, çıkıcılar ve diğer tüm kalıp elemanları köpükten yapılır ve kumda kalıplanır. Modelin kalıptan çıkarılması söz konusu olmadığından, kalıbın iki parçalı olarak yapılmasına da gerek yoktur.



Şekil 50. Dolu kalıba döküm

4. BİTİRME İŞLEMLERİ

Döküm yöntemi; *hazırlık, kalıbı doldurma ve bitirme işlemleri* olmak üzere üç temel procesten oluşur. Bu proseslerin içerdiği alt işlem kademeleri Şekil 51’de belirtilmiştir. Sıvı metalin kalıba doldurulduğu andan başlayarak parçanın mamul haline gelinceye kadar geçirmiş olduğu tüm işlemler “bitirme işlemleri” olarak tanımlanır. İmal edilen parçanın özelliklerine bağlı olarak; *kalıbı soğutma, kalıp bozma, yolluk ve çıkıcıların ayrılması, temizleme, çapak kesme, onarım, ısıt işlemleri ve yüzey işlemleri* ve parça kontrolleri bitirme işlemlerinin önemli kademeleridir.



Şekil 51. Dökümde işlem kademeleri

4.1. Döküm parçaların soğutulması

Döküm parçalarının soğutulması, döküm sıcaklığından ortam sıcaklığına kadar kalıp içinde ve kalıp dışında olmak üzere iki farklı ortamda gerçekleşir. Soğuma hızı ve kalıptan çıkarma (kalıp bozma) sıcaklığı, parçaların boyut, şekil ve mikroyapı özelliklerini birinci derecede etkileyen faktörlerdir,

4.1.1. Kalıp içinde soğutma

Parçaların katılaştıktan sonra belirli bir süre daha kalıp içinde kalarak soğumaları gerekir. Kalıbın vakitsiz açılması parçaların ıskartaya çıkmasına neden olabilir. Kalıpta soğuma süresi kalıbın kum veya kokil kalıp olmasına ve döküm malzemesi çeşidine yakından

bağlıdır. Kum kalıpta parçaların uzun süre kalıp içinde kalmasının mikro yapı açısından fazla bir önemi olmamasına rağmen, kokil kalıplar zamanında açılmazsa, parçaların mikro yapısı ve dayanımı bundan büyük ölçüde olumsuz olarak etkilenir. Parçalar kalıptan çıkarıldıktan sonra da özellikleri olumsuz etkilenmeyecek şekilde soğutulmalıdır. Kalıptan sonraki soğutma ortamı çok kere durgun bir hava ortamıdır. Parçaların gereğinden uzun süre kalıp içinde soğutulması seri imalâta büyük miktarda kalıp kumunun ve derecenin çevrim dışı bırakılmasına ve kalıp kumunun daha fazla termik zorlanmasına neden olur.

4.1.2. Kalıp açma sıcaklığı

Kalıba doldurulan sıvı metal katılaştıktan sonra oluşan döküm parçasının belirli bir kalıp açma sıcaklığına kadar kalıp içinde soğuması gerekir.

Kalıp açma sıcaklığının uygun belirlenmesi:

- Parçanın dayanım problemlerine,
- Arzu edilmeyen iç yapı (mikro yapı) değişikliklerine,
- Arzu edilmeyen kalıcı iç gerilmelere neden olmaktadır.

Metalsel malzemelerin artan sıcaklıkta dayanımı azaldığından, parçanın kalıpta kaldığı şekli koruyabilmesi için belirli bir sıcaklığa kadar kalıp içinde bırakılarak soğuması zorunludur. Demir dökümde parçanın belirli sertlik sınırları içinde kalabilmesi için ostenitik yapıdan ferritik veya perlitik yapıya geçerken belirli bir kritik soğuma hızında olması gerekir. Yukarıdaki faktörlerden en önemlisi kalıcı iç gerilmelerle ilgili olanıdır. Parçada kalıcı iç gerilmelerden kaçınmak için kalıp açma sıcaklığının parça şeklin bağlı olarak çok aşağılara kadar kaydırılması gerekebilir. Kalıp açma sıcaklığını belirlemek için bunu döküm malzemesi çeşidine, parça şekline ve kalıp malzemesine bağlı olarak belirli bazı çizelge ve grafitlerden yararlanılabilir. Aşağıda çelik ve demir döküm parçalar için böyle bir özet çizelge verilmiştir.

Tablo ...Kum kalıp içindeki çelik döküm ve kır dökme demir parçaların kalıp açma sıcaklıkları.

Parçaların özellikleri	Kalıp açma sıcaklığı, °C
-200 kg'a kadar basit şekilli parçalarda	800
Cıdar kalınlıkları farklı, birleşme (düğüm) noktaları ve kütleli yerleri soğutucularla soğutulan parçalarda	600
Kütlo yığılmaları olan yerlere soğutucu konamayan yukarıdakilere benzer parçalarda	
Soğumada serbest büzülemeyen, yırtılma ve biçim değiştirme ihtimali olan parçalarda	200

4.1.3. Kalıp açma süresi

Kalıp bozsa süresi, parçaların dökümden itibaren kalıptan çıkarılana kadar geçen süredir. Parça kalıp içinde katılaşıırken ısınıp kalıba verir, başlangıçta kalıp soğuk olduğu için katılma da hızlı olur. Ancak bir süre sonra kalıp da ısındığı için parçanın soğuması yavaşlar ve katılma sonrasında soğuma hızı gittikçe azalır. Bundan dolayı parçanın kalıpta katılma süresi, katılastıktan sonraki soğuma süresinden daha kısadır.

4.2. Kalıp bozma

Kalıp içinde katılması biten parçanın belirli bir sıcaklığa kadar soğuması gereklidir. Kalıp bozma (kalıp açma) sıcaklığı denilen bu sıcaklık, kalıbın türü, parçanın biçimi ve döküm malzemesine bağlı olarak değişir ve aşağıdaki kriterler dikkate alınarak belirlenir.

- a) Kalıp bozulduğunda, parça katılmış ve biçimini koruyabilir dayanıma sahip olmalıdır,
- b) Parçanın kalıptan çıkarılacağı sıcaklığın seçiminde, malzemenin faz diyagramı ile belirli olan içyapı değişimleri de dikkate alınmalıdır,
- c) Kalıbın bozulmasından sonra oluşacak hızlı soğumanın çarpılma ve iç gerilmelere neden olabileceği düşünülmelidir,
- d) Kalıp içinde katılması tamamlanmış parçanın serbestçe büzülebilmesi için kalıp mümkün olduğunca erken bozulmalıdır.

Kalıp bozmada kullanılan yöntemlerin başlıcaları şunlardır.

- Döküm yerinde elle bozma,
- Sarsma ızgaraları üzerinde bozma,
- Parçayı kalıptan presleyerek çıkarma,
- Parçacık veya basınçlı su püskürtme

Demir ve çelik döküm parçaların kalıp bozma sıcaklığı genellikle 100-150 °C civarındadır. Bu sıcaklıktan itibaren parçaların ısıtma işlemi gerektirmeyecek, iç gerilmeler, istenmeyen sert bölgeler oluşmayacak şekilde soğutulması gerekir. Bu amaçla soğuma kontrol altında tutulmalı soğumada sıcaklık-zaman eğrisinin istenen biçimi alması sağlanmalıdır.

4.3. Maçaların parçadan çıkarılması

Döküm sıcaklığı yükseltildiği ve kalıp bozma sıcaklığı düşürüldüğü oranda maçaların maruz kaldığı termik zorlanma sıcaklığı ve süresi artar. Bunun sonucu da maça bağlayıcısının bağlama özelliği zayıflar ya da kaybolur. Bu açıdan kullanılan maça bağlayıcılarının önemi büyüktür. Kalıp doldurulduktan belirli bir süre sonra maçaların görevi sona erer. Bu andan itibaren maçaların kolay çıkarılabilmeleri için bağlayıcıların özelliklerini kaybetmesi istenir. Maçalar, küçük ve ince kesitli ise daha çabuk ısınarak sıcaklıkları yükselir. Bunun sonucu daha kolay dağılırlar.

Maçalar kuru ve yaş olmak üzere iki yöntemle parçalardan uzaklaştırılabilirler. Yaş yöntemde su ya da özel hazırlanmış sıvılar kullanılır. Kuru yöntemde ise darbe ve titreşim gibi mekanik etkiler tatbik edilir.

4.3. Yolluk ve çıkıcıların ayrılması

Gevrek malzemelerde yolluk sisteminin ana parça ile birleştiği kesitler genellikle dar ve çentikli olarak biçimlendirilerek, bunların kalıp bozma sırasında darbelerle kırılarak ayrılması sağlanır. Özellikle kır veya beyaz dökme demir gibi gevrek malzemeler için uygun olan kırma yönteminde, parçaya hasar vermemek için kırılmanın oluşması istenen bölgelerde çentikler bırakılır ve kırık yüzeyi daha sonra taşlanarak temizlenir.

Kırma yoluyla ayrılması mümkün olmayan yolluk ve çıkıcılar şerit testere, disk testere ve özel makaslar gibi değişik talaş kaldırma yöntemleriyle uzaklaştırılır. Büyük döküm parçaların yolluk ve çıkıcıların uzaklaştırılmasında ise en uygun yöntem üfleçle kesmedir.

Bu yöntemlerin dışında yolluk ve çıkıcıların ayrılması için elektrokimyasal, lazer ışınları, yüksek basınçlı sıvı jetleri gibi değişik teknikler de kullanılabilir.

4.4. Yüzey temizleme

Özellikle büyük parçalarda yüzeylerinin kum ve tufaldan arındırılmasında, kum ve metal parçacıklarının basınçlı hava veya mekanik olarak parça yüzeyine püskürtülmesi en uygun yöntemdir. Hava yerine su kullanılarak toz sorunu da ortadan kaldırılabilir. Püskürtülen tanelerin tüm parçanın yüzeyini taraması için küçük parçalarda bir tambur, büyük parçalarda ise bir döndürme tertibatından yararlanılır.

4.5. Çapak kesme

Çapak kesme işlemi, yüzey temizlemeden önce veya sonra yapılarak, parçanın son biçimine ait olmayan yolluk ve çıkıcıların kırılma yüzeyleri, maça destekleri, teller, bölüm yüzeyi çapakları gibi kısımlar uzaklaştırılır. Bu amaçla, keski ile ayırma, taşlama, eğeleme, frezeleme gibi yöntemler kullanılabildiği gibi, çapaklar kalıpta pres altında da kesilebilir.

4.6. Isıl işlemler

Dökülen parçalara bir ısı işlem ön görülmüş ise, bu işlem genellikle çapak kesmeden sonra yapılır. Döküm parçalara uygulanan ısıl işlemlere örnek olarak; temper dökme demir ile küresel grafitli dökme demirde uygulanan grafitleştirme, dökme çeliklerin normalizasyonu ve/veya ıslahı, demir dışı metallerde yapılan yaşlandırma ısıl işlemleri gösterilebilir.

4.7. Son yüzey işlemleri

Parçaya uygulana son işlemler; talaşlı işlemlerin son pasoları, kimyasal yüzey işlemleri, kaplama, parlatma, boyama gibi uygulamalar olabilir.

5. DÖKÜM KUSURLARI VE KALİTE KONTROL

5.1. Döküm hataları

Genel olarak hatalar dökümde kullanılan malzeme ve ekipmanın yanlış seçiminden, imalat sırasında sıcaklık, kalıp kumu bileşenleri ve nem gibi fiziksel kontrollerin yeterli veya hiç yapılmamış olmasından kaynaklanır.

Döküm parçalarda rastlanılan hatalar çok çeşitli sebeplerden kaynaklanmaktadır. Bu kapsamda:

- Döküm malzemesi,
- Kalıp ve maça özellikleri ile kalitesi,
- Yolluk ve çıkıcı sistemi,
- Döküm metodu,
- Kalıp bozma faktörleri,
- Parça temizleme ve uygulanan ilave işlemler önem arz etmektedir.

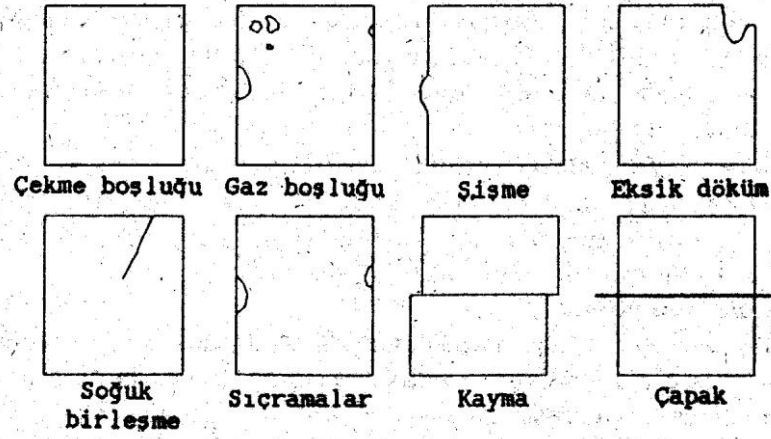
Döküm parçalarındaki hataları dış ve iç hatalar olarak iki ana gruba ayırmak mümkündür.

