

1988
SINAI EĞİTİM VE GELİŞTİRME MERKEZİ



SINAI EĞİTİM VE GELİŞTİRME MERKEZİ
GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİR
ÜRETİMİ,
YOLLUK BESLEYİCİ TASARIMI
ISIL İŞLEMİ VE
ÖZELLİKLERİ

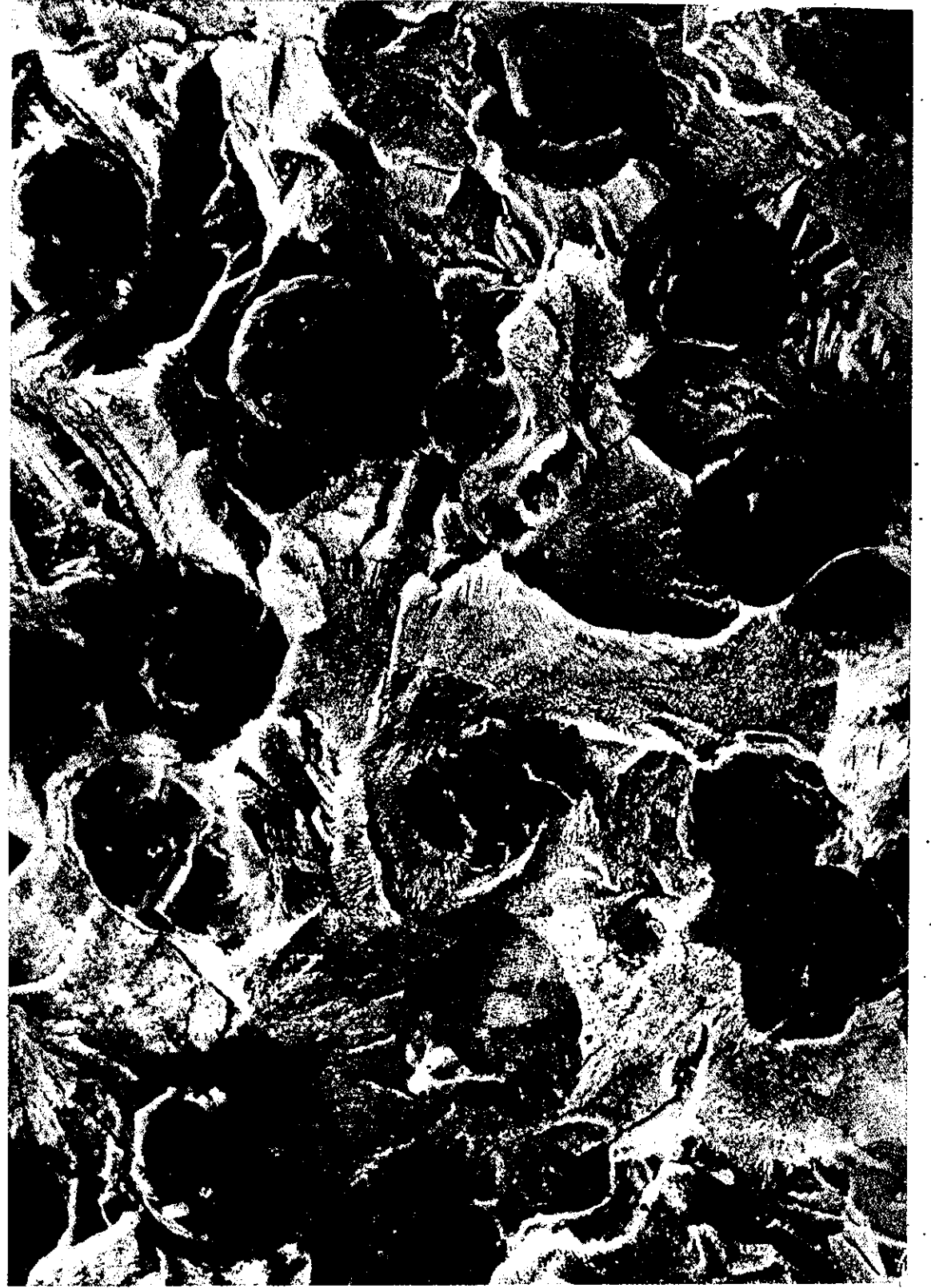
Dr. Y. Müh. SAVAŞ İZGİZ

90-

ISBN 975 - 7608 - 01 - 7

ANKARA, 1988

22.66.95



KÜRESEL GRAFITLİ DÖKME DEMİR

ÜRETİMİ,
YOLLUK BESLEYİCİ TASARIMI
ISIL İŞLEMİ ve
ÖZELLİKLERİ

Dr. Y. Müh. SAVAŞ İZGİZ

ISBN 975 - 7608 - 01 - 7

S U N U Ş

Küresel Grafitli Dökme Demir, Üretimi, Yolluk Besleyici Tasarımı Isıl İşlemi ve Özellikleri;

Demir bazlı döküm malzemelerinden en yakın bir geçmişe sahip olan ve özellikle otomotif sektörünün gelişmesine paralel olarak üretimi günden güne artan, küresel grafitli dökme demir'i teorik ve ağırlıklı olarak pratik yönden ele alan bu eserin yazılmasında çok sayıda kaynaktan yararlanılmıştır. Bu kaynaklar eserin sonunda da verildiği gibi döküm tekniği ile ilgili en başta gelen dergiler, firmaların araştırma yazıları ve broşürleri, konferans ve sempozyum bildirileri, çok sayıda kitap ve benzeri yayınlardır.

Kaynaklara eserin hem eğitim sürecinde bulunanlara ve hemde fabrikalarda çalışanlara faydalı olmasını temin için, irdelenerek ve kişisel çalışmalarla elde edilen bilgiler ışığında farklı ağırlıklı olarak yer verilmiştir.

Yukarıda belirtildiği gibi, küresel grafitli dökme demir 40 yıllık kısa bir geçmişe sahip olmasına rağmen üretimi esnasında çok sayıda patenti alınmış yöntemlerin uygulanabilmesi karşısında, bu yöntemleri geliştiren firma ve kuruluşların çalışma ve araştırmalarına baş vurulmuştur. Hatta Nisan 1987 İngiltere'de Birmingham'da yapılan Sempozyumda verilen bildirilerin önemli bulunan kısımları da vurgulanarak eserin güncelliğinin sağlanmasına çalışılmıştır.

Eserin Türkiye'de Küresel grafitli dökme demirle ilgili yegane baş vurulacak bir kaynak olacağına inanıyorum.

Saygılarımla,

Dr.Savaş İZGİZ

İçindekiler

- 1.)Küresel grafitli dökme demir
- 2.)KGDD lerin kullanımı, özellikleri ve normları
- 3.)KGDD'in metalurjik temel bilgileri
 - 3.1.)Katılaşması
 - 3.1.1.)Altoytektilik katılaşma
 - 3.1.2.)Üst oytetik katılaşma
 - 3.2.)KGDD'de grafitin kristalleşmesi
 - 3.3.)Grafit'in kristalleşmesi ve kalıtım
 - 3.3.1.)Silisyum'un etkisi
 - 3.3.2.)Ergitme yöntemi
 - 3.3.3.)Tersine beyaz katılaşma,
 - 3.3.4.)Karbür oluşumu
 - 3.4.)Katı durumdaki dönüşüm olayları
- 4.)Kimyasal analizin seçimi
 - 4.1.)Döküm durumunda karbür ihtiva etmeyen bir dokunun sağlanmasında elementlerin etkisi(C,Si)
 - 4.2.)Mangan'ın etkisi
 - 4.3.)Diğer elementlerin etkileri
 - 4.4.)Grafit dağılımını ve şeklini etkileyen elementler
 - 4.5.)Alaşımız ve az alışımlı KGDD'de dokunun kimyasal analizle yönlendirilmesi
 - 4.5.1.)Ferritik KGDD'in döküm durumunda sağlanmasında kimyasal analizin seçimi,
 - 4.6.)Yüksek sıcaklık özelliklerinin olumlu kılınması
 - 4.6.1.)Beynitik KGDD'in kimyasal analizinin seçimi
 - 4.7.)Birikim olayı
 - 4.8.)Ergitme işlemi esnasında elementlerin zenginleşmeleri
 - 4.9.)Östenitik KGDD(Ni-Resist)
 - 4.10.)Vermicular(Compacted) grafitli dökme demir
 - 4.11.Elementlerin grafit şekline etkileri,
 - 4.12.Elementlerin ana doku özelliklerine etkileri

- 5.)KGDD'in ergitme yöntemleri ve şarj malzemeleri,
 - 5.1.)Kupol ocaklarında ergitme,
 - 5.2.)Elektrik ark ocaklarında ergitme,
 - 5.3.)İndüksiyon ocaklarında ergitme,
 - 5.4.)Kanallı ocaklar,
 - 5.5.)Döner ocaklarda ergitme,
 - 5.6.)Şarj malzemeleri,
 - 5.6.1.)Ham demir,
 - 5.6.2.)Çelik hurdası
 - 5.6.3.)Direkt redüklenmiş demir cevheri,
 - 5.6.4.)KGDD-devri daim malzemesi
 - 5.6.5.)Ferro alaşımlar ve silisyum karbür
- 6.)Kükürt giderme ve karbonlaştırma(Karbonun yükseltilmesi)
 - 6.1.)Kükürt giderme
 - 6.2.)Karbonlaştırma(Karbonun yükseltilmesi)
- 7.)Küreselleştirme işlemi(Magnezyum işlemi),
 - 7.1.)Potada küreselleştirme işlemi,
 - 7.2.)Tundish Cover(Kapaklı pota yöntemi)
 - 7.2.1.)Harekatlı kapaklı yöntemler
 - 7.2.2.)Sabit kapaklı yöntemler
 - 7.3.)Flotret yöntemi(Akışlı yöntem)
 - 7.4.)Vorteks yöntemi
 - 7.5.)Inmold yöntemi
 - 7.6.)Daldırma yöntemi
 - 7.7.)MAP yöntemi
 - 7.8.)Konverter yöntemi
 - 7.8.1.)Foseco döner pota yöntemi
 - 7.9.)T-Nock yöntemi
 - 7.10.)Puddel yöntemi
 - 7.11.)Yöntemlerin karşılaştırması
 - 7.12.)Grafiti küreselleştirici malzemeler
 - 7.12.1.)Magnezyum metal
 - 7.12.2.)Nikel bazlı küreselleştirici alaşımlar
 - 7.12.3.)Ferrosilisyum bazlı küreselleştirici malzemeler
 - 7.12.4.)Magnezyum emdirilmiş kok kömürü(Mag-Coke)
 - 7.12.5.)Mekanik olarak şekillendirilmiş malzemeler (Briket)
 - 7.12.6.)Magnezyum ihtiva etmeyen küreselleştiriciler
 - 7.12.7.)Küreselleştirici alaşımlardan dökülerek hazırlanmış malzemeler,

- 7.13.Küreselleştirme etkisinin zamanla azalması,
- 8.)Aşılama
 - 8.1.)Aşılama teknikleri,
 - 8.1.1.)Kalıp içi aşılama yöntemi
 - 8.1.2.)IL-yöntemi
 - 8.2.)Aşılama malzemeleri,
 - 8.2.1.)KGDD lerin aşılama sırasında etkinin zamanla azalması(Fading)
 - 9.)Kalite kontrol
 - 9.1.)Ham maddeler
 - 9.2.)Ergitme
 - 9.3.)Küreselleştirme işlemi esnasında kontrol
 - 9.4.)Süneklik özelliklerine dayanan kalite kontrol yöntemleri,
 - 9.5.)Soğuma eğrisinden(Termik analiz) KGDD lerin kalitelerinin belirlenmesi,
 - 9.6.)Küresel grafit şeklini belirleyen diğer test yöntemleri,
 - 9.6.1.)Aşılama ve döküm arası geçen süre,
 - 9.6.2.)Döküm,
 - 9.6.3.)Parçaların dereceden bozulma sıcaklığı,
 - 9.7.)Parça kontrolü
 - 9.8.)Gözle muayene(Kalite kontrol)
 - 9.9.)Sertlik ölçümü
 - 9.10.)Mekanik ve teknolojik kontrol
 - 9.11.)KGDD'in yüksek metalurjik özelliklere sahip olduğunu belirleyen grafit küre sayısı
 - 9.12.)KGDD lerde uygulanan çekinti yatkınlığının direkt tesbiti deneyi,
 - 10.)Yolluk tasarımı
 - 10.1.)Basınç etkili yolluk/Meme sistemi
 - 10.2.)Basınç etkisiz sistem
 - 10.3.)Yolluk/meme tasarımı ile ilgili örnekler
 - 11.)Besleyici tasarımı
 - 11.1.)Döküm parçasının soğuması,katılma süresi
 - 11.2.)Modül'ün saptanılması,örnekler
 - 11.3.)KGDD parçalarının katılması
 - 11.4.)KGDD'in katılması esnasında meydana gelen hacimsel genleşmeyi etkileyen faktörler,

- 11.4.1.)Metalurjik kalite,
- 11.4.2.)Ergitme esnasında iyi bir metalurjik kalitenin erişilmesi için uygulanması gereken hususlar,
- 11.4.3.)Karbon eşdeğerinin etkisi,
- 11.4.4.)Parça modülünün etkisi,
- 11.4.5.)Metalurjik özellikleri yüksek KGDD üretiminde önemli olan 1. unsur yöntem seçimi,
- 11.4.6.)Şarj malzemelerinin etkisi,
- 11.4.7.)Kimyasal analizin etkisi,
- 11.4.8.)Kalıp malzemesinin genleşmesi
- 11.5.)Konvansiyonel besleyici tasarımı,
- 11.6.)Direkt uyumlu veya doğrudan uygulanan tasarım,
 - 11.6.1.)Pratik uygulama ile ilgili bilgiler,
 - 11.6.2.)Hatalar ve alınacak önlemler,
 - 11.6.3.)Yolluk sistemi ile besleme yöntemi,
- 11.7.)Basınç azaltıcı,dengelemeli besleyici tasarımı,
 - 11.7.1.)Döküm hatalarının önlenmesi,
 - 11.7.2.)Pratik uygulama,
 - 11.7.3.)Pratik örnekler,
 - 11.7.4.)Besleyici sistemlerinin tasarımı için önemli olan hususların karşılaştırılması,
- 11.8.)Besleyicisiz döküm tekniği,
- 11.9.)KGDD lerde kullanılan besleyiciler,
- 11.10.)Pratik hesaplamalar ve örnekler,
- 12.)KGDD in döküm işlemi,
 - 12.1.)Döküm potası büyüklüğü,
 - 12.2.)Döküm potası ağızı,
 - 12.3.)KGDD in soğuması esnasında çekmesi,
- 13.)KGDD in ısıtma işlemi,ve özellikleri,
 - 13.1.)Mukavemet özelliklerinin artırılması,
 - 13.2.)Sertleşebilme özelliğinin artırılması,
 - 13.3.)Yüksek sıcaklık özellikleri,
 - 13.3.1.)Östenit-Ferrit dönüşümü,
 - 13.3.2.)Isı şokuna dayanıklılık,
 - 13.4.)Isı geçirgenlik ve genleşme katsayıları,
 - 13.5.)KGDD in ısıtma işlemleri ile ilgili pratik bilgiler
 - 13.5.1.)Yumuşak tavlama,
 - 13.5.2.)Normalizasyon(perlitleştirme),

- 13.5.3.)Çiftli normalizasyon
- 13.5.4.)Sertleştirme ısıtma işlemi,
- 13.5.5.)Martempering(Tuz banyosunda sertleştirme)
- 13.5.6.)Austempering(Ara kademesi ısıtma işlemi)
- 13.5.7.)Yüzeysel sertleştirme
- 13.5.8.)Nitrasyon
- 13.5.9.)Aluminyum kaplama
- 13.5.10.)Yüzeysel oksidasyon
- 14.) KGDD lerde görülen hatalar,
- 15.) Kaynakça

1.Küresel Grafitli Dökme Demir 1.2.3

KGDD ile ilgili yapılan araştırmalar üzerinde ilk defa 7 Mayıs 1948 tarihinde Amerikan Dökümcüler Birliği Philadelphia toplantısında bir tebliğ sunulmuştur. Bu sabırsızlıkla ve heyecanla yapılan bir çok deneysel çalışmaların özünü teşkil ediyor ve metal dünyasına üstün özelliklerde yep yeni bir demir bazlı döküm malzemesini tanıttıyordu.

KGDD'in ilk üretimi dolaylı olarak gerçekleştirilmiştir. 2 Dünya Savaşına Amerika Birleşik Devletlerinin katılmasından hemen sonra, kritik bazı metallerin ikmalinde problemlerin doğması olası görüldüğünden, krom elementinin etkisine sahip bir elementin bulunması ile ilgili çalışmalara başlanılmıştır. Çalışmanın amacı, aşınmaya dayanıklı beyaz dökme demir'in krom yerine kullanılabilecek diğer bir elementle üretiminin gerçekleştirilmesi olmaktadır.

International Nikel Co.karbür yapıcı etkisi olan elementler üzerine çalışmalarına başlamış ve tüm akla gelen elementlerin yanında, doğal olarak magnezyum'un etkileride araştırılmıştır. Nisan 1943 de % 3.2 karbon, % 1.75 silisyum ve % 1 Nikel ihtiva eden (Class 40, GG 28) dökme demir ile bir diğer dökme demir'e (% 3.5 C, % 2.25 Si ve % 2 Ni, Class 20, GG 14), 80-20 NiMg-alaşımı kalıcı magnezyum miktarı % 0.15, % 0.3, % 0.4 ve % 0.5 olacak şekilde verilmiştir. Bu işlem'den sonra potada % 0.5 FeSi 85-15 alaşımı ile aşılama yapılarak, deney çubukları dökülmüştür.

Çekme dayanımı deneyleri neticeleri, sadece gri dökme demir'in özelliklerinin daha yüksek değerlere ulaştığını göstermekle kalmayıp, yep yeni bir malzemenin üretilmiş olduğunu ortaya koymuştur. Şöyleki, Çekme dayanımı 13 kp/mm² olan dökme demir'in magnezyum işlemi sonrası bu değeri 72 kp/mm² ye yükselmiştir (% 0.5 kalıcı magnezyum). Yapılan mikroskopik çalışmalar grafit'in lamel şeklinde olmayıp, o zamana kadar gözlenmemiş bir şekilde "küresel" bir şekle sahip olduklarını ortaya koymuştur.

Böylece, yüksek karbon miktarına sahip, dokusunda küresel grafitlerin mevcut olduğu, mekanik özellikleri bakımından çelik döküme özdeş, üretim yöntemi yönünden dökme demir karakteri taşıyan yep yeni bir malzeme endüstriye kazandırılmış olundu.

2.)KGDD kullanımı ve özellikleri, normları 2.3.4

40 yıllık bir tarihsel geçmişe sahip olan KGDD iyi dökülebilirliği,yanında özellikleri çeliğe yakın olması nedeni ile bu gün demir bazlı döküm malzemelerinin en önemlisi durumuna gelmiştir.(Resim 1.2)

Devamlı artan ve bu gidişatın önümüzdeki yıllarda da devamı muhtemel görülen üretimi 1986 yılı itibari ile dünyada 72 milyon ton civarındadır.Bu üretimin büyük bir kısmı ABD' tarafından yapılmakta(% 30),ikinci durumda Japonya gelmekte bunuda Avrupa ülkeleri takip etmektedir.

KGDD'in üretimindeki bu kuvvetli artışın nedenleri bir taraftan üretimi ile ilgili çok geniş çalışmaların ve gelişmelerin yapılagelmesi,döküm tekniğinde,özellikle kalıplama,maça hazırlama yöntemlerindeki gelişmeler,malzeme yönünden,KGDD piki,küreselleştirici ve aşılavıcı özelliklerinin devamlı yükselmesi,KGDD dökümünde yolluk,besleyici tasarımı ile ilgili matematiksel kuralların uygulanmasının dökümhanelerde çalışanlar tarafından benimsenmesi,diger taraftan KGDDfiziksel ve mekaniki özelliklerinin,binlerce kullanım yerinin şartlarını yerine getirebilmesidir. 2,5,6,8

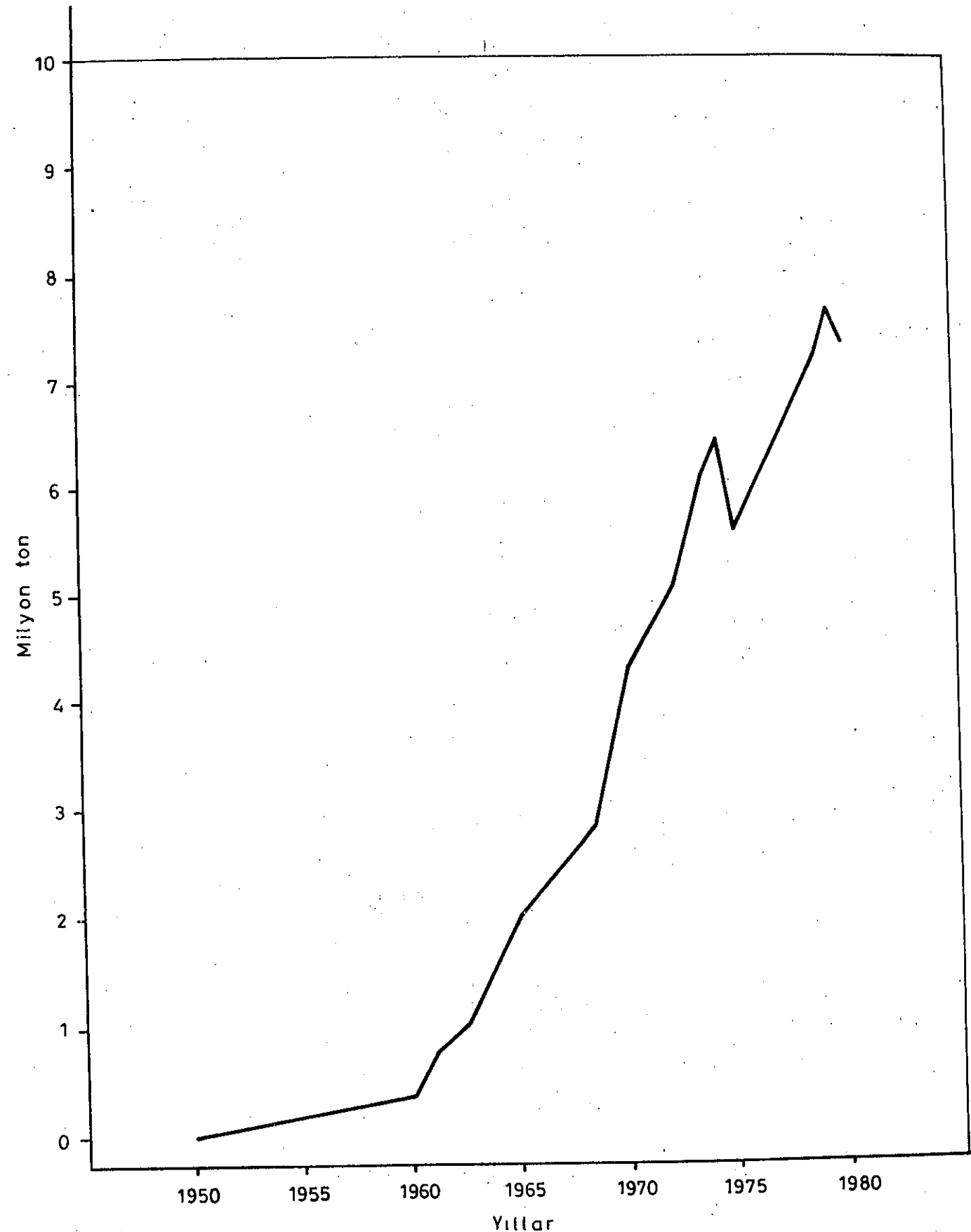
Bu gün KGDD,

1. Otomotif endüstrisi, 8,10,14
2. Tarım makinaları, 8
3. Makina yapımı, 8,15
4. Hafriyat makinaları, 8
5. Karayolu,köprü konstrüksiyon elamanları, 8
6. Su boru hatları,Pompa,armatur parçaları 8,16,17
7. Sanayinin gerektirdiği çok çeşitli özelliklerde merdaneler, 8
8. Kimya,petrokimya,deniz suyu tuzsuzlaştırma tesislerinde ve besin malzemeleri endüstrisinde, 7,9
- 9.Çelik dökümünde ingotlar(kokil)¹⁸ olarak kullanılmaktadırlar.

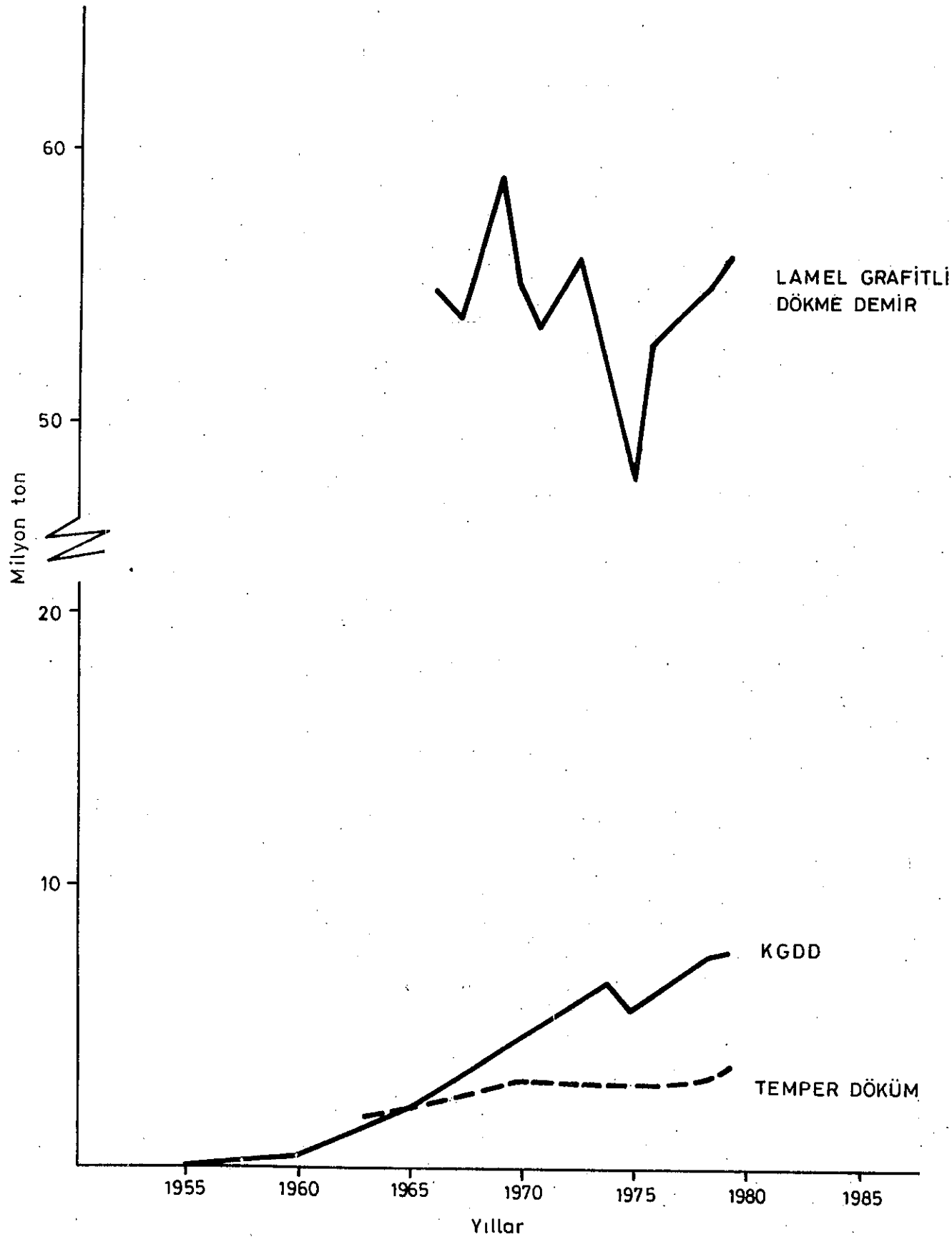
Kullanış yerlerine tek tek örnekler verecek olursak binlercesini saymamız gerekir.

KGDD lerle ilgili normlar ve bu normlarının karşılaştırmalarını Çizelge 1 vermektedir. 19

TS 526 da normlaştırılan KGDD'ler 7 grupta mütalaa edilmekte olup,yine diğer ülke normları karşılıkları bu çizelgede görülebilir.



Resim 1 .Dünya KGDD üretiminin gelişimi



Resim 2 . Dünya KGDD ve diğer Dökme Demirler üretimi

Çizelge 1 . Çeşitli ülke KGDD Normlarının karşılaştırılması ve özellikleri.

Ülkeler								Özellikler					
TR		F	GB	NL	D	USA		Çekme Dayanımı MPa	% 0.2 Akma sınırı MPa	Uzama %	Sertlik D. Brinell HB	Doku F Ferritik P Perlitik ferritisch oder perlitisch	
	ISO 1083 1976	AFNOR NF 32201 1976	BS 2783 1973	NEN 6002D 1966	DIN 1693 1973	ASTM A536 1972	SAE J434b 1970						
DDK 35.3					GGG35-3			350	220	22			
	370-17	FGS370-17	370-17					370	230	17	≤ 179	F	
DDK 40.3				GN38				373	245	17	< 180	F	
					GGG40-3			400	250	18			
					GGG40			400	250	15	120-180	F	
	400-12	FGS400-12						400	250	12	≤ 201	F	
DDK 40				GN42				412	275	12	< 200	F	
						60-40-18		414	276	18	149-187		
							D4018	414	276	18	≤ 170	F	
			420-12					420	250	12	≤ 201	F	
							65-45-12		448	310	12	170-207	
								D4512	448	310	12	156-217	F + P
DDK 50				GN50				490	343	7	170-240	F + P	
			500-7					500	310	7	170-241	F + P	
	500-7	FGS500-7			GGG50			500	320	7	170-241	F + P	
DDK 60						80-55-06		552	379	6	187-255		
							D5506	552	379	6	187-255	P + F	
				GN60				588	412	2	200-275	P	
			600-3					600	350	3	192-269	P + F	
	600-3	FGS600-3						600	370	3	192-269	P + F	
					GGG60			600	380	3	175-290	P + F	
DDK 70				GN70				686	490	2	220-230	P	
						100-70-03		689	483	3	217-269		
							D7003	689	483	3	241-302	P	
	700-2	FGS700-2						700	400	2	229-302	P	
DDK 80					GGG70			700	440	2	210-320	P	
			800-2					800	460	2	248-352	P	
	800-2	FGS800-2						800	480	2	248-352	P	
					GGG80			800	500	2	230-360	P	
						120-90-02		827	621	2	240-300		

KGDD'lerle ilgili Batı Alman Normu Eylül 1963 yılında yayınlanmıştır(DIN 1693).Bu normda KGDD'ler 5 ayrı kalite sınıfı ve 3 ana grupta belirlenmiştir²⁰.(Çizelge 2).

- 1.Grup Ferritik ana doku GGG 38,GGG 42
- 2.Grup Ferritik-Perlitik ana doku GGG 50,GGG 60
- 3.Grup Perlitik ana doku GGG 70. GGG 80.

Ostenitik küresel grafitli dökme demirler DIN 1694 de verilmişlerdir.²¹İlerdeki bölümlerde detaylı olarak açıklanacaklardır.

KGDD üretiminin en önemli kısmını Grup 1 de verilen kaliteler oluşturur.Bu grup,yüksek süneklilik ve çentik darbe dayanımı yanında ideal talaş alınma özelliklerini içerir.

Daha yüksek mukavemet değerleri şart koşuluyorsa,aşınmaya dayanıklılık yanında alevle veya induksiyonla sertleştirme söz konusu ise grup 2 deki özelliklerde KGDD'ler kullanılır.

3.gruptaki KGDD ler,çekme dayanımı 600 N/mm² nin üzerinde istendiğinde,örneğin krank milleri,soğuk çekme matrisleri,kesici,karıştırıcı kanatlar vs. gibi,kullanım sahasına sahiptir.

KGDD'in krank milleri olarak kullanılması hakkında şu bilgileri vererek özellikleri yönünden daha içerikli değerleri ortaya koymuş olabiliriz.KGDD krank milleri bu gün otomobil sanayiinde vaz geçilemez bir kullanım sahasına sahiptirler.1980 yılında

Batı Almanyada üretilen 2 otomobilden 1'inde KGDD krank mili bulunuyordu.¹⁴Gelecekte KGDD-krank millerinin dövme çelikten

imal edilenlerin yerini daha fazla alacağı beklenmektedir.

Bunun nedeni ekonomikliği yanında teknolojik özelliklerinin dövme çelik malzemelere eşdeğer olmasında kaynaklanmaktadır.(Resim 3)

Ayrıca modern kalıplama yöntemlerinin uygulanması,örneğin krank millerinde olduğu gibi Croning,maske kalıp yöntemi ile ölçü toleransları,yüzey kalitesi ideal sayılacak düzeye getirilmiştir.Krank milleri örneğinde bu değerler: (Resim 4) •

- İşleme toleransı yüzeyde 2 mm
- Döküm toleransı çapta ve boyda ± 0.5 mm dir.
- Model konikliği 0°20' dir.

Krank milleri genellikle GGG 50 ve GGG 70 olarak dökülürler.

Döküm durumunda,ısıtıl işlem uygulanmaksızın istenen şartname değerleri:

- Çekme dayanımı min 720 N/mm²
- Akma sınırı min 440 "

Çizelge 2 KGDD in normları

DIN 1693 Alaşimsız ve az alaşımlı küresel grafitli dökme demir.
DIN 1685 Küresel grafitli dökme demir döküm parçaları ; Genel toleranslar ve işleme toleransları.

- 1. DIN 1693'e göre parçadan ayrı dökülen numune özellikleri.
Alaşimsız ve alaşımlı KGDD.
Normal Türler

Tanım	Parçadan ayrı dökülen numune çubuğunun askari özellikleri			Doku
	Çekme D. N/mm ²	0,2 Akma sınırı N/mm ²	Uzama %	
GGG-40	400	250	15	Genellikle Ferritik
GGG-50	500	320	7	Ferritik - Perlitik
GGG-60	600	380	3	Perlitik- Ferritik
GGG-70	700	440	2	Genellikle Perlitik
GGG-80	800	500	2	Perlitik

- 2. Belirli bir çentik dayanım değerine sahip türler

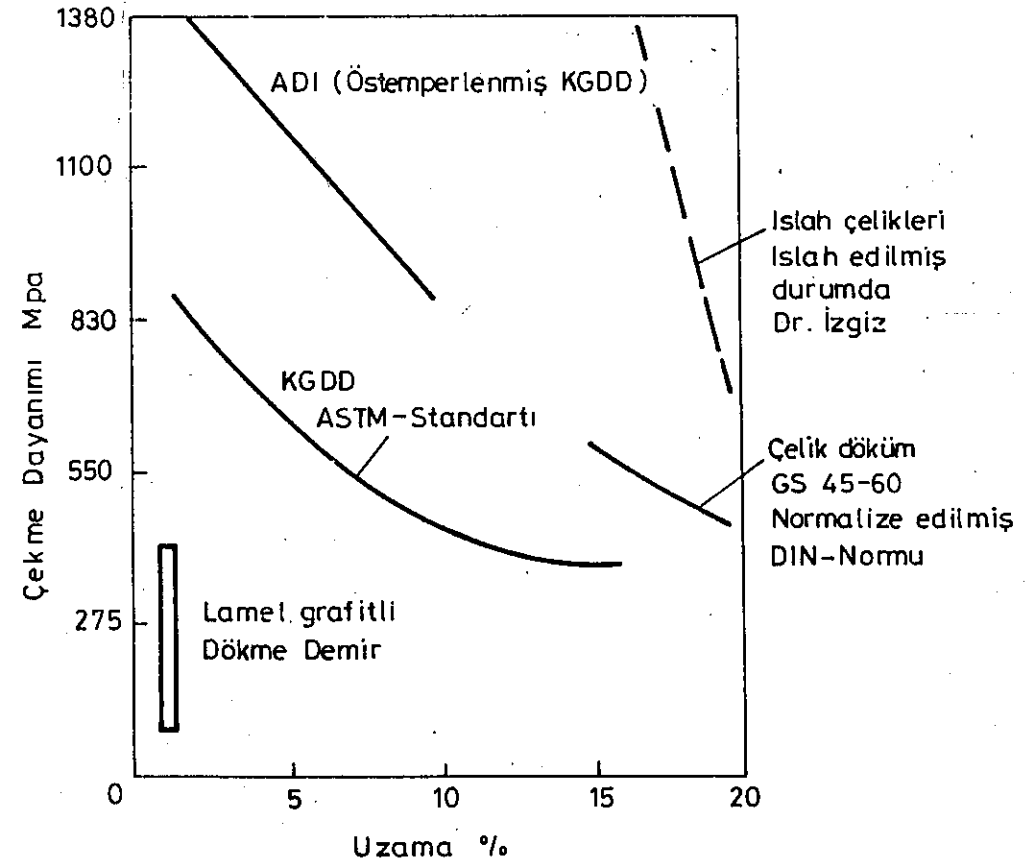
Tanım	Malzeme Nr.	Parçadan ayrı dökülen numune çubuğunun askari özellikleri			
		Çekme D. N/mm ²	0,2 Akma sınırı N/mm ²	Uzama %	DVM-Numunesi Çentik Mukavemeti a _k (Joul)
GGG- 35.3	0.7033	350	220	12	-40°C de 14
GGG- 40.3	0.7043	400	250	18	-20°C de 14
					3 değer ortalaması

3. DIN 1693'e göre parça ile beraber dökülen numune çubuğu özellikleri. Ağır ve et kalınlığı fazla olan dökümler için geçerli.

Tanım	Parça et kalınlığı mm	Numune kalınlığı mm	Çekme D. N/mm ²	(Askari değerler)		Doku
				0,2 Akma sınırı N/mm ²	Uzama %	
GGG-40.3	30-70	40	390	250	15	F
	60-200	70	370	240	12	
GGG-40	30-70	40	390	250	15	F
	60-200	70	370	240	12	
GGG-50	30-70	40	450	300	7	F-P
	60-200	70	420	290	5	
GGG-60	30-70	40	600	360	2	P-F
	60-200	70	550	340	1	
GGG-70	30-70	40	700	400	2	P
	60-200	70	650	380	1	

4. Küresel grafitli dökme demir sertlik değerleri :
HB = 3.36 x Çekme Dayanımı ±15 (% 68,26 lık Emniyet bölgesi)

Tanım	Malzeme Nr.	Sertlik HB 30
GGG-40	0.7040	135-185
GGG-50	0.7050	170-220
GGG-60	0.7060	200-250
GGG-70	0.7070	235-285
GGG-80	0.7080	270-335
GGG-35.3	0.7033	110-150
GGG-40.3	0.7043	120-165



Resim 3 İslah çelikleri, çelik döküm, Östemperlenmiş KGDD, Normal türleri ve lamel grafitli dökme demir mekanik özelliklerinin karşılaştırması.

Kalite sınıfı	Çekme D. N/mm ²	%0,2 Akma sınırı N/mm ²	Uzama %	Sertlik HB, HRc
GGG 80 B	800	500	8-15	250-310
GGG 90 B	900	650	5-12	270-340
GGG 120 B	1200	950	2-5	330-390
GGG 140 B	1400	1200	1-2	(43-47)

Çizelge 3 Östemperlenmiş KGDD'lerin tasarı halindeki normlaştırmaları.

Kopma uzaması min % 2
Sertlik 220-285 HB dir.

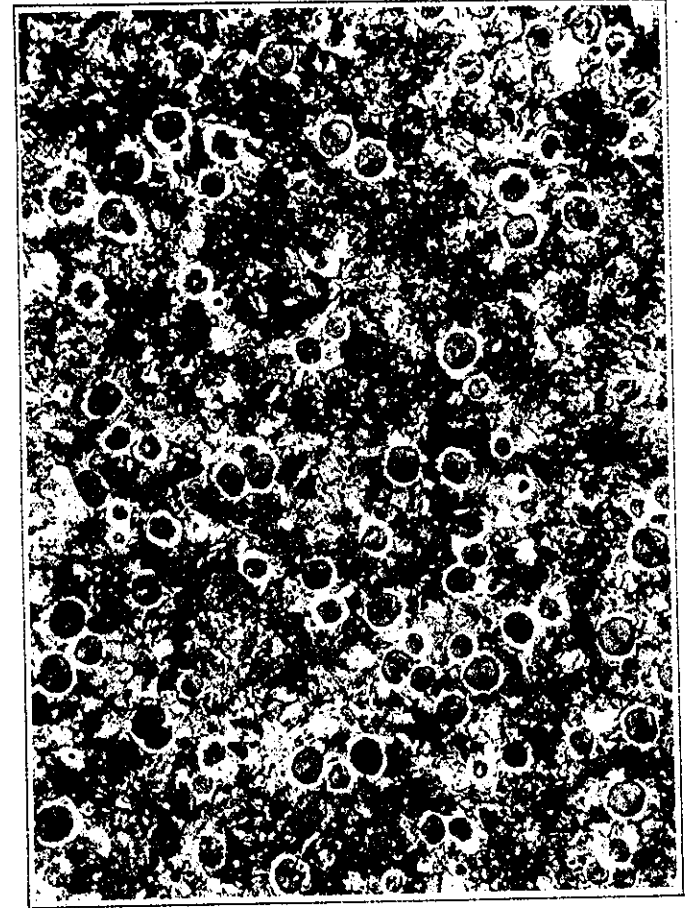
Resim 4 de ana doku özellikleri verilmiş bulunan bir krank milinin mekaniki özellikleride,

Ana doku Perlitik, Ferrit % 10
Çekme dayanımı 820 N/mm²
Akma sınırı 465 "
Uzama 5.5 %
Sertlik 255 HB dir.

KGDD'ler bundan sonrada açıklanacağı üzere östemperlenmiş, yani ara kademesi ısıtılma işlemine tabi tutulmuş durumda yüksek mukavemet değerleri yanında, ideal sayılacak süneklilik, aşınma özelliklerine sahip olduklarından otomotif sektöründe ayna mahruti dişlileri olarak kullanılmaktadır. Ara kademesi ısıtılma işlemine tabi tutulan KGDD lerle ilgili norm Çizelge 3 de verilmiştir. Farklı ısıtılma işlem şartları sonu KGDD lerde elde edilen mekaniki özelliklerin karşılaştırması bize östemperlenme ısıtılma işleminin önemini göstermektedir (Çizelge 4).

Ayna mahruti dişlilerinin semente çeliklerinden dövülerek imal edilenlerle karşılaştırması yapıldığında şu önemli elverişlilikler göze çarpar²². (Resim 5).

1. KGDD den imal edilen dişlilerin ideal bir işlenebilme kabiliyetine sahip olmaları,
2. İşleme sonu yüzey kalitesinin daha iyi olması,
3. Aşınmaya karşı yüksek dayanım,
4. Yüksek titreşim sönüm özelliği,
5. Isıl işlemin daha kısa olması, (Ekonomik)
6. Üretim yöntemi olarak az enerji gereksinimi,
7. Parça ağırlığının % 10 daha az olması (İşleme öncesi).

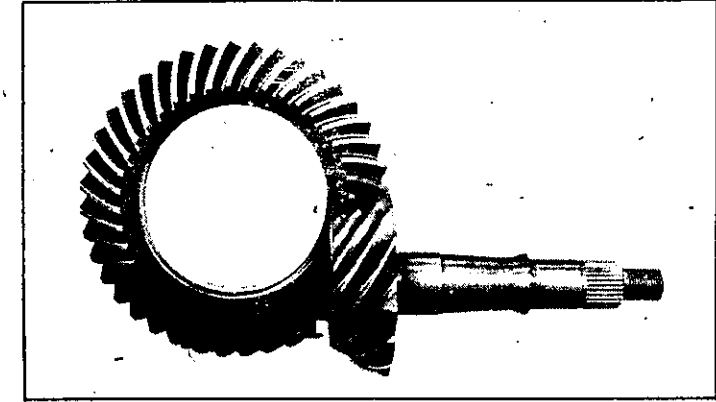


Resim 4 .Krank mili ana dokusu, Büyültme 100
Dağlama % 3 Nital

Çizelge 4 . Molibden ihtiva eden, KGDD' in farklı ısıtım şartları sonu aynı sertlik değeriinde mekaniki özellikleri.

Isıtım İşlem	Sertlik	% 0,2 Akma sınırı	Çekme D.	Uzama	KKD	Charpy V-çentik Darbe M. J
	HB	Mpa	Mpa	%	%	
Östemperleme Ara kademesi Isıtım işlemi, 345°C	339	870	1090	3	3	5,5
Östemperleme 315°C ve 488°Cde Meneviş	347	910	985	2	1	2,5
Yağda sertleştirme ve 555 °C de meneviş	337	915	980	1,5	1	3,5

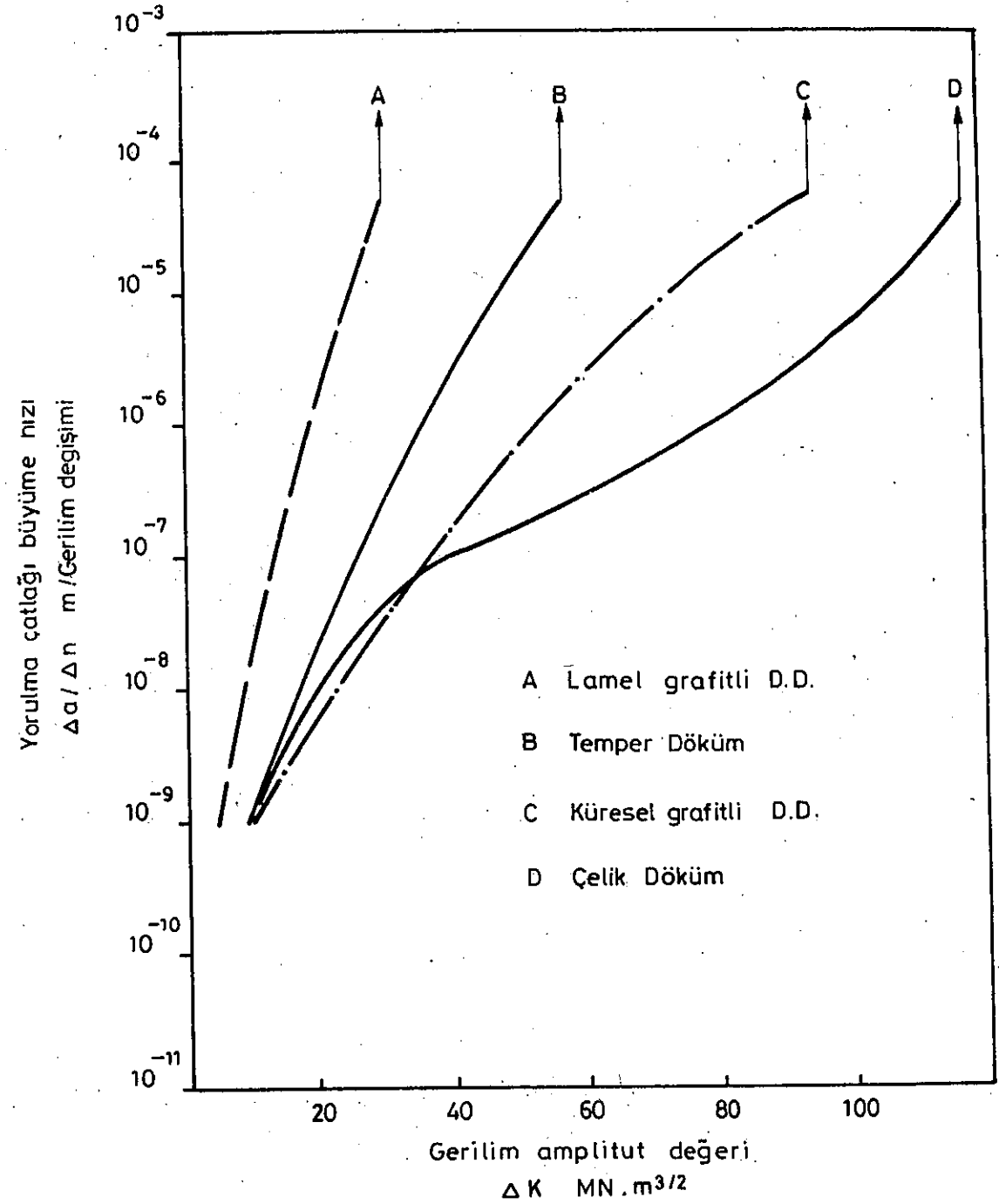
KKD Kopma kesit daralması



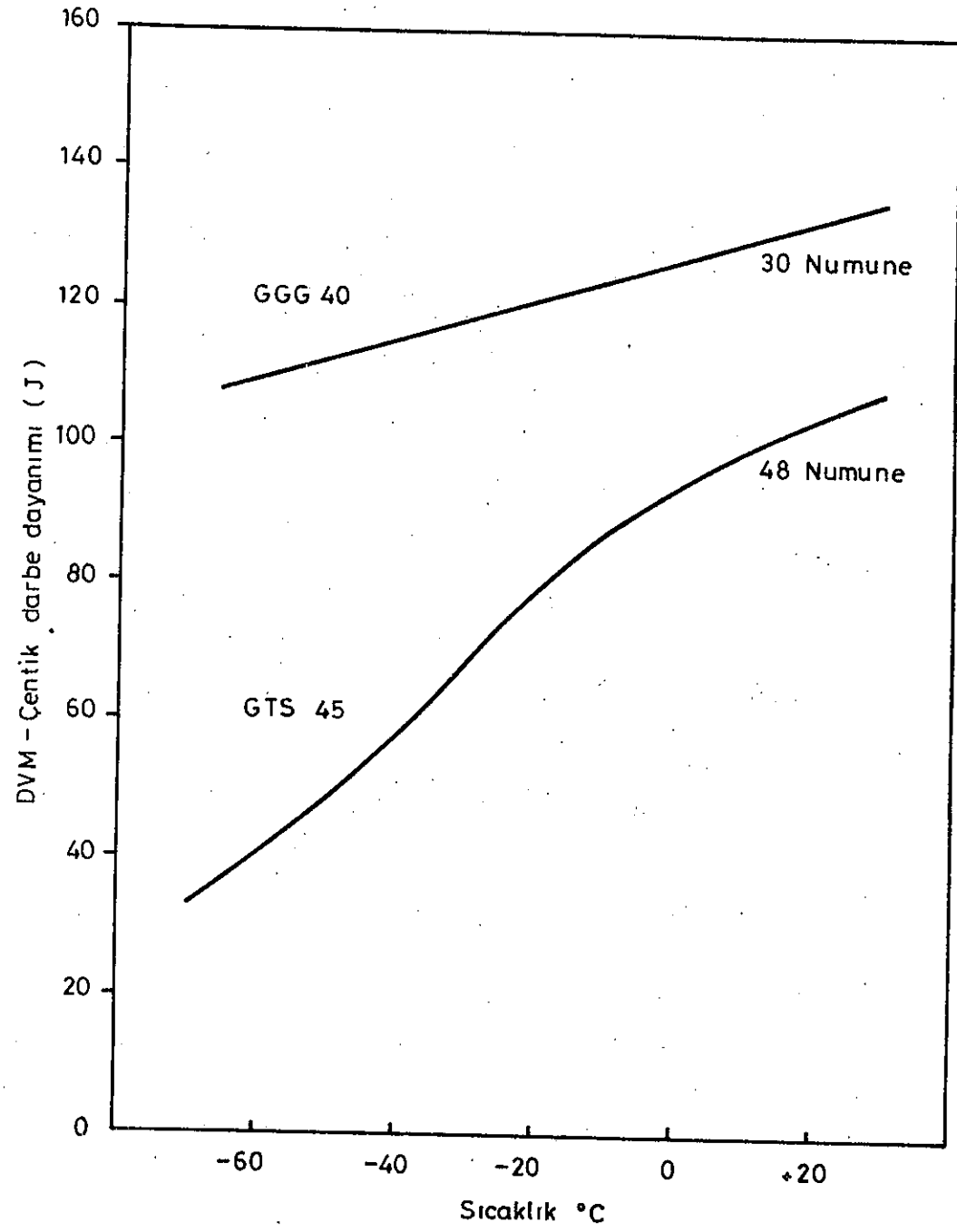
Resim 5. KGDD'den imal edilen mahruti dişli

Çelik malzemelerin birbirleri ile konstrüktif yönden karşılaştırılmalarında kopma mekanığı özelliklerini veren değerler önem kazanmaktadır. Bu husus KGDD den imal edilen döküm parçalarında, örneğin otomotif endüstrisi malzemeleri, aynı şekilde geçerli olmaktadır. Yapılan çalışmalar, demir-karbon alaşımlarında grafit şekline bağlı olarak "yorulma çatlak büyüme hızının" lamel boyu küçüldükçe azaldığını, yani süneklilik özelliklerinin arttığını ortaya koymuştur. KGDD ve temper döküm çok daha yüksek kopma sünekliliği değerlerine sahiptir. Optimal özelliklerde KGDD lokal gerilim konsantrasyonunu plastik şekillenme ile indirgeyen, azaltan, ferritik bir ana dokuya sahiptir. Çelikle karşılaştırıldığında, yine grafit'in çukurluk etkisi kendisini göstermekte ve kritik gerilim intensite değerleri daha düşük kalmaktadır (Resim 6). Batı Alman dökümcüler birliğinin 1965 yılında W 51 Nr.11 bilgi föyü ile özel KGDD ler hakkında yayınladığı şartnamede, GGG 38.3 tanımı ile çentik darbe mukavemetinin belli değerde olması istenmektedir. Bu tür KGDD ler -40°C ye kadar yüksek çentik darbe mukavemetine sahiptirler. (Resim 7).

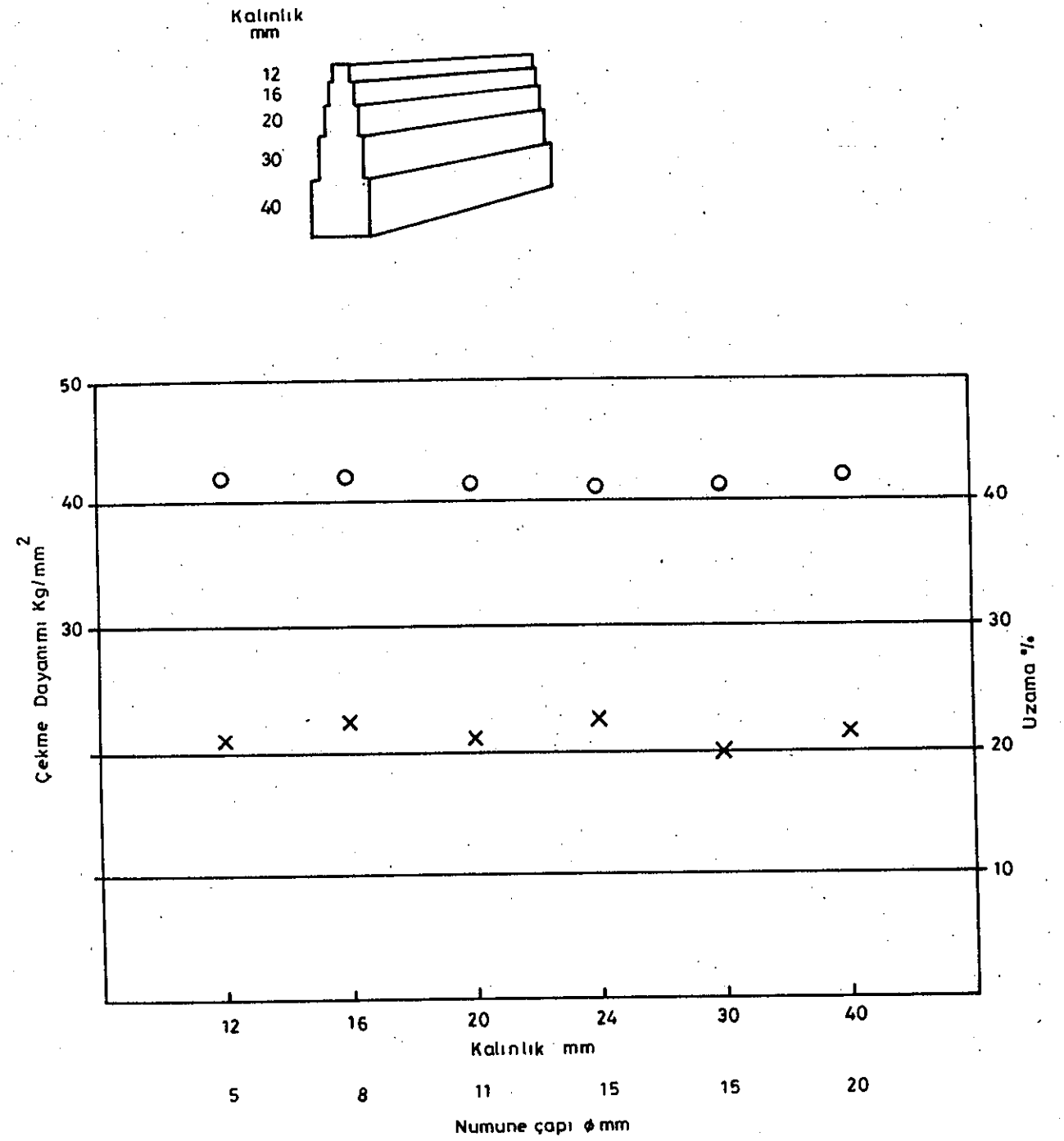
Döküm malzemelerin üretiminde genellikle mekaniki özellikler boyutları normlaştırılmış ve ayrı dökülmüş numunelerde tesbit edilirler. Katılama hızının farklı olması nedeni ile çoğu malzemede parça et kalınlığı arttıkça, mukavemet değerleri düşer. Buna karşın ferritik KGDD lerde 5-40 mm et kalınlıklarında katılama hızının mekaniki özelliklere etkisi çok azdır. Daha kalın olan parçalarda bile et kalınlığı etkisi kuvvetli değildir. Resim 8 de kademeli kama numunesi ve elde edilen uzama, çekme dayanımı değerleri verilmiştir. Aynı olarak dökülen 5-20 mm çapındaki numune çubukların özellikleri ile kamadan işlenen aynı çaptaki numuneler karşılaştırıldığında bir farklılığın olmadığı görülmektedir.



Resim 6 . Demir - Karbon döküm alaşımlarında Yorulma çatlak büyüme hızının gerilim amplituduna bağlı olarak değışımi.



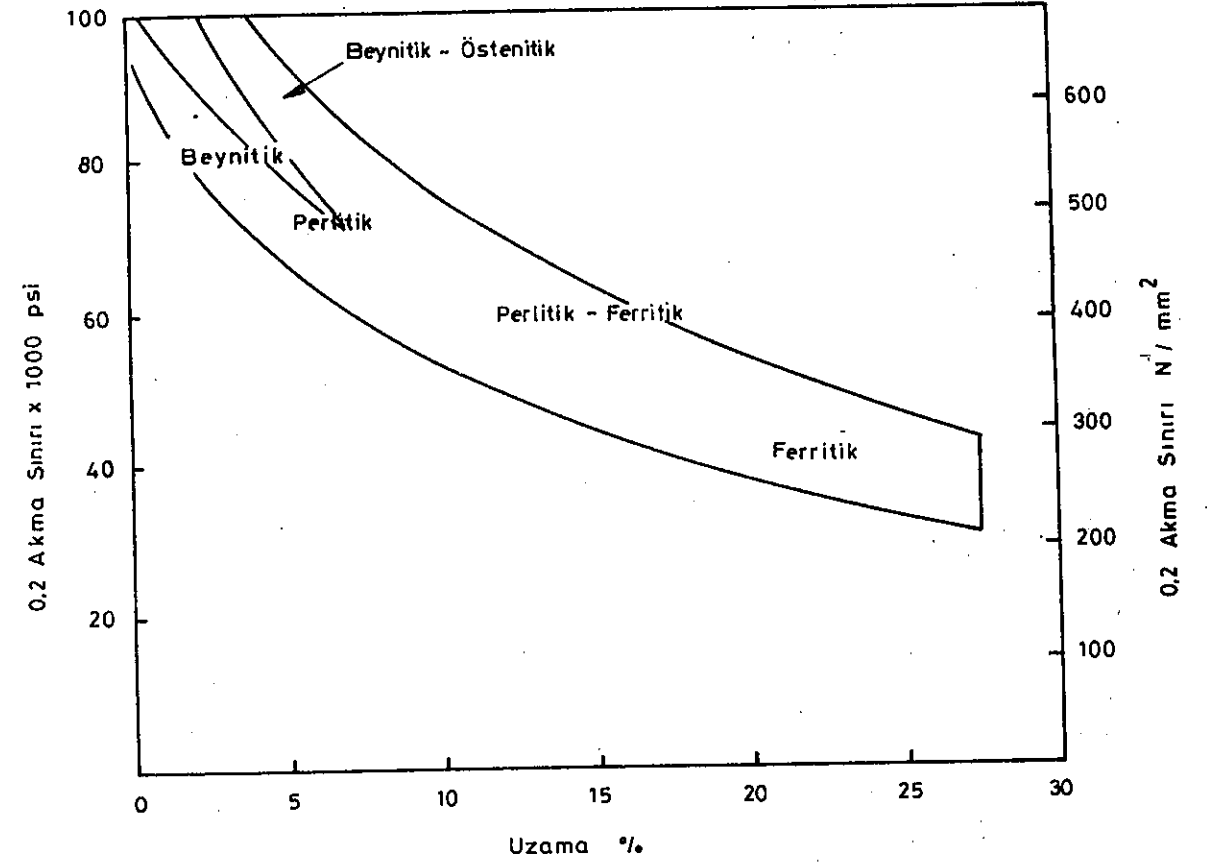
Resim 7 KGDD (GGG 40) ile Temper döküm (GTS-45) DVM Çentik darbe dayanımlarının sıcaklığa bağlı olarak değişimi



Resim 8 Kama numunesinden alınan çubukların çekme dayanımı ve uzama değerleri (59 Değer ortalamaları)

KGDD lerde mukavemet özelliklerini dolayısı ile sünekliliği ana doku özellikleri kuvvetli olarak etkiler. Resim 9 akma sınırı ve uzama değerleri arasındaki ilişkilerin ana doku özelliklerine bağlı olarak değişimini vermektedir. Bu değerlendirme konstrüktörler için temel bilgileri kapsamaktadır. Genellikle orta ve yüksek mukavemet değerlerinde ve yeterli süneklilik özelliklerindeki KGDD ler daha geniş bir kullanım sahasına sahip bulunmaktadır. Bunun nedeni belirtilen özelliklerin döküm durumunda elde edilmeleri ve ısıtıl işlem gerekmediğinden sağlanan ekonomiktir. Akma sınırının 480 N/mm^2 nin üzerinde olması istendiğinde yine döküm durumunda kullanılmak şartı ile bazı alaşım elementlerine baş vurulması, ısıtıl işlemle mukavemet değerlerinin arttırılmasından, daha ekonomik olabilir.

Süneklilik ve mukavemet değerlerinin uç kısımlarındaki bölgeler ısıtıl işlemin gerekli olduğunu gösterir. Konstrüktör doğal olarak bir tek özelliği veya sayıları fazla olan özelliklerin yerine getirilmesini isteyebilir. Bu özellikler talaş alınma kabiliyetinden başlayarak, titreşimleri emme, E-modül, korrozyona, aşınmaya dayanıklılık olabilir. Bu durumda KGDD üretici teknik elamanı gerekli tüm bilgileri verebilecek düzeyde olmalıdır. Östenitik KGDD lerin seçiminde mukavemet ve süneklilik değerlerinin göz önünde tutulmaması buna iyi bir örneği teşkil etmektedir.



Resim 9 . KGDD lerde Ana Doku özellikleri ile Uzama ve Akma sınırı arasındaki ilişkiler

Talaşlı imalatla ilgili olarak şu hususu belirtmekte yarar vardır,oda işlenen yüzey KGDD de lamel grafitli dökme demir'e nazaran daha parlak ve düzgündür.

Döküm durumu maliyet fiyatının ısıtılma masrafları ile karşılaştırması:

İstenilen özelliklerin döküm durumunda gerçekleştirilmemesi halinde KGDD'in ısıtılma işlemi kaçınılmaz olur. Isıtılma masrafları döküm durumu parça maliyet fiyatının % 10'unu teşkil eder. Ayrıca parçanın tekrar temizlenmesi, doğrultulması ve hatta sertleştirme esnasında parçaların bazılarının çatlaması bu farkı arttıracaktır. Bu nedenle temper dökümü yapan bir çok dökümhane kısmen veya tümü ile KGDD üretimini benimsemiştir. KGDD'in döküm durumunda maliyetini oluşturan malzeme girdileri,

- 1.KGDD piki
- 2.Çelik hurdası
- 3.Döndü,devri daim dir.

KGDD piki değeri teorik olarak % 0-100 arasında olabilmesine rağmen, pratikte % 25 civarındadır. Devri daim miktarı dökümhane bünyesinde oluşan hurdadır. Bu malzemenin gri dökümde kullanılması halinde, KGDD piki faydalanılmaksızın yitiriliyor demektir.

İstenilen kimyasal analizin sağlanması yanında parçanın döküm durumunda müşteriye teslimatı, KGDD piki miktarının arttırılması karşısında maliyeti yükseltmesine rağmen, ısıtılma işleme kıyasla daha ekonomik bir yol olabilir²³.

Fiyatlar birim olarak alındığı takdirde, KGDD piki 200, çelik hurda 100 ve ısıtılma masraflarında 100 olarak kabaca yazılabilir. KGDD pikinin çelik hurdasına oranının 1:1 olması gerektiği kabulü yapılırsa, bu iki malzemenin kullanılması halinde malzeme girdisi 150 B. dir. Oysa % 100 çelik hurdası şarjı fiyatı 100 B ve farkda 50 B. dir. Çelik hurdasının ergitilmesinde, karbonlaştırma dahil masrafların pike nazaran 30-60 B. daha fazla olduğu düşünülürse, farkın hemen hemen kalmadığını görürüz. Toplam maliyetin 1000 B./kg olduğu hatırlanırsa, KGDD üretiminde özel pik kullanımının maliyeti % 5 civarında arttırdığı bir gerçektir.

Isıtılma masrafları, uygulanacak ısıtılma işlemi cinsine göre değişmektedir²⁴.

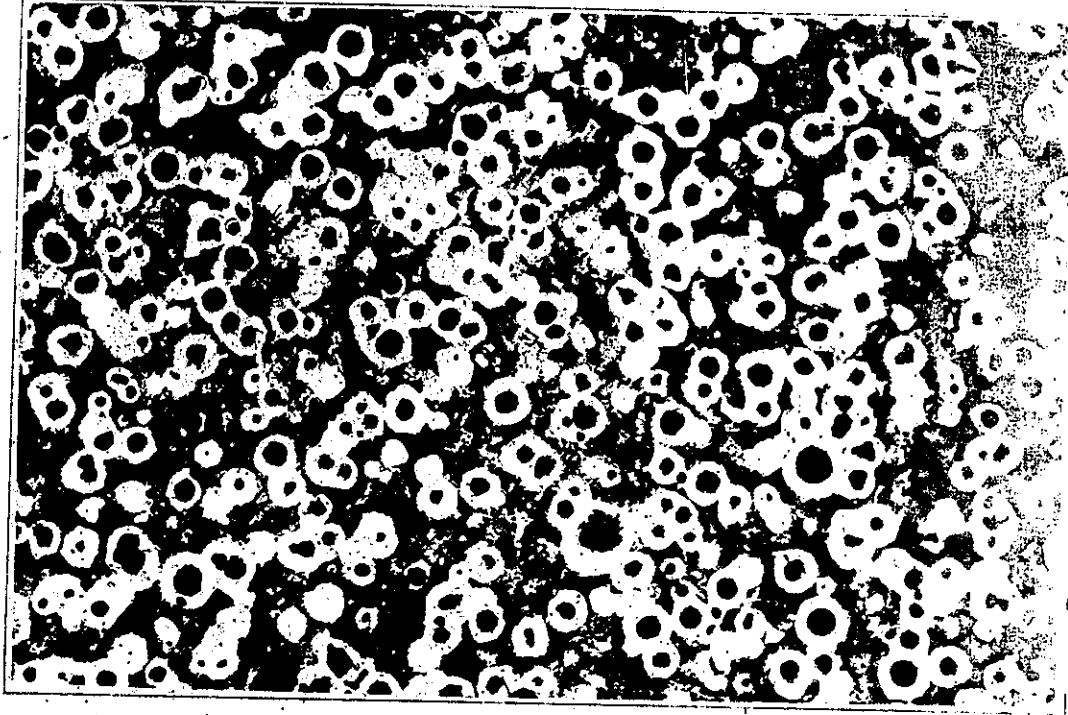
Özellikle karbürlerin çözümünü öngören bir yumuşak tavlama işlemi ile sertleştirme ve bunu takip eden meneviş işlemi en yüksek imalat masraflarını teşkil ederler. Isıtılma işlem maliyetleri karşılaştırmacı olarak aşağıda verilmiştir:

Gerilim giderme	25 Faktör
Ferritleştirme	30
Karbürlerin çözümü	150
Normalize	75
Sertleştirme-meneviş	250

3.) KGDD'in metalurjik temel bilgileri,

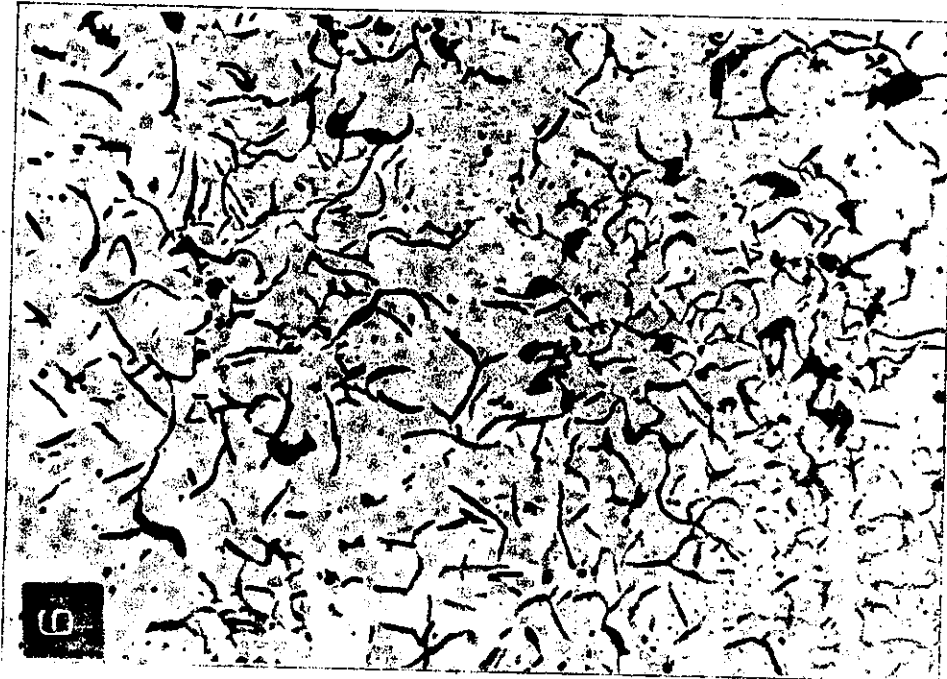
"Demir basit bir metal olmasına rağmen, onda binlerce sır saklıdır", Joseph Glauville'nin 300 yıl önce söylediği bu sözler, bütün inceleme ve araştırmalara rağmen bugün içinde geçerlidir.²³

KGDD demir bazında, yüksek karbonlu, grafit'in küresel bir biçimde varolduğu bir alaşım olarak tarif edilir(Resim 10).



Resim 10.

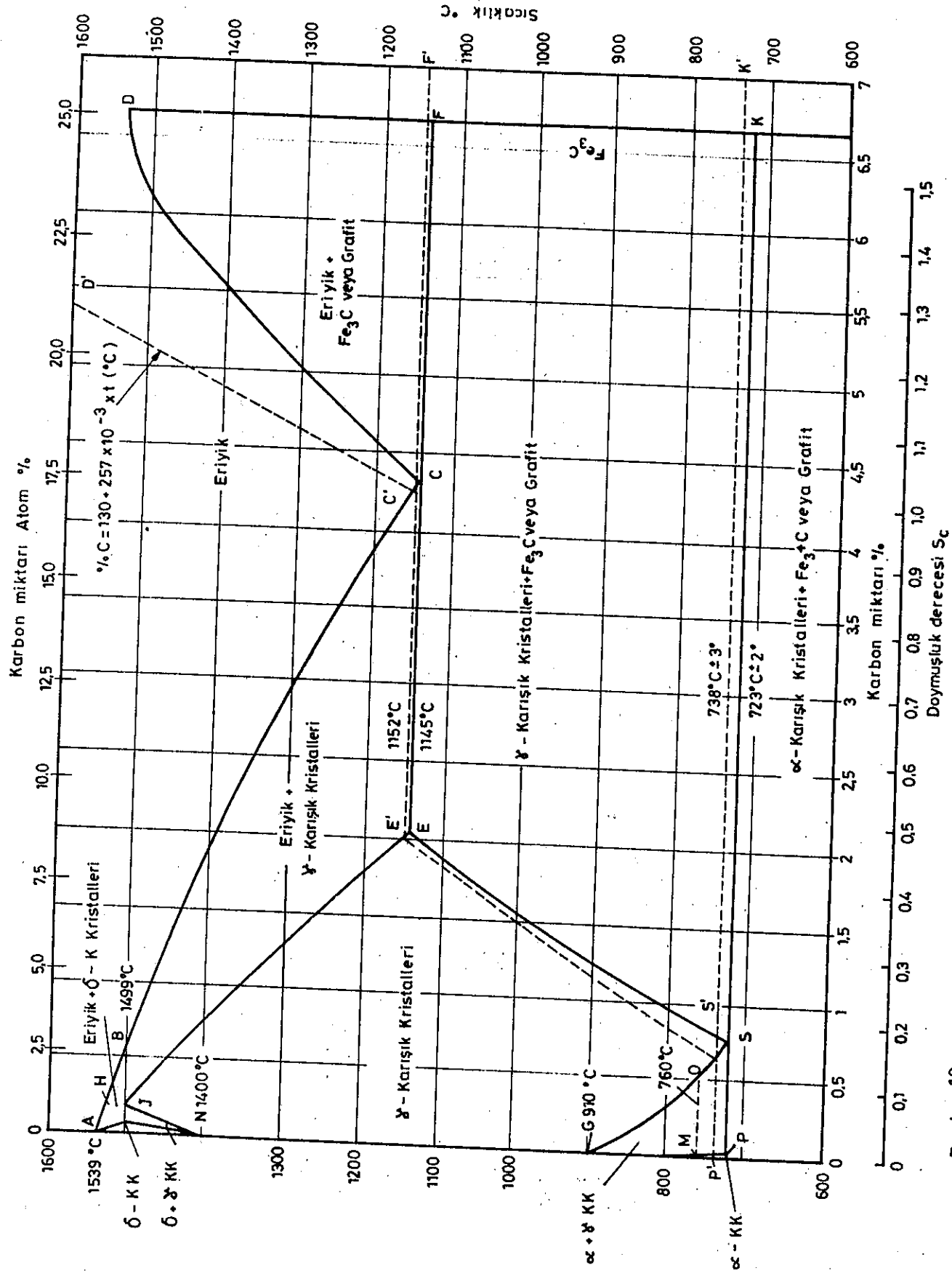
Kır dökümademir'de grafit bilindiği gibi lamel, yani yapraklı şeklindedir (Resim 11).²⁵



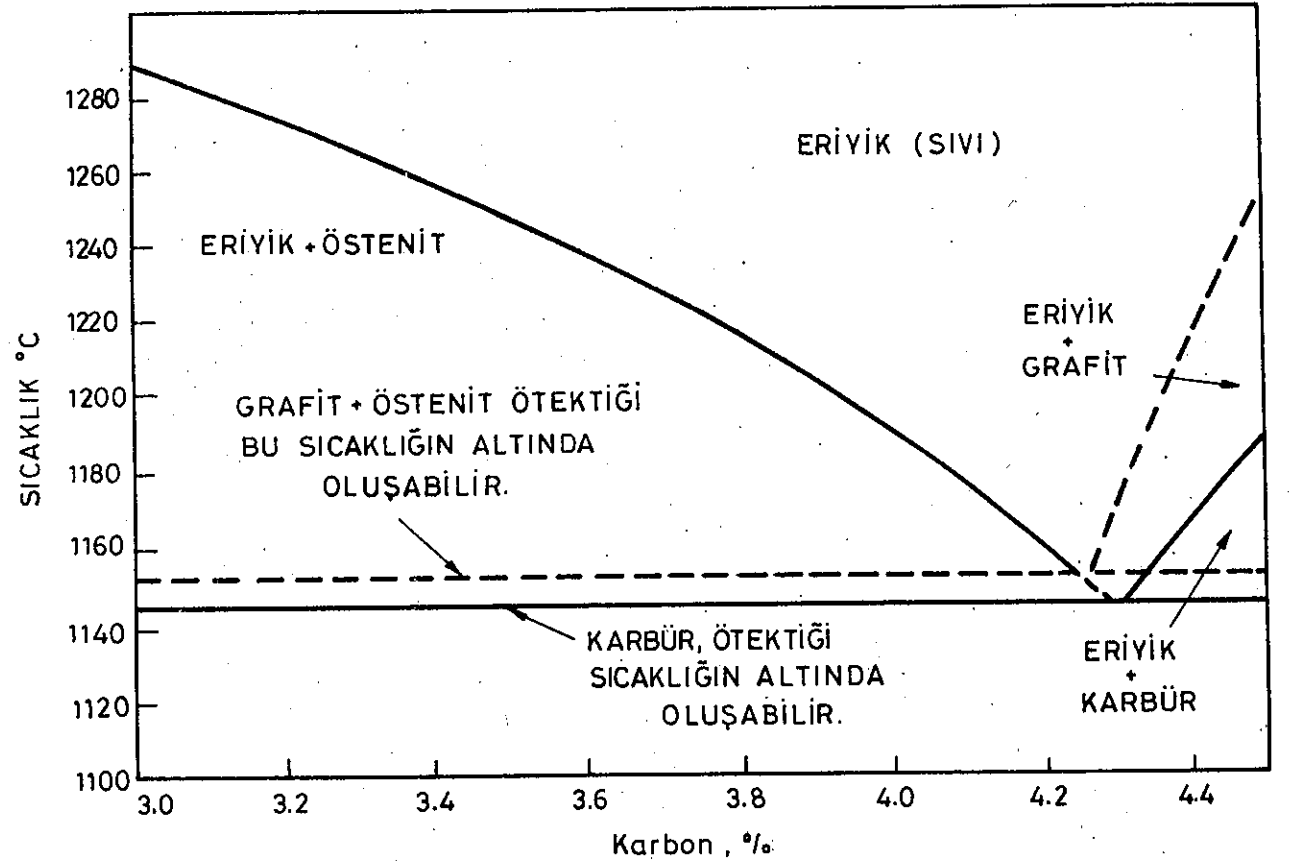
Resim 11.

3.1. KGDD'in katılaşması,^{25, 26, 27, 28}
KGDD'in katılaşması, bütünü ile oytetik dönüşüm tarafından belirlenir. Bunun için Resim 12 de verilen Fe-C-sistemine bir göz atmamız gerekir.

Silisyum'un bu ikili denge durumu sistemine etkisi daha sonraki bölümlerde açıklanacaktır. Resim 13 bize oytetik altı bir analizde katılaşma sıcaklığının karbon miktarı ile düştüğünü ve % 4.3 miktarında 1150°C olduğunu göstermektedir. Bundan sonra karbon miktarı ile ergime sıcaklığı artmakta, oytetik katılaşma sıcaklığı ise % 1.75 karbon miktarının üzerinde değişmemektedir. Pratik uygulama açısından bu diyagramdaki en önemli noktayı, ergime ve oytetik katılaşma sıcaklıklarının % 4.3 karbon miktarında çakışmaları oluşturur. Bu noktaya oytetikum adı verilir. Oytetik karbon miktarının altındaki alaşımlar, alt oytetik, üstündeki alaşımlar üst oytetik veya hiper oytetik olarak tanımlanırlar.



Resim 12 Fe - C (Grafit) Durum diyagramı (Kesikli çizgiler)
 .Fe - FeC₃ (Sementit) (Kesiksiz çizgiler)



Resim 13 Demir - Karbon denge durumu diyagramı
 (Kesikli çizgiler Demir - Grafit sistemi)

KGDD de oytetik analize etkisi en fazla olan element silisyumdur. Silisyum oytetik analizi daha düşük karbon miktarlarına kaydırılmaktadır ve ekuvalent yani eşdeğer miktarın saptanılmasında alaşımın karbon miktarı ile toplanır. Bu iki değer toplamına karbon eşdeğeri veya ekuvalenti denir. Yapılan incelemeler % 1 silisyum'un oytetik analizi % 0.31 azalttığını ortaya koymuştur. Karbon eşdeğeride bu bilgiler ışığında,

$$KE = \%C_{\text{toplam}} + 0.31 \%Si \text{ olarak yazılır.}$$

KE-değeri % 4.3'ten az ise alaşım, alt oytetik, fazla ise bu takdirde üst oytetik'dir.

Bazı ülkelerde, örneğin Batı Almanya, karbon eşdeğeri yerine doymuşluk derecesi tabiri kullanılmaktadır. Doymuşluk derecesi ile KE-değeri arasında şu basit ilişki vardır: 25 .

$$S_c = \frac{\%C \text{ Toplam}}{4.3 - KE + \%C \text{ Toplam}}$$

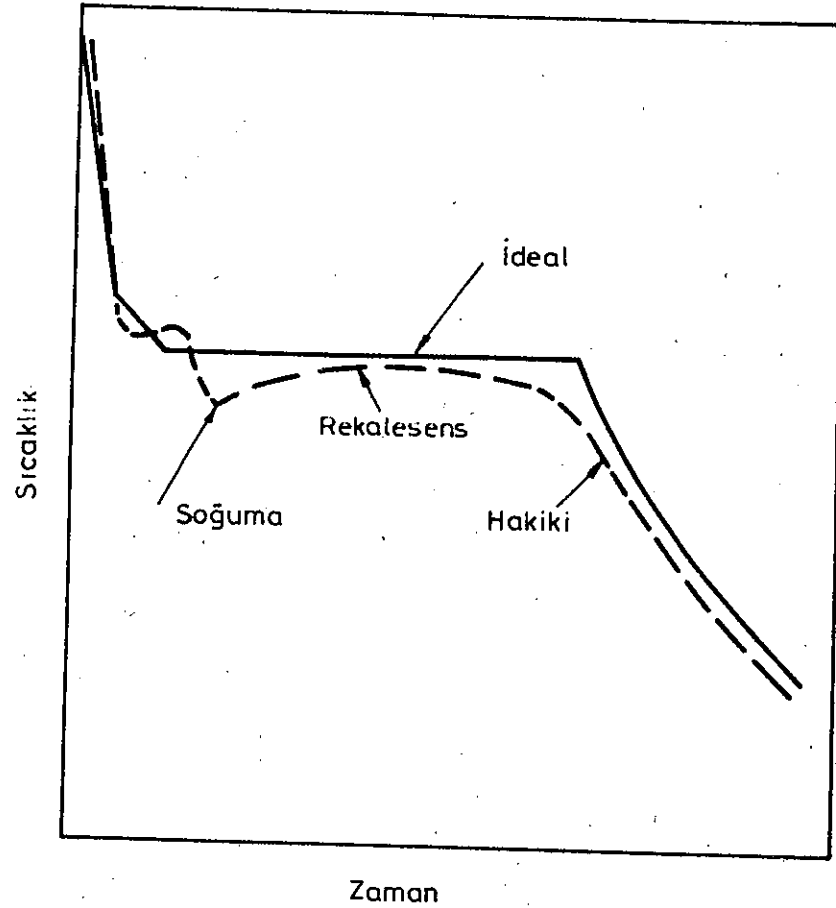
Pratikte KE-değerinin tam olarak 4.3, yani alaşımın oytetik olması ender sağlanan bir durumdur. Pratik uygulama ve çalışmalarda katılaşma gidişatının ya alt ötektik yada üst ötektik olacağını kabul etmemiz gerekir. Bunun yanında diyagram üzerinde verilen bu bölgelerin denge durumu şartları, yani soğuma hızının çok yavaş olması halini içerdiğini unutmamak lazımdır. Pratikte denge durumu şartları hiç bir zaman gerçekleşemez, örneğin 50 mm kalınlığındaki KGDD'in bentonit bağlayıcılı kum'a dökümünde katılaşma denge durumuna yakın bir yavaşlıkta olmasına rağmen, soğuk kalıp yüzeyinden parça içine doğru 0.8-3.2 mm derinlikte katılaşma denge durumundan uzaklaşır. Bu bilgiler bize, kalınlığı 12 mm'ye kadar olan KGDD'lerde katılaşmanın tamamı ile denge durumu şartları dışında olduğunu göstermektedir.

Ötektik katılaşma veya ötektik katılaşmadan farklılıklar zamana bağlı olarak sıcaklığın ölçülmesi ile belirlenirler. 29.30

Resim 14 bu tip bir eğriyi göstermektedir. İki komponent, örneğin Fe ve C ibaret olan bir sistemin soğuma hızı, homojen bir faz'ın (eriyiğin) mevcut olduğu sürece, sistemin içinde bulunduğu ortamın ve alaşımın termik özelliklerine bağlıdır. Eriyikten, 1'inci faz (Katı durumda Fe, Grafit veya Demir karbür) ayrışmaya başladığında, soğuma hızı azalır. Bundan sonra 2'inci faz oluştuğunda ısı bilançosu, kayıpları dengeleneceğinden bir duraklama meydana gelir. Soğuma eriyik fazın tamamı ile katılaşmasından sonra tekrar devam eder.

Soğuma eğrisinin ideal durumdan sapmasının izlenmesi bize KGDD'in katılaşma gidişatı hakkında önemli bilgileri verir. Soğuma eğrisindeki ilk duraklama, eriyikten primer fazın, yani katı fazın, katılaşma başlangıcını gösterir. Alt ötektik gri dökümde bu faz östenit'ten ibarettir. Bu anda katılaşma hızı yüksektir ve denge durumu sıcaklığına erişildiğinde yavaşlayacaktır. Bundan sonraki soğuma eriyiğin oytetik sıcaklığa erişmesini sağlar ve 2. faz gecikmeli olarak katılaşmaya başlar. Soğuma noktasının meydana gelmesinin nedeni budur. Sıcaklığın tekrar yükselmesi, demir ve grafit'in beraberce katılaşmasını gösterir. Bu kuvvetli sıcaklık artışı rekalesens olarak adlandırılır. Rekalesens katılaşan iki fazın ısı durumları ve soğuma hızına bağlı olarak oytetik sıcaklığa erişebilir veya onun altında kalabilir. Soğuma hızı katılaşma ısılarının üzerinde olduğunda, bu takdirde ne rekalesens nede duraklama sıcaklığı veya noktası görülebilir. Bundan öncede belirtildiği gibi, 12 mm kalınlığa kadar döküm parçalarında katılaşma, denge durumundan uzaklaşır. Soğuma eğrisinin katılaşma sonuna doğru eğimi, katı fazlardan birinin tümü ile eriyikte artık mevcut olmadığını gösterir. KGDD de bu faz grafit olmaktadır, ve ikincil çekinti olayının nedenini teşkil eder.

3.1.1. Alt ötektik katılaşma, KGDD lerde alt ötektik alaşımların katılaşması istinasız dentritler şeklinde primer östenitle başlar. Bu olgunun devamı süresince soğuma olur, ve artık eriyik ötektik sıcaklığa erişir.



Resim 14 . Alt ötektik KGDD de ideal ve hakiki soğuma eğrileri

Bu sıcaklıkta grafit ve östenit beraberce katılaşmaya başlarlar, ve rekalesens ile sıcaklık yükselerek, ötektik sıcaklığa çıkılır.

Ötektikumun katılaşması kısmen östenit dentritlerinin sürekli büyümeleri ve kısmende östenit ve grafit'in beraberce kristalleşmesi şeklinde olur, östenit grafit'i çepre çevre sarar. Grafit-östenit taneleri birbirleri ile ve östenit dentritleri ile temas halindedir. İstatistikî bir tane dağılımı gösteren bu grafit-östenit kristalleri eriyik demir ile birbirlerinden ayrılmış gruplar oluştururlar. Bu gruplara ötektik hücre, nüve adı verilir. Katılaşma süreci sonlarına doğru eriyik karbona fakirleşir ve tane sınırlarında katılaşma grafitsiz olur.

Böylece döküm parçalarının orta kısmında kalan bölgelerde karbürler mevcut olabilir. Katılaşmanın bu özelliği soğuma eğrisindeki kavis'in nedeni olmaktadır.

3.1.2. Üst ötektik katılaşma,

İlk katılaşan fazın küre şeklindeki grafitler olması dışında üst ötektik KGDD'in alt ötektikten bir farkı yoktur. Eriyiğin sıcaklığı ötektik sıcaklığın altına düştüğünde, demir, yani östenit ve grafit'in beraberce katılaşmaları vukuu bulur. Bu olayı, yine kısmen, ayrışan grafitsiz östenit ve kısmende ötektik östenitle çevrilmiş küresel grafitlerin bulunduğu tanelerin katılaşması meydana getirir.

Üst ötektik KGDD'lerde azami parça et kalınlığı 40 mm olmalıdır. Aksi takdirde primer ayrışan grafit kürecikleri, parça üst yüzeyine yakın kısımlarda toplanırlar, buna grafit yüzmesi hatası adı verilmektedir. Et kalınlığı 40 mm ye kadar olan parçalar uygun soğuma şartlarında, karbon eşdeğeri 4.3'ün biraz üzerinde olsa grafit yüzmesi meydana gelmeksizin katılaşırırlar.

3.2.KGDD'de grafit'in kristalizasyonu, ^{23,31,35}

Grafit'in küresel şekilde kristalizasyonu ile ilgili olarak yapılan çok sayıda araştırmalar, birbirlerini tamamlayan veya farklı kuramların geçerli olabileceğini ortaya koymuştur. Bu nedenle grafit kristalizasyonun açıklanması bir kaç değişik teori ile yapılmaktadır. Bunlardan 1. incisi küresel grafit'in bu şekilde büyümesini meydana getiren grafit kafesi özellikleri de heterojen nükleler üzerinden olduğudur. Bu heterojen nüklelere örnek magnezyumdur. Bu elementin oluşturduğu heterojen nükle grafit kristalizasyonunun her yönde aynı hızla, yani bir küreyi meydana getirecek biçimde, olmasını sağlamaktadır.

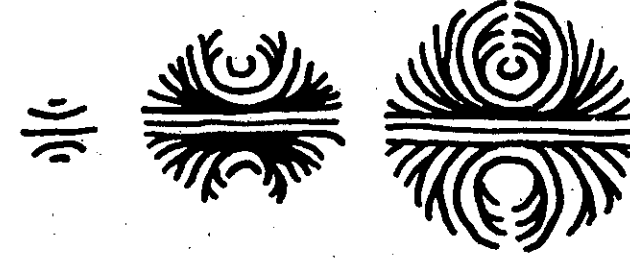
2.kuram, küresel grafit kristalizasyonu, büyüyen grafit dentritlerinin dallanma olasılığının artması ile meydana gelmektedir. Bu açıklamada bir küresel grafit kristalinin, lamel biçiminde büyümesi gibi olduğu varsayımından yola çıkılmaktadır. Dallanma olasılığı az ise, grafit lamel, yapraksı biçimini alacak, ancak küreselleşmeyi etkiliyen elementlerin var olması halinde, dallanma ve dolayısı ile küreselleşme vucuda gelecektir (Resim 15).

Bu kuram'ın deneysel olarak geçerliliği maalesef tesbit edilememiştir.

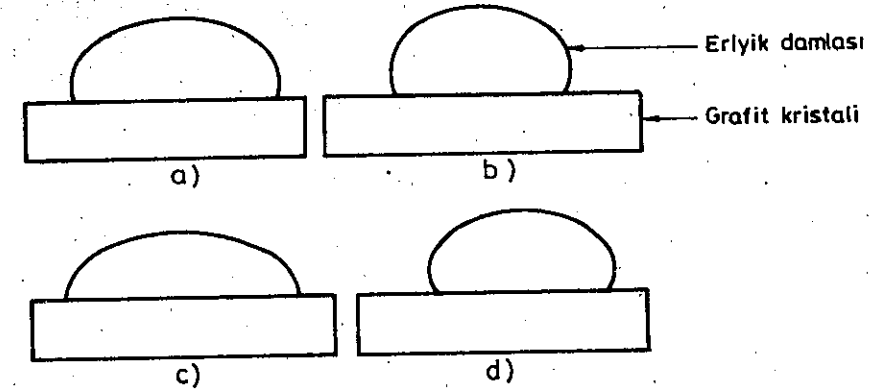
3'üncü kuram olarak, küreselleşme eriyiğin yüzeysel geriliminin artması ile meydana gelmektedir. ³⁶ Deneysel çalışmalar, demir eriyiğin FeSiMg ile işlem görmesi sonu, eriyik yüzeysel gerilimin % 30-50 nisbetinde arttığını göstermektedir. Böylece grafit kristal kafesi c-ekseni, prizma yüzeyi yönünde büyümektedir. (Resim 16) Diğer bir ilginç araştırmada eriyik demir damlacıkları ısıtmalı mikroskopta farklı yönlerde bulunan grafit plakalar üzerine (baz yüzeyi veya prizma yüzeyi) bırakılmışlar ve sınır enerji gerilimleri saptanılmıştır (Resim 17). ³⁵

A-ekseni yönündeki grafit plaka üzerindeki kükürtlü demir eriyiğinin damlacık-plaka kontakt açısı magnezyumlu eriyikle hemen hemen aynı büyüklükte bulunmaktadır (Resim 17 a-b). İki eriyikte yüksek sınır yüzeyi enerjisine sahiptir. Prizma, yani c-ekseni yönündeki plakalarda ise kükürtlü eriyiğin sınır yüzeyi enerjisi azalmakta, magnezyumlu eriyik demirde ise artmaktadır. (Resim 17 c-d).

KGDD de eriyik ile grafit kristali prizma yüzeyi arasındaki sınır yüzeyi enerjisinin, kafes baz yüzeyi (a) arasındakine nazaran büyük olması sonucu, grafit'in baz yüzeyine dik bir yönde büyümesi ile halkalar şeklinde grafit konilerinin gruplanması sonucu küreselleşme meydana gelmektedir. (Resim 18).

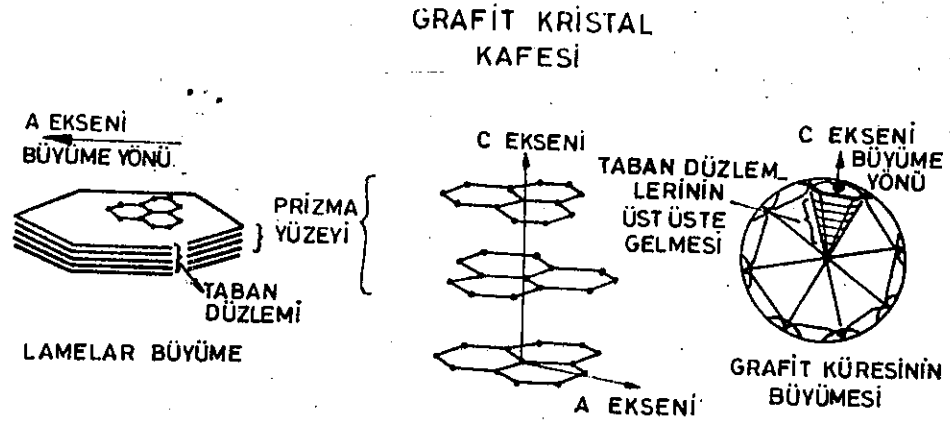


Resim 15 . Dallanma frekansı kuramına göre bir grafit küresinin büyümesindeki muhtemel kademeler.

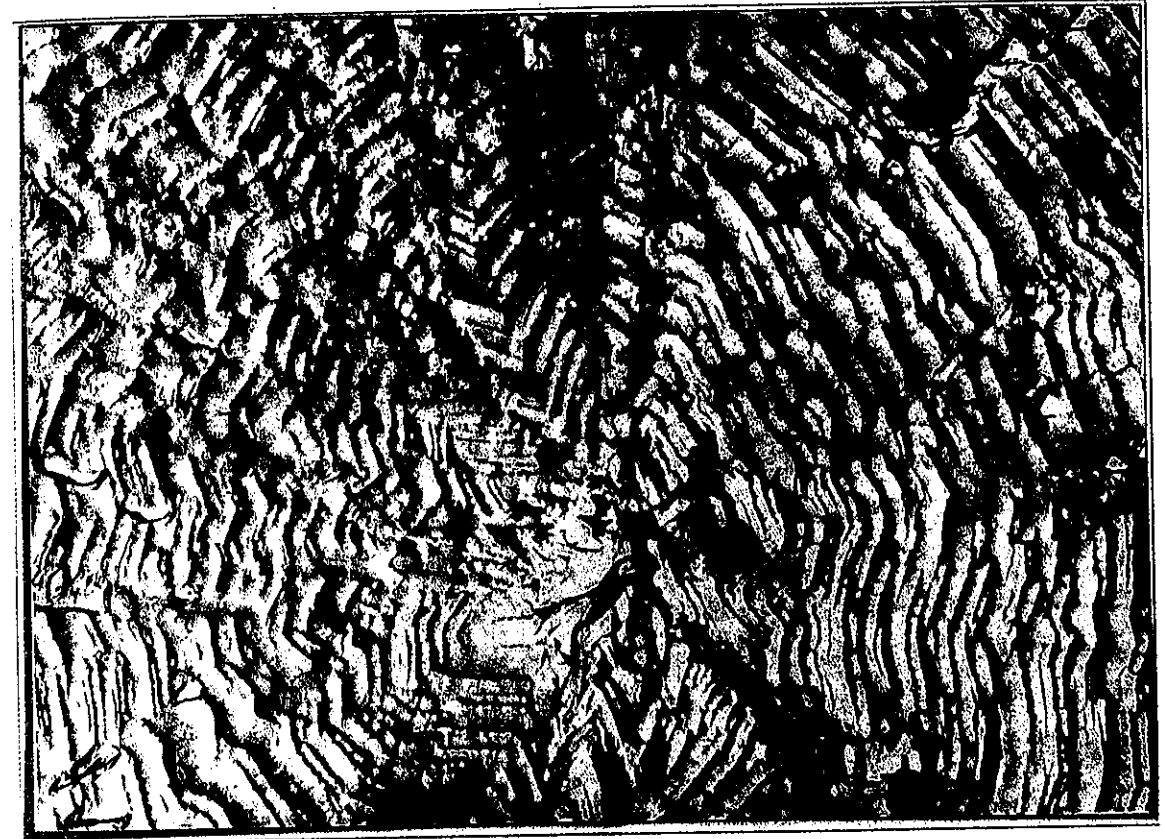


Resim 17 . Grafit'in baz ve prizma yüzeyi üzerine konan kükürtlü ve magnezyumlu işlem görmüş demir eriyik damlacıklarının kontakt açıları.

- Kükürt eriyik lamel grafitli dökme demir baz yüzeyi
- Kükürtsüz eriyik, baz yüzeyi
- Kükürtlü eriyik, baz yüzeyi
- Kükürtsüz eriyik, prizma yüzeyi sınır enerjisi $b > d > a > c$



Resim 16 .Yüzey enerjisi kuramına göre Grafit'in Küresel bir biçimde büyüme olayı



Resim 18. Bir küre şeklindeki grafit'in merkezinden dışa doğru büyümesi.

B: 6600, vakumda dağlanmış.

A.S.M. 1953 Metalografi ödülü 37

Faz sınırı veya gaz kabarcığı teorisi: 23

Bu teoriye katılanlar az sayıda olmalarına rağmen, grafit kürele-
rinin bu teori ile tariflendiği şekilde olduğunu kanıtlayan ve
bir çok pratik bulgulara cevap veren, veriler mevcuttur.

Grafitin kristalizasyonu bilindiği gibi, çatlak, gaz boşluğu ve
inkluzyon gibi belirli yüzeylerden başlamaktadır. Gaz kabarcığı
teorisinde grafitin kristalleşmesinin yalnız herhangi türde bir
faz sınırı ile desteklendiğinde gerçekleşebileceğini öne sür-
mektedir. Bu faz sınırı mevcut değilse kristalleşme karbür olarak
meydana gelecektir.

Yine bu teoriye göre gerekli faz sınırları sıvı metal içersindeki
CO gaz kabarcıkları ile aşağıdaki reaksiyon sonucu oluşmaktadır:



Kristalleşme için SiO_2 'nin mevcut olmasının gerekliliği bir çok
çalışmayla kanıtlanmış olup, özetle:

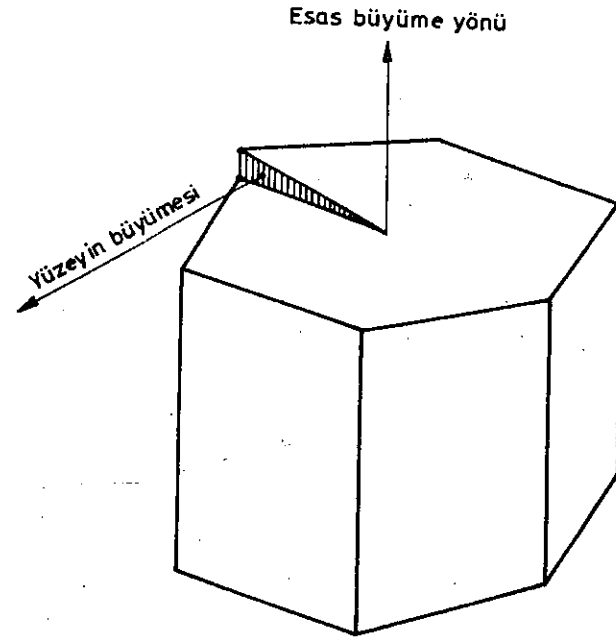
- Eriyik grafit'in kristalleşmesi için heterojen çekirdek-
lere sahip olmalıdır. Bu çekirdekler kural olarak
 SiO_2 dirler.
- $\text{SiO}_2 + 2\text{C} = \text{Si} + 2\text{CO}$ denge durumu sıcaklığının 50°C
üzerinde eriyikteki silisyum oksijen alımına yol açar.
- Eriyiğin uzun süre belli bir sıcaklıkta tutulması,
oksijen kaybına ve dolayısı ile grafitin şeklen bozul-
masına neden olur. Bu olay vakumda ergitme şartlarına
benzer etkiye sahiptir. (D tipi grafit ve karbürlerin
oluşması)
- Oksijen kaybı, aşılama ile giderilemez.
- Mangan ile aşılama heterojen grafit çekirdekleşmesine
engel olur.
- Eriyiğin, aşılama cevap verebilmesi için, yeterli ok-
sijen miktarına sahip olması gerekir.
- Ca, Ba, Sr, Al gibi aktif aşılama çözümleri stabil oksitler
meydana getirirler ve SiO_2 bu oksitler üzerinde kris-
talleşir.

KGDD'in üretiminde, küreselleştirme işlemi ile oksijen miktarı
74 ppm den 10 ppm değerine düşer. Aynı zamanda kükürt miktarıda
azalır. Bunu takip eden aşılama işlemi ile eriyik çok sayıda
aktif aşılama çözümlerinin oluşturduğu heterojen oksit çekirdeklerine
zenginleşecektir.

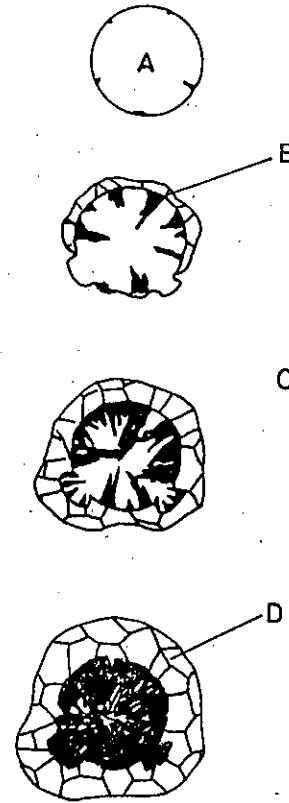
Ya yüzey aktif elementlerden kükürtün giderilmesi veya olasılıkla
diğer yüzey aktif elementlerin mevcut oluşu (Mg) karşısında
grafitin lamel şeklindeki büyümesi engellenmektedir.
Dislokasyonlar grafit kristalinin büyümekte olan taban düzlemi-
ni kendi üzerinde katlamaya zorlar (Vida dislokasyonu) ve
spiral tipi bir büyüme neden olur (Resim 19).

Dolayısı ile grafitin küre şeklinde büyüme kademeleri şu
şekilde olacaktır (Resim 20).

- Oksijen miktarının azalması ve CO gazı kabarcıkları-
nın toplam hacminin kristalleşecek grafitlerin
hacmine eşit olması,
- Eriyiğin aşılama malzemesinin meydana getirdiği
çok sayıda ince oksit tanecikleri ile zenginleşmesi,
- Soğuma esnasında C ile denge durumunda bulunan
 SiO_2 taneciklerinin aşılama oksitlerin üzerinde
kristalleşmeleri
- Heterojen denge durumuna erişmek için SiO_2 tanecik-
lerinin bir bölümünün karbon ile CO gaz kabarcıkları
oluşturmaları



Resim 19 . Grafit kristalinin spiral şeklinde büyümesi Şematik olarak.



Resim 20 . Faz sınırı teorisine göre küresel grafitin büyüme kademeleri.
A Gaz
B Grafit tek kristali
C Eriyik
D Östenit

Faz sınırı teorisinin geçerliliğinin kanıtlanması için yapılan bir çalışmada demir eriyik farklı özelliklerdeki gazlarla zenginleştirilmiştir. Ortalama gaz kabarcığı çapı 0.01 mm olacak şekilde şu 3 uygulama yapılmıştır:

-Hidrojenin bazı metallerdeki çözünürlüğü sıcaklıkla azalmaktadır, örneğin Ce, La, Y, Ti ve Zr. Bu 5 elementte küreselleşmeyi sağlamaktadır. Buna karşın bu elementlere zengin olan eriyiğin vakum altında hidrojen gazı tasfiyesine tabi tutulması ile küresel grafitler meydana gelmemektedir.

-Eriyik demirde azot'un çözünürlüğü basınçla artmaktadır. Eriyik demir yüksek azot gazı basıncı altında katılaşma öncesine kadar bırakılır ve aniden atmosfer basıncına düşürülürse, küresel grafitler meydana gelmektedir.

-İnce poröz bir tapa yardımı ile eriyiğin içine çeşitli gazlar verildiğinde, gazın cinsine bağlı olmaksızın, azot, karbonmonoksit, argon, küresel grafit oluşmaktadır. Bu incelemede eriyik demir kükürt miktarı % 0.09 ve titanyum miktarı % 0.27 olmasına rağmen, küreselleşme mevcut olmaktadır.

3.3. Grafit kristalizasyonu ve kalıtım, 23, 39

Tecrübeli dökümcülerin göz önünden ayırmadığı bir husus, kimyasal analiz, metalurjik faktörlerin yanında, kullanılan malzemenin nükle durumunun farklı olmasından kaynaklanan etkenlerin KGDD üretiminde büyük bir öneme sahip olmalarıdır. Bu olgu lamel grafitli gri dökme demir üretiminde, parça et kalınlığı azaldıkça aynı şekilde kendini gösterir. Parça modülü 0.1 cm olduğunda, hazırlanmış eriyiği oluşturan katı şarj meydana getiren komponentlerin nükle durumları, katılaşma sonu dokuyu tayin eden en önemli etkidir. Eriyik oksijen miktarının nükle sayısına etkisi bilinen bir gerçektir. Bundan sonra açıklanacağı üzere, ergitme gidışı ile oksijen miktarının değişmesi, yani azalması sonucu nükle fakirliği nedeni ile katılaşma "beyaz" olabilir. Demek oluyor ki, aşılama öncesi eriyik oksijen miktarının düşük olması, metaştabil sisteme göre katılaşmaya temayülü arttırmaktadır.

KGDD'in üretiminde şarj malzemeleri kalıtım özellikleri bir taraftan nükle sayısı, grafit şeklini ve diğer taraftan ana doku özelliklerini belirlerler³⁹. Özel nitelikli KGDD piklerinin kullanılması ile aynı aşılama miktarında nükle sayısı yani grafit küre sayısı artar²³.

