

TÜRKİYE BİLİMSEL VE TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU

MÜHENDİSLİK ARAŞTIRMA GRUBU

PROJE NO : MAG - 209

SIVI - KATI HÂL DÖNÜŞÜMLERİNDE
BİÇİM, BÜYÜKLÜK VE AŞIRI ISININ
KATILAŞMA SÜRESİNE ETKİSİ

Proje Yürütücüsü

Dr. Ergin TIRYAKIOĞLU

Yardımcı Araştırmacılar

Şefik ÖZŞEN

Mohammed A. JANJUA

Başlama Tarihi : 15. 2. 1970

Bitiş Tarihi : 15. 5. 1971

TÜRKİYE BİLİMSEL VE TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU

MÜHENDİSLİK ARAŞTIRMA GRUBU

PROJE NO : MAG - 209

SIVI - KATI HÂL DÖNÜŞÜMLERİNDE
BİÇİM, BÜYÜKLÜK VE AŞIRI ISININ
KATILAŞMA SÜRESİNE ETKİSİ

Proje Yürütücüsü
Dr. Ergin TİRYAKİOĞLU

Yardımcı Araştırmacılar
Şefik ÖZŞEN Mohammed A. JANJUA

Bu Proje T. B. T. A. K.'in Desteği ile O. D. T. Ü. Mühendislik Fakültesi
Metalürji Mühendisliği Bölümünde yapılmıştır.

Başlama Tarihi : 15.2.1970
Bitiş Tarihi : 15.5.1971

14508

Ö N S Ö Z

Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu'na, nalf destek sağlayarak bu araştırmaya yapabile olanağını sağladığı için, minnettarım.

Bu araştırma, CEMTO Bilim Sekreteri Dr. Smith, ve O.D.T.Ü. ilgililerinin yardımı ile kurulan O.D.T.Ü. Metalürji Mühendisliği Bölümü Döküm Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Adı geçenlere teşekkür borçluyum.

Kesin raporun ilk hazırlanışında eşim Gülây Tiryakioğlu'nun büyük emeği geçti. Kesin raporun son halini kusursuz tape eden Sn. Selda Tandoğan, teksir işlerini fedakârane yapan Sn. Durmuş Köhlenkaya ve Sn. Süheylâ Kuyucaklı'ya ve diğer NASAŞ mensuplarına, yardımlarını esirgeneyen O.D.T.Ü. Metalürji Mühendisliği Bölümü teknisyenlerine ve diğer öğrencilerine ayrı ayrı teşekkür ederim.

E. TIRYAKIOĞLU

A B S T R A K T

Kuna yapılan dökünlerde biçim ve büyüklüğün katılaşma süresine etkisi, sabit büyüklük değişken biçim ve sabit biçim değişken büyüklük koşulları için incelenmiş, ve 100°C aşırıısı ile dökülen antiruan için, katılaşma süresi "t" :

$$t = 0,964 \frac{H^{1,476}}{A^{1,165}}$$

empirik denklemlerle ifade edilebilmiştir. Burada H dökülen parçanın hacmini, A ise yüzey alanını göstermektedir.

Chvorinov'un genel olarak :

$$t = \text{Konstant} (H/A)^2$$

şeklinde bilinen denkleminin, yalnızca aynı biçimdeki parçalar için geçerli olduğu isbatlanmıştır.

Yolluklu dökülen parçalarda, aşırıısının parça katılaşma süresine etkisi de incelenmiş ve daha önce önerilen Chvorinov ve yolluksuz dökünler için elde edilmiş Tiryakioğlu-Kondic denklemlerinin bu koşullarda da geçerli oldukları tesbit edilmiştir.

A B S T R A C T

The effect of shape and size on the solidification times of sand castings has been investigated for constant size, variable shape and constant shape, variable size conditions. The solidification time "t", can be expressed for antimony cast with a superheat of 100°C, in terms of an empirical equation such as :

$$t = 0.964 \frac{V^{1.476}}{A^{1.165}}$$

where V denotes the volume of the casting and A its surface area.

Chvorinov's solidification equation, which can be generally written as :

$$t = \text{Constant} \cdot (V/A)^2$$

has been shown to be valid only for castings of same shape.

The effect of superheat on casting solidification times has also been investigated, and Chvorinov's equation for superheat, and Tiryakioğlu-Kondic equation obtained for castings poured without gates have been shown to be both accurate in defining the solidification times of castings cast with gating systems.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ	ii
ABSTRAKT	iii
ABSTRACT	iv
İÇİNDEKİLER	v
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	viii
SİMGELER	x
KISIM 1 - GİRİŞ	1
KISIM 2 - LİTERATÜR ÖZETİ	3
2.1 Heuvers Küreleri	3
2.2 Schwartz'ın külçe kalıbında Katılma için Analitik Çözümü	3
2.3 Katılma Konstantı Değerinin Grafiksel Saptanması	8
2.4 Chvorinov'un Schwartz Çözümünü Kıvılcıklara Uygulanması	10
2.5 "n" katılma konstantı değerinin saptanması	12
2.6 Aşırıısı ve Katılma Arasının Etkileri	14
2.7 Halbart'ın Çözümü	14
2.8 Nemur'un Düzeltme Katsayısı	17
2.9 Biçim ve Büyüklük Etkisi üzerine Deneysel Çalışmalar	18
2.10 Aşırıısı ile ilgili Deneysel Çalışmalar	19
2.11 Sonuç	21
KISIM 3 - METOD VE MATERYAL	23
3.1 Giriş	23
3.2 Araştırmanın Kapsamı	23
3.3 Ana Yaklaşım	25
3.4 Yolluk Sistemi	26
3.5 Metal Seçimi	32
3.6 Deneysel Yol	34

	<u>Sayfa</u>	
3.6.1	Modeller	34
3.6.2	Kalıp Kurunun Hazırlanması	34
3.6.3	Kalıplama	34
3.6.4	Ternokupl Dizaynı	35
3.6.5	Sıcaklık ve Katılma Süreleri Ölçmeleri	35
3.6.6	Metalin Eritilmesi ve Dökülmesi	36
KISIM 4	DENEY SONUÇLARI	
4.1	Biçim ve Büyüklüğün Katılma Süresine Etkisi Deneyleri	
4.2	Aşırıısının Katılma Süresine Etkisi Deneyleri	
KISIM 5	TARTIŞMA	
5.1	Giriş	51
5.2	Aynı Biçimdeki Dökme Parçaların Katılması	51
5.2.1	Büyüklüğün Katılma Süresine Etkisi	51
5.2.2	Yüzey Alanının Katılma Süresine Etkisi	
5.2.3	Chvorinov parametresinin Katılma Süresine Etkisi	55
5.2.4	Sonuç	55
5.3	Değişken Biçimlerdeki Dökme Parçaların Katılması	55
5.3.1	Sabit Büyüklük Değişken Biçimlerdeki Dökme Parçalarda Chvorinov Parametresi- Katılma Süresi İlişkisi	55
5.3.2	Sabit Büyüklük için Yüzey Alanı- Katılma Süresi Bağıntısı	58
5.3.3	Biçim ve Büyüklük Etkilerini içeren Ampirik Katılma Denklemi	58
5.3.4	Ampirik Katılma Denkleminin Chvorinov Denk- leniyle Karşılaştırılması	60

	<u>Sayfa</u>	
3.6.1	Modeller	34
3.6.2	Kalıp Kurumunun Hazırlanması	34
3.6.3	Kalıplama	34
3.6.4	Ternokupl Dizaynı	35
3.6.5	Sıcaklık ve Katılma Süreleri Ölçmeleri	35
3.6.6	Metalin Eritilmesi ve Dökülmesi	36
KISIM 4	DENEY SONUÇLARI	
4.1	Biçim ve Büyüklüğün Katılma Süresine Etkisi Deneyleri	
4.2	Aşırıısının Katılma Süresine Etkisi Deneyleri	
KISIM 5	TARTIŞMA	
5.1	Giriş	51
5.2	Aynı Biçimdeki Dökme Parçaların Katılması	51
5.2.1	Büyüklüğün Katılma Süresine Etkisi	51
5.2.2	Yüzey Alanının Katılma Süresine Etkisi	
5.2.3	Chvorinov parametresinin Katılma Süresine Etkisi	55
5.2.4	Sonuç	55
5.3	Değişken Biçimlerdeki Dökme Parçaların Katılması	55
5.3.1	Sabit Büyüklük Değişken Biçimlerdeki Dökme Parçalarda Chvorinov Parametresi- Katılma Süresi İlişkisi	55
5.3.2	Sabit Büyüklük için Yüzey Alanı- Katılma Süresi Bağlantısı	58
5.3.3	Biçim ve Büyüklük Etkilerini içeren Ampirik Katılma Denklemi	58
5.3.4	Ampirik Katılma Denkleminin Chvorinov Denk- leniyle Karşılaştırılması	60

	<u>Sayfa</u>
5.3.5 Sonuç	60
5.4 Değişken Aşırılığı ile Dökülen Yolluklu Dökme Parçaların Katılaşması	61
KISIM 6 - ÖZET	62
BİBLİYOGRAFYA	64

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1 - Heuvers Kürelerinin Ayna Küre Büyüklüğü veren Değişik Biçimlere Uygulanması	4
2 - Katılma Koşulları (Schwartz)	6
3 - Schwartz Katılma Denkleminin Grafiksel Çözümü	9
4 - Chvorinov Katılma Süresi Deneyleri	13
5 - Chvorinov'un Aşırıısı Deney Sonuçları	20
6 - Al-Si Ötektiği Çapı Yüksekliğine Eşit Silindirlerin Katılma Sürelerine Aşırıısının Etkisi	20
7 - Cu-Al Ötektiği 4 inç Kürelerin Katılma Sürelerine Aşırıısının Etkisi	22
8 - Chvorinov ve Tiryakioğlu Aşırıısı Denklemlerinin Deney Sonuçlarına Uygulanması	22
9 - D-takoz Biçim ve Boyutları	28
10 - T-takoz Biçim ve Boyutları	29
11 - Artı-takoz Biçim ve Boyutları	30
12 - T-T Plâka Biçim ve Boyutları	31
13 - Yolluk Sistemi Dizaynı	33
14 - Sabit Büyüklükteki Deney Parçalarının Katılma Sürelerinin Yüzey Alanı ile Değişmesi	40
15 - Sabit Büyüklük için Elde Edilen " c_1 " Değerlerinin Hacmi ile Değişmesi	42
16 - Antinüandan Değişik Aşırııisularla Dökülen Silindir ve Kare Plâka Deney Parçalarının Katılma Süreleri	48
17 - Al-Si Ötektik Alaşımından Değişik Aşırıı- isularla Dökülen Silindir ve Kare Plâka Deney Parçalarının Katılma Süreleri	49
18 - Antinüandan Değişik Aşırııisularla Dökülen Silindir ve Kare Plâka Deney Parçalarının İzafi Katılma Süreleri	50

Şekil 19 - Al-Si ötektik alaşımının değişik aşırılıklarla dökülen silindir ve kare plâka deney parçalarının izafi katılma süreleri (Chvorinov yaklaşımı)	51
20 - Aynı biçindeki Dökme Parçaların Katılma Sürelerinin Büyüklük ile Değişmesi	53
21 - Aynı biçindeki dökme parçaların katılma sürelerinin yüzey alanı ile değişmesi	54
22 - Aynı biçindeki deney parçalarının katılma süreleri ile Chvorinov Parametresi arasındaki bağıntı	56
23 - Aynı büyüklükte ve değişik biçimlerdeki deney parçalarında Chvorinov Parametresi ve Katılma süresi ilişkisi	57
24 - Deney sonuçlarının $H^{1.476}/A^{1.165}$ parametresine göre takdimi	59

SİMGELER

$$a = \frac{K}{c \cdot \rho} : \text{sıcaklık yayınının katsayısı, } L^2 \cdot t^{-1}$$

$$b = (K \cdot c \cdot \rho)^{1/2} : \text{ısı yayınının katsayısı, } Q \cdot L^{-2} \cdot t^{-1/2} \cdot \theta^{-1}$$

$$c : \text{özgül ısı, } Q \cdot M^{-1} \cdot \theta^{-1}$$

n : katalaşma konstantı? Bu araştırmanın sonuçlarında ayrı bir konstant.

$$q = \frac{dQ}{dt} : \text{ısı iletim hızı, } Q \cdot t^{-1}$$

r : kalıbın küresel dökme parça merkezinden uzaklığı (Halbart), L

t : süre, t

w ve n : konstantlar (Nasur) . n ayrıca bu çalışmada bir konstant.

A : yüzey alanı, L^2

C, D, E : konstantlar (Schwartz)

H : hacim, L^3

K : ısı iletimi katsayısı, $Q \cdot L^{-1} \cdot t^{-1} \cdot \theta^{-1}$

L : hâl dönüşüm ısısı, Q

M = $1/n^2$: konstant (Chvorinov)

R : yarıçap, L

U : aşırısı = dökme sıcaklığı - likidus sıcaklığı, θ

X : katalaşma tabakanın metal/kalıp arayüzeyinden itibaren kalınlığı, L

Z : Chvorinov parametresi veya katalaşma modülü = H/A , L

ϵ : biçim düzeltme katsayısı, boyutsuz

ρ : yoğunluk, $M \cdot L^{-3}$

θ : sıcaklık, θ

İndisler

e : eşdeğer

u : aşırısı

i : metal/kalıp arayüzeyi

d : kırı (donmuş kısım)

k : kalıp

n : metal

o : başlangıç durumu, $t = 0$ durumu

s : sıvı

SİMGELER

$a = \frac{K}{c \cdot \rho}$: sıcaklık yayınının katsayısı, $L^2 \cdot t^{-1}$

$b = (K \cdot c \cdot \rho)^{1/2}$: ısı yayınının katsayısı, $Q \cdot L^{-2} \cdot t^{-1/2} \cdot e^{-1}$

c : özgül ısı, $Q \cdot M^{-1} \cdot e^{-1}$

n : katalaşma konstantı? Bu araştırmanın sonuçlarında ayrı bir konstant.