Tablo 2. Döküm parçalarında dış hataların gruplandırılması

Hata niteliği	Hata karakteristikleri
Oksitli yüzeyler	Parça üzerine yapışmış metal oksitleri veya cüruf tabakası
Yüzeye yapışmış yabancı maddeler	Kalıp malzemesinden, metal-kalıp malzemesi karışımından oluşan yüzey kabukları
Parça yüzeyinde her çeşit istenmeyen pürüz, çıkıntı, çukur, derin çizgi, pullaşma vb.	Döküm malzemesinden ve yabancı maddelerden yüzeyde oluşmuş çıkıntı, çukur vb.
Şekil bozuklukları	Parçanın tümü veya bir kısmındaki şekil ve boyut hataları

Tablo 3. Döküm parçalarında iç hataları gruplandırılması

Hata niteliği	Hata karakteristikleri
Gaz kabarcıkları ve gözenek	Yuvarlağa yakın köşeleri kırılmış pürüzsüz yüzeyli çeşitli büyüklük ve dağılımda boşluklar
Boşluklar	Pürüzlü ve debritik şekilli çeşitli büyüklük ve dağılımda boşluklar
Karışımlar (Yabancı madde)	Döküm metalinden, yabancı metal veya metal olmayan parçaya yapışmamış, kaynamamış heterojenlikler
Parçada süreksizlikler (kırılma, çatlama vb.)	Döküm parçasında görülen kısmi veya tam süreksizlikler.
Malzeme hataları	Döküm parçasında standart veya anlaşmalara uymayan malzeme hataları



Şekil 51. Bazı döküm kusurları

Döküm yöntemiyle üretilmiş parçalarda karşılaşılan başlıca kusurlar aşağıda sıralanmıştır.

- a) **Çekme boşlukları:** Katılaşma sırasında, sıvı metal ile beslenemeyen kalın kesitlerde oluşan ve genellikle cidarları pürüzlü olan boşluklardır. İç ve dış çekme boşlukları genellikle kalıp ve parça tasarımındaki hatalardan ve yeterli beslemenin yapılamayışından kaynaklanır. Ayrıca dendritik katılaşma sırasında da çeşitli nedenlerden dolayı mikro boşluklar da ortaya çıkabilir.
- b) **Gaz boşlukları:** Kalıp boşluğunda var olan veya sıvı metal içinde çözünmüş gazların metali ve kalıbı terk edememesi sonucu parça içinde veya yüzeyinde oluşur. Metal içinde çözünmüş gaz miktarının yüksek ve kalıbın gaz geçirgenliğinin düşük olması bu hatanın başlıca nedenlerindendir. Bu hatanın bir diğer nedeni de kalıp içinde nem bulunması ve buhar haline geçen nemin kalıp geçirgenliği yeterli olmadığı için parçada boşluklara neden olmasıdır.
- c) **Kayma:** Kalıplama sırasında model parçalarının veya kalıp kapama sırasında kalıp parçalarının konumlarından kayması sonucu ortaya çıkan biçim değişiklikleridir.
- d) **Çapak:** Bölüm yüzeyine sıvı metalin sızması sonucu oluşur.
- e) **Soğuk birleşme:** Kalıp içinde önceden katılaşmış bölgelerin daha sonra gelen sıvı metal cephesi ile birleştiği ve aradaki oksit tabakası nedeniyle kaynamanın tam olmadığı bölgelerde görülür.
- f) **Sıçramalar:** Döküm sırasında sıçrayarak kalıp cidarlarında katılaşan ve daha sonra kalıba dolan sıvı metalle soğuk olarak birleşen metal parçacıklarıdır.
- g) **Eksik döküm:** Dökülen sıvı metalin kalıbı tam dolduramaması sonucu oluşur. Döküm sıcaklığının düşük olması, gaz geçirgenliğinin yetersizliği, parça kesitlerinin kullanılan kalıp türü ve malzeme için çok dar olması başlıca nedenlerdir.
- h) **Şişme:** Kalıp dayanımının yetersiz olduğu bölgelerde sıvı metalin basıncının etkisiyle kalıpta yerel biçim değişiklikleri olur.

- i) **Metal penetrasyonu:** Sıvı metalin kum tanecikleri arasına sızması nedeniyle pürüzlü bir yüzey ortaya çıkar. Bu hatayı önlemek için ince kum kullanılmalı, kalıp daha fazla sıkıştırılmalı ve kalıp boşluğunun yüzeyine kömür tozu serpilmelidir.
- j) **Kalıp genişlemesi:** Döküm sırasında kalıp kumu taneciklerinin genişlemesi ve oluşan basma gerilmeleri sonucu kalıp yüzeyinde aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi çatlama ve dökümler ortaya çıkabilir. Bu kusuru gidermek için, kum esaslı kalıp malzemesinin genişleme özelliklerinin uygun olması çok önemlidir.
- k) **Segregasyon:** Parça içinde, malzemenin kimyasal bileşimi bakımından yerel farklılıkların oluşmasıdır. Katılaşma aralığı geniş, döküm sıcaklığının aşırı yüksek seçilmesi ve soğuma hızının yavaş olduğu durumlarda rastlanır. Homojenleştirme tavı ile giderilebilir.
- l) **Kirlilikler:** Cüruf, oksit, kum parçacıkları gibi yabancı maddelerin sıvı metale karışmasıyla, genellikle parça yüzeyinde gözle görülebilir kusurlar ortaya çıkar. Genellikle dökülen metalden daha düşük yoğunluklu olan bu kirlilikler, sıvı metal içinde yükselerek parçanın üst yüzeyinde toplanırlar.
- m) **Kum tanelerinin yüzeye kaynaması:** Döküm sıcaklığının çok yüksek seçilmesi veya bağlayıcı kilin refrakterliğinin yeterli olmaması durumunda kalıp kumu tanecikleri parçanın yüzeyine kaynar ve parça yüzeyi camsı bir görünüm alır.
- n) **Sıcak yırtılma, çatlaklar ve çarpılmalar:** Katılaşma tamamlanmış, ancak hala sıcak olması nedeniyle yeterli dayanıma sahip olmayan döküm parçalar, kalıp içinde soğurlarken büzülme serbestçe gerçekleşemez ve iç gerilmeler ortaya çıkar ise kritik kesitlerde sıcak yırtılmalar oluşur. Yırtılma yüzeyi pürüzlü ve oksitlenmiş bir görünümdedir. Bu iç gerilmeler daha düşük sıcaklıklarda soğuk çatlaklara veya çarpılmalara da neden olabilir. Çarpılmanın diğer nedeni de, değişik kalınlıklardaki kesitlerin soğuma hızları arasındaki farklardır.

5.2. Dökümde kalite kontrol

Kalite, mamul özelliklerinin kullanım amacına uygunluğu olarak tanımlanır. Ürün özelliklerinin saptanması, sürekliliğin sağlanması ve hatalı parçaların ayrılması için her üretim yerinde olduğu gibi dökümhanelerde de kalite kontrol uygulamaları yapılır. Bu uygulamalar üç ana başlık altında toplanabilir:

- a) **Girdi kontrolleri:** Döküm metalleri, modeller, kalıp ve maça malzemelerinin kontrolü.
- b) **Üretim kontrolü:** Kalıp ve maça malzemelerinin hazırlanması, kalıplama, maça üretimi, kalıp kapama, metal eritme, dökme ve bitirme işlemlerinin kontrolü.
- c) **Dökülmüş parçaların kontrolü:** parçada yapı sürekliliğinin kontrolü (boşluk, çatlak ve segregasyon), biçim ve boyut kontrolü, malzemenin kimyasal ve fiziksel özelliklerinin kontrolü.

Girdi ve üretim kontrolleri her döküm yöntemi için farklı olup, kullanılan malzemeler ve uygulanan üretim kademelerine göre düzenlenir. Bu nedenle bu bölümde sadece bitmiş parça kontrolleri üzerinde durulacaktır.

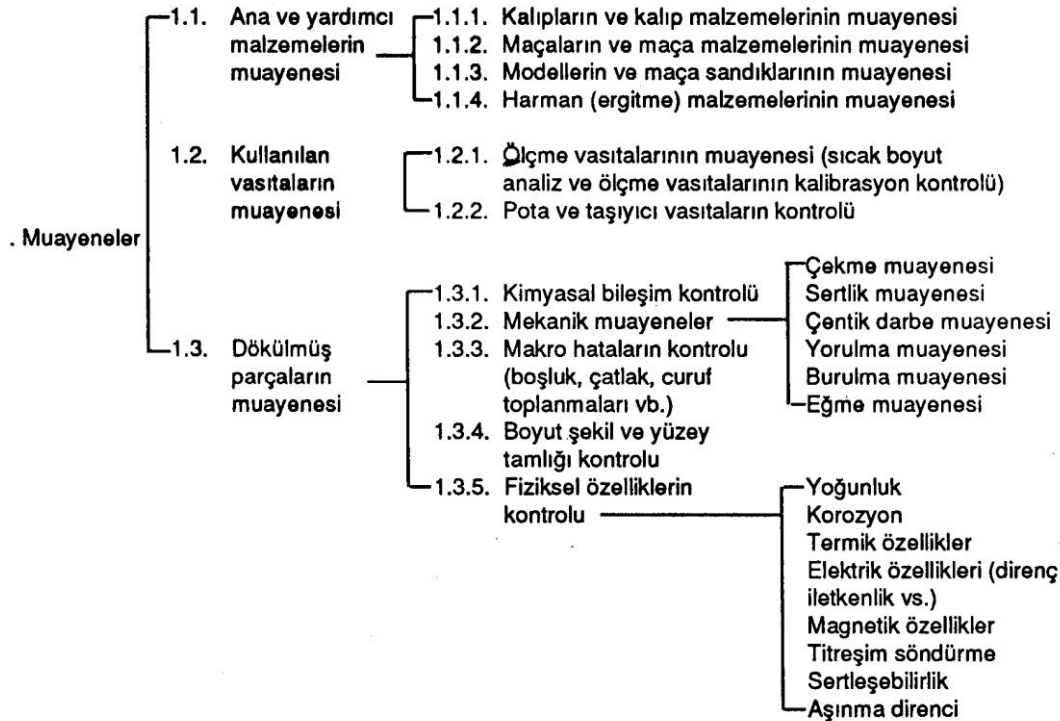
5.2.1. Dökülmüş parçaların kontrolü

Döküm parçalarında kontrol edilen belli başlı özellikler aşağıda verilmiştir:

- **Kimyasal bileşim:** Potadaki sıvı metalden veya dökülmüş parçadan alınan örnekler üzerinde yapılan analizlerle saptanır.
- **Mekanik özellikler:** Döküm parça üzerinden çıkarılan veya parça ile beraber dökülen örnekler üzerinde yapılan çekme, basma, eğme, sertlik, çentik darbe v.b. deneyler ile saptanır. Numunenin alındığı bölge veya parçayla birlikte dökülen numune, döküm parçasını tam olarak temsil edecek şekilde olmalıdır.
- **Biçim, boyut ve yüzey tamlığı:** Metal dökümünde geçerli olan toleranslar, kullanılan kalıp ve dökülen malzeme türüne bağlı olarak değişik standartlarla belirlenmiştir ve parçaların bu standartlara uygunlukları kontrol edilir.
- **Yapı süreksizliklerinin kontrolü:** Parça özelliklerini çok olumsuz etkileyen bu süreksizliklere örnek olarak çekme boşlukları, çatlaklar, pislik ve segregasyonlar gösterilebilir. Bu hatalar, değişik tahribatsız kontrol yöntemleriyle saptanabilir.
- **Fiziksel özellikler:** Döküm malzemelerinin yoğunlukları, termal ve elektriksel özellikleri, manyetik özellikleri v.b. belirlenir.

Bu özelliklerin geniş gruplandırılmaları aşağıda verilen tabloda verilmiştir.

Tablo 4. Dökümde kontrol edilen başlıca özellikler



Döküm parçalarının yukarıda belirtilen kontrolleri yalnızca parçaların malzemeleri ve ısıtıl işlemleri hakkında bir değerlendirme imkanı sunar. Döküm parçası içindeki makro ve mikro boşluklar, kum, cüruf gibi yabancı maddeler, parçada yüzeysel ve iç çatlaklar gibi etkenler ise çeşitli tahribatsız muayene yöntemleri ile kontrol edilir.

Kullanılan tahribatsız muayene yöntemlerinin belli başlıları aşağıda verilmiştir.

- Gözle kontrol,
- Ses ve vurma ile kontrol,
- Penetrasyon sıvı yöntemiyle kontrol,
- Manyetik toz ile kontrol,
- Dağlama ile kontrol,
- Ultrasonik kontrol,
- Röntgen ışınları ile kontrol,
- Gama ışınları ile kontrol,
- Basınçlı su ile kontrol,

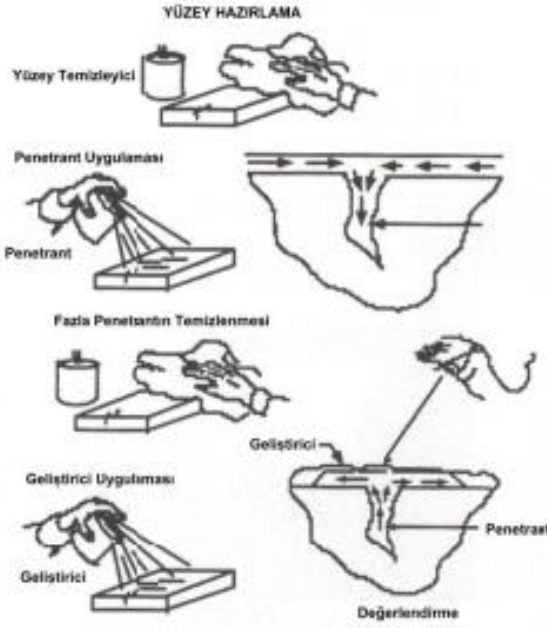
Görsel Kontrol:

Görsel Kontrol veya Görsel Muayene bir nesnenin direkt veya endirekt olarak belirlenen kriterlere göre, bir insan tarafından iç ve dış yüzeylerinde renk farklılığı ve süreksizlikler, hatalar olup olmadığının , eğer var ise kabul veya red olup olmadığının kararının verildiği, parça ayırımının yapıldığı bir değerlendirme metodudur. Demir döküm sektöründe, üretilen parçaların % 100 'üne uygulanması gereken bir tahribatsız muayene metodudur. Özel ışıklandırmaya gerek vardır. Parçaların dış yüzeyleri gözle kontrol edilebilir,gerektiğinde stereomikroskop incelemesi yapılabilir. Motor kafası gibi kompleks parçalarda parçaların iç yüzeylerinde kum penetrasyonu, gaz boşluğu veya diğer döküm hatalarının kontrolü ise endoskop veya döküm sektöründeki kabul edilen adıyla baroskop olarak adlandırılan cihazlar yardımıyla yapılmaktadır. Bu cihazlar bir ayna sistemine göre çalışan sabit veya hareketli, gözle dürbün şeklinde bakılan veya ekrandan gözlenen tiplerde olabilmektedirler. Özellikle demir döküm sektöründe valf gövdeleri, motor bloklar ve motor blok kafalarının içlerinin kontrollerinde çok sık olarak kullanılmaktadırlar.