Çelik hurda şarj miktarı ana doku perlit % sini arttıran bir etkiye sahiptir³⁹. (Resim 21).

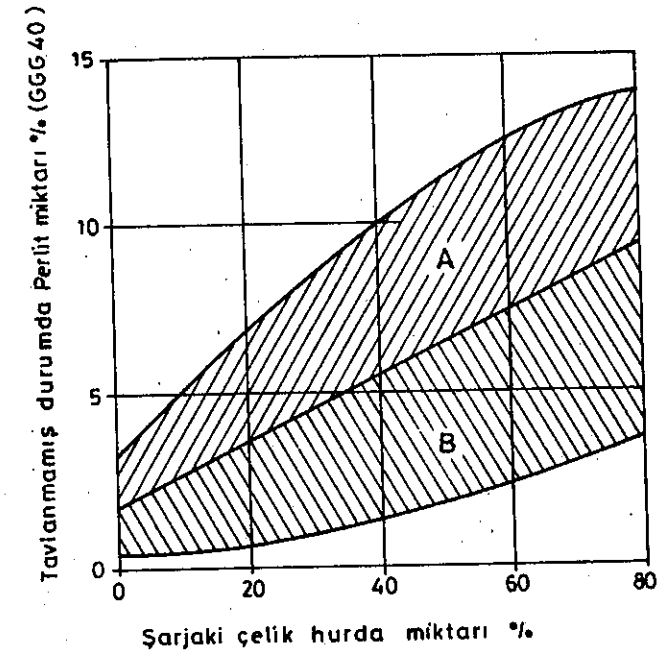
Bu nedenle ferritik KGDD lerin üretimi ön görüldüğünde çelik hurda miktarının, belli bir oranda olması gerekir. Bu oran çelik hurda özelliklerine, yani analizine bağlı olup, dökümhanede yapılacak çalışmalarla tesbit edilmelidir. Bu durumlarda KGDD piki miktarıda asgari % 25 olarak alınır.

Özel üretimlerde, örneğin segman dökümünde, çelik hurda kullanımını söz konusu olmamaktadır⁴⁰.

Yukarıda belirtildiği gibi, özellikle ince et kalınlıklarında döküm durumunda ferritik olan KGDD üretiminde yüksek miktarlarda KGDD piki çalışılması zorunluluğu vardır⁴¹. Ancak sadece derin çekme kalitesinde sacların kullanılması halinde, 25 mm et kalınlığında mekaniki özellikler, KGDD piki ile üretilenlerle bir farklılık göstermemektedir. Bu özellikler:

Çekme dayanımı	450 N/mm ²
Akma sınırı	320 "
Uzama	15 % dir.

Bu özelliklerin elde edilmesi için mangan miktarı azami % 0.4 olmalı silisyum miktarı ise % 2.6-3.1 arasında kalmalıdır. Parça et kalınlığı 15 mm olduğunda, ana doku perlit miktarı % 7-10 olup, uzama değeri % 15'in altına düşmektedir.⁴¹



- A Normal özelliklerde pik kullanımı
- B Yüksek özelliklere sahip sfero piki ile çalışma

Resim 21 Şarjda çelik hurdası kullanım miktarına ve pik özelliklerine bağlı olarak doku perlit miktarının değişimi.

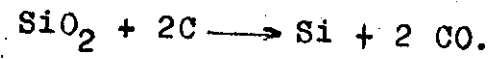
3.3.1. Silisyumun Etkisi,

Grafitleşme, yani ştabil sisteme göre katılaşma temayülünü arttıran element silisyum'dur. Laplanche'nin grafitleşme temayülü eşitliği,

$K = 4/3 \cdot Si (1 - (5/(3C+Si)))$ bu kuvvetli etkiyi göstermektedir.

Bilindiği gibi silisyum eriyikte karbonun aktivitesini yükseltmekte ve grafit'in ayrışmasını kuvvetlendirmektedir.

Asitik aşarda ergitmede, silisyumdioksit eriyik karbon miktarı ile şu tepkimeyi meydana getirir,



Denge durumu sıcaklığının biraz üzerinde çalışmada (50°C), CO-gazı teşekkül edeceğinden, bu kabarcıklar grafit'in çekirdekleşmesi ve büyümesi için nükleleri oluştururlar.

3.3.2. Ergitme yöntemi, 25.40.41

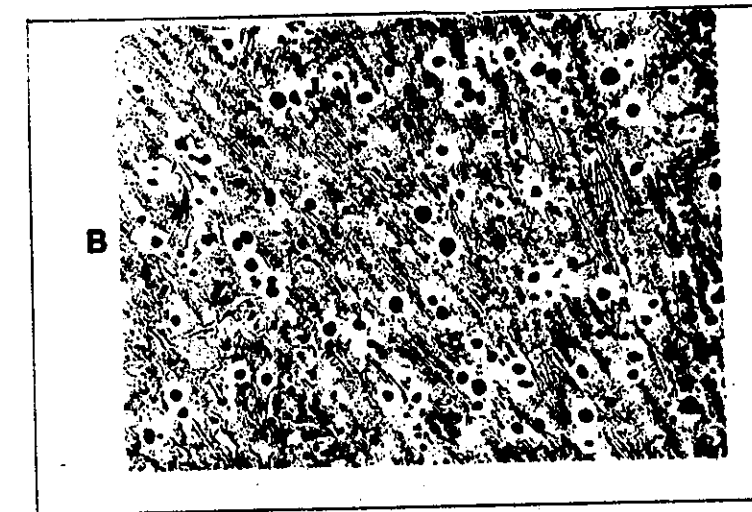
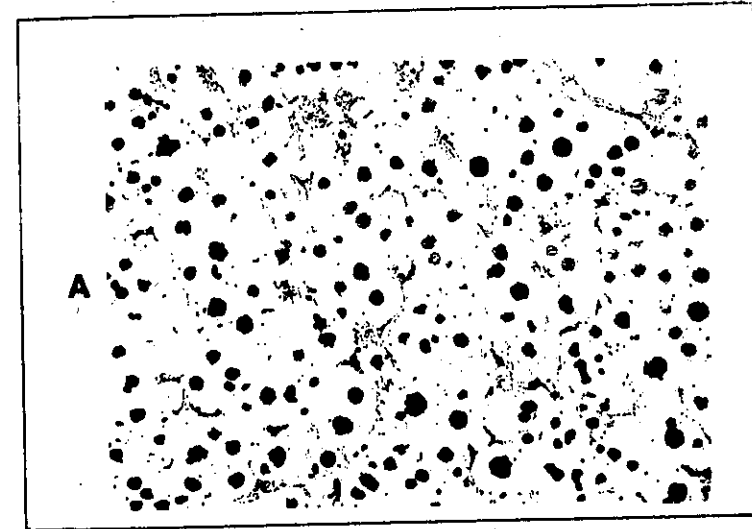
Eriyiğin ısıtma sıcaklığının artması ile karbür oluşumu meydana gelir. Bu etkileşimi Resim 22 vermektedir.

12 mm et kalınlığında bir plaka tek taraflı kokil temaslı olarak dökülen 1. numunede, eriyik 1360°C ye ısıtılmış, küreselleştirme ve aşılama işleminden sonra döküm yapılmış, 2 numune parçada eriyik 1760°C ye ısıtılmış bu sıcaklıkta 10 dak. bırakılmış ve 1360°C ye soğutulduktan sonra aynı şekilde dökülmüştür.

Isıtma sıcaklığı arttıkça eriyik oksijen miktarı azalmakta, ve karbür oluşumuna neden olmaktadır. Yöntemsel olarak KGDD üretiminde şarj malzemesi Si-miktarı % 1'in altında alınmamalıdır.

3.3.2.1. Aşılamanın etkisinin zamanla azalması (Fading), 42

Aşılama sonrası eriyik içinde bulunan SiO_2 , CaO , Al_2O_3 ve BaO nükleleri Brown moleküler hareketini yapar durumdadır, yani serbest bir şekilde eriyik içinde hareket halinde olup, diğer bir parçacığa çarpmaları halinde koagülasyon (daha büyük oksit taneleri) oluşur. Bu hareket sıcaklık ve süreye bağlı olduğundan, zamanla Brown moleküler hareketini yapan parçacık sayısı azalır ve aşılama sonrasında itibaren kısa bir zaman biriminde aşılamanın etkinliği sürekli olarak düşer.



Resim 22. 12 mm et kalınlığında KGDD parçası.
A Eriyik max. sıcaklığı 1360°C
B Eriyik max. sıcaklığı 1760°C
B: 45, Dağlama nital

3.3.3. Tersine beyaz katılaşma,

Döküm parçalarının özünde, yani en son katılaşan kısımlarında karbür oluşumu olarak gözlenen bu şaşırtıcı olgu, faz sınırı teorisi ile kolayca açıklanabilmektedir.

Faz sınırı teorisine göre grafit kristalizasyonu ancak bir faz sınırının mevcut olması ile vukuu bulmaktadır. Bu faz sınırı, ince gaz boşlukları, çatlaklıklar ve inkluzyonlardır. Bu faz sınırı mevcut değilse, kristalleşme karbür olarak meydana gelmektedir. Böylece pratik olarak gözlenen bir çok olgunun açıklanmasında mümkün olmaktadır.

Tersine beyaz katılaşmada, küreselleşme ve aşılama sonrası demir eriyik oksijen miktarı az ise, katılaşma dıştan içe doğru stabil sisteme göre olmakta, parça özünde artık oksijen miktarı azaldığından, bu bölgelerde karbürler meydana gelecektir.

Tersine beyaz katılaşma olgusunu azaltıcı tedbirler olarak şu 3 etkeni yazabiliriz:

1. Eriyiğin oksijen miktarının arttırılması, bunun için SiO_2 -C-denge durumu sıcaklığı üzerinde uzun süre eriyiğin tutulmaması ve yine uzun ısıtma işlemlerinden kaçınılması gerekir,
2. Optimal küreselleştirme işleminin yapılması,
3. Yeterli bir düzeyde aşılama.

3.3.4. Karbür oluşum şekilleri ve nedenleri,

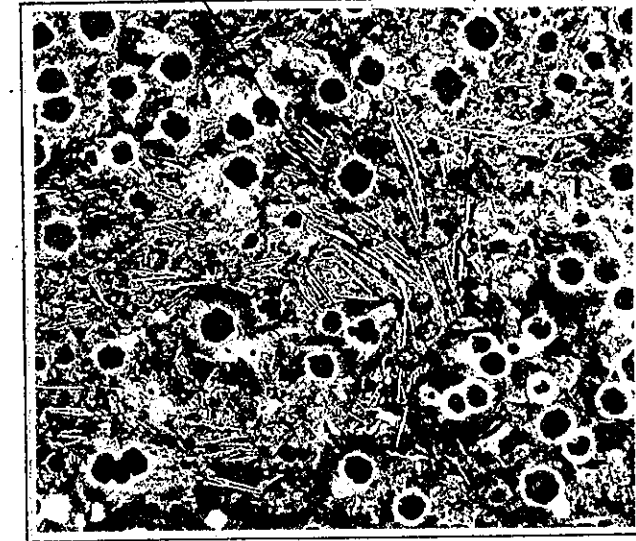
KGDD lerde karbür oluşumu 3 farklı şekilde meydana gelir. Parça soğuma hızının gerektirdiği büyüklüklerde metalurjik faktörlerin kontrol altına alınamaması genelde karbür oluşumunu sağlayan ana etkenlerdir.

Birbirleri ile kümeleşmiş, adacıklar şeklindeki karbürler Fe_3C , 1. tip karbürler olarak adlandırılırlar.

İkinci tip karbürler mikroskop altında uzun ince iğneler şeklinde görülürler. Meydana geliş nedenleri yüksek miktarlarda küreselleştirici elementlerin eriyikte varolmasıdır, örneğin magnezyum²³, (Resim 23). Bu şekle benzer bir görünüme tersine beyaz katılaşmış bölgelerdeki karbürlerde sahiptirler.

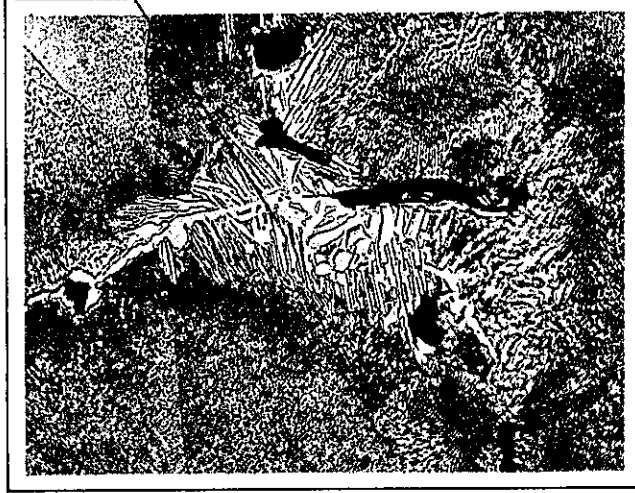
Ağır, yani kalınlığı fazla olan KGDD parçalarında, Mangan Krom, Vanadyum ve Molibden gibi elementlerin miktarları yüksek olduğunda, özellikle tane sınırlarında 3. tip karbürler gözlenir. (Resim 24).

İğne şeklindeki karbürler (2. Tip)



Resim 23. Tipik bir tersine beyaz katılaşma ve 2. tip karbürler
B: 250, Dağlama nital

Tane sınırı karbürleri (3.Tip)



Resim 24. Yüksek Mn-miktarı ve birikimi nedenli tane sınırı karbürler.
B: 500, Dağlama nital

Bilinen diğer bir husus, KGDD'lerde kükürt miktarının küreselleştirme öncesi asgari % 0.004 olarak alınması zorunluluğudur⁴³. Bu değerın altında karbür oluşumu artmaktadır. Kuvvetli bazık curuf altında kükürtsüzleştirme sonrası görülen karbürlerin nedeni olarak demirdeki Ca ve Al miktarlarının etkili olabileceği varsayılmaktadır⁴³.

3.4.Katı durumdaki dönüşüm olayları,²⁶

KGDD'in dokusu ana doku içinde homojen dağılmış olup hacmin % 8-10'unu oluşturan küresel grafit tanelerinden ibarettir. Ana doku Ferritik, Ferritik-Perlitik, Perlitik, Östenitik ve uygulanan ısı işleme bağlı olarak Beynitik veya Martenzitik olabilir.(Resimler 25,26,27,28).

Karbürlerin mevcut olması, östenitik KGDD'ler hariç, mukavemet ve özellikle süneklilik özellikleri olumsuz etkilendiğinden istenmez.⁴⁴

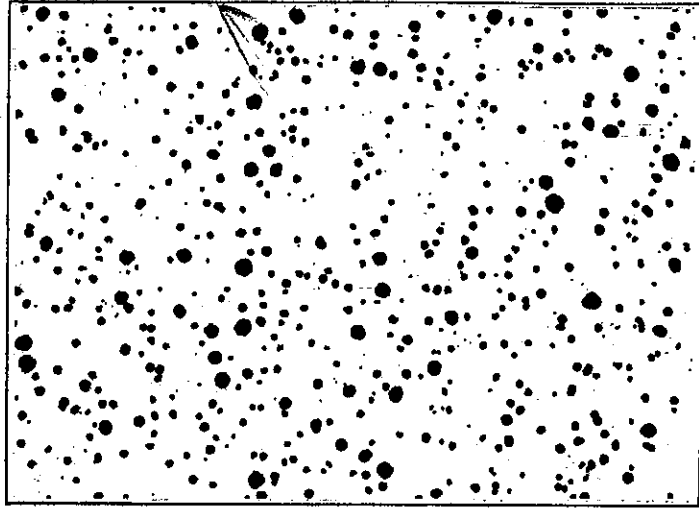
Katılaşma sonrası alaşımsız ve düşük alaşımlı KGDD lerde ana doku östenit olup, % 0.8-1.0 arasında karbon miktarına sahiptir⁴⁵.(Resim 29)

Parçanın soğumasına paralel olarak karbonun çözünürlüğü azalmakta ve ayrıışan karbon mevcut grafit küreleri üzerinde toplanmaktadır. Bu olay yüksek Nikel miktarlarına sahip(% 18) KGDD lerde oda sıcaklığına kadar devam eder.

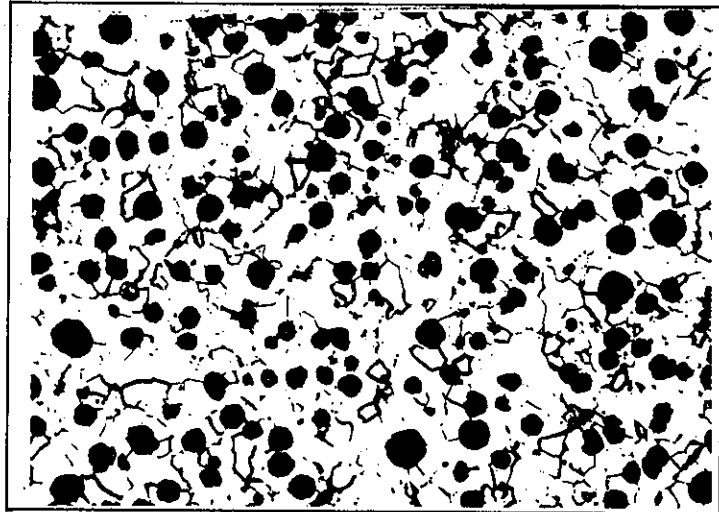
Alaşımsız ve düşük alaşımlı KGDD de ise östenit oda sıcaklığına kadar ştabil olmadığından ötektoid sıcaklığına erişildiğinde Ferrit-Perlit dönüşümü meydana gelir⁴⁶.

Bu sıcaklık Silisyum miktarına bağlı olup, asgari 723⁰C dir⁴⁷.

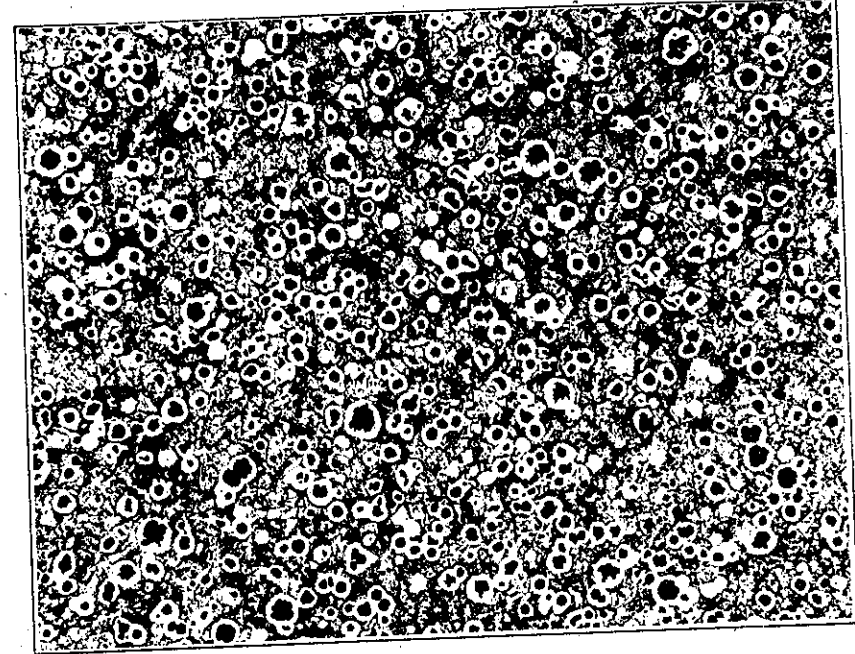
Ötektoid reaksiyonların daha iyi bir şekilde açıklanabilmesi için Fe-C-Si Sistemi Resim 30 da gösterilmiştir.



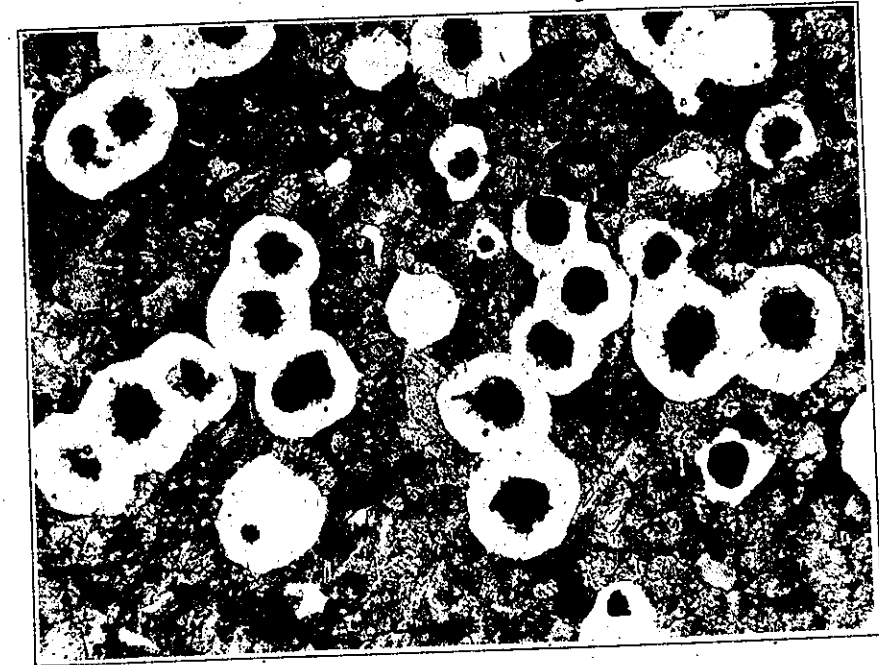
Resim 25. Ferritik KGDD
B: 100, dağlamasız
Sertlik 90 HRB



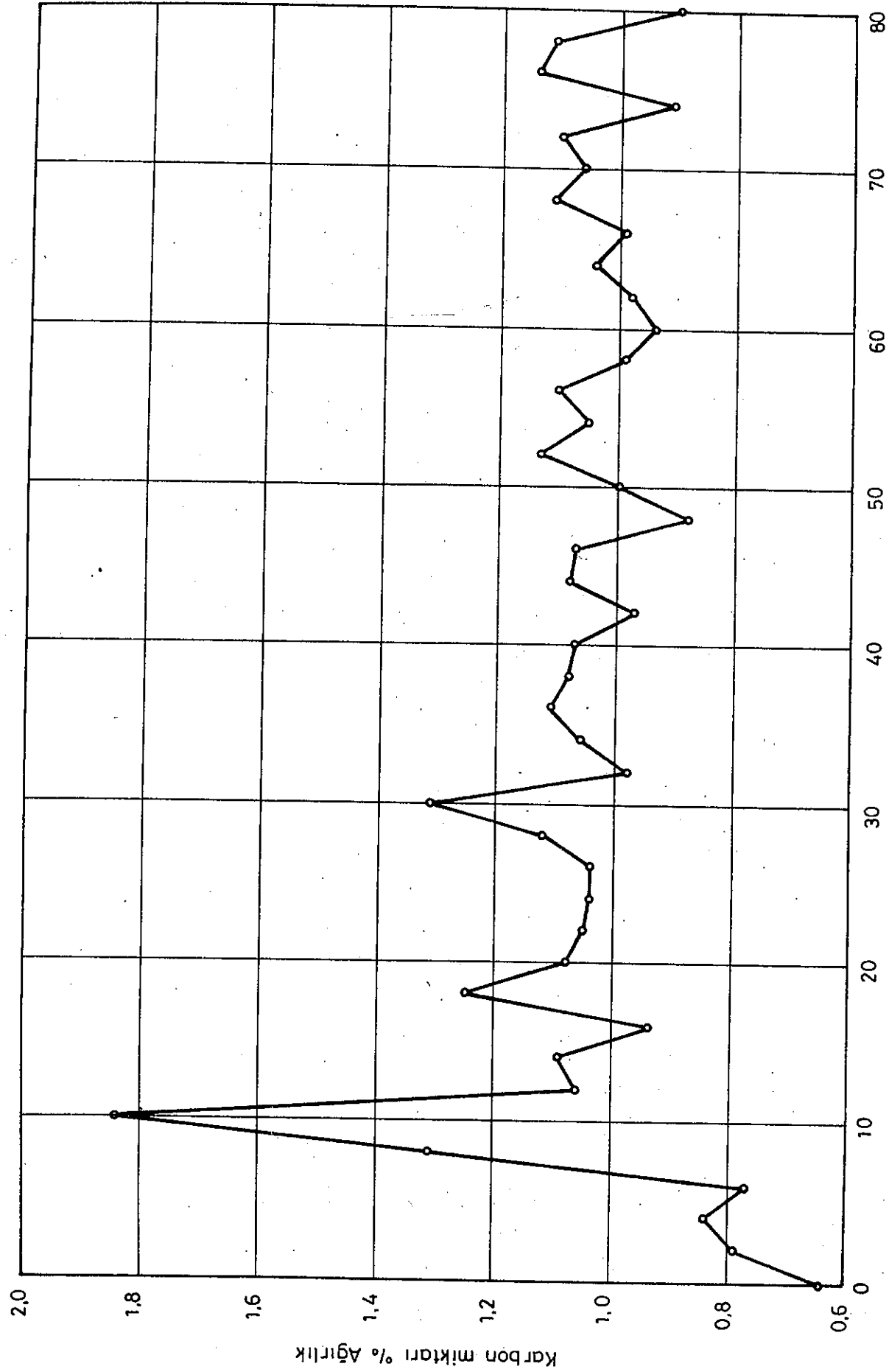
Resim 26. Ferritik KGDD
B: 500, Dağlama % 1 nital
Doku: Kúresel grafitler
Ana doku, ferritik, Perlit max. %10
Karbúrlar max. % 2



Resim 27. Perlitik-Ferritik KGDD
B: 200, Dağlama nital % 1
Perlitik-Ferritik ana doku, Ferrit max. % 25



Resim 28. Perlitik-Ferritik KGDD
B: 500, Dağlama nital : 1
Perlitik-Ferritik ana doku, Ferrit max. % 25



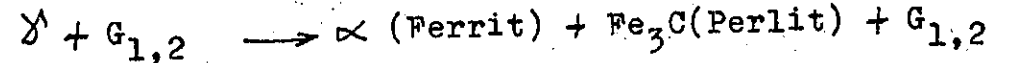
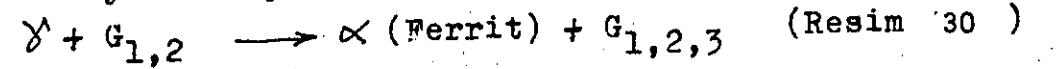
Resim 29 KGDD segmanları ana doku karbon miktarı (İslah edilmiş durumda)

Silisyum'un A_1 , yani ötektoid sıcaklığına etkisi daha sonraki bölümlerde içerikli bir şekilde açıklanacaktır. Ötektoid reaksiyonları aşağıda verilmiştir⁴⁶:

- G_1 Ötektik ayrışan grafiti,
- G_2 Sekunder " grafiti, yani ötektik grafit üzerinde toplanan grafiti,
- G_3 Ötektoid grafiti gösterirse, dönüşümü şu şekilde yazmak mümkündür,⁴⁶

$$\gamma + G_{1,2} = \alpha + G_{1,2,3}$$

Bu direkt ferrit oluşumu pratik şartlarda parçada soğuma hızının farklı olması nedeni ile tam olarak gerçekleşmez. Soğuma esnasında analize bağlı olarak perlit oluşumu başlar (Resim 30 P_1 -noktası). Bu sıcaklıktan itibaren beraberce şu dönüşüm olayları meydana gelir,



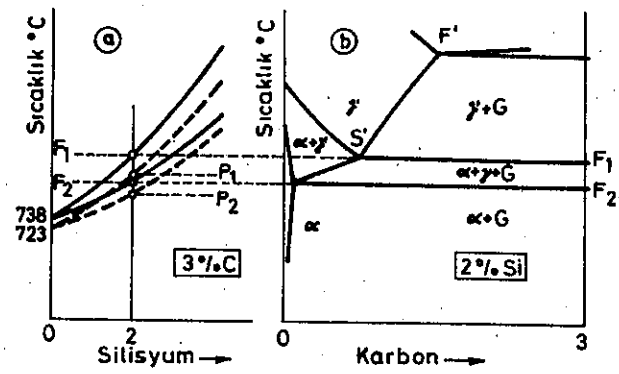
Direkt oluşan ferrit grafitler üzerinde ayrıştığından Resim 31 de gösterildiği şekilde grafiti çevreler. Perlit ise östenit içinde grafit tanelerinden uzak bölgelerde meydana gelir (Resim 32) Döküm parçalarında Ferrit mevcudiyeti istenmediğinde direkt ferrit oluşumunun engellenmesi gerekir.

Bunun içinde Mangan ve Bakır gibi elementlerden yararlanılır. Mangan ve Bakır direkt ferrit oluşumunu engelleyen elementlerdir. Mangan karbür yapıcı bir element olduğundan sınırlı bir miktarda kullanılır (ϕ 0.4).

Sy A. de'ye göre tüm perlitik doku % 1.47 mangan miktarında elde edilmekte, fakat karbür mevcudiyeti artmaktadır⁴⁶.

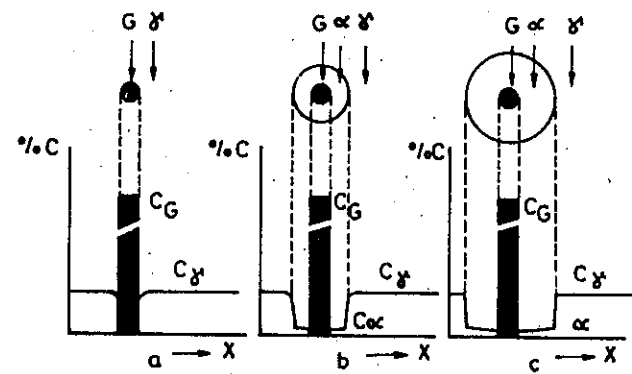
Bakır elementi ise ana doku özelliklerine ve grafiti bozucu etkisi üzerine yapılan çok sayıda incelemelerinde ortaya koyduğu gibi, hiç bir olumsuz etkiye sahip değildir⁴⁷.

Amerikan Battele Enstitüsünün incelemelerine göre, % 2 bakır miktarlarına kadar olumsuz bir etki olmamakla beraber, grafitin şekillenme özelliği olumlu kılınmaktadır. Tüm perlitik ana doku % 0.82 bakır miktarında var olmaktadır^{46,48}.

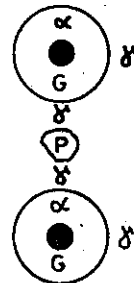


Resim 30 . Demir-Karbon-Silisyum sistemleri kesitleri

- a.) % 3 Karbon kesiti
- b.) % 2 Silisyum kesiti



Resim 31 .Direkt ferrit oluşumunun şematik gösterilişi



Resim 32 .Perlitik oluşumunun başlangıcının şematik gösterilişi

Uygulanacak ısı işleme bağlı olarak aynen çeliklerin sertleştirilmelerinde olduğu gibi homojen östenitleştirme sıcaklığından parçanın yağda veya suda soğutulması ile martenzitik, tetragonal çarpık bir kristal kafesine sahip doku elde edilir⁴⁹.

Yüksek mukavemet ve sertlik değerine sahip bu dokuya elverişli süneklilik özelliklerinin kazandırılması meneviş ısı işlemi ile olur.⁴⁹

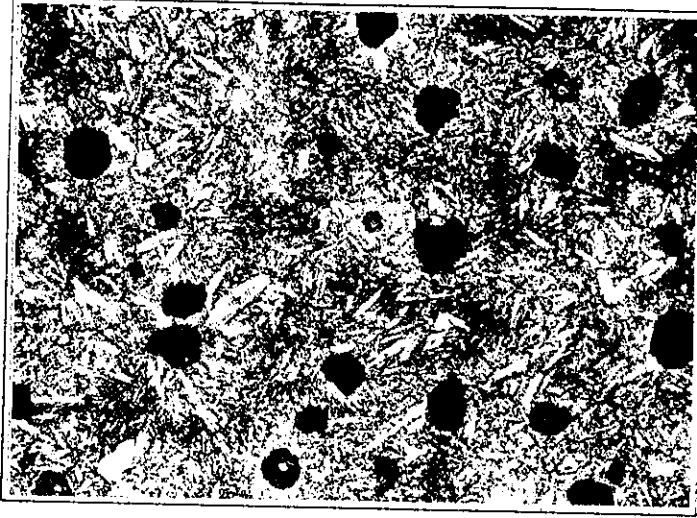
Meneviş işlemi ile ($T_M > 500^\circ\text{C}$) süneklilik özellikleri artar. KGDD segmanlarında uygulanan ısı işlemi şartları aşağıda verilmiştir:⁴⁰

930°C/1.5 saat- 50°C Yağ ve , HRB 122
550°C/ 2 saat -Havada soğutma, HRB 108

Resim 33 de KGDD segmanları ıslah dokusu gösterilmiştir. Martenzit oluşum başlangıç sıcaklığı alaşimsız ve düşük alaşımli KGDD lerde 200°C dir⁵⁰.

KGDD lerde uygulanan diğer bir ısı işleminde östemperleme yani ara kademesi ısı işlemi olmaktadır. Bu işlem östenitleştirme sıcaklığından parçanın Martenzit başlangıç sıcaklığının 90-105°C üzerinde bulunan bir tuz banyosuna daldırılması ile beynit olarak adlandırılan uzun iğnemsli kristallerden oluşan dokunun elde edilmesini kapsar. Optimum özellikler, ana doku karbon miktarına bağlı olarak östemperleme sıcaklığının seçilmesi ile sağlanır.²²

Östemperleme ısı işlemi uygulamaksızın, parça soğuma hızına bağlı olarak analiz seçimi yapılarak beynitik doku döküm durumunda da elde edilebilir. Bununla ilgili olarak ilerki kısımlarda bilgi verilecektir^{14,51-58}.



Resim 33.KGDD segmanları ıslah dokusu

B: 500, dağlama nital %1

Grafit: Küresel grafitler

Ana doku: Menevişlemiş martenzit

4. Kimyasal analizin seçimi, ^{23,39}

Periyodik sistemin bütün elementlerinin KGDD'in doku ve özelliklerini söyleyebiliriz. Bu elementlerden bazıları tasavvur edilemeyecek küçük miktarlarda dahi etkili olmakta, diğerleri daha az veya cuzi bir etkileşime sahip bulunmaktadırlar. Böylece periyodik sistemin 50 elementinin KGDD'in dökümünde kontrol altında tutulmasının zorunlu olduğunu vurgulamak yerinde olur.

Her bir elementin etkilediği özellikler şunlardır:

- Karbürlerin mevcudiyeti veya bulunmaması,
- Grafit'in şekil ve dağılımı,
- Ana doku özellikleri.

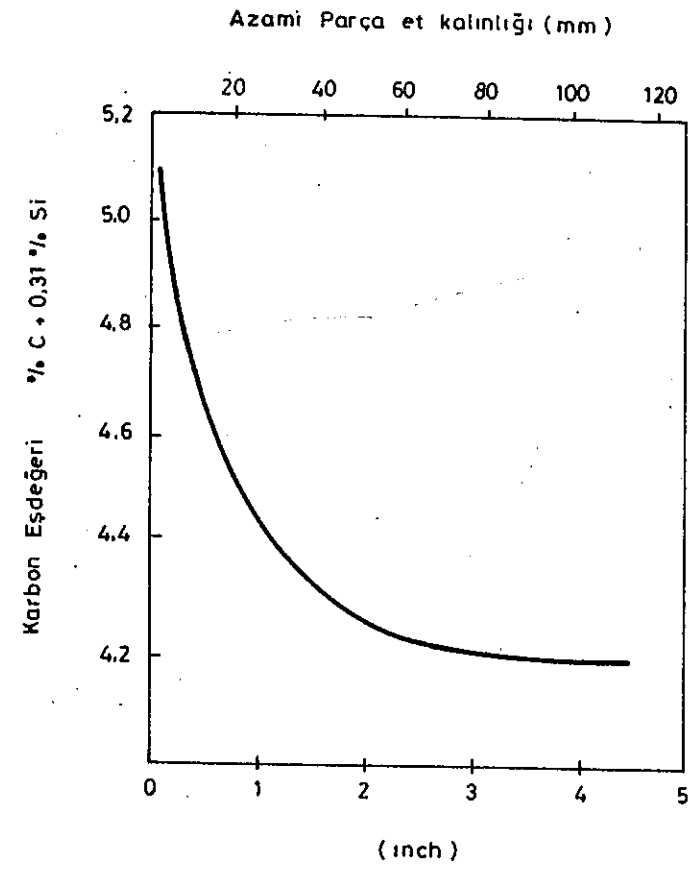
Etkilenen bu özellikler diğer taraftan soğuma hızına bağlı olduğundan (Döküm parçası et kalınlığı), parça soğuma hızı önemli bir büyüklük olarak devamlı göz önünde bulundurulmalıdır. Yine bu üç özellik, tüm üretim süreci içinde, yani ham malzeme seçiminden parçanın dereceden bozulması ve dışarı alınmasına kadar değişime uğrayacaktır. Bu etkileşim daha sonraki bölümlerde açıklanacaktır.

4.1 Döküm durumunda karbür ihtiva etmeyen bir dokunun var olmasının sağlanmasında elementlerin etkisi, ^{46,47}

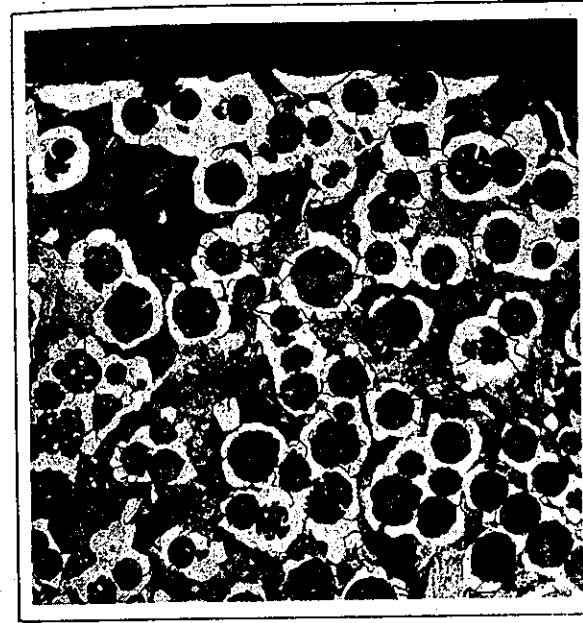
Karbür miktarını etkileyen elementlerin başında karbon ve silisyum gelmektedir. İki elementinde olumlu etkisi, yani karbür miktarını azaltması, üst sınırlarda kullanılmalarını zorunlu kılar. Bu miktar, karbonun eriyikte çözülebilmeye yeteneği ve silisyum miktarının artması sonucu süneklilik, ısı iletgenlik kat sayısının azalması ile sınırlandırılır. ^{27,28}

Parça et kalınlığına bağlı olarak karbon ekuvalent değerinin değişimini Resim 34. vermektedir.

Bu miktarların üzerinde karbon yüzmesi (flotasyon) olayı, orta ve kalın kesitli parçalarda çokça görülen bir hatadır (Resim 35). Grafit yüzmesi olayının, yani küresel grafitlerin parça dış cidarına doğru fazlalaşmaları ve hatta birbirlerine temas etmeleri, mevcut olduğu doku kalite yönünden elverişli sayılmaz, bunun nedeni yapılan araştırmalarla tesbit edildiği üzere çatlaklık büyümesinin meydana geldiği doku kısımları olmalarındandır. ³⁹



Resim 34 . Farklı et kalınlığındaki KGDD parçaları için uygun Karbon eşdeğerleri



Resim 35 A.Yüksek karbon miktarına sahip KGDD parçasının üst kısımlarında karbon yüzmesi olayı



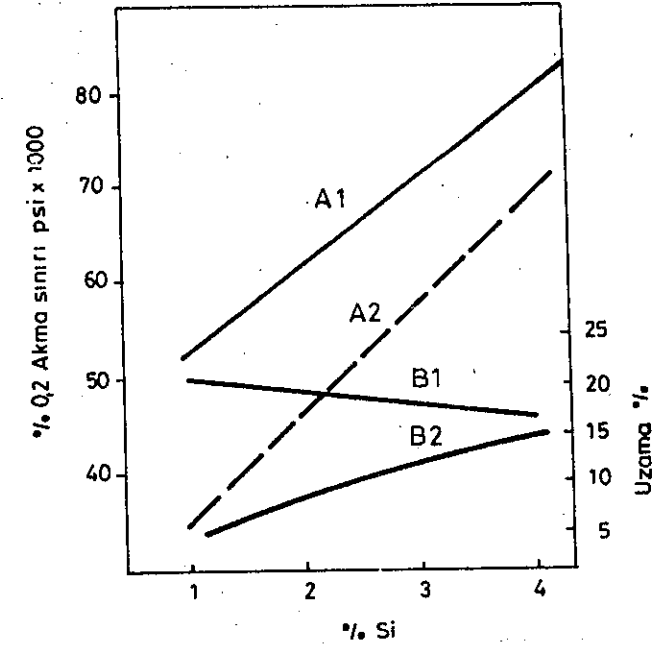
Resim 35 B.Aynı parçanın orta kısımları

Resim 34 den karbon eşdeğeri tesbit edildiğinde, silisyum miktarının hangi değerde olabileceği kabul yapılır. Bu işlem, silisyumun mekanik özelliklere etkisinin göz önünde bulundurulmasını gerektirir. Silisyum'un grafitleştirici ve grafit sayısını arttırıcı görevi yanında, %4 miktarına kadar mukavemet değerlerini ve süneklilik özelliklerini olumlu kılan etkisi de vardır (Resim 36).

Silisyum elementi ayrıca ferrit dokusu sertliğini arttırır, bu etki özellikle tavlanmış durumda belirgindir.⁶⁰(Resim 37) Silisyum'un KGDD'de olumsuz etkileri çentik darbe değerinin düşmesi ve geçiş sıcaklığının yükselmesi yanında bundan önce belirtildiği gibi ısı iletgenlik kat sayısının azalmasıdır(Resimler 38,39,40) Çentik darbe deneyi geçiş sıcaklığını diğer bazı elementlerde yükseltmektedir, bunlara örnekler aşağıda verilmiştir.

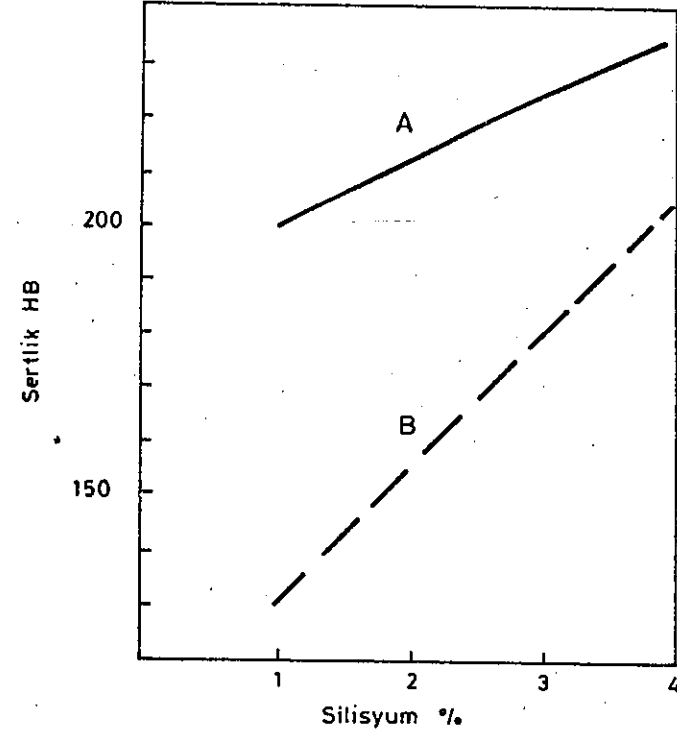
% 0.1 Ni	2.2°C
% 0.1 Mn	5.5
% 0.1 P	28.0

Bu belirtilen ve olumsuz etkilenen özellikler kullanım sahası yönünden öneme sahip değillerse, Çizelge 5 de verilen C ve Si miktarları alınmalıdır.²³ Silisyum miktarı azami % 2.5 veya % 2.75 olabiliyorsa, bu durumda analiz

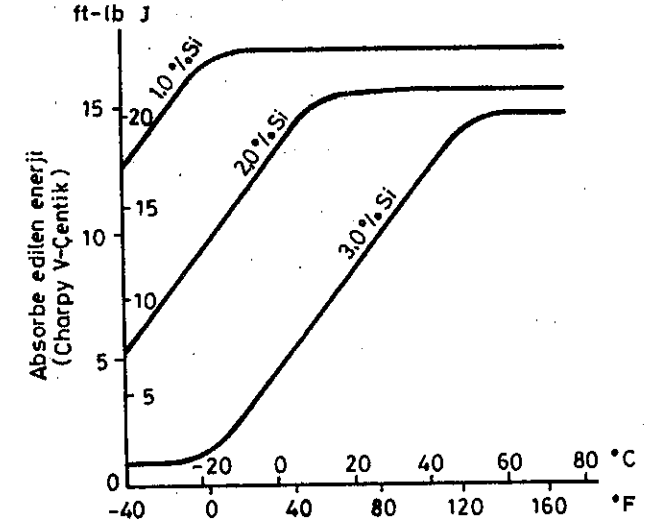


Resim 36 Silisyum miktarının döküm durumunda karbür ihtiva etmeyen veya yumuşak tavlanmış KGDD lerde Uzama ve Akma sınırına etkisi (Parça kalınlığı 20 mm)

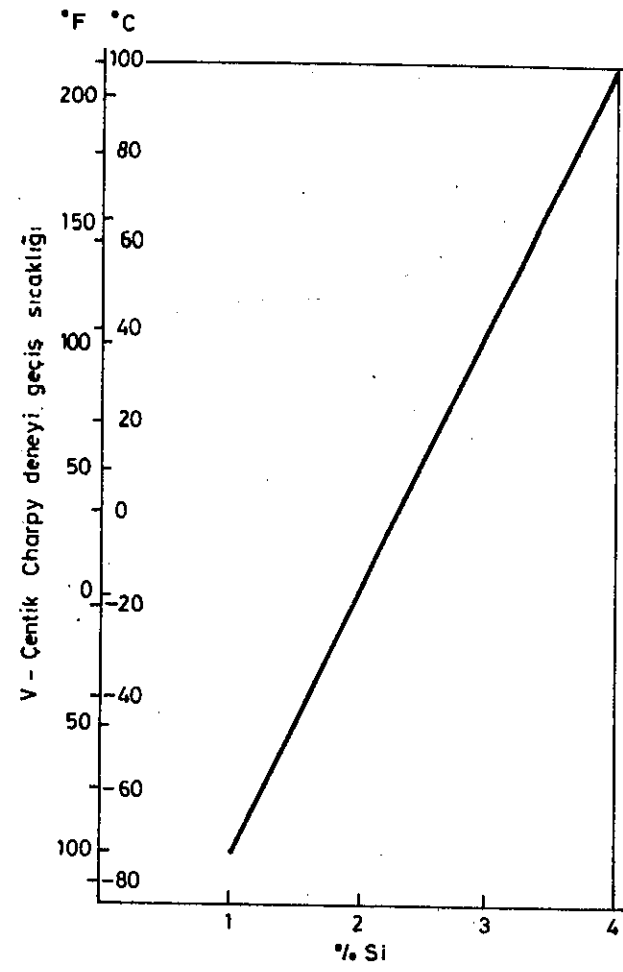
- A1 Akma sınırı
Döküm durumu
Perlitik-Ferritik Doku
- A2 Akma sınırı
Yumuşak tavlanmış d.
- B1 Uzama değeri
Yumuşak tavlanmış d.
- B2 Uzama değeri
Döküm durumu
Perlitik-Ferritik Doku



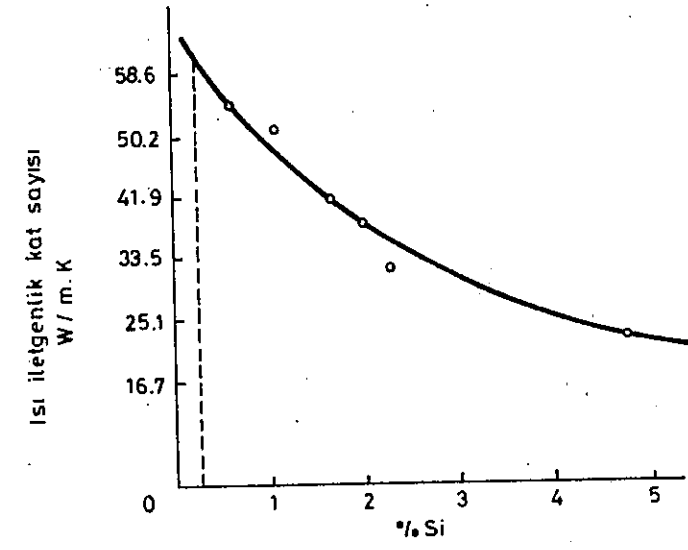
Resim 37 Silisyum miktarının KGDD lerde (Döküm durumu, Y. tavllanmış) Sertlik değerine etkisi
A Döküm durumunda Perlitik-Ferritik doku
B Yumuşak tavllanmış Ferritik doku
Parça et kalınlığı 25 mm



Resim 38 3 Farklı silisyum miktarında sıcaklığa bağlı olarak absorbe edilen darbe enerjisinin KGDD' lerde değişimi



Resim 39 . Çentik darbe deneyi geçiş sıcaklığına silisyumun etkisi



Resim 40 . Alaşımız KGDD ısı iletgenlik özelliklerine Si- miktarının etkisi

Çizelge 5 Alaşimsız veya az alaşımlı döküm durumunda Karbür ihtiva etmeyen KGDD'lerin Karbon ve Silisyum miktarlarının parça et kalınlığına bağlı olarak tesbiti (önerilen değerler)

Parça et kalınlığı mm		Döküm durumunda istenilen doku			
		Genellikle Perlitik		Genellikle Ferritik	
		C %	Si %	C %	Si %
min.	max.				
3	3	4,00	3,75	3,95	4,00
	6	3,70	3,75	3,65	4,00
	12	3,50	3,75	3,35	4,00
	25	3,20	3,75	3,15	4,00
	50	3,05	3,75	3,00	4,00
	75	3,00	3,75	2,95	4,00
	IV 100	3,00	3,75	2,95	4,00
6	6	3,90	3,25	3,75	3,75
	12	3,70	3,25	3,55	3,75
	25	3,40	3,25	3,25	3,75
	50	3,25	3,25	3,10	3,75
	75	3,20	3,25	3,05	3,75
	IV 100	3,20	3,25	3,05	3,75
12	12	3,85	2,75	3,70	3,25
	25	3,55	2,75	3,40	3,25
	50	3,40	2,75	3,25	3,25
	75	3,35	2,75	3,20	3,25
	IV 100	3,35	2,75	3,20	3,25
25	25	3,60	2,50	3,50	3,00
	50	3,45	2,50	3,35	3,00
	75	3,40	2,50	3,30	3,00
	100	3,40	2,50	3,30	3,00
50	60	3,60	2,10	3,40	2,75
	75	3,55	2,10	3,35	2,75
	100	3,55	2,10	3,35	2,75
75	75	3,60	2,00	3,40	2,50
	100	3,60	2,00	3,40	2,50
100	100	3,60	2,00	3,40	2,50

Çizelge 6 Azami, % 2,5 Silisyum miktarının olması istendiğinde, önerilen Karbon miktarı %.

Azami Parça et kalınlığı mm	C %
3	IV 4,00
6	IV 4,00
12	3,90
25	3,60
50	3,45
75	3,40
IV 100	3,40

Çizelge 7 Azami, % 2,75 Silisyum miktarının olması istendiğinde, önerilen Karbon miktarı %.

Azami Parça et kalınlığı mm	C %
3	IV 4,00
6	IV 4,00
12	3,85
25	3,55
50	3,40
75	3,35
IV 100	3,35

Çizelge 8 Yüksek Karbon miktarına sahip KGDD'de (C % 4), önerilen Silisyum miktarı %. Bu analizdeki parçalarda genellikle perlitik doku mevcuttur. Et kalınlığı 25 mm ve üzerinde Karbürler görülebilir. Yüksek Karbonlu KGDD'ler ince et kalınlığı için önerilir.

Azami Parça et kalınlığı mm	Si %
3	3,75
6	2,80
12	2,20
25	1,25
50	0,80
75	0,65
IV 100	0,65

değerleri Çizelge 6 ve 7 den seçilir. Bazik kupol ocakları işletmeciliği söz konusu ise bu durumda karbon miktarı yüksek olacağından(% 4), silisyum miktarı değerlerini Çizelge 8 den tesbit etmek gerekir.

KGDD lerin vezin hesabında, küreselleştirici işlemin devamı süresince meydana gelen % 0.05-0.2 civarındaki karbon yanma kaybının unutulmaması lazımdır. Reaksiyon ne kadar kuvvetli ise, karbon kaybı o derece fazla olacaktır. Karbon kaybını küreselleştirme işlemi esnasında küresel kabuk şeklinde ayrılan ve MgO tozu ile potadan dışarı uçan grafit taneleri oluşturur.

Düşük silisyum miktarları ön görüldüğünde, akma sınırı değerleri zorlukla elde edilebileceğinden, akma sınırını olumlu etkileyen Ni- gibi elementlerin kullanılmasına gidilir. Genel olarak Ni-miktarı % 0.5'in üzerinde alınmaz ve ekonomik olarak NiMg-alaşımının kullanılması ile küreselleştirme işleminin bir parçası, kısmı, olarak potaya verilir.

4.2. Mangan^{23,41}

Karbon ve silisyumdan sonra en etkili element mangandır⁴⁶. Döküm durumunda karbürlerin mevcut olmaması için mangan miktarı azami % 0.4 olmalıdır.

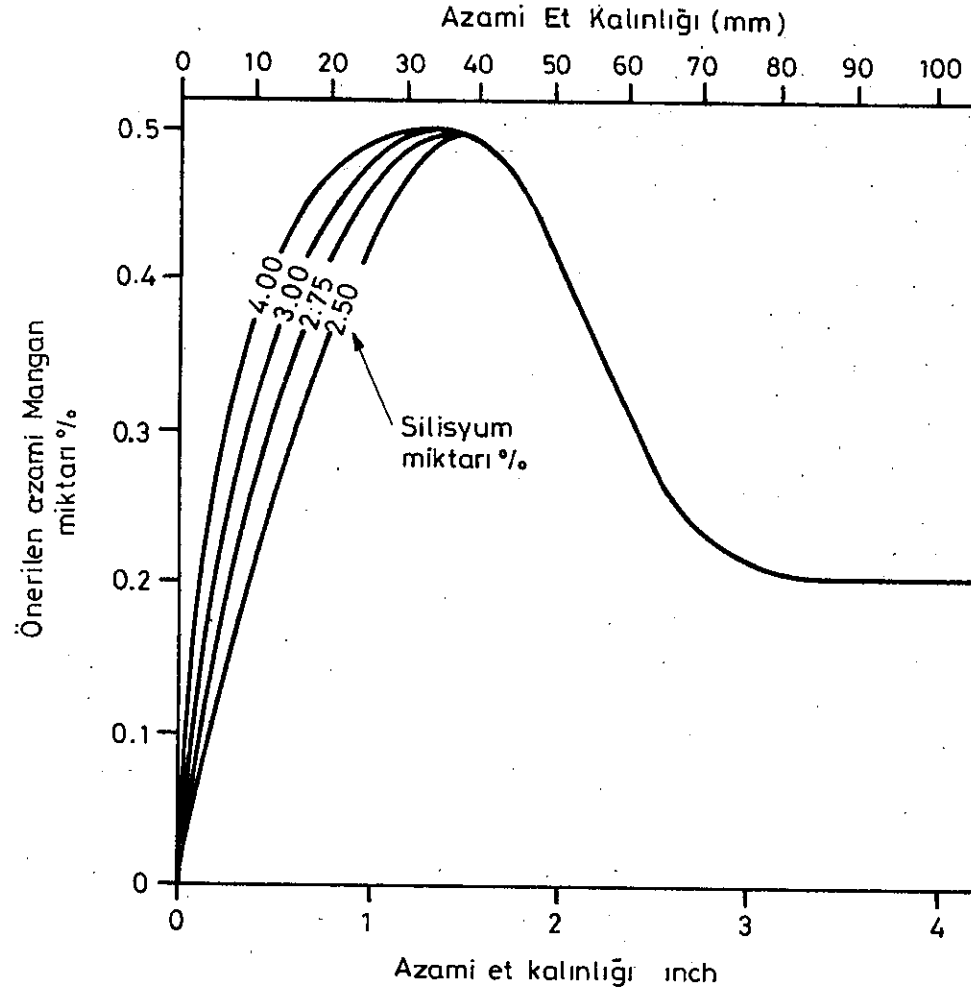
Bundan öncede belirtildiği gibi, alaşımsız KGDD lerde tüm perlitik doku için mangan miktarının % 1.33'ün üzerinde olması gerekir. Bu miktarlarda dokuda ledeburitik karbürler mevcut olup, karışık olarak adlandırılan (gri-beyaz renkte, meliert) bir doku varolur⁴⁶.

Manganın bu karbür yapıcı etkisi parça et kalınlığına bağlı olarak silisyum miktarının seçilmesi ile indirgenebilir, Resim 41 bu ilişkileri vermektedir.

Resim 41 den diğer önemli ilişkileride görmekteyiz, şöyleki 25 mm'ye kadar ince et kalınlığına sahip döküm parçalarında mangan'ın karbür yapıcı etkisi, silisyum miktarının arttırılması ile dengelenebilmektedir. Bu etkileşim, parça et kalınlığı ne kadar ince ise o kadar kuvvetli olmaktadır.

12 mm et kalınlığındaki döküm parçalarında silisyum miktarının % 2.5'dan % 3'e arttırılması ile mangan miktarı % 0.25 yerine % 0.35 olarak alınabilmekte, daha kalın parçalarda ise mangan'ın birikim olayına neden olması, miktarının düşük alınmasını zorunlu kılmaktadır.⁴¹

Mangan birikimi (segragasyon) soğuma hızı ne kadar yavaş ise, o denli fazladır. Bu şartlarda mangan miktarı % 0.4 olan eriyikte en son katılacak kısım mangan miktarı % 2.5 civarındadır.



Resim 41 . Azami parça et kalınlığına bağılı olarak, silisyum miktarı ile önerilen mangany miktarının değişimi

Resim 42 de kalın bir KGDD parçasında tane sınırlarında mangany birikimi gösterilmiştir.

Mangany miktarının KGDD üretiminde askari sınırlarda alınmasının diğer bir olumlu etkisi Resim 43 de gösterildiği gibi, pinhole (ince gaz boşlukları) hatalarının önlenmesi olmaktadır.

4.3. Diğer elementler,

Karbür yapıcı ve ştabilleştirici olarak bilinen ve mangany etkisinden daha kuvvetli olan elementler, krom, vanadyum, bor tellur ve molibden'dir.

Bu elementlerin tavsiye edilir üst analiz sınırları,

Cr % 0.05

V % 0.03

B % 0.03

Te % 0.03

Mo % 0.01-0.75 (Yüksek Mo-miktarları beynitik

olan ve mangany miktarı düşük KGDD'ler için geçerlidir.)

Bu verilen değerler parça et kalınlığı etkisini içermektedir.

25 mm lik Y-Blok numuneleri ile, baz analizi % 3.7 C,

% 3.2 Si, % 0.3 Mn ve % 1 Cu olan bir KGDD'de vanadyumun süneklilik özelliklerine etkisi tesbit edilmiş ve değerler

diyagram halinde Resim 44 de gösterilmiştir.

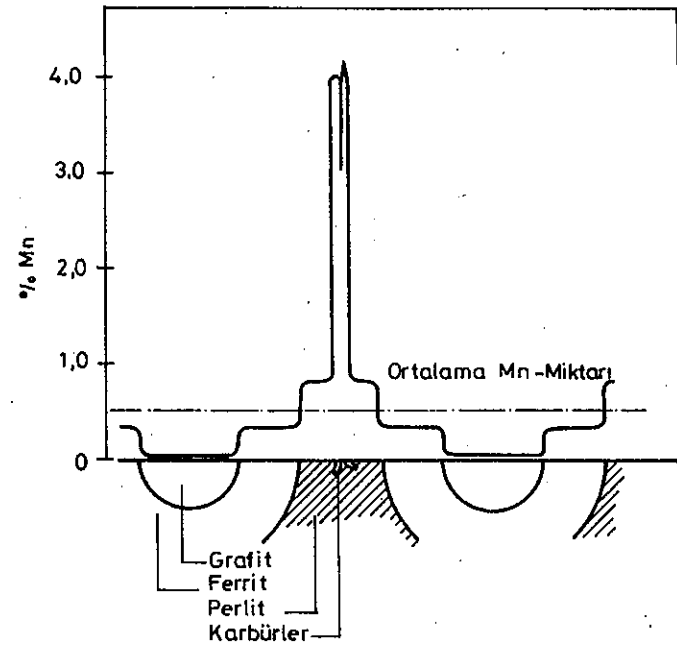
Vanadyum miktarı süneklilik özelliklerini olumsuz olarak etkilemektedir. Bakır miktarının % 1 olması, vanadyumun tane

sayısını arttırıcı etkisini kuvvetlendirmektedir. En yüksek mukavemet değerleri % 1.65 vanadyumla elde edilmiş olup, 900 N/mm² dir.

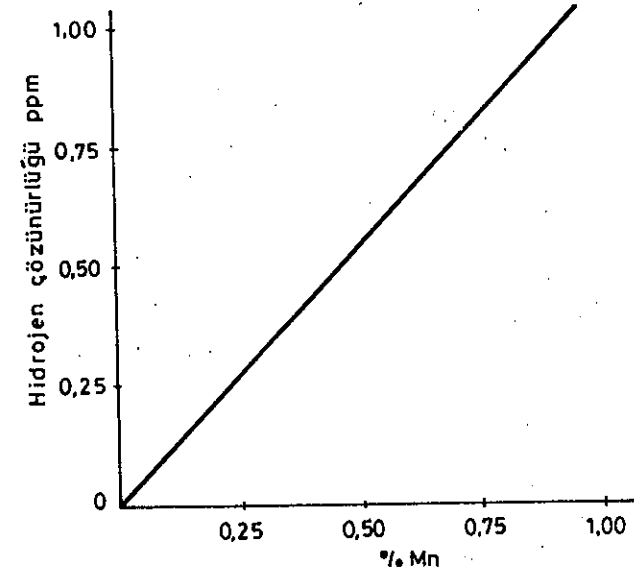
Karbür yapıcı olarak bilinen titanyum ve vanadyum'un olumlu etkisi azot ile bileşim meydana getirerek demir eriyikte çözülmüş bulunan azot miktarını azaltmalarıdır.

kesim 45 de % 0.1 titanyum veya vanadyum miktarlarına kadar eriyik demir azot miktarının azaldığı görülmektedir. % 0.0037 azot miktarında azot'un karbür yapıcı özelliği ile doku yer yer karbür intiva etmekte, azot miktarı % 0.0025 olduğunda bu olumsuz özellik mevcut değildir

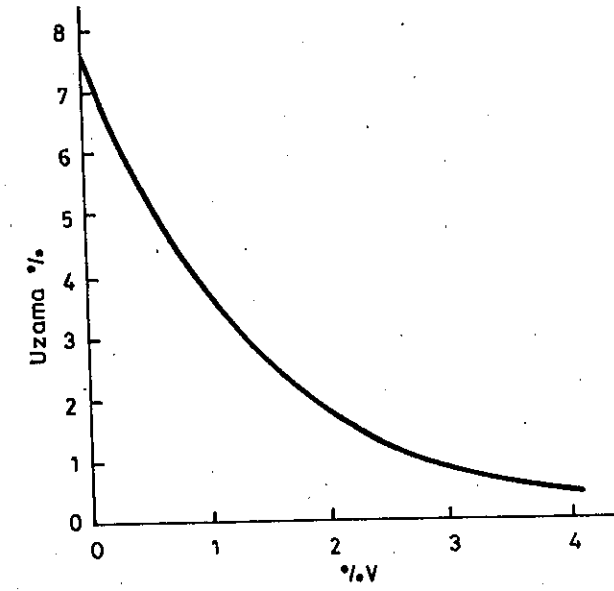
Bunun sonucu olarak % 0.02-0.1 titanyum ve vanadyum miktarlarının eriyik demirdeki azot miktarını karbür oluşmayacak bir mertebeye indirdiklerini söyleyebiliriz. İki elementte bu miktarlara kadar grafitleştirici bir etkileşime sahip olmaktadır.



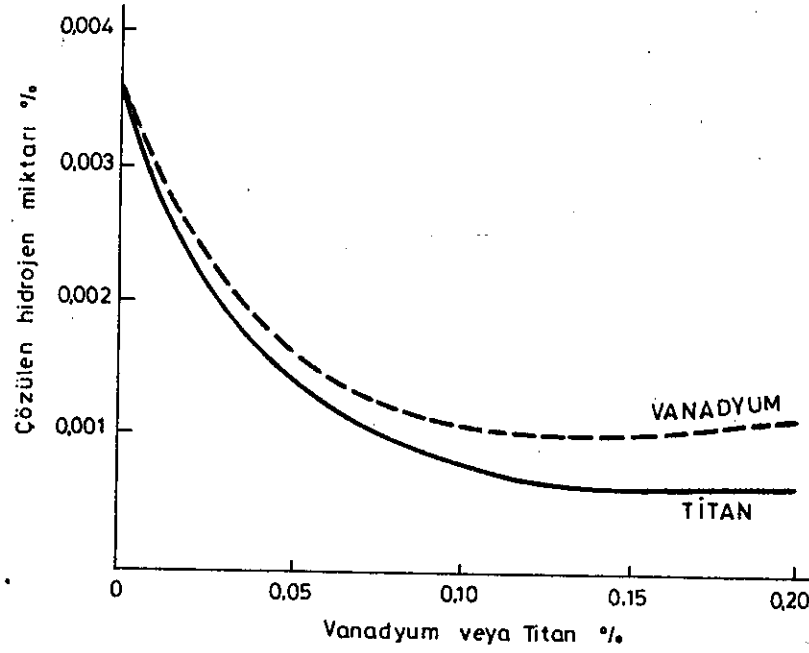
Resim 42 . Manganın tane sınırlarında birikimi (şematik)



Resim 43 . Döküm esnasında mangan'ın hidrojen çözünürlüğüne etkisi



Resim 44 . %1 Bakır ihtiva eden KGDD'de uzama değerine Vanadyum miktarının etkisi (Çubuk çapı 25 mm)



Resim 45 . Az miktarlarda Titan veya Vanadyum miktarları çözülmüş azot miktarını düşürmektedir.

4.4. Grafit dağılımını ve şeklini etkileyen elementler,³⁹

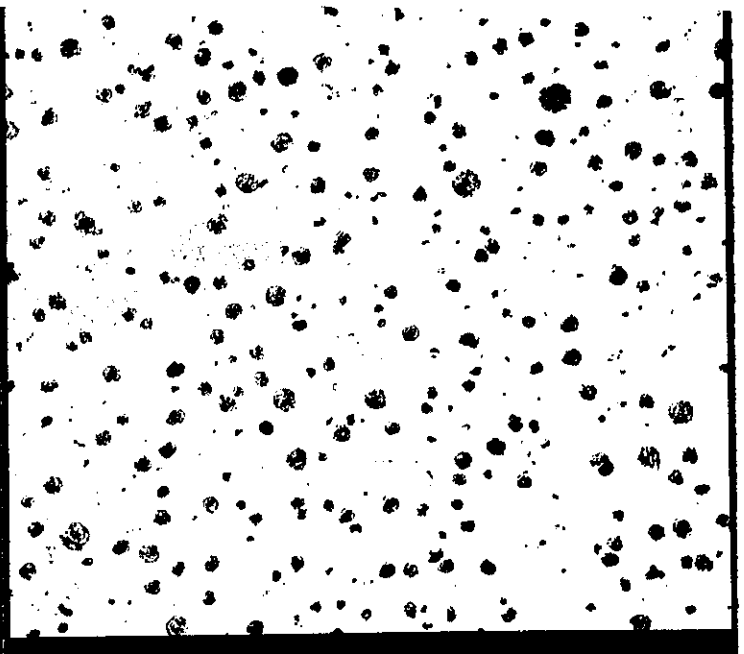
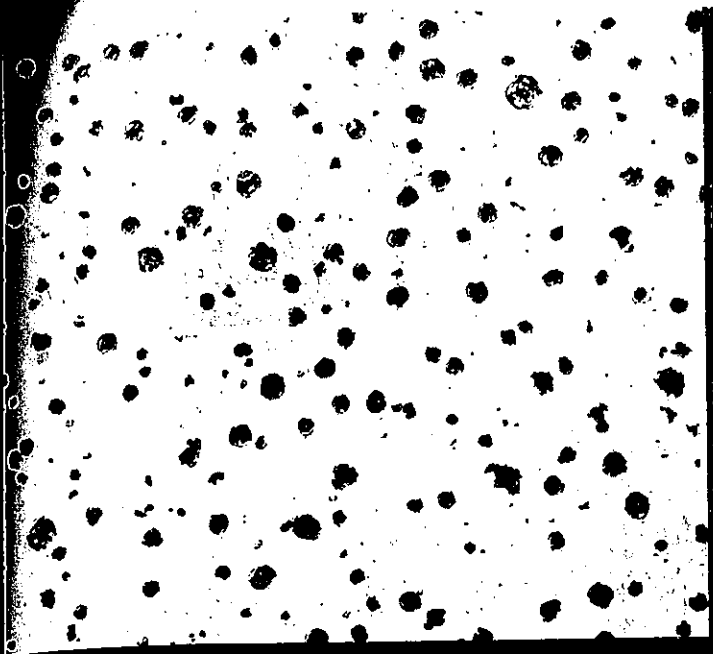
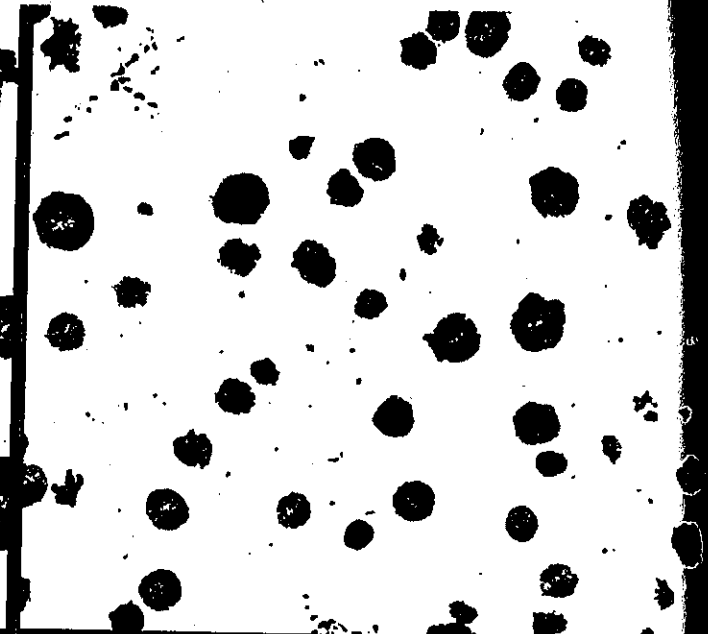
Grafit dağılımı olarak, birim hacimde bulunan grafit kürecikleri sayısı tanımlanır. Bu değer numune parçanın herhangi bir şilif yüzeyinde görülen grafit küreleri ile orantılı olduğundan, küresel grafit sayısı/mm² olarak alınır.

Kapul edilebilir özelliklere sahip bir KGDD de asgari olması gereken küre sayısı çapı 25 mm olan parçada 150/mm² dir. Küre sayısının tesbitinde hazırlanan şilif yüzeyinde 100 büyültmede, dağlamasız durumda, görülen grafit küreleri dağılımı, grafit küre sayısı sıralaması föyü ile karşılaştırılarak yapılır. Resim 46 bu sıralamayı vermektedir.

Kimyasal analizin değişimi ile kısmende olsa, grafit dağılımını etkileyen element silisyumdur. Silisyum miktarı ile küresel grafit sayısı artar. Diğer bir çok element çekirdekleşme olayı içinde grafit dağılımını etkilediklerinden, bu elementlerin etkileri aşılama bölümünde açıklanacaktır. Bu arada silisyum'un sadece grafit küre sayısını arttırıcı etkisi nedeni ile kullanılmadığını vurgulamak gerekir.

Bu güne kadar elementler, grafit şeklini etkileme durumlarına göre, olumlu, etkisiz ve olumsuz olarak sınıflandırılmaktadırlar. Buna göre,

Olumlu etkisi olanlar Mg, Ce, Ca ve diğer; grafiti küreselleştirici etkisi bulunan bütün elementler



25

Kugeln
pro mm²

100 x

50

Kugeln
pro mm²

100 x

150

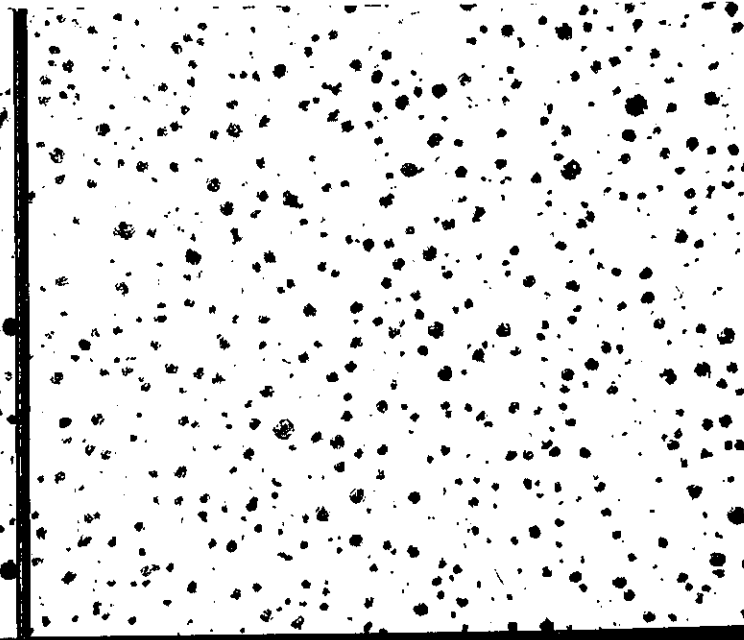
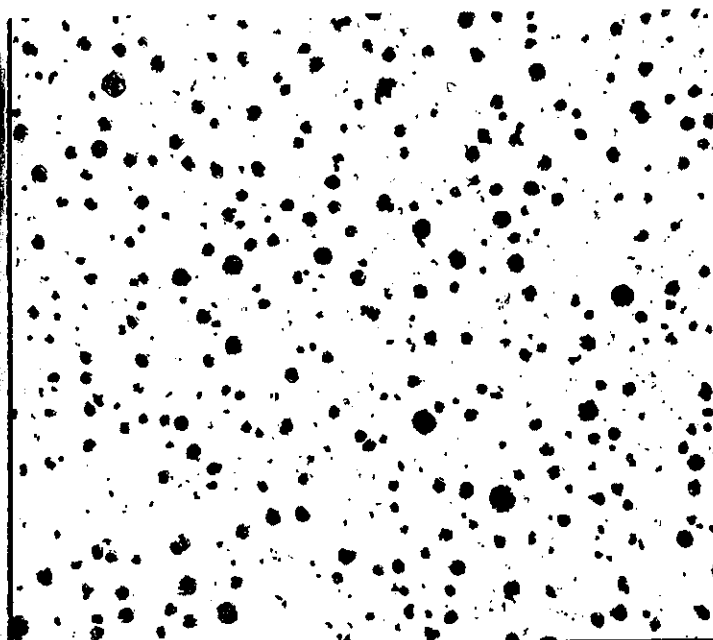
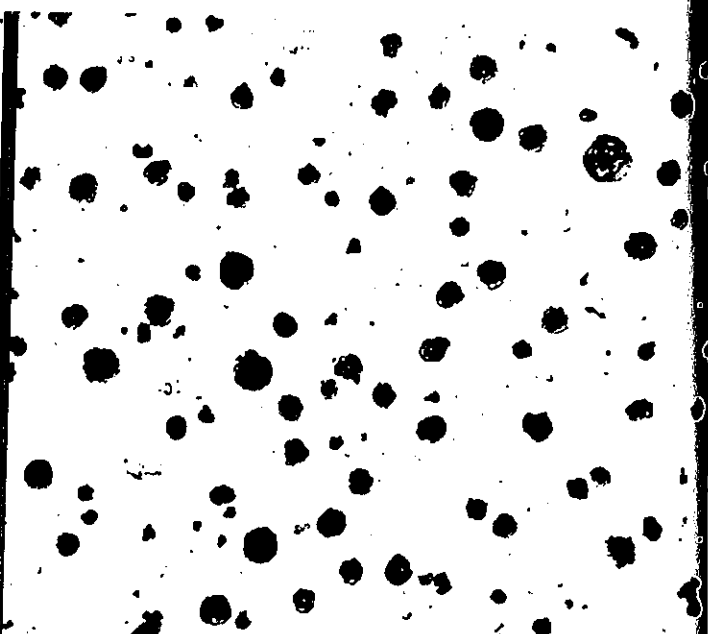
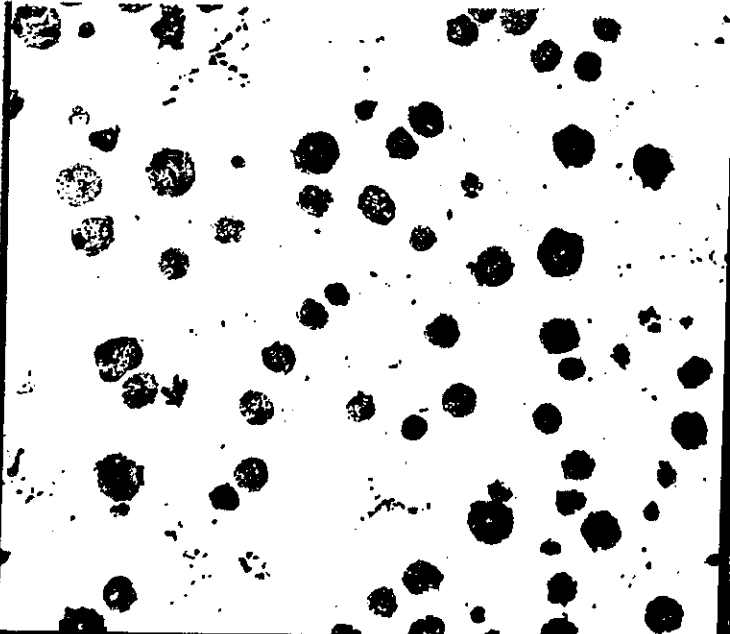
Kugeln
pro mm²

100 x

200

Kugeln
pro mm²

100 x



75

Kugeln
pro mm²

100 x

100

Kugeln
pro mm²

100 x

250

Kugeln
pro mm²

100 x

300

Kugeln
pro mm²

100 x

RESİM 46. Grafit küre sayısı sıralaması föyü
B: 100, dağlamasız.

Resim 46. Grafit küre sayısı sıralaması föyü
B: 100, dağlamasız

küreselleştirici etkisi olan elementler.

Etkisiz elementler, Fe, Si, Ni, Mo, C ve

Olumsuz etkili , Al, Sb, As, Bi, Pb dir.

Ancak son yıllarda yapılan çok sayıda araştırma böyle bir sınıflandırmanın hatalı olduğunu ortaya koymuştur,²³ örneğin,

- 1) Karbon grafit büyüklük ve şeklini etkilemektedir. Üst ötektik KGDD'lerde grafit küreleri daha küçük ve küreselleşme daha iyidir
- 2) Silisyum'un etkisi olumlu ve olumsuz olabilir. Bir yandan silisyum miktarının artması ile, küre sayısı artmakta ve şekli iyileşmektedir, diğer taraftan ise kalın etli parçalarda yüksek silisyum miktarlarında grafit şekil bozulması (küresel şekilden uzaklaşma) ve Chunk adı verilen grafitlerin oluşumu gözlenmektedir.
- 3) Nikel ve silisyum'un beraberce ve yüksek miktarlarda bulunması Chunk tipi grafit oluşumunu sağlamaktadır. Bu etkileşim özellikle yüksek nikelli östenitik ve et kalınlığı fazla olan KGDD'lerde görülmektedir.
- 4) Arsen ve Antimon gibi, en düşük miktarlarda dahi bulunmaları halinde, olumsuz etkileri olduğuna inanılan elementler, laboratuvar ve hatta pratik çalışmalarla tesbit edildiği üzere, grafit şeklini olumlu kılıcı etkileri bulunmaktadır. Bazı ender durumlarda perlit oluşumunu kuvvetlendirmede yine bu iki element Cer ile birlikte kullanılmaktadır.
- 5) Şimdiye kadar bir tedavi aracı, yani ilaç olarak nitelendirilen Cer bile, diğer bazı eser elementlerin mevcut olmaması halinde Chunk tipi grafit oluşturmaktadır. Bu durum özellikle östenitik KGDD'lerde söz konusudur.

Bu açıklamalar elementlerin etkilerine göre olumlu, etkisiz ve olumsuz şeklinde bir sınıflandırmaya tabi tutulmalarının hatalı olduğunu, bunun için elementlerin grafit şeklini etkileşim durumuna göre sınıflandırılmalarının gereğini ortaya koymaktadır.

İdeal olarak ötektik, saf Fe-C alaşımından gidildiğinde, vakum altında elementlerin alaşım olarak verilmesinde ve dökümü sonucu, soğuma hızına bağlı olmaksızın, dökünün döküm durumunda

ledeburitik olduğu ve grafit ayrışmadığı yapılan çalışmalarla tesbit edilen bir bulgudur.

Bu bulgu ile vakum altında ergitmede saf Fe-C alaşımlarının ötektikumu'nun ledeburitik katılaştığı kanıtlanmıştır. Bundan sonraki kademedeki, Fe-C-Si sistemi incelendiğinde yine vakum altında genellikle ledeburitik bir katılama olduğu görülür. Buna karşın, oksitleştirici, yani normal havada ergitmede, doku grafit içerir ve grafit/Fe₃C-oranı silisyum miktarı ile artar.

Tümü ile küresel şekilde ayrılmış grafitlere sahip dokuların elde edilmesi ancak, grafit şeklini etkileyici olarak tanımlanan bazı elementlerin, tek veya beraberce verilmesi sonucu mümkün olmaktadır. Bu gruba giren elementler, Mg, Ce, Ca, Li, Na, K ve Sc dur.

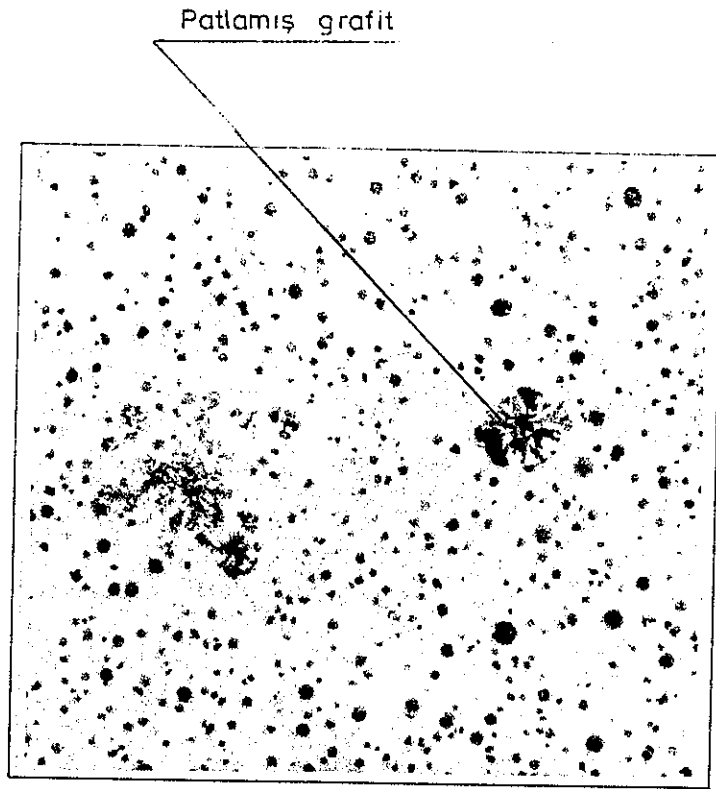
KGDD'lerde grafit'in küre biçiminden uzaklaşması ile meydana gelen farklılıklar aşağıdaki şekilde adlandırılmaktadır,

- 1) Patlamış grafit
- 2.) Vermicular grafit
- 3) Lamel, yapraklı grafit ve
- 4) Chunk tipi grafit'tir.

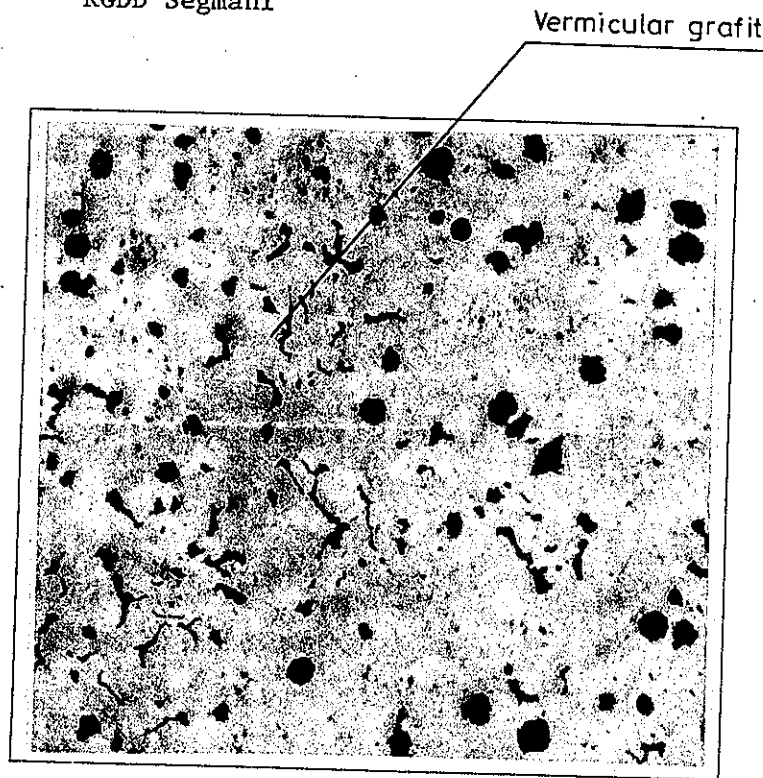
Patlamış görünümlü küresel grafit (Resim 47):
Bu grafitlerin şekli aynen patlamış mısır tanelerine benzer. Yüksek karbon eşdeğeri, soğuk potanın kullanılması ve Cer miktarları buna neden olarak görülmektedir.⁶¹

Quasi-flake, Vermicular Grafit:

Bu görünüme sahip grafit şekli, aynı zamanda vermicular olarak adlandırılmaktadır. Vezini teşkil eden malzemelerin bazı elementleri, örneğin Ti, ihtiva etmeleri veya magnezyumla işlemin yeterli düzeyde yapılmamış olmasından kaynaklanmaktadır. Bunun için Mg-miktarını arttırmak, veya Mg-verimini daha yüksek kılmak (daha uzun pota kullanılması, potada eriyik yüksekliğinin arttırılması), ve reaksiyonun hemen sona ermemesini sağlamak lazımdır.⁶¹ (Resim 48)



Resim 47. Patlamış grafitler
B: 100, dağlamasız
KGDD Segmanı



Resim 48. Vermicular grafit
B: 100, dağlamasız

Lamel,yapraksı tipi grafit şekli(Resim 49),
Özellikle vezini teşkil eder malzemelerde,küreselleşmeyi
kuvvetli bir biçimde olumsuz etkileyen elementlerin mevcu-
diyetine bağlıdır.Bunun yanınia,magnezyum işleminin yapıl-
mamış veya herhangi bir nedenle çok etkisiz kalmış olması
neden teşkil eder.Bazı reçineli kumların sertleştirilmelerin-
de kullanılan sertleştiricilerin(Paratuluol sulfon asiti),
yüksek kükürt miktarları,döküm kumunda kömür tozu miktarının
çok düşük olması ile kalıp içinde redükleyici bir atmosferin
yaratılamaması belli başlı nedenler arasındadır.
Lameller kısa,uçları yuvarlatılmış bir şekle sahip iseler,
magnezyum işleminin yeterli olmadığının bir kanıtını teşkil
ederler.Uzun ve keskin uçlu lameller mevcut ise,bu durumda
olumsuz etkileyen elementlerin varlığı kuvvet kazanır.

Chunk tipi grafit,(Resim 50)

Çok ince dağılımlı,yuvarlatılmış,kısa lamellerden oluşan
grafit topluluklarına verilen tanımdır.Bazı elementler bu
tip grafit şeklinin oluşmasını kuvvetlendirirler,etkileşim
sırası ile kuvvetli-daha az kuvvetli olacak şekilde aşağıda
verilmiştir.

Ce
Ca
Si
Ni.

Chunk tipi grafit oluşumunu arttıran elementlerin etkileri
lamel tipi grafit şeklini kuvvetlendiren elementlerle denge-
lenebilirler,bu elementler sırası ile,

(Tane içi lamel,yapraksı tipi grafit oluşumunu arttı-
ran elementler)

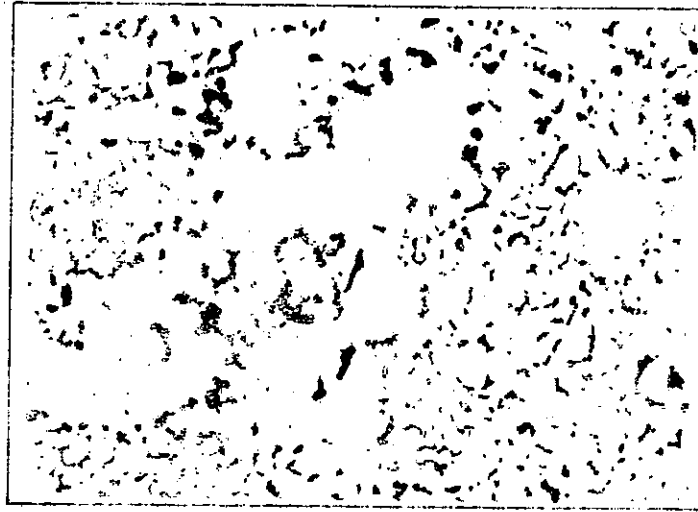
Bi,Pb,Sb,As,Cd,Al,Sn ve Cu dir.

Bu elementlerin karşılıklı etkilerine örneklerde aşağıda
verilmiştir. 23,39,61

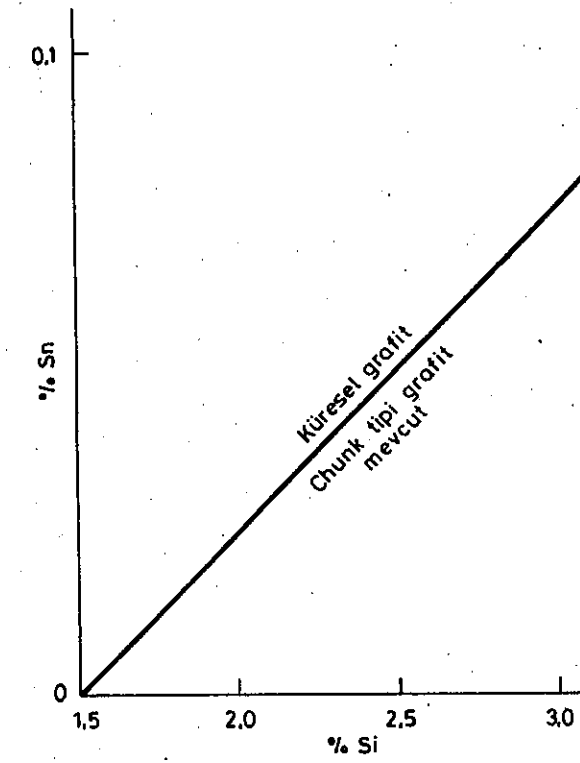
1) Resim 51 silisyum'un Chunk tipi grafiti kuvvetlendirici
etkisinin kalay ile dengelenmesi veya indirgenmesini
göstermektedir.Kalay'ın silisyum'a göre ters etkisi ile
küresel grafit oluşumu sağlanmaktadır.



Resim 49. Yüksek Titan miktarlarının neden olduğu lamel şeklindeki grafit oluşumu
B:30, dağlamasız



Resim 50. Chunk tipi grafit
B:100, dağlamasız



Resim 51 . Silisyum'un Chunk tipi grafit yapıcı etkisinin Kalay miktarı ile engellenmesi

- 2) % 25 nikel ve % 2.5 silisyum ihtiva eden östenitik bir KGDD % 0.03 miktarında Cer ile % 100 Chunk tipi grafitte sahiptir. Bu olgu hatta ince kesitlerde bile gözlenebilir.
- 3) 25 mm lik Y-Blok numunesinde % 16 Ni, % 5 Cu, % 0.002 Pb ve % 0.03 Cer ihtiva eden KGDD'de çok güzel bir küreselleşme olduğunu çalışmalar ortaya koymuştur.
- 4) Yine, Chunk tipi grafit oluşumu, kalın kesitli KGDD parçalarda, şu 4 elementten birinin % 0.002 miktarında bulunması ile engellenmektedir: Pb, Sb, As, Bi.
- 5) Alüminyum'un lamel, yapraksı tip grafit oluşumunu arttırıcı etkisi yine % 0.03 Ce ile bertaraf edilmektedir.
- 6) Bir araştırmaya görede, modülü büyük KGDD parçalarda (küp 125-250 mm kenar uzunluğu), özde görülen vermicular grafitler, % 0.003 Pb ilavesi ile küresel biçim almaktadırlar.
- 7) Titan lamel, yapraksı tipi grafiti oluşturucu etkisi ile tanınan bir elementtir. Cer-Titan beraberce kullanıldığında (% 0.01 Ce, % 0.07 Ti) küresel grafit oluşumu sağlanmaktadır.
- 8) Azot ile titan arasındada aynı etkileşim söz konusudur.

KGDD'lerde düşük Titan miktarlarının % 0.02-0.04, azot'un bu olumsuz etkisini bertaraf edebileceği yapılan çalışmalar sonucunda, kabul edilebilir. Yüksek Titan miktarları, magnezyum'un küreselleştirici etkisini azaltmaktadır. Resim 52. magnezyum ve titan miktarının bu etkileşimini göstermektedir. Son olarak, lamel şeklinde kristalizasyonu etkiliyen elementlerle elde edilen grafit şeklinin (morfolojisinin), yüksek titan miktarları ile oluşan grafit şeklinden çok az bir farklılık arzettiğini vurgulamak lazımdır

Ayrıca, yüksek titan miktarlarının neden olduğu grafit'in lamel biçiminde oluşması, sadece tane sınırları içinde, geçerli değildir.

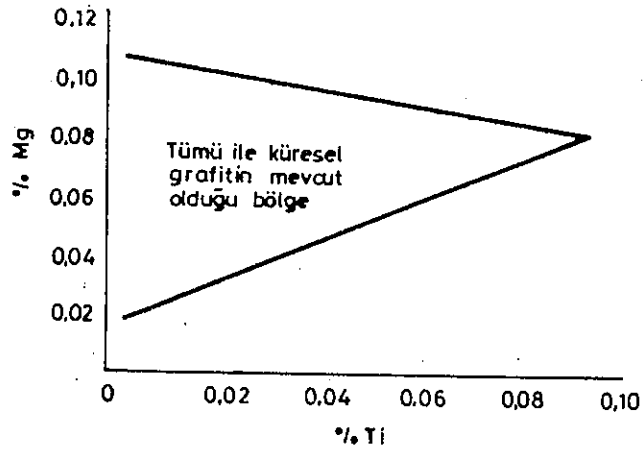
Yapılan açıklamalardan, bu güne kadar küreselleşmeyi engelleyici, yani bozucu, olarak bilinen elementlerin belli miktarlarda bulunması ile küreselleşmenin sağlanabildiği kanıtlanmış olmaktadır.

Böylece dökümhanede görevli eleman bu çok sayıda elementin karşılıklı etkileşimleri nedeni ile bir bakıma yardımsız kalmakta, sonuç olarakta dökümhanede hatalı parça oranı, lamel ve Chunk tipi grafit oluşumunun gözlenmesi ile artmaktadır.

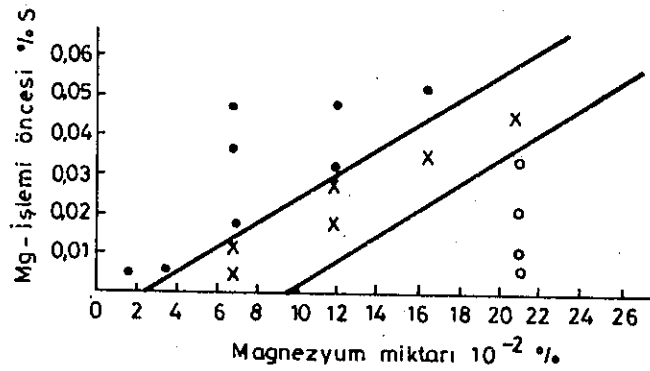
KGDD üretiminde en önemli, emniyet derecesi yüksek bir üretimi sağlayan husus, eser miktarlarda bulunan elementlerin nitelik ve niceliklerinin bilindiği ve değişmediği hammadde-lerin kullanılması olmaktadır.

- 9) En sonucusu ve bilinen element olarak kükürt gelmektedir.⁶¹ Kükürt miktarı azaldıkça, küreselleştirici olarak verilecek FeSiMg-alaşımı miktarı azalır (Resim 53). Aynı zamanda magnezyum'un etkisinde daha uzun süre kalıcı olur.

Bu nedenle küreselleştirme öncesi eriyik kükürt miktarının azami % 0.03 olmasına gayret gösterilmelidir. Ayrıca kükürt miktarının alt sınırında karbür oluşumu nedeni ile % 0.004 alınması gerekir.⁴⁴



Resim 52 Küreselleşmeye titan ve magnezyum miktarlarının etkisi.



- Küresel grafit
- × Karışık şekilde grafitler
- Lamel grafit

Resim 53 Küresel grafit oluşumu için gerekli Magnezyum miktarı (FeSiMg-Alaşımı ile verilen) ve İşlem öncesi kükürt miktarı arasındaki ilişki.

4.5. Alaşım ve az alaşım KGDD'de ana dokunun kimyasal analizle yönlendirilmesi,

KGDD'in özellikleri ana doku ile belirlenir, ve Resim 9'dan görüleceği üzere geniş bir aralıkta kalır.

Normal olarak mevcut olması gerekli olan elementlerden karbon'un KGDD'de ana doku özelliklerine etkisi azdır. Buna karşın

Perlit/Ferrit-oranını ve ana doku özelliklerini silisyum elementi kuvvetli bir şekilde etkiler. Bu özelliklerden en önemlileri sertlik ve çentik darbe değerleridir.

Mangan miktarı belli bir dokunun elde edilmesinde bir ölçü olarak ele alınmamalıdır. Manganın kullanılmasında yegane maksat karbür oluşumuna olanak vermeyen azami miktarının altında kalmasının sağlanmasıdır.

Fosfor elementi, süneklilik, plastik şekillenme ve kaynaklanma özelliklerini olumsuz etkilediği gibi, beslenme olgusunda da problem yaratır. Bu nedenle genelde tüm şartnamelerde azami fosfor miktarı % 0.08 olarak verilmiş olmasına rağmen, pratikte fosfor miktarı % 0.04'ün üzerinde alınmamalıdır. Bazı ender durumlarda

sürünme direncinin artırılmasında fosfor, molibden ile birlikte kullanılır. Örneğin, fosfor miktarının % 0.02'den % 0.1'e artırılması 425°C de sürünme hızını % 500 azaltmaktadır.

Aşınmaya dirençli KGDD lerde de fosfor miktarı yükseltilmektedir. Bir araştırmaya göre % 3.5-5.7 Cu ve P, % 0.7-1 miktarlarında kullanılması ile aşınmaya dayanıklılık artmaktadır.

Kükürt elementide ana dokuyu etkilememektedir. Ancak bazı araştırma bulguları ferritleşmeye temayül'ün Mn/S-oranı ile etkilendiğini kanıtlamaktadır. % 2.6 silisyum miktarında, ferrit miktarı azami değere erişmekte olup, bunun içinde mangan miktarının

kükürt'ün 15-17 katı olması gerekmektedir. Bu bilgiler ışığında eriyik kükürt miktarı % 0.01 kabul edilirse, azami ferrit miktarının elde edilebilmesi için Mangan miktarının % 0.15-

0.17 olmasının gereği kolayca saptanabilir. Düşük alaşım KGDD lerde perlit stabilliğinin sağlanması, ince perlit dokusu, yüksek sıcaklık özelliklerinin olumlu kılınması ve beynitik dokunun var olmasının sağlanması için az miktarda bazı alaşım elementlerinden faydalanılır.

Çizelge 9 da perlitin stabilize edilmesinde kullanılan 8 elementin etki büyüklüğü sıralaması verilmiştir.

Çizelge 9 .

Element	Perlit ştabilleşterici etki relatif büyüklüğü
Sn	39
Mo	7.9
P	5.6
Cu	4.9
Ti	4.4
Mn	0.44
Ni veya Cr	0.37

Molibden ve nikel'in perlitin ştabilleştirilmesi için kullanılması fiyatlarının yüksek oluşu nedeni^{ile} ekonomik değildir, ayrıca molibden bilindiği gibi yüksek miktarlarda kullanılması halinde tane sınırı karbür miktarını arttırmaktadır.

Ocak analizi % 3.8 C, % 2.4 Si ve %0.27

Mn olan eriyiğin, Cer miktarı % 0.01 olacak şekilde, ⁴⁸FeSiMg alaşımı ile küreselleştirilmesi sonucu yapılan çalışmalarda bakır ve kalay'ın perlitini ştabilleştirici etkileri tesbit edilmiştir. Bu araştırmaya göre perlit miktarının % 99 olması için uygun Cu/Sn- oranları sırası ile Çizelge 10 da verildiği gibidir.⁴⁸

Cu, %	Sn, %				
	0	0.03	0.07	0.15	0.24
0	78	69	18	2	<1
0.25	73	18	6	1	<1
0.50	14	6	<1	<1	--
1.0	6	1	<1	<1	--
1.5	1	<1	<1	<1	<1

C % 3.8 ±0.15

Si 2.4 ±0.1

Mn 0.27 ±0.03

S 0.012 ±0.004

P 0.02 ±0.003

Mg 0.05 ±0.01

Küreselleştirme % 9 Mg , % 0.6 Ce

Aşılama Fe Si 75 (Potada)

Numune 25 mm U- Numunesi

Çizelge 10 KGDD'lerde döküm durumunda Ferrit miktarına Kalay ve Bakırın etkisi.

1) Yukarıda verilen analiz miktarlarında kalay, başka hiç bir stabilleştirici element kullanılmaksızın, düşük miktarlarda bile (% 0.07) tane sınırı lamel tipi grafit oluşumunu sağlayabilmektedir. Düşük kalay miktarlarında, bakır, grafitin lamelleştirilmesi olgusunu kuvvetlendirmektedir. Örneğin, bu iki elementin beraberce, %0.03 Sn ve % 1 Cu verilmesi ile tane sınırlarında az da olsa lamel grafitler gözlenmektedir. Yine aynı çalışmada bakır'ın lamel tipi grafit oluşumunu kuvvetlendirici etkisinin, yüksek kalay miktarlarında kalmadığı tesbit edilmiştir. Bakırsız, % 0.25 Sn ihtiva eden parçada lamel grafit miktarı fazla olmasına rağmen, % 1.5 Cu ilavesi ile hepsi kaybolmaktadır.⁴⁸ (Çizelge 11)

2) Bu iki elementin perlitin stabilliğini arttırıcı etkileri birbirlerini kuvvetlendirici özelliği vardır. Kalay'ın etkisi bakır'ın 10 katıdır.

3) Sertlik, çekme dayanımı ve akma sınırı kalay miktarı ile % 0.07'ye kadar artmaktadır. Uzama değeri doğal olarak bakır ve kalay miktarı ile azalmakta, % 1.5 Cu ve % 0.25 Sn-değerinde % 2 civarındadır.

Şimdiye kadar belirtilenler özetlendiğinde, bakır ve kalay'ın KGDD'in döküm durumunda, ana dokusunun perlitik olmasını sağlayan en etkili ve ekonomik elementler olduklarını söyleyebiliriz. Etkileme durumu göz önüne alındığında, kalay'ın kullanılması elverişli olur. Kalay miktarının lamel grafit oluşumunun meydana gelmesine imkan vermeyecek büyüklükte azami % 0.05 alınması gerekli olup, bakır hiç bir olumsuz etkileme beklenmeksizin % 2 miktarına kadar kullanılır.

Grafit şeklini kuvvetli derecede etkileyen diğer elementlerden arsen ve antimon perlitin stabilleştirici özelliğe sahip olmalarına rağmen, grafit şeklini olumsuz etkilediklerinden, ana dokunun yönlendirilmesinde kullanılmazlar.

Cu, %	Sn, %				
	0	0.03	0.07	0.15	0.24
0	A	A	B	C	C
0.25	A	A	B	C	C
0.50	A	A	B	C	C
1.0	A	B	B	B	B
1.5	A	B	B	A	A

- A Mevcut değil
- B Az miktarda mevcut
- C Çok miktarda mevcut

Çizelge 11 Kalay ve Bakır miktarına bağlı olarak tane sınırı lamel grafitin oluşumu.

4.5.1 Ferritik KGDD'in döküm durumunda sağlanmasında kimyasal analiz seçimi,⁶²

D.M.Stefanescu ve diğerlerinin yapmış oldukları işletme şartları yönünden detaylı çalışma,döküm durumunda ferritik KGDD üretimini gerçekleştiren analizi veren matematiksel eşitlikleri ortaya koymuştur .

Şarj malzemelerinin geniş bir alan içinde farklı seçilmesi çeşitli FeSiMg alaşımlarının kullanılması ve kalıpta aşılama yapılarak etkilerinin tesbiti çalışmanın ana konularını içermektedir.

% 2.3 miktarında FeSiMg5alaşımı ile işlem yapılarak ve % 0.5 FeSi75 le aşılanaarak,döküm durumunda ferritik bir dokuya dolayısı ile çekme dayanımı min. 420 N/mm²,uzama min.% 12 değerlerine sahip olan KGDD'in analiz sınırları şöyledir:

- C % 3.7-4.1
- Si 2.3-2.6
- Mn 0.3 max
- P 0.07 max
- S 0.015 max
- Mg 0.03-0.05

Uzama değeri askari % 12 olan bir KGDD için mangan, fosfor ve kükürt miktarları arasında şu eşitliğin mevcut olması gereği etkileşimlerden saptanılmıştır:

$$9.89 \% Mn + 56.66 \% P + 46.69 \% S \leq 8.59$$

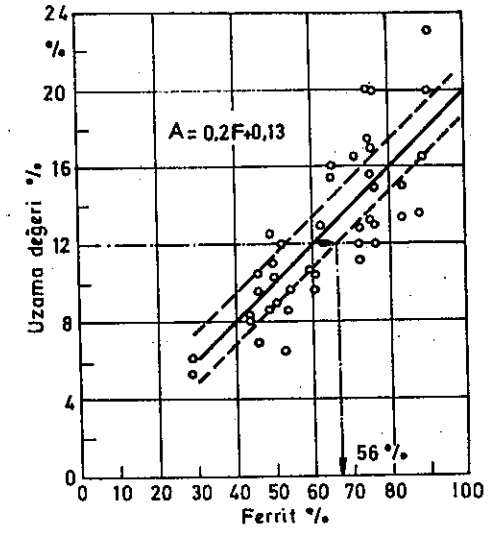
veya $10.8 \% Mn + 125.8 \% P \leq 13.5$

Bu eşitlikler aşağıdaki analiz sınırlarında geçerli olmaktadır:

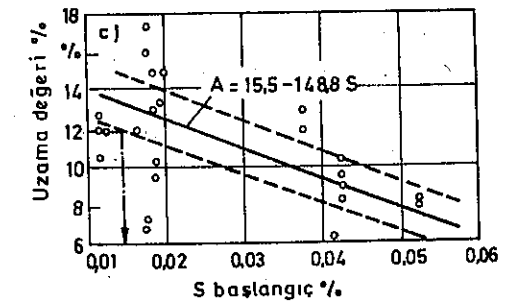
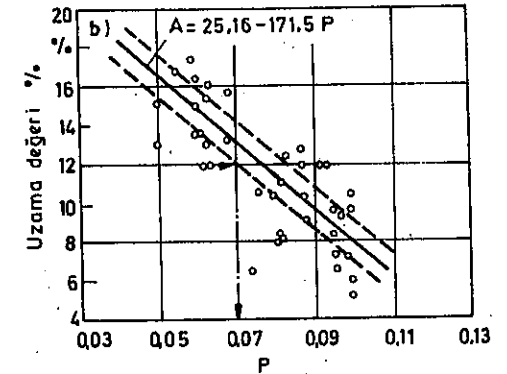
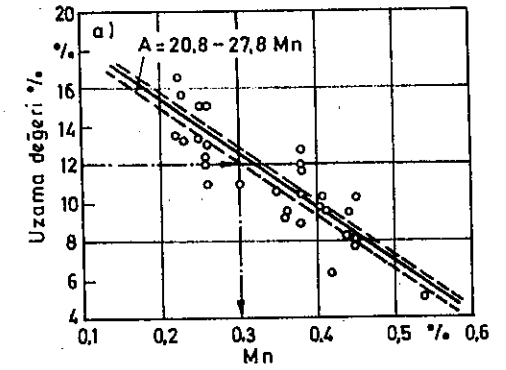
- C % 3.65-4.09
- Si 2.29-2.66
- Mn 0.22-0.55
- P 0.05-0.1
- S 0.01-0.02 Eriyik
- S 0.004-0.016 işlem sonu
- Mg 0.03-0.05.

