

**34765**

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DÖKÜM TEKNİĞİNDE  
SIVI AKIMI, AKICILIK ve AKICILIĞI  
ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Makina Müh. Burak TOKGÖZ

F.B.E. Makina Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usülleri Programında  
hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr. Hüseyin SÖNMEZ

İSTANBUL, 1994

## İ Ç İ N D E K İ L E R

### BÖLÜM 1

#### KATILAŞMA MEKANİZMASI

#### Sayfa No

1.0.	GİRİŞ	1
1.1.	SIVI METAL VE YAPISI	1
1.1.1.	Akıcılık	3
1.2.	KATILAŞMANIN TERMODİNAMIĞI	4
1.3.	DÖKÜM PARÇASINDAKİ SICAKLIK GRADYANI	7
1.3.1.	Sıcaklık Farklılığı Nedir ?	7
1.3.2.	Sıcaklık Farklılığı ve Modüllerde Değişim	8
1.3.3.	Katılma ve Besleme Derecesine Sıcaklık Gradyanının Etkisi	9
1.3.4.	Besleme Uzaklığına Etki Eden Faktörler	13
1.4.	SOĞUMA EĞRİLERİ	18
1.5.	ÇEKİRDEKLENME	21
1.5.1.	Homojen Çekirdeklenme	22
1.5.2.	Heterojen Çekirdeklenme	25
1.5.3.	Çekirdeklenme Oranı (Hızı)	26
1.5.4.	Uygulamalı (Uygulanabilir) Gerektirmeler	27
1.6.	BÜYÜME	28
1.6.1.	İnterfaz Yapıları	29
1.6.2.	Büyüyen Kristallerin Morfolojisi	31
1.6.2.1.	Saf Metallerde Büyüme	31
1.6.2.2.	Alaşımelerde Büyüme	32

1.6.2.3. Uygulamalı Durumlara Tatbik	33
1.6.3. Diffuzyon Vasıtası ile Çözünen Dağılımı	39
1.6.4. Alaşımarda Yapısal Aşırı Soğuma	40
1.6.4.1. Hücre Teşekkülü	42
1.6.4.2. Hücresel Dendritler	43
1.6.4.3. Alaşımarda Serbest Dendrit Büyümesi	44
1.6.4.4. Segregasyon	44
1.7. KATILAŞMA PROSESİ ANALİZİ	45
1.8. ÇOK FAZLI METAL VE ALAŞIMLARDA KATILAŞMA	57
1.8.1. Ötektikler	57
1.8.2. Peritektikler	57
1.8.3. Monotektikler	58
1.9. DÖKÜMLERİN YAPISI	59
1.9.1. Makroyapı	59
1.9.1.1. Soğutulmuş Kristaller Bölgesi (Soğutulmuş Bölge)	60
1.9.1.2. Sütunsal Kristaller Bölgesi	61
1.9.1.3. Eksenli Kristaller Bölgesi	64
1.9.2. Döküm Yapılarının Kontrolü ve Önemi	65
1.9.3. Dökümlerde Tane Büyüklüğü Kontrolü	67
1.10. BOŞLUKLARIN BAŞLANGICI	75

## BÖLÜM 2

### SIVI AKIMI, AKICILIK VE AKICILIĞI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

	<u>Sayfa No</u>
2.0. GİRİŞ	77
2.1. YOLLUK SİSTEMİ	78
2.1.1. Yolluk Tipleri	84
2.1.2. Yolluk Sistemleri Dizaynında Bazı Pratik Kurallar	88
2.1.3. Farklı Yolluk Tipleri Kullanımının Sebepleri	89
2.1.4. Dökme Zamanı	92
2.1.5. Dökme Hızı ve Sıcaklığı	95
2.1.6. Yolluk Sistemi Elemanları	97
2.1.6.1. Dökme Havzası (Havşa)	97
2.1.6.2. Düşey Yolluk ve Dizaynı	97
2.1.6.3. Düşey Yolluk Tabanı (Topuk, Hazne)	99
2.1.6.4. Düşey Yolluk - Yatay Yolluk Oranları	99
2.2. AKICILIK	102
2.2.1. Akıcılığı Etkileyen Değişkenler	107
2.3. ÇIKICILAR	112
2.3.1. Çıkıcı Tipleri	113
2.3.2. Katılma Modülü	113
2.3.3. Levhaların Katılma Zamanı ile Modülleri Arasındaki Bağlantı	* 116
2.3.4. Saf Malzemelerde Çıkıcı	117
2.3.5. Alaşımlarda Çıkıcı	124
2.3.6. Çıkıcı Dizaynı	127
2.3.6.1. Çıkıcıların Besleme Kapasitesi	127
2.3.6.2. Çıkıcı Hesaplamaları	128
2.3.6.3. Döküme Çıkıcı İrtibatı	128

Sayfa No

2.3.6.4. Çıkıcıların Konumu	131
2.3.7. Soğutucuların Kullanılması	134
2.3.7.1. Dış Soğutucular	134
2.3.7.2. İç Soğutucular	135
2.3.8. İzolatör (Yalıtıcı) ve Egzotermik Bileşimlerin Kullanılması	137
3.0. SONUÇ	139

## TE Ő E K K Ū R

Yüksek lisans bitirme tezi hazırladığım " Döküm Tekniğinde Sıvı Akımı, Akıcılık ve Akıcılığı Etkileyen Faktörler " konusundaki çalışmalarım süresince yardım ve desteğini benden esirgemeyen Sayın Yrd. Doç. Dr. Hüseyin SÖNMEZ 'e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Burak TOKGÖZ

## Ö Z E T

Döküm Tekniğinde sıvı akımı ve akıcılık konusu, dökümcülerin ve bu alanda çalışan kişilerin kusursuz döküm parçaları elde etmeleri için kesinlikle dökümdeki en az diğer problemler kadar öneme haiz, ihmale gelmez, çözüm isteyen bir problemdir.

Döküm ürünlerinin sonuç özellikleri esas olarak katılaşmaya bağlı olduğu için katılaşma aşaması, döküm prosesi esnasında en önemli hal-kadır. Katılaşmanın önemli ve bazan ihmal edilmiş bir tarafı olan sıvı akımı ve akıcılık dökümün iç yapısında etkileyen önemli bir etmeindir. Dolayısıyla akıcılığı etkileyen faktörlerde iç yapı üzerine etkir. Bu nedenle katılaşma sırasında alınacak tedbirler kadar sıvı metal akışı sırasında da alınması gereken tedbirler vardır. Kusursuz bir döküme ancak böyle varılabilir.

Ben de buradan yola çıkarak öncelikle konu ile direkt ilgili katılaşma mekanizmasını ele alıp daha sonra sıvı akımı ve akıcılık konusundaki prensipleri, problemleri, optimum çözüm yöntemlerini ve bunların sonuçlarını inceleyerek açıklamaya çalıştım. Konular gerektiğinde şekil, resim ve formüsel ifadelerle izah edilerek açıklandı. Ayrıca, tez konusuna hazırlık aşaması oluşturan bazı temel konulardaki genel bilgiler verildi ve burada özellikle farklı yayınlar takip edildi.

Bölüm 1 Katılaşma Mekanizmasını ve Bölüm 2 ise Sıvı Akımı, Akıcılık ve Akıcılığı Etkileyen Faktörleri içine almaktadır.

## S U M M A R Y

In Casting Technology, for workers, fluid flow and fluidity are very important problems as well as the others. This problems must be absolutely solved.

The solidification stage during any casting process in one of the most important sequence since the final properties of the cast products are depend mainly on solidification. In addition that fluid flow and fluidity which were sometimes neglected part of solidification effective on structures of casting. Consequently variables influencing fluidity are directly related to the structures of casting. There are many precautions that will provide sound casting.

So first of all, I took into consideration the solidification stage that is connected with fluidity, later I studied on principles, problems and optimum solutions of fluidity and fluid flow. When necessary subjects were brought out with tables, figures and formulations. Furthermore, general knowledges in apart of main subjects that constituted the preparation to this thesis subject were given and different literatures were searched.

Chapter 1 contains Mechanism of Solidification, Chapter 2 contains Fluid Flow, Fluidity and Variables Influencing Fluidity.

## B Ö L Ü M 1

### K A T I L A Ş M A M E K A N İ Z M A S I

#### 1.0. GİRİŞ

Döküm parçaları, metal döküm endüstrisi ürünleridir. Tek kademede sıvı metalden haddelene veya dövme gibi mekanik aracı çalışma operasyonlarının haricinde, önceden şekil verilmiş kalıplar içerisinde, sadece katılaşma yoluyla imal edilirler.

Döküm ürünlerinin sonuç özellikleri esas olarak katılaşmaya bağlı olduğu için katılaşma aşaması döküm prosesi süresince en önemli halkadır denebilir.

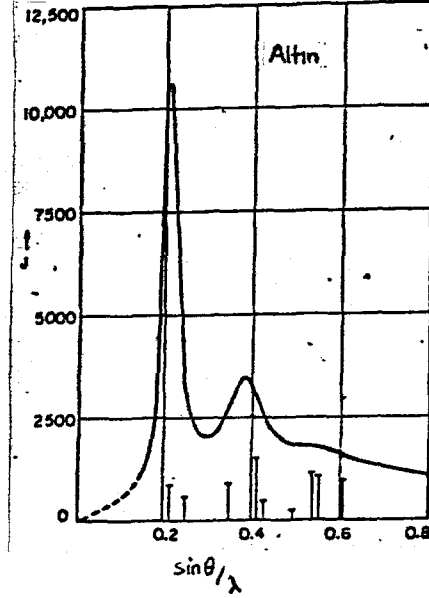
#### 1.1. SIVI METAL VE YAPISI

Katılaşma zinciri, bir döküm prosesi esnasında sıvı formunda metal veya alaşım ile başlar. Çekirdeklenme işlemini biraz uzatmak son döküm yapısına tesir eder ve bu yapı, sıvı metalin yapısı ve özellikleri tarafından etkilenir.

Sıvı incelemesi gerçek bir problemdir. Problemin analizinde komşu bileşenler arasındaki etkileşimler hesaba katılma ihtiyacındadırlar ancak bağıl atom durumları tanımlanmayabilir. Ferdi bir atomun çevre koşulu bir diğerine benzemez. Bununla birlikte teoriler geliştirilebilir.

Sıvı yapı teorileri yoğun gaz (yoğunlaşma teorileri), düzensiz katı (kafes teorileri) ve geometrik teoriler olarak göz önünde bulundurulup ayrılabilir.

Sıvılar üzerinde kırınım incelemeleri uygulanmıştır. Sıvı metalin X-Ray kırınım şiddetleri ve toz numunenin makul biçimde tanımlanmış maksimumları altın için Şekil 1.1.1 'de gösterilmektedir.



Şekil 1.1.1.1100°C' deki sıvı altın için X-Ray kırınım şiddeti. Kristalin altından ötürü toz numunedeki çizgiler şekline alt kısmında gösterilmiştir. (9)

Genel olarak :

- Atomlar arası mesafe sıvılarda katılara nazaran biraz daha büyüktür.
- Sıvılarda koordinasyon (yerleşim) sayısı, katılardan daha azdır. (Genellikle 8 ile 11).

Katı fazda altının atom yerleşim sayısı "12" dir. Gaz fazı halinde ise "0" dır. Katıdan gaza değişiklikte yayılmış gizli ısı, en yakın komşu 12 bağın yıkımından sorumludur. En yakın komşu bağlardan yalnız biri ergimede kaybolur. Ergimede, koordinasyon sayısının değişimi çok küçüktür.

Diğer yandan ergime esnasında özellikle koordinasyondaki küçük değişim göz önüne alındığında, entropide bir dereceye kadar (nisbi) bir artış vardır. Bu komşu atomların sayılarında veya ferdi atomların aralıklarında büyük bir değişim olmaksızın, ergime esnasında önemli bir düzen (durum) kaybı olduğunu gösterir.

Dağılma kabiliyeti ve viskozite, sıvının tabiatında var olan iki önemli özelliktir. Dağılma kabiliyetinin çekirdeklenme ve alaşımlama

süresince çözünen üzerinde önemli etkisi vardır. Sıvılarda atomların hareket edebilme oranı  $5 \times 10^{-5} \text{cm}^2 \text{dak}^{-1}$  dir ve sıradan metallerde ergime noktalarının hemen altında ve yaklaşık  $10^3$  kez katılardan daha hızlıdır. Viskozite ve akıcılık, döküm işlemi bir bütün olarak ele alındığında çok daha büyük önem taşır.

Ayrıca metaller sıvı haldeyken hacimlerinde değişir. Bu hacim değişiklikleri, bilinen bazı metaller için kristal yapıları ve erime noktalarıyla birlikte Tablo 1.1.1'de sıralanmıştır. Küçük büzülmelere sahip birkaç metal dışında, çoğu kez hacimde % 3-5 oranında bir değişim gözlenmektedir.

Tablo 1.1.1. Bazı metallerin ergimedeki hacim değişimleri. (8)

METAL	KRİSTAL YAPISI	°C ERGİME NOKTASI	% ERGİMEDEKİ HAC. DEĞ.
Aluminyum	Yüzey merk. kübik	660	+6
Altın	"	1063	+5.1
Çinko	Sıkı düz. hegz.	420	+4.2
Bakır	Yüzey merk. kübik	1083	+4.15
Magnezyum	Sıkı düz. hegz.	650	+4.1
Kadmiyum	"	321	+4.0
Demir	Hacim merk. kübik Yüzey merk. kübik	1537	+3.0
Kalay	Tetragonal	232	+2.3
Antimon	Rombohedrik (eş altı yüzlü)	631	-0,95
Galyum	Yüzey merk. ortrombik	30	-3.2
Bizmut	Rombohedrik	271	-3.35
Germanyum	Dia kübik	937	-5

#### 1.1.1. AKICILIK

Akıcılık, geniş manada sıvı metalin kalıba doğru mümkün olduğunca akması ve kalıp aralıklarını doldurma niteliği (kalitesi) olarak tanımlanabilir. Akıcılık, yalnız yoğunluk, viskozite gibi fiziksel bir özellik değil, kalıp içerisinde belirli şartlar altında davranışla ilgili karmaşık bir karakteristiktir.

Katılaşmayı çok yakından ilgilendiren akıcılık ve sıvı akımı konusu Bölüm 2' de ele alınacaktır.

## 1.2. KATILAŞMANIN TERMODİNAMİĞİ

Sıvıdan katı teşekkülü sıvıdaki sıcaklık dönüşümü ile başlar. Esas itibariyle katı kristalleri, oluştukları sıvıdan daha düşük enerji seviyesindedirler. Sabit sıcaklıkta dönüşümde serbest enerjideki değişim :

$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S \quad (1.2.1.)$$

ile ifade edilir. İki faz arasında dengede  $\Delta G = 0$  'dır.

Bu dengesel erime noktasını ( $T_m$ ), kaynama noktasını ( $T_b$ ) ve metastabil (yarı kılımlı) dönüşüm noktalarını ( $T_{\alpha, \beta}, \dots$ ) belirler. (Şekil 1.2.1.).

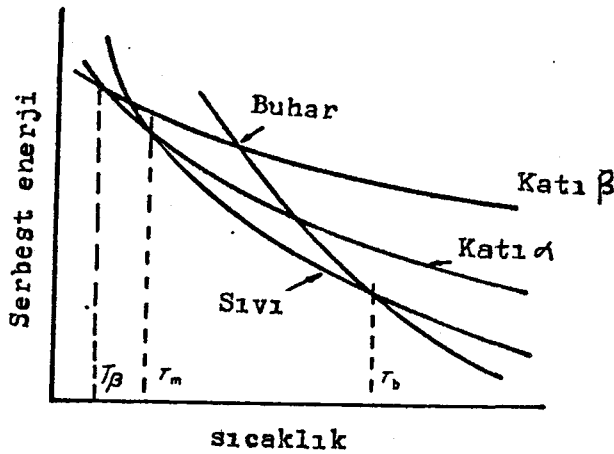
$T_F$  'de  $\Delta G = 0$  Bu nedenle  $0 = \Delta H - T_F \Delta S$  veya (1.2.1.) 'den

$$\Delta S = \frac{\Delta H}{T_F} \quad \text{sabit basınçta}$$

$$\Delta G = \Delta H - \frac{T \Delta H}{T_F}$$

$$\Delta G = \frac{\Delta H (T_F - T)}{T_F}$$

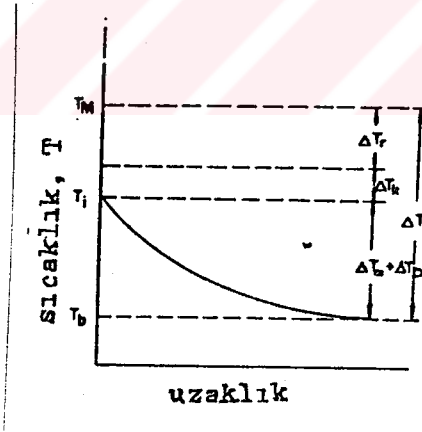
$$\Delta G = \frac{L \Delta T}{T_F} \quad (1.2.2.)$$



Şekil 1.2.1. Metalik fazların serbest enerjilerinin sıcaklıkla değişimi . (9)

Burada  $\Delta G$  serbest enerjiler arasındaki fark, dönüşüm itici kuvvetini sağlar.  $\Delta T$  dengesel ergime noktası ve dönüşüm sıcaklığı arasındaki aşırı soğuma olarak bilinen sıcaklıktır.

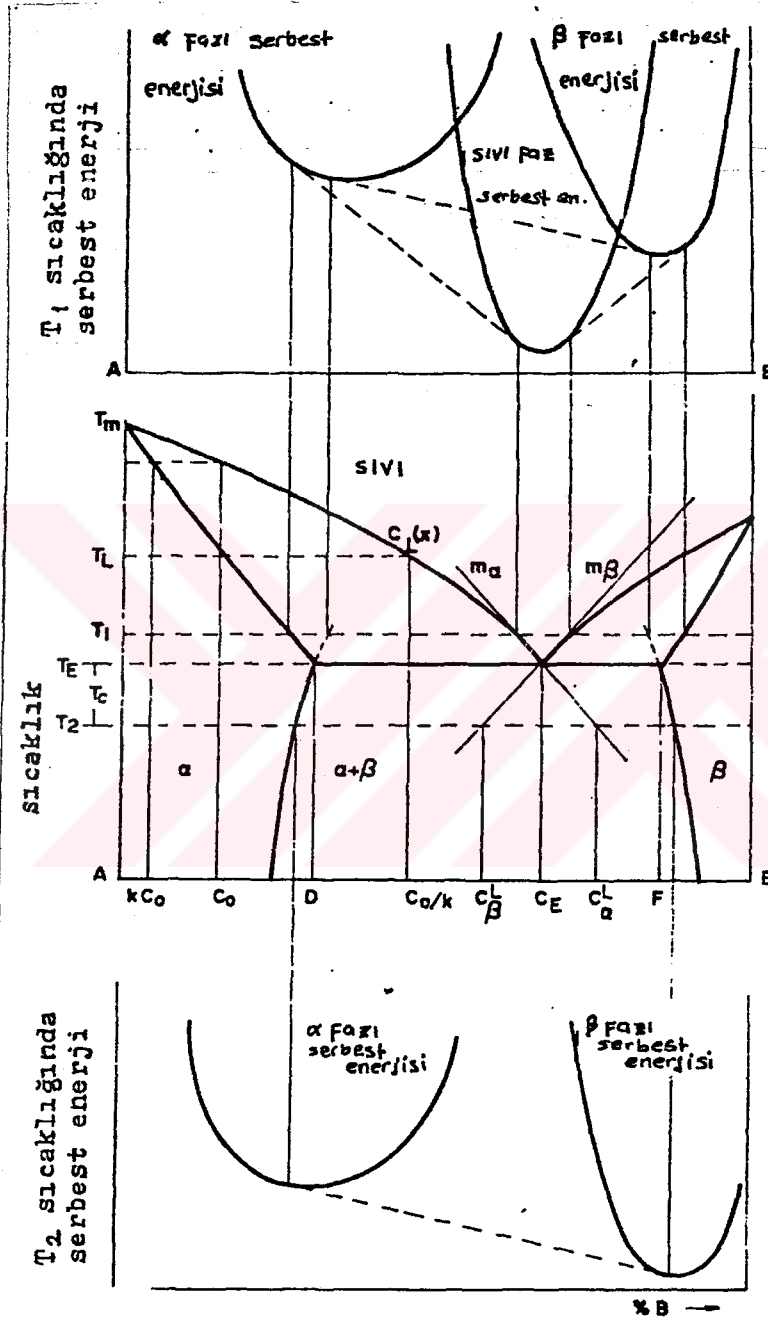
Katılaşılan bir sistemin tam aşırı soğuması farklı (çeşitli) aşırı soğumalardan anlaşılır: Büyüyen bir ucun dengesel ergime noktası eşrillik yarıçapından ileri gelen altsoğuma ( $\Delta T_r$ ) miktarı sayesinde bastırılır. (zayıflatılır, yavaşlatılır). Ara yüzey oynar olduğundan, gerçek arayüzey sıcaklığı  $T_k$  miktarından daha aşağı olmalıdır. Yetersiz soğutma, atomları arayüzeyin karşısına taşımaya zorunludur. Sonunda dendritler, büyüdükçe ergime ısılarını bırakırlar ki bu ısılar fazla soğumuş ergimiş kütleye dağıtılır. Aşırı soğuma  $\Delta T_k$  kullanılarak bu ısı, bir sıcaklık gradyanında ergimiş kütleye yayılır. Diğer yandan bir alaşım eriyiğinin katılaştırılması esnasında büyüyen uçtaki atılım (red) ve onun sıvınının bir ucundan bir ucuna kadar yayılması, bir aşırı soğumaya ( $\Delta T_p$ ) ihtiyaç gösterir. Bu durumda ısının dağılma kabiliyeti eriyiğin dağılma kabiliyetinden çok daha büyüktür. (Genellikle ikinci anılana ihtiyaç duyulur.).  $\Delta T$  yapısal aşırı soğumayı temsil eder. (Şekil 1.2.2.)



Şekil 1.2.2. Büyüyen bir dendrit ucun sıcaklık profili (9)

Alaşımelerde serbest enerji, bileşim nedeniyle birçok şekilde değişebilir. İkili sistemlerde serbest enerji değişimi Şekil 1.2.3'de açıklanmaktadır.

Belli bileşimler için denge faz ve fazları, sıcaklıkları (minimum etraflı enerji sıcaklıkları) verilmiştir.

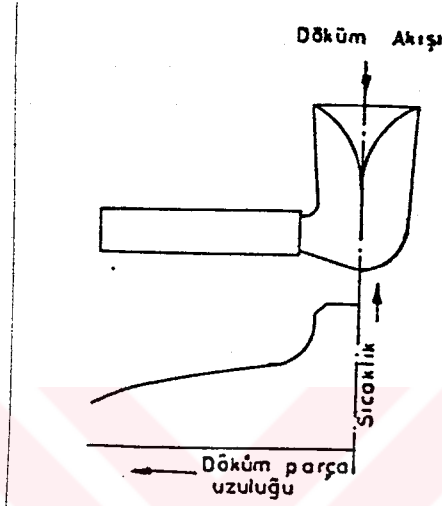


Şekil 1.2.3. İkili alaşım sistemlerinin serbest enerji değişimi . (9)



0.5 °C ısı farkı olmalıdır ki bu her cm. kendisinden 0.5 °C daha sıcak diğer cm. uzunluk tarafından beslenebilsin. (Şekil 1.3.1.).

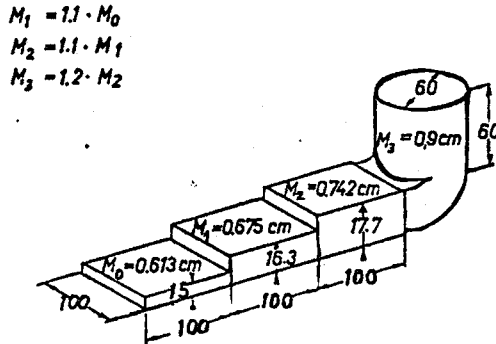
Sıcaklık gradyanı (farklılığı) elde etmek için bazen besleyici başına sıcak metal ilavesi yapılır. Böylece en soğuk metal döküm parçasının ucunda, en sıcak metal ise besleyicide olur. (Şekil 1.3.2.).



Şekil 1.3.2. Döküm bitince derhal besleyiciye metal ilave edilmiş bir levhanın sıcaklık diyagramı. (16)

### 1.3.2. SICAKLIK FARKLILIĞI VE MODÜLLERDE DEĞİŞİM

Bir kesitin, komşu kesitten daha uzun zaman sıvı kalabilmesi için daha fazla ısı ihtiva etmesi gereklidir. Daha uzun zamanda katılağan kesitin modülünde daha büyüktür. Deneyler bir kesitin komşu kesiti besleyebilmesi için modülünün 1.1 kat fazla olması gerektiğini göstermektedir. Besleyicilerin modülünde, döküm parçasının en kalın kesitinin modülünün en az 1.2 katı olmalıdır. (Şekil 1.3.3.).



Şekil 1.3.3. Yeterli bir besleme için, her bir kesitin ve besleyicinin gerekli modülleri. (16)

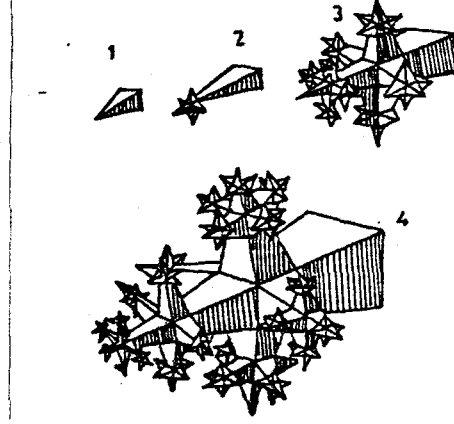
Besleyicinin en son katılaşması gerektiği kuralı bilinmekte ise de, genellikle gerekenden küçük veya büyük olarak boyutlandırılmış besleyiciler görülmektedir. Küçük besleyiciler görevlerini yapamamakta büyük olanlar ise dökümhanenin ekonomik durumunu tehlikeye atmaktadırlar.

### 1.3.3. KATILAŞMA VE BESLEME DERESESİNE SICAKLIK GRADYANININ ETKİSİ

Alaşımın, dendritik denilen ağaç dalları gibi bir görünümde katılaşma ilerlemesi gösterirler. Bu katılaşmış dendritlerin arasındaki alanlarda henüz sıvı metal kalıntıları yer almaktadır. (Şekil 1.3.4.) dendritlerin büyümesini göstermektedir. Resim 1.3.1.'de çekinti boşluğunda dendritler görülmektedir. Dendritik katılaşma sırasında katılaşma önce pürüzlüdür. Dendritler arasında bulunan sıvı kısım, düşük sıcaklıklarda katılaşan elementlerce zenginleşmiştir. (Birikim olayı).

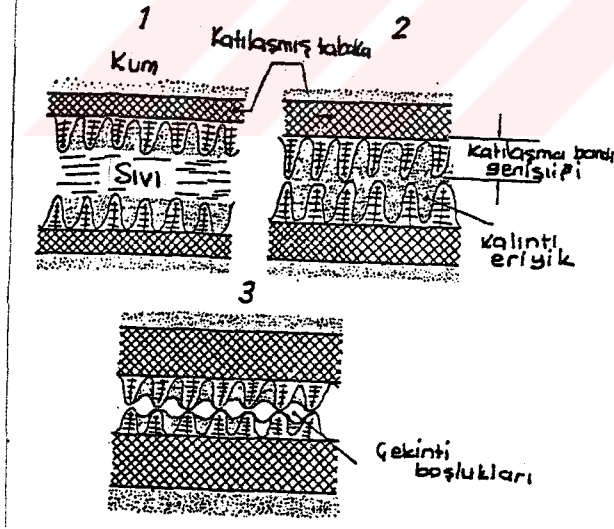


Resim 1.3.1. Çekinti boşluğunda dendritler. (16)



Şekil 1.3.4. Dendritlerin büyümesinde adımlar. (16)

Bir levhanın katılaşması üç kademededir. (Şekil 1.3.5.).



Şekil 1.3.5. Levha şeklinde bir parçanın katılaşması. (16)

1. İlk olarak kenar kısımlarda ince bir cidar tabakası katılaşır. Daha sonra oluşan dendritler kenardan sıvı içerisine doğru büyür. Gelişen dendritler arasında kalan geniş bir eriyik bölgesi vardır. Aradaki alanların beslenmesi mümkündür. Büzülme farkları da eriyik

tarafından dengelenmektedir. Karşılıklı kenarların en ilerideki katılaştırmış kristalleri arasındaki bölgede, serbestçe akan sıvı çelik bulunur. Bu sıvı çelik katılaştırmış kenarla temas ettiği yerlerde katılarak dendritler meydana getirir.

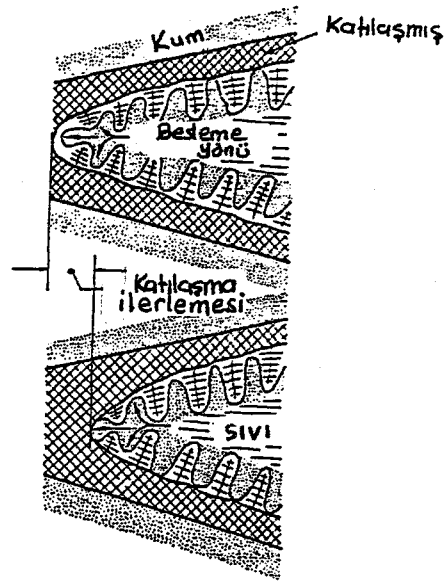
2. Dendrit uçları temas eder ve sıvı çeliğin akışı engellenir.

3. Son olarak ergimış çeliğin akışı kesilir ve beslemenin tam olarak yapılamaması nedeni ile çekihti boşlukları meydana gelir.

Şekil 1.3.6.'da görülen kama şekilli döküm parçalar paralel katılma göstermezler. Bu yüzden kristaller arası boşlukların beslenmesi mümkün olur. Ayrıca sıcaklık düşmeside bu tür kama şekilli katılma sebeptir. Şekil 1.3.7.'de görüldüğü gibi bir levha önce kenarlarından katılma başlar. Çünkü burada iki taraftan soğuma nedeni ile kristallerin büyümesi, levhanın orta kısmına göre daha hızlıdır. Böylece katılan ön cepheler sıcaklık düşüşü nedeni ile kenar orta kısmına doğru kama biçiminde birleşirler. Levhanın uç kısmındaki kama açısı oldukça küçük olup, daima boşluksuz katılacak şekildedir. Bu demektir ki bu kama şeklinin yeteri kadar dik olduğu levhaların uç kısımları her zaman hatasız katılacaktır. Termal gradyan, bir ısı deposu halinde olan ve yakınındaki bölgeyi besleyebilmesi için daha uzun bir zaman sıvı kalması gereken besleyiciye doğru ilerler. Bu sebepten dolayı bu bölgedeki kristaller, levhanın orta kısmına göre daha geç katılırlar. Eğer besleyici ve uç bölgeler daima sıvı-sıvı temasında ise hatasız katılma olacaktır. Eğer bu bölgeler, katılaştırmış dendritler ile ayrılmışlarsa (paralel katılma ilerlemelerinde böyle olacaktır) orta kısımda boşluklar kaçınılmazdır.

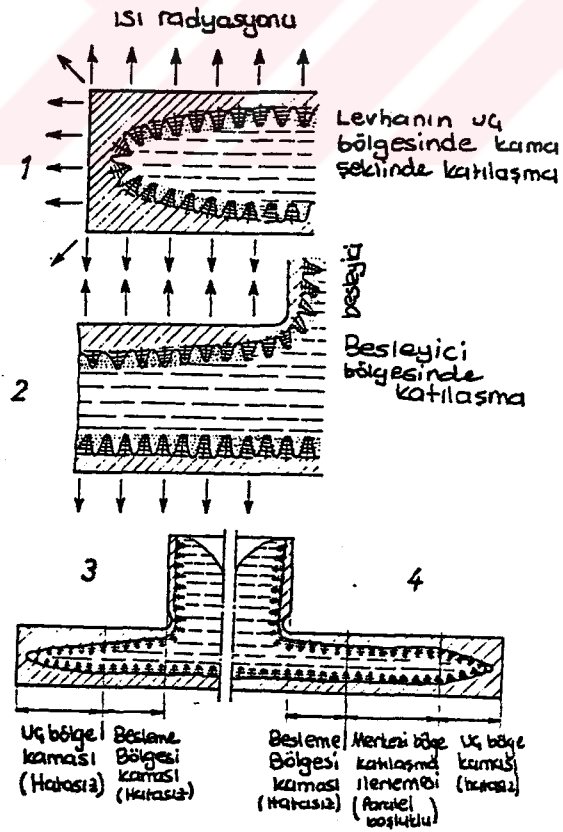
Şekil 1.3.7.'ye göre :

1. Levhanın uç kısmı : Isı yayılımını uç kenardan olur. Katılma kama şeklindedir.
2. Levhanın besleyici bölgesi : Besleyicinin yakınlarında dendritlerin büyüme dereceleri azalmıştır. Buna sebep besleyicinin ısı etkisidir, dolayısı ile kama şekilli katılma devam eder.
3. Kenar (uç) ve besleyici bölgesi : Bütün olarak kusursuz bir katılma verir.



Şekil 1.3.6. Kama şekilli parçada katılma ilerlemesi.

Kama şekilli parçalarda sıvı çelik, kristaller arasındaki boşluklara girip, oraları doldurarak katılabilir. (16)

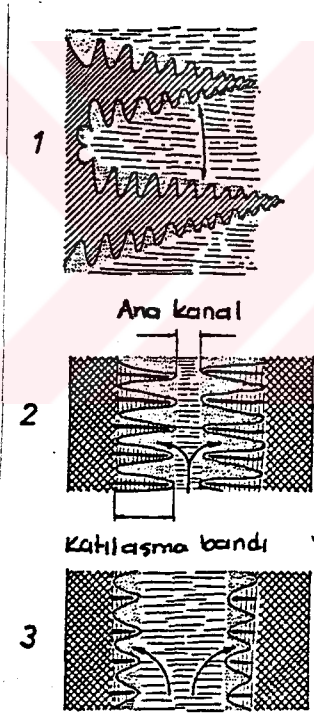


Şekil 1.3.7. Levhalarda sıcaklık gradyanına göre katılma ilerlemesi. (16)

4. Uç ve besleyici bölgesi devamlı olmayıp, aradaki merkez bölgesinde paralel katılama olduğundan boşluklar vardır.

#### 1.3.4. BESLEME UZAKLIĞINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Katılma yüzeyler arasındaki kama açısı ne kadar büyük olursa beslemede o kadar iyi gerçekleşir. Kristaller, dendritler halinde katılarak kama şekilli bir yapı meydana getirirler. Kristaller uzun boylu olarak katılıyorsa kama açısı daha dar olup, sıvı metalin çok sayıda kristal arasında oluşan çekinti boşluklarına ulaşabilmesi daha güç olur. (Şekil 1.3.8.)



Şekil 1.3.3. Kristallerarası kama açısının etkisi. (16)

Yukarıda :

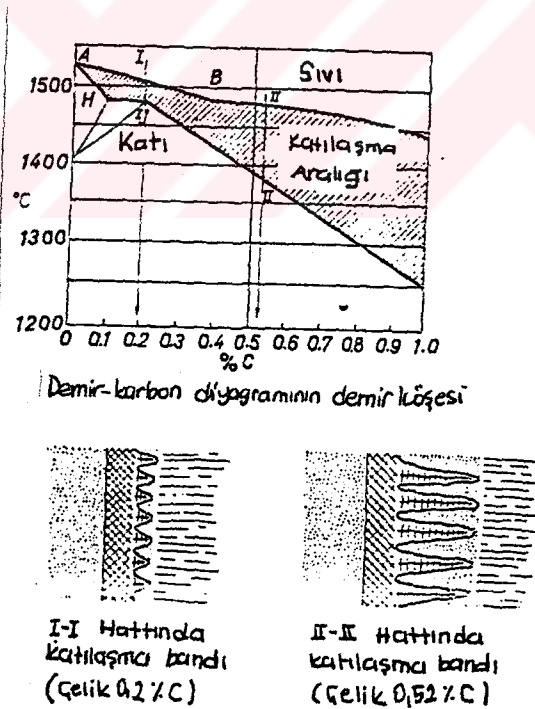
1. Dendritler arasında kama şekilli aralıklar bulunur. Bu kama açısı büyük ve kristaller küçük ise daha uygun besleme şartları doğar.
2. Katılma aralığı az, kristaller kısa ve kristallerarası kama açısı geniş ise, katılmanın sonuna kadar uygun ve kolay besleme olur.

3. Katılma aralığı fazla, kristaller uzun ve kristallerarası kama açısı dar ise kristal tepeleri temas gelip aralarında dar bir kanal bıraktıkları zaman bilhassa katılmanın sonuna doğru beslenme güçleşir.

Kristallerin büyüme bölgelerinde, katı parçacıklar ve sıvı metal yan yana bulunurlar. Bu bölge ne katı nede sıvıdır, fakat pelte gibidir ve katılma bandı diye adlandırılır.

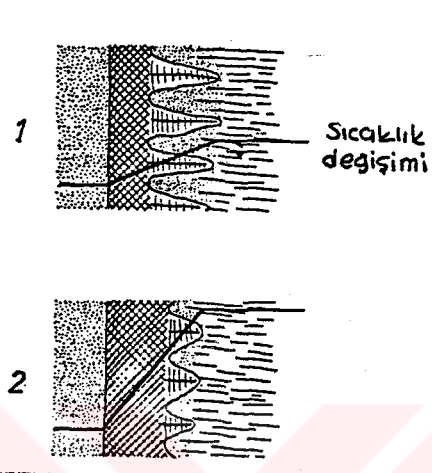
Katılma bandı ne kadar geniş olursa kristaller o kadar uzun ve beslenme o kadar zor olur. Katılma bandının genişliğine aşağıdaki faktörler etki eder.

1. Alaşımların faz diyagramı, katılma aralığını gösterir. Bu aralık ne kadar geniş olursa kristaller büyüme için okadar uzun süreye sahip olurlar ve katılma bandında o derece genişler, uygun olmaya katılma durumu meydana gelir. (Şekil 1.3.9.).



Şekil 1.3.9. Katılma aralığının kristallerin katılma bandı genişliğine etkisi. (16)

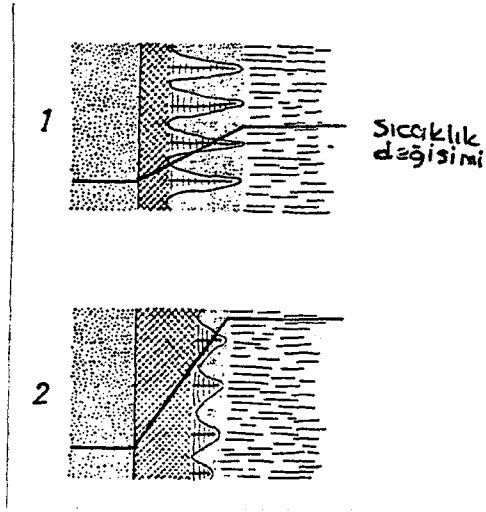
2. Katılma sıcaklığı ne kadar yüksek olursa, düşmeside o derece hızlı olur. Yüksek katılma sıcaklıklarında kristal boylarının uzaması için yeterli zaman olmadığından, katılma bandı dar ve hatasız döküm imaline uygundur. (Şekil 1.3.10.)



Şekil 1.3.10. Döküm metalinin katılma sıcaklığının etkisi. (16)

Yukarıda :

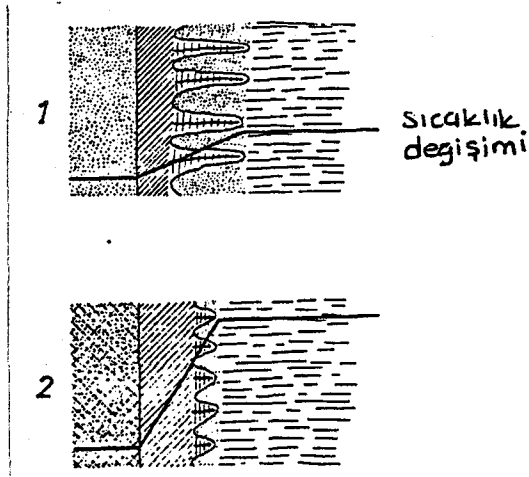
1. Katılma sıcaklığı düşük : Kristaller uzun, katılma bandı geniş, beslenme uygunsuzdur.
2. Katılma sıcaklığı yüksek : Kristaller kısa, katılma bandı dar, beslenme uygundur.
3. Metalin ısı iletimi düşük ise , kalıntı eriyikten ısıya iletimi yavaşlayacağından, kristaller fazla büyüyemez ve boyları kısa kalır. Katılma bandı dar ve beslenme uygundur. (Şekil 1.3.11.).



Şekil 1.3.11. Döküm metalinin ısı iletiminin etkisi. (16)

Yukarıda :

1. Metalin ısı iletimi yüksek : Depo edilmiş ısının kristallere hızlı iletimi, yavaş kristal büyümesi, uzun kristaller, geniş katılaşma bandı, uygunsuz beslenme.
2. Metalin ısı iletimi düşük : Kristallere ısı iletimi yavaş, kristalin soğuması hızlı, kristal büyümesi hızlı, kristaller kısa, katılaşma bandı dar, uygun beslenme.
4. Kalıp malzemesinin ısıl iletimi ne kadar yüksek ise, katılaşma o kadar hızlı olacaktır. Dolayısıyla katılaşma bandı dar ve besleme özellikleri uygundur. (Şekil 1.3.12.)