$q = \frac{dQ}{dt}$: ısı iletim hızı, $Q \cdot t^{-1}$

r : kalıbın küresel dökme parça merkezinden uzaklığı (Halbart), L

t : süre, t

w ve n : konstantlar (Nasur) . n ayrıca bu çalışmada bir konstant.

A : yüzey alanı, L^2

C, D, E : konstantlar (Sohwartz)

H : hacim, L^3

K : ısı iletimi katsayısı, $Q \cdot L^{-1} \cdot t^{-1} \cdot e^{-1}$

L : hâl dönüşüm ısısı, Q

$M = 1/n^2$: konstant (Chvorinov)

R : yarıçap, L

U : aşırılığı = dökün sıcaklığı - likidus sıcaklığı, θ

X : katalaşmış tabakanın metal/kalıp arayüzeyinden itibaren kalınlığı, L

Z : Chvorinov parametresi veya katalaşma modülü = H/A , L

ϵ : biçim düzeltme katsayısı, boyutsuz

ρ : yoğunluk, $M \cdot L^{-3}$

θ : sıcaklık, θ

İndisler

e : eşdeğer

u : aşırılığı

i : metal/kalıp arayüzeyi

d : kati (dommuş kısım)

k : kalıp

n : metal

o : başlangıç durumu, $t = 0$ durumu

s : sıvı

KISIM: 1

GİRİŞ

Sıvı-kata faz dönüşümlerinin kinetiği, bir çok mühendislik dalında karşılaşılan önemli ve karmaşık bir sorundur. Jeolojide lavların donmaları, buz dağlarının erimeleri, inşaat ve makina mühendisliklerinde yerin ve suyun donması ve donun çözülmesi problemleri, kırıya ve metalürji mühendisliklerinde türlü faz dönüşümleri problemleri yanında döküm mühendisliğinde besleyici boyutlarının hesaplanması, kalıp doldurma sürelerinin hesaplanması, dökme parçaların içindeki gerilimlerin kontrolü, kalıp bozun sürelerinin saptanması ve dökme yapıların izahı gibi güncel uğraşlar, bu soruna neden öncelikle döküm mühendislerinin eğildiklerini açıklanmaktadır. Döküm mühendisi, sonsuz sayıda biçim ve büyüklüklere sahip dökme parçaların katalaşma kinetiğini izlemek ve katalaşma sürelerini saptamak için genel, basit ve duyarlı bir çözüm özlemi içindedir.

Faz dönüşümü ısısının, sıvı-kata arayüzeyinde yitirilmesi ve kazanılması ve iki fazın farklı fiziksel konstantlara sahip olması, faz dönüşümü arayüzeyinin ilerleme hızını veren analitik çözüme ulaşılmasını zorlaştırır. Ayrıca, problemin doğrusal olması her durum için özel bir çözüm bulunmasını gerektirir. Kesik çözümler yalnızca birkaç basit koşullar için elde edilebilmişlerdir; Yarı sonsuz ve sonsuz metal ve kalıp boyutları koşullarında elde edilebilen tek yönlü faz dönüşümü çözümleri ve sonsuz silindirler, kürelerin katalaşmasını tanımlayan çözümler gibi. Tabii ki bunlar döküm mühendisini tatmin etmekten uzaktır.

Döküm mühendisliğinde bu konuda ilk ve en önemli bilimsel katkı Chvorinov'dan gelmiştir (1939). Üzerindeki tartışmaların bir türlü sonuçlanmadığı Chvorinov yaklaşımı, tek yönlü katalaşma için elde edilen bir çözümün üç yönlü katalaşmaya genelleştirilmesi ve dökümün biçim ve büyüklüğünün dökme parçanın yüzey alanı ve hacmi ile tanımlanması diye özetlenebilir. Chvorinov'un katalaşma denklemleri en basit haliyle:

$$t = \text{konstant } (V/A)^2 \text{ şeklindedir.}$$

Burada t katalaşma süresini, V hacmi, A da ısı yitiren yüzey alanını ifade ederler.

Chvorinov denkleminin yalnızca aynı biçimdeki dökme parçalar için geçerli olduğu ve biçimin değişmesiyle duyarlılığını kaybettiği isbatlanmıştır. Buna rağmen, Chvorinov denkleminin yerine geçebilecek başka bir denklem henüz mevcut değildir.

Bu araştırma, pratikteki üç yönlü ısı iletimi hali için analitik yollardan elde edilmesi mümkün olmayan ve kuma dökülen dökme parçaların katılaşmasına tanımlayacak bir denklemin deneysel yollardan elde edilmesini amaçlanmaktadır. Döküncülükte parçanın dökme sıcaklığı da bir değişken olduğundan, aşırı ısının katılaşma süresine olan etkisi, biçim ve büyüklük etkenleri ile birlikte ele alınmaktadır.

Aşırı ısı, döküm sıcaklığı ile katılaşma sıcaklığı arasındaki fark olarak bilinir. Verilen bir dökme parçanın kalıp boşluğunu sıvı metal ile bütünüyle ve özürsüz olarak doldurabilmek için, doldurma işlemi sırasında yolluk düzeni ve parça yüzeylerinde yitirilecek ısı niceliğine denk, ya da daha fazla, ısının sıvı metale kazandırılması gerekir. Belirli kimyasal bileşimdeki bir alaşım için bu ancak aşırı ısının artırılması ile mümkündür. Bu yoldan kazanılacak ısı niceliği, metal birim ağırlığı için, (Ortalama özgül ısı x Aşırı ısı = c. U) kadardır. Makina yapımında kullanılan metal ve alaşımların kuma dökümünde kullanılan aşırı ısı değerleri, parçanın biçim ve büyüklüğüne, metal veya alaşımın fiziksel değişmezlerine bağlı olarak, genellikle 40 - 150°C arasındadır. Sıvı metal çekme katsayısı, yapı tane büyüklüğü ve çözünen gaz niceliği gibi kısıtlayıcı nedenlerden ötürü aşırı ısının sınırsız olarak artırılması düşünülemez.

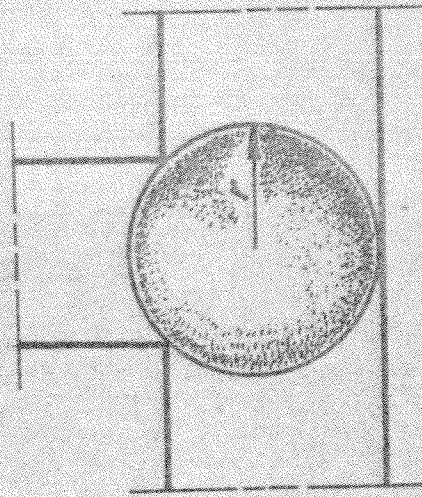
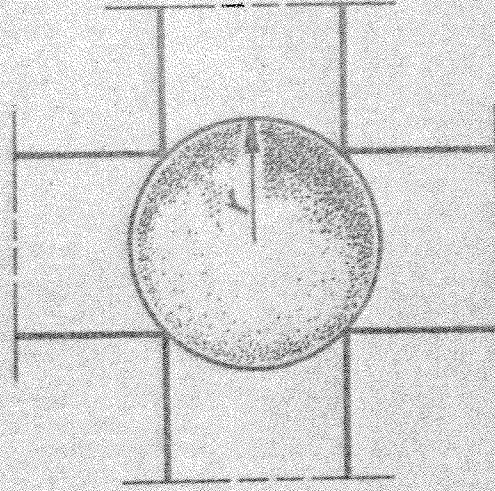
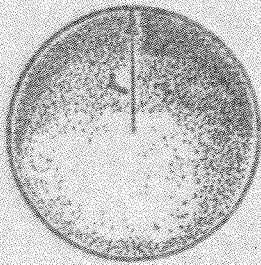
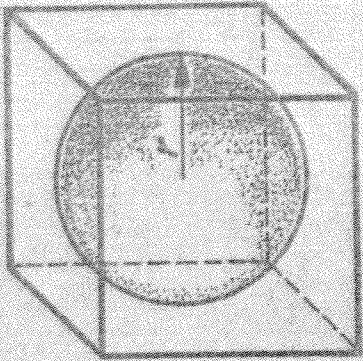
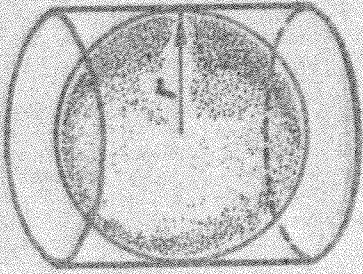
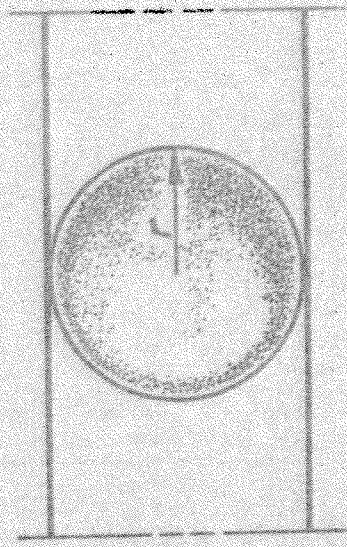
Bu çalışmada, aşırı ısının dökme parçaların katılaşma sürelerine etkisini tanımlayan bir bağıntı saptanmasına çalışılmış, yapılan duyarlı deneylerden elde edilen veriler eldeki diğer bağıntıların değerlendirilmesinde de kullanılmıştır.

2.1 Heuvers Küreleri

Heuvers(1), 1928'de dökme parçaların veya bölümlerinin katılaşma sürelerini karşılaştırma da parça veya parçanın bir bölümünün içerdiği en büyük küre yarıçapından yararlanmayı önermişti. Belirli bir biçim ve değişik büyüklükler için bu yaklaşım geçerli sayılabilirse de, bir biçimden ötekine geçilince önemli sapmalarla karşılaşılmaktadır. Örneğin, aynı Heuvers küre boyutlarındaki küre, silindir, küp ve plâkaların katılaşma süreleri birbirlerinden çok farklıdır. Sapma, kalıp girintilerine yar veren dökme parçalarda daha da büyük olabilir. (Şekil.1). Heuvers Kürelerinin (veya bir kesit düzleminde Heuvers çemberlerinin) gerçekte bu denli bağdaşmazlıkları nedeni ile döküm-cülükteki uygulamaları ancak yönel katılaşmayı temin amacına sınırlanagelmıştır.

2.2 Schwartz(2)'in Külçe Kalıbında Katılaşma için Analitik ÇözümüVarsayımlar:

- 1a Aynı sıcaklıklarda metal ve kalıp bir düzlem üzerinden temas halindedirler.
- 1b Temas mükemmeldir ve bunun sonucu düzlemin iki yüzü arasında bir sıcaklık farkı yoktur.
- 2a Metalin boyutu + X yönünde sonsuzdur.
- 2b Kalıbın boyutu -X yönünde gene sonsuzdur.
- 2c Diğer yönlerde metal ve kalıp sınırsızdırlar.
- 3a $t=0$ anında metal külesi erime noktasından daha yüksek bir θ_{so} sıcaklığındadır.
- 3b $t=0$ anında kalıp külesi yeknesak bir θ_{ko} sıcaklığındadır.
- 3c Katılaşma ısısı dışında, herhangi bir reaksiyon sonucu oluşan bir ısı yoktur.
- 3d Katılaşma noktasının altındaki sıcaklıklarda katının özgül ısısı ihmal edilebilir.



Şekil 1 - Heuvers körsterlain ayar küre büyüklüğü veren değışik biçim-
lere uygulanması.