Sfero piki kullanmaksızın aynı uzama değerleri ancak özel magnezyum işlemi alaşımları ile sağlanabilmektedir,örneğin FeSiBaMg ve FeSiNaMg gibi.

Kalıpta aşılama işleminin uygulanması ile aynı çalışma şartlarında ferrit miktarı ve dolaylı olarak uzama değeri artmaktadır.Resimler 54,55 bu ilişkileri göstermektedir.



Resim 54 Ferrit miktarı ile uzama değeri arasındaki ilişki.



Resim 55 Kimyasal analiz etkisi.
Mangan
Fosfor
Kükürt , başlangıç

4.6.Yüksek sıcaklık özelliklerinin olumlu kılınması,

Molibdenin,kuvvetli perlitli ştabilleştirici etkisi olmasına rağmen,çok ender olarak bu amaçla kullanılır.Esasta molibdenin kullanılmasının ana amacı yüksek sıcaklık özelliklerini arttırmasıdır.Bu amaçla Nikel'de molibden gibi kullanılan diğer elementtir.Süneklilik özelliklerinden ödün verilmemesi istendiğinde molibden miktarı % 0.5-1 arasında kalmalı,nikel miktarı % 1-2 civarında alınarak molibdenin olumlu etkisi yükseltilmelidir. Böyle bir alaşım kombinasyonunun yapılmasında parça soğuma hızı etkisi göz önünde tutulmalıdır.Bilindiği gibi kalıpta soğuma sonu martenzitik bir ana dokunun varolması imkanıda yaratılmış olunur.İnce et kalınlığındaki parçalarda (azami 25 mm) molibden miktarı üst sınırdaki,nikel ise alt sınırdaki olacak şekilde seçilmelidir.Kalın kesitli parçalarda ise bu uygulamanın tersi yapılmalıdır.

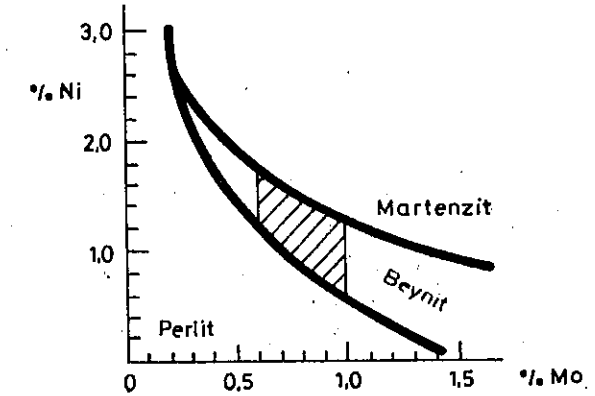
500°C de sıcak akma sınırınının yükseltilmesi için(örneğin 290 N/mm²) % 15 Co,% 0.9 Mo ve % 1.5 Nb kullanılabilir,ancak uzama değeri % 1-2 ye düşmektedir.

Silisyum miktarı % 3.5-7 arasında,KGDD lerin,yüksek sıcaklık oksidasyonuna karşı direnci artmaktadır.Optimum silisyum miktarlarına sahip KGDD ler 800°C ye kadar oksidasyona karşı dirençli fakat oda sıcaklığında kötü bir süneklilik özelliğine sahiptirler.Orta yükseklikteki bir sıcaklık için,600°C,uygun silisyum miktarı % 3.2-5 arasında olmalıdır.

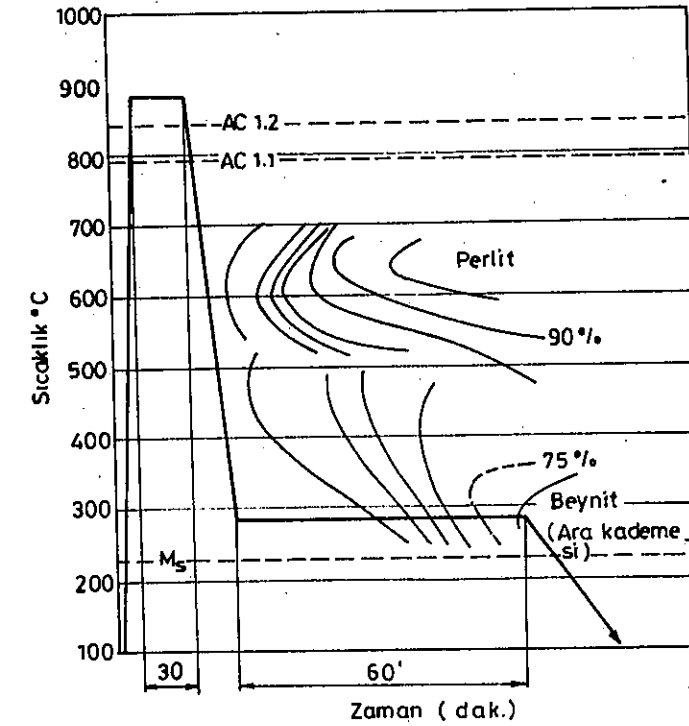
4.6.1.Beynitik KGDD'in kimyasal analizinin seçimi,⁵¹⁻⁵⁸

Beynitik ana doku döküm durumunda veya izotermik tavlama işlemi sonu elde edilebilir,bu iki durumdaki belli miktarlarda molibden ve nikel'in ergitme esnasında verilmiş olması gerekir.(Resim 56) Döküm durumunda beynitik dokunun varolması için molibden ve nikel miktarları arasındaki ilişki,genel bir biçimde Resim 57 de gösterilmiştir.

Kalın kesitli parçalarda nikel miktarı daha fazla olmalıdır. Döküm durumunda beynitik dokunun sağlanması için parçanın dereceden bozulma sıcaklığınının 200°C az olması lazımdır.



Resim 57 . KGDD'lerde döküm durumunda beynitik ana dokunun mevcut olması için Molibden ile Nikel miktarları arasındaki ilişki.



Resim 56 . Cu-Mo alaşımlı KGDD'in ZSD (TTT veya ZTU) diyagramında şematik olarak ara kademesi ıslah işleminin Sıcaklık-Zaman eğrisinin gösterilmesi.

Görüldüğü gibi,yüksek sıcaklıklarda uygulanan ısıtma işlemle yüksek süneklilik fakat düşük mukavemet değerleri elde edilmektedir.Düşük sıcaklıklarda da bu olgu terstir. Çizelge 12 de döküm durumunda beynitik dokunun varolması için parça et kalınlığına bağlı olarak Nikel ve Molibden miktarları yanında mangan,silisyum miktarları ile karbon eşdeğerleri verilmiştir.

Çizelge 12 .

Döküm durumunda beynitik KGDD üretimini mümkün kılan alaşım kombinasyonları

Beynit	Et kalınlığı mm	Ni %	Mo %	Mn %	Si %	CE %
Üst	20-30	1.5-2	0.3-0.5	0.2	2.5	4.4
Üst	30-80	2.5-3	0.5-0.75	0.2	2.0	4.2
Alt	25-100	3.0	0.2	0.5	2.0-2.5	4.2-4.5

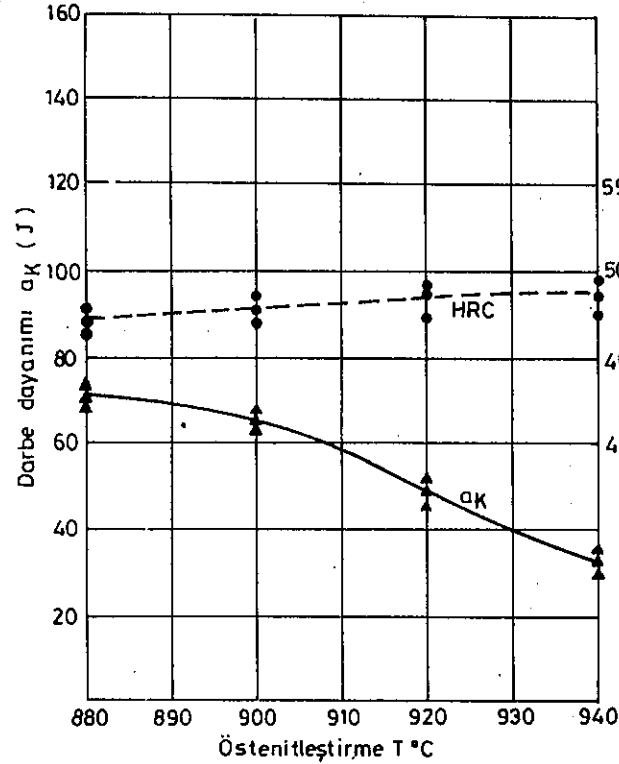
Üst ara kademesi için molibdenli alaşımlarda,mangan miktarının düşük olması lazımdır(ştabil tane sınırı karbürlerin varolmaması için)

Parçanın daha erken dereceden çıkarılması halinde doku kısmen martanzitik olabilir.Parça et kalınlığı azaldıkça,döküm durumunda beynitik dokunun elde edilmesi zorlaşır.Bu nedenle et kalınlığı 25 mm'nin altındaki parçaların beynitik olması istendiğinde ısıtma işleminin uygulanması gerekir.Bu şekilde alaşım miktarlarında (Ni,Mo) % 50 daha az alınabilir. Mekanik özellikler östenit-beynit dönüşüm sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir(Resim 58.59).

Diğer alaşımlar,

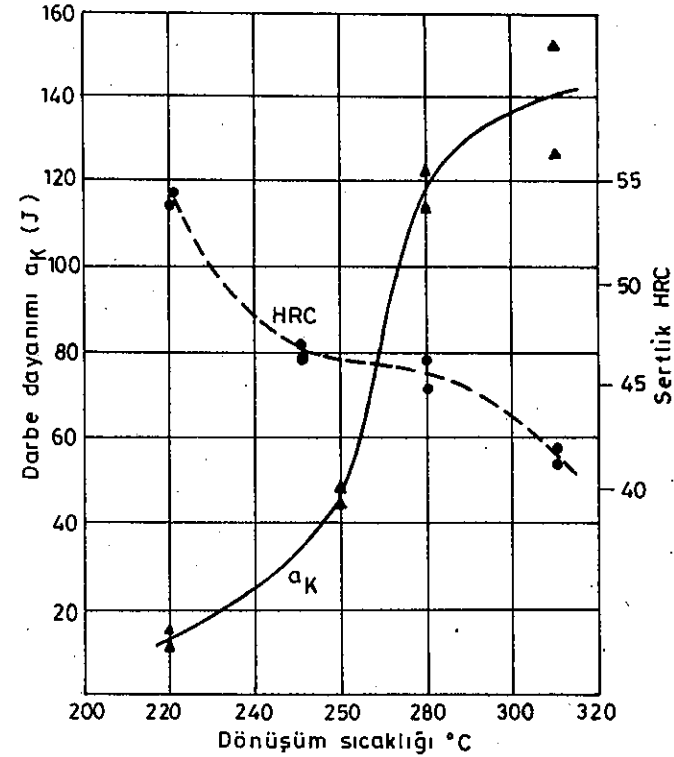
Kobalt,Niob ve Molibdenin KGDD özelliklerine etkileri aşağıda verilmiştir,

- 1)Kobalt KGDD lerde nüve,yani grafit sayısını arttırır.30 mm lik Y-numunesi ile tesbit edildiği gibi kobaltsız KGDD de 120 olan grafit sayısı % 6 kobalt ile % 240-340 N/mm² ye yükselmektedir.Bu değer üzerinde,grafit sayısı tekrar 140-200 N/mm² 'ye düşmektedir.
- 2)% 9 kobalt miktarlarına kadar,niob'un grafit sayısına etkisi bulunmamaktadır.% 9-15 kobaltlı KGDD lerde ise grafit sayısı 80-120/mm² den 150-190 /mm² artmaktadır.
- 3)Niob ihtiva etmeyen KGDD lerde % 4 kobalt ilavesi ile ferrit miktarı % 50'den % 95'e yükselmekte,% 0.5 niob'un mevcut olması halinde aynı şartlar için kobalt'ın % 15'e çıkartılması gerekmektedir.
- 4)Kobalt elementi KGDD de akma sınırını,% 15 kobalt miktarında 240 N/mm² den 365 N/mm² 'ye yükseltmekte,çekme dayanımı etkisiz kalmaktadır.Kobalt miktarı % 6 olduğunda uzama değerinin % 15'ten % 22'ye yükseldiği görülmektedir.Aynı alaşım % 0.9 molibden ihtiva ettiğinde sertliğin 185 HB'den 215 HB'ye arttığı tesbit edilmiştir.



Resim 58 . 280°C ara kademesi ısı işleme tabi tutulmuş KGDD numunesi sertlik ve darbe mukavemetinin (10x10x55 mm. çentiksiz numune) östenitleştirme sıcaklığı ile değişimi.

Resim 59 . Aynı numunede dönüşüm sıcaklığının etkisi.



4.7. Birikim olayı (Segregasyon)

Katılma olayı esnasında elementlerin son katılma ve ilk katılma fazlardaki miktarları oranı birikim faktörü ile tanımlanır. Çizelge 13 de 10 elementin faktörleri verilmiştir.

Çizelge 13

Bazı elementlerin birikim faktörleri

Element	Birikim faktörü
Mo	26.3
Ti	25
V	13.2
Cr	11.6
Mn	1.7-3.5
P	2
Si	0.7
Co	0.4
Ni	0.3
Cu	0.1

Birikim faktörlerinin her element için katılma hızına bağlı olarak değiştiğinin unutulmaması lazımdır. Çizelgedeki değerlerden görüldüğü gibi, en son katılma fazdaki miktarları yüksek olan elementlerin birikim faktörleri 1'den büyük (Mo, Ti, V, Cr, Mn) buna karşın ilk katılma eriyikte biriken elementlerin faktörleri ise 1'den küçüktür (P, Si, Co, Ni, Cu).

4.8. Ergitme işlemi esnasında elementlerin zenginleşmeleri,

Üretim süreci esnasında, potaya verilen bazı elementlerin miktarları, daha sonraki çalışma esnasında devri daim malzeme olarak bu elementi ihtiva eden kısmın kullanılması ve aynı işlemin tekrarı ile, eriyikte devamlı bir şekilde artarak, sonraları denge durumu konsantrasyonuna erişir. Bu olgu dökümcüler tarafından bilinmesine rağmen, fazla önemsenmeyerek, kalite yönünden bazı sorunların doğmasına neden olur. Bu nedenle matematiksel olarak söz konusu elementin denge durumu miktarının saptanabilmesi gerekir. Buna imkan veren eşitlik aşağıda verilmiştir:

$$C_2 = R (a.C_1 + (1-a).C_2 + C_3)$$

R Faydalanma % si, R yüzde olarak verilmişse, 100'e bölünmesi lazımdır,

a C₁ miktarında söz konusu elementi içeren, yeni şarj malzemesi miktarı (% olarak verilmişse, 100'e

bölünüp yazılması gerekir)

- 1-a Söz konusu elementi C₂-miktarında ihtiva eden devri daim malzemesinin miktarı(kısmı)
- C₃ Söz konusu elementin potaya verilen miktarı %,
- C₂ Söz konusu elementin denge durumu miktarı %.

Yukardaki eşitlik basitleştirilerek,

$$C_2 = \frac{a \cdot C_1 + C_3}{1/R + a - 1} \text{ şeklini alır.}$$

Örnekler:

1)Magnezyum miktarının saptanılması,

Şarj malzemesinde magnezyum'un faydalanma derecesi pratik olarak sıfır olduğundan,magnezyum'un zenginleşemeyeceği ve KGDD lerde magnezyum miktarının küreselleştirme işlemi ile kazanılan kadar olacağı görülmektedir.

2)Nikel'in zenginleşmesi,

Varsayımlar: R=1.0 a=0.6 C₁=0.1 C₃=0.5 ise
C₂= % 0.933 olarak bulunur.

4.9.Östenitik KGDD (Ni-Resist)^{7,9}
 Üretim tekniği yönünden alaşımsız KGDD ile östenitik KGDD ler arasında önemli bir fark yoktur.Çizelge 14,15 ve 16 da Ni-Resist adı altında normlaştırılan bu malzemelerin analiz mekaniki ve fiziksel özellikleri verilmiştir.⁹
 Görüleceği üzere lamel grafitli türleri % 7.5 miktarına varan bakır bünyelerinde bulundurmaktadırlar.Küresel grafitli östenitik malzemeler ise bakır ihtiva etmemektedir.
 Östenitik dökme demirlerin Batı Alman,İngiliz ve ABD normlarının karşılaştırmaları çizelge 17 de verilmiştir.⁷

Östenitik KGDD ler,östenitik,yumuşak bir ana doku,küresel grafitler ve genellikle tane sınırlarında görülen krom karbürlerden oluşurlar.Talaşlı imalatı önemli derecede etkiliyen krom karbürle,krom miktarına bağlı olarak değişirler.
 D-4 tipi östenitik KGDD ler hariç ana dokunun yumuşak olması nedeni ile talaşlı imalatta bir problemle karşılaşılmaz.
 Sertlik değeri 190 HB'nin üzerinde bulunan parçaların mekanik işlem öncesi 950-1035°C de 5 saat bırakıldıktan sonra fırın veya havada soğutulmaları tavsiye edilmektedir.
 Parçaların kullanım sıcaklığı 450°C nin üzerinde ise bu durumda uygulanacak ısı işlem şartları:

Çizelge 14 Ni-Resist malzemeleri kimyasal analizleri.

Alaşım Tanımı	C	Si	Mn	Ni	Cu	Cr	P	
Tip 1	max. 3,00	1,00 2,80	1,00 1,50	13,50 17,50	5,50 7,50	1,75 2,50	max 0,08	Lamel Grafit
Tip 1b	max 3,00	1,00 2,80	1,00 1,50	13,50 17,50	5,50 7,30	2,75 3,50	max 0,08	Lamel Grafit
Tip 2	max 3,00	1,00 2,80	0,80 1,50	18,00 22,00	max 0,50	1,75 2,50	max 0,08	Lamel Grafit
Tip 2b	max 3,00	1,00 2,80	0,80 1,50	18,00 22,00	max 0,50	3,00 6,00	max 0,08	Lamel grafit
Tip 3	max 2,60	1,00 2,00	0,40 0,80	28,00 32,00	max 0,50	2,50 3,50	max 0,08	Lamel grafit
Tip 4	max 2,60	5,00 6,00	0,40 0,80	29,00 32,00	max 0,50	4,50 5,50	max 0,08	Lamel grafit
Tip 5	max 2,40	1,00 2,00	0,40 0,80	34,00 36,00	max 0,50	max 0,10	max 0,08	Lamel grafit
Tip D-2	max 3,00	1,75 3,00	0,70 1,00	18,00 22,00	-	1,75 2,50	max 0,08	Küresel grafit
Tip D-2B	max 3,00	1,75 3,00	0,70 1,00	18,00 22,00	-	2,75 4,00	max 0,08	Küresel grafit
TipD-2C	max 2,90	2,00 3,00	1,80 2,40	21,00 24,00	-	max 0,50	max 0,08	küresel grafit
Tip D-3	max 2,60	1,50 2,80	max 0,50	28,00 32,00	-	2,50 3,50	max 0,08	küresel grafit
TipD-3A	max 2,60	1,50 2,00	max 0,50	28,00 32,00	-	1,00 1,50	max 0,08	küresel grafit
Tip D-4	max 2,60	5,00 6,00	max 0,50	29,00 32,00	-	4,50 5,50	max 0,08	küresel grafit
Tip D-5	max 2,40	1,50 2,75	max 0,50	34,00 36,00	-	max 0,10	max 0,08	küresel grafit
TipD-5B	max 2,40	1,50 2,75	max 0,50	34,00 36,00	-	2,00 3,00	max 0,08	küresel grafit

Çizelge 15 Ni-Resist malzemeleri özellikleri

Alaşım Tanımı	kg/mm ² Kopma Mukavemet	kg/mm ² Basınç M.	kg/mm ² Torsiyon Mukavemet	kg/mm ² Uzama Sınırı	Uzama %	kg/mm ² E Modulu	kg/mm ² Kayma Modulu	Sertlik HB	Çentik Muk
Tip 1	17,5-21,0	70,0-84,0	24,5-28,0	-a)	2	8500-9800	3160	130-170	-
Tip 1b	17,5-24,5	-	-	-	-	9800-11200	-	150-210	-
Tip 2	17,5-21,0	70,0-84,0	24,5-28,0	-a)	3	10500-11400	3160	125-170	-
Tip 2b	17,5-24,5	91,0-112,5	31,5-42,0	-	-	10500-11600	3860	170-250	-
Tip 3	17,5-24,5	70,0-91,0	24,5-31,5	-	1,6	10500-10900	3500	120-160	-
Tip 4	17,5-24,5	56,0	20,0	-	-	10500	2800	150-210	-
Tip 5	14,0-17,5	56,0-70,0	21,0-24,5	-	-	7400	3160	125-140	20,7
Tip D-2	38,5-48,5	-	-	22,5-25,5	8-20	11600-13000	-	140-200	2,1
Tip D-2B	41,0-49,0	-	-	23,0-26,0	7-15	11600-13300	-	150-210	1,7
Tip D-2C	38,5-45,5	-	-	21,0-24,5	20-40	10500	-	130-170	4,8
Tip D-3	38,5-47,0	-	-	23,0-26,0	7-18	9500-10200	-	140-200	1,2
Tip D-3A	38,5-45,5	-	-	22,5-27,5	13-18	11200-13000	-	130-190	2,4
Tip D-4	42,0-50,5	-	-	26,5-31,0	1,5-4,0	9100	-	170-240	-
Tip D-5	38,0-42,0	-	-	21,0-24,5	20-40	11200-14000	-	130-180	2,9
Tip D-5B	38,5-45,5	-	-	24,5-29,5	5-10	11200-12300	-	140-190	1,0

Çizelge 16 . Ni-Resist malzemeleri fiziksel özellikleri.

Alaşım Tanımı	Özgül Ağırlık	Ergime Sıcaklığı	Isı Genleşme K.S.	Isı Geçirgenliği	Özgül Isı	Özgül Elektrik Direnci	Manyetik Özellikler	Permeabilite $\mu G/Oe$
Tip 1	7,3	1240	19,3	0,095	0,110	1,40	manyetik değil	1,03
Tip 1b	7,3	1240	19,3	0,095	-	-	manyetik değil	1,03
Tip 2	7,3	1240	18,7	0,095	0,116	1,70	manyetik değil	1,03
Tip 2b	7,4	1260	18,7	0,095	-	-	manyetik	-
Tip 3	7,4	1240	12,4	0,094	0,111	-	manyetik	-
Tip 4	7,4	1205	14,6	0,090	0,120	1,60	az manyetik	-
Tip 5	7,4	1240	5,0	0,094	-	-	manyetik	-
TipD-2	7,41	1240	18,7	0,032	-	1,02	manyetik değil	1,02-1,04
TipD-2B	7,45	1260	18,7	-	-	-	az manyetik	1,04-1,08
TipD-2C	7,41	1240	18,4	-	-	-	manyetik değil	1,03
TipD-3	7,45	1240	12,6	-	-	-	manyetik	-
TipD-3A	7,45	1240	12,6	-	-	-	manyetik	-
TipD-4	7,45	1205	14,4	-	-	-	az manyetik	1,10
TipD-5	7,68	1240	5	-	-	-	manyetik	-
TipD-5B	7,72	1240	5	-	-	-	manyetik	-

Özgül ağırlık g/cm^3 Ergime sıcaklığı $^{\circ}C$ Isı genleşme kat sayısı 21-200 $^{\circ}C$ $10^{-6}/^{\circ}C$ Isı geçirgenliği $cal/cm.san.^{\circ}C$ Özgül elektriki direnç $\Omega.mm^2/m$

GRAFIT ŞEKLİ	DIN 1964	GENEL TANIMI	ISO 2892, 1973	ASTM A 436-71 A 439-71 A 571-71	İNGİLİZ STANDARTI
Lamel G.	GGL - Ni Mn 13 7	-	L - Ni Mn 13 7	-	L - Ni Mn 13 7
	GGL - Ni Cu Cr 15 6 2	Ni - Resist 1	L - Ni Cu Cr 15 6 2	Tip 1	L - Ni Cu Cr 15 6 2
	GGL - Ni Cu Cr 15 6 3	Ni - Resist 1 b	L - Ni Cu Cr 15 6 3	Tip 1 b	L - Ni Cu Cr 15 6 3
	GGL - Ni Cr 20 2	Ni - Resist 2	L - Ni Cr 20 2	Tip 2	L - Ni Cr 20 2
	GGL - Ni Cr 20 3	Ni - Resist 2 b	L - Ni Cr 20 3	Tip 2 b	L - Ni Cr 20 3
	GGL - Ni Si Cr 20 5 3	Nicrosilal	L - Ni Si Cr 20 5 3	-	L - Ni Si Cr 20 5 3
	GGL - Ni Cr 30 3	Ni - Resist 3	L - Ni Cr 30 3	Tip 3	L - Ni Cr 30 3
	GGL - Ni Si Cr 30 5 5	Ni - Resist 4	L - Ni Si Cr 30 5 5	Tip 4	L - Ni Si Cr 30 5 5
	GGG - Ni Mn 13 7	-	S - Ni Mn 13 7	-	S - Ni Mn 13 7
	GGG - Ni Cr 20 2	Ni - Resist D-2	S - Ni Cr 20 2	Tip D-2	S - Ni Cr 20 2
Küresel G.	GGG - Ni Cr Nb 20 2	Ni - Resist D-2 W	-	-	-
	GG - Ni Cr 20 3	Ni - Resist D-2 B	S - Ni Cr 20 3	Tip D-2 B	S - Ni Cr 20 3
	GGG - Ni Si Cr 20 5 2	Nicrosilal, Spheronic	S - Ni Si Cr 20 5 2	-	S - Ni Si Cr 20 5 2
	GGG - Ni 22	Ni - Resist D-2 C	S - Ni 22	Tip D-2 C	S - Ni 22
	GGG - Ni Mn 23 4	Ni - Resist D-2 M	S - Ni Mn 23 4	Tip D-2 M	S - Ni Mn 23 4
	GGG - Ni Cr 30 1	Ni - Resist D-3 A	S - Ni Cr 30 1	Tip D-3 A	S - Ni Cr 30 1
	GGG - Ni Cr 30 3	Ni - Resist D-3	S - Ni Cr 30 3	Tip D-3	S - Ni Cr 30 3
	GGG - Ni Si Cr 30 5 2	Ni - Resist D-4 A	-	-	-
	GGG - Ni Si Cr 30 5 5	Ni - Resist D-4	S - Ni Si Cr 30 5 5	Tip D-4	S - Ni Si Cr 30 5 5
	GGG - Ni 35	Ni - Resist D-5	S - Ni 35	Tip D-5	S - Ni 35
GGG - Ni Cr 35 3	Ni - Resist D-5 B	S - Ni Cr 35 3	Tip D-5 B	S - Ni Cr 35 3	
GGG - Ni Si Cr 35 5 2	Ni - Resist D-5 S	-	-	-	

Çizelge 17 . Östenitik KGDD'lerin normları ve karşılıkları.

870°C/2-4 saat

540°C ye kadar fırında soğutma sonra

Havaya terk etmedir.

Et kalınlıkları 50 mm'nin üzerinde olan östenitik KGDD parçalarında Chunk-tipi grafit oluşumuna sıkça raslanır. Bu durumda C, Si ve Ni miktarları Resim 60 dan tesbit edilmelidir.

Cer daha ince et kalınlıklarında bile Chunk tipi grafit oluşumunu kuvvetlendirdiğinden, östenitik KGDD'ler cer ihtiva etmemelidirler.

Östenitik KGDD lerde Nikel'de Silisyum gibi ötektik karbon miktarını etkilemektedir. Silisyumla olduğu gibi nikel miktarı arttıkça, ötektik karbon miktarı azalır. Bu malzeme türleri için karbon eşdeğeri aşağıdaki eşitlikle verilir:

$$CE = C_{top.} \% + 0.33 \% Si + 0.047 \% Ni + 0.0055(\%Ni \times \%Si)$$

Östenitik gri döküm malzemelerinin, erozyon, kavitasyon, korozyon ısıya dayanıklılık, düşük sıcaklık süneklilik özelliklerinin bir çok kullanım yeri şartlarına karşılık vermesi nedeni ile üretimleri devamlı olarak artmaktadır. Bu özellikler yanında oksidasyona dayanıklılık ve uygun ısı genleşme kat sayısına sahip olmaları nedeni ile otomotif sanayiinde segman taşıyıcı olarak geniş bir kullanım sahasına sahiptirler. (Resim 61).

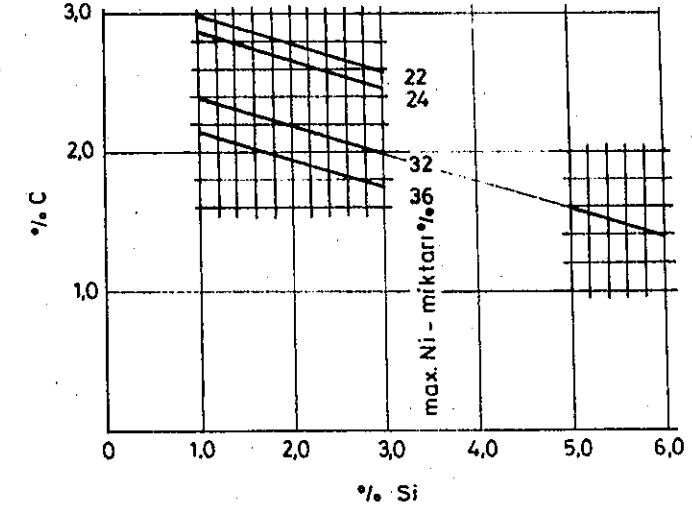
4.10. Vermicular (Compacted) grafitli dökme demir:

KGDD'le iştilal edenler için Resim 62 de gösterilen kompakt grafit yeni bir şey değildir. Zaman zaman küreselleştirme işleminin bazı nedenlerle yeterli düzeyde olmaması veya yüksek kükürt miktarları sonucu bu tip grafitler oluşur.

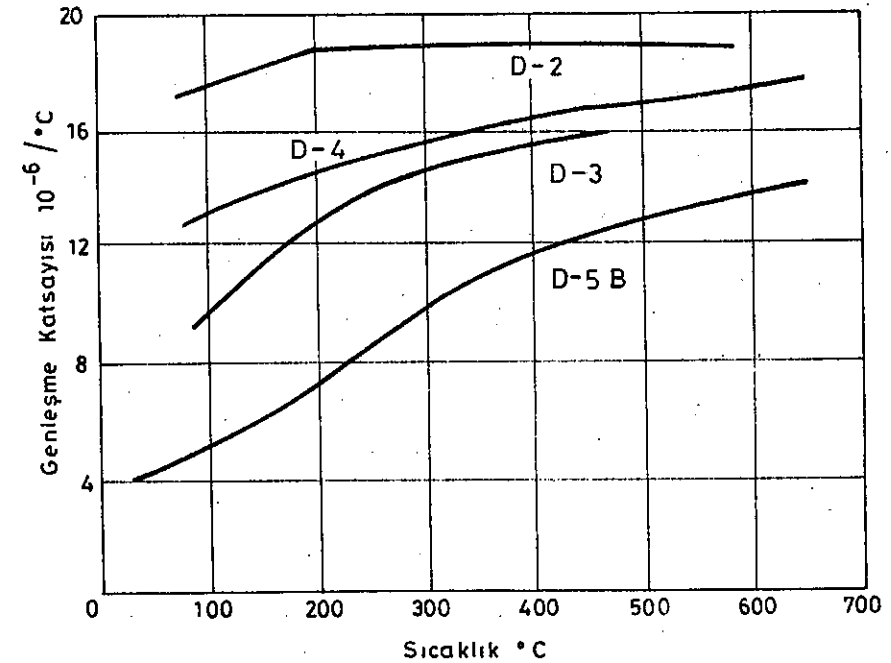
Metalurjik yönden hatalı bir doku olarak değerlendirilmesine karşılık, kompakt grafitli dökme demir kendine özgü bazı elverişli özelliklere sahiptir. Lamel grafitli gri döküm'e üstünlüğü, yüksek mukavemet değerlerinde bile, azda olsa, belirli bir uzama değerine sahiptir.

Sönüm kabiliyeti, ısı geçirgenliği ve işlenebilinmesi gibi özellikleri ise pek farklı değildir.

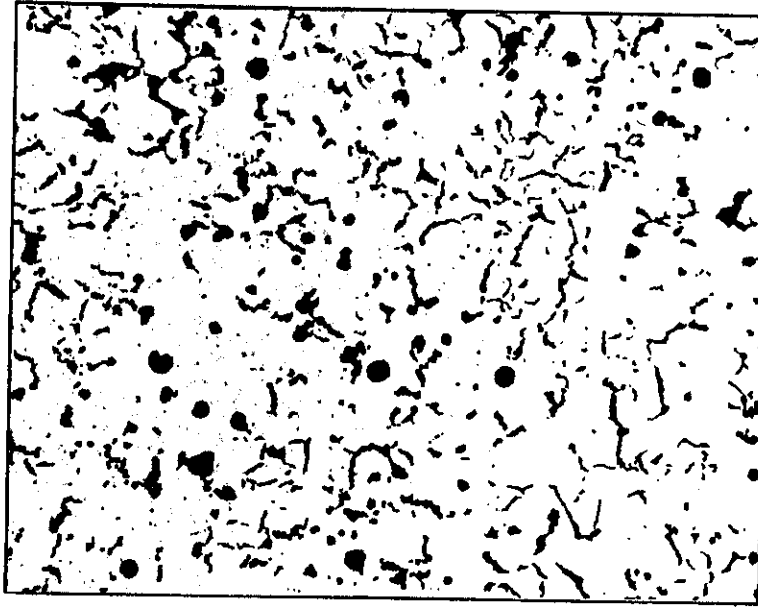
Son yıllarda kompakt (Vermicular) grafitli dökme demir üzerine sayısız araştırma yapılmış ve emniyetli bir üretim yöntemi şartları belirlenmiştir. Bu çalışmalara bir örnek, % 5 lik FeSiMg alaşımının % 7 Ti ve % 0.5 Cer ile eriyiğe % 1-1.3 miktarında verilmesi sonucu Mg-miktarı % 0.015-0.03, Ti-miktarı % 0.06-0.13 olan kompakt grafitli dökme demir üretimini verebiliriz.



Resim 60 50 mm'nin üzerindeki östenitik KGDD parçalarda C ve Si miktarlarının Ni miktarına bağlı olarak değişimi.



Resim 61 Küresel grafitli östenitik dökme demirlerin ısı genleşme katsayılarının sıcaklığa bağlı olarak değişimi.



Resim 62 .Vermicular grafitli dökme demir⁶³

(Inmold yöntemi, Prosiloy 16)

Analiz: Karbon % 3.6, Silisyum %2, Kükürt %0.01 max

Mangan % 0.5 max, Bakır % 0.8, Magnezyum

% 0.01, Titanyum % 0.04

Çekme dayanımı 520 N/mm², Akma sınırı

340 N/mm², Uzama % 2.

Cer ihtiva eden FeSiMg ile bu alaşımın kullanılmasında parça kalınlığına bağlı olarak elde edilen grafit oluşum şekilleri Resim 63 de gösterilmiştir.

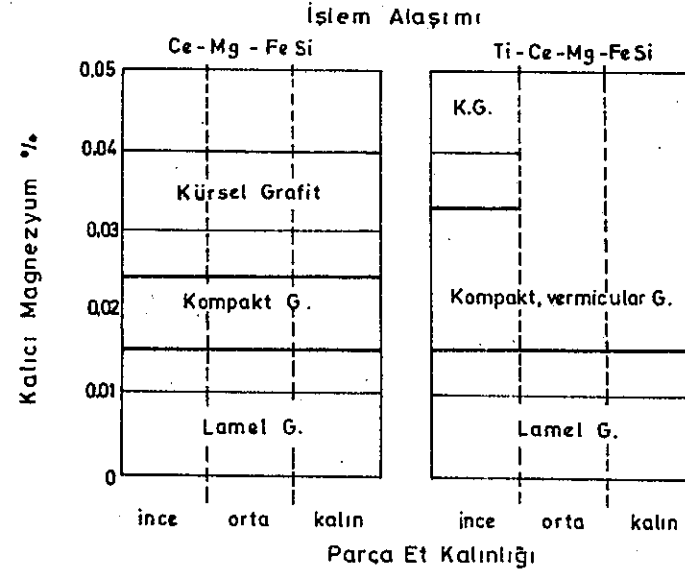
Kompakt grafitli dökme demir'in üretilmesinde diğer önemli unsurlar, fosfor miktarının düşük olması, eriyik kükürt miktarının % 0.03 ± 0.015 arasında kalmasıdır.

Genel olarak vermicular grafitli dökme demir üretimindeki yöntem tekniklerini şöyle sıralayabiliriz:

1. Uzun süreden beri uygulanan yöntemde, düşük kükürt miktarına sahip eriyiğe, bu miktara bağlı olarak ceriyum miş-metalinin ilavesi ile vermicular grafitli dökme demir üretimi sağlanmaktadır. Ancak miş-metal ağırlığının kükürt miktarına bağlı olarak çok kontrollü bir şekilde tesbiti gerekmektedir.
2. Magnezyumla yapılan küreselleştirme işleminin yeterli sınırdan uygulanmaması sonucunda üretim imkanı doğmakta, fakat kalıcı magnezyum miktarının yine çok doğru bir şekilde önceden tesbiti gerekmektedir. Aksi takdirde şarj lamel veya küresel grafitli olabilir.
3. Eriyik titanyum miktarı % 0.15 ise geniş bir kalıcı magnezyum miktarı sınırı içinde vermicular grafitli dökme demir üretimi mümkündür. Bu yöntemde FeSiMg alaşımı titanyum ve seriyum ihtiva eder. (Resim 63)
4. Yüksek kalsiyum miktarlarında ender toprak alkali ve magnezyumlu alaşımların kullanılması halinde yine vermicular grafitli dökme demir üretimi sağlanır. Kullanılacak alaşım miktarının kükürt miktarına oranı belli bir değerdir.

Firmalar değişik isimler altında bu yukarıda verilen yöntemlerde kullanılan alaşımları üretmektedirler. Örneğin, Fosco'nun Vermicaloy-622 alaşımı ile, kalıcı magnezyum/kalıcı kükürt miktarı oranı 2/1-1/1 arasında olmak şartı ile eriyik kükürt miktarı % 0.025 e kadar açık pota veya Inmold yönteminin uygulanması ile üretim yapılmaktadır. 1500°C işlem sıcaklığında eriyik kükürt miktarı % 0.015 ise, Vermicaloy ilavesi, Inmold yönteminde % 0.6, açık potada ise % 0.8 dir. Kükürt miktarı alt sınırı % 0.005 olarak verilmektedir.

Materials Methods'un Prosiloy 16 alaşımı ile kükürt miktarı azami % 0.015 ise kullanılacak alaşım miktarı % 0.5 dir. Kalıcı magnezyum miktarı % 0.008-0.015 arasındadır.⁶³



Resim 63 Kalıcı magnezyum miktarı, parça kalınlığı ve kullanılan FeSiMg-Alaşımına bağlı olarak elde edilen grafit tipleri.

4.11. Elementlerin grafit şekline etkileri:

Küreselleşmeyi engelleyen elementlerin etkileri K_1 ile gösterilir-se,

$$K_1 = 4.4 \%Ti + 2 \%As + 2.3\%Sn + 5 \%Sb + 290 \%Pb + 370 \%Bi + 1.6 \% Al$$

$$K_2 = \frac{\text{Kalıcı magnezyum \%}}{K_1}$$

K_2	1-10	küresel grafit
	10-25	Kompakt,vermicular
	30-40	Lamel ve vermicular ve
	50	Vermicular grafit oluşmaktadır.

Titanyum ve Cer kompakt,vermicular grafit oluşumunu arttırmaktadır Ti,Ce ihtiva eden FeSiMg ile küreselleştirme işlemine tabi tutulmuş durumda,parça kalınlığına bağlı olmaksızın,

Kalıcı magnezyum % 0.015'üzerinde ve

Titanyum % 0.06-0.013 analizlerinde

kompakt,vermicular grafit meydana gelmektedir.

Küreselleştirici malzeme sadece Cer ihtiva ediyorsa,

Kalıcı magnezyum < 0.015 lamel tipi

0.015-0.025 Kompakt ve

0.025'in üzerinde küresel grafit oluşmaktadır.

Antimuan ise % 0.01'e kadar küreselleşmeyi bozmamakta,kalın kesitlerde perlitik ana doku meydana gelmekte,ancak % 0.017'nin üzerinde küreselleşme bozularak,daha yüksek antimuan miktarlarında lamel tipi grafit oluşmaktadır.

4.12. Küresel grafitli dökme demir üretiminde elementlerin ana doku ve diğer özelliklere etkileri³⁹

KGDD üretiminde karbon, silisyum, mangan, fosfor, kükürt gibi ana elementlerin yanında bulunabilen diğer olumsuz etkili elementlerin miktarları ve etkilerinin bilinmesi büyük bir öneme sahiptir.

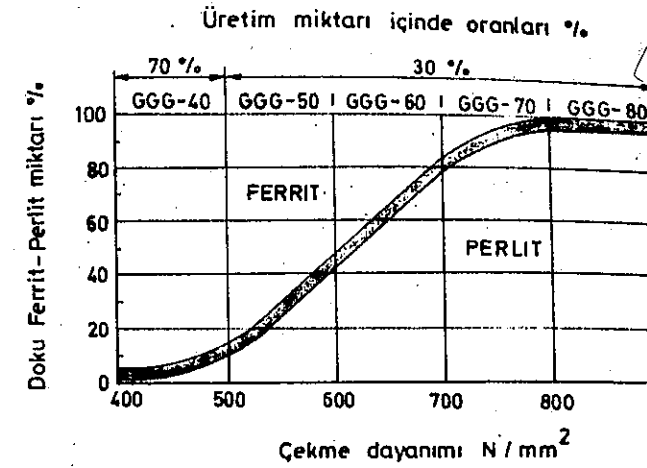
Olumsuz etkili veya zararlı elementler olarak grafitin küreselleşmesini engelleyen elementler tanımlanır. Diğer elementler ise grafit şeklini etkilememekte, ancak ana doku özelliklerini farklı kılmaktadırlar. Bu etkiler arzulanan malzeme özellikleri göz önüne alındığında, olumlu veya olumsuz olabilir.

Döküm durumunda ferritik olan KGDD ler özellikle olumsuz etkili elementleri ihtiva etmemeli veya belirli miktarlarda bünyelerinde bulundurmamalıdır. Bu elementler için analiz sınırlamaları şarjı meydana getiren malzemelerin cins ve miktarları ile ergitme yöntemi göz önünde tutularak yapılmalıdır. Resim 64

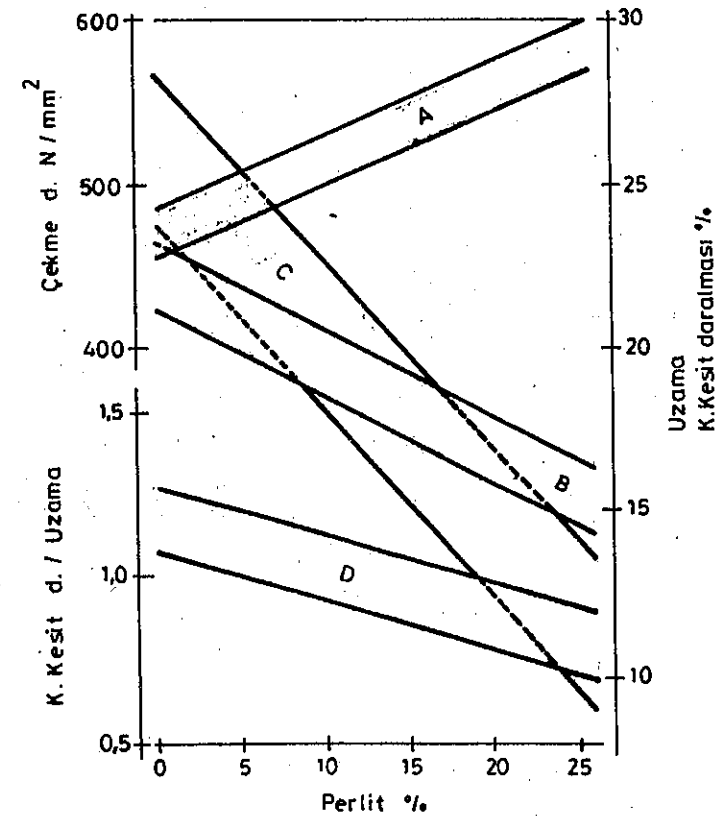
de KGDD kalite sınıflarına bağlı olarak ana doku Ferrit/Perlit miktarını vermektedir. Bazı elementler perlit stabilizatör ve arttırıcı etkiye sahip olduklarından, miktarları belli bir ferrit/perlit oranının mevcudiyetini sağlayacak şekilde seçilmelidir.³⁹

Böylece farklı ana doku özellikleri ile GGG-40 la GGG-80 kalileri arasında kalan tüm KGDD türleri üretilebilir.

% 25 perlit miktarlarına kadar mekanik özelliklerin KGDD lerde nedeni etkilendikleri Resim 65 de verilmiştir. Çekme dayanımı değeri perlit miktarı ile artmakta, süneklilik özelliklerinden uzama değeri olumsuz olarak etkilenmektedir.



Resim 64 KGDD'de Ferrit-Perlit miktarı ve çekme dayanımı.



A Çekme dayanımı N / mm²
B Uzama değeri %
C Kopma kesit daralması %
D = C/B

Resim 65 % 25 Perlit miktarına kadar KGDD'lerde mekanik özellikler.

3000 şarjın değerlendirmesini kapsayan geniş bir çalışma içinde döküm durumunda ferritik olan KGDD,GGG-40, grafit küre sayısının ve ana doku perlit miktarının elementlerle etkilenmesi regresyon eşitlikleri ile verilmiştir.³⁹

- Küre sayısı 319 -8875 % Ti
- 29787 % N
- + 4338 % V
- 4860 % Sb
- 2740 % Mn
- +2532 % P
- 3278 % Cr
- + 117 % C
- + 850 % Ni ve
- Perlit miktarı(Şilif yüzeyinin % si)
- 2.45 + 768 % Sn
- 5.2 % Si
- +106 % Mg
- 142 % Co
- +138 % Cr
- +549 % N
- +101 % Al
- +51.6 % P

Grafit şeklini ve ana doku özelliklerini etkileşim durumlarına göre elementlerin etkileri Çizelge 18 de gösterilmiştir.

Element	Azami miktarı %	Etkisi
Al	0.015	Gaz boşlukları, pinholes
Sb	0.002	Grafit şekil bozukluğu
As	0.02	Perlit stabilitesi
Pb	0.002	Grafit şekil bozukluğu
B	0.002	Karbür oluşumu, stabilitesi
Cr	0.05	Karbür oluşumu, stabilitesi
Cu	1.50	Perlit stabilitesi % 0.3'ün üzerinde
Mo	0.05	Karbür oluşumu, stabilitesi
Ni	3.00	Perlit stabilitesi
Se	0.03	Grafit şekil bozukluğu
Te	0.02	Grafit şekil bozukluğu
Ti	0.07	Grafit şekil bozukluğu
V	0.02	Perlit stabilitesi
Bi	0.002	Grafit şekil bozukluğu
Sn	0.02	Perlit stabilitesi % 0.02'nin üzerinde

Çizelge 18 .Elementler, azami miktarları ve etkileri •

Elementlerin doku ve diğer özelliklere etkileri aşağıda verilmiştir:

Aluminyum

Aluminyum yüksek magnezyum miktarlarında grafit şeklini bozucu etkiye sahiptir. Bunun yanında bilindiği gibi pinholes gaz hatalarının nedeni olmaktadır.

Antimuan

Perliti stabilleştirici etkisi vardır. Diğer olumsuz etkili elementlerin mevcut olması halinde grafit şekil bozukluklarına neden olur. Grafit küre sayısı azalır.

Arsen

Perliti stabilleştirici etkiye sahiptir. Ana doku özellikleri ve küreselleşme arsenin mevcudiyetinde olumsuz etkilenir.

Kurşun

En büyük olumsuz etkiye sahip bir elementtir. Çok cuzzi miktarlarda bile (1/100000) grafit şekli bozulur. Ferrit miktarı kuvvetli şekilde düşer ve karbür miktarı artar. Diğer olumsuz etkili elementlerin miktarları ne kadar fazla ise kurşun'un neden olduğu kötü özelliklerde o derece artar, kuvvetlenir. Bu nedenle kesinlikle, KGDD üretiminde kurşun'un herhangi bir şekilde eriyiğe alınmasına engel olunmalıdır. Az miktarda olsa kurşun ihtiva eden gri döküm malzemesi tekrar kullanılmalıdır.

Bor

Çok az miktarlarda bile kuvvetli karbür yapıcı etkisi olan bir element olup, çelik hurdadan gelir. Bor miktarının % 0.002' nin altında kalması halinde bile tane sınırı karbürlerin oluştuğu gözlenmiştir. Bu karbürler ısıl işlemle zor çözünürler. Bunun yanında grafit şeklide olumsuz etkilenir. Bor KGDD lerin üretiminde mevcut olmaması gereken bir elementtir.

Krom

Kuvvetli karbür yapıcı, perliti stabilleştirici ve küre sayısını azaltıcı etkiye sahiptir.

Bakır

Kalay kadar olmasa bile perliti stabilleştirici etkisi vardır. Grafit şekli bakır elementi tarafından etkilenmez.

Magnezyum

Kükürt ve oksijenin eriyikten bertaraf edilmesi için kullanılan bir elementtir. Böylece eriyik katılaşmaya kadar geçen süre içinde tekrar oksidasyon ve kükürt alımına karşı korunmuş olur. İhtiyaç duyulan miktarın üzerindeki kalıcı magnezyum miktarı grafit şekil bozukluklarına neden olur, küre sayısını azaltır, sementit ve perlit oluşumunu sağlar.

Mangan

Perliti stabilleştiricidir. Döküm durumunda ferritik KGDD lerde mangan miktarı mümkün mertebe % 0.3'ü geçmemelidir.

Molibden

Karbür oluşumunu azda olsa kuvvetlendirir. Sıcak mukavemeti arttırıcı etkisi vardır.

Fosfor

Yüksek miktarlarda ternier ötektikum meydana gelir ve tane sınırlarında biriken bu ötektikum nedeni ile süneklilik özellikleri, çentik darbe dayanımı, geçiş sıcaklığı olumsuz olarak etkilenir. Fosfor miktarı % 0.06 civarında süneklilik özelliklerinin kuvvetli olarak olumsuz etkilendiği görülür. (Resim 66, 67, 68) Bu nedenlerle fosfor miktarının % 0.05'in altında mümkün mertebe % 0.035 olmasına gayret gösterilmelidir.

Oksijen

Küreselleşmeyi engelleyen bir elementtir. Eriyik oksijen miktarı 50-100 ppm arasında olup, küreselleştirme işlemi sonu 5-15 ppm değerine düşer.

Kükürt

Mümkün mertebe çok düşük miktarlarda olması gerekir. Kükürt miktarı arttıkça, küreselleşme işlemi için gerekli magnezyum miktarı fazlalaşır. Bunun sonucu MgS-inkluzyonları ve kalıcı magnezyum miktarının fazla olmasının neden olduğu diğer elverişsizlikler. İdeal kükürt miktarı % 0.01-0.02 olmalıdır. Bu şartlarda çekme dayanımı ve akma sınırı değerleri yüksektir. Küre sayısı daha fazladır.

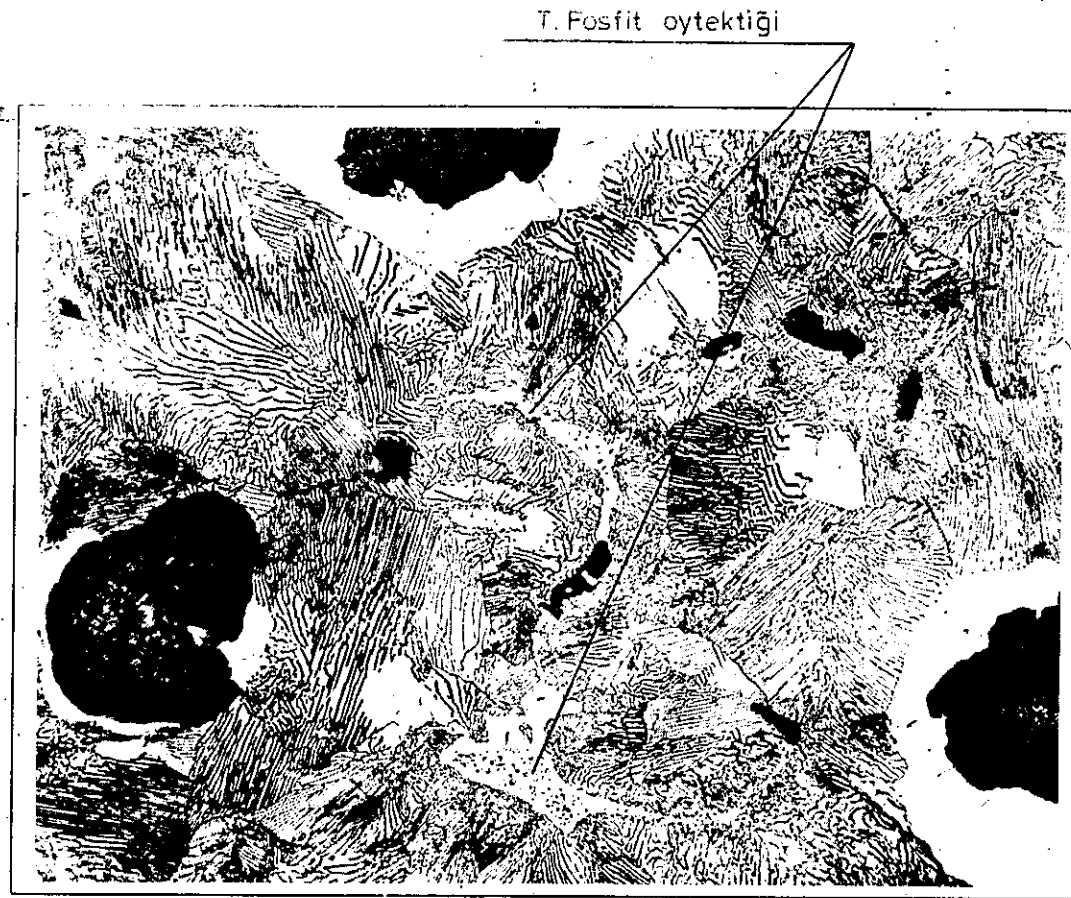
Kalıp içi küreselleştirme işleminin uygulanması halinde eriyik kükürt miktarı % 0.01 olmalıdır.

Azot

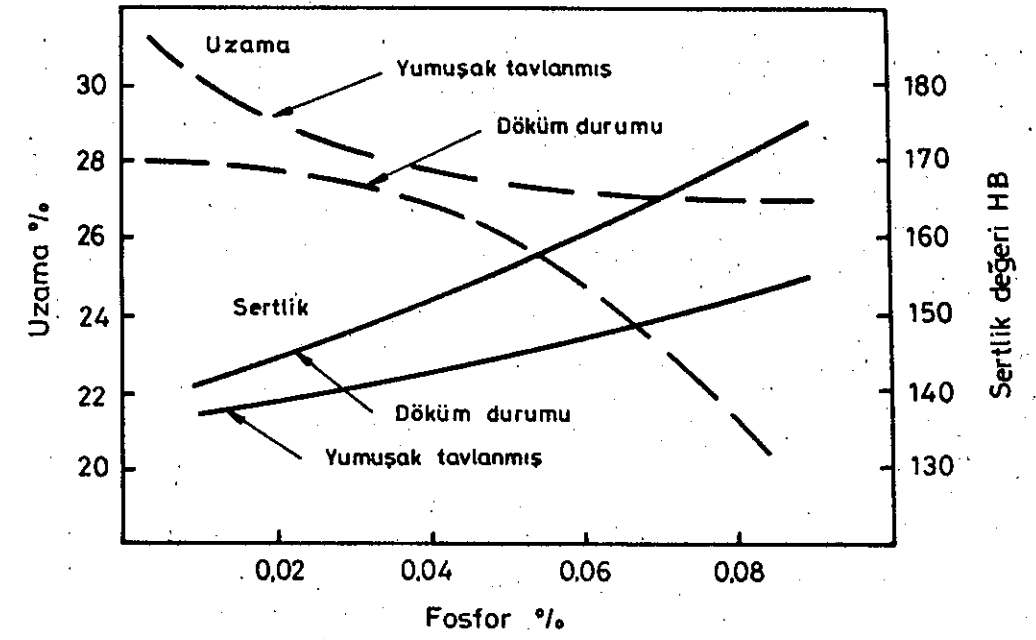
Kuvvetli perlit yapıcı etkisi vardır ve küre sayısını azaltır.

Titanyum ve vanadyum

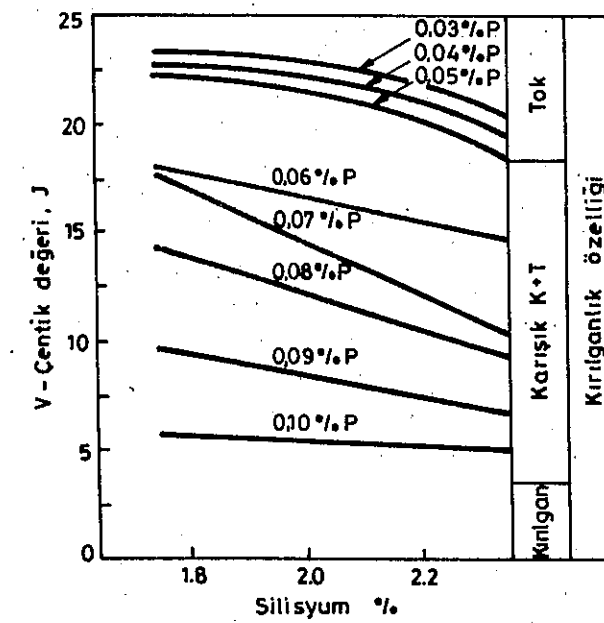
İki elementte karbür yapıcı özelliğe sahip olmalarına rağmen, % 0.02 miktarına kadar kullanılmaları veya eriyikte mevcut olmaları halinde azot'u bağladıklarında olumlu bir etki gösterirler. Silisyum miktarının bu durumda % 0.35 arttırılması gerekir.



Resim 66 .Tane sınırlarındaki fosfit ötekiği



Resim 67 . Ferritik KGDD de Fosfor miktarının sertlik ve uzama değerine etkisi



Resim 68 . Ferritik KGDD'lerde Fosfor miktarının süneklilik (kırılganlık) özelliklerine etkisi

5.KGDD'in ergitme yöntemleri⁶⁴ve şarj malzemeleri, Dökme demir ve çelik üretiminde uygulanan her türlü ergitme yöntemi KGDD üretiminde kullanılır.

Bir dökümhanenin planlanmasında,her hangi bir yöntemin uygunluğunun tesbiti yapılırken şu faktörler göz önüne alınmalıdır:

- 1.Dökümhanenin üretim hedefi
 - 1.1.Günlük toplam üretimi
 - 2.Üretilecek KGDD türü (ferritik,perlitik)
- 2.1.Parça ağırlığı,et kalınlığı,
- 2.2.Parça analizleri
- 3.Dökümhanenin günde kaç vardiya çalışacağı,sıvı metalin sürekli istenip,istenmeyeceği,
- 4.Dökümhanenin kalite kontrol imkanları,
- 5.KGDD dışında diğer malzemelerin dökülüp,dökülmeyeceği
- 6.Ham maddelerin,cins,büyükük,özellikleri
- 7.Yakıt ve enerji kaynaklarının tercihli olarak ucuzluğu
- 8.Dökümhanede çalışanların bilgi,beceri ve tecrübe yönünden yatkınlıkları,
- 9.Ana para ve işleme sermayesi,

KGDD'in üretiminde,

- 1.Kupol ocakları
- 2.Elektrik ark ocakları
- 3.İndüksiyon ocakları ve
- 4.Sıvı ve gaz yakıtlı döner ocaklar kullanılabilir.

İlk 3 yöntemin ekonomik ve metalurjik karşılaştırması genel olarak Çizelge 19 da verilmiştir.⁶⁴

5.1.Kupol ocaklarında 65,66,67,68,69

Kupol ocakları,kullanılan astar malzemesi cinsi ve dolaylı olarak çalışılan curuf analizi göz önüne alınarak 2 ana grupta incelenir,

- 1.Asidik kupol ocakları
- 2.Bazik kupol ocakları

Çizelge 19 .Yöntemlerin karşılaştırılması

DEMİR DÖKÜM ÜRETİMİNDE ERGİTME YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI :

Özellik	Kupol ocağı	Elektrik arkocağı	İndüksiyon ocağı
Almanyada üretim % (GG)	≈ % 60 (% 25 soğuk hava - % 35 sıcak havalı)	< % 3	% 25 - 30
Malzeme yönünden üretim sınırı-lığı	Karbon miktarı % 2.5 - 2.8 in altında GG - kaliteleri üretimi imkansız. Asidik astarlı çalışmada yüksek karbon miktarları % 3.5 üzerinde - yüksek pik ve kok şarj ile mümkün. Astarsız bazik çalışma yüksek C - miktarlarını mümkün kılmakta, ancak Si-kayıpları artmaktadır.	Yüksek C-ve Si-miktarlı alaşımlarda karbonlaşırma hızı görece olarak düşük. Bu nedenle vezin (şarj) teşkilinde titizlik gösterilmesi şart.	Her türlü malzeme
Kullanılır kalite bölgesi	GG 15 - 20 (S _c = 1)	Çelik ve GGG (Gri döküm)	Her türlü metal alaşımları
Hava kirliliği	Kötü	Orta	İyi
Baca gazı miktarı	750 - 1000 m ³ /1	200 - 400 m ³ /t	Hava kirlenmesini önleyici tesis gerektirmez.
Toz miktarı	2 - 25 g/m ³ . Baca gazı 5 - 20 kg/t	2.5 - 8 kg/t	0.2 - 0.4 kg/t
Gürültü etkisi	80 dB (Desibelpege) max.	90 - 120 dB	70 - 80 dB
Elektrik gereksinmesi.	Özel bir istek gereksiz	50 - 80 MVA/t kısıtlı güçü 80 - 100 katı bir giriş bağlantısı gerektirir.	Elektriksel olarak yumuşak işletme (weiche Fahrweise) Özel şartlar gerektirmez
Otomatikleştirme	Sürekli işletme olanığı olmadığından imkansız.	Optimal güç, enerji sarfiyatı otomatikleştirilmiştir.	Çok kolay gerçekleştirilir, yalnız kısmi otomatikleştirme uygulanır.
Yöntemi (Resim 69, 70) (Çizelge 19)	Şaft fırını (dikey), genellikle periyodik işletilen iki fırın. Refrakter asidik.	Hazneli fırın. Büyük Y/H (Yüzey/hacim) oranı, Refrakter genellikle bazik, gri döküm için asidik,	Potalı fırın, Y/H-oranı küçük, Refrakter ince, genellikle asidik, İndüktif ısıtma nedeni ile eriyiğin içeri nüfuz etmesi olasılığı, çatlakların çok tehlikeli olduğunu gösterir.

Özellik

Enerji kaynağı
Enerji geçişi (Resim 71)
Özgül fırın gücü (Çizelge 20)

Güç faydalanımı

Enerji faydalanımı
(Tablo : 1,2)

Enerji kontrolü

Enerji sarfiyatı

Refrakter malz. sarfiyatı

Soğutma suyu sarfiyatı

Banyo hareketi

İşletme rejimi

Üretim gücü (Resim 72.)

Kupol ocağı

Kok yanması, bu nedenle ergitme olayının düzensiz olması olasılığı,

Ters akım prensibi ile yarı gaz - şarj arasındaki ısı alış veriş miktarına bağlı olarak

Başlama periyodunda yüksek yarı kok koku nedeni ile düşük ergitme gücü (t/h)

Faydalanma derecesi: % 30 - 35
Baca gazı kayıpları % 50
Isısal kayıplar % 10 - 15
Curuf kayıpları % 5

kontrolsüz.

% 10 - 18 Kok

25 - 45 kg/t

2 - 4 m³/t

süreklili

Hava ve kok miktarına bağlı olarak değişir :

$$S = \frac{1.35 W}{K.k} \frac{t/s}{100 + \gamma v}$$

$$S = \frac{100}{100 + \gamma v}$$

100 100

Elektrik ark ocağı

Yüksek gerilim hattından trafolar vasıtası ile alınan elektrik enerjisi Elektrik arki

En fazla 100 - 600 kW/t UHP - için, diğer ocaklarda 300 kW/t mertebesinde, cos ϕ = 0.7 Zamana bağlı olarak güç verimi 280 - 300 kW/t UHP. toplam faydalı zaman % 60.

Ocak nominal gücü sadece ergitime periyodunda faydalı olur. daha sonra düşük güçte çalıştırılır, İndüksiyon ocaklarına kıyasla yüksek özgül güce sahip olmalarına rağmen, dökümden - döküme geçen süre 2 saatin altına inemez.

Faydalanma derecesi % 70
Elektrikli kayıplar % 10
Isısal kayıplar % 20
Curuf kayıpları % 3

iyi

540 - 640 kWh/t.

10 - 20 kg/t (GG ve GGG için)

2 - 4 m³/t

orta

kesikli

Ergitme süresi : 390/γE.x (h)

390 eriyiğim 1500°C deki ısı değeri kW/t,

γE = faydalanma derecesi 0.8 - 0.9

x : özgül fırın gücü kW/t

İndüksiyon ocağı

Ark ocağında olduğu gibi

İnduktif - Joule dönüşümü

Azami 250 - 330 kW/t, NF (düşük frekanslı ocaklarda) toplam faydalı zaman % 80, zamana bağlı olarak orta lama değeri 255 kW/t.

Yan süreler (yardımcı süreler) ve ocak doldurma derecesine bağlı olarak faydalanma derecesi değişir. % 50 doldurma derecesinde % 90 % 30 "

Faydalanma derecesi % 70
Elektrikli kayıplar % 20
Isısal kayıplar % 10
Curuf kayıpları % 1.5

çok iyi

560 - 660 kWh/t

1 - 3 kg/t GG, 2 - 5 kg/t GGG için

4 - 6 m³/t

iyi

kesikli, yarı süreklili

Ergitme süresi : 390/γE.x (h)

390 eriyiğim 1500°C deki ısı değeri kWh/t

γ = Faydalanma derecesi 0.7

x : özgül fırın gücü kW/t.

Alaşım yapabilmek

3.1. Şarj malzemeleri

Kimyasal analiz (Resim 73)

Sınırlamalar

Fiziksel özellikler

Paslı hurda miktarı

Şarj malzemesi ön ısıtma veya kurutulması

Talaş şarjı

3.3. Ergitme rejimi

Dikey ocak ilkesi nedeniyle iyi değil,

% 30 - 60 devri daim malzeme, ve aşım elementleri,

Genel olarak, çelik hurdasının gri döküm özelliklerine etkisi kuvvetlidir. Çelik hurdası miktarı arttıkça : Porozite, lunker oluşumu, malzeme sertlik değeri artar. Ham demir arttıkça

C ve Si-miktarları sadece kupol ocağında belli sınırlar içinde olmalıdır.

Çelik hurdası miktarı, karbonlaş-tırma imkanı olmadıgından ve ocak işletme rejimini de olumsuz etkilediğinden fazla kullanılmaz (% 8), bu nedenle yüksek ham demir şarjı gereklidir.

Küçük parçalar, aksi takdirde es-kıda kalma meydana gelir

Yüksek paslı hurda miktarı kok kömürü sarfiyatının artmasına neden olur.

Gerekmez

Sadece paketlenmiş halde kullanılabilir

Damlalar halinde ergime, yatak koku üzerine damlalar halinde düşme ve dolayısı ile karbonlaşma, küçürt miktarının artması Daha sonra haznede birikme şeklinde oluşur.

Banyo hareketinin az olması nedeniyle induksiyon ocaklarına göre yavaş

katı veya eriyik halde ham demir,

Genel olarak, çelik hurdasının gri döküm özelliklerine etkisi kuvvetlidir.

Çelik hurdası miktarı arttıkça : Porozite, lunker oluşumu, malzeme sertlik değeri artar.

Ham demir arttıkça

C ve Si-miktarları sadece kupol ocağında belli sınırlar içinde olmalıdır.

Çelik hurdası/Ham demir - oranı sınırlı değildir,

Yüksek miktarlar, artan yanma kayıpları, enerji sarfiyatı ve refrakter malzemesi sarfiyatına neden olurlar

Ekonomik elverişlilikler sağlar

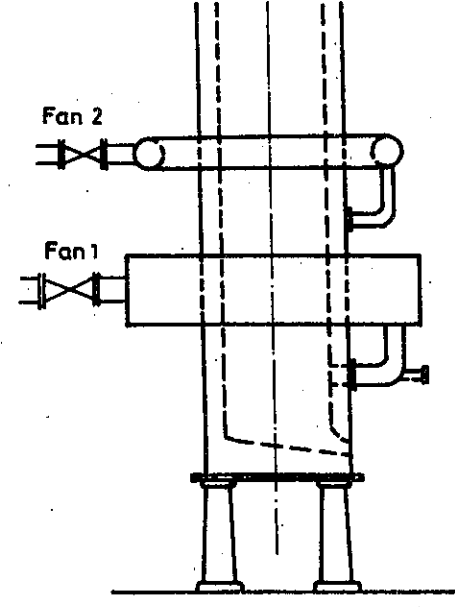
Sınırlı kullanıma imkanı vardır.

Hurda şarjının önceleri elektrot dairesi içinde ergimeye başlaması ve devamı

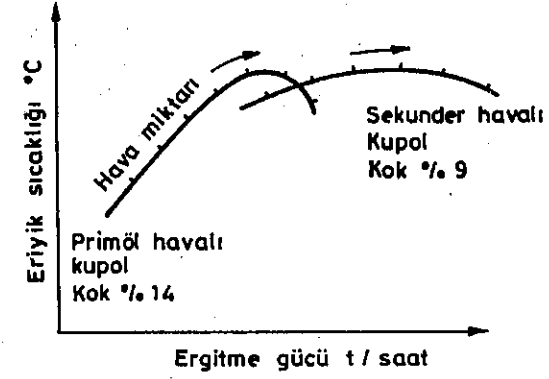
İnduktif banyo hareketi nedeniyle hızlı bir alış veriş.

ham demir hurdası, sünger demir,

Özellik	Kupol ocağı	Elektrik arkocağı	İndüksiyon ocağı
Sıcaklık kontrolü	Çok zor	İyi	Çok iyi, öncelikle banyo hareketi nedeni ile hızlı bir şekilde sağlanır,
Fazla ısıtma (ısıyı artırma)	Kok şarjı nisbetini artırma, Hava ısıtma, Havanın oksijenle zenginleştirilmesi, Karbide miktarı verilmesi, ikincil hava ve HC - Koku ile	Elektriki gücü artırarak	Elektriki gücü artırarak
Grafit oluşumunu sağlamak için optimal ergitme rejimi (Yüksek dayanç düşük sertlik değeri)	a.) Kok şarjı ve hava miktarının optimal tesbiti b.) Kok şarjı %10'dan büyük alınmalı. c.) Çelik hurdası şarjı oranı az olmalı	İyi	Isıtma sıcaklığı 1460 - 1500 °C, BBC'nin bir patentine göre çekirdeklenme şartları optimal kılınarak gerçekleştirilmektedir. Ek katkı maddelerinin etkisi göz önüne alınmalıdır.
Özelliklerin erişilebilinmesi,	Ötektik altı alaşımlarda çok zor, GG 15 - 20 (S _c = 1) kalitelerinde	İyi	İyi (Tablo : 4)
Analizden sapma değerleri Tablo : 3	Genel olarak relatif büyük sapmalar vardır, özellikle başlangıç periyodu esnasında, veya arızaların meydana gelmesi halinde,	İyi	Kolay ve emniyetle erişilir
Alaşım yapma	Kupol ocağı dışında yapılmalıdır,	İyi	Çok iyi, alaşım elementleri şarjla birlikte veya şarjın erimesinden sonra verilebilir.
Analiz doğrulama	Kupol ocağı dışında başka bir ocakta yapılabilir,	Ocakta doğrulama mümkündür, yalnız, banyo hareketinin elverişsiz olması nedeni ile uzun zaman alır.	Doğrulama kolay ve hızlı bir şekilde yapılabilir, Sünger demir şarjı da yapılabilir,



Resim 69 Sekunder havalı Kupol ocağı (şematik)



Resim 70 Sekunder havalı Kupol ocaklarında aynı eriyik sıcaklığı daha az bir kok kömürü şarjı ile sağlanır. Ergitme gücünde artar.

Çizelge 20 . Kupol ocakları teknik değerleri.

Ocak iç çapı mm	Kesit m ²	Ergitme t/saat	Hava Basıncı mm SS	Hava miktarı Nm ³ /dak	Şarj ağırlığı Kok K. hariç kg.
500	0,196	1,8 - 2,0	400-600	21 - 26	180 - 200
700	0,283	3,5 - 4,0		42 - 50	350 - 400
900	0,636	5,7 - 6,5	500-700	70 - 85	550 - 650
1100	0,950	8,5 - 9,5		105 - 125	850 - 950
1300	1,327	12 - 13,5	600-800	145 - 195	1200 - 1300

Ergitme gücü : Hava, Kok şarjı miktarları ve Kok kömürü kalitesine bağlı olup, iyi şartlarda özgül güç 9-10 t/m² x saattir.

Tüyerler : Toplam tüyer kesiti, ocak kesitinin 1/5 - 1/6'sidir.

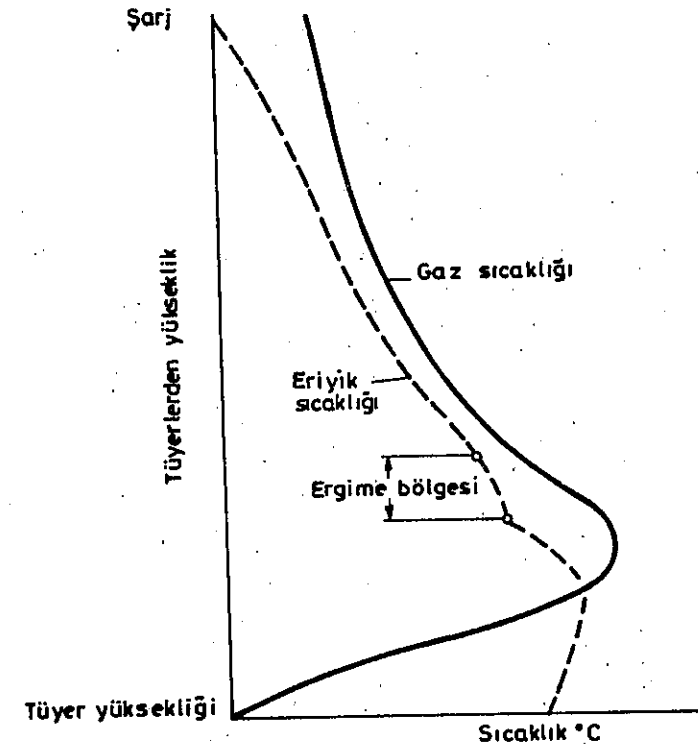
Yatak koku : Yüksekliği ~~azami~~ ocak iç çapı kadar alınmalıdır.

Hava miktarı : Ergitme gücü ve eriyik sıcaklığını belirler. Miktarı mutlaka ölçülmelidir. En yüksek eriyik sıcaklığına erişmek için özgül miktar 110-130 Nm³/m².dak. olmalıdır.

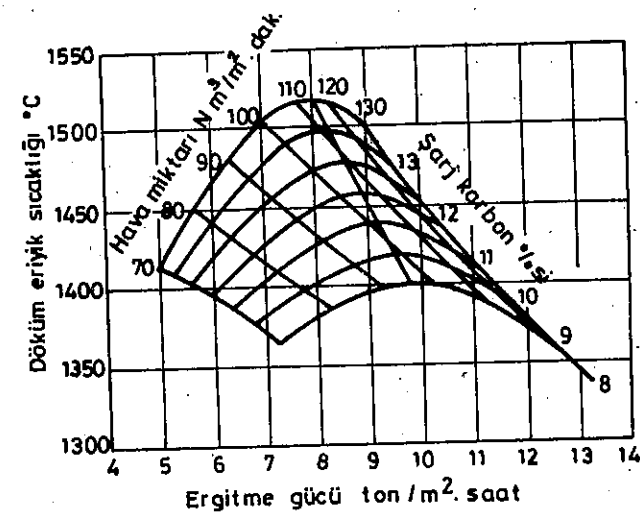
Şarj Koku : Soğuk havalı kupollarda % 11 - 15 , sıcak havalı kupollarda % 9-10 dur.

Giesserei - Kalender 1956 , S. 175 - 86

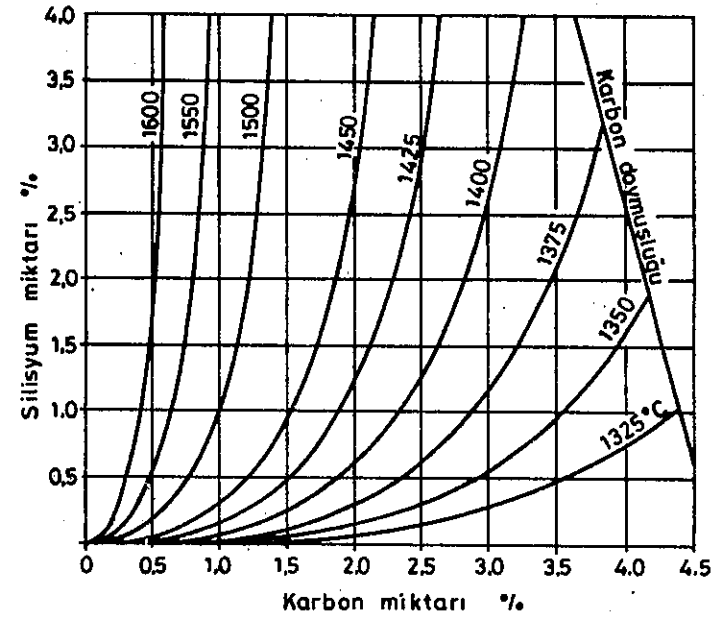
Giesserei - Kalender 1957 , S. 94



Resim 71 . Kupol ocağında sıcaklığın dağılımı.



Resim 72 . Asitik soğuk havalı kupol ocaklarında Eriyik demir sıcaklığı, ergitme gücü, kok kömürü ve hava miktarları arasındaki ilişkiler.



Resim 73 C/Si- izoterm eğrileri (1 atm : 1.013 mbar)

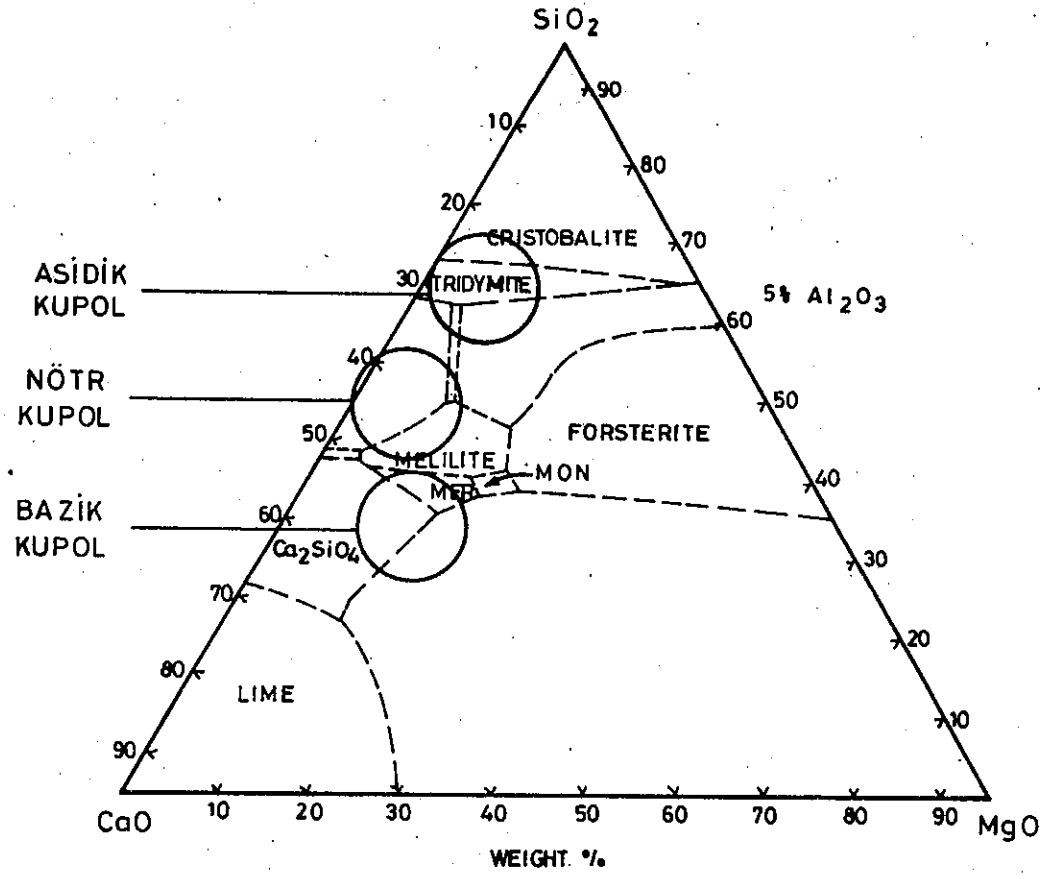
Baziklik derecesi B,

$$B = \frac{\% \text{CaO} + \% \text{MgO}}{\% \text{SiO}_2} \text{ eşitliği ile verilmekte}$$

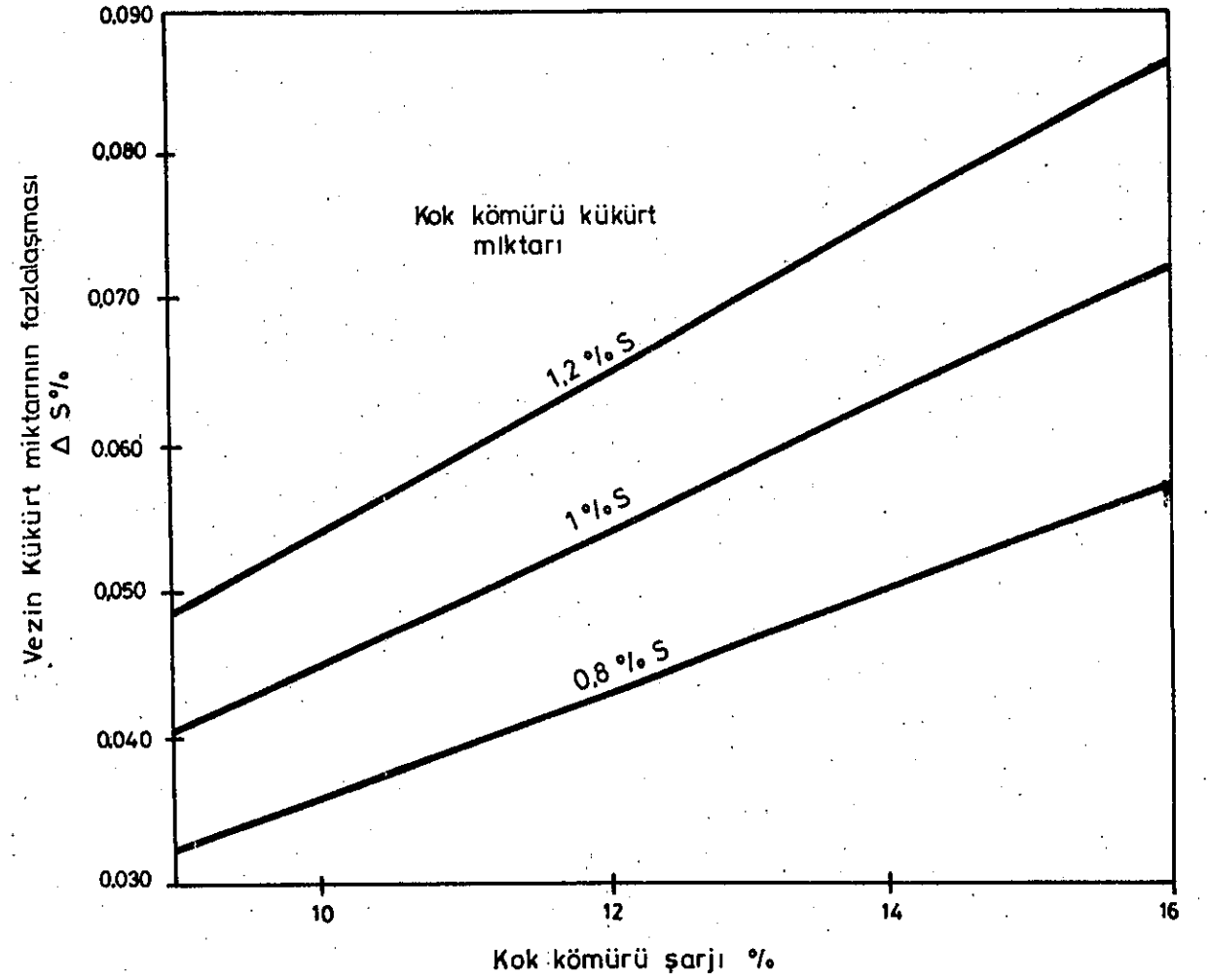
olup, curufu meydana getiren bazik oksitlerin, silisyum dioksite oranıdır. Asitik kupol ocaklarında bu oran 1 civarındadır (Resim 74) Bazik ocaklarda ise baziklik derecesi 2'den fazladır.

Eriyik kükürt miktarının baziklik derecesi azaldıkça arttığı düşünülürse, KGDD üretiminde asitik ocakların elverişsiz yönü ortaya konmuş olur. Resim 75 de kok kömürü kükürt miktarına bağlı olarak vezin kükürt miktarının ne kadar fazlalaşacağı gösterilmiştir. Yine aynı Resimden kok kömürü kükürt miktarının % 0.8 ve şarjının % 10 olması halinde bile eriyik kükürt miktarının % 0.03 artacağı, yani eriyikte % 0.06-0.07 değerlerine erişileceği görülmektedir. Bu şartlarda eriyiğin asitik ocaklardan alınmasından sonra kükürt tasfiyesinin yapılması zorunlu olmaktadır. Ayrıca curuf baziklik derecesine bağlı olarak eriyik karbon miktarı sıcaklıkla artmaktadır (Resim 76,77 / Bu özellik bazik kupol ocaklarında yüksek karbon eşdeğerinde çalışma imkanı olduğunu göstermektedir. Böylece yüksek karbon miktarları grafit yüzmesine neden olduklarından ancak ince et kalınlıklarındaki azami 20 mm, parçaların dökümü imkanı vardır. Silisyum yanma kayıpları baziklik derecesi arttıkça yükselmektedir (Resim 78). Asitik kupol ocaklarında ergitmede kükürtsüzleştirme işlemi beraberinde önemli bir sıcaklık kaybı gerektirdiğinden, 60-80°C, kupol ocaklarından alınan eriyiğin sıcaklığının 1500°C nin üzerinde olması zorunlu olur. Bu şartlar ise ancak, sıcak havalı veya oksijenle zenginleştirilmiş hava ile işletilen asitik kupol ocakları için geçerlidir.

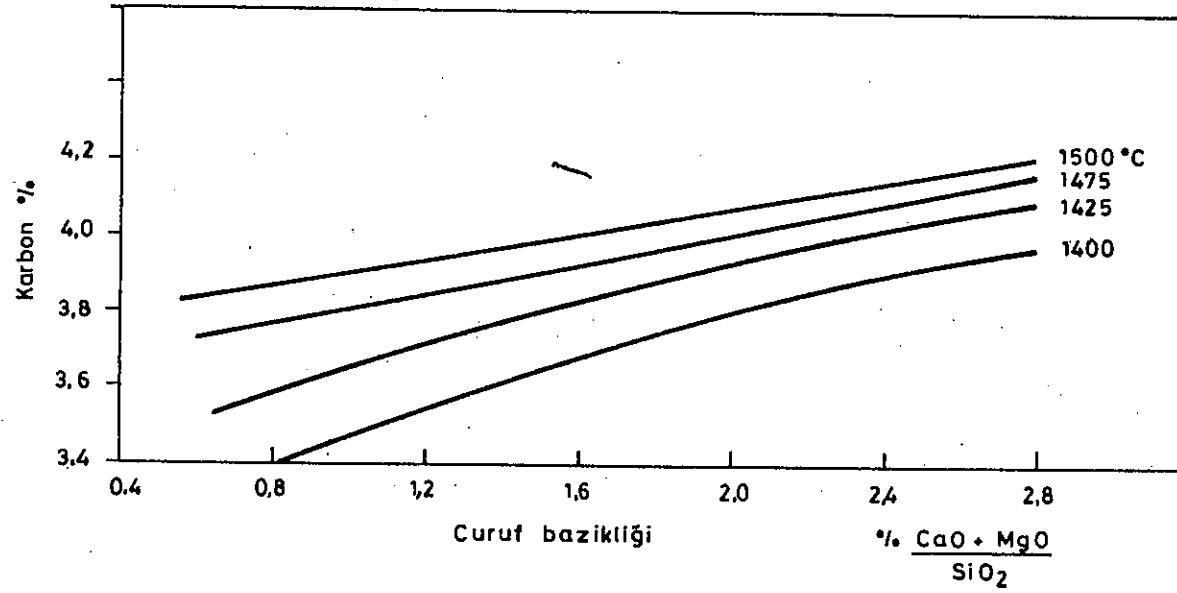
Yukarda verilen bilgiler KGDD'in ergitilmesinde asitik kupol ocaklarında çalışıldığında, bir kükürt giderme işleminin gerektiğini, bazik ocaklarda ergitmede ise ince kalınlıktaki parçaların dökümünün imkanı olduğunu ortaya koymaktadır. İşletme masrafları yönünden asitik kupol ocakları daha ekonomiktir. Bunun nedeni yüksek refrakter maliyeti ve kok kömürü sarfiyatı yanında % 30 civarındaki silisyum yanma kayıplarıdır.



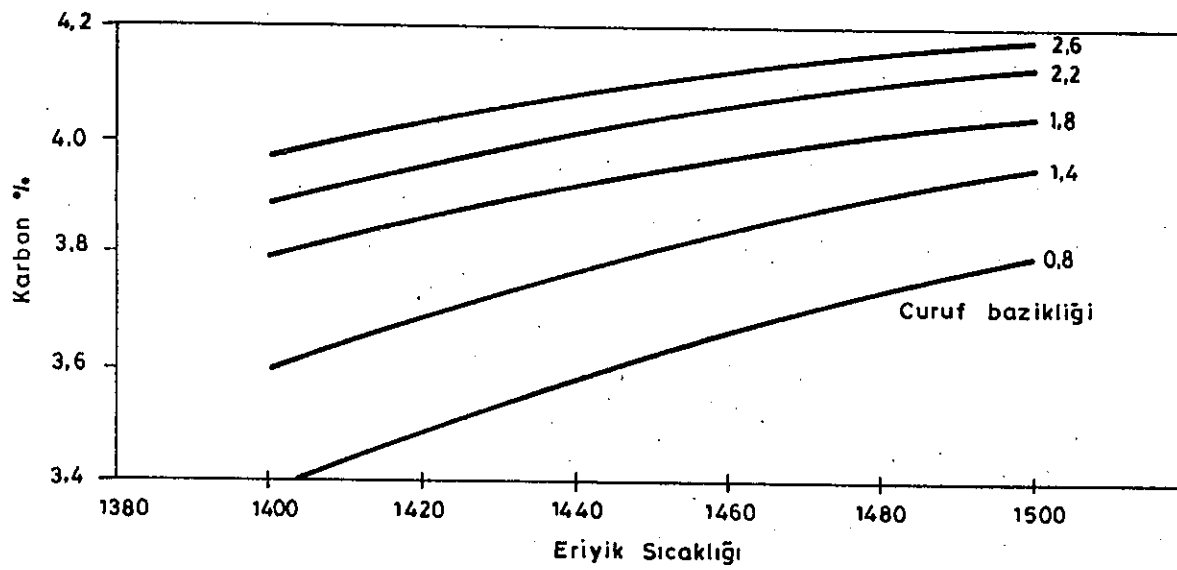
Resim 74 . Tipik kupol ocakları curuf bileşimlerin 3'lü sistemde gösterilişi.



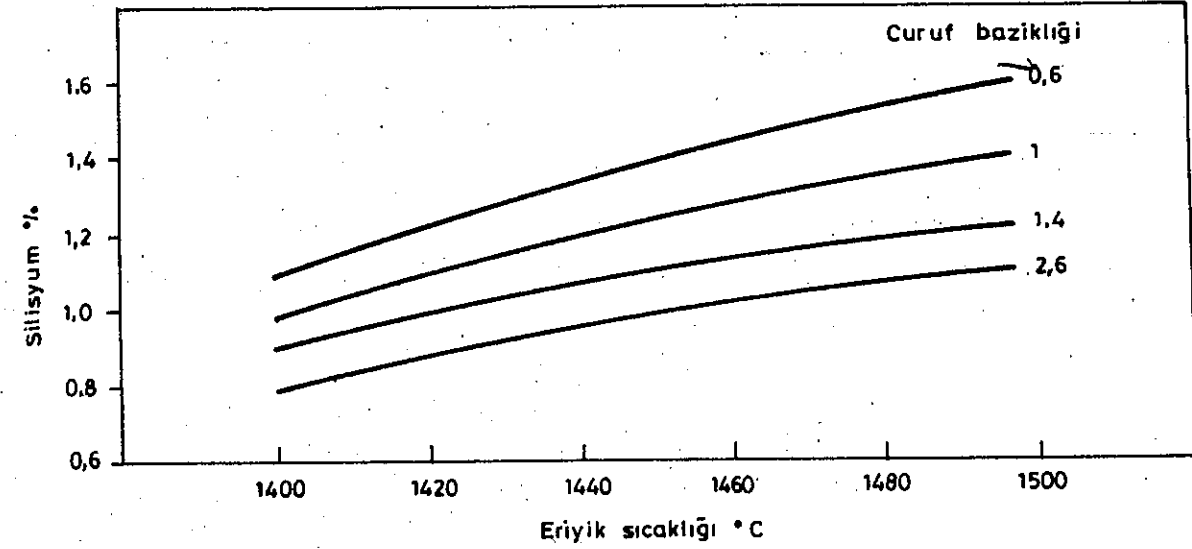
Resim 75 . Asitik Kupol ocaklarında dökme demir'in ergitilmesinde, saptanılan vezin Kükürt miktarının Kok kömürü şarjı %'si ve Kükürt miktarına bağlı olarak artışı.



Resim 76 . Kupol ocaklarında eriyik sıcaklığı ve bazıklık derecesinin Karbon miktarına etkisi.



Resim 77 . Kupol ocaklarında Karbon miktarına eriyik sıcaklığının etkisi.



Resim 78 . Kupol ocaklarında silisyum miktarına farklı curuf bazıklığında eriyik sıcaklığının etkisi.

5.2. Elektrik ark ocaklarında ergitme,⁷⁰

Genel olarak özellikleri Çizelge 19 da verilmiştir. Şarj malzemelerinin büyüklüğünden bağımsız olması ve curuf reaksiyonlarının kuvvetliliği gibi elverişlilikleri yanında, yöntemin dezavantajları, karbonlaştırmanın uzun zamana ihtiyaç göstermesi, induksiyon ocaklarına kıyasla hedeflenen analizden yüksek sapma değerleri ile eriyiğin azot ve hidrojen miktarının fazla olmasıdır. Bunun yanında nükle oluşum şartlarında elverişli değildir.

Uygun ergitme yöntemi kombinasyonları,

- Ark ocağı-Nüvesiz induksiyon ocağı veya
- Ark ocağı-Kanallı induksiyon ocağıdır.

5.3. İndüksiyon ocaklarında ergitme: 41,71-75

KGDD'in çok büyük bir kısmı induksiyon ocaklarında üretilir. Bunun nedeni, iyi çalışma koşulları, ekonomik bir üretim ve hedeflenen analiz değerlerinin çok az sapmalarla sağlanmasıdır. Şebeke frekanslı nüvesiz induksiyon ocakları:

Ocak hacmi ile saatlik ergitme gücü arasındaki ilişki, 41

$$G_{min} = 2.5 \times D_{max} \quad \text{dir.}$$

G_{min} asgari ocak hacmi t

D_{max} azami ergitme gücü t/h

Bu eşitlikten istenen ergitme gücü değerinden asgari ocak büyüklüğü saptanılır. Örneğin, bir döküm hattında saatte 100 kalıp dökülmektedir ve eriyik ihtiyacı 15 kg/kalıptır.

Döküm sıcaklığı 1500°C, transport potası büyüklüğü 400 kg dir.

Üretim ergitme gücü $D = 100 \times 15$	1500 kg/h
Pota eriyik ağırlığı	375 kg
Pota sayısı/saat	4
Döküm periyodu	15 dakika
Curuf alma, sıcaklık kontrolü	
döküm	2 dakika
Hakiki ergitme süresi	13 dakika
Azami ergitme gücü $D_{max} (15/13) 1500$	1730 kg/h
Ocak hacmi $G_{min} = 2.5 \times 1.75$	4.4 t
Seçilen ocak hacmi	5 ton

Ocağın elektriki gücü ise,

Faydalı güç = 1.75×365 (t/h)(kWh/t)	640 kW
Isı kayıpları	50 kW
Elektriki kayıplar ve % 5 emniyet payı	
	<hr/> 1000 kW

Bilindiği gibi ergitme gücü ocak frekansı ile artar⁷⁴. Son yıllarda KGDD üretiminde orta frekanslı induksiyon ocaklarında büyük bir öneme sahip olmuşlardır⁷⁵. Bunun nedenleri soğuk şarjla başlama, sık analiz değişimlerine imkan verme ve daha az işletme problemleri olarak gösterilmektedir⁷⁵.

Resim 79 da 1,2 ve 3 vardiya çalışma düzeninde hat, düşük ve orta frekanslı induksiyon ocaklarının ocak kapasitesi ve ergitme enerji sarfiyatları verilmiştir. Hat frekanslı ocaklar mutlaka 3 vardiya çalıştırılmalıdır. Bu şartlarda bile enerji sarfiyatı değerleri yüksektir.

KGDD üretiminde genellikle asitik induksiyon ocaklarında ergitme yapılır. Ergitme işleminde, ocak % 90 doldurulduktan sonra, analiz korrekturu 1400°C civarında yapılmalı ve sonra en yüksek kademe ile döküm sıcaklığına çıkılmalıdır. Dolu ocağın % 60'ı dökülmeli ve akabinde hemen şarj edilerek aynı şartlarda ergitme yapılmalıdır. Böylece çekirdekleşme durumu ideal olan şartlar yaratılmış olunur.

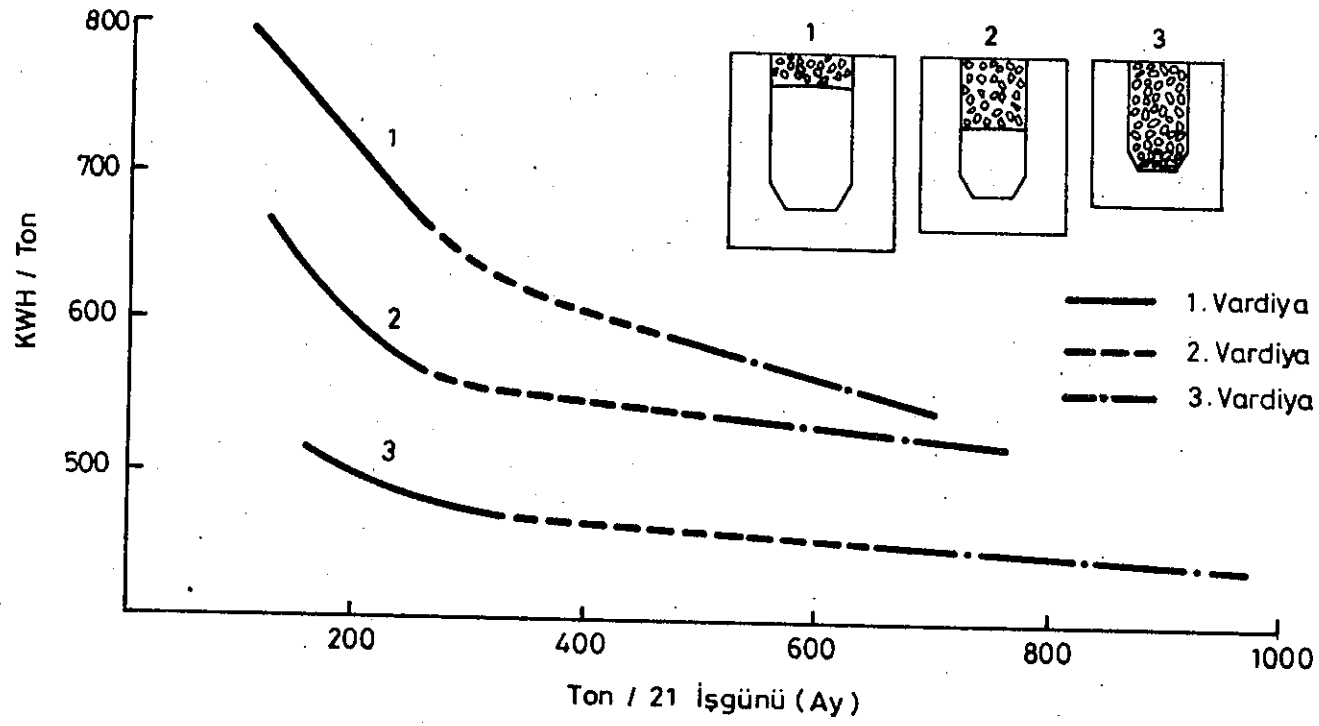
Ocak astarı ömrü, Caspers K.H. ya göre aşağıdaki eşitlikle verilmektedir: 76

$$\text{Astar ömrü (ton eriyik)} = K \times \sqrt[3]{I^2}$$

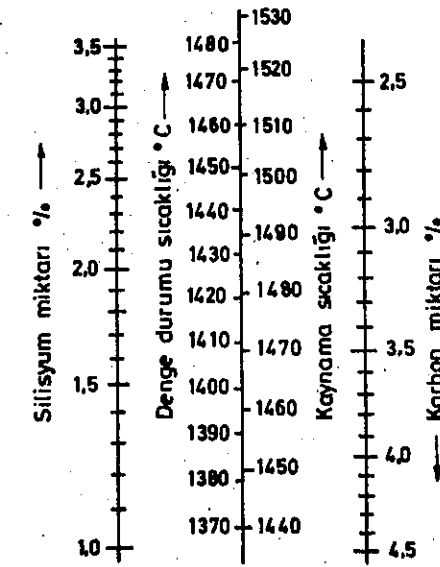
K sabite 2-3

I Ocak kapasitesi kg

Ocak kapasitesi yanında çalışma sıcaklığı astar ömrünü ön planda etkileyen bir faktördür. Karbon ve silisyum miktarlarına bağlı olarak asitik astar ile eriyik karbon miktarı arasındaki reaksiyonunun denge durumu sıcaklığı Resim 80 de gösterilmiştir. Bu sıcaklığın üzerinde reaksiyon hızı sağ tarafa doğru olacak ve eriyik silisyum miktarı artacak, ocak astarı aşınacaktır. Örnek olarak, karbon % 3.7, silisyum % 1.2 ise denge durumu sıcaklığı 1390°C, kaynama başlangıç sıcaklığı ise 1455°C dir. Ergitme tekniğinde temiz bir eriyiğin varolmasının sağlanması için denge durumu sıcaklığının 60-80°C üzerinde dökümün alınması gerekir (Resim 81)³⁹



Resim 79 . 1,5 Ton/saat ergitme gücüne sahip 3 farklı indüksiyon ocağının, Vardiya sayısı gözönüne alınarak, enerji sarfiyatlarının karşılaştırması.
1.) 60 Hz / 1000 KW / 4 tonluk 1.0.
2.) 200 Hz / 1000 KW / 2 tonluk 1.0.
3.) 500 Hz / 1000 KW / 1,5 tonluk 1.0.

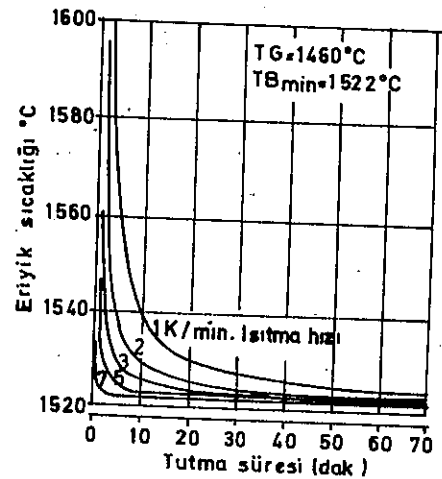
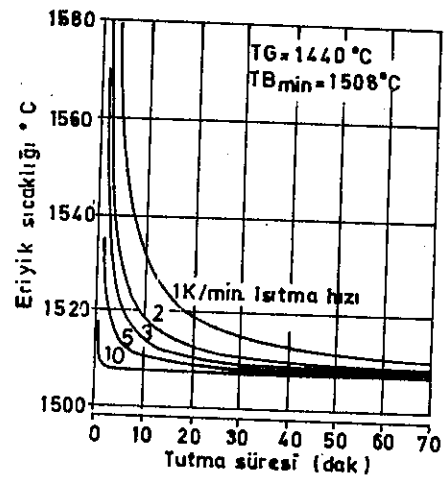
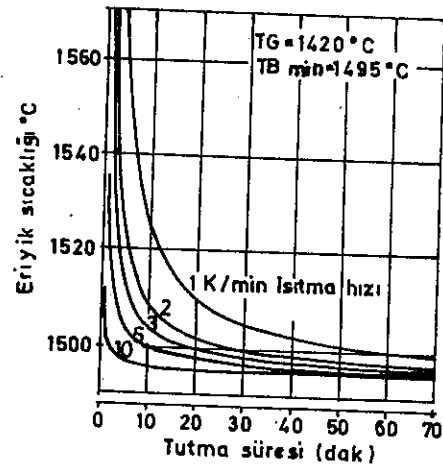
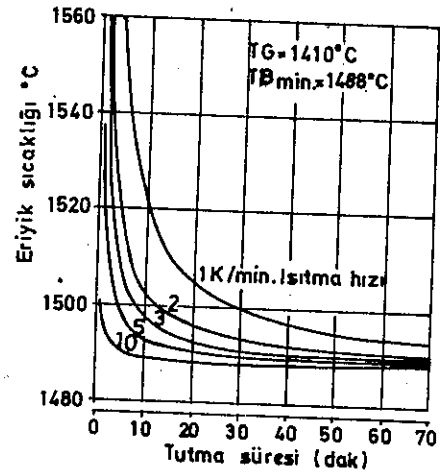
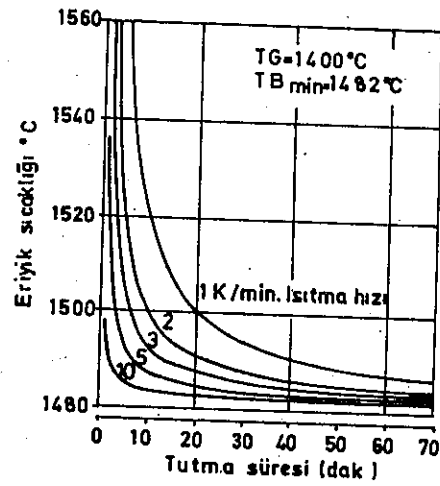
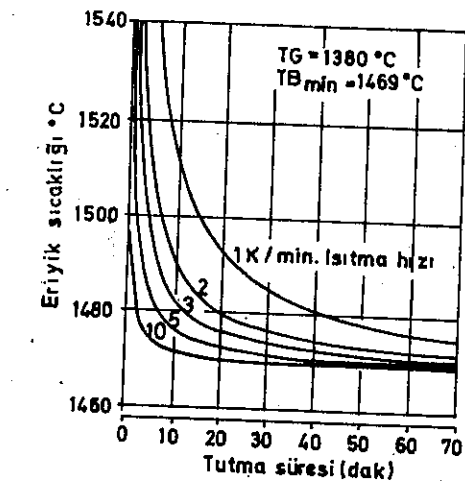


Resim 80 . Karbon ve Silisyum miktarları denge durumu ve kaynama başlangıç sıcaklıklarını belirler. Kaynama sıcaklığının hemen altında Demir kuvvetli bir şekilde oksidasyona uğrar.

$$TK = 0,7866 \times TG + 362 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$TK = \text{Kaynama başlangıç sıcaklığı } ^\circ\text{C}$$

$$TG = \text{Denge durumu sıcaklığı}$$



Resim 81

Temiz bir eriyiğin var olmasının sağlanması için Denge durumu ve ısıtma sıcaklıkları ile önerilen tutma süreleri. (çalışma sıcaklığı ilgili eğrinin biraz üzerinde kalmalıdır.)