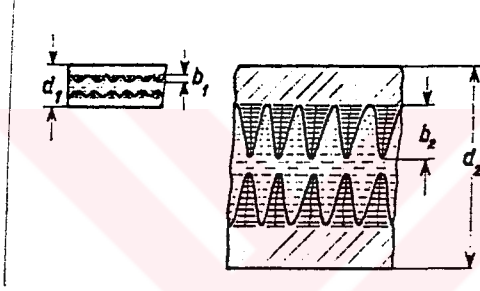


Şekil 1.3.12. Kalıp malzemesinin soğutucu etkisi. (16)

Şekil 1.3.12. için :

1. Soğutucu etkisi az ise : Geniş katılaşma bandı, uygunsuz beslenme.
2. Soğutucu etkisi şiddetli : Katılaşma bandı dar, uygun beslenme .

Yukarıda belirtilen 4 faktörden ilk üçü metal cinsine bağlı olup değiştirilemezler. Sadece uygun bir kalıp malzemesinin seçimi ile fayda sağlanabilir. Döküm parça kalınlığının da beslenmeye olan etkisi Şekil 1.3.13.'de gösterilmiştir.

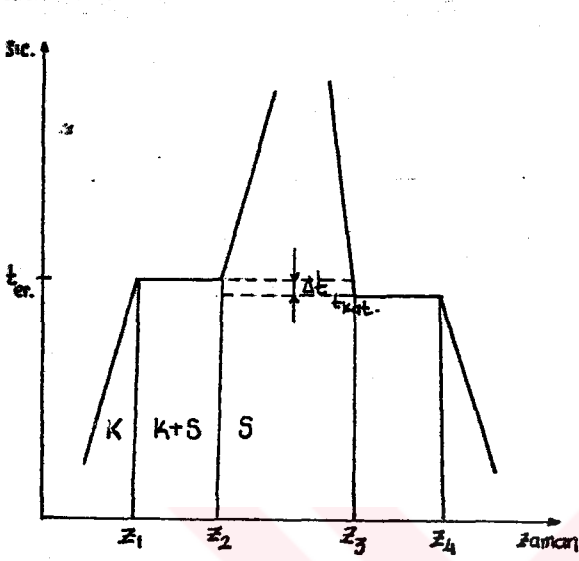


Şekil 1.3.13. Döküm parçanın kalınlığının beslenmeye etkisi.(16)

Kalınlık arttıkça, dendritlerin büyümesi için daha uzun zaman elde edilir. Dendritler daha fazla uzayabilir. Daha geniş katılaşma bandı meydana gelir ve beslenme güçleşir. Belli bir kalınlığın ötesinde dendritler çok uzar ve kristaller arasındaki kısımlar hatasız olarak beslenemezler. Kalınlığı fazla levhalardaki beslenme azalması da genişliğin yüksekliğe oranı azaldıkça, besleme uzaklığında azalmaktadır.

### 1.4. SOĞUMA EĞRİLERİ

Bu başlık altında kuramsal ve gerçek soğuma eğrileri üzerinde durulacaktır.

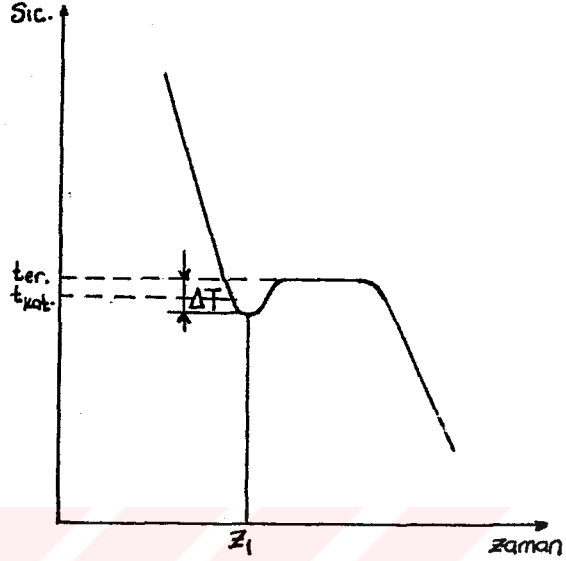


Şetil 1.4.1. Kuramsal soğuma eğrisi.

$$\Delta t = \text{Isıl Atalet}$$

$$\Delta t = f(V_{soğ}, V_{ısıt})$$

$$\lim_{V_{soğ} \rightarrow 0} \Delta t \neq 0$$



Şekil 1.4.2. Gerçek soğuma eğrisi.

$$\Delta T = \text{Aşırı Soğuma (alt soğ.)}$$

$$\Delta T = (V_{soğ})$$

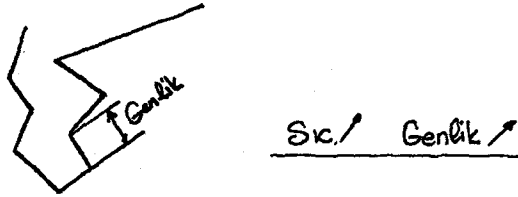
$$V_{soğ} \nearrow \quad \Delta T \nearrow$$

Kuramsal soğuma eğrisinde : Oda sıcaklığında kafes köşe noktalarında yerleşmiş olan metal atomları, buldukları nokta çevresinde belli bir genlikle titreşirler. Sisteme verilen ısı enerjisi atomlar tarafından soğurulduğunda titreşim genliği yükselir ve bu durum " sıcaklık " büyüklüğü olarak ölçülebilir. Sisteme enjekte edilen ısı ile  $t_{er}$  sıcaklığına yükselindiğinde belli bir ısı porsiyonunu soğuran atomlar titreşim genliklerini arttırmayıp, soğurdukları bu enerji miktarı ile kafes köşe noktasından bütünüyle koparlar. Sırasıyla ikinci, üçüncü ..... n' inci atomunda ana kütleyle terk edilmesi ile ergiyik faza geçilmiş olur.  $z_2-z_1$  zaman aralığında pompalanan enerji atomların titreşim genliğini yükseltmediğinden, bu zaman aralığında verilen toplam enerji " gizli enerji " (kristalleşme enerjisi) olarak adlandırılır.

Ergiyik faza geçen atomların belli bir koordinasyon sayısına sahip oldukları bilindiğinden, tipi henüz saptanmamış olmakla birlikte bir yakın düzenin, başka bir anlatımla bir kafes düzleminin ergime

sıcaklığına yakın sıcaklık alanında geçerli olduğu bilinmektedir.

Ergiyik fazdaki atomların hareketi, zigzaglı bir yörünge üzerinde "Brown hareketi" dir. Sisteme ısı enerjisi verildikçe bu hareketin zigzag genliği artar.



Şekil 1.4.3. Brown hareketi. (Şematik)

Eriyik bir metal kütlesi çevre ile sıcaklık dengesine bırakıldığında Brown 'daki zigzag genlikleri giderek azalır. nihayet  $t_c$  altındaki bir sıcaklıkta ( $t_{kat}$  gibi) bir dizi metal atomu arasında itme ve çekme kuvvetlerinin karşılıklı dengede bulunduğu  $a_0$  denge uzaklığı oluşur ve ilk katı ortaya çıkar.

Soğuma sırasında  $t_k < t_c$  olmasının nedeni, kütlesi olan elemanlar olmaları nedeniyle atomların buldukları konumu koruma eğiliminden kaynaklanır.  $\Delta t = t_c - t_{kat}$  farkı soğuma hızı ile doğru orantılıdır.  $\Delta t = 0$  olması uygulamalarda mümkün değildir. Oluşan ilk katı küme etrafında yerleşik düzene geçen her atom, ergime sırasında çevresinden geçtiği kristalleşme gizli enerjisini açığa çıkaracağından, katılaşma boyunca  $Z_4 - Z_3$  zaman aralığında sıcaklık sabit kalır. Bu durum sistemin serbest sıvı yüzeyi ve pota cidarından dışarıya doğru yitirilen enerjinin kristalleşme enerjisi ile dengelendiği varsayımından giderek açıklanır.  $Z_4$  sonrasında sıcaklık değişimi yine lineer karakterdedir.

Gerçek soğuma eğrisinde : Ortamda sıcaklık dengesine bırakılan potada  $t_{kat}$  sıcaklığı mertebesinde ilk katının oluşumu yukarıda açıklanan esaslarla fakat pekçok sayıda atomun katıldığı bir küme ile ortaya çıkar. Ne varki yüzey alanı büyüklüğü henüz yetersiz olan bu atom kümesi üzerine gelip yerleşen atomların açığa çıkardıkları toplam kristalleşme enerjisi miktarı, sistemden dışarıya doğru akan ısı enerjisini dengeleyebilmeye yeter düzeyde değildir. Bu nedenle zaman-sıcaklık eğrisinin eğimi düşmeye başlar ve giderek bir süre

sonra 0 eğimli bir teğete tekabül eder. Bunun anlamı, oluşmakta olan katıların toplam yüzey alanları, sistemin dışarıya doğru yitirmekte olduğu enerjiyi dengeleyebilecek adette atomun yerleşmesine fırsat verecek düzeye gelmiş olmasıdır.

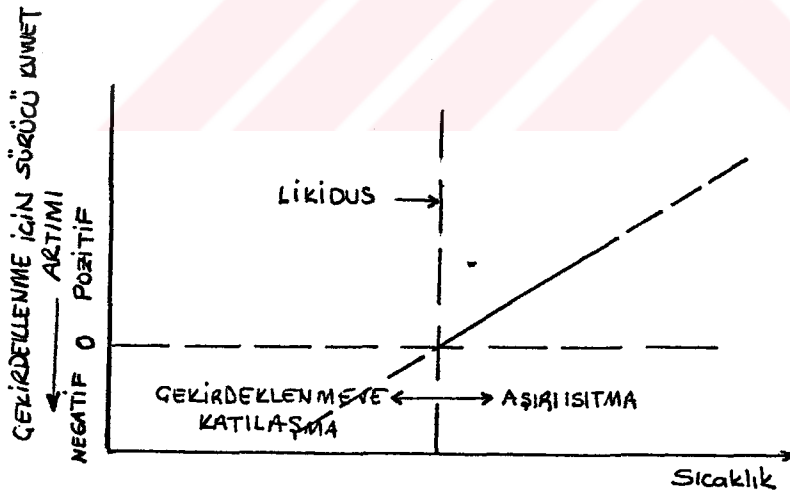


### 1.5. ÇEKİRDEKLENME

Çekirdeklenme etrafından kesikli (ayrık) bir sınır tarafından ayrılmış farklı bir bölgedeki yeni bir fazın teşekkülü olarak tanımlanabilir. Katılaşma sırasında katı kristal tüm hacim katılaşmaya kadar sıvı metalde şekillenir ve (kilitli) büyür. Katılaşma, hüküm süren termal ve kristalografik şartlar altında küçük tanelerin ve kristallerin çekirdeklenmesi ile başlar.

Katılaştırmada çekirdeklenme aşaması katılaşmış metalde tamamen gelişen tanelerin miktar ve büyüklüklerini belirlediği için çok önem arzeder. Bu nedenle tane büyüklüğüne ait tüm olaylara tesir eder. Örneğin segregasyon, katılaşma büzülmelerini karşılamak için besleme davranışı ve mekanik ve fiziksel özellikler katılaşma esnasında çekirdeklenip gelişmiş tanelerin miktarına göre değiştirilip düzeltilebilir.

Ergimiş metalden ısı uzaklaştırıldığında likidus sıcaklığına düşülür ve bu sıcaklığa varılır. Katı kristali ondan sonra gelişebilir. Katılaşma başlatımı için sürücü kuvvet sıvıdan katıya dönüşüm (L→S) ile birleşmiş serbest enerji değişimidir. (Şekil 1.5.1.)



Şekil 1.5.1. Ergime noktası civarında çekirdeklenme için sürücü kuvvetin şematik gösterimi. Serbest enerji değeri negatif olduğunda katı sıvıdan daha karardır ve katılaşma başlayabilir. (8)

Soğutma aşamasında termodinamik donma noktasına erişildiğinde çekirdeklenme için molekül toplanması (embriyo teşekkülü) yeni

başlamıştır. Büyüme bir kez çekirdek meydana getirilmesiyle kolayca vuku bulur. Yalnız termodinamik donma noktasının biraz altındaki sıcaklık daima çekirdek oluşumunu (meydana gelecek çekirdeği) direkt olarak temin etmez. Ayrıca aşırı soğuma sürücü kuvvetine (yetersiz soğutulma) genellikle ihtiyaç duyulur.

Çekirdeklenme adına aşırı soğutma  $\Delta T_b$ ,  $\Delta T_c$ ,  $\Delta T_r$  ve  $\Delta T_k$  'dan ibarettir.

$\Delta T_b$  = Yeni bir sınır teşekkülü için aşırı soğutma

$\Delta T_c$  = Çözünen dağılımı için aşırı soğuma

$\Delta T_r$  = Büyüme uç radiusu için aşırı soğutma

$\Delta T_k$  = Kinetik için aşırı soğutma

dır.

Çekirdeklenmeye neden olan gerekli aşırı soğuma miktarı çekirdeklenme durumuna bağlı on dereceden daha az veya birkaç yüz dereceden daha fazla olabilir. Aşırı soğuma büyüklüğüne dair iki çekirdeklenme tipinin mevcudiyeti söz konusudur. Bunlar "Homojen ve Heterojen Çekirdeklenme" 'dir.

### 1.5.1. HOMOJEN ÇEKİRDEKLENME

İlk katı oluşumunun yeri çekirdeklenme mevkii olarak adlandırılır. Yabancı madde ve pisliklerin (katışkırların) çekirdeklenme mevkiine yararı dokunmadığı sıvı mahsul kristallerinde termal dalgalanmaların olduğu çekirdeklenmedir. Bu kendi kendine çekirdeklenmedir ve yabancı maddelerin, (ısı uzaklaşması dışında) harici etkilerin yardımı söz konusu değildir.

Çevresi ile sıcaklık dengesine bırakılan sıvı metal (potada, ka-lipta)  $t_{kat}$  değerine yaklaştıkça Braun hareketi yapmakta olan atomlar arasında giderek  $a_0$  denge uzaklığı değeri belirlemeye başlar. Bu uzaklık gerçekleştiğinde aralarında  $a_0$  denge uzaklığı olan n adet atom, r yarıçaplı kümeyi metalsel bağ kurmak koşuluyla gerçekleştirirler. Bu kümeye sonsuz küçük bir zaman aralığında "katı" gözüyle bakılabilir. Bu katının varlığını sürdürebilmesi için iki enerji bileşenine ihtiyacı vardır.

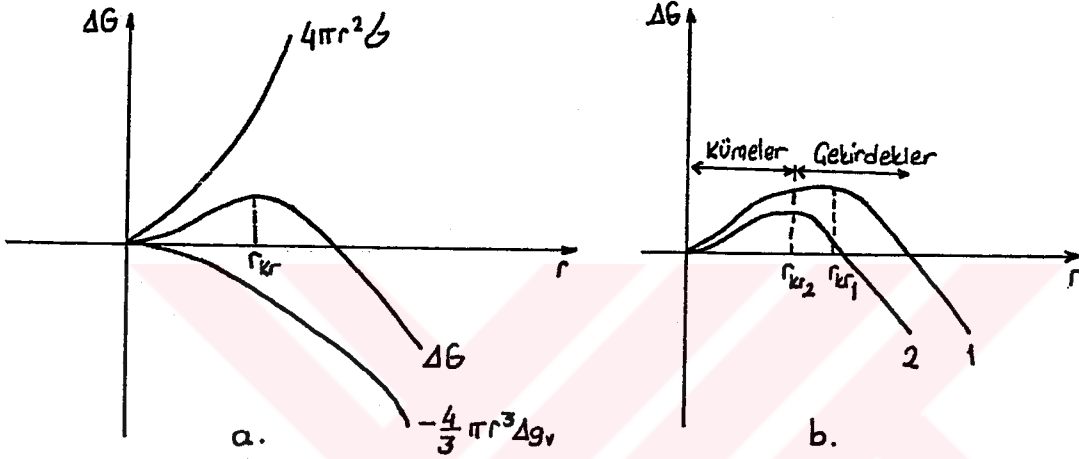
Bunlar :

- a.  $\sigma$  Birim yüzey koruma enerjisi  
 b.  $\Delta g_v$  Birim hacim koruma enerjisi

• O halde kümeceğin toplam serbest enerjisi :

$$\Delta G = -\frac{4}{3}\pi r^3 \Delta g_v + 4\pi r^2 \sigma$$

(Şekil 1.5.2.) (1.5.1.)



Şekil 1.5.2. Küresel bir kristalin oluşumuna atfedilebilir serbest enerji değişimi.

Bilindiği gibi doğada kendinden gelişen olayların hepsi daha düşük serbest enerjili bir faza doğru akar. Bu kurala göre atom küreleri serbest enerjilerini azaltırken yarıçaplarını küçültmek zorundadırlar. Bunun anlamı bu kümeciklerin tümüyle eriyip yok olması anlamındadır.  $r_{kr} < r$  olan çekirdekler (atom kümeleri) ise serbest enerjilerini azaltırken yarıçaplarını büyültmek zorundadırlar. Bunun anlamı bu kümecikler irileşerek kristal (tane) durumuna gelmeleridir.

Özetle :

$r < r_{kr} \rightarrow$  embriyolar

$r > r_{kr} \rightarrow$  gelişebilir çekirdekler

Şekil 1.5.2.'ye göre b 'de 1 durumunda :

$r \nearrow$ , Çek.sayısı  $\searrow$ , Tane boyutu  $\nearrow$   $\xrightarrow{\text{öyleyse}}$  Sertlik  $\searrow$ ,  $\alpha_k$  Darbeli day.,  $G_s \searrow$   
AMRICA  
 $r \searrow$ , Çek.sayısı  $\nearrow$ , Tane boyutu  $\searrow$   $\xrightarrow{\text{öyleyse}}$  Sertlik  $\nearrow$ ,  $\alpha_k$  Darbeli day.,  $G_s \nearrow$

2 durumunda sözkonusudur.

\* Kritik yarıçap ise :

$$\Delta G = -\frac{4}{3} \pi r^3 \Delta g_v + 4 \pi r^2 \sigma$$

$$\frac{d\Delta G}{dr} = -4\pi r^2 + 8\pi r \sigma$$

$$\frac{d\Delta G}{dr} = 0 \quad ; \quad -4\pi r^2 \Delta g_v = -8\pi r \sigma \quad \rightarrow \quad r_2 = 0 \text{ anlamsız}$$

$$r_1 = \frac{2\sigma}{\Delta g_v} \quad \text{Kritik yarıçap (1.5.2.)}$$

Ulaşılan bağıntıya göre kritik yarıçap yalnızca tek bir değişkene bağlıdır :  $\Delta g_v$

Çünkü  $\Delta g_v$ , çıkış fazı ile ikinci faz arasındaki iç enerji farkına eşittir.

$$\Delta g_v = G_\alpha - G_\beta$$

$$G = H - TS \quad \begin{array}{l} H \rightarrow \text{entali} \\ S \rightarrow \text{Entropi} \end{array}$$

$$\Delta g_v = (H_\alpha - TS_\alpha) - (H_\beta - TS_\beta)$$

$\downarrow$  iş yapılabilir       $\downarrow$  iş yapmış ortamda bulunan enerji

$$\Delta g_v = \Delta H - T\Delta S \quad * \quad (1.5.3.)$$

$$T = T_{\text{denge}} \Rightarrow \Delta g_v = 0$$

$$0 = \Delta H - T_{\text{denge}} \Delta S \Rightarrow \Delta S = \frac{\Delta H}{T_{\text{denge}}}$$

\*'dan

$$\Delta g_v = \Delta H - T \frac{\Delta H}{T_{\text{denge}}}$$

$$\Delta g_v = \frac{\Delta H (T_{\text{denge}} - T)}{T_{\text{denge}}} = \frac{\Delta H \Delta T}{T_{\text{denge}}}$$

$$r_{kr} = \frac{2\sigma T_{\text{denge}}}{\Delta H \Delta T} \quad (1.5.4.)$$

$\downarrow$   $(T_{\text{denge}} - T)$  aşırı soğuma miktarı

Buna göre : 1 durumunda  $\Delta T \searrow$   $r_{kr} \nearrow$   
 2 durumunda  $\Delta T \nearrow$   $r_{kr} \searrow$

Atomların sıvı metaldeki gometrik ve gelişiğüzel hareketleri katımsı grupların bir anlık oluşumuna sonra dağılmasına müsade eder. Sıvıdan yeteri enerji uzaklaştırıldığında embriyolar kararlı katı tane-cikleri oluşturacak kadar yeterli iriliktir. Çekirdeklenme bundan sonra oluşur. Kararlı embriyo hacimleri 50 yada daha çok atom içerebilirler.

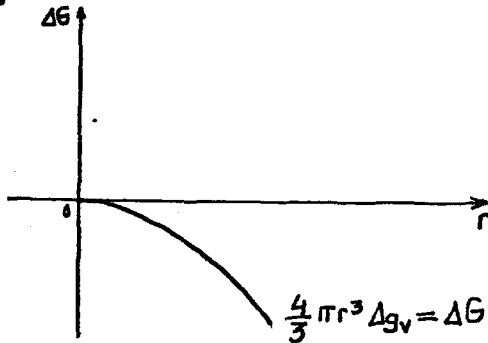
Homojen çekirdeklenme oluşum sıcaklığı arı metalin denge donma noktası diye anılan noktaya daima altındadır ve bu çekirdeklenme çok muazzam aşırı soğumalar ile oluşur.

### 1.5.2. HETEROJEN ÇEKİRDEKLENME

Yabancı partiküller, pislikler, metalik kalıntılar, cüruf, kalıp parçacıkları, gaz kabarcıkları daima sıvı metalin içerisinde mevcut bulunabilirler ve bunlar çekirdeklenme mevkiine yardım ederler. Bu mevkiler sıvı-katı arayüzey enerjisini çekirdeklenmede yardım amacıyla yeterince değiştirirler. Bu suretle çekirdeklenme için aşırı soğuma miktarının azaltımı gereklidir. Üzerinde tane (nüve) oluşan dış yüzeyler altkatmanlar diye adlandırılır ve altkatmanlar üzerinde (yönünde) çekirdek oluşumu heterojen çekirdeklenme adını alır.

Eriyik içindeki doğal refakat elemanları, üretim prosesinden arta kalan katışkıların kafes yapıları ve kafes ayırıt boyları katışmakta olan metalinkilere denk ise mevcut katışkıların herbiri hazır bir altmadedir. çekirdek görevini üstlenir. Ayrıca bu çekirdeklerin gelişmesinde birim yüzey koruma enerjisi kendiliğinden düşer.

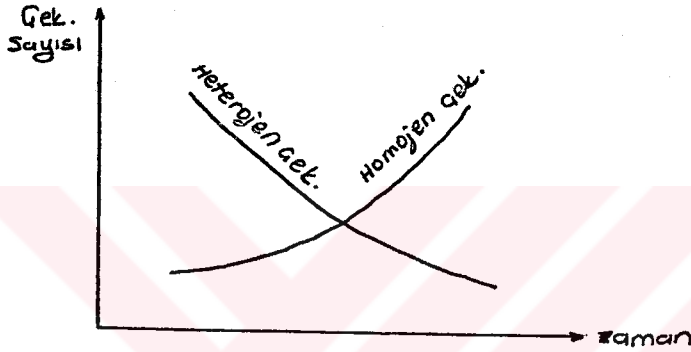
Şekil 1.5.3. 'de görüldüğü gibi herhangi yarıçaplı bir katışkının yüzeyi üzerine gelip yerleşen ilk atomdan itibaren kümelerin serbest enerji değişimi negatif eğimli bir eğri üzerinde seyreder : Serbest enerji azalır.



Şekil 1.5.3. Serbest enerjide azalma.

Kısaca eriyikteki bu katışkılar doğal yoldan bulunsun yada aşılama yöntemiyle bilinçli bir şekilde eriyiğe katılmış olsun, her birinin gelişerek taneleşme şansı vardır. O halde aşılama yoluyla tane iriliği denetlenebilecektir. ( Bu konu ileride DÖKÜMÜN YAPISI başlığı altında ele alınacaktır.)

Bilinçli bir aşılama dışında heterojen çekirdeklenme kalıp cidarı üzerinde çubuksu kristaller şeklinde gelişir. Öncelikle ince cidarlı döküm parçalarında bunların varlığı aşırı gevrekliğe neden olur. Dolayısıyla böyle durumlarda soğuma hızı kontrol edilerek kritik yarıçapı denetleme yoluyla homojen çekirdeklenmeyi teşvik etmek gerekir.



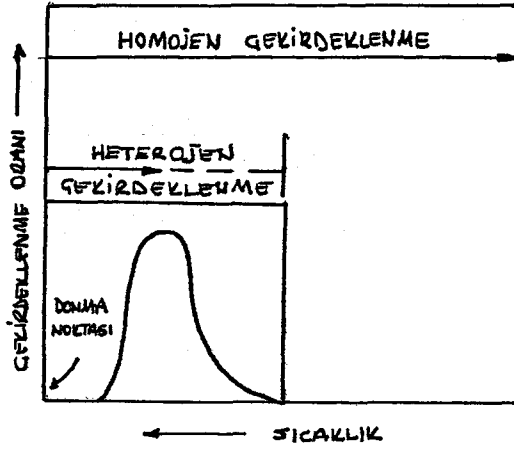
Şekil 1.5.4. Homojen ve heterojen çekirdeklenmede çekirdek sayısının zamanla değişimi.

Heterojen çekirdeklenme homojen çekirdeklenmeye oranla çok az aşırı soğumaya ihtiyaç duyar.

### 1.5.3. ÇEKİRDEKLENME ORANI (HIZI)

Heterojen çekirdeklenme ile hafif aşırı soğumada dahi çekirdeklenme oranı, donma noktasının altındaki aşırı soğuma dereceleri tarafından etkilenir. Bu şematik olarak Şekil 1.5.5.'de gösterilmiştir.

Bu şekil maksimum bir çekirdeklenme oranı veya maksimum bir kararlı tane (nüve) miktarı teşekkülü ile sonuçlanan belli aşırı soğutma derecesini gösterir. Heterojen çekirdeklenme durumunda maksimum çekirdeklenme oranı şartına erişmek için çok küçük aşırı soğumaya ihtiyaç duyulduğu görülür. Aşırı soğuma çekirdeklenme oranı ve tane miktarında değiştirebilir. Bu ise çok önemlidir.



Şekil 1.5.5. Çekirdeklenme oranında aşırı soğumanın etkisi. (8).

#### 1.5.4. UYGULAMALI (UYGULANABİLİR) GEREKTİRMELER

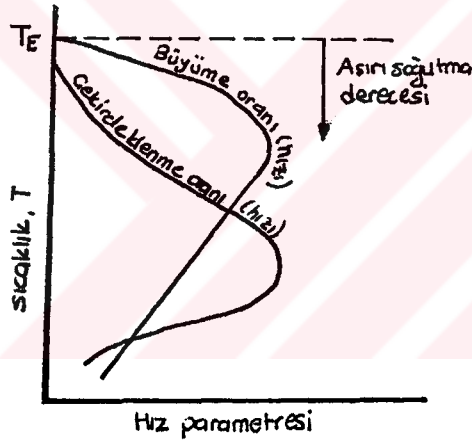
Pratikte dökümün teknik görünümü etkileyenlerden en önemlilerinden biri çekirdeklenmenin kontrolüdür. Dökümün tane büyüklüğü katılaşmada çekirdeklenme aşaması ile direkt olarak ilgilidir. Her ne kadar daha kaba tane büyüklüğünün arzu edildiği uygulama ve özellikler varsada mükemmel bir döküm tane büyüklüğünün (boyutunun) genel olarak arzu edilir olması dikkate alınır.

Katılaşma süresince çekirdeklenme etkisi, bir dökümhanedeki uygulama şartları tarafından aşağıdaki gibi azaltılıp çoğaltılabilir.

- Ergimiş kütleye heterojen çekirdeklenme ilaveleri (aşılایıcılar)
- Alaşımlama
- Ergime prosesindeki termal etkiler
- Geometri veya soğuma hızı etkileri
- Katılaşan dökümün yada ergimiş kitlenin titreşim muamelesi .

### 1.6. BÜYÜME

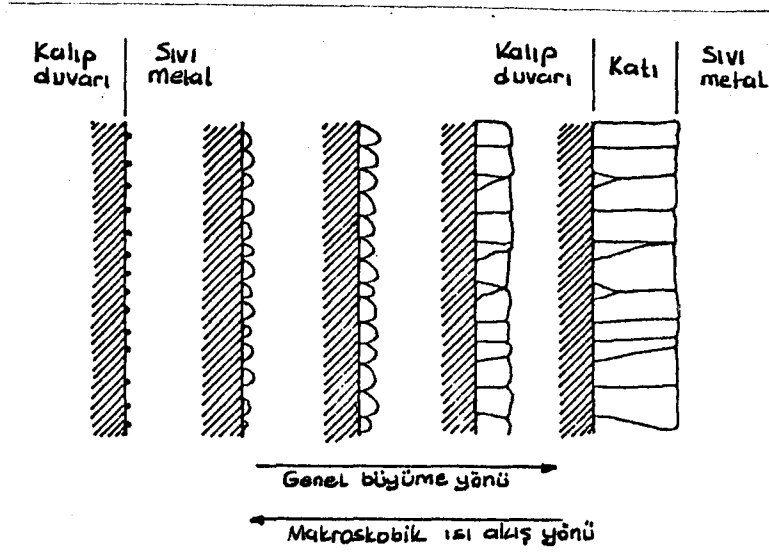
Çekirdeklenmeden sonra ilk basamak çekirdeklerin büyümesidir. Bu büyüyen katı ve sıvı arasındaki interfazın (arayüzey) muayenesini gerektirir. Katı, kristalografik yapısını büyümeyle alır. Kararlı çekirdek şekillenir ve sıvıdan elde edilen atomlar ile büyür. Büyüme oranı (hızı) ergime noktası altındaki aşırı soğuma miktarı ile düzenlenir. Aşırı soğuma derecesi maksimuma çıkıp daha sonra düşüncüye kadar büyüme artar. Bundan dolayı çekirdeklenme ile büyüme oranı, aşırı soğuma oranı ile aynı genel eğilimdedir. Bununla beraber nisbi oranları farklıdır. Katılaşmanın ilk safhalarında çekirdeklenme derecesi baskınken katılaşmanın son safhalarına doğru özellikle dökümün yüzeyinde büyüme oranı daha baskındır. (Şekil 1.5.5 ve 1.6.1),



Şekil 1.6.1. Aşırı soğumanın fonksiyonu olarak nisbi çekirdeklenme ve büyüme oranları. (8)

Kalıp duvarından ilk ve mevcut çekirdeklenme Şekil 1.6.2.'de şematik olarak görülmektedir. Kalıp ısınmadan evvel, kalıp yüzeyinin erken soğuma etkilerinden dolayı maksimum çekirdeklenme oranı için (aşırı soğumadan dolayı) en elverişli fırsat kalıp duvarındadır.

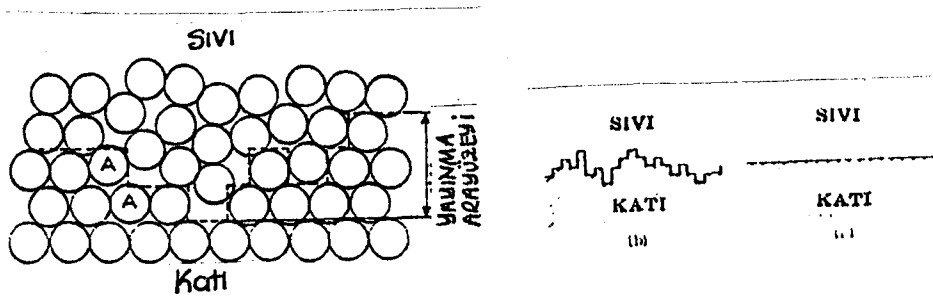
Geniş aşırı soğuma dereceleri ile çekirdek gelişimi (büyümesi) hızlıdır. Bu haller dökümlerin ince parçalarında kolayca meydana gelir.



Şekil 1.6.2. Çekirdeğin büyümesi (şematik). (8)

### 1.6.1. İNTERFAZ YAPILARI

İki farklı tip interfaz yapısı düşünülebilir. İlki sıvıdan katıya geçiş yerindeki birkaç atomik tabaka üzerinde meydana gelen yayılmış interfazdır. Esasen uygun kafes mevkilerindeki tüm atomlar ve füzyon ısısı uzaklaştırılınca kadar atomların tertibi, tamamen kristalin cepheye doğru uzaklıkla azar azar artar. Diğeri yine sıvıdan katıya geçiş yerindeki atomik olarak düz kompakt interfazdır ki tek bir atom tabakası genişliğinde meydana geldiği tasavvur edilir. (Şekil 1.6.3) (şematik).



Şekil 1.6.3. İki farklı tipteki interfaz yapısı. (5)

- a. Yayınmış arayüzeyde atomların biraraya gelmesi.      b. Yayınmış interfaz      c. Atomal olarak düz interfaz

Şekil 1.6.3.a 'daki kesik çizgi şematik olarak kısmen katı ve kısmende sıvı bölgeye ait olan atomlar arasındaki sınırı göstermektedir. Şematik bir gösteriş şekli Şekil 1.6.3.b 'de verilmiştir. Ancak bu çok basitleştirilmiş bir şekildir. Yayınma tabakasındaki atomlar katının mı yoksa sıvının mı bir parçası olacaklarına pek emin değildirlerdir. Kesik çizgi o şekilde çizilmiştir ki bu çizginin üzerindeki atomların bazıları katının sıkı düzen karakteristiklerine sahiptir, çizginin altındaki bazı atomlar ( A işaretli ) kristal kafes mevkilerinden hafifçe ayrılmışlardır. Yayınmış arayüzeyin önemli karakteri, bu bölgedeki atom tabakalarının termodinamik özelliklerinin, arayüzey içerisine ilerledikçe sıvı kısmındaki değerinden katı kısmındaki değerine sürekli olarak değişmesidir.

İdealde yayınmış interfazda (arayüzey) daha çok kafes mevkileri biriktirme için elverişlidir. Böylece atomlar interfaza çarparlar ve interfaz hemen hemen ileri doğru hareket eder. Büyüme ise devamlıdır denebilir. Diğer yandan eğer interfaz kendiliğinden düz ise ileri büyüme interfazın ötesine yanlamasına ilerleyen kademelerde tercihli olarak vuku bulur. Katılaşma o zaman yan büyüme tarafından ilerletilir denebilir.

Zayıf (alçak) dizin cephelelerindeki kademelerin tek kaynağı iki boyutsal çekirdeklenmedir. Bu büyüme tiplerinden dolayı bu konu ile uğraşanlar tarafından klasik teoriler geliştirilmiştir. Eğer bir kristal kusursuz değil ise bir vida dislokasyonuna sahipse sıvı-katı interfazında ortaya çıkan kompakt (sızdırmaz) cephe artık düz olamaz ancak içinde bir basamak ihtiva etmelidir. Frank ilk defa böyle bir basamağın iki boyutlu çekirdeklenme gereğini ortadan kaldırdığını ve büyümenin çok daha küçük alt soğumalarda olmasına imkan verdiğini ortaya koymuştur. Sıvı-katı interfazlarındaki basamakların bir başka kaynağı daha vardır: Kristal yüzeyinde ikiz düzleminin ortaya çıkışından meydana gelen köşe açısı. İkiz düzlem mekanizmasıyla büyüme için kantitatif bir büyüme kanunu henüz formüle edilmemiştir. Hangi malzemelerin tabaka yayılmasıyla büyüyeceğine (ve dolayısıyla façetalar meydana getireceğine) ve hangilerinin büyüemeyeceğine dair tahminde bulunma amacıyla çeşitli teşebbüslerde bulunulmuştur. Jackson prensibi (her ne kadar bazı yönlerden kusuru bulunsada) bu bakımdan önemli derecede başarı sağlar. Bu prensibe göre ergime entropisi  $4R$  'den büyük olan (saf) malzemeler façetali, daha düşük olanlar façetasız katılaşmalıdır.

### 1.6.2. BÜYÜYEN KRİSTALLERİN MORFOLOJİSİ

Konu saf metallerde ve alaşımlarda büyüme olarak iki kısımda incelenecektir.

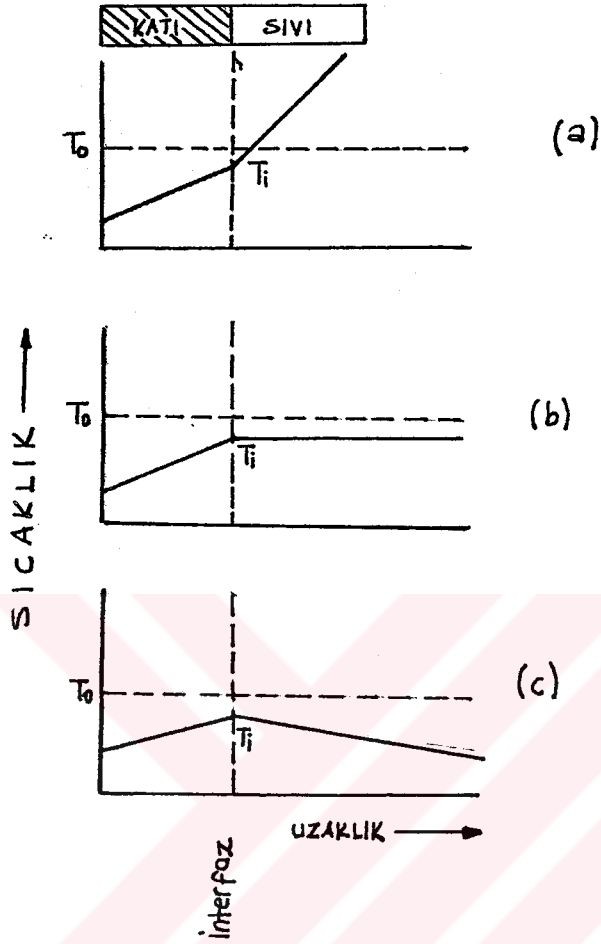
#### 1.6.2.1. SAF METALLERDE BÜYÜME

Saf metallerde interfazdaki sıvıda pozitif, sıfır veya negatif sıcaklık gradyanlarıyla büyüme elde etmek mümkündür. Şekil 1.6.4 'de verilen bazı tipik durumlarda katıdan ısı çekildiğinde ve sıvıdaki pozitif veya sıfır sıcaklık gradyanı korunduğunda a ve b 'de görüldüğü gibi büyüme düzlemsel interfaz ile devam eder. Eğer sıvıdaki sıcaklık gradyanı c 'de olduğu gibi negatif ise interfazın önündeki sıvı termal olarak aşırı soğutulur. İnterfaz bozulur ve dendritik olarak büyür. Ana kolların ve müteakip dalların (kolların) belirli kristalografik yönlerdeki büyümeleri serbest dendritik büyümenin karakteristik bir özelliğidir.

Tablo 1.6.1. Kristal yapıların dendrit büyüme yönleri . (10)

<u>YAPI</u>	<u>DENDRİT BÜYÜME YÖNÜ</u>
Yüzey merkezli kübik	$\langle 100 \rangle$
Hacim merkezli kübik	$\langle 100 \rangle$
Sıkı düzenli hegzagonal	$\langle 10\bar{1}0 \rangle$
Hacim merkezli tetragonal	$\langle 110 \rangle$

Buz, Ni, Co, Sn, P ve Sukkinoitril üzerinde dendritlerin büyüme oranları deneysel olarak araştırılmış, büyüme hızı (R) ve eriyik aşırı soğuması ( $\Delta T$ ) arasındaki ilişki  $R \propto \Delta T^n$  formunda elde edilmiştir.  $\Delta T$  birimi santigrad derecedir.



Şekil 1.6.4. a ve b . Düzlemsel büyüme için termal şartlar  
c. Arı metalin serbest dendritik büyümesi için termal şartlar.(10)

#### 1.6.2.2. ALAŞIMLARDA BÜYÜME

Bir alaşım katılaştığında katı veya sıvıdaki çözünen çözünebilirliklerindeki farklılıklara bağımlı olan çözünen ve çözücü katı formundan (katı oluşumundan) dolayı atılır. (Reddedilir). Sonuç olarak katı formunun bileşimi, interfaz morfolojisi gibi interfaz önündeki sıvıda atılmış (reddedilmiş) çözücü ve çözünenin (yeniden) dağılımı şekline bağımlıdır.

### 1.6.2.3. UYGULAMALI DURUMLARA TATBİK

Döküm metalinin yapısı aşağıdaki fiziksel parametrelerin kombinesi sonucu belirlenir.

Bunlar :

- a. Alaşım metalinin sıvı-katı münasebeti
- b. Isı nakil oranı (hızı)
- c. Çekirdek tesirliliği
- d. Isı girişi
- e. Sıvı metalin cebri (basıncı) hareketinin konveksiyonu

Bu fiziksel parametreler uygulamalı şartlara göre ifade edilebilir :

- a. Bir alaşımın katılaşma aralığı faz diyagramında solidus-likidus sıcaklıkları arasında düşey (dikey) mesafededir. Bu tek parametre konu ile ilgili tüm bilgileri kapsamaz. İnterfazdaki çözünenin atılımı (red) ilerleme zaptedilebilecektir. (Bu yararlı bir şeydir).
- b. Ergime ısısı tüm uygulamalı durumlarda kalıp vasıtasıyla uzaklaştırılır ki buna yeni meydana gelmiş bir katı metal veya sıvı kondüksiyonu yardımıyla ulaşılabilmelidir. Kalıp metali ise ve özellikle su ile soğutulursa ısı çekimi hızlı olur. İnterfaz kalıp duvarından uzaklaştıkça ısı çekme oranı (hızı) muhakkak azalır. Bu nedenle bir dökümün her tarafından ısı çekimi süresince (örneğin bir basıncı dökümde) boyut küçük olmalı ve yine örneğin yüksek hızlı kontinü dökümde interfazdan kalıba olan uzaklık küçük tutulmalıdır.
- c. Bazı uygulamalı durumlarda tane aşıl原因ıcılar eklenir. İlavelerin zamanlaması ve tarzı çok önemlidir. Zamanla biçim, boyut, yüzey şartları gibi karakteristiklerin değişmesi beklenebilir.
- d. Hemen hemen tüm durumlarda ergimiş metal aşırı ısıtılmıştır. Yane kalıba girdiğinde likidus sıcaklığının üzerindedir. Aşırı ısı çoğu kez kondüksiyon ve konveksiyon tarafından çabucak yitirilir.