4 Konveksiyon akınları sonucu sıcaklık dağılımında bir girişim meydana gelmez.

5 Büyük sıcaklık değişimlerinde bile fiziksel konstantların değerleri aynı kalır.

Teori:

Sıcaklık dağılımı denklemlerini Schwartz şöyle takdim eder:

Kalıp:

$$\theta_k = \theta_i \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{2\sqrt{a_k \cdot t}} \right) \quad (1)$$

Katı:

$$\theta_d = \theta_i + D \cdot \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{a_d \cdot t}} \right) \quad (2)$$

Sıvı:

$$\theta_s = C + E \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{a_s \cdot t}} \right) \quad (3)$$

Burada θ_i , kalıp/metal arayüzeyi sıcaklığına bağlı bir konstant, C, D ve E ise diğer konstantlardır. (Şekil.2)

θ_i değeri, metal/kalıp arayüzeyi sıcaklığı konstant olarak alınır ve bu arayüzeyin iki yanındaki ısı akımları birbirlerine eşitlenirse, kolaylıkla saptanabilir:

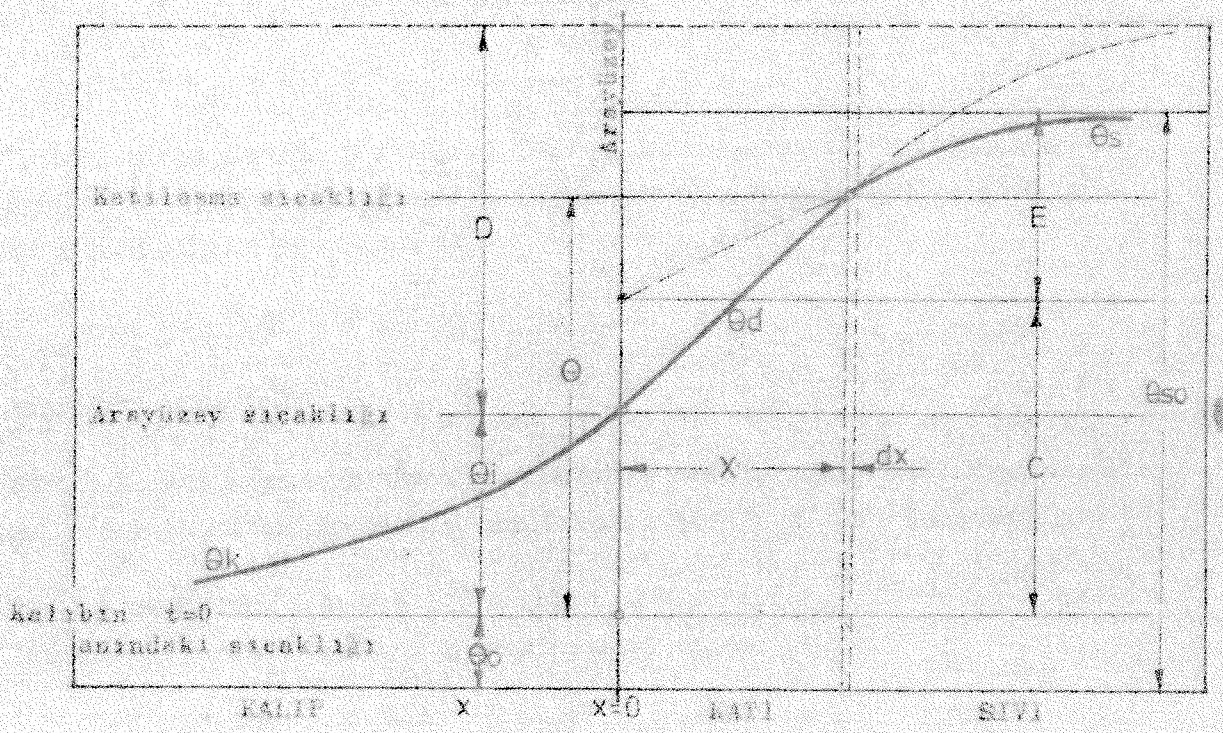
$$-K_k \frac{\partial \theta_k}{\partial x} (x=0) = -K_d \frac{\partial \theta_d}{\partial x} (x=0) \quad (4)$$

1 ve 2 denklemlerinin türevlerinden;

$$\frac{\partial \theta_k}{\partial x} = \frac{\theta_i}{(\pi a_k \cdot t)^{1/2}} ; \quad \frac{\partial \theta_d}{\partial x} = \frac{D}{(\pi a_d \cdot t)^{1/2}} \quad (5)$$

bulunur. Bu değerler (4) denklemindeki yerlerine konulunca:

$$K_k \frac{\theta_i}{(\pi a_k \cdot t)^{1/2}} = K_d \frac{D}{(\pi a_d \cdot t)^{1/2}} \quad \text{veya,}$$
$$\theta_i = \frac{b_d}{b_k} \cdot D \quad \text{bulunur.} \quad (6)$$



Səkil 2 - Kəşləmə prosesləri (Schwartz)

Öte yandan, sıvı/katı arayüzeyi sıcaklığı θ şöyle ifade edilebilir:

$$\theta = \theta_i + D \operatorname{erf} \left(\frac{X}{2\sqrt{a_d \cdot t}} \right) = C + E \operatorname{erf} \left(\frac{X}{2\sqrt{a_s \cdot t}} \right) \quad (7)$$

Ayrıca, $C + E = \theta_{so}$ = döküm sıcaklığı şeklinde yazılabilir, veya:

$$C = \theta_{so} - E \quad (8)$$

7 denkleminin sürenin her değeri için sağlanabilmesi gerektiğinden X değerinin $t^{1/2}$ ile orantılı olması zorunu vardır. Neumann (3)'ün çözümünde de olduğu gibi:

$$X = n \cdot t^{1/2} \quad (9)$$

bağıntısı bulunur.

Burada X , katılaşıp tabakanın metal/kalıp arayüzeyinden itibaren kalınlığı, n ise başka bir denkleme tanımlanacak olan katılma konstantıdır.

(9) denklemindeki X değeri (7) denkleminde aktarılırsa, (6) ve (8) denklemlerinin de yardımı ile D ve E konstantları saptanabilir:

$$\theta = D \frac{b_d}{b_k} + \operatorname{erf} \left(\frac{n}{2\sqrt{a_d}} \right) = \theta_{so} + E \operatorname{erf} \left(\frac{n}{2\sqrt{a_s}} \right)$$

Buradan,

$$D = \frac{\theta}{\frac{b_d}{b_k} + \operatorname{erf} \left(\frac{n}{2\sqrt{a_d}} \right)} \quad (10)$$

ve $U = \theta_{so} - \theta =$ aşırılığı, olarak alınarak

$$E = \frac{U}{\operatorname{erfc} \left(\frac{n}{2\sqrt{a_s}} \right)} \quad (11)$$

Katılma konstantı değerini saptayabilmek için sıvı/katı arayüzeyinde dt süresinde katılan dx kalınlığındaki bir şerit gözönüne alınabilir. Burada, katılan şeride sıvıdan iletilen ısı ile katılma sonucu netice koyeverilen katılma ısı toplamı, katılan metal tabakasının kalıba yitirilen ısıya denktir, yani:

$$-K_s \frac{\partial \theta_s}{\partial x} - Q_L \frac{\partial x}{\partial t} = -K_d \frac{\partial \theta_d}{\partial x}$$

(2), (3) ve (9) denklemleri türevlerinin de yardımı ile:

$$K_d \cdot D \frac{e^{-\frac{n^2}{4a_d t}}}{(\pi a_d t)^{1/2}} - K_s \cdot E \frac{e^{-\frac{n^2}{4a_s t}}}{(\pi a_s t)^{1/2}} = Q \cdot e_s \cdot \frac{n}{2t^{1/2}}$$

D ve E konstantları değerlerinin de yerlerine konulması ile, n değerini veren denklem elde edilebilir:

$$\frac{\frac{b_d}{b_s} \cdot \frac{e^{-\frac{n^2}{4a_d t}}}{\frac{b_d}{b_k} + \operatorname{erf}\left(\frac{n}{2\sqrt{a_d t}}\right)} + \frac{e^{-\frac{n^2}{4a_s t}}}{\operatorname{erfc}\left(\frac{n}{2\sqrt{a_s t}}\right)} \cdot U = \sqrt{\frac{Q_L}{C_s}} \cdot \frac{n}{2\sqrt{a_s t}} \quad \dots\dots(12)$$

veya

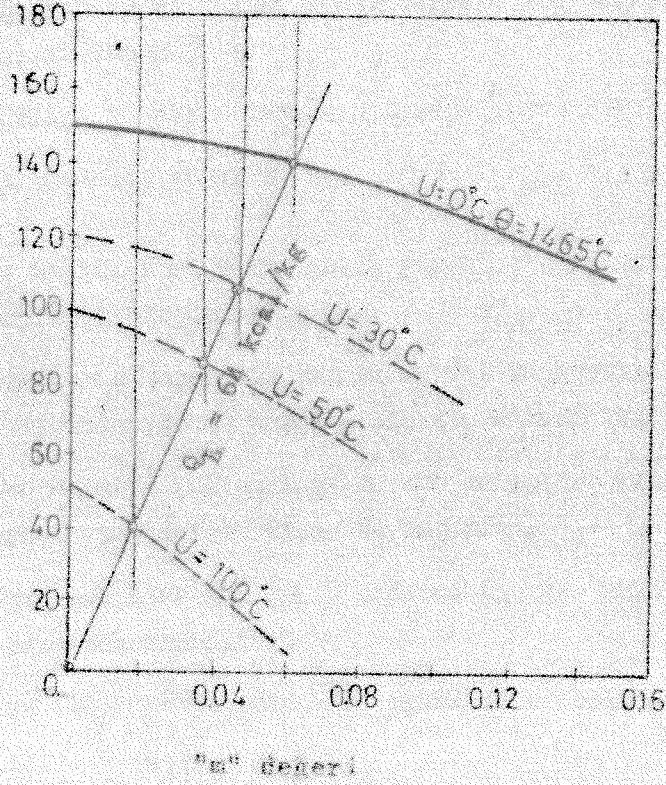
$$\frac{\theta \cdot b_d \cdot e^{-\frac{n^2}{4a_d t}}}{\frac{b_d}{b_k} + \operatorname{erf}\left(\frac{n}{2\sqrt{a_d t}}\right)} - \frac{U \cdot b_s \cdot e^{-\frac{n^2}{4a_s t}}}{\operatorname{erfc}\left(\frac{n}{2\sqrt{a_s t}}\right)} = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \cdot Q_L \cdot e_s \cdot n \quad (13)$$

2.3 Katılma Konstantı değerinin grafiksel saptanması:

Schwartz'ın katılma konstantı değerini tanımlayan denkleminin(13) sol yan birinci terini katılmış metalce kalıba yitirilen ısıyı, ikincisi sıvı metalce yitirilen ısıyı, sağ yandaki terin de katılma sonucu koyuverilen ısıyı tanımlanmaktadır. Aşırıısının sıfır olduğu (U=0) kabul edildiğinde sol ikinci terin ortadan kalkmaktadır. Bu durum için sol birinci terin, n değerinin bir fonksiyonu olarak eğri şeklinde çizilebilir (Şekil.3. U=0 eğrisi). Aşırıısının varlığında, sol ikinci terin değerinin U=0 eğrisinden çıkarılması gerektiğinden, aşırıısının artması ile birlikte bu eğri grafikte aşağı doğru kayacaktır. Değişik aşırıısı değerleri için adı geçen eğrinin konumları Şekil 3'de gösterilmiştir.

(13) denkleminin sağ yan terini değerleri katılma konstantının fonksiyonu olarak çizildiğinde doğrusal bir bağlantı elde edilmektedir. Bu doğru ile dökünün yapıldığı aşırıısıya tekabül eden eğrinin kesin noktası aranan katılma konstantı değerini verecektir.

$m = 0,017$
 $m = 0,036$
 $m = 0,044$
 $m = 0,078$



Şekil 3 - Schwarz'ın katılaşma denkleminin grafiksel çözümü. Değerler çelik döküm içindir.

2.4 Chvorinov'un Schwartz çözümünü kum kalıplara uygulaması.

Chvorinov(4,5,6,7), Schwartz'ın külçe ve külçe kalıpları için analitik çözümü ile pratikteki koşullar arasında tutarsızlıklara yol açan nedenleri şöyle sıralanmaktadır:

- . D ökme parça biçiminin ideal yarı sonsuz koşullardan farklı olması
- . Kum kalıp veya külçe kalıbının yarı sonsuz olmaması
- . Külçe ve külçe kalıbı arasında süre ile değişebilen açıklıkta bir aralık oluşumu
- . Aşırıısı ve dökme parçanın belirli büyüklüğü
- . Sıvı metalde konveksiyon.

Külçe kalıbı yerine kum kalıp gözönüne alınırsa, analitik çözüm savunulabilecek bir duruma geçer:

- . Katılaşmış tabakadan yitirilen ısı bu koşullar altında ihmal edilebildiğinden dökme parça biçiminin etkisi ikinci derecededir.
- . Dökümcülükte kullanılan kum kalıplar, genellikle katılaşmaya bir girişim yapmayacak kadar büyüktürler.
- . Dökme parça ve kum kalıp arasındaki(eğer varsa) aralık ihmal edilebilecek kadar küçüktür.

(6) ve (10) denklemleri, θ_i değeri için şöyle yazılabilir:

$$\theta_i = \frac{b_d}{b_k} \cdot \frac{\theta}{-\frac{b_d}{b_k} + \operatorname{erf}\left(\frac{m}{2\sqrt{a_d}}\right)}, \text{ veya}$$

$$\theta = \frac{\theta}{1 + \frac{b_k}{b_d} \operatorname{erf}\left(\frac{m}{2\sqrt{a_d}}\right)} \quad (14)$$

Kum kalıp ve çelik için $\frac{b_k}{b_d} \approx 0.1$ ve $\operatorname{erf}(x)$ birden çok küçük olduğu için, θ_i değeri θ değerinden çok farklı olamaz. Chvorinov θ_i 'nin θ 'nin ancak %2 kadar altında olduğunu ileri sürmektedir. Buna göre katılaşmış tabakadan yitirilen ısı ihmal edilebilir. Sonuç olarak, kum kalıplara yapılan dökümlerde kalıp/metal arayüzeyi sıcaklığının dökümün asıl biçimine bağlı olmayacağı ileri sürülebilir. Bu koşullarda, ihmal edi-

lebilir sapmalarla (9) denkleminin:

$$X = n t^{1/2} \quad (9)$$

gene tutarlı olması beklenebilir.

Biçin sonsuz bir plâkadan sapınca, yukarıdaki denklemin geçerli olabilmesi amacı ile Chvorinov, basit biçimlerdeki dökme parçalar için, x değerinin yerine geçecek bir " düzlensel eşdeğer, X_e " tanımını yapmaktadır. Biçimli bir dökme parçanın kalıp yüzeyleri üzerinde oluşan katı tabakanın kalınlığı X olarak tanımlanırsa, bu parçanın kine eş yüzey alanındaki sonsuz bir plâkada oluşacak katı tabaka kalınlığı X_e olarak gösterilebilmektedir. Örneğin, R yarıçapındaki sonsuz bir silindirde birin yüzey alanı üzerinde katılan tabakanın hacmini aynı süre içinde sonsuz bir plâkada katılan tabaka hacmi ile eşitleyerek, sonsuz silindir düzlensel eşdeğeri:

$$X_e = \frac{\pi R^2 - \pi (R-X)^2}{2\pi R} = X - \frac{X^2}{2R} \quad (15)$$

olarak saptanabilir.