Sıvı Penetrant Muayenesi:

Tesbit edilebilen süreksizliklere örnek olarak yüzeye açılan çatlaklar, çekinti boşlukları, sızdırma oluşturan birleşmeme hataları v.b. tüm hatalar örnek olarak verilebilir.

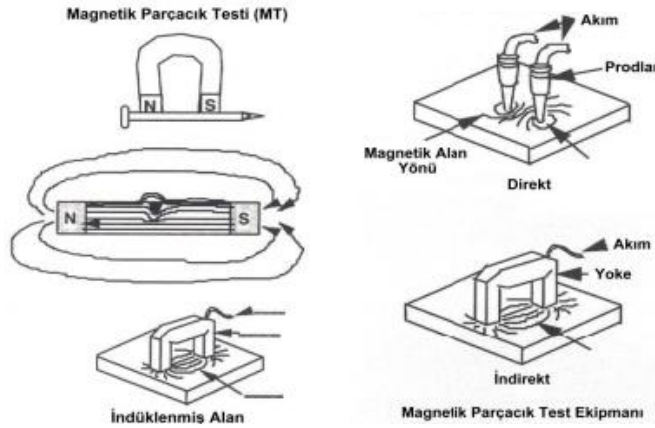
Sıvı penetrant yönteminin nasıl uygulandığını gösteren şematik bir şekil aşağıda verilmiştir(**Şekil-1**). 5 adımdan oluşan uygulama; yüzey hazırlama, penetrant sıvının tatbik edilmesi, yüzeydeki fazla penetrant sıvının silinmesi-temizlenmesi, geliştirici malzemenin parça yüzeyine tatbik edilmesi ve parçanın göz ile kontrolü (beyaz ışık veya ultraviyole ışık altında) aşamalarından oluşmaktadır.



Sıvı Penetrant Muayenesi İşlem Adımları

Magnetik Parçacık Muayenesi :

İsminden de anlaşıldığı gibi bu tahribatsız muayene yönteminde manyetizma kullanılmaktadır. Yani muayene edilecek parça veya muayene edilecek alan magnetize edilmektedir. Bu yöntemle yalnızca magnetize edilebilir yani ferromanyetik malzemeler çatlak kontrolüne tabi tutulabilirler. Alüminyum ve ostenitik paslanmaz çelikler gibi ferromanyetik olmayan malzemelerin bu yöntem ile kontrolü mümkün değildir. Ferromanyetik malzemelerin magnetik iletkenliği yani magnetik geçirgenlikleri yüksektir. Magnetizasyon sırasında magnetik alan çizgileri çatlaklarda olduğu gibi daha az iletken bir bölgeye geldiğinde, değişen magnetik iletkenlikten dolayı bir magnetik alan sıçraması oluştururlar. Magnetik alanda oluşan bu değişim, magnetik malzeme muayenesine temel oluşturur ve bir çatlak veya süreksizliğin oluşturduğu bu magnetik akı magnetizasyon sırasında yüzeye kuru veya süspansiyon içerisinde uygulanan ve serbest olan demir ve demiroksit tozlarını çekmeye ve hatalı bölge üzerinde toplamaya başlar.

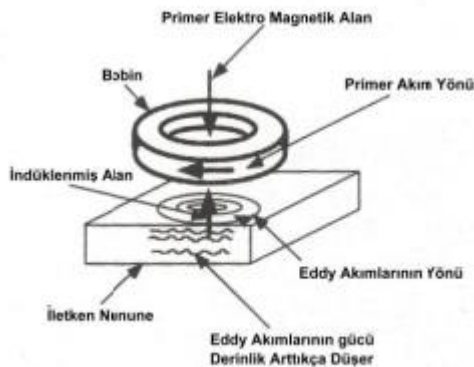


Magnetik Parçacık Testi Metodu ve Ekipmanları

Radyografik ve Radyoskopik Muayene

Eddy Akımları(Girdap Akımları) Muayenesi :

Özellikle otomotiv firmalarının asla vazgeçemediği bir yöntem olan girdap akımları ısıtma işlem sonrası tüm dişlilere ve civatalara sertliklerini kontrol amacıyla veya ısıtma işlem derinliği tesbiti amacıyla kullanılan bir yöntemdir. İletken bir bobine elektrik akımı uygulandığında, bobinde bir magnetik alan oluşur, Eğer iletken bir malzeme bu akım taşıyan bobine yaklaştırılır ise, test parçasının üzerinde bir girdap akımının oluşumuna neden olur. Girdap akımının şiddeti alaşımın veya metalin kimyasal bileşimine veya yapısal durumuna bağlıdır. Eddy akımının frekansının değiştirilmesi, bobin sistemi içerisinde, parçanın yapısal durumunun bir elektromanyetik parmak izinin elde edilmesini sağlar. Bu ise yine alıcı bir bobin ile cihaz tarafından alınır ve değerlendirilir. Parçanın yapısal durumundaki bir değişim, bileşimindeki bir değişim, malzemedeki karışım durumları, karışmış durumdaki iki parti üretim veya yanlış, yetersiz ısıtma işlem Eddy akımı sinyallerinin değişmesine neden olur. Eddy akımları muayenesi gerek elektrik ve gerekse manyetik olarak iletken olan her tür malzemeye uygulanabilir. Bu durumda Eddy akımları yöntemi tüm metalik malzemeleri içine alır.



Girdap Akımları Yönteminin Şematik Gösterimi

6. DÖKÜME UYGUN PARÇA TASARIMI

Bir parçanın döküm yöntemiyle imali kararlaştırıldıktan sonra, parçanın geometrik şeklinin, malzemesinin ve taşıyacağı zorlama seviyesinin, hangi döküm yönteminin uygun olduğunun belirlenmesi gerekir. Her parça her döküm yöntemiyle imal edilemez. Çok karışık bir şekle sahip parça ile basit bir şekle sahip parçanın aynı döküm yöntemiyle imal edilmesi, hem imalat tekniği açısından hem de ekonomiklik açısından uygun değildir.

Bir parçanın belirli bir döküm yöntemine uygun olup olmadığına karar verilmesi için parçanın aşağıdaki kriterler bakımından incelenmesi gerekir.

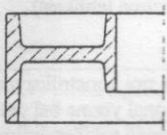
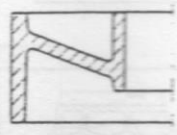
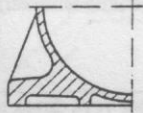
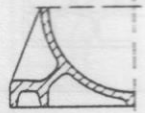
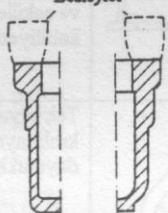
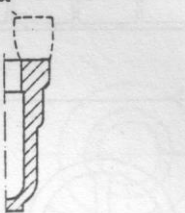
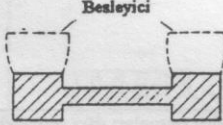
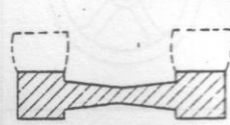
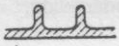
- a) Zorlanma,
- b) Malzeme,
- c) Enerji,
- d) Süre,
- e) Maliyet

Döküm parçalarının tasarımı, genel imalat tekniği prensipleri yanında, özel döküm tekniği prensiplerinin de göz önünde tutulmasını gerektirir. Bu özel döküm tekniği prensipleri arasında, sıvı haldeki döküm malzemesinin döküm kalıbını doldurmaya yeterli miktarda olması ve soğuma esnasında özellikle katılaşma sıcaklık aralığında oluşacak büzölmeye müsaade etmesi gerekir.

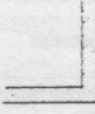
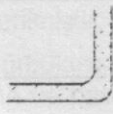
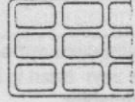
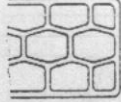
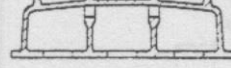
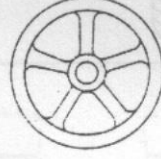
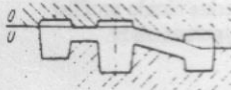
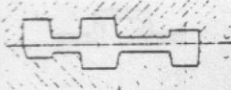
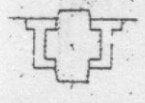
Döküm parçaların tasarımında, muhtemel problemleri en aza indirmeye yönelik beş tasarım kuralı aşağıda verilmiştir.

- 1. Kural:**Doldurma işleminin, türbilens oluşturmayacak şekilde yapılması ve döküm sırasında oluşan gazların ve havanın kalıptan tam olarak çıkması sağlanmalıdır (Tablo 5, No:1-2)
- 2. Kural:**Parçanın her tarafının mümkün olduğunca aynı hızla soğuması ve katılaşması sağlanmalıdır (Tablo5, No:3-7)
- 3. Kural:**Büzölmeyi sınırlandırıcı nedenler en aza indirilmelidir (Tablo 5,No:8-12)
- 4. Kural:**Döküm kalıbının şekli, mümkün olduğu kadar basit olmalıdır (Tablo 5, No: 13-16)
- 5. Kural:** Sonradan kesilerek uzaklaştırılmaları gereken yolluk, çıkıcı ve besleyici gibi döküm çapakları kolayca ulaşılabilecek şekilde yerleştirilmelidir (Tablo 5, No: 17)

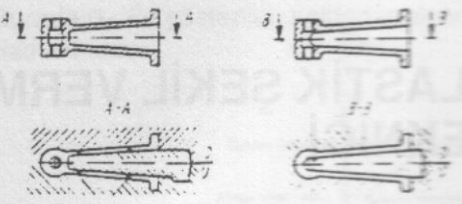
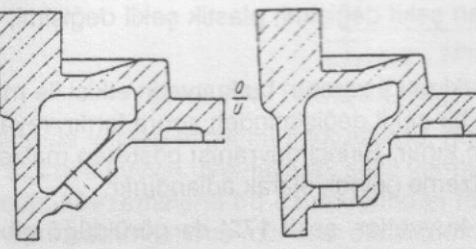
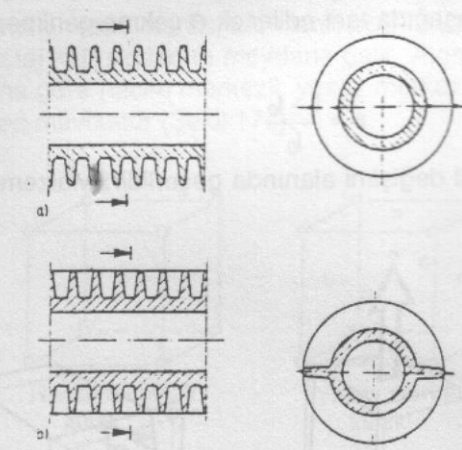
Tablo 5. Döküme uygun şekillendirme kurallarına örnekler

No.	Parça resmi		Açıklamalar
	Uygun değil	Uygun	
1			Ani kesit değişimlerinden kaçınılmalıdır. (Çatlama tehlikesi)
2			Büyük boyutlu yatay kısımlardan kaçınılmalıdır. (Gaz kabarcıkları toplanabilir).
3			Cidar kalınlıkları eşit olmalıdır. Böylece ısıyı tutan iç kısımlara engel olunabilir. (Lunker tehlikesi)
4			Besleyici doğrultusundaki cidar kalınlığı kalın olmalı, ısıyı tutacak iç kısımlara izin verilmemelidir.
5			Büyük ve paralel cidarlı döküm parçaları, mikro lunkerlerin oluşum tehlikesini azaltır.
6			Kaburgalarla cidar takviyesi yerine oluklu profiller uygulanmalıdır.
7			Aşırı ısınması nedeniyle, döküm parçasının kısımları arasındaki ince cidarlı kalıp kesitlerinden kaçınılmalıdır.