( Burada bu iki terime açıklama getirilmelidir. Bu iki terim ısıanın uç yayılma yolundan (bir diğeri ışıyım) ikisini ifade eder. İletim, katının iki farklı ucu farklı sıcaklıklarda olduğunda kütlesi içinde oluşan bir ısı yayılımıdır. İletim sıvı ve gazlardada oluşur. Ama başka mekanizmalar aracılığıyla yayılım ile bağlantılıdır. Katılarda ısı ve ısıl enerji herhangi bir hareket olmaksızın temas halinde yayılır. Bir noktadaki sıcaklık arttığı vakit, moleküllerin ve atomların kaynaşmaları komşu noktalara geçerek bütün cismin sıcaklığı yavaş yavaş artar. Isı iletimi açısından maddenin özelliklerinin tanımı , maddenin atom yapısının açıklanmasına yardım eden bazı niteleyici özelliklerinin bilinmesini gerektirir. Sözelimi, ısı iletiminin maddenin içindeki serbest elektronların oranına dayandığı bilinmektedir. Buna göre ısı iletimi doğrudan gözlemlenemeyen, maddenin atom özelliğinin dışsal ve makroskobik (duyularla algılanabilen bir etki) bir etkisidir. Konveksiyon ise fizikte termik enerjinin maddenin yer değiştirmesi aracılığıyla iletilmesidir. (Taşınım). Konveksiyon özellikle düzgün bir biçimde ısıtılmayan bir sıvı yada gazda açıkça görülür. Genellikle sıvı yada gazın yoğunluğundaki azalma nedeniyle yükselmenin ve daha soğuk akışkanın aşağıya doğru hareketinin bir sonucudur. Bu arada ısıda sıcak bölgeden soğuk bölgeye doğru iletilmiş olur. (Örneğin alttan ısıtılan suyun dipten yukarı yükselmesi, orada daha soğuk havaya çarpması, buhar oluşturup soğuması ve yeniden dibe geri düşmesi. Hacimde oluşan bu dikeysel yukarı-aşağı hareket konveksiyon akımının sonucudur.))

Ancak bazı proseslerde sıvıdaki devam eden bir sıcaklık gradyanına proses devam ederken ısı ilave edilir. Bu prosesler ark ergitme, sürekli döküm ve tek kristal büyütme için kullanılan bazı metodlardır.

e. Sıvı hareketi, sıvı kalıba girdikçe sıvının momentumundan veya konveksiyondan yahut haricen uygulanmış mekanik veya elektromanyetik eylemler sonucu ortaya çıkabilir. Bu sıvı hareketi, güçlü manyetik alan uygulamalarıyla veya yoğunluk gradyanı (sıcaklık ve bileşimden dolayı) pozitif sistemlerin hazırlanmasıyla (yane daha yoğun sıvının daha altta olmasıyla) ortadan kaldırılabilir.

Döküm yapısı için önemli bir kriter tane büyüklüğüdür. Aynı derecede önemli ancak daha az aşikar karakterizasyon, dendrit kolları

arasındaki mesafedir. Bu iki nitelik kontrol edilen katılaşma proseslerinden (hepsi tarafından değil ancak) bir kısmı tarafından etkilenebilirler. Tane miktarı, meydana gelen fiziksel prosesler tarafından etkilenir. Bunu tartışacak olursak :

Çekirdeklenme, sıvı sıcaklığının, içindeki en etkili çekirdek seviyesinin altındaki sıcaklığa düştüğünde meydana gelir. Bundan dolayı çekirdeklenme, sıvı miktarının azaltımı ile (çekirdeklenme sıcaklığının altında) asgariye indirilebilir veya bu miktarın çoğaltılması ile arttırılabilir. Tek bir kristalin büyümesi için gerekli koşullardan bir kısmı :

- a. Güçlü çekirdeklerden sakınma
- b. Sıvıda hüküm süren pozitif bir sıcaklık gradyanı
- c. Yüksek kirlilik ve yavaş büyüme ile interfaz sıcaklığının yapısal basıncının azaltımı (asgariye indirilmesi).

ile elde edilebilir.

Çekirdeklenme, hızlı bir ısı çekimi ile arttırılabilir. Bu durumda çekirdek, büyüyen kristaller tarafından çevrelenen sıvıda meydana gelebilir ki bu durum etkili bir çekirdek bileşimi ve interfaz sıcaklığının yapısal basıncı ile mümkün kılınabilir.

Olayları en basitten itibaren tartışacak olursak : Ergimiş metal soğuk kalıba dökülürse kalıpla teması sonucu soğutulur ve buda çekirdeklenme meydana gelmesine neden olur. Kalıp duvarındaki temas ile kristal tabakası oluşur. Bu kristaller soğutulmuş bölgeyi teşkil ederler ve genellikle gelişigüzel yönedirler. (Bu kristaller kalıp duvarından ısının çekilmesiyle büyürler.). Bunların kalıp duvarından büyümeleri rekabete dayanır. Büyük bir kısmı çekirdeklenir. (Oldukça küçük bir kısmı içeri doğru büyürler.). Gözlemlenen şudur ki güçlü tercihli büyüme yönlerine sahip mevcut kristaller, yüzey merkezli kübik ve hacim merkezli kübik yapıdadırlar. (Örneğin kalıba dikey  $\langle 100 \rangle$  eksenli yapıya sahiptirler.). Dendritlerin büyüme yönleride önem arz eden bir konudur ve dendritik yapılar daima bu kristallerin hakimiyet kurdukları bölgelerde bulunabilirler. Diğer yönlerle (yönlü) kristallerin zaptedildiğine inanılır. Diğer mevcut kristaller içeri büyüme devam ederler. Bu koşullar altında, karşı kalıp yüzeyinden büyüyen kristallerle karşılaşılincaya kadar büyüme sürer gider. Daha sonra bu

kristaller dökümdeki kristal bölgeyi oluştururlar. Doğrultuları çoğu kez yatay yöndedir. Yapıları ise hücresele dendritiktir.

Bazı gayelerden dolayı tek bir kristalden oluşan hücresele dendritik bir yapı üretmek elverişlidir. (Avantajlıdır.). Bu çekirdeklenme sıcaklığına soğutulan sıvı hacmi ile kabın konik şeklinin bileşimi ile ve aşırı sıcaklık gradyanları ile elde edilir. Böylece koni ucundaki çok küçük bir sıvı miktarı bir çekirdek oluşmadan evvel çekirdeklenme sıcaklığına varır. Eğer ısı çekimi ondan sonra yavaş ise gizli ısı, büyüyen kristallerin sıvı sıcaklığını yukarı devam ettirmesiyle yayılır ve daha fazla çekirdek oluşabilir. (Büyüme sıcaklığı, çekirdeklenme sıcaklığının üstündedir.).

Saf bir metalin tek kristalli aynı yönde büyüme olabilir. Şartlar daha az serttir. Çünkü daha düşük (zayıf) gözünen (eriyik) hacmi (içerik), interfaz sıcaklığı yapısal basıncına düşer ve bu nedenle aşırı soğur. Saflık oldukça yüksek olduğunda, hücresele dendritikten ziyade hücreli yapı elde edilir. Hücresiz bir yapı 1.6.3 ve 1.6.4 'de tartışılacak şartlarla elde edilir.

Ergimiş metal kalıba dökülürken kontrol edilebilen bir diğer değişken aşırı ısıtmadır. Yane likidus sıcaklığının üstündeki eriyiğin derecesidir. Tamamen sütunsal yapıya götüren olaylar zinciri aşırı ısıtma orta değerlerde olduğunda meydana gelir.

Aşırı ısıtma yeterince artarsa ilk olarak çekirdeklenmiş kristaller sıvıda arta kalan ısı tarafından yeniden ergitilir. Sıvı ile temas bölgesi yanındaki kalıp parçası, likidus sıcaklığının üzerine ısıtılır. Soğuma devam ettikçe kalıp duvarının kenarındaki sıvı, çekirdeklenme sıcaklığına tekrar düştüğünde çekirdeklenme oluşur. Soğuma yavaş olduğundan (birincil (ana, esas) kristallerin meydana geldiği şiddetli soğumalara oranla) bir miktar çekirdek meydana getirilir. Bu büyüme dendritik olarak kalıba ve içeriye paraleldir. Soğuma nisbeten yavaş olduğundan dendritik yapıları kabadır. Sonuç ise gelişigüzel yönlü geniş kristallerden oluşan kaba dendritik yapıdır. Yüzey yakınındaki interdendritik (dendritler arası) sıvı uzun süre sıvı kalır. Katılma boşlukları oluştuğunda bu sıvının bir kısmı içeri emilir. Döküm yüzeyindeki kabartmalar dendritik yapıda görülür.

Aşırı ısıtma azaltılırsa dökümün iç taraflarında eş eksenli bir bölge görülür. Bu bölgede oluşan kristallerin, sütunsal kristallerin büyüdüğü esnada çekirdeklenme tarafından kaynaklanmadığı ispatlanmıştır

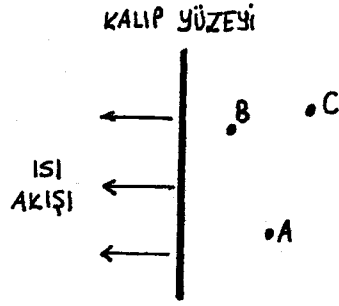
ve yine ispatlanmıştır ki bunlar boyca küçültülebilirler. Ayrıca sıvı hareketi manyetik alan uygulanması ile önlenirse bazı durumlarda tamamen ortadan kaldırılabilirler. Akla uygun şekilde bellidir ki eksenli bölge nisbeten küçük olduğunda sütunsal dendritlerin ucundan ayrılan parçalardan dolayı kristaller onun içinde meydana gelirler. İç sıvı sıcaklığı üniform olduktan sonra bunun vuku bulması muhtemeldir.

Hücrelerden ayrı olarak dendritik büyüme meydana gelebilir ve sonra ısı çekim oranının azalması, iç sıvı sıcaklığının yükselmesine müsaade eder. Sıvı hareketi mekanik davranışları ile uçların ayrılması ve dendritlerin kıvrılması (ki çeşitli kısımları ayrılmış kristaller olarak büyür) mümkündür. Aşırı ısıtma azaltıldıkça, hacim eksenli bölgenin artmasıyla kaplanır. (Sütunsal bölge daha kısa oluşur) Eksenli bölgenin tane büyüklüğü ufalır. Zayıf aşırı ısıtmadan dolayı eksenli kristallerin, metal kalıba girdikçe ilk soğuma sırasında oluşan çekirdeklerden meydana geldiği ispatlanmıştır. Bu durumda eriyiğin tümü yüzey çekirdeğin hayatta kalıp gelişmesi uğruna (yeteri kadar) derhal soğur. Bazı küçük eksenli kristaller sütunsal bölgede hapsedilirler. Eksenli kristaller birbirlerine çarptıklarında (bir iskelet ağ teşkil eden), sütunsal büyüme durur. Parçalanma ve ilk çekirdeklenme arasındaki intikal muhtemelen tedricidir. (Aşama aşamadır.).

Eğer etkili aşırı ısıtma dahada azaltılırsa sütunsal bölge kaybolur ve yüzey soğutulmuş bölge ve iç eksenli bölge birbirleriyle aralıksız (devamlı) olurlar. Kalıbın soğutma etkisi, metalin tümünün çekirdeklenme sıcaklığına soğutulmasına yeterli ise buna rağmen gerçek şudur ki çekirdeklenen kristaller ilk olarak hemen büyümeye ve gizli ısı yaymaya başlarlar. Tane büyüklüğü çekirdek kullanımıyla, daha hızlı ısı çekimi ile aşırı ısıtmanın azaltılmasıyla, kalıp parça (kol)larının azaltılmasıyla küçültülebilir.

Çekirdekler etkilerinde (güç bakımından) aynı değillerdir. Ancak farklı sıcaklık dereceleri üzerindeki ameliyelerde farklı güçte çekirdekler eriyiğe gelişigüzel yayılırlar. Temelde sıvıda üç farklı kuvvette çekirdek bulunan bir bölge düşünelim. (A, B ve C Şekil 1.6.5.).

Sıvı sabit bir derecede soğutulsun. Kritik sıcaklığa erişecek ilk çekirdek A 'dır ki büyümeye başlar. A kuvvetli bir çekirdekse büyümesi yavaştır. Çünkü A onun denge sıcaklığı ile bir hizadadır. (Denge sıcaklığına eşittir). A zayıf bir çekirdekse çabucak büyür. Şimdi B 'nin çekirdeklenip çekirdeklenmemesine göz atalım. Bu A 'nın B 'yi



Şekil 1.6.5. Çekirdeklenme ve büyüme arasında rekabet. (9)

onun kritik sıcaklığına soğumasını engelleme suretiyle nötrale ederek büyümesine bağlıdır. Eğer A hızlı büyür ve eğer B bölgesi yavaş soğutulursa B 'nin çekirdeklenmesi gizli ısının kombinasyonu ve A 'dan eriyik atılımı (reddi) ile önleneyecektir. Eğer B çekirdeklenirse problem C 'nin çekirdeklenme sıcaklığına ulaşp ulaşamayacağıdır. Farzedelim ki A , B kristalleri ve C kristali hareket etmesin, bu durumda C ancak A ve B 'nin çekirdeklenme sıcaklığı, C 'nin çekirdeklenme sıcaklığının altında ise çekirdeklenebilir. Büyüme sıcaklığı, hızlı ısı çekimi ile zayıflatılır (bastırılır). Bu nedenle kuvvetli katalizörün (tane arıtıcı) terkinin tesirliliği ve hızlı ısı çekimi iyi bir tane yapısını doğurur. Çünkü ısı ancak dökümün yüzeyinde çekilebilir. Çekimin maksimum oranı, kalıp duvarından itibaren uzaklık ile düşer.

Eğer sıvı hareketi oluşursa, A , B ve C 'nin sabitliği artık meşru olmasın, C 'nin kritik sıcaklığına ulaşma şansı kalıp duvarı civarına varmasına kadar arttırılır. Bu sıvı hareketinin (özellikle türbülanslı hareketi), sıvı hızlı olarak soğutulduğunda tane büyüklüğünü azaltmaya eğilimli olacağını gösterir.

Yukarıda tartışılan parametrelerden görülüyor ki döküm yapısını etkileyen birçok parametre sözkonusudur. Ayrıca bunlar döküm parçalarının davranışlarını da kontrol ederler.

### 1.6.3. DİFFÜZYON VASITASI İLE ÇÖZÜNEN DAĞILIMI

Sabit durumdaki sıvıda çözünen dağılımının " Tiller ve diğerleri " tarafından gösterilmiş diferansiyel çözümü :

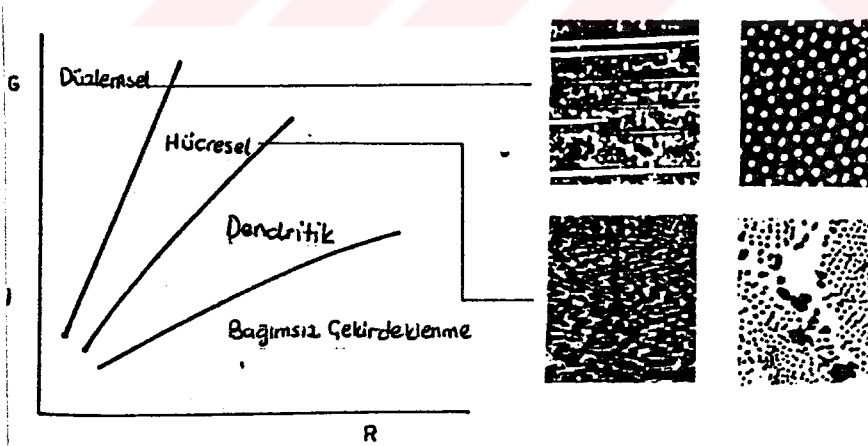
$$D \frac{d^2 C}{dx^2} + R \frac{dC}{dx} = 0 \quad (1.6.1.)$$

Burada  $x$  interfazdan uzaklık,  $D$  sıvıdaki çözünenin diffüzyon katsayısı (sabit),  $R$  interfazın hareket etme oranı (hızı) (büyüme hızı), sınır şartları ise:  $C=C_0/k_0$  ve  $x=0$  ve  $C=C_0$  at  $x = \infty$

Bu denklemin genel çözümü

$$C = A + B \exp\left(-\frac{Rx}{D}\right) \quad \text{dir.} \quad (1.6.2.)$$

Burada  $C$  interfaz önünde  $x$  mesafesindeki sıvıda çözünen konsantrasyonu,  $A$  ve  $B$  sınır şartlarına tayin edilen sabitlerdir. Basit türetim kararlı (sabit) haldeki interfaz önündeki çözünen yığınının tabiatını Şekil 1.6.6 'daki gibi gösterir.



Şekil 1.6.6. Hücre formu ve formsuz yapılar. (9)

İnterfazdan uzak bölgelerdeki sıvının bileşimi katılaşmanın ilerdeki safhalarında  $C_0$  'dan önemli derecelerde farklı olacaktır.

Kararlı hal için çözünen profilinde sınır şartları ve yukarıdaki denklemde yerine koyma şu sonucu verir :

$$C = C_0 \left[ 1 + \frac{1-k_0}{k_0} \exp\left(-\frac{R_x}{D}\right) \right] \quad (1.6.3.)$$

Yüksek saflık ötektikleri ve ergimiş bölgenin dar (sınırlı) bantıyla katılaştıran tek kristallerin vaziyetinde ve difüzyon vasıtası ile çözünen dağılımı durumunda yukarıdaki üç denklemle sabit (değişmez) dir.

#### 1.6.4. ALAŞIMLARDA YAPISAL AŞIRI SOĞUMA

Başlangıçta " Tiller ve diğerleri " tarafından analiz edildi. Onun konuyu ele alış biçimi aşağıdaki gibiydi.

Faz diyagramlarının kısımları ve  $m$  (likidus hattı eğimi) tayininden dolayı  $T_L$  denge likidus sıcaklığı :

$$T_L = T_m - mC$$

$T_m$  saf metalin ergime sıcaklığı ve  $C$  sıvı bileşimidir.

Başlangıç bileşimi  $C_0$  olan bir alaşımın kararlı hal (sabit durum) katılaşması süresince interfaz sıcaklığı  $T_i$  :

$$T_i = T_m - \frac{mC_0}{k_0} \quad (1.6.4.)$$

Çözünen dağılımı için (1.6.3.)'de verilen denklem :

$$C = C_0 \left[ 1 + \frac{1-k_0}{k_0} \exp\left(-\frac{R_x}{D}\right) \right]$$

ve interfaz önündeki farklı noktalara tekabül eden denge likidus sıcaklığı şu şekilde olacaktır :

$$T_L = T_m - mC_0 \left[ 1 + \frac{1-k_0}{k_0} \exp\left(-\frac{R_x}{D}\right) \right]$$

ve (1.6.4.) denklemini tekrar yazılırsa

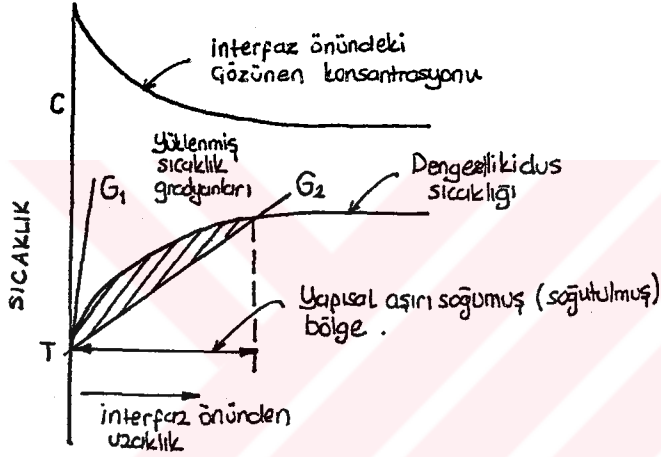
$$T_L = T_i + \frac{mC_0(1-k_0)}{k_0} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{R_x}{D}\right) \right] \quad (1.6.5.)$$

ve sıvıdaki gerçek sıcaklık :

$$T = T_i + GX \quad (1.6.6.)$$

dir.

Burada  $G$  interfaz önündeki sıvıda sıcaklık gradyanıdır.  $G$  değiştiğinde denge sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda interfaz önündeki sıvıda aşırı soğuma bölgesi denilen bir mevki meydana gelebilir. Şekil 1.6.7. bunu ifade etmektedir. Sıcaklık dağılımı  $k < 1$  ve  $k_0 > 1$  için de esasen aynıdır. Bu olay " yapısal aşırı soğuma " olarak bilinir.



Şekil 1.6.7. İki uygulamalı sıcaklık gradyanıyla ifade edilen interfazın önündeki yapısal aşırı soğuma. (8)

Yapısal aşırı soğuma bileşimdeki farklılıklar tarafından yol açılan aşırı soğumayı tanımlamak için kullanılan bir terimdir. Yapısal veya bileşimsel aşırı soğuma sadece alaşımlarda meydana gelebilir. Çünkü sıvıdaki pisliklere, alaşım elementlerinin konsantrasyonundaki yerel farklılıklara bağlıdır.

Sınırlayıcı şart, sıcaklık gradyanının likidus eğrisine tam teğet olduğu yerde, interfazdadır. Daha aşırı sıcaklık gradyanında yapısal aşırı soğuma meydana gelmez.

(1.6.5.) denklemini kullanılarak bu şart kolayca gösterilebilir.

$$\frac{G}{R} > \frac{mC_0}{D} \frac{(1-k_0)}{k_0} \quad (1.6.7.)$$

Bu terimlerden sol taraftaki büyüme parametresi, sağ taraftakiler malzeme ve sistem parametreleridir. Bu denklemin tabiatı, yapısal aşırı soğumayı kolaylaştıracak şartları belirlemeye olanak tanır.

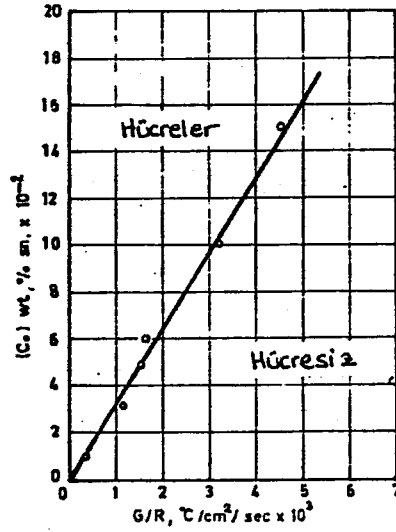
Bunlar :

- a. Sıvıdaki düşük (zayıf) sıcaklık gradyanları
- b. Hızlı büyüme oranları (hızları)
- c. Aşırı (fazla) likidus hatları
- d. Yüksek alaşım içerikleri
- e. Sıvıdaki düşük (zayıf) dağılma kabiliyeti
- f. Çok düşük  $k_0$  ( $k_0 < 1$  için) ve çok yüksek  $k_0$  ( $k_0 > 1$  için) değerleri

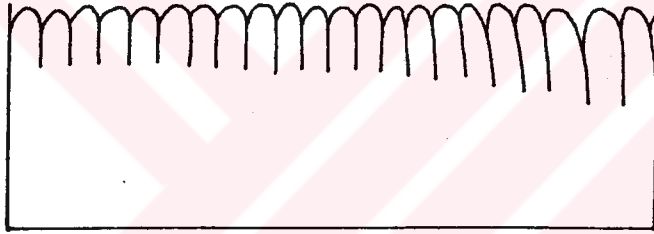
#### 1.6.4.1. HÜCRE TEŞEKKÜLÜ

Hücre teşekkülü, yavaş büyüme hızı ve yüksek bir sıcaklık gradyanı ile kaldırılabilir. (Şekil 1.6.8.). Eğer yapısal aşırı soğuma meydana gelemezse hücreler oluşamaz. Şeffaf (saydam) organik sıvılarda yapılan deneyler göstermiştir ki düzlemsel (planar) interfaz kararsız oluştukça önce yavaşça dalgalanmalı ve çukurlu ve daha sonra Şekil 1.6.9.'da gösterilen tamamen şekilli hücreler meydana gelir.

Eğer tane limit sınırları mevcutsa bu limit sınırlarla birleşmiş oluklar düzlem cephenin tabiatında mevcut çarpılma (distorsiyon)larıyla aynı derecede hareket eder ve interfaz bozulması diğer kristal parçaları na harici yayılma burada başlar.



Şekil 1.6.8. Hücrel katılma için şartlar. (8)



Şekil 1.6.9. Saydam organik (karbon tetrabromid) deki hücrel interfaz. (8)

#### 1.6.4.2. HÜCRESEL DENDRİTLER

Sıcaklık gradyanı azaltılırsa yapısal aşırı soğuma bölgesi yayılır. Hücreler öyle bir miktar niteliğinde değişirler ki dendritlerin özelliklerinin bir kısmını kazanırlar. Bu meydana geldiğinde hücre uçları (epey basık virajlı kubbe yerine) bir kare piramit biçimine sahip olurlar. Hegzagonal yerine kare biçiminde sıralanırlar ve karakteristik dendrit yönünde büyürler. Bundan sonra hücrel dendritler olarak atfedileceklerdir. Dallar (kollar) hemen hemen veya tamamen aralıksız (devamlı) ağlar (örgüler) şeklindedir ve bunlar ana büyüme yüzüne diktir.

Hücrelerden hücrel dendritik büyüme tipine geçiş (intikal) için kriter, interfazdaki çözünmüş konsantrasyonu ( $C_0/k_0$  ile verilen) ile

orantılı bir  $G/r^{1/2}$  değerini gerektiren kriter ortaya çıkar.

Hücrel dendritik yapının dendrit uçlarının büyüme hızı, katıya doğru ısı çekme hızı ile ve bu nedenle sıvıya (sıvı içine) uygun izoterm ilerleme hızı tarafından kontrol edilir.

#### 1.6.4.3. ALAŞIMLARDA SERBEST DENDRİT BÜYÜMESİ

Serbest dendritik büyümede büyüyen nokta (uç)ların ilerleme hızı, sıcaklık tarafından belirlenir. Bileşim ve büyüyen kristal biçimi benzer şekilde büyümenin lokal vaziyeti (hal, durum) tarafından tayin edilir. (Haricen yüklenmiş (zorlanmış) bir sıcaklık gradyanıyla değil) Ortaya çıkar ki bu büyüme tipi (yüklenmiş (zorlanmış) bir sıcaklık gradyanı hücrel dendritik olarak betimlenmiş levha yapı tipinin meydana gelmesine imkan verdiği sırada saf metaller benzer bir morfolojiyle) " dallı çubuk " tip dendritlerin teşekkülüne neden olur.

Alaşımelerde serbest büyüme, saf metallere adeta çok benzer bir biçimde meydana gelir. Bununla beraber çözünenin atılımı (reddi), saf metaller için düşünüldenden daha yavaş büyümeden doğan ilave bir karışıklığı (anlaşılabilirlik) gösterir. Sıvı, interfazla temasında, büyüyen bir dendritin ucunda çevredeki sıvıya göre daha yüksek bir çözünen muhtevası içermelidir. Bu yüzden denge sıcaklığı azaltılır. Bu ergimiş kütlelerin aşırı soğumasını azaltır. (Düşürür.).

#### 1.6.4.4. SEGREGASYON

Tüm segregasyon tipleri, katılaşma esnasında interfazdaki çözünen atılımının (reddinin) bir sonucudur. Çeşitli segregasyon tipleri yön, mesafe (aralık), çözünen hareketinin sahası halinde farklılık gösterir.

Bunlar :

- |                             |                                         |
|-----------------------------|-----------------------------------------|
| -- Normal segregasyon       | -- Kristallearası segregasyon           |
| -- Tane sınırı segregasyonu | -- Kristallerarası ağırlık segregasyonu |
| -- Hücrel segregasyon       |                                         |
| -- Dendritik segregasyon    |                                         |
| -- Ters segregasyon         |                                         |

### 1.7. KATILAŞMA PROSESİ ANALİZİ

Gelişmiş matematiksel ve deneysel modelleme teknikleri, varolan proseslerin iyileştirilmesi ve yenilerinin geliştirilmesi işini çok kolaylaştırırlar. Metodoloji, ilk önce uygun terkip maddelerinde problemi çözmek ve daha sonra bir modelde bu terkipleri (bileşimleri) ve tüm proses koşullarını sentezlemektir. Aşağıda katılma proseslerinin terkip maddeleri koşullarındaki son gelişmeler açıklanmaktadır. ( Mikrosegregasyon, makrosegregasyon, ısı akışı, dendrit kol mesafesi ve diğerleri )

Genellikle kullanılan ingot katılmasını (iskelet olarak) ele alalım :

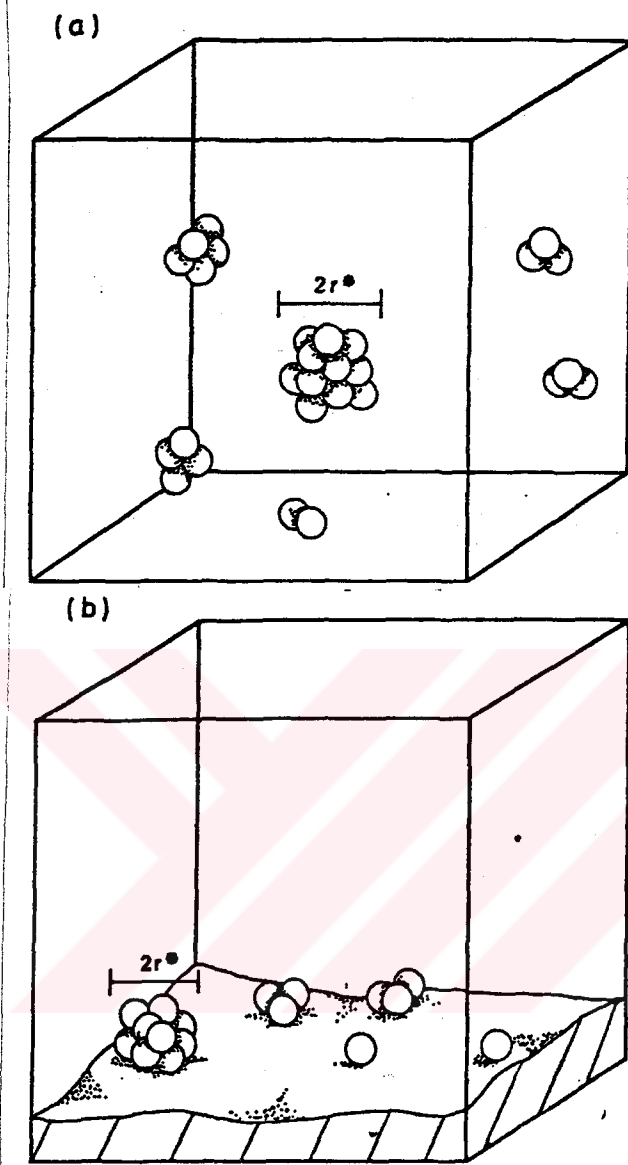
Atom ölçekleme işlemleri :

Bir ingotun katılması en azından bir çekirdeklenme hadisesiyle başlamalıdır. 1940 ve 50 'lerde Holloman ve Turnbull şaşırtıcı başarılarla küçük derecelerde deneysel ve analitik olarak bu metodlara çalışmaya başladı. Bu çalışmalar günümüze dek süren çalışmalara (özellikle Perepezkonunkilere) yardım etmişlerdir.

Holloman ve Turnbull Şekil 1.7.1 'de resimlenen çekirdeklenmenin açık fiziksel resmini çizmişlerdir. Atomlar sıvıda veya dış zemin alt katmanında " embriyolar " halinde bir araya gelirler. Termodinamik dengesel ergime sıcaklığının bir parça altında bunlar " r " kritik yarıçapa ulaşırlar ve kararlı bir çekirdek oluşturup hızlı bir şekilde katı bir tane oluşturmak için büyürler. Çekirdek ve daha sonra tüm hacim kristalleri kendi kendilerine büyürler. Bu proses analitik ve deneysel olarak çok incelenmiştir. Şimdi ise bilgisayar yardımı ile incelenmektedir. Faz karakteri ( yayınmış ve düzlemsel) ve interfazı ileri sürmek için zorunlu (gerekli) aşırı soğuma miktarı üzerindeki tartışmalar devam etmektedir.

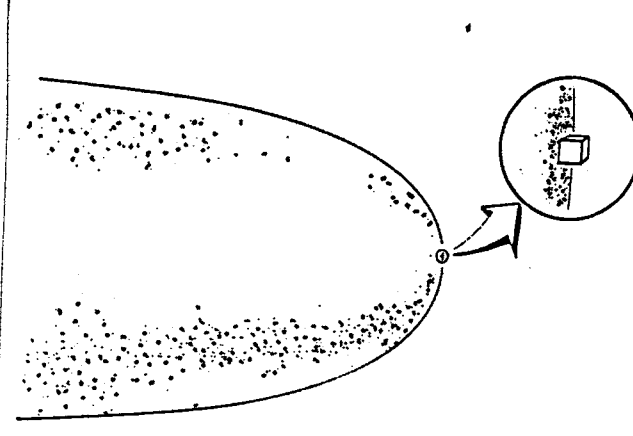
Dendrit ucu :

Araştırmacılar yıllarca sıvı eriyik içindeki şekil, aşırı soğuma, dendrit ucunun büyüme oranı (hızı) nın matematik problemi ile geniş ölçüde uğraşmışlardır. Isı ve kütle transfer problemleri, diferansiyel eleman veya sonlu eleman (dendrit ucundan çok daha küçük) kullanılan



Şekil 1.7.1 a ve b. Homojen çekirdeklenme (a) ve Heterojen çekirdeklenme (b) için fiziksel model. Kritik boy "r" embriyoları gelişebilir. (6)

matematiksel ve nümerik olarak çözümlür. (Şekil 1.7.2.).



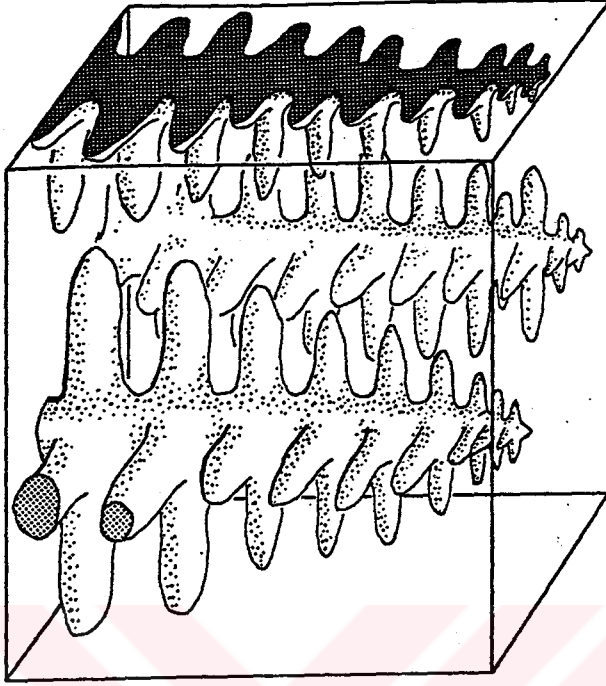
Şekil 1.7.2. Diferansiyel elemanı ile büyüyen (matematik analizleri için) dendrit ucu. (6)

Bu analizler ile tahminlerde örneğin aşırı soğumuş saf metalde dendrit büyüme oranı (hızı) gibi bazı dikkate değer başarılar elde edilebilmiştir.

Son zamanlarda dendrit tertibi problemi (bir grup dendrit ucunun interaktif (nöbetleşe tesir eden) etkilerinin davranışı) akademik ilgi odağı haline gelmiştir. Bu çalışmanın bir önemli sonucuda başlıca dendrit kol mesafelerini etkileyen faktörlerin şartı ve bu mesafeleri kestirmek için analizlerin geliştirilmesidir. Bir ilginç fiziksel sonuç ise başlıca (esas, ana) dendrit kol mesafelerinin sadece uçta gelişen olaylar tarafından tayin edilmemesi ayrıca ucun arkasında devam eden proseslerinde burada rol oynamasıdır.

#### Katı-Sıvı bölgesi :

Şekil 1.7.3 'de olduğu gibi resimde betimlenen dendrit kolları arasındaki mesafe farzedelim 1 ft. olsaydı , katı sıvının bir arada bulunduğu bölge yarım mil yada daha fazla dendrit ucundan geri yayınabilirdi. (Genişliyebilirdi.). Katı-sıvı yumuşak veya hamur bölgesi gerçektende çok uzundur. Bu bölgede araştırma yaparken diferansiyel eleman değil " sonlu bir hacim elementi" kullanılır. Yane en azından birkaç dendriti içine alacak kadar küçük olmalıdır. (Bazı amaçlardan dolayı). Bu amaçlara ısı akışı, dendritler arası sıvı akımı ve makro-segregasyon teşekkülü dahildir. Şekil 1.7.3 'de görülen küp bu amaçlar için uygun bir hacim elementidir.



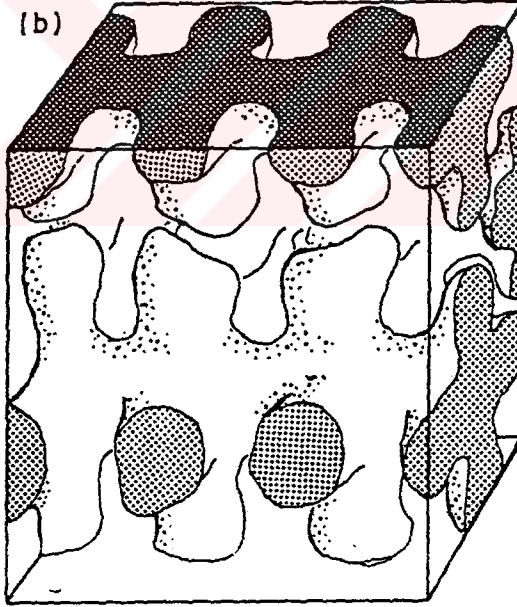
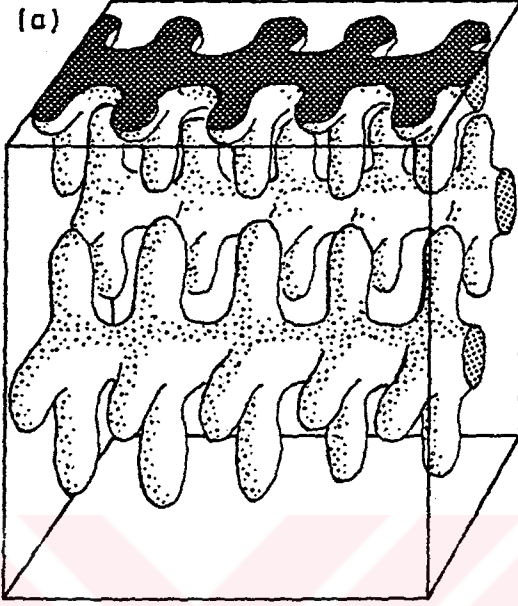
Şekil 1.7.3. Dendrit uçlarının tertibi. (6)

Şekil 1.7.4. katılaşmanın iki aşama sonrasındaki bir hacim elementini resmetmektedir. Şekil 1.7.3 , 1.7.4.a ve 1.7.4.b 'nin yakın bir benzeşimi epeyce önemli değişiklikleri göstermektedir. Cüzi bir miktar katı, derece derece elbette artar ve yapının ikincil dendrit kol mesafesi aralığındadır. Bu aralık (mesafe), olgunluk ve irilik prosesleri ile artar ki bununla katılaşma esnasında daha küçük kollar erir. (Çözünür.). Onlara büyüme aksiyonundan daha geniş diğerlerine ulaşılır. İlaveten bu şekilde sıcaklık gradyanı yönünde kolların ilerleyici hareketi, birbirlerinin yerlerini dolduracak kollar arasındaki mesafeler, katılaşmanın ileriki safhalarındaki levha oluşumu (özellikle ısı akış yönünde) gösterilmemiştir.

Katılaşma esnasında bu hacim elementinde meydana gelen çözünen dağılı tanımlamaya ilişkin en basit matematiksel denklem :

$$\frac{df_L}{dC_L} = - \left( \frac{1}{1-k} \right) \frac{f_L}{C_L} \quad (1.7.1.)$$

formunda ifade edilen Scheil denklemidir.