5.4.Kanallı ocaklar⁷⁷

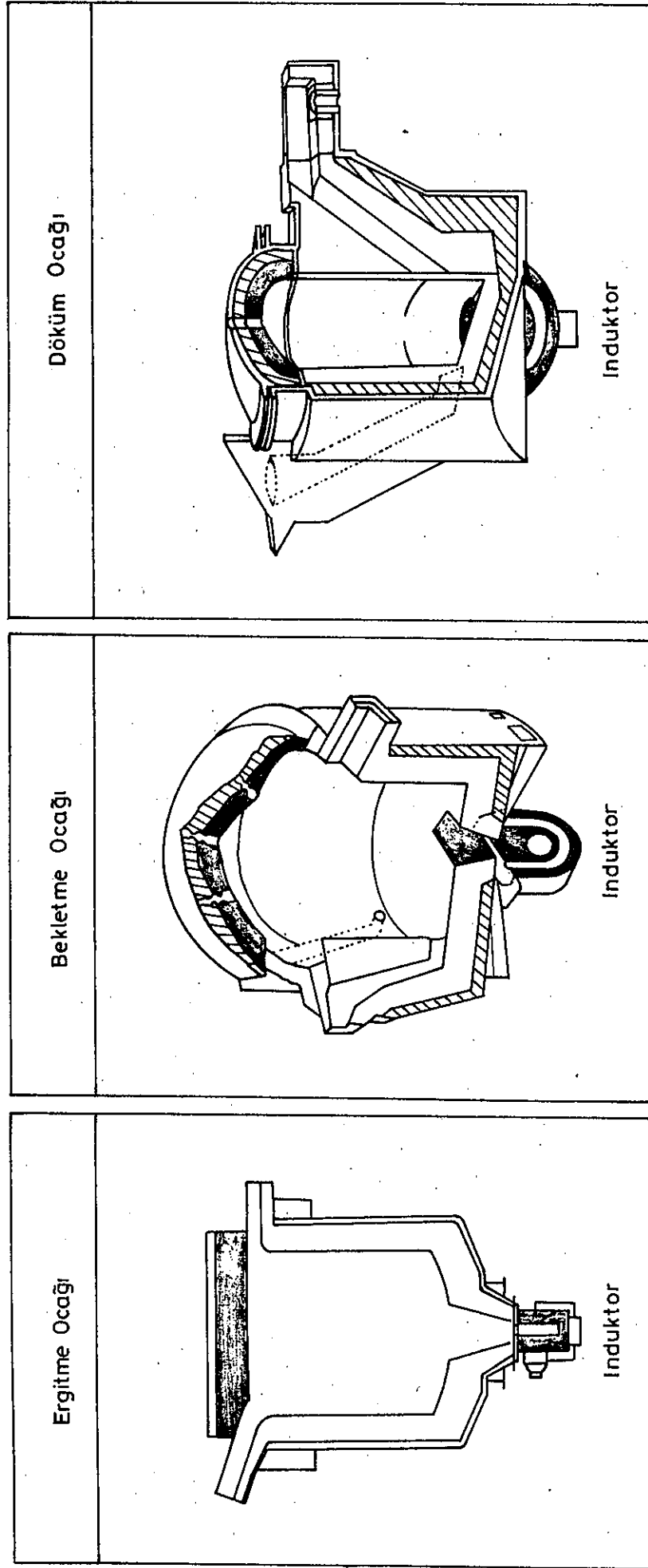
Son yıllarda dökme demir üretiminde kanallı ocakların kullanımını önemli derecede artmıştır.

Resim 82 ergitme, bekletme, ısıtma ve döküm olarak kullanılan kanallı ocakları göstermektedir.⁷⁸

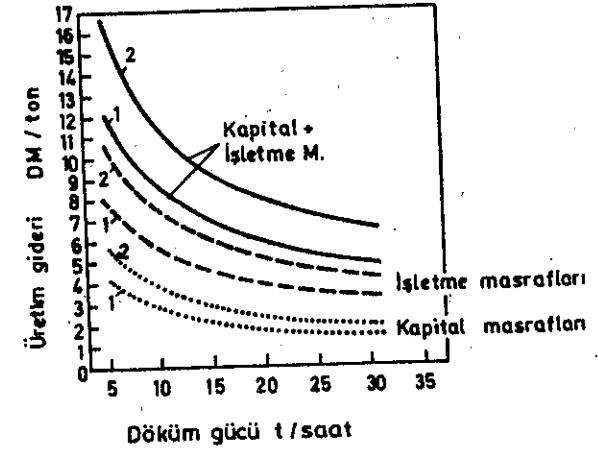
Kanallı ocakların kazandığı bu büyük önemin nedeni, bekletme ve otomatik döküm ocağı olarak kullanılmalarında, analiz sınırlarının çok dar bir bölge içinde sağlanması, döküm sıcaklığının hassasiyeti ve döküm hattına uyumlarıdır. Ocak döküm gücüne bağlı olarak kanallı ocaklar özgül gideri çok düşüktür (Resim 83).

KGDD'lerin kanallı ocaklarda sıcak tutulmaları ve otomatik olarak dökülmelerinde en önemli husus, magnezyumun oksidasyonu yani küreselleşme etkisinin azalması olmaktadır. Bunun engellenmesi asal, koruyucu bir gaz altında çalışmakla temin edilir. Azot gazı altında işletmede magnezyum kaybı % 0.004/saattir (Resim 84). Ayrıca meydana gelen curufun baziklik derecesinde önemli derecede rol oynamaktadır. FeSiMg-alaşım-ları ile yapılan küreselleştirme sonu bekletme ocağına alınan eriyiğin, curuf baziklik derecesinin düşük olması nedeni ile kükürde zenginleştiği bir çok incelemede tesbit edilmiştir. Ocak işletmeciliği yönünden, curufun, ocağın kritik bölgelerinde, yani doldurma ve boşaltma ağız üst kısımlarında ve indüktör ağız çevresinde aşınmalara neden olması, problem yaratabilmektedir. Curufun çok iyi temizlenmesi ve baziklik derecesinin yüksek olması halinde, indüktör değişim süresi 12 ay ocak astarı kullanım süresinde 24 aydır.

Eriyiğin, analizi, sıcaklığı ve temizliği gibi olumlu metalurjik faktörlerin bu ocaklarla sağlanabilmeleri Konverter-Kanallı ocaklar üretim yönteminin bir çok dökümhane tarafından benimsenmesinin nedeni olmaktadır.

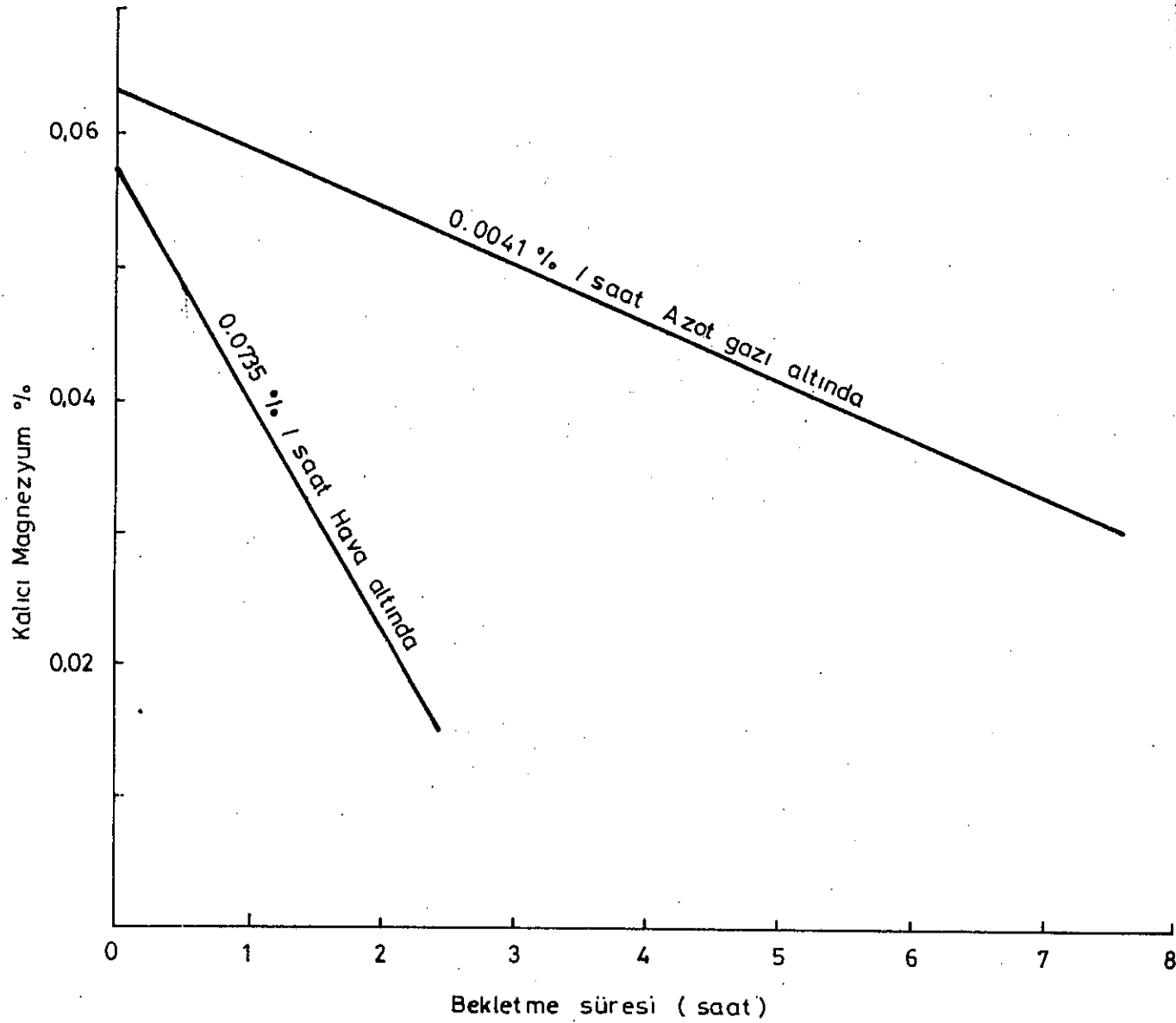


Resim 82 Kanallı İndüksiyon Ocakları ve kullanımı.



1. Bekletme ocağı büyüklüğü
G = 1x saatlik üretim (ton)
2. G = 2x saatlik üretim (ton)

Resim 83 Dökme Demirin sıcak tutulmasında (Bekletme ocağı) özgül gider (2 Vardiya çalışma düzeni ve enerji fiyatı 0,10 DM / KWh alınmıştır.)



Resim 84 Kanallı Indüksiyon ocaklarında Mg - işlemi sonrası KGDD'lerin sıcak tutulmasında Magnezyumun oksidasyonu. (Fading)

5.5. Döner ocaklarda ergitme: ^{79,80,81}

Yatırım, işletme masrafları, hava kirliliği probleminin az oluşu gibi elverişli özelliklere sahip bulunan döner ocaklar küçük dökümhaneler için (2-20 t/gün) en önde gelen bir alternatif olmaktadır. ⁷⁹

Elektrikli ocaklara nazaran yatırım yönünden büyük bir avantaja sahip olmalarına rağmen ergitme maliyetleri maliyetleri biraz fazladır. Buna karşın her türlü gri döküm üretme imkanı bulunmaktadır. Döner ocaklar ergitme ve Dubleks amacı ile kullanılabilirler. Yakıt olarak düşük kükürtlü fuel oil veya doğal gaz ile ergitme yapılabilir.

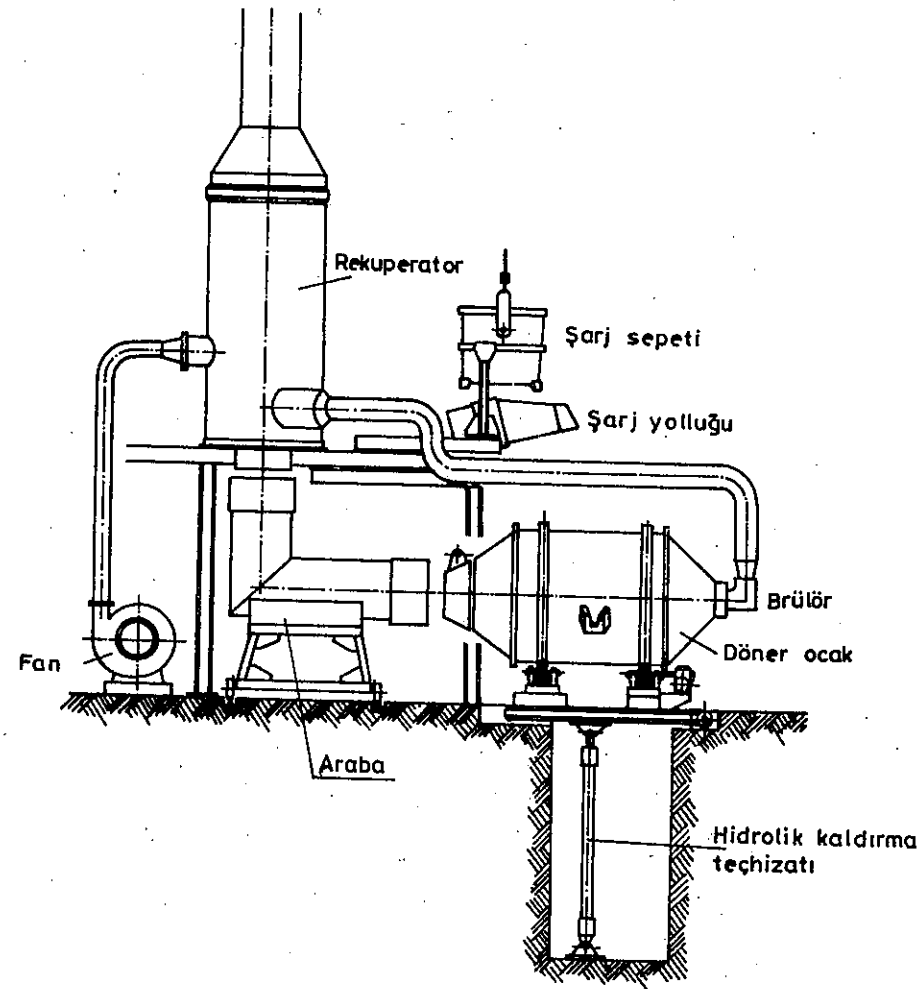
Yakıt olarak fuel oil'ün kullanıldığı bir döner fırın ergitme tesisini Resim 85 göstermektedir. ⁸¹

Ocak refrakter malzemesi kuvarsit dövme harcıdır. Metalik şarjın ocağa verilmesi için döner fırın bir hidrolik silindir yardımı ile 45° yukarıya doğru kaldırılır, şarj yolu üzerinden ve ocağın baca gazı çıkışı tarafından malzemeler ocağa yüklenir. Fuel oil sıcaklığı 120-140°C, hava sıcaklığı ise asgari 250°C dir. Ergitme süresi ocak kapasitesine bağlı olup, 500 kg lık ocakta 50 dakika, 6 tonluk ocakta ise 3 saat civarındadır. (Resim 86) Döküm sıcaklığının artması ile fuel oil sarfiyatı fazlalaşır ve termik faydalanma derecesi düşer (Resim 87). İdeal durumda termik faydalanma derecesi % 30 dur. ⁸¹

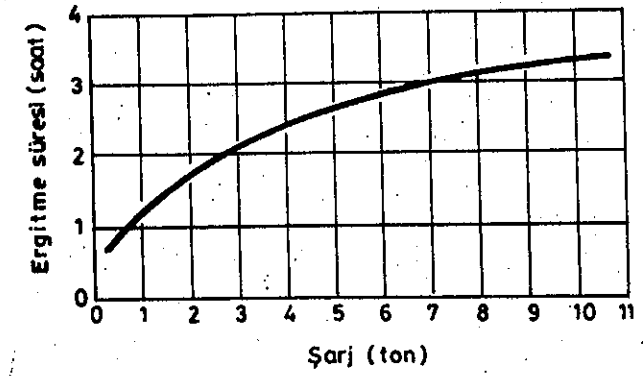
Ocağın işletmeciliği, ön ısıtma ve ergitme periyotlarından ibarettir. Ön ısıtma periyodu, brülörün yakılmasından ergitme başlangıcına kadar geçen süre olup, bu zaman aralığında, ocak her 5 dakikada 1 kere 90° döndürülür. Şarj malzemesinin erimesi ile birlikte eriyik içine karbon üflenir. Bunu takiben FeSi verilir. Ön ısıtma periyodu hitamında ocak sürekli olarak dakikada 1 devir olacak şekilde döndürülür. Eriyik istenen sıcaklığa eriştiğinde, numune alınır, ferro alaşımlar ocağa, karbonlaştırıcı döküm yoluyla verilir.

Metalurjik açıdan en önemli hususlar yanma kayıpları olmaktadır. Karbon ve silisyum yanma kayıpları normal işletme şartlarında sırası ile % 12.3 ve % 22.8 dir. Karbonlaştırıcı faydalanımı % 50 civarındadır. Şarj hesabında bu verilen yanma kayıpları değerleri göz önüne alınmalıdır.

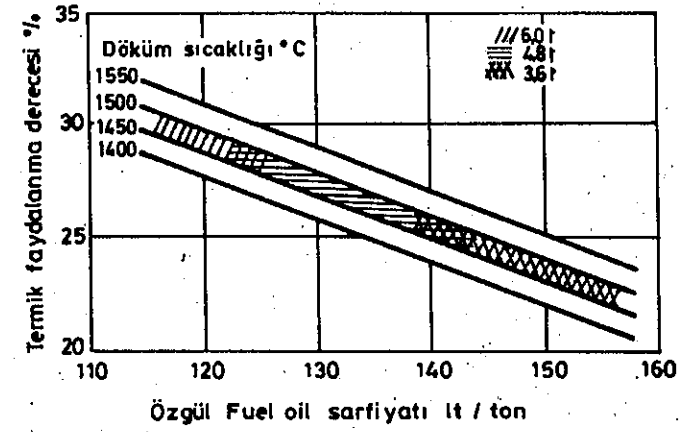
Normal işletme şartlarında eriyiğin kükürt alımı çok azdır. Kükürt miktarı % 0.95 olan fuel oil'in kullanılmasında,



Resim 85 . Döner ocak



Resim 86 . Ön ısıtılmış döner ocağın şarj kapasitesine bağlı olarak ergitme süreleri (Dökme Demir, 1430°C)



Resim 87 . Döner ocaklarda ergitmede termik faydalanma derecesi.

Fuel oil sıcaklığı 140 °C

Kimyasal analiz :

C % 86,8

H₂ 11,5

S 0,95

N₂ 0,35

O₂ 0,43

Isı değeri H_U = 41,3 MJ / kg

kükürt zenginleşmesi azami % 0.01 mangan kaybı % 0.02 olarak tesbit edilmiştir.

KGDD üretiminde doku özellikleri yönünden en iyi şartların sağlandığı ergitme yöntemi kupol ocaklarıdır. Bunun nedeni eriyik oksijen miktarının, bu ergitme yönteminin çalışma prensibi nedeni ile yüksek oluşudur. Bu nedenle nükle sayısında fazla olacaktır. Ergitme yöntemlerinin sıralanmasını şöyle verebiliriz:

- Kupol ocakları (en iyi)
- Döner ocaklar
- Nüvesiz induksiyon ocakları
- Kanallı induksiyon ocakları
- Ark ocakları (fazla uygun değil)

Dubleks çalışmanın uygulandığı dökümhanelerde eriyik özelliklerini bekletme ocağının türü belirler. Aşağıdaki kombinasyonlarda dubleks çalışılabilir:

- Kupol ocağı-Döner ocak
- Kupol ocağı-Kanallı nüvesiz induksiyon ocağı
- Nüvesiz induksiyon ocağı-kanallı induksiyon ocağı
- Ark ocağı-nüvesiz induksiyon ocağı
- Ark ocağı-kanallı induksiyon ocağı

KGDD üretiminde metalurjik özelliklerin göz önüne alınması ve kupol-induksiyon-ark ocaklarının, yatırım, enerji bakım ve işçilik masraflarının karşılaştırılması sonucu en ideal kombinasyonun astarsız, su ceketli sıcak havalı kupol ocağı-kanallı induksiyon ocağı olduğu saptanılmıştır. Dökümhanelerin en uygun alternatifin seçiminde, kendilerine özgü şartlarında düşünmeleri gerekir. En ideal çözüm her zaman geçerli olamaz.

5.6. Şarj malzemeleri, ³⁹

KGDD üretiminde kullanılan metalik şarj malzemeleri:

- Ham demir(Sfero piki)
- KGDD-devri daim malzeme
- Direkt redüklenmiş demir cevheri veya pelet
- Ferro alaşımlar
- Silisyum karbür'dür.

İşletme şartlarına bağlı olarak bu yukarıda verilen malzemelerden biri veya birkaçı şarjı teşkil ederler. Örneğin KGDD segmanlarında şarj asgari % 40 Sfero piki(Kugra Z-Piki) ve % 60 devri daim KGDD hurdasından müteşekkil olup, analiz sınırları:⁴⁰

C	% 3.95	
Si	1.1-2.2	(Ocak analizi, modüle bağlı olarak değişir)
Mn	0.45 max	
P	0.05 max	
S	0.015 max	dir.

5.6.1. Ham demir: ²³

Gri dökümün ergitilmesinde şarjın belli bir kısmını oluşturan, ve çoğu kez onsuz düşünülemeyen ham demir'in kullanılmasının çok eskilerdede bilinen nedeni mevcuttur. Ham demir pahalı bir hammadde olmasına rağmen, belirli bir kimyasal analizin erişilmesinde, karbür ihtiva etmeyen bir döküm dokusunun varolmasında iyi etkili bir aşılamanın yapılabilmesinde önemli bir görev üstlenir.

KGDD üretiminde kullanılan ham demir, lamel grafitli dökme demirde kullanılan gibi özelliklerin kalıtımı şartlarını yerine getirir. Sadece kimyasal analiz yönünden farklılıklar arz eder (Çizelge 21).

KGDD lerin üretiminde kullanılan ham demir özellikleri kimyasal yönden, kükürt ve mangan miktarları düşük olmalıdır. Kükürt miktarı % 0.01, Mangan ise % 0.2 max. Bu şartın yanında ayrıca karbür yapıcı ve stabilleştirici elementlerin hem en düşük miktarlarda, hemde belirli sınırlarda kalmaları gerekir. Bu nedenle yüksek fırın pikleri KGDD için genellikle uygun özelliklerde değildirler. Özellikle yüksek kükürtlü olduklarından bir kükürt giderme işlemi gerektirmekte, ayrıca KGDD üretiminde bulunmaması gereken elementleri içerirler.

Çizelge 21 .F-1 sınıfı Sorelmetal KGDD piki ortalama analizi

	%
TC	4.305
Si	0.165
Mn	0.0088
P	0.0255
S	0.011
Ni	0.080
Cr	0.030
Cu	0.0275
V	0.0345
Ti	0.032
Al	0.0125

Yüksek saflık ve KGDD üretimi için uygun özelliklerde pik Titanyum üretiminin bir yan ürünü olarak Kanada ve Norveç'te elektrik ark ocaklarında üretilmektedirler,örneğin Sorel piki.²³

İstenmeyen elementleri cuzi miktarda bünyesinde bulunduran ve Avustralya,Brezilyada mevcut olan demir cevherlerinden üretilen pikler KGDD üretiminde kullanılmaktadır.Son yıllarda ülkemizde de bu piklerin kullanım miktarları artmıştır.

5.6.2. Çelik hurdası: 82

KGDD üretiminde şarjın teşkilinde çelik hurdası önemli bir malzeme olarak yerini korumaktadır.Çok sayıda araştırma ve incelemenin konusunu kullanılan çeşitli çelik hurdalarının üretilen KGDD'in özelliklerine etkisi oluşturmaktadır.

Çelik hurda temininde iyi kalite ana unsur olmalıdır.İyi kalite bir taraftan kimyasal analiz,diğer taraftan şekil,büyüklik özelliklerini kapsar.Çelik hurda mangan miktarı ne kadar az ise,gerekli sfero piki miktarı o denli az olacaktır.

Mangan miktarı yanında önemli olan diğer elementler,karbür yapıcı özellik taşıyan Cr,B,V,Mo dir.Ayrıca küreselleşmeyi engelleyen veya bozan S,Pb ve Zn gibi elementlerde göz önünde tutulmalıdır.Hataların nedeni olarak görülen parametrelerin fazlalaşması karşısında,çoğu kez üretim bir sorun olur.

Bu nedenle,yukarda verilen elementler değişmeyen ve cuzi denebilecek miktarlarda bulunmalıdır.Soğuk şekillenen saç artıkları kuvvetli bir şekilde paslandıklarından,indüksiyon ocaklarında curuf miktarının artmasında neden olurlar.Bütün bu sorunlara rağmen çelik hurdası,hem çok bulunabilirliği,hemde ekonomik oluşu nedeni ile kullanılmaktadır.Çelik hurdasının kullanılmasında ekonomik olarak şu faktörlerin dikkate alınması gerekir:

- 1)Karbonlaştırma için gerekli masraf nedir?
- 2)Oksidasyon kaybı ne kadardır(pas vs.)
- 3)Enerji sarfiyatında artış,
- 4)Ocak astarının daha çabuk aşınması,ve
- 5)Ergitme kapasitesinde meydana gelecek azalma.

Bütün bunlara ilaveten,sfero piki kullanmaksızın üretilen KGDD in metalurjik hatalı yüzdesinin fazla,kalitenen tutturulmasında daha çok ısıl işlem gerektirdiği ve malzeme faydalanma derecesinde çekinti olgusunun artması nedeni ile daha az olduğunu vurgulamak lazımdır.

Bu faktörler birer,birer parasal olarak değerlendirildiklerinde çelik hurdası fiyatının hakiki maliyetin tesbitinde kabaca % 50 daha fazla olarak alınmasının gerekeceğini ortaya koymaktadır.Böylece % 50 çelik hurdası,% 50 sfero pikinden ibaret olan bir şarjın sadece çelik hurdasından üretilenle karşılaştırılması,bize % 5 miktarında daha pahalı olacağını göstermektedir.Bu fark kabullenmesi gereken riskler karşısında,çelik hurdası kullanımının her zaman ekonomik sayılamayacağını kanıtı olmaktadır.Ayrıca bundan önceki kısımlarda vurgulandığı gibi,sadece çelik hurdasının kullanılması belli bir et kalınlığına kadar,30 mm,ferritik KGDD üretimi mümkün olmaktadır. Bu kalınlığın altında sfero piki kullanımı zorunludur.

5.6.3. Direkt redüklenmiş demir cevheri: 83.84

Çok sayıda olmamalarına rağmen bazı KGDD üreticileri hat frekanslı indüksiyon ocaklarında az miktarlarda direkt redüklenmiş demir cevheri kullanımını benimsemiş bulunmaktadır.

Direkt redüklenmiş demir cevheri veya peletlerin analizlerine örnek olarak şu değerleri verebiliriz: (Çizelge 22)

Görülebileceği üzere ilk üç üretim yöntemi sünger demir kimyasal analizleri,eser miktarlarda karbür yapıcı elementleri bünyelerinde bulundurmakta,fosfor ve özellikle kükürt miktarları KGDD üretimi için ideal büyüklüklerde dir.

Karşılaştırmalı incelemeler,Avrupa fiyatlarında % 20 sünger demir şarjı ile % 8 nisbetinde maliyette bir elverişlilik elde edildiğini ortaya koymaktadır.

Redüksiyon derecesi %	Üretim Yöntemi			
	SL / RN	Purofer	Wieberg	Krupp
90	95.3	90.5	92 - 96	91 - 94
90.3	90.5	81.5	85 - 87	
82	8.8	10	0.1 - 0.4	
10	2.6	0.09		
0.06	0.1			
	0.03	0.01	0.06 - 0.12	
	0.01	0.015	0.04 - 0.08	

Çizelge 22 . Sünger Demir'in üretim yöntemleri ve analizleri.

5.4. KGDD-devri daim malzeme:
 KGDD üretiminde kullanılması elzem olan malzeme kendi devri daimidir. Bunun için önemli nedenler mevcuttur. Fiyat yönünden ele aldığımızda, değeri ortalama şarjı teşkil eden malzemeleri fiyatına eşittir. Bunun yanında devri daim malzeme kullanımı arttıkça, malzeme faydalanma yüzdesi fazlalaşır. Bu konu ilerdeki bölümlerde(10-11) tekrar ele alınacaktır.

5.5. Ferro-alaşımlar ve silisyum karbür:
 KGDD üretiminde ferro alaşımların kullanılması istenen analize, kullanılan şarj malzemeleri cins ve analizlerine bağlı olarak değişir. Bu malzemelerin kullanılması söz konusu olduğunda, kimyasal analizlerinin bilinmesi gerekir. Silisyum karbür'ün kullanılması ile eriyikte hem silisyum hemde karbon miktarının arzu edilen düzeye getirilmesi yapılır. Fakat esas elverişlilik, eriyiğin metalurjik kalitesinin ön bir aşılama işlemi yapılmışcasına olumlu kılınması ile, döküm durumunda karbürlerin mevcudiyetinin önlenmesi olmaktadır.⁶¹ Knothe, W çalışmasında SiC'ün yukarıda belirtildiği gibi çekirdekleşme düzeyini artırıcı etkisini vurgulamakta ve küreselleştirme işlemi öncesi % 0.2 miktarında eriyiğe vermektedir.³⁸

6. Kükürt giderme ve karbonlaştırma (Karbon yükseltme) ^{23,25,41,85}
 6.1. Bu iki işlemin uygulanmasının zorunluluğu şarjı teşkil eden malzemelerin özelliklerine ve seçilen ergitme yöntemine bağlıdır.

Bazık kupol ocaklarında üretimde bu iki işlemin uygulanmasına gerek yoktur. Buna karşın asitik kupol ocaklarında ergitmede eriyik demir'in % 40'a varan kükürt alımı dolayısı ile eriyiğin mutlaka kükürt giderme işlemine tabi tutulmasını gerektirir. Genel olarak karbonlaştırma yapılmaz. Elektro ergitme yöntemlerinde ise, kükürt miktarı istenilen sınırlar içinde bulunduğundan, karbonlaştırma çok sık uygulanan bir işlemdir. KGDD'in üretiminde düşük kükürt miktarlarında bir eriyiğin mevcut olması zorunlu olduğundan kullanılacak karbonlaştırıcısında yüksek karbon ve düşük kükürt miktarlarına sahip olması gerekir. Bu karbonlaştırıcılara tipik bir analiz aşağıda verilmiştir.

- C % 99
- S max % 0.1
- N max % 0.01

Eriyik demirde kükürt giderme işleminin gerekli olduğu kükürt miktarı sınırı özel magnezyum işlemi yöntemleri uygulanmadıkça % 0.03 olarak verilebilir. Bu değer üzerinde ekonomik ve nitelikli bir KGDD üretimi olanaksızdır.

Bilindiği gibi, magnezyum kükürdü bağlayıcı kuvvetli bir elementtir. Magnezyum işlemi esnasında zaten çok az miktarda bulunan kükürt, MgS bileşimi oluşturur. Eriyik demir'in kükürt miktarı ile küreselleştirme için gerekli olacak magnezyum miktarı aşağıdaki eşitlikle verildiği gibi artar:

$$\text{Gerekli Mg-ilavesi} = \frac{0.75 \times S + Mg'}{\text{Mg-faydalanım \%}} \cdot 100$$

S Mg-işlemi öncesi eriyik S-miktarı
Mg' Eriyikte istenen Mg-miktarı

Mg-işlemi yöntemlerinde faydalanım derecesi her yöntem için farklı bir değer olup, örneğin Sandwich-yönteminde % 40-50 arasında kalır. Bu yöntem için yukardaki eşitlik sadeleştirilerek,

$$\text{Gerekli Mg-ilavesi \%} = 2.5 (0.75 \times S + Mg') \text{ yazılır.}$$

Eriyik demirde istenilen Mg-miktarı, bir taraftan Magnezyumun karbür yapıcı etkisi diğer taraftan MgS-inkluzyonlarının olumsuz etkileri nedeni ile % 0.02-0.05 arasında kalacak şekilde sınırlandırılır. Örneğin KGDD segmanlarında, küreselleştirme yöntemi olarak Sandwich uygulanmakta, % 1.8 olarak verilen FeSiMg5-Alaşımı ile, eriyik demir kükürt miktarı % 0.015 max. olması halinde, arzulanan Mg-miktarı % 0.04 max dır.

Yukarda verilen eşitlikte bu şartlarda pratik değeri vermektedir. Bundan öncede değinildiği gibi kükürt miktarı arttıkça, gerekli Mg-miktarı fazlalaşmaktadır. FeSiMg ile kükürt giderme masrafları diğer yöntemlere nazaran pahalıdır. Örneğin CaC₂ ile kükürt gidermeye nazaran 2 katı. Bu nedenle küreselleştirme işlemi öncesi, kükürt gidermenin uygulanması için kükürt miktarının % 0.04'ün üzerinde olması gerekir. Böyle bir sınır asitik kupol ocaklarında ergitilen demir eriyikler için geçerli olamaz, çünkü eriyik kükürt miktarı zaten bu değer üzerinde olduğundan kükürt giderme işleminin uygulanması zorunludur.

Kükürt giderme işleminde kullanılan malzemeler:

Eriyik demir'den kükürt'ün giderilmesi için değişik, kükürtle reaksiyon kabiliyetleri fazla olan malzemeler kullanılır.

En çok kullanılan kükürt giderici malzemeler şunlardır:

- Kostik Soda NaOH
- Soda Külü Na₂CO₃
- Yanmış Kireç CaO
- Kireç Taşı CaCO₃
- Kalsiyum karbür CaC₂
- Kalsiyum siyanamid CaCN₂.

Kostik soda, sıhhat açısından zararlı olduğu için pek az kullanılır. Kalsiyum siyanamid bileşiminde ise azot bulunduğundan gaz hataları oluşumu riski fazladır.

En yaygın kükürt giderici malzemelerden biri bilindiği gibi CaO dir. Bazik kupol ocaklarında ve özellikle bazik ark ocaklarında kükürt tasfiyesi işleminde kullanılır. Ender olmakla beraber kireç taşı büyük potalara enjekte edilerek ekonomik ve kuvvetli bir kükürtsüzleştirme yapılmaktadır. Bazik ark ocaklarında kükürtsüzleştirme işlemi inceltme periyodu esnasında gerçekleştirilir, ve bu işlem öncesi CaO-CaF₂-FeSi den müteşekkil bir curuf hazırlanır.

Indüksiyon ocaklarında banyo yüzeyinin, hacmine oranı çok az olduğundan curuf reaksiyonları ile kükürt giderme işlemi uygulanamaz.

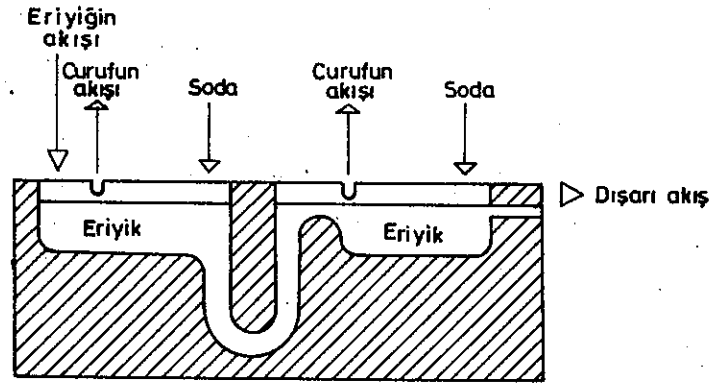
CaC₂ ile kükürt giderme işleminde verimlilik şu eşitlikle saptanabilir:

$$E = \frac{\log \left(\frac{S_o}{S_f} \right)}{\% \text{ CaC}_2}$$

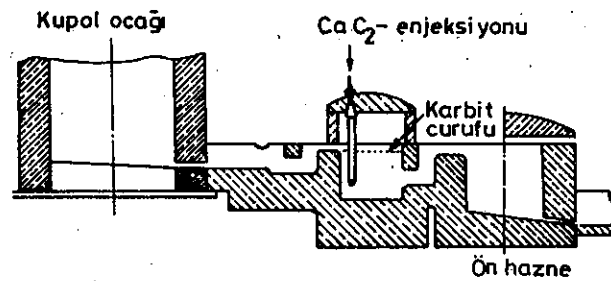
- S_o Başlangıç kükürt miktarı %
- S_f Kükürt giderme işlemi sonu kükürt miktarı %
- % CaC₂ kalsiyum karbür miktarı, eriyik demir ağırlığı % si

Bu kükürtsüzleştirme etkisini veren eşitliğin önemi, değişik yöntemlerin birbirleri ile karşılaştırmasının yapılabilinmesidir. Eşitlikten kükürtsüzleştirme hızının, başlangıç kükürt miktarına bağlı olduğu görülmektedir.

Soda veya CaC₂, Resim 88 de gösterilen işlem havuzunda ters akım prensibi uygulanarak sürekli bir şekilde ilave edilir. Yöntem bazı ufak değişikliklere sahip olarak birçok dökümhanede uygulanmaktadır. Yöntemin özelliği basit oluşudur. Ancak enjeksiyon yöntemine nazaran daha az elverişlidir (Çizelge 23).



Resim 88 . Ters akış prensibine göre kükürtsüzleştirme.



Resim 89 . Enjeksiyon yöntemi (şematik)

Çizelge 23 .Kükürt giderme yöntemlerinin karşılaştırması

	Yöntemler Tersakım	(Resim 89) Enjeksiyon
Kükürtü giderilen eriyik t/h	35-40	28-33
Eriyik döküm sıcaklığı °C	1538-1565	1510-1524
Ön kükürt miktarı %	0.09-0.11	0.08-0.10
Kükürtsüzleştirici malzeme	Soda	CaC ₂
Kullanım miktarı kg/t	11.3-15	9.1
Eriyik sıcaklık kaybı °C	140-150	100-110
Kükürtsüzleştirme masrafı (Birim alınarak)	271	190

Kalsiyum karbür enjeksiyonu ile eriyik demirde kükürt miktarı % 0.008-0.012 oranına düşürülmektedir. Kükürtsüzleştirme verimi hem karıştırma derecesi, reaksiyon süresi, hemde enjeksiyon hızı, CaC₂ tane boyutuna bağlı olarak değişmektedir.

CaC₂ ile kükürtsüzleştirmede, reaksiyonunun hızlandırılması için banyo hareketi, yani karıştırma çok önemlidir. Erişilen verimlilik karıştırma işleminin kuvvetli olup olmasına bağlıdır.

Karıştırma işlemi için aşağıda belirtilen yöntemler uygulanır:

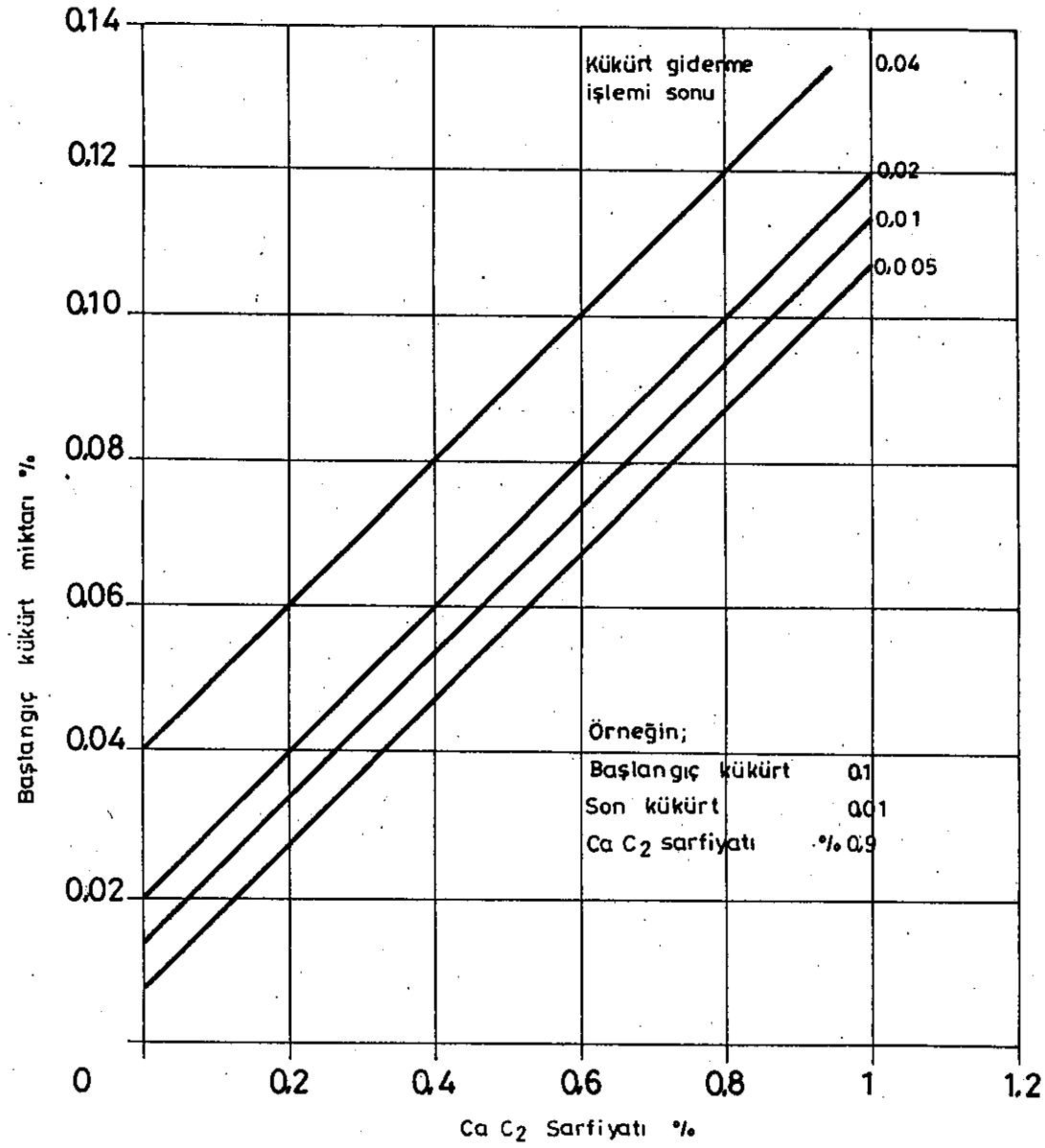
- Boruyla üfleme
- Sallantılı pota
- Karıştırıcılar
- Gözenekli tapa
- Vorteks
- Endüksiyonla karıştırma

Sallantılı potada kükürt giderme verimliliği Resim 90 da gösterilmiştir.⁸⁶

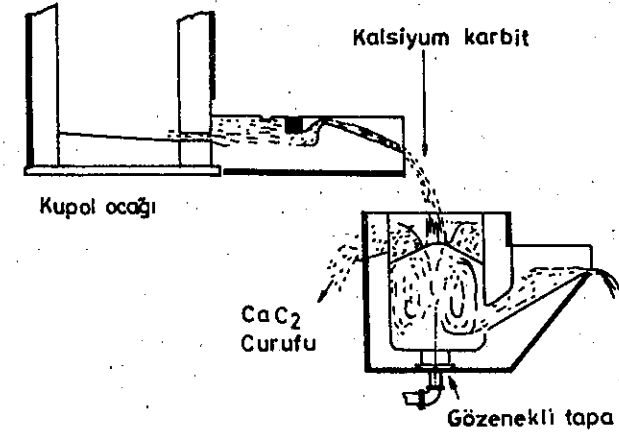
Kupol ocağı ön haznesinde gözenekli tapa üzerinden eriyik karıştırılması uygulamasını Resim 91 vermektedir.

Genel olarak kükürt miktarınının % 0.1 den % 0.01'e düşürülmesi için % 1 CaC₂ veya Na₂CO₃ sarfedilir. Soda sıhate zararlı özellik taşıdığından ender olarak kullanılır. Kalsiyum karbürle kükürt gidermede oluşan curuf aktif CaC₂ ihtiva ettiğinden işlem sonrası dökümhane dışına taşınıp, su ile söndürülmelidir.

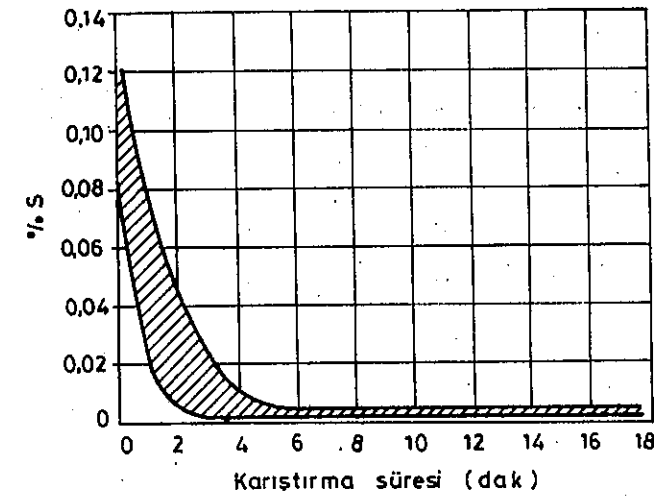
TARİH	
SAYFA	



Resim 90. Eriyik kükürt miktarına bağlı olarak, Ca C₂ ile kükürtün giderilmesinde, Ca C₂ ve erişilen kükürt miktarları arasındaki ilişki. (Sallantılı pota yöntemi)



Resim 91 . Gözenekli tapa yöntemi.



Resim 92 . Kükürt miktarına karıştırma süresinin etkisi.

Kükürtsüzleştirme eriyik-curuf reaksiyon yüzeyinin fazlalığına, yani karıştırma işleminin kuvvetine bağlıdır. Genel olarak % 1 civarında CaC_2 veya Na_2CO_3 kullanıldığında 2 dakikalık karıştırma sonrası kükürt miktarı % 0.02 değerine iner. (Resim 92).

Gözenekli tapa ile karıştırma işleminde eriyiğin karıştırılması kuru azot gazı ile olur. Eriyiğin sıcaklığında önemli bir faktördür. Yöntemin uygulama sıcaklığı asgari $1450^{\circ}C$ olmalıdır.

Kalsiyum karbür kullanımına alternatif olarak geliştirilen bir yöntemde ise Kalsiyum oksit-Fluspat karışımı ile kükürt giderme yapılmaktadır. % 95 CaO ve % 5 CaF_2 karışımı % 2 oranında kullanılır.

Aşağıda CaC_2 yöntemi ile $CaO-CaF_2$ karışımının kullanılmasının karşılaştırılması verilmiştir. Deney $1510-1520^{\circ}C$ de 8 dakika, ve $0.23 M^3/dak.$ hava veren gözenekli tapa ile yapılmıştır. (Çizelge 24).

	% 1 CaC_2	% 2 $CaO + CaF_2$
İşlem öncesi %S	0.11-0.12	0.11 - 0.12
Son % S	0.001	0.001- 0.003
Eriyik sıcaklık kaybı	$150^{\circ}C$	$160^{\circ}C$
Karbon kaybı %	0.04	0.08
Silis kaybı %	0.10	0.26

Çizelge 24 .Yöntemlerin karşılaştırması

Linde-Inrox-Yöntemi ⁸⁶

Asitik kupol ocaklarında küresel grafitli dökme demir üretimini, eriyiğin kükürtsüzleştirilmesi ve sıcaklık kayıplarını gidererek uygun, magnezyum işlemi sıcaklığına çıkartılması mümkün kılan bir yöntemdir.

Bilindiği gibi normal işletme şartlarında kupol ocağında ergitme- de kükürt giderme işlemi esnasında meydana gelen yüksek ısı kayıpları nedeni ile magnezyum işleminin uygulanması güçleşir, çoğu kezde imkansızlaşır.

Bu yöntem azot gazı yıkama işlemi ile kombine edilmiş olup, eriyik kupol ocağından potaya alındıktan sonra, daldırma lansı içinden verilen kuru azot gazı ile yıkanır ve bu işlem esnasında CaC_2 verilerek kükürt miktarı istenilen seviyeye indirilir. Bu arada meydana gelen ısı kayıpları, eriyiğe aynı şekilde oksijen verilerek karşılanır ve istenilen sıcaklığa ısıtılır. Yöntemin uygulanmasında oksijen miktarı kontrolü önemlidir. Karbon kaybı % 0.1 ve silisyum kaybı azami % 0.5 tir.

6.2. Karbonlaştırma(Karbonun yükseltilmesi) ^{23,41}

KGDD lerin üretiminde kullanılan özel piklerin karbon miktarları yüksektir. Ancak yüksek oranlarda çelik hurdasının kullanılması halinde veya karbon yanma kayıplarının fazla olduğu ergitme yöntemlerinin uygulanması durumunda, eriyiğin karbon miktarının istenilen düzeye getirilmesi gerekir. Normal işletmecilikte şarj hesabı istenen karbon miktarının biraz altında kalacak şekilde(% 0.1) yapıldığından, azda olsa bir miktar karbon arttırıcı malzeme kullanılmaktadır.

Karbonun yükseltilmesi işlemini etkiliyen faktörler şunlardır:

-Eriyik sıcaklığı ile karbonlaştırma hızı artar

-Karbon vericinin kalitesi, tane büyüklüğü

-Sıvı metal ile karbon vericinin temas yüzeyi

-İstenen karbon miktarı arttıkça verimlilik azalır.

Karbonlaştırıcı malzeme ocağa ilk şarj ile verilecekse, en altta kalacak şekilde karbonlaştırıcı verilmeli, üzerine sıra ile hafif hurda, ağır hurda, KGDD-devri daim malzeme ve en üstünede pik konmalıdır. İndüksiyon ocağında eriyik demir mevcutsa bu durumda şarj kovası yukarıda belirtilen şekilde yüklenmeli, ancak karbonlaştırıcı şarj kovasının boşaltılmasından önce banyo yüzeyine verilmelidir.

Eriyiğin karbon alımını etkiliyen önemli faktörler, sıcaklık, süre ve ön karbon miktarıdır. 100 kg lık asitik, orta frekanslı bir induksiyon ocağında, farklı özelliklerde karbonlaştırıcılar üzerine yapılan çalışmada, ön karbon miktarı % 0.05 olan eriyik 1540-1560°C leri arasında karbonlaştırılmıştır.

Azami karbon miktarının % 95'ine erişilinceye kadar yapılan değerlendirme, karbonlaştırma hızının en yüksek, grafit elektrotlarla sağlandığını ve 10.3 x 0.01 % C/dak olduğunu ortaya koymuştur.

7. Küreselleştirme işlemi(Magnezyum işlemi)

Metalurjik temel bilgiler ile beraber küreselleştirme işleminin amacı ve sonuçları hakkında Bölüm 3 de açıklamalarda bulunulmuştur. Bu bölümde küreselleştirme işlemi pratik yönden ele alınarak geniş bir şekilde incelenecektir. Grafitin küre şeklini almasını sağlayan elementler sayıca çok fazla olmasına rağmen, pratik uygulamada genellikle, az miktarda Ca, Cer ve diğer toprak alkali metallerle birlikte magnezyum kullanılır.

Grafitin küreselleştirilmesi için gerekli magnezyum miktarı % 0.01'den az olacağı gibi, şartlara bağlı olarak % 0.02'den fazlada olabilir. Sadece magnezyumun küreselleştirici element olarak kullanılması halinde miktarı % 0.02'den az olamaz. Cer, Ca gibi elementlerin birlikte kullanılması durumunda asgari magnezyum miktarı % 0.01 civarındadır.

Eriyiğin kükürt miktarı ile gerekli magnezyum miktarının artacağından, kükürt miktarı yüksek olan bir baz eriyik ele alındığında, bu şartlarda dökümhanelerde kabul edilebilir üst sınır % 0.05 Mg olarak verilebilir.

Küreselleştirme işlemi yöntemleri:

Bu bölümde çok sayıda birbirlerinden farklı veya bazılarının değiştirilmiş uygulamaları olan yöntemler açıklanacaktır. Bu yöntemler dışında başka uygulamalarda mevcut olmasına rağmen, pratikte önemleri büyük değildirler. Belirtilecek ilk 5-6 yöntem bu gün genel olarak dökümhanelerde uygulanmakta olup, diğerleri ise zamanla ya daha az bir öneme sahip olacaklar, yada özel üretim şartları bütünü içinde yerlerini koruyacaklardır.

7.1. Potada küreselleştirme işlemi:

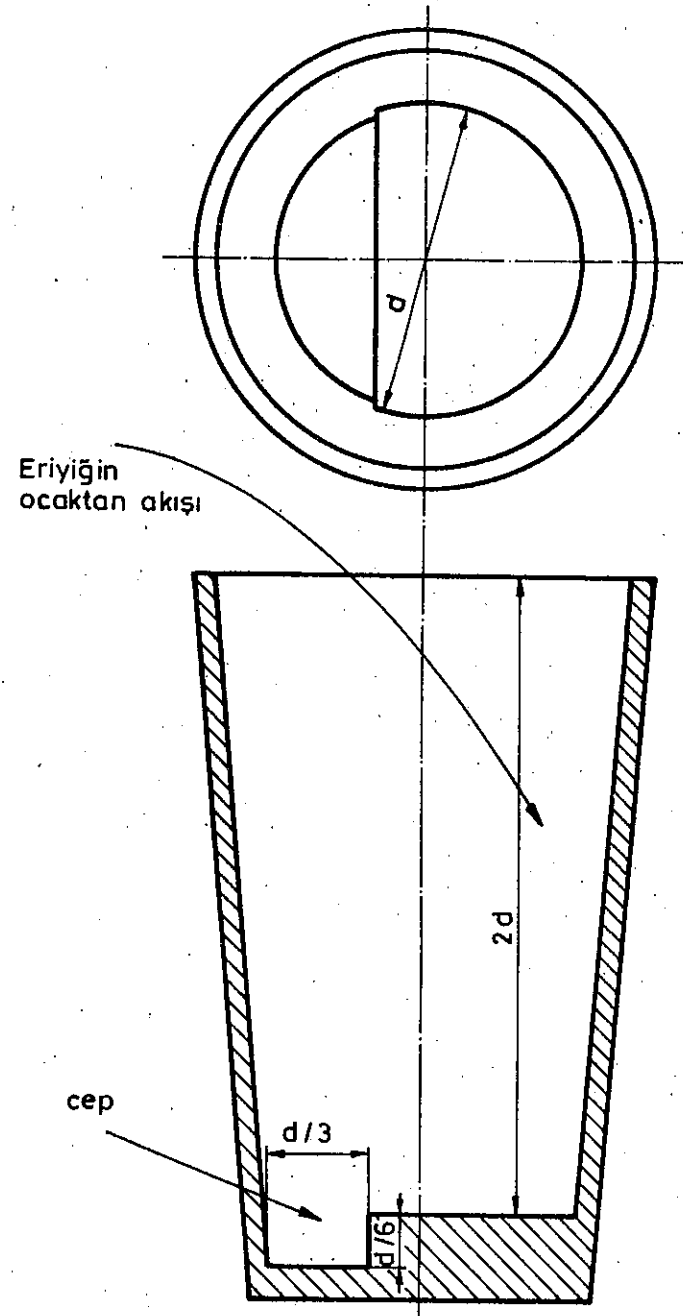
KGDD'in büyük bir bölümü potada küreselleştirme işlemine tabi tutulmaktadır. Bu yöntemlerin en önemli elverişliliği basit, kullanışlı olmasıdır.

Magnezyumlu alaşım malzemesi ön ısıtılmış, boş potanın tabanındaki cep tabir edilen boşluğa yerleştirilir ve eriyik üzerine dökülür(Resim 93).

Bu yöntemde 2 unsur önem kazanmaktadır:

-Ocaktan dökülen eriyik magnezyum alaşımı malzemesi üzerine gelmemelidir,

-Pota hızlı bir şekilde doldurulmalıdır.



Resim 93 . Sandwich yöntemi potası boyutları

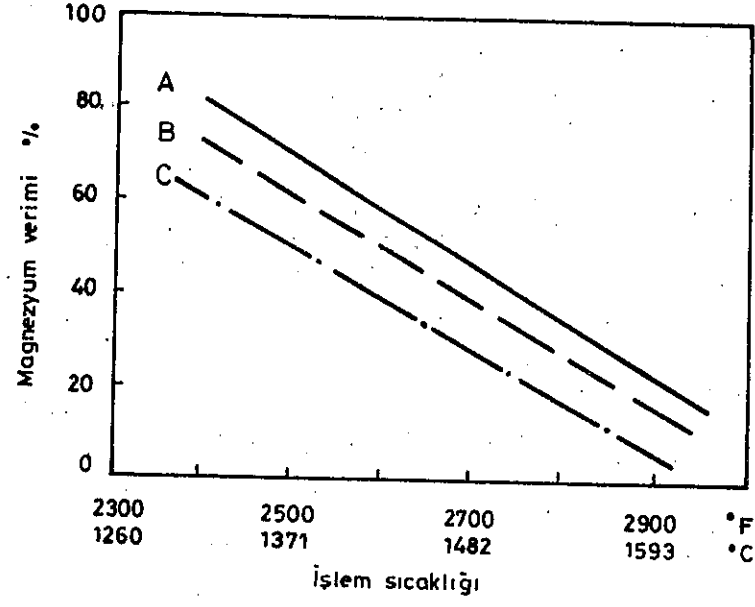
En çok uygulanan yöntem, Sandwich yöntemi olup, küreselleştirici malzemenin üzeri eriyiğin % 2'si miktarında çelik talaşı veya KGDD talaşı ile örtülür. Böylece hemen dökümle birlikte FeSiMg'un yanması önlenir. Bu işlem sonu erişilen magnezyum faydalanma derecesi, işlemin yapıldığı eriyik sıcaklığına bağlıdır (Resim 94).

Bu işlem sonu % 2 miktarındaki çelik talaşının ısıtılması ergitilmesi teorik olarak 26°C lik bir ısı kaybına yol açmaktadır. 280 kg lık işlem potasında yapılan sıcaklık ölçümleri toplam ısı kaybının 35°C civarında olduğunu göstermektedir⁴⁰ (Resim 95).

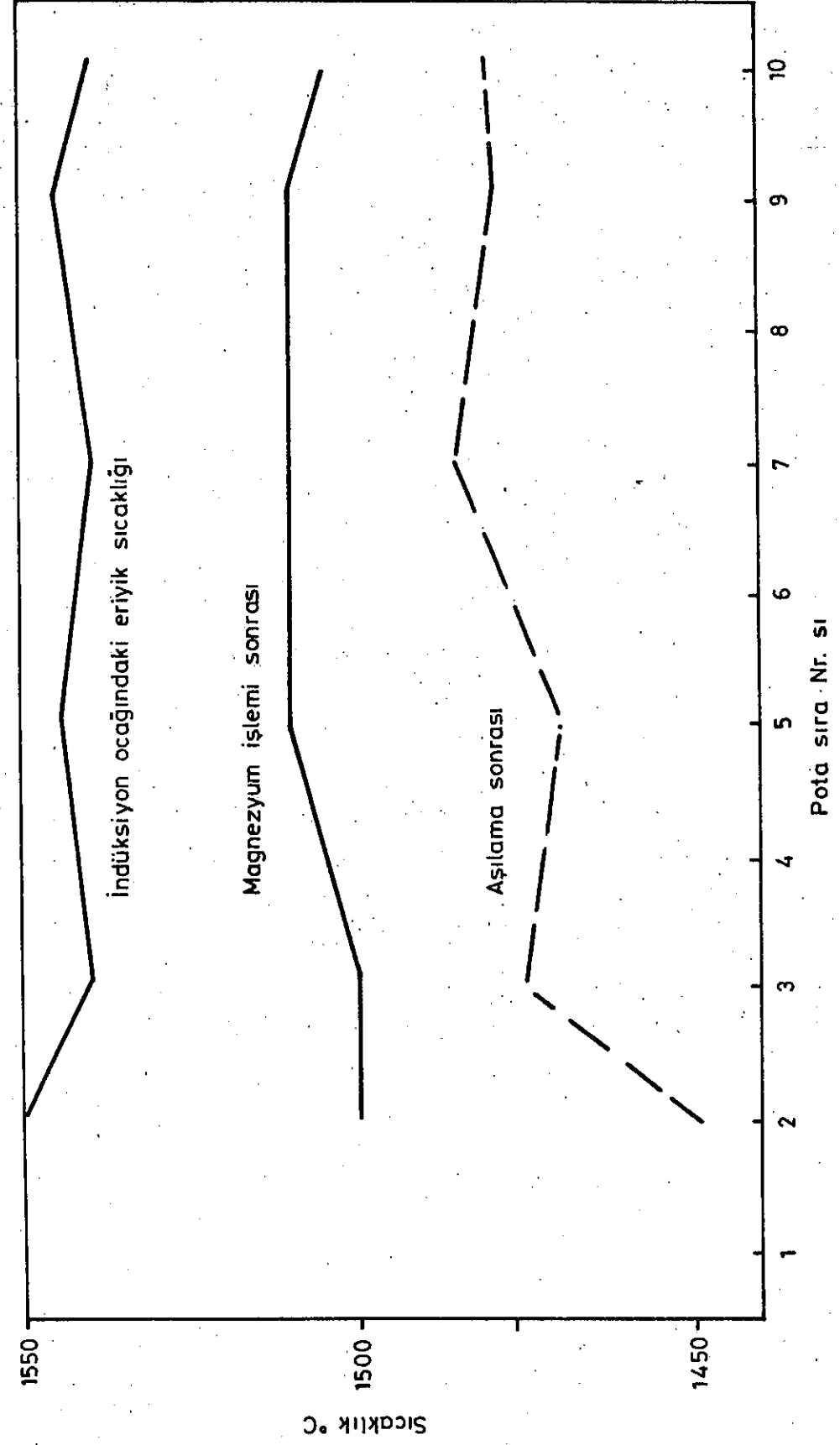
Bazı durumlarda, kaplama örtü malzemesi olarak FeSi kullanıldığı bilinmektedir. Pratikte bu uygulamanın kesinlikle yapılmaması lazımdır, çünkü, karbürlerin oluşumunun engellenmesinde baz eriyik silisyum miktarı ile aşılama ile verilen silisyum miktarı çok daha etkilidir.

Pota yönteminin diğer bir uygulama şekli kaplama malzemesi olarak sıcak sertleşen reçineli kumun kullanılmasıdır. Bu kum FeSiMg-alaşımı üzerine konulduğunda sertleşir, böylece reaksiyon meydana gelen kabuğun bir çelik çubukla delinmesine kadar başlayamaz. Bu olaya reaksiyonun başlatılması adı verilmekte ve yöntemde bu ismi almaktadır (Trigger). Bu yöntemin az sayıdaki uygulayıcıları, iyi bir magnezyum faydalanma derecesine ve düşük sıcaklık kayıplarına eriştiğini belirtmektedirler.

Magnezyumu baz element olarak içeren alaşımların kullanılması reaksiyonun hızlı ve hareketli olmasına yol açar. Magnezyum yanma kayıplarının azaltılması ve eriyiğin reaksiyon sürecinde pota dışına sıçramasının önlenmesi için ince ve uzun potaların kullanılması gerekir. Bu nedenle potalar, hacimlerinin azami $2/3$ 'ne kadar doldurulmalıdır.



Resim 94 . Magnezyum faydalanma yüzdesinin işlem sıcaklığı ile değişimi
A % 15 Mg, % 85 Ni
B % 15 Mg, % 50 Ni, % 35 Si
C % 9 Mg, % 48 Si, % 1 Ca, % 42 Fe



Resim 95 . Sandwich yönteminde işlem kademeleri sıcaklıkları (İşlem potası 280 kg, Döküm Potası 140 kg)

7.2. Tundish Cover(kapaklı pota) yöntemi: ^{4,23,87}

Tundish cover yöntemi, pratik ve yaygın kullanımı olan bir metod olup, sandwich yönteminin elverişsiz tarafları olan, işlem esnasındaki MgO-dumanının oluşmasını önlemek ve diğer tarafta magnezyum verimini arttırmak amacı ile QIT Fer et TITANE tarafından geliştirilmiştir.⁴

Bir diğer elverişliliği ise işlem sıcaklığının ısı kayıplarının az olması nedeni ile 30°C daha düşük alınabilmesidir. Bu söz konusu sıcaklık farkı 42 kWh veya enerji sarfiyatında % 6 lık bir tasarruf demektir.

Kapaklı pota sistemleri, 2 ana grupta toplanırlar, bunlar,

1. Hareketli kapaklı yöntemler,

1.1. Konvansiyonel sistem, direkt ocaktan potaya döküm

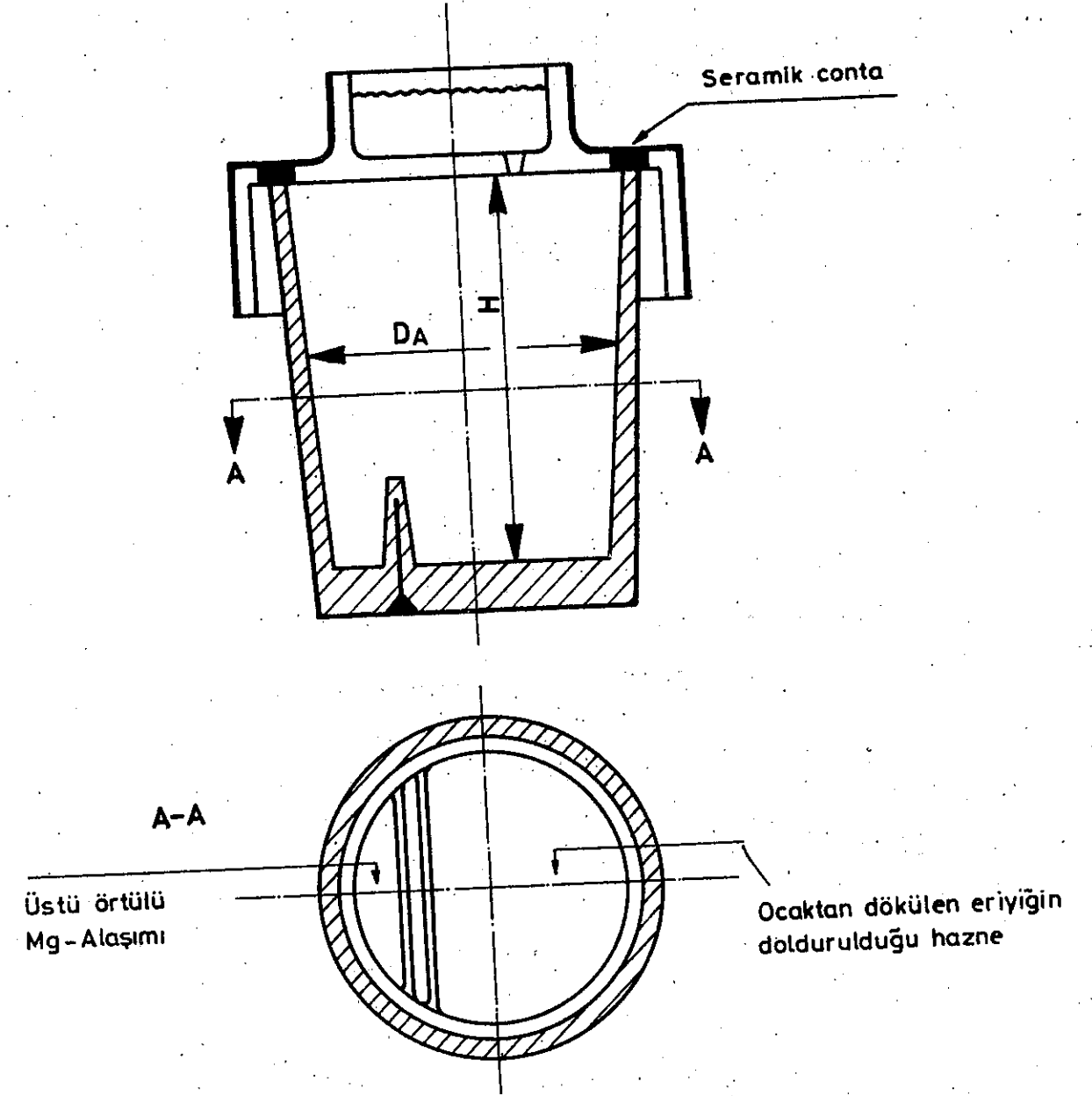
1.2. İndirekt sistem, eriyiğin ocaktan alınıp bir diğer yerde, işlem istasyonunda küreselleştirilmesi.

2. Sabit kapaklı yöntemler

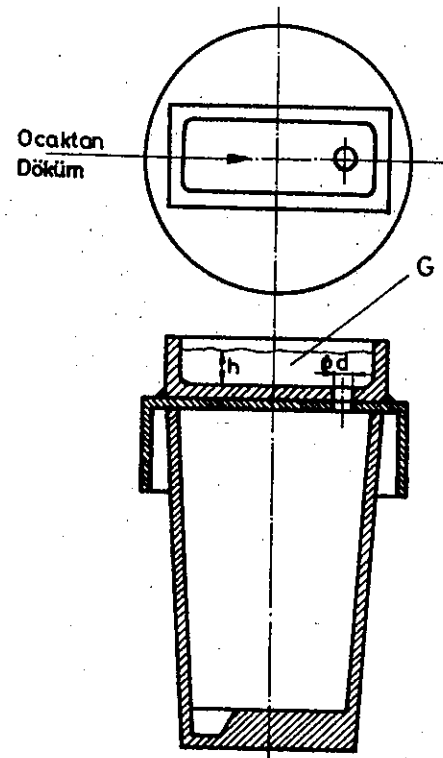
2.1. UPO-sistemi

2.2. Sifonlu pota sistemi, dirler.

7.2.1. Konvansiyonel sistemde, eriyik ocaktan tundish potasına alınır. Pota geometrik ölçüleri, geliştirilmiş bir diğer şekli, nozel çapı ve yöntemin açık pota ile (Sandwich) karşılaştırılması Resimler ., 96, 97, 98, 99 ve 100 de verilmiştir. Magnezyum alaşımının potaya yerleştirilmesinde hareketli kapağın alınması dökümhanelerde değişik şekillerde yapılmaktadır. Buna bir örnekte Resim 101 de gösterilmiştir. Bu yöntemle 80 kg'dan 14 ton'a kadar eriyikler küreselleştirme işlemine tabi tutulmaktadır. Magnezyum verimi % 60 dır.



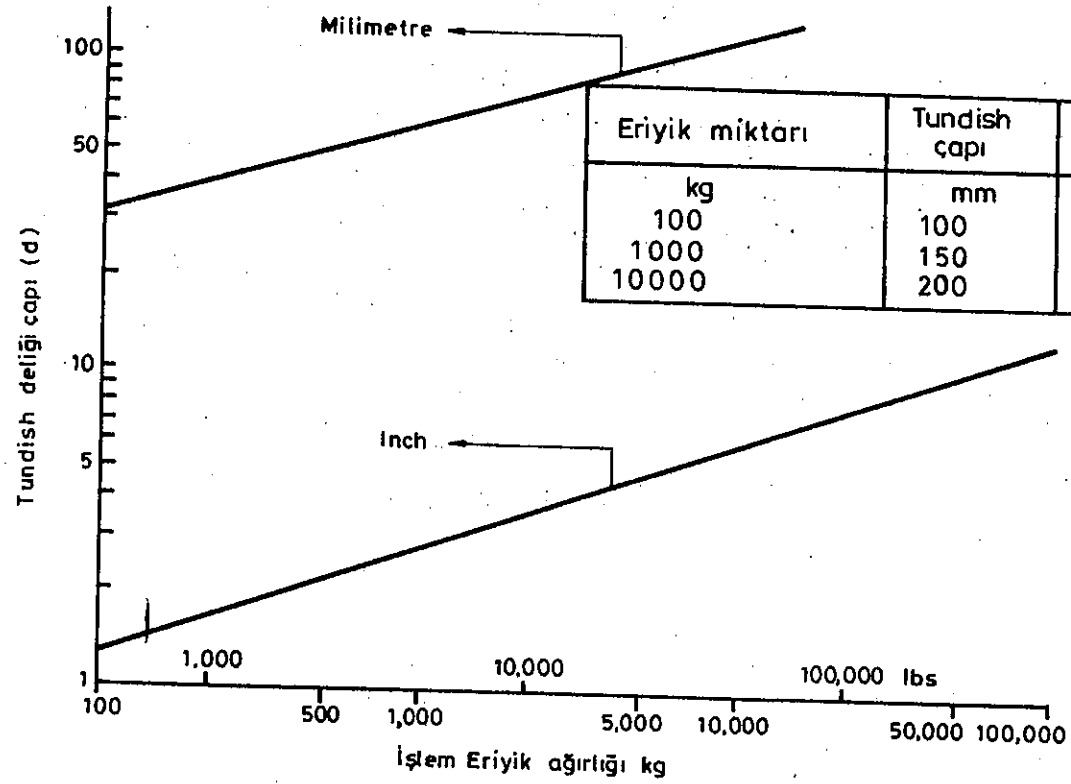
Resim 96 . Tundish - Cover potasının geliştirilmiş bir diğer şekli



$$d = 2.2 \left(\sqrt{\frac{G}{t \cdot h}} \right)$$

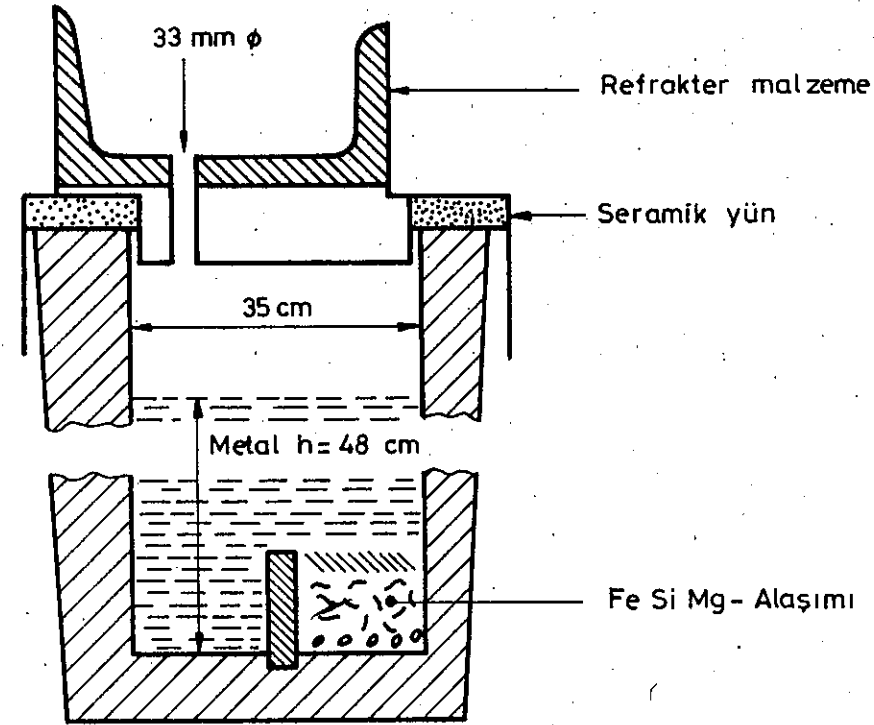
G kg
t san.
h cm
d cm

Resim 97 Tundish-Cover magnezyum işlemi potası

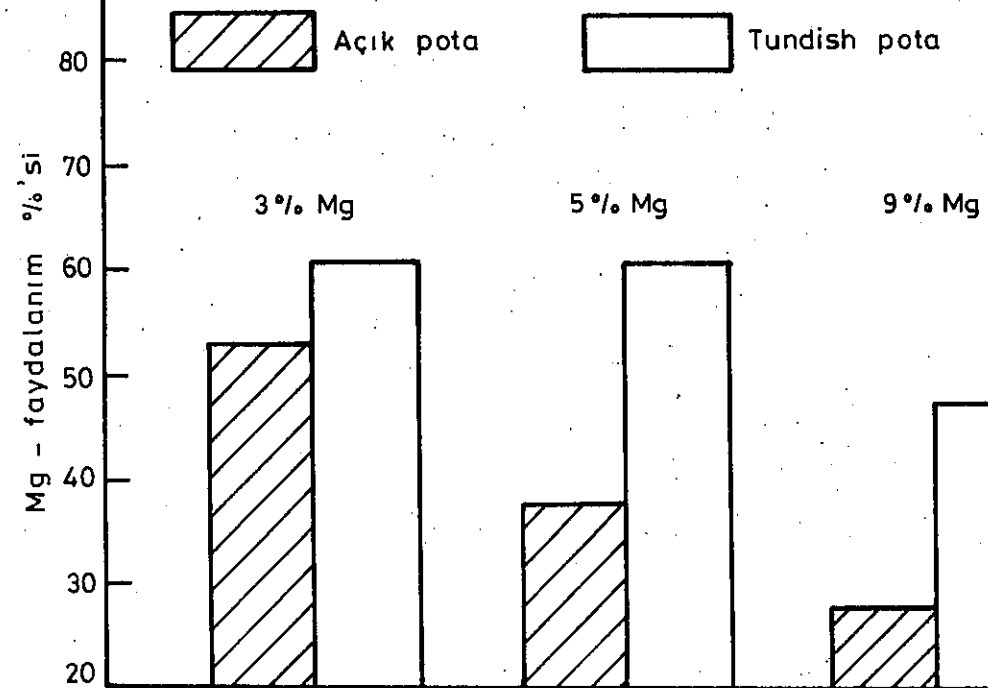


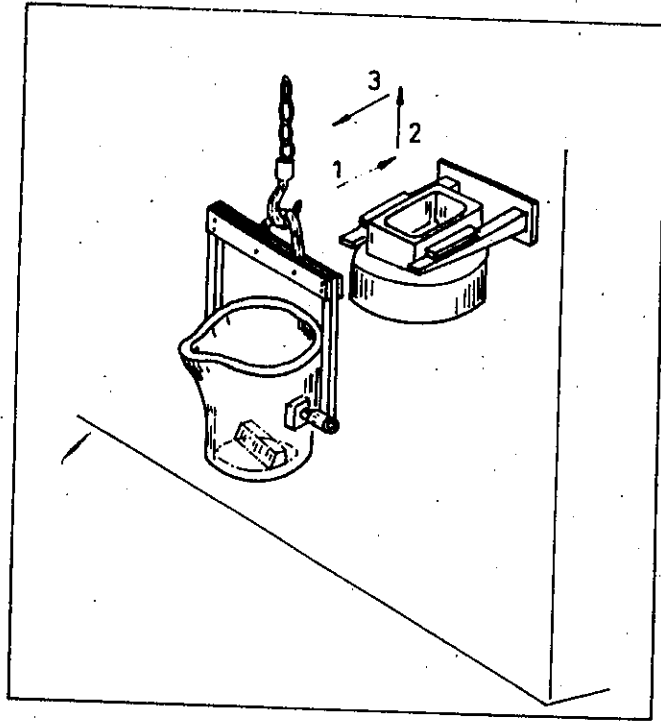
Resim 98 Eriyik miktarı ile Tundish deliği çapı arasındaki ilişki

Resim 99 BCIRA - Tundish Cover potası 300 kg, Eriyik sıcaklığı 1500°C



Resim 100 Magnezyum faydalanma dereceleri





Resim 101 . Konvansiyonel tundish - cover yönteminde Kapağın duvardaki askı vasıtası ile alınıp, kapatılması

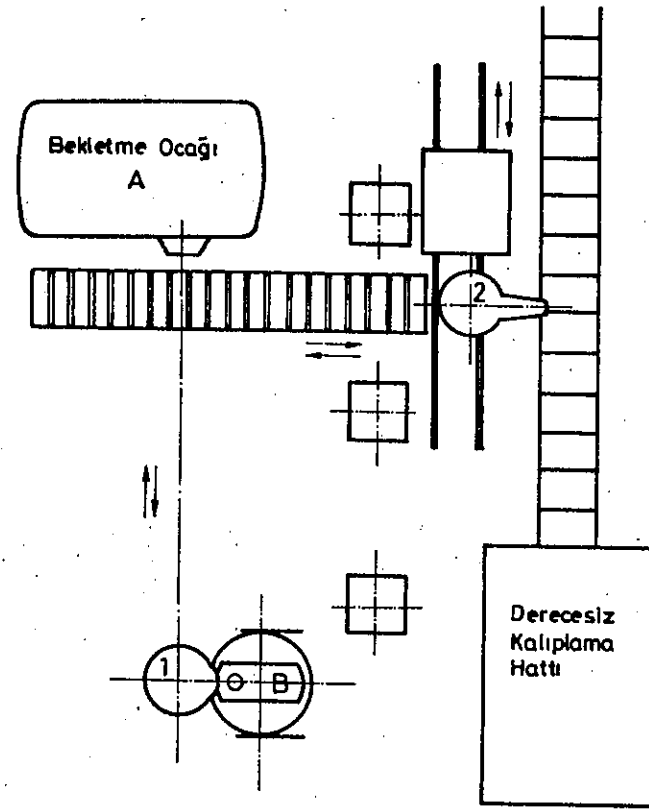
İndirekt sistem'de ergitme ocağından alınan eriyik örneğin bir dizi döküm hattının beslenebilmesi için sabit bir işlem istasyonuna getirilir. Buna örnek Resim 102 de verilmiştir. 300 kg eriyik bekletme ocağından(A) transfer potası(1) 'e doldurularak monarayla tundish cover işlem istasyonuna getirilmektedir(B-istasyonu). Bu istasyonda 1.Nr.lı transfer potasındaki toplam eriyik içinde FeSiMg-alaşımı bulunan tundish potasına dökülmektedir. 25 san.lik işlem süresinden sonra tekrar bir hidrolik mekanizma ile kapağı açılıp, 1.Nr.lı potaya geri dökülen eriyik döküm hattına taşınmakta burada döküm potası 2. ye verilmektedir(Resim ,103) Bu çalışma şekli aynı şekilde devam etmektedir.

Bu yöntemi 1978 yılından beri uygulayan Tovaglieri-İtalya firmasının yöntemle ilgili olarak verdiği elverişlilikler şunlardır:

- MgO-dumanının ve reaksiyon esnasında meydana gelen kuvvetli ışığın(parlamanın) elimine edilmesi,
- Magnezyum veriminin % 40'dan(Sandwich-yönteminde) % 60'a artması,
- Kalıcı magnezyum miktarı % 0.05 değerinin çok az bir sapma ile erişilmesi.

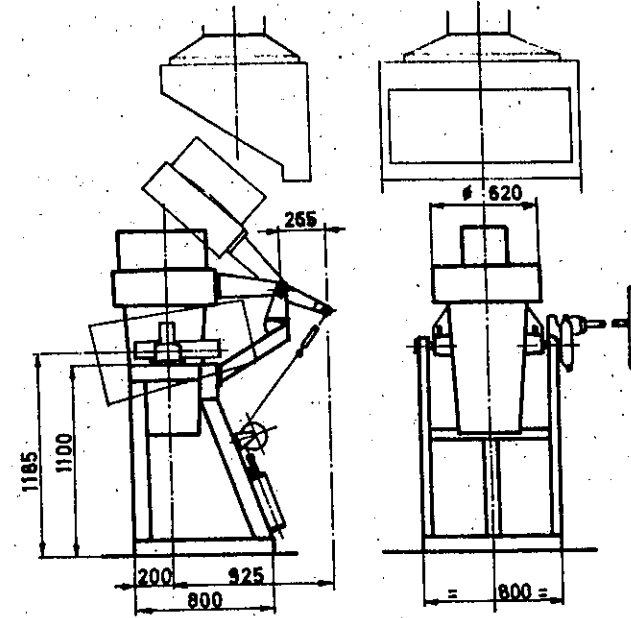
7.2.2. Sabit kapaklı yöntemi, UPD sistemi:

Bu yöntemin uygulayıcısı Finlandiyadaki bir dökümhanede, hareketli kapak, yarı sabit bir hale getirilmiş, tundish'deki eriyik doldurma deliği(100 mm çap) aynı zamanda dizayn değişikliği ile boşaltma deliği olarakta kullanılmıştır. Kapak üzerindeki 2. inci bir delikten magnezyum alaşımı FeSiMg5 cep içine dökülmekte ve sonra bir saç kapakla burası kapalı tutulmaktadır. (Resim 104)

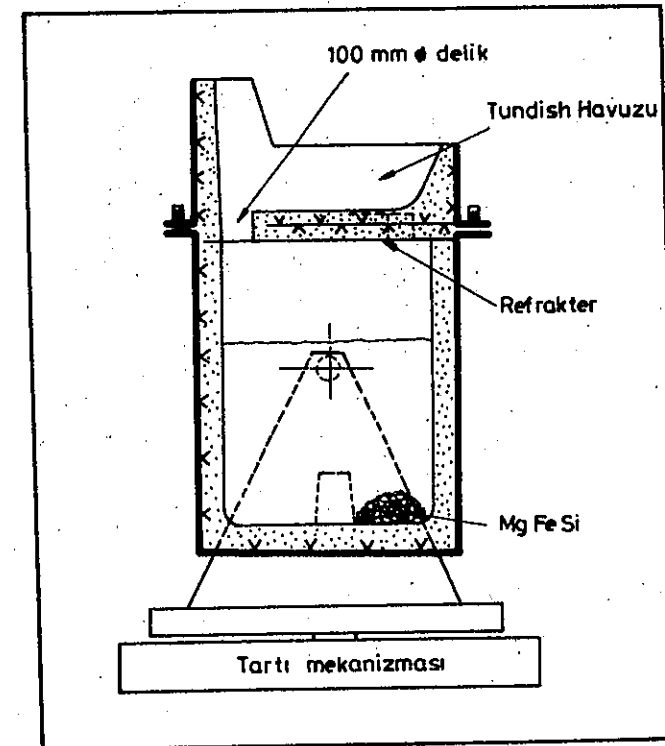


Resim 102 .Tovaglieri - İtalya dökümhanesinde indirekt Tundish - Cover yöntemi ile çalışma akışı

- A - Bekletme ocağı
- B - Magnezyum işlemi istasyonu
- 1 - Transfer potası
- 2 - Döküm potası



Resim 103 . İşlem istasyonundaki tundish cover potası kapağının açılma mekanizması



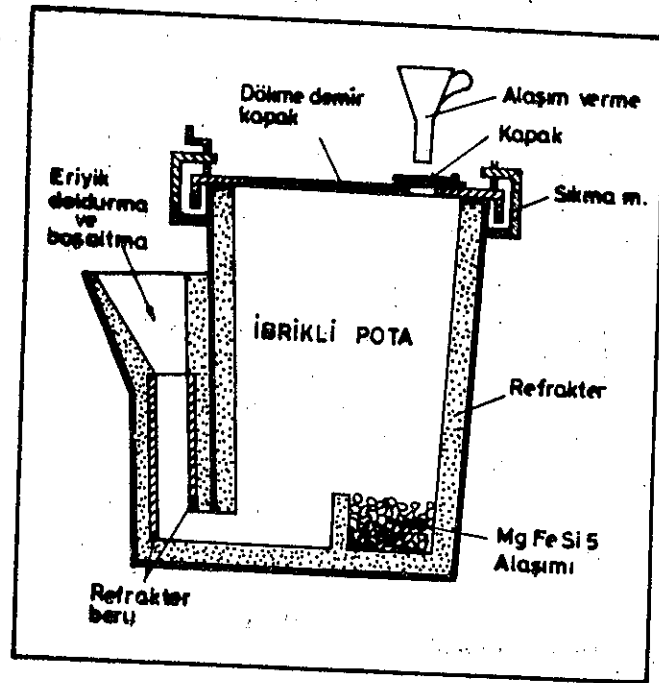
Resim 104 . UPO işlem potasının şematik görünüşü

UPO potası ve kapağı grafitik silika refrakter ile astarlanmış olup, 200 işlem yapılabilinmektedir. FeSiMg5 miktarı % 1.5 olup, bu değer Sandwich yöntemine nazaran % 30 nisbetinde bir elverişlilik getirmektedir. Eriyik sıcaklığı açık potada işlem alternatifinde 1550°C olup, UPD-yönteminde 1510°C dir. KGDD boruların üretiminde, 2.5 tonluk bir UPO-potası kullanılmaktadır. Aynı yöntemi uygulamakta olan bir İsveç dökümhanesinde, FeSiMg5 gereksinimi % 1.3 olup, kalıcı magnezyum miktarı % 0.045 dir. Magnezyum verimi % 74 olarak verilmekte ve bekletme ocağından alınan eriyik sıcaklığının bu yöntemin uygulanması ile 1480°C den 1440°C düşürüldüğü bildirilmektedir. Eriyik kükürt miktarı % 0.015 dir.

İbrikli pota yöntemi:

Resim 105 de gösterildiği gibi kapaklı potaların bir alternatifi olan bu yöntemde, eriyik potaya ibrik deliğinden verilmekte, reaksiyonun sona ermesinden sonra aynı delikten dökülmektedir.

UPO yöntemindeki elverişliliklere sahip bir yöntemdir.



Resim 105 İbrikli pota yöntemi

7.3 Flotret Yöntemi (Akışlı yöntem) ^{88,89}

Bu yöntemde, refrakter malzemesi ile kaplanmış, kapalı, bir bölümünde reaksiyon haznesinin bulunduğu, ve eriyiğin akışı esnasında küreselleştirme işlemine tabi tutulduğu, yatay durumda birbirleri ile irtibatlı bir kanal sistemi mevcuttur.

Küreselleştirme işlemi aralıklı yapılmakta ve her işlemden sonra ön bölüm üzerindeki kapak açılıp, FeSiMg-alaşımı hazne boşluğuna yerleştirilmektedir.

Sistemin uygun geometrik ölçüleri ve diğer özellikleri Materials Methods Ltd-İngiltere Firması tarafından bir patent ile belirlenmiştir.

Genel olarak, hazne 2 bölümden ibaret olup, hazne alt kısmı 9 in. kalınlığında % 70 lik alümina tuğla ile örülmüştür. Resim 106 da sistemin şematik olarak işlevi gösterilmiştir.

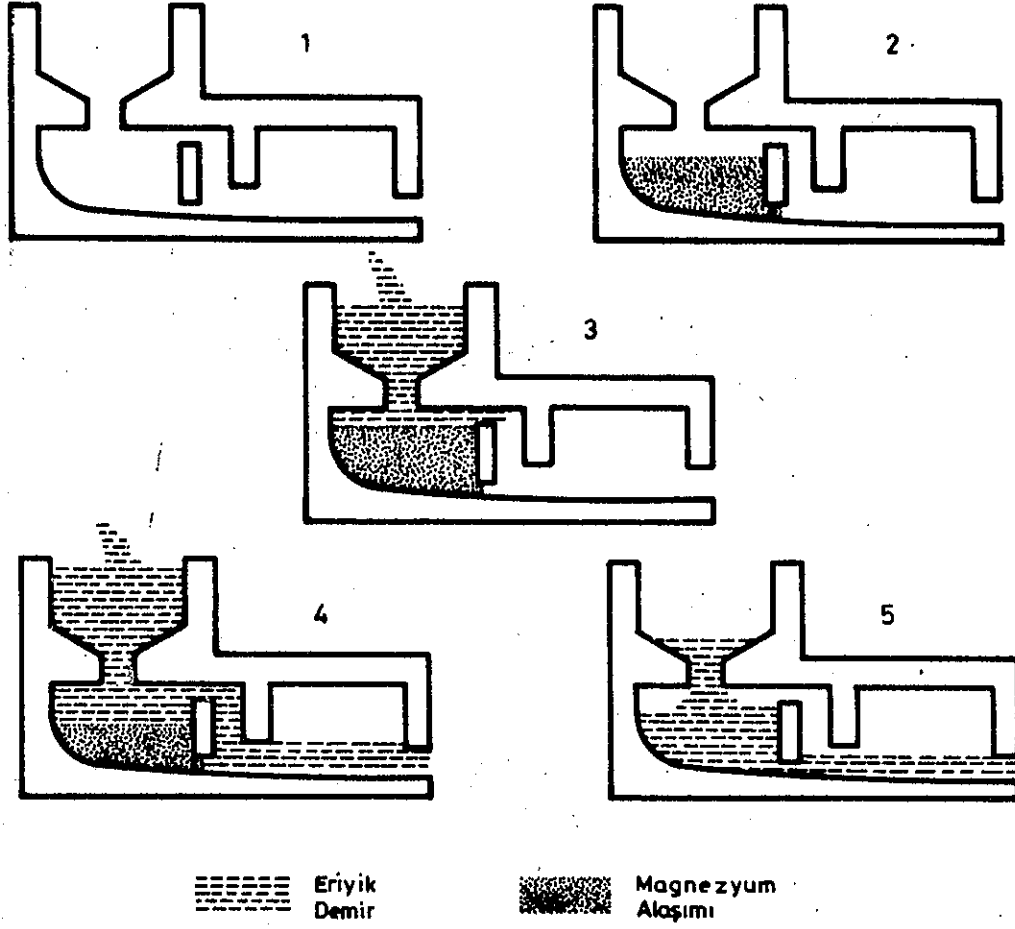
Eriyik ocaktan, sistemin döküm yolluğuna verilmekte resim 106 da görüldüğü gibi, küreselleştirici malzeme haznesini sınırlayan tuğla veya bölüm tarafından eriyik toplanarak, reaksiyon için gerekli yavaş akış hızı sağlanmaktadır.

Bu gün bir çok dökümhanelerde Flotret yöntemi uygulanmakta olup, şu elverişliliklere sahip olduğu vurgulanmaktadır:

- Asgari sıcaklık kayıpları
- Otomatik döküm şartlarına uyumlu ve hızlı bir sistem olması,
- Curumsuz bir eriyiğin elde edilmesi,
- Basit bir yöntem oluşu.

1985 yılından itibaren bu sistemi uygulayan Doesburg-Hollanda dökümhanesinde işlem akışı şöyle yapılmaktadır: ⁸⁸

1. Kanallı ocakta ergitilen eriyiğin istenen analizde, ve sıcaklıkta, ön ısıtılmış tambur tipi potaya



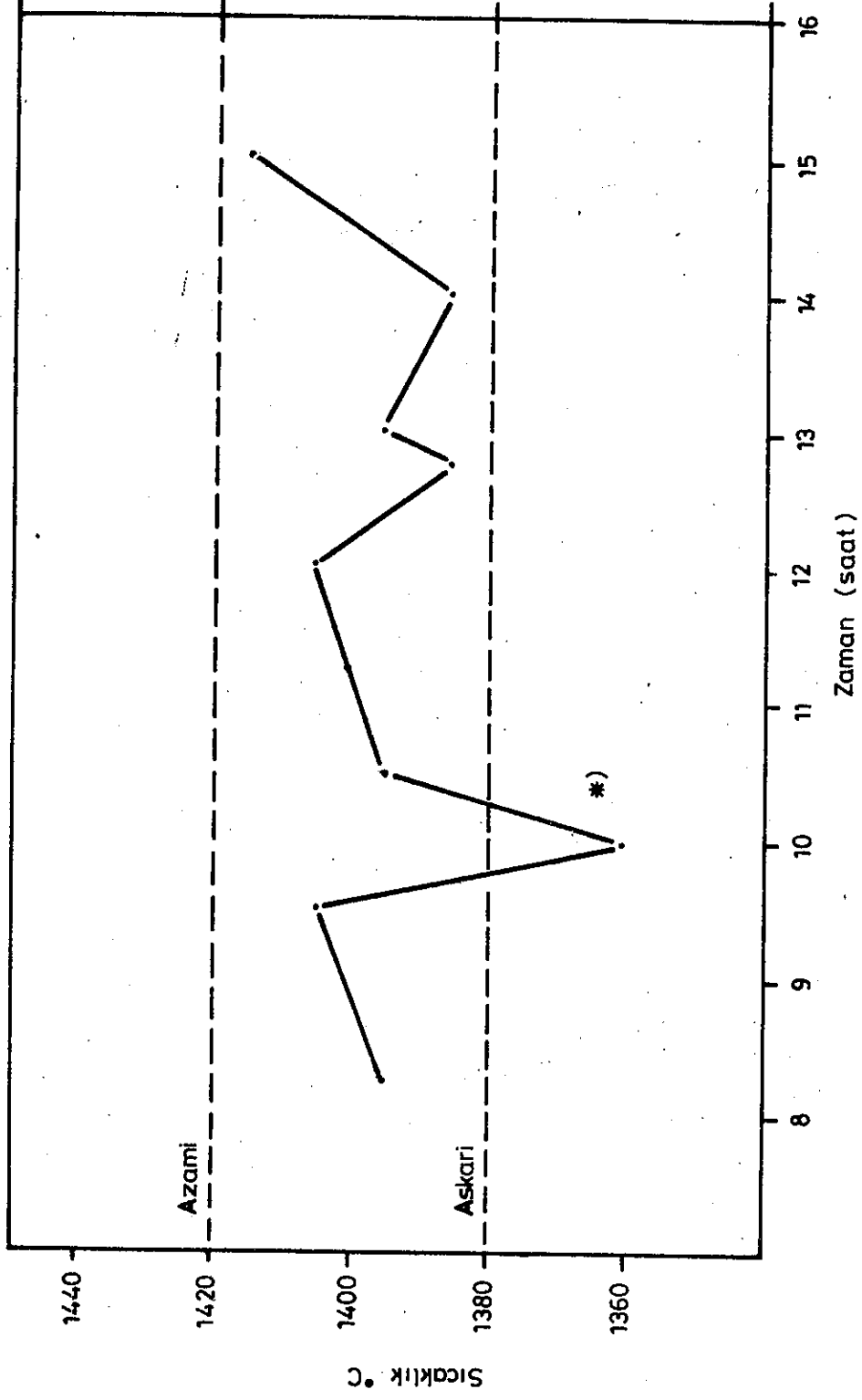
Resim 106 .Flotret yönteminin işlevi

- 1.alınması,1500°C
- 2.Bu işlem esnasında ön aşılama yapılması, % 0.1 Nucaloy(Materials-Methods Ltd)
- 3.Curufun temizlenmesi,
- 4.Ön ısıtılmış Flotret haznesinden otomatik döküm potasına dökümün yapılması. Flotret haznesine dökümde eriyik sıcaklığı 1460-1480°C,Kullanılan küreselleştirici malzeme, Procaloy 25(Materials-Methods Ltd)
- 5.Otomatik döküm potasından parçaların dökümü Aşılama Inoculin 90(Foseco),sıcaklık 1380-1420°C

Döküm potası ısıtılmamasına rağmen,döküm sıcaklıkları dar bir sınır içinde kalmaktadır(Resim 107). İşlem bütününde zamana bağlı olarak eriyik sıcaklığını Resim 108 vermektedir.

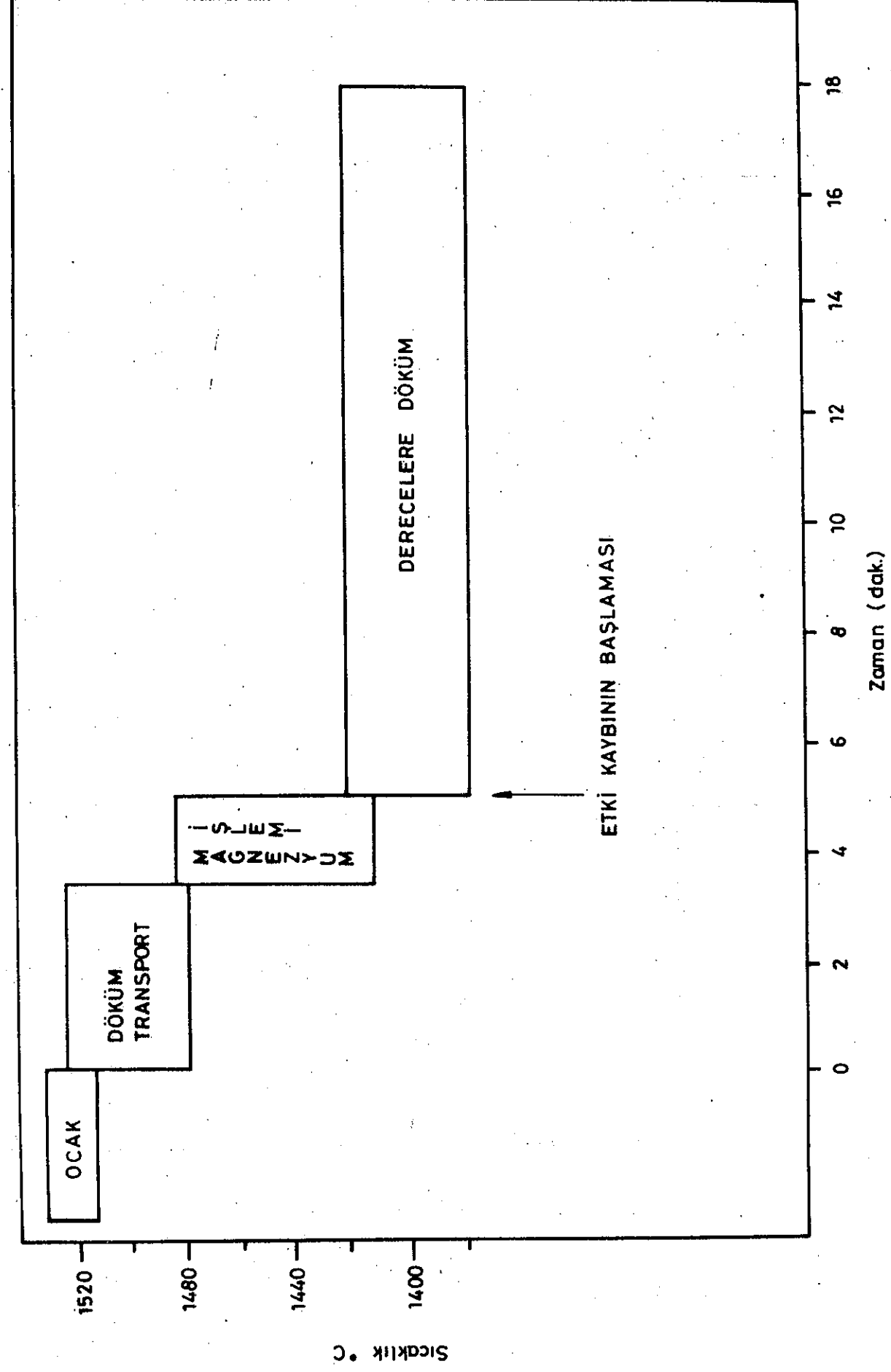
Flotret sisteminin elverişlilikleri şunlardır:

- 1.Düşük magnezyumlu(% 3-4) küreselleştirici malzemeler kullanılmaktadır.Kullanım miktarı % 2.2-2.3,Magnezyum faydalanımı % 53-58 dir.Kalıcı magnezyum miktarı % 0.04-0.05.Alaşım % 1.5 Ce ihtiva etmektedir.
- 2.Grafit küre sayısı 150-200 a/mm² dir.
- 3.Şarjı düşük kükürt ve silisyum,mangan miktarına sahip pik,devri daim malzeme ve soğuk şekillenen saç kırpın- tıları oluşturmaktadır.
- 4.İnce et kalınlıklarında dahi,4 mm,karbürsüz bir ana doku sağlanmaktadır.
- 5.GGG 40-GGG70 özelliklerinde KGDD döküm durumunda üretilmektedir.Perlit/Ferrit oranı potaya bakır ilavesi ile kontrol altına alınmaktadır.
- 6.Döküm parçalarından alınan numunelerin uzama ve çekme dayanımı değerleri DIN 1693 ile karşılaştırıl- larak Resim 109 da verilmiştir.

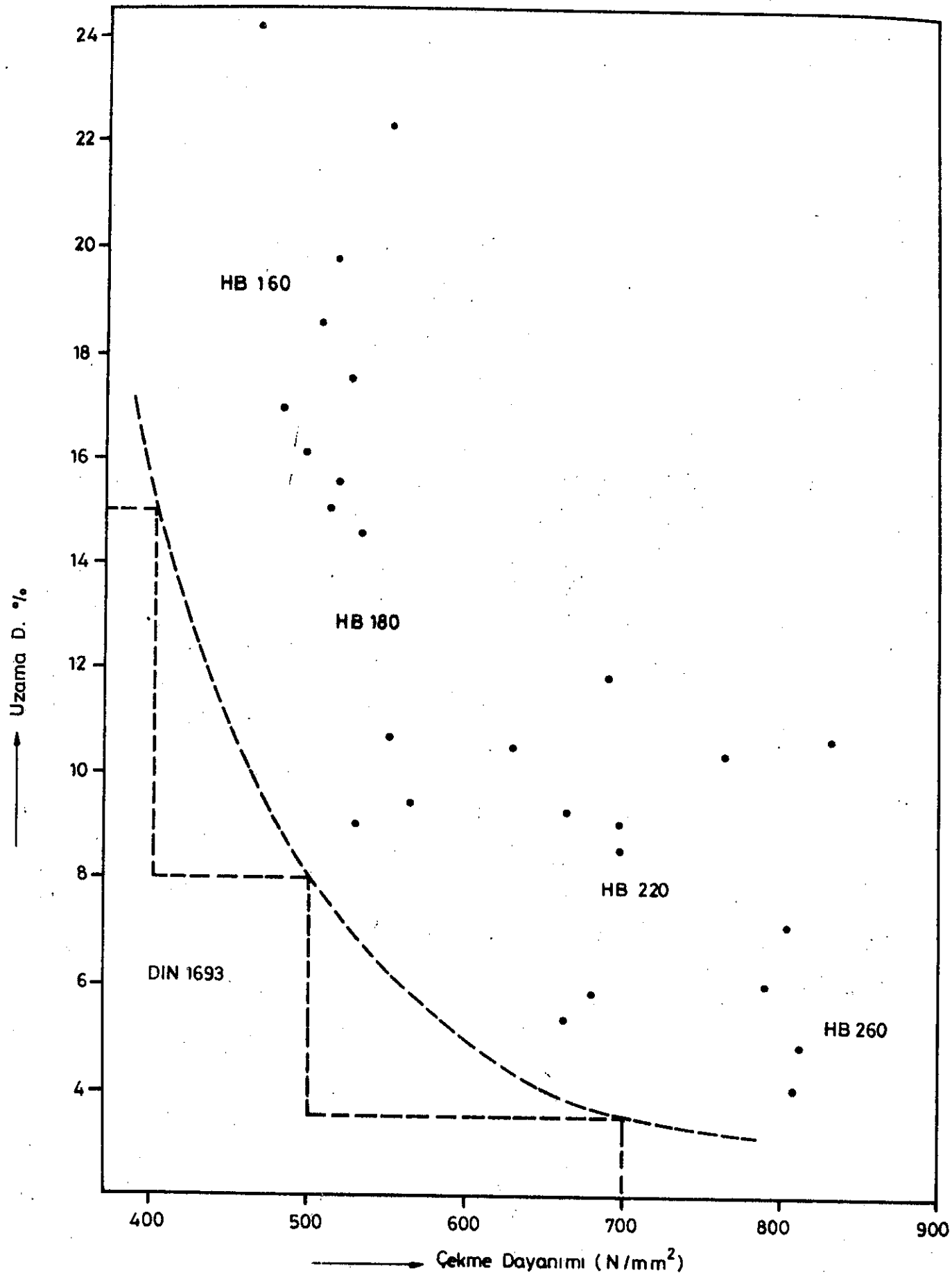


Resim 107 . Flotret Yönteminde Döküm sıcaklığı

*) : Kalıp bekleme



Resim 108 . Flotret Yönteminde İşlem süreçleri ve sıcaklık



Resim 109 . Flotret yöntemine göre üretilen KGDD'lerin mekaniki özelliklerinin DIN 1693 ile karşılaştırmaları

Mekaniki özelliklerden uzama değeri DIN'da verilen değerlerin üzerinde kalmaktadır. Bu flotret prosesi ile iyi bir küreselleşme, yüksek bir nodül sayısı ve temiz bir eriyiğin gerçekleştiğini kanıtlamaktadır.