Tablo 5 (Devam)

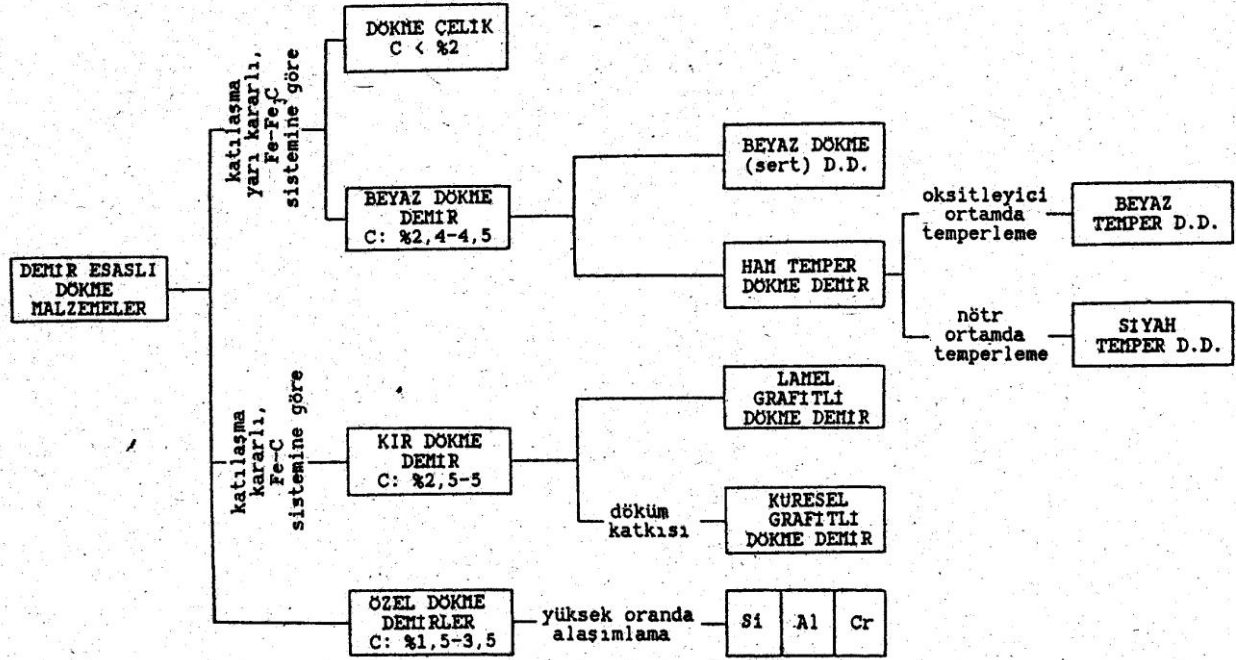
No.	Parça resmi		Açıklamalar
	Uygun değil	Uygun	
8			Keskin köşelerin yuvarlatılması gerekir. (Çatlama tehlikesi).
9			Kenarlardaki düz şekilli elemanlar kuvvetlendirilmelidir. Soğuma şartları birbirine benzetilmelidir. (İç gerilme tehlikesi)
10			Hücre tipi konstrüksiyonlar, ortogonal yerine bal peteği formunda şekillendirilmelidir. (İç gerilme tehlikesi)
11			Kemer veya dürek şeklinde bütülmüş cidarlar, gerilme dağılımının eşit olmasını sağlar ve şekillendirilebilme kabiliyetini artırır.
12			Tek sayıda destekli kasnaklar, kırılmaya karşı daha dayanıklıdır.
13			Kalıp parçaları düz olmalıdır. Parçayı sökerken eğik kısımlara dikkat edilmelidir.
14			Isıyı tutan iç kısımlardan (çekirdeklerden) kaçınılmalıdır.

Tablo 5 (Devam)

15		Çekirdekler stabil olarak yerleştirilmelidir. Aynı aynı çekirdekler, mümkün olduğunca birleştirilmelidir.
16		Gaz çıkışı kolaylaştırma ve ısı tutan iç kısım oluşumunu enaza indirmek için, cidarlardaki delikler yeteri kadar büyük ve kolayca ulaşılacak tarzda yerleştirilmelidir.
17		Çok sayıda profillerden oluşan döküm parçaları, kesme düzleminde ilave kaburgalarla takviye edilerek şekillendirilmelidir.

7. DEMİR ESASLI DÖKÜM MALZEMELERİ

Kır dökme demir, beyaz dökme demir, temper dökme demir, küresel grafitli (sfero) dökme demir ve dökme çeliklerin dahil olduğu demir esaslı dökme malzemeler aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi sınıflandırılırlar. Bu alaşımların sınıflandırılmasında bileşimindeki karbon derişikliği ile karbonun katı çözeltiye girmeyen bölümünün Fe_3C (sementit) veya C (grafit) durumunda bulunması esas olarak alınır. Yarı kararlı $Fe-Fe_3C$ ve kararlı $Fe-C$ sistemleri arasındaki enerji farkları fazla olmadığından faz alanlarının sınırları çok az ötelenir.



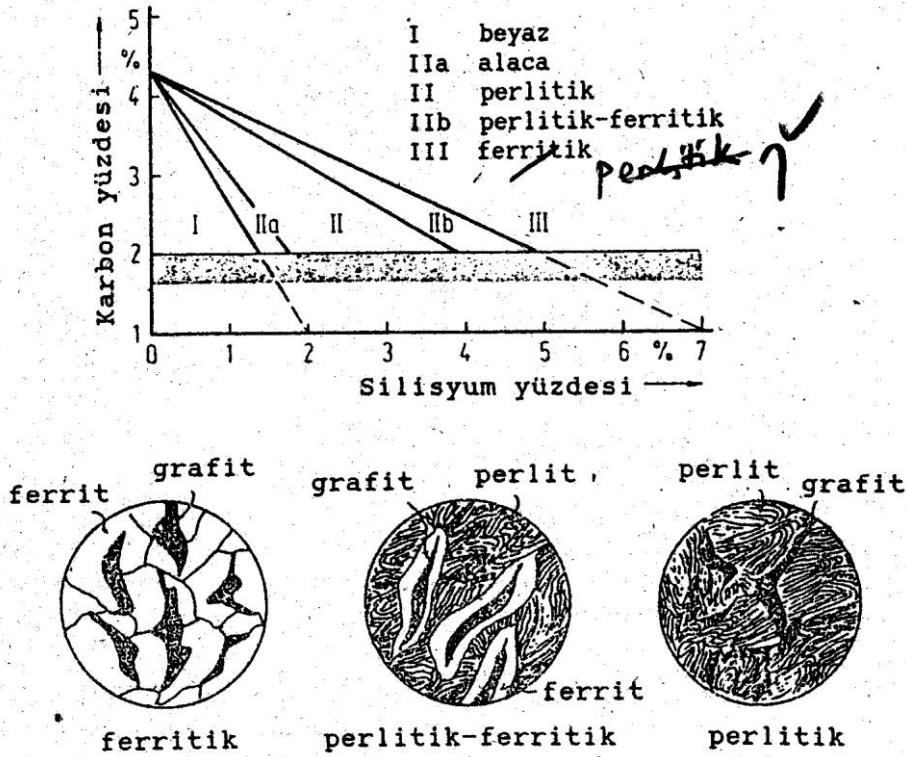
Şekil 52. Demir esaslı dökme malzemelerin sınıflandırılması

7.1. Dökme demirler

Dökme demirler, %2-5C içeren demir esaslı dökme alaşımlar olup, korozyona karşı dayanıklılıkları, titreşim sönümlemem özellikleri, dökümdeki akıcılık ve kalıbı doldurma özellikleri çok iyi olan malzemelerdir. Ötektige yakın bileşimlerde erime sıcaklığı düşük (1150-1250°C), katılaşma aralığı dar olur. Karbonun grafit halinde ayrışması sırasında hacim arttığından, malzemenin kendisini çekmesi düşüktür. Dökme demirin elde edilışinde, başlangıç malzemesi olarak genellikle yüksek fırın piki kullanılır ve çelik hurdası, ferrosilisyum, ferromangan gibi katkılarla bileşim ayarlanır. Genellikle kupol ocağında ergitilen dökme demir, daha sonra bir elektrik ocağında tutularak ve bileşimi daha hassas olarak ayarlandıktan sonra da dökülebilir.

Dökme demirin bileşimindeki karbonun içyapıda bulunma şekli (sementit veya grafit), içerdiği karbon ve silisyum miktarı ile soğuma hızına bağlıdır. Orta kalınlıkta (30 mm) ve kuru kum kalıba dökülmüş (sabit soğuma koşulu) bir parçada içyapının C ve Si yüzdelere

bağlı olarak değişimi aşağıda verilen Maurer diyagramıyla verilir. Görüldüğü gibi diyagramda beyaz, perlitik ve ferritik olmak üzere üç ana bölge vardır. Beyaz dökme demirde karbon tümüyle sementit olarak (sementit ve perlit), ferritik dökme demirde ise tümüyle grafit olarak ayrışır. Perlitik dökme demirde ise karbon hem perlit hem de grafit içinde bulunur. Bu üç ana bölge arasında da geçiş bölgeleri bulunmaktadır.



Şekil 53. Maurer Diyagramı

Dökme demirlerin türünü belirleyen en önemli faktör, kimyasal bileşim, soğuma hızı ve döküm sonrası uygulanan ısı işlemdir. Dökme demirlerin incelenmesinde karbonun içyapıda sementit (Fe_3C) veya grafit halinde bulunmasına göre demir-sementit (metastabil-yarıkararlı) veya demir grafit (stabil-kararlı) denge diyagramları geçerlidir.

Tablo 6. Bazı dökme demirlerin kimyasal bileşimleri

Element	Gri dökme demir	Beyaz D.D. Temper D.D.	Yüksek mukavemetli Gri D.D.	Küresel grafitli D.D.
Karbon	2,5-5	1,8-3,6	2,8-3,3	3-4
Silisyum	1-3	0,5-1,9	1,4-2	1,8-2,8
Manganez	0,4-1	0,25-0,8	0,5-0,8	0,15-0,9

Kükürt	0,05-0,25	0,06-0,20	0,12 (maks.)	0,03 (maks.)
Fosfor	0,05-1	0,06-0,18	0,15 (maks.)	0,10 (maks.)

7.1.1. Dökme demirlerin yapı bileşenleri

Dökme demirlerin yapısında genel olarak aşağıdaki fazlardan iki ve daha fazlası birlikte bulunur.

Grafit: Dökme demirlerin içyapısında serbest olarak bulunana karbona grafit (kır, temper, küresel grafitli dökme demirlerde bulunur) adı verilir.

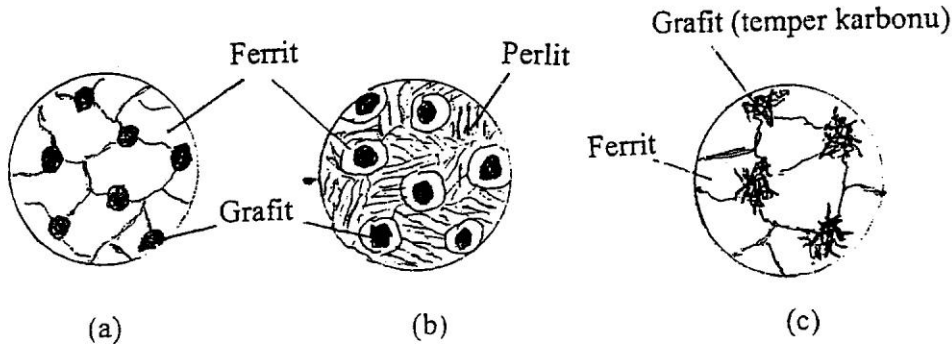
Sementit(Fe_3C): Bir arayer bileşiği olduğu için çok sert ve gevrek.

Ferit (α): İçinde çok az (%0,008) miktarda çözünmüş karbon bulunan demirdir. Çok yumuşak ve kopma uzaması yüksektir.

Perlit ($\alpha + Fe_3C$): Ötektoid dönüşümle oluşan bir fazdır. Perlit; ferrit ve sementit tabakalarının üst üste binmesiyle oluşmaktadır. Sertlik ve mukavemeti ferritten yüksektir.

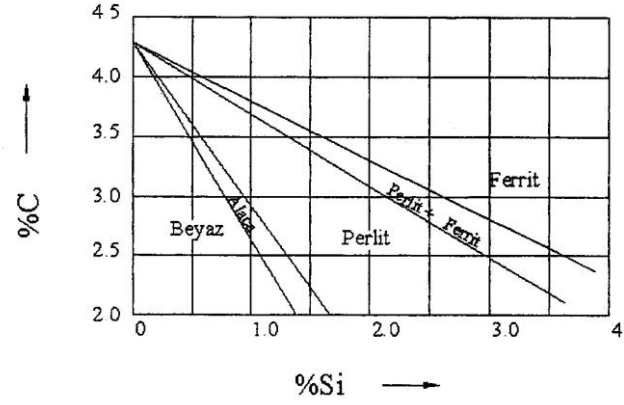
Ostenit (γ): Ostenit dökme demirlerde $740^{\circ}C$ 'nin üzerinde, karbonun yüzey merkezli kübik yapılı gama demiri içerisinde çözünmesiyle oluşan bir arayer katı çözeltisidir. Normal olarak oda sıcaklığında da kararsız bir faz olmasına karşın, bazı özel durumlarda oda sıcaklığında da ostenit elde edilebilir.

Ledeburit: Ötektik yapılı demire verilen özel addır.