Şekil 1.7.4. a. % 20 katı b. % 50 katı malzemeyi gösteren sıvı-katı bölgesi hacim elementi. (6)

Burada  $f_L$  cüzi bir miktar sıvı,  $C_L$  sıvı bileşimi ve  $k$  denge taksim oranıdır.

$$C_L = C_0 f_L^{k-1} \quad (1.7.2.)$$

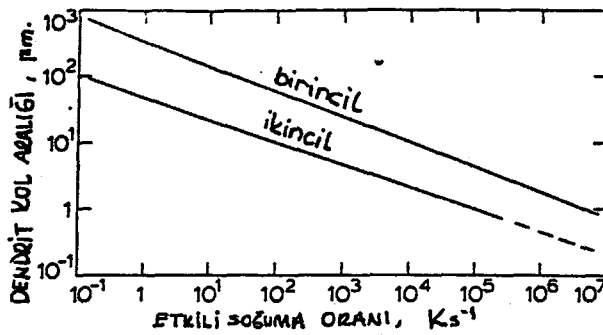
Bu basit denklem katı diffüzyonu, dendritin sıcaklık gradyan göçü, uç aşırı soğuması ve diğer faktörlerin yol açtığı çeşitli ameliyeler tarafından değiştirilir.

Ancak geniş ölçüde aynı denklemden dendritik olarak katılaşmış yapılardaki mikrosegregasyonu kestirmek amacıyla yararlanılır.

Bu yapıyla ilgili ikinci bir önemli denklem en azından irileme teorisi temelinde yarı kantitatif anlaşılmiş iyi bilinen ampirik denklemdir :

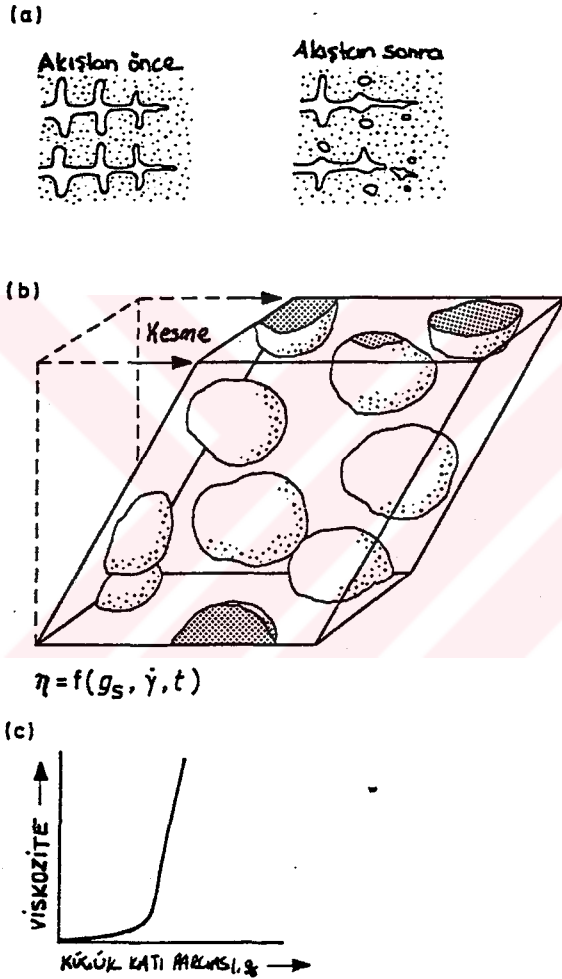
$$d_s = \alpha \epsilon^{-n} \quad (1.7.3.)$$

Burada  $d_s$  ikincil dendrit kol mesafesi,  $\alpha$  değişmez (sabit),  $\epsilon$  lokal soğuma oranı (hızı) ve  $n$  1/4 ve 2/5 arasında bulunan bir deneysel üs (teorikte 1/3 olması beklenir). Şekil 1.7.5. Al-4.5 Cu alaşımlarının birincil ve ikincil dendrit kol uzunluğunu geniş bir deneysel dataya dayanarak göstermektedir.



Şekil 1.7.5. Bir kısım araştırmaların deneysel datasından uyarlanan ( çoğunlukla düşük soğuma hızlarındaki) birincil ve ikincil dendrit kol uzunlukları.(6)

Adı geçen " olgunluk " prosesi, ikincil dendrit kol uzunluğunu kontrol eder, hem de sıvı akış hareketi altında dendritlerin kırılmasına (parçalanma,bozulma) yardım eder. Şekil 1.7.6. Şimdi anlaşılmalıdır ki döküm veya ingotun son tane büyüklüğü, çekirdeklenme sıklığı tarafından değil dendrit kırılma derecesi (genişlik,boy) tarafından tayin edilir. Şekil 1.7.6 'da bu durum görülmektedir.Bu yapılan proses " Rheocasting\*" olarak adlandırılır.



Şekil 1.7.6.a. Konveksiyondan dolayı bir dendrit yapısının bozulması.

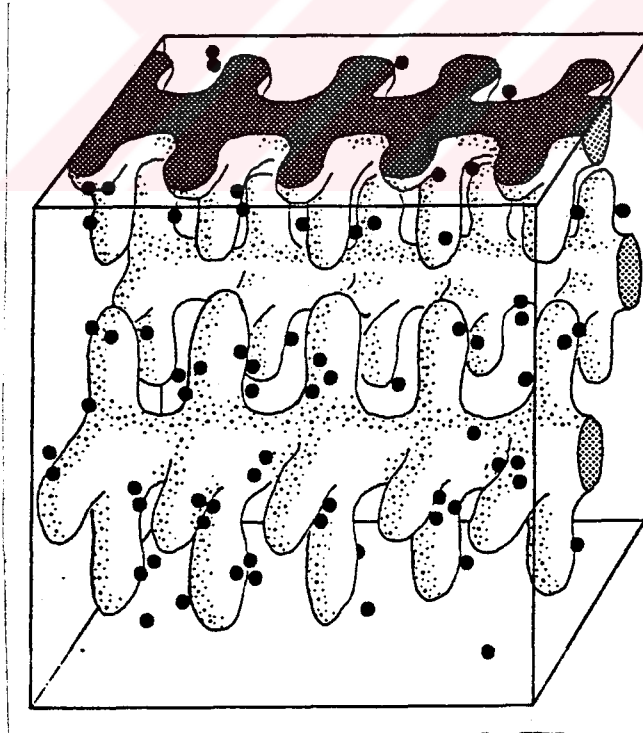
- b. Tamamen bozulmadan ileri gelen Rheocast yapı.  
c. Rheocast malzemeye göre katı arası viskozitenin tipik davranışı . (6)

\* Rheocasting : Katılaşmanın başlangıç safhasında sıvı metalin şiddetli bir biçimde çalkalanmasından ileri gelen % 60 'dan daha fazla miktarda katılaşma meydana geldiğinde yüksek derecede sıvı arta kalan küresel bir yarı katı istihsal etmek amacıyla yapılan bir proses .

Sadece ikili alaşımlar düşünülmebilir. Kalıntılar, gözenekler ve alaşım iki faz oluşturabilir. Şekil 1.7.7 bir kalıntı örneğini (çelikteki oksit kalıntıları) göstermektedir. Tasvir edilmiş bu kalıntılar örneğin çelikteki  $\text{SiO}_2$  kalıntıları olabilir. Bunlar büyüyen dendritler tarafından ileri ilerletilir. (İtilir.). Bunlar yüzüp çarpışabilir ve diğer kalıntı tipleri, büyüyen dendritler tarafından tuzağa düşürülür. (Hapsedilir.). Ayrıca kalıntıların katılaşma davranışlarını değiştirilmiş bir Scheil denklemi ile tanımlayabiliriz ki diferansiyel formda şu şekilde yazılabilir.

$$\frac{df_L}{dC_{Lm}} = -\left(\frac{1}{1-k_{\alpha m}}\right) \frac{f_L}{C_{Lm}} - \left(\frac{k_{\beta m} - k_{\alpha m}}{1 - k_{\alpha m}}\right) \frac{df_{\beta}}{dC_{Lm}} \quad (1.7.4.)$$

Burada  $C_{Lm}$  element m 'in sıvı bileşimi,  $f_{\beta}$  ikinci faz  $\beta$  'nın ağırlık oranı,  $k_{\beta m}$  m ile ilgili olarak (m 'e nazaran)  $\beta$  ve sıvı arasındaki taksim (ayrılma) oranı ve  $k_{\alpha m}$  elementiyile ilgili olarak m ve  $\alpha$  arasındaki taksim (ayrılma) oranıdır.



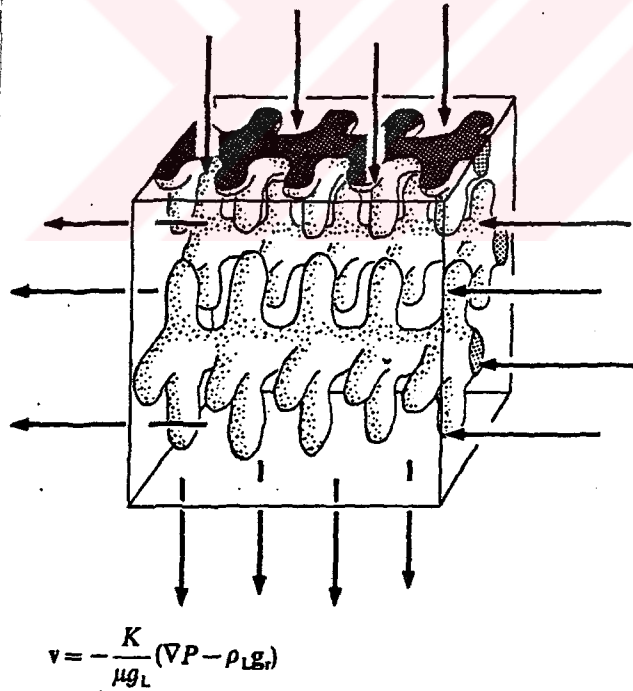
Şekil 1.7.7. Dendritik katılaşma sırasında ikincil kalıntılar oluşumu. (6)

Büyüyen dendrit tertibinin arasındaki dendritlerarası sıvı akışını ihmal edemeyiz. Şekil 1.7.8 'de görülen bu akış katılaşma büzülmesinden , yerçekimi yürütme konveksiyonu ve katı deformasyondan ileri gelir. İkili alaşımlar için Scheil denkleminin değiştirilmiş hali ve bundan dolayı son lokal katı bileşimi aşağıdaki gibidir.

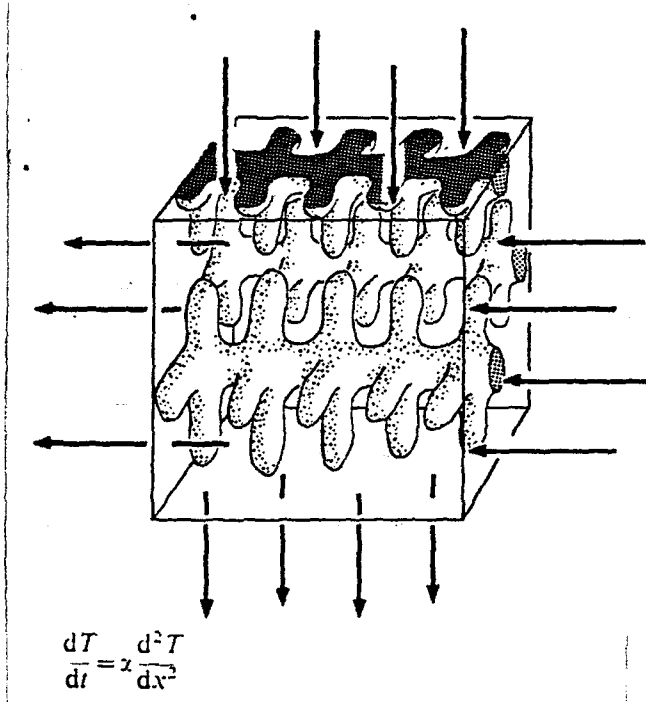
$$\frac{\partial g_L}{\partial C_L} = - \left( \frac{1-\beta}{1-k} \right) \left( 1 + \frac{\nabla T \cdot v}{\epsilon} \right) \frac{g_L}{C_L} \quad (1.7.5.)$$

Burada  $g_L$  hacim (oran) sıvısıdır ve bu akış döküm ve ingotlarda makrosegregasyonun başlıca nedenidir.

Son olarak katılaşan sıvı-katı bölgesinde ısı akışını tanımlayalım. (Şekil 1.7.9). Isı başlıca bu bölgedeki kondüksiyon tarafından nakledilir. Onun kaynağı ise ergime ısı ve özgül ısıdır. Genelde ısı katılaşma süresince ilave edilemez. Ne var ki yüksek yanma (şiddetli) sıcaklık egzotermiklerinden itibaren bu mümkündür.



Şekil 1.7.8. Katılaşan hacim elementi içinde sıvı akışı lokal bileşim değişikliği ile sonuçlanan izoterme dikey akış bileşeni. (6)

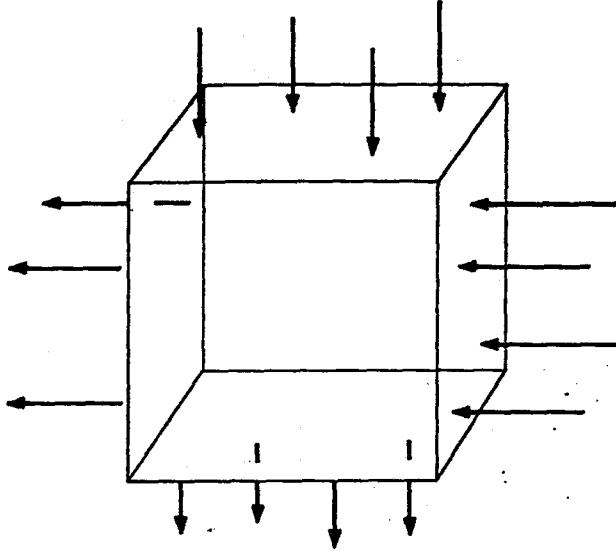


Şekil 1.7.9. Katılaşıp sıvı-katı hacim elementinde ısı akışı (6)

Tamamen katı ve tamamen sıvı bölgeler :

Katılaşıp bir döküm veya ingotun tamamen katı bölgesinde ısı akışı davranışı da bizi ilgilendirmektedir. (Şekil 1.7.10.). Ayrıca soğuma esnasında ortaya çıkan termal etki (baskı) ve gerilmelerde gözönünde bulundurulmalıdır. İngot şişkinliği ve çatlaması gibi problemlerin endüstriyel ehemmiyeti nedeniyle bu problemlerin teorik yönlerine ve malzemelerin detaylı analizlerine çok dikkat edilir.

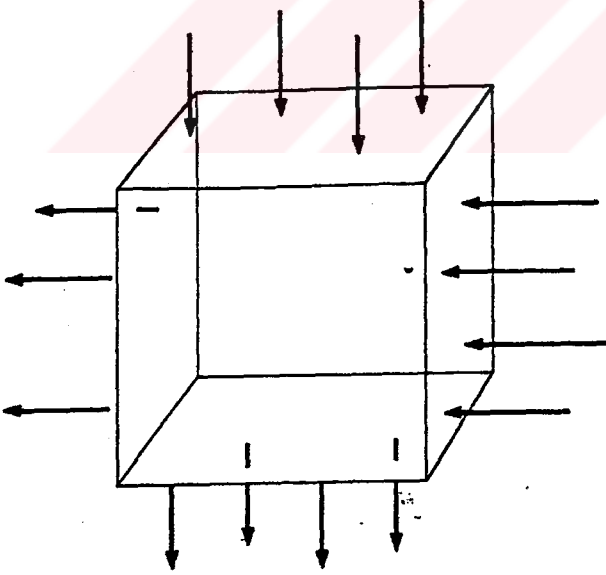
Tamamen sıvı bölgede ısı, konduksiyon ve konveksiyon ile nakledilir. (Çoğunlukla konveksiyonla). (Şekil 1.7.11.). Sıvı bölgenin bizi ilgilendiren bir tarafında örneğin birleşen, oluşan kalıntılardır ki bunlar potanın üst kısmında yüzerler. Muhtemelen potanın alt kısmını tıkarlar ve ingotta sonuçlanırlar.



$$\frac{dT}{dt} = \alpha \frac{d^2T}{dx^2} \quad \sigma_e = Kc_e^2$$

$$K, n = f(T, t, \dot{\epsilon}_e) \quad \frac{dV}{dT} = \beta$$

Şekil 1.7.10. Soğuyan bir katı hacim elementinde ısı akışı ve termal etkilerin gelişimi. (6)



$$\rho_t \frac{Dv}{Dt} = -\nabla P + \mu \nabla^2 v + \rho_t g$$

$$\frac{dT}{dt} = \alpha \nabla^2 T$$

Şekil 1.7.11. Sıvı elementinde ısı ve sıvı akışı. (6)

**Arayüzeyler :**

Arayüzeyler, katılaştırmada bazı özel problemler ortaya çıkarır. Bu ara yüzeyler kalıp/metal, kalıp/atmosfer, ayrıca metal/hava 'yı içerir. Isı akışı bakımından nisbi basit analitik ifadeler vardır. Ancak bu basit ifadelerde ısı transferi katsayılarından dolayı uygunü-merik değerleri tayin etmek kolay değildir. Metal/kalıp ısı transferi durumunda katılma esnasında , metal kalıptan çekilip ayrıldıkça katsayı epey ve bazen hayret verici bir şekilde değişebilir. Bu katsayıları ölçme (saptama) amacıyla laboratuvar deney çalışmaları tahsis edilmiştir.

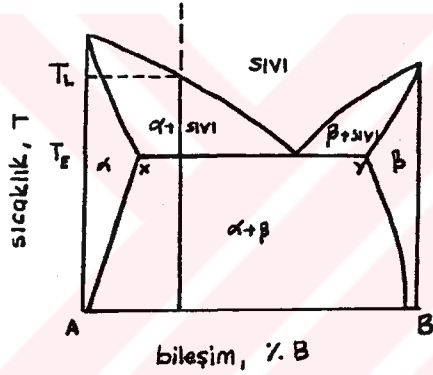
Kalıp/metal reaksiyonları bir başka problem sahasıdır. İncelemeye elverişlidir. (Katılma esnasında en ilginç temas hattı problemlerinden biri yüzey bitiş teşekkülü sorunudur. Örneğin ingot katılmasında yüzey pürüzlülük formu oluşumu ve kaplaması nasıl oluşur gibi. Bu ısı akışı düşüncelerini, sıvı akışını, katılmayı ve yüzey enerjisini kapsar.)

### 1.8. ÇOK FAZLI METAL VE ALAŞIMLARDA KATILAŞMA

Bu bölümde kompleks (iki veya çok fazlı) alaşımlar, ötektikler, peritektikler ve monotektikler ele alınacaktır.

#### 1.8.1. ÖTEKTİKLER- (Kursun-Kalay)

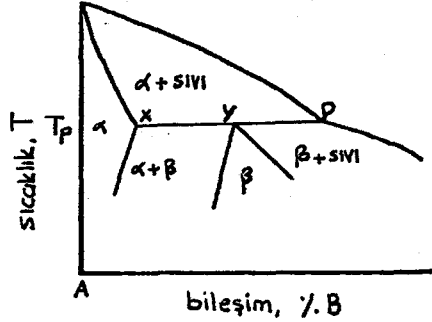
İki bileşenli ötektik denge diyagramında birbirine ters yönde iki solidus hattı görülmektedir. Ötektik sıcaklığın üstünde tek faz (sıvı) bulunmakta, altındada iki katı faz denge halini oluşturmaktadır. (Şekil 1.8.1.). Her üç fazda ötektik sıcaklığında ötektik bileşimde bulunabilirler.



Şekil 1.8.1. Ötektik oluşturan iki metalin ısı denge diyagramı.  
(8)

#### 1.8.2. PERİTEKTİKLER- (Gümüş-Platinyum)

Aynı yönde eğime sahip iki likidus hattının kesişmesinde bir peritektik reaksiyon oluşur. (Şekil 1.8.2.). Peritektik noktasında (P) sıvı P-PQ likidus hattında olduğundan α fazı ile ve yine P-PR likidus sıcaklığından daha aşağı olduğundan β fazı ile dengededir. Ötektik durumda tek sıvı iki katı fazla kararlı bileşik oluşturuyordu. Farklılık katı fazlardan birinin peritektik sıcaklık üzerinde dengede bulunabilmesidir. (Ötektik sistemlerde ise katılardan herbiri dengede bulunabilir.).



Şekil 1.8.2. Peritektik bir reaksiyon içeren ısı denge diyagramı parçası. (8)

Bu durumda X ve P arasındaki bileşim alaşımlarının denge katılaşması başlıca X katı eriyik kristallerinin gökemesini ve Y bileşiminde ikinci bir katı eriyik oluşturmak amacıyla  $T_p$  sıcaklığındaki kalıntı (artan) sıvı ile onun müteakip tepkimesini gerektirir. Y noktasının sağına doğru alaşım bileşimleri süresince X bileşimleri  $\alpha$  'nın tümü  $\beta$  oluşturmak için P bileşimi sıvının nitelikleriyle tepkir ve arta kalan sıvının katılaşması  $\beta$  'nin daha düşük sıcaklıklarda gökemesiyle tamamlanır. Y 'nin solundaki alaşımlarda sıvının tümü  $\alpha$  parçaları ve iki katı fazdan oluşan yapı ile tepkime sonucu tüketilir. Peritektik reaksiyon ilk reaksiyon ürünü katı fazı çevreleyen bir tabaka oluşturmadığı için hızlı bir şekilde dengeye erişemez. Müteakip reaksiyon hızı bu tabaka vasıtası ile kontrol edilir ve son katıda bir bileşimsel gradyan kalır.

### L. 8.3. MONOTEKTİKLER- (Bakır-Kurşun)

Bir sıvı fazı katı faz ve bir başka sıvı faz oluşturmak için ayırıştırıcı monotektik reaksiyonlar pek önem arzetmezler. Deneysel çalışmalar düzenli çubuksu yapıların ve makroskobik faz ayrılmasının çeşitli interfaz yüzey enerjilerine bağımlı olduğunu gösterir.

### 1.9. DÖKÜMLERİN YAPISI

Dökümlerin yapısı birçok özelliklere (Özellikle mekanik özelliklere), tane biçim ve miktarına bağlı olduğundan büyük önem arzeder. Çözünen dağılımının çeşitli tarzlarından ileri gelen segregasyon belirgin sonuçları doğurabilir.

Yapı üç büyük etkinin sonucu olarak görülebilir :

#### a. Alaşım teşkili :

Metal bileşimi kristalizasyonun ana biçimini etkiler ve tek, ötektik yada her iki fazda oluşacak yapıyı belirler. Alaşım bileşimleri eksiksiz (tam, belirli) dağıtım ve sıvı ve katı fazlardaki çözünen (eriyik) nedeniyle difüzyon katsayıları tarafından nitelendirilir (ile karakterizedir.). Böylece yapısal aşırı soğumaya nisbi eğilim kurulur.

#### b. Termal şart :

Dökümdeki soğuma oranı ve sıcaklık dağıtımı, metal ve kalıbın termal özellikleri ile ilk sıcaklık şart (koşul) larından türetilir.

#### c. Sıvıdaki büyüme şartları ve doğal çekirdeklenme :

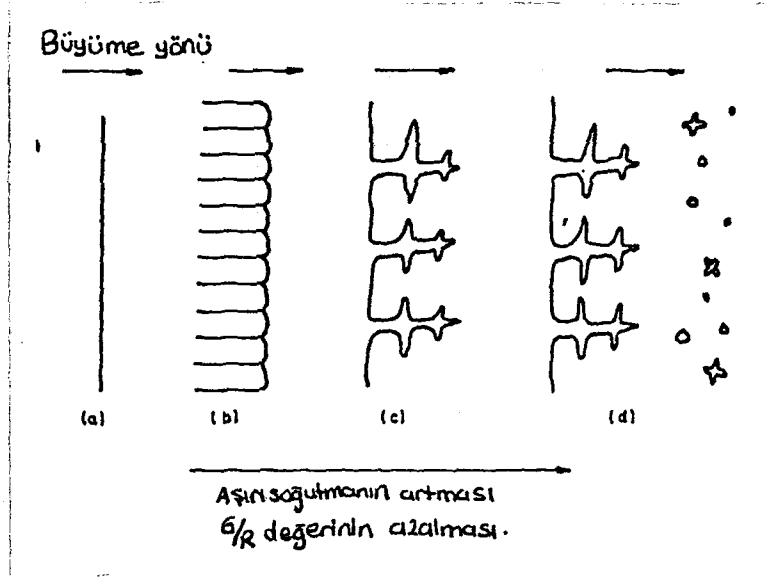
Nisbi imkanlar veya çekirdeklenme ve büyüme sıvıda bulunan gözünenlere, yabancı partiküllere bağlıdır. (Kasti ilaveler ve kalıntı pislikler buna dahildir.).

### 1.9.1. MAKROYAPI

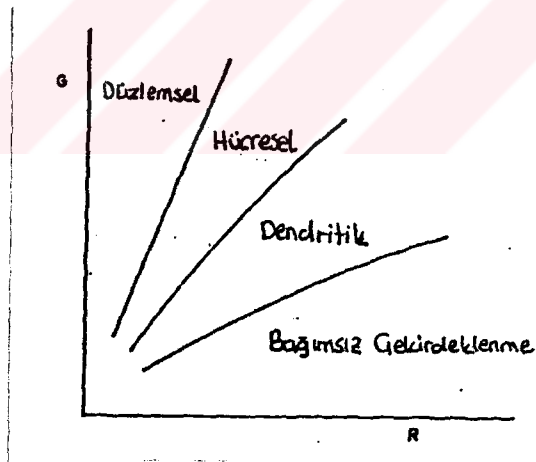
İngotlarda tane yapısı yönünden üç ayrı bölge izlenebilir.

1. Soğutulmuş kristaller bölgesi
2. Sütunsal kristaller bölgesi
3. Eşeksenli kristaller bölgesi

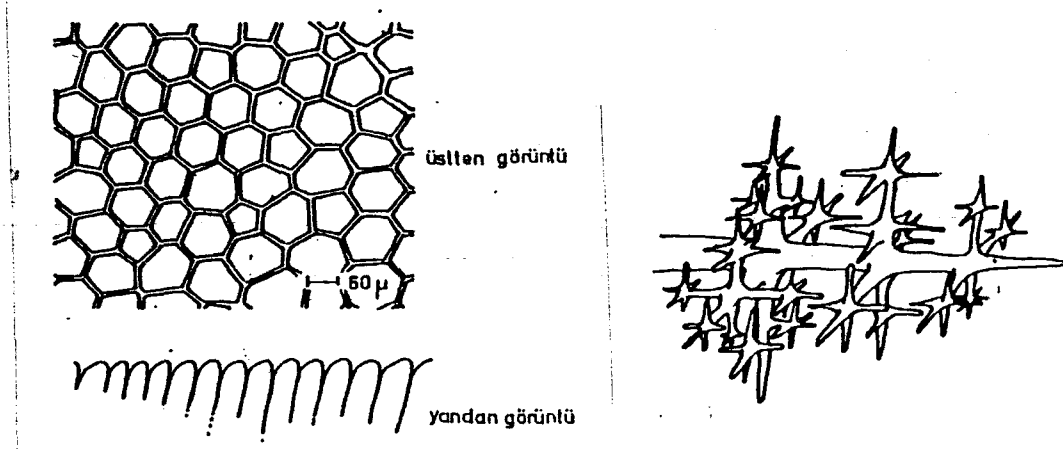
(Şekil 1.9.1.).



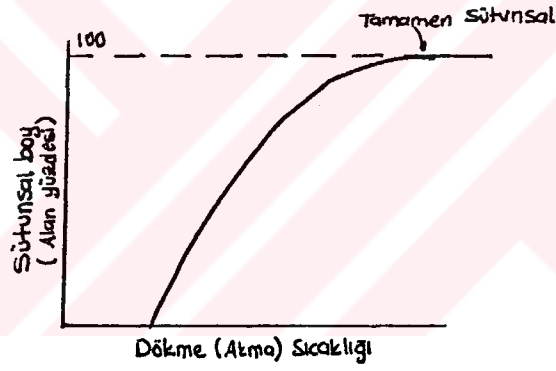
Şekil 1.9.2. Büyüme tarzı ve interfaz morfolojisi üzerindeki aşırı soğumanın etkisi. a. Düzlemsel interfaz b. Hücresel interfaz c. Dendritik büyüme d. Bağımsız çekirdeklenme (8)



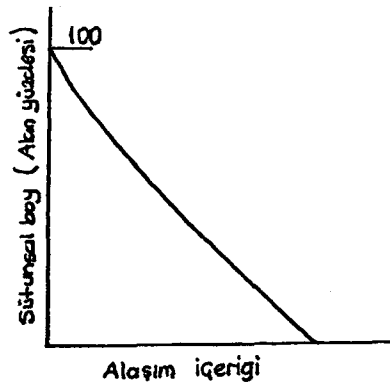
Şekil 1.9.3. Verilen bir alaşımın katılaşma morfolojisi üzerindeki katılaşma oranı (hızı) ve sıcaklık gradyanının etkisi (8)



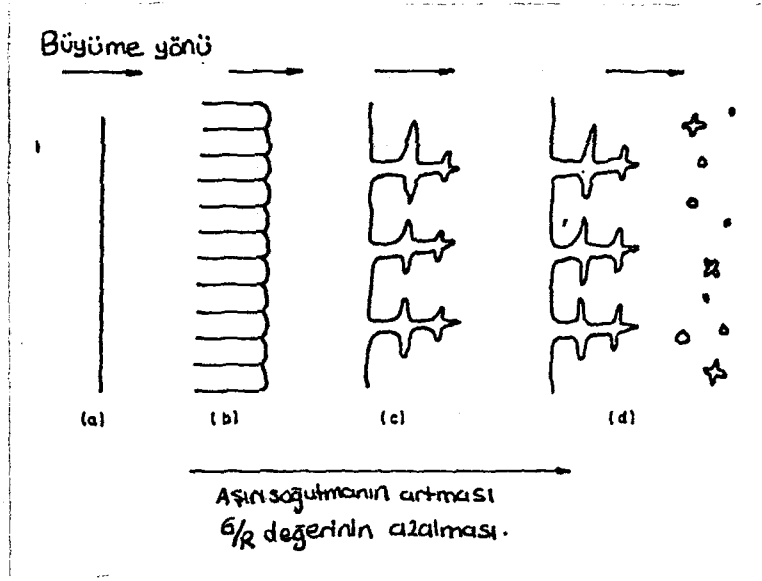
Şekil 1.9.4. Alaşımların katılaşma sürecinde muhtemel katı-sıvı ara yüzey morfolojisi. (11).



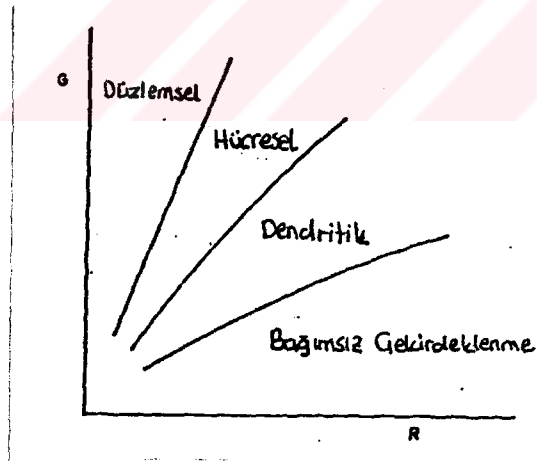
Şekil 1.9.5. Sütunsal bölge uzunluğunun dökme sıcaklığı ile değişimi. (8)



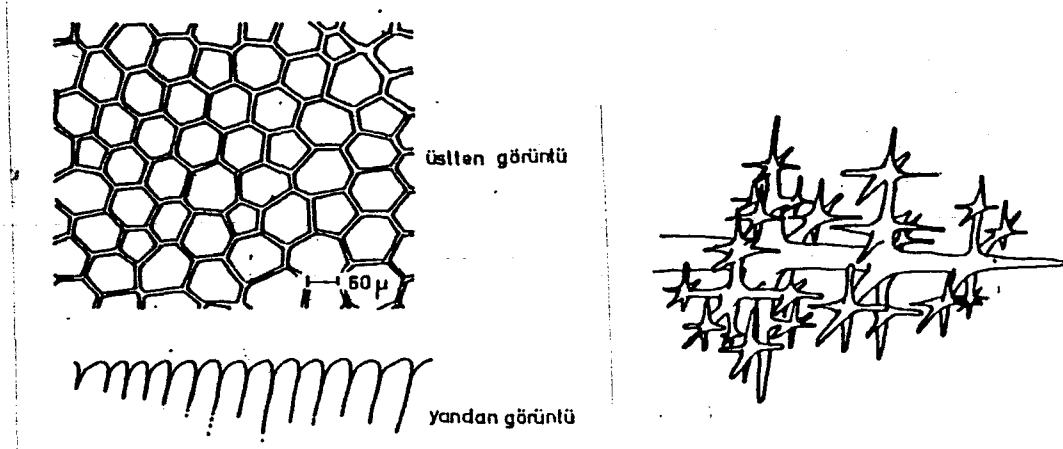
Şekil 1.9.6. Sabik dökme sıcaklığı için sütunsal bölge uzunluğunun alaşım içeriği ile değişimi. (8)



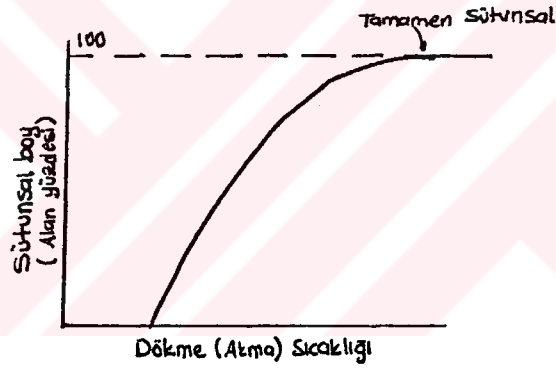
Şekil 1.9.2. Büyüme tarzı ve interfaz morfolojisi üzerindeki aşırı soğutmanın etkisi. a. Düzlemsel interfaz b. Hücreli interfaz c. Dendritik büyüme d. Bağımsız çekirdeklenme (8)



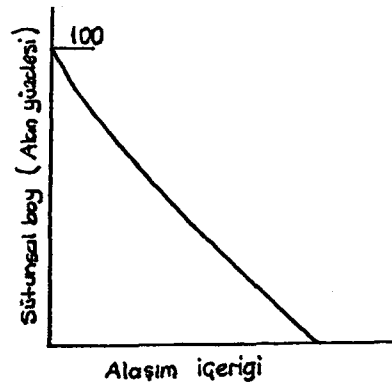
Şekil 1.9.3. Verilen bir alaşımın katılaşma morfolojisi üzerindeki katılaşma oranı (hızı) ve sıcaklık gradyanının etkisi (8)



Şekil 1.9.4. Alaşımın katılaşma sürecinde muhtemel katı-sıvı ara yüzey morfolojisi. (11).



Şekil 1.9.5. Sütunsal bölge uzunluğunun dökme sıcaklığı ile değişimi. (8)



Şekil 1.9.6. Sabik dökme sıcaklığı için sütunsal bölge uzunluğunun alaşım içeriği ile değişimi. (8)

### 1.9.1.3. EŞEKSENLİ KRİSTALLER BÖLGESİ

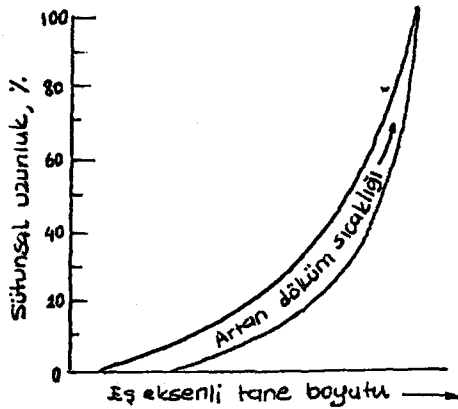
Eşeksenli bölgelerdeki kristaller soğutulmuş bölgeye nazaran daha geniş tanelere sahiptir ve yönleri gelişigüzeledir. Geniş bir eşeksenli bölgenin teşekkülü düşük (zayıf) aşırı ısıtma ile dökme ve daha yüksek alaşım içerikleri ile sağlanabilir. Döküm sıcaklığı arttıkça eşeksenli kristal oluşma eğilimi düşer. Diğer yandan oluşan bu eşeksenli kristaller artan tane büyüklüğü ile tamamlanır. (Şekil 1.9.7.).

Eşit eksenli dendritik kristallerin türemeleri ile ilgili olarak geçerliliği kesinlik kazanmış muhtelif kuramlar vardır:

Örneğin :

1. Katılaşma sürecinde sütunsal dendritik kristallerarası sıvı kütlede heterojen çekirdeklenme sonucu oluşabilecek serbest kristaller,
2. Sıvı metali kalıba dökme işlemi esnasında, metal-soğuk kalıp teması sonucu oluşabilecek soğutulmuş kristal parçacıkları,
3. Sütunsal dendritlerden veya serbest yüzey dendritik tabakasından değişik nedenlerle kopabilecek kristal parçacıkları,

serbest eşit eksenli dendritlerin başlangıçlarını oluşturabilirler.

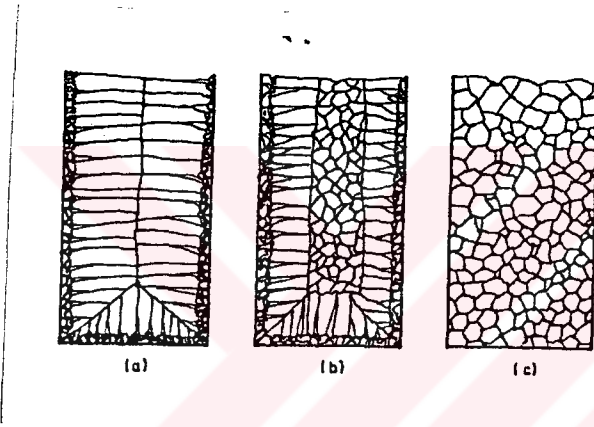


Şekil 1.9.7. Sütunsal uzunluk (boy), eşeksenli tane büyüklüğü ve dökme sıcaklığı arasındaki ilişki. (8)



Bir ingot tamamen sütünsal yapıdan tamamen eeksenli yapıya dn-  
ebilir. (ekil 1.9.9.). Magnet alaşımları için ince bir eeksenli ya-  
pıya ihtiyaç duyulur. Yapı izotropik (eyl) dr. Gelimek için bu  
yapı sütünsal bymenini ortadan kaldırılmasına ihtiyaç gösterir.  
Bunun için :

- Döküm hallerinin kontrolü yada aılayan kullanımı yoluyla çekirdek-  
lenmenin kontrolü
- Dinamik tane gelişimini (arıtım) teşvik için karıştırma, ultrasonik  
titreşim gibi fiziksel metodların kullanımına ihtiyaç duyulur.



Şekil 1.9.9. Muhtemel döküm yapıları

- a. Soutulmu bölge dışında tamamen sütünsal
- b. Kısım sütünsal ve kısım eeksenli
- c. Tamamen eeksenli.

(8)

### 1.9.3. DÖKÜMLERDE TANE BÜYÜKLÜĞÜ KONTROLÜ

Döküm metalinin katılaşmış yapısını kontrol etmek için döküm metalinde eşeksenli kristallerin teşekkülündeki temel mekanizmayı bilmek, eşeksenli tanelerin teşekkülünü etkileyen ve uygun kontrol tekniklerini belirlemek büyük önem arzeder.

A. Ohno ve T. Motegi çeşitli incelemeler ve gözlemler sonucu yeni teoriler ortaya atmışlardır. Ayrılma teorisi denilen bu teori diğer çalışmalar ile de desteklenmiştir.

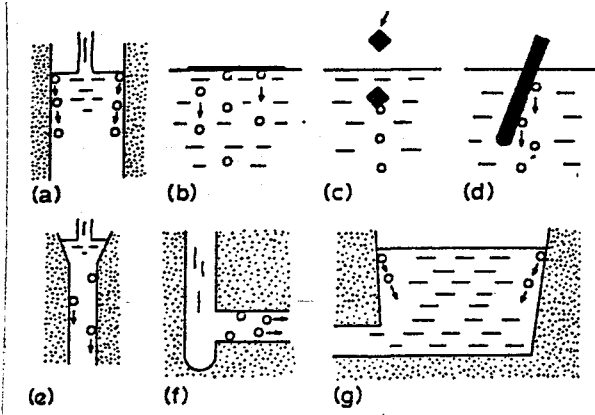
Bu teorinin temelinde, adı geçen şahıslar iyi bir eşeksenli yapı elde etmek için bir metalin katılaşma esnasında kalıp yüzeyi boyunca kristal büyümesini sağlayan (çubuksu kristalleri oluşturmak amacıyla) bir eriyik ihtiva etmesi gerektiğine inanmışlardır. Kararlı katı bir kabuğun teşekkülü sağlanmalıdır. Kristallerin ayrılmaları, sıvıdaki dinamik hareketler ile teşvik edilmeli, ergimiş metalin akma sıcaklığı, sıvıdaki serbest kristallerin ergitimiini sağlamak için mümkün olduğunca düşük tutulmalıdır.

Eşeksenli kristallerin başlangıcı (kaynağı) :

İngot dökümünde kalıbın içinde bulunan döküm metalindeki kristallerin ayrılması muhtemelen kalıbın üst yüzeyinde düşünülür. (Şekil 1.9.10.a.). Ergimiş yüzeydeki kalıp duvarı, dökme esnasında daha katı kabuk teşekkülünün ilk aşaması olarak sayılır.

Aşıkardır ki örtü malzemeleri, alaşım yapma elementleri, aşılardan veya karıştırma barları gibi soğuk saf maddeler ergimiş metale yada ergimiş yüzeye eklendiğinde, çubuksu kristalleri biçimlendirmek maksadıyla malzeme yeterince soğuk olduğu sürece onların yüzeylerinde kristallerin ayrılması beklenebilir.

Profil dökümünde eşeksenli kristaller sadece kalıp duvarından değil aynı zamanda yatay ve düşey yolluk duvarlarında da ayrılabilirler. (Şekil 1.9.10.e.f.g.). İhtimal ki kristal ayrılma noktası muhtemelen dökme sıcaklığı düştükçe düşey yolluk veya döküm kupasına doğru ilerler.