Çizelgeler 25 ve 26 da flotret yöntemi ile üretilen ferritik ve perlitik dökümlerin analizleri ve mekaniki özellikleri verilmiştir.

Flotret yöntemi kısa bir geçmişe sahip olmasına rağmen, 1985 sonlarına kadar 43 dökümhanede uygulanmaya başlanmıştır. Yöntemin en çok uygulandığı ülkeler, İngiltere, Amerika, Almanya ve Hollanda'dır. Ülkemizde de 5 dökümhanede bu yöntem benimsenmiş bulunmaktadır.

Çizelge 25 . Flotret yöntemi ile üretilen Ferritik KGDD'lerin özellikleri (Döküm durumu)
T.C. Toplam Karbon

T.C. %	Si %	P %	S %	Mn %	Ni %	Cu %	Mg %	% 0.2 Akma sınırı N/mm ² , psi	Çekme D. N/mm ² , psi	Uzama %
3.63	2.34	0.019	0.014	0.25	0.08	0.05	0.044	406 (58 451)	509 (73 198)	21
3.55	2.26	0.016	0.014	0.25	0.07	0.05	0.040	369 (53 055)	482 (69 421)	24
3.51	2.36	0.013	0.014	0.21	0.09	0.06	0.040	400 (57 551)	512 (73 738)	23
3.60	2.28	0.014	0.016	0.20	0.07	0.05	0.038	387 (55 735)	510 (73 378)	21
3.58	2.33	0.019	0.015	0.22	0.07	0.10	0.038	387 (55 753)	511 (73 558)	18
3.58	2.35	0.020	0.015	0.21	0.08	0.07	0.040	400 (57 551)	515 (74 097)	18
3.56	2.38	0.020	0.015	0.20	0.08	0.07	0.038	387 (55 753)	490 (70 500)	20
3.72	2.43	0.021	0.013	0.21	0.07	0.06	0.038	406 (58 451)	532 (76 615)	15
3.68	2.38	0.013	0.013	0.21	0.09	0.09	0.045	387 (55 753)	480 (69 062)	20
3.67	2.35	0.018	0.013	0.22	0.07	0.06	0.039	387 (55 753)	485 (69 781)	19
3.68	2.44	0.016	0.013	0.21	0.06	0.06	0.042	394 (56 652)	497 (71 580)	24
3.69	2.39	0.018	0.013	0.22	0.07	0.05	0.041	375 (53 954)	472 (67 954)	20
3.69	2.27	0.016	0.016	0.21	0.08	0.04	0.042	375 (53 954)	472 (67 983)	22

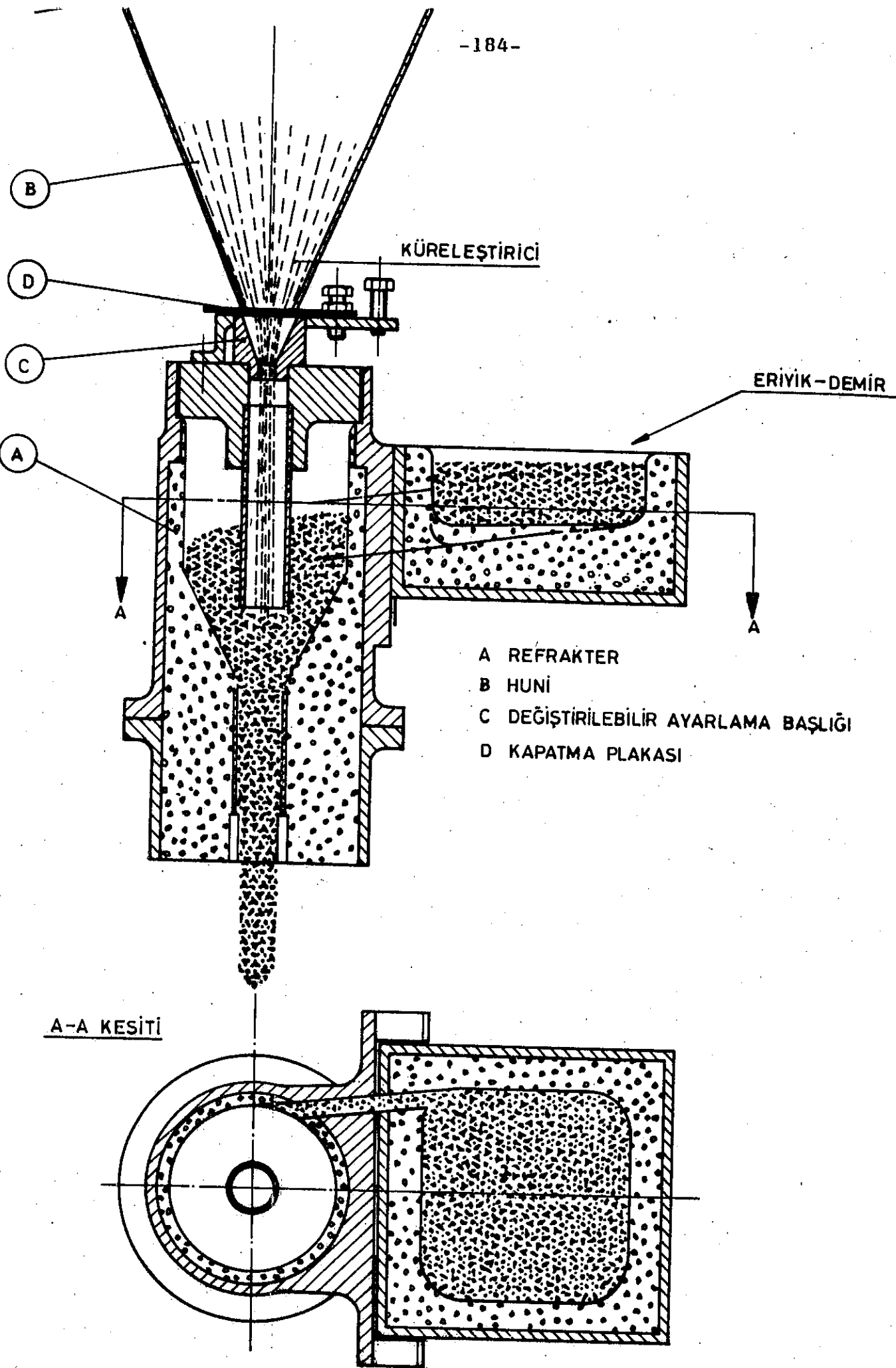
Çizelge 26 . Flotret yöntemi ile üretilen Perlitik KGDD'lerin özellikleri (Döküm durumu)

T.C. %	Si %	P %	S %	Mn %	Ni %	Cu %	Mg %	% 0.2 Akma sınırı N/mm ² , psi	Çekme D. N/mm ² , psi	Uzama %
3.50	2.30	0.012	0.012	0.50	1.51	0.62	0.40	670 (97 118)	857 (124 275)	4
3.45	2.33	0.011	0.012	0.53	1.60	0.64	0.042	676 (98 017)	872 (126 433)	2
3.47	2.31	0.010	0.011	0.52	1.67	0.66	0.038	614 (89 025)	843 (122 297)	4
3.41	2.36	0.010	0.011	0.53	1.63	0.64	0.040	632 (91 722)	828 (120 138)	4
3.62	2.34	0.004	0.014	0.51	1.61	0.60	0.039	670 (97 118)	827 (119 959)	4
3.60	2.27	0.006	0.015	0.52	1.65	0.62	0.039	608 (88 125)	813 (117 980)	4
3.44	2.25	0.018	0.011	0.48	1.25	0.68	0.039	632 (91 722)	890 (129 131)	4
3.51	2.33	0.015	0.013	0.52	1.51	0.60	0.039	632 (91 722)	843 (122 297)	5
3.58	2.37	0.024	0.011	0.44	1.30	0.50	0.037	639 (92 622)	779 (112 944)	3
3.56	2.19	0.018	0.015	0.53	1.69	0.69	0.042	589 (85 428)	863 (125 174)	4
3.69	2.44	0.019	0.014	0.45	0.07	0.47	0.039	512 (80 032)	761 (110 427)	6
3.66	2.39	0.020	0.015	0.51	1.27	0.46	0.041	663 (96 219)	808 (117 261)	5
3.44	2.29	0.014	0.016	0.41	0.07	0.58	0.039	713 (103 413)	756 (109 707)	3

7.4. Vorteks küreselleştirme yöntemi:⁹⁰
Hollandada geliştirilmiş bulunan bu yöntemde küreselleştirici Mg-alaşımı, demir eriyiğin akış anında bir girdap oluşturması ile karıştırılmaktadır.
Küreselleştirici olarak % 8-20 arasında magnezyum içeren FeSiMg alaşımları kullanılabilir. FeSiMg'un 0.2-3 mm arasında olması istenir. Magnezyum verimi işlemin uygulama sıcaklığına ve kullanılan alaşım malzemelerindeki Mg-miktarına bağlı olarak değişmektedir. Çizelge 27 de bu değerler verilmiştir.
Resim 110 Vorteks çalışma prensibini göstermekte-

Eriyik sıcaklığı	FeSiMg-alaşımı Mg-miktarı %	
	10	15
1350	60	55
1400	55	60
1450	50	45

Çizelge 27/ .Vorteks yöntemi işletme değerleri



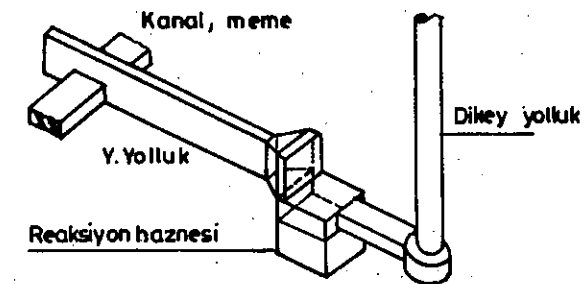
Resim 110 . Vortex yöntemi

7.5. Inmold-yöntemi: 91-94

Kalıp içinde küreselleştirme işleminin yapılması 1960 lı yılların sonuna doğru geliştirilmiş bir yöntem olup, diğer bütün yöntemlerden farklılığı işlemin en son safhada, kalıpta yapılmasıdır. Böylelikle üretim kademeleri sayısı azalmakta bunun yanında diğer elverişliliklere sahip olmaktadır. Sandwich yöntemi ile Inmold yöntemi üretim kademeleri karşılaştırıldığında:

<u>Sandwich</u>	<u>Inmold</u>
Ergitme	Ergitme
Kükürt giderme	Kükürt giderme
Mg-alaşımı işlemi	Mg-alaşımı işlemi
Curuf alma	Sıcaklık kontrolü
Aşılama	Döküm
Zaman kontrolü	Kalite kontrol
Sıcaklık kontrolü	
Parça kontrolü	
Döküm	
Kalite kontrol	

Inmold yönteminde üretim kademelerininin 6 adet olduğu görülür. Bu yöntemde küreselleştirici alaşım, yatay yolluk kanal sisteminde boyutları saptanılmış bir hazne içine yerleştirilir (Resim 111).



Resim 111 .Inmold -yöntemi, reaksiyon haznesi

Bilindiği gibi KGDD üretiminde karşılaşılan önemli problemler:

- Kuvvetli bir şekilde sapma gösteren ve bazen şartname sınırları altında kalan mekanik özellikler,
- Grafite şekil bozuklukları ve ana doku özelliklerinin farklı oluşu,
- Curuf hatalarıdır.

Bu problemlerin nedenleri ile uygulanan küreselleştirme yöntemi arasında yakın bir ilişki bulunmaktadır.

Inmold yönteminin en önemli elverişliliği, özellikleri aynı kalan KGDD üretimi mümkün kılmasıdır. Tasarım yönünden yöntemde küreselleştirici alaşımların çözünübilirlik hızlarının tesbiti gerekir. Çözünübilirlik, kimyasal analize, tane büyüklüğüne, kullanılan alaşımın şekline, reaksiyon haznesinde eriyik akış hızına ve eriyiğin sıcaklığına bağlıdır. Yapılan çalışmalar, alaşımın çözünübilirlik özelliği ile döküm hızı ve reaksiyon haznesi boyutları arasında bir ilişkinin var olduğunu ortaya koymuştur. Basit bir eşitlikle bu ilişki:

$$\frac{\text{Döküm hızı}}{\text{Reaksiyon haznesi kesiti}} = \text{Çözünübilirlik faktörü}$$

olarak yazılır.

Kullanılan küreselleştirici malzeme özelliklerine bağlı olarak reaksiyon haznesi kesiti saptanılır, örneğin FeSiMg5-alaşımı için çözünübilirlik faktörü, $K = 0.032 \text{ lb/in}^2/\text{san}$ olmalıdır. Döküm eriyik miktarı 250 lb, döküm süresi 50 san ve kalıcı magnezyum miktarı 0.06 olması istendiğinde,

$$\text{Reaksiyon haznesi kesiti} = (M_k \times W) / K \times T$$

M_k istenen kalıcı Mg-miktarı %

W Dökülen eriyik miktarı Lb

T Döküm süresi san

reaksiyon haznesi yüzeyi 9.3 in^2 olarak saptanılır.

Yöntemin diğer özellikleri, kalıpta aşılama etkisi nedeni ile ana dokunun karbür ihtiva etmemesidir (Resim 112).

Böylece bir ısıl işlemden gereksiz olmaktadır. Silisyum ve mangan miktarlarının Inmold ve Sandwich yöntemlerinde karbür oluşum sınırına etkileri Resim 113 de gösterilmiştir. Inmold yönteminde, yüksek mangan ve düşük silisyum miktarlarında bile (Mangan % 0.6, silisyum % 1.5) doku karbür ihtiva etmemektedir.

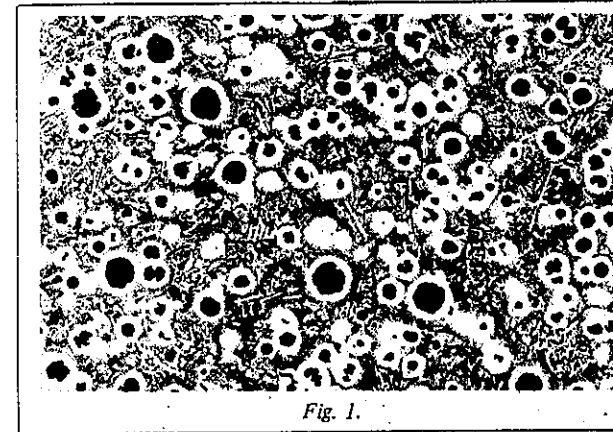


Fig. 1.

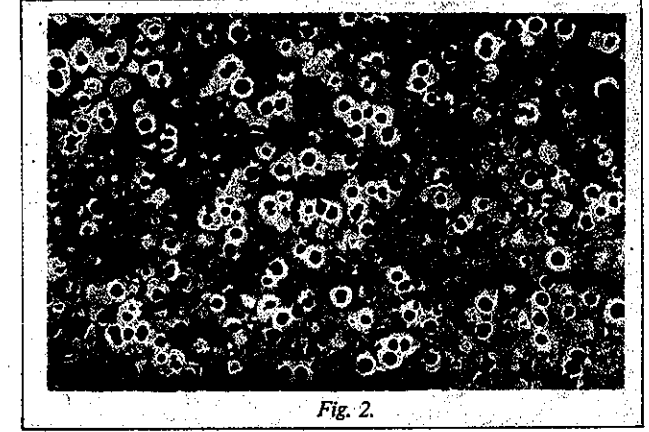
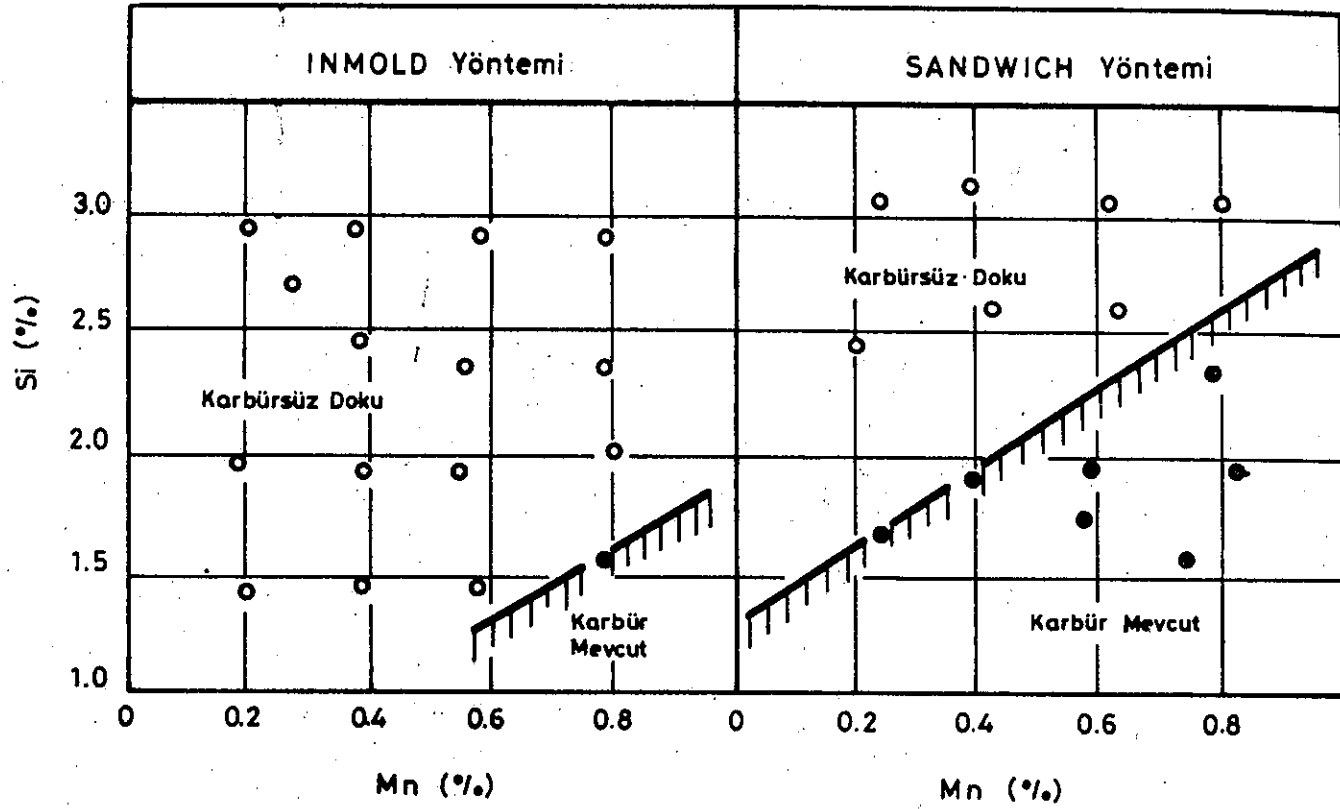


Fig. 2.

Resim 112 . Sandwich ve Inmold yöntemleri ile üretilen KGDD

parçalarının ana doku özellikleri

1. Sandwich, karbürler mevcut
2. Inmold, homojen perlitik bir doku



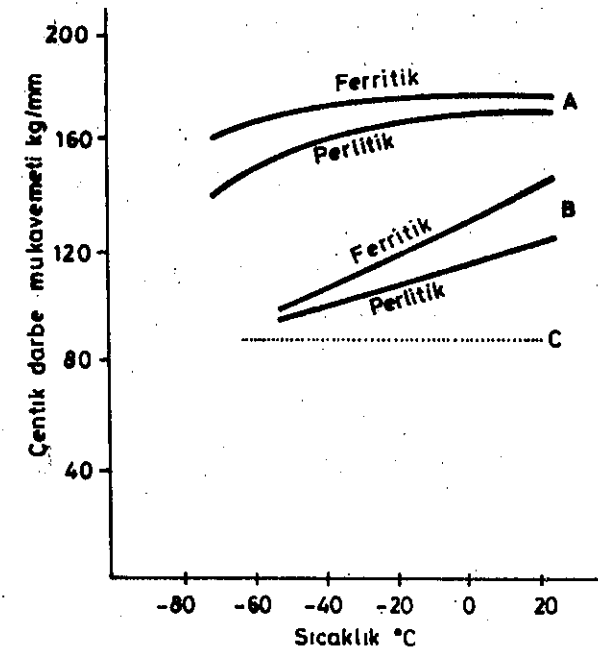
Resim 113 . Silisyum ve mangan miktarının Inmold , Sandwich yöntemlerinde karbür oluşum sınırına etkileri

Diğer taraftan grafit küre sayısının sandwich yöntemine kıyasla yüksek oluşu, çentik darbe mukavemet değerlerinin Resim 114 de verildiği gibi daha elverişli olmalarının bir nedenidir.

Grafit küre sayısı ve büyüklüğü ise şu değerlerdedir:

	Sandwich-yöntemi	Inmold-yöntemi
Grafit k. sayısı	160	400
Küre çapı (mm)	0.05	0.01

Bu özelliklerin yanında küreselleşme ideal olup, (%90), ince et kalınlıklarında dahi ana doku karbür ihtiva etmemektedir. Yöntemde küreselleştirici malzeme gereksinimi % 0.75-1 civarında kalmakta (eriyik kükürt miktarı % 0.01), magnezyum verimide % 80'in biraz üzerindedir. Fiat fabrikalarında yapılan bir çalışmada reaksiyon haznesi % 4-5 miktarında daha fazla bir malzeme sarfiyatına yol açmasına rağmen, metalurjik kalitenin Inmold-yöntemi ile daha yüksek olması nedeni ile besleyicilerin küçük alınabilmeleri toplam malzeme faydalanım % sini 6-8 arttırmaktadır.



Resim 114 . Çentik darbe mukavemeti, A-Inmold - yöntemi B - Sandwich yöntemi, C - Lamel grafitli dökme demir.

Inmold-yönteminin elverişlilikleri:

-Yöntemin magnezyum faydalanımı yüksek (% 80), gerekli ala-
şım miktarı diğer yöntemlere nazaran düşüktür(% 0.7-1).
Çizelge 28 . .

-FeSiMg-alaşımı 2 görevi yerine getirmekte,magnezyumun
kuvvetli küreselleştirici ve silisyum'un aşılama için FeSi-ilavesi
den faydalanılmakta,dolayısı ile aşılama için FeSi-ilavesi
gerekmektedir(Diğer yöntemlerde % 0.5-0.7 silisyum bazın-
da FeSi75 kullanılır)

-Küreselleştirme işlemi ve aşılama mümkün olan en son
proses kademesinde yapıldığından magnezyum'un oksidasyonu
ve aşılama etkisinin azalması söz konusu değildir.

-Bu yöntem çok iyi özelliklerde döküm parçası üretimini
mümkün kılmaktadır,bunlar

Karbürler mevcut değildir,

Küre sayısı fazladır,

Grafit küreleri çok daha küçüktür,

Özellikler aynıdır

-Mikro doku ve dolayısı ile mekaniki özellikler döküm
durumunda elde edilebildiğinden,ısıl işlem gerekmez.

Elverişsizlikleri

-Model ve maça sandığı fiyatı artar,

-Yolluk kanal ve besleyici tasarımı daha komplikedir,döküm
öncesi pratik deneyimlerle tesbit edilmelidir.

-Baz eriyiğin kükürt miktarı azami % 0.01 ve döküm sıcak-
lığı $\pm 20^{\circ}\text{C}$ olmalıdır.

-Bu yöntem bir parçanın seri üretimi söz konusu olduğunda
uygulanır.Parça döküm sayısı az ise tercihan Sandwich
yöntemine baş vurulmalıdır.

-Her kalıp bir işlem potası hüviyetinde olduğundan,kalite
kontrol çalışmalarının buna göre yapılması lazımdır.

	INMOLD	SANDWICH
Alaşım fiyatı/t	1050 L	920 L
S % 0.015,% kullanım	1	1.85
İşlem masrafı/t	10.50 L	17.02 L
Döküm kaybı	Yok	0.86 L
S.Aşılama % 0.15 (1500 L/t)	Yok	2.25 L
Toplam masraf/t	10.50 L	20.31 L
Sıcaklık kaybı	Yok	30/50
Etkileşim kaybı	Yok	15 dak
Reaksiyon haznesi	4-5 %	
Metalurjik özelliklerin artması(besleyici daha küçük)	5-8 %	
Duman oluşumu	Yok	Var

Çizelge 28 . INMOLD ve SANDWICH yöntemlerinin karşılaştırıl-
ması

Resimler 115 ve 116 Inmold yöntemi ile dökülmüş 2 parçayı
göstermektedir.



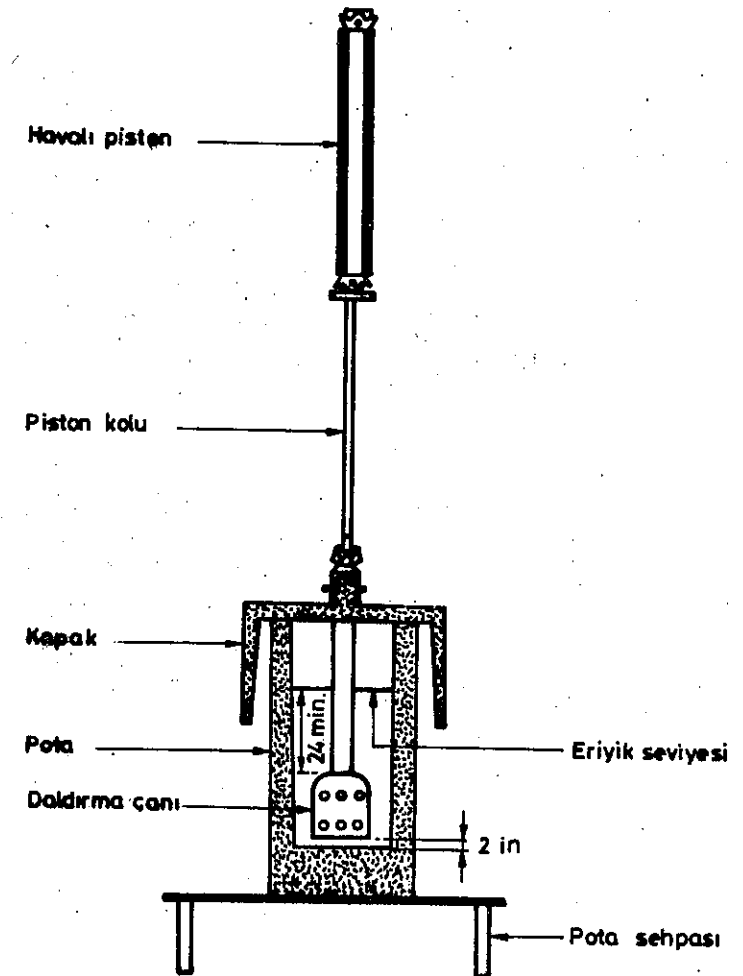
Resim 115 - 116 . Imold yöntemi ile dökülmüş bir krank mili (425 kg) ve redüktör gövdesi

7.6. Daldırma yöntemi: ⁹⁵

Yüksek magnezyum miktarına sahip küreselleştiricilerin kullanıldığı bu yöntemde, örneğin % 40 Mg, alaşım bir daldırma çanı içinde eriyikle dolu potanın tabanına kadar daldırılır. Çan grafit veya refrakter malzemeden yapılmış olup, küreselleştirici malzeme bir çelik folyo içine paketlenerek kullanılır. Pota özellikleri Sadwich yöntemindekine benzerdir. Magnezyum alaşımının eriyiğin içine daldırılması bir hidrolik mekanizma tarafından gerçekleştirilir. Daldırma süresi 50-80 san. dir. Resim 117 de yöntem şematik olarak gösterilmiştir.

D. Smidt'in yapmış olduğu çalışmada tundish yöntemi ile daldırma yöntemi karşılaştırılmıştır. ⁹⁵

Final silisyum ve kalıcı magnezyum miktarları ile mekanik özellikler daldırma yönteminde daha dar bir sınır içinde kalmaktadırlar. ⁹⁵ Diğer taraftan magnezyum faydalanma derecesinin daha fazla ve küreselleştirme işlemi maliyet-fiyatının % 11 daha ucuz olması bu yöntemin diğer elverişlilikleri olarak verilmektedir.



Resim 117 . KGDD üretiminde kullanılan daldırma yöntemi potası

7.7. MAP-yöntemi:

Patenti alınmış bulunan bu yöntemde, üst yüzeyi bir kaç kat özel bir şekilde refrakter malzemesi ile kaplanmış olan magnezyum metal parçası (bloğu), reaksiyonun başlayabilmesi için, yüzeyin sadece bir yerinde açık bırakılmıştır.

Dış yüzeyi refrakter malzeme ile örtülmüş bir demir çubuğun ucuna bağlanan blok eriyiğe daldırılarak küreselleştirme işlemi yapılır.

Reaksiyon süresi 30-45 san. olup, magnezyum verimi 1400°C işlem sıcaklığında % 65 dir. Sıcaklık arttıkça faydalanma derecesi azalır.

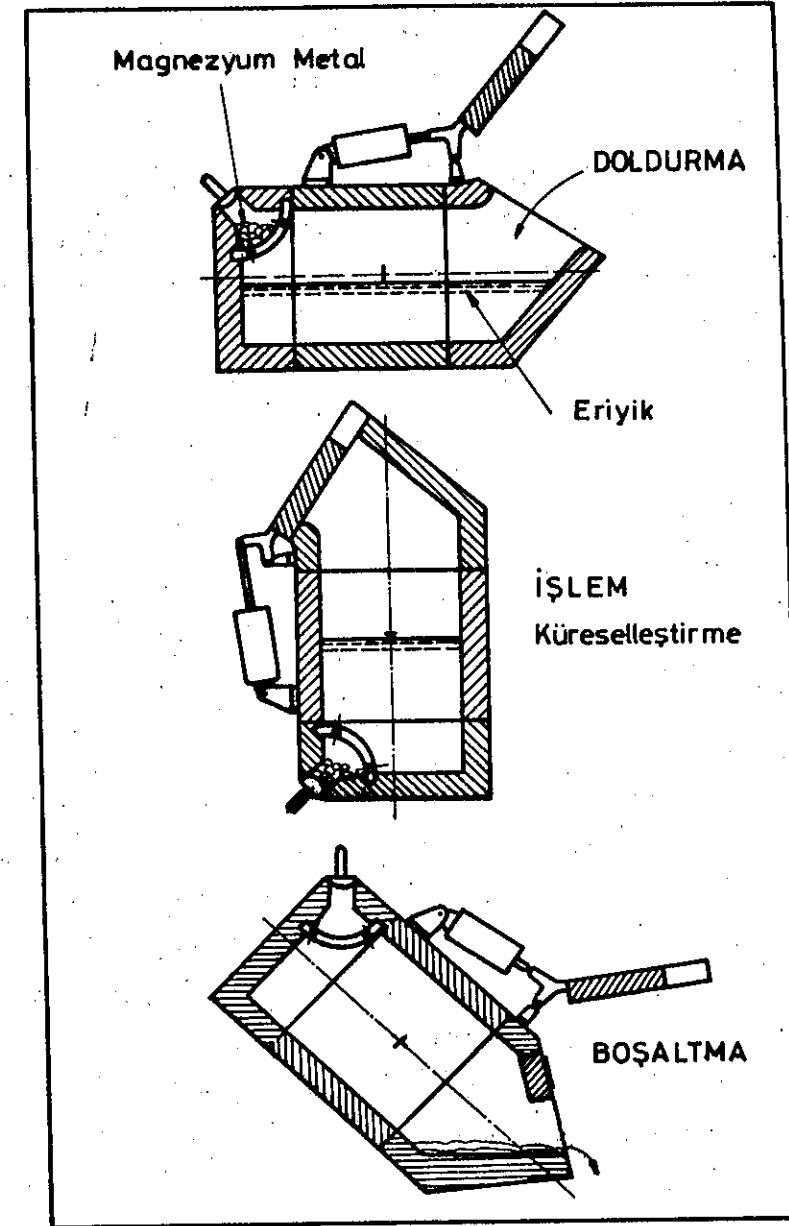
Yöntemde önemli olan husus eriyik miktarı olmaktadır. Tavsiye edilen sınır 3 ton'un üzerindedir. Bu nedenle MAP-yöntemi büyük pota hacimlerinde ve düşük sıcaklıklarda elverişli olup, örneğin KGDD borularının üretiminde uygulanır.

7.8. Konverter yöntemi:⁹⁶

Konverterde küreselleştirme yöntemi, Georg Fischer firmasının getirdiği bu yenilik nedeni ile yöntem adı verilmiştir, ve Fischer konverteri olarak adlandırılır. (Resim 118).

Konverter tabanının köşesine dışardan bir kapak aracılığı ile saf magnezyum yerleştirilir. Sıvı metal doldurulduktan sonra konverterin ağı kapatılır ve reaksiyon ürünü gaz, dumanın dışarı çıkması önlenir. Bu şekilde magnezyum verimide artar. Yöntemin diğer bir elverişliliği en ucuz küreselleştirici olan saf magnezyum metalinin kullanılmasıdır. Ayrıca eriyik küllük miktarıda diğer yöntemlere nazaran daha yüksek olabilmektedir.

Yöntemin elverişsiz yönleri, uygulanmasında dökümhanelerin yüksek üretim kapasitelerine sahip olma zorunluluğudur. Bunun nedeni küçük konverterlerde sıcaklık kayıplarının fazla olması, ve bir pota ile kıyaslamada komplike bir yöntem olması sebebi ile bakım masraflarının fazlalığıdır. 1976 yılı başlarında 54 adet konverter çeşitli dökümhanelerde mevcut olmalarına rağmen bunların bir kısmı kullanılmıyordu.



Resim 118 . Fischer Konverterinin çalışma prensibi

7.8.1. Fosco döner pota yöntemi,⁹⁷

Konverter yönteminin az bir değişikliğe sahip şeklidir (Resim 119). Küreselleştirici olarak kullanılan magnezyum emdirilmiş kok kömürü, potanın döküm ağzının karşısına gelen kısma yerleştirilmiş bir hazne içine konur. Diğer işlemler konverter yönteminde olduğu gibidir. Küreselleştirme için gerekli magnezyum-kok'u miktarı işlem sıcaklığına ve eriyik başlangıç kükürt miktarına bağlı olarak değişir. (Resim 120). Kalıcı magnezyum miktarı % 0.05 ve başlangıç kükürt miktarı % 0.1 için magnezyum-kok'u miktarı % 0.5 dir.

7.9. T-Nock yöntemi:

Bu yöntem şematik olarak Resim 121 de gösterilmiş olup, magnezyum alaşımı, eriyiğin döküm havuzundan potaya akması esnasında refrakter bir boru içinden eriyiğe verilir. Magnezyum verimi yüksek, ve çalışma şartları iye olmasına rağmen, yöntem şimdiye kadar geniş bir kullanım sahasına sahip olamamıştır.

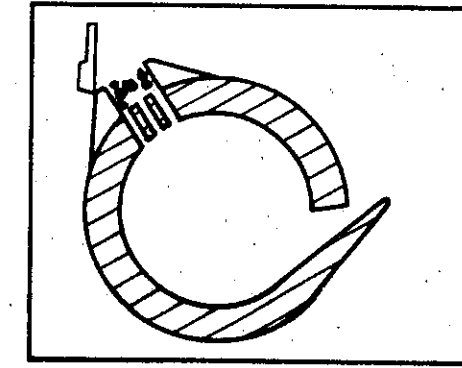
7.10. Puddel-yöntemi:

Fransada geliştirilmiş olan bu yöntemde, demir eriyiğin çok az bir bölümü (kısmı), katılma sıcaklığına yakın bir sıcaklıkta açık pota yönteminde olduğu gibi, yüksek miktarda magnezyum ile işleme tabi tutulmaktadır. Daha sonra bu kısım eriyik demir içine verilir ve seyreltilir. Magnezyum verimi yüksek olmasına rağmen soğuk baz eriyiğin hazırlanması için bir diğer ocağa ihtiyaç gösterdiğinden yöntem büyük bir ilgi görmemiştir.

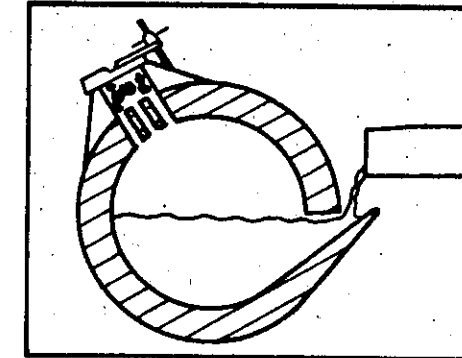
7.11. Yöntemlerin karşılaştırması

Çizelge 29 da bu gün uygulanmakta olan yöntemler, kullanılan küreselleştirici malzemeler, bunların faydalanma dereceleri, eriyik başlangıç azami kükürt miktarları verilmiştir.

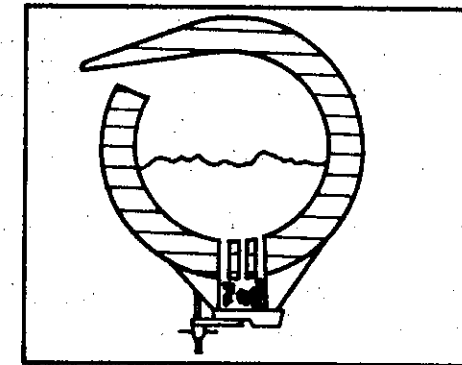
Resim 119 . Fosco döner pota (Hazne) yöntemi



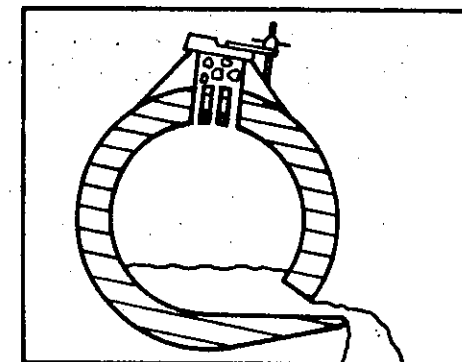
1) Mag - Kok'unun yerleştirilmesi



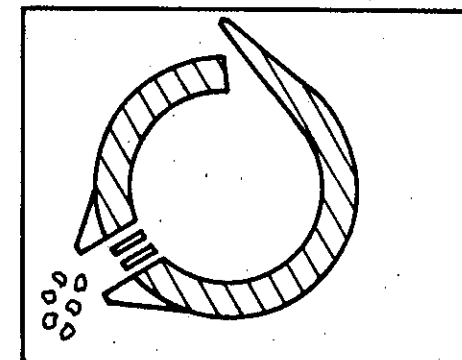
2) Haznenin kapatılması
Potanın doldurulması



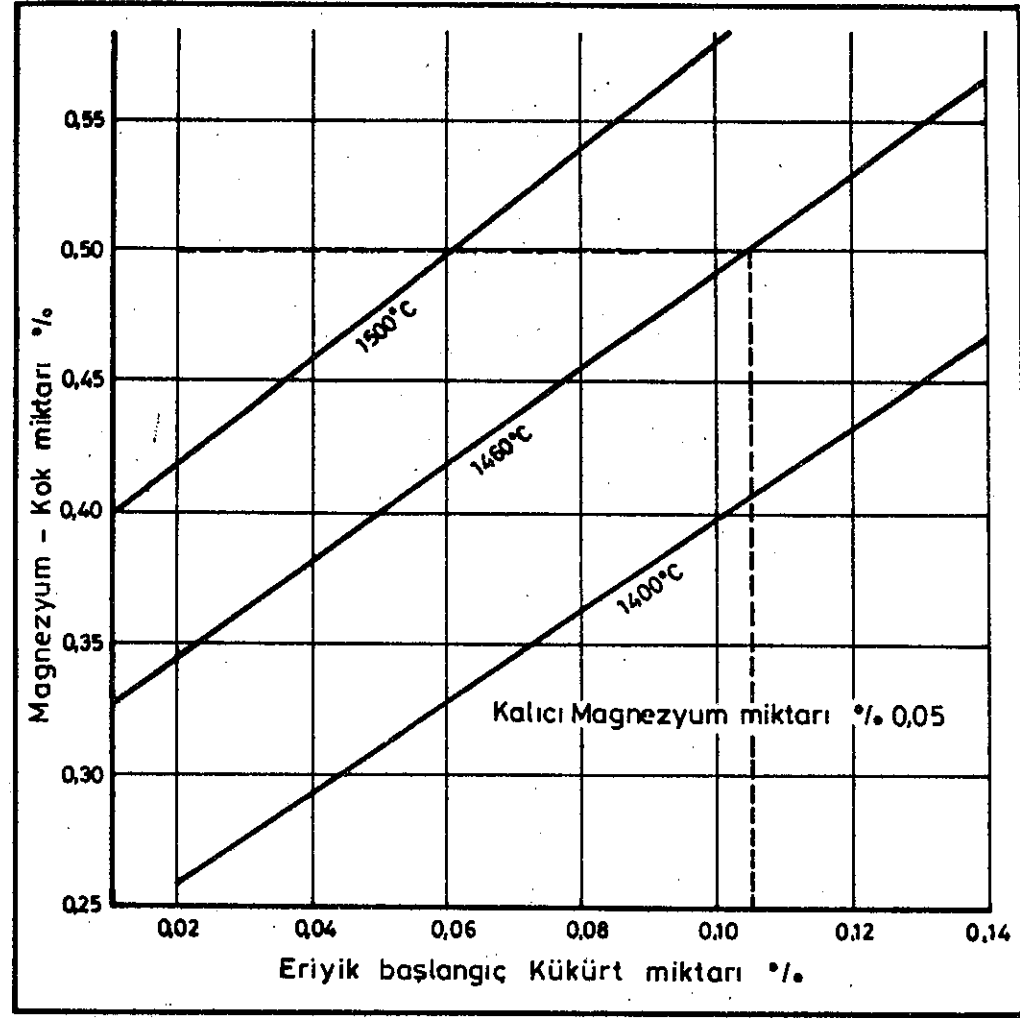
3) Potanın döndürülmesi



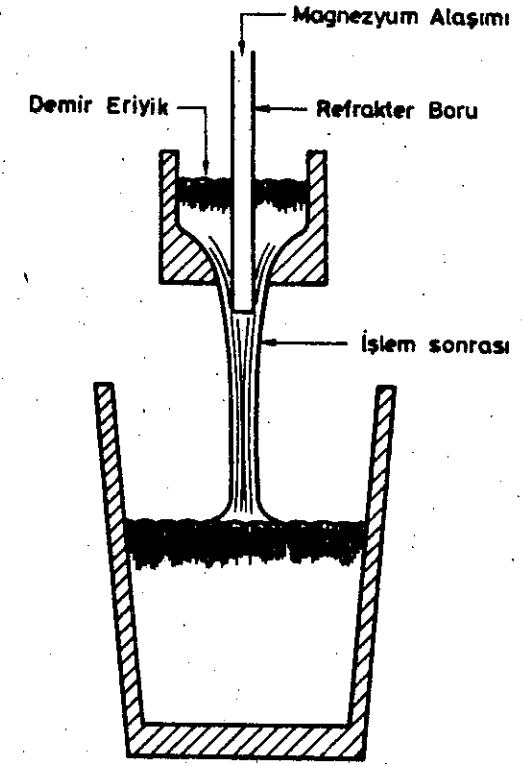
4) Demir eriyiğin dışarı dökülmesi



5) Artık kok'un dışarı alınması



Resim 120 . Foseco döner pota (hazne) yönteminde, eriyik kükürt miktarı ve sıcaklığa bağlı olarak gerekli Mag - Kok miktarının değişimi



Resim 121 . T - Nock yöntemi , şematik

Yöntemi	Malzeme	Uygunluk oranı %	max. %	
Sandwich	Fe Si Mg 5 Fe Si Mg 3 Fe Si Mg 10	40 - 50 60 30	0,03 0,02	Kalıcı Magnezyum % 0,045 İşlem sıcaklığı 1450 - 1500 °C
Trigger	Fe Si Mg 5	40 - 50	0,03	
Tundish C.Y.	Fe Si Mg 5 Fe Si Mg 10	50 - 60 45	0,03	
Daldırma Y.	Magnezyum % 40	35 - 50	0,04	
Inmold Y.	Fe Si Mg 5 Procaloy 16,5	80 - 90	0,01	Küreselleştirici Mlz. % 0,75 - 1 miktarında kullanılır.
Konverter Fischer	Magnezyum	50 - 70	0,08	
Flotret	Fe Si Mg 3	53 - 55	0,03	Materials Methods Procaloy 25, % 3-4 Mg, Kalıcı Mg % 0,04 - 0,045 için % 2,2 - 2,3

İşlem sıcaklığı 1460 - 1480 °C

Incond	Procaloy	50 - 60	0,015	Procaloy 25, % 1,7 - 2,4 Magnezyum % 3 - 4 Kalıcı Magnezyum % 0,03 - 0,04
Döner Pota Foseco	Mag - Coke		0,1	Mag - Coke, % 45 Magnezyum Kalıcı Magnezyum % 0,05 için Kullanım miktarı % 0,5
Mixer Tube Junker - Cofe	Fe Si Mg 10	40 - 45	0,025	0,4 - 2 mm tane büyüklüğü, Kalıcı Magnezyum % 0,045 için Kullanım miktarı % 2
Vortex	Fe Si Mg 8 Fe Si Mg 10	45 - 60	0,025	0,2 - 3 mm tane büyüklüğü Faydalanma işlem sıcaklığına bağlı (1450 °C)
Dr. İzgiz	Çizelge 29 . Küreselleştirme yöntemleri ve özellikleri			1987

7.12. Grafiti küreselleştirici malzemeler:

Pratik uygulamada magnezyum en çok kullanılan küreselleştirici malzemedir. Magnezyum alaşımında diğer bazı elementlerde bulunmaktadır. Bu elementler miktar olarak çok az olmalarına rağmen, reaksiyon hızı ve hareketini azaltıcı, optimal metalurjik özellikleri sağlayıcı önem taşırlar.

Küreselleştirme işleminden önce kükürt giderici bir işlem uygulanmış olabilir. Bu işlem küreselleştirme işlemi takviye edici özelliğe sahip olduğundan, küreselleştirmenin bir bölümü, kısmi hüviyetindedir. Ön işleme iyi bir örneği ocaktan döküm öncesi eriyiğe SiC'ün verilmesi teşkil eder. Silisyum ve karbonun küreselleştirici bir etkileri olmamalarına rağmen, pratik çalışmalar ile ortaya konulduğu gibi silisyum karbür ile bir ön işleme tabii tutulmuş eriyik, küreselleştirme için daha uygun şartlara getirilmiş ve özellikle karbür oluşumuna temayül azaltılmış olmaktadır. Gerekli magnezyum miktarı, kullanılan yöntemin magnezyum verimine ve eriyik kükürt miktarına bağlı olarak değişir. Yöntemlerde magnezyum faydalanma derecesi, yani verimi, çok geniş bir aralık içinde kaldığından (% 10-90), gerekli magnezyum miktarı dökümhane şartlarında pratik çalışmalar neticesi bulunmalıdır. Bundan önce değinildiği gibi, magnezyum miktarının fazla olması, döküm durumunda karbür oluşumunu arttıran bir unsurdur, bunun yanında çekinti problemi de kuvvet kazanır. Hedeflenen kalıcı magnezyum miktarının asgari miktarın % 0.015 üzerinde kalması gerekir. Uygulanan bir çok küreselleştirme yönteminde kalıcı magnezyum miktarının \pm % 0.015 doğrulukla sağlanması bir problem teşkil etmemektedir.

Küreselleştirme işlemi ile aşılama işleminin çok yönden birbirlerini etkilediğini vurgulamak lazımdır. Küreselleştirici elementler ön görülen bu işlem için gerekli miktarın üzerinde kullanıldıklarından, aşılama etkilemede gösterirler. Buna en iyi örneği, Inmold yöntemi teşkil eder, Bu yöntemde aşılama yapılmamasına rağmen, iyi bir döküm dokusuna sahip olunmaktadır.

Önceleri küreselleştirici olarak bilinen ve daha sonra lamel tipi grafit oluşumunu engelleyici etkisi tesbit

edilen Cer metali bugün hem küreselleştirici alaşımında, hemde aşılama malzemesinde bulundurulmuş olarak kullanılmaktadır. Lathan elementi ise küreselleştirici olarak çok az etkinliğe sahip olmasına rağmen, bu özelliği magnezyum ve cer ile birlikte kullanılması halinde artmaktadır.

Bu gün geniş bir analiz aralığı içinde mişmetaller üretilmekte olup, analizleri çizelge 30 da verilmiştir.

Son 30 yılda küreselleştirici malzemeler konusu ile ilgili olarak yapılan çalışmalar neticesi, bu gün sayıları çok fazla olan küreselleştirici malzeme mevcuttur. Bu malzemeleri 7 gurup altında toplayabiliriz.

Yine eriyik kükürt miktarına bağlı olarak genellikle kullanılan küreselleştirici malzemeler Çizelge 31'de verilmişlerdir. Eriyik kükürt miktarı arttıkça küreselleştirici magnezyum miktarı fazlalaşmaktadır. Bundan öncede belirtildiği gibi magnezyum metal ve magnezyum-kok'u eriyik kükürt miktarı % 0.12 olduğunda kullanılmaktadır. (7.8 ve 7.81).

Çizelge 30 . Mişmetal analizleri.

Ülke	Analiz %				
	Ce	La	Pr	Ne	Ce / La oranı
B. Almanya	50 / 60	25 / 30	4 / 6	10 / 15	2 / 1
İngiltere	50 / 55	23 / 27	4 / 7	10 / 14	2.1 / 1
Brezilya	52 / 58	15 / 19	6	11 / 15	3.2 / 1
Avusturya	50	23	-	-	2.2 / 1
Fransa	20	26	3	18	0.8 / 1

Çizelge 32 . Nikel bazlı magnezyumlu alaşımlar.

Tanımlama	Analiz %				
	Mg	Ni	Si	C	Fe
Ni Mg - 1	15	83	-	2,0	-
Ni Mg - 2	15	50	30	-	Kolon
Ni Mg - 3	4,5	93	-	1,5	-
Ni Mg - 4	4,5	60	-	2,5	Kolon

Küreselleştirici Malzeme	Ocak eriyik üst Kükürt miktarı %				
	0,02	0,03	0,04	0,05	0,12
Ni Mg 4 % 4,5 Mg					
Fe Ni Mg 4 4,2 Mg					
Ni Mg 15 15 Mg					
Fe Si Mg 5 5 Mg					
Fe Si Mg 10 10 Mg					
Fe Si Mg 30 30 Mg					
Fe Si Mg 40 40 Mg					
Mg - Coke 40 Mg					
Mg - Metal > 0,12 S					
Dr. İzgiz	Küreselleştirici malzemeler ve eriyik azami Kükürt miktarı Çizelge 31				1987

7.12.1. Magnezyum metal:

Metalik magnezyum ve alüminyum miktarı az olan Mg-Al-alaşım-ları küreselleştirici olarak kullanılabilirler.Reaksiyonun çok kuvvetli olması bu alaşımın veya metalin bir daldırma çanı ile eriyiğe verilmesini zorunlu kılmaktadır.

7.12.2. Nikel bazlı küreselleştirici alaşımlar:

Genel olarak kullanılan 4 farklı analize sahip,NiMg-küresel-leştirici alaşımı Kuzey Amerikada Cer'siz piyasaya sürülmek-tedir.Avrupada ise cer ihtiva edecek şekilde üretilmektedirler.Östenitik KGDD lerin üretiminde bundan öncede belirtildi-ği gibi küreselleştirici cer ihtiva etmemelidir. Bu alaşımların yüksek karbon miktarına sahip olmaları üretim-lerinde kolaylık sağlamaktadır.

NiMg1 ve NiMg2 alaşımları 3-50 mm tane büyüklüğünde, NiMg3 ve NiMg4 alaşımları ise blok şeklinde,ağırlıkları 1360-6810 gr arasında olarak üretilmektedir

Son belirtilen ve blok şeklinde satılan 2 alaşımda eriyik demire kıyasla daha yüksek bir özgül ağırlığa sahip olduk-larından etkili yani faydalanma derecesi yüksek bir çalış-ma gerçekleştiği gibi,çalışma şartlarında rahat olduğundan, bazı üreticiler bu nedenlerle küreselleştirme işlemini di-rekt induksiyon ocagında yapmaktadırlar.Çizelge 32 de

Nikel bazlı magnezyumlu alaşımların analizleri verilmiştir.

Küreselleştirici Malzeme	Ocak eriyik üst Kükürt miktarı %				
	0,02	0,03	0,04	0,05	0,12
Ni Mg 4 % 4,5 Mg	/				
Fe Ni Mg 4 4,2 Mg	/				
Ni Mg 15 15 Mg	/	/	/	/	
Fe Si Mg 5 5 Mg	/	/			
Fe Si Mg 10 10 Mg	/	/	/		
Fe Si Mg 30 30 Mg	/	/	/	/	/
Fe Si Mg 40 40 Mg	/	/	/	/	/
Mg - Coke 40 Mg	/	/	/	/	/
Mg - Metal > 0,12 S	/	/	/	/	/
Dr. İzgiz	Küreselleştirici malzemeler ve eriyik azami Kükürt miktarı Çizelge 31				1987

7.12.1. Magnezyum metal:

Metalik magnezyum ve alüminyum miktarı az olan Mg-Al-alaşım-ları küreselleştirici olarak kullanılabilirler.Reaksiyonun çok kuvvetli olması bu alaşımın veya metalin bir daldırma çanı ile eriyiğe verilmesini zorunlu kılmaktadır.

7.12.2. Nikel bazlı küreselleştirici alaşımlar:

Genel olarak kullanılan 4 farklı analize sahip,NiMg-küresel-leştirici alaşımı Kuzey Amerikada Cer'siz piyasaya sürülmek-tedir.Avrupada ise cer ihtiva edecek şekilde üretilmektedirler.Östenitik KGDD lerin üretiminde bundan öncede belirtildi-ği gibi küreselleştirici cer ihtiva etmemelidir.

Bu alaşımların yüksek karbon miktarına sahip olmaları üretim-lerinde kolaylık sağlamaktadır.

NiMg1 ve NiMg2 alaşımları 3-50 mm tane büyüklüğünde, NiMg3 ve NiMg4 alaşımları ise blok şeklinde,ağırlıkları 1360-6810 gr arasında olarak üretilmektedir

Son belirtilen ve blok şeklinde satılan 2 alaşımda eriyik demire kıyasla daha yüksek bir özgül ağırlığa sahip olduk-larından etkili yani faydalanma derecesi yüksek bir çalış-ma gerçekleştiği gibi,çalışma şartlarında rahat olduğundan, bazı üreticiler bu nedenlerle küreselleştirme işlemini di-rekt induksiyon ocagında yapmaktadırlar.Çizelge 32 de

Nikel bazlı magnezyumlu alaşımların analizleri verilmiştir.

7.12.3.Ferrosilisyum bazlı küreselleştirici malzemeler:

Çizelge 33 de ferrosilisyum ana alaşım olmak üzere döküm-hanelerde kullanılan bazı küreselleştirici malzemelerin analizleri verilmiştir.

Kullanıcı,üreticinin malzemeler ile ilgili bilgi föylerini incelemeli ve çalışma şartlarına uygun olanını seçmelidir.

Et kalınlığı 50 mm'nin üzerinde olan KGDD parçalarının üretiminde en önemli olan husus Chunk tipi grafit'in oluş-maması için mümkün mertebe düşük cer miktarlarına sahip küreselleştirici malzemelerin seçilmesi lazımdır.

Çoğu kez çizelge 33 de verilen alaşımlarla yapılan küresel-leştirme işleminde sağlanan etki,cuzi miktarlarda magnezyum-suz metasilisitlerin kullanılması ile kuvvetlendirilir.

Metasilisit analizi çizelge 34 de verilmiştir.

SEM silisit malzemeleri küreselleştirme işlemi esnasında veya akabinde kullanılmalıdır.Önceden ilave etme,pahalı bir kükürt giderme işleminden başka bir şey olamaz. Bilindiği gibi % 0.01 kükürtü bağlamak için % 0.044 Ce gereklidir,oysa aynı miktarda kükürt % 0.0076 Magnezyum ile giderilir.

Magnezyum verimi aynı yöntem tekniğinin kullanılmasında alaşımdaki magnezyum miktarı ile azalır.Bu nedenle oksidas-yon şartlarının,yani hava ile temasın fazla olduğu yöntem-lerde kullanılan kükürtsüzleştirici alaşımların magnezyum miktarı azami % 5 dir.(Resim 122).

Çizelge 34 .Ender toprak alkali metal silisit analizi (Foote Ferroalloys USA)

Tanım	%Ce	%Si	%ETA	%Fe
CSF-10	9-11	36-40	10.5-15	Kalan
ETA	Ender toprak alkaliler (SEM)			

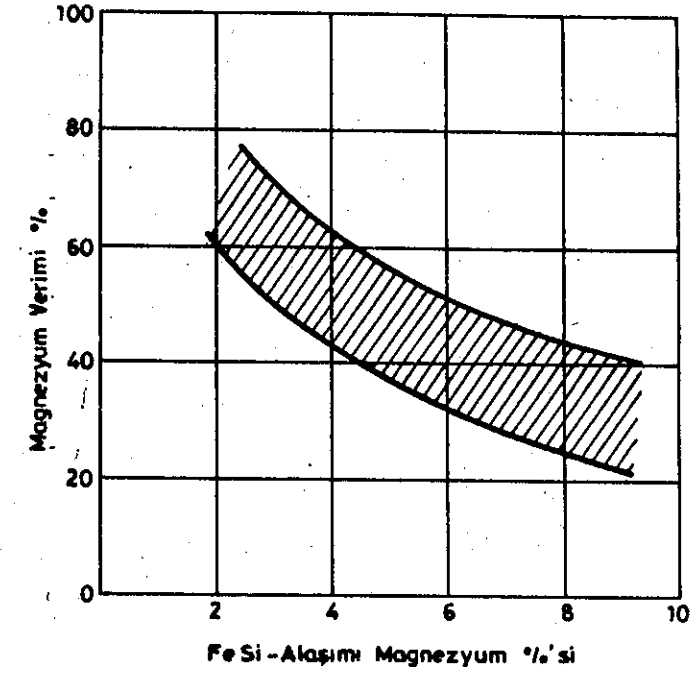
Mg	Ce	Ender TA Ce-dahil(1)	Ca	Si	La
3,0	0,4	1,0	1,0	46	0,27
3,0	1,75	2,2	0,4	46	-
4,5	-	4,5	-	42	-
5,5	-	-	1,0	46	-
5,5	0,3	0,75	1,0	46	0,2
5,5	1,10	2,0	1,0	46	0,75
5,5	0,50	1,0	1,0	46	-
9,0	-	-	1,25	46	-
12,0	-	-	-	40	-
30,0	-	2,0	4,5	50	-

(2)

(3)

Çizelge 33 . Ferrosilisyum bazlı küreselleştirici malzeme analizleri

- 1.) Ender Toprak Alkaliler
- 2.) %18 Cu, Perlitik KGDD'ler için
- 3.) Daldırma yöntemi için



Resim 122 . FeSi alaşımındaki magnezyum miktarına bağlı olarak magnezyum verimi.

7.12.4. Magnezyum emdirilmiş kok kömürü: Mag-Coke

% 40 magnezyum ihtiva eden bu malzeme ucuz olmasına rağmen, daldırma yönteminin uygulanmasını gerektirir. Reaksiyon uzun hareketli sıcaklık kayıpları fazladır.

7.12.5. Mekaniki olarak şekillendirilmiş malzemeler (Briket):

Çok sayıda mekaniki şekillendirilmiş, yani briket haline getirilmiş küreselleştirici malzeme mevcuttur, bunlardan bazıları daldırılarak, diğerleri ise özel yöntemlerle kullanılırlar. Daldırma yönteminde, çelik talaşı, ön redüklenmiş sünger demir ve magnezyum karışımı briketler kullanılır. Magnezyum miktarı % 15-20 arasındadır. Magnezyum miktarı ile reaksiyonunun hareketi artar.

Toz halindeki malzemelerin bir bağlayıcı ile şekillendirilmeleri sonucu elde edilen küreselleştiricilere örnek malzeme analizleri Çizelge 35 de verilmiştir. Bu üç alışımda küreselleştirici etki, magnezyum, toprak alkali metalleri ve kalsiyum ile sağlanır.

% Mg	% Ender toprak alkaliler	% Ca	% Si	% Fe ve bağlayıcı
6	5	22	45	Gerisi
9	6	17	40	Gerisi
9	11	18	38	Gerisi

Çizelge 35 .Bağlayıcılar ile şekillendirilmiş küreselleştirici malzemeler

7.12.6. Magnezyum ihtiva etmeyen küreselleştiriciler:

Bilinen bazı alışımlara örnekler çizelge 36 da toplu halde verilmiştir.

% 10 Alüminyum miktarına sahip, biraz şaşırtıcı bir alışımla olan S-2 laboratuvar çalışmaları neticelerine göre, FeSiMg alışımlarından daha kuvvetli bir etkiye sahip bulunmaktadır. S-3 ve S-6 alışımları yalnızca kullanılmazlar. Genellikle magnezyum ihtiva eden alışımlarla birlikte kullanılırlar.

Çizelge 36 .Ender toprakalkali silisitler ve diğer magnezyum ihtiva etmeyen alışımlar.

Tanımlama	Kimyasal analiz %					
	Ceryum	ETA	Ca	Al	Si	Fe
S-1		30				Kalan
S-2		-	6.15	10.3	75	Kalan
S-3	16	33	1	1	33	Kalan
S-4	10	13	1	1	38	Kalan
S-5	16	23	1	1	30	Kalan
S-6	23	50	5	1	38	Kalan
ETA	Ender Toprakalkali silisitler					

7.12.7. Küreselleştirici alaşımlardan dökülerek hazırlanmış malzemeler:

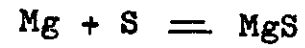
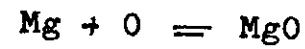
Inmold (Kalıp içi işlemi) yönteminde kullanılmakta olan malzemeler, uygun şekil ve büyüklükte, küreselleştirici alaşımdan dökülmek sureti ile, bloklar şeklinde bulunurlar. Bu malzemelerin kimyasal analizleri, magnezyum, cer ve kalsiyumdan ibarettir.

7.13. Küreselleştirme etkisinin zamanla azalması: 23

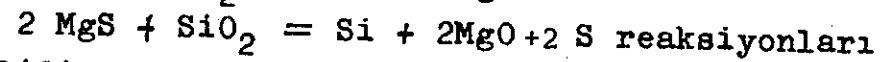
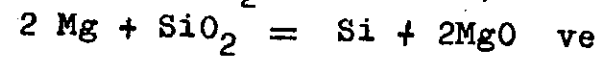
Resim 123 de görüldüğü gibi küreselleştirme işlemi sonu, etki zamanla azalmakta ve Quasi-Flake olarak tanımlanan grafit oluşmaktadır.

Etkinin zamanla kaybı ile ilgili olarak yapılan çalışmalar bir çok faktörün geçerli olduğunu ortaya koymuştur. Bu olayın açıklanmasında ön sırayı, oksidasyon ile magnezyum'un yanması teşkil etmektedir.

Bu reaksiyonlar:



$\text{Mg} + \text{S} + \text{O} = \text{MgO} + \text{S}$ ve oksijen bir oksitten alınıyorsa, örneğin SiO_2 , bu durumda,



geçerlidir.

Küreselleştirme etkisinin azalması şu faktörlere bağlıdır:

-Ön magnezyum miktarı ne kadar fazla ise etki kaybı o kadar hızlıdır,

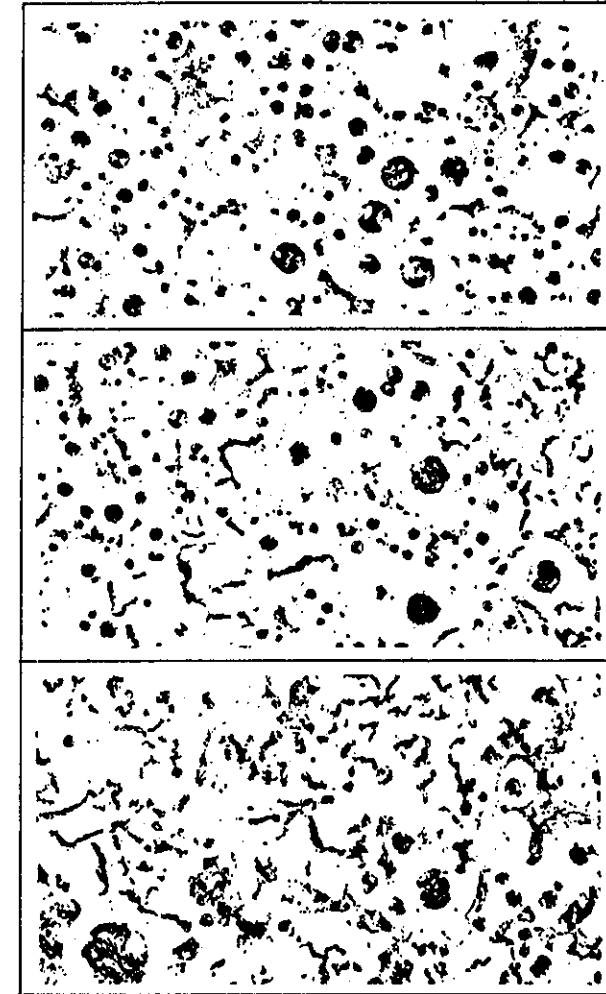
-Sıcaklıkla etki kaybı artmaktadır,

-Curuf miktarı etki kaybını arttırmakta olup, curufun hemen ve çok temiz olarak alınması gerekir.

-Ocak astar malzemesinin etkisi,

Silika astar malzemesi ile çalışmada, etki kaybı, bazik astara nazaran daha fazladır.

Etki kaybının artması kendisini hücre sayısının azalması ve grafit şeklinin bozulması ile gösterir.



Resim 123 .Küreselleştirme işlemi sonu etkinin zamanla azalması

A-3 dakika sonra

B-10 dakika sonra

C-15 dakika sonra

8. Aşılama 23, 25

Aşılamanın metalurjik tanımı eriyiğin nükle, çekirdek ihtiyacının uygun sayıya getirilmesi işlemidir. Bu nükleler, grafitin kristalizasyonu ve büyümeleri için elzemdirler.

Bilindiği gibi homojen, yani aynı kristalografik özelliklerde malzemeler ile sağlanan nükleler olduğu gibi, ayrı bir malzemenin nükle yapıcı özelliğide mevcuttur ve buna heterojen çekirdekleşme denilmektedir.

KGDD de aşılama ile küresel grafit kristallerinin oluşumunu sağlayan heterojen nükleler meydana getirilir. Böylece daha önce FeSiMg ile işlemi sonu az veya çok yarı aşılama durumunda bulunan eriyik, aşılama yapılması ile çok sayıda çekirdeklere sahip olur. Bu durum karbür oluşumunda önemli derecede etkiler, ve önler. İnce kesitli lamel grafitli dökme demir üretiminde ergitme işlemi esnasında karbon veya silisyum miktarının SiC ile ayarlanmasında bir bakıma çekirdekleşme durumunun ideal kılınmasıdır.

Aşılamaı etkileyen faktörler şunlardır:

-Eriyiğin analiz ve sıcaklığı,

-Aşılama malzemesi özellikleri ve miktarı,

Ayrıca KGDD lerde baz eriyiğin (hiç bir işleme tabi tutulmamış) silisyum miktarının, aşılama ile verilen silisyum miktarına oranı doku özelliklerini önemli derecede etkilemektedir.

Bu oran çok büyük ise, yani aşılama ile verilen silisyum miktarı olarak az ise, metalurjik kalite kötüdür. Bunun tersi olarak eriyik silisyum miktarı çok düşük ise grafit küre sayısı azalacak, döküm durumunda karbürler mevcut olacaktır. Bu nedenle dökümhanelerde eriyik silisyum miktarı ile aşılama ile verilen silisyum miktarının toplama sabit kalmak şartı ile bu belirtilen iki sınır içinde optimum oran tesbit edilmelidir. Bu çalışma yapılırken, magnezyumla küreselleştirme işlemi ile verilen silisyum miktarı nazarı dikkate alınmamalıdır.

Kural olarak, baz eriyik silisyum miktarı 2 kısım kabul edilirse, aşılama ile verilecek Si-miktarı 1 kısım olarak alınmalıdır, örneğin, eriyik Si-miktarı % 1 ise, FeSi75 ile aşılama % 0.75 olarak alınmalıdır.

8.1. Aşılama teknikleri:

Genel olarak uygulanan çalışma şekli, aşılama malzemesinin döküm potasına, bu potaya işlem potasından eriyiğin dökülmesi esnasında verilmesidir.

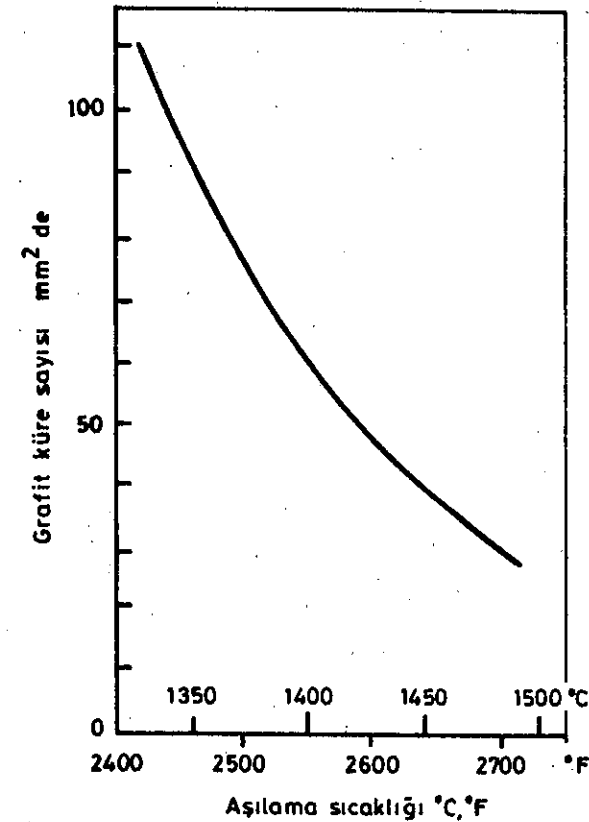
Resim 124 aşılama sıcaklığı ile grafit küre sayısı arasındaki ilişkiyi göstermekte ve eriyik sıcaklığı düştükçe, aşılama daha etkili olmaktadır.

KGDD üretiminde ilk önce magnezyum işleminin ve sonra aşılamanın yapılması gereğini bu resim kanıtlamaktadır, çünkü küreselleştirme işlemi esnasında eriyikte bir soğuma meydana gelmekte bunun takiben aşılama için daha ideal şartlar yaratılmış olmaktadır.

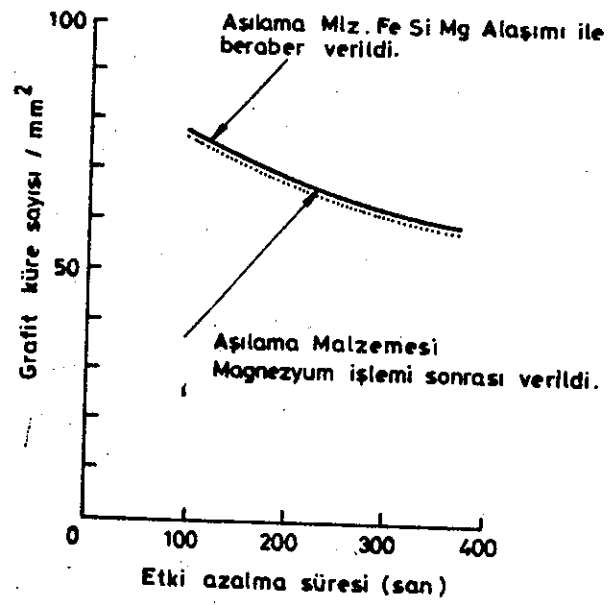
Diğer bir çalışmada, aşılama malzemesi, FeSiMg ile birlikte verilmiş ve sıcaklığa bağlı olarak grafit küre sayısı tesbit edilmiştir. (Resim 125.). 1370°C eriyik sıcaklığında yapılan bu karşılaştırma grafit sayısı bakımından bir farklılığın mevcut olmadığını göstermektedir.

Diğer taraftan bu neticeler, KGDD üretiminde Inmold-yöntemi ile elde edilen olumlu doku özelliklerinin nedeninide ortaya koymaktadır.

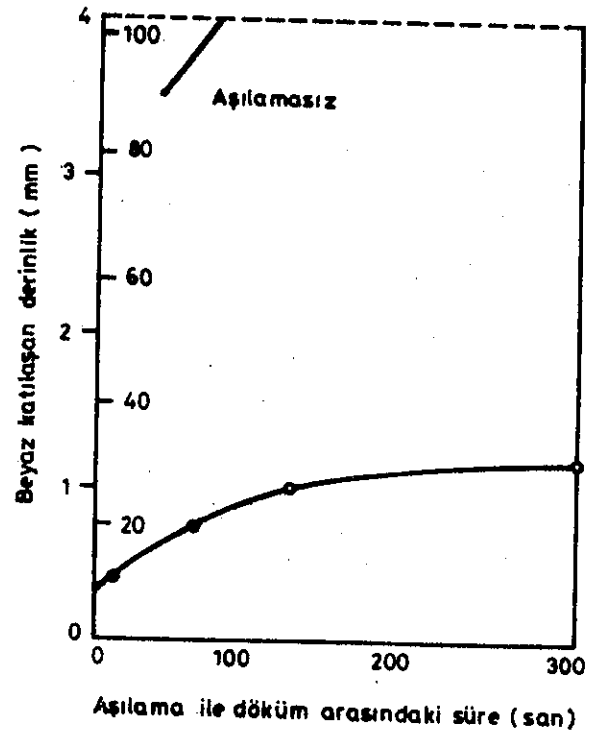
Aşılama malzemesinin etkinliği, FeSiMg'un etkinliğine nazaran zamanla daha hızlı bir şekilde azalmaktadır. (Resim 126.)



Resim 124 . Aşılama durumuna sıcaklığın etkisi



Resim 125 . 1370 °C de uygulanan iki aşılama yönteminin karşılaştırması.



Resim 126 . Aşılamanın etkinliğinin azalması

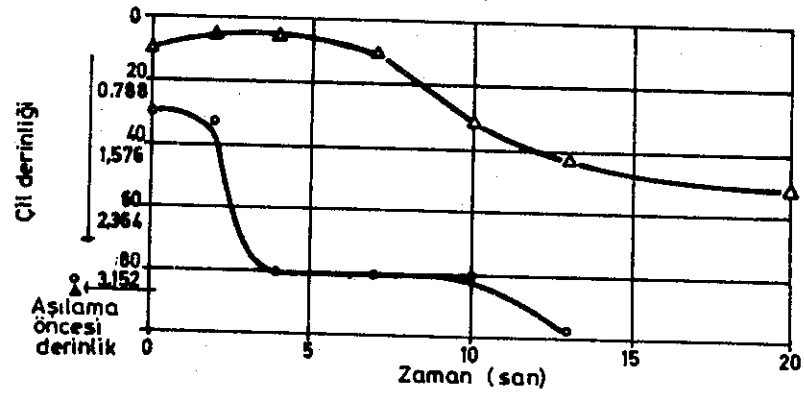
8.1.1. Kalıp içi aşılama yöntemi ^{103,104}

Aşılama malzemesinin eriyikle teması ve teması sonucu eriyik en yüksek çekirdeklenme durumuna gelmiş olur, işte bu durumun döküm tekniğinde bir uygulama şekline de Inmold, yani kalıp içi aşılama yöntemi adı verilir.

Aşılamanın etkinliğinin ölçüsü beyaz katılaşan kama numunesindeki derinlik olduğundan, bunun zamana bağlı olarak değişimi Resim 127 de gösterilmiştir.

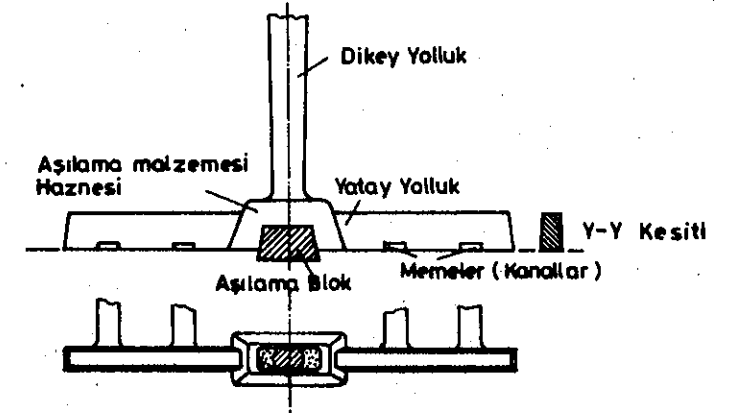
Bu resimde, aşılama öncesi beyaz katılaşan derinliğin 75 mm olduğu, aşılama ile birlikte bu derinlik inmold yönteminde 6-12 mm, normal aşılama ise 25 mm'ye indiği görülmektedir. FeSi bazında normal aşılamanın yapıldığı numune aşılamanın etkinliği 2-4 san. sonra % 75 azalmaktadır. Kalıp içi yöntemde ise 10 san. sonra bile etkinlik % 25 azalmıştır.

Kalıp içi aşılama yönteminde kullanılan aşılama malzemeleri önceden hazırlanmış, blok şeklinde bulunan FeSi bazında özel alaşımlardır, örneğin Germalloy, Metallgesellschaft A.G. Bu bloklar döküm ağırlığının % 0.1-0.2 si olacak şekilde, ya döküm havuzu içine yerleştirilirler veya dikey yolluğun altında bulunurlar. Bu durumda yolluk tasarımı farklıdır. Resim 128 ve 129 da kalıpta aşılama, blokların yerleştirilme durumlarını ve yolluk sistemi büyüklüklerini göstermektedir.

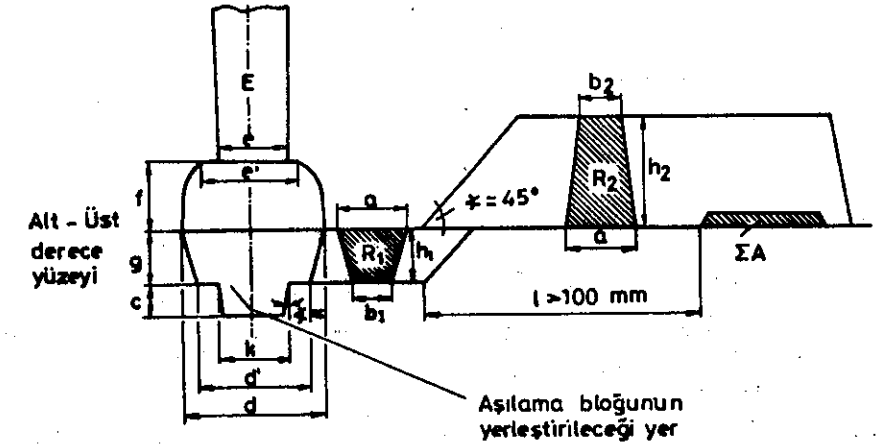


Resim 127 . Aşılama sonrası beyaz katılma derinliğinin zamanla değişimi (Kalıp içi ve normal aşılama)

- o Mum bağlayıcılı Fe Si 90 tozu
- Δ Kalıp içine yerleştirilmiş Aşılama malzemesi bloğu
- Aşılama malzemesi miktarı 22 gr.
- Döküm sıcaklığı 1410°C (2570 °F)
- Eriyik Analizi :
 - Karbon % 3,75
 - Silisyum % 2,35
 - Mangan % 0,05
 - Fosfor % 0,04
 - Kükürt % 0,01

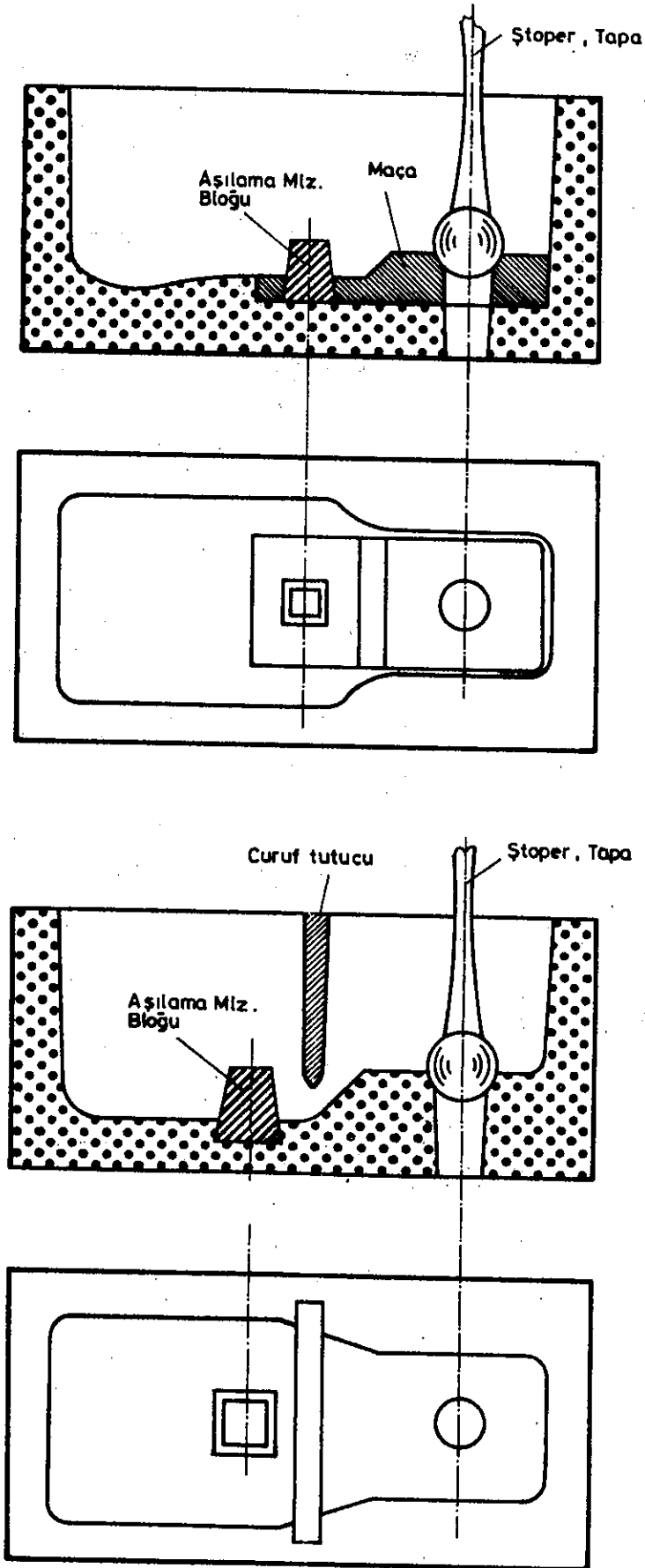


Kesitlerin oranı :
E / R1 / R2 / ΣA 5 / 4 / 8 / 3



Resim 128 . Orta büyüklükte parçalar için (max.3t) yolluk sistemi

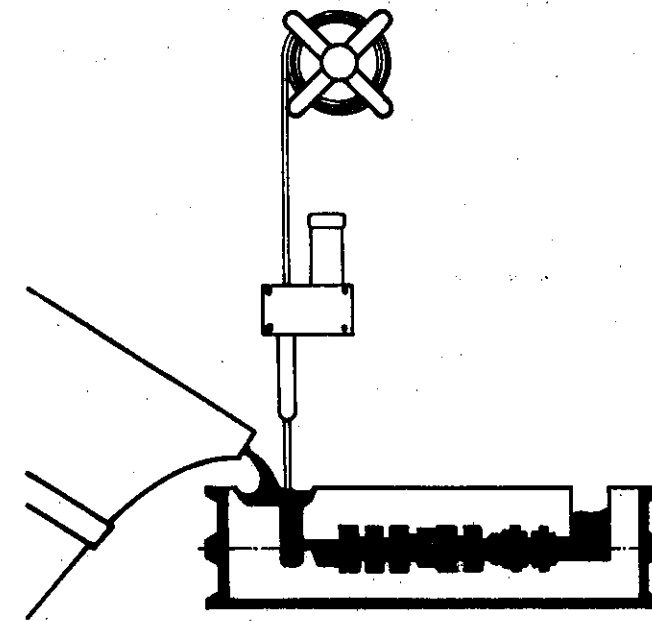
Resim 129 . Döküm havuzuna yerleştirilen aşılama malzemesi Blokları



8.1.2. IL yöntemi ¹⁰⁵

Amerikada son yıllarda, potadan eriyiğin akıtılması esnasında çok ince bir çelik saç muhafaza içine alınmış aşılama malzemesinin eriyikle sürekli teması sonucu kalıp içi aşılama benzer etkide bir yöntem uygulanmaktadır

Diğer bir yöntemde, sarılmış halde bulunan aşılama malzemesi teli, kontrollü bir hızla döndürülerek, döküm ağzında eriyik içine daldırılmaktadır ¹⁰⁵ (Resim 130).



Resim 130 . Tel şeklindeki Aşılama malzemesinin kullanılması

8.2. Aşılama malzemeleri: 23,98-102

Etkili bir aşılama işlemi için kullanılan malzeme, aşılama aktiviteleri yüksek Ca, Al, Ba, Sr gibi elementleri belli miktarlarda bünyesinde bulunduran FeSi bazlı alaşımlardır. Çizelge 37 de pratik kullanımı yaygın olan bazı alaşım malzemelerinin özellikleri verilmiştir.

CaSi-alaşımının KGDD'in aşılama sırasında ender kullanılmasının nedeni 1480°C nin altında kolay bir şekilde çözünememesidir. Bütün aşılama malzemelerinde Al-miktarı pinhole olarak adlandırılan ince gaz boşluklarına neden olduğundan azami % 1 dir. Bazı durumlarda üretici firmadan bu miktarın % 0.7 olacak şekilde kalması istenebilir, örneğin Vaxon D . Tane büyüklüğüne gelince, genelde azami 13 mm olan aşılama malzemeleri kullanılır. İnce tanelerin aşılama etkinlikleri iyi olmadığından, 1.5 mm'nin altı mümkün mertebe kullanılmamalı, ve malzemeler kapalı bir şekilde muhafaza edilmelidir.

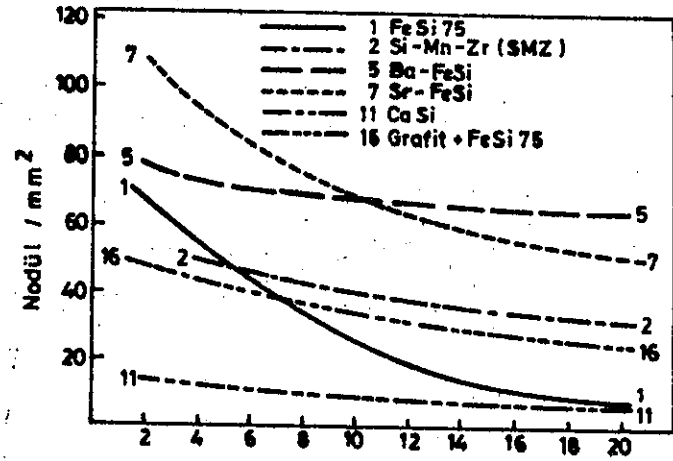
Kimyasal Analiz %					
Si	Ca	Al	Ba	Mn	Mg
75	1.5	1	-	-	-
63	2	1	5,0	10	-
63	1	0,75	10,0	-	-
50	0,75	1	-	-	1,25

Çizelge 37 KGDD'lerin aşılama sırasında kullanılan bazı FeSi-bazlı malzemeler.

8.2.1. Küresel Grafitli dökme demirlerin aşılama sırasında etkinin zamanla azalması:⁴²
Lamel grafitli dökme demirde olduğu gibi aşılama malzemesinin ilavesi ile etkinlik azami değerine erişmektedir. Resim 132 de farklı aşılama malzemelerinin zamanla nodül sayısına etkileri gösterilmiştir.

Seryum(Ce) nin mevcudiyeti ile bir çok aşılama malzemesinin etkisi arttırılmaktadır(Çizelge 38). Seryum nodül sayısını arttırmakta, zamanla etkinin azalmasını engellemekte ve beyaz katılaşmaya temayülü indirgemektedir. Bu sonuçlara uymayan yeğane aşılama malzemesi SrFeSi olmaktadır. Seryum'un etkisinin en fazla olduğu alaşım FeSi dur. (Resim 133)

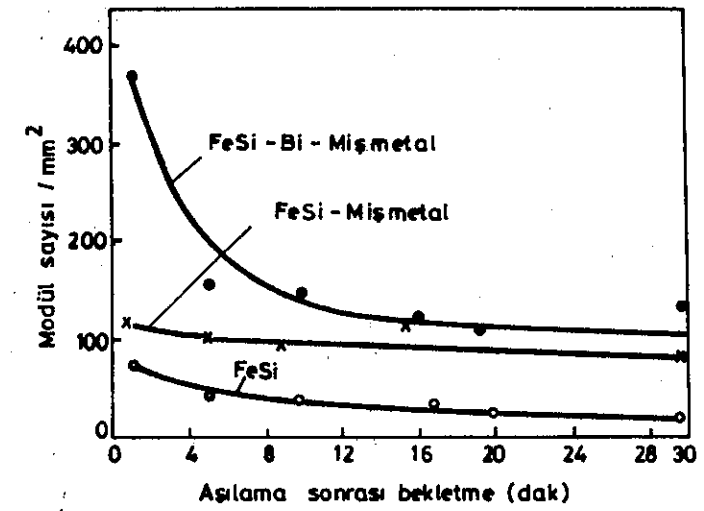
KGDD lerde seryum, küreselleşmeyi olumsuz etkileyici elementlerin bu etkilerini azaltan bir görev üstlenir. Genel olarak kullanılan FeSiMg-alaşımlarının çoğunda cuzi miktarda seryum vardır. Ce-miktarı % 0.01 dir. Resim 134 de görüldüğü gibi seryum ihtiva eden aşılama malzemelerinde bizmut(Bi) bulunması halinde nodül sayısı kuvvetli bir şekilde artmaktadır. Bizmut'un en etkili miktarı % 0.02 dir. FeSi, Mişmetal ve Bizmutlu aşılama malzemelerinin kullanılmaları halinde yine zamanla bir etki azalması(nodül sayısı) gözlenmesine rağmen, FeSi'a nazaran çok daha kuvvetli kalıcı bir etki mevcut olur(4-10 katı fazla).(Resim 134) Aşılama etkinliğinin azalması ile ince parça kesitlerinde karbür oluşumu artar, kalın kesitlere grafit yüzmesi olayı ile grafit patlaması riski fazlalaşır.



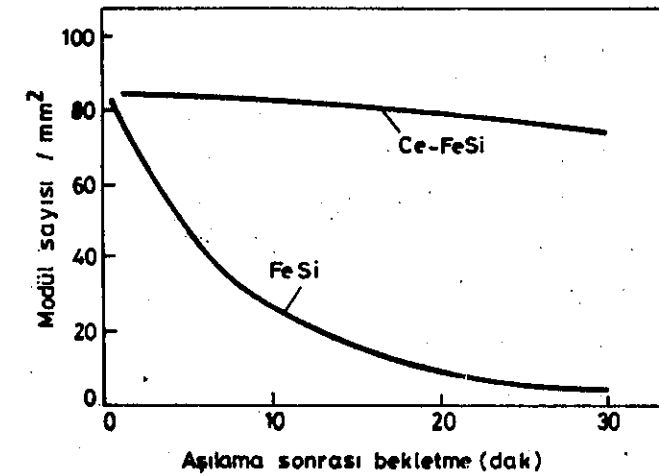
Resim 132 . KGDD'de çeşitli aşılama malzemelerinin nodül sayısına etkileri.

Nr.	Aşılama Mtz.	Aşılama 2-3 dak. sonra			Aşılama 30 dak. sonra		
		Nodül / mm ²			Nodül / mm ²		
		1.Seryumlu	2.Seryumsuz	Değişim	1.Seryumlu	2.Seryumsuz	Değişim
1	FeSi 75	124	62	+ 62	101	3	+ 98
2	Si-Mn-Zr FeSi	81	33	+ 48	42	23	+ 19
5	Si-Mn-Ba FeSi	82	76	+ 6	31	45	- 14
7	Sr-FeSi	104	116	- 12	36	47	- 11
11	CaSi	6	6	0	3	3	0
16	Grafit + FeSi	109	47	+ 62	31	8	+ 23

Çizelge 38 . Seryum'un aşılama sonrası ve 30 dakika bekleme süresinden sonra nodül sayısına etkisi. (15 mm ø)



Resim 134 . Aşılama etkinliğine Bi-etkisi



Resim 133 . Seryum'un KGDD'lerde modül sayısına etkisi.

9.) Kalite Kontrol 23,106

Üretim süreci içinde kontrol ve parça kontrolünü içeren kontrol işlemi akış şeması Resim 135 de gösterilmiştir. Aşağıda bu şemanın kontrol noktaları ile ilgili kısa bilgiler verilmiştir.

Üretim süreci içinde kontrol:

Parça kontrolüne karşılık olarak, üretim süreci içinde kontrol büyük ve küçük sipariş adetleri için aynı kapsamda yapılmalıdır.

9.1. Hammaddeler:

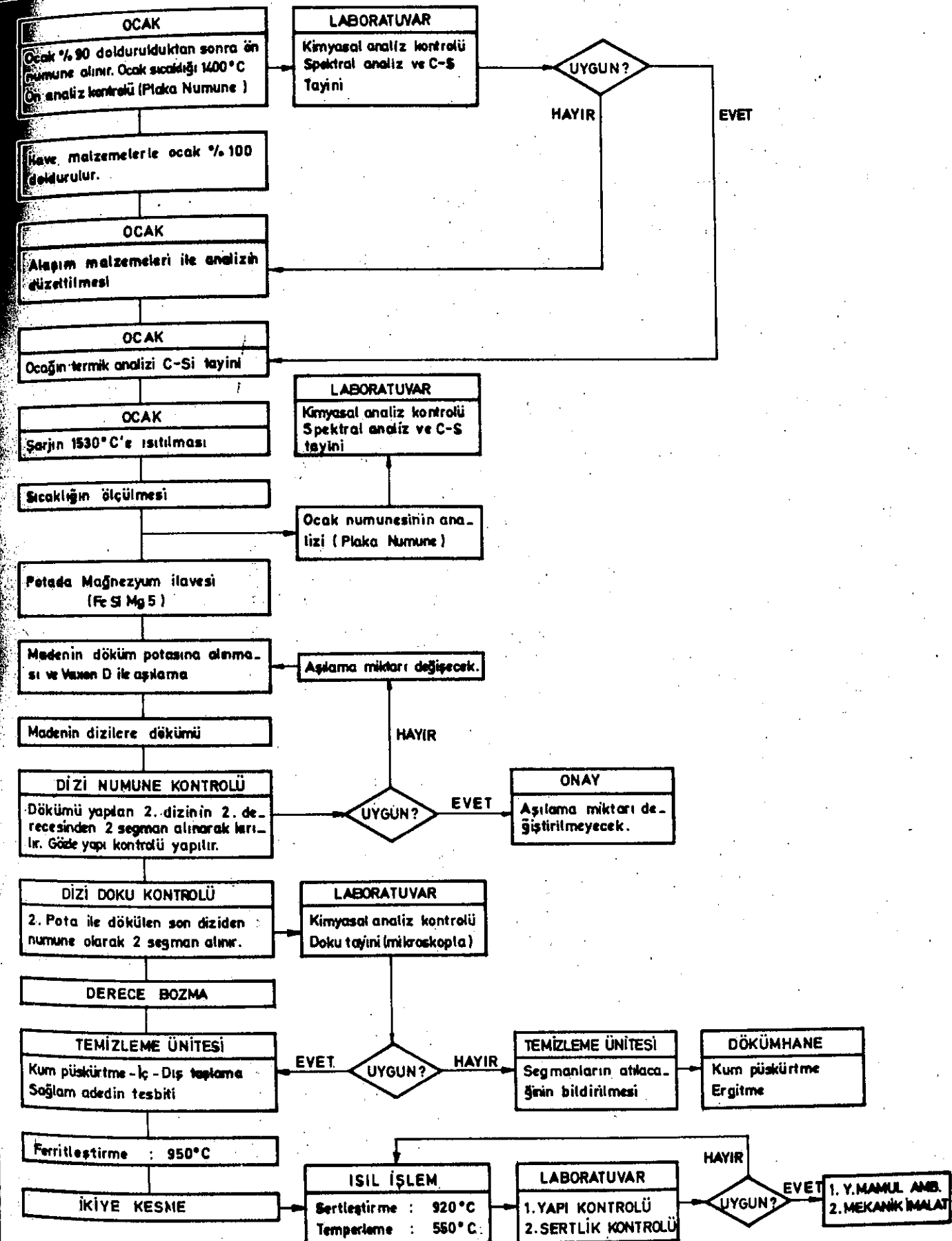
Ham maddelerin alındığı kaynak yani firma veya satıcıların güvenceliğine bağlı olarak yapılacak kontrol sayısı değişir. Çelik hurdada hammadde olarak tanımlanmalı ve fiziksel özellikleri yanında kimyasal yönde devamlı kontrol altında tutulmalıdır.

9.2. Ergitme:

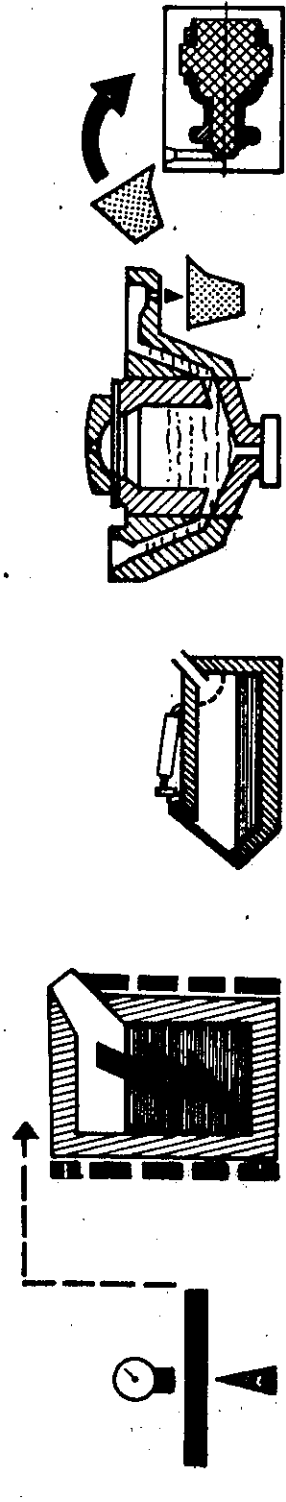
- 1) Ocaklara şarj edilen her malzeme veya alaşım kesinlikle hassas bir şekilde tartılmalıdır,
- 2) Ocak sıcaklığı, özellikle döküm sıcaklıkları ölçülmelidir. Döküm sıcaklığı dar bir sınır içinde kalmalıdır. Kupol ocaklarında ölçüm yollukta yapılmalıdır.
- 3) Ergitme işlemi diğer kısımlardan bağımsız, sürekli olmalı, döküm sıcaklığına erişildiğinde, magnezyumla küreselleştire işlemi için bütün hazırlıkların yapılmış olması lazımdır. Ocaktan eriyiğin dökümünü takiben, hemen şarj yapılmalıdır.
- 4) Karbon eşdeğerinin tesbitinde uygulanan basit ve önemli yöntem, termik analiz, yani soğuma eğrisidir. Küçük dökümhanelerde bile bu yöntem uygulanmalıdır. Numune ergimeyi takiben alınmalı ve böylece ergitme veya bekletme ocağında gerekli analiz doğrulama işlemleri yapılmalıdır. Numune maçaların tellur ile kaplı olmaları halinde beyaz katılaşma meydana geldiğinden karbon eşdeğeri yanında karbon ve silisyum analizide yapılabilir. Resim 136 KGDD üretim kademeleri içinde Termik analiz yönteminin uygulanışını göstermektedir³⁸.

DÖKÜM VE KALİTE KONTROL - KV1 (K9)

Tarih	
Sayfa	



Hazırlayan	Kontrol	Dağıtım



Şarjın hazırlığı
 Şarjın ön ısıtılması
 Ergitme
 Mg - İşlemi
 Sıcak tutma
 Döküm

Mat Frekans İndüksiyon O.
 Kapasite : 25 t
 Güç : 4 MW

Potalarla
 Basınçlı döküm ocağı (Kanalit)
 Fischer Konverter
 Kapasite : 3.5 t
 Pota büyüklüğü: 250 kg max.

Çelik Hurda
 Devri Daim H.
 Sfero Piki
 Ferro Alaşımlar

Spektral Analiz
 Kantitatif termik h.
 Sıcaklık ölçümü
 Zaman

Gaz : N₂
 Sıcaklık ölçümü
 Saf Magnezyum
 Sıcaklık ölçümü

Aşılama
 Spektral Analiz
 Spektral Analiz
 Spektral Analiz

Termik Analiz
 Termik Analiz
 Termik Analiz
 Termik Analiz

Sıcaklık ölçümü
 Sıcaklık ölçümü
 Sıcaklık ölçümü
 Sıcaklık ölçümü

Resim 136 KGDD üretim kademeleri ve Termik Analiz yönteminin uygulanması (Hundhausen Schwerte)

Bu yöntem prensip olarak, katılma ve öyteklik sıcaklıklarının karbon eşdeğeri ve silisyum miktarına bağlı olmasından kaynaklanmaktadır. Karbon eşdeğeri ilk duraklama sıcaklığı (katılma başlangıcı) ile öyteklik sıcaklık arasındaki farkla orantılıdır. Öyteklik sıcaklık ise, diğer mevcut olan elementlerin cuzzi etkileri bir tarafa bırakılacak olursa, silisyum miktarı ile değişir. Karbon miktarını veren eşitlikten:

$$\% C = C_1 \cdot T_p - C_2 (T_e - C_3)$$

C₁, C₂, C₃ sabiteler

T_p primer duraklama sıcaklığı (Katılma başlangıcı)

T_e Öyteklik sıcaklık,

karbon eşdeğeri ve karbon miktarı ile silisyum arasındaki ilişki şu şekilde yazılır:

$$\% Si = C_4 (CE - \% C) , C_4 \text{ sabitesi } 3.2 \text{ dir,}$$

fakat silisyum miktarının analizi ile doğrulanması lazımdır.

5) Küçük ve büyük dökümhanelerde belirli aralıklarla Mn, P, S ve Mg analizlerinin yapılması zorunlu olup ancak bu şekilde, istenen analiz değerlerinden sapmalar önlenebilir. Grafit şekil bozuklukları gözlemlendiğinde bazı elementlerinde analizleri yapılmalıdır (Bak Bölüm 4).

Kimyasal analiz değerlerinin doğruluğu numune alış, ve numunenin hazırlanması şekline bağlıdır. Özellikle bu hususlara karbon, kükürt ve magnezyum'un analizinde dikkat edilmesi gerekir.^{107, 108}

Bundan öncede belirtildiği gibi, karbon miktarı tam doğru olmasa bile termik analiz yöntemi ile tesbit edilir. Bu işlem magnezyum ile muamele öncesi yapılmışsa, döküm sonu karbon miktarının bilinmesi için karbon kaybının göz önüne alınması lazımdır.

Karbon miktarının analitik yolla tesbiti için, alınan numunenin beyaz katılmış olması gerekir, bunun içinde numuneler bakır kalıplara dökülürler. Gri katılan numunelerden matkap ile ufak talaşların alınmasında, grafitlerin bir kısmı kaybolur veya matkap ucunda yağlayıcı özellikleri nedeni ile kalırlar. Bunun neti-

cesi olarak analiz değerleri gereken değerlerin altında olurlar. Bu gibi durumlarda numunenin 2.5 mm kalınlığında ve 40 mm çapında pul şeklinde dökülüp, küpcükler halinde kırılıp analizinin yapılması doğru değerleri verir.

Pul şeklindeki parçadan alınan numune ile gri katılaşmış numuneden matkapla elde edilen talaşların karbon analizleri Çizelge 39 da karşılaştırılmıştır.

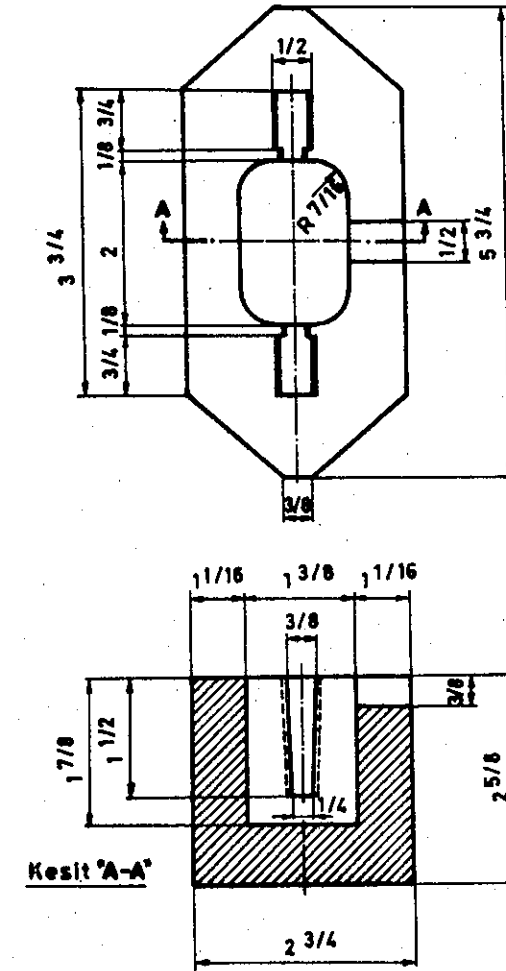
Probe Nr.	C % toplam-miktarı		Fark % C
	Pul şeklindeki numuneden	matkapla alınan numuneden	
1	3.98	3.88	0.1
2	3.86	3.59	0.27
3	3.65	2.88	0.77

Magnezyum'un analizinde ise magnezyum büyük miktarlarda MgS-bileşimi olarak bulunduğu için, artık magnezyum miktarı olduğundan fazla olarak tesbit edilir. Resim 137'de çok miktarda MgS-inkluzyonları ihtiva eden numune parçasını göstermektedir.