Biçimli parçalar için (9) denklemini bu durumda şöyle yazılabilecektir:

$$X_e = n t^{1/2} \quad (16)$$

Biçimli bir dökme parçada katılmanın sona erdiği an için düzlensel eşdeğer:

$$X_e = \frac{\text{Parça hacmi}}{\text{Parça yüzey alanı}} = \frac{H}{A} \quad (17)$$

Şeklinde de ifade edilebilir. Bu değer (9) denkleminine taşındığında;

$$\frac{H}{A} = n t^{1/2}, \text{ veya} \quad (18)$$
$$t = \frac{1}{n^2} \cdot \frac{H^2}{A^2} \text{ ve } \frac{1}{n^2} = M \text{ alınırsa,}$$

$$t = M \left(\frac{H}{A}\right)^2 \text{ denkleminine varılır.} \quad (19)$$

Bu denklem "Chvorinov denklemi" olarak tanınır. H/A terimine "katılma modülü veya "Chvorinov parametresi" denir ve "Z" olarak gösterilir.

Chvorinov'un çelik dökümler için deneysel bulguları Şekil 4'de verilmiştir. Görülebileceği gibi Chvorinov, Briggs'in de deney sonuçlarını kullandığı bu gösterilişte denkleminin gerçeğe uygun olduğunu ileri sürmektedir. Ancak, aynı dökme parçanın muhtelif bölümlerinden alınan ölçmelerin ayrı deney sonuçları iniş gibi gösterilmesi, ayrıca Briggs'in bütünü ile aynı olmayan koşullar altında elde ettiği deney sonuçlarının aynen alınması ve en önemlisi kullanılan gayet kaba termokupl ve mahfazalarının ölçmeler üzerine yapılabileceği olumsuz etkilerin göz önüne alınması Chvorinov'un sonuçları üzerinde şüpheler doğurmaktadır.

2.5 "n" katılaşma konstantı yaklaşık değerinin saptanması

"n" değerini tanımlayan (13) denkleminin karmaşıklığı yüzünden n ile metal ve kalıp konstantları arasındaki ilişki kolayca görülenemektedir. Katılaşma konstantını veren daha basit bir ifade elde edebilmek amacı ile Chvorinov "n" yi dökme parçanın birim yüzey alanı başına birim karekök süre içinde katılaşan metal hacmi diye de tanımlar.

Bu demek olur ki:

$$n = \frac{\text{Birim yüzey alanı başına birim karekök süre içinde metalce yitirilen ısı miktarı}}{\text{Metal katılaşma ısısı} \times \text{Metal yoğunluğu}}$$

veya;

$$n = \frac{c_k \int_0^{\infty} \theta_k dx}{[L + c_n(\theta - \theta_1)] \rho_n} \quad (20)$$

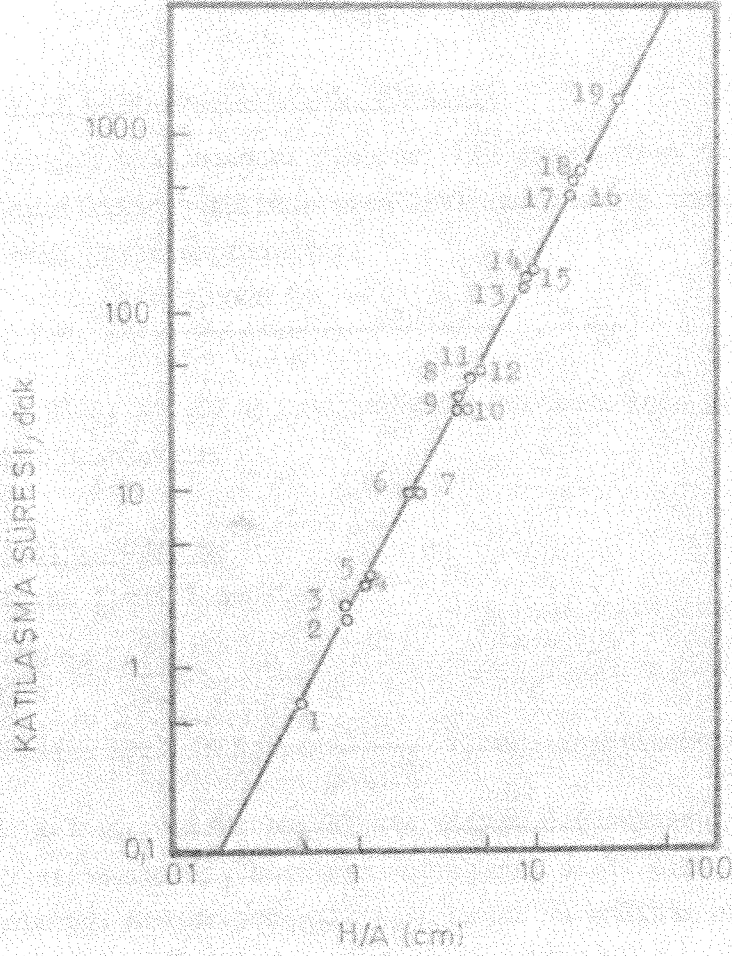
Burada;

$$\int_0^{\infty} \theta_k dx = \int_0^{\infty} \theta_1 \operatorname{erfc} \frac{x}{2\sqrt{a_k}} \cdot dx = \theta_1 \sqrt{a_k} \int_0^{\infty} \operatorname{erfc} \frac{x}{2} dx = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \theta_1 \sqrt{a_k}$$

Katılaşma konstantının değeri:

$$n = \frac{1.128 b_k \cdot \theta_1}{[L + c_n(\theta - \theta_1)] \rho_n} = \frac{1.128 b_k \cdot \theta}{[L + c_n(\theta - \theta_1)] \rho_n} \quad (21)$$

olarak bulunur.



Şekil 4 - Chvorinov Katılama Süresi Deneyleri

- | | |
|---|-------------------------------|
| 1. Plâka 10x400x400 mm | 11. Silindir, 200 çapx800 mm. |
| 2. 30x400x400 mm plâka için
20x150x150 mm kaburga,
Yolluktan 50 mm mesafede | 12. Plâka, 100x800x800 mm |
| 3. Yolluktan 100 mm mesafede | 13. Silindir 400 çapx800 mm |
| 4. 50 mm çubuk, merkez. | 14. Plâka, 200x1500x1800 mm |
| 5. Plâka 30x400x400 | 15. Plâka, 200x1800x2400 mm |
| 6. Plâka, 50x400x400 | 16. Plâka, 350x1800x2400 mm |
| 7. Küre, 153 mm çap (Briggs) | 17. Çember biçiminde diskün |
| 8. Plâka, 100x400x400 mm | 18. Bunun için besleyici |
| 9. Silindir, 150 çapx800 mm | 19. Temel plâkası (sâmel) |
| 10. Küre 229 çap (Briggs) | |

2.6. Aşırıısı ve Katılaşma Arasınının Etkileri

Chvorinov (7) daha sonraki deneysel bir araştırması ile aşırıısı ve alaşımların likidus-solidus sıcaklıkları arasınının katılaşma süresine etkisini şöyle saptamıştır.

$$t = \frac{[1 + 0,0028 (\theta_u - \theta_{sol})]^2}{n^2} \cdot \left(\frac{H}{A}\right)^2 \quad (22)$$

Burada 0,0028, % 0,02 - 1,40 karbonlu çelikler için geçerli bir deneysel konstanttır.

2.7 Halbart (8)'in Çözümü

Doğrusal ısı iletimi denklemi:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} \quad (23)$$

çözümlerinden birinin A erf $\frac{x}{2\sqrt{a \cdot t}}$ olduğu ispatlanabilir (9).

Metal ve kalıba sonsuz büyüklükte olduğu düşünülürse, metal/kalıp arayüzey sıcaklığının, katılaşma süresince sabit olduğu gösterilebilir. Düzlemsel arayüzey koşulu için metal ve kalıpta sıcaklık dağılımına tanımlayan denklemler şöyle yazılabilir.

Metal:

$$\theta_n = \theta_i + (\theta_u - \theta_i) \operatorname{erf} \frac{x_n}{2\sqrt{a_n \cdot t}} \quad (24)$$

Kalıp:

$$\theta_k = \theta_i - (\theta_i - \theta_o) \operatorname{erf} \frac{x_k}{2\sqrt{a_k \cdot t}} \quad (25)$$

Metal/kalıp ara yüzeyindeki sıcaklık gradienti (25) denkleminde saptanabilir:

$$\frac{d \theta_k}{d x_k} = \frac{d}{d x} \left[\theta_i - (\theta_i - \theta_o) \operatorname{erf} \frac{x_k}{2\sqrt{a_k \cdot t}} \right] \quad (26)$$

Ayrıca:

$$\operatorname{erf} U = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \left[U - \frac{U^3}{3 \cdot 1} + \frac{U^5}{5 \cdot 2} - \frac{U^7}{7 \cdot 3} + \dots \right]$$

ve metal/kalıp arayüzeyinde $x_k = 0$ olduğundan:

$$\frac{d \theta_k}{d x_k} = - \frac{(\theta_i - \theta_o)}{(\pi \cdot a_k \cdot t)^{1/2}} \dots \quad (27)$$

Arayüzeyde ısı iletim hızı q , ve kalıp ısı iletim katsayısı K_k ise;

$$q = -K_k \frac{d\theta_k}{dx_k}$$

$$q = K_k \frac{(\theta_i - \theta_o)}{\sqrt{\pi} a_k t} = \frac{b_k (\theta_i - \theta_o)}{\sqrt{\pi} t} \quad (28)$$

Metal/kalıp toplam arayüzey alanı A ise, t süresinde arayüzeyden iletilen toplam ısı miktarı:

$$Q = A \int_0^t \frac{dq}{dt} dt = -A \frac{2b_k (\theta_i - \theta_o) \sqrt{t}}{\sqrt{\pi}} \quad (29)$$

olarak bulunur.

Bu, H hacimindeki bir dökme parçanın bütünü ile katılaştırılması için yitirilmesi gereken ısı miktarı;

$$H \cdot c_n [L + c_n (\theta_u - \theta_i)] \quad (30)$$

na eşittir. Buradan;

$$-\frac{A \cdot 2}{\sqrt{\pi}} b_k (\theta_i - \theta_o) \sqrt{t} = H \cdot c_n [L + c_n (\theta_u - \theta_i)]$$

ve

$$\sqrt{t} = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \frac{H \cdot c_n [L + c_n (\theta_u - \theta_i)]}{b_k (\theta_i - \theta_o)} \cdot \frac{H}{A} \quad (31)$$

$$t = \frac{\pi}{4} \frac{H^2 c_n^2 [L + c_n (\theta_u - \theta_i)]^2}{b_k^2 \cdot (\theta_i - \theta_o)^2} \cdot \left(\frac{H}{A}\right)^2 \quad (32)$$

Ohvorinov denklemi biçiminde ve yarı sonsuz koşullar için elde edilen yukarıdaki denklen, Halbart'ca sonsuz plâkalar için geçerli sayılmaktadır.

Küre biçimindeki bir döküm için ise, ısı iletim denklemini küresel koordinatlarla şöyle yazılabilir:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = a \cdot \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial \theta}{\partial r} \right) \quad (33)$$

$U = \theta r$ substitüsyonu ile yukarıdaki denklen:

$$\frac{\partial U}{\partial t} = a \cdot \frac{\partial^2 U}{\partial r^2} \quad (34)$$

biçimine indirgenebilir. Burada r kalıbın küresel dökme parça merkezinden uzaklığıdır. Denklemin çözülebilmesi için:

$$W = \frac{r - R}{2 \sqrt{a_k \cdot t}} \quad \text{olarak tanımlanabilir. Burada R kürenin yarıçapı-}$$

dır. Halbatt katılma süresince önceden olduğu gibi, metal/kalıp arayüzeyi sıcaklığını $\theta_i = \theta$ sabit olarak kabul eder. Küre yüzeyinde $r = R$, $W = 0$ ve $U = \theta_i R = \text{sabittir}$. Böylece çözüm yarı-sonsuz koşullarınınakinin aynası durumuna getirilmiştir.

$$U = R \cdot \theta_i \left(1 - \operatorname{erf} \frac{r - R}{2 \sqrt{a_k \cdot t}} \right) \quad (35)$$

$U = \theta_k \cdot r$ değeri yerine konursa:

$$\theta_k = \frac{R}{r} \theta_i \left(1 - \operatorname{erf} \frac{r - R}{2 \sqrt{a_k \cdot t}} \right) \quad (36)$$

bulunur. Kürenin t katılma süresi içinde yitirdiği ısı miktarı:

$$Q = - \int_0^t 4\pi R^2 \cdot K_k \cdot \left(\frac{d\theta}{dr} \right)_{r=R} \cdot dt \quad \text{dir. Fakat:}$$

$$- \left(\frac{d\theta}{dr} \right)_{r=R} = \theta_i \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{\sqrt{\pi a_k \cdot t}} \right) \quad (37)$$

ve:

$$Q = 4\pi R^2 \cdot K_k \cdot \theta_i \int_0^t \left[\frac{1}{R} + \frac{1}{\sqrt{\pi a_k \cdot t}} \right] dt \quad , \text{ ve:}$$

$$Q = 4\pi R^2 \cdot K_k \cdot \theta_i \left[\frac{t}{R} + \frac{2\sqrt{t}}{\sqrt{\pi a_k}} \right] \quad (38)$$

Bulunur. Öte yandan:

$$Q = \frac{4}{3} \pi R^3 \cdot \rho_n \left[L + c_n (\theta_u - \theta_i) \right] \quad (39)$$

olduğundan, yukarıdaki iki denklem eşitlenip, elde edilen ikinci dereceden denklem bir kürenin katılma süresi t için çözülürse:

$$t = \frac{9}{\pi a_k} \left[\sqrt{1 + \frac{\pi \cdot n \cdot L \cdot c_n (\theta_u - \theta_i)^2}{3 \epsilon_k \cdot c_k \cdot \theta}} - 1 \right]^2 \cdot \frac{H^2}{A^2} \dots (40)$$

bulunur.