Şekil 1.9.10. Eşeksenli kristallerin başlangıcı (kaynağı).

- a. Kalıbın üst yüzeyi b. Örtü malzeme c. Alaşımlama malzemesi, aşılama d. Çalkalama çubuğu  
e. Kalıp duvarı f. Yatay yolluk duvarı e. Düşey yolluk duvarı. (12)

Eşeksenli kristallerin teşekkülünü kontrol etme etkenleri :

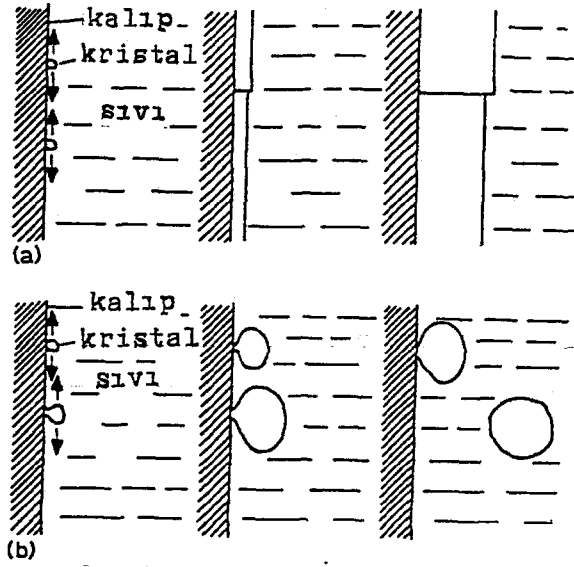
Çözenler (Tane arıtıcı) :

Ergimiş metal kalıba dökülürken, metalin ergime noktasının çok altındaki kalıp tarafından metal soğutulur. Bundan dolayı ergimiş metalin aşırı soğuma miktarı kalıp duvarı boyunca en çoktur. Kalıp duvarında çekirdeklenen kristaller ilk olarak katı bir kabuk oluşturmak için bitişik kristallere ulaşmaya kadar büyümeye meyillidir. Katı kabuk ileriye doğru bir sütunsal yapı biçiminde büyür. (Şekil 1.9.11.a)

Bununla birlikte bir metal katılaşma esnasında gelişen sıvı-katı interfazında ayrılan çözünür pislikler ihtiva ettiğinde çözünen segregasyonu, kristallerin köklerinden büyümesini dar boyun (kıstak) biçimleri oluşmasını engellemeye meyillidirler. Çünkü çözünen kalıp duvarında yayılmaz. (Şekil 1.9.11.).

Sıvının aşırı soğuması kalıp duvarındaki kristalin kökünde çok fazla (aşırı) baskı yaptığı için bu baskı kalıp duvarı boyunca kristal büyümesine engel olur. Diğer bir deyişle kristallerin tercihi büyümesi yana doğru meydana gelir.

Tane arıtıcıları olarak katkı maddeleri herşeyden önce kalıp duvarındaki boyun biçimli dar kristallerin teşekkülü eğilimi başlıca segregasyon katsayısı ve  $1-K_0$  mutlak değeri üzerine bağlıdır.



Şekil 1.9.11.a. Kararlı katı kabuk b. Eşeksenli kristaller' in teşekkülünün şematik gösterimi. (12)

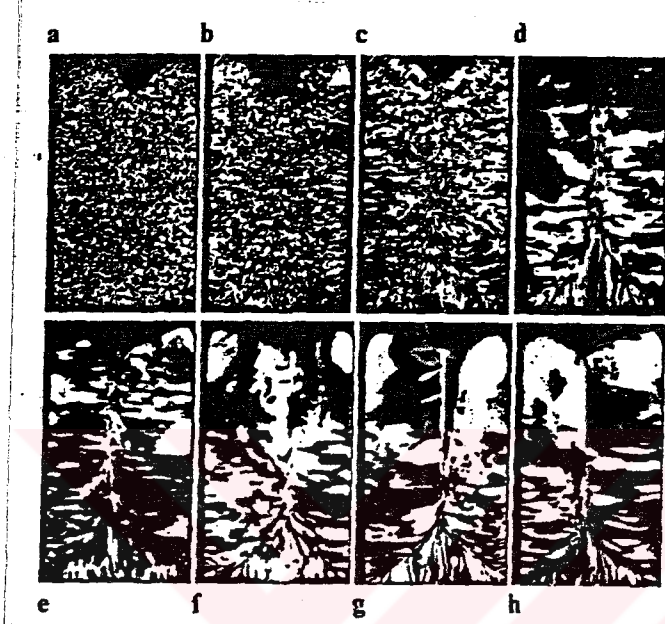
Daha geniş bir  $1-K_0$  mutlak değeri ile gözünen kalıp duvarında daha dar (ince) boyun biçimli kristaller oluşturur. (Şekil 1.9.12.). Alüminyum alaşımlarının ingot yapılarını % 0.1 katkı maddeleri ile sırasıyla  $1-K_0$  mutlak değer azalmasını göstermektedir. Aynı eğilim demir alaşımı ingotlarında da oluşabilirdi.

Genel inanışa göre bazı tane ariticıları döküm metallerinde çekirdeklenme katalizörü veya eşeksenli kristaller olarak etki yapıyordu, (bununla beraber kalıp duvarından ayrılan ve sıvı içinde hareket eden eşeksenli kristallerden çekirdekleştirme beklenemez.) her ne kadar bir alaşım sisteminin başlıca (asıl) kristal parçacıkları zayıf aşırı ısıtmada ergimiş metale eklense de bunlar büyüyebilir ve sıvıda eşeksenli kristaller teşkil edebilirler.

Bunun tipik örneği Al-Ti ana alaşımı ergimiş alüminyuma katıldığında başlıca (asıl) kristallerin gelişmesi ve peritektik reaksiyondan sonra eşeksenli kristallerin biçimlenmesidir.

Üstelik gözünenin segregasyon davranışı kalıp duvarındaki kristal çekirdeklenme yerleri miktarı dökümün tane büyüklüğü etkisi için göz önünde bulundurulur. Katkı maddeleri ergimiş yüzey niteliklerini değiştirebilirler. Bunlar özellikle oksit filmlerinin ve metalik olmayan maddelerin nitelikleri ve de kalıp duvarındaki ergimiş metalin

serpme (ıslatma) niteliğidir. Niteliklerdeki bu değişime katılma esnasında kristal ayrılmalarını ve çekirdeklenmeyi etraflıca etkiler. Her element ilavesinin etkisi ilk olarak segregasyon katsayısı ve ikinci olarak kalıp duvarındaki çekirdeklenme yerleri miktarı bakımından gözönünde bulundurulmalıdır.

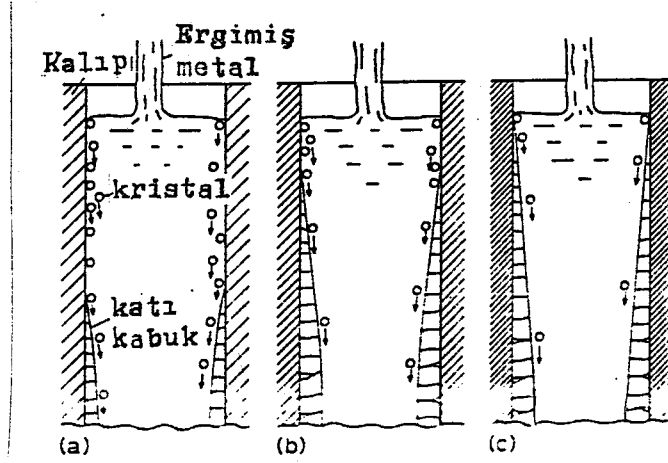


Şekil 1.9.12. Alüminyum ingotların makroyapılarında segregasyon katsayılarının (parantez içinde verilmiş) % 0.1 ilaveler ile etkileri a. Ti(0.9) b. Ni(0.99) c. Fe(0.97) d. Si(0.86) e. Cu(0.83) f. Mg(0.70) g. Zn(0.56) h. Mn(0.30) . (12)

Kalıp gartı :

Döküm metalinde kristal teşekkülünü etkileyen ikinci faktör kalıp malzemesinin soğutma etkisidir. Ergimiş metal zayıf bir akış kabiliyeti ile döküme nazaran daha yavaş olacaktır. Böylece (ilk durumda) ergimiş metaldeki devirdaim yada ergimiş akıntı ile kalıp duvarından ayrılan kristaller için daha elverişle zaman vardır.

Isı çekme oranı (hızı) azaltıldığında, kristallerin varolduğu bölgeler artar. Isı çekme oranı çoğaltıldığında bu alanlar daha küçük olarak oluşurlar. (Şekil 1.9.13.).



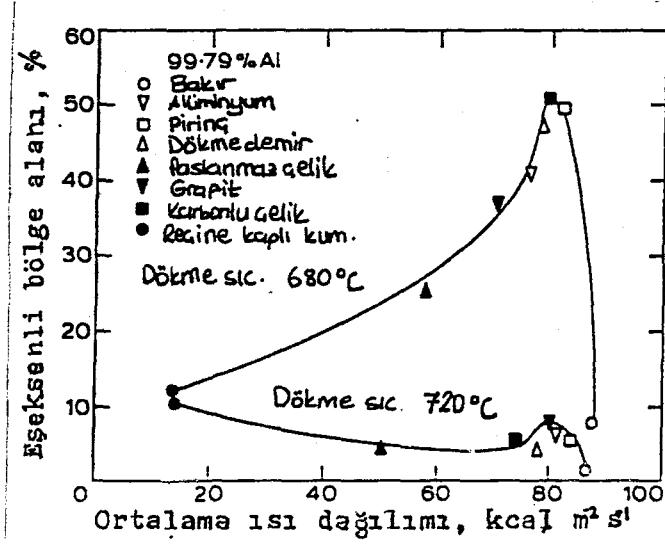
Şekil 1.9.13. Farklı ısı çekme hacimleri ile kalıp duvarında kristal ayrılmasının şematik gösterimi.

$$a < b < c \quad (12)$$

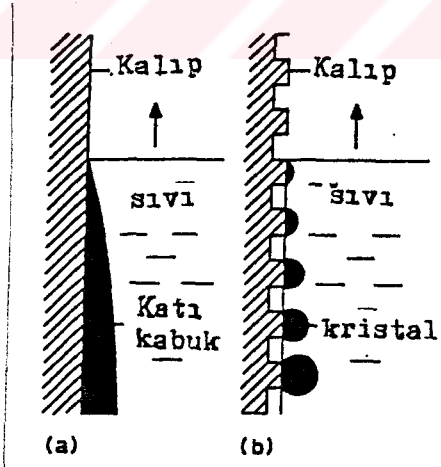
Şekil 1.9.14 kalıbın ısı dağılımı ile alüminyum ingotun eşeksenli bölgesi arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Bu hızlı soğumadan dolayı kararlı (sabit) kabuğun kurulmasıyla artmış ısı dağılımının önce eşeksenli bölgeyi arttırdığını daha sonra azalttığını gösterir. Başka bir deyişle yüksek miktarlarda ısı çekilen kalıp kalıp duvarından kristallerin ayrılmasını engeller. Bununla beraber kalıp duvarından ergimiş metale doğru ayrılan serbest kristallerin ergimesini önlemek için yüksek soğutma kapasiteli bir kalıbın çok daha uygun olduğu hatırlanmalıdır.

Her ne kadar pürüzlülük ve ısı çekme kapasitesi (hacmi), kalıp duvarının nitelikleri ve dökümdeki eşeksenli kristaller arasında bilgi eksikliği varsa da pürüzlü yüzey eşeksenli kristallerin teşekkülünde rol oynar.

Başka bir deyişle ayna (pürüksüz) yüzeyli bir kalıp, döküm metalinde kararlı (sabit) bir katı kabuk teşekkülünü teşvik eder. Ayna yüzeyli kalıp duvarında sıvı seviyesi arttığı halde kalıp duvarında yukarı kristallerin sürekli büyümelerini engelleyen engeller yoktur. (Şekil 1.9.15.). Pürüzlü bir yüzeyle eğer pürüz oyukları kalıp duvarı boyunca kristal büyümesini engellemek için yeterince geniş ise kristallerin ayrılmaları kolaylaşır.



Şekil 1.9.14. Kalıbın ısı dağılımı ile alüminyum ingotun eşeksenli bölgesi arasındaki ilişki. (12)



Şekil 1.9.15. Kristallerin a. Bir ayna duvarlı (pürüzsüz) kalıpta b. Bir pürüzlü duvarlı kalıpta büyüme prosesleri. (12)

Bazı kalıp tabakaları kullanılması tane arıtımı için çok etkili olduğu iyi bilinmelidir. Örneğin kobalt-alüminate ve kobalt-silikat'lı kalıp tabakaları nikel ve kobalt esaslı dökümler için etkilidir. Ayrıca kobalt kromat ve kobalt titanat da kobalt esaslı alaşımlar için etkilidir. Deneylerle belirlenmiştir ki kobalt oksit içeren bir kalıpta paslanmaz çelik döküm üretimi iyi bir tane yapısı göstermektedir. Ancak ergimiş metale bu bileşimler direkt olarak katıldığında tane yapısını etkilemedikleri halde kalıptaki bu bileşimlerin dökümün tane yapısını etkilememelerinin nedeni iyice bilinmemektedir.

#### Sıvı hareketi :

Eşeksenli kristallerin teşekkülünü etkileyen üçüncü bir faktör boyun biçimli kristallerin ayrılmasını teşvik eden sıvı hareketidir. Kararlı bir katı kabuğun teşekkülünden önce, metalin katılaşmasının ilk aşamasında kalıp duvarından kristallerin ayrılmasını en etkili bir biçimde teşvik eder.

Eşeksenli kristallerin teşekkülünü teşvik etmek amacıyla çeşitli metodlar kullanılmıştır. (Örneğin titreşimler, salınımlar ve döndürmeler gibi mekanik karışımlar, manyetik ve elektromanyetik karışımlar, sonik ve ultrasonik titreşim ve gaz kabarcıkları ile çalkalanmalar gibi...). Tüm durumlarda dendrit ergitimi, eşeksenli kristal üretimi için temel mekanizmadır. Bununla beraber sıvıdaki dinamik hareketin mevcudiyetiyle dendrit kristal yapılarının teşekkülünden önce kalıp duvarından boyun biçimli kristaller ayrılabilirler. Bu nedenle eşeksenli kristal üretimi için en etkili yol kalıp duvarında kristallerin ayrılmasını teşvik etmektir.

Kalıp duvarından ayrılmış serbest kristallerin çoğalması (eğer dendritik olarak büyüyorlarsa) kararlı bir katı kabuk teşekkülünden sonra çökelme esnasında titreşim ve çalkalama kuvvetleri tarafından teşvik edilecektir. Bununla birlikte ergimiş metalin yüzey titreşimi ve çalkalanmaları dökme (akma) esnasında (katı bir kabuğun kararsız safhasında veya katılaşmanın ilk safhasında) üst yüzey, kalıp duvarı boyunca daima artacağından eşeksenli kristal teşekkülünü en iyi şekilde teşvik için gözönünde bulundurulur.

Akma sıcaklığı :

Akma sıcaklığı en son ve en önemli faktördür. Ergimiş metal kalıp duvarıyla temas ettiğinde eğer büyük miktardaki sıvının sıcaklığı yeterince yüksekse çekirdek ergitilecektir. Ancak çekirdek boyun biçimli kristaller olarak büyüebildiğinde kalıp duvarından kristallerin ayrılması (eşeksiz bölgeyi oluşturmak amacıyla) beklenenecektir. Kalıp duvarından ayrılmış olan bazı serbest kristaller katılaşmanın ilk safhalarında sıvının içinde kristallerin yüzmesi esnasında kalıbın altına (alt kısmına) çökecektir. Bazı kristaller sıvı içerisinde yeniden ergitilecek, bazıları da indirgenecektir. Metal sıcaklığının azalmasıyla yüzen kristaller eşeksizli kristalleri oluşturmak amacıyla çökecektir.

Akma sıcaklığı iyi bir tane yapısı elde edebilmek için mümkün olduğunca düşük tutulmalıdır. Çünkü katılaşmanın ilk safhasında birçok kristalin kalıp duvarından ayrılması esnasında (geniş kaba tane yapısı biçimiyle sıvıda) tekrar ergiyeceklerdir.

Tüm bu faktörler gözönüne alındığında sonuç olarak döküm metali katılaşma esnasında ayıran çözünenler ihtiva etmelidir. Tane arıtıcıları olarak katkı maddeleri kalıp duvarından boyun biçimli kristallerin teşekkülünü teşvik etmelidirler. Katılaşmanın ilk safhalarında yada akma esnasında kristal ayrılması beklenen bölgelerde hızlı soğumadan kaçınılmalıdır. Sıvı hareketi, özellikle ilk safhadaki yüzey titreşimi kalıp duvarında kristallerin ayrılmasında çok etkilidir ve son olarak akma (dökme) mümkün olduğunca düşük sıcaklıklarda uygulanmalıdır.

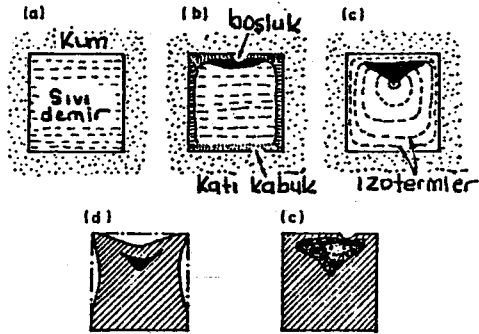
### 1.10. BOŞLUKLARIN BAŞLANGICI

Sıvı metalin (örneğin çelik) katılaşma süresince soğuma büzülme-leri üç farklı basamakta vuku bulur. Sıvı metal sıvı büzülmesine, dökme sıcaklığından katılaşma sıcaklığına dek maruz kalır. Daha sonra ise katılaşma esnasında katılaşma çekmesi gösterir ve oda sıcaklığına soğumada ise katı çekmesi oluşur. Şekil 1.10.1. bu yaklaşık büzülme-leri göstermektedir.



Şekil 1.10.1. Soğuyan ve katılaşan özgül çelik hacminin değişimi.  
(8)

Dökme çelikler için sıvı büzülmesi 100°F başına % 0.9 ve katılaşma büzülmesi % 3 civarında oluşur. Dökümde hesaba katılan boşluk te-şekkülünde bizi ilgilendiren katılaşma büzülme-leridir. Şekil 1.10.2 'de gösterilen küp şeklinde kalıptaki sıvı metali gözönüne alalım ve küp kalıptaki sıvı demirin ergime noktasında olduğunu farzedelim. Kalıptan ısı çekildiği için başlangıçta bir katı demir kabuğu oluşur. Sıvı katılaştıkça hacmi büzülür (çeker) ve döküm içinde kısmi (cüzi) bir vakum yaratmaya çalışır. Bu kısmi (cüzi) vakum kübün üst kısmında-ki katılaşmış kabuğun hemen altında oluşmaya başlayabilecek büzülme boşlukları ile sonuçlanabilir. Katılaşma devam ettikçe metal başka yerlerde büzülme-leri karşılamak için aktıkça boşluk büyüyecektir. Şe-kill 1.10.2. 'de kabaca tarif edildiği gibi katılaşma izotermal hattı boyunca ilerleyecek ve büzülme boşluğu dökümün katılaşan son kısmında meydana gelecektir.



Şekil 1.10.2. Sıvı demirin katılaşması a. İlk sıvı metal  
 b. Katı kabuk ve büzülme boşluğunun teşekkülü  
 c. Dahili (iç) büzülme d. Dahili (iç) büzülme  
 artı çukurluk e. Yüzey patlağı (delik). (3)

Eğer atmosferik basınç ile dökümün dahili kısmının basıncı arasındaki farklılık büyükse katılaşmış kabuğun mukavemetini yenmek güçleşir.

Boşlukların şiddetini belirleyen başlıca faktörler ise :

- Boşluk miktarını ve katılaşma hızını arttıran kalıp ve metal değişkenleri
- Artan katılaşma büzülmeleri ve metal viskozitesi

boşluk miktarını arttırır.

B Ö L Ü M 2S İ V İ A K İ M İ V E A K İ C İ L İ K2.0. GİRİŞ

1. Bölümde "Katılaşma Mekanizması" ele alınmış ve konu detayları ile incelenmişti. Bu bölümde ise "Sıvı Akımı ve Akıcılık" konusu ele alınacak, esas tez konusunu teşkil eden Akıcılık ve Akıcılığı Etkileyen Faktörler üzerinde durulacaktır.

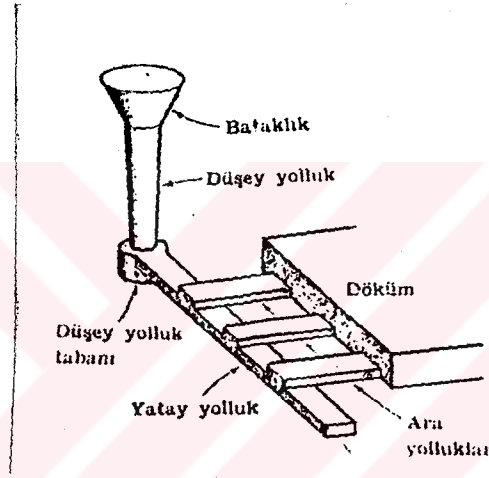
Katılaşmanın önemli bazan ihmal edilmiş bir yanı sıvı akımıdır. Döküm yöntemlerinin çoğunda metal ergitme potasından kalıba gönderilir. Gaz absorpsiyonundan ve oksit teşekkülünden kaçınma ve kalıp boşluğunu tamamen, kusursuz bir şekilde doldurmak için bu işlem büyük bir dikkatle yapılmalıdır. Metal bir kere kalıbın içerisine gönderilince momentum tesiri ve sıvı içindeki yoğunluk farkları dolayısıyla konveksiyon devam eder. Bu durumda katılaşma başlayınca konveksiyon, yapıya bazarda teşekkül eden katının bileşimine tesir eder. ( Kristal büyütmede, sıvı katı arayüzeyinde gözünen iletimine yardım gayesiyle bazan kasten cebri konveksiyon uygulanır.).

Akma kabiliyeti (akıcılık) ise bir alaşımın döküm malzemesi olarak uygunluğunu belirleyen (döküm yeteneğinde rol oynayan) teknolojik bir özelliktir. Akıcılık, kalıp doldurma kabiliyeti ile direkt ilgilidir. Ayrıca akıcılık genel olarak ele alındığında (akıcılığı etkileyen faktörlerde göz önünde bulundurulduğunda) dökümün iç yapısında etkiyen önemli bir etmendir.

Özellikle katılaşma ve kusursuz bir dökümün eldesi için büyük önem arzeden Sıvı Akımı ve Akıcılık konusu aşağıda belirli konu başlıkları altında incelenecektir.

## 2.1. YOLLUK SİSTEMİ

Şekilli dökümlerin imalinde metal kalıba genellikle Şekil 2.1.1 'deki gibi (şematik) bir yolluk sistemi vasıtasıyla sokulur. Sistemin bir fonksiyonu, sıvı metali atmosfer, kalıp veya kalıp gazlarıyla aşırı derecede reaksiyona girmeden mümkün olduğu kadar sakin bir şekilde kalıp boşluğuna sokmaktır. Keza iyi bir yolluk sistemi bu ana kadar hapsedilmiş oksit ve cürufu mümkün mertebe ortadan kaldırmak ve metali karışık dökümlerde istenilen noktalarda kalıba sokmak gayesiyle dizayn edilir.



Şekil 2.1.1. Bir kum dökümü için yolluk sistemi.(5)

Tatmin etmeyen teknikler ise dökümde aşağıdaki kusurlara neden olabilir :

1. Kum, cüruf ve diğer pislikler
2. Pürüzlü yüzey
3. Hapsedilmiş gazlar
4. Aşırı derecede oksitlenmiş metal
5. Bölgesel büzülme (çubuk veya makro büzülme)
6. Yayınmış gözeneklilik (veya mikro gözeneklilik)
7. İki akımın rastlaştığı yerde sıvı metal eksik ergimesi (soğuk kapamalar)
8. Önceden katılaşmış metalin hapsedilmiş damlacıkları
9. Dolmamış kalıp (yetersiz akış)
10. Kum kalıp yada maçaya metal nüfuziyeti .

Yolluk sistemleri bu nedenle aşağıdaki şartları yerine getirecek şekilde dizayn edilmelidir :

1. Cüruf oluşumunu ve cürufun döküm içerisine girmesini önlemek
2. Metal akışına kalıp gazlarının yada havanın geçmesini (emilimini) önlemek
3. Kalıp yada maça erozyonunun önüne geçmek (Bu metal akış hızının tamamen yavaş olması anlamına gelir.)
4. Ergimiş metali belli bir hızda ve mevkide, katılaşmanın distorsiyonsuz, hatasız ve büzülmeyi azaltarak meydana gelecek şekilde kalıp boşluğuna sokmalı
5. Yüksek döküm sıcaklıkları gereksinimine meydan vermemeli
6. Maksimum döküm kazancı ve minimum taşıma maliyetine neden olmalı

Ayrıca yukarıdaki şartlara ilaveten çıkıcı seçme tarzı ticari bir şekilde (ekonomik) yapılabilir. Özellikle 1. başta olmak üzere yukarıdaki belirli şartlar ve döküm alaşımının tipi önem arzeder. Örneğin Alüminyum alaşımlı yüksek mukavemet istenen bir dökümde cüruftan kaçınmak önemlidir. Diğer yandan bu nokta kalay tuncu ve demir dökümünde kaygılanılması gereken bir husus değildir. Bu malzemelerin daha düşük reaktiflikleri ve döküm üzerinde öyle zararlı bir direngen (inatçı) oksit tabakası oluşturmamaları buna neden olur. Birçok kere bundan dolayı teknik olarak mükemmel yolluk sistemi kullanımı gerekli ve buna bağlı olarak ekonomik olmayabilir. Buna ilişkin iyi dizayn edilmiş yolluk ve çıkıcı sistemleri minimum kalıplama zamanı, minimum metal akış zamanı ve bitirme için minimum temizleme zamanı elde edilmesiyle güvenilir temiz bir döküme olanak sağlar. Böylece kalite ve ekonomide birlikte sağlanmış olur.

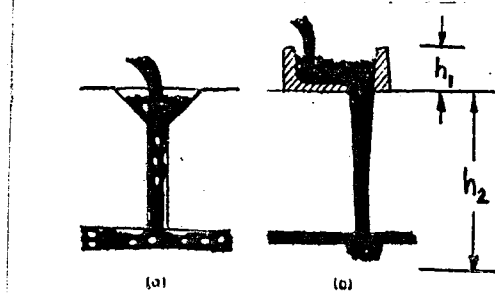
Metalin kalıba girdiği düşey kanal (düşey yolluk) yolluk sisteminin bir parçası olup Şekil 2.1.2.'de gösterildiği gibi, bilhassa kalıp gazlarının emilişi burada meydana gelir. Metalin aşağı doğru hızı artarken kalıp duvarlarından uzaklaşmasını önleyecek şekilde düşey yolluk kafi derecede konikleştirilirse emiş büyük miktarda azaltılır. Serbest olarak düşen metalin  $V$  hızı, düşme mesafesinin kareköküyle orantılı olarak

$$V = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

(2.1.1.)

şeklinde artar.

Burada  $gr$  yerçekiminden ileri gelen hızlanma ve  $h$  ise mesafedir. Bütün noktalarda metalin enine kesiti tam olarak doldurması için (2.1.1.) eşitliğinin kullanılmasıyla düşey yolluğun parabolik bir koniklikle dizayn edilmesi mümkündür.



Şekil 2.1.2. Düşey yolluk dizaynı a. Kenarı düz yolluk  
b. Konik yolluk (5)

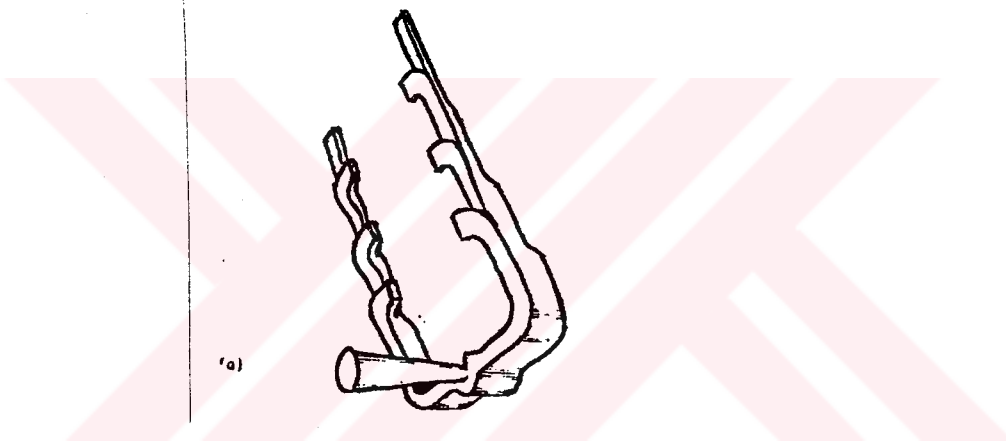
Bu şekilde bulunan neticeyle, pratikte çok daha basit olarak düşey yolluğun düz bir şekilde konikleştirilmesiyle bulunan netice arasında çok az bir fark mevcuttur. Burada da çıkış civarında enine kesitin dolu olması gerçekleştirilmiştir. (2.1.1.) eşitliğinden bunun

$$\frac{A_1}{A_2} \geq \sqrt{\frac{h_1}{h_2}} \quad (2.1.2.)$$

şeklinde olacağı görülür. Burada  $A_1$  ve  $A_2$  sırasıyla düşey yolluğun giriş ve çıkıştaki enine kesitleri,  $h_1$  ve  $h_2$  ise Şekil 2.1.2.'de tarif edilmiş metal yükseklikleridir. (2.1.2.) eşitliği bulunurken düşey yolluktaki sürtme tesiri, giriş ve çıkış tesirleri ve kalıp dolarken düşey yollukta meydana gelen ard basınç ihmal edilmiştir. Bu eşitlik, lazım gelen konikliğin ihtiyati bir tahminidir.

Akış kanallarının enine kesit ve yönleredeki ani değişikliklerde de emiş meydana gelir. Bunu azaltmanın bir yolu Şekil 2.1.3.'de gösterildiği gibi, sistemin yatay ve ara yolluklarını aerodinamik şekle sokmaktır. Tatmin edici ve çok kullanılan diğer bir yaklaşım sistemi aerodinamik şekle sokmak yerine, akış hızı düşük olacak şekilde yolluk sisteminin yatay kısımlarını geniş tutmaktır.

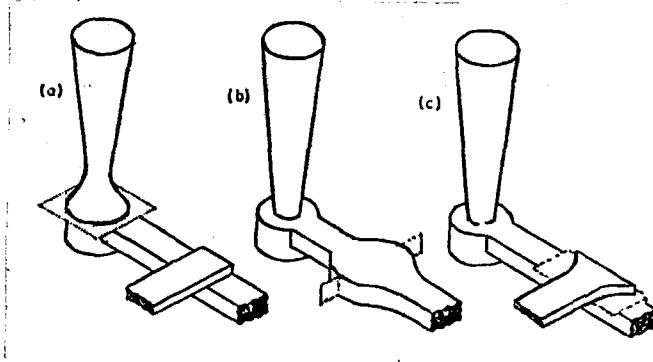
Buna bir örnek Şekil 2.1.1.'de gösterilmiştir. Enine kesitin en küçük olduğu yer düşey yolluk tabanıdır. Sonraki akış daha geniş kanallar vasıtasıyla ve daha küçük hızda olmaktadır. Örneğin Alüminyum dökümü için tipik bir yolluk oranı 1:3:3 'dür. Yani yatay yolluk kesitinin düşey yolluk tabanı kesitine oranı 3 'dür. Ayrıca ara yollukların enine kesitleri toplamı yatay yolluğunkine eşittir. Pratikte, bu tipteki yolluk sistemlerinde yolluk oranları 1:1:5 'den 1:5:5 'e kadar değişir. Yüksek oranlar, kolaylıkla oksit meydana getiren alaşımlar veya içerisindeki cüruf veya oksitlerin alınması zor olan alaşımlar, örneğin Sfero dökme demir için kullanılmaktadır.



Şekil 2.1.3. Tamamen aerodinamik şekle sokulmuş bir yolluk sistemi. (5)

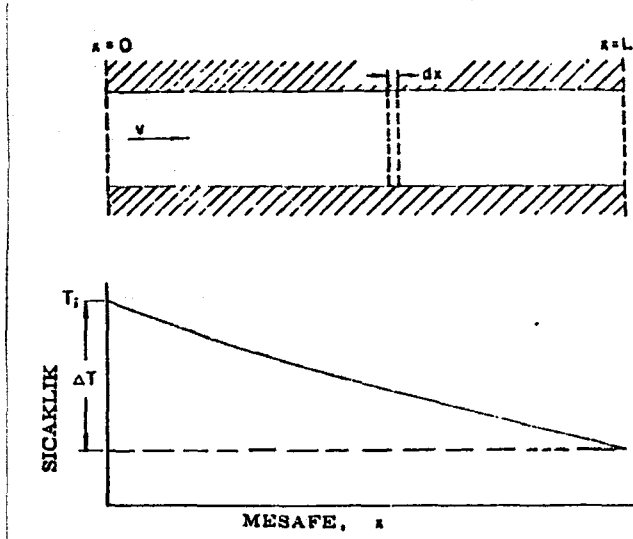
Yukarıda incelenen yolluk sisteminin değişik bir hali (hapsolmuş posa veya cürufları ergimiş metalden çıkarmak üzere bir filtrenin kullanılması) Şekil 2.1.4. 'de gösterilmiştir. Filtreler çoğunlukla demir dışı alaşımlar için kullanılır. Bunlar genellikle cam pamuğundan, mikadan veya levha halindeki metalden yapılırlar. Modern ingot dökümü yöntemlerinin birçok tipinde şimdi keza bir çeşit yolluk sistemi kullanılmaktadır. Örneğin Alüminyum alaşımlarının sürekli olarak dökümünde modern fabrikalar sıvı metali filtre eder ve sonradan hava ile teması minimumda tutan kanallar vasıtasıyla sürekli dökücülere gönderir. Bir çok sürekli döküm yapan çelik fabrikalarında aynı şeyi yapar. (Ancak bunların belli kısmında filtre işlemi kullanılmaktadır.).

Büyük sabit dökme çelik ingotların çoğu hala ara yolluk sistemi kullanılmaksızın doğrudan doğruya potadan doldurulmaktadır.



Şekil 2.1.4. Yolluk sistemlerine perde yerleştirmede bazı metodlar. (5)

Bazı durumlarda, yatay yolluk sisteminde metalden önemli miktarda ısı kaybı olur. Sıcaklık düşme hızı kum kalıplarda kolaylıkla ve diğer yalıtkan kalıplarda kolaylıkla hesaplanabilir. Hatta ısı akışının kalıp-metal arayüzey direnciyle kontrol edildiği metalsel kalıplarda bu hesap çok daha basittir. Metalin  $\alpha$  yarıçapında uzun ve silindirik bir yollukta aşağı aktığını düşünelim. Şekil 2.1.5. Metalin ortalama akış hızı (debi/enine kesit)  $V$  'dir. Isı akışı arayüzey kontrollüdür. Dolayısıyla metal ve kalıp içindeki radyal sıcaklık gradyanı ihmal edilebilir. Bir sıvı metal elementi yatay yolluğa girip aşağı doğru  $V$  hızında hareket ederken radyal yönde o şekilde ısı kaybeder ki sıvı metal içinde uzunlamasına ani sıcaklık dağılımı Şekil 2.1.5.'de gösterildiği gibidir.



Şekil 2.1.5. Yatay bir yollukta akan bir metalde sıcaklık düşüğü. Üstte : Yolluk şeması  
Altta : Metal sıcaklığı . (5)

Akış yönünde kondüksiyon yoluyla ısı akışını ihmal edersek, hareket eden elementin ısı dengesi şu şekilde yazılır :

Elementten Çıkan Isı = Kalıba Giren Isı

$$\rho_L C' \frac{dT}{dt} (\pi a^2 dx) = -h (T - T_0) (2\pi a dx) \quad (2.1.3.)$$

Burada  $\rho_L$  ve  $C'$  sıvı metalin sırasıyla yoğunluğu ve özgül ısısı  $T$  metal sıcaklığı,  $T_0$  kalıp sıcaklığı ve  $h$  ise ısı iletimine karşı metal arayüzey direncidir. Böylece akan metaldeki sıcaklık değişim hızı :

$$\frac{dT}{dt} = - \frac{2h (T - T_0)}{a \rho_L C'} \quad \begin{array}{l} a \rightarrow \text{yarıçap} \\ C' \rightarrow \text{Özgül ısı} \end{array} \quad (2.1.4.)$$

şeklindedir.

$X=0$  dan  $X=L$  ye giden bir metal elementi için geçen zaman  $t_r$  ise

$$t_r = \frac{L}{v} \quad (2.1.5.)$$

dir.

Element ile ilgili  $\Delta T$  sıcaklık düşüğü (2.1.4.) eşitliğinin  $t=0$  dan  $t=t_f$ 'ye integrasyonu ile bulunur.  $\Delta T$ 'nin  $T-T_0$  'a nazaran küçük olması halinde netice basit olarak

$$\Delta T = \frac{2h(T_i - T_0)L}{a \cdot \rho \cdot c \cdot V} \quad (2.1.6.)$$

şeklindedir. Burada  $T_i$  metalin kanala girdiği andaki sıcaklığıdır.

Şimdi yolluk sistemini biraz daha ayrıntılarıyla açalım. Yolluk tipleri, Yolluk sistemleri dizaynında bazı pratik kurallar, farklı yolluk tipleri kullanımının sebepleri üzerinde duralım.

### 2.1.1. YOLLUK TIPLERİ

Kalıp boşluğuna sıvı metal çeşitli şekillerde yöneltilir. Yolluk dizaynı yolluğun gayesine bağlıdır. Yolluk, kalıplama kolaylığı göz önünde bulundurularak kolay kalıplama için veya türbülanslı akışı önlemek için veya kalıp duvarlarından kum aşınmasını önlemek için dizayn edilebilir. Yine ana gaye kalıba metal girişiyle beraber cürufunda girmesini engellemek olmalıdır. Yolluk tipleri Şekil 2.1.6.'da görülmektedir.

#### Ayrılmalı Yolluk :

Bu yollukla kalıp boşluğuna ayrılma hattı bölmesi boyunca kalıbın çıkıntılı ve tüm (tırmık, tarak, kubbe) kısımlarına girer. Cürufları toplama amacıyla bazı tertibatlara (a, b ve c), ayrıca akış basıncını önleyecek kısımlara (d) sahiptir. Dizayn (d) bu göreve yardımcı olmak için bir akma havuzu kullanımını şematik olarak göstermektedir. Dizayn (e) cüruf toplayıcı ve dökümü besleme için metal haznesini içerir. Dizayn (f) ve (g) kalıp erozyonunu önlemek ve sıvı metali filtre eden kısımları (ilave maça) açıklamaktadır.

#### Alt Girişli Yolluk :

Bu yolluk tipi kalıp tarağının dibinden kalıp boşluğuna girer. (Şekil 2.1.6. Dizayn h). Ayrıca varyasyonlar arttırılabilir. Alt girişli yolluk çelik dökümlerde özellikle erozyonu ve gaz hapsini engellemek, sıçramayı önlemek için kullanılır.

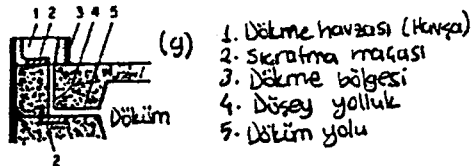
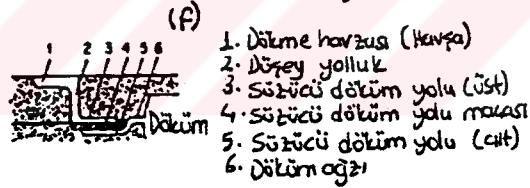
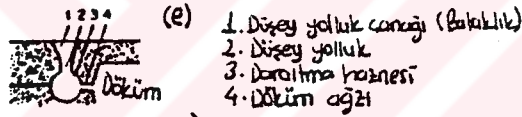
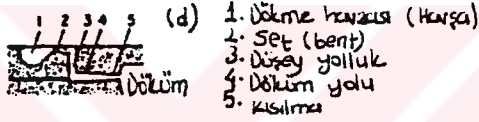
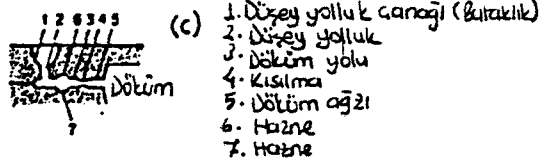
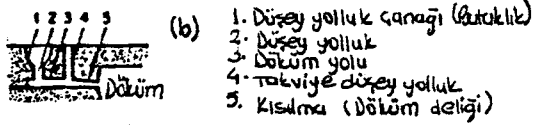
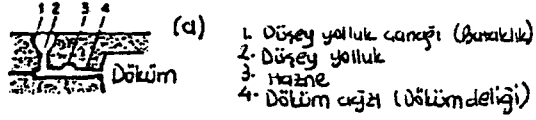
#### Boynuz Tip Yolluk :

Bu yolluk tipi alt girişli yolluk tipinin bir çeşitidir. (Şekil 2.1.6. Dizayn k). İmalatta döküm içerisinde bir kaynak (mamba, çesme) etkisi yaratması, aşırı kalıp erozyonu ve hava hapsine neden olması bakımından dezavantajlara sahiptir. Genelde çelik dökümünde kullanılmamalıdır. Genellikle emniyetli bir kural mümkünse bu yolluğun kalıp boşluğuna direkt olarak girmesine müsaade etmemek, ancak çıkıcı veya kör çıkıcılara girmesine olanak tanımaktır.