9.3. Küreselleştirme işlemi esnasında kontrol, Küreselleştirme işlemi için gerekli olan magnezyum miktarı % 0.01 civarında olup, bu değer üzerindeki kısım eriyikte MgS halinde bulunan magnezyum'u içerir. (Resim 137) Üretim miktarı çok fazla ve hammaddelerin bir kısmında bazı elementlerin analizlerinin bilinmemesi halinde, veya çok ince kesitli parçaların dökümünün söz konusu olduğunda, yaş analiz yöntemleri yanında dökümhanelerde Quantometre (Spektrometre) ve atomik absorpsiyon cihazlarında kullanılır. Böylece istenilen analiz hassasiyeti sağlanmış olur. Grafiti küreselleştirme işlemi:

- 1) İşlem, muamele potasına verilen komponentlerin ağırlık kontrolleri büyük bir öneme sahiptir. Bu önem küreselleştirici olarak kullanılan FeSiMg-alaşımaları, aşılama malzemeleri için genelde benimsenir, ve ağırlıkları kontrol altında tutulur. Bazı durumlarda eriyik demir'in ağırlık kontrolü, küreselleştirme işlemi esnasında meydana gelen kuvvetli reaksiyon ile tartımın yapılamaması neden gösterilerek önemsenmemektedir. Böyle bir neden'in geçerli olduğunu düşünmek hatalıdır, çünkü ilk önce toplam eriyiğin % 80'i ocaktan potaya alınabilir ve 30-60 san. bekleldikten sonra geri kalan kısım potaya boşaltılarak, tartım işi gerçekleştirilir.
- 2) Kalite kontrol çalışmalarının en önemli ve kaçınılmaz olanı hiç şüphesiz grafit şeklinin tesbiti olmaktadır. Bu kontrol işlemi her döküm potasından dökülen, yani küreselleştirme işlemi sonunda uygulanmalıdır. Bir pota ile bir kaç adet derece sırayla dökülecekse, bu durumda en son dökülen parça numune olarak alınmalı ve incelenmelidir. Böylece aşılamanın etkinliğinin azalması ve döküm sıcaklığının düşmesi gibi iki önemli faktörün etkisi göz önüne alınmış olunur. Mikroskopik kontrol çalışmaları için çoğu kez normlaştırılmış numune kullanılır. (Resim 138) Numune döküldükten sonra 5 dakika beklenilir, suda soğutulur, bir tarafı kırılır, taşlanır, ve şilif hazırlanır. Burada, numune parça grafit şekli, büyüklüğünün ve ana doku özelliklerinin, döküm parçasının aynı özellikleri ile karşılaştırılmayacağını unutmamak lazımdır. Doğal olarak döküm parçası soğuma hızı çok daha yavaştır.

Resim 137. Kimyasal analiz için kokil kalıpta soğutulmuş numunenin inkulzyonları (Kısmen MgS-inkluzyonları)



Resim 138 .A.F.S. tarafından tavsiye edilen metalografik numune ölçüleri ve maçası.

Numunede grafit küre sayısı,döküm parçası ile karşılaştırmada farklı olabilmesine rağmen,iyi bir grafitleşmenin tesbit edilmesi durumunda,bu döküm parçası grafit şekli içinde bir ölçüdür. Et kalınlığı 50 mm'nin üzerinde olan döküm parçalarında Chunk tipi grafit mevcut olabilir,ancak numune parçada bu tip grafit hiç bir zaman varolamaz.Bundan öncede belirtildiği gibi,numunenin mikroskopik incelenmesi ana doku yönünden döküm parçası özellikleri hakkında bir fikir veremez.

Ana doku ferrit miktarının tesbiti mikroskopik çalışma ile yapılır ve zaman alıcı bir yöntemdir.

Doku ferrit miktarının mikroskopik olarak saptanılmasında,küresel grafit sayısı n_a ve grafitleri çevreleyen ferrit bölgele-ri kalınlığı d büyüklükleri ile aşağıda verilen eşitlik geçerlidir:²³

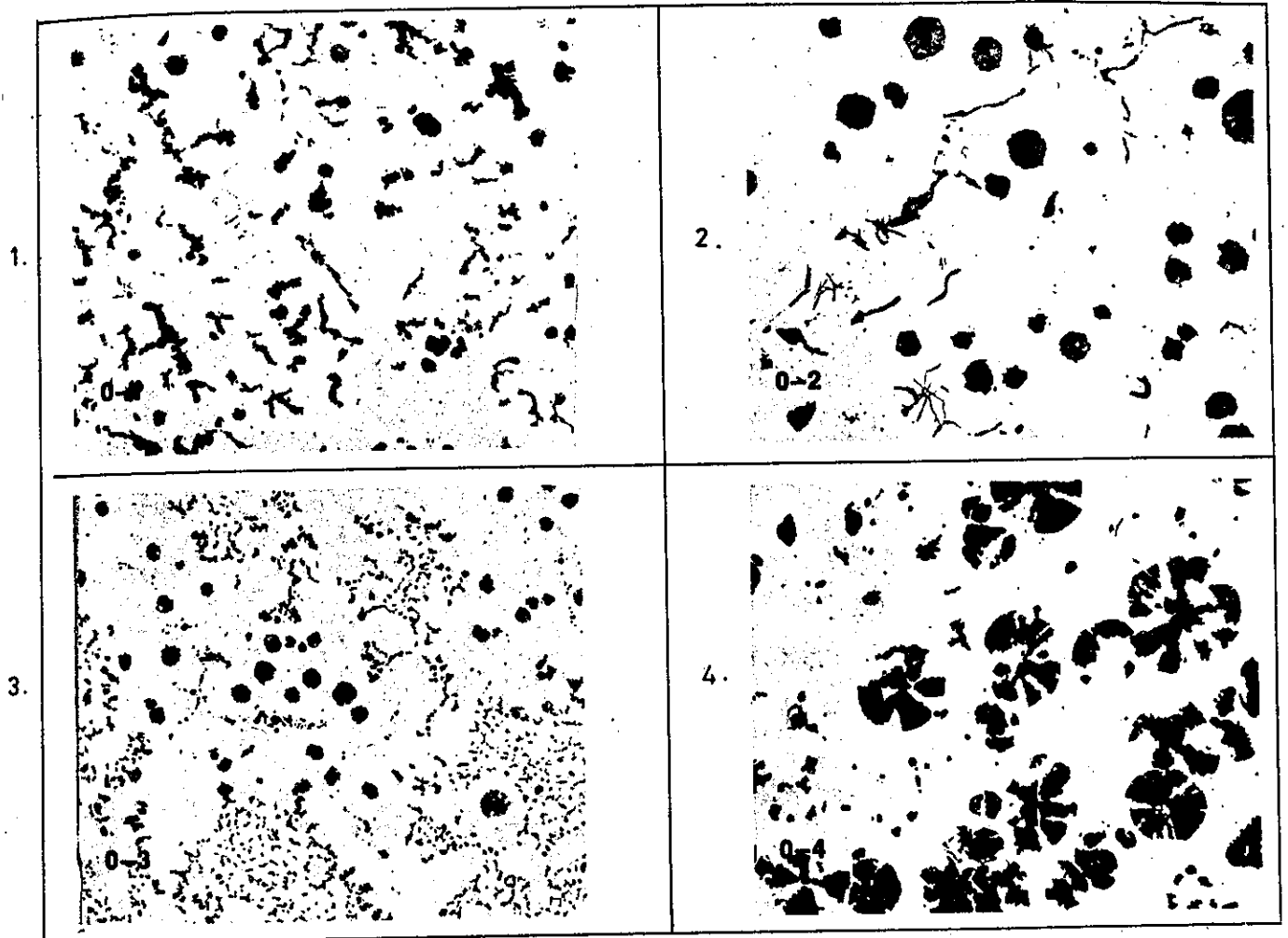
$$\text{Ferrit \% hacim} = 183.d.n_a - 49(d.n_a)^2 - 3.6$$

Daha seri bir yöntem ferrit miktarlarının farklı oranlarını içeren doku resimlerinin şilif yüzeyi ile karşılaştırmasıdır.

Grafitin küresel şekilden farklılığı,yani uzaklaşma derecesi,şekil faktörü ile tanımlanır (Resim 139)

Bu faktör grafit'in ortalama yüzeyinin,büyükliğini çap kabul eden daire alanına oranı'dır.Mekanik,teknolojik incelemeler,grafit şekil faktörünün 0.75-1 arasında kaldığında,mekanik özelliklere etkileşiminin çok az olduğunu ortaya koymuştur.Şekil faktörü 0.75'in altında olduğunda,bu özellikler olumsuz etkilenmektedir. Patlamış bir görünüme sahip olan grafit(Tip V) ince et kalınlığındaki parçalarda,numunelerde,ender görülen ve mekanik özellikleri olumsuz etkilemeyen grafit şeklidir.Döküm parçasında flotasyon, grafit zenginleşmesi,halinde mevcut olmadığı sürece,mekanik özellikler etkilenmez.

KGDD lerde görülen grafit şekilleri Resim 140 da sıralanarak gösterilmiştir.Grafit küre şeklinin küreselleşme özelliğini veren diğer bir tanım "küreselleşme"(nodularitet) dir.Bu tanım mevcut grafit sayısının % kaçının kabul edilebilir sınır içinde olduğunu verir.Kabul edilebilir grafit şekli Resim 141 de gösterilmiştir.



Resim 140. KGDD'lerde görülen grafit şekilleri
 1. Quasiflake-Grafit (Lamel; yapraksı gibi)
 2. Tone sınırı lamel grafitleri
 3. Chunk tipi grafit
 4. Patlamış grafit

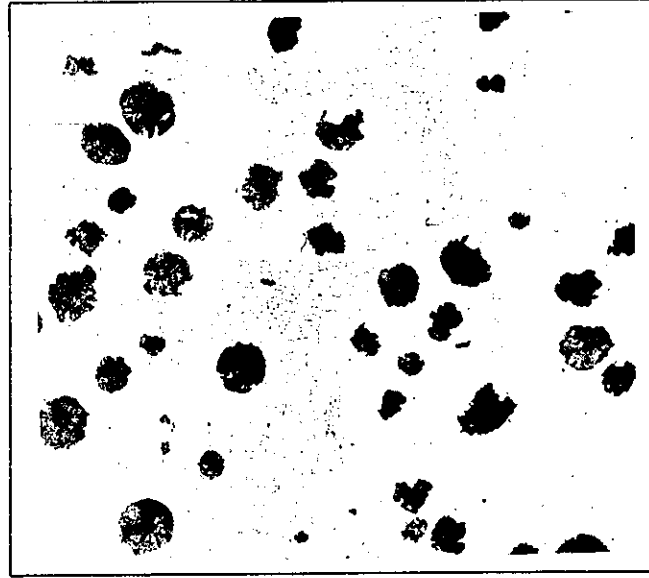
Grafitin kesiti					
Grafit yüzeyi x100	90,8	79,5	57,5	34,6	12,7
Daire yüzeyi					
Grafit şekil Faktörü	0,91	0,80	0,58	0,35	0,13

Resim 139 Grafit şekil faktörü

Genel olarak KGDD lerin kontrolunda küreselleşmenin asgari % 90-95 olması istenir. Bu koşul grafitlerin kalan kısmının Resim 140 de gösterildiği gibi, Quazi flake, yani lamel, yapraksı şekline benzer, bir biçimde bulunmaları halinde geçerlidir. Buna karşın sadece % 5 oranında, lamel grafitlerin tane sınırlarında mevcut olmaları halinde, mekaniki özelliklerin olumsuz etkilendiğini unutmamak lazımdır. .Küreselleşmenin bu durumda % 90

olması halinde bile, parçanın kabul edilmemesi gerekir. Metalurjik kaliteyi en hassas ve doğru bir şekilde veren büyüklük grafit tane sayısıdır. Değerlendirmeler genellikle 25 mm lik Y-blok numunesinde yapıldığından, grafit tane sayısı bu şekilde tesbit edilmelidir. Grafit tane sayısının asgari sınırı 100 a/mm^2 olarak kabul edilebilir. Tane sayısının tesbitinde, hazırlanmış, dağılanmamış numunelerin 100 defa büyütülerek mikroskopik fotoğrafları çekilir, ve grafit tane sayısı sıralama resimleri ile karşılaştırma yapılır. Bu işlemin belli zaman aralıkları ile tekrarlanması lazımdır. Özellikle grafit tane sayısının tekrar tesbit edilmesi, bize, yontemsel bir değişikliğin söz konusu olduğu durumlarda, parça metalurjik özellikleri hakkında seri ve kolay bir biçimde bilgiler verecektir.

9.4. Süneklilik özelliklerine dayanılan kalite kontrol yöntemleri, KGDD lerde doku özelliklerinin parçanın döküm durumunda karbürler ihtiva etmesi veya grafit'in şekil bozukluğu nedeni ile elverişsiz olması, kendisini süneklilik özelliklerinde belli eder. Bir numune istenilen asgari süneklilik özelliklerini sağlıyorsa, bu durumda doku özelliklerinde kabul edilebilir sınır içinde kaldığı varsayılmalıdır. Süneklilik özelliğinin tesbitinde normlaştırılmış numuneler belli yükleme ile bükülme deneyine tabi tutulurlar..



Resim 141. Kabul edilir küreselleşme şekli²³.

9.5. Soğuma eğrisinden (Termik analiz) KGDD lerin kalitelerinin belirlenmesi, 29,30,38

Termik analiz, karbon eşdeğeri yanında karbon ve silisyum miktarlarını vermektedir. Son yıllarda yapılan araştırmalar soğuma eğrisinin ciddi bir şekilde izlenmesi ile mikroyapı özellikleri hakkında bilgi sahibi olunacağını ortaya koymuştur. Katılaşma esnasında meydana gelen her olay, örneğin çekirdekleşme, bir veya birkaç fazın çözülmesi veya dönüşümü, büyümesi, sistemde enerji farklılıkları doğurur, yani enerji açığa çıkar veya tüketilir. İşte bütün bu olaylar az veya çok soğuma eğrisinde etkinliklerini göstermektedir. Eğer ideal yani teorik soğuma eğrisinden farklılıklar hassas bir şekilde tesbit edilir ve detersel tanımlamaları, yazılım şeklinde ifade edilirse, oda sıcaklığında varolacak doku hakkında bile ön bilgilere sahip olma imkanı yaratılır.

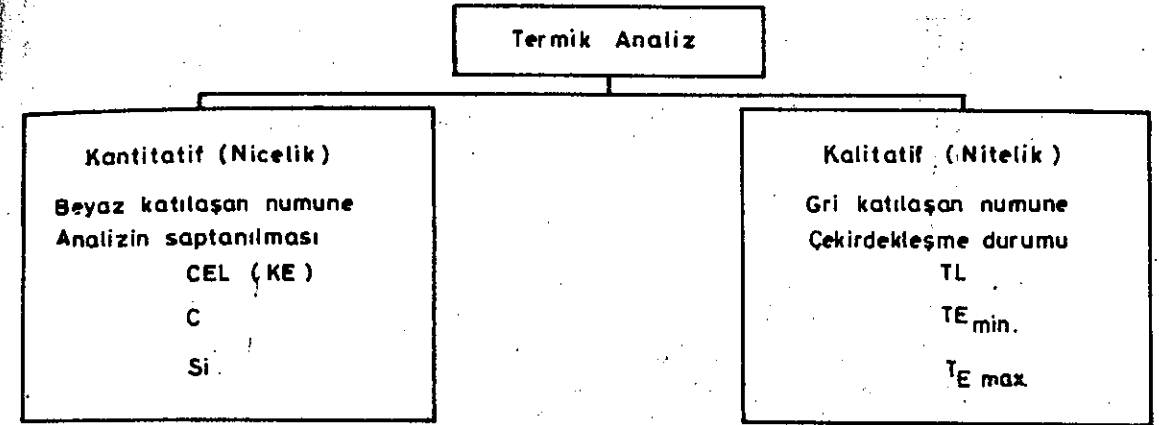
Termik analiz yönteminin yukarıda açıklanan özellikleri ve döküm öncesi grafit oluşum şekli, ana doku özellikleri hakkında seri bir şekilde bilgi verebilmesi karşısında bu gün çok sayıda incelemeye konu olmaktadır. Yapılan araştırma ve pratik uygulamalar ile söz konusu ilişkiler doğru ve seri olarak tesbit edilebilmekte ve yönetsel kapsamı diğer dökümhanelerin uygulayabileceği düzeye getirilmiş bulunmaktadır. Buna en güzel örneği Knothe W.'nin çalışmaları vermektedir.³⁸

Termik analiz yönteminin uygulanması ile beyaz katılaşan numuneden elde edilen bulgular, karbon eşdeğeri, silisyum ve karbon miktarlarıdır. Bu değerler yaş yöntemle ve spektrometre ile elde edilenlerle çok az bir farklılık göstermektedirler.

Gri katılaşan numunenin termik analizi ergime ve öyteklik sıcaklıkları verdiği için, çekirdekleşme durumu hakkında bilgi edinme imkanı doğmuş olmaktadır. (Çizelge 40, 41). KGDD üretimi kademelerine paralel olarak alınan numunelerin soğuma eğrileri toplu olarak Resim 142 de gösterilmiştir. İlk önce bundan öncede değinildiği gibi, ergitmeden başladığında, SiC'ün çekirdekleşme düzeyi üzerine olumlu etkisinin tekrar vurgulanması gerekir. % 0.2 miktarında ocağa verilen SiC nodül sayısının artmasında sağlamaktadır.

Magnezyum işlemi ve aşılama sonrası yapılan termik analiz değerlendirmeleri, bu şartlarda, nodül sayısı ortalamasının öyteklik sıcaklık $T_{E \text{ min.}}$ daha yüksek olması nedeni, 230'dan

Çizelge 40 . Dökümhanelerde KGDD'in termik analiz yönteminin uygulanmasında elde edilen değerler.



Çizelge 41 . Kantitatif termik Analiz - Beyaz katılaşan numune.

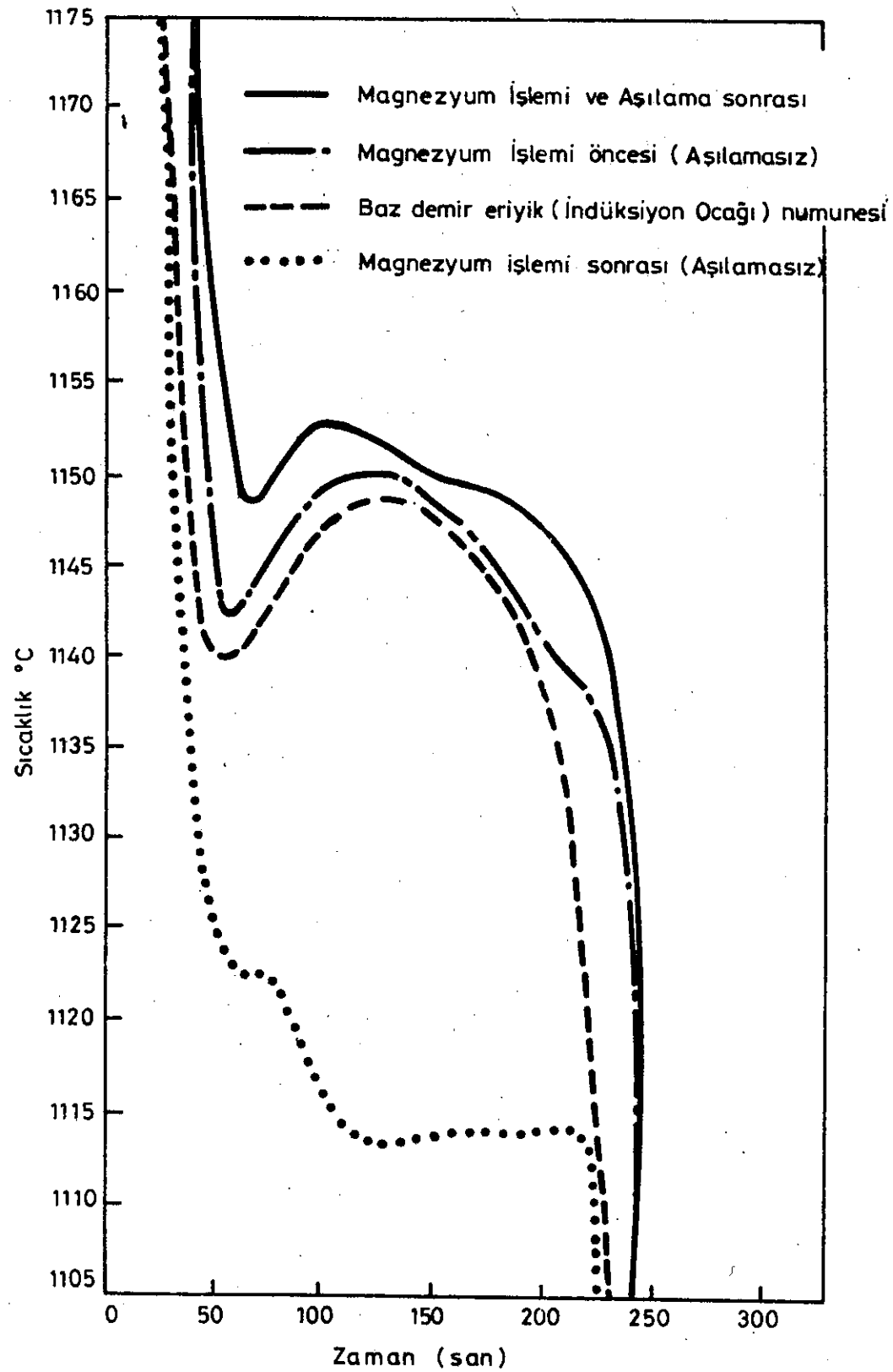
Tesbit edilecek değerler : Baz eriyik (ergitme ocağı)

CEL
C %
Si %

Ölçülen değerler :

$$T_L \left. \begin{array}{l} CEL = (1\ 682.7 - T_L) / 124.85 \\ C\% = -6.05 - 0.00\ 796\ T_L + 0.01\ 693 \times T_S \\ Si\% = 4(CEL - C - P/2) \end{array} \right\}$$

Diğer hususlar : Quick-cup - telleryum kaplı (Tip QC 4 011)
 $T_p > 1\ 300\ ^\circ C$
Fosfor analizi kimyasal yöntemle



Resim 142 . Ergitme ve işlem kademelerinden alınan numunelerin soğuma eğrileri

280/mm²'ye arttığını ortaya koymuştur.

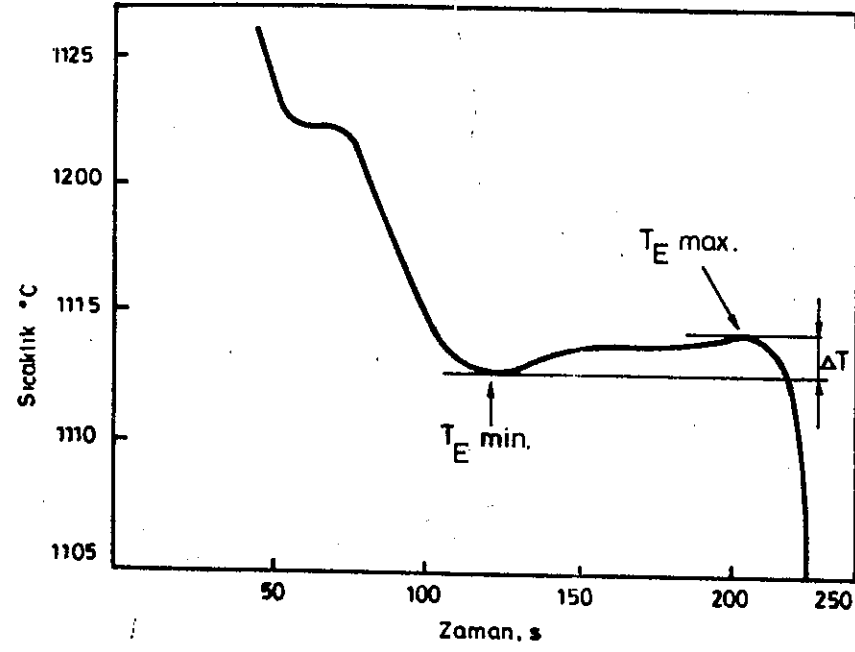
Resim 142 magnezyum işlemi sonrası aşılama sonrası alınmış numunenin soğuma eğrisini göstermektedir. Katılaşma tümü ile meta-stabil sisteme göre meydana gelmektedir. Üyektik sıcaklıkları arasındaki fark çok azdır. TE_{min} -sıcaklığı 1118°C nin üzerinde ve üyektik sıcaklık farkı 10°C den fazla olduğunda, katılaşma sonu kompakt veya lamel grafit oluşumu düzeyi kuvvetlenmektedir. Magnezyum miktarının artması TE_{min} sıcaklığı düşmekte, üyektik farkıda azalmaktadır, yani tam tersi bir etkiye sahip olmaktadır. (Resim 143,).

TE_{min} -sıcaklığının 1110°C'nin altında ve sıcaklık farkının 0.9°C den az olması halinde aşılama sonrası çekinti oluşumuna temayül artmaktadır.

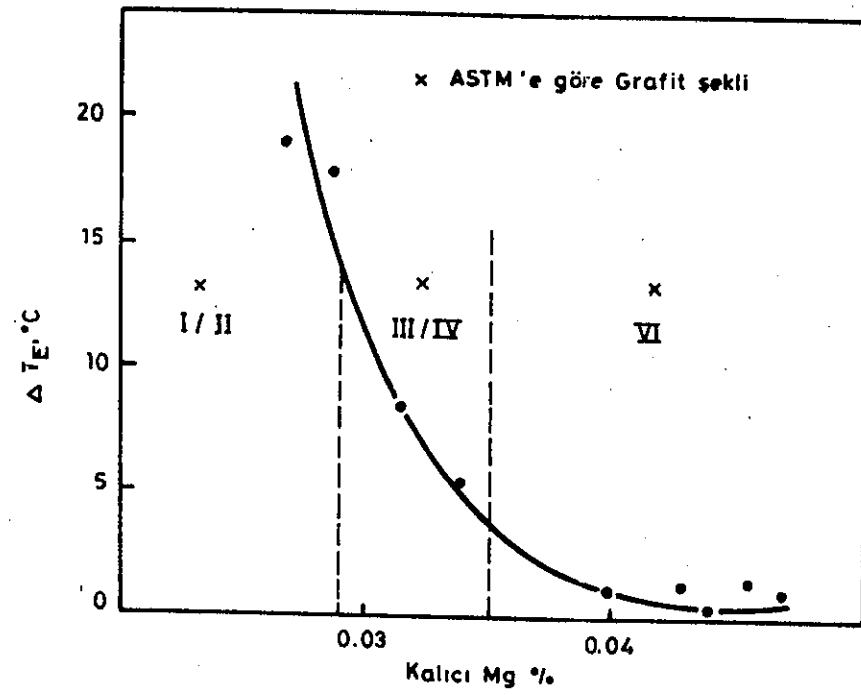
Aşılama sonrası numune termik analiz değerleri Resim 144 de verilmiştir. Bu şartlarda katılaşma stabil sisteme göre olmaktadır ve TE_{min} ve TE_{max} sıcaklıkları arasındaki fark 4.3 °C dir. Magnezyum miktarı TE_{min} - sıcaklığını düşürmekte, buna karşın doğal olarak silisyum miktarı ile artmaktadır. Üretim süreci boyunca silisyum miktarının tesbitinde analitik olarak büyük önem verilmesi gereği ortaya çıkmaktadır. (Resim 145 , 146) Optimum aşılama miktarı Resim 147 de görüleceği üzere % 0.25-0.35 arasında kalmakta, % 0.35'in üzerinde TE_{min} -sıcaklığı etkilenmediğinden nodül sayıda artmamaktadır.

Yine magnezyum işlemi sonunda aşılama sonrası alınan numunelerin soğuma eğrilerinin ve aşılama sonrası grafit şeklinin değerlendirilmesi Resim 143 de verilmiş olup, magnezyum işleminin küreselleşmeye etkisi açıkça görülmektedir.

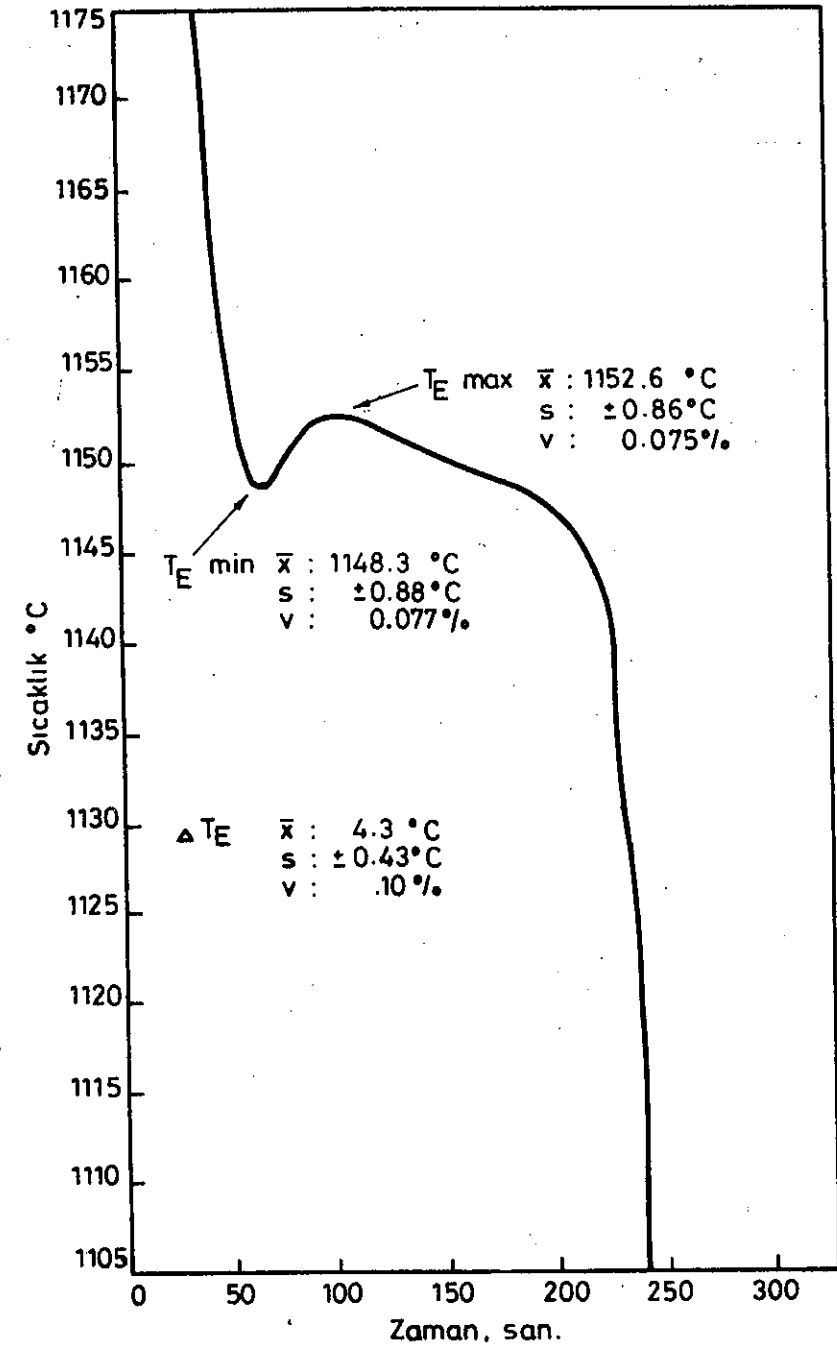
Termik analiz, yöntem kontrolünün optimizasyonu olup, uygulanmasında şarj malzemelerinin değişmemesi, analiz değerlerinin kontrol altında tutulması gerekmektedir.



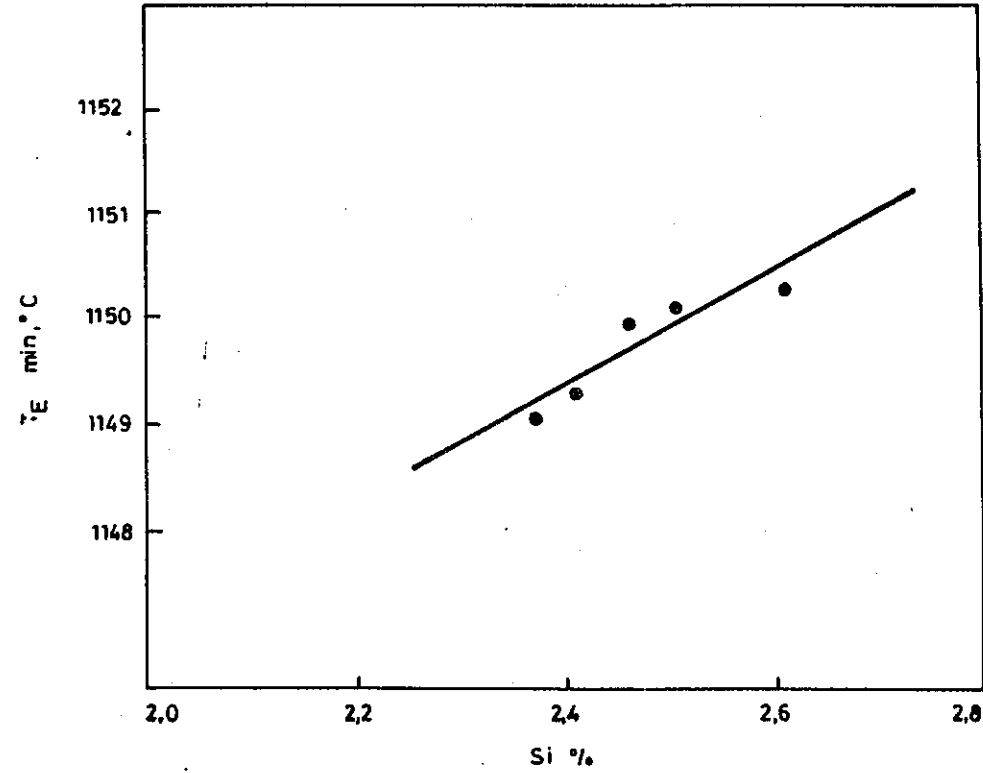
Mg %	T _{Emin} , °C	T _{Emax} , °C	ΔT _E , °C
0.040	1114.0	1115.3	1.3
0.033	1116.5	1122.1	5.6
0.031	1117.0	1126.3	9.0
0.029	1118.3	1136.0	17.7
0.027	1119.7	1139.1	19.4



Resim 143 Kalıcı Magnezyum miktarının ΔT_E ve Grafit şekline etkisi.

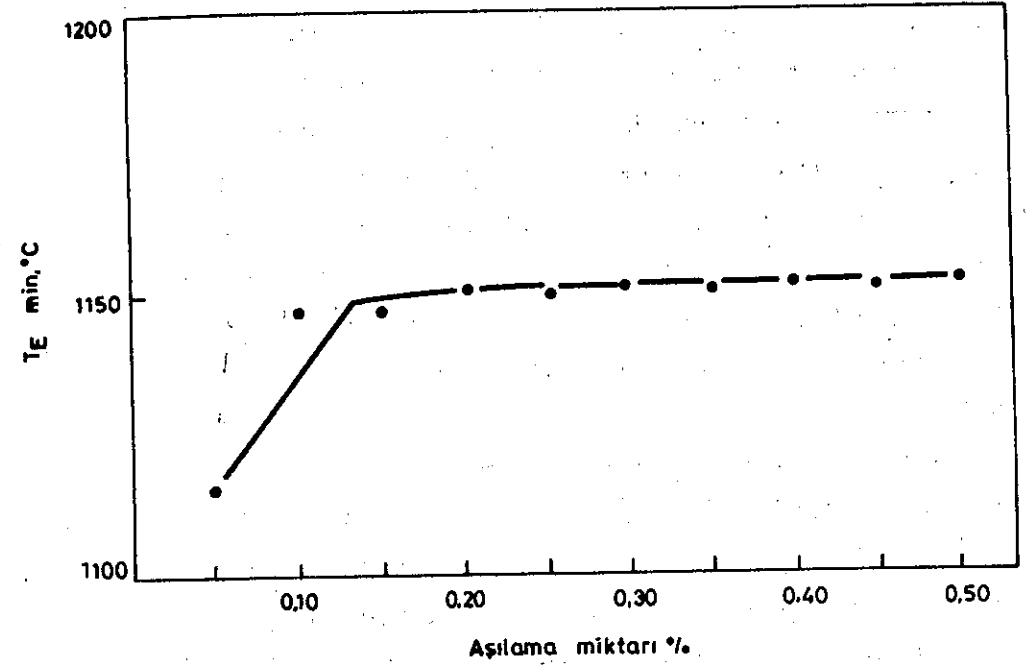


Resim 144 Magnezyum işlemi ve Aşılama sonrası dökümden önce alınmış numunenin soğuma eğrisi

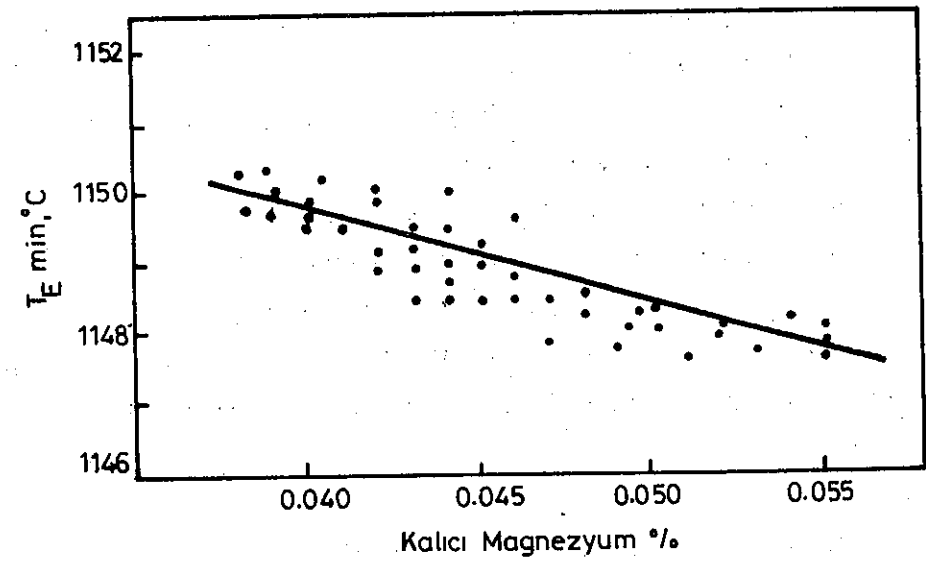


Si %	TE min, °C
2.60	1150.5
2.50	1150.0
2.45	1149.8
2.40	1149.2
2.35	1149.0

Resim 145 . Eriyik silisyum miktarının azalması, TE (min) - sıcaklığını düşürmektedir.



Resim 147 . Optimal Aşılama miktarı ve TE (min) - sıcaklığı



Resim 146 . Kalıcı Magnezyum miktarının TE (min) • sıcaklığına etkisi

9.6. Küresel grafit şeklini belirleyen diğer test yöntemleri, Bazı tipik ve basit yöntemler KGDD hakkında bize bir ön bilgi verebilmektedir. Bunlar, KGDD parçalarının kırma yüzeylerinin rutubetli hava ortamında tipik karbid kokusu vermeleri, kırma yüzeyinin lamel grafitli gri döküme nazaran daha açık renkte olması, bir çekiçe vurmada işitilen tiz ses ve Chunk tipi grafit mevcudiyetinde, kırma yüzeyinin kirli koyu renk bir görünüme sahip olmasıdır. En son durum hariç, diğer bulgular bir kontrol yöntemi sonucu olarak kabul edilemezler. Çuzi karbür miktarlarının veya % 5 miktarında tane sınırı lamel grafit'in mevcut olup, olmadığı bu basit yöntemlerle tesbit edilemez.

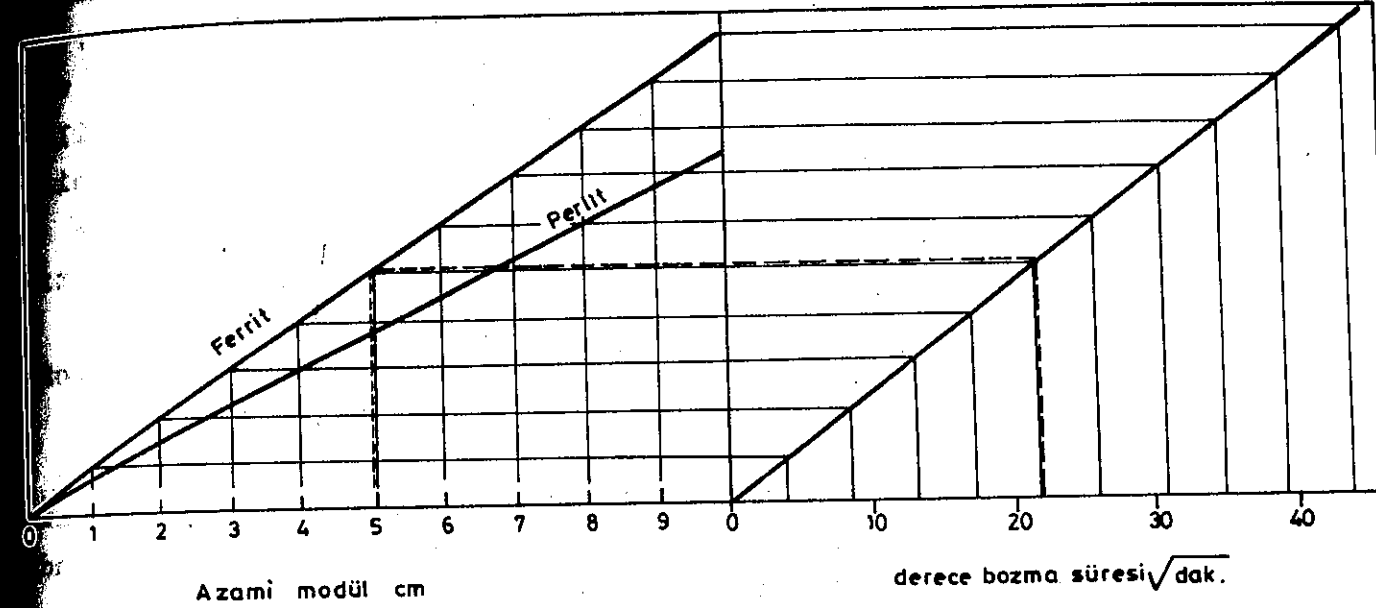
9.6.1. Aşılama ve döküm arası geçen süre, Döküm süresi mümkün olduğu kadar kısa olmalıdır. Bazı dökümlerde, ikaz mahiyetinde sinyal ve ışıklı kontrol yöntemleri uygulanarak, örneğin belli bir süre sonunda (5-10 dak.) sesle veya ışıkla döküm süresinin aşıldığı, blok dökümün yapılması gerektiği bildirilmektedir. Düşünüleceği gibi, parçaların hatalı dökümleri, blok olarak dökümlerinden daha pahalı bir işlemdir.

9.6.2. Döküm, Dökümle ilgili olarak 2 önemli hususu belirtmek gerekir:

1. Döküm sıcaklığının, döküm mahallinde, yani döküm hattında ölçümü kesinlikle yapılmalıdır.
2. Döküm potaları olarak, bugün bile ibrikli potalar güncelliklerini korumaktadırlar.

9.6.3. Parçaların dereceden bozulma sıcaklığı, Bölüm 12 de açıklanacağı üzere östenit-ferrit dönüşümü sıcaklığı bölgesinde soğuma hızı, perlit/ferrit oranını önemli derecede etkilemektedir. Eğer perlitik KGDD üretimi ön görülmüşse, parçanın dereceden erken bozulması gerekir. Fakat iç gerilimlerin artmaması için bu sıcaklığın 815°C nin üzerinde olmaması lazımdır.

Yüksek süneklilik özelliklerine sahip ferritik KGDD için dereceler 650°C nin altında bozulurlar. Parçanın derece içersinde soğuması modülüne, yani kalınlığına bağlıdır. Bentonit bağlayıcılı kuma dökümde bu ilişkiler Resim 148 de gösterilmiştir.



Resim 148 . Derece bozma zamanının parça modülüne bağlı olarak değişimi. (Ferritik doku için geçerli, döküm sıcaklığı 1400°C)

Dökümhanelerde aralıklı olarak söz konusu parça için derece bozma sıcaklığının tesbitinin yapılması gerekebilir.

9.7. Parça kontrolü,

İdeal olarak her bir parçanın kontrolü, işletme şartlarında en ciddi bir şekilde yapılmalıdır. Böyle bir kontrol ise KGDD savurma döküm boruları hariç çok ender olarak yapılır. Bunun nedeni böyle bir kontrol işleminin ekonomik olmayacağıdır. Dökümhanelerde bir taraftan kalite emniyetinin sağlanması ve yüksek bir güvenilirlik sınırı içinde parçaların kontrol edilmesi gerekmektedir, diğer taraftan bu işlemin kabul edilebilir bir masrafla yapılması istenir. Bu özellikler endüstrinin diğer imalat sektöründe geçerlidir. Kontrol ve parça sayısı arttıkça kalite emniyeti ve güvenilirliği yükselmektedir. Bu nedenle parça özellikleri üzerine baz edilmiş istatistikî kalite kontrolün yapılması yegane yöntem olmaktadır.

9.8. Gözle muayene (Kalite kontrol),

KGDD parçaları en azından teker, teker gözle muayene edilmelidir. Bu işlem, ikinci defa, parçaların , stok yerine alınmalarından önce yapılabılır. Bu kontrolla kalıplama, kalıplama, maça malzemesi ve curuf hatalı nedenli parçalar hemen ayrılırlar. Her zaman unutulmaması gereken husus, döküm parçasının dökümhanede hatalı olarak ayrılmasının, müşteriye iade edilmesinden daha ekonomik olduğudur.

9.9. Sertlik ölçümü,

KGDD'in mikro dokusu homojen olmayıp, bu özellik parça kesiti kalınlaştıkça dahada artar. Bu nedenle KGDD lerin sertliklerinin ölçümünde ideal olarak uygulanan yöntem Brinell sertlik ölçümüdür. Yük 3000 kg, bilya çapı 10 mm ve yükleme süresi 30 san. alınarak ölçümlerin yapılması gerekir.

Rockwell, Rc, sertlik değerlerinin güvenilirliği az olup, sadece yüzey sertleştirilmiş parçaların ölçümünde kullanılmalıdır.

Sertlik ölçümü için numunenin hazırlanmasında, yüzeyden 0.8 mm derinliğe kadar doku ile, parça özü dokusunun farklı olduğunu unutmamak lazımdır. Kalın etli KGDD parçalarda, yüzey tabakası lamel tipi grafit'e sahip olabilir ve döküm durumunda ana doku ferritiktir.

Bu nedenle sertlik ölçümü öncesi, parçaların bu derinliğe kadar taşlanması gerekir.

9.10. Mekanik ve teknolojik kontrol,
Bazı durumlarda müşteri belirli bir normu şartname olarak vermez. Örneğin, çekme dayanımı ve sertlik değerleri üzerinden siparişte bulunur. Vane bilinen bir gerçek, bazı dökümhanelerde çekme deneyinin yapılmaması veya bu deneyin ekonomik nedenlerle zorunlu olunan durumlarda uygulanmasıdır. Aşağıda verilen değerler ve eşitlikten sertlik değerinin tesbiti ile malzeme çekme mukavemeti hakkında bilgi sahibi olunabilir. Çekme dayanımı ve sertlik arasındaki basit eşitlik,

$$\text{Çekme dayanımı} = K \cdot HB \text{ dir.}$$

KGDD türlerine göre K-sabitesi ise Çizelge 37 de verilmiştir. Çizelge 37 .

KGDD	K-değeri (N/mm ²)
Döküm durumunda veya ferritik tavllanmış	2.9
Normalize edilmiş veya beynitik	3.27

Bütün bunlara rağmen, çekme deneyi deney çubukları dökülmeli ve muhafaza edilmelidir (Resim 149).

Böylece herhangi bir problemin mevcut olması halinde, numunenin incelenerek nedenlerin araştırılması imkanı doğar.

Bir çok şartnamede Y-blok tipi norm deney çubukları dökümü öngörülmüş olmasına rağmen, U-blok şeklindeki numunelerin dökümü ile 2 adet deney çubuğu elde edileceğinden daha elveriş-

lidir. (Resim 150).

Y-blok tipi deney çubukları parça et kalınlığı 75 mm den büyük olduğunda kullanılmalıdır.

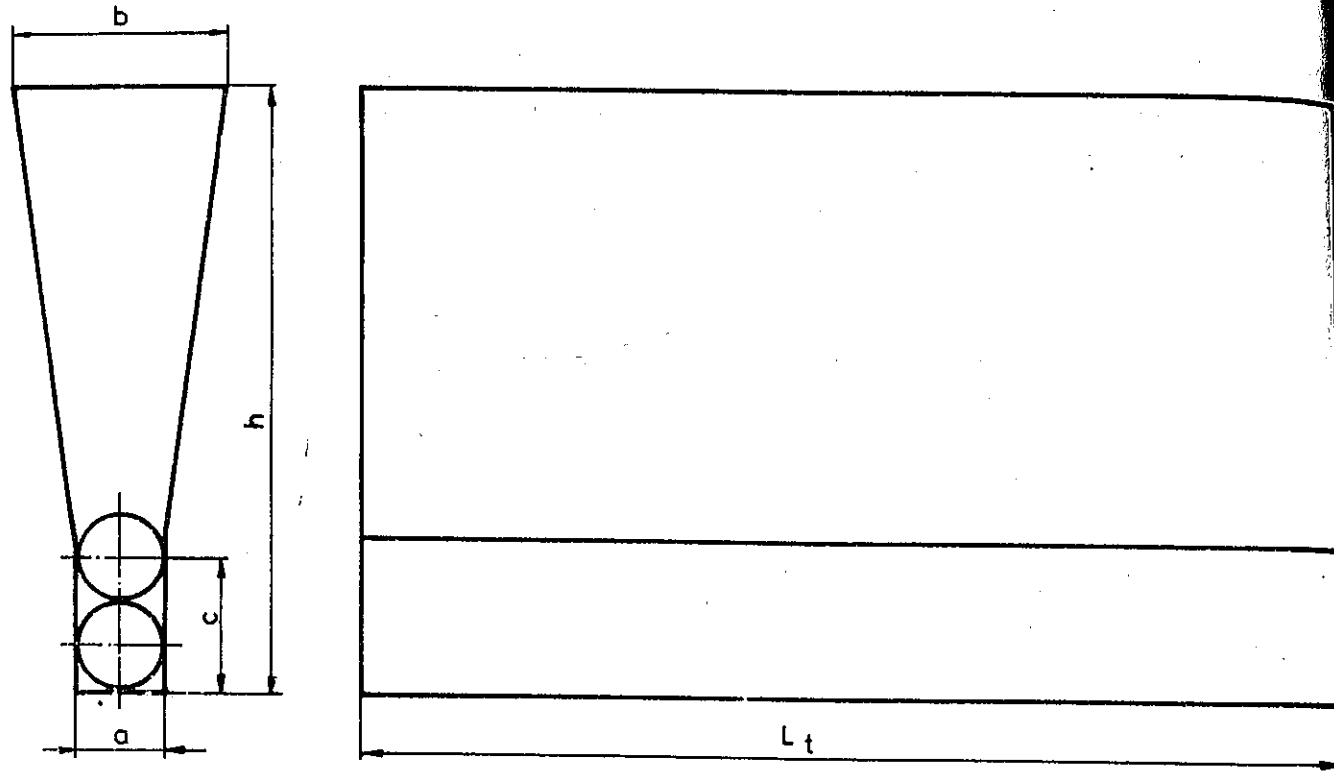
Boyut hassasiyeti,

KGDD lerde diğer metal ve alaşımlarda görülen ölçüsel sapmaların hepsine sahip oldukları gibi, 2 ayrı olgu tarafında da bu özellik etkilenmektedir,

1. Parçanın katılaşma sonunda genişmesi ile boyut değişimi,

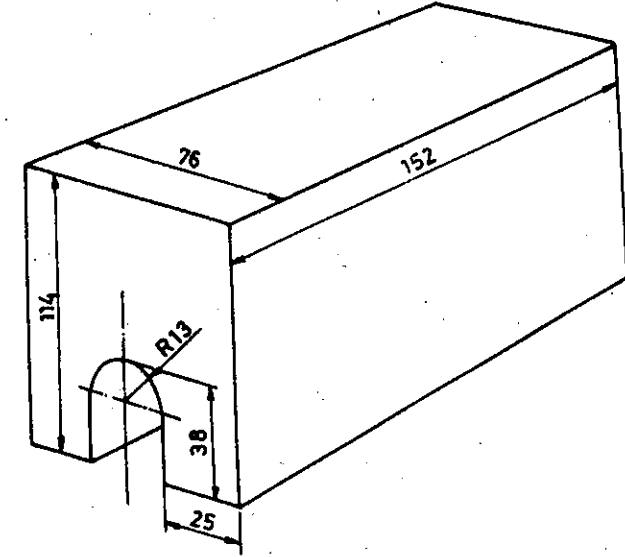
2. Genleşmenin kalıp malzemesi özelliklerine bağlı kalması.

İstenen boyutsal ölçülerden sapmaların asgari seviyeye indirilmesi için, iyi özelliklerde kalıp kumunun kullanılması, iyi bir kalıplama yapılması ve metalurjik parametrelerin devamlı kontrol altında tutulmaları lazımdır.



Nr.	a	b	c	h	l_t	Çekme numunesi
Y1	10	40	20	135	60	DIN 50125 B 6 x 30
Y2	25	55	40	140	125	B 14 x 70
Y3	50	100	50	150		
Y4	75	125	65	175		

Resim 149 . DIN 1693 'e göre KGDD mekanik özelliklerinin tesbit edileceği numune çubuğun döküm parçası.
(Y - Numune çubuğu, ölçüler mm)



Resim 150 . U- Blok numune şekli, standart şekil . Ayak genişliği 25 mm

9.11. KGDD'in yüksek metalurjik özelliklere sahip olduğunu belirleyen grafit küre sayısı:

KGDD lerin kalitesinin belirlenmesinde alınan en önemli ölçü grafit küreleri sayısıdır. Bu değer, dokuda karbür oluşum temayülünü ve çekinti hatalarına yatkınlığını verir.

Grafit küre sayısı ile katılma hızı arasında yakın bir ilişki mevcuttur. Inmold yöntemi dışındaki yöntemlerle aşılama yapıldığında küre sayısı k ile katılma süresi arasındaki ilişki aşağıda verilmiştir:

$$k = 712 \cdot t^{-0.3675}$$

k küre sayısı a/mm²

t toplam katılma süresi (san)

Kalıpta aşılama numunelerden elde edilen değerlerle yine benzer bir ilişki yazılır:

$$k = 2025 \cdot t^{-0.419}$$

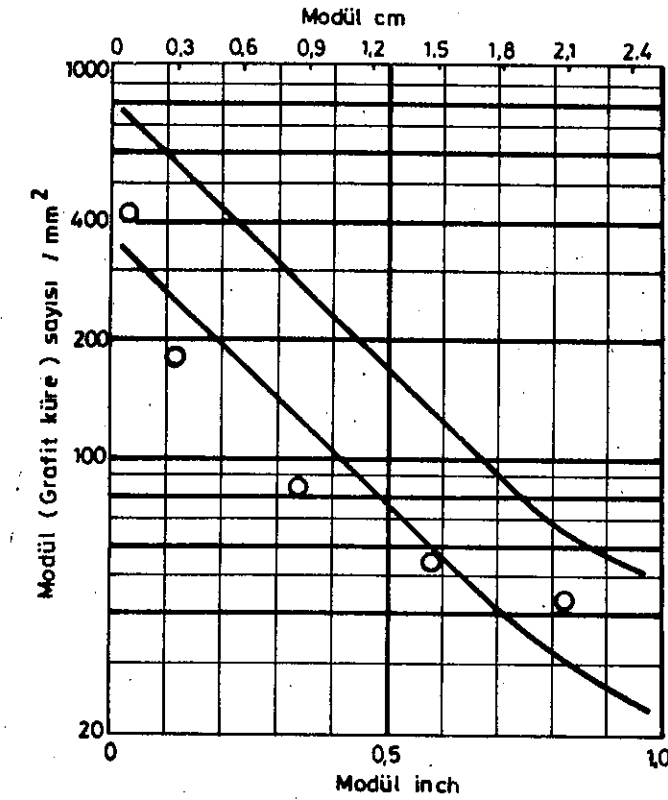
Katılma süresinin sonuna kadar geçen sürede,

$$\sqrt{t} = M (2.4 + 0.0028 (T_g - 1300))$$

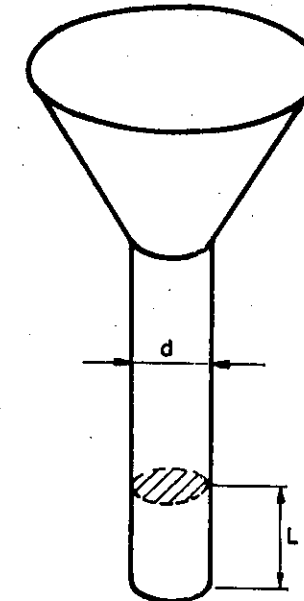
olduğundan modüle bağlı olarak grafit küre sayısı kalıpta aşılama ve aşılama numuneler için saptanabilir.

Dökülen KGDD'in yüksek metalurjik özelliklere sahip olup, olmadığı ise Resim 151 den tesbit edilebilir. Bu resimde modüle bağlı olarak parçanın sahip olması gereken asgari küre sayısı ile azami sayı görülmektedir. Örneğin, modülü 0.76 cm olan bir parça yüksek metalurjik özelliklere sahip ise, asgari küre sayısı 140 olmalıdır. Bu parçada küre sayısı 140-300 arasında olabilir. Aynı şekilde 15 mm çapındaki bir parçada, modül 15/4 = 0.375 cm olduğundan küre sayısının 225-500 arasında kalması lazımdır. Diyagram üzerinde kalıpta aşılama numuneler için geçerli olan eşitlik ve katılma süresi eşitliğinden modüle bağlı olarak küre sayıları saptanılarak gösterilmiştir. Bu diyagram normal aşılama şartları değerlerini vermektedir.

Parçadan ayrı olarak dökülen numunenin modülü, en küçük parça modülüne eşit olarak alınmalıdır. Böylece karşılaştırma imkanı doğar. Numune uzunluğu çapın 5 katı olmalıdır (Resim 152).



Resim 151 . Çok iyi kalitede KGDD'in sahip olması gereken küre sayısı ile modül arasındaki ilişki.



Resim 152 . Metalografik incelemeler için maçaya dökülen numune parça.

9.12.KGDD lerde uygulanan çekinti yatkinliğının direkt tesbiti deneyi: 23

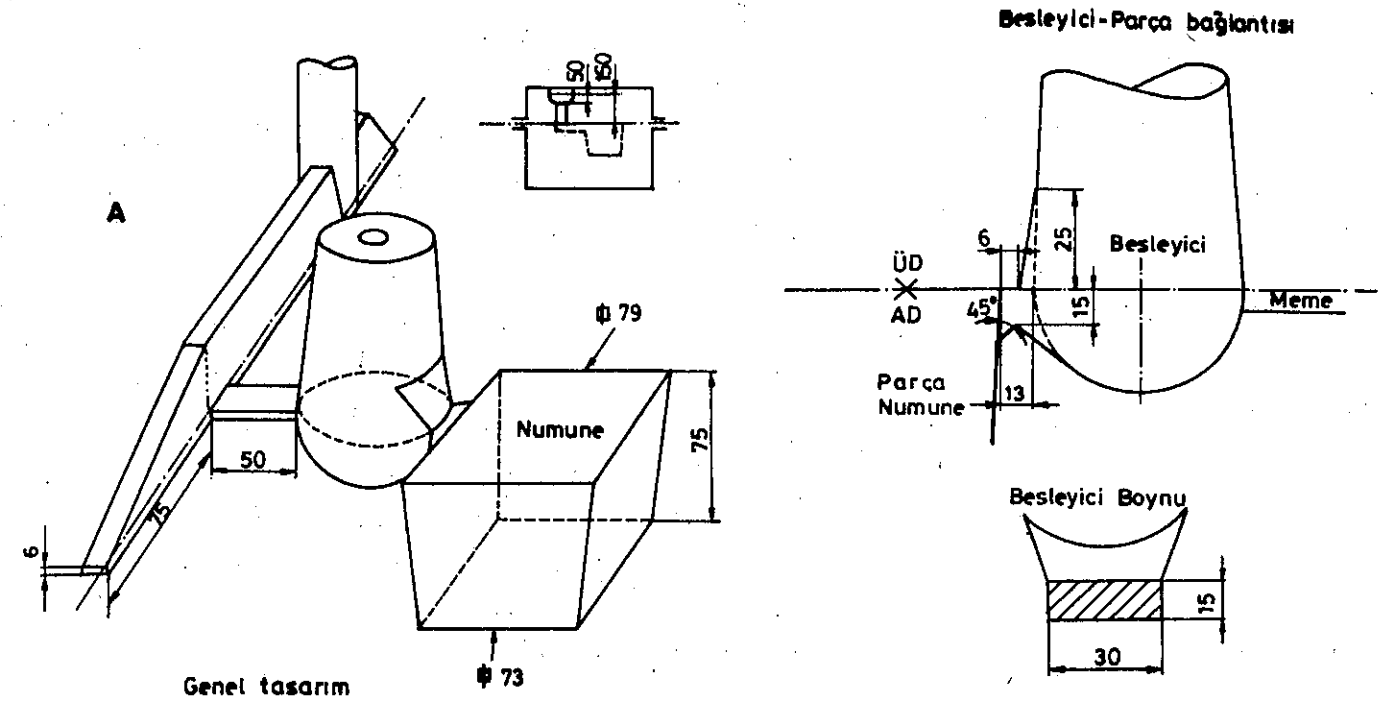
Resim 153 çekinti yatkinliğının bir ölçüsü olan metalurjik kalitenin tesbiti için uygulanan deneyi göstermektedir. Parça verilen boyutlarda döküldükten sonra besleyicinin incelenmesi ile metalurjik kalite hakkında bir bilgi sahibi olunabilir. Besleyici derinliğine inen ip lunkerine sahip ise dikey yan yüzeylerde muhtemelen şişme gösterecektir. Gerekli olmamasına rağmen, parça kesildiğinde çekinti hatalarının besleyici boynu bölgesinde yoğunlaştığını görebiliriz. Parçanın kalıplanması sistem kumuna yapılmalıdır. Yüksek metalurjik kaliteye sahip KGDD'de genleşme daha erken başlamakta ve genleşme basıncı besleyicinin doldurulması ile dengelenmektedir. Bu nedenle besleyici tamamen dolu veya üst kısmında çok küçük bir lunkere sahip olur. Döküm parçasının yan yüzeyleri düzgün ve iç çekinti boşluklarını ihtiva etmez.

10. Yolluk, meme(kanal) ve besleyici tasarımı

Bir çok dökümhanelerde, KGDD üretimi yolluk ve besleyici tasarımının farklı ve kişisel becerilere dayanılarak yapıldığı bir gerçektir. Ancak doğal olarak bu dökümhanelerde yüksek oranlarda parçalar, curuf, besleme hataları nedeni ile ayrılmakta bunun sonucu olarak ekonomik üretimden uzaklaşmaktadır. Bu gün KGDD'in yolluk ve besleyici tasarımı ile ilgili temel bilgileri ve pratik deneyimleri içeren çok sayıda kaynak mevcut olduğundan, yukarıda açıklanan çalışma anlayışının kabul edilmesi zordur.

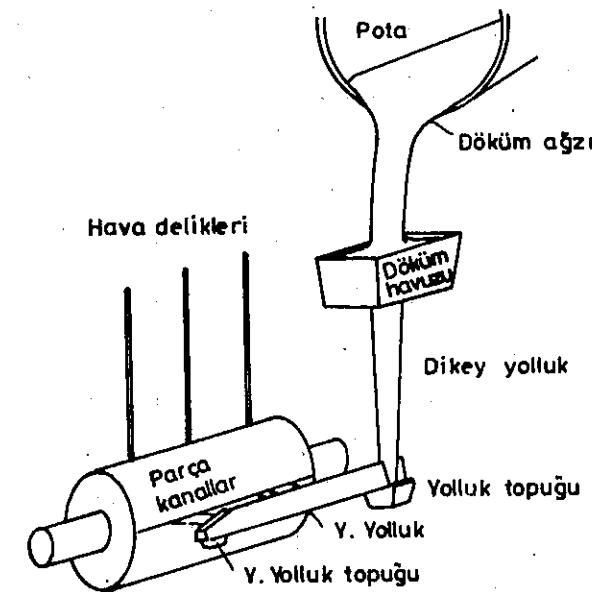
Yolluk ve meme sisteminin ana amacı Resim 154de gösterildiği gibi, eriyik demir'in kalıp hacmini doldurmasını sağlamaktır. Yolluk ve meme sistemi kısımlarının görevleri ise şu üç grupta toplanır:

- Kalıp boşluğunun döküm havuzu ile irtibatının sağlanması,
- Curuf ve diğer eriyik içinde bulunan pisliklerin tutulması,
- Kalıp hacminin hava alış ve verişinin sağlanması.



Deney şartları
Bentonit bağlayıcılı kum, Döküm sıcaklığı 1400 °C

Resim 153 Çekinti temayülünün tesbiti deneyi



Resim 154 Yolluk, meme (kanal) sistemi

Bu sistemin yerine getirmesi gereken diğer işlevleride, parça içinde belirli bir sıcaklık farklılığının oluşturulması ile besleyicinin görev yapabilme kabiliyetinin arttırılması, ve bazende sistemin bir besleyici görevi üstlenmesidir. Resim 155de gösterilen yolluk-meme sisteminin kısımları birer birer belli bir görevi yerine getirdiklerinden,KGDD'in döküm tasarımıında mutlaka mevcut olmalıdırlar.KGDD üretiminde yolluk ve meme sistemi iki ayrı gruba ayrılır,

- 1.Basınç etkili sistem,
- 2.Basınç etkisiz sistem.

Bu sistemlerden hangisinin uygulanmasının gerekli olduğu, dökümcünün pratik deneyimine,bir derecede kalıplanan parça sayısına bağlı olup,her zaman malzeme faydalanma oranının daha fazla olduğu sistemin uygulanmasına gidilir.

Bir sistemin basınç etkili olması için,kalıp doldurma hızının yatay yolluk/meme kesitleri tarafından kontrol altına alınmış olması lazımdır.Bu sistemi yatay yolluk-meme kontrollu tanımda verilir.Basınç etkisiz bir sistemde ise kalıp doldurma hızı aşağı doğru konik olan dikey yolluğun kesiti tarafından kontrol edilir.

Her iki sistemde kalıp doldurma hızının kontrol altında tutulduğu kesit,"dar kesit veya dar yer" olarak adlandırılır. Bu tanımlamalardan,bir basınç etkisiz yolluk/meme sisteminde eriyik demir'in daha az bir basınç ve hız altında kalıp hacmini dolduracağını görmekteyiz.Dar kesit her zaman iki derecenin birleşme yüzeyinde bulunur.Eriyik akış hızı bu durumda Toricelli-eşitliğinden,

$$v = c \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \text{ saptanılır.}$$

Kalıp hacminin doldurulma debiside,

$$R = F_c \cdot c \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \text{ dir.}$$

R kalıbın doldurulma debisi cm^3/san

F_c Dar kesit cm^2

c Sürtünme kayıpları faktörü

g Yer çekimi ivmesi $981 \text{ cm}/\text{san}^2$

H Döküm havuzundaki eriyik yüksekliği ile dar kesit arasındaki uzaklık veya yükseklik,cm

Pratik çalışmalar sonucu Quebec Iron and Titanium Co. tarafından KGDD üretiminde döküm gücü,debisi aşağıdaki eşitlikle verilmektedir,¹⁰⁹

$$Q = c \cdot S_A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

Q Döküm debisi kg/san

c Döküm tekniği ile ilgili sabite 2.76

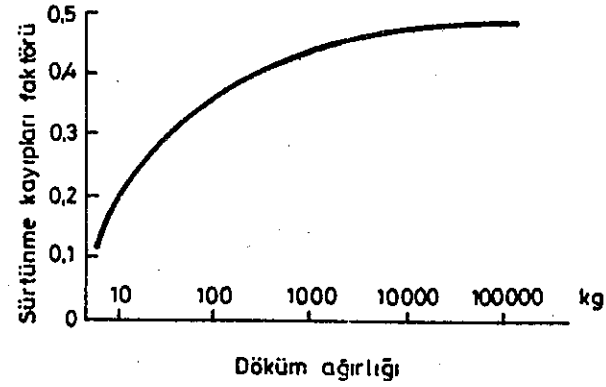
S_A Toplam meme kesiti cm^2

g Yer çekimi ivmesi $981 \text{ cm}/\text{san}^2$

H Basınç yüksekliği cm

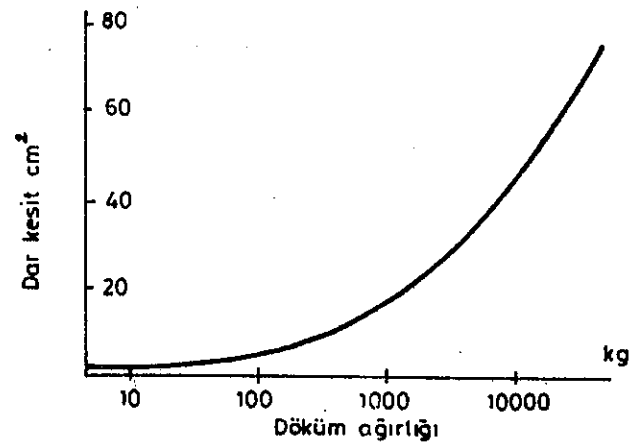
Döküm parça ağırlığı 70 kg'nın altında olduğunda döküm debisinin $0.7 \text{ kg}/\text{cm}^2 \cdot \text{san}$ ve bu ağırlığın üzerinde ise asgari $1 \text{ kg}/\text{cm}^2 \cdot \text{san}$ alınması gerektiği bu çalışmaların bir sonucu olmaktadır.Yukardaki eşitlikte dar kesit,meme kesiti olarak alınmış olup,sistemde yolluk/meme kontrollu olmaktadır. Sürtünme kayıpları faktörü döküm ağırlığına bağlı olarak Resim 155 de verilmiştir.

Döküm süresinin fazla öneme sahip olmadığı durumlarda, dar kesit alanı Resim 156 dan tesbit edilir.



Resim 155 . Sürtünme kayıpları

Bazen döküm süresi fazla öneme sahip değilse, dar kesit Resim den tesbit edilir.



Resim 156 . Döküm ağırlığı dar kesit arasındaki ilişki.

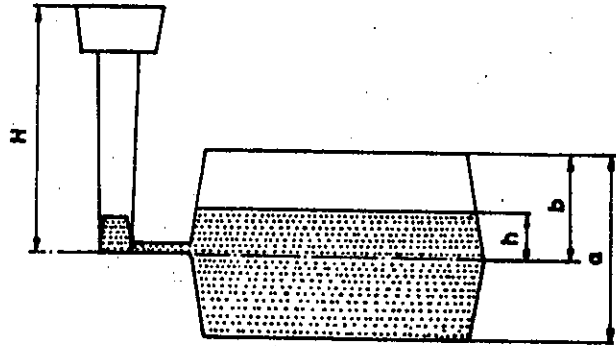
Genellikle döküm süresinin tam olarak önceden bilinmesi halinde döküm işleminin üretim akışına uyarlılığı ve çekinti probleminin önlenmesi mümkün olur. Resim 157 de verilen sembollerden ve aşağıdaki eşitlikten döküm süresi veya dar kesit alanı saptanılır, F (cm^2),

$$F_c = \frac{l}{c \cdot t \cdot \sqrt{2g}} \left[\frac{V_d}{\sqrt{H}} + \frac{3}{2} b \frac{V_c}{\sqrt{H^3 + \sqrt{(H-b)^3}} \right]$$

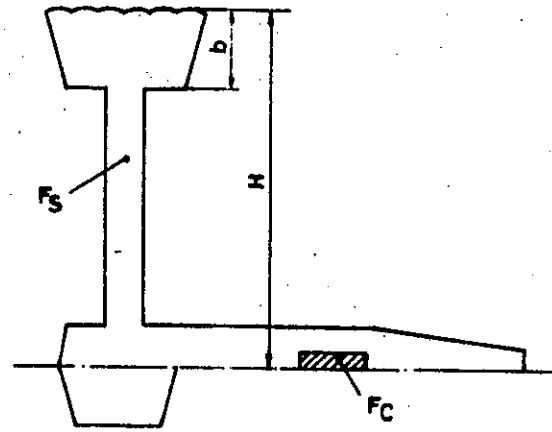
- t döküm süresi, san
- V_d alt derecede kalan döküm parçası hacmi, cm^3
- V_c üst derecede " " " " , cm^3
- b Döküm parçasının dereceler oturma yüzeyinden yüksekliği, cm

10.1. Basınç etkili yolluk/meme sistemi,

Bu sistemde dar kesit, yatay yolluk- memeler birleşme yerindedir. Düz veya ters konik, yani dikey yolluğun yukarı doğru genişlemesi halinde, dikey yolluğun meme kesitlerine eşit veya daha büyük olması lazımdır. Böylece, Resim 158 den,



Resim 157 . Döküm parçası.



Resim 158 . Basınç etkili sistem.

$$F_s \cdot c \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot \sqrt{b} \geq F_c \cdot c \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \text{ ve}$$

$$F_s \geq F_c \cdot \sqrt{H/b} \text{ yazılır.}$$

F_c Dar kesit cm^2
 F_s Dikey yolluk kesiti cm^2

Yolluk/meme sisteminin curufun tutulmasını sağlayan yeğane kısmı dikey yolluk olup, farklı 2 döküm periyodunda bu görevi yerine getirir.

1. zaman periyodu döküm başlangıcından, döküm havuzunun dolmasına kadar devam eder, 2 periyot ise dökümün sona ermesine kadar geçen süredir. 1 periyodun iki önemli özelliği kuvvetli turbulens ve yatay yolluğun tüm uzunluğunda tek yönlü eriyik akışıdır. Curuf ve pisliklerin eriyikle memeler üzerinden parçaya gelmemesi için şu tasarımlar yapılır,

1. Yatay yolluğun en son memeden sonrada uzatılması,
2. Yatay yolluk uç kısmının kama şeklinde yapılması.

Bundan başka, döküm başlangıcında curufun dar kesitler tarafından tutularak, kalıp boşluğuna ulaşmaması için ince dar kesitler(memeler) kullanılır.

2. Periyotta curufun eriyikle birlikte akışını yatay yolluğun uzatılmış olması engelleyemediğinden, şu pratik önlemlere baş vurulur,

1. Dikey yolluk ile birinci meme arasında kafi miktarda mesafe bırakılır,
2. Yollukta turbulensli akışın as ariye indirilmesi sağlanır,
3. Yollukta eriyik akış hızının mümkün mertebe düşürülmesi, bunun için yolluk kesitinin, memeler kesitine oranı büyük olmalıdır.
4. Yatay yolluk ile memelerin üst yüzeyleri arasındaki farkın büyük olması sağlanır, yolluk yüksek ve ince seçilir.
5. Memelerin ve yatay yolluğun alt yüzeyleri aynı düzlemde bulundurulur.

10.2. Basınç etkisiz sistem,

Dikey yolluk üst kısmı ile meme kesitlerinin oranı basınç etkili sistemdeki gibi olmalıdır. Bu sistemde 3 zaman aralığı vardır. Birincisi basınç etkili sistemdeki ile aynı fakat süre olarak kısa olduğu için, curufun eriyikle memeler üzerinden akışı mümkün olmaz. 3. periyot basınç etkili sistemdeki 2 periyotla özdeştir. 2 periyotta yolluk sisteminin tümü ile doldurulması gerçekleşir. Bu yolluk/meme sisteminin tasarım özelliği olan, yatay yolluk alt derecede, memelerin üst derecede bulunmalarının nedeni ile, 2 periyotta ne eriyik demir, ne de curuf memeler üzerinden akar. Bu periyodun sonuna doğru, eriyik üzerindeki curuf'un memelerden kalıp boşluğuna geleceği düşünülse bile, pratikte uygun bir tasarım gerçekleştiğinde curuflar, yatay yolluk uç kısımlarında toplanır.

Yolluk tasarımı ile ilgili olarak bilinen temel kural ise yüksek dar ve üstten veya alttan kare kesitli memelerin birleştiği yatay yollukların kullanılmasıdır. Memelerin üstten veya alttan yatay yollukla birleşmesinde birbiri üzerine gelen kısmın uzunluğu meme kalınlığından biraz büyük alınmalıdır. Basınç etkisiz yolluk/kanal sisteminde 1 tek uygulama hariç, yatay yolluk düzdür. Bu uygulamada, silindirik parçalarda yolluk sistemi parça içinde ön görülüyorsa, dairesel yatay yolluğun kullanılması olmaktadır.

Yukardaki açıklamalara göre memelerin toplam kesiti, yolluk dar, yani boğum kesitinden büyüktür. Bu oran arttıkça, kalıp boşluğu daha düzgün bir şekilde dolacaktır.

Basınç etkili ve basınç etkisiz sistemlerin ortak tasarım özellikleri:

İlk önce döküm potası ağız açıklığının gerekli eriyik akışını sağlayacak büyüklükte olması gerekir. Ağız büyük olduğu takdirde hem potacı gerekli döküm hızını ayırlamada büyük güçlük çekecek, hemde sıçramalar sonucu eriyik kayıpları artacaktır. Döküm havuzunun tasarımı yüksek bir malzeme faydalanımını ve aşağıdaki görevleri yerine getirecek şekilde yapılmalıdır:

1. Döküm havuzu geometrik özellikler (Resim.159)

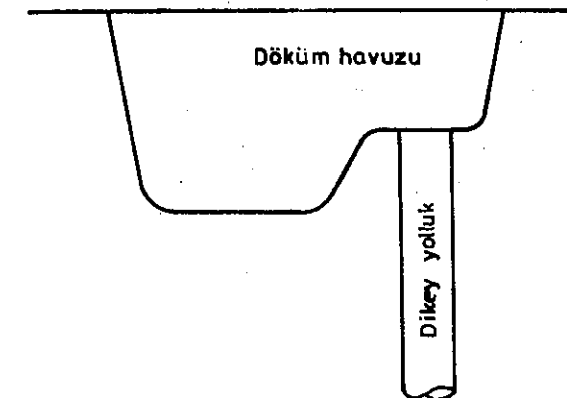
Genişlik = 2. dikey yolluk çapı

Uzunluk = 4. dikey yolluk çapı olmalıdır.

2. Döküm havuzu ne kadar derin yapılırsa, gerekli dikey yolluk çapı o kadar küçük seçilebilir, Burada optimum büyüklük tesbit edilmelidir. Pratikte genel olarak havuz derinliği genişliğine eşit alınır.
3. En fazla curufun yolluk/kanal sistemine getirildiği eriyik, ilk dökülen eriyik olduğundan, bunun önlenmesi için havuz tabanının belli bir kısmı derinleştirilmiştir. (Resim 159)
4. Bu derinlik kare şeklinde olduğunda, yüksek turbulensiye azaltıcı bir görev alır,
5. Açık besleyicilerin kullanılmaması halinde kalıp üst derecede hava deliklerine sahip olmalıdır. Bu delikler parçanın en yüksek kısımlarına gelecek şekilde yerleştirilir. Otomatik kalıplama makinelerinde alt-üst derece oturma yüzeyinden başlayarak kullanılırlar.
6. Dikey yolluğun, yatay yolluk orta noktasına gelecek şekilde simetrik bir yolluk/meme sisteminin kullanılmasına gayret gösterilmelidir. Böylece malzeme faydalanımı artacaktır.

Basınç etkili sistemin uygulanmasında pratik bilgiler:

1. Meme kesitleri toplamı Resim 156 dan veya ilgili eşittikten saptanılır,
2. Tasarım, yatay yolluğun mümkün mertebe düz olarak yerleştirilmesine imkan sağlayacak şekilde düşünülmelidir.



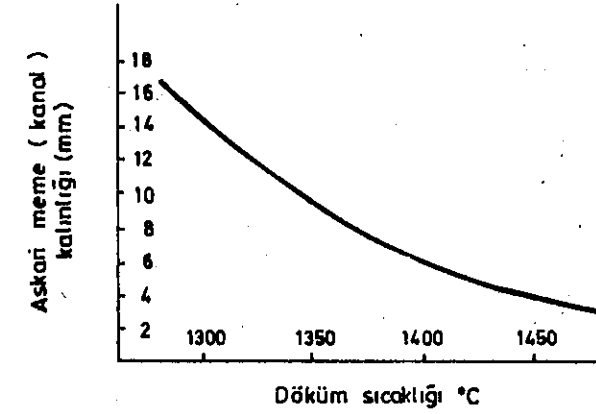
Resim 159 . Döküm havuzunun ideal şekli.

- 3.Çapı aynı kalan dikey yolluk veya yukarı doğru konik olan yolluğun en dar kesiti ile toplam meme kesitleri arasındaki ilişki Resim den ve ilgili eşitlikten saptanılmalıdır.
- 4.Bu oran,yani yolluk kesiti/meme kesitleri 2:1-3:1 olmalıdır.(Yatay yolluk kesiti).
- 5.Yüksekliği,genişliğinin 2 katı olan yatay yolluk tasarımı yapılmalıdır,
- 6.Meme veya kanallar ince ve geniş olmalıdırlar.Meme kalınlığı Resim 160 dan tesbit edilebilir.Uzunluğu ve genişliği kalınlığının 4 katı olmalıdır.
- 7.Dikey yollukla ilk meme arasında asgari 100 mm mesafe olmalıdır.Yatay yolluk ucunun son memeden uzaklığında aynı büyüklükte alınmalıdır.İki birbirine yakın meme arasındaki uzaklık asgari 25 mm olarak düşünölmelidir. Büyük ve yüksekliği fazla olan parçaların tasarımında bu değerler arttırılmalıdır.
- 8.Yatay yolluk ve memelerin alt yüzeyleri aynı düzlemde bulunmalıdır.(Resim.161).

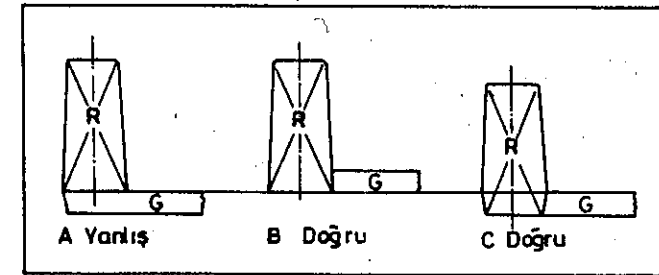
- 9.Döküm havuzu bundan önce belirtildiği gibi küp şeklinde ve köşeleri yuvarlatılmış olmalıdır.
- 10.Memeler yatay yolluğu dik olarak bulunmalıdır.
- 11.Yatay yolluk kesiti son memeye kadar aynı kalmalıdır. Son memeden itibaren Resim 162 de gösterildiği gibi inceltilmelidir.Eğer bu uzunluk bazı nedenlerle kısa kalıyorsa,Resim 163 de verildiği şekilde alt derecede devam ettirilmelidir.

Basınç etkisiz sistemin uygulanmasında pratik bilgiler:

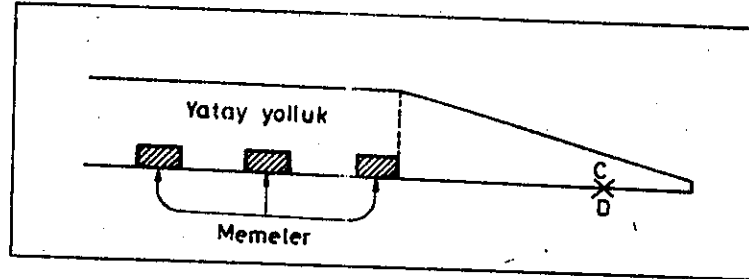
- 1 ve 2 basınç etkili sistemde olduğu gibidir.
- 3.Kesit oranlarının saptanılması Resim 157 de verilen eşitlikten yapılır.Eğer yatay yollukta Resim 164 de gösterildiği şekilde bir boğum,dar kesit ön görülüyorsa,eşitlik,dikey yolluk üst kısım kesitinin dar kesite oranı için geçerli olur



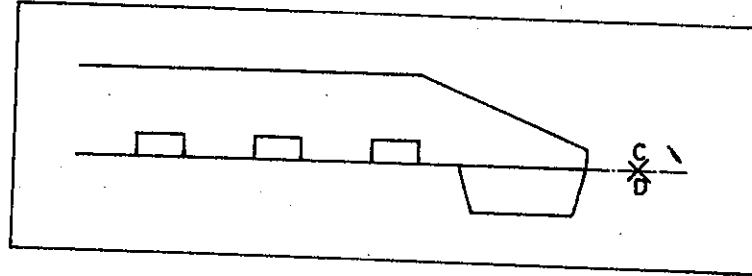
Resim 160 . Döküm sıcaklığına bağlı olarak memelerin askari kalınlığı.



Resim 161 .Doğru ve hatalı yolluk / meme tasarımları

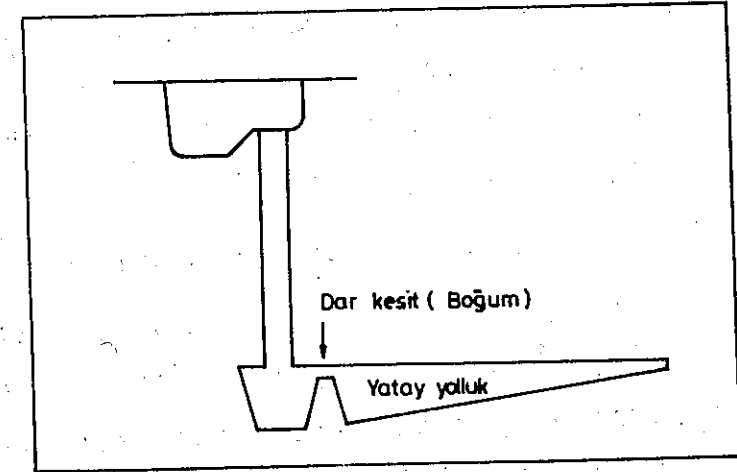


Resim 162 . Yatay yolluğun son memeden sonra kama şeklinde daralması.

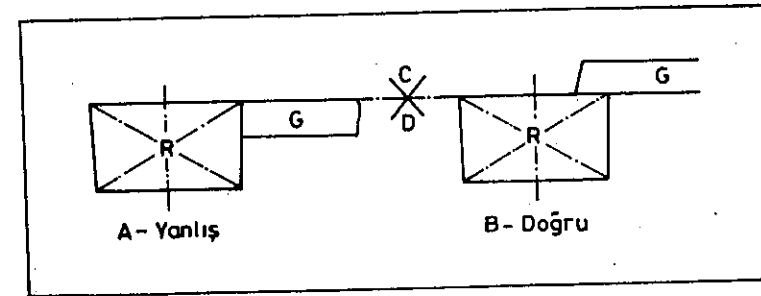


Resim 163 . Daralmış yatay yolluk ucunun alt derecedeki devamı.

- 4.Boğum,dar kesitin,yatay yolluk kesitine oranı 1:4 olmalıdır.
- 5.Yatay yolluk Resim 164 deki gibi inceltilmeli ve kama şekline getirilmelidir.
- 6.Yatay yolluk alt derecede bulunmalı,memeler üst derecede olacak şekilde yerleştirilmelidir.Bunların birbiri üzerine gelmesi Resim.165deki gibi olmalıdır.
- 7.Yatay yolluk orta noktasında,yolluk yüksekliği genişliğinin 2 katı olmalıdır.
- 8.Meme(kanal) kesitleri kare şeklinde yapılmalıdır.



Resim 164 . Basınc etkisiz sistemde ,yatay yolluğun daraltılması. (boğum).



Resim 165 . Yatay yolluk /meme birleşme şekilleri.

10.3. Yolluk-kanal tasarımı ile ilgili örnekler:

1. Dikey yolluk/Yatay yolluk kontrollü sistemde geometrik büyüklükler şunlardır(Resim 166):

- H 20 cm
- c 1 cm
- a 1.5 cm
- b 1.5 cm

Yatay yolluğun son memeden sonra kama şeklinde olması için geçerli olan pratik ölçü, bu kısmın kesitinin meme kestine eşit alınması olup,

$$x^2 \geq 1.5^2 \text{ ve } x \geq 1.5 \text{ bulunur.}$$

Eriyik hızları ise,

$$v_m = \sqrt{2 \cdot g \cdot H} = \sqrt{2 \cdot 981 \cdot 20} = 198 \text{ cm/san dir.}$$

Dikey yolluk kesiti, dar kesite eşit, ve yatay yolluk kesiti 16 cm^2 olduğundan olduğundan,

$$v_1 \cdot F_1 = v_m \cdot F_d \quad F_d \text{ dar kesit}$$

$$16 \cdot v_1 = 198 \cdot 1$$

$$v_1 = 49.5 \text{ cm/san bulunur.}$$

Kalıbın dolması başladığında eriyik akış debisi:

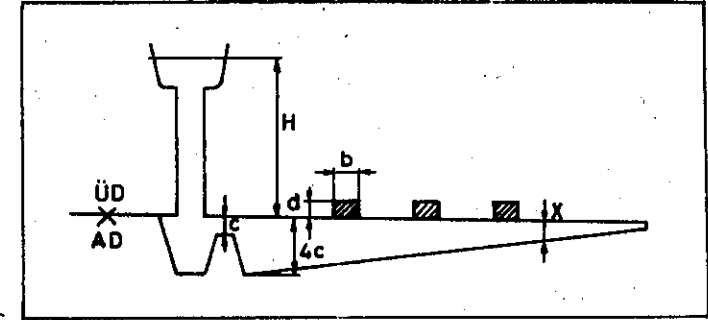
$$v_{yy} \cdot F_{yy} = 198 \times 4 = 792 \text{ cm}^3/\text{san dir.}$$

Üç memeden akan eriyik miktarlarının birbirlerine eşit olduğu varsayımı ile, her bir memeden $792/3 = 264 \text{ cm}^3/\text{san}$ eriyik kalıp boşluğuna akacaktır. Bu eriyiğin akış hızıda,

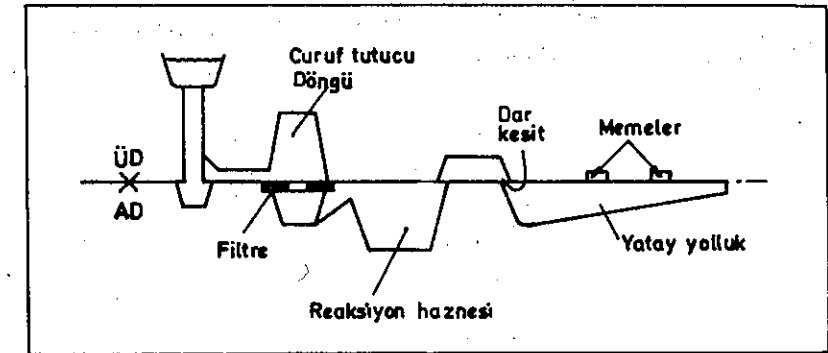
$$Q = v_m \cdot F_m$$

$$Q = 264$$

$$v_m = 117 \text{ cm/san bulunur.}$$



Resim 166 .Dikey yolluk / Yatay yolluk kontrollü sistem.



Resim 167 .Inmold yöntemi yolluk tasarımı.

Yatay yollukta doğrusal eriyik hızı 49.5 cm/san olup, kesitin daralması ile 1.memeye kadar artacak,2 memeye kadar ilk önce biraz azalıp,yükselecek ve daha sonra, yani 3. memeden itibaren hız sıfır'a yaklaşacaktır. Bu sistemin, Yolluk/Meme kontrollü sisteme üstünlüğü, sistemin doldurulması için, gerekli eriyik miktarının daha az olmasıdır(Dar kesitten döküm havuzunun en üst kenarına kadar). Kesitler arasındaki ilişkide:

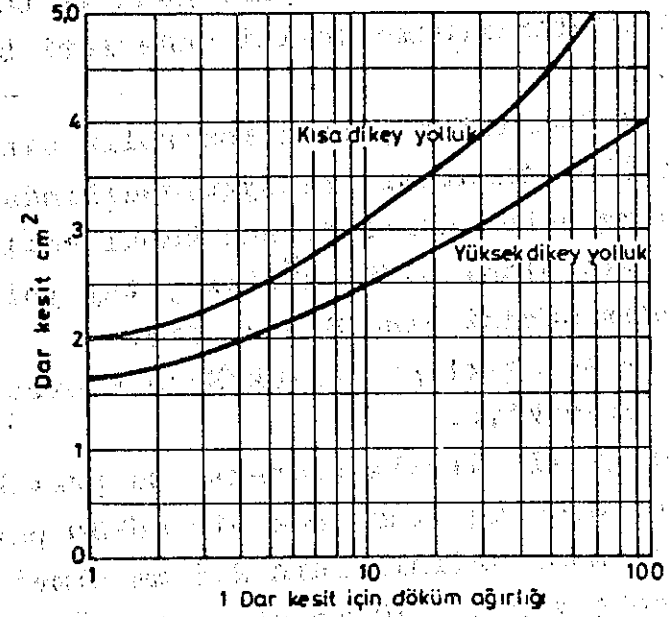
Dikay yolluk/Yatay Yolluk/Dar kesit/Toplam memeler
1 / 4 / 1 / 1.7 dir.

Resim 167 de Inmold yöntemi için uygulanan Dikey yolluk/ Yatay yolluk kontrollü sistem görülmektedir.

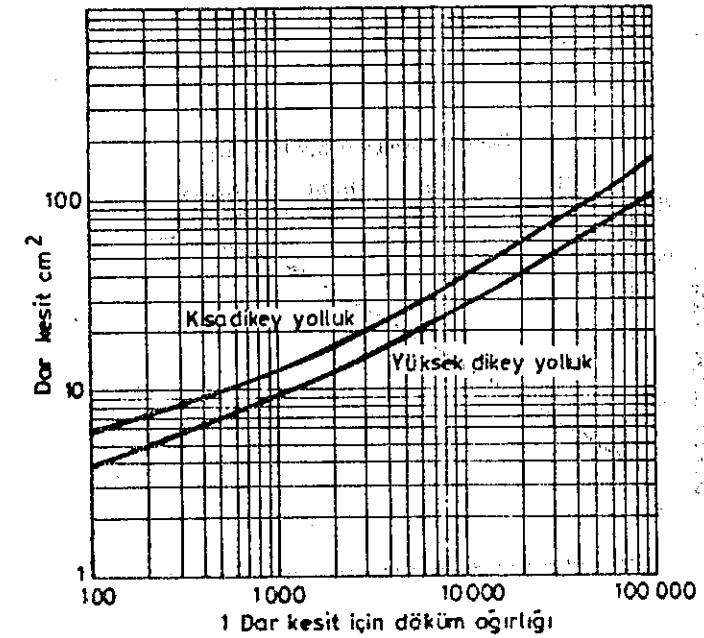
Eriyik dikey yolluktan curuf toplama haznesine gelmektedir. Böylece reaksiyon haznesine curufsuz eriyiğin akışı sağlanır. Dar kesit üst ve alt derecedeki yatay yollukların birbirleri üzerine geldiği yerde verilmiştir. Yatay yolluğun dikey yolluğa en yakın kesiti dar kesitin 4 katıdır. Yatay yolluk sona doğru dar kesitin 1.5 katı olacak şekilde kama biçimini almaktadır. Meme uzunlukları, en küçük meme boyutunun 4 katıdır.

Yolluk / Meme kontrollü sisteme örnek :

1) 10 kg ağırlığında 1 parçanın dökümünde dar kesit 2.75 cm² dir. (Resim 168, 169)



Resim 168 Küçük parçaların dökümünde önerilen dar kesit alanı.



Resim 169 Büyük parçaların dökümünde önerilen dar kesit alanı.

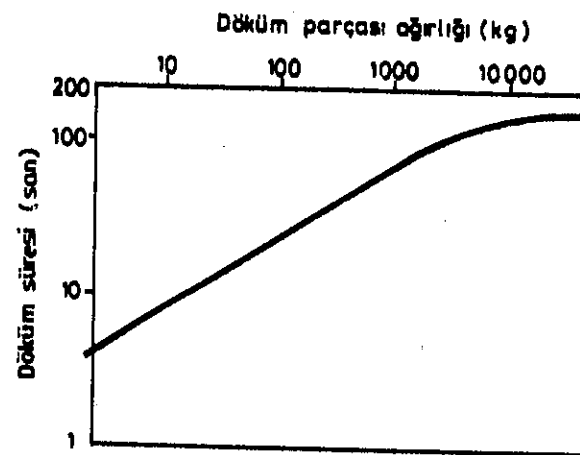
Bu kesiti meme kesiti olarak kabul ettiğimizde Yolluk / Meme kontrollü sistemi seçmiş oluruz ve döküm süreside 8 san. olur. (Resim 170)

Bu parçaların 10 adedinin bir derecede kalıplandığı düşünülürken ve döküm süresi 8 san. olarak alınırsa, Yolluk/Meme kontrollü sistemde toplam meme kesiti $10 \times 2.75 = 27.5 \text{ cm}^2$ olurki, bu dökümde meydana gelecek risklerin büyüklüğünü ve başarı derecesinin az olacağını gösterir (Meme kesiti değerleri bazında yolluk sistemi tasarımı).

Buna karşın, Dikey yolluk/Yatay yolluk kontrollü sistem, simetrik olarak düşünülen yolluk tasarımı ile, uygulandığında, dar kesit alanı için $5 \times 10 = 50 \text{ kg}$ döküm ağırlığı baz kabul edilmelidir. Resim 168 den dar kesit alanı 3.75 cm^2 , iki yatay yolluk dar kesiti de 7.5 cm^2 olur. Döküm süresi yine 8 san. dir.

Bu sistemde yolluk, meme ağırlığı Yolluk/Meme kontrollü sisteme nazaran daha hafif olacaktır.

En ince meme kalınlığı ile ilgili olarak şu pratik bilgileri verebiliriz: Ağırlığı 0.05 kg olan ince bir döküm parçası için Resim 161 den en ince meme kalınlığının 2.5 mm olması gerektiği görülür, genişlik ise $4 \times 2.5 = 10 \text{ mm}$ olacaktır. Önerilen döküm süreside 4 san. dir (Resim 170).



Resim 170 . KGDD'lerde döküm ağırlığı ile döküm süresi arasındaki ilişki.

11. Besleyici tasarımı ^{23,109-112}

Araştırmalar ve endüstride yapılan yoğun çalışmalar, KGDD'in hatasız dökümünü mümkün kılan temel kuralları ve matematiksel bulguları ortaya koymuştur. Bu bilgiler ışığında ve yapılacak diğer araştırmalarla, pek yakın bir gelecekte, bazı dökümhanelerde bugün bile uygulanan deneme yanılma yöntemi ile değil, tümü ile bu temel kurallar ve bulgularla besleyici tasarımı uygulanması vazgeçilemez bir yöntem olacaktır.

KGDD döküm parçalarının hatasız üretimlerinin zorluğu, katılaşma süreci içinde vukuu bulan hacimsel değişimlerden kaynaklanmaktadır.

11.1. Döküm parçasının soğuması:

Bir KGDD parçasının soğuması şu faktörlerle etkilenir,

1. Dökülen eriyiğin termik özellikleri,
2. Kalıp malzemesi termik özellikleri,
3. Parça şekil ve büyüklüğü.

KGDD'in özgül ve ergime ısısı bilinen belli değerlerdir. Değişen ve özellikle üretim şartlarına bağlı olan 2 faktör ise, döküm sıcaklığı ve metalürjik kalite olarak tanımlanan stabil veya meta-stabil sistemlere göre katılaşmaya temayüldür.

Bentonit bağlayıcılı kalıp kumları kuvars olduklarından kalıp malzemesi ısı iletkenlik kat sayısının, sıkıştırma ve rutubet miktarına bağlı olarak çok az değiştiğini vurgulamak gerekir. Böylece soğuma hızını veren en önemli büyüklük ilk defa Chvorinov'un tanımladığı parça modülü, yani hacminin, soğuyan yüzeye oranı olmaktadır, Chvorinov'a göre bir parçanın soğuması esnasındaki ısı iletimi, modülü ile ters orantılı olarak artar.¹¹⁰

Böylece KGDD için yapılan çalışmalarla tesbit edildiği gibi, katılaşma süresi sonuna kadar geçen süre ile Modül arasındaki ilişki, aşağıda verilmiştir,

$$t = k \cdot M^2 \cdot [(T_y - 1150) + 250]$$

- k kalıplama malzemesi ve alaşım özelliklerine bağlı olarak değişen sabit bir değer
- T_y Döküm sonu eriyik sıcaklığı
- t süre

Deneysel çalışmalarla k değeri, bentonit bağlayıcılı kum için 0.086 olarak tesbit edilmiştir (Resim 171).

Bu değerle KGDD'in bentonit bağlayıcılı kuma dökümünde katılma süresi şu eşitlikle verilir,

$$\sqrt{t} = 0.086 .M \left(\sqrt{T_g - 1150} - \sqrt{250} \right)$$

Toplam katılma süresi, döküm sonundan katılma başlangıcına kadar geçen süre ile katılma süresi sonuna kadar geçen süre olmak üzere 2 kısımda tekrar eşitlikler ile ifade edilebilir,

$$\sqrt{t_1} = M \left(1.05 + 0.0028 (T_g - 1300) \right)$$

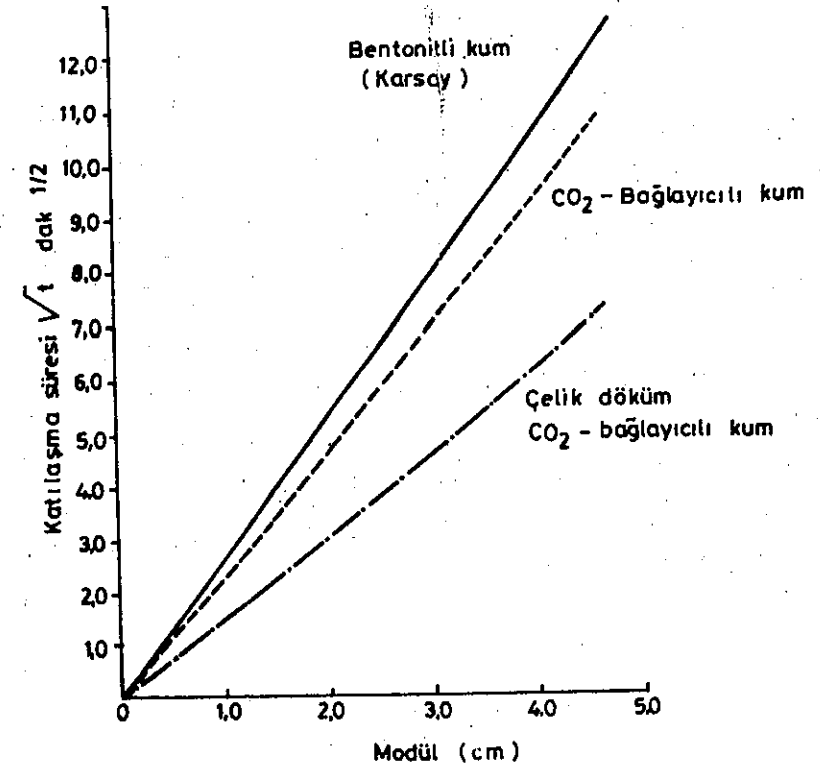
t_1 Döküm sonundan katılma başlangıcına kadar geçen süre (dak)

$$\sqrt{t_2} = M \left(2.4 + 0.0028 (T_g - 1300) \right)$$

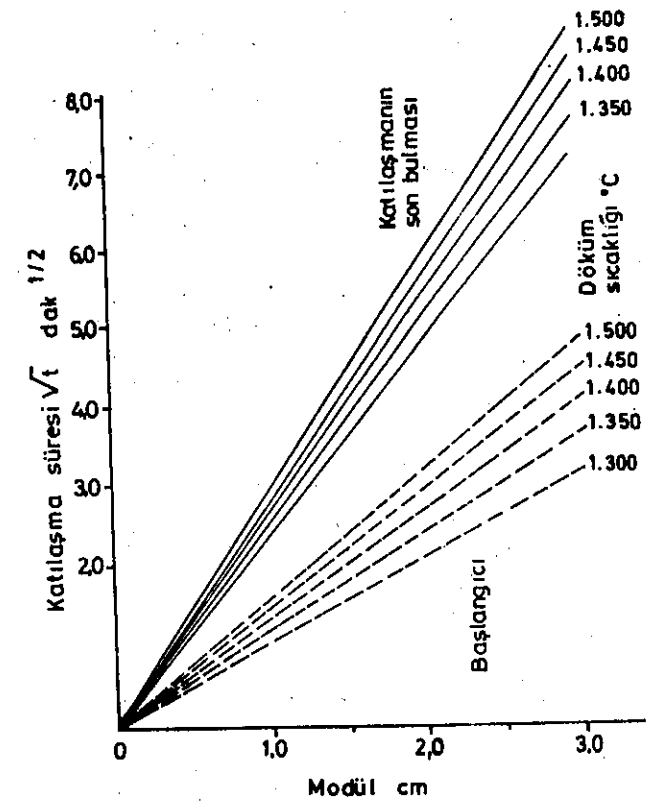
t_2 Döküm sonundan katılma hitamına kadar geçen süre (dak)

T_g Döküm sıcaklığı °C

Resim 172 de katılma başlangıcı ve sonu sürelerinin döküm sıcaklığına ve modülü bağlı olarak değişimini göstermektedir.



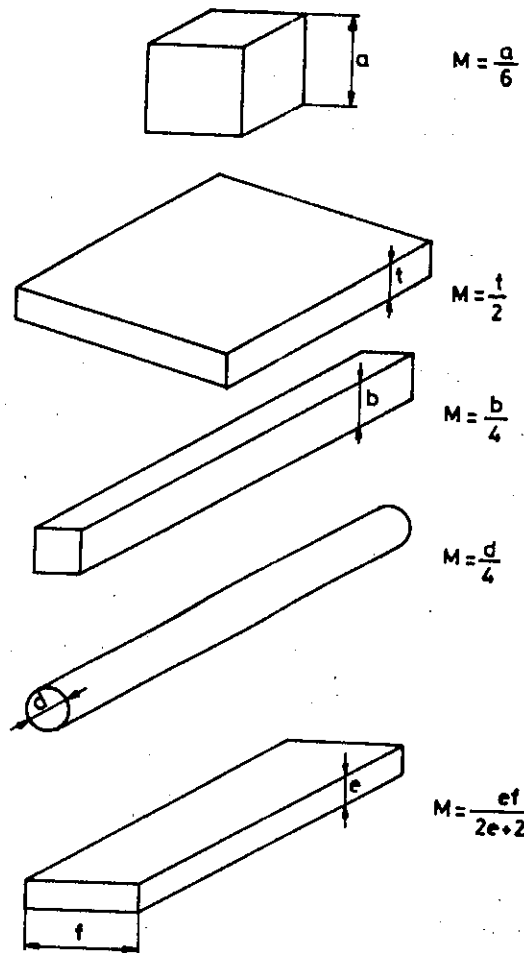
Resim 171 Dökümün sonundan katılmanın bitişine kadar geçen süre ile modül arasındaki ilişki.



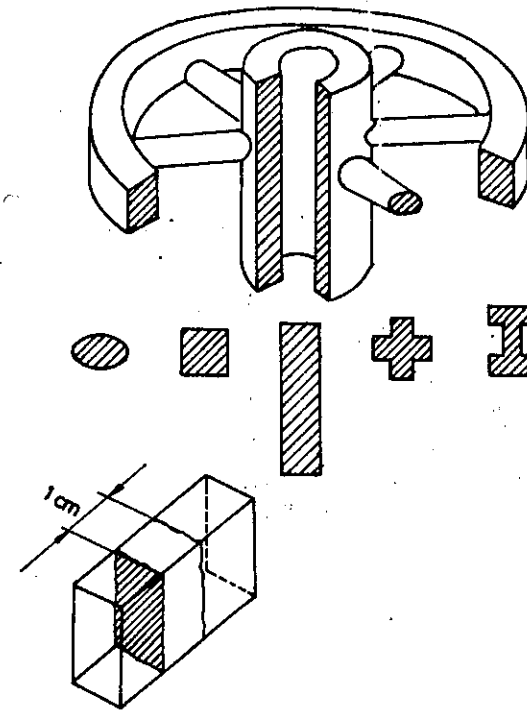
Resim 172 Bentonit bağlayıcılı kuma dökümde, döküm sonundan katılma başlangıcı ve sonuna kadar geçen sürenin parça modülü ve döküm sıcaklığına bağlı olarak değişimi.

11.2 Modül'ün saptanılması: 110

Resim 173 de basit geometrik şekiller ve bunların modül değerleri verilmiştir. Sonsuz uzunlukta olan parçalar için geçerli olan basitleştirilmiş eşitlikler, parçaların modüllerinin hesaplanmasında da geçerli olmaktadır. İyi bir yaklaşım, parçanın en küçük boyutunun, büyük boyutun 1/4-1/5 olması halinde sağlanmaktadır. Bilindiği gibi döküm parçaları farklı şekillerdedir. Bu durumda parçanın tek, tek kısımlara ayrılarak, benzer parça yöntemi ile, modüllerinin saptanılmasına gidilir ve soğumaya katılmayan yüzeyler soğuma yüzeyi büyüklüğünden çıkartılır. (Resim 174-175) Örnek bir değerlendirmeyi Resim 176 göstermektedir. Farklı basit şekillere ayrılarak, modül ve hacim oranları saptanılarak bir diyagramda gösterilir.