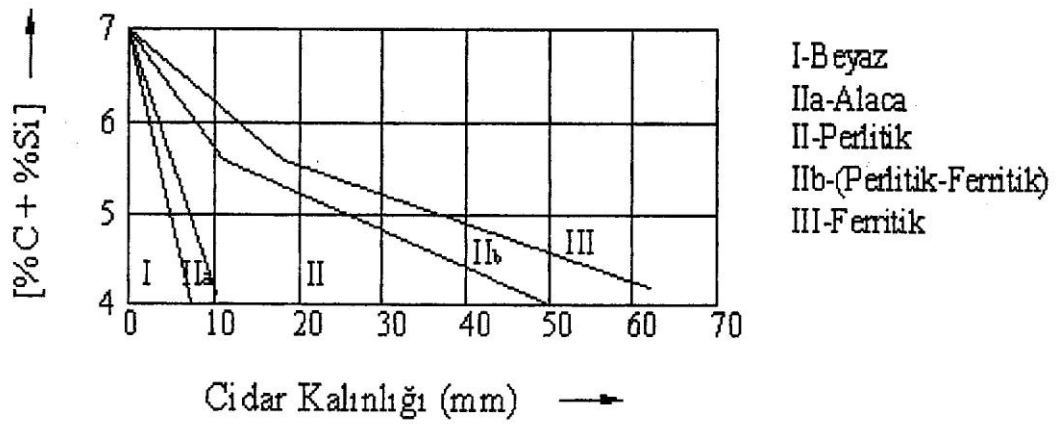


Şekil 54. (a) Ferritik ve (b) ferritik-perlitik küresel grafitli dökme demir, (c) ferritik siyah temper dökme demirin metalografik yapısı.

Dökme demirlerin içyapısı bileşim ve soğuma hızına göre değişir. İçyapının nasıl oluşacağını gösteren diyagramlar aşağıdaki şekillerde verilmiştir. Diyagramda görüldüğü gibi beyaz, perlitik ve ferritik olmak üzere üç bölge vardır. Bu üç bölgelerin arasında da geçiş bölgeleri vardır.

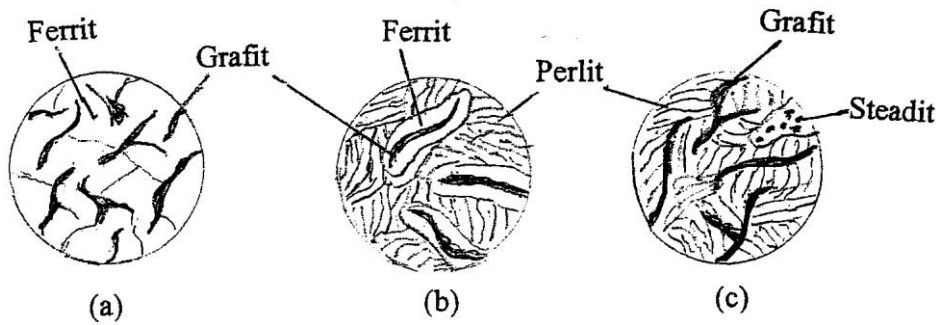


Şekil 55. Dökme demirlerin iç yapısına C ve Si'un etkisi (Maurer Diyagramı)



Şekil 56. Dökme demirlerin iç yapısına ve (C+Si) yüzdesinin ve kesit kalınlığının etkisi (Greiner-Kliengenstain Diyagramı)

Prof.Dr.Fazlı ARSLAN



Şekil 57. (a) Ferritik, (b) Perlitik-ferritik ve (c) perlitik kır dökme demirlerin iç yapısı.

7.1.2. Karbon eşdeğeri

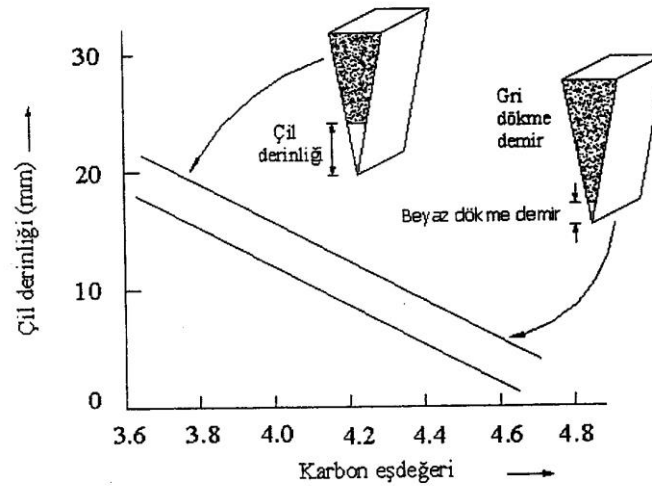
Dökme demirin bileşiminde bulunan alaşım elementleri ve özellikle alaşımsız dökme demirlerde Si ve P ötektik noktasını sola kaydırır. Ötektik dönüşüm noktası %4,3 C oranında değil de, daha düşük karbon oranına doğru kayar. Si ve P belirli oranda C gibi etki yaparlar. İşte bu etkinin hangi oranda olduğu bilinerek sola kayan ötektik noktanın karbon oranı belirlenir. Karbon eşdeğeri aşağıdaki eşitlikle belirlenir.

$$K.E. = \%C + 1/3(\%Si + \%P)$$

Karbon eşdeğeri 4,3 olduğunda dökme demir yaklaşık olarak ötektik alaşıma tekabül eder. $K.E. < 4,3$ ise ötektik altı, $K.E. > 4,3$ ise demir ötektik üstüdür. Karbon eşdeğeri dökme demirlerde çok kullanılan bir ifadedir. Çünkü dökme demirin bir çok özelliği karbon eşdeğerine bağlı olarak değişir. Bazı durumlarda C eşdeğeri olarak sadece Si da alınabilir.

Karbon eşdeğeri 4,3'ün üzerinde olan dökme demirlerde sıvı metalden ayrılan kaba grafitler oluşarak yüzeyde yüzen bir tabaka meydana getirirler. Ancak ince kesitli parçalarda C eşdeğerinin 4,3'ün üzerinde olması gerekir.

Karbon eşdeğeri ile beyaz dökme demir olarak katılaşan parça kalınlığı (çil derinliği) arasındaki ilişki aşağıdaki şekilde verilmiştir. Uygulamada kama şeklinde dökülen dökme demir kırılarak çil derinliğinden yaklaşık karbon eşdeğeri belirlenebilir.



Şekil 58. Çil derinliğinin karbon eşdeğeri ile değişimi.

7.1.3. Dökme demirlerin genel özellikleri

Aralarında farklılıklar oluşmakla birlikte beyaz dökme demir dışındaki dökme demirlerin genel özellikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Titreşim söndürme kabiliyetleri yüksektir,
- Yüksek sıcaklığa dayanıklıdır, yüzeylerinde tufal oluşmaz,
- Basma dayanımları çekme dayanımlarının 3-5 katıdır,
- Korozyon dayanımları çeliklerden daha iyidir,
- Aşınma dayanımları iyidir,
- Ergime sıcaklıkları çeliklerden düşüktür (1150-1300°C)
- Ergimiş halde akışkanlıkları ve kalıp doldurma özellikleri iyidir,

- h) Kimyasal bileşim aralıkları geniş olmasına rağmen yakın özellikler lede edilebilir,
- i) Talaşlı imalat tekniği ile iyi işlenebilirler,
- j) Ergitme ve döküm işlemleri nispeten daha ucuzdur,
- k) Çeliklere uygulanan ısıt işlemler dökme demirlere de uygulanabilir

7.1.4. Dökme Demir Türleri ve Özellikleri

a) Kır (lamel grafitli) dökme demir

Bileşiminde %2,5-5C ve %0,8-3Si içeren lamel grafitli dökme demirler makine yapımında en çok kullanılan malzemelerdir. Karbon içyapıda büyük ölçüde grafit lamelleri olarak bulunur. Karbonun ayrışma miktarına bağlı olarak an kütle ferritik, ferritik-perlitik veya perlitik olabilir. Bu malzemede ayrışan grafitin miktarı, dağılımı ve geometrik biçimi özellikleri etkiler. İçyapıda grafitin bulunması, hem yük taşıyan kesiti küçülttüğünden hem de çentik etkisi yarattığından dayanımı düşürür. Şekil değiştirme kabiliyeti de yok denecek kadar az olup kopma uzaması %1'in altındadır.

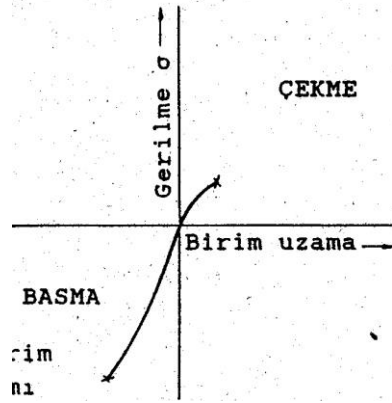
Lamel grafitli dökme demirler, TS 552'de DDL-5 ile DDL-40 arasında sınıflandırılmışlardır (Tablo 3)

Tablo 7. Lamel grafitli dökme demirler (TS 552)

LAMEL GRAFITLİ DÖKME DEMİRLERİN KISA GÖSTERİLİŞİ	Alınan numunenin çapı [mm]		Çekme Dayanımı en az [kgf/mm ²]	
	Dökülmüş durumda	İşlenmiş durumda	Normal deney parçası	Özel deney parçası
DDL-10	30	20	10	-
DDL-15	13	8	-	23
	20	12,5	-	18
	30	20	15	-
	45	32	-	11
DDL-20	13	8,5	-	28
	20	12,5	-	23
	30	20	20	-
	45	32	-	16
DDL-25	13	8,5	-	33
	20	12,5	-	28
	30	20	25	-
	45	32	-	21
DDL-30	20	12,5	-	33
	30	20	30	-
	45	32	-	26
DDL-35	20	12,5	-	38
	30	20	35	-
	45	32	-	31
DDL-40	30	20	40	-
	45	32	-	36

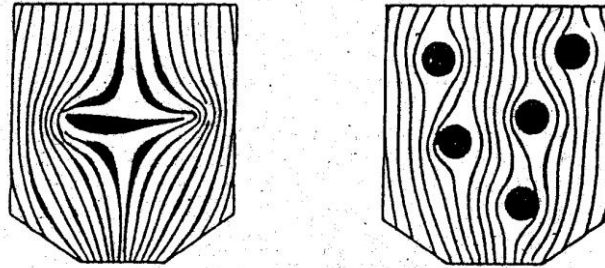
Çekme gerilmeleri altında çentik etkisi nedeniyle dayanım düşmesine neden olan grafit lamelleri, basma gerilmelerini taşıyabildiğinden, dökme demirlerin basma dayanımları çekme dayanımlarının 3-4 katıdır. Ayrıca gerilme yığılmalarının olduğu çentik uçlarındaki yerel akımlar nedeniyle çekme eğrisinde Hooke kanunun geçerli olduğu elastik bir bölge mevcut değildir.

En ekonomik olarak kupol ocağında üretilen kır dökme demirlerin kaba lamellilerine genellikle ısıtıl işlem uygulanmaz. Çünkü sertleştirmedeki iç gerilmeler nedeniyle lamel uçlarındaki çentiklerde çatlaklar oluşabilir. Dökme demirler kaynak yöntemiyle birleştirilmeleri güç malzemelerdir. Grafitlerin yağlayıcı etkisinden dolayı kuru sürtünmeye elverişli olup yatak malzemesi olarak kullanılması durumunda yağsız kalan yatağın bir süre sarmadan çalışması sağlanabilir.



Şekil 59. Dökme demirin gerilme-birim şekil değiştirme diyagramı.

Lamel grafitli dökme demirler makine gövdeleri, dişli kutuları, temel plakaları ve yataklar gibi dayanımın çok yüksek olmasının gerekmediği titreşim sönümlemem özelliğinin önemli olduğu yerlerde ve genellikle basma zorlanmaları altında çalışacak şekilde kullanılır.

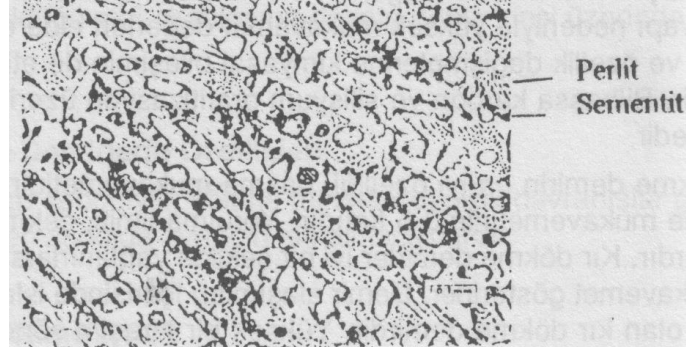


Şekil 60. Lamel ve küresel grafitli dökme demirlerde kuvvet akış çizgileri.

b) Beyaz dökme demir

Düşük karbon ve silisyum oranlarında ve yüksek soğuma hızlarında karbon ayrışamaz, bağlı halde (demir karbür) kalır. Bu tür dökme demire “beyaz dökme demir” adı verilir. Beyaz dökme demir kırıldığı zaman, beyaz kristal şeklinde bir yüzey verir. Yapıdaki perlit ve yüksek orandaki demir karbür nedeniyle yüksek sertlik ve aşınmaya dayanıklılık özellikleri

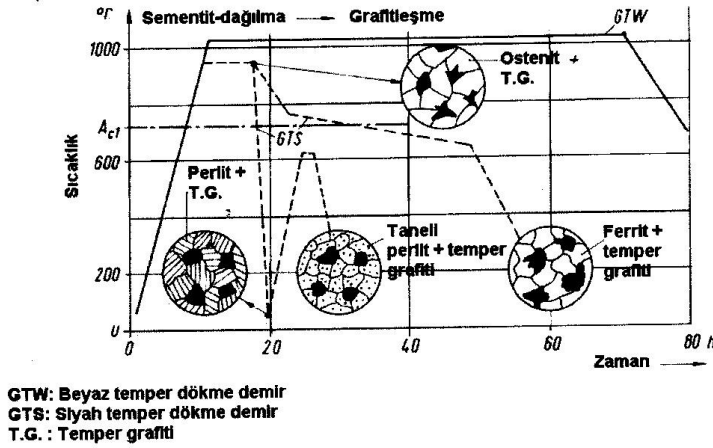
vardır. Sertlikleri 350-550 BSD arasındadır. Beyaz dökme demirde perlit ve sementitin dağılımı aşağıdaki şekilde verilmiştir. Beyaz dökme demirde yüksek sıcaklığa dayanma özelliği vardır. Fakat çentik darbe mukavemetlerinin ve işlenebilirlik kabiliyetlerinin düşük olması, beyaz dökme demirlerin kullanım alanlarını kısıtlar. Başlıca kullanım alanları arasında cevher veya çimento değirmen astarları, öğütücü bilyalar ve konveyör parçaları sayılabilir.