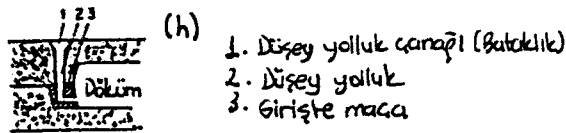
#### Üst Yolluk :

Üst yolluk, kalıp boşluğuna havşanın üstünden girer. Metal direkt olarak çıkıcının aşağısına dökülür. (Şekil 2.1.6.). Döner tip haricinde Şekil 2.1.6. 'da açıklanan diğer üst yolluk tiplerinde metal önce kalıba yukarıdan girer. Döner yolluk (a), (b) ve (c) 'de açıklanmış ayrılmalı yollukla az çok aynı amacı taşır. Dökümün altından üstüne ardarda geçitli yolluklardan sıcak metal girişini sağlamak amacıyla Basamak Yolluk düşünülmüştür. Eğer bu gaye yerine getirilseydi yönlü katılaşma teşvik edilirdi. Basamak yolluk uygun şekilde dizayn edilmedikçe bu yolluk sistemleri, arzu edildiği gibi işlemezler. Her bir yolluk, arzu edilen amaca erişmek için yukarı yönelik eğimli ve uygun oranlarda olmalıdır.

## AYRILMALI YOLLUK



## ALT GİRİŞLİ YOLLUK



Şekil 2.1.6. Yolluk sistemi örnekleri . (8)

devamı

## DALLARA AYRILMIŞ YOLLUK



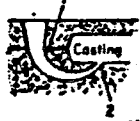
- (i)
1. Düşey yolluk
  2. Takviye düşey yolluk
  3. Yatay yolluk
  4. Formluk tip girişi (meme)
  5. Düz yolluk

## KALEM TIP YOLLUK



- (j)
1. Dökme havzası (Havşa)
  2. Kalem tip girişi

## BOYNUZ TIP YOLLUK



- (k)
1. Boynuz tipinde düşey yolluk
  2. Kısılma

## ÜST YOLLUK



- (l)
1. Dökme çanağı
  2. Çanak süzücü maca
  3. Düşey yolluk

## PARMAK TIP YOLLUK



- (m)
1. Düşey yolluk
  2. Parmak tipi girişi

## KAMA TİPİ YOLLUK



- (n)
1. Kama tipi girişi
  2. Kısılma

## HALKA TIP YOLLUK



(o)



1. Düşey yolluk çanağı (Bataklık)
2. Düşey yolluk
3. Halka tip girişi

## DÖNER TIP YOLLUK



- (p)
1. Düşey yolluk çanağı
  2. Düşey yolluk
  3. Yatay yolluk
  4. Havuz
  5. Takviye düşey yolluk
  6. Döküm yolu
  7. Gıkkıcı

### 2.1.2. YOLLUK SİSTEMLERİ DİZAYNINDA BAZI PRATİK KURALLAR

Yolluklar, döküm kusurlarına karşı (örneğin sıcak yırtılmalar ve büzülme boşlukları) merkezde bulunmamalıdır. Ayrıca minimum giderle yapılıp taşınabilmelerine ve yerleştirilmelerine özen gösterilmelidir. Yolluklar hakkında bazı pratik kurallar aşağıda sıralanmıştır.

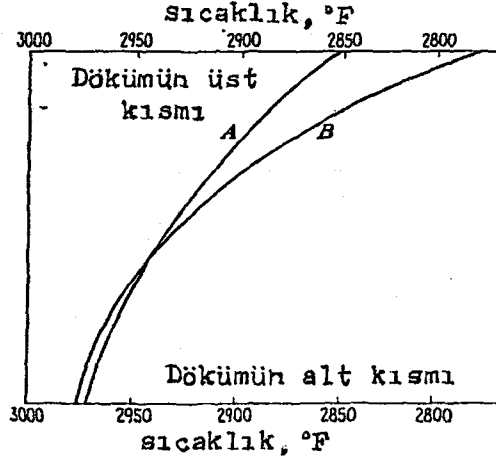
1. Daire bir yolluk aynı kesit alanlı dikdörtgene göre daha çok metal geçişine izin verecektir ve daha az yüzey sürtünmesi meydana getirecektir. Ancak bu, metalin hızla dönmesine (böylece düşey yollukta hapsolmalara) neden olabilir.
2. Döner yolluk sisteminde döner yolluk çapı düşey yollukdan daha geniş olmalıdır ve döner yolluk döküm deliğine göre daha geniş kesit alanına sahip olmalıdır.
3. Mümkünse tüm yolluklar esas döküm kalıbının parçaları olan kalıpların kullanımıyla form edilmelidirler. Yolluk kesmeden ziyade bu metal erozyonu hareketine karşı koyar.
4. Döküm deliği o şekilde yöneltilmeli ki giren metal akışı kalıpta kanallar boyunca meydana gelebilsin. Böylece kanal çabucak dolar, metalin bileşik yüzeylerin üstüne taşmasına olanak verir.
5. Sıcak lekeleri (benekleri) önlemek için metal kalıba mümkün olan en fazla yerden girmelidir.
6. Döküm deliğinin kesit alanı dökümünkinden daha küçük tutulmalıdır. Diğer deyişle yolluk katılaşıırken dökümden metal çekilecektir ve bu da dökümde büzülme boşluklarına sebep olacaktır.
7. Bir döküm parça kalınlığı dökme oranına (saniye başına kalıptaki metalin artışı) nazaran gözönüne alınmalıdır. Hafif parçalarda yüksek döküm hızları temin etmek için yaygın dökümhane pratiğidir.
8. Kalıba giriş kısmındaki döküm deliği fazla kısılmamalıdır. Zira bu, metalin kalıba artmış hızlarla girmesine neden olur ve sıvı metalin kalıp aşındırma kuvvetine karşı koyamayabilir.

### 2.1.3. FARKLI YOLLUK TIPLERİ KULLANIMININ SEBEPLERİ

Genelde imali en kolay olduğu için ayrılan hatlı yolluk kullanılır. (Özellikle yolluk kalıpcı tarafından kesilecekse). Çıkıcı altına yerleştirilebilme ihtimalleri bu yollukların diğer bir özelliğidir. Zira yolluk sıcak lekeye neden olur ve tüm sıcak lekeler beslenmelidir. Sıcak lekeleri karşılamamanın en iyi yolu doğrudan doğruya bu sıcak leke alanı üstüne bir çıkıcı yerleştirmektir. Unutulmamalıdır ki döküme giren metal yolluktan geçerek girecektir. Yolluk civarındaki kalıpta öyle bir ısıtma dereceleri oluşur ki bu, metalin soğumasını geciktirir. Ayrıca kalıbın bu bölümlerindeki katılaşma oranı diğer bölümlere göre büyük miktarlarda değildir. Bu durumun sonucunda sıcak lekeler oluşur. Sıcak lekeler dökümde son katılaşma noktalarıdır ve katılaşma büzülmelelerini karşılamak amacıyla uygun ergimiş metal (haznesi) ile dökümün bu noktalarını destekleme imkanları bulunmadıkça bu noktalarda büzülme boşlukları oluşacaktır. Kalıbın çekme paylarını doldurmak maksadıyla ergimiş metali kalıba düşürmek zorunludur. Bu ayırma hatlı yolluk için bir kusurdur ve böyle bir düşme kalıpta ekseriya erozyondan sorumludur.

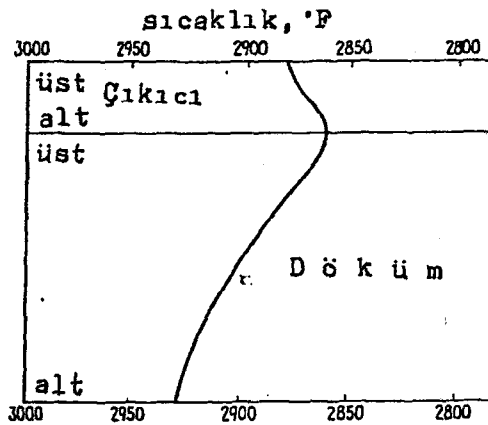
Kalip erozyonunu minimuma indirmek ve metalin maça etrafında yavaşça ilerlemesine imkan vermek için Alt Girişli Yolluk kullanılır. Ama alt girişli yolluğun bu avantajı bir dezavantaj olan mevzilelendirilmiş sıcak lekelerin oluşumunda beraberinde getirir. Bu sıcak lekeler ayrılan hatlı yollukla oluşturulanlarına göre daha önemlidir. (Tehlikelidir.). Alt girişli yollukla sıcak leke bulunan alanların üzerine çıkıcı yerleştirmek mümkün olmadığından sıcak lekelerin mevcudiyetinden dolayı boşluk teşekkülünü önlemek güçtür. Alttan dökümün diğer bir dezavantajıda kalıpta metal arttıkça, metalin kalıba ısı yayması ve son olarak çıkıcılara giren metalin nisbeten soğumuş olmasıdır. Böyle bir vaziyet ise dökümde istenenin tam aksine bir olaydır. En sıcak metal çıkıcılarda bulunmalı ve metal en son burada soğumalıdır.

Bir dökümün alt girişli yolluğu, metalde kaçınılmaz aykırı bir sıcaklık gradyantına neden olur. Kalıp dolduğu anda dökümün üst kısmı en soğuk, altı ise en sıcak değerlere sahiptir. Bu sıcaklık fark dereceleri ve sıcaklık gradyantının hareket tarzı dökme hızı, saniye başına kalıptaki metal artışına ve kalıbın ısı iletim kabiliyetine bağlıdır. Yavaş dökme hızları zayıf bir sıcaklık gradyantına neden olacaktır. (Şekil 2.1.7.'de hızlı döküm ile kıyaslama yapılmıştır.).



Şekil 2.1.7. Alt girişli yolluk sistemlerinde metaldeki sıcaklık gradyanı. (8)

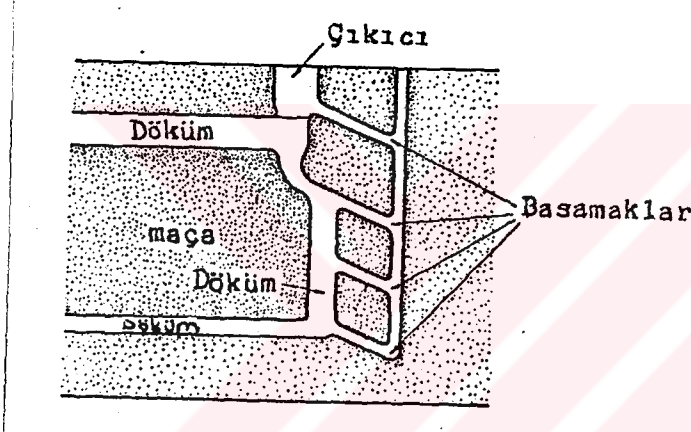
Bazı durumlarda bu zararlı sıcaklık gradyanı ayarlanır veya kısmen düzeltilir. (Şekil 2.1.8.). Çıkıcıya içerisine yardımcı bir yollukla veya çıkıcıya doğrudan dökmeyle metal çıkıcının alt kısmını veya boyununu doldurduktan sonra Şekil 2.1.8.'de görüldüğü gibi sıcaklık gradyanı Şekil 2.1.7.'deki gibi çok aşırı değildir. Bununla beraber yine de arzu edilenden daha çoktur.



Şekil 2.1.8. Alt girişli yolluk sistemlerinde çıkıcılar sıcak metal ile tam doldurulduğunda metaldeki sıcaklık gradyanı. (3)

Çıkıcıların içerisinde lokal elverişli (uygun) sıcaklık gradyanı, hemen alçak kısımlarında sıcaklık gradyanının zararlı mahiyetindedir ki daha aşağı kısımlarda dökümün çürüksüz olması beklenemez.

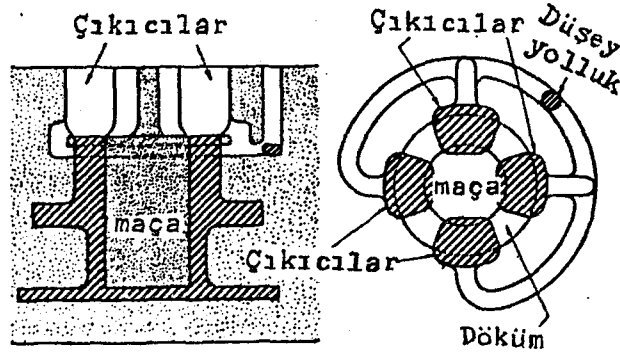
Bazı durumlarda birkaç alt girişli yolluktan hızlı dökme kullanıldığında ve parçalar uniform kalınlıkta değilse çıkıcıların üst dolgusu tarafından uygun sıcaklık gradyanı dağıtım elde etmek mümkündür. Basamak yolğun amacı dökümün alt kısmında sıcak leke teşekkülünü önlemektir ki bunlar tüm metal kalıba alt girişli yolluk vasıtası ile girerse meydana gelirler. (Şekil 2.1.9.).



Şekil 2.1.9. Basamak yolluk. (8)

Döküme sıvı metalin çıkıcılar vasıtası ile girmesi üst yolğun bir avantajıdır. Bu nedenle uygun sıcaklık gradyanları oluşturulur. Böylece yeterli (etkili) beslemeyede müsaade eder. Bu yolluk tipi kullanımıyla dökümde çıkıcılara doğru yönlü katılaşma sağlanabilir.

Düzen metalin kalıp erozyonuna neden olması üst girişli yolğun bir dezavantajıdır. Üstelik hava hapsi gibi ciddi bir tehlike ihtimali söz konusudur. Üst girişli yolluklar, birkaç halka yolluk olduğunda minimum kalıp erozyonuyla etkili bir şekilde işletilebilirler ki bunların kesit alanı düşey yolluka nazaran daha büyüktür. Bu olduğunda metal kalıba sakin ve yavaş bir şekilde girecektir. (Şekil 2.1.10.).



Şekil 2.1.10. Dağıtıcı yada halka yolluk kullanımıyla üst girişli yolluk. (8)

#### 2.1.4. DÖKME ZAMANI

Sıvı metalin soğuk dökülmesi veya metalin zayıf akımı metal hızla soğuyabileceğinden ve tane erimeler ile soğuk kapamalara neden olabileceğinden istenmez. Kalıbın hızlı dolumu (kısa zamanlarda geniş metal hacimleri ile meşgul olabilecek yolluk sistemleri ile) kalıp duvarının erozyonu, pürüzlü yüzeyler, aşırı büzülme diğer ihtimal kusurlara neden olabilirler. Bu nedenle en uygun döküm hızları, döküm hızı sıraları birçok dökümler için deneyimlerle belirlenir.

Dökme demir gibi bazı metaller diğerleri gibi döküm hızlarına fazla duyarlı değildirler. Yinede dökme demirler için döküm biçim ve miktarının fonksiyonu olan en uygun dökme hızları tavsiye edilir. Çelik gibi metaller erken soğuyup katılaşmaya meydan vermemek için hızlı dökülmelidirler. Çünkü diğer döküm alaşımlarına kıyasla çelik yüksek bir donma (katılaşma) derecesine sahiptir. Alüminyum ve Magnezyum gibi metaller daha yavaş dökme hızları ile dökülebilirler. Ancak burada problem türbülanslı önleme, cüruf ve gaz tutmasıdır.

Her ne kadar tüm ticari döküm alaşımları için etkili döküm hızları yayınlanmamışsada dökme demir, çelik, pirinç ve bronz için çeşitli bilgiler mevcuttur.

1. Gri Dökme Demir < 500 kg için

$$\text{Dökme Zamanı } t_{(\text{saniye})} = K \left( 0,95 + \frac{T}{0,853} \right) \sqrt{W} \quad (2.1.7.)$$

Burada  $K$  akıcılık faktörü Şekil 2.1.11.'den demirin kendine özgü akıcılık değerinden tayin edilmiştir. (Demir için akıcılık değeri 2600°F- 1426°C 'de 43 inç). Şekil 2.1.11. 'de de görüldüğü gibi bu faktör demir bileşimi ve dökme sıcaklığı ile değişebilir.  $T$  ortalama kalınlık (inç) ve ağırlık (pounds) tır. (1 pound= 1 libre= 453 gram).

2. Gri Dökme Demir > 500 kg için

$$\text{Dökme Zamanı } t_{(\text{saniye})} = K \left( 0,95 + \frac{T}{0,853} \right) \sqrt[3]{W} \quad (2.1.8.)$$

3. Kabuk Kalıplı Yumuşak Demir (düşey dökme)

$$\text{Dökme Zamanı } t_{(\text{saniye})} = K_1 \sqrt{W} \quad (2.1.9.)$$

$$K_1 = 1,8 \text{ (10 mm- 25 mm parçalarda)}$$

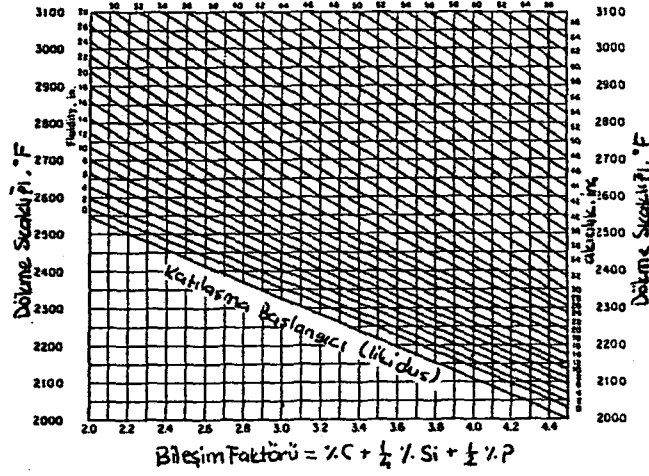
$$K_1 = 1,4 \text{ (Daha ince parçalarda)}$$

$$K_1 = 2,0 \text{ (Daha kalın parçalarda)}$$

4. Çelik Dökümü

$$\text{Dökme Zamanı } t_{(\text{saniye})} = k \sqrt{W} \quad (2.1.10.)$$

$k$  değeri (döküm ağırlığı logaritmik skaladan okunmadığında) 1,2' den (100 lb için), 0,4'e (100.000 lb için) kadar değişebilir.



Şekil 2.1.11. Gri ve Yumuşak dökme demir bileşimi ve dökme sıc. ile ilişkili akıcılık. (8)

Ortalama et kalınlığı 25 mm ve 400 lb ağırlığındaki döküm parçası için aşağıdaki dökme zamanı değerleri elde edilmiştir. Değerleri kıyaslayalım.

1. 4,0 karbon eşdeğerli 2700°F- 1482°C 'de dökülmüş Gri (kır) dökme demir.

$$t = \left(0,95 + \frac{1}{0,853}\right) \cdot \sqrt{400} = 42 \text{ saniye}$$

2. Kabuk kalıplı yumuşak dökme demir

$$t = 1,8 \sqrt{400} = 36 \text{ saniye}$$

3. Çelik döküm

$$t = 1,0 \sqrt{400} = 20 \text{ saniye}$$

Kıyaslamadan dolayı 150 kg dan az bronz ve piring için 15-45 saniyelik dökme zamanları tavsiye edilir.

### 2.1.5. DÖKME HIZI VE SICAKLIĞI

#### Dökme Hızı :

Sıvı metal döküm hızı o şekilde ayarlanmalıdır ki dökme ağızı çabucak doldurulmalı ve metal olmayan oluşumların kalıp boşluğuna girmesi önlenmelidir. Döküm ağızı daima dolu tutulmalıdır. Bunu yapabilmek amacıyla potadan madenin akışı yakından kontrol edilmelidir. Bir kere döküm başlatılıncaya kadar asla kesilmemelidir. Bir tek istisna yalnız çıkıcıda maden yüksekliğinin çıkıcının 1/3'ünü aşması durumunda yolluktan dökme durdurulur ve beslemeyi çoğaltmak için besleyiciler en son olarak sıcak madenle doldurulur. Bu istisna ancak tepe çıkıcılara tatbik edilir. Kenar çıkıcılı kalıplar besleyicide maden görülünce besleyiciden doldurulmamalıdır. Cüruf teşekkül edici bir madeni dökerken (özellikle alüminyumbronz, manganezbronz, alüminyum manganez bronz yahut magnezyum) kalıba giren madenin çalkantısından kaçınmak için her türlü tedbir alınmalıdır.

Böyle hallerde bu husus özellikle çok mühim olup, pota ağzının kalıp dökme ağzına mümkün mertebe yakın olmasını gerektirir. Yolluk borusu çabucak doldurulmalı ve dolu tutulup kalıba girecek madenin cüruf temayülü ve madene hava karışması en aşağı miktara indirilmelidir. Dökme ağızı ve tapası avantaj olarak kullanılır, süzücü yolluklar ve maça süzücüler cüruf teşekkülünü yok etmeye yardım eder, kalıp boşluğuna girişini önler. Ergimiş madenin kalıba girişteki çalkalanmasında cüruf eğilimini arttırabilir.

#### Dökme Sıcaklığı :

Bölüm 1 'de de incelendiği gibi dökme sıcaklığı döküm tane yapısını etkileyen bir faktördür. Teknik açıdan iyi döküm parçaları elde etmek, döküm sıcaklığının yakından kontrolü sayesinde olabilir. Sıcaklık hakkında karar vermek için "daldırma ve optik pyrometreler" kullanılır. Yüksek sıcaklık söz konusu olduğu için çelik için daldırma tip pyrometreler kullanılmaz. Bu tipler 2500 °F 'ye kadar sıcaklık ölçebilirler. Bu tip pyrometreler ergimiş madene yaklaşık 3 inç kadar daldırılmalı ve ileri geri veya dairevi olarak hareket ettirilmelidir. Optik aletler ise demir olmayan madenler için kullanılmazlar. Çünkü bunların dökme sıcaklıkları da çok alçaktır. Bu tip pyrometreler ergiyik madenden hasıl olan

ışık şiddeti ve aletteki standart ışık menşei ile çalışır.

Aşırı dökme sıcaklığı (kalıbı en uygun doldurabilecek sıcaklığın üstündeki sıcaklık) fazla okside, cüruf teşekkülüne, kaba döküm yüzeyine, madende lüzumsuz çekmeye, iri taneli yapıya, artacak olan boşluk tehlikesi, sıcak yırtılmalar ve gaz ve çekme boşluklarına sebep olur.

Düşük dökme sıcaklıkları ise kalıba gaz hapsolması, cüruf yürümemiş dökümlere yahut yüzeyi katmerli dökümlere sağmalara meydan verecektir.

Verilen bir maden için uygun döküm sıcaklığı, dökümün ölçüsüne, dizaynın şekline ve istenen dökme kıymetine göre değişir. Bu sebepten dolayı aşağıda verilen dökme kıymetleri sadece umumi bir rehber olarak alınmalıdır.

Tablo 2.1.1. Bazı metallerin dökme sıcaklıkları

<u>Madenin Cinsi</u>	<u>Dökme Sıcaklığı Aralığı</u>
Çelik	2850 °F - 2950 °F
Gri Dökme Demir	2300 °F - 2600 °F
Aluminyum	1250 °F - 1400 °F
Manganezbronz	1875 °F - 1975 °F

Umumi olarak ince kesitli dökümler yüksek sıcaklıkta, kalın kesitli dökümler ise alçak sıcaklıkta dökülürler.

### 2.1.6. YOLLUK SİSTEMİ ELEMANLARI

Bu başlık altında yolluk sistemi elemanları (dökme havzası, düşey yolluk ve dizaynı, düşey yolluk tabanı, düşey yolluk-yatay yolluk oranları) ele alınacaktır.

#### 2.1.6.1. DÖKME HAVZASI (HAVŞA)

İdeal durum sıvının usule uygun akışını mümkün olduğunca hızlı bir şekilde sağlamaktır. Bunun manası metal düşey yolluğa girdiğinde mümkün olduğunca yolluğa yakın şartlar altında akıyor olmalıdır. ki bunlar tam akış sağlandığında mevcuttur.

Havşa dizaynı için şu noktalar göz önünde bulundurulmalıdır :

1. Havşa akışın kolayca meydana gelmesine izin vermesi için yeterince büyük olmalıdır. Çok küçük havşalar ise havşaya doğru yeterince metal dökümünü, havşa deliğini zamanında tamamen doldurmayı, düşey yolluktan aşağı akış göz önünde bulundurulduğunda potadan gelen cüruf ve pislikleri önlemeyi mümkün kılmayabilir.
2. Havşa, metal seviyesinin yeterli yükseklikte tutulmasına imkan verecek ölçüde, girdap oluşumunu önleyecek kadar derin olmalıdır.
3. Metal aralıksız dökülmeli ve döküm potası ağzı mümkün mertebede kapalı tutulmalıdır.

Ayrıca yolluk girişinde gerektiğinde çıkarılabilen bir tıkaç (tapa) tavsiye edilebilir. Yine ergiyebilir metal sıra ile yolluk girişinde veya çıkışında durdurularak kullanılabilir.

Aşıkardır ki uygun havşaların güç oksid kabukları (Aluminyumbronz yüksek sünekli piring, hafif alaşımlar vb...) oluşturan alaşımlı dökümler ile kullanımı çok arzu edilir ve bu alaşımlı dökümlerin havşa olmandan yapılması şüphelidir.

#### 2.1.6.2. DÜŞEY YOLLUK VE DİZAYNI

Düşey yolluğun paralelinde serbestçe düşen metal, akış hızı arttıkça akış düşey yolluk duvarlarından ayrılıp büzülmelidir. Hidrolik nedenlerden beklendiği gibi bu hava emme ve kalıp gazlarının içeri girilmesiyle azalmış akış şiddeti ile ve düşey yolluk dibinde sert (şiddetli)

çalkalanma ile sonuçlanır. Richins ve Wetmore değerleriyle birlikte düşey yolluk kusurlarının çoğunun aşağı doğru sivrelmiş (konik) düşey yolluk yardımıyla karşılanabileceğini açıklamışlardır. (Öyle ki tamamen konik yapılmış kesit alandaki azalma, hızdaki artma ile karşılanır.). Matematiksel ifadelerde düşey yolluk şekli şu denklemle ifade edilir.

$$W = \gamma \cdot A \cdot \xi \cdot \sqrt{2gH} \quad (2.1.11.)$$

Burada  $H$  havşadaki metal seviyesi ile düşey yolluktaki bir noktanın düşey uzaklığı,  $W$  akış hızı (kg/s),  $\gamma$  metal özgül ağırlığı ve  $\xi$  sürtünme kaybı katsayısıdır.  $\xi$  değeri çok maçalı dökümler için 0,3, normal dökümler için 0,45 ve çok basit dökümler için 0,55 'dir. Daha evvelde belirtildiği gibi herhangi bir seviyedeki (düşey yolluğun) kesit alanı  $A$  havşadaki sıvı yüzeyinin aşağısındaki seviyeden düşey uzaklığın kareköküyle ters orantılıdır. Bu düşey yolluğun düşey profilinin düz eğri olması anlamına gelir. Ancak Richins ve Wetmore 'a göre uygulamalardan dolayı yalnızca yukarıdaki denklemin ortalamalarıyla düşey yolluğun üst ve alt kesit alanını belirlemek ve bu bölgeler arasında düz bir koni çizmek yeterlidir.

Örneğin 4 kg/s ' de alüminyum dağıtımı için dizayn edilmiş düşey yolluğu göz önüne alalım. Metal yüksekliği 50 cm, sürtünme kaybı katsayısı 0,45, alüminyum özgül ağırlığı 732 °C 'de 2,37 gr/cm<sup>3</sup> (denkleme) ve düşey yolluk çıkış alanı şu şekilde bulunur.

$$A = \frac{W}{\gamma \cdot \xi \cdot \sqrt{2gH}} = \frac{4000}{2,37 \cdot 0,45 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 50}} = 12 \text{ cm}^2$$

Farzedelim düşey yolluk yüksekliği 40 cm ve havşadaki metal derinliği 10 cm. Buna göre düşey yolluk girişi :

$$\frac{A_{\text{giriş}}}{A_{\text{çıkış}}} = \sqrt{\frac{H_{\text{çıkış}}}{H_{\text{giriş}}}} \quad A_{\text{giriş}} = 12 \cdot \sqrt{\frac{40+10}{10}} = 26,8 \text{ cm}^2$$

### 2.1.6.3. DÜŞEY YOLLUK TABANI (TOPUK,HAZNE)

Normal bir yolluk sisteminde havşa bitiminden itibaren doğan metal akışı yüksek hızlarda hareket eder. Düşey yolluk tabanında (topuk,hazne) bu metal akışı dik açılarda başka yönlere yöneltilir ve yolluk çıkışındaki daha fazla veya daha az çaptaki bir yahut daha fazla yatay kanallarla yönlendirilir. Genelde hız topukta azaltılır. Eastwood metafin kalıp boşluğuna düşey yolluktaki hızının dörtte bir veya altıda bir hızında girmesi gerektiğini öne sürmüştür. Bundan dolayı kötü dizayn edilmiş bir düşey yolluk tabanında hız ve yöndeki tutarsız (beklenmedik) değişimler, metalin şiddetli çalkalanmaları, kalıp gazlarının emilebilmesi sürpriz olmamalıdır.

Grube, optimum düşey yolluk taban boyutları ve düşey yolluk ve yatay yolluk boyları arasında ampirik bir ilişki olduğuna dikkat çekmiştir. Düşey yolluk taban alanı düşey yolluk çıkış alanından yaklaşık 5 kat büyük olmalı ve düşey yolluk taban derinliği yatay yollukla yaklaşık eşdeğer olmalıdır.

### 2.1.6.4. DÜŞEY YOLLUK - YATAY YOLLUK ORANLARI

Yolluk oranları (Düşey yolluk çıkış alanı : Toplam yatay yolluk alanı : Toplam giriş alanı) şeklinde belirlenmiştir. Toplam yatay yolluk (veya giriş) alanı, bireysel tek yatay yollukların (veya girişlerin) kesit alanlarının toplamıdır.

Bir literatür araştırmacısı çeşitli çalışanlar tarafından kullanılan ve tavsiye edilen yolluk oranlarını Tablo 2.1.2. 'de belirtildiği gibi geniş bir saha içinde değiştiğini göstermiştir. Tablo 2.1.2. 'deki geniş çaplı farklılıklara rağmen giriş alanı düşey yolluk alanından daha küçük yolluk sistemleri kullanımı (basıncılı sistemlerdeki gibi) genel eğilimi dökme demir metalleri için söz konusudur. Hafif alaşım dökümhaneleri diğer yandan çoğu zaman giriş alanı düşey yolluk alanında olan basıncısız sistemleri tercih ederler.

**Basıncılı sistemler :**

Basitlik, uniform akış ve cüruf teşekkülünü azaltma eğilimindeki tam bir sistem gibi avantajlara sahiptir. Ayrıca bu sistemlerdeki yüksek hızlar gaz kapma tehlikesini ve ona müteakip yatay yolluk köşelerindeki cüruf teşekkülünü arttırırlar. Kalıp boşluğuna metal girişindeki yüksek hızlar şiddetli çalkalanma ve burada kalıp erozyonuna

sebepler olabilir.

Düşük hızların gaz kapma, kalıp erozyonu ve kalıp boşluğundaki çalkalanma tehlikesini azaltması basınçsız sistemlerin avantajıdır. Bu sistemlerin dezavantajları ise uniform akım elde etme zorluğu, bir takım cüruf teşekkülüne neden olan sistemlerin muhtemel tamamlanmamış dolulukları olarak sıralanabilir.

Tablo 2.1.2. Muhtelif çalışanlar tarafından kullanılmış veya tavsiye edilmiş yolluk oranları. (3)

Metal	Oran	Uyarı	Çalışanlar
Al.bronz	1:2,88:4,80	Çift yatay yolluk	Robertson ve Hardy
	1:0,75:0,5		Doliwa
	1: 0,81: 0,625	On tondan büyük par.	Hess
	1:0.86: 0,715	On tondan küçük par.	
	1:0,916:0,9	İnce cidarlı par.	
	1:0,75:0,5		Frede
	1:0,75:0,5		Lehmann
Dökme demir	1:0,75:0,5		Lips ve Nipper
	1:0,9:0,5		
	1:0,95:0,9	Radyatörler	
	1:0,75:0,5	Tek yatay yolluk	Miaskowski
	1:0,75:0,25	Çift yatay yolluk	
	1:1,2:0,9		Osann
	1:1,2:0,9		Paschke
Yumuşak demir	1:0,5:2,45	Kalın cidarlı par.	Hess
	1:0,67:1,67	İnce cidarlı par.	
	1:0,81:0,625		
	1:1:1		
Çelik	1:2:2	Momentum absorbe eden sis.	Johnson ve diğ.
	1:2:1	Basıncılı sistem	
Yüksek sündürülebilir piring	1:2:1		Johnson ve diğ.
	1:2,88:4,80	Çift yatay yolluk	Robertson ve Hardy
Aluminyum	1:4:4	Tek yatay yolluk	Eastwood

Tablo 2.1.2. devamı

Metal	Oran	Uyarı	Çalışanlar
	1:6:6	Çift yatay yolluk	
	1:2,2:2		Howarth
Aluminyum	1:2:1		Johnson ve diğ.
	0,6-1,7:1:0,75		Ohira
	1:2:4		Richins ve Wetmore
	5:6:10		Roinet
	1:2:2 den 1:4:4 'e		Cristello
Magnezyum	1:2:2		Elliott

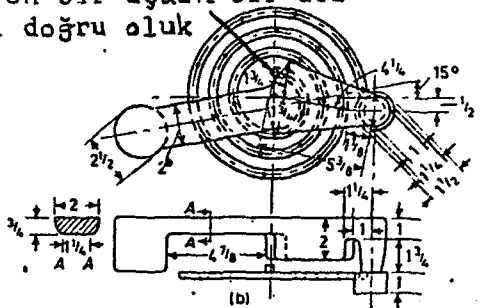
## 2.2. AKICILIK

Akıcılık geniş manada sıvı metalin kalıba mümkün surette akabilmesi ve kalıp aralıklarını doldurma niteliği olarak tanımlanabilir. Bir alaşımın döküm malzemesi olarak uygunluğunu belirleyen teknolojik bir özelliktir ve yine yoğunluk viskozite olarak fiziksel bir özellik değil kalıbın içinde belirli şartlarda , davranışla ilgili karmaşık karakteristiktir.

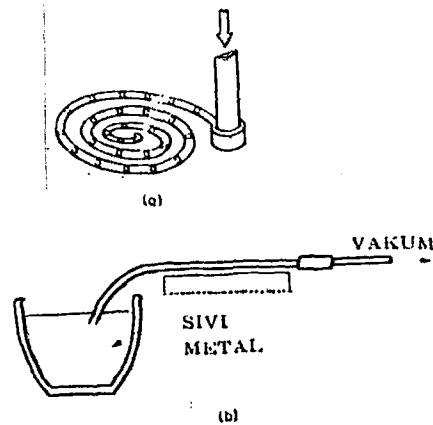
Şekilli döküm yöntemlerinde metal, kalıba bir veya daha fazla sayıda ara yolluk vasıtasıyla girer. Yolluktaki metal katılaşmadan önce kalıp boşluğu doldurulamazsa, metal kafi derecede "akıcı değildir" denir. Dolayısıyla, akıcılık terimi dökümcüye, fizikçiden daha farklı bir anlam ifade eder. Fizikçiye göre akıcılık, viskozitenin tersidir. Dökümcüye göre ise işlem karakterinin ampirik bir ölçüsüdür. Dökümcü bu özelliği çeşitli akıcılık deneylerinden biriyle ölçer. (Akıcılık Spirali ve Vakum Akıcılık Deneyi).

Akma kabiliyeti (akıcılık) ve kalıp doldurma kabiliyeti döküm spirali yardımıyla belirlenebilir. Sıvı metalin spiral biçimindeki oda sıcaklığında bir kalıbın çok dar olan kesitinde ilerlemesi akma, spiral üzerindeki belirli aralıklarla bulunan kubbe biçimindeki çıkıntılardan dolmuş olanların sayısında kalıp doldurma kabiliyeti için bir ölçü kabul edilir. (Şekil 2.2.1.). Doğal olarak sonuçlar alaşımın kimyasal bileşiminin dışında döküm ve kalıp sıcaklığına çok bağlıdır.

0,4 inç çapında öndeki delik. Spiralin sonundan itibaren bir uçdan bir uca yukarı doğru oluk

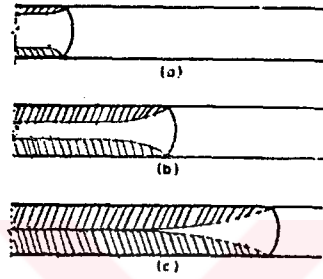


Spiral akıcılık test dökümü (9)



Şekil 2.2.1. İki tip akıcılık deneyi a. Akıcılık Spirali (boşluk kum veya daimi kalıp içindedir. b. Vakum Akıcılık Deneyi (cam veya metal tüp). (5)

Şimdi akıcılık deneyi kanalına ergime noktasında dökülen saf bir metalin akışına ve katılaştırılmasına bakalım. Katılaştırma, metalin kanala girdiği anda kanal girişinde başlar. Metal kanal aşağısına ilerledikçe bu bölgelerde de katılama başlar. Bununla beraber katılamanın evvela kanal girişinde başlamış olması sebebiyle burada akış tıkanır. Metalin durmadan aktığı toplam uzunluk akıcılığı verir. Şekil 2.2.2. bu söz konusu olayı göstermektedir.



Şekil 2.2.2. Aşırı ısısız saf bir metalin bir akıcılık kanalından akışı ve katılaştırılması . a. Akış başlangıcı  
b. Akış esnasında c. Akış sonu . (5)

Önemli parametreleri göstermek için sürtünme ve hızlanmanın etkilerini ihmal edilip akış çizgilerinde ayrılma olmadığı kabul edilirse basitleştirilmiş bir analiz yapılabilir. Bu analizi aşırı ısıtmasız olarak dökülen saf bir metal hali için (Şekil 2.2.2. 'de olduğu gibi) ve ilaveten ısı akışının  $h$  kontrollü olduğunu kabul ederek yapabiliriz. Kanal girişinde her noktada katılaştırma sıvı akımından bağımsız bir hızda meydana gelir. Dolayısıyla  $dx$  uzunluğundaki bir kanalda bulunan her element aşağıda eşitlikle verilen zamanda katılır.

$$t_f = \frac{\rho_s \cdot H}{h(T_M - T_0)} \cdot \frac{V}{A} \quad (2.2.1.)$$

Bu eşitlikte :

$\rho_s$  = Katı metal yoğunluğu ( $\text{gr/cm}^3$ )

$H$  = Gizli ergime ısı (cal/gr)

$h$  = Isı iletimine karşı metal arayüzey direnci

$T_m$  = Ergime noktası sıcaklığı

$T_0$  = Civar sıcaklığı

$V$  = Katılan hacim

$A$  = Kalıp-metal arayüzey alanı

Burada  $\frac{V}{A}$ ,  $a$  yarıçapında dairesel kesite sahip bir kanal için  $a/2$  'ye eşittir.

Tam kanal girişinde bulunan bir element :

$$t_f = \frac{\rho_s \cdot H \cdot a}{2h (T_m - T_0)} \quad (2.2.2.)$$

eşitliğiyle verilen  $t_f$  zamanında katılır. Burada  $t_f$ , metalin akma kanalına girdiği andan itibaren geçen zamandır.

Sıvı akımı problemini sürtünme ve hızlanma tesirlerini ihmal ederek ve akış çizgilerinde bir ayrılma olmadığını kabul ederek bir dereceye kadar basitleştirebiliriz. Bu durumda sabit bir metal yüksekliğinde akıntı ucu hızı  $V$  sabittir. Dolayısıyla kanal girişinin katılmasından önce toplam akış uzunluğu (akıcılık) :

$$L_f = \frac{\rho_s \cdot H \cdot a \cdot V}{2h \cdot (T_m - T_0)} \quad (2.2.3.)$$

şeklindedir.