Sonsuz plâka ve küre katılma sürelerini veren denklemler karşılaştırıldıklarında, her iki denklem konstantları arasında (küre için $C_{küre}^2$ ve sonsuz plâka için $C_{plâka}^2$) şöyle bir bağıntı bulunabilir:

$$C_{plâka} = C_{küre} + \frac{\sqrt{\pi a_k}}{b} \cdot C_{küre}^2 \quad (41)$$

Halbart $C_{küre}$ ve $C_{plâka}$ değerlerini demir ve bakır için sırası ile 5,3 , 5,9 ve 6,1 , 6,8 olarak hesaplamıştır. Sonuç olarak Halbart aynı metal için iki uç durum olan küre ve sonsuz plâka konstantları arasında en çok % 10 kadar bir fark olduğunu ileri sürer.

Ancak katılma süresinin $C_{küre}$ ve $C_{plâka}$ ile değil bunların kareleri ile orantılı olduğu düşünülürse, küre ile sonsuz plâkanın katılma süreleri arasında demir için % 23,8 ve bakır için de % 24,3 kadar bir fark olacaktır. Deneysel çalışmaların bu farkın çok daha fazla olduğunu isbatlanmalarına ileride değinilecektir.

2.8 Namur'un Düzeltme Katsayısı

Namur (10), Halbart yaklaşımını kabul eder, ayrıca dökmeye parçanın ısı yitirme bakımından etkin yüzey alanına A_0 olarak gösterir. Yalnız sonsuz plâka için $A = A_0$ 'dır, ve bütün diğer biçimler için sapma değeri:

$$\epsilon = \frac{A_0}{A} \dots (42)$$

gibi olacaktır. Namur düzeltme katsayısı değerinin konveks biçimler için en çok % 5 ve konkav biçimler için en çok % 13 olabileceğinin ileri sürer ve belli başlı basit biçimler veya parça kısımları için A_0 değerlerini bir cetvel halinde verir.

Buna göre Chvorinov denklemi:

$$t = \text{konstant} \cdot \left(\frac{H}{\epsilon \cdot A} \right)^2 = \left(\frac{H}{\Lambda_0} \right)^2 \dots\dots (43)$$

şekline bürünür.

Nanur'un çalışmalarının analitik yaklaşım açısından doruk noktası olduğu Koppe (11) tarafından kabul edilmiştir. Ancak, pratik açıdan analitik çalışmaların pek kullanışlı olmadığından başka ancak basit biçimlere bağlı kaldığı da not edilmelidir.

2.9 Biçim ve Büyüklük Etkisi Üzerinde Deneysel Çalışmalar

Chvorinov'un denklemini isbatlamak için öne sürdüğü deneysel bulgular şekil 4'de gösterilmiştir. Deney sonuçları arasında aynı dökme parçasının muhtelif kısımlarından alınan ölçümlerin, aynı katılma nodüllü parçalardan alınmış gibi farzedilip, deney noktası olarak itibar edildiği gözden kaçmamaktadır. Chvorinov burada, başka bir araştırmacıya, Briggs (12), ait olan ve farklı deney koşulları ile elde edilmiş sonuçları da grafiğine katmıştır.

Ancak, çelik dökme parçalar üzerinde yapılacak katılma çalışmalarını bir çok zorluklarla karşı karşıyadırlar. Çeliklerin dönüşüm ve aşırı ısısı değerleri çok düşüktür; bu nedenle dökme sıcaklığında hatâlar kolaylıkla oluşabilir, katılma sonu noktası katılma eğrisi üzerinde duyarlılıkta tesbit edilmez. Termokuplların gelişim ısısı tesirine dayanabilmesi için gayet iyi izole edilmeleri gerekir; bu da termokuplun duyarlılığını büyük ölçüde düşürür. Chvorinov'un denkleminin doğruluğunun saptanması duyarlı bir şekilde yapılmadıkça bunu kabul etmek zordur.

Nechendzi ve Girschowitch (13) bulguları Chvorinov'u desteklenmektedir. Aynı H/A değerine sahip küre, silindir ve plakalar alüminyum, dökme demir, çelik ve bronzdan dökülmüş, şu bulgular elde edilmiştir:

Alüminyum: 1,0_{plaka} : (0,75- 1,0) silindir : (0,75 - 1,0) küre

Dökme demir: (1,10-1,30) plâka: (0,9-1,15) silindir: (0,67-1,1) küre
Çelik: (0,93-1,0) plâka: (0,96-1,0) silindir: (1,0-1,2) küre
Bronz: 1,08 plâka: 0,93 silindir: 0,88 küre

Araştırmacılar aradaki farkların büyük ve tutarlı olmadığı kanısına varmışlar ve Chvorinov'ı teyit etmişlerdir.

Berry, Kondic ve Martin (14) çok yönlü bir araştırmaların da, Al-Si ötektik alaşım ve 4,2 karbon eşdeğerli bir dökme demirden plâka, silindir ve küreler üzerinde katılma süresi ölçmeleri yapılmıştır.

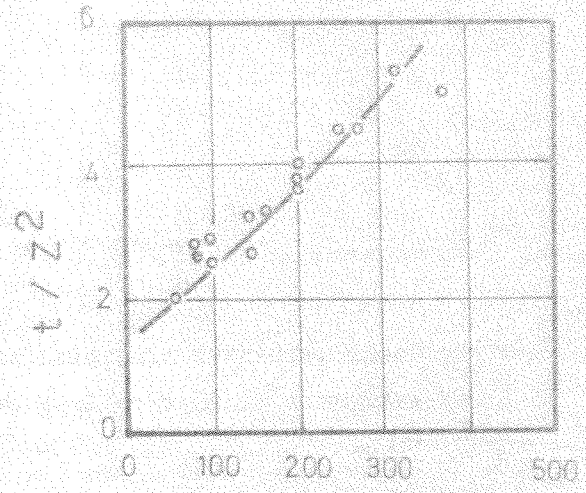
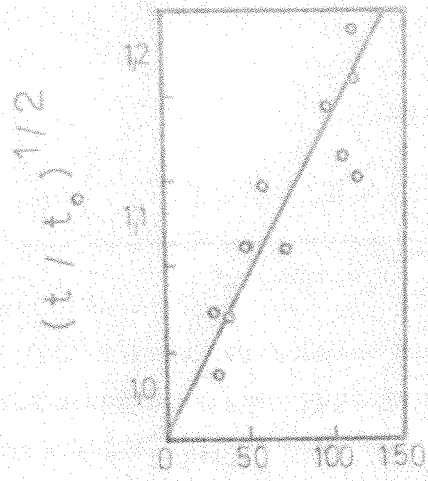
Aynı veya benzer biçimdeki dökme parçaların katılma sürelerinin ayrı ayrı her biçim için Chvorinov kanununa uyduğu görülmüştür. Ayrıca, aynı deney koşulları ile dökülen Al-Si ötektiği kare plâkaların katılma sürelerinin silindirlerinden yaklaşık olarak 1,9 kez daha uzun olduğu saptanmıştır. Yine aynı deney koşullarıyla dökülen dökme demir kare plâkaların kürelerden yaklaşık olarak 2,6 kez daha uzun sürede katıldığı tesbit edilmiştir.

Deneylerde, plâkalar bir yolluk bir çıkıcı ile, silindirler bir yolluktan doldurulan üçer deney parçası halinde, küreler ise değişik yolluk dizayn ve adetlerinde dökülmüşlerdir. Deneysel koşullar açısından benzerlik tan olarak sağlanmıştır.

2.10 Aşırıısı ile ilgili Deneysel Çalışmalar

Chvorinov'un (7) aşırıısının % 0,02-1,40 karbonlu çelik dökümlerinin katılmasına etkisini incelediği deneysel çalışmaya daha önce değinilmişti. Bu çalışmanın deneysel sonuçları şekil 5'de görülmektedir. Deney noktalarındaki aşırıı saçılma çelik üzerindeki çalışmalarda olağan bir husustur.

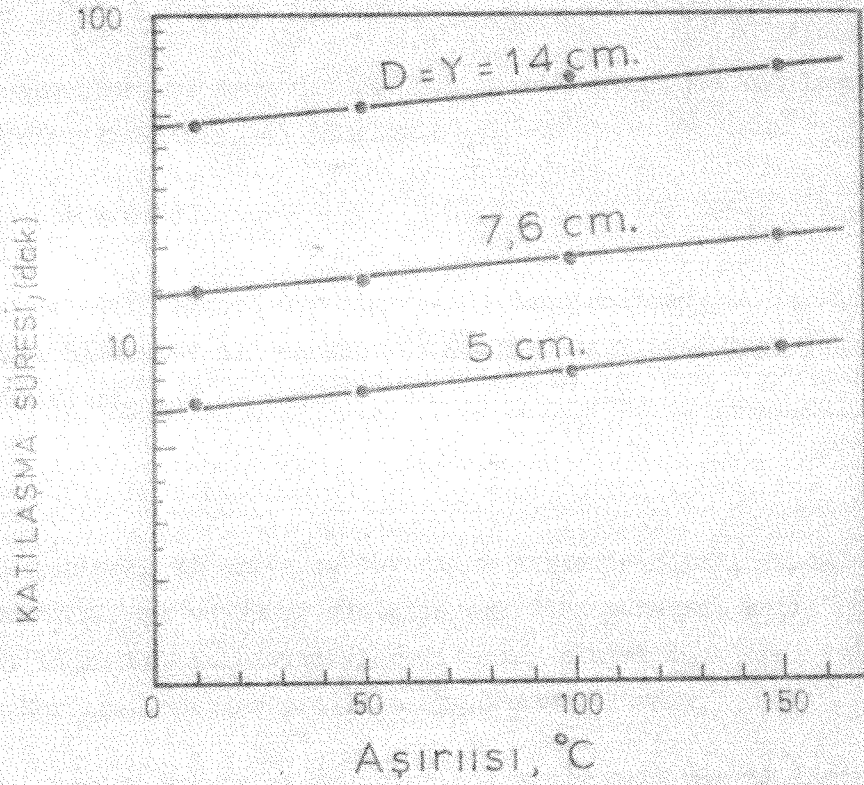
Chvorinov daha sonraki bir çalışmasında sayfa 14'de gösterilen denklemi değiştirerek, katılma süresine katılma bölgesi özgül ısısının da etkisini içerecek şekilde yeniden şöyle yazmıştır:



ŞEKİL 5

Chverinov'un ilk aşırı ısı deney sonuçları

Chverinov'un katılaşma bölgesini içeren deney sonuçları



Şekil 6- Al-Si ötektik çapı yüksekliliğine eşit silindiriklerin katılaşma sürelerine aşırısının etkisi. (Tiryakioğlu, Kandırcı ve Richmond)

$$t = \frac{\pi}{4} \left[\frac{L \left[1 + g (\Delta\theta + U) \right] \rho_n}{b_n (\theta_i - \theta_o)} \right]^2 \cdot \left(\frac{H}{\Lambda} \right)^2 \dots\dots(44)$$

Burada $\Delta\theta$ likidus ve solidus sıcaklıklarının farkıdır. Chvorinov'un bu denklemi sağlanmak için yaptığı deneysel çalışmanın sonuçları şekil 6'da sunulmuştur(15).

Tiryakioğlu, Kondic ve Richmond (16), Chvorinov deney koşullarının sınırlarını ortadan kaldırarak şekilde Al-Si ötekliği ve Cu-Al ötekliği ile araştırmalar yapmışlardır.(Şekil 6 ve 7). Yolluksuz olarak dökülen silindirler ve kürelerin katılaşma süreleri büyük bir duyarlılıkla:

$$t = t_o \cdot e^U \dots\dots (45)$$

denklemine uymuşlardır. Burada t_o , sıfır aşırıısı halinde katılaşma süresini ifade etmektedir. 45 denklemi:

$$t = t_o (1 + g U)^2 \dots\dots (46)$$

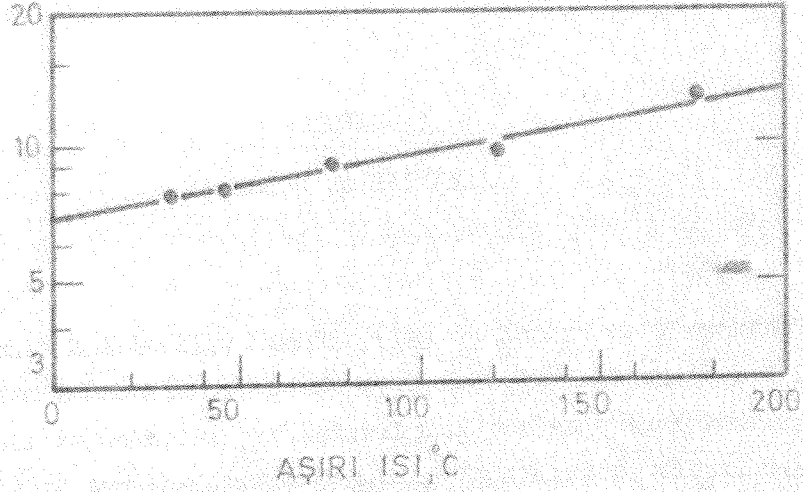
şeklinde ifade edilebilecek Chvorinov (44) denkleminden pek farklı değildir (Şekil 8) ve her iki denklem de aşağı yukarı aynı duyarlılıkla kullanılabilirler.