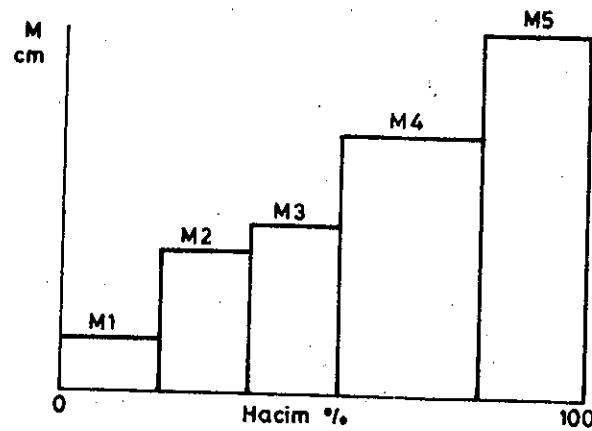
Resim 173 . Basit geometrik şekillerin modüllerinin saptanılması. Küp haricinde diğer bütün parçalarda, uzun eksen boyunca sonsuz bir uzunluk kabulü yapılmıştır.



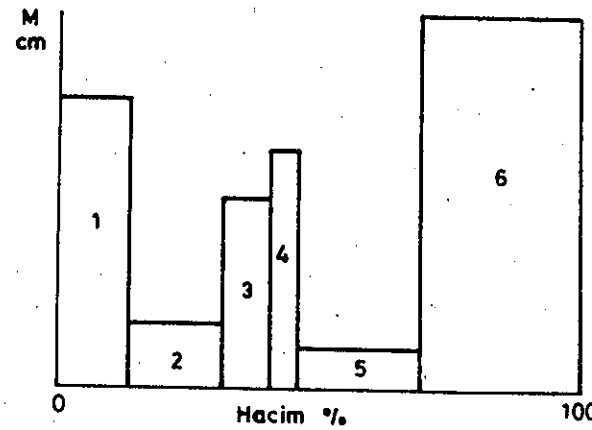
Resim 174 . Bir çok döküm döküm parçası farklı şekillerde alın yüzeyleri soğumaya katılmayan parçalardan meydana gelmiştir.

	<p>Yüksük, alt parça $D_m : n \cdot a$ $M : \frac{a \cdot b}{2(a+b) - c \frac{n+1}{n}}$ (6)</p>
	<p>$D_m : \text{sonsuz}$ Yüksük : çubuk $\frac{n+1}{n} : 1$ $M : \frac{a \cdot b}{2(a+b) - c}$ (7)</p>
	<p>$D_m : a \quad \frac{n+1}{n} = 2$ Yüksük : dolu silindir $M : \frac{a \cdot b}{2(a+b-c)}$ (8)</p>

Resim 175 . Bazı parçalarda soğumaya katılmayan yüzeylerin modül saptanılmasında gözönüne alınmış durumları.



Resim 176 . Parça modülü ve parça kısımları hacim oranları.



Resim 177 . Karmaşık bir parçanın hacim, modül diyagramı.

Bu diyagram bize parçadaki katılma kademelerini vermektedir, örnekte katılma 1 Nr. 11 kısımdan başlayarak bir kama numunesinde olduğu gibi 5 Nr. 11 kısımda son bulacaktır. Başka bir örnekte, dökümhanelerde sık olarak raslanan karmaşık özelliklerdeki bir parçanın yönlüşmemiş katılma durumu gösterilmiştir. (Resim 177).

Açıkça görüldüğü gibi, katılma 5 Nr. 11 kısımdan başlayarak, 2,3,4,1 ve 6 Nr. 11 kısımları takip edecektir. Besleme olgusu yönlüşmüş katılma prensibini zorunlu kıldığından, parçanın sanki 3 ana kısımdan meydana geldiğini kabul etmemiz gerekecektir. Bunlar,

1. Kısımda katılma 2.Nr. kısımdan başlayacak ve 1. Nr.11 kısımda son bulacak,
3. Kısımda, katılma 5 Nr. kısımdan başlayacak ve 6. Nr. 11 kısımda sona erecek,
2. Parça kısmı olarak mütalaa edilecek bölümde çabuk

katılan, 2 ve 5 Nr. 11 kısımlar arasında kalan 3 ve 4' Nr. kısımlardan meydana gelmekte olup, katılma 3 Nr.11 kısımdan başlayarak 4 Nr.11 kısımda sona erecektir.

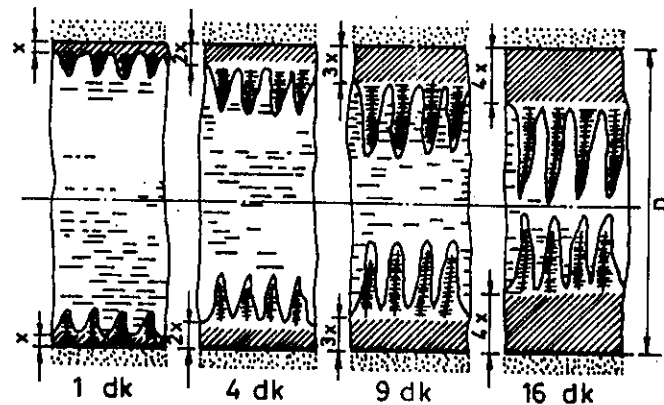
Yönleşmiş katılmanın sağlanması için, besleyicilerin 1,4 ve 6 Nr. 11 parça kısımları üzerine yerleştirilmeleri gerekmektedir.

11.3. KGDD parçalarının katılması,

Bir çok aşamalarda katılma, kalıp civarına çok yakın olan kısımlardan, yani parça dış yüzeyinden itibaren başlar. Eriyik sıcaklığının biraz düşmesi ile katılma tabaka, tabaka parça özüne doğru ilerler. Katılan tabakaların zamanla parça orta noktasında buluşması ile parçanın katılma olayıda sona ermiş olur (Resim 178)

Bir çok aşım yanında düşük karbonlu çeliklerde bu şekilde katılır. Büyük plakaların beslenmelerinde besleme tekniği yönünden bazı problemlerin mevcut olmasına rağmen, bu şekilde katılmada, besleme kolayca kontrol altına alınabilen bir olgudur.

KGDD'in katılma gidişatı, yukarıda açıklanan şekile nazaran büyük farklılıklar gösterir, şöyleki, döküm sonu kalıp duvarının soğutucu etkisi nedeni ile ince bir tabaka oluşur ve kalıp duvarından ayrılır. Bundan sonra eriyik durumda ısı kayıpları ile sıcaklık düşüşü meydana gelir, bunu takiben katılma yine ısı kayıpları yönünde olmasına rağmen, çeliklerdeki gibi ısı gradyenti fazla olmadığından, bütün kesitte hemen hemen aynı süre sonunda biter. Bu açıklama, yönleşmiş katılma prensibinin tam olarak geçerli olmadığını ve dolayısı ile bir çok problemin

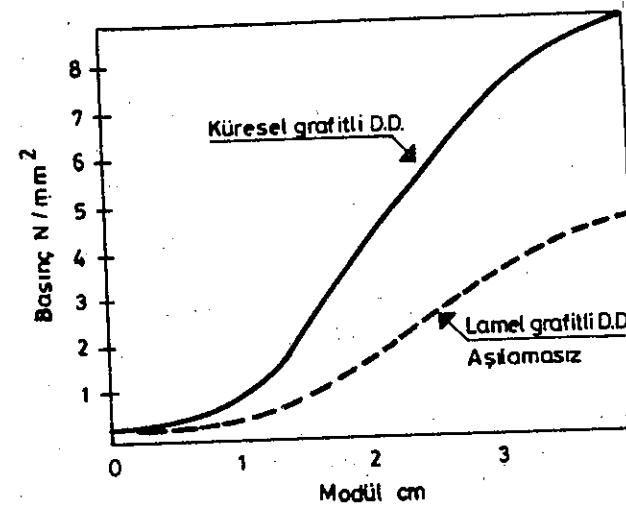


Resim 178 . Çelik plakalarda katılan tabakanın ilerlemesi, şematik olarak.

besleyici tasarımında mevcut olduğunu göstermektedir.

KGDD lerde parça et kalınlığı 20 mm den az ise, katılma ile meydana gelen genişleme sürekli olarak eriyiğin çekmesi ile denge durumundadır. Et kalınlığı arttıkça katılma endogen özellikler taşır, yani, parça, hemen katılmış ince bir dış tabaka ile büyük kısmı oluşturan yarı eriyik-katı haldeki bölgeye sahiptir. Bu durumda eriyik başlangıçta, katılmanın meydana getirdiği genişleme olayı ile dengelenmez, kendini çeker, bundan sonra parçanın büyük bir kısmına şamil olan katılma ve genişleme olayı meydana gelir.

Böylece parça et kalınlığına bağlı olarak atmosfer basıncının 50 katına varan bir basınç oluşur. (Resim 179) .

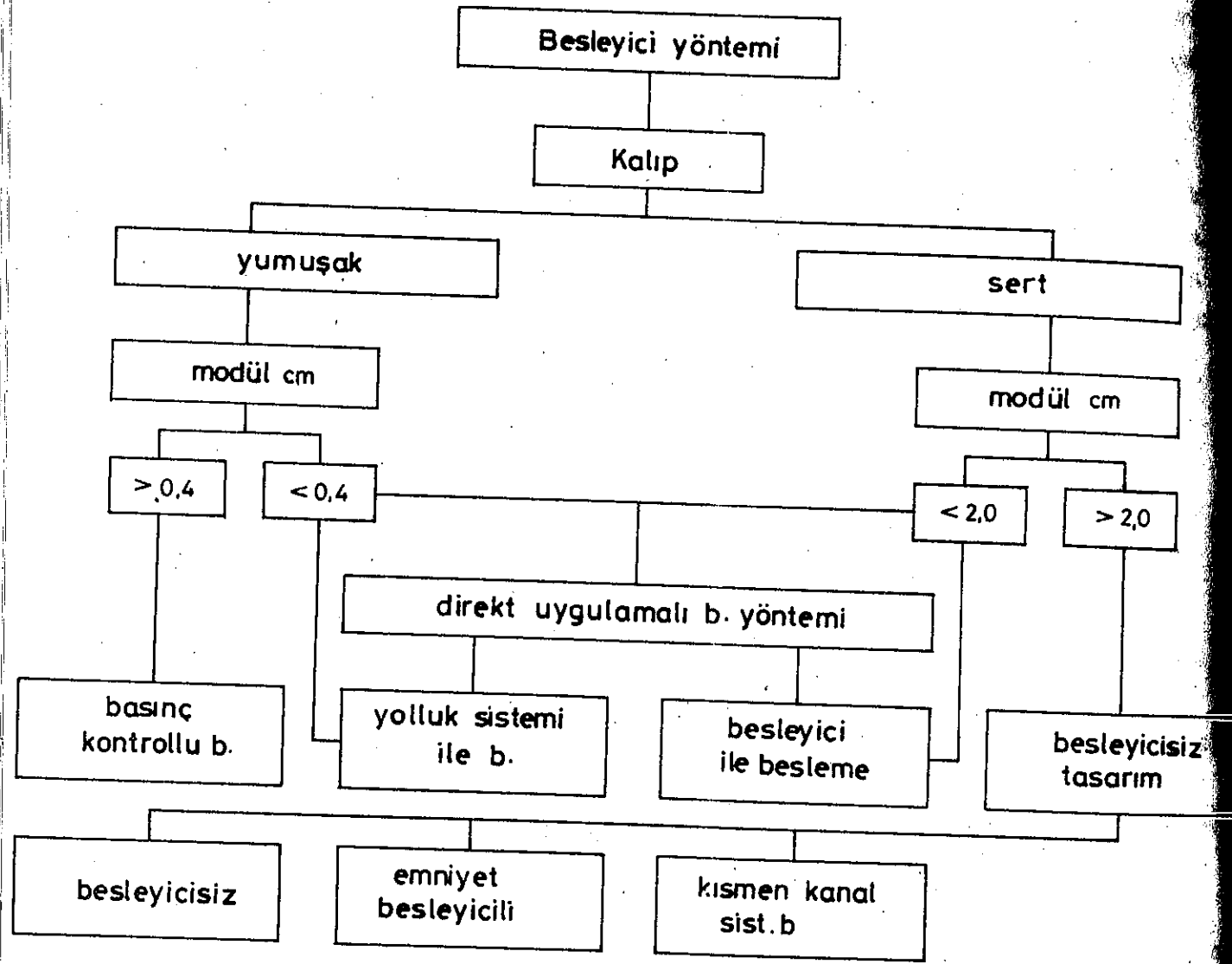


Resim 179 . Parça modülüne bağlı olarak oluşan basınç.

.Parça modülüne bağlı olarak oluşan basınç KGDD'in katılmasında görülen bu özellikler nedeni ile farklı besleyici tasarımı yöntemleri kullanılmakta olup, bunlar:

1. Konvansiyonel besleyici tasarımı
2. Basınç etkili " "
3. Kanal sistemi üzerinden basınç etkili
4. Besleyicisiz tasarım
5. Basınç azaltıcı besleyici tasarımıdır.

Parça modülüne ve kalıp malzemesi sertliğine bağlı olarak uygulanan bu yöntemler Resim 180 de verilmişlerdir.



Resim 180 . KGDD'lerde uygulanan besleyici tasarımları.

KGDD'in katılaşması esnasında meydana gelen hacimsel genişmeyi etkileyen faktörler: 23.111

KGDD de katılaşma esnasında meydana gelen genişme olgusunun nedeni şimdiye kadar grafit'in kristalleşmesi ve demir ile grafit özgül ağırlıklarının farklılığında aranmaktadır. Eriyik demir'in döküm sıcaklığında özgül ağırlığı 7 g/cm³, grafit'in ise 2.2 g/cm³dür.

Karbon miktarı % 3.45 ve silisyum miktarı % 2.5 olan KGDD eriyiğinden 100 cm³ alındığında, katılaşma sıcaklığında,

$$100(3.45-1.1)/98.9 = 2.38 \text{ ağırlık \% si grafit}$$

kristalleşecektir. Karbonun ana dokuda azami çözünürlüğü % 1.1 dir. Katılaşan demir miktarıda,

$$100-2.38 = 97.62 \text{ ağırlık \% si dir.}$$

100 cm³ eriyiğin ağırlığı 700 gr ve kristalleşen grafit ağırlığında,

$$700 \cdot 0.0238 = 16.66 \text{ g, hacmi ise}$$

$$16.66/2.2 = 7.57 \text{ cm}^3 \text{ bulunur.}$$

Demir'in hacmi ise toplam çekme % 4 alındığında,

$$700-16.66 = 683.4 \text{ g ve}$$

$$(683.4/7) \cdot 0.96 = 94.69 \text{ cm}^3 \text{ ve toplam hacim böylece}$$

$$94.69 + 7.57 = 102.26 \text{ cm}^3 \text{ ve hacimsel genişmede \% 2.26 dir.}$$

Araştırmalarla tesbit edilen genişme değeri % 3-6 arasındadır ve bu değerler genişme olgusunun sadece özgül ağırlık farkı ile ifade edilemeyeceğini göstermektedir.

Hacimsel genişmeyi etkileyen faktörler:

11.4.1.)Metalurjik kalite

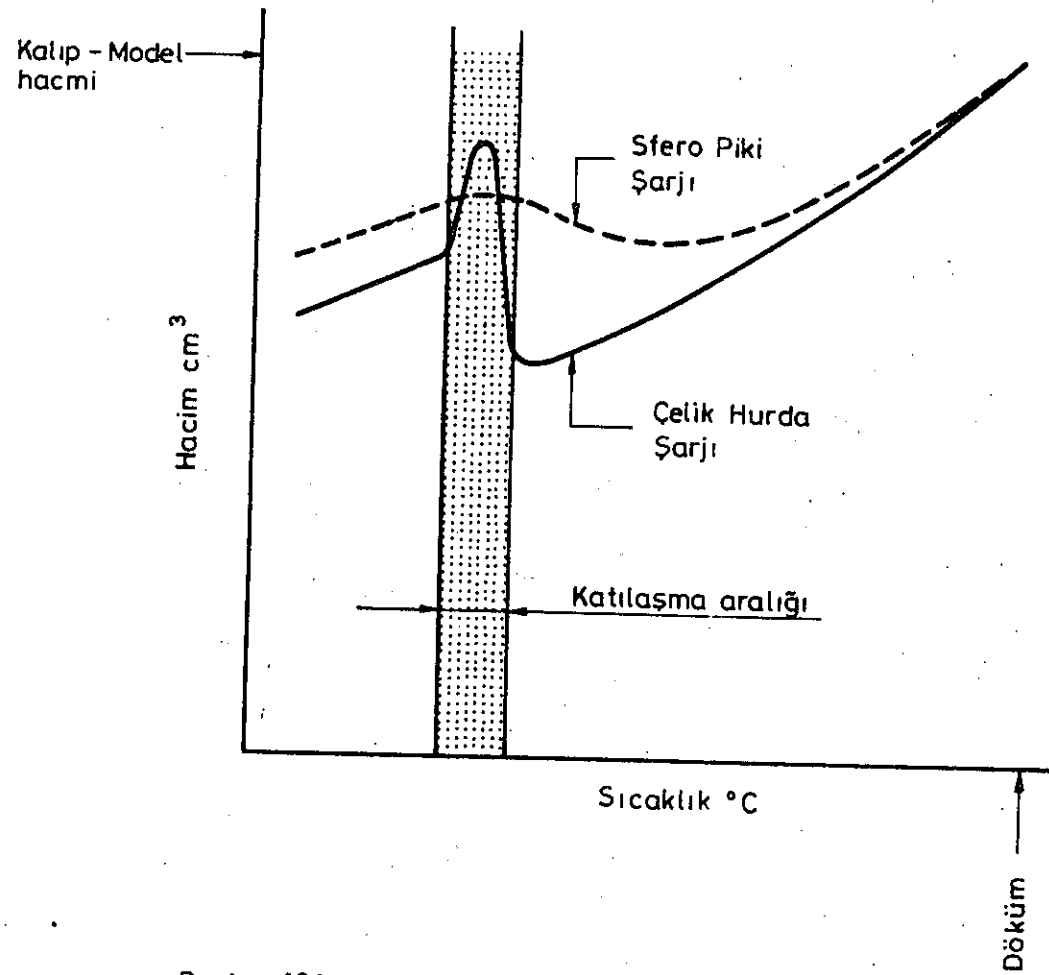
Resim 181 ' e bakacak olursak, metalurjik kalitenin artması ile eriyik çekmesinin daha az olduğu görülmektedir.

Eriyik çekintisinin az oluşunun nedeni eriyik durumda oluşan grafit çekirdekleri ile dengelenmesidir. Resim 182 bu olgunun 1350°C nin üzerinde başladığını kanıtlamaktadır.

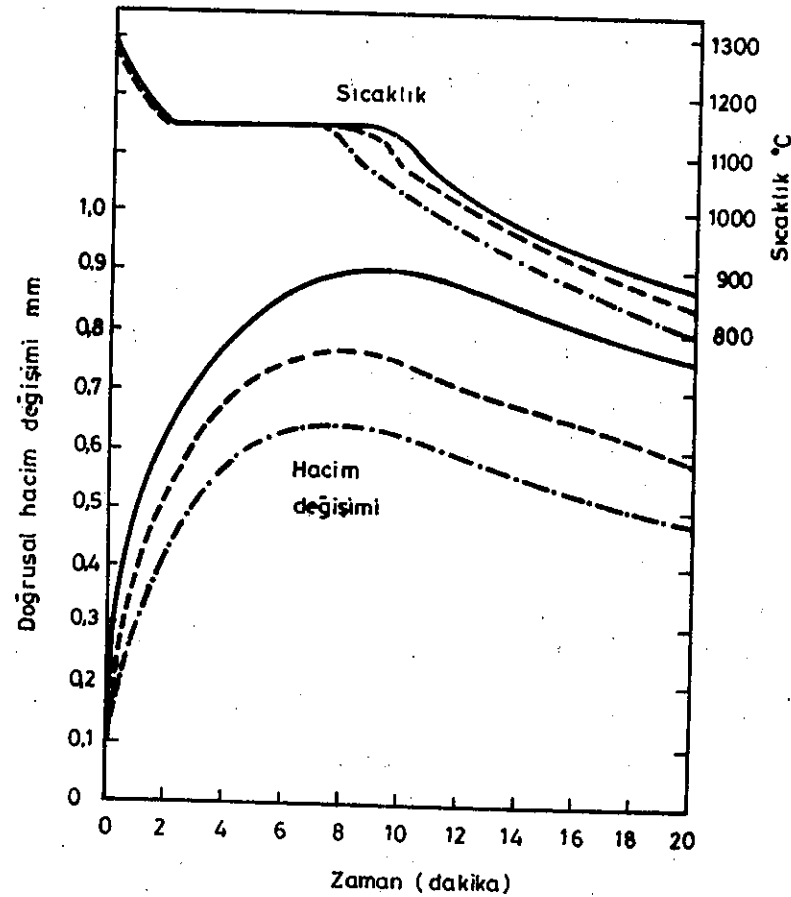
Metalurjik kalite ile birlikte ikincil çekinti(lunker) oluşumunda azalmaktadır. Genleşme-zaman diyagramında

görülen bu farklılıklar metalurjik kalitenin artması ile gerekli besleyici ebadının daha küçük alınabileceğini göstermektedir. Bu nedenle basınç dengeleyici besleyici

tasarımında, besleyici modülüne baz modül'de metalurjik kalite ile küçülmektedir.



Resim 181 . Hacim - Sıcaklık diyagramı.



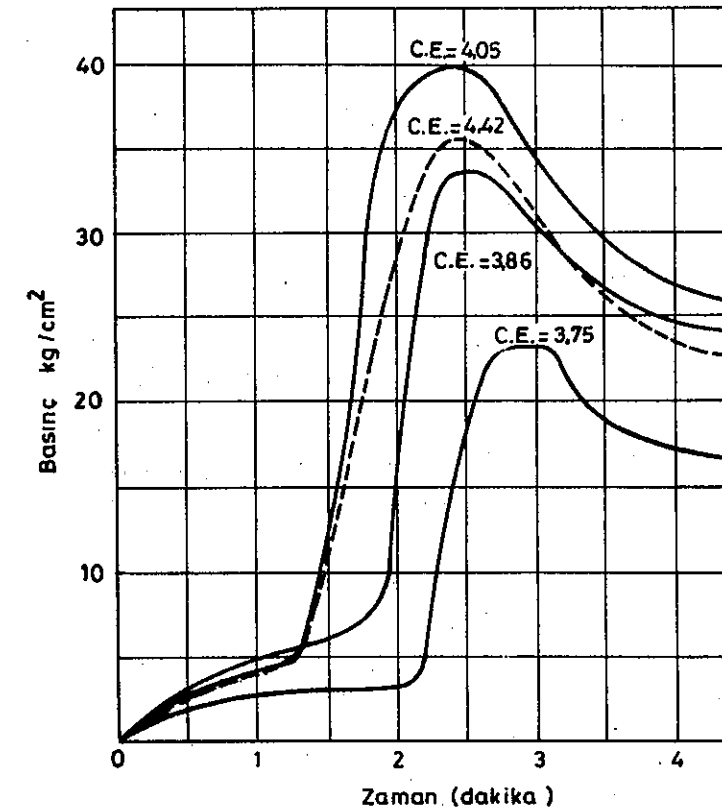
Resim 182 . Genleşme - Zaman diyagramı.

11.4.2. Ergitme esnasında iyi bir metalurjik kalitenin erişilmesi için uygulanması gereken hususlar:

Ergitme ve bekletmede eriyik sıcaklığı 1500°C yi aşmayacak şekilde çalışılmalıdır. Kısa sürelerde döküm alınmalı, döküm sonu sıcaklığın düşmesi için hemen şarj yapılmalıdır. İyi bir aşılama yüksek metalurjik özelliklerin kazanılmasında önemli bir faktördür.

11.4.3. Karbon eşdeğerinin etkisi:

Alt öyteklik analize sahip bir KGDD de genleşme karbon eşdeğerinin yükseltilmesi ile artmaktadır. Bu artış öyteklik analizde, karbon eşdeğeri 4.26, azami değerine erişmekte ve bundan sonra tekrar azalmaktadır (Resim 183)

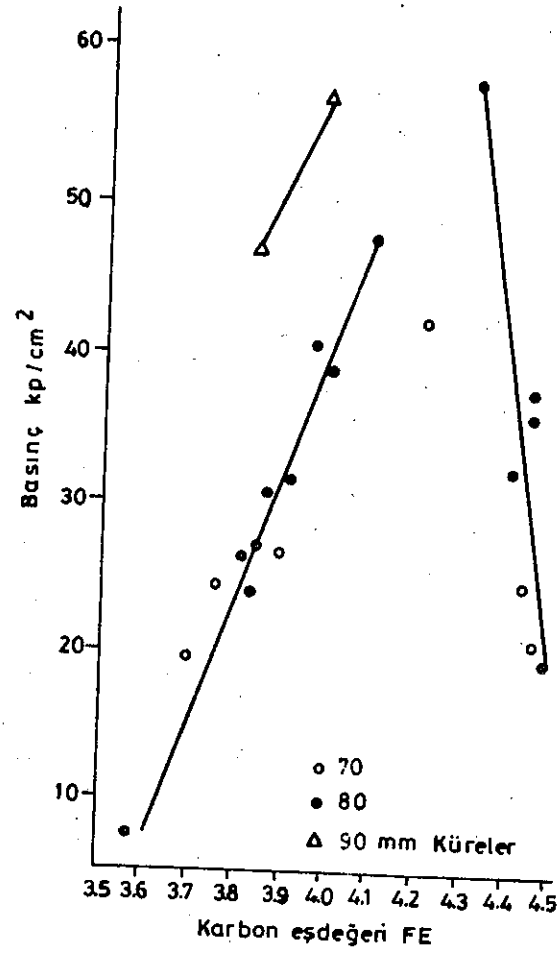


Resim 183 . Katılma süreci boyunca meydana gelen basıncın, Karbon eşdeğerine, CE bağlı olarak değişimi.

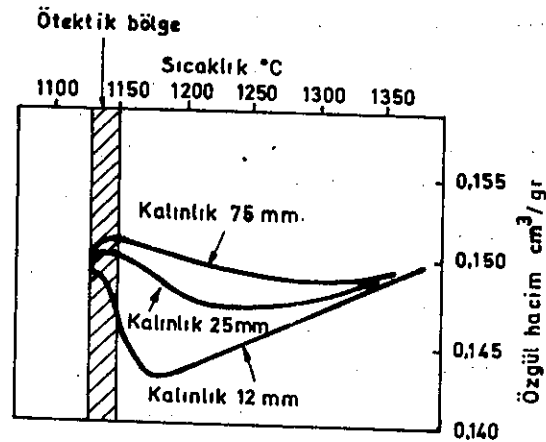
Karbon eşdeğeri ve parça modülüne bağlı olarak genleşme basıncı Resim 184 de verilmiştir. Her iki büyüklükle genleşme basıncı öyteklik analizde en üst değerine erişmektedir. Modül arttıkça, aynı karbon eşdeğerinde genleşme daha fazla olmaktadır.

11.4.4 Parça modülünün etkisi:

Parça modülü ile eriyik durumda çekinti azalmakta, katı durumda daha az bir genleşme olmaktadır (Resim 185).



Resim 184 . Karbon eşdeğerine bağlı olarak genişleme basıncı. (Farklı çaplardaki küreler için)



Resim 185 . KGDD'lerde modüle bağlı olarak eriyik durumda ve katılaşma esnasında meydana gelen hacimsel değişimler.

11.4.5. Metalurjik özellikleri yüksek KGDD üretiminde önemli olan 1. unsur uygun ergitme yönteminin seçimi olmaktadır. Bundan önce belirtildiği gibi iyi metalurjik kalite,

1. Kupol ocaklarında sağlanır ve bu yöntemi döner ocak, nüvesiz induksiyon ocakları en sonunda ark ocakları takip eder.

11.4.6. Şarj Malzemelerinin etkisi: KGDD'in üretiminde ideal malzeme olarak ön sırayı ilk kullanılan çelik hurdası ve devri daim malzeme gelir. . Bundan sonra yüksek fırın piki, çelik hurdası ve devri daim malzeme gelir.

11.4.7. Kimyasal analizin etkisi: Karbon ve silisyum gibi grafit küre sayısını arttıran elementler yüksek metalurjik özelliklerin sağlanmasında olumlu etkiye sahiptirler. Nikel ve Bakır etkisiz kalırlar, Mangan, Krom ve Magnezyum ise olumsuz etkilerler.

Genel olarak kural bilindiği gibi iyi bir metalurjik kaliteyi sağlayacak asgari kalıcı magnezyum miktarı ile üretim yapılmasıdır.

Mangan, krom, vanadyum ve molibden gibi en son katılan eriyikte zenginleşen elementlerin var olması halinde modül arttıkça ikincil çekintide fazlaşacaktır. Bu durum karşısında mangan miktarının modül değeri 2 cm'nin üzerinde olan parçalarda azami % 0.2 olması lazımdır.

11.4.8. Kalıp malzemesinin genleşmesi: ¹¹¹

Bilindiği gibi bentonit bağlayıcılı kalıp kumları 570°C α -kuvars'ın β -kuvars'a dönüşümü ile genleşirler.

Bu genleşme değeri % 4.2 olmasına rağmen, pratik değerler daha düşüktür. Besleyici tasarımı yönünden önemli bir büyüklük olan kalıp kumunun döküm şartlarında genleşme özelliği bir çok çalışmaya konu olmuştur.

Bentonit bağlayıcılı kum kalıplar basma basıncına bağlı olarak 3 grupta mütalaa edilirler:

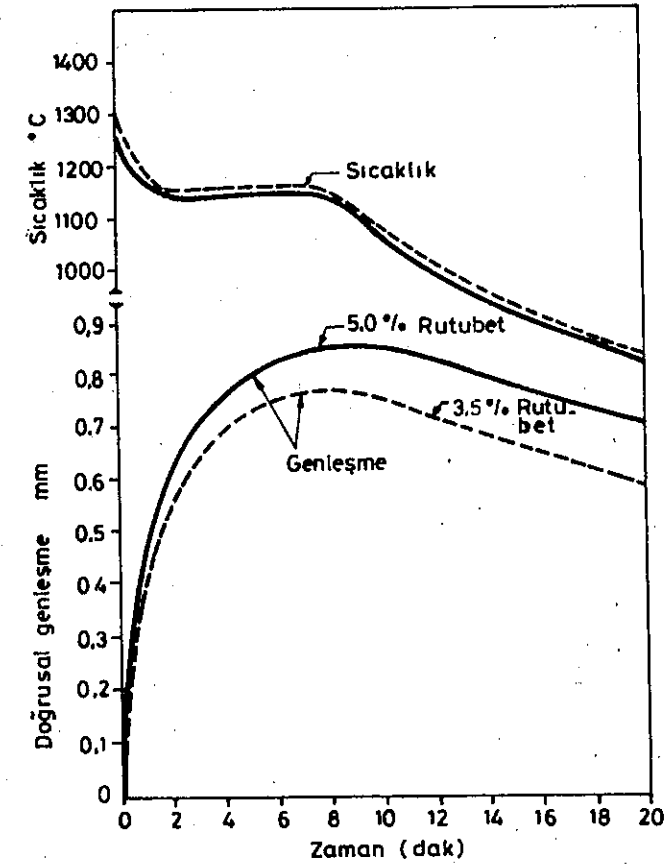
- 1. düşük basınçlı kalıplama azami 0.14 N/mm²
- 2. Orta basınçlı kalıplama 0.24-0.276
- 3. Yüksek basınçlı kalıplama asgari 0.586

Kalıbın genleşme özelliklerine rutubet, kömür tozu ve diğer katkıların etkileri aşağıda verilmiştir: ²³

- 1.) Rutubet miktarının artması ile kalıp genleşmesi yükselir (Resim 186).
- 2.) Özellikle düşük rutubet miktarlarında kuma kömür tozu ilavesi daha etkili olmaktadır.
- 3.) Kömür tozu miktarı ile genleşme değeri azalır
- 4.) Odun unu kömür tozu yerine kullanılabilir.
- 5.) Sirkon kumu, daha az rutubet ve bentonit gerektirdiğinden kalıp genleşmesi daha azdır.
- 6.) Kil miktarının artması ile genleşme değeri kuvvetli bir yükselme göstermektedir.

Bu çalışmalarda numune döküm parçası ebatları 30 mm ve uzunluk 130 mm alınmıştır, bu modüle sahip parçada

katılma dökümden 120 san. sonra başlamaktadır. Bu dakikada kalıbın toplam genleşmesinin % 75'i sona erdiğinden, modülleri 1 cm'nin üzerinde olan parçaların besleyici tasarımlarının kalıp genleşmesinin göz önüne alınmaksızın yapılabileceği görülmektedir.



Resim 186 Parça soğuma hızının ve genleşme değerinin kum rutubeti ve zamana bağlı olarak değişimi.

11.5. Konvansiyonel besleyici tasarımı, 23,111,112

Bu tasarım yönleşmiş katılaşma prensibine dayanmaktadır. Parça bir kama numunesinde olduğu gibi besleyiciye doğru katılaşmaktadır. Besleyici en kalın kesiti, bu kesitte kendisine bitişik olan daha ince bir kesiti besleyecektir. Böylece eriyiğin hacimsel küçülmesi, yani çekme olayı, daha kalın kesitten, beslenerek dengelenmektedir. Herhangi bir parça kısmının genleşmesi ile ya çekinti dengelenecek, yada eriyik besleyiciye basılacaktır. Konvansiyonel besleyici tasarımı parça modülleri ve hacim % lerinin saptanılmasını gerektirir. Kama veya Y-şeklindeki parçalarda kolay olan bu işlemler, parça komplike oldukça zorlaşır. Döküm parçasının

hatasız dökülebilmesi için masa başında yapılacak çalışmalar önemlidir.

Yönleşmiş katılaşma prensibinin varolması, aşağıda verilen faktörlerden biri veya birkaçının uygulanması ile gerçekleşir,

1. Kalıbın eriyikle dolu olması durumunda, sıcaklık farklılıkları azami derecede gerçekleştirilmelidir. Yolluk kanal ve meme tasarımı bunu sağlayacak şekilde yapılmalıdır. Yatay yolluk besleyicilerle birleştirilmeli veya besleyiciler direkt parça üzerinde bulunmalıdır.
2. Katılaşmanın son bulduğu parça kısmına besleyici konulmalıdır. Besleyici modülünün saptanılmasında sadece beslenecek eriyik miktarı göz önünde tutulmalıdır. Parçanın tüm ince kısımlarının, kalın kısım tarafından beslenmesi mümkün olmalı ve bu kalın kısım besleyici tarafından katılaşma sonuna kadar eriyik kalacak şekilde beslenmelidir.
3. Parçanın derecedeki konumu ile, katılaşma, aşağıdan yukarı tarafa doğru olmalıdır. Kalın parça kesitleri üst tarafta bulunmalıdır.
4. Yönleşmiş katılaşmanın, uzun, modülü değişmeyen parça kısımlarında, dış soğutucuların kullanılması ile kuvvetlendirilmesine gidilmelidir.
5. Besleyiciler izole edilmeli veya bu mümkün değilse ekzotermik besleyiciler kullanılmalıdır.
6. Döküm sıcaklığı mümkün mertebe yüksek olmalıdır.

Konvansiyonel besleyici tasarımı iki önemli elverişliliği sağlar,

1. Özellikle sert kalıp gerekmez,
2. Döküm sıcaklığı kafi derecede yüksek ise, kontrol edilmesi zorunlu olmaz.

Elverişsiz yönleri ise, parça dizaynına bağlılığı nedeni ile zor bir yöntem oluşu yanında, malzeme faydalanma derecesinin az oluşudur.

Hatalar,

Çekinti hatalarının nedeni, besleyicinin çekintileri tam olarak giderememiş olmasıdır. Bunun için, yönleşmiş katılaşmayı sağlayan şartların daha kuvvetli kılınması ve gerekirse besleyicilerin büyütülmesi gerekir.

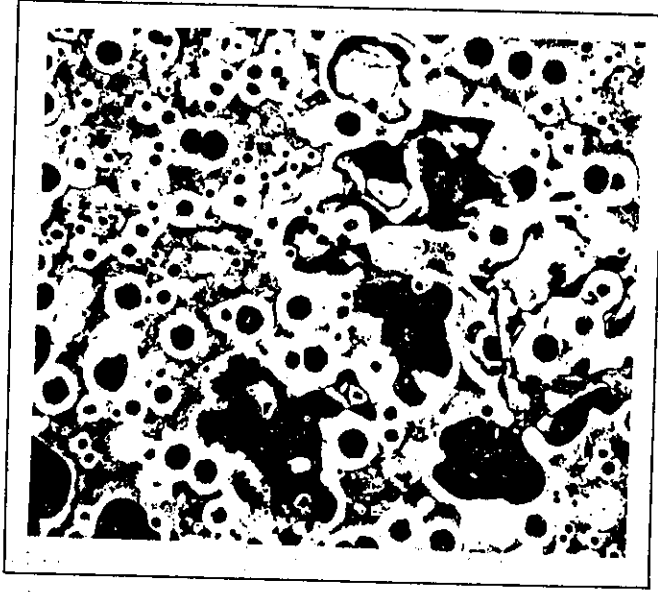
11.6. Direkt uyumlu veya doğrudan uygulanan tasarım:

Basınç etkili besleyici tasarımı,

Konvansiyonel besleyici yöntemi haricindeki tüm tasarımlar KGDD'in katılaşması esnasındaki genleşme özelliğine dayanır. Resim 185 de görüleceği üzere parça kesiti arttıkça, genleşme olgusu 1350°C nin üzerindeki sıcaklıklarda, yani eriyik durumda başlar. Bu genleşme olgusunun fiziksel kuralları yapılan çalışmalarda tesbit edildiği gibi, yüksek sıcaklıklarda varolan grafit embriyolarının mevcudiyeti ile açıklanmaktadır. Söz konusu mikro küresel grafitlerin yarı çapı 0.002 mm olarak verilmektedir.

Yukarıda açıklandığı üzere, parça kesiti arttıkça, örneğin modül değeri 2 cm üzerinde, ve 1345°C 'nin altında genleşmenin başladığını söyleyebiliriz.

İnce parçalarda çekinti olayı ise katılaşma sıcaklığına erişilinceye kadar soğuma süreci boyunca devam etmektedir. Bu hacimsel kaybın kompanze edilmesi için parçanın beslenmesi gerekir. Genleşme periyodunu takiben ikincil çekinti meydana gelir. Eğer beslenme kafi derecede olmamışsa, bu durumda resim 187 de gösterilen boşluk, lunker hataları meydana gelir.



Resim 187. İkincil çekinti nedenli lunke
(Siyah renkteki bölgeler)

İkincil çekintinin nedeni şöyle açıklanabilir. Katılma esnasında bir taraftan hacimsel genişleme olgusu, yani grafitlerin kristalleşmeleri, diğer taraftan hacimsel küçülme, eriyikten östenit kristallerinin oluşması meydana gelmektedir. Başlangıçta genişleme tamamı ile çekintiyi karşılamakta, ancak katılma sonuna doğru hacimsel küçülme ağırlık kazanmaktadır. Eriyik demir'in çekmesinin dengelenmesi, katılma sıcaklığına erişilinceye kadar mümkündür. Yine Resim 185 den açıkça görüldüğü gibi, tüm genişlemenin döküm parçasının beslenmesinde

kullanılması için, eriyiğin döküm parçasından, besleyiciye geri beslenmesinin önlenmesi gerekmektedir.

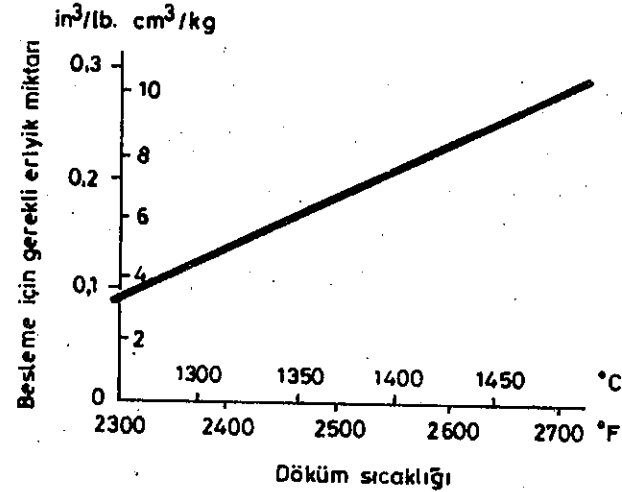
Bu durum ise, parça besleyici boynu katılma zamanının, döküm parçasının katılması ve genişlemenin başlaması zamanına eşit olması halinde sağlanır. Buradan 3 önemli soru akla gelmektedir,

1. Besleme için gerekli eriyik ne kadar olmalıdır?
2. Besleyici boynu modülü nasıl saptanmalıdır?
3. Basınç etkili besleme olayı nasıl olur?

1. Üst öyteklik dökme demir'in beslenmesi ergime sıcaklığına erişilinceye kadar mümkündür. Ergime ve katılma sıcaklığı aralığında grafit kristalleşmektedir. Eriyiğin ergime sıcaklığının 100°C altına düşmesi ile ayrılan grafit miktarı Resim 13 den görüleceği üzere % 0.25 (ağırlık) dir. Grafit'in özgül hacminin atomar çözelmiş karbona nazaran 3.17 katı olduğu düşünülürse, ergime sıcaklığı altında meydana gelen hacimsel genişlemenin $3.17 \times 0.25 = 0.75\%$ hacim olacağı saptanılır. Bu değer aynı sıcaklık aralığında eriyiğin sahip olacağı % 2 lik çekinti değerinden daha azdır. Bu nedenle öyteklik sıcaklık erişilinceye kadar besleme gerekecektir.

Düşük karbon eşdeğerlerinde, örneğin % 3.6, öyteklik katılma öncesi eriyiğin % 30'u primer östenit olarak katılacağından, besleme için gerekli eriyik miktarı $0.3 \times 3 = \% 0.9$ artacaktır.

Karbon eşdeğerinin 4'ün üzerinde bulunması halinde besleme için gerekli eriyik miktarı Resim 188 den tesbit edilebilir.



Resim 188 . Döküm sıcaklığına bağlı olarak besleme için gerekli eriyik miktarı.

Pratikte,KGDD dökümünde genellikle karbon eşdeğeri öytetik analize yakın olduğundan,besleme için gerekli eriyik miktarı yine aynı Resimden bulunabilir.Daha pratik bir ölçü,beslenecek eriyik miktarının parça hacminin % 5'i alınmasıdır.Karbon eşdeğeri düşük olduğunda bu değer % 6 olarak kabul edilir. Besleyici geometrik hacmi doğal olarak besleme için gerekli eriyik hacminden büyüktür.Bilindiği gibi parça yüksekliğinin üzerinde kalan besleyici kısmının hacmi,beslenecek eriyik miktarını verir.Diğer taraftan besleyici kalıp temas yüzeyinde ince katılaşan bir tabaka oluşmakta ve bu miktar kadarda beslenecek eriyik miktarı az olmaktadır.Fakat cuzi bir miktar olduğundan,göz önüne alınmayabilir.

2.Besleyici boynu geometrik özellikleri başta belirtilen şartları yerine getirecek şekilde aşağıdaki eşitliklerden saptanılır.

Bir döküm parçasının katılaşma sıcaklığına soğumasında,döküm durumu ile katılaşma sıcaklığı aralığındaki özgül ısısının kaybı söz konusu olduğundan,

$$Q/S = M \cdot \gamma \cdot c (T_p - 1150) \quad \text{yazılır.}$$

$$Q/S \quad \text{Isı kaybı cal/cm}^2$$

$$M \quad \text{Modül cm}$$

$$\gamma \quad \text{Özgül ısı 0.2 cal/g.}^\circ\text{C}$$

$$T_p \quad \text{Döküm sıcaklığı }^\circ\text{C}$$

$$1150 \quad \text{Katılaşma sıcaklığı}$$

Parça-besleyici birleşme kısmının,yani besleyici boynunun tümü ile katılaşması için ise,birim yüzeyden,

$$Q/S = M_n \cdot \gamma \cdot (c(T_p - 1150) + F_h)$$

ısı miktarının kalıp malzemesine iletilmesi gerekir.Burada,

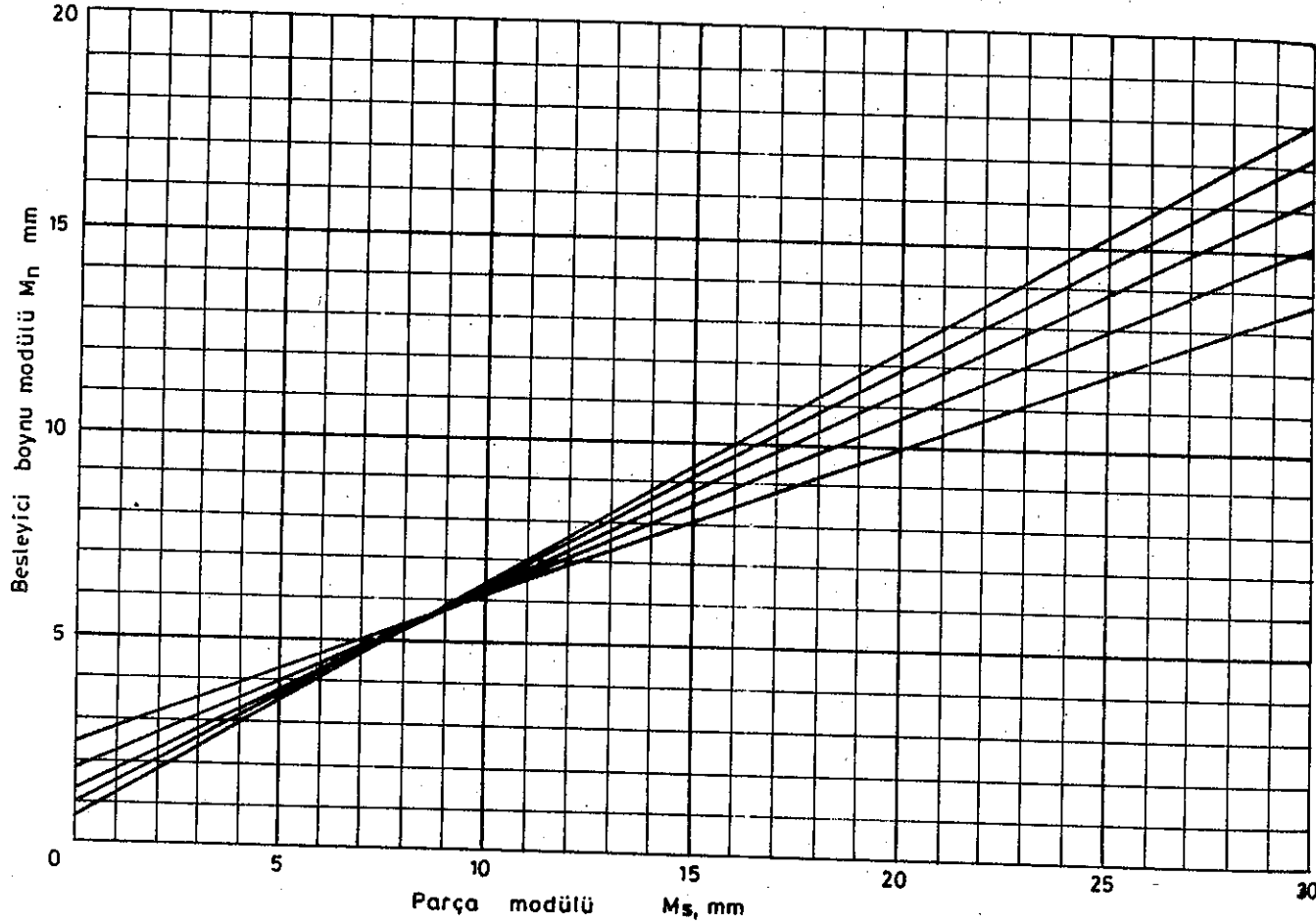
$$M_n \quad \text{Besleyici boynu modülü cm}$$

$$F_h \quad \text{Ergime ısısı 50000 cal/kg dır.}$$

Bu iki eşitlikten besleyici boynu modülü Mn,

$$M_n = \frac{M \cdot c \cdot (T_p - 1150)}{c \cdot (T_p - 1150) + F_h} \quad \text{yazılır.}$$

Pratik kullanımı açısından,doğrulama faktörleri ile saptanmış besleyici boynu modülleri parça modülüne bağlı olarak Resim 189 da verilmiştir.



Resim 189 Basınç etkili besleyici tasarımında, parça modülü ile besleyici boynu modülü arasındaki ilişki.

Bu tasarımla kullanılan besleyicilerin yandan verilen besleyiciler olması gerekir. Basit geometrik şekillere sahip döküm parçalarında basınç etkili besleyici tasarımı uygulanması kolay ve ekonomik elverişlilikleri olan bir yöntemdir. Bir veya birkaç farklı modüldeki kısımlara ayrılabilen parçalarda besleyici boynu modülünün saptanmasında etkili, yani baz alınacak parça kısmının tesbiti büyük bir önem taşır. Etkili kısım, parçanın modülü en küçük olan kısmı olup, katılaşması esnasındaki meydana gelen genleşme ile, kendinden kalın kısımları atmosfer basıncının üzerindeki bir basınçla, bu kısımlar katılaşmaya kadar, basınç altında tutar, yani besler. Doğal olarak etkili kısımdan daha kalın olan diğer kısım bir diğer kalın kısım besleyecektir. Bu açıklamalardan bir kural olarak şuna yazabiliriz:

Etkili kısım, katılaşmasının başlangıcından itibaren, hacminin % 5'ini, ona bitişik daha kalın kısım katılaşmaya ve dolayısı ile genleşmeye başlayıncıya kadar, bu kalın kısma veren parça bölümüdür.

Matematiksel olarak, t_1 ve t_2 etkili ve etkili kısımdan kalın bitişik kısmın katılaşma başlangıcına kadar geçen sürelerini tanımlarsa,

$$k (\sqrt{t_2} - \sqrt{t_1}) = \gamma \cdot c \cdot (T_p - 1150) \cdot (M_{s+1} - M_s)$$

eşitliği geçerlidir, burada,

- k Kalıp malzemesi termik özelliklerini veren bir sabit değer
- özgül ağırlık g/cm^3
- c özgül ısı $cal/g \cdot ^\circ C$
- T_p Döküm sıcaklığı
- 1150 Katılaşma sıcaklığı
- M_s, M_{s+1} etkili ve bitişik kalın kesit modülleri cm.dir.

Bu zaman aralığında etkili kısımdan daha kalın olan parçanın diğer kısımlarında eriyik sıcaklığı ΔT_x kadar soğuyacaktır. Böylece,

$$k (\sqrt{t_2} - \sqrt{t_1}) = c \cdot \gamma \cdot \Delta T_x \cdot M_x$$

yazılabilir.

M_x etkili kısımdan daha kalın olan parçanın herhangi bir kısmı modülü cm.

Bu eşitliklerden,

$$\Delta T_x = \frac{(T_p - 1150) \cdot (M_{s+1} - M_s)}{M_x}$$

bulunur.

Eriyik çekmesinin dengelenmesi için etkili kısmın hacminin % 5'inin besleyeceği (0.05 .V_s) düşünülürse, bu tasarım için geçerli olan koşul:

$$\frac{250 \cdot V_s}{T_p - 1150} > (M_{s+1} - M_s) \sum \frac{V_x}{M_x} \text{ yazılır.}$$

11.6.1.

Pratik uygulama ile ilgili bilgiler:

1. İlk önce döküm parçası azami modülünün saptanılması gerekir.

Bu besleyici tasarımı en büyük parça modülünün 0.6-2.5 cm arasında olduğu durumda uygulanmalıdır.

Tesbit edilen modül daha küçük ise, yolluk sistemi üzerinden parça beslenmeli, modül büyük ise parça ya besleyicisiz, yada basınç dengeleyici besleyici tasarımı uygulanarak dökülmelidir.

2. Bu yöntem, katılaşma başlangıcını takiben grafitli dökme demir kendi kendini beslemesi prensibine dayandığından, etkili kısmın doğru olarak seçilmesini gerektirir. Bu kısım, eriyik durumda bulunan parçanın diğer kısımlarını, bitişik kalın kısım katılaşmaya ve genleşmeye başlayınca kadar, basınç altında tutabilmelidir. Daha kalın olan kesitler içinde aynı koşullar geçerlidir.

Etkili kısmın tesbitinde çoğu kez problemlerle karşılaşıldığından, şu şekilde uygulama yapılmalıdır,

- a. Toplam hacim oranları ve modülleri içeren parça kısımları diyagramı çizilmeli,
- b. En incesinden, kalınına kadar her bir parça kısmı için aşağıda verilen koşulun yerine getirip, getirilmediği kontrol edilmelidir.

$$\frac{250 \cdot V_s}{T_p - 1150} > (M_{s+1} - M_s) \sum \frac{V_x}{M_x}$$

- 3. Besleyici boynu modülü Resim 189 dan tesbit edilmelidir. Boynun uzunluğu, en kısa kenar uzunluğunun 4-5 katı olmalıdır.
- 4. Kuramsal olarak döküm parça hacminin % 5' i miktarında eriyiğin besleme için mevcut olması gerekir. Bu eriyik miktarı döküm parçasının en üst noktasından itibaren, besleyicinin hacmine eşit olmalıdır.
- 5. Besleyicideki eriyiğin, besleyici boynu katılaşınca kadar atmosferle direkt temasının sağlanması lazımdır. Kör besleyiciler mutlaka, ya üst kısımları çentikli, yada Williams maçalı olmalıdır.
- 6. Besleyici, etkili kesite, veya bu kesitin modülüne eşit yada büyük olan herhangi bir kesite konmalıdır. Bu yöntemde, besleme mesafesi sınırsız olduğundan, bir besleyiciden 2 veya daha fazla boyunla parça kesitleri beslenebilir.
- 7. Parça kalınlığı 50 kg'a kadar besleyiciler, sıcak veya soğuk olabilir. Bilindiği gibi, sıcak besleyicide, tasarım, yatay yolluk-besleyici-parça, soğuk besleyicide ise, yatay-yolluk-parça-besleyici şeklindedir. Büyük parçalarda soğuk besleyiciler kullanılmalıdır.
- 8. Besleyicilerin hepsi kör ise, kalıp havalandırılmalıdır, yani hava delikleri mevcut olmalıdır. Bu delikler, üst dereceye gelecek şekilde, döküm parçasının en üst noktasından dışarıya doğru açılır, veya iki derece oturma yüzeyinden itibaren başlar.
- 9. Yolluk meme tasarımı parçada sıcaklık farklılıklarını asgari seviyeye indirecek şekilde yapılmalıdır.

11.6.2.

Hatalar ve alınacak önlemler,

Basınç etkili besleyicili döküm parçalarında, ya eriyiğin çekintisinin dengelenememesinden yada genleşme basıncının herhangi bir sebeple kaybindan, yeterli olmaması nedeni ile hatalar görülür.

Hatalar genellikle, parça termik merkezinde ve dökümde üst yüzeye yakın bir bölgede görülürler. Bu yüzeyler parlak görümlüdür. Eriyik çekinti nedeni bir hata görüldüğünde, ilk önce besleyicilerin incelenmesi gerekir. Bunun için parça en üst noktasından itibaren, besleyici hacmi, parça hacminin asgari % 5'ini oluşturmalı ve atmosferle direkt temas halinde bulunmalıdır. Besleyici bu koşulları yerine getiriyorsa, hatanın nedeni, besleyici boyununun önceden katılaşması olabilir. Bu durumda boyun modülü büyütülmelidir.

Basınç etkili besleyicili döküm parçalarında genellikle görülen hata ikincil çekintinin neden olduğu hatadır. Bu hatalar şu durumlarda mevcut olurlar:

- a. Besleyici boyununun büyük olması ile döküm parçasının besleyiciyi beslemesi,
- b. Kalıbın kafi derecede sert olmamasıdır.

Bir döküm parçasının bir veya birkaç yerinde ısı konsantrasyonları meydana geldiğinde (ısı merkezi veya hot spot), ikincil çekinti nedeni hatalar boşluklar şeklinde görülürler. Bunların diğer hatalardan ayırt edilmeleri şöyle yapılır:

- a. Hatalar parça termik merkezlerinde meydana gelirler,
- b. yüzeyler, girintili, çukuntılı, düz olmayıp, dentritler kolayca görülürler.

İkincil çekinti nedeni hataların nedeni kalıp yumuşaklığı ise, daha sert kalıpların kullanılmasına gidilmelidir. Ancak bu önlem belirtildiği kadar kolay olmadığı için, basınç etkili besleyici tasarımı teorik olarak bentonit bağlayıcılı kalıplar için azami 2.5 cm parça modülüne kadar uygulanır. Parça modülü daha büyük ise besleyicisiz döküm alternatifi geçerli olur. Döküm sonrası, parçanın yapılan boyut kontrolünde bir şekil değişikliği, şişme tesbit edilemediği takdirde, ikincil çekinti nedeni hata besleyici boynu modülü küçültülerek bertaraf edilir. Kalıp malzemesinin değiştirilememesi durumunda ikincil çekinti nedeni hata, konvansiyonel veya basınç dengeleyici besleyici yöntemi uygulanarak giderilir.

11.6.3.

Yolluk sistemi ile besleme yöntemi.

Çoğu kez, ince et kalınlığına sahip parçaların dökümünde, bilinçli veya bilinçsiz besleyicisiz döküm tasarımı yapıldığı görülmektedir. Bu parçalar besleyicisiz dökülebilirler, ancak beslemenin yolluk sistemi tarafından yerine getirilmesi halinde hatasızdırlar.

Bu yöntem basınç etkili tasarımın ince et kalınlıklarındaki KGDD parçaları için geçerli olan bir şeklidir. Böylece ince döküm parçalarında yolluk sistemi besleyici görevini üstlenir. Döküm havuzu ve döküm parçasının en üst kısmından itibaren kalan dikey yolluk besleyici olmaktadır.

Etkili modülü 0.38 cm olan bir döküm parçasının, normal döküm sıcaklığında besleyici boynu modülü 0.36 cm dir. İşte bu modül 3 x 0.9 cm kesite tekabül etmekte olup, yatay yolluk-meme kesiti olarak kabul edilebilir. Döküm tekniği yönünden şanslı bir durumda, küçük, ince parçaların bir derecede çok sayıda bulunacak şekilde, model dizaynlarının yapılabilmesidir. Bu durum yöntemin uygulanabilirlik sınırını modül değeri 1 cm'ye kadar genişletmektedir.

Yolluk sistemi ile beslemede Resim 194de verilen ilişkiler özellikle dikkate alınmalıdır. Düşük döküm sıcaklıklarının seçilmesi ile bu resimden elde edilecek meme kesiti modülü daha emniyetli çalışma şartlarının yaratılmasını sağlamış olur. Pratik uygulamada şu işlemlerin sırası ile yapılması gerekir,

1. Etkili, belirgin modül tesbit edilmeli ve döküm sıcaklığı için asgari değerler alınmalıdır,
2. Meme kesitinin saptanılması (Besleyici boynu), basınç etkili besleyici tasarımında olduğu gibi Resim 189den yapılır,
3. Kalıp havalandırılmalıdır,
4. Mümkün mertebe sıcak dökülmelidir.

11.7. Basınç azaltıcı (dengelemeli) besleyici tasarımı:

KGDD üreten dökümhanelerin büyük bir bölümünde uygulanan bir besleyici tasarımı olmasına rağmen,yöntemin prensibinin bilinmeksizin çalışıldığı bir gerçektir.

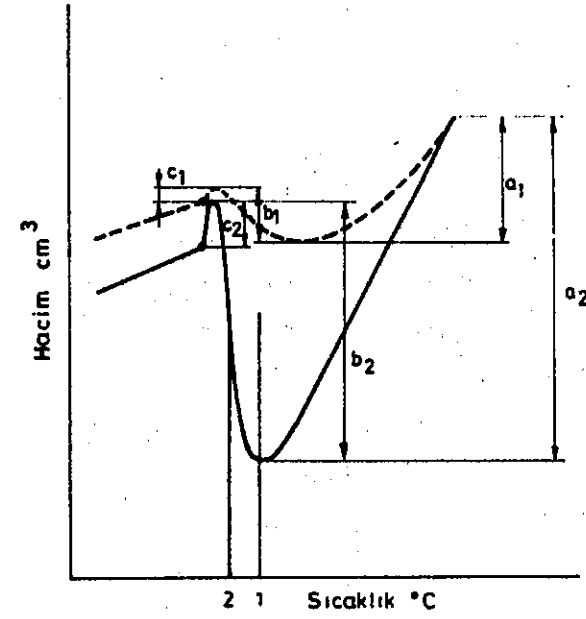
Bilindiği gibi,modülü azami 2 cm olan,kalın etli bir KGDD parçası bentonitli kum kalıp veya kabuk kalıp yöntemi ile döküldüğünde,kalıbın şişdiği ve parçada porozite olarak tanımlanan hataların meydana geldiği görülür.Bu problemin kolay çözümü daha sert kalıpların kullanılması olmasına rağmen,dökümhanelerde her zaman böyle bir seçenek mevcut olamaz.

KGDD'in soğuması ve katılaşması esnasında meydana gelen hacimsel değişim bir başka besleyici tasarımının kullanılmasını mümkün kılmaktadır.Bu yöntemde katılaşma,genleşme başlangıcında hacimsel büyüme,eriyiğin besleyiciye verilmesi ile azaltılmakta yani besleyici doldurulmakta,ve bu geri besleme olayı genleşme periyodu bitiminden önce sona ermektedir.Bu durumda mevcut olan basınçla ikincil çekinti beslenecektir.

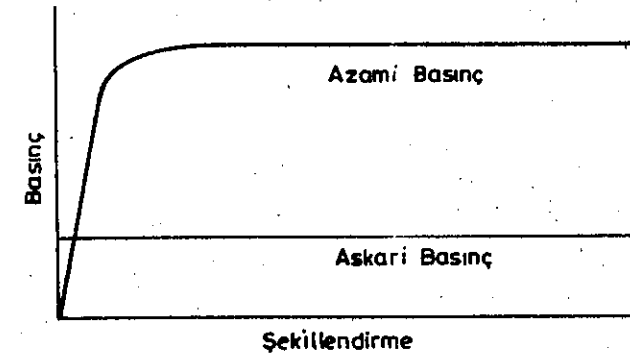
Basınç azaltıcı besleyici tekniğinin en belirgin özelliği dolu çekintisiz denebilecek besleyicinin var olmasıdır.Teorik olarak yalnız başına dökülen bir besleyici % 3-6 arasında bir çekintiye sahiptir.Bu besleyicinin parça ile beraber dökülmesinde çekinti,lunker hacmi artacaktır.Fakat basınç azaltıcı besleyici tekniğinin uygulanmasında,besleyicilerin lunker hacmi azami % 2 olmaktadır.

Yöntemin açıklamasını şöyle yapabiliriz: Döküm parçası-besleyici bütünü eriyikle doldurulduktan sonra,soğuma esnasında meydana gelen çekinti,besleyiciden eriyik takviyesi ile karşılanmaktadır. Bunun yanında besleyicidede çekme olayı meydana gelmektedir. Böylece bu iki çekinti olayı nedeni ile besleyicide bir boş hacim meydana gelir.Eriyiğin çekinti periyodunun sona ermesi ve genleşmenin başlama ile eriyik,besleyiciye basılır(Resim 190) Bunun için besleyici boynunun katılaşmaması gerekir.Bu geri besleme herhangi bir şekilde engellenmezse,döküm parçası ikincil çekinti hatalarına sahip olacaktır.

Resim 191 bentonit bağlayıcılı kum kalıplar için bu olguyu göstermektedir.Azami basınç doğrusu üzerindeki basınç,kalıpta kuvvetli bir şekillenme,şişme oluşturur,asgari basınç doğrusu altında ise ikincil çekinti bertaraf edilememektedir.



Resim 190



Resim 191

Böylece sonuç olarakta parça özünde lunger oluşur.

Besleyici sistemi,tasarımın ikincil çekintiyi dengeleyecek bir genişlemenin var olmasını sağlayacak şekilde yapılması ile oluşturulur.

Genleşme periyodu süresince mevcut basıncın ölçümü zor olduğundan ve Resim 191 de verilen basınç-şekillenme diyagramının kalıp malzemesi cinsine göre değiştiğinden,tasarımın bilimsel değerlerden faydalanılarak yapılması hemen hemen imkansızdır. Bugünkü bilgilerimizle basınç azaltıcı besleyici yöntemi ancak deneme-yanılma yoluyla uygulanabilmektedir.

Bütün bu problemlere rağmen,orta kalınlıkta KGDD parçalarının Maske kalıplara veya bentonit bağlayıcılı kum kalıplara çekinti boşluksuz dökümünde,yöntemin uygulanması zorunlu olmaktadır.

Yöntemde kullanılan en uygun besleyici kapalı,yani Williams besleyicileridir.Uygun besleyici büyüklüğü şu faktörlere bağlıdır:

- Kalıp mekaniki özellikleri
- Parça modülü
- Parça hacmi ve
- Döküm sıcaklığı

Uygun büyüklükteki besleyici seçimi ile ilgili bir çalışmada, 250x250x13 mm büyüklüğündeki numune parça kenar uzunluğu 76 mm olan bir küp şeklindeki kısma sahip olup,yaş basma mukavemeti 715-1000 g/cm² olan bentonit bağlayıcılı kum kalıba dökülmüştür. Besleyiciler 212 mm çapında olup,yükseklikleri farklı alınmış ve küp şeklindeki parça kısmı üzerine yerleştirilmişlerdir

Elde edilen neticeler parça hacminin % 2 si büyüklüğündeki besleyicinin bile kafi geldiğini göstermiş,

parçada bir şişme meydana gelmemiştir.Diğer bir deney serisinde besleyici,küp şeklindeki parça kısmını yandan besleyecek şekilde kullanılmış ve en küçük besleyicinin bu durumda şişmeyi tamamı ile önleyemediği,ancak parça hacminin

% 9'u büyüklüğünde besleyici kullanılması halinde şişmenin bertaraf edilebildiği gözlenmiştir

Sonuç olarak besleyici büyüklüğü ile ilgili şu hususları yazabiliriz:

- Gerekli besleyici hacmi parça hacminin % 5'i
- Besleyici modülü en kalın parça kesitinden büyük
- Besleyici boynudur mümkün merteye büyük olmalıdır.

Resim 192 de şematik olarak besleyici büyüklüğü ile meydana gelebilecek hatalar gösterilmiştir.

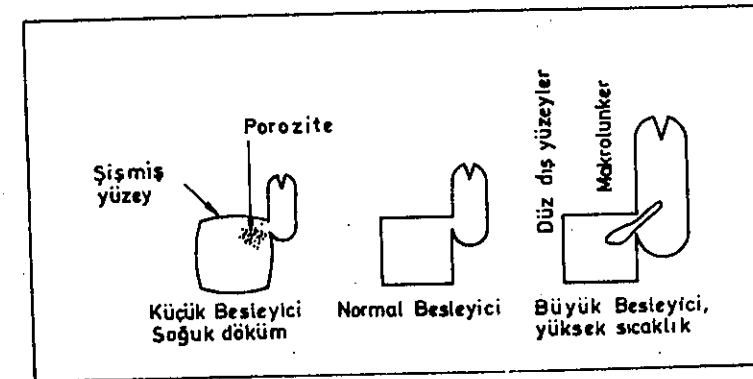
11.7.1.

Döküm hatalarının önlenmesi:

Kalıp mekaniki özellikleri yöntemin emniyetli bir şekilde uygulanmasını etkileyen önemli faktörlerdendir.Kalıbın genişmesinin belli sınırlar içinde kalması için,

- Rutubet miktarı mümkün merteye % 3'ün altında olmalı ve
- Kum elek analizi ile -0.2 mm lik fraksiyonun azami % 5 olmasına gayret gösterilmelidir.

Bundan başka,döküm sıcaklığının yüksek olması yanında,kimyasal analizin grafitleşme temayülü fazla olacak şekilde seçilmesi gerekir.Bunun içinde karbon eşdeğeri yüksek ve mangan miktarı düşük olmalıdır.İyi bir aşılama tekniğinin uygulanması daha küçük besleyicilerin kullanılmasına olanak verdiğinden malzeme faydalanma derecesi artacaktır.



Resim 192 . Besleyici büyüklüğü ve hatalar

11.7.2. Pratik uygulama:

1. Bu yöntem, bentonit bağlayıcılı kum kalıplara veya maske kalıpları yöntemi ile dökümde, parça et kalınlığı 13 mm'nin üzerinde olması halinde uygulanmalıdır. İlk önce genellikle basınç etki besleyici yönteminin uygulanmasına çalışılır. Çekinti hatalarının nedeni kalıbın şekillenmesinden kaynaklanıyorsa, basınç azaltıcı yöntemle baş vurulur.
2. Parça ile yandan bağlantılı veya parça üzerine yerleştirilmiş besleyiciler kullanılır. İkinci tip besleyicilerin kullanılması daha elverişlidir. Besleyici hacminin büyüklüğünün tesbiti bundan önce belirtildiği gibi, pratik denemelerle yapılmalı, başlangıç besleyici hacmi, parça hacminin % 5'i alınmalıdır.
3. Kesinlikle kapalı besleyiciler kullanılmalıdır. Besleyici üst yüzeyi ya Williams maçalı veya çentikli olmalıdır.
4. Besleyici boynu kısa ve modül değeri Resim 189 dan alınacak büyüklüklerin 2 katı olmalıdır.
5. Yatay yolluk, kanallar direkt besleyici ile veya parça ile irtibatlı olabilirler. Her iki durumdada yükseklik 6 mm den fazla olmamalıdır. Uzunluğu yüksekliğin en azından 4 katı alınmalıdır.
6. Sıcak döküm yapılmalıdır.
7. Döküm süresi kısa alınmalıdır.

11.7.3. Basınç dengeleyici ve kontrollu besleyici tasarımına örnek:

Bundan öncede belirtildiği gibi KGDD'in iyi bir metalurjik kaliteye sahip olması gerekmektedir. Bunun yanında parça modülünün azami 2 cm ve dökümün bentonit bağlayıcılı kuma yapılması halinde bu tasarım uygulanır.

Modül-hacim oranı diyagramını ele aldığımızda, iki kesitten birinden diğerine eriyik akışının sağlanması için modülleri arasındaki oranın asgari 0.8 olması gerekir. Böylece küçük modüllü kesite büyük modüllü bölümden eriyik akışı sağlanabilir. Resim 193 de 2 Nr. 11 parça bölümü modülü 0.5 ve 1 Nr. bölümün ise 0.6 olduğunda,

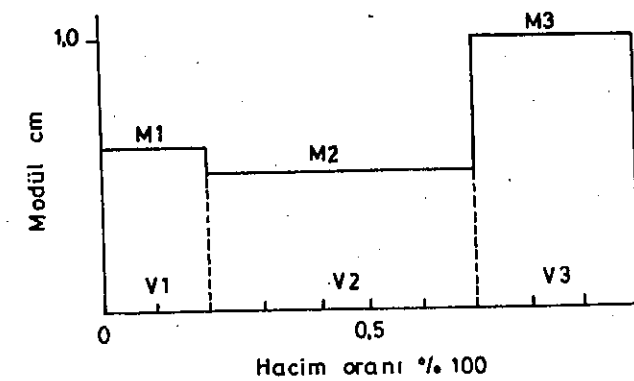
$0.5/0.6 = 0.83$ bulunur. Buda ince bölümün

1 Nr. bölümden besleneceğini gösterir. Aynı şekilde 2 ve 3 Nr. 11 bölümler için,

$0.5/1 = 0.5 < 0.8$ olduğundan, uzun süre 3

Nr. 11 bölüm 2 Nr. bölümü besleyemeyecektir. Bu nedenle 3 Nr. 11 bölümü bir besleyicinin yerleştirildiğini düşünürsek, parçanın beslenmesi mümkün olacak, ancak besleyici 1 Nr. bölüm üzerinde ise 3 bölüm beslenemeyeceğinden çekinti boşluklarına sahip olacaktır. Bu açıklamaların besleyicilerin yerleştirilmelerinde göz önüne alınması lazımdır.

Besleyici ve besleyici boynunun boyutlandırılmasında, parça modülü ve metalurjik kaliteye bağımlı olan bir baz modülün saptanılması gerekir. Bunun için en büyük parça modülü alınır.



Resim 193 .Modül ve parça bölümlerinin hacim oranları diyagramı.

Resim 194 de parça modülüne bağlı olarak baz modül'ün değişimi verilmiştir.

Örneğin, bir porya dökümü söz konusu ise,

Parça ağırlığı 68 kg

Malzeme GGG-45

Üst derece yüksekliği 20 cm

Döküm sıcaklığı 1380°C ve parça kesitlerinin

soğumaya katılmayan yüzeyleri göz önüne alınarak hesaplanan modülleri 1.28-2.2 cm arasında değişiyorsa, baz modül'ün tesbitinde azami parça modülü alınarak,

- 1.) $M_{\text{parça}} = 2.2 \text{ cm}$ için Resim 194 den
- 2.) $M_{\text{Baz}} = 1.27 \text{ cm}$ bulunur.
- 3.) $M_{\text{Besleyici}} / M_{\text{Baz}}$ eşit olması gerektiğinden,
 $M_{\text{Besleyici}} = 1.27 \text{ cm}$ dir.
- 4.) Besleyici çapı,
 $D = 4.91 \cdot M_{\text{Besleyici}}$
 $D \approx 7 \text{ cm}$
 $H = 1.5 \cdot D$
 $H = 10.5 \text{ cm}$ saptanılır.
- 5.) Besleyici boynu modülü,
 $M_{\text{Besleyici boynu}} = 0.6 \cdot M_{\text{Besleyici}}$ olduğundan
 $M_{\text{Besleyici Boynu}} = 0.8 \text{ cm}$ dir..

Besleme hacim kontrolü:

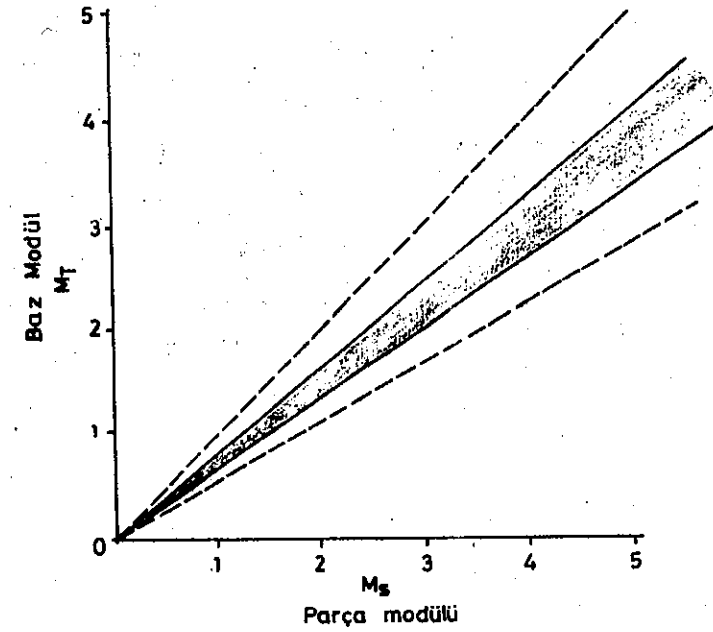
Saptanılan besleyicinin parçanın en üst yüksekliği üzerinde kalan kısmının parçayı besleyip, besleyemeyeceği şu şekilde tesbit edilir,

Döküm parçası ağırlığı 68 kg

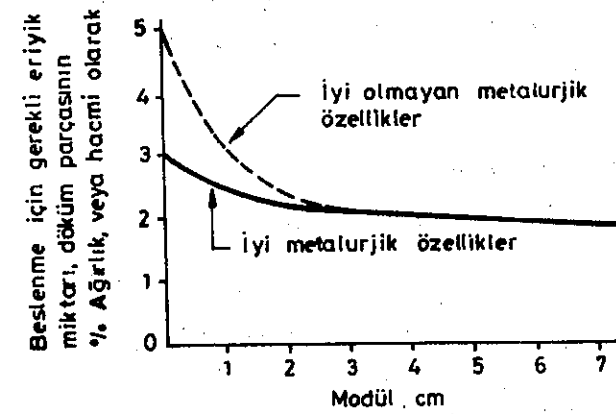
Döküm parçası hacmi $68000/7 = 9714 \text{ cm}^3$

Kön besleyicinin parçayı besleyebilmesi için sahip olması gereken eriyik miktarı Resim 195 den bulunur.

Bu değer $M = 2.2 \text{ cm}$ için % 3 olarak tesbit edilir.



Resim 194 . Parça modülüne bağlı olarak Baz modül



Resim 195 . Parçanın hacim %'si olarak modüle bağlı olan beslenme eriyik ihtiyacı.

Gerekli eriyik ihtiyacı $\% 3 \cdot 9714 = 291 \text{ cm}^3$
 Besleyicinin etkili olduğu besleme yüksekliği ise,
 besleyici yüksekliği-parçanın üst derecedeki yüksekliği,
 $10.5-3.2 = 7.3 \sim 8 \text{ cm}$ dir.

Resim 196 dan bu yükseklik için etkili beslenecek eriyik miktarı = 220 cm^3 bulunur.

Gerekli eriyik ihtiyacı, etkili beslenecek eriyik miktarından fazla olduğu için besleme yetersiz kalacağından, besleyici çapı 8 cm alındığında, yine aynı Resimden 290 cm^3 tesbit edilir ve bu besleyici yeterlidir. Yolluk tasarımı için ilk önce döküm süresini saptamamız gerekir, bunun için Resim 170 den veya ilgili eşitlikten gidilerek döküm süresi bulunur:

$$\text{Döküm süresi (san)} = \left(1.41 + \frac{W}{14.63} \right) \cdot \sqrt{G}$$

W ortalama et kalınlığı mm

G Toplam döküm ağırlığı kg

$$\text{Döküm süresi} = \left(1.41 + \frac{35}{14.63} \right) \cdot \sqrt{68 + 4.2} \text{ den}$$

Döküm süresi = 32 san. olarak saptanılır.

Hız faktörü 0.49 alınarak, aşağıdaki eşitlikten,

$$\text{Toplam meme kesiti} = \frac{22.6 \cdot G}{\gamma \cdot t \cdot \xi \cdot \sqrt{H}}$$

H basınç yüksekliği veya üst derece yüksekliği (cm)

t Döküm süresi san

ξ Hız faktörü

γ özgül ağırlık g/cm^3

$$\text{Toplam meme kesiti} = \frac{22.6 \cdot 68}{7.32 \cdot 0.49 \cdot \sqrt{20}}$$

Toplam meme kesiti = 3.13 cm^2 saptanılır.

Kesitler arasındaki,

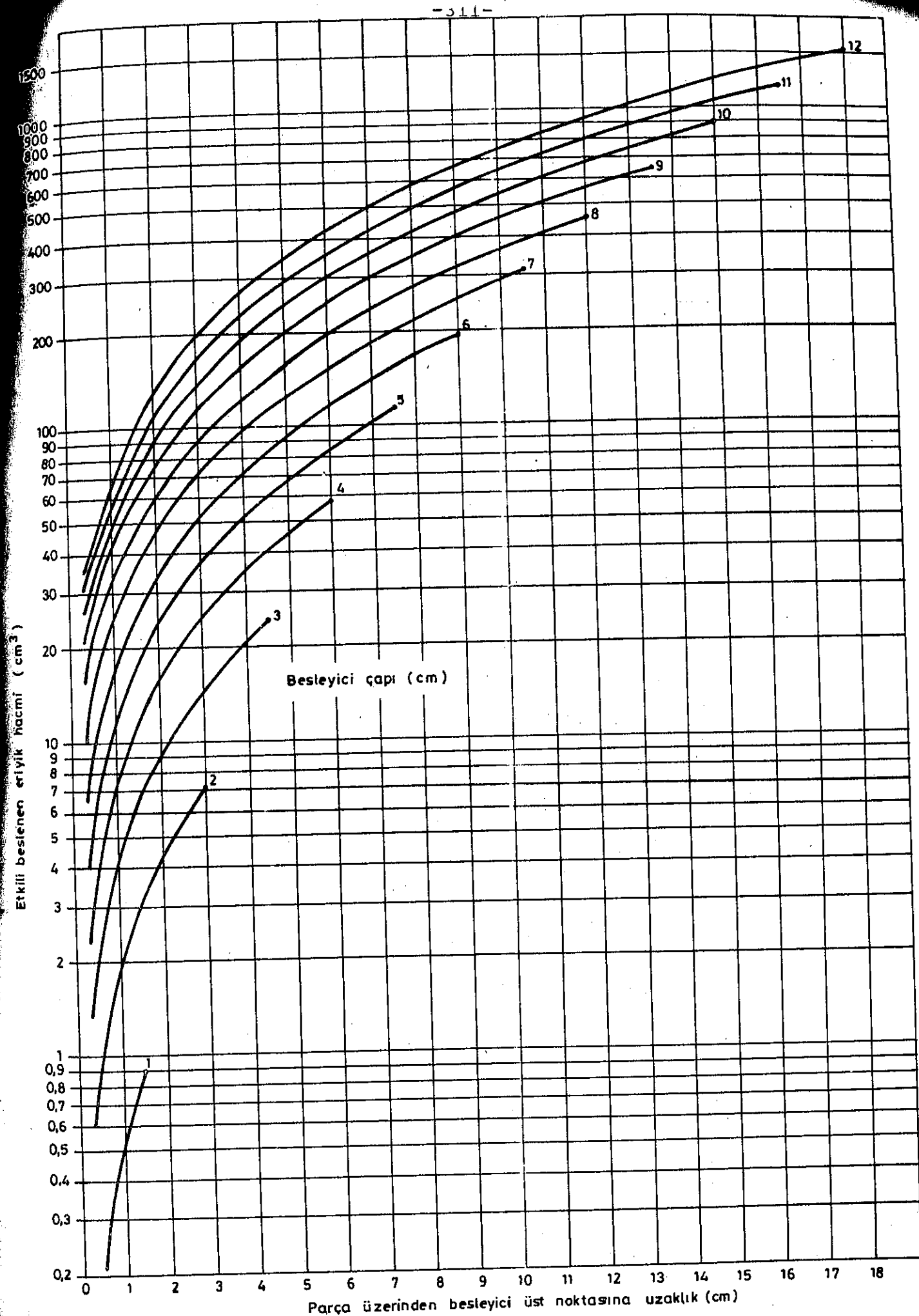
Dikey yolluk/Yatay yolluk/Meme = 4/8/3 ilişkisinden,

Dikey yolluk kesiti = 1.3 . Meme kesiti

Dikey yolluk kesiti = 4 cm^2 ve

Yatay yolluk kesiti = 2 . Dikey yolluk kesiti

Yatay yolluk = 8 cm^2 bulunur.



Resim 196 Besleyicinin parça en üst noktasından itibaren kalan yüksekliği ile efektif (etkili) besleyici eriyik miktarı arasındaki ilişkiler.

Çekinti yatkınlık testi numune dökümü yolluk ve besleyici tasarımı:

Resim 153 de verilen parçanın hacmi 433 cm³, ağırlığıda 3 kg dir. Toplam döküm ağırlığı 6 kg olarak kabul edildiğinde, döküm süresi,

1.) Döküm süresi eşitliğinden:

$$t(\text{san}) = (1.41 + \frac{W}{14.63}) \sqrt{G}$$

$$t = 16 \text{ san. bulunur.}$$

2.) Resim 168 den en dar kesit alanı 2.5 cm'dir. Bu kesit meme kesiti olarak alınır. Yatay Yolluk/Meme kontrolü yolluk sistemi seçilmiş olur.

3.) Azami eriyik akış debisi 0.7 kg/cm².san değerinden döküm süresi saptanabilir,

$$t = 6 / (0.7 \times 2.5)$$

$$t = 3.5 \text{ san.}$$

4.) Yine Resim 170 de yaklaşık olarak döküm ağırlığı 6 kg için döküm süresi 5 san. olarak tesbit edilir.

Bu hesaplamalar döküm süresi eşitliğinden saptanılan değerler çok yüksek olduğunu göstermektedir.

Döküm süresi 5 san. olarak kabul edilirse,

5.) Meme kesiti:

$$SA = \frac{22.6 \times 6}{0.6 \times 7 \times 5 \times \sqrt{15}}$$

Basınçyüksekliği

$$SA = 1.66 \text{ cm}^2 \text{ bulunur. Resim 153 de bu kesit } 1.44 \text{ cm}^2 \text{ dir.}$$

6.) Yolluk sistemi kesit oranlarından (4/8/3):

$$DY/YY/MK = 2/4/1.5 \text{ cm}^2 \text{ dir.}$$

DY Dikey yolluk kesiti

YY Yatay yolluk Kesiti

MK Meme Kesiti

Yatay yolluk ebatları 60x7 mm dir.

7.) $M_{\text{parça}} = 7.5/6 = 1.25 \text{ cm}$ olduğundan Resim 194. den

$$M_{\text{Baz}} = 1 \text{ cm}$$

$$\text{Besleyici Çapı} = 4.91 \times M_{\text{Baz}} = 5 \text{ cm}$$

$$\text{Besleyici Yüksekliği} = 1.5 \times D = 7.5 \text{ cm}$$

$$\text{Besleyici Boynu } M_B = 0.67 \times 1 = 0.67 \text{ cm,}$$

Verilen tasarımda saptanılmış besleyici boynu modülde 0.6 cm dir.

Çizelge 42. Besleyici sistemlerinin tasarımı için önemli olan hususlarının karşılaştırılması

Direkt uyumlu besleyici tasarımı. Basınç etkili	Basınç dengeleyici besleyici tasarımı
Besleyicinin boynunun genişleme başlangıcı, yani eriyik çekmesinden hemen sonra katılaşması	Besleyicinin, eriyiğin çekmesini beslemesi ve genişleme ile birlikte döküm parçası en büyük modüllü kısmının ikincil çekintiyi karşılayacak basınca ulaştığında, boyun katılaşması
En küçük parça Modülü 0.4 cm küçük olmalı	Parça modülü 0.4 cm den büyük olmalı
Bentonit bağlayıcılı kum	Bentonit bağlayıcılı kum
Belirgin, baz, parça modülü en küçük modüllü kısım (x)	Belirgin, baz, parça modülü en büyük modüllü kısım
$M_{\text{parça, en küçük}} = f(M_{\text{B, boyun}})$	$M_{\text{parça, en büyük}} = f(M_{\text{baz}})$
$M_{\text{Besleyici}} = M_{\text{parça, en küçük}}$	$M_{\text{Besleyici}} = M_{\text{baz}}$
	$M_{\text{B, boyun}} = 0.6 \times M_{\text{baz}}$

x) Belirgin modüllü kısım:

Kendisine bitişik diğer kalın kesitlerin eriyik çekintisini kompanze edebilen en küçük modüllü parça kesiti

11.8. Besleyicisiz döküm tekniği: 23.111.113

Bu ekonomik ve ilginç besleme yönteminde, grafitin kristalizasyonu ile meydana gelen genleşme olgusuna dayanmaktadır.

Besleyicisiz döküm yöntemi 20 yılı aşkın bir süredir uygulanmakta olup, son 5-10 yıldır dahada benimsenmiş ve artan bir ilgi ile uygulama sahası bulmuştur.

Bu yöntemin uygulanmasında aşağıda belirtilecek hususların göz önüne alınması ile döküm parçaları dış ve iç çekinti hatalarına sahip olmaksızın üretilirler.

Besleyicisiz döküm için gerekli şartlar şunlardır:

1. Döküm sonundan, katılaşmanın sona ermesinden biraz öncesine kadar eriyik durumda genleşme olayının devamı için döküm sıcaklığı azami 1345°C olmalıdır (Resim 197).

2. Yukardaki nedenle, döküm parçası modülü asgari 2.5 cm olmalıdır. Üst değer için bir sınırlama mevcut olmayıp 380 mm et kalınlığında parçaların bu yöntemle hatasız döküldükleri bilinmektedir.

3. Eriyiğin metalurjik kalitesinin, yani karbon eşdeğerinin yüksek (4.2-4.25) mangan miktarının düşük (azami 0.2) iyi bir aşılama tekniğinin uygulanmış olması lazımdır.

4. Yatay yolluk-parça giriş kesitleri dar olmalıdır. 13-16 mm kalınlığındaki memeler bu şartları yerine getirirler. Meme kesitleri kare şeklinde genişlik, yüksekliğin 4 katı uzunluk, genişlik kadar alınmalıdır.

5. Genleşme esnasında meydana gelen basınçlar atmosfer basıncının çok üstündedir. Bentonit bağlayıcılı kuma döküm iç çekinti boşluklarına müsaade edildiği zaman yapılmalıdır. Kalıp genleşmesinin ve şişmenin önlenmesi için, kuru, reçineli çimento bağlayıcılı kalıplar kullanılmalıdır. Alt üst derece çok sıkı bir şekilde kanca ile bağlanmalıdır.

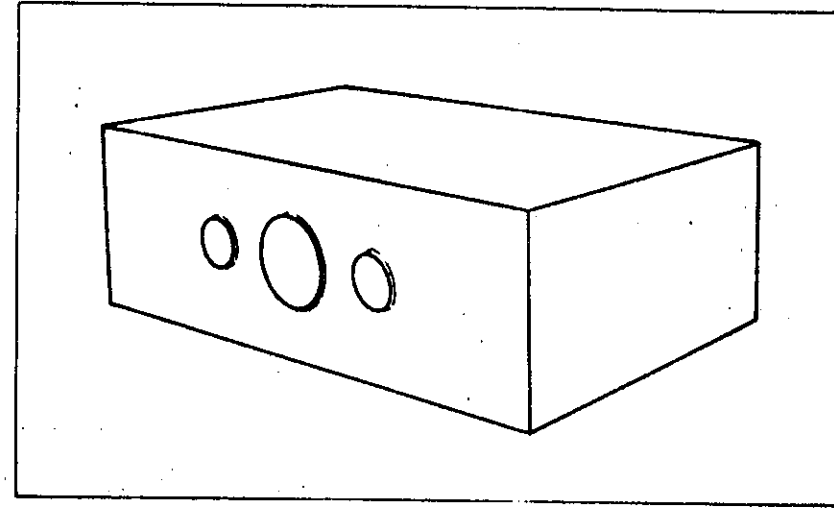
6. Hızlı döküm yapılmalıdır.

7. Hızlı döküme imkan vermek için kalıp havalandırılmalıdır. Hava delikleri 13-20 mm çapında olmalıdır.

Hatalar:

Parça boyutlarında farklılıklar mevcut ise, kalıp mukavemeti

arttırılmalı, kanal kesitleri küçültülmeli, adet olarak fazlalaştırılmalıdır. Bütün bu önlemler sonuç vermiyorsa, basınç azaltıcı besleyici tasarımı uygulanmalıdır.



Resim 197 . Besleyicisiz dökülen bir KGDD parçası.

T Döküm = 1350°C

11.9. KGDD lerde kullanılan besleyiciler:

Ştandarlaştırılmış besleyici tipleri Resim 198 de gösterilmiştir. Üst kısımda verilmiş olan 2 besleyicide yan besleyicilerdir. Altındaki besleyici ise yaka, kırma maçalı üst besleyicidir. Çizelge besleyici çapı, modülü ve hacmi arasındaki ilişkiyi vermektedir (Çizelge 43)

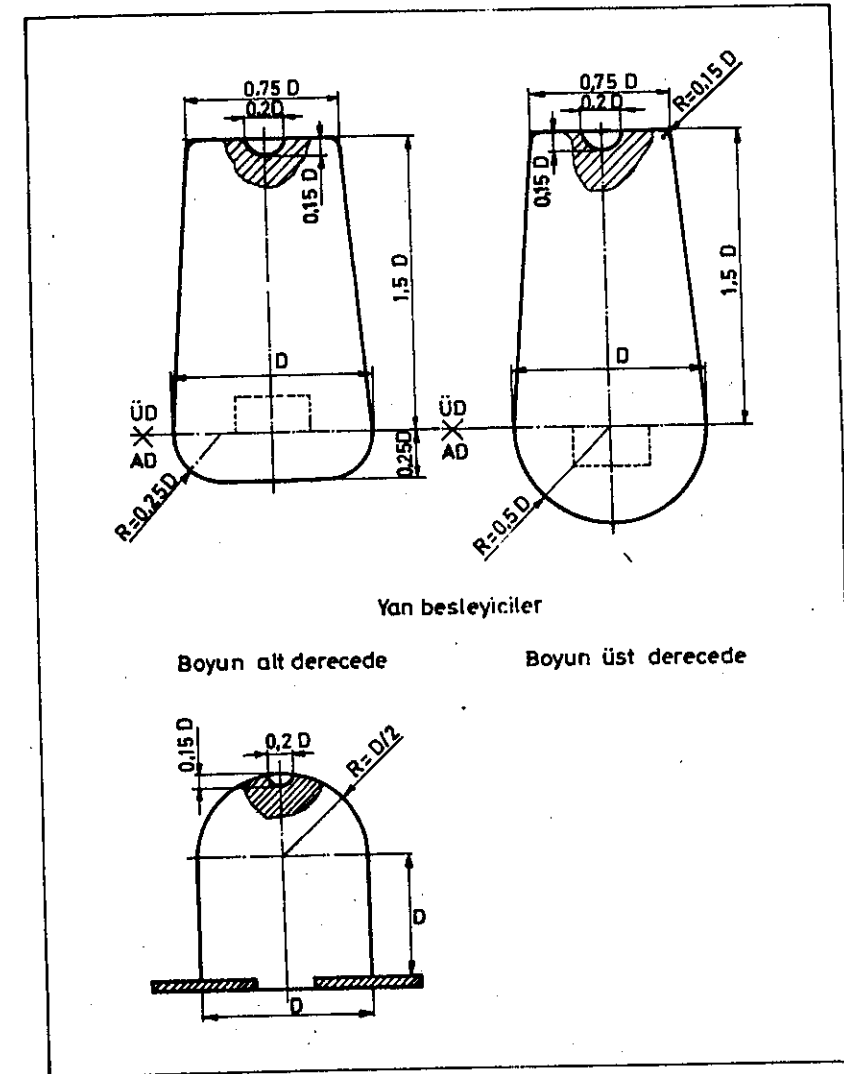
Tip	Çap	Hacim
1	$D = 5.86 M_B$	$V = 1.06 D^3$
2	$D = 4.91 M_B$	$V = 1.16 D^3$
3	$D = 4.53 M_B$	$V = 1.04 D^3$

Çizelge 43 . Besleyici çapı, modülü ve hacmi

Üst besleyicilerde kullanılan kırma maçalarının boyutları aşağıda verilmiştir.

Besleyici Modülü cm	Maça kalınlığı		Boyun, delik çapı	
	cm		cm	
1,0	0,42		1,95	
2,0	0,84		3,90	
3,0	1,26		5,9	
4,0	1,7		7,8	
5,0	1,1		9,7	

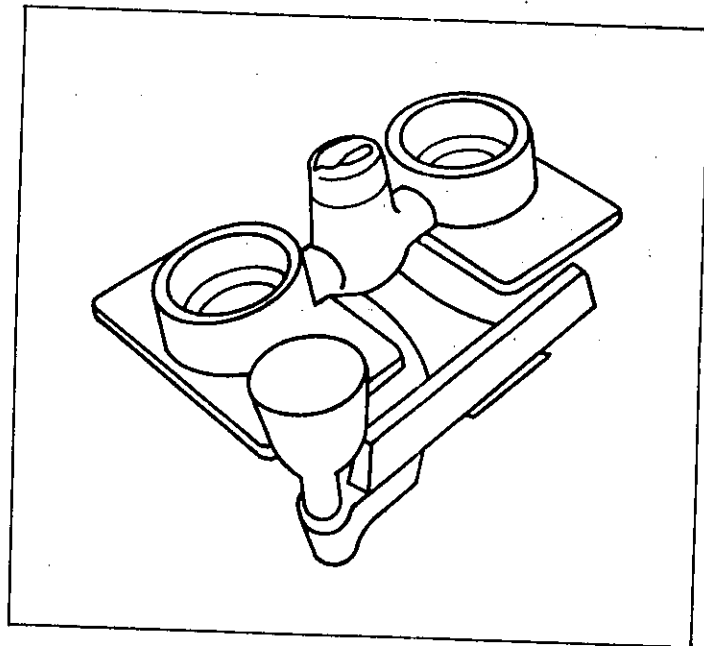
Çizelge 44 ..Kırma maça boyutları



Resim 198 . KGDD'lerin dökümünde kullanılan besleyiciler.

11.10. Pratik hesaplamalar ve örnekler: 109,114

Resim 199 . Bağlantı parçası	
Parça ağırlığı	6 kg/adet
Besleyici yolluk ağırlığı	8 kg
Toplam döküm ağırlığı	20 kg
Malzeme	GGG-60
En ince et kalınlığı	7 mm
Döküm sıcaklığı	1400°C
Basınç yüksekliği	150 mm
Döküm süresi	7.5 san
Kalıplama malzemesi	Bentonit bağlayıcılı kum
Dikey yolluk	5.5 cm ²
Yatay yolluk	11 cm ²
Meme kesitleri	4 cm ²
Besleyici boyutları	5 x 7.5 cm



Resim 199 . Bağlantı parçası.

Resim 199 da verilen parçanın basınç etkili besleyici tasarımı- na göre yolluk ve besleyici hesabı:

1.) Parça modüllerinin saptanılması .

En ince et kalınlığı 7 mm , Modül 0.35 cm, en küçük modül 0.4 cm'den küçük olduğu için basınç etkili tasarım uygulanır.

Parçanın en büyük modülü 0.6 cm

Eriyik durumda olan daha kalın kesitlerin çekmesini geniş- mesi ile kompanze eden en küçük parça kısmı modülü, belirgin veya baz modül olarak alınır, buda 0.4 cm kabul edildiğinde.

Besleyici modülü, Belirgin modüle eşit olduğundan,

$$M_{\text{Besleyici}} = 0.4 \text{ cm dir}$$

2.) Resim 188 den döküm sıcaklığına bağlı olarak KGDD'in beslen- mesi için gerekli eriyik miktarı (cm³/kg), döküm sıcaklığı 1400°C için,

$$S_e = 7.5 \text{ cm}^3/\text{kg dir.}$$

Besleyici çapı ile ilgili ilişkiden,

$$D = \sqrt[3]{G.S_e / 1.17} + 2.x$$

G Parça ağırlığı kg

x Besleyicinin katılacak cidar tabakası kalınlığı (mm), 0.25

$$D = 5 \text{ cm saptanılır.}$$

$$H = 1.5xD$$

$$H = 7.5 \text{ cm bulunur.}$$

3.) Besleyici boynu modülü Resim 185 den

$$M_{\text{B, boyun}} = 0.3 \text{ cm tesbit edilir.}$$

4.) Parça hacmi, 2 parça, 6 kg/parça olduğundan,

$$12000/7 = 1714 \text{ cm}^3 \text{ dür.}$$

Resim 195 den beslenecek hacim % si % 3 olduğundan,

$$51 \text{ cm}^3 \text{ eriyiğin etkili olarak beslemesi gerekir.}$$

Besleyicinin parça üst yüzeyinden yüksekliği 4 cm ise,

Resim 204 den bu miktar 50 cm³ olarak tesbit edilir.

Hesaplanan besleyici bu parçaları besleyebilecektir.

Emniyet açısından, besleyici çapı 6 cm, yüksekliği 9 cm alınabilir.

5.)Döküm süresinin saptanılması,

QIT nin eşitliğinden, dar kesit 2 cm^2

$$Q = 0.94 \text{ kg/san.}$$

$$t = G/Q$$

$$t = 6.33 \text{ san. bulunur.}$$

Diğer eşitlik toplam döküm ağırlığı 20 kg için döküm süresini,

$$t = 8.44 \text{ san olarak vermektedir.}$$

Bu saptanılan 2 sürenin ortalaması alınırsa döküm süresi,

$$t = 7.5 \text{ san olur.}$$

6.)Toplam meme kesitinin saptanılması,

$$F_{T,meme} = \frac{22.6 \times G_T}{\xi \cdot \gamma \cdot t \cdot \sqrt{H}}$$

eşitliğinden,

$$\xi = 0.53$$

$$H = 15 \text{ cm}$$

$$F_{T,meme} = 4 \text{ cm}^2 \text{ bulunur.}$$

Kesitlerin oranlarından,

$$\text{Dikey yolluk } 5.5 \text{ cm}^2$$

$$\text{Yatay Yolluk } 11.0 \text{ cm}^2 \text{ dir.}$$

alınarak,

Resim 200 .Pompa gövdesi

Parça ağırlığı 85 kg

Yolluk besleyici ağırlığı 56.5 kg

Döküm ağırlığı 141.5.kg

Malzeme GGG-42

En ince et kalınlığı 7 mm

Döküm sıcaklığı 1420°C

Basınç yüksekliği 300 mm

Hız faktörü 0.48

Döküm süresi 19.2 san

Kalıp malzemesi Bentonit bağlayıcılı kum

Maça malzemesi Reçineli

Kalıplama Makina

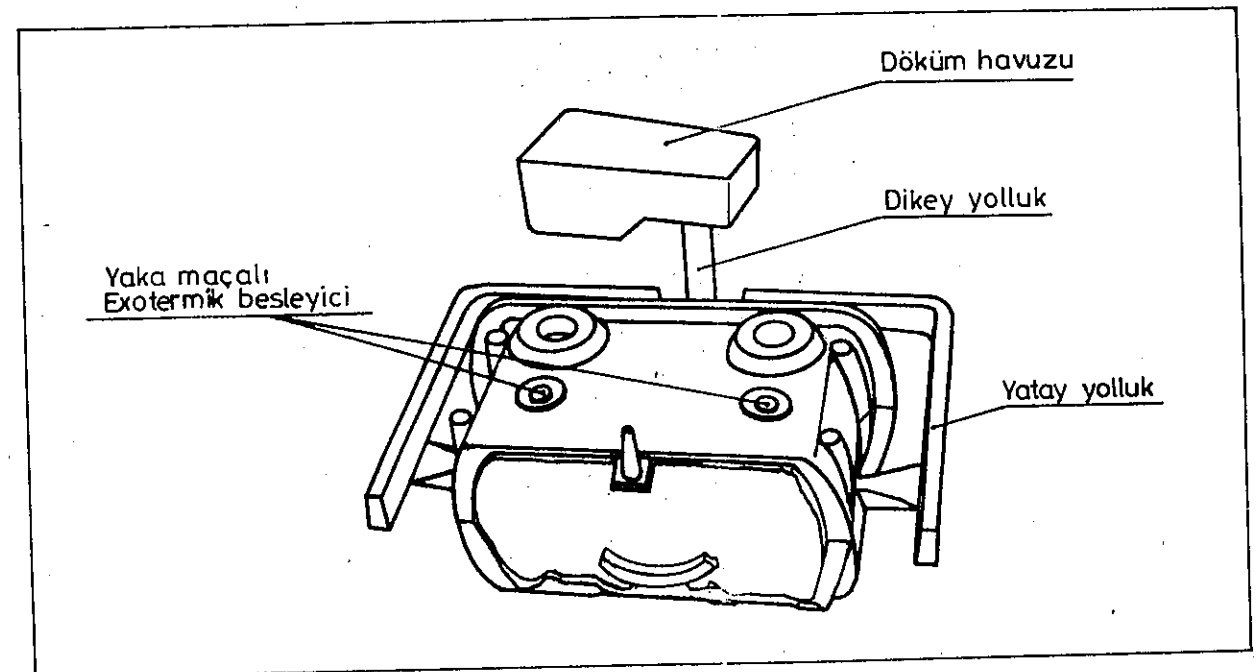
Dikey yolluk $39 \text{ } \phi, 12 \text{ cm}^2$

Yatay yolluk 16.5 cm^2

Döküm eriyik debisi $0.82 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{san}$

Besleyiciler Ekzotermik

Paydalanma % 60



Resim 200 . Pompa gövdesi.

Resim 200 de verilen değerler Holzmüller, A. ve Kucharcik, L 'in Atlas zur Anschnitt- und Speisertechnik für Gusseisen'dan alınmış olup, şu karşılaştırıcı hesaplamaları yapabiliriz; 109

1.) Döküm süresinin tesbiti

Quebec Iron and Titanium Co. KGDD lerin dökümünde en uygun eriyik akış miktarını şu eşitlikle vermektedir:

$$Q = c \cdot F_{meme} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

Q eriyik akış miktarı kg/san
c sabite 2.76
 F_{meme} Toplam meme kesiti cm^2
g Yer çekimi ivmesi 981 cm/san^2
H Basınç yüksekliği cm

Meme kesiti için en dar kesit Resim 188 den 6.5 cm^2 olarak bulunur. Böylece eşitlikten eriyik akış miktarı,

Q = 4.352 kg/san. hesaplanır.

Döküm süresi, t,

$$t = G/Q$$

G Parça ağırlığı
t = 85/4.352
t = 19.53 san. dir.

Döküm süresi için verilen diğer bir eşitlikten:

$$t = (1.41 + \frac{W}{14.63}) \cdot \sqrt{G_T}$$

W ortalama et kalınlığı mm
 G_T Toplam döküm ağırlığı
t 22.38 san. elde edilmektedir.

Resim 200 de döküm süresi 19.2 san. alınmıştır. Yukarıda bulunan döküm süresi 20 san. olarak kabul edilirse, meme kistleri toplamı, $F_{toplam, meme}$

$$F_{T, meme} = \frac{22.6 \cdot G}{\xi \cdot t \cdot \gamma \cdot \sqrt{H}}$$

8.68 cm^2 hesaplanır. Bu değer 9 cm^2 olarak alınabilir.

Kesitler arasındaki ilişkiden:

Dikey Y./Yatay Y./Toplam Meme = 4/8/3 den
Dikey Yolluk = 12 cm^2
Yatay Yolluk = 18 cm^2
Meme, toplam = 9 cm^2 dir.

Resim 201 .Pompa gövdesi

Parça ağırlığı	67 kg
Besleyici, yolluk ağırlığı	66 kg
Toplam ağırlık	133 kg
En ince et kalınlığı	12 mm
Malzeme	GGG-42
Döküm sıcaklığı	1380°C
Basınç yüksekliği	30 cm
Hız faktörü	0.45
Döküm süresi	16 san
Kalıplama	Bentonit bağlayıcılı kum
Maça malzemesi	Cam suyu
Kalıplama	Makina

Resim 201 ile ilgili hesaplamalar:

Döküm süresi Quebec Iron and Titanium Co. eşitliğine göre, Resim 168 den Toplam meme kesiti 6 cm^2 olarak tesbit edildiğinde,

t = 16.7 san hesaplanır.