Şekil 61. Beyaz dökme demirin iç yapısı

c) Temper dökme demir (DDT)

Karbonu serbest halde bulunmayan yani grafit içermeyen ledeburitik-perlitik beyaz dökme demirin uzun süre yüksek sıcaklıkta ısıtılması (tavlanması) sonucu kar tanesi görünüşlü temper grafitler ayrışır. Temper dökme demirin başlangıç yapısı olan beyaz dökme demirin grafitli katılaşmasının öneminin yanı sıra kendini çekme oranının %2 olması nedeniyle parçaların büyüklüğü de sınırlıdır ve yaklaşık olarak 100 kg ve kalınlığının 60 mm civarında olması gereklidir. Beyaz dökme demire uygulanacak ısıtılma işlemi aşağıdaki şekilde görülmektedir. Bu yolla elde edilebilecek olan temper dökme demir kırık yüzey görünüşüne göre beyaz ve siyah olabilir.

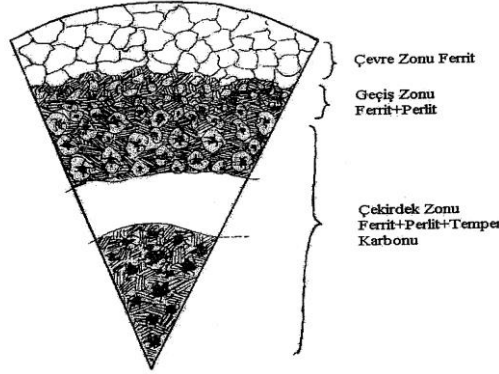


Şekil 62. Beyaz dökme demirden, temper dökme demirin elde edilişi

i) Beyaz temper dökme demir (DDTB)

%2,8-3,4 karbonlu beyaz dökme demir parçalar oksitleyici bir ortamda 1000°C civarında yaklaşık olarak 80 saat süreyle tavlanır. Bu işlemde dökme demirin parçalanmış

olan Fe_3C bileşiğindeki karbon ile ostenitte çözünmüş olan karbon kısmen yanar. Yüzey kısımları dekarbürize olduğundan büyük cıdar kalınlıklarında yüzeyde ferrit, iç kısımlara doğru gidildiğinde ise gittikçe artan oranda perlit ve temper grafiti oluşur (ana yapı ötektoid altı çelik). Beyaz dökme demirler, fittingler, kerpeten, pense, anahtar gibi el aletleri, direksiyon aksamaları v.b yerlerde yaygın olarak kullanılırlar.



Şekil 63. Kalın kesitli beyaz temper dökme demirde iç yapının dıştan içe doğru değişimi

Tablo 8. Beyaz temper dökme demirin özellikleri

Tablo 8. Beyaz Temper Dökme Demirler (TS-519)

Temper Dökme Demir Tipinin Kısa İşareti	Deney Parçasının	Çekme Dayanımı kgf/mm ²	0.2 Sınırı kgf/mm ²	Kopma Uzaması % (Lo=3d)	Brinel Sertlik Değeri (BSD)	Temper Dökme Demir Tiplerinin Doku
DDTB-35	9	34	-	6	220	Ferritik bir iç düzey + temper karbonu
	12	35	-	4		
DDTB-40	9	36	20	10	220	Çekirdek dokusu "lamelli perlit + temper karbon"
	12	40	22	5		
DDTB-45	15	42	23	3	200	Çekirdek dokusu "taneli perlit + temper karbonu"
	9	40	23	12		
	12	45	26	7		
DDTB-55	15	48	28	5	240	Çekirdek dokusu "ince taneli perlit + temper karbon"
	9	52	34	7		
	12	55	36	5		
DDTB-65 ¹⁾	15	57	37	4	270	Karbonsuzlaşma derinliği az ve ısıtma işlemi uygulanabilen bir vanı + temper karbon
	9	62	41	4		
	12	65	43	3		
DDTB-K 38	15	40	21	8	200	Karbonsuzlaşma derinliği çok ve kaynak yapıldıktan sonra ısıtma işlemi gerektilmeyen bir vanı
	9	32	17	15		
	12	38	20	12		

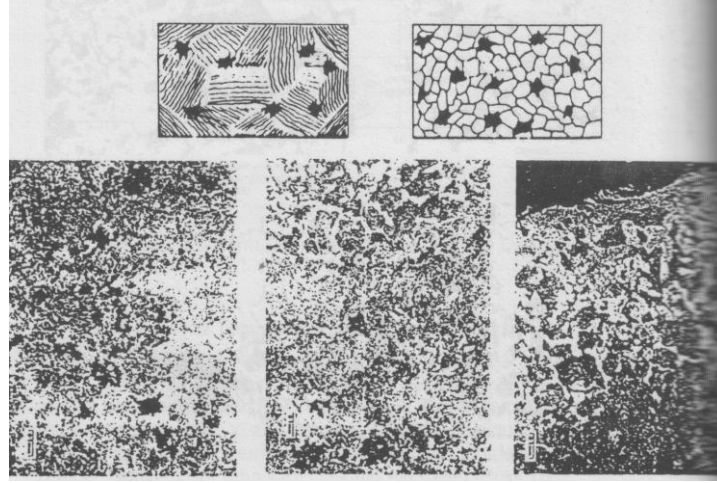
1) Serleştirilmiş ve menevişlenmiş.

ii) Siyah temper dökme demir (DDTS)

%2,2-2,8 C'lu beyaz dökme demir, nötr atmosferde (genellikle koruyucu gaz atmosferinde) veya nötr bir ortamda (kuvars kumu içinde) 5-10 saat kadar 900-950°C'ye ısıtılır ve bu sıcaklıkta 20 saat kadar bekletilir. Bu işlem sırasında sadece sementit parçalanır.

Burada tavlama sırasında karbonun uzaklaştırılamaması nedeniyle başlangıç karbon oranının biraz daha az olması uygundur. Siyah temper dökme demirlere ıslah ve yüzey sertleştirme işlemleri uygulanabilir. Siyah temper dökme demirler sünektir.

Kullanım yerleri: araba direksiyon parçaları, fren tamburu, krank mili, küçük gövdeler, aşınmaya karşı dayanıklı parçalar.



Şekil 64. Siyah temper dökme demirin içyapısı

Tablo 9. Siyah temper dökme demirin özellikleri

Tablo 5 Siyah Temper Dökme Demirler (TS 519)

Temper Dökme Demir Tipinin Kısa	Deney Parçasının Çapı (mm)	Çekme Dayanımı kgf/mm^2 min	0.2 Sınırı kgf/mm^2 min	Kopma Uzaması % (Lo=3d) min	Brinel Sertlik Değeri(BSD) kgf/mm^2	Temper Dökme Demirin Karakteristik Özellikleri
DDTS-35	12 15	35	20	12	150'ye kadar	"Ferit + temper karbon"
DDTS-45	12 15	45	30	7	160-200	"Perlit (lamelliden taneliye kadar değişebilen) + ferrit + temper karbon"
DDTS-55	12 15	55	36	5	180-220	"perlit (lamelliden taneliyekadar değişebilen) + temper karbon" Ferit de
DTTS-65	12 15	65	43	3	210-250	"perlit (lamelliden taneliyekadar değişebilen) + temper karbon"
DDTS-70 ¹⁾	12 15	70	55	2	240-270	"İslı işlem uygulanabilen bir yapı+temper karbonu"

1) Sertleştirilmiş ve menevişlenmiş.

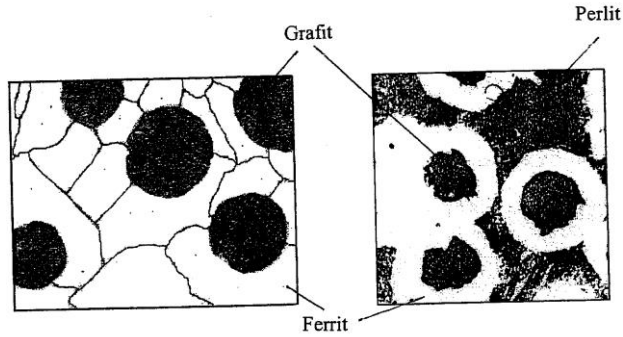
Her iki çeşit temper dökme demirde içyapının matrisini soğuma hızı belirler. Soğumanın yavaş olması ana yapıyı: ferrit+temper grafiti; orta bir hızda olması ferrit+perlit+temper grafiti; fazla olması ise perlit+temper grafiti şeklinde hazırlar. Ayrıca temper dökme demirlere çeşitli ıslah etme işlemleri de uygulanabilir.

d) Küresel grafitli dökme demirler (Sfero-DDK)

Bileşiminde %3,2-3,8C ve %2,4-2,8 Si bulunan küresel grafitli dökme demirlerde, $Mn < \%0,5$, $S < \%0,02$ olarak sınırlanmış ve ayrıca malzeme Pb, As, Sb, Ti ve Al gibi elementlerden arındırılmıştır. Döküm öncesinde sıvı metale %0,5Ce veya daha ucuz olan %0,5 Mg katılarak grafitin küresel olarak ayrışması sağlanır.

Grafitin küresel biçimi en küçük yüzey/hacim oranını ve dolayısıyla en büyük taşıyıcı kesiti sağlar. Dayanımın artmasının yanında çentik etkisi de ortadan kalktığından malzemenin sünekliği de iyidir. Buna karşın titreşimleri sönmüleme özelliği DDL kadar iyi değildir. Sfero dökme demirde Hooke kanunun geçerli olduğu bir bölge mevcuttur. Isıl işlem uygulanarak özellikleri daha da iyileştirilebilen küresel grafitli dökme demirler TS526'da standartlaştırılmıştır.

Özellikleri çeliklerle rekabet edebilir düzeyde olan küresel grafitli dökme demirler, krank milleri, pistonlar, sübaplar, kalıplar, merdaneler v.b. parçaların dökümünde kullanılır.



Şekil 65. Küresel grafitli dökme demirlerin iç yapıları

Tablo 9. Küresel grafitli dökme demirlerin özellikleri

Tablo 10 Küresel Grafitli Dökme Demirler (TS 526)

Kısa Gösterilişi	Dokusu	Çekme Dayanımı min kgf/mm ²	0,2 Sınırı min kgf/mm ²	Kopma Uzaması l ₀ =5d ₀ min	Sertlik (BSD)	Darbe Dayanımı kgf/mm ² 20 °C'da min	
DDK-40	Daha çok ferritik	42	28	12	140-201	-	-
DDK-50	Ferrit+Perlit	50	35	7	170-241	-	-
DDK-60	Perlit+Ferrit	60	40	3	192-269	-	-
DDK-70	Daha çok Perlitik	70	45	2	229-302	-	-
DDK-80	Perlitik	80	50	2	243-352	-	-
DDK-35,3 ¹⁾	Ferritik	35	22	22	-	1,9 ²⁾	1,7 ³⁾
DDK-40,3 ¹⁾		40	23	18	-	1,6	1,4

1) Darbeli çalışması öngörülen tiplerdir.

2) (- 40 °C)'da 1,4 dür.

3) (- 40 °C)'da 1,1 dir.

4) (- 20 °C)'da 1,4 dür.

5) (- 20 °C)'da 1,1 dir.

7.2. Dökme çelikler

Dökümden sonra talaş kaldırma dışında başka bir biçimlendirme işlemi görmeyen ve bileşimlerinde %2'den az karbon bulunan dökme çeliklerin makine yapımında kullanımı, dökme demirler ve dövme çelikler kadar yaygın değildir. Bunun nedenleri şöyle sıralanabilir;

- Çeliklerin erime sıcaklığı yüksek olduğundan ($\approx 1500^{\circ}\text{C}$) güçlü eritme ocakları (endüksiyon, ark ocakları) ve yüksek sıcaklığa dayanıklı kalıp malzemeleri gerektirir.
- Metalurjik temizlik dökme demirlerden daha önemli olup, kimyasal bileşimlerinin de daha dar sınırlar içinde kontrol edilmesi gerekir.
- Döküm sonrası malzeme kaba taneli olup, yeterli tokluk elde edebilmek için ek bir ısıtım işlem yapılması zorunludur.
- Çeliğin akıcılığı ve kalıp doldurma kabiliyeti düşüktür

Bu nedenle dökme çelikler:

- a) Dökme demirlerin dayanım ile süneklik özelliklerinin yetersiz kaldığı,
- b) Parçaların döküm yöntemiyle üretiminin daha ekonomik olduğu durumlarda
- c) Dökülen parçaların kaynakla birleştirilmelerinin gerekli olduğu durumlarda tercih edilir.