2.11 Sonuç

Analitik olarak önce Schwartz ve Chvorinov sistemin metalin katılaşması yönünü, sonra Halbart ve Manur sistemin çok daha yeknesak kalıp yönünü metalin katılaşma ısısının yitirileceği ortam olarak inceleniş ve esasları koymuşlardır. Sonuçlar pratikte uygulanmaktadır.

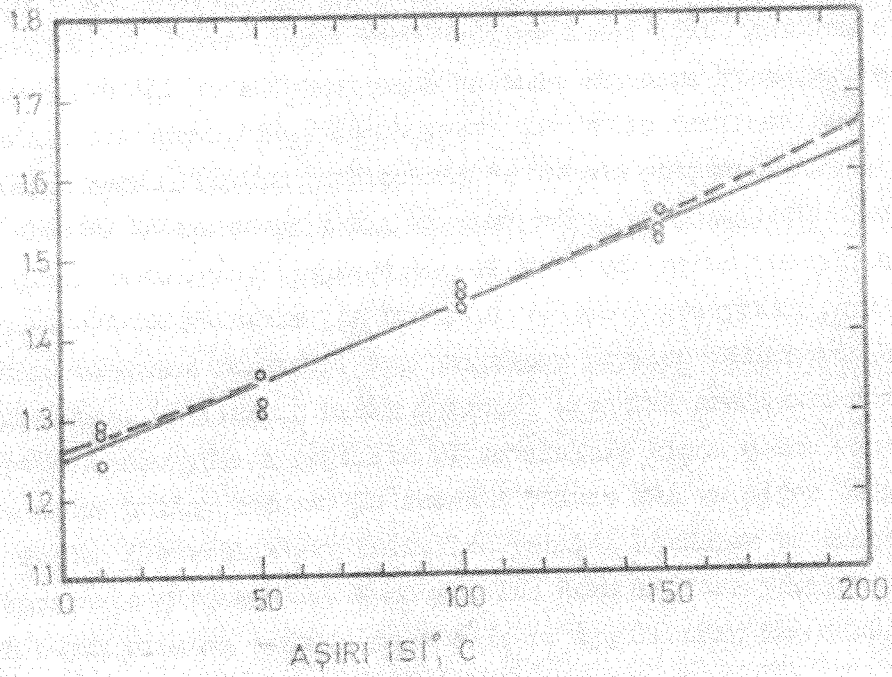
Deneysel çalışmalar pek azdır ve içlerinde sistematik olarak biçim ve büyüklük etkilerini ele alan yoktur. Aşırıısı etkisi hususunda yapılan çalışma sonuçları aralarında uyum göstermektedirler.

KATILAMA SÜRESİ, (dak)



Şekil 7- Cu-Al ektığı + ing kürelerin katılama sürelerine aşırı ısının etkisi. (Tiryakioğlu, Kondic ve Richmond)

$t^{1/2} : D_1$ (dak^{1/2}/me)



Şekil 8- Chvorinov ve Tiryakioğlu aşırı ısı denklemlerinin deney sonuçlarına uygulanması

KISIM: 3

METOD ve MATERYAL

3.1 Giriş

Bundan önce Ruddle (17), Kondic (18) ve Kondic ve Tiryakioğlu (19) tarafından kullanılan ve dökme parçanın ısı merkezine (son katılaşılan nokta) bir termokuplun yerleştirilmesi şeklinde tanımlanabilecek deneysel metod bu araştırmada aynen kullanılmıştır. Ölçmelerin duyarlı olabilmesi için termokuplun mümkün olduğu kadar küçük olması gereklidir.

3.2 Araştırmanın Kapsamı

Dökme parçanın biçimi, belli bir büyüklük için, en az ve en çok yüzey alanına sahip iki sınır yani bir küre ile sonsuz bir plâka arasında değişebilir. Bu denektir ki, biçimle birlikte ısı yitiren yüzey alanı da değişmekte ve küreden itibaren gitgide yaygınlaşan bir biçimle dökme parçanın katılma süresi kısalmaktadır. Yüzey alanının gerçek bir etken olarak kabul edilebilmesi için, katılma süresi boyunca metal ve kalıbın temas halinde olmaları icabeder. Metal bir kalıp söz konusu ise, dökme parça ile kalıp arasında temas bütün katılma süresi boyunca sağlanamaz ve burada yalıtıkan bir hava perdesi oluşur. Dökme parça tabii ki bazı nokta ve yüzeylerde, kendi ağırlığının tesiriyle, temas devan eder, ancak temas yüzeyi toplan parça yüzeyinin yalnızca bir kısmıdır ve temas yüzeyinin büyüklüğü parçanın biçimine bağlıdır. Kum kalıplara yapılan dökünlerde bu durum görülmez. Katılma süresi içindeki sıcaklık gradienti metal kalıptaki kadar yüksek değildir ve katılma süresi kısın çekme yaparak kalıpla temas halini bozmaz. Bu nedenle yalnız kum ve diğer benzer ve daha düşük iletkenlikteki kalıplara yapılan dökünler bu araştırmanın kapsamına girmektedir. Kumla yapılan dökünler ise yapılan dökünlerin büyük kısmını teşkil etmektedir ve uygulananın kum dökünlerine sınırlandırılması araştırmanın önemini azaltmaktadır.

KISIM: 3

METOD ve MATERYAL

3.1 Giris

Bundan önce Ruddle (17), Kondic (18) ve Kondic ve Tiryakioğlu (19) tarafından kullanılan ve dökme parçanın ısı merkezine (son katılaşılan nokta) bir termokuplun yerleştirilmesi şeklinde tanımlanabilecek deneysel metod bu araştırmada aynen kullanılmıştır. Ölçmelerin duyarlı olabilmesi için termokuplun mümkün olduğu kadar küçük olması gereklidir.

3.2 Araştırmanın Kapsamı

Dökme parçanın biçimi, belli bir büyüklük için, en az ve en çok yüzey alanına sahip iki sınır yani bir küre ile sonsuz bir plâka arasında değişebilir. Bu demektir ki, biçimle birlikte ısı yitiren yüzey alanı da değişmekte ve küreden itibaren gitgide yaygınlaşan bir biçimle dökme parçanın katılma süresi kısalmaktadır. Yüzey alanının gerçek bir etken olarak kabul edilebilmesi için, katılma süresi boyunca metal ve kalıbın temas halinde olmaları icabeder. Metal bir kalıp söz konusu ise, dökme parça ile kalıp arasında temas bütün katılma süresi boyunca sağlanamaz ve burada yalıtılan bir hava perdesi oluşur. Dökme parça tabii ki bazı nokta ve yüzeylerde, kendi ağırlığının tesiriyle, temasa devam eder, ancak temas yüzeyi toplam parça yüzeyinin yalnızca bir kısmıdır ve temas yüzeyinin büyüklüğü parçanın biçimine bağlıdır. Kum kalıplara yapılan dökünlerde bu durum görülmez. Katılma süresi içindeki sıcaklık gradienti metal kalıptaki kadar yüksek değildir ve katılma süresi kısalmaktadır. Bu nedenle yalnız kum ve diğer benzer ve daha düşük iletkenlikteki kalıplara yapılan dökünler bu araştırmanın kapsamına girer. Kum yapılan dökünler ise yapılan dökünlerin büyük kısmını teşkil etmektedir ve uygulamanın kum dökünlerine sınırlanması araştırmanın önemini azaltmaktadır.

Dökme parçaların katılma kinetiği metal ve kalıbın ısasal konstantları, parçanın biçini, büyüklüğü ve döküm sıcaklığı ile değişir. Ayrıca dökülen metalin türü de katılmanın tek bir sıcaklıkta veya küçük veya büyük bir sıcaklık şeridi içinde katılmasını tayin eder. Burada en basit hal olan tek bir sıcaklıkta katılma, yani saf metaller veya ötektiklerin makro katılmasından söz edilecektir.

Dökme parçalar bir veya daha çok ısı merkezli olabilir, hatta bazı hallerde, örneğin bir çember şeklindeki dökme parçada, ısı merkezi bir nokta değil bir doğru da olabilir. Birden fazla ısı merkezli bir dökme parça, ne sayıda ısı merkezine sahipse o kadar sayıda ayrı dökme parçadan oluşmuş gibi düşünülebilir. Bu durumda her kısım birbirleriyle ısı alışverişi olmaması gerekir, bunu o kısmın yüzey alanı ve hacmi olarak kesin olarak tanımlamak zor olduğundan, bu araştırma da yalnızca tek ısı merkezli dökme parçalar göz önüne alınmışlardır.

Tek ısı merkezli bir parça tek bir besleyici ile beslenebilir. Burada şart, besleyicinin konum yerinden itibaren dökme parçanın her bir noktasının, besleyicinin besleme mesafesi içinde bulunabilmesidir. Deneyler için seçilecek biçimler, bir besleyicinin besleyebileceği şekilde olmalıdır. Öte yandan, biçimlerin katılma süresine olan etkisini tanı olarak ölçmek için de deney parçaları besleyicisiz olarak dökülmek zorunludur.

Besleyicisiz dökülen çoğu metal ve alaşımlar katılma sırasında özgül haciminde bir daralma göstermeleri sonucu, dökme parça yüzeyi ve bünyesinde oluşan çökmeler ve çekmeboşlukları, metal - kalıp temasının bölgesel olarak bozulması ve ısı merkezinin yer değiştirmesi gibi nedenlerle önemli çapta ölçme sonuçlarına etkilerler (18). Bu bakımdan seçilecek metalin katılma hacim değişikliğinin ya hiç ya da çok az olması şarttır.

Deney sonuçlarının arasında korrelasyon kurabilmek için deneylerde benzerlik koşullarını sağlamak şarttır. Bu yüzden, kum kalıplar yarı sonsuz katılma koşullarını sağlayabilecek boyutlarda olmalı, döküm sıcaklığı aynı olmalı, kalıp yeknesak ve aynı sertlikte olmalı, döküm süreleri büyüklüğe göre benzerlik kurallarına uymalıdır.

Pratikte dökme parça büyüklükleri birkaç gramdan birkaç yüz tona kadar değişebilir (10^8 kez). Bu araştırmada eldeki eritme inkânlarıyla sınırlı kalınacak ve büyüklükler bu mertebeler içinde tutulabilecektir.

Aşırıısının katılma süresine etkisi aynı biçim ve büyüklükteki dökme parçaların değişik aşırıısı değerleriyle dökülmeleri yolu ile incelenebilecektir.

3.3 Ana Yaklaşım

Dökme parçaların katılmasında büyüklük ve biçimin etkileri, H_1, H_2, \dots, H_n hacinlarına ve her bir sabit hacim değeri için A_1, A_2, \dots, A_n yüzey alanlarına sahip parçalar seçilmek ve her parçanın üzerinde birer katılma ölçmesi yapmak suretiyle araştırılabilir.

Deneyler için, eldeki eritme inkânlarına bağlı olarak en çok 2500 cm^3 e çıkılabilmektedir. Seçilen dört büyüklük 300, 700, 1400 ve 2500 cm^3 dür. Her büyüklük için dokuz ayrı biçim seçilmiş ve biçimlerin belirli bir hacim için en küçük yüzey alanını veren bir küreden itibaren belirli aralıklarla artan yüzey alanlarına sahip olmalarına ve tek besleyiciden beslenebilen ve dökülebilirlik sınırları içinde kalan en büyük yüzey alanına kadar olan sahaya kapsamına dikkat edilmiştir.

En yüksek yüzey alanı değerine sahip dökme parçaların biçimleri sonsuz plâkalar olarak da seçilebilirdi. Ancak çok ince bir plâkanın dökülebilirlik problemi (sıvı metalin kalıp boşluğunun her noktasına doldurabilme sorunu) olduğu gibi, bir besleyicinin etki alanı dışında da kalması sakıncası vardır. Bu araştırmada her bir parçanın her noktasının bir besleyicinin besleme alanı içinde kalması gereğinin anlamı, parçanın tek besleyici ile dökülebilmesi, veya başka bir deyinle tek ısı merkezli olmasıdır. Bir besleyicinin besleme alanı dışına taşan büyük parçalar ancak birden fazla besleyici ile dökülebilirler; böyle bir dökme parça ise birden fazla kısımdan oluşmuş gibi düşünülebilir. Her kısmın sınırlarının kesin olarak belirlenmesi inkânsızdır. Ayrıca, kısımlar arasında ısı ve sıvı metal alışverişi olup olmayacağını tesbiti mümkün değildir.

Deneyler için seçilen biçimler sırasıyla bir küre, yüksekliği çapına eşit bir silindir, bir küp, L- biçiminde bir takoz, T- biçiminde bir plâka, artı biçiminde bir takoz, kare biçiminde bir plâka, dikdörtgen biçiminde bir plâka ve iki T- biçiminde plâkanın bir araya gelmesiyle elde edilen T-T plâkadır ve her biçimin her hacında homologu vardır. Yarı-sonsuz boyutlarda seçilen kalıp koşulları nedeniyle, katılaşmaya kalıbın etkisi yönünden benzerlik sağlanmış olduğundan, değişen büyüklüklerde homologlar kullanmak suretiyle biçim benzerliği de sağlanmış olmaktadır.

Deney parçalarının basit geometriye sahip olanlarının boyutları Tablo 1 de, diğerleri ise şekil 9 -12 'de verilmiştir.

3.4 Yolluk Sistemi

Bu araştırmada yolluk sisteminin dizaynı, değişik büyüklüklerdeki parçalarda katılaşma koşullarının benzerliğini sağlama bakımından büyük öneme sahiptir. Bütün büyüklükler için aynı yolluk sisteminin kullanılması, büyüklüğün arttığı oranda kalıp doldurma süresinin de artması sonucunu doğurmaktadır. Büyüklüğün artış oranı ile katılaşma süresinin artış oranı, eş biçimdeki parçalar için, aynı değildir. Bu bakımdan katılaşma koşullarında benzerliği tenin için, doldurma süresinin belirli bir biçim ve değişik büyüklüklerdeki parçaların katılaşma sürelerinin kabul edilecek belirli bir oranı kadar olması gerekir.