Dieter'in döküm süresi eşitliğinden döküm süresi,

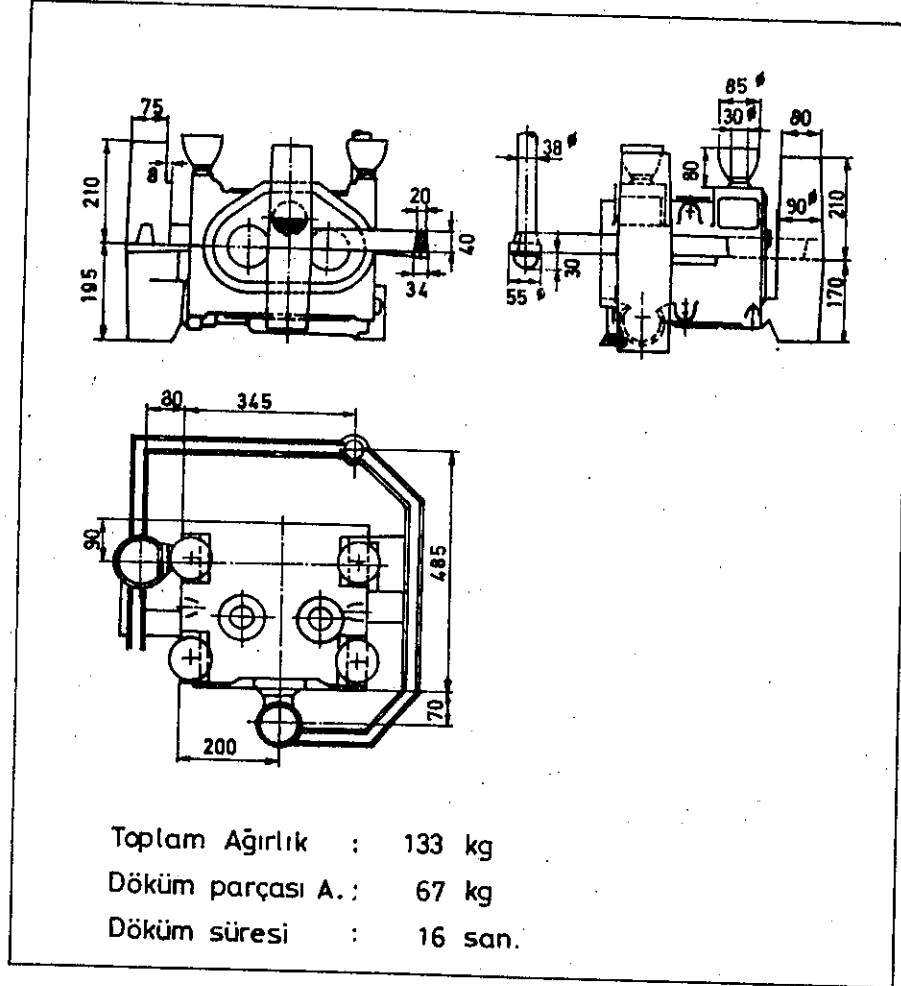
t = 25.7 san bulunur.

Resim 201 de verilen döküm süresi 16 san. olup, eriyik akış miktarı ve en dar kesit ilişkilerinden hesaplanan sürenin doğru olduğunu göstermektedir.

Döküm süresi 16 san. alınır ve toplam meme kesiti hesaplanırsa,

$$F_{T, meme} = 6 \text{ cm}^2$$

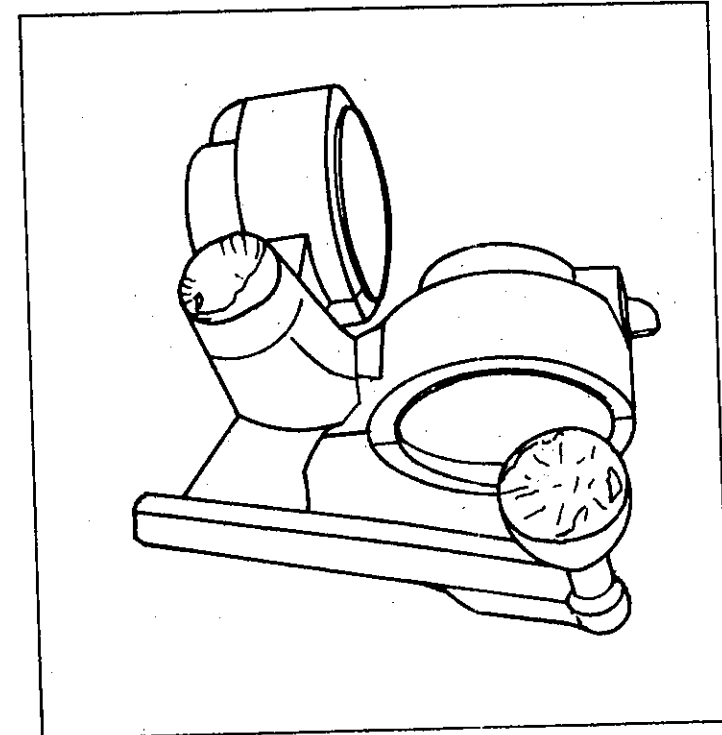
Dikey yolluk 7.8 cm^2 ve
Yatay yolluk 15.6 cm^2 dir.



Resim 201 . Pompa gövdesi döküm tasarımı

Resim 202 . Kafa

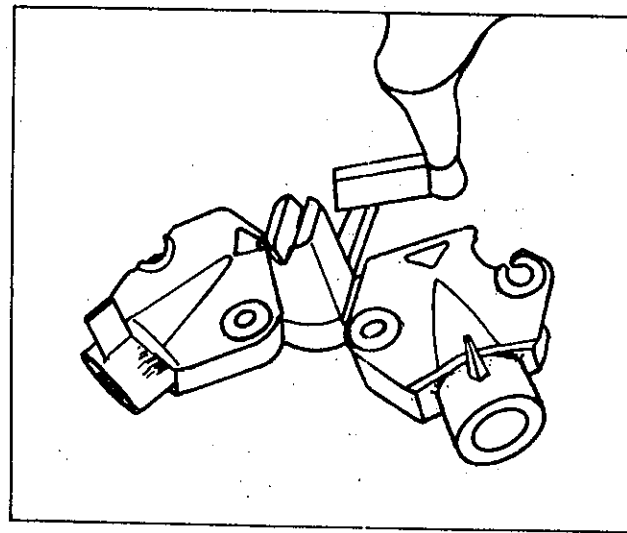
Döküm parçası ağırlığı	kg	: 8.4
Yolluk-besleyici ağırlığı	kg	: 14.2
Döküm ağırlığı	kg	: 31
Malzeme		: GGG-42
En ince et kalınlığı	mm	: 10
Döküm sıcaklığı	°C	: 1400
Basınç yüksekliği	mm	: 150
Hız faktörü		: 0.52
Döküm süresi	san	: 12
Kalıp malzemesi		: Bentonitli kum Makina kalıplama
Maça malzemesi		: Soğuk sertleşen Reçine
Dikey yolluk kesiti	mm ²	: 5.5 (26.5 Ø)
Yatay yolluk kesiti	mm ²	: 9
Meme kesiti	mm ²	: 4
Besleyici boynu kesiti	mm ²	:
Besleyici çapı,yüksekliği	mm	:
Malzeme faydalanma	%	: 58



Resim 202 . Kafa

Resim 203 . Halat sevk makarası

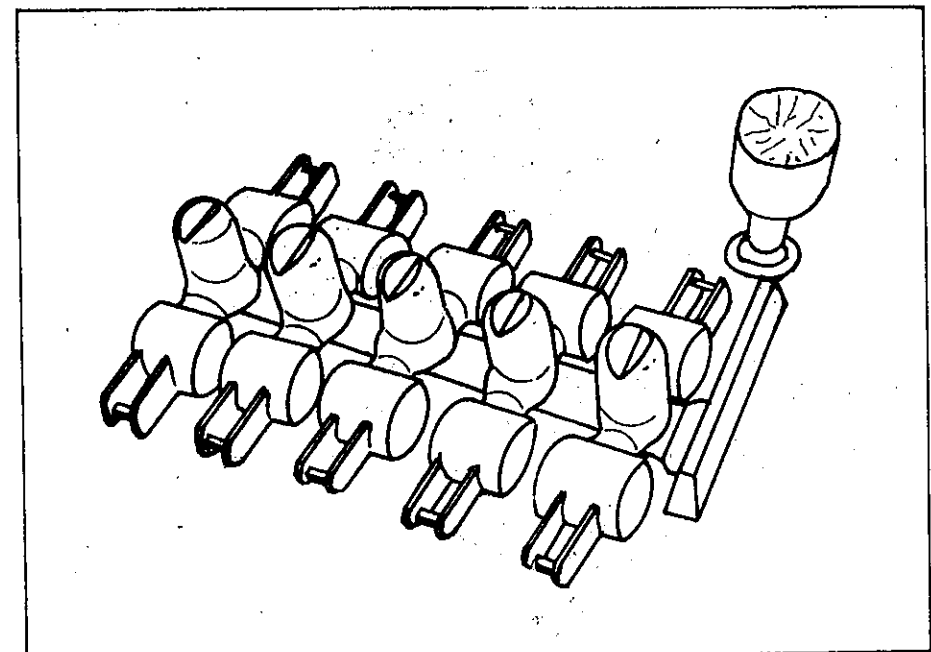
Döküm parçası ağırlığı	kg : 3 adet
Yolluk-besleyici ağırlığı	kg : 5.3
Döküm ağırlığı	kg : 11.3
Malzeme	: GGG-60
En ince et kalınlığı	mm : 7
Döküm sıcaklığı	°C : 1400
Basınç yüksekliği	mm : 160
Hız faktörü	: 0.22
Döküm süresi	san : 6
Kalıp malzemesi	:Bentonitli kum Makina kalıplama
Maça malzemesi	:Soğuk sertleşen reçine
Dikey yolluk kesiti	mm ² : 7 (30Ø)
Yatay yolluk kesiti	mm ² : 7
Meme kesiti	mm ² : 7.5
Besleyici çapı ve yüksekliği	mm : 50 x 60 oval,130 Çentikli



Resim 203 . Halat sevk makarası.

Resim 204 . İtici Kol

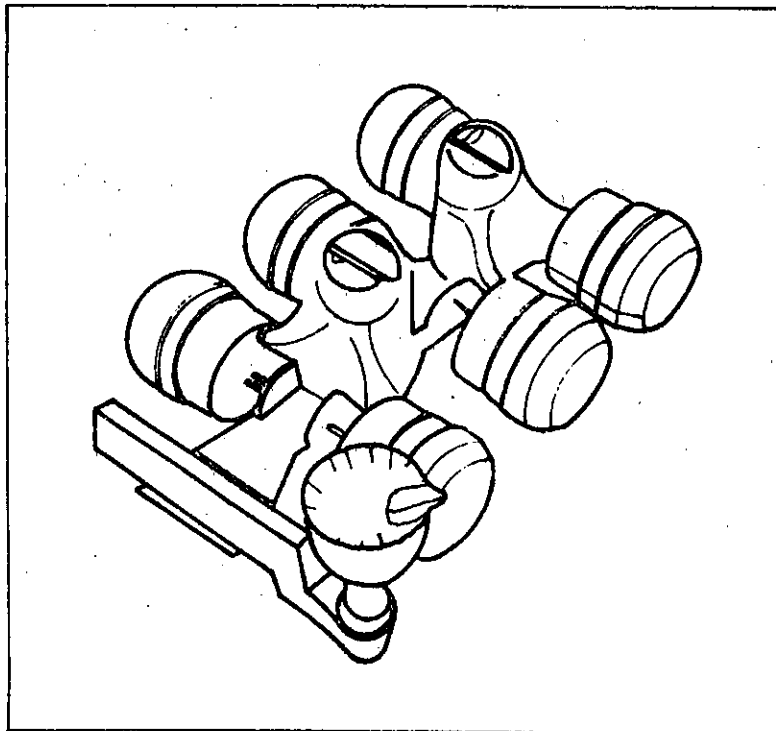
Döküm parçası ağırlığı	kg : 1.15 adet
Yolluk-besleyici ağırlığı	kg : 18.8
Döküm ağırlığı	kg : 30.3
Malzeme	: GGG-60
En ince et kalınlığı	mm : 7
Döküm sıcaklığı	°C : 1420
Basınç yüksekliği	mm : 150
Hız faktörü	: 0.52
Döküm süresi	san : 12
Kalıp malzemesi	: Bentonitli kum Makina kalıplama
Maça malzemesi	: ---
Dikey yolluk kesiti	mm ² : 5.5 (26.5 Ø)
Yatay yolluk kesiti	mm ² : 9
Meme kesiti	mm ² : 4
Besleyici boynu kesiti	mm ² :
Besleyici çapı,yüksekliği	mm : 75 Ø,115 5 adet
Döküm debisi	kg/cm ² .san 0.657
Malzeme faydalanma	% : 38



Resim 204 . KGDD İtici kol parçası.

Resim 205 . Kapak

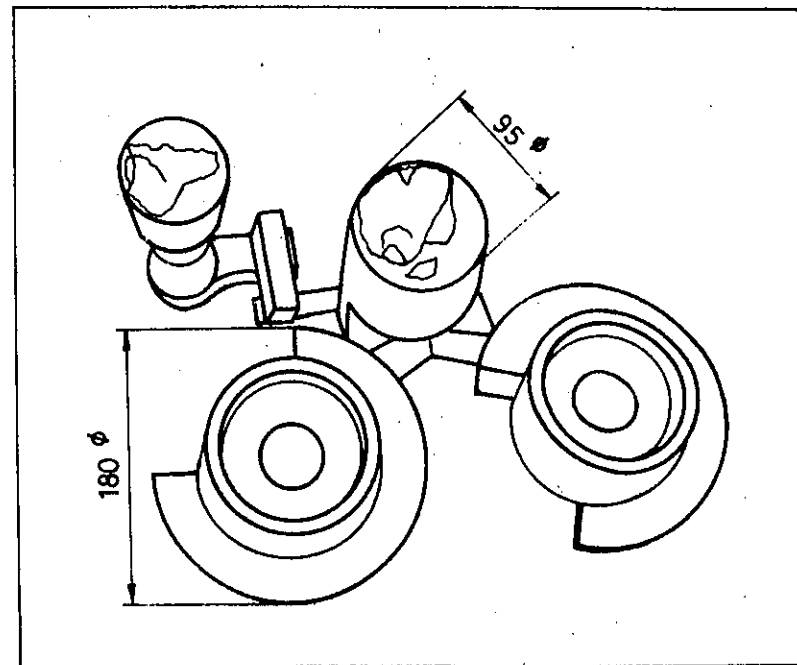
Döküm parçası ağırlığı	kg	: 2.4/adet
Yolluk-besleyici ağırlığı	kg	: 14.4
Döküm ağırlığı	kg	: 28.8
Malzeme		: GGG-42
En ince et kalınlığı	mm	: 10
Döküm sıcaklığı	°C	: 1400
Basınç yüksekliği	mm	: 150
Hız faktörü		: 0.55
Döküm süresi	san	: 8
Kalıp malzemesi		: Bentonitli kum Makina kalıplama
Maça malzemesi		: Reçineli Soğuk sertleşen
Dikey yolluk kesiti	mm ²	: 5.5 (26.5 Ø)
Yatay yolluk kesiti	mm ²	: 9
Meme kesiti	mm ²	: 8.25 (55x15)
Besleyici boynu kesiti	mm ²	:
Besleyici çapı,yüksekliği	mm	: 80 Ø ,120 ,2 adet Alt derecede 15 mm yükseklik kalıyor
Döküm debisi		: 0.657 kg/cm ² .san
Faydalanma derecesi	%	: 50



Resim 205 . Kapak

Resim 206 . Yay sıkıştırma kafası.

Döküm parçası ağırlığı	kg	: 5.5 kg/adet
Yolluk-besleyici ağırlığı	kg	: 10
Döküm ağırlığı	kg	: 21
Malzeme		: GGG-60
En ince et kalınlığı	mm	: 20
Döküm sıcaklığı	°C	: 1420-1440
Basınç yüksekliği	mm	: 130 (üst derece yüksekliği)
Hız faktörü		: 0.274
Döküm süresi	san	: 12
Kalıp malzemesi		: Bentonitli kum Makina kalıplama
Maça malzemesi		: Yağlı maça
Dikey yolluk kesiti	mm ²	: 7.1 (30 Ø)
Yatay yolluk kesiti	mm ²	: 5.7
Meme kesiti	mm ²	: 2.4
Besleyici boynu kesiti	mm ²	: 9
Besleyici çapı,yüksekliği	mm	: 95 Ø ,110



Resim 206 . Yay sıkıştırma kafası.

Resim 207 ile ilgili saptama,

1. Parça orta kısmı iki yan kenarı soğumaya kısmen katılmayan silindir olarak alınır,

$$M_{\text{parça}} = \frac{5.5 \times 6}{2(5.5-6)-2 \times 2} = 1.73 \text{ cm büyüklüğünde}$$

bir modül değeri saptanılır.

2. Basınç dengeleyici besleyici tasarımı uygulanacağından, Resim 194 den baz parça modülü 1.4 cm bulunur.

3. Baz parça modülü, besleyici modülünü vereceğinden, $M_{\text{besleyici}} = 1.4 \text{ cm}$ dir.

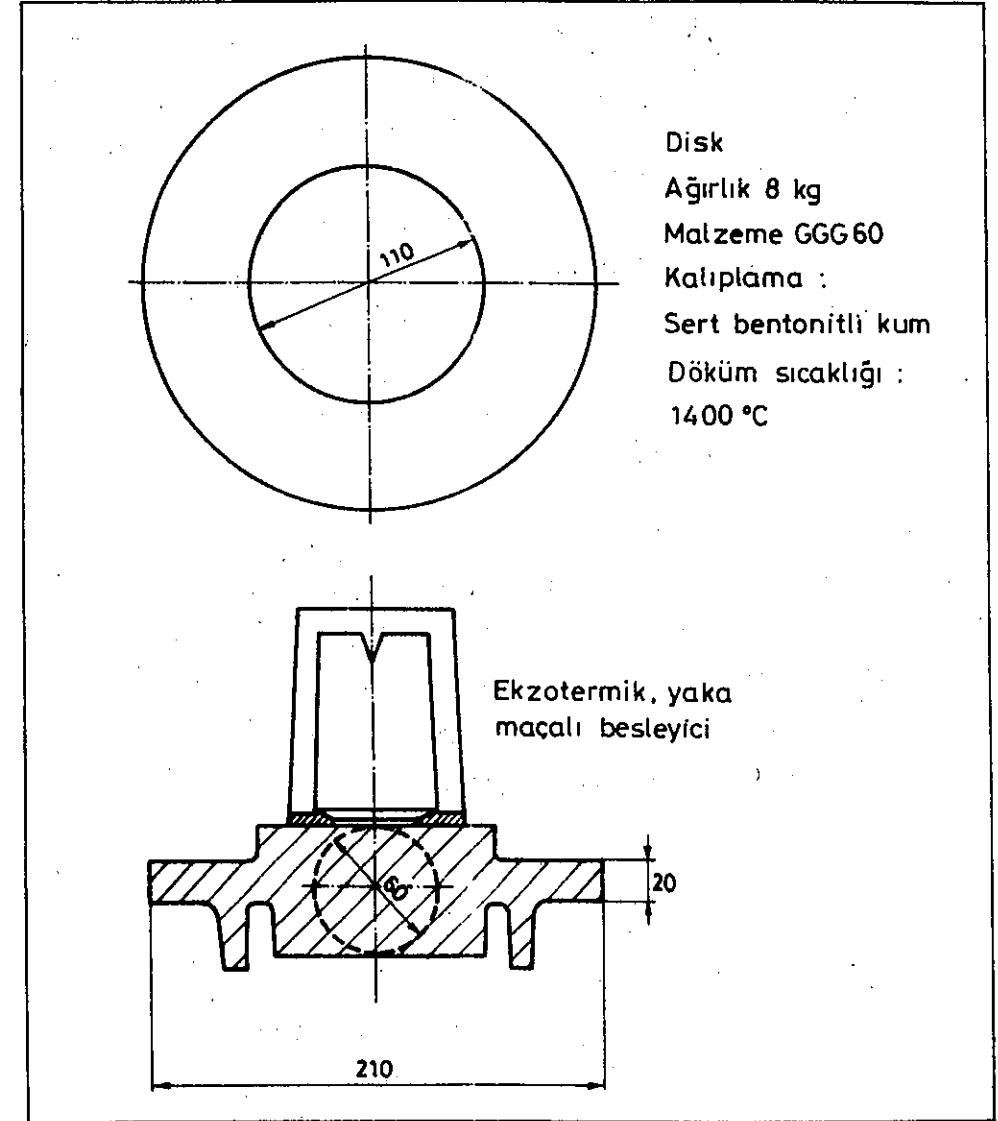
Besleyici boynu modülünde, $M_{\text{boyun}} = 0.6 \times M_{\text{baz}} = 0.84 \text{ cm}$ olarak saptanılır.

Bu değerler normal besleyiciler için geçerlidir. Ekzotermik besleyicinin kullanılması halinde, modül büyütme faktörü 1.4 cm alınır,

4. Ekzotermik besleyici modülü 1 cm, dolayısı ile,

$D_{\text{Besleyici}} \sim 6 \text{ cm}$ ve

$H_{\text{Besleyici}} \sim 9 \text{ cm}$ bulunur.



Resim 207 . Disk şeklindeki döküm parçası .

12.KGDD'in döküm işlemi:

KGDD'in dökümünde diğer alaşımlar için geçerli olan işlemler uygulanır.Döküm havuzu hızlı bir şekilde doldurulmalı ve tüm döküm süresince dolu tutulmalıdır.

El potaları ile dökümde uzun pratik deneyime sahip elamanlar ancak istenilen şartları yerine getirebilirler.Bu nedenle ve diğer taraftan ekonomik sebeplerle döküm otomatları veya başka bir tabirle otomatik döküm yapabilen tesislerin kullanılmasına gidilmektedir.Seri bir üretimde bu yol kaçınılmaz olmaktadır. Ancak bir potacının reaksiyon kabiliyetine eşit özelliklerde yani ilk önce hızlı, kanal kesitleri dolduktan sonra döküm hızının azaltılması ve nihayet hızlı bir şekilde dökümü kesme,otomatik döküm makinalarında tam olarak gerçekleştirilememektedir.Ötomatik döküm tapalı potadan veya induktif ısıtmalı kanallı ocaklardan yapılabilir.Tapa sayısı 1 veya daha fazla olabilir(Resim 208).

12.1 Döküm potası büyüklüğü:

Aşılamanın etkinliği zamanla azaldığından eriyiğin en kısa zamanda dökümü gerekir.Her bir kalıba dökülecek eriyik ağırlığı ile döküm potası kapasitesi arasındaki ilişkiyi Resim 209 vermektedir.500 kg'ın üzerinde olan parçaların dökümünde tek bir potadan sadece 1 parça dökülmelidir.

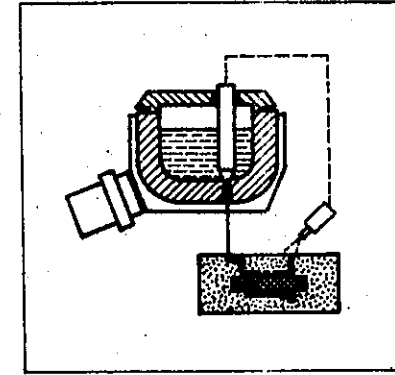
12.2.Döküm potası ağzı:

Döküm ağzı,pota üst kısmından yukarı doğru bir şekilde olmalı, ve döküm havuzu ile aradaki mesafenin mümkün mertebe az olması içinde kafi derecede uzun yapılmalıdır.

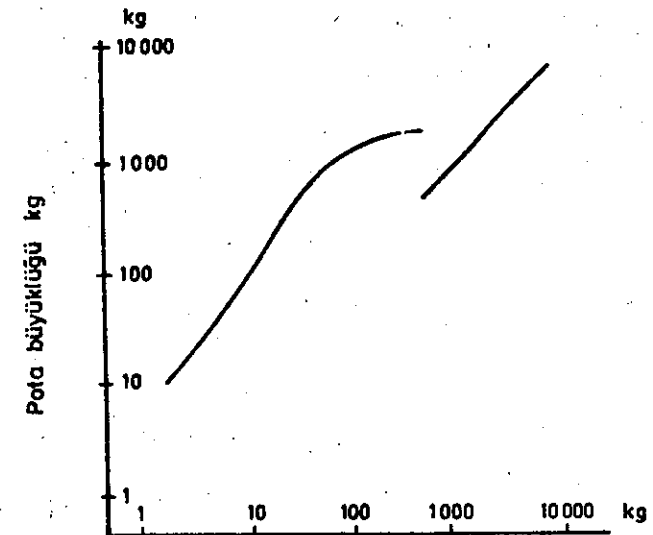
Isı kayıplarının azaltılması:

KGDD üretiminde eski bir dökümcü deyiimi olan"Soğuk ergit-sıcak dök" geçerlidir.Yani eriyiğin ocaktan dökümü için ideal sayılacak sıcaklık üzerine ısıtılmaması ve ısı kayıpları asgari seviyede kalacak şekilde dökümün yapılması gereklidir.

Ocaktan potaya döküm sıcaklığı ve potadan parçanın dökümü arasındaki sıcaklık kaybını,potaya döküm,pota ısı kayıpları ile döküme geçen süre içinde döküm yolundaki ısı kayıpları oluşturur. Detaylı bir şekilde yapılacak çalışmalar ile dökümhanelerde ısı kayıplarının asgari düzeye indirilmesi ekonomik bir üretimin sağlanmasında en önemli unsurdur.



Resim 208 . Kanallı Induktif ısıtmalı otomatik döküm potası.



1 Kalıpta olması gereken döküm ağırlığı

Resim 209 . Tavsiye edilen döküm potası büyüklükleri

Özellikle potaların geometrik ölçülerinin iyi seçilmesi, izolasyon malzemelerinden faydalanma ve pota ön ısıtmanın, potanın açık olan kısmının aşağıya gelecek şekilde ve alttan, buna imkan yoksa, yatay durumda yapılması lazımdır. Kontrollü bir işletme anlayışı her zaman iyi bir kalite emniyeti demektir.

Besleyicilerin parçadan kesilmesi:

Konvansiyonel ve basınç dengeleyici besleyi tasarımının uygulanması halinde besleyici boynu ebatları büyüktür. Karbon elektrotlarla besleyicilerin kesimi, taşla kesime nazaran daha pahalıdır.

Fakat süre olarak temizleme işlemi % 20 kısılır.

Besleyici boyunlarının taşla kesiminde belli bir derinliğe kadar karbür oluşumunun meydana geleceğini unutmamak lazımdır. En ideali besleyicinin boyundan kırılarak ayrılmasını temin etmektir. Bunun için Washburn maçaları (Yaka maça) kullanılır. Bu maçalar 13-16 mm kalınlığında olup, ortasında 25-38 mm çapında bir delik mevcuttur.

12.3. KGDD in soğuması esnasında çekmesi:

KGDD'in katı durumda soğuması esnasında sahip olduğu çekme değerleri ile, katılaşmasından sonra meydana gelen östenit-ferrit ve perlit dönüşümleri nedeniyle çekme değerleri bilinen ve değişmeyen fiziksel özelliklerdir. Ancak, kalıbın plastik deformasyonu ve katılaşma esnasında genleşme nedeni ile şişme bu büyüklükleri etkilemektedir.

Yukarıda verilen hususlar göz önüne alınarak, ortalama çekme değerleri,

Perlitik KGDD için döküm durumunda % 1.25 doğrusal

Ferritik " " " 0

Karbür ihtiva eden KGDD ler için 1.76 dır.

Ferritleştirme esnasında perlitik KGDD doğrusal olarak % 0.44

karbür ihtiva eden KGDD de % 2.5 bir büyüme gösterir.

8,10, 23, 115-118

13. KGDD'in ısıtılması işlemi:

KGDD' de istenen özellikler ana dokuya bağlı olarak değişir ve öncelikle ferrit, perlit miktarlarının farklı olması ile bütün normlaştırılmış türler üretilirler. Bu arada alaşım elementlerinin ana görevi, hedef alınmış ana dokunun elde edilmesini sağlamaktır. Çizelge 46 KGDD de doku özelliklerine alaşım elementlerinin etkisi genel olarak verilmiştir. Karbür stabilleştirici elementler aşınmaya dayanıklı KGDD'ler hariç olmak üzere kullanılmazlar. Bunun nedeni tane sınırlarında karbür zenginleşmesinin meydana gelmesi ile süneklilik özelliklerinin normlarda verilen değerler altında kalmasıdır. Ferritik KGDD genel olarak alaşımsızdır. Bununla beraber yeğane kullanılan alaşım elementi nikel olup, akma sınırının belli bir değerde kalmasını sağlar. Silisyum elementide aynı görevi görür. Ancak bilindiği gibi çentik mukavemeti değeri ve geçiş bölgesi sıcaklığı silisyum'un artması ile olumsuz olarak etkilenir.

Tüm perlitik veya çoğunlukla perlitik bir dokunun varolması istendiğinde, örneğin GGG 60 veya GGG70, perlit stabilliğini arttırıcı alaşım elementleri kullanılır. Bu elementlere örnek bakır ve kalaydır. Bu elementler azami miktarları % 0.1 Sn ve % 1 Cu olacak şekilde kullanılırlar.

Bakır elementinin kalay'a nazaran elverişliliği analiz farklılıkları ile olumsuz doku özelliklerinin kazanılmamasıdır.

Kalay ilavesinde hassas olarak miktarın tesbiti gereklidir. Aksi takdirde süneklilik özellikleri yönünden elverişsiz bir doku oluşur.

Bakır % 2 miktarına kadar hem döküm durumunda, hemde normalize ısıtılmasına tabi tutulması halinde KGDD özelliklerine olumlu etki eder. ^{46,47,48}

13.1. Mukavemet özelliklerinin arttırılması:

Yüksek mukavemet özelliklerine sahip KGDD ler için ısıtılma işlemi kaçınılmaz olmaktadır. GGG 80 ve sınırlı olarak GGG 90 normları için gerekli doku ince perlitik olup, normalize işlemi ile sağlanır. Kalın kesitlerde ferrit oluşumu perlit stabilliğini arttırıcı bakır ile engellenir.

KGDD doku ve özelliklerinin alaşım elementleri ile etkilenmesi

Doku	Isıl işlem	Akma S. % 0.2 N/mm ²	Uzama %	Alaşım elementleri %
Perlitik	Döküm d.	350-450	10-3	1.5 Cu, 0.1 Sn
	Normalize	350-600	12-3	1.5 Cu
Beynitik	Döküm d.	500-900	5-2	5 Ni, 1 Mo
	İslah I.	600-1100	4-0.5	1.5 Ni, 1.5 Cu, 0.5 Mo
	Ara kad.	700-1000	14-1	0.5 Mo, 1.5 Ni, 1.5 CU

Çizelge 47 .

KGDD'in ara kademesi ısıl işlemi ile elde edilen mekanik özellikleri.

Çekme D N/mm ²	Akma S. % 0.2 N/mm ²	Uzama %	Sertlik HB	Dönüşüm Sıcaklı. °C
1600	> 950	1-2	450	250
1400	> 900	2-3	400	300
1100	> 800	4-8	360	350
900	> 650	9-14	280	400

Genel olarak analiz değerleri % 0.3-1.5 Cu veya Ni, daha kalın kesitler için % 0.2-0.4 Mo olarak alınmalıdır.

Daha yüksek mukavemet değerlerinde iyi bir süneklilik özelliği şart koşuluyorsa, ıslah işlemi yapılmalıdır.

Ana doku martenzitik, beynitik olup, döküm veya ıslah işlemi sonu elde edilebilir.

Resim 210'de şematik olarak sürekli TTT-diyagramından 3 alternatif gösterilmiştir. İğnemi bir ara kademesi dokusunun varolması için soğuma hızının, perlit burnuna tekabül eden değerden büyük olması lazımdır. Bunun için parçanın hızlı bir ortamda soğutulması veya perlit dönüşümünü süre olarak arttıran elementler ile sağa doğru kaydırılması ile olur.

1 Nr.11 eğri beynitik olarak adlandırılan doku için geçerlidir. (Resim 211, ve tüm beynit bölgesini kapsamaktadır. Böylece alt ve üst beynit ile bazı durumlarda büyük miktarlarda artık östenik ihtiva eden bir doku elde edilir. Bu dokunun döküm durumunda elde edilmesi için KGDD'in yüksek miktarda alaşım elementine sahip olması gereklidir. Bu elementlerin en önemlileri nikel ve molibden olup, miktarları uygun soğuma hızını verecek şekilde, parça soğuma hızına yani modülüne bağlı olarak seçilir. (Resim 212, 213)

Alaşım elementleri miktarı düşük olarak seçildiği takdirde doku kısmen perlitik olacak, bunun tersi olarak fazla olması halinde beynit dönüşümünde daha uzun sürelerle kayabileceğinden martenzitik doku var olacaktır.

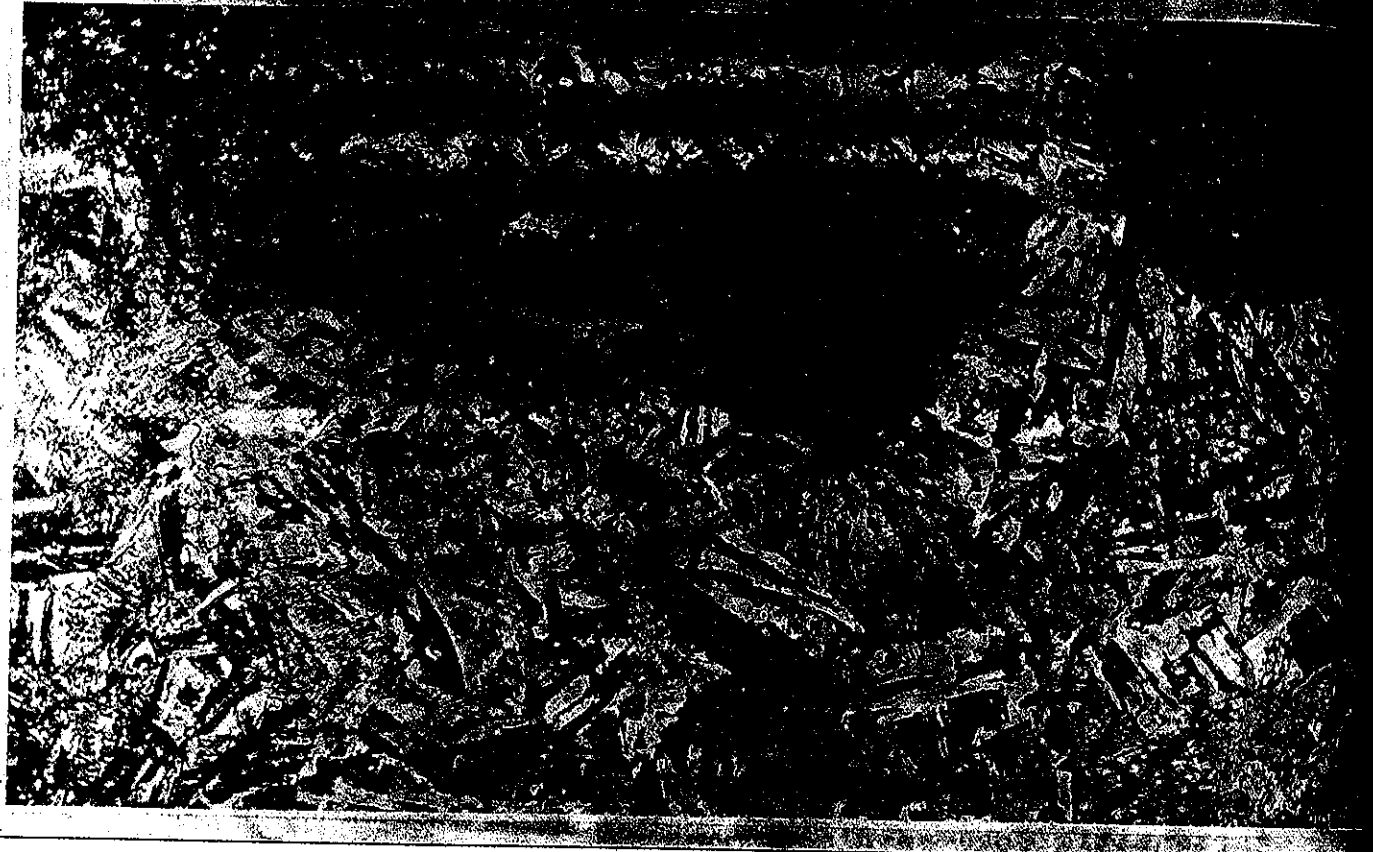
Tüm martenzitik dokunun sağlanacağı soğuma hızı Resim 210'de 3 Nr. ile gösterilmiştir.

Beynitik KGDD lerin sertlik değeri azami 350 HB dir, bu değer martenzitik-beynitik menevişlenmiş durumda 550 HB olup, tüm martenzitik doku için 600 HB üzerindedir.

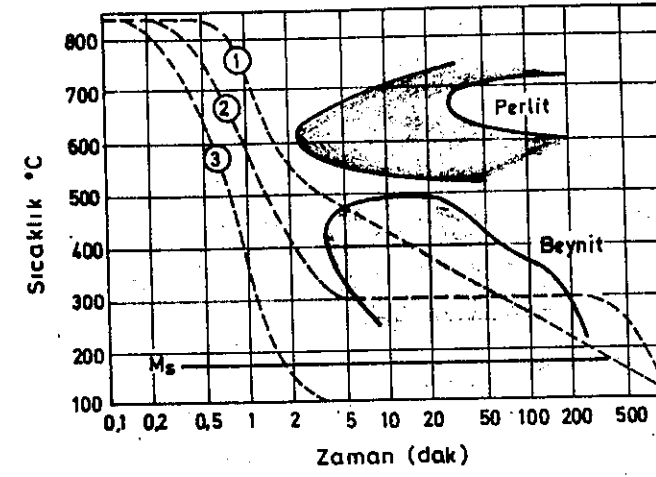
Martenzitik dokunun sahip olduğu olumsuz özellik süneklilik ve çentik mukavemeti olup, ıslah çeliklerinde de olduğu gibi menevişleme işlemi zorunlu olmaktadır. Ancak yüksek meneviş sıcaklıklarında (600°C nin üzerinde),

süneklilik özellikleri ve uzun süre mukavemet değeri azaldığından üst meneviş sıcaklığı üzerine çıkılmamalıdır.

Bunun nedeni ikincil grafit oluşumudur. 106

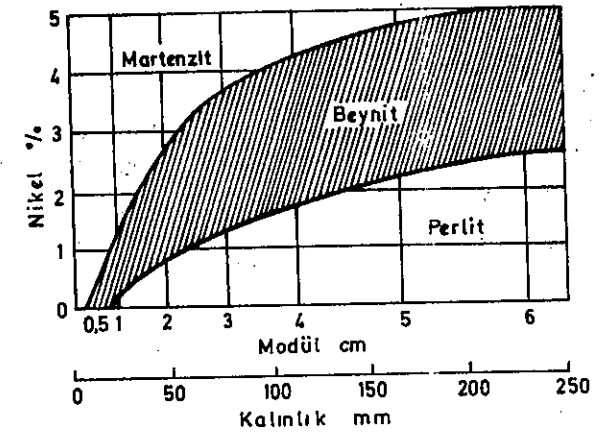


Resim 211. Beynit-östenitik ana doku, B: 500, Nital ile dağlama

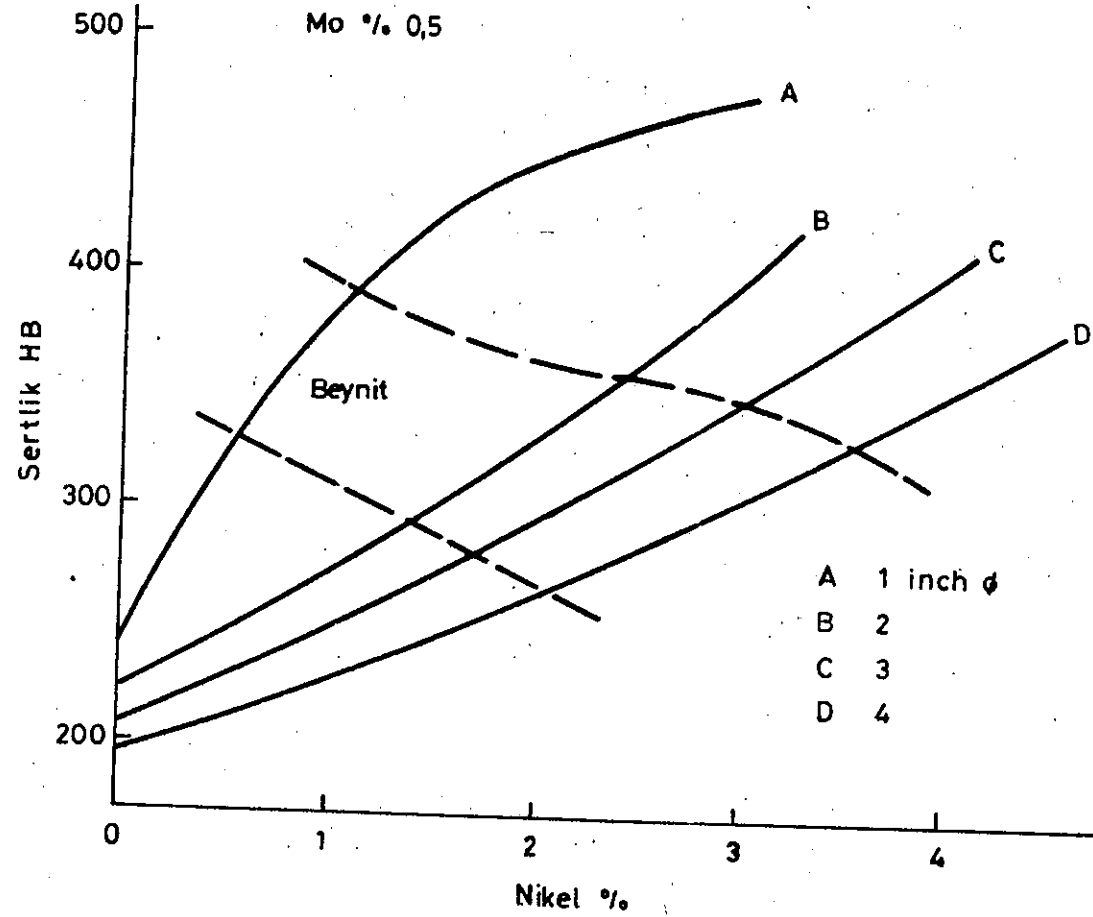


1. Beynit kademesine soğutma
2. Ara kademesi ıslah ışlemi.
3. Sertleştirme (Martenzit)

Resim 210 . TTT diyagramı (Zaman - Sıcaklık - Dönüşüm diyagramı)



Resim 212 . Nikel miktarı ve modüle bağlı olarak Beynit dokusu bölgesi.



Resim 213 Parça soğuma hızına bağlı olarak sertlik değeri ile %0,5 Mo ihtiva eden KGDD'in Nikel miktarı arasındaki ilişki. (Döküm durumunda)

Martenzitik KGDD ler bu nedenle daha düşük sıcaklıklarda menevişlenişler ve aşınmaya direncin ön görüldüğü şartlarda kullanılırlar. Aynı şekilde beynitik KGDD'lerde, birbiri üzerinde sürtünen veya dönen aşınma şartlarında çok iyi bir kullanım sahasına sahiptirler.

İğnemi dokuya sahip KGDD'lerin döküm durumlarında üretilmeleri bundan öncede belirtildiği gibi yüksek miktarlarda alaşım elementlerine sahip bulunmalarını şart koşmasına rağmen, özellikle komplike parçalarda sertleştirme ve meneviş ısıl işleminin problemlili olması yanında maliyetininde fazla olması karşısında ekonomik olmaktadır.

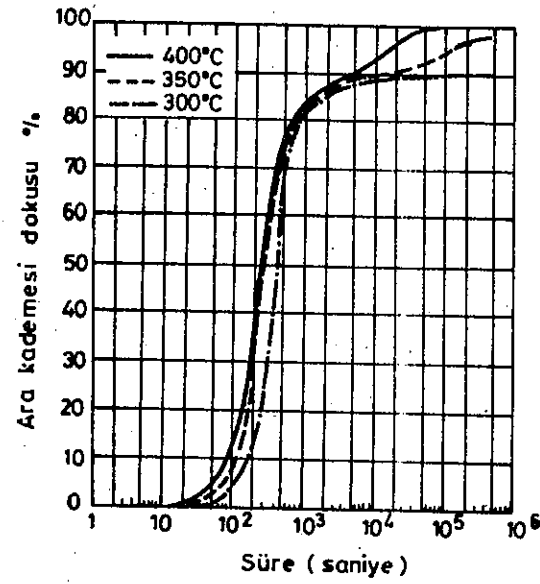
İnce kesitli parçalarda alaşım elementleri miktarları az olduğundan, ısıl işlem ekonomik bir üretim yöntemi olabilir.

Son yıllarda Resim 210da 2 Nr. ile gösterilen ara kademesi ıslah işlemi büyük bir öneme sahip olmuştur.⁵⁵ Bu ısıl işlemde ara kademesi bölgesinde dönüşüm sabit bir sıcaklıkta yapılmakta elde edilen özellikler, östenitleştirme sıcaklığı ile ara kademesi sıcaklığı, süresine bağlı olarak değişmektedir. Bu ısıl işlemin ana amacı iyi bir mukavemet değeri yanında üstün süneklilik özelliklerinin kazanılmasıdır.⁵⁰⁻⁵⁸ (Çizelge 47, Resim 214)

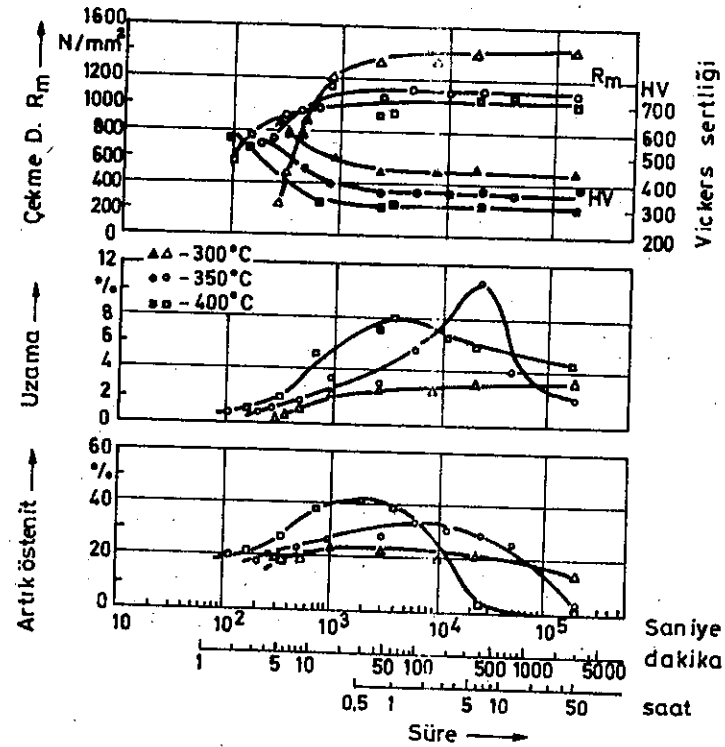
KGDD ara kademesi doku özellikleri ıslah çelikleri beynit ve ara kademesi dokusuna nazaran büyük farklılıklar gösterir. Çeliklerde iğnemi ferrit ve ince dağılmış sementit(karbür) şeklinde olan bu doku, KGDD de iğnemi ferrit ve stabil olan östenitten oluşur. Karbür oluşumunu silisyum engellemekte, östenit ise çok düşük sıcaklıklara kadar stabil kalmaktadır.

Mekanik özellikler ferrit miktarı ve morfolojisine bağlı olup, dönüşüm sıcaklığı ile belirlenmektedir.

Dönüşüm süresi, sıcaklık ve mekaniki özellikler arasındaki ilişki Resim 215 de verilmiştir. Parça ara kademesinde kısa bir süre bırakıldığında doku oda sıcaklığına soğutulduğunda kısmen martenzitik olmaktadır.



Resim 214 . Östenitin 300, 350 ve 400 °C de izotermal dönüşümü kinetiği.
Optimum mekanik özellikler % 60-80
Ara kademesi dokusu (Beynit) ve % 20-40
Artık östenitten ibaret olan doku ile erişilmektedir.



Resim 215 . İzotermal dönüşüm ve mekanik özellikler.

Optimal dönüşüm süreleri 1-6 saat arasında değişmekte ve bu şartlarda yüksek süneklilik özelliklerinin sağlanmasının nedenini östenit miktarının fazla olması teşkil etmektedir. Bu sürenin üzerinde karbür ayrışması başlamakta, östenit miktarı azalarak ferrit miktarı artmakta böylece uzama değeri düşmektedir. Isıl işlemin uygulandığı sıcaklığa bağlı olarak, parçanın bu sıcaklıkta bırakma süresinin, olumsuz süneklilik özelliklerine neden olmayacak şekilde tesbit edilmesi gerekmektedir. Ara kademesi ıslah işlemi için tuz banyoları, sıcaklıkların istenilen şekilde seçilmesi yönünden uygundur. Uygulama parçalarının istenilen sıcaklıkta belirli bir süre bırakılmalarından sonra tuz banyosundan çıkarılıp alınmaları ve arzu edilen sürece bir ısıl işlem fırınında bu sıcaklıkta bırakılmaları şeklinde yapılır. Bu şekilde bir uygulama hem ekonomik ve hem de kapasite arttırıcı bir özellik taşır.

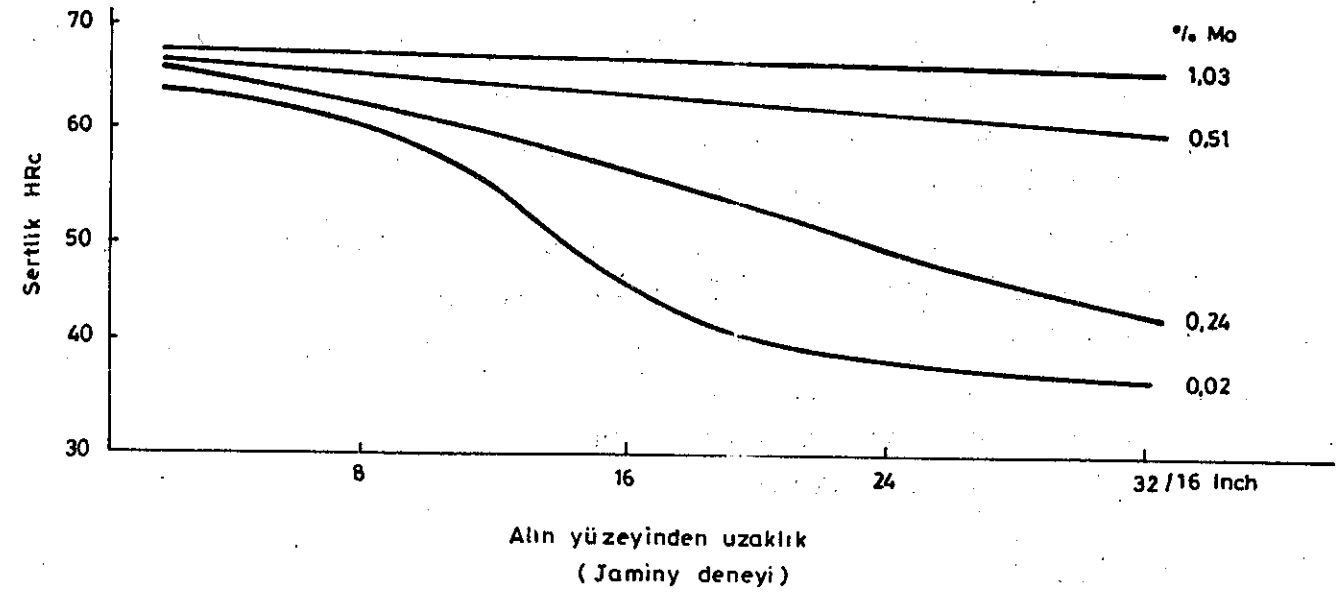
13.2.Sertleşebilme özelliğinin arttırılması, ^{8,115}

Çeliklerde olduğu gibi soğuma hızına ve alaşım elementlerinin mevcudiyetine bağlı olarak KGDD lerde erişilen sertlik derinliği farklı olmaktadır.Alaşımsız KGDD ler yağ banyolarında 30 mm kalınlığa kadar tüm sertleşirler. Daha kalın malzemelerin,tuz banyosu ve basınçlı hava ile soğutularak sertleştirilmeleri gerektiğinde sertleşebilme özelliğini arttırıcı elementlerin alaşım olarak bulunmaları lazımdır.Bu elementlerden en önemlisi molibdendir(Resim 216).

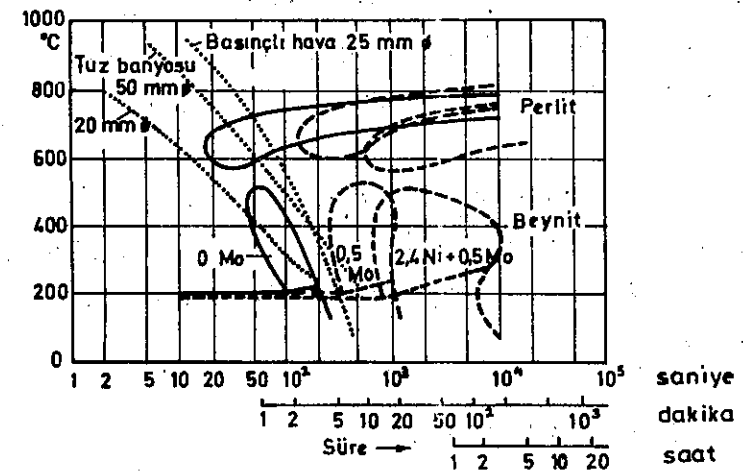
Alaşım elementlerinin etkileri sürekli TTT-diyagramlarında görülür ve sertleştirilecek parça çapı, sertleştirme ortamı için uygun analiz seçimi yapılabilir.⁵⁰Resim 217 . Çizelge 48 de KGDD'de parça kalınlığına bağlı olarak özüne kadar sertleşebilme için analiz değerleri verilmektedir

Çizelge 48 .Bir KGDD'de parça kalınlığına bağlı olarak,özüne kadar sertleştirme için gerekli alaşım elementleri miktarları(% 3.3 C,% 2.4 Si,% 0.32 Mn)

Parça kalınlığı mm	Alaşım elementleri miktarları %	
	Tuz banyosu	Basınçlı hava
8	Alaşımsız	0.3 Mo
10	Alaşımsız	0.35 Mo ve 1 Cu veya 0.5 Mo
25	0.3 Mo	0.3 Mo ve 1 Ni veya 0.3 Mo ve 1.5 Cu
37	0.5 Mo veya 0.35 Mo ve 1 Cu	0.5 Mo ve 2 Ni veya 0.7 Mo ve 1.7 Cu veya 1 Mo ve 0.6 Ni
50	0.5 Mo ve 1 Cu	0.5 Mo ve 2.3 Ni



Resim 216 . Molibdenin KGDD'lerde sertleşebilme kabiliyetine etkisi. Baz analiz %C 3.3, Si 2.4, Mn 0.7 ve Mg 0.05 Östenitleştirme 900°C



Resim 217 . Sürekli TTT - diyagramı ve alaşım elementlerinin etkisi.

Alaşım elementleri ile ara kademesinde dönüşüm süreside artmaktadır,örneğin genelde uygulanan 300°C de,alaşimsız KGDD lerde süre 10-40 dak. dır.,% 0.36 Mo ihtiva eden KGDD'de ise bu süre 15-200 dak. olmaktadır.

Böylece daha az riskle çalışma imkanıda doğmaktadır.

Çizelge 49 da ara kademesi ıslah işlemine tabi tutulan KGDD'e pratik olarak örnek teşkil eden analizler verilmiştir.

Çizelge 49 .Ara kademesi ıslıl işlemi uygulanacak KGDD lerin analiz sınırları(%)

Ni	Cu	Mo	Mn
1.5-2.0	-	0.2-0.5	0.45 max
0-2.5	0.5-1.0	0.1-0.3	0.7 max
0-3.0	0.4-0.6	0.2-0.4	0.25 max
-	0.5-0.7	0.15-0.3	0.50 max
KGDD analizi C % 2.9-3.6 Si % 2.2-3.0			

Alaşım elementlerinin seçiminde unutulmaması gereken hususlar şunlardır:Mangan sertleşme kabiliyetini kuvvetli derecede arttıran bir element olmasına rağmen,tane sınırında birikir ve kırılğan bir doku oluşturur,bu nedenle üst sınırı aşmamalıdır.

Molibden %0.5'e kadar olumlu etkilere sahip olup,bu miktarın üzerinde ştabil karbürler oluşturur,bu nedenle bakır ve nikel gibi elementlerle sertleşebilme kabiliyetinin arttırılması lazımdır.

13.3. Yüksek sıcaklık özellikleri:

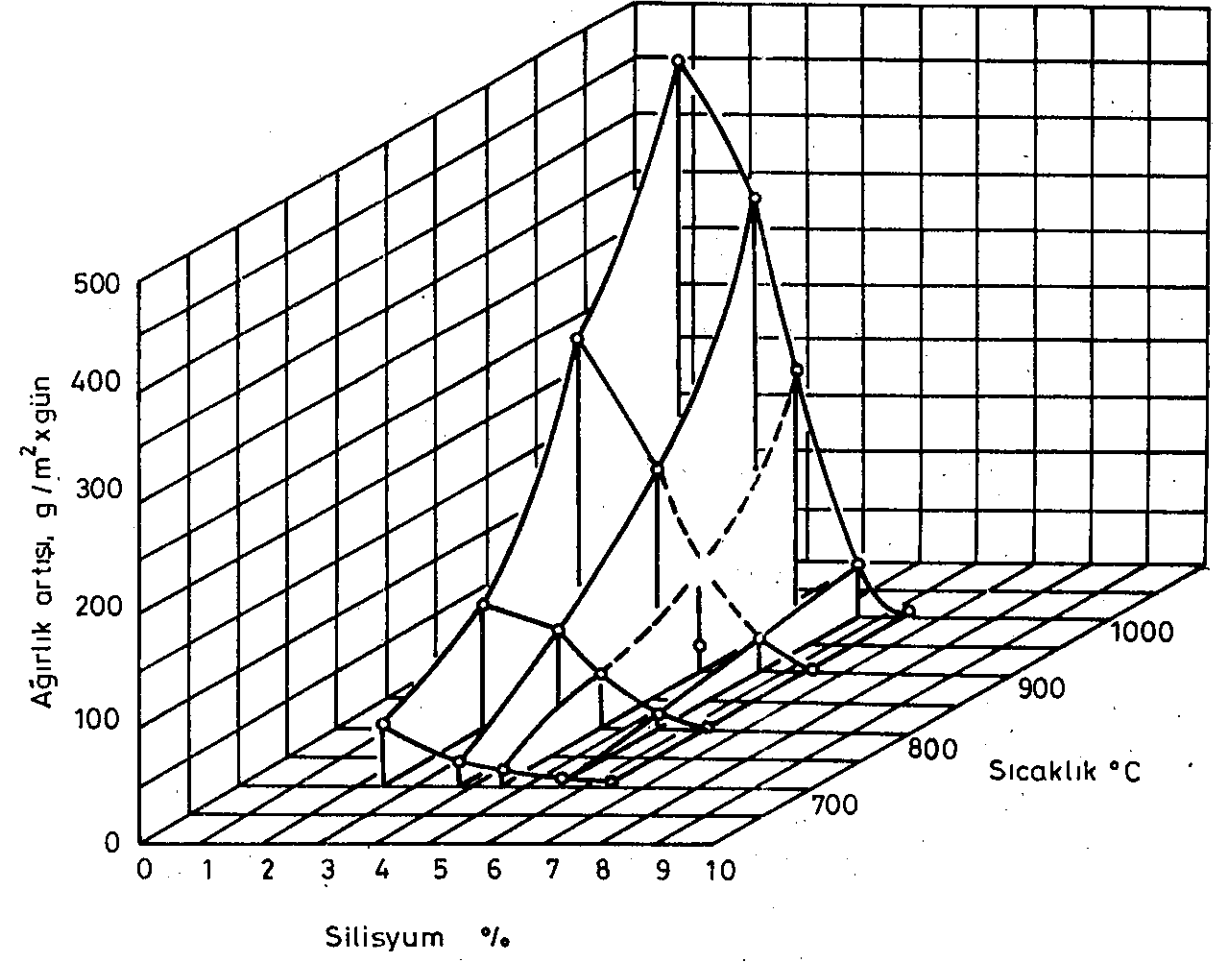
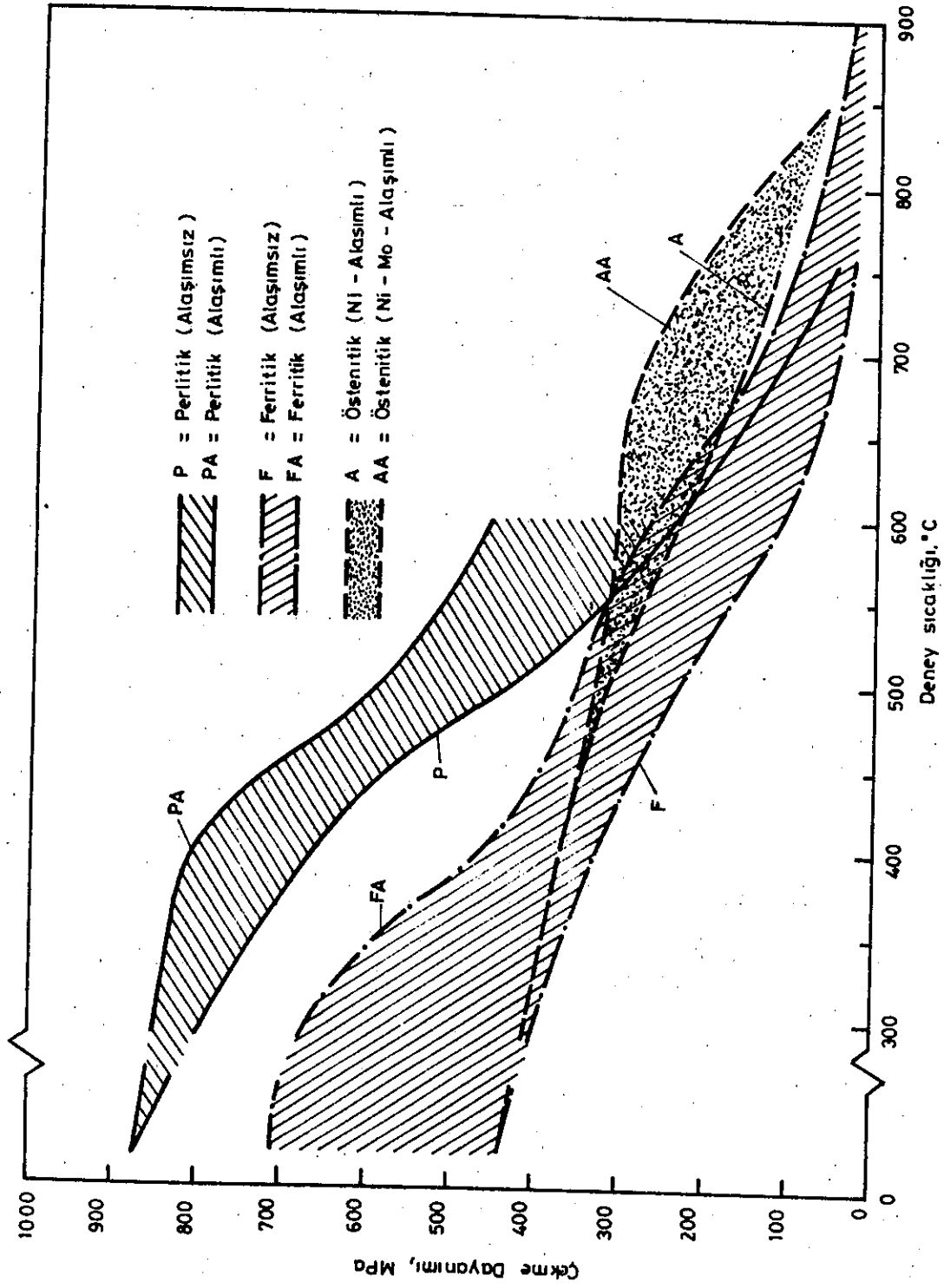
KGDD'in yüksek sıcaklıklarda kullanılmasında istenen ve alaşım elementleri ile sağlanan özellikleri Çizelge 50 de verilmiştir.

Çizelge 50 .KGDD'in yüksek sıcaklıklarda kullanılmasında gerekli olan alaşım elementleri miktarları ve sağlanan özellikler

Özellikler	Alaşım elementleri miktarı %
Oksidasyona karşı direnç	4-6 Si
Doku ştabilliği	3-5 Si
Sürünme mukavemeti	0.4-2 Mo
Isı şokuna karşı direnç	0.4-2 Mo

13.3.1 KGDD'in yüksek sıcaklıkta ferrit dönüşümüne olan hassasiyeti perlit ştabilliğini sağlayan bazı elementlere sahip olmasını zorunlu kılar.Ancak 400°C nin üzerinde perlit ştabilliği tam olarak yerine getirilemediğinden,ferrit dönüşümü başlar ve dolayısı ile mukavemet değeri düşer. (Resim 218)
Element olarak krom,kuvvetli karbür yapıcı etkisi nedeni ile KGDD lerde kullanılmadığından ve yukardada belirtildiği gibi kalay ve bakır ile uzun süre yüksek sıcaklığa maruz kalındığında kısmi bir perlit dönüşümü kaçınılmaz olduğundan,yüksek sıcaklıklarda sadece ferritik KGDD'ler kullanılır. Alaşimsız KGDD'lerde bile oksidasyona karşı direnç lamel grafitli dökme demirlere nazaran daha iyidir

Bunun nedeni küresel grafitlerin homojen bir şekilde dağılmış olmaları ile iç oksidasyon olayının meydana gelmemesidir.Lamel grafitli gri dökme demirlerde lameller boyunca meydana gelen oksidasyon bu lamellerin birbirlerini kesmeleri ile malzeme içlerine kadar nufuz etmektedir.
Resim 219 da görüleceği üzere KGDD lerde silisyum miktarının arttırılması ile oksidasyona karşı direnç fazla-
laşmaktadır.



Silisyum miktarı % 4'ün üzerinde parça yüzeyinde sıkı ve alt kısımların oksidasyonunun önleyen bir tabaka oluşmaktadır. Östenit dönüşüm sıcaklığı geçildiğinde hacimsel değişimler nedeni ile bu tabaka kısmen ayrılmakta ve oksidasyon kuvvetlenmektedir. Bu sebeple KGDD lerin yüksek sıcaklıklarda kullanımında üst sıcaklık ferrit-östenit dönüşümü olarak sınırlandırılır.

Dönüşüm sıcaklığı, silisyum miktarı arttıkça kuvvetli olarak yükselmektedir, karbon miktarının etkisi çok daha az olmaktadır. Bu nedenle yüksek sıcaklıklara maruz kalan KGDD lerin yüksek silisyum miktarında seçilmesi gerekir (Resim 220 , Çizelge 51)

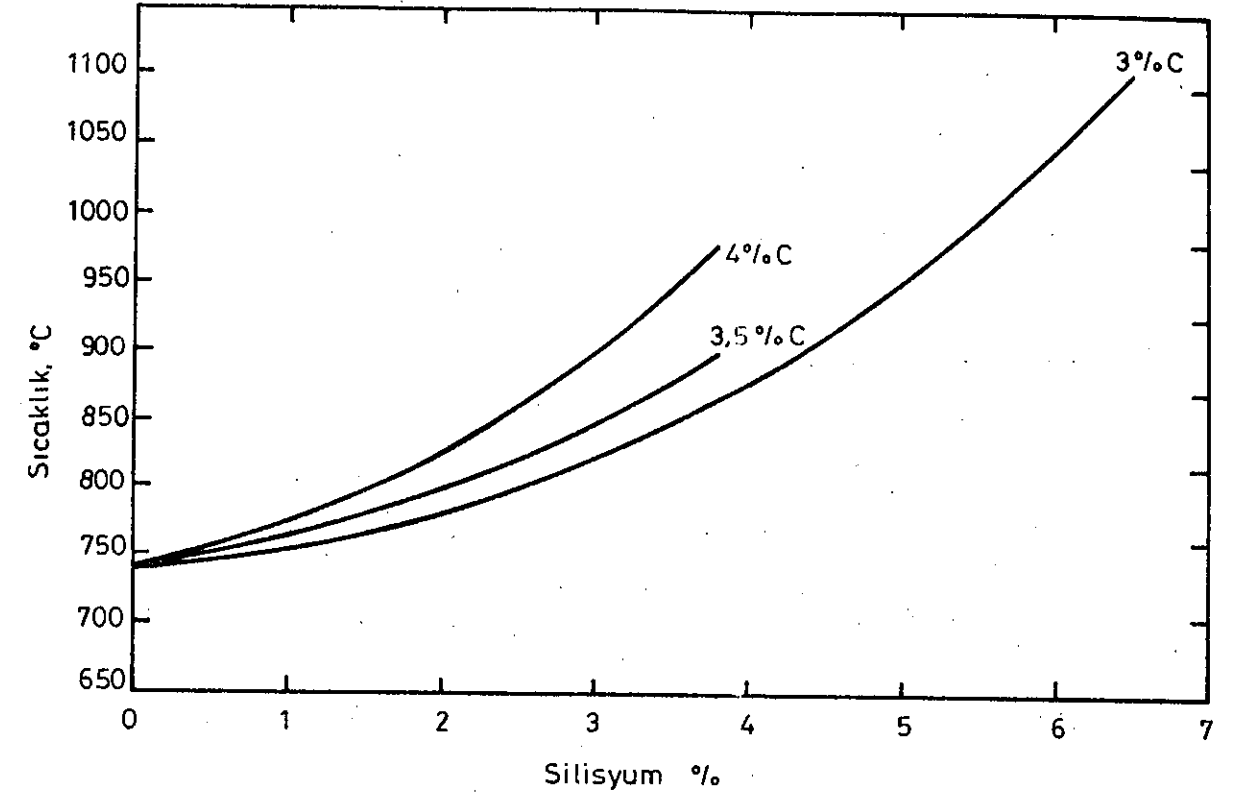
Ferritik KGDD lerin yüksek sıcaklık özelliklerini olumlu bir şekilde etkileyen element molibden olup, genellikle % 0.5 miktarında kullanılır.

13.3.2: Isı şokuna dayanıklılık,

Isısal şartlar, periyod sıcaklık raliği, azami sıcaklık ısıtma ve soğuma hızı ile belirlenir. Isı şokuna dayanıklılık, termik yorulmaya direnç yüksek ısı geçirgenlik kat sayısı, düşük elastiklik modülü ve ısı şartlarında yüksek çekme dayanımı gibi özelliklerin mevcut olmasına bağlıdır. Ferritik, yüksek silisyum miktarında molibden alaşımlı KGDD ler bu özelliklere sahip bulunmaktadırlar. Çizelgede 52 bir ısı şoku deneysel çalışma sonuçları lamel, vermicular ve küresel grafitli dökme demir malzemeleri için gösterilmiştir.

13.4. Isı geçirgenlik ve genleşme katsayıları,

Karşılaştırmacı olarak bu özellikleri Çizelge 53 vermektedir. Isı geçirgenlik kat sayısı düşük silisyum miktarına sahip ferritik KGDD lerde en yüksek değerde bulunmaktadır. Perlitik KGDD lerde, sementitin mevcut olması bu özelliği olumsuz etkilemekte, fakat yüksek silisyum miktarında ısı geçirgenlik kat sayısı dahada düşmektedir. Östenitik KGDD lerde ısı geçirgenlik kat sayısı, ferritik ve perlitik KGDD lerin değerinin çok altındadır. Isı genleşme özelliği ferritik ve perlitik KGDD lerde hemen hemen aynı değerlerde bulunmakta, buna karşın östenitik KGDD ler yüksek genleşme kat sayısına sahiptirler (Çizelge 53).¹¹⁹



Resim 220 . Silisyum ve Karbon miktarının A₁-sıcaklığına etkisi.

Çizelge 51 KGDD'lerin oksidasyon tabakası kalınlığı (Farklı sıcaklıklar ve süreler)

Alaşım	Test şartları	Oksit tabakası K. mm
a) 705 C		
2.8Si-1.0 Mo	50 2- süreli	0.05
4.0Si-0Mo	"	0.025
4.0Si-1.0Mo	"	0.038
4.0Si-2.0Mo	"	0.025
4.0Si-1.0 Mo	1000 saat	0.076
b) 815 C		
2.8Si-1.0Mo	50 2-süreli	0.47
4.0Si-0 Mo	"	0.076
4.0Si-1.0 Mo	"	0.038
4.0Si-2.0 Mo	"	0.05
4.0Si-1.0 Mo	1000 saat	0.10
c) 870 C		
4.7Si-1.0Mo	1000 saat	0.18
d) 925 C		
5.9Si-1.0 Mo	1000 saat	0.025
2.1Si-5Al-2 Mo	"	0.15
3.1Si-5Al-2 Mo	"	0.007

Çizelge 52 Termal şok kopma deneyi sonuçları.

Malzeme	Kopmaya kadar termal şok sayısı
Lamel grafitli D.D.	
Termal şok 100-540°C	
Baz dökme demir (1)	51
+0.3 Cr	48
+0.5 Cr - 0.6 Ni - 0.6 Cu	78
+0.3 V - 1.5 Cu	124
+0.4 Mo - 0.08 Sn	178
+0.5 Cr - 0.4 Mo	221
+0.3 Cr - 0.5 Mo - 0.09 Sn	288
+0.8 Mo - 0.06 Sn	511
Vermicular, kompakt grafitli D.D.	
Termal şok 200-650°C	
Alaşımsız, perlitik	80
% 3,6 Si - 0,5 Mo - ferritik	248
Küresel grafit D.D.	
Termal şok 200-650°C	
Ferritik	
Alaşımsız (% 2,1 Si)	80
% 3,6 Si	173
% 3,6 Si + 0,4 Mo	375
% 4,4 Si + 0,2 Mo	209
% 4,4 Si + 0,5 Mo	493
Östenitik	
D 5 S - Tüü	364
D 5 S + % 0,9 Mo	566

1) C % 3,4 , Mn % 0,6 , Si % 1,7 , S % 0,08 , P % 0,03

Dökme Demir	Isı geçirgenlik katsayısı		Isı genleşme katsayısı	
	W/m.K		μ.cm / cm.°C	
Lamel grafitli D.D.	100°C	400°C	0 - 500°C	
% 3.35 C. % 0.65 Si	56,5	47,7		
3.2 C. 1.6 Si	50,7	44,8		
3.1 C. 2.5 Si	44,4	40,6	13,0 - 14,5	
Küresel grafitli D.D.			20-200°C	20-650°C
Ferritik	35,4	34,4	11,7-11,8	
Perlitik	31,4	31,9	11,8-12,6	
Ferritik (% 4 Si)	25,1	28,9	11,8	
Östenitik (D 2)	13,4		18,2	18,9

Çizelge 53 Bazı dökme demirlerin ısı geçirgenlik ve genleşme katsayıları

13.5.KGDD'in ısı işlemleri ile ilgili pratik bilgiler

13.5.1.Yumuşak tavlama,

Bu ısı işlemin amacı döküm durumunda mevcut olan karbürlerin çözümlerinin ve ferritik kolay işlenebilen bir ana dokunun sağlanmasıdır.

Ferritleştirici tavlama,

Bu ısı işleminde, östenit-ferrit dönüşümü alt ve üst kritik sıcaklıkları büyük bir öneme sahip olduklarında, aşağıda silisyum miktarına bağlı olarak verilmişlerdir: 120

$$\text{Alt kritik sıcaklık } A_{1,1} = 738 + 18 (\text{Si})^{1.75}$$

$$\text{Üst kritik sıcaklık } A_{1,2} = 738 + 5 (\text{Si})^2$$

Karbürlerin çözümlerinin sağlanması için, 100°C/saatlik bir ısıtma hızı ile 900°C ye parça ısıtılır. Bu sıcaklıkta 2 saat, ve 25 mm den sonraki her 25 mm et kalınlığı için 1 saat bekletilir. Daha sonra, alt kritik sıcaklığın 55°C altına kadar parçalar fırında soğutulur. Bu sıcaklıkta tekrar 5 saat bekletilen parçalar, sonra havaya alınarak oda sıcaklığına kadar soğutulurlar.

Düşük miktarlarda perlitli stabilleştirici, bakır ve mangan gibi elementler mevcut ise, uzun bekletme sürelerine gerek kalmaksızın ferritleştirme yapılır.

Bu işleminde 900°C de 2 saat bırakılan parça, mangan miktarına bağlı olarak,

$$\% 0.1 \text{ Mn için } 55^\circ\text{C/saat}$$

$$\% 0.5 \text{ Mn için } 25^\circ\text{C/saat'lık soğutma}$$

hızı ile, kritik dönüşüm bölgesi altındaki bir sıcaklığa, 595°C inilir ve sonra parça havada soğumaya terk edilir. Döküm parçasının karbürleri ihtiva etmediği bilindiği takdirde, alt kritik sıcaklığın altında ferritleştirme işlemi uygulanır. Bunun için alt kritik sıcaklığın 55°C altındaki sıcaklığa çıkarılan döküm parçası 5 saat ve her 25 mm et kalınlığı 1 saat daha bu sıcaklıkta bırakılır ve akabinde yavaş bir soğuma hızı ile 595°C ye fırında soğutulur ve daha sonra dışarı alınarak havada soğumaya terk edilir.

Mukavemet arttırıcı ısıtma işlemler,

13.5.2 Normalizasyon(Perlitleştirme),

Ana doku karbür ihtiva etmiyorsa,normalizasyon sıcaklığı,üst kritik sıcaklığın 30 °C üzerinde seçilir.Karbürler mevcut ise, bu sıcaklık 900°C olarak alınmalıdır.Parçanın bırakma süresi ilk 25 mm kalınlık için 1 saat,sonraki her 25 mm için yine 1 saat tir.Bu sıcaklıktan parçanın soğuması,eğer parça kalınlığı 38 mm fazla ise hava sirkulasyonu içinde,değilse durgun havada yapılmalıdır.

Et kalınlığı 60 mm nin üzerinde olan parçalar su duşu ile soğutulabilirler.

Parçaların normalizasyon sonu,595 °C de 5 saat gerilim giderici tavlama işlemine tabi tutulmaları genelde uygulanan bir yöntemdir.315 °C ye kadar soğutma hızı 55 °C/ saat olarak alınmalıdır.

13.5.3. Çiftli normalizasyon:

Normalizasyon ısıtma işleminin bir diğer şekli olan bu işlemle akma sınırı % 2,sertlik değeri % 10 daha düşmekte buna karşın uzama değeri ortalama % 50,çentik mukavemeti % 50-150 artmaktadır.

Bu işlem,1 kademede 925°C de yapılan homojenleştirme tavlamasından ve bunu takip eden üst kritik sıcaklığın 30°C üzerinde kısa süre bırakma ve sonra bilinen normalizasyon ısıtma işleminden ibarettir.

13.5.4. Sertleştirme ısıtma işlemi:

Üst kritik sıcaklığın 50°C üzerinde östenitlendirilir,parça ferritleştirmede olduğu gibi et kalınlığına bağlı olarak bu sıcaklıkta bırakılır ve sıcaklığı azami 95°C olan yağda soğutulur.25 mm et kalınlıkları üzerinde yağda soğuma sonu dokuda ferrit bulunabilir.

Sertleştirmeyi meneviş ısıtma işlemi takip eder,böylece süneklik özellikleri arttırılır.

13.5.5. Martempering(Tuz banyosunda sertleştirme):

Çeliklerde olduğu gibi KGDD lerdede bu ısıtma işlem uygulanır. Östenitlendirme sonrası,Ms-sıcaklığının 50°C üzerinde parça bir tuz banyosunda belli bir süre bırakılır .Bu işlem esnasında aynı zamanda parçada ısı dengesi sağlanır ve sonra havada soğutulur.

Bu işlem sonu doku martenzitik olup,işlemin gayesi komplike tasarımlı parçalarda yüksek mukavemet ve süneklik özelliklerinin beraberce varolunmasını sağlamaktır.

13.5.6. Austempering(Ara kademesi ısıtma işlemi):

Bu ısıtma işlem ile aşınmaya dayanıklı ve yüksek sertlik,mukavemet özelliklerinde iğnemsiz (Acicular) beynitik doku elde edilir. Kimyasal analiz yönünden parçaların nikel ve molibden ihtiva etmeleri gerekli olup,ısıtma işlem östenitlendirme ile başlar. Bundan sonra parça,260-480°C leri arasındaki bir tuz banyosunda beynit dönüşümü sağlanıncaya kadar bırakılır,ve havada soğutulur. Erişilen sertlik değerleri 275-375 HB arasındadır.İstila işlem sıcaklığı düştükçe,sertlik değeri artar.

13.5.7 Yüzeysel sertleştirme:

Parçaların dış yüzeylerinde belli kalınlıkta sert birtabakanın olması istendiğinde bu ısıl işlem uygulanır. Parça özü süneklilik özelliklerini korur.

İnduktif veya alevle parça yüzeyi östenitleştirme sıcaklığına hızlı bir şekilde tavllanır ve sonra genelde suda soğutulur. Ferritik KGDD ler perlitik KGDD lere nazaran yüzey sertleştirme işlemine daha az uygundur. Pratik olarak erişilen azami sertlik değeri 60 HRC dir.

13.5.8 Nitrasyon:

Çeliklerde olduğu gibi KGDD ler azot gazı ortamında uygun sıcaklıkta 2-3 saat bırakıldıklarında yüzeylerinde 60 HRC sertliğine erişirler.

Silisyum'un azot yayılım hızını düşürmesi nedeni ile ferritik KGDD (yüksek silisyumlu) ler bu işlem için uygun değildirler. Bu nedenle nitrasyon işleminin uygulanacağı KGDD lerin silisyum ve titan miktarlarının az olması lazımdır.

13.5.9 Alüminyum kaplama:

KGDD parçaları 700°C de 20 dakika süre ile eriyik alüminyum içinde bırakıldıklarında, dış yüzeylerinde oksidasyona dayanıklı bir tabaka oluşur.

13.5.10. Yüzeysel oksidasyon:

KGDD parçalarının ısıl işlemleri esnasında yüzeysel bir oksidasyona müsaade edilmediğinde, koruyucu veya nötr atmosferli ısıl işlem fırınlarında çalışılmalıdır. Örneğin segmanlarda olduğu gibi.

14.) KGDD lerde görülen hatalar,

KGDD parçaları üretiminde kalite emniyetine verilen önem, kullanıcı isteklerinin zorunluğu kıldığı yönde, gün ve gün dahada artmaktadır. Böylece geliştirilmiş yeni tekniklerin uygulanmasına gidilmekte, üretim kontrol optimizasyonu en üst düzeyde tutularak bu isteklere karşılık verilmektedir.⁴⁴

KGDD'in diğer dökme demir türlerine nazaran üretim yöntemindeki farklılığı, kendine özgü katılaşma olgusu, hatalara neden olan parametrelerin bazılarını oluşturmaktadır.

Değişen yöntem parametreleri ile döküm parçası yüzey, doku ve mekanik, teknolojik özellikleri arasındaki ilişkilerin bulunması ve değerlendirilerek teknik ve ekonomik elverişlilikleri verir hale getirilmeleri döküm mühendislerinin görevi olmaktadır. Bunun yanında, en uygun üretim tekniği, devamlı geliştirilen malzemeler içersinden en uygununun seçimi yöntem kontrolü ve yüksek mamul kalite seviyesinin sağlanmasında ana unsurlardır. KGDD parçalarında görülen hatalar genel olarak 4 grupta açıklanır⁴⁴, bunlar:

- 1.) Grafit şekil bozukluğu, küreselleşme
- 2.) Ana doku hataları
- 3.) Yüzey hataları
Gaz, curuf, kalıplama kumu nedenli
- 4.) Çekinti, iç boşluklar, lunke.

Çizelge 54 de bu hatalara neden teşkil eden parametreler verilmişlerdir.

Belirtilen hatalar ile ilgili parametrelerin etkileri bundan önceki bölümlerde açıklanmıştır. KGDD lerde yüzey hatalarına ana neden olan eriyikteki metalik olmayan inklüzyonlardır. Neden olarak bazen dökümhane bünyesinde ergitme süreci esnasında veya yolluk tasarımının uygulanmasında bazı yalınışların yapılmış olabileceği kuşkusunu uyandırmaktadır. KGDD parçalarındaki bu hataların nedeni, eriyiğin küreselleştirme işlemi sonucu oluşan $MgSiO_3$ ve $MgSiO_4$, magnezyum silikat inklüzyonlarıdır. Bu oksitler MgO ve MgS ile birlikte bulunabilirler.

Grafit şekil bozukluğu	Ana doku (Karbür mevcudiyeti dahil)	Yüzey hataları curuf v.s.	Çekinti (iç hatalar)
Mg - miktarı	Şarj Miz.	Mg - Miktarı	Analiz
Toprak-Alkali miktarı	Analiz	Mg -Alaşımı cinsi	Kalıp Miz.
Şarj malzemeleri	Parça kalınlığı	Aşılama	Kalıplama şekli (Makina)
Aşılama	Aşılama	Yolluk tasarımı	Döküm sıcaklığı
Parça kalınlığı	Isıl İşlem	Kalıplama Miz.	Yolluk - Besleyici tasarımı
Eriyik dağıtım zamanı (bekleme v.s.)	Döküm sıcaklığı	Döküm sıcaklığı	Aşılama
Analiz	Yolluk - Besleyici - tasarımı	Analiz	Döküm parça tasarımı (dizayn)
Kalıplama, Maça Miz.		Döküm parça tasarımı (dizayn)	

Barton, R
BCIRA, 1987
Intern Conference

KGDD lerin döküm tekniğinde yolluk tasarımına verilen önemin sebebi, döküm öncesi eriyiğin bu sülfid ve oksit inkulzyonlarından temizlenmesinin çok zor olmasından kaynaklanmaktadır.

Curuf yapıcı bazı bileşimlerin kullanılması, ibrikli pota ile çalışma ve çok iyi tasarlanmış bir yolluk sisteminin uygulanması sonucu KGDD parçalarda curuf nedenli hata oranı bazı durumlarda % 2.5 'un altındadır.

Inkluzyonların etkilediği en önemli mekanik özellik bilindiği gibi, yorulma kopmasıdır.

Curufun konvansiyel yolluk tasarımı ile bir derece tutulması yolluk sisteminin ağırlığının artmasında yol açmaktadır. Genel olarak otomotif endüstrisi için KGDD parçaları dökülen bir dökümhanede, yolluk sistemi toplam döküm ağırlığının % 20'sini oluşturur. (Resim 221, 222).

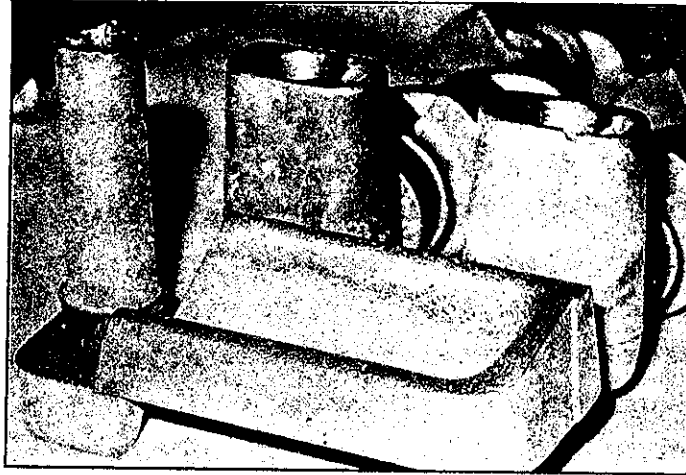
Son yıllarda bu problemin çözümünde çeşitli özelliklerde seramik köpük filtreler başarı ile kullanılmaktadır^{121,122}.

Çok kuvvetli bir curuf tutucu etkisi olan bu filtreler, basit bir şekilde yolluk sistemine yerleştirilmektedir.

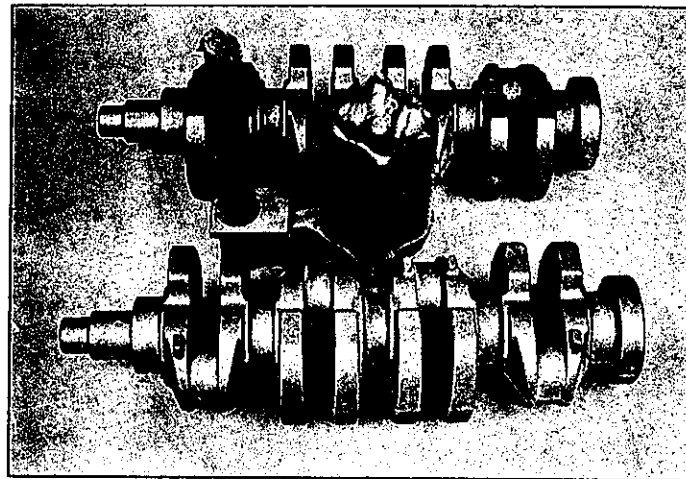
Bu uygulama esasen çok uzun yıllardan beri demir dışı metallerin (Aluminyum), dökümünde yapılmaktadır.

Filtrelerin kullanılması ile elde edilen elverişlilikler Resim 221-222de gösterilen krank mili örneği için aşağıda verilmiştir:

- 1.) Faydalanma derecesi, konvansiyonel yöntemde % 70, filtre kullanılması durumunda % 80 dir.
- 2.) Hatalı oranı % 3 ten % 0.2 ye azalmıştır.
- 3.) Parçanın işleme kabiliyeti artmıştır.
- 4.) Çekme dayanımı ve uzama değerleri yükselmiştir.



Resim 221. Konvansiyonel yöntemle dökülmüş KGDD krank mili. U-şeklindeki ağır yatay yolluk.



Resim 222. Filtre kullanılması ile yolluk sisteminin basitleştirilmesi.

15 .Kaynakça

- 1.) The first 25 Years of Ductile Iron
Modern Casting May 1973
- 2.) Gusseisen mit Kugelgraphit in der Konstruktion
Kessler, K.
Tech.Mitt.Jahrg.59, Heft 1, S.17-22, 1966
- 3.) BCIRA Intern.Conf.Birmingham 1987
Millis, K.D.
Forty Years where do we go from here ?
- 4.) Sfero Döküm Semineri
17.Ekim.1981 Döküm İzabe Ltd.Şti.
- 5.)Konstruieren-Giessen
Januar 1980, VDI-Verlag GmbH Düsseldorf
- 6.) Donaldson, E.G.
A Review of Selected Nodular Iron Applications
Casting Engineering Foundry World, Spring 1982, S.8-22
- 7.) Gerlach, H.G.
Neue Entwicklungen auf dem Gebiet austenitischer Gusseisenwerkstoffe
Sonderdruck Industrie Anzeiger Nr.87, 1973
- 8.) The uses of molybdenum in nodular iron
Climax Molybdenum Comp.
- 9.) Die Ni-Resist-Gusseisenwerkstoffe
Nickel-Informationsbüro GmbH Düsseldorf
- 10.) Janowak, J.F., Gundlach R.B., Eldis G.T., Röhrig K.
Technical Advances in cast iron Metallurgie
Climax Molybdenum Comp. M-572
- 11.) Reiferscheid, K.J.
Besondere Eigenschaften des Gusseisens mit Kugelgraphit und seine Verwendung im Motorenbau
Motor Techn.Z.23(1962), Nr.4, S.108-113
- 12.) Neue Werkstoffe für Kolbenringe
F.Goetze A.G.
VDI-Nachr.17(1963), Nr.39, S.5
- 13.) Dück, E.G.
Kolbenring Handbuch
Goetze A.G. 3.Auflage, 1977, S.41

- 14.) Mahnig, F.
Product development, the future for automativ casting
BCIRA (kaynakça 3)
- 15.) Kuhn, G., Reuter H.
Gusseisen mit Kugelgraphit im Grossmaschinenbau
Konstr. u. Gissen 1976, Nr. 1, S. 15-21
- 16.) Hugelmann, H.
Verwendung von Rohren aus Duktilen-Gusseisen zum Transport
von Wasser u. Gas
Rohre Gas Wasser Nr. 11, 1976, S. 40-46
- 17.) Zöllner, H.
Duktile Gussrohre sichern die Wasserversorgung der Küsten-
region in Kenia
Rohre Gas Wasser Nr. 14, 1979, S. 33-36
- 18.) Volovka, L.
Entwicklung der Herstellung von Kokillen
Giess.-Techn. 22, 1976, Nr. 12, S. 419-21
- 19.) Pechiney Electrometallurgie, Paris
- 20.) Giesserei-Kalender 1980, S. 73-80
- 21.) DIN Taschenbuch 4, 1970
Stahl u. Eisen Gütenormen
- 22.) Dodd, J.
High Strength high Ductility Ductile Irons
Climax Molybdenum Comp. M-344
- 23.) Karsay, S. I.
Gusseisen mit Kugelgraphit I
Grundlagen u. Technologien 1976, S. 8-9
QIT-Fer et Titane GmbH
- 24.) Solermetal Suggestions for Ductile Iron Production
QIT-Fer et Titane GmbH
- 25.) Izgiz, S.
Lamel Grafitli Gri Dökme Demirin Aşılması ve Kalitesini
Belirleyen Matematiki İlişkiler 1985
- 26.) Schumann, H.
Metallographie, VEB Leipzig, 1962
- 27.) Das Zustandsschaubild Eisen-Kohlenstoff
Verlag Stahleisen GmbH, 1961, 4 Auflage

- 28.) Neumann, F., H. Schenck, W. Patterson
Giesserei Techn. Wiss. Beih. Nr. 23, 1969, S. 1211-1246
- 29.) Ohlmes, H.
Bestimmung des Kohlenstoff- und Siliciumgehaltes
in Gusseisenschmelzen durch Messung der Liquidus- und
metastabilen eutektischen Temperatur
Giesserei 63(1976), Nr. 25, S. 714-718
- 30.) Czikeh, J., Hummel, R.
Qualitätsbestimmung von Gusseisen mit der thermischen
Analyse
43. Intern. Giessereikongress Bükreş 1976
- 31.) Herfurt, K., Ziegler, E.
Entstehung von Kugelgraphit
Giess.-Techn. 24(1978), Nr. 5, S. 171-175
- 32.) Bader, E. I.
Einfluss des gelösten Sauerstoffes auf die Graphitform
in Gusseisen
Giesserei 64(1977), Nr. 1, S. A 12
- 33.) Kavelage, L., Pötschke, J.
Wachstumform des Graphits
Giesserei 66(1979), Nr. 8, S. 229
- 34.) Rooyen, van G. T.
Bildung von Kugelgraphit
Internat. Cast. Metall J. 1(1976), Nr. 3, S. 53-55
- 35.) Mc. Swain, R. H., Bates C. E.
Giesserei 64(1977), Nr. 15/16, S. 411-412
- 36.) Milman, B. S.
Phasengrenzflächenspannung und Kristallisationsform
des Graphits in flüssigem Eisen
Giesserei 64(1977), Nr. 10, S. 70
- 37.) Okumoto, T.
The electron micrographs of graphite in various
cast iron, 1953
Hitachi Ltd-Japan
- 38.) Knothe, W.
Practical application of thermal analysis as an aid
to strict metallurgical control
BCIRA 1987

- 39.) Deutsches Roheisen
Informationsstelle Deutscher Roheisen
Roheisenverband Düsseldorf 1.459/84
- 40.) KVI-Segman ergitme şartnamesi
Goetze A.G. Burscheid
- 41.) Brokmeier, K.H.
Induktives Schmelzen
BBC A.G. Girardet Verlag 1966
- 42.) Morogh, H.
S.G. irons-in retrospect and for the future
BCIRA, 1987
- 43.) Borton R.
The Impact of process selection and developments on
casting structure and defects
BCIRA, 1987
- 44.) Borton, R.
S.G. iron, possible structural defects and their prevention
Foundry Trade Journal 14 July, 1983, Vol 155, S.40-63
- 45.) Izigiz, S.
KVI, KGDD segmanları üzerine elektronmikroskopik inceleme
Aachen Tü, Gemeinschaftslabor für EM, 1983
- 46.) Sy, A.de
Anwendung von Kupfer in Gusseisen mit Lamellengraphit
Giesserei 51(1964), Nr.2, S.25-32
- 47.) Röhrig, K.
Kupfer in Gusseisen mit Kugelgraphit
Giesserei 51(1964), Nr.2, S.33-39
- 48.) Neumeir, L.A., Betts B.A., Desy D.H.
Alloyed Cast Iron, Annual Review 1976, S.13-14
Climax Molybdenum Comp. M-348
- 49.) İzigiz, S.
Çelik El Kitabı, TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası 1979
- 50.) Continuous Cooling Transformation Diagrams For Ductile Irons
Climax Molybdenum Comp. M-545
- 51.) Dorazil, E.
Zwischenstufenwandeln von Gusseisen mit Kugelgraphit
Giesserei Praxis Heft 18, 1979, S.355-366

- 52.) Dorazil, E., Barta B., Munsterova, E.
Mechanische Eigenschaften von Zwischenstufenvergütetem
unlegierten Gusseisen mit Kugelgraphit
Giessereitechnik Vol.19, 1973, Nr.3, S.79-83
- 53.) Röhrig, K., Bertoni C.
Isothermische Waermebehandlung von Gusseisen mit Kugel-
graphit
Found.Ital. 28, 1979, Nr.10, S.265-270
- 54.) Yicheng, Z., Guiru, F., ve diğeri.
Ritzel und Tellerraeder aus zwischenstufen vergütetem
Gusseisen mit Kugelgraphit mit gegossenen Zaehnen
Giesserei 67, 1980, Nr.8, S.206-218
- 55.) Forrest, R.D.
The challenge and opportunity presented to the S.G. iron
industrie by the development of austempered ductile iron
BCIRA 1987
- 56.) Hornung, K.
Four years experience in making gears of austempered
iron (ADI)
BCIRA 1987
- 57.) Traeger, H.
Bainitic cast iron with spheroidal graphite
Nikel Ber. 20, 1962, Nr.1-2
- 58.) Röhrig, K.
Jahresübersicht legiertes Gusseisen (20 Folge)
Giesserei 70, 1983, Nr.12, S.370-377
- 59.) Adewara, J.O.T., Loper C.R.
Giesserei 64, 1977, Nr.15-16, S.421
- 60.) Bain, E.C., Paxton H.W.
Alloying elements in steel.
Amer.Soc. for Metals 1961
- 61.) Izigiz, S.
KGDD segmanları üzerine incelemeler.
Istanbul Segman ve Gömlek San.T.A.Ş. 1982-1987
- 62.) Stefanescu, D.M. ve diğeri
Herstellbedingungen für ferritisches Gusseisen mit
Kugelgraphit im Gusszustand
Giesserei-Praxis 1979, Nr.18, S.366-374

- 63.) Materials and Methods Ltd. Ingiltere
Technical Information 6
- 64.) Izgiz, S.
Kupol ve induksiyon ocaklarında dökme demir ergitilmesinin
yöntemsel ve metalurjik karşılaştırması
Metalurji Eylül, 1978, Sayı 19, S.16-21
- 65.) Geiger, C.
Handbuch der Eisen- und Stahlgießerei Band 1-3
Verlag von Julius Springer Berlin 1931
- 66.) Dahlman, A.
Jahresübersicht Kupolofen
Giesserei 64, 1977, Nr.17-18, S.447-456
- 67.) Sper, G.
Kupolofen Schmelzbetrieb
Fachbuchverlag Leipzig 1953
- 68.) Praxis des Schmelzens im Kupolofen
Giesserei-Verlag Düsseldorf 1969
- 69.) Abe, K.
Zusammenhaenge zwischen der Aufschwefelung von Gusseisen
von den Betriebsbedingungen eines saueren Kupolofens
Giesserei '63, 1976, Nr.23, S.654
- 70.) Sommer, F., Plöckinger E.
Elektrostahlerzeugung
Verlag Stahleisen Düsseldorf 1964
- 71.) Knupfer, P.
Factors determining the choice between a main frequency
or midium frequency melting furnace and their inter-
relationship
VII Intern.Junker furnace Conf. Lammersdorf
22-23 September 1982
- 72.) Neumann, F., Hegewaldt F.
Grenzbetrachtungen beim Schmelzen von Stahl und Eisen
im Induktionstiegelofen
BBC Druckschrift Nr. D 1040104 D

- 73.) Rudolf, K., Schwerte W.M.
Der moderne Schmelzbetrieb für die Herstellung hochwertiger
Gusstücke
BBC Nachrichten Nr. D GJO 40193 D
- 74.) Knödler, G.
Criteria governing the choice between mains frequency
or medium frequency crucible furnace
Kaynakça 71
- 75.) Gerbig, H.E.
Bedeutung des Mittelfrequenz-Induktionsofens für den
modernen Giessereibetrieb
Elektrowaerme Int.37, 1979, Nr.84, S.185-187
- 76.) Caspers, K.H.
Zur Frage der Haltbarkeit saueren Induktionsofen-
auskleidungen beim Schmelzen von Gusseisen
Giesserei 56, 1969, Nr.9, S.245-251
- 77.) Pötsch, E.
Anforderungen und Verfahren zum mechanisierten und
automatisierten Giessen von Gusseisen
Giesserei 64, 1977, Nr.10, S.262-267
- 78.) Svenska Silika GmbH Düsseldorf, Forshammer Group
- 79.) Tacone, C.
Rotary furnace permits firm to conform with low budget
Modern Casting Feb.1975, S.36-38
- 80.) Mittmann, E.
Der Drehtrommelofen zum Schmelzen und Duplizieren
von Gusseisen und Temperguss
Giesserei 66, 1979, Nr.4, S.85-88
- 81.) Löblich, H., Dahlmann, A., Orths K.
Metallurgische und Okonomische Gesichtspunkte
beim Schmelzen von Gusseisen im Drehtrommelofen
Giesserei 69, 1982, Nr.23, S.657-663

- 82.) Reuter, H.
Schrottbetr. 26, 1975, Nr. 10, S. 10
- 83.) Steffer, R.
ECE-Seminar über Verwendung von Eisenschwamm in der
Eisen- und Stahlindustrie
Stahl u. Eisen 96, 1976, Nr. 14, S. 679-682
- 84.) Dahlmann, A., Husmann G.
Einsatz von Schwammeisen
Giess.-Forsch. 1976, Nr. 4, S. 127-137
- 85.) Körber, F., Oelsen W.
Die Grundlagen der Entschwefelung des Roheisens mit
Soda und Natriumsilikaten
Stahl u. Eisen 34, 1938, S. 905-914
- 86.) Giesserei Lexikon 1978
Fachverlag Schiele u. Schön GmbH, Berlin
- 87.) Heine, H.
An overview of magnesium treatment processes which
have stood the test of time in Amerika
BCIRA 1987
- 88.) Steel, R.
The use of the flotret process for producing large
casting
BCIRA 1987
- 89.) Ettinger, C.J. ve diğerleri
A modern integrated system for metal treatment and
automatic pouring
BCIRA 1987
- 90.) Schumacher W.
Mixer tube- a new way of introducing fine grained
substances into metallic melts especially FeSiMg to
produce cast iron with nodular graphite
Kaynakça 71
- 91.) Smalley, O.
Treatment of nodular graphite iron by the in mold-process
Foundry Trade Journal, September 1975
- 92.) Mc Caulay, J.L.
Herstellung von Gusseisen mit Kugelgraphit nach dem
Inmold-Verfahren
Giesserei-Praxis, 1972, Nr. 20

- 93.) Holden W.W., Dunks C.M.
The practical application and economic aspects of the
Inmold-Process in the United States
Proc. I.B.F. LXXIII, 1980, S. 265-74
- 94.) Materials Methods Ltd İngiltere
Inmold Process Economic and Technical Advantages
Technical Informaton Nr. 3
- 95.) Smidt, D.
Why we changed from tundish to plunging
BCIRA 1987
- 96.) Henych, I.
Standing and progress of pure magnesium converter
technology in contemporary and future foundries
BCIRA 1987
- 97.) Foseco Foundry Practice Nr. 195, 1977, S. 8-11
- 98.) Superseed, eine Hochwirksame Impfmittel
Elkem GmbH Düsseldorf
- 99.) Blzel Electrometallurgie Fransa
- 100.) Foote Ferroalloys
Foote Mineral Comp. Exton USA
- 101.) Metallgesellschaft A.G. Frankfurt
Technische Verfahren Metallurgie/Giessereitechnik
- 102.) Klüser GmbH Duisburg
Alles für den Guss
- 103.) Hillner, G.F., Kleemann K.H. Thexton, T.J.
Mould Inoculation og Grey and Ductile Cast Iron
Foundry Trade Journal August 19, 1979
- 104.) Solid cast insert inoculation process for machine
molded castings with Gemaloy and Optigran
Metallgesellschaft A.G. Technische Information H.3
- 105.) Naumann, F.
Ein neues Verfahren zur Behandlung von Gusseisen-
schmelzen
Giesserei 64, 1977, Nr. 10, S. 279
- 106.) Karsay, S.I.
Ductile Iron, The State of the Art 1980
QIT-Fer et Titane GmbH

- 107.) Koch, P.
Laborautomatisierung bewirkt Kostensenkung in einer
Automobilgiesserei
Giesserei 70, 1983, Nr. 12, S. 366-370
- 108.) Jung, H.
Spektrochemische Analyse von Gusseisen
Giesserei 64, 1977, Nr. 6, S. 133-136
- 109.) Holzmüller, A., Kucharčík, L.
Atlas zur Anschnitt- und Speisertechnik für Gusseisen
Giesserei-Verlag 1975
- 110.) Włodawer, R.
Gelenkte Erstarrung von Stahlguss
Giesserei-Verlag 1967
- 111.) Rabinovic, B.V., Mai, R.
Grundlagen der Giess- und Speise-Technik für Sandformguss
VEB-Verlag Leipzig 1978
- 112.) Karsay, I.S.
Gusseisen mit Kugelgraphit Anschnitt und Speisertechnik
QIT-Fer et Titale Inc. 1981
- 113.) Tafazzoli, M., Kondić V.
Foundry Managem. Technol. 104, 1976, Nr. 12, S. 80-87
- 114.) Four alternative recommendation for feeding a hub
casting in spheroidal graphite iron
Foseco, Foundry Practice, June 1981
- 115.) Gittus, J.
The Hardenability of Spheroidal Graphite Cast Iron
Iron-Steel 32, 1959, S. 559-565
- 116.) Balloy, M. ve diğerleri
Heat Treatment of Spheroidal Graphite Cast Irons
Foundry Trade Journal 36, 1954, S. 91-97
- 117.) Rehder, J.E.
Quench-Temper Treatment Improves Nodular Irons
Iron Age, 19, 1952, Nr. 3, S. 89-93
- 118.) Röhrig, K., Fairhurst, W.
Wärmebehandlung von Gusseisen mit Kugelgraphit
Giesserei-Verlag 1979

- 119.) Doane, D.V.
The effects of alloying on the elevated temperature
properties of nodular iron
Climax Molybdenum Comp. M 550
- 120.) Hummer, R., Westerholt, W.
Untersuchungen zur Wärmebehandlung von Gusseisen mit
Kugelgraphit unter besonderer Berücksichtigung der
Herstellung von GGG-50
Giesserei-Praxis, 1989, Nr. 1-2, S. 15-20
- 121.) Simmons, W.
Foundry experience with metal filtration on the
production and properties of S.G. iron
BCIRA, 1987
- 122.) Qualitätsbesserung des Gusses durch Filtration
Foseco, Foundry Practice, Juli, 1984, S. 3-7

ENTERNASYONAL BİRİM SİSTEMİ TABLOSU
(Système International d'Unités SI)

	SI	cgs-sistemi	Anglo-Amerikan-sistemi
Uzunluk	m	m	inch, 1 in = 0.0254 m feet, 1 ft = 0.3048 m yard, 1 yd = 0.9144 m mile, 1 mile = 1609.344 m
Alan	m ²	m ²	lin ² = 6.4516.10 ⁻⁴ m ² lft ² = 0.092903 m ² lyd ² = 0.836126 m ² acre, 1 acre = 4047 m ²
Hacim	m ³ , l m ³ (0 °C, 1 bar)	m ³ , l cm ³	lin ³ = 1.63871.10 ⁻⁵ m ³ lft ³ = 0.028317 m ³
Kütle	kg	kg	pound 1 lb = 0.453592 kg ounce 1 oz = 0.028349 kg
Özgül ağırlık	kg/m ³	g/cm ³	1 lb/in ³ = 2.76799.10 ⁴ kg/m ³ 1 lb/ft ³ = 16.0185 kg/m ³
Basınç	Pascal, Pa Pa = N/m ² Bar = 10 ⁵ Pa	lat = 0.980655 bar latm = 1.19325 bar ltorr = 1 mm Hg = 0.00133322 bar lmSS = 0.1 bar	1 lbf/in ² = 0.068948 bar 1 in Hg = 0.033864 bar 1 in SS = 0.002491 bar 1 ft SS = 0.029891 bar
Isı	Joule, J	1 cal = 4.1868 J	1 Btu = 1055.06 J
Güç	W, kw	1 PS = 0.735498 kw	1 HP = 0.745700 kw
Sıcaklık	K	°K, °C	°F = 1.8 °C + 32
Gaskons.	R = 8.3143 J/mol K	R = 1.986 cal/mol °C	
Isı geçirgenlik kats.	W/m.K	1 kcal/m.h.K = 0.01163 W/m.K	
Kuvvet	N = 1 m.kg.s ⁻²	dyn = 1.10 ⁻⁵ N	