Burada  $L_f$  akıcılığı göstermektedir. Isı akışı  $h$  kontrollü olduğu zaman aşırı ısı akıcılığı basit bir şekilde arttırır. Aşırı ısıdan ileri gelen ilave akış uzunluğu (2.1.6.) eşitliğine göre aşırı ısıyı dağıtmak için lazım gelen uzunluk olacaktır. (2.1.6.) ve (2.2.3.) eşitlikleri  $\rho_s = \rho$  olduğunda hesaba katılmasıyla birleştirilecek olursa aşırı ısıtılmış metalin akıcılığı :

$$L_f \cong \frac{\rho_s \cdot a \cdot V}{2h (T_m - T_0)} (H + C' \Delta T) \quad (2.2.4.)$$

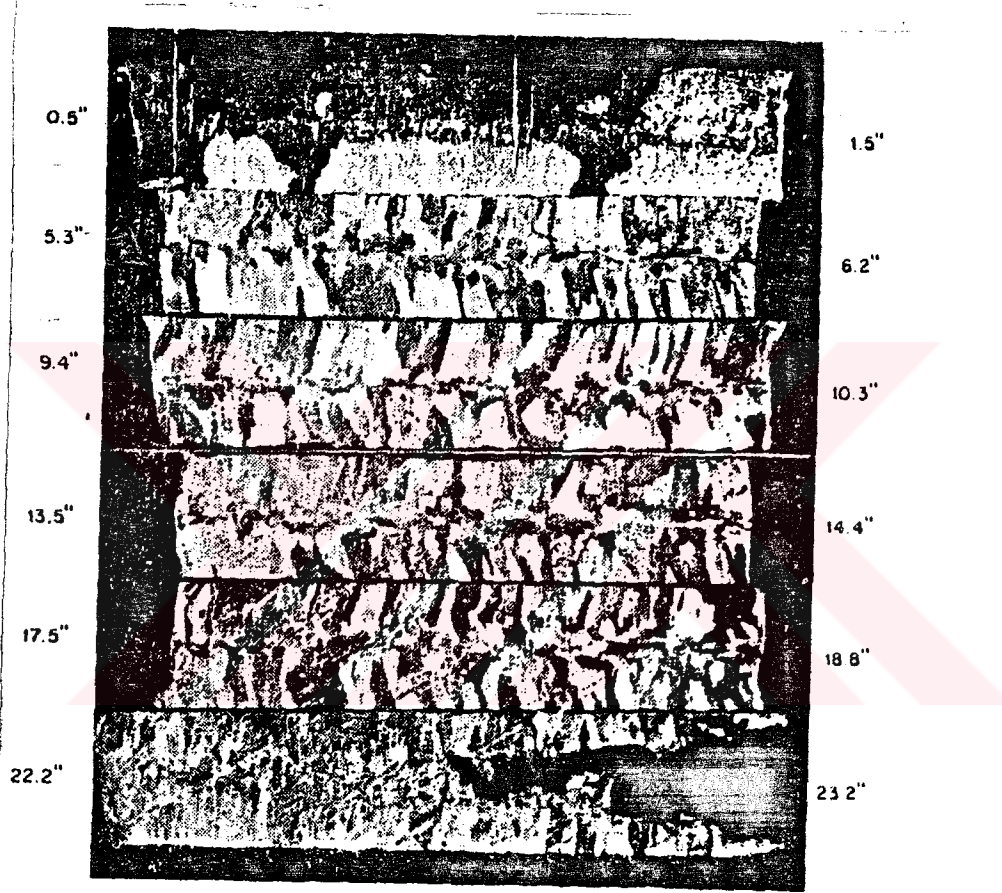
şeklinde bulunur.

Burada  $\Delta T$  aşırı ısıtmadır. (2.2.4.) eşitliği dökümcü gözüyle akıcılığa tesir eden önemli bir çok değişkenleri göstermektedir. Akış uzunluğu kanal büyüklüğüne ve arayüzeydeki ısı iletim katsayısına hassas bir şekilde bağlıdır. Bu uzunluk aşırı ısıtma ile yaklaşık olarak doğrusal bir şekilde artar. ve (2.1.1.) eşitliğine göre ( $V = \sqrt{2gh}$ ) akış uzunluğu, akış hızına ve dolayısıyla yaklaşık olarak metal yüksekliğinin kareköküne bağlıdır.

Akıcılık deneyi dökümlerinin yapısı yukarıda incelenen katılaştırma mekanizmasını aksettirir. Resim 2.2.1. hemen hemen saf bir alüminyumda uzunluk boyunca enine kesitleri göstermektedir. Kendini çekme boşluğu dökümün önde giden kısmındadır. Çünkü bu kısım Şekil 2.2.2. 'de çizildiği gibi, akış kesildiği anda tamamen sıvı haldedir. Bütün döküm boyunca taneler hafifçe "akıntı yukarısına" doğrudur. Bu durum tanelerin akış olurken büyüdüğünü göstermektedir. Kanal girişi yakınındaki bölgeler iri taneli olup bunlar akıntı yukarısını göstermez. Bu bölge dökümün aşırı ısısının dağıtıldığı bölgedir. Bu bölge akış kesildikten sonra katılaşır.

Burada verilen analiz, esas itibariyle Ragone ve arkadaşları (Ragone, Adams, Taylor) tarafından çıkarılan ve daha sonra diğer kimseler (Niesse, Flemings, Taylor) tarafından geliştirilen bir analizin basitleştirilmiş halidir. Bu analizler problemi sıvı akımı bakımından daha ayrıntılı bir şekilde incelemekte ve  $h$  -kontrol dışındaki ısı akışı durumlarını içine almaktadır.

Akıcılık çeşitli alaşımlardan uygun şekilde dökülebilecek dökümlerin kalınlığını sınırlar. Kum dökümlerde bu sınır yaklaşık olarak demir olmayan alaşımlar ve dökme demir için 3 mm , çelik için 6 mm 'dir. Özel kalıp malzemelerinde kalıpların ısıtılmasıyla ve basınç tatbikiyle çok daha ince dökümler yapılmıştır. Çelik akıcılığı (belli bir aşırı ısıda) dökme demirinkine yakın olmasına rağmen ince kesitteki bir kalıp boşluğunu çelikle doldurmanın dökme demire nazaran zor olması ilgi çekicidir. Buna sebep genellikle çelik için kullanılan refraktör ve fırınlar vasıtasıyla ince kesitteki demir dökümlerinin dökümünde düzenli bir şekilde kullanılan yüksek miktardaki aşırı ısıları elde etmek mümkün değildir.



Resim 2.2.1. Akıcılığın incelenmesinde aşırı ısıyla dökülmüş hemen hemen saf bir Alüminyumda makroyapı. Metal soldan sağa ve yukarıdan aşağı akmaktadır. Kenarlardaki sayılar gösterilen kesitlerin kanal boyunca mesafeleridir. (5). (Büyütme x 4).

### 2.2.1. AKICILIĞI ETKİLEYEN DEĞİŞKENLER

Döküm tekniğinde akma kabiliyetini etkileyen değişkenlerin bilinmesi ve döküm işleminin buna göre yapılması ihtiyacı vardır. Unutulmamalıdır ki bu değişkenler akıcılığı (akma kabiliyetini) ve akıcılık ise döküm yeteneğini belirlemektedir.

Daha önce üzerinde durulan akıcılık deneyinde sıcaklık, viskozite, ergime ısısı metal değişkenleri olarak, arayüzeyde ısı akış direnci, kalıp iletkenliği, yoğunluk, özgül ısı kalıp ve metal değişkenleri olarak, tatbik edilen metal yüksekliği ve kanal çapı deney değişkenleri olarak akıcılığa tesir eden faktörlerdir.

Ayrıca metalin akıcılık denklemini, denklem (2.2.4.) 'ü göz önüne alacak olursak bu denklem :

$$L_f \approx \frac{\rho_s \cdot a \cdot v^2}{2h \cdot (T_m - T_0)} (H + C' \Delta T)$$

idi.

Bu değişkenlerin her biri akıcılık üzerinde rol oynuyordur.

Bunlar :

$\rho_s$  = Katı metalin yoğunluğu (gr/cm<sup>3</sup>) ( $\rho_L \approx \rho_s$ ,  $\rho_L$  = Sıvı metal yoğ.)

$a$  = Silindirik yolluk yarıçapı (cm)

$v$  = Akıntı ucu hızı (cm/s)

$h$  = Isı iletimine karşı metal arayüzey direnci (cal/cm<sup>2</sup>s °C)

$T_m$  = Ergime noktası sıcaklığı (°C)

$T_0$  = Civar sıcaklığı (°C)

$H$  = Gizli ergime ısısı (cal/gr)

$C'$  = Sıvı metal özgül ısısı (cal/gr °C)

$\Delta T$  = Aşırı ısıtma (°C)

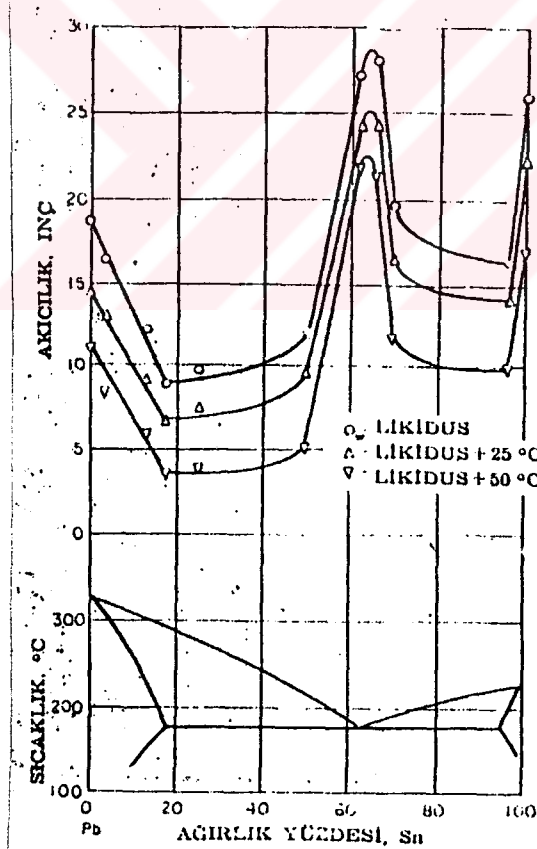
$L_f$  = Akıcılık (cm)

dir.

Aşırı ısıtma; Verilen bir alaşımın akıcılığı aşırı ısıtma ile direkt ilgilidir. Akış süresinin kontrolünde katılaşmanın temel etkisinden beklenen durum budur. Zira aşırı ısıtma, katılaşma başlamadan önce dağılacak ısı miktarını belirler. Aşırı ısıtma miktarı arttıkça akıcılık da artar. Ancak aşırı ısıtmanın da bazı dezavantajlar getireceği aşikardır.

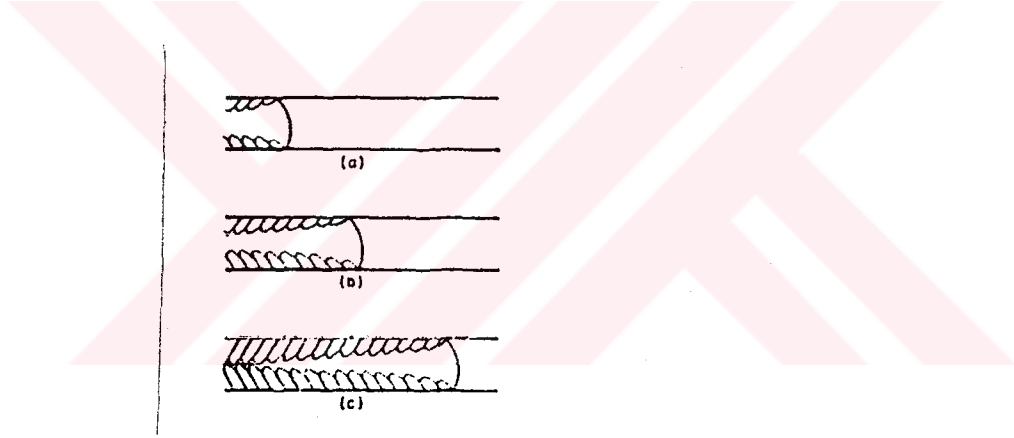
Malzeme; Ergime sıcaklığı yüksek olan metaller (örneğin Fe, Cu, Ni, Al vb...) kötü kalıp doldurma kabiliyetine yani akıcılığa sahiptir. Ergime sıcaklığı düşük olan metaller (örneğin Pb, Sn, Zn, vb...), ötektik alaşımlar, dökme demir ve  $AlSi_3$  gibi alaşımlar ile fosfor yüksek akıcılık ve kalıp doldurma kabiliyetine sahiptir.

Bileşim; Diğer önemli faktör metal bileşimidir. Yüksek akıcılığın genellikle saf metallerle ve ötektik bileşim alaşımları ile ilgili olduğu ortaya çıkar. Saf metale alaşım elemanlarının ilavesi akıcılığı da-  
ima azaltır. (Bellı bir aşırı ısıtma için). Ragone ve arkadaşlarının çalışmasından alınan Şekil 2.2.3. bir seri kurşun-kalay alaşımı için tipik neticeleri göstermektedir. Akıcılığın azalmasına sebep katılaşma-  
nın artık düzlemsel cephede olmamasıdır.

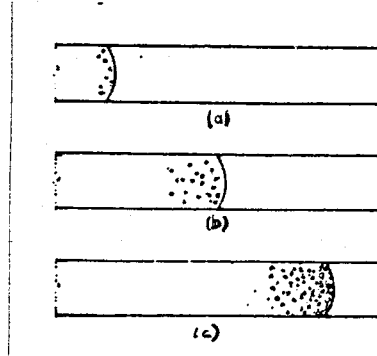


Şekil 2.2.3. Kurşun-Kalay sisteminde akıcılık. (5)

Katılaşmanın başlarında teşekkül eden dendritler, sıvı akışına karşı daha çok direnç yaratır. Şekil 2.2.4. bu durumu sütunsal taneler için (genellikle seyreltik, tane küçültmesi yapılmamış alaşımların akıcılık deneyi dökümlerinde bulunan sütunsal taneler için) şematik olarak göstermektedir. Tane küçültmesi yapılmış alaşımlarda, bazı küçük taneler akan sıvı ucuyla beraber taşınır. Böylece sıvı ucundan kafi miktarda katının teşekkül etmesiyle akış tıkanıklığı olabilir. (Şekil 2.2.1 ve Şekil 2.2.5. 'de şematik olarak çizildiği gibi). Alaşımın bileşimi ötektikçe yaklaştıkça akıcılığın genellikle arttığı saptanmıştır. İlk fikirler, ötektik yakınında metal viskozitesindeki değişmelerin buna sebep olduğu şeklindeydi. Fakat şimdi bu artışın sadece katılaşma davranışından ileri geldiği bilinmektedir. Ötektik daha çok Şekil 2.2.1. 'de gösterilen saf metale benzer şekilde katılaşır.



Şekil 2.2.4. Seyreltik bir alaşımın akıcılık kanalında akışı ve katılaşması. a. Akış başlangıcı b. Akış esnasında c. Akış sonu . (5)



Şekil 2.2.5. Küçük eşit eksenli tane yapısına sahip bir alaşımın akışı ve katılaşması. a. Akış başlangıcı b. Akış esnasında c. Akış sonu. (5)

Akış mesafesi özgül hacimden, füzyon gizli ısısından ve alaşımların ısı iletkenliklerinden etkilenir. Isıl özelliklerin etkisi Alüminyum—Silisyum sisteminde örnek olarak gösterilebilir ki bunlarda ötektik bileşimlerde maksimum akıcılık oluşmayabilir ancak hiperötektik alaşımlarda asıl Silisyumun yüksek füzyon (ergime) ısısından ileri gelir.

Çeşitli alaşım tiplerinin davranışlarındaki farklılıklar onların karakteristik donma tarzlarına atfedilebilir.

Kalıp Yüzey Etkileri; Bir kalıp kanalından aşağıya akış, kalıp yüzeylerinin pürüzlülüğüne bağlı sürtünme kuvvetleri ile sınırlanır. ve kalıp astarı tarafından da arttırılabilir. Ayrıca çözünmüş gazların tavrı ve sıvıdaki metalik olmayan kalıntılar akıcılığa biraz süresini uzatma suretiyle tesir eder.

Pratikte (2.2.4.) eşitliğine dahil edilmeyen fakat akıcılığa tesir eden iki önemli faktör daha vardır: Yüzey Gerilimi veya Yüzey Zarlama ve Kalıp Gazlarından Gelen Ardbasınç. Çok küçük kanallar (hemen hemen 2,54 mm 'nin altındaki çaplar) bir tarafa, yüzey geriliminin önemli bir tesiri yoktur. Bununla beraber, dökümlerde kafa basıncı üstün gelecek şekilde artıncaya dek yüzey gerilimi ince kesitlerin meydana gelmesine mani olabilir.

(Yüzey gerilimi tanımına bir açıklama getirilecek olursa, sıvıdaki öteki tüm moleküllerin arasında belli bir moleküle etkiyen bir kuvvet söz konusudur. Bu molekül, kendisiyle çevresindeki moleküller arasında uygulanan kuvvetlerle dengede tutulur. Sıvının yüzeyindeki bir moleküle yada en iyisi bu konumdaki tüm moleküllerde dikkat etmek gerekir. Bu moleküller, yalnızca çevrelerindeki ve aşağılarındaki moleküller tarafından çekilirler. Yüzeyin üzerindeki başka kuvvetlerin etkisinde değillerdir. Bu yüzey tabakasının oluşumunu başlatan bu olguya "Yüzey Gerilimi" denir. Örneğin havaya birkaç damla sıvı püskürtüldüğünde bu damlaların küresel bir biçim almasına neden olur. Damlaların aldığı bu biçim bir kabın etkisiyle değildir. Damla yüzeyindeki moleküller içe doğru çekilir ve böylece yüzey kaplayabileceği en küçük alanda bürülür. Yine bir çok böceğin suda yürümesini yüzey gerilimi sağlar.).

Efektif kafa basıncını arttırma metodları titreşimi, santrifüjü ve dökümün kalıp duvarlarına vakum tatbikini (kalıp gazlarının ard basıncını azaltmak amacıyla) içine alır. Ayrıca alüminyum, krom ve titanyum gibi bazı metallerin sınırlayıcı oksit tabakası yüzey gerilimini bir çok kat arttırır. Başka bir deyişle alüminyumoksit tabakası çeliklerde akıcılığı arttırır.

Yine düşey yolluk dizaynında içeri giren sıvı metal hızını belirlediğinden akıcılığı etkiler. Özellikle düşey yolluk konik şekilde dizayn edilirse kesit değiştiğinden sıvı metal akıntı ucu hızı  $V$  'de değişecektir. Konik kesit küçüldükçe  $V$  hızı artacaktır ve yine arayüzey ısı iletim katsayısında kanal kesitine bağlıdır.

### 2.3. ÇIKIÇILAR

Ergimiş metal haznesine ilişkin çıkıcı ve besleme kafası terimleri olarak ifade edilen ekipmanlar, dökümde besleme talebini tam gidermek amacıyla, katılaşma esnasında eriyik durumdaki metalin hacim büzülmele-  
rini karşılama maksadıyla tasarlanmışlardır. Kısaca kendini çekmeye rağ-  
men döküm ve ingotların sağlam olarak gerçekleştirilmesi için "çıkıcı  
veya besleyici" denilen ilaveler yapılırlar. Çıkıcı şartları, dökülmüş me-  
talin tarzına bağlıdır. Gri dökme demir, alaşımlara nazaran daha az  
beslemeye ihtiyaç gösterir: Çünkü katılaşmanın son safhasında bir gra-  
fitlenme periyodu oluşabilir ki bu da metal büzülmesini karşılama eği-  
limindeki bir genleşmeye neden olur. Çelik veya beyaz dökme demir, gü-  
venilir bir döküm elde etmek için çok fazla ve bazen ayrıntılı besleme  
sistemlerine ihtiyaç gösterirler.

Bazı metallerde beklenebilecek hacimsel büzülmeler Tablo 2.3.1.de  
gösterilmiştir.

Tablo 2.3.1. Bir kısım dökümhane alaşımlarının yaklaşık katılaşma  
büzülmeleri. (8)

<u>MALZEME</u>	<u>HACİMSEL BÜZÜLME, %</u>
Orta karbonlu çelik	2.5 - 3.0
% 1 karbonlu çelik	4.0
Saf alüminyum	6.60
Saf bakır	4.92
Gri dökme demir	1.90 (negatife kadar grafit- lenmeye, bileşime vb... bağlıdır.)
Beyaz dökme demir	4.00 - 5.50

Çıkıcıların başlıca 5 şarta gereksinimi vardır :

1. Etkili (sonuç verici) olmak, Bir çıkıcı (katılaşma açısından) dökü-  
mün katılaşan son kısmında yer almalıdır.
2. Bir çıkıcı, beslenmeye ihtiyaç duyan döküm kısımlarını tamamiyle  
karşılmalıdır.
3. Çıkıcı miktarı (hacmi) dökümdeki metal büzülmelerini dengeleme ama-  
cıyla yeterli olmalıdır.

4. Çıkıcıdaki metalin akıcılığı devamlı olmalıdır. Son katılma boşluklarının içerisine işlemek amacıyla metal buradan akışını sürdürebilmelidir.
5. Çıkıcı yerleştirilirken, dökümde belli bir sıcaklık gradyanı da etkin olmalıdır ki döküm çıkıcıya doğru yönlendirilmiş bir şekilde katılaşsın.

Bu şartlar mutlak gözönünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle çıkıcının biçimi, boyutu ve pozisyonu etkili bir şekilde kontrol edilmelidir.

### 2.3.1. ÇIKICI TİPLERİ

- İki çıkıcı tipi mevcuttur :
1. Açık çıkıcı
  2. Kör çıkıcı .

Açık çıkıcı terimi, atmosfere açık en üst çıkıcıya aittir. Kör çıkıcı ise çıkıcıdan kalıbın üst yüzeyine uzayabilen olası bir delik haricinde tamamıyla kalıp ile çevrelenmiştir.

Açık çıkıcılar genellikle dökümün üzerinde bulunurlar. (Buraya yerleştirilirler.). Eriyik metaldeki atmosferik basınç kadar gravite (yerçekimi) kuvveti besleme metalinin dökümün içine doğru, aşağı hareketini destekler.

Kör çıkıcılar genellikle kalıbın çekme kısmında, döküm deliğinin döküme normal alt tip yolluk metoduyla girdiği pozisyonlarda bulunurlar. Gravite kuvveti besleme metali tedarik etme zarfında etkindir ve eğer çıkıcıların içine atmosferik basıncın sokulması için belli önlemler alınmışsa bu kuvvet besleme metali tedarikinde işe yarar.

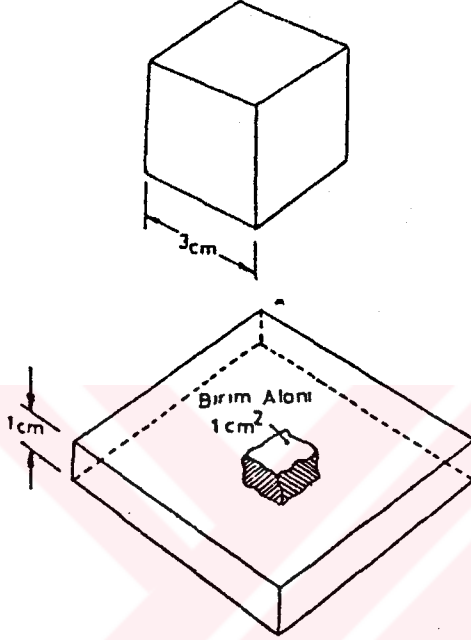
### 2.3.2. KATILAŞMA MODÜLÜ

Belirli bir hacimde daha fazla ısı yayan yüzey daha çabuk katılaşır. Buna iyi bir örnek soğutma kanatçıklarının yüzey arttırmada kullanılmasıdır. Katılma zamanı ile ilgili hesaplarda kullanılan ve "Modül" adı verilen Hacim/Yüzey oranını Chvorinov bulmuştur.  $M$ =Modül ,  $A$ =Yüzey alanı ,  $V$ =Hacim olarak gösterildiğinde,

$$M = \frac{V}{A} \quad (2.3.1.)$$

olur.

Şekil 2.3.1.'deki 10 kg. lık parçalardan küre şeklinde olan ince levha ile karşılaştırıldığında, levhanın küreden daha çabuk katılaştığı görülür. Buna sebep 10 kg. ( $\sim 1300 \text{ cm}^3$ ) 'ın içerdiği ısının levhadan daha geniş bir yüzey tarafından dışarıya verilmesidir.



Şekil 2.3.1. Aynı ağırlıktaki çelik küre ve levhanın katılma durumlarının karşılaştırılması. (15)

Şekil 2.3.2. 'deki basamaklı döküm parçasının ilk olarak en ince basamağı katılır. Bunun nedeni bu basamağın modülünün kendisinden sonra gelen ikinci basamağın modülünden daha küçük olmasıdır. Daha kalın ikinci basamak daha ince olanı beslemeye yardım eder. İkinci basamak da üçüncüsü tarafından beslenir ve böyle devam eder. Son basamak ise besleyici ile beslenir. Böylece besleyici, geliş her bir basamak yardımı ile bütün parçaya doldurmuş olur ve çekinti boşluğu meydana gelmez.

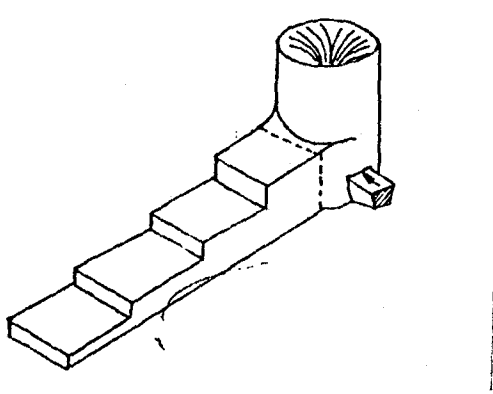
Aynı modüldeki iki parça aynı zamanda katılır. Şekil 2.3.3. 'de gösterilen küpün kenar uzunluğu 3 cm. olduğuna göre yüzey alanı

$A = 54 \text{ cm}^2$ , hacmi  $V = 27 \text{ cm}^3$  ve modülü  $M = V/A = 27/54 = 0,5 \text{ cm}$  olur.

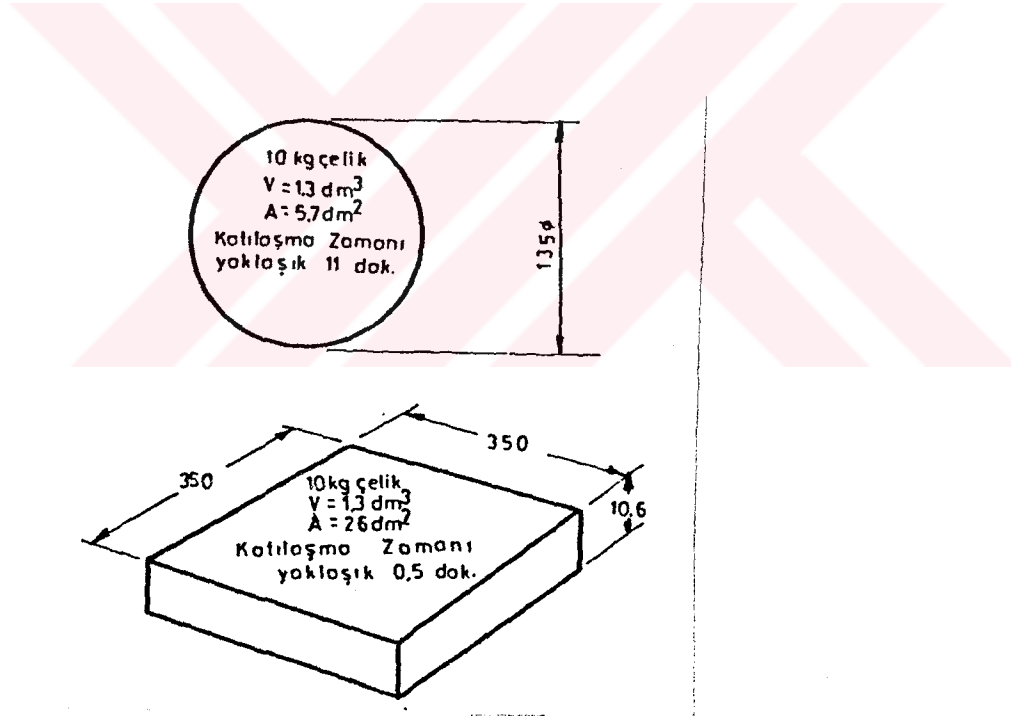
Diğer bir deyimle  $1 \text{ cm}^3$  'lük hacmi,  $2 \text{ cm}^2$  yüzey alanı ile ortaktır.

Yani  $1 \text{ cm}^3$  'lük gelişin içerdiği ısı  $2 \text{ cm}^2$  'lik yüzeyde yayınır. Bu

küp kendisi ile aynı Hacim/Yüzey oranına sahip herhangi bir parça ile aynı zamanda katılır.



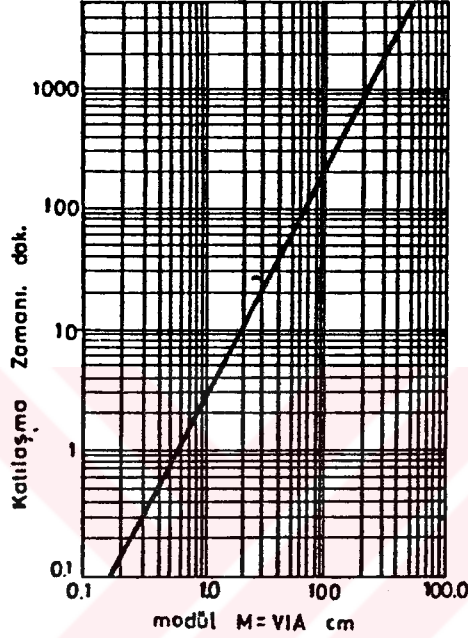
Şekil 2.3.2. Basamaklı döküm parça. (15)



Şekil 2.3.3. Kenar uzunluğu 3 cm. olan bir küp ile 1 cm. kalınlığındaki bir levhanın aynı zamanda katılması, yani aynı katılma modülüne sahip olmaları ( $M = 5\text{cm.}$ ) (15).



Bir parçanın katılma zamanı , kalıp ve metal malzemesine bağlı olarak değişen  $(c)$  sabiti ile  $(M)$  modülünün karesinin çarpımına eşittir. Bu bağıntı çift logoritmik bir diyagramda (Şekil 2.3.5.) eğim 1:2 olan bir doğru vermektedir.



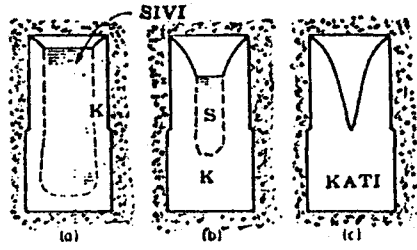
Şekil 2.3.5. Çhvorinov 'a göre çelik döküm parçaların katılma zamanı ile modülleri arasındaki ilişki. (15)

Çhvorinov'un çalışmalarına göre, kum kalıba yapılan çelik döküm kokil kalıba yapılmış olanına oranla dört kat daha geç soğur. Kalıp malzemesinin ısı iletimin önemi büyüktür. Yalıtıcı özelliği yüksek kalıp malzemeleri katılma gecikmesine sebep olurlar.

#### 2.3.4. SAF MALZEMELERDE ÇIKICI

Metallerin ve alaşımların çoğu katılınca kendilerini çekerler. Sıvı-katı büzülmesinden hacim değişikliği meydana gelir. Hacim değişikliği metallerde % 3 ile % 6 mertebesinde, oksit refrakterlerde ise çok daha fazladır. Basit bir çıkıcının davranışı şematik olarak Şekil 2.3.6. 'da görülmektedir. Burada küp döküm ve silindirik çıkıcı tamamen kum içindedir. Döküm ve çıkıcıda katılma aynı anda başlar. Sıvı çıkıcıdan döküme doğru akar. Optimum büyüklükteki bir çıkıcı o

şekildedir ki kendini çekme boşluğu çıkıcı içinde döküme kadar uzanır. Fakat dökümün içerisine giremez.



Şekil 2.3.6. Saf metalin üstten çıkıcılı bir küp içinde katılaşması  
a. Katılaşma başlarında b. Katılaşma esnasında  
c. Katılaşma sonunda . (5)

Bu dökümler için gerekli çıkıcı büyüklüğüne hesaplama için saf metalin tam ergime noktasında kum kalıba döküldüğünü , katılaşan metal içinde ihmal edilebilir bir ısıl gradyant olduğunu kabul edelim. Şimdi döküm ve çıkıcıyı iki ayrı kısımda düşünelim. Bu yüzden sıvı geçişi olabilir fakat hiç bir şekilde kondüksiyon veya konveksiyonla ısı akışı olamaz. Çünkü yüzeyin her iki tarafında bulunan sıvının ve katının sıcaklığı metalin ergime sıcaklığındadır.

Küp dökümü için katılaşma zamanı  $t_f$  Chvorinov kaidesiyle aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$t_f = C \left( \frac{V_c}{A_c} \right)^2 \quad (2.3.6.)$$

Burada  $C$  sabiti metal kalıp malzemesi ve kalıp sıcaklığı için bir sabit ,  $V_c$  küp dökümün hacmi,  $A_c$  ise küp dökümün döküm-çıkıcı temas alanı dışında kalan yüzey alanıdır. Çıkıcı kısmı içinde benzer bir eşitlik şu şekilde yazılabilir.

$$t_f = C \left( \frac{V_r}{A_r} \right)^2 \quad (2.3.7.)$$

Burada ise  $A_r$  çıkıcının döküm-çıkıcı temas alanı dışında kalan yüzey alanı, yani çıkıcıyı çevreleyen kalıp boşluğunun yüzey alanıdır. Isının metalden üst yüzeye kalıp gazları konveksiyonuyla ve radyasyonuyla iletilmiş olması sebebiyle burada  $A_r$  içine üst yüzeyde dahil edilmiştir.  $V_r$  ise en sonunda çıkıcı içinde kalan katılaşmış metaldir. Bir miktar çıkıcı boşluğu hacminden döküm ve çıkıcının katılaşma

gekmesi kadar küçüktür.

$$V_{rf} = V_r - \beta (V_r + V_c) \quad (2.3.8.)$$

olup,  $V_r$  çıkıcı boşluğu hacmi ve  $\beta$  ise katılma daralmasıdır.

$\beta$  ise :

$$\beta = \frac{V_L - V_s}{V_L} = \frac{\rho_s - \rho_L}{\rho_s} \quad (2.3.9.)$$

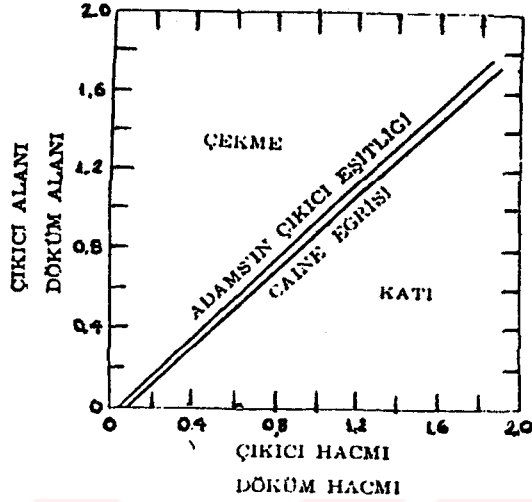
şeklinde ifade edilir. Bu ifadede  $V_L$  ve  $V_r$  sırasıyla sıvı ve katının özgül hacimleri,  $\rho_L$  ve  $\rho_s$  bunların yoğunluklarıdır. Şimdi optimum büyüklükte bir çıkıcı Şekil 2.3.6. 'daki gibi katılacak, döküm ve çıkıcının katılma zamanları tam birbirine eşit olacaktır. Böylece (2.3.6.) 'dan (2.3.9.) 'a kadar uzanan eşitliklerin birleştirilmesiyle

$$(1-\beta) \left( \frac{V_r}{V_c} \right) = \frac{A_r}{A_c} + \beta \quad (2.3.10.)$$

bulunur.

Bu eşitlik esas itibariyle Adams ve Taylor tarafından çıkarılmış olup Şekil 2.3.7. 'de çelik için çizilmiş ve deneysel olarak saptanmış eğri ile mukayesesi yapılmıştır. Çelik tabiatıyla saf bir malzeme değildir, fakat bir dereceye kadar dar bir sıcaklık aralığında katılır. İki eğri arasındaki uygunluk tamdır ve belki de (2.3.10.) eşitliğini çıkarmada kullanılan Chrovinov kaidesiyle ilgili yaklaşıklıklar hatırlanacak olursa uygunluk hayret vericidir. (Şekil 2.3.7.).

(2.3.10.) eşitliği, çıkıcı ile ilgili bazı kalitatif ( nitel) prensipleri verir. Uzun ve ince kesitteki dökümler için bir dereceye kadar küçük çıkıcılar gerekir. Sınır halinde bu miktar döküm hacminin sadece birkaç yüzde mertebesinde olabilir. Diğer taraftan silindir, küp ve diğer "kısa ve kalın" şekiller için çıkıcıların çok daha büyük olması gerekir. Şekle bağlı olarak, bu çıkıcılar hemen hemen dökümün kendisi kadar büyük olabilir. Optimum çıkıcı geometrisi, belli bir büyüklük için en küçük yüzey alanına sahip olanıdır. Silindirik bir üst çıkıcıda, Şekil 2.3.6. 'daki gibi , bu durumda çıkıcı yüksekliği çıkıcı çapının yarısı kadar olacaktır.

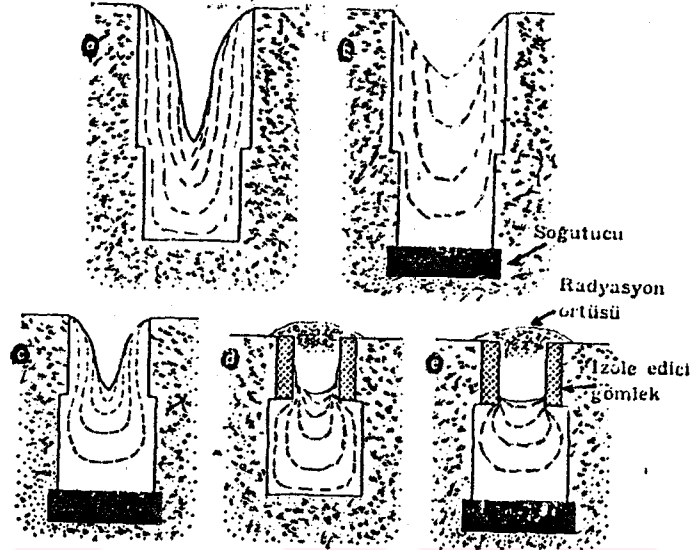


Şekil 2.3.7. Çelik dökümlerinde çıkıcıda aranan şartlar .

Caine 'nin eğrisi deneysel verilerden, Adams 'ın eğrisi (2.3.5.) eşitliğinden çıkarılmıştır. (5)

Çıkıcıları yalıtılmakla tesirlerini arttırmak mümkündür. Böylece çıkıcı etrafında fazla miktarda yalıtkan malzeme kullanılması çok daha küçük bir çıkıcının kullanılmasına imkan verir. Şekil 2.3.8. 'de şematik olarak yalıtkan malzemelerin ve keza soğutucuların kullanılması ile çıkıcı tesirinin arttırılması gösterilmektedir.

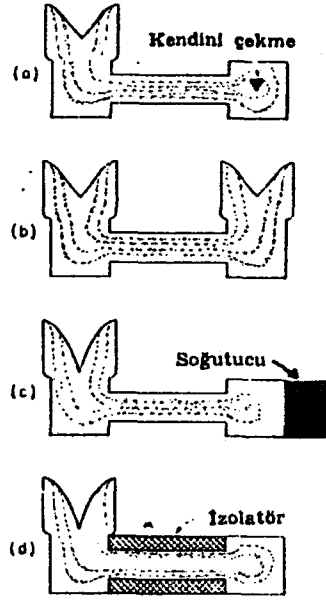
Dökümhanede ve ingot dökümünde çıkıcı boyutunu mümkün olandan daha fazla küçültmek için yalıtkan malzemelerle beraber bol miktarda egzotermik malzeme kullanılmaktadır. Çıkıcı, yalıtkan malzemelerde olduğu gibi, egzotermik bir tabakayla çevrilir. Sonra da egzotermik malzeme metalin ergime noktasında veya buna yakın bir sıcaklıkta bu şekilde yanar ki metale ısı ilavesi olmaz. Bununla beraber egzotermik malzeme, çıkıcıdan ısı kaçışına mani olmak için adyabatik bir yüzey gibi davranır. (Yani tam bir yalıtkan). Egzotermik malzeme, ısısının kalıba veya civara dağılmasıyla sıcaklığının düşmeye başladığı ana kadar bu şekilde tesir eder.



Şekil 2.3.8. Küp şeklinde saf metalden bir döküme çakıcı yerleştirilmesi. a. Açık çakıcı c.b. Açık çakıcı + soğutucu d. İzole edici veya egzotermik malzemeyle çevrilmiş çakıcı e. İzole edici veya egzotermik malzeme ile çevrilmiş çakıcı + soğutucu. (5)

Diğer bir metod da bazan çok büyük çakıcılar için kullanılır. Burada çakıcının üstü açık bırakılır veya sadece hemen hemen katı hale geçinceye dek yalıtılır. Sonradan, dökülen metalin ergime noktasının oldukça üstünde yanan öğütülmüş haldeki egzotermik bir malzeme ile kaplanır. Gaye, çakıcı içindeki katının büyük bir kısmını yeniden ergiterek çakıcı ömrünü uzatmaktır.

Önemli olan diğer bir husus, karışık şekilli dökümlerde çakıcının yerleştirilmesidir. Problem şematik olarak Şekil 2.3.9. 'da gösterilmiştir. Burada görülen "jimnastik güllesi" şeklindeki döküm için iki çakıcıya ihtiyaç vardır veya sadece bir çakıcı kullanılacaksa çakıcıya doğru yönlü bir katılaştırma yapmak için soğutucu veya yalıtkan kullanılması gerekmektedir.



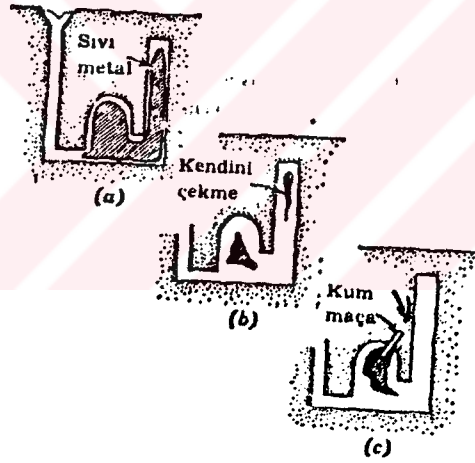
Şekil 2.3.9. İzole edilmiş büyük bir parçaya çakıcı yerleştirilmesi.  
(5)

Dökümcü çakıcı dizaynında atmosfer basıncını da dikkate alınmalıdır. Şayet çakıcının üstünde katı bir kabuk teşekkül ederse, kabuğun dışında atmosfer basıncı hüküm sürerken döküm içinde dış basınçtan düşük basınçlar meydana gelir.