Bu demektir ki, homolog parçalar için:

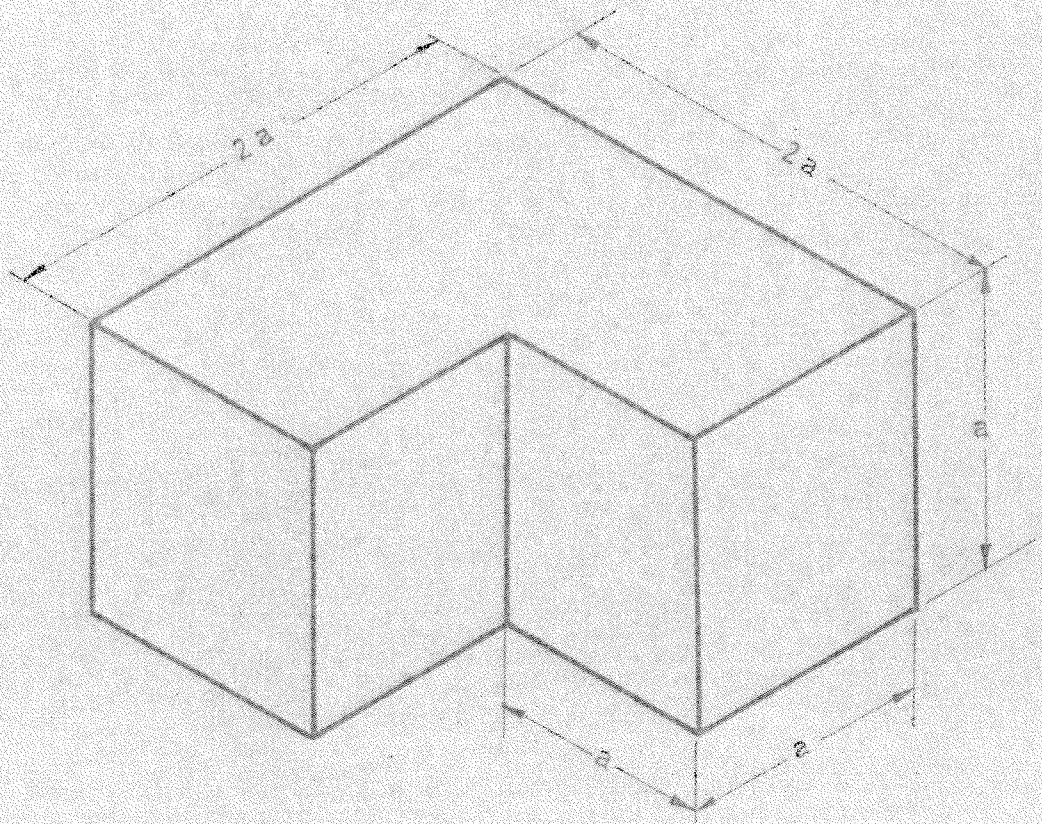
$$\frac{t_{d1}}{t_1} = \frac{t_{d2}}{t_2} = \dots = \frac{t_{dn}}{t_n} \quad (47)$$

olmalıdır. Yukarıdaki eşitliklerde t_d doldurma süresini, t ise katılaşma süresini ifade etmektedir.

Seçilen yolluk sisteminin ana dizaynı şekil 13'de gösterilmiştir. Yolluk sistemindeki ısı kayıplarının minimum olması düşünülmüş ve bu nedenle sistem olabildiğince basit tasarlanmıştır. Yolluk sisteminin

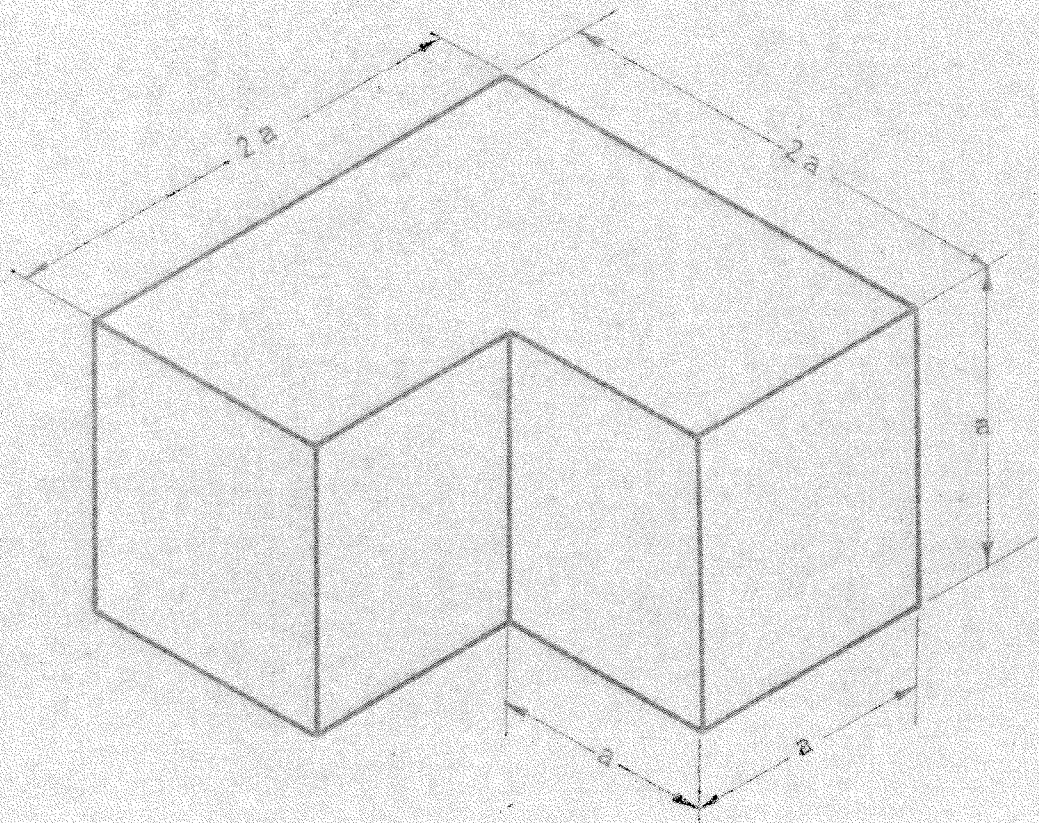
TABLO 1: Basit Geometrikli Dökme Parçaların Boyutları (cm)

BİÇİM	HACİM, cm ³			
	300	700	1400	2500
KÜRE D =	8.3 ø	11.02 ø	13.9 ø	16.84 ø
Silindir (Çap = Yükseklik)	7.26 ø	9.62 ø	12.1 ø	14.7 ø
Küp (a x a x a), a =	6.7	8.88	11.2	13.58
Kare plâka, (axax6a) a =	2.06	2.69	3.4	4.1
Dikdörtgen plâka, (ax6ax9a) a =	1.77	2.36	2.96	3.6



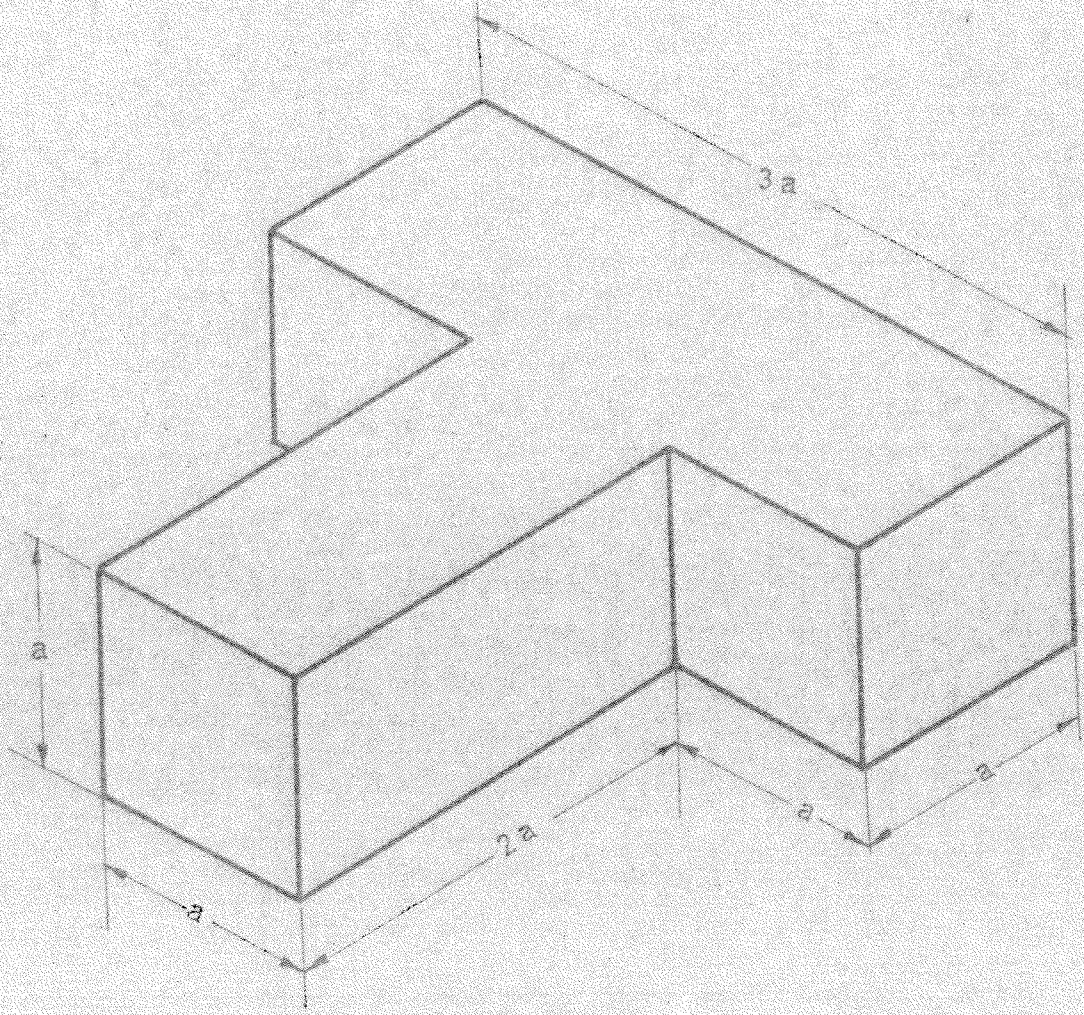
B (cm^3)	a (cm)
300	4,05
700	6,15
1400	7,75
2500	9,40

Şekil 9 - L - taker biçim ve boyutları



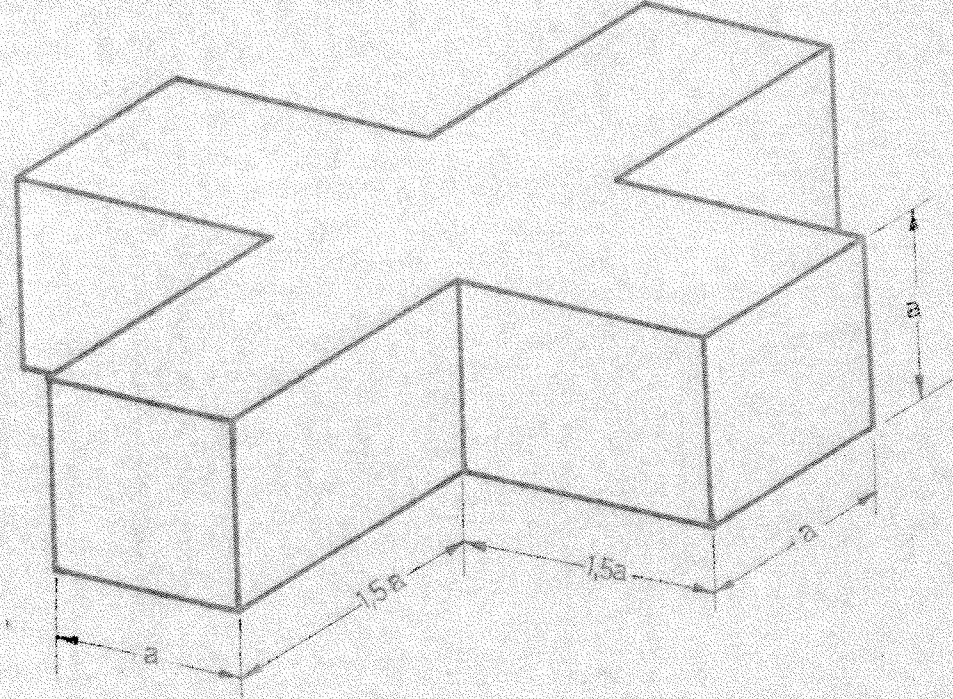
V (cm ³)	a (cm)
300	4,65
700	6,15
1400	7,75
2500	9,60