İslah ve yüzey sertleştirme işlemleri uygulanabilen dökme çeliklerin alaşımlı ve alaşımsız olmak üzere bir çok türü vardır.

8. DEMİR DIŞI DÖKÜM MALZEMELERİ

Demir dışı döküm malzemelerinin en önemlileri olan alüminyum, bakır, magnezyum ile çinko esaslı alaşımlar ele alınacaktır.

8.1. Alüminyum Alaşımları

Alüminyum alaşımları, düşük yoğunlukları, yüksek ısı ve elektrik iletkenlikleri, bazı ortamlarda korozyon özelliklerinin iyi olması yanında, kolay ergitilebilen ve döküm özellikleri de iyi olan malzemelerdir. Katılaşma sırasında kendini çekme, saf alüminyumda yaklaşık %6 iken, alaşımlarda en az %2'ye iner.

Erimiş alüminyumun oksijene karşı ilgisi çok fazladır, ancak sıvı metal üzerinde oluşan oksit tabakası eriyiği oksidasyona karşı etkin olarak korur.

Alüminyum alaşımlarından dökülmüş parçalarda en çok rastlanan hata gözenekliliktir. Bunun nedeni, alüminyum alaşımlarının gazları çözündürme meylinin yüksek oluşu ve çözünmüş gazların katılaşma sırasında açığa çıkmasıdır.

Alüminyum alaşımlarının dökümünde değişik yöntemler uygulanmaktadır. Kum kalıba döküm genellikle büyük ve az sayıda üretilecek parçalar için seçilir. 10 tona kadar varan parçaların dökümü mümkündür. Tane irileşmesinin önlenmesi için aşılama yapılır. Kokil kalıba dökümde genellikle 10 kg'ın altında kalan, fakat bazı durumlarda 100 kg'a kadar çıkabilen parçalar üretilir. İç yapı ince taneli olduğundan, mekanik özellikler kum kalıpta dökülen parçalara göre daha iyidir. Basınçlı döküm yaygın olarak kullanılan bir diğer yöntemdir. Bu yöntem için özel alaşımlar geliştirilmiş olup, bileşiminde yaklaşık %1 Fe bulunması alüminyum alaşımlarının kalıba yapışmasını önler. Basınçlı dökümde gözeneklilik en alt düzeydedir.

Alüminyum alaşımları kabuk kalıba, alçı kalıba ve savurma döküm gibi değişik yöntemlerle de üretilebilir. Aşağıda verilen şekilde kum, kokil ve basınçlı dökümün değişik özelliklere etkisi karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 10. Alüminyum alaşımlarının dökümünde, kum, kokil ve basınçlı döküm yöntemlerinin karşılaştırılması

Özellik	Kum döküm	Kokil döküm	Basınçlı döküm
Yatırım	Düşük	Orta	En yüksek
Döküm hızı	En düşük	11 kg/saat (parça büyük)	5 kg/saa (parça küçük)
Parça biçimi	İç boşluklu parçalar için uygun	İç boşluklar basit değilse kum maça kullanılır	Metal maça ile karmaşık iç boşluklar elde edilmez

En az cıdar kalınlığı	3-5 mm	3-5 mm	1-2 mm
Üretim hızı	En düşük	Kumdan daha iyi	En yüksek
Maçalar	Kum	Metal veya kum	Metal, basit biçimli
Tolerans	300 mm/mm	10 mm/mm	4 mm/mm
Yüzey pürüzlülüğü	7-12 μ m	4-10 μ m	1,5 μ m
Gözenek oluşumu	Özenli çalışma gerektir	Özenli çalışma gerektirir	Gözeneklilik en az
Soğuma hızı	0,1-0,5 °C/sn	0,3-1 °C/sn	50500 °C/sn
Tane büyüklüğü	Kaba	İnce	Çok ince
Dayanım değerleri	En düşük	İyi	Mükemmel
Aşınma dayanımı	İyi	İyi	Mükemmel

8.1.1. Alüminyum döküm alaşımları

Alüminyum döküm alaşımları ısı işlem uygulanan ve uygulanmayanlar olmak üzere iki ana gruba ayrılabilir. Alaşımsız alüminyum genellikle elektrik ve ısı iletkenliği ile korozyona dayanıklılık nedeniyle kullanılır. Aşağıdaki tabloda TS 410'a göre alüminyum alaşımları verilmiştir.

Al-Cu alaşımları çökelme (yaşlandırma) sertleştirilmesi yoluyla yüksek dayanım değerlerine ulaşan malzemelerdir. Ancak bunların korozyona karşı dayanımları diğerlerine göre daha düşük olup, gerektiğinde koruyucu yüzey kaplamalarından yararlanılır.

Alüminyum döküm malzemelerinin çoğu ana alaşım elementi olarak Si içerirler. Silisyumun %4-12 oranlarında katılmasıyla malzemenin döküm özellikleri büyük oranda iyileşir. %12 Si bulunan ötektik noktaya yaklaşıldıkça erime sıcaklığı düşer ve katılma aralığı daralır. Si'un yanında Mg, Cu elementleri katılarak dayanım ve sertlik artırılabilir. Soğuk ve sıcak çökelme (yaşlandırma) işlemlerinin uygulanmasıyla artış daha da belirginleşir.

Al-Mg sistemine giren alaşımlar da çökelme sertleşmesi uygulanabilir. Bunların özellikle deniz suyu gibi ortamlarda korozyon dayanımı yüksektir.

Al-Zn-Mg alaşımlarının özellikleri ise talaşlı işlenebilme ile korozyon dayanımının yüksek oluşu yanında oda sıcaklığında gerçekleşen çökelme sertleşmesi sonucu yüksek mekanik özelliklere sahip olmasıdır.

Tablo 11. Ana alaşım elementi bakır olan alüminyum alaşımları

Alaşım	Cu	Mg	Si	Fe	Mn	Ni	Zn	Pb	Sn	Ti	Cr	Al
Al- Cu4Ni2Mg2	3,5 4,5	1,2 1,8	- 0,7	- 0,7	- 0,6	1,7 2,3	- 0,1	- 0,05	- 0,05	- 0,2	- 0,2	Geri. Kalan
Al- Cu4MgTi	4,0 5,0	0,15 0,35	- 0,35	- 0,4	- 0,1	- 0,05	- 0,2	- 0,05	- 0,05	0,05 0,35	-	
Al-Cu4Ti	4,0 5,0	- 0,05	- 0,35	- 0,4	- 0,1	- 0,1	- 0,2	- 0,05	- 0,05	0,05 0,35	-	
Al-Cu4Si	4,0 5,0	- 0,03	- 1,2	- 1,0	- 0,3	- 0,05	- 0,3	- 0,05	- 0,05	- 0,2	-	

Tablo 12. Ana alaşım elementi Si olan alüminyum alaşımları

Alaşım	Cu	Hg	Si	Fe	Mn	Ni	Zn	Pb	Sn	Ti	Al
Al-Si5 min.	-	-	4,0	-	-	-	-	-	-	-	-
max.	0,1	0,1	6,0	0,8	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	-
Al-Si5Fe min.	-	-	4,0	-	-	-	-	-	-	-	-
max.	0,1	0,1	6,0	1,3	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	-
Al-Si5Hg min.	-	0,4	3,5	-	-	-	-	-	-	-	-
max.	0,1	0,9	6,0	0,6	0,6	0,1	0,1	0,1	0,05	0,2	-
Al-Si5HgFe min.	-	0,4	3,5	-	-	-	-	-	-	-	-
max.	0,1	0,9	6,0	1,3	0,6	0,1	0,1	0,1	0,05	0,2	-
Al-Si5Cu1 min.	1,0	0,3	4,5	-	-	-	-	-	-	-	-
max.	1,5	0,6	6,0	0,8	0,5	0,3	0,5	0,2	0,1	0,2	-
Al-Si5Cu3 min.	2,0	-	4,0	-	0,2	-	-	-	-	-	-
max.	4,5	0,15	6,5	1,0	0,7	0,3	0,5	0,1	0,05	0,2	-
Al-Si5Cu3Fe min.	2,0	-	4,0	-	0,2	-	-	-	-	-	-
max.	4,5	0,15	6,5	1,3	0,7	0,3	0,5	0,3	0,2	0,2	-
Al-Si6Cu4 min.	3,0	-	5,0	-	0,2	-	-	-	-	-	-
max.	5,0	0,3	7,0	1,3	0,6	0,3	2,0	0,2	0,1	0,2	-
Al-Si7Hg min.	-	0,2	6,5	-	-	-	-	-	-	-	-
max.	0,2	0,4	7,5	0,5	0,6	0,05	0,3	0,05	0,05	0,2	-
Al-Si8Cu3Fe min.	2,5	-	7,0	-	-	-	-	-	-	-	-
max.	4,5	0,15	9,5	1,3	0,6	0,3	1,2	0,3	0,2	0,2	-
Al-Si10Hg min.	-	0,15	9,0	-	-	-	-	-	-	-	-
max.	0,1	0,4	11,0	0,7	0,6	0,1	0,1	0,05	0,05	0,15	-
Al-Si12 min.	-	-	11,0	-	-	-	-	-	-	-	-
max.	0,1	0,1	13,5	0,7	0,5	0,1	0,1	0,1	0,05	0,15	-
Al-Si12Fe min.	-	-	11,0	-	-	-	-	-	-	-	-
max.	0,1	0,1	13,5	1,3	0,5	0,1	0,1	0,1	0,05	0,15	-
Al-Si12Cu min.	-	-	11,0	-	-	-	-	-	-	-	-
max.	1,2	0,3	13,5	0,8	0,5	0,2	0,5	0,1	0,1	0,2	-
Al-Si12CuFe min.	-	-	11,0	-	-	-	-	-	-	-	-
max.	1,2	0,3	13,5	1,3	0,5	0,2	0,5	0,1	0,1	0,2	-

Geri Kalan

Tablo 13. Ana alaşım elementi Mg olan alüminyum alaşımları

Alaşım	Cu	Mg	Si	Fe	Mn	Ni	Zn	Pb	Sn	Ti	Cr	Be	Al
Al-Mg3 min	-	2,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
max	0,1	4,5	0,5	0,5	0,6	0,05	0,2	0,05	0,05	0,2	0,1	-	-
Al-Mg3Si min	-	2,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
max	0,1	4,5	1,3	0,5	0,6	0,05	0,2	0,05	0,05	0,2	0,4	-	-
Al-Mg5Si1 min	-	4,0	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
max	0,1	6,0	1,5	0,5	0,5	0,05	0,2	0,05	0,05	0,2	-	-	-
Al-Mg6 min	-	4,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
max	0,1	7,0	0,5	0,5	0,6	0,05	0,2	0,05	0,05	0,2	0,5	-	-
Al-Mg6Fe min	-	4,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
max	0,1	7,0	0,5	1,3	0,6	0,05	0,2	0,05	0,05	0,2	0,5	-	-
Al-Mg9Si1 min	-	7,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
max	0,1	10,0	1,0	1,0	0,5	0,1	0,1	0,05	0,05	0,2	-	0,3	-
Al-Mg10min	-	9,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
max	0,1	11,0	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1	0,05	0,05	0,15	-	0,05	-

Geri Kalan

Tablo 14. Ana alaşım elementi Zn olan alüminyum alaşımları

Alaşım	Cu	Mg	Si	Fe	Mn	Ni	Zn	Pb	Sn	Ti	Cr	Al
Al-Zn5Mg min	-	0,2	-	-	-	-	4,5	-	-	0,1	0,15	Geri kalan
max	0,35	0,7	0,3	1,0	0,4	0,05	6,0	0,05	0,05	0,3	0,6	-

Türk standartlarına giren bazı alüminyum döküm alaşımlarının mekanik özellikleri ve kullanıldığı yerler aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Tablo 15. TS'ye göre (TS 410) bazı Al-esaslı döküm alaşımlarının mekanik özellikleri.

Alaşım	Döküm ve işleme	Akma dayanımı [N/mm ²]	Çekme dayanımı [N/mm ²]	Uzama [%]	Brinell Sertlik Değeri
AlCu4MgTi	KuK+SoÇS KuK+SıÇS KoK+SoÇS KoK+SıÇS	200-250 (180) 210-330 (200) 190-250 (180) 230-350 (220)	280-360 (230) 300-400 (250) 310-400 (250) 330-420 (260)	3-8 (2) 2-6 (1) 8-18 (4) 3-18 (2)	85-105(80) 100-120(90) 90-105(85) 100-120(95)
AlSi5Cu1	KuK KuK+SoÇS KuK+SıÇS KoK KoK+SoÇS KoK+SıÇS	100-140 (90) 160-200 (160) 170-260 (160) 120-150 (110) 170-210 (170) 200-260 (180)	160-220 (150) 200-270 (180) 210-280 (190) 180-230 (160) 220-290 (200) 230-300 (210)	1-3 (1) 1-3 (1) 0,5-2(0,5) 1-3(0,5) 1-3 (1) 0,5-2(0,3)	65- 80 (60) 75-100 (70) 80-110 (75) 70- 85 (65) 80-110 (75) 85-115 (80)
AlSi10Mg	KuK KuK+SıÇS KoK KoK+SoÇS	90-110 (80) 170-260 (170) 110-150 (100) 200-280 (180)	180-240 (170) 220-300 (200) 200-260 (180) 240-320 (220)	2-5 (2) 1-4 (1) 1-4 (1) 1-4 (1)	55- 65 (55) 80-110 (75) 65- 85 (60) 85-115 (80)
AlSi12	KuK KuK+T+SV KoK KoK+T+SV Bas	80-90 (70) 90-100 (80) 90-110 (90) 90-110 (90) 120-180	170-220 (160) 180-220 (160) 200-260 (160) 200-260 (160) 200-280	3-8 (2) 6-10 (5) 3-7 (2) 6-10 (4) 1-3	50-60 (45) 50-60 (50) 55-70 (50) 50-60 (50) 70-90
AlMg3	KuK KuK+SıÇS KoK KoK+SıÇS	80-100 (70) 130-160 (120) 90-120 (70) 150-180 (120)	140-190 (130) 210-280 (160) 150-200 (140) 220-330 (180)	3-8 (3) 2-8 (2) 3-8 (3) 4-15 (2)	50-60 (50) 70-90 (65) 50-60 (50) 65-90 (65)

^{*)} KuK : Kum Kalıba Döküm
Bas : Basıncılı Döküm
SoÇS: Soğuk Çökeltme Sertleşmesi
KoK : Kokil Kalıba Döküm
SıÇS: Sıcak Çökeltme Sertleşmesi
T+SV: Tavlama ve Su Verilmiştir

Tablo 16. Bazı Al döküm alaşımlarının kullanım yerlerine örnekler.