En sonunda atmosferik basınç, kabuğu en zayıf yerinden yırtar ve genellikle beklenmedik yerlerde döküm kusuru meydana getirir. Şekil 2.3.10.'da gösterildiği gibi metali yukarı doğru besleyen kör (tamamen kapalı) çakıcıda atmosferik basınç iyi bir avantaj olarak kullanılır.

Yalıtkan olmayan kalıplar için kantitatif (nicel) hesapların daha zor olmasına rağmen yukarıda bahsedilen çakıcı prensipleri kum dökümünde olduğu kadar ingot dökümünde de kalitatif (nitel) olarak tatbik edilir. Egzotermik ve yalıtkan malzemelerin seçimi dahil ingot besleyicilerinin dizaynı ingot katılaşma teknolojisinin önemli bir kısmını teşkil eder. Besleyici boyutlarının düşürülmesiyle dikkate değer kazançlar sağlanabilir. Zayıf besleyici dizaynı kendini çekmeye ve makrosegregasyona sebebiyet verir.

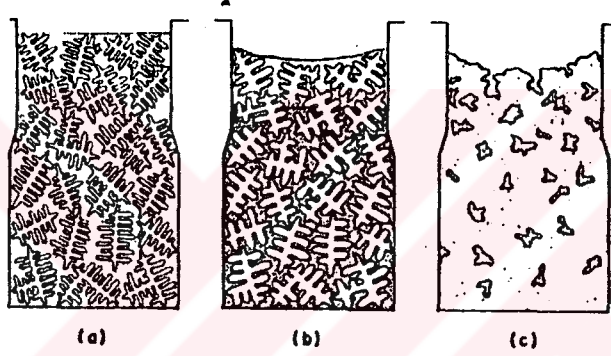
Daha ileride çakıcı dizaynı üzerinde daha geniş olarak durulacaktır.



Şekil 2.3.10. Kör çıkıcı a. Katı bir tabaka teşekkül eder ,  
 b. Kendini çekme boşluğu hem çıkıcı hemde döküm  
 içindedir , c. Şayet atmosferik basınç çıkıcı içindeki  
 sıvı metale geçiren kumdan bir maça vasıtasıyla tesir  
 ederse metal "yukarı" itilir ve kendini çekme sadece  
 çıkıcı içerisinde meydana gelir. (5)

### 2.3.5. ALAŞIMLARDA ÇIKICI

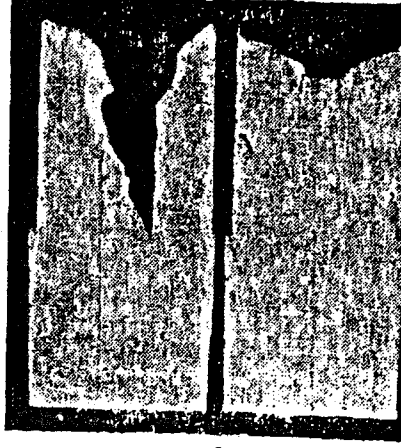
Hamur şeklinde katılaşılan alaşımların çıkıcı teknolojisi saf metaller için açıklanan prensiplere uyar. Alaşımlarda, çıkıcının dendritler arası sıvı akımı direncinden ileri gelen mikroboşlukların teşekkülüne mani olabileceği sınırlı bir "besleme mesafesi" vardır. Bu mesafe çıkıcıya doğru yönlü katılaşmayı sağlayacak soğutucuların kullanılmasıyla büyük miktarda arttırılabilir. İkinci önemli fark Şekil 2.3.11.'da üstten çıkıcıla küpün dökümünde katılaşma kademelerini izlemekle görülmür.



Şekil 2.3.11. Hamur şeklinde katılaşılan bir alaşımın üstten çıkıcıla bir küpte katılaşması (şematik).

a. Hacimsel besleme kademesi b. Dendritlerarası besleme kademesi c. Mikroboşlukları gösteren katılaşmış döküm . (5)

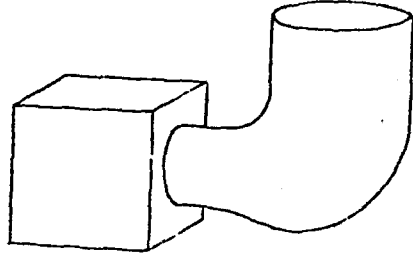
Katılaşmanın başında katı kristaller serbestçe hareket eder ve bu esnada bir miktar kristal çökmesi meydana gelir. Katılaşma çekmesi hem sıvı ve hem de katının hareketiyle karşılanır. Buna bazan "Hacimsel besleme kademesi" denir. Kristallerin hareket serbestisi olmadığı zaman, beslenme, çıkıcıdan aşağı doğru dendritlerarası akış ile olur. Dökümlerin nihai yapısı Şekil 2.3.12.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.3.12. Üstten çıkıcılı Alüminyum kübün kesitleri .

Solda : Saf Alüminyum Sağda : Al-4.5 % Cu alaşımı  
(5)

Bu üstten çıkıcılı küp örneğinde , döküm ve çıkıcı arasında sadece çok küçük sıcaklık farkları tutulabilir ve hatta şayet büyük bir çıkıcı kullanılırsa çok küçük bir kübün katılaşması uzun bir zaman alacaktır. Küçük sıcaklık farkları demek yüzeysel ve merkezi gözeneğin kolay teşekkül etmesi demektir. Şekil 2.3.11. 'de gösterilen çıkıcıyla yüksek derecede sağlamlığa haiz bir döküm yapmak zordur. Daha iyi bir çıkıcı yerleştirme tekniği Şekil 2.3.13. 'de çizilmiştir. Burada çıkıcı, dökümden dar bir boyunla ayrılmış ve böylece döküm ve çıkıcı arasında ısı nakli azaltılarak sıcaklık farklarının daha büyük tutulabilmesi sağlanmıştır. Boyun aynı zamanda çıkıcının az bir masrafla kesilmesini temin eder. Döküm tekniğinde önemli bir husus bu boyunların geometrilerinin, çıkıcının vazifesi bitmeden önce boyunda katılaşma olmayacak şekilde seçilmesidir. Saf metallerde olduğu gibi hamur şeklinde katılaşan alaşımlarda da yalıtkan ve egzotermik malzemeler bol miktarda ve istenen neticeyi verecek biçimde kullanılır.



Şekil 2.3.13. Küp dökümünde boyunlu yan çıkıcı. (5)

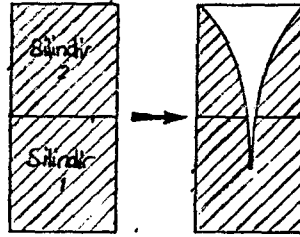


### 2.3.6. ÇIKICI DİZAYNI

Bu başlık altında çıkıcıların besleme kapasiteleri, hesaplamaları, döküme çıkıcı irtibatı, çıkıcıların konumu üzerinde durulacaktır.

#### 2.3.6.1. ÇIKICILARIN BESLEME KAPASİTESİ

Biri diğzerinin üzerine yerleştirilmiş aynı boyutta iki silindirik dökümün katılaşma davranışı Şekil 2.3.14. 'de görülmektedir. Dökmenin tamamlanması anında her iki silindir de aynı boyuttadır ve bu nedenle aynı modüle sahiptirler. Katılaşma esnasında metal büzölmelerinden ve o civardaki hacmin azalıp, yüzey alanının artmasından dolayı metal yukardaki silindirin dışından emilir. Yukardaki silindirin (besleyici silindir) modülü bu nedenle katılaşma süresince azalır. Sonuç olarak böyle bir çıkıcı (besleyici) dökümden daha erken katılaşacaktır. Katılaşma esnasında bu modül azalması orjinal modülün % 17 'si kadardır. Bu yüzden besleyicinin modülü başlangıçta döküm modülünün 1,2 katı olmalıdır. Ancak bu durumda döküm parçası ile besleyicinin modülleri, katılaşma tamamlandığı anda eşit olur. Yani katılaşmaları aynı anda biter. Bu faktöre ( $f=1,2$ ) "Dengeleme faktörü" denir.



Şekil 2.3.14. Aynı büyüklükte iki silindirin katılaşma sırasındaki durumu . (15)

Çıkıcının çekinti konisi hiç bir şekilde döküm parçasına kadar uzanmamalıdır. Emniyet bakımından müsaade edilebilir maksimum çekinti derinliği  $d=0,8H$  olmalıdır. ( $H$  = Besleyici yüksekliği) . Parabolik çekinti konisi daima orjinal besleyici hacminin % 14 'ünü işgal eder. Döküm parçasının bütün çekmesi besleyicideki bu çekinti ile karşılanır.

### 2.3.6.2. ÇIKICI HESAPLAMALARI

Bir dökümde çıkıcı hesaplamaları aşağıdaki şekillerde hesaplanabilir :

1. Dökümün temel (esas) biçimlere ve besleme bölgelerine ayrılması
2. Her besleme bölgesi modülünün tayini

Eğer dökümün veya her besleme bölgesinin modülü tayin edilirse bu, gerek duyulan çıkıcı modülünü elde etmek amacıyla  $f=1,2$  ile çarpılır. En uygun çıkıcı formu tablolardan seçilir.

### 2.3.6.3. DÖKÜME ÇIKICI İRTİBATI

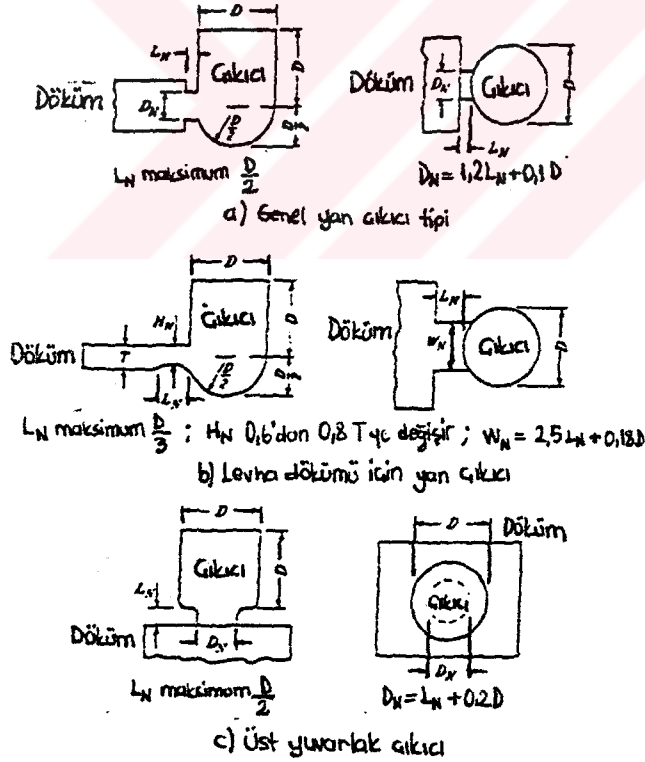
Çıkıcının döküme nasıl bağlandığı önemlidir. Çünkü ilk olarak dökümü iyi bir şekilde nasıl besleyebileceği ve ikinci olarak kolayca dökümden nasıl uzaklaştırılabileceği tayin edilir. Yönlü katılma, dökümün içinde ve çıkıcı irtibatının üzerinde (karşısında) çıkıcıya doğru (çıkıcı-boyun) ve her aşamada modüldeki yaklaşık % 10 artışla vuku bulmalıdır.

$$M_{döküm} : M_{boyun} : M_{çıkıcı} = 1 : 1,1 : 1,2$$

Eğer bu şartlar yerine getirilirse çekinti boşlukları çıkıcı-boyun yakınlarında oluşmaz. Üç tip çıkıcı için çıkıcı-boyun boyutları Tablo 2.3.2.'de verilmiştir. Bu boyutlar başka yerlerde kullanılan kalıplama malzemeleri gibi aynı termal özelliklere sahip boyunla çevrelenen malzemelerin bulunduğu yerler içindir. Eğer yalıtıcı boyunlar ve maça kısmından yapılmış boyunlar kullanılırsa boyutlar daha da ufalabilir.

Tablo 2.3.2. Çıkıcı-boyun boyutları . (8)

Çıkıcı tipi	$L_N$ uzunluğu	$L_N$ enine kesiti
Genel yan	Mümkün olduğunca kısa $D/2$ 'den büyük olamaz	Yuvarlak, $D = 1,2 L_N + 0,1 D$
Levha yan	Mümkün olduğunca kısa $D/3$ 'den büyük olamaz	Dikdörtgen, $H_N = 0,6 T$ 'den $0,8 T$ 'ye boyun uzunluğu arttıkça $W_N = 2,5 L_N + 0,18 D$
Üst	Mümkün olduğunca kısa $D/2$ 'den büyük olamaz	Yuvarlak, $D_N = L_N + 0,2 D$



Tablo 2.3.2.'deki üç tip çıkıcı için boyutların konumu

Metal Akışının Isıtıcı Etkisini Gözönüne Alarak Besleyici Boynu

Hesabı :

Çeliğin aşırı ısı, döküm sırasında kalıp tarafından alınır. Böylelikle kalıp, katılaşma esnasında, soğutma etkisinden kaybetmiş olur. Aşırı ısı ne kadar fazla olursa ve metalin akış zamanında ne kadar uzun olursa kalıbın soğutma etkisi de o denli azalır.

Chvorinov 'a göre :

$$T_f = 1,15 \cdot T_0 \quad (2.3.11.)$$

Burada :

$T_0$  = Metal akışının olmadığı kesitin katılaşma süresi

$T_f$  = Metal akışının olduğu kesitin katılaşma süresi

dir.

Katılaşma süresi ile modül arasındaki bağıntı gözönüne alınarak :

$$T_f / T_0 = (M_f)^2 / (M_0)^2 = 1,15 \cdot T_0 / T_0 \quad (2.3.12.)$$

Buradan

$$M_f = 1,07 M_0 \quad (2.3.13.)$$

bulunur.

Bu bağıntı, sıcak metalin akışının etkisi ile modül % 7 kadar artmıştır. Yani metal akışının olduğu kesit , akışın olmadığı kesite göre modülünde % 7 oranında bir fazlalığa sahip gibidir. Bu nedenle bu tip besleyici boyunları için aşağıdaki bağıntı geçerlidir.

$$M_{\text{döküm}} : M_{\text{boyun}} : M_{\text{besleyici}} = 1 : (1,0-1,3) : 1,2$$

1.0 değeri katılaşma sıcaklığının 70-100 °C üzerine ısıtılmış olarak dökülen küçük parçalarda kullanılır. Gereken boyutların altında besleyici boyutları kullanmak dökümün hatalı olmasına yol açar. Çekinti boşlukları genellikle besleyici yetersizliğinden oluşur diye bilinmektedir, oysa öncelikle besleyici boynunu düşünmek gerekir.

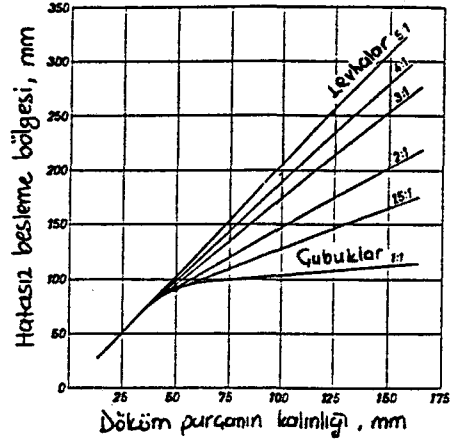
#### 2.3.6.4. ÇIKIÇILARIN KONUMU

Katılma, çıkıcıya en uzak noktadan başlamalı ve çıkıcıya doğru ilerlemelidir. Döküm basit geometrik şekillere ayrıldığında katılan her şeklin modülü, daha önce katılana göre en azından 1.1 1.2 kat büyük olmalıdır. Aksi takdirde yönlendirilmiş bir katılma o derece uygun bir beslemeye olanaksız olacaktır. Bu gibi durumlarda uygun besleme elde etmek için çıkıcıların konum ve sayısı değiştirilir ya da çeşitli soğutucular kullanılır. Hatta dökümün dizaynı da değiştirilebilir.

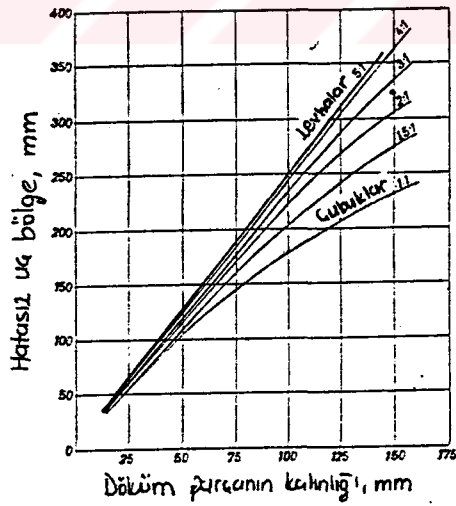
Uzun bir çubuk veya levha çıkıcısız dökülürse çubuk yada levhanın ucunda belli bir uzunluğun temiz olacağı düşünülür. Bu ise uçlardaki bu noktalarda daha büyük ısı çekimi yüzünden meydana gelen yönlendirilmiş katılmadan ileri gelir. Bir çıkıcı olmamasına rağmen bu sonuç oluşur. Benzer şekilde uzun bir çubuk yada levha merkezde yeterli tek çıkıcı ile yatay olarak döküldüğünde, çıkıcıdan belli bir uzaklık için çıkıcının besleme etkisinden dolayı dökümün temiz olacağı düşünülebilecektir. Halbuki bu noktalara doğru büzülme formu oluşabileceği aşikardır. Bu iki sonuç uç etkisine ve besleme etkilerine atfedilebilir. Şekil 2.3.15. 2.3.16. 2.3.17. hatasız besleme bölgesi uzunluğunu ve döküm boyutunun fonksiyonu olarak uç bölgesini açıklamaktadır. Levhaların uç bölgelerine soğutucu koymakla Şekil 2.3.16. ile karşılaştırıldığında 50 mm. daha uzun hatasız uç bölgesi elde edilir. Aynı şekilde besleyiciler arasına soğutucu konulması ile de ara besleme uzaklığı 50 mm. artar.

Yüksek egzotermik malzemelerin kullanımıyla hatasız besleme bölgesi uzunluğu artar. Çünkü egzotermik malzemenin ısıtıcı etkisinden dolayı çıkıcıdaki azalmış ısı kaybının sonucu olarak termal gradyant artmıştır. (Şekil 2.3.18.).

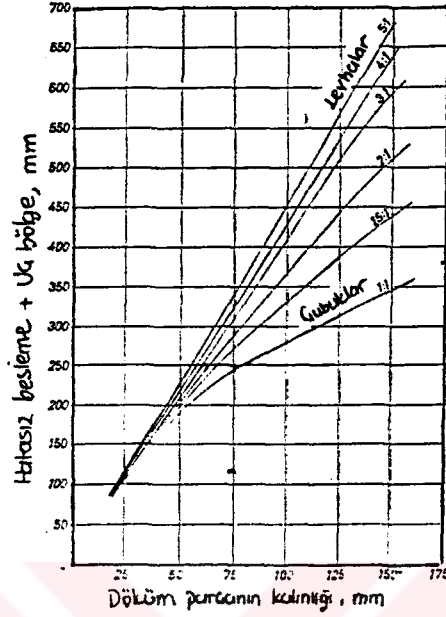
Besleme ve uç bölgeleri daima sıvı-sıvı temasında ise döküm hatasız olacaktır. Eğer bu bölgeler katılmış dendritler ile ayrılmışlar ise (ki burada döküm uzunluğu, uç bölge uzunluğu + besleme bölgesi uzunluğu 'ndan daha uzundur) orta kısımda boşluklar kaçınılmazdır.



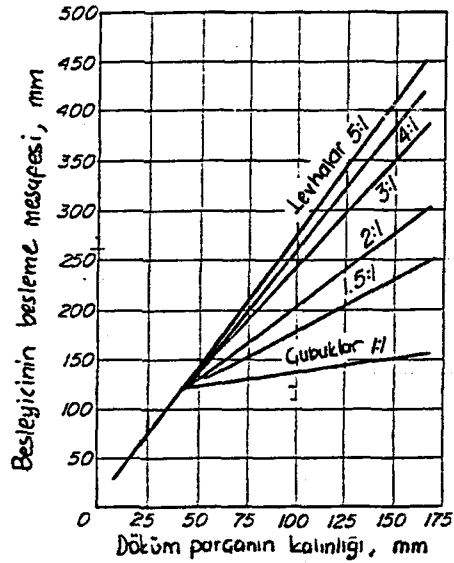
Şekil 2.3.15. Döküm boyutlarının fonksiyonu olarak hatasız besleme bölgesi uzunluğu (16)



Şekil 2.3.16. Döküm boyutlarının bir fonksiyonu olarak hatasız uç bölgesinin uzunluğu . (16)



Şekil 2.3.17. Döküm boyutlarının bir fonksiyonu olarak hatasız besleme bölgesi + hatasız uç bölgesi uzunluğu . (16)



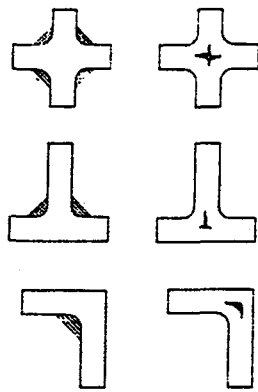
Şekil 2.3.18. Egzotermik besleyiciler kullanıldığında döküm boyutlarının bir fonksiyonu olarak hatasız besleme bölgesi uzunluğu. (16)

### 2.3.7. SOĞUTUCULARIN KULLANILMASI

Çıkıcılar kalıp sisteminin bazı kısımlarındaki katılaşma prosesini geciktirme suretiyle yönlü katılaşmayı temin eder. Bununla beraber benzer yönlü katılaşma amacı ters soğutma işlemi ile yerine getirilebilir. Sıvı metal kaynağından daha uzaktaki metal dökümün bu bölgelerindedir. İç ve dış soğutucular bu amaçlar için kullanılabilir. Dış soğutucular kalıp duvarındaki kalıp-metal arayüzeyine yerleştirilir. Oysa iç soğutucular kalıp boşluğuna yerleştirilir.

#### 2.3.7.1. DIŞ SOĞUTUCULAR

Dış soğutucular kalıptaki uygun mevkilerde, bu noktalarda metal katılaşma hızını arttırmak amacıyla yerleştirilmiş grafit, bakır, dökme demir, çelikten metal ilaveleridir. Standart biçimlerde olabildiği gibi özel durumlarda ihtiyaç duyulan kalıp boşluğu boyutlarına uymak amacıyla geliştirilebilirler. Büyüklükleri soğuma gereksinimine bağlıdır. Bir dökümün çıkıcılarla besleme için zor olan kısımları, birleşme yerleri ve diğer kısımlarında etkili bir şekilde kullanılırlar. Şekil 2.3.19. 'de birkaç dış soğutucu kullanılması örneği şematik olarak verilmiştir.



Şekil 2.3.19. Uygun büyüklükteki dış soğutucular, gözenekliliğe meydan vermemek amacıyla döküm birleşme yerlerinde kullanılabilir. (8)

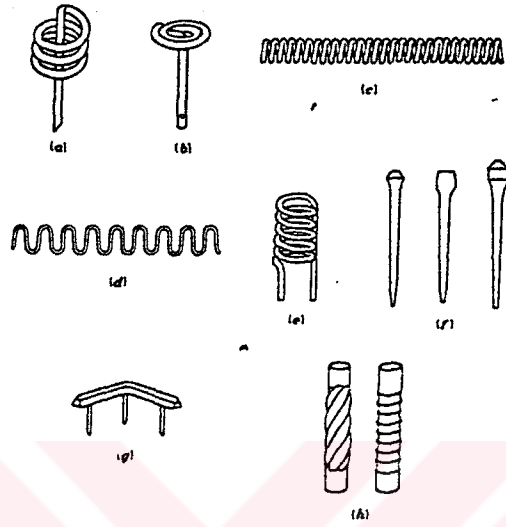
Soğutucular hava delikleri oluşumunu önlemek için kuru olmalıdırlar. Sık sık bir koruyucu silika unu tabakası veya diğer refrakter malzemeler ile kaplanmalıdırlar. Bu tabaka, soğutucu kalıba sokulmadan evvel kurutulmuş olmalıdır. Soğutucular, yaş kuma yerleştirildiklerinde kalıptan ötürü nem, eğer kalıpta uzun süre kalmasına izin verilirse üzerlerinde yoğunlaşabilir. Buna, soğutucuyu ilave etmeden veya kalıba dökümden hemen evvel, imal edildikten hemen sonra ön ısıtma ile engel olunabilir.

### 2.3.7.2. İÇ SOĞUTUCULAR

İç soğutucular, kalıpta dış soğutucular ile etkili bir şekilde erişilemeyen yerlere yerleştirilirler.

İç soğutucu kullanımı dış soğutuculara nazaran aşağıdaki nedenlerden dolayı biraz daha tehlike arzeder.

1. Soğutucu döküme kaynamayabilir. O suretle tesis edilen zayıf noktalar tehlikelidirler.
2. Soğutucu temizliği, soğutucu tamamen metal ile çevreleneceğinden ve oluşmuş herhangi bir gaz çabucak kaçamayabileceğinden çok önemlidir.
3. Soğutucu kullanıldığı yerlerde dökümün mekanik özelliklerini düzeltebilir.
4. Soğutucunun tertibi dökülecek metal ile benzer olmalıdır. Böylece dökme demir bir iç soğutucu çelik yada demir olmayan bir döküm için kullanılamaz. Şekil 2.3.20. bir takım iç soğutucu örneklerini şematik olarak göstermektedir.



Şekil 2.3.20. İç soğutucu örnekleri . (8)

- a . Soğutucu bobin çivi
- b . Yassı başlı soğutucu bobin çivi
- c . Soğutucu bobin
- d . Izgara soğutucu
- e . Göbek soğutucu
- f . Soğutucu çiviler
- g . İstavroz (örümcek) soğutucu
- h . Soğutucu çubuklar

### 2.3.8. İZOLATÖR (YALITICI) VE EGZOTERMİK BİLEŞİMLERİN KULLANILMASI

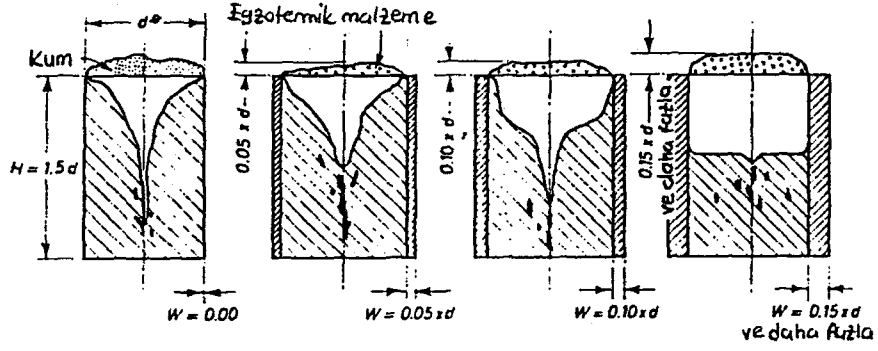
Bir çıkıcı, üst kısmından aşağı doğru katılaşmasına engel olmak için bazı suni vasıtaların kullanılması yoluyla daha etkili yapılabilir. Onun için ergimiş metal atmosferik basınca maruz bırakılabilmelidir. Bu, metal çıkıcıya girdikten sonra, mümkün olduğunca çabuk çıkıcıdaki ergimiş metalin yüzeyine belli ilavelerin kullanılmasıyla yapılabilir.

Bu ilaveler, tamamen izole eden bir etki veya bileşimdeki egzotermik bir reaksiyon vasıtasıyla ısı yaymadan dolayı antipiping bileşimler olarak hizmet ederler. İzole edici etkiler, odun kömürü veya grafit tozu, piring yada yulaf tanesi kabukları ve refrakter tozlar gibi ilaveler ile elde edilir. Karbonlu bileşimler bu amaçlar için belirli olarak dizayn edilmiş diğer karışımlar gibi egzotermik reaksiyondan ötürü ilave ısı temin eder. Karbonlu malzemeler durumunda bu etki yalnızca karbonun oksidasyonundan meydana gelebilir. Diğer karışımlar ile aşağıda formüle edilmiş kuvvetli egzotermik tipte reaksiyondan ileri gelen oksidasyon daha sert (soğuk) olabilir.



Diğer oksidantlar ve oksitleyiciler diğer ilaveler ile birlikte aynı zamanda kullanılabilirler. Bir oksijen akışı ile çıkıcıdaki metalin oksidasyonu ve elektrik ark ile ısıtma çok büyük, geniş dökümlerdeki çıkıcıyı açık tutmak için kullanılan diğer çarelerdir.

Ayrıca çıkıcının üstünde yalıtım sağlamadan başka aynı zamanda çıkıcının kenarlarını oluşturmak için yalıtıcı gömlekler kullanmak mümkündür. O suretle çıkıcıda daha yavaş katılaşma hızları temin etmek ve bu nedenle dökümün daha iyi beslenmesini başarma olanaklıdır. Çıkıcının besleme kapasitesini egzotermik gömlek ve malzemeler kullanmak suretiyle % 14 'den % 67 'ye çıkarmak mümkündür. (Şekil 2.3.21.) .



Şekil 2.3.21. Çeşitli et kalınlıklarındaki egzotermik gömlekler için çekinti boşluğu oluşumu durumları. (8)

Gömleğin W et kalınlığı	Çekinti boşluğunun max. hacmi $V_{gb \text{ max.}}$	Kalıntı metalin hacmi $V_{kb}$ ( $V_{gb \text{ max.}}$ için)	Aynı hacmin $\phi d$ çapındaki katı metal silindirin h yüksekliği
0,00 x d	0,14 x $V_b$	0,86 x $V_b$	1,27 x d
0,05 x d	0,212 x $V_b$	$\sim 0,79$ x $V_b$	1,15 x d
0,10 x d	0,50 x $V_b$	0,50 x $V_b$	0,75 x d
0,15 ve daha fazla	0,67 x $V_b$	0,33 x $V_b$	0,50 x d

### 3.0. SONUÇ

" Döküm Tekniğinde Sıvı Akım, Akıcılık ve Akıcılığı Etkileyen Faktörler " konusundaki tez çalışmamı hazırlarken konuyu direkt ilgilendirdiğinden öncelikle katılma mekanizmasını inceledim. Dökülen her malzeme belli bir yöntemle katılacağından ve sıvı akımı ve akıcılık terimleride katılmanın bir parçası olduğundan bu çok önemliydi. Bölüm 1 'i hazırlarken çok çeşitli literatürleri ve konu üzerinde söz sahibi kişilerin yayınlarını taradım ve 9 altkonu başlığı altında Katılma Mekanizmasını ele aldım. Bölüm 1 bu konudaki mevcut bilgilerin bir tekrarı idi.

Esas tez konusu ise Bölüm 2 'de ele alındı. Burada da önce yolluk sistemi işlendi. Çünkü sıvı metalin kalıp boşluğuna akabilmesi için bir yolluk sistemine ihtiyacı vardı. Çeşitli yolluk tipleri örnekleri sematik olarak verildi, iyi bir döküm için optimum yolluk dizaynının önemi belirlendi. Daha sonra akıcılık irdelendi. Akıcılık, dökümcüye fizikçiden daha farklı bir anlam ifade etmektedir. Akıcılık deneyleri üzerinde duruldu ve akıcılık (dairesel bir kanaldaki toplam akış uzunluğu) formülsele ifadelerle ifade edildi. Akıcılığı etkileyen değişkenler teker teker etki yönleri ele alınarak açıklandı. Sonraysia sıvı akımı ve katılma mekanizmasını tamamlayan çıkıcılar incelendi. Katılma modülü burada tanımlanarak iyi bir döküm için optimum büyüklükte bir çıkıcının gerektiği sonucuna varıldı. Çıkıcı dizaynı ve hesaplamaları üzerinde duruldu. Soğutucu ve izolatör kullanımının avantajları tespit edilerek tez tamamlandı.

Buraya kadar tezin genel bir değerlendirilmesi yapıldı. Ancak tüm bunların yanında ulaşılan belirli sonuçlar maddeler halinde şu şekilde sıralanabilir :

1. Katılma zinciri, bir döküm prosesi esnasında sıvı formunda metal ve-ya alaşım ile başlar. Çekirdeklenme işlemini biraz uzatmak son döküm yapısına tesir eder ve bu yapı, sıvı metalin yapısı ve özellikleri tarafından etkilenir.
2. Bir döküm parça ilk olarak en ince kısmından katılmaya başlar ve bu anda daha kalın kısımdaki metal sıvıdır, yine daha sıcak olup daha geç katılır.

3. Katılaşma mekanizmasında aşırı soğuma büyüklüğüne dair iki çekirdeklenme tipinin mevcudiyeti söz konusudur. Bunlar "Homojen ve Heterojen Çekirdeklenme" 'dir.
4. Çekirdeklenmeden sonra ilk basamak çekirdeklerin büyümesidir. Büyüme oranı ergime noktası altındaki aşırı soğuma miktarı ile düzenlenir.
5. Dökümlerin yapısı birçok özelliğe (özellikle mekanik özelliklere) tane biçim ve miktarına bağlı olduğu için büyük önem arzeder. Döküm metalinin yapısı alaşım teşkili, termal şart ve sıvı metaldeki büyüme şartları ve doğal çekirdeklenme etkilerinin bir sonucudur olarak ortaya çıkar.
6. Sıvı metal soğuma büzülmeleri, katılaşma süresince sıvı büzülmesi, katılaşma büzülmesi ve katı büzülmesi olmak üzere üç farklı basamakta vuku bulur. Katılaşma boşluklarının şiddetini belirleyen faktörler ise boşluk miktarını ve katılaşma hızını arttıran kalıp ve metal değişkenleri ve artan katılaşma büzülmeleri ve sıvı metal viskozitesidir.
7. Akma kabiliyeti (akıcılık) bir alaşımın döküm malzemesi olarak uygunluğunu belirleyen, döküm yeteneğinde rol oynayan teknolojik bir özelliktir. Akıcılık, kalıp doldurma kabiliyeti ile direkt ilgilidir ve genel olarak ele alındığında dökümün iç yapısında etkileyen önemli bir etmendir.
8. Yolluk sistemleri belirli şartları yerine getirecek şekilde dizayn edilmelidir.
9. Akma kabiliyeti ve kalıp doldurma kabiliyeti bir döküm spirali yardımıyla belirlenebilir. Sıvı metalin spiral biçimindeki öda sıcaklığında bir kalıbın çok dar olan kesitinde ilerlemesi akma, spiral üzerindeki belirli aralıklarla bulunan kubbe biçimindeki çıkıntılardan dolmuş olanlarının sayısında kalıp doldurma kabiliyeti için bir ölçü kabul edilebilir. Doğal olarak sonuçlar alaşımın kimyasal bileşiminin dışında döküm ve kalıp sıcaklığına çok bağlıdır.

10. Akıcılık deneyinde sıcaklık viskozite, ergime ısısı metal değişkenleri olarak, arayüzeyde ısı akış direnci, kalıp iletkenliği, yoğunluk, özgül ısı kalıp ve metal değişkenleri olarak, tatbik edilen metal yüksekliği ve kanal çapı deney değişkenleri olarak akıcılığa tesir eden faktörlerdir. Genel olarak söylenecek olursa aşırı ısıtma, malzeme, malzeme bileşimi, kalıp yüzey etkileri, yüzey gerilimi ve kalıp gazlarından gelen ard basınç, yolluk dizaynı, dökme hızı ve civar sıcaklığı sıvı metalin akıcılığını etkileyen değişkenlerdir.
11. İyi bir çıkıcı uygun büyüklükte olmalı ve belirli şartları yerine getirebilmelidir.
12. Çıkıcılar, kalıp sisteminin bazı kısımlarındaki katılaşma prosesini geciktirme suretiyle yönlü katılaşmayı temin eder. Katılaşma, çıkıcıya en uzak noktadan başlamalı ve çıkıcıya doğru ilerlemelidir. Döküm basit geometrik şekillere ayrıldığında katılaşan her şeklin modülü daha önce katılaşana göre en azından 1.1 1.2 kat büyük olmalıdır.
13. Dökümde soğutucuların kullanılması ile yönlü katılaşma amacı ters soğutma işlemi ile yerine getirilebilir ve bir çıkıcı, üst kısımdan aşağı doğru katılaşmasına engel olmak için izolator ve egzotermik bileşimlerin kullanılması ile daha etkili yapılabilir.

K A Y N A K L A R

1. Atasoy, Ö.Aydın , 1990 . Ötektik Alaşımlar Katılaştırma Mekanizması ve Uygulamaları , Cilt 1 , Yönlerdirerek Katılaştırılmış Ötektikler, İ.T.Ü. Kimya Met. Fak. Ofset Atölyesi , İstanbul: 1-15, 30-39.
2. Chalmers, Bruce , 1964 . Wiley Series on the Science and Technology of Materials , Holloman, J.H., Burke, J.E., Chalmers, B., Sproull, R.L., Tobolsky, A.T. (Advisory Editor) , "Principles of Solidification", John Wiley Sons , INC. New York.London.Sydney: 20-89, 252-296.
3. Davies, G.J. , Solidification and Casting , Applied Science Publishers Ltd. , London: 1-114.
4. Ersümer, Aram , 1969 . Makina Tek. İmal Usulleri Döküm Kaynak Plastik Şekil Verme , Teknik Üniversite Matbaası , Gümüşsuyu: 1-9, 49-50.
5. Flemings, Merton C. , 1976 . Döküm ve Katılaştırma Tekniği , Çev: Metin Başaran , İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası , Gümüşsuyu.
6. Flemings, Merton C. , 1980 . Solidification Technology in the Foundry and Cast house , "Opening Address: Process Modelling and Process " Development , Proceedings of an International Conference Organized by the Applied Metallurgy and Metals Technology Group of The Metal Society, and held at the University of Warwick, Coventry.
7. Güleç, Şefik , 1990 . Malzeme Ders Notları , İ.T.Ü. Makina Fak. Ofset Atölyesi.
8. Gültekin, A., Karagöz, H. , Kınkoğlu, N.G. , 1984 . TUBITAK Marmara Scientific and Industrial Research Institute Materials Research Department (Alloy Development and Casting Division) Small Scale Foundry Operations Group Training UNIDO , Lecture 1 , "Solidification in Casting Feeding and Gating Design", Gebze-Kocaeli-Turkey.
9. Kınkoğlu, N.G. , 1981 . TUBITAK Marmara Scientific and Industrial Research Institute Materials Research Department (Alloy Development and Casting Division) Small Scale Foundry Operations Group Training UNIDO , "Solidification" , Gebze-Kocaeli-Turkey.

10. Kısakürek, Ş.Ergin , 28-30 Eylül 1981 . I. Ulusal Döküm Sempozyumu Bildiriler Kitabı , "İngotlarda Segregasyon (veya Birikinti)" , İ.T.Ü. Met. Fak. Maçka-İstanbul.
11. Kısakürek, Ş.Ergin , 28-30 Eylül 1981 . I. Ulusal Döküm Sempozyumu Bildiriler Kitabı , "İngotlarda Tane Yapısının Oluşması ve Ufaltılması" , İ.T.Ü. Met. Fak. Maçka-İstanbul.
12. Ohno, A. and Motegi, T. , 15-17 September 1980 . Solidification Technology in the Foundry and Cast house, "Grain size Control in Castings" , Proceedings of an International Conference Organized by the Applied Metallurgy and Metals Technologys Group of The Metals Society, and held at the University of Warwick, Coventry.
13. T.C. Deniz Kuvvetleri Komutanlığı Gölçük Deniz Fabrikaları Genel Müdürlüğü , 1965 . Döküm Kursu Notları (Sivil İşçi Personel için), Gölçük.
14. Uzman, İbrahim , 1983 . Döküm Teknolojisi Ders Notu , Yıldız Üniversitesi Kocaeli Mühendislik Fakültesi , İzmit.
15. Wlodawer, R. , 1985 . Çelik Dökümlerde Besleyici ve Soğutucu Hesapları , Çev: Doç.Dr. Macit Yaman , T.M.M.O.B. Metalurji Müh. Odası
16. Wlodawer, R. , 1966 . Directional Solidification in Steel Casting , "Solidification Technology" , Translated by L.D. Hewitt , English Translation Edited by R.V. Riley , Pergamon Press.

## Ö Z G E Ç M İ Ş

SOYADI : TOKGÖZ  
ADI : Burak  
BABA ADI : Yüksel  
DOĞUM TARİHİ : 16 Eylül 1971  
DOĞUM YERİ : İstanbul  
MEZUN OLDUĞU LİSE : Gölcük Barbaros Hayrettin Lisesi / 1988  
ÜNİVERSİTEDEKİ MEZUN  
OLDUĞU LİSANS PROG. : Y.Ü. Kocaeli Müh. Fak. Mak. Müh. Bölümü /1992  
LİSANS BİTİRME TEZİ : Kaynak Hataları  
LİSANS BİTİRME DERECESESİ : 69.01 (İYİ)  
YABANCI DİLİ : İngilizce  
BAŞLADIĞI YÜKSEK  
LİSANS PROGRAMI : Y.T.Ü. Fen Bil. Enst. İmal Usulleri Anabilim  
Dalı / 1992  
YÜKSEK LİSANS BİTİRME  
TEZİ : Döküm Tekniğinde Sıvı Akımı, Akıcılık ve Akıcılığın  
Etkileyen Faktörler  
BİTİRME TEZİ DANIŞMANI : Yrd. Doç. Dr. Hüseyin SÖNMEZ