MALZEME	KULLANIM YERLERİNE ÖRNEKLER
AlCu4Ti AlCu4TiMg	Yüksek mekanik özelliklerin gerekli olduğu parçalar
AlCu5Si3	Normal (darbesiz) zorlamalar altında çalışan ve sonradan işlenmesi gereken parçalar
AlSi12	Karmaşık biçimli, darbelere dayanıklı ve kimyasal etki altında çalışan parçalar
AlSi10Mg	Karmaşık biçimli, dinamik yükler altında çalışan, işlenmesi gereken ve aşınmaya dayanıklı parçalar (motorlar, dişli kutuları)
AlSi5Mg AlSi5Cu1 AlSi9	Kimya ve gıda endüstrisi için armatür, aparat vs.
AlSi6Cu4 AlSi7Cu3	İnce cidarlı ve orta ila yüksek zorlamalar altında çalışan her türlü parça
AlMg3	Deniz suyuna dayanıklı, gemi ve itfaiye araçları parçaları, gıda ve inşaat endüstrisi
AlMg5	Daha yüksek mekanik zorlamalar altında çalışan silindir kafası vb. parçalar
AlMg10	Yüksek dayanım yanında yüksek sünekliğin de istendiği parçalar

8.2. Bakır ve alaşımları

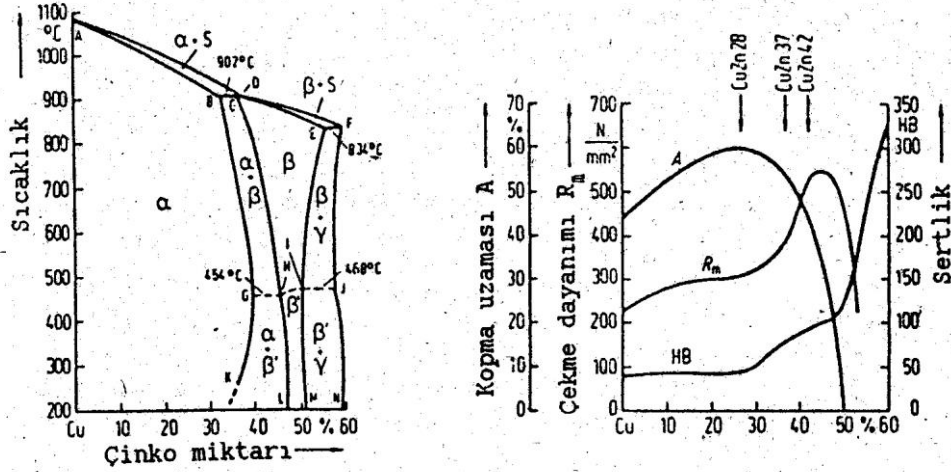
Bakır, saf veya az miktarda alaşımlandırılmış olarak genellikle elektrik ve ısı iletiminde kullanılır. Bunun dışında en önemli bakır alaşımları ise pirinçler ve bronzlardır.

Bakır ve alaşımları, sıvı veya katı yakıtlı potalı ocaklarda eritilebilirler. Ancak bakırda hidrojen çözünürlüğünün yüksek olması ve dolayısıyla yanma gazlarından eriyiğin bünyesine gaz girmesi, değişik sorunlar yaratır. Elektrikli ocakların kullanılması, döküm sıcaklığının mümkün olduğu kadar düşük seçilmesi, ortamın nemden arındırılması ve diğer tedbirlerle çözüm aranmalıdır.

Bakır ve alaşımları kum kalıba döküm, kokil kalıba döküm, savurma döküm, basınçlı döküm gibi değişik yöntemlerle üretilebilir.

8.2.1. Bakır-çinko alaşımları

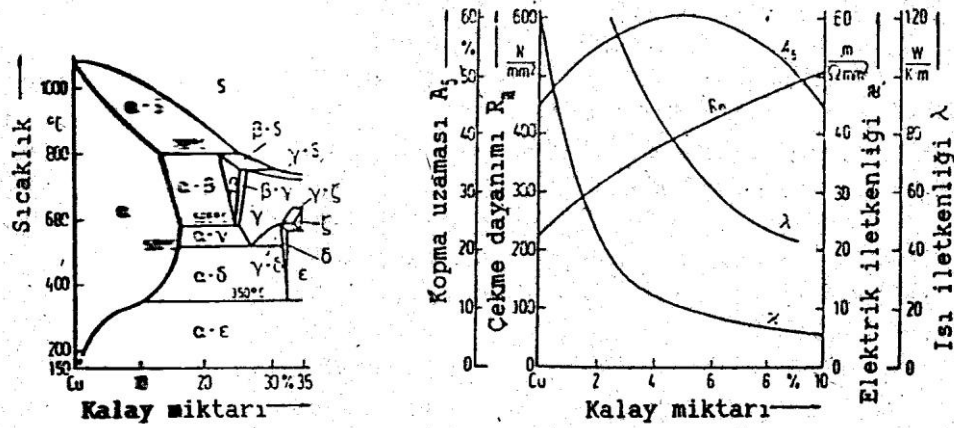
a) Pirinç: Bileşiminde en az %53 bakırın bulunduğu Cu-Zn alaşımları olan pirinçlerde, artan çinko miktarı ile dayanım, sertlik ve kopma uzaması artar, döküm sıcaklığı ise düşer. Belli bir çinko yüzdesinden sonra malzeme gevrekleşmeye başlar. %36'ya kadar çinko içeren α -pirinçleri plastik şekil vermeye uygundur. Dökme pirinçlerde ise bileşimdeki çinko miktarı %36-43 arasında seçilerek ($\alpha+\beta$) içyapısının yüksek dayanımından yararlanılır. Pirinçlerin katılaşma aralığı dar olduğundan mikro segregasyon ve gözeneklilik tehlikesi azdır. Aşağıda Cu-Zn alaşımı sistemine ait faz diyagramı verilmiştir.



Şekil 66. Bakır-çinko faz diyagramı ve pirincin özelliklerinin bileşimle değişimi

a) Bronz:

Kalay bronzu: Klasik bronzlar bakır-kalay alaşımıdır. Sertlik ve dayanımları pirinçten yüksek süneklikleri ise daha düşüktür. Ek olarak korozyona dayanıklılık ve yüksek sıcaklık özellikleri daha iyidir. % 14 kalaya kadar tek fazlı olarak katılaşır, ancak katılaşma aralığı geniş olduğundan mikrosegregasyon ve gözeneklilik tehlikesi vardır. Aşağıdaki şekilde Bakır-kalay alaşımının faz diyagramı ve kalay miktarıyla özelliklerin değişimi verilmiştir.



Şekil 67. Bakır-kalay faz diyagramı ve kalay bronzlarında özelliklerin bileşimle değişimi.

Kalay %4-25 arasında katılarak değişik renk ve dayanımlara sahip dövme ve döküm alaşımları elde edilir. Yüksek dayanım yanında yeterli tokluğa sahip en uygun döküm alaşımları %12-14 Sn içerirler. Bronzlar, süs eşyası olarak kullanılabildikleri gibi endüstriyel alanda da geniş ölçüde kullanılırlar. Aşınma ve korozyona dayanımları nedeniyle sonsuz vida dişlileri, pompa çarkları, kasnak yatakları gibi makine parçalarında tercih edilirler.

Kalayın yerine genellikle fiyatı ucuzlatmak için bir miktar çinko katılmasıyla elde edilen kalay-çinko bronzları (kızıl döküm) da benzer özelliklere sahiptir.

Kurşun bronzları: Kalay bronzlarına kurşunun az miktarda (%2-5) katılması işleme kolaylığı sağlarken, ana alaşım elementi olarak %30'a kadar kurşun katılmasıyla değişik yatak alaşımları elde edilebilir.

Alüminyum bronz: Yaklaşık %10 alüminyum ve gerektiğinde Fe, Ni, Mn gibi elementleri içeren bronzlardır. Hem mekanik dayanımları, hem de korozyona karşı dayanımları yüksek olan bu malzemeler deniz suyuna, çeşitli asit ve alkalilere karşı dayanıklıdır.

Diğer bronzlar: Yukarıda belirtilenin dışında ana alaşım elementi Si, Mn, Ni ve Be olan yüksek dayanımlı bronzlar da vardır.

8.3. Magnezyum Alaşımları

En düşük yoğunluklu metallerden biri olan magnezyum ($1,74 \text{ gr/cm}^3$), saf halde dayanımı yeterli olmadığından makine yapımında alaşımlandırılarak kullanılır. Al ve Zn tokluğu, Mn ise korozyon dayanımını artırır. Doğada bol miktarda bulunmasına karşın, oksijenle çok hızlı reaksiyona girdiğinden, döküm sırasında tutuşmaması için özel tedbirler almak gerekir. Döküm sıcaklığı $680-800^\circ\text{C}$ arasında olan Mg alaşımları demir potada koruyucu örtü altında eritilir.

Kendini çekme %4 civarında olup, boşluk ve gözenek oluşması ihtimali yüksektir. Kum, kokil ve basınçlı döküm yöntemiyle üretilir. Hafifliğin önemli olduğu yerlerde tercih edilen Al alaşımlarından en çok kullanılanları Mg-Al-Zn ve Mg-Al alaşımları olup, bunlara ait bazı örnekler aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 17. Bazı döküm esaslı Mg alaşımlarının mekanik özellikleri

Alaşım	Bileşim (%)	Döküm türü	Çekme dayanımı (MPa)	Akma dayanımı (MPa)	Uzama(%)	Brinell Sertlik Değeri
MgAl8Zn1	Al:7,5-9 Zn:0,3-1 Mn:0,1-0,3 Mg:kalan	KuK	160-220	90-120	2-6	50-65
		KoK	160-220	90-120	2-6	50-65
		KuKho	240-280	90-120	8-12	50-65
		KoKho	240-280	90-120	8-12	50-65
		Bas	200-240	140-160	1-2	60-88
MgAl4Zn	Al:3,5-5 Zn:0,6-3,2 Mn:0,1-0,6 Mg:kalan	KuK	170-210	70-90	9-5	45
MgAl9	Al:8,1-10 Zn:0,1-1 Mn:0,1-0,6 Mg:kalan	KoK	160-200	100	5-2	55
		Bas	150-230		2-0,2	55
KuK: Kum kalıba döküm KoK: Kokil kalıba döküm Bas : Basınçlı döküm ho: Homojenleştirme uygulanmış						

8.4. Çinko ve alaşımları

Erime sıcaklığı düşük olan çinko ve alaşımları ise, atmosferik korozyona, alkol ve petrol türevlerinin korozyonuna karşı dayanıklıdır. Basınçlı döküm yöntemiyle imal edilen parçaların, yaklaşık %50'si çinko esaslı alaşımlardan üretilir. Aşağıda verilen tabloda bazı çinko-esaslı alaşımları ve bunların mekanik özellikleri verilmiştir. Bu alaşımlar alaşım elementi olarak çoğunlukla Al, Cu ve Mg içerirler. Bu malzemelerden üretilen parçalara otomobil, bisiklet, saat parçaları ile oyuncak gibi eşyalar örnek olarak gösterilebilir.

Tablo 18. Çinko esaslı döküm alaşımlarına örnekler

Alaşım	Bileşim (%)	Döküm yöntemi	Çekme dayanımı (MPa)	Uzama (%)	Brinell Sertlik Değeri
ZnAl4	Al:3,5-4,3 Cu:0-0,6 Mg:max.0,4 Zn:kalan	Bas	250	3	70
ZnAl4Cu1	Al:3,5-4,3 Cu:0,6-1 Mg:max.0,4 Zn:kalan	KuK KoK Bas	180 200 270	0,5 1 2	70 70 80
ZnAl6Cu1	Al:5,6-6 Cu:1,2-1,6 Zn:kalan	KuK KoK	180 220	1 1,5	80 80

YARARLANILAN KAYNAKLAR

1. S. Anık, A. Dikicioğlu ve M. Vural, İmal Usulleri, Birsen Yayınları, İstanbul, 2006
2. A. Aran, Metal Döküm Teknolojisi, Birsen Yayınları, İstanbul
3. J.A. Schey, Introduction to Manufacturing Processes Second Addition, McGraw-Hill, 1987, New York, USA.
4. S. Kalpakjian, S.R. Schmid, Manufacturing Processes for Engineering Materials, Prentice Hall, New Jersey, USA