Şekil 9 - L - ikoz biçim ve boyutleri



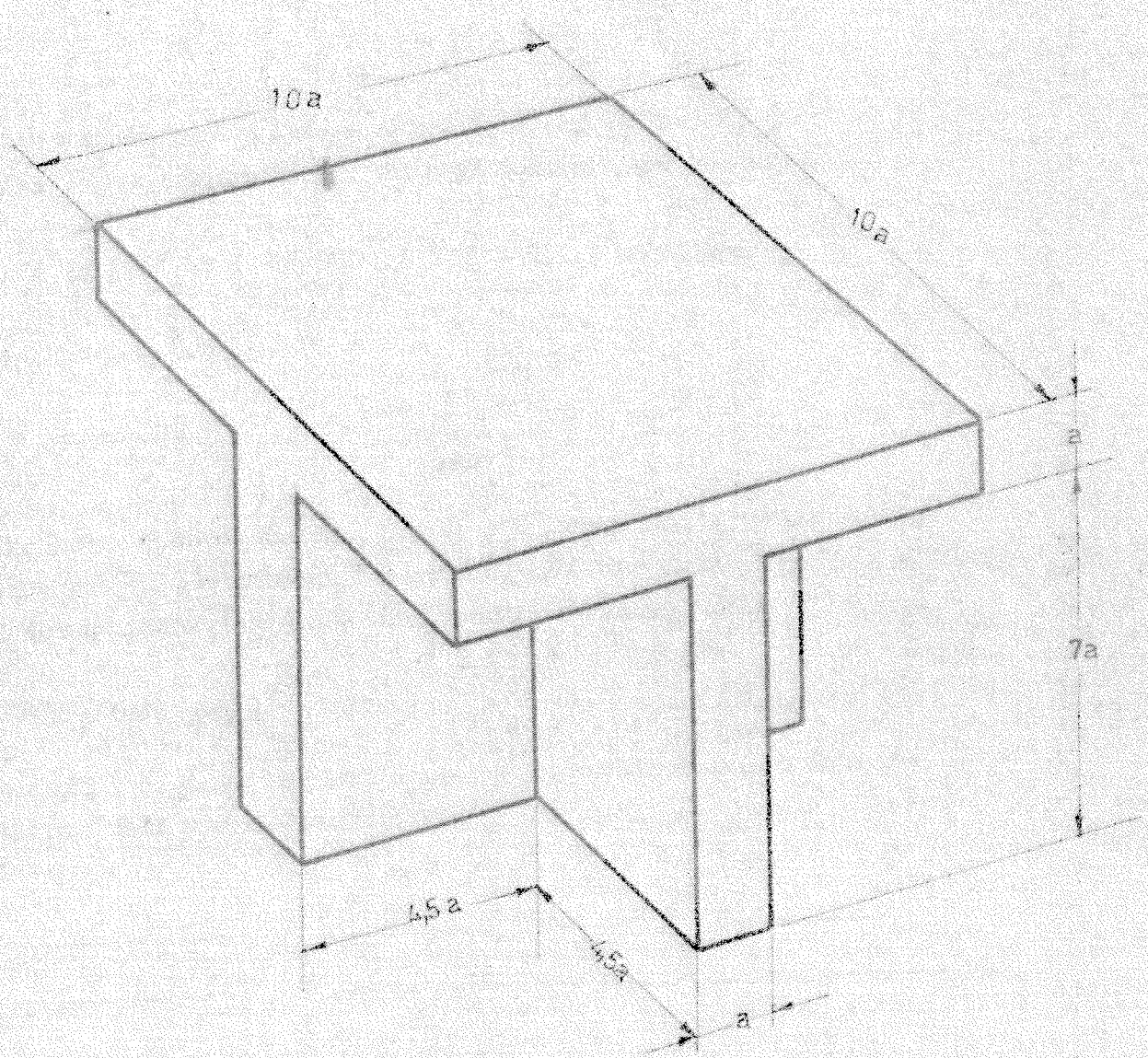
V (cm ³)	a (cm)
300	3,92
700	5,20
1400	6,55
2500	7,94

Şekil 10 - T - şekli bacağın ve boyutları



V (cm ³)	a (cm)
300	3,30
700	4,55
1400	5,85
2500	7,10

Şekil 11- Artı- takeş biçim ve boyutları



H (cm ³)	a (cm)
500	1,00
700	1,14
1000	1,29
2500	2,21

Sekil 12 - T-T' çizim biçim ve boyutları

toplam yüksekliği üst derece yüksekliğine eşit olarak alınmıştır. Bu bakımdan yolluk çıkış hızı v_3 , bütün yolluklarda aynı değerdedir:

$$v_3 = (2g Z_3)^{1/2} = (2 \times 981 \times 9)^{1/2} = 132.9 \text{ cm/saniye.}$$

Parça doldurma süresi:

$$t_d = \frac{H}{Q} = \frac{H}{A_3 \cdot v_3} \quad \dots\dots (48)$$

dür. Burada H parça hacmini, Q sıvı metal debisini, A_3 yolluk çıkışı kesit alanını gösterirler. Öte yandan, aynı biçindeki parçaların katılma sürelerinin Chvorinov denklemlerine uydukları bilinmektedir:

$$t = \text{Konstant} \left(\frac{H}{A}\right)^2 \quad \dots\dots (19)$$

Buna göre, doldurma süreleri açısından benzerlik temin etmek için denklemleri tekrar şöyle yazılabilir:

$$\frac{\frac{H_1}{v_3 \cdot (A_3)_1}}{\left(\frac{H_1}{A_1}\right)^2} = \frac{\frac{H_2}{v_3 \cdot (A_3)_2}}{\left(\frac{H_2}{A_2}\right)^2} = \dots\dots = \frac{\frac{H_n}{v_3 \cdot (A_3)_n}}{\left(\frac{H_n}{A_n}\right)^2} = \text{Konst.}$$

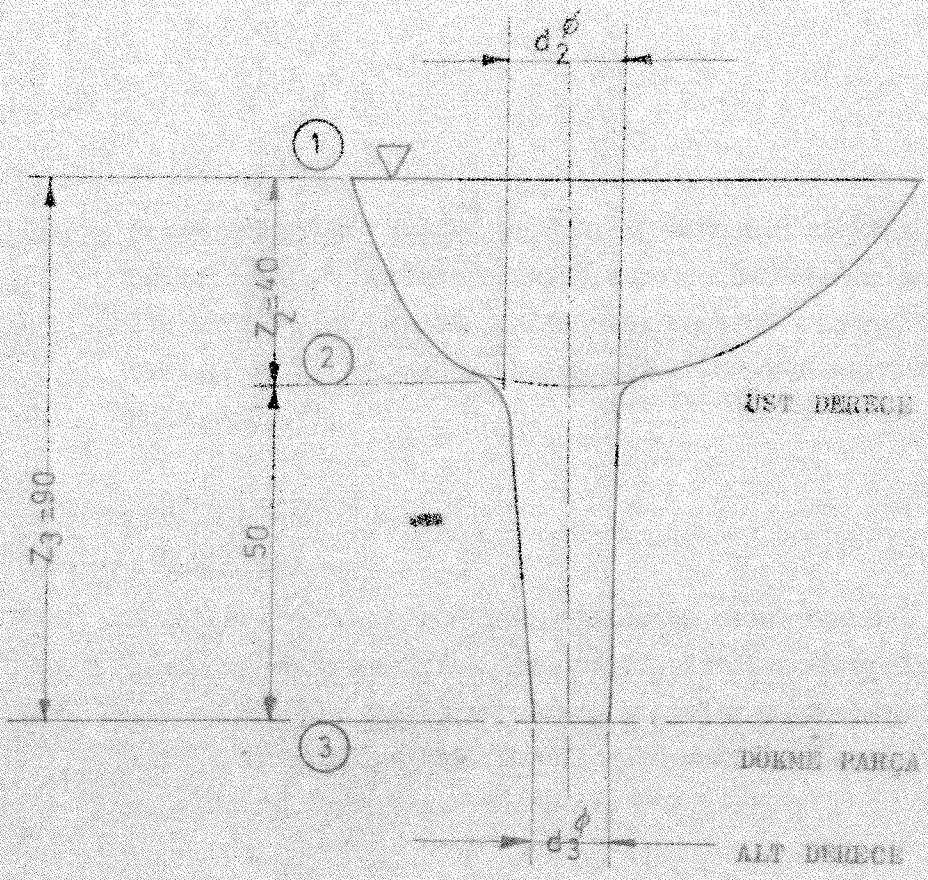
Konstantın değeri ihtiyarî olarak seçilmiş ve buna göre hesaplanan yolluk çıkış çapları tablo 2'de verilmiştir.

Küreler için değerler yukarıdaki denklemlerde yerlerine konursa:

$$\frac{1.90}{1.55^2} = \frac{3.25}{1.84^2} = \frac{5.11}{2.27^2} = \frac{7.73}{2.81^2} \approx 0.98$$

3.5 Metal Seçimi

Kullanılacak metalin katılma çekmesi veya genişlemesinin minimum olması gerektiğinden, öncelikle saf metaller arasında bir değerlendirme yapılmıştır. En düşük çekme kat sayısına sahip metal olarak antimon seçilmiştir. Bu metalin çekme katsayısı % 1,4'dür (19).



Şekil 13 - Yolluk sistemi dizaynı.

TABLO 2- Yolluk Giriş ve Çıkış Çapları

PARÇA HACMI, cm ³	d ₂ , mm	d ₃ , mm
300	15,5	12,5
700	17,6	14,4
1400	19,8	16,2
2500	21,6	17,6

Çekme katsayısı minimum veya sıfır olan bir ötektik seçilmesinin nedeni, eritme sırasında oksitlenme ve buharlaşma sonucu elementlerden birinin daha çabuk yitirilmesi sonucu, kimyasal bileşimde oluşabilecek sapmaları ve dolayısıyla katılaşma olayındaki değişimleri önlenektir.

3.6 DeneySEL Yol

3.6.1 Modeller

Modeller fırınlanmış gürgen ağacından metal tornası ile freze tezgâhlarından yararlanılarak inâf edilmişlerdir. Karmaşık geometrili modeller parçalı olarak yapılmış, parçalar birbirlerine selülozik tutkalla yapıştırılmıştır. Modeller boyandıktan sonra, boya fazlalıkları zımparalanarak giderilmiştir.

3.6.2 Kalıp ununun hazırlanması

Deneylerde % 5 Çankırı bentoniti ve % 3,5 nem ihtiva eden yıkanmış Küçükköy silis kumu kullanılmıştır. Kalıp sertliği 90 AFS olarak tutulmuş tur. Her dökünden sonra kalıp kumunun kalsine olmuş kısımları dikkatle ayıklanmıştır.

Kalıp kumu bir "August-Simpson Mix-Müller" merdaneli kum karıştırmaya tezgâhında hazırlanmış, nem oranı bir "Speedy Moisture Teller" ile kontrol edilmiştir.

3.6.3 Kalıplama

Benzer katılaşma koşulları sağlanmak için kalıp değişkenlerinin sabit tutulmasına çalışılmıştır. Kalıp kumunun sabit nem oranı ile hazırlandıktan sonra, nemin yitirilmesi için kalıp süratle yapılmış ve bir saatten fazla hiçbir zaman üzeri polietilen filmle örtülmeden bekletilmiştir.

Kalıp kumu yeknesaklığı tenin için daima elenerek kullanılmış ve her defasında 2,5 cm. kadar kalınlıkta tabakalar halinde yeknesak olarak el tokmağı ile sıkıştırılmıştır.

Yarı-sonsuz kalıp koşulunu sağlanmak için dökme parça çevresinde kalıp et kalınlığının 5 cm.'den az olmasına dikkat edilmiştir.

Yolluk, dizayna uygun olarak üst dereceye yerleştirilmiş, model daima alt dereceye kalıplandırılmıştır.

Termokupl, aynı çaptaki bir çelik şişle açılan delik vasıtasıyla kalıba yerleştirilmiş, termokuplun uç noktası parçanın ısı merkezine gelecek şekilde ayarlandıktan sonra, kalıp kumu sıkıştırılarak yerine tesbit edilmiştir.

3.6.4 Termokupl Dizaynı

Dökme parçaların katılaşma sürelerini ölçmede kullanılan termokupullar maksimum duyarlılık için dizayn edilmiştir.

36 geyce kronel-alünel ve cam elyafı ile yalıtılmış termokupullar, 1,5/2,5 mm. iç ve dış çaplarındaki silis camı tüplerine ucu açıkta kalacak şekilde yerleştirilmiştir. Daha yüksek dayanım sağlamak için, 1,5/2,5 mm çap tüp ikinci bir 3,0 mm iç çapındaki silis camı tüpüne içine yerleştirilmiş ve tesbit edilmiştir.

Termokupl sıcak ucu, nokta kaynağı tekniği ile yapılmıştır. Sıvı metalin tesirine karşı uç ince bir alümina tabakası ile kaplanmıştır.

Döküm sıcaklığına ölçnek için 1 mm. tel çaplarında kronel-alünel termokupl kullanılmıştır. Termokupl iki delikli silis camı tüpleri içine yerleştirilmiş, sıcak uç açıkta bırakılmış, sıvı metal tesirine karşı bir alümina tabakası ile korunmuştur.

3.6.5 Sıcaklık ve Katılaşma Süreleri Ölçmeleri

Döküm sıcaklığını ölçnek için taşınabilir tip bir D.C. potansiyometresi kullanılmıştır. Katılaşma süreleri ölçmeleri "Moseley 7100 B" modeli bir şeritli sıcaklık kaydedicisi ile yapılmıştır. Şerit hızı 2,54 cm/dak. olarak seçilmiştir. Katılaşma süresi, sıcaklığın aniden yükselmeğe başladığı nokta başlangıç noktası, soğuma eğrisinde belirli bir eğim değişikliği olduğu nokta katılaşma sonu noktası alınarak tesbit edilmiştir. Katılaşma sonu noktasının kesin yerini tesbit için soğuma eğrisine, eğim değişikliği başlangıcından önce ve sonra teğetler çizilmiştir. Bunların kesişme noktaları, katılaşma sonu noktası olarak kabul edilmiştir.

Yolluk, dizayna uygun olarak üst dereceye yerleştirilmiş, model daima alt dereceye kalıplanmıştır.

Ternokupl, aynı çaptaki bir çelik şişle açılan delik vasıtasıyla kalıba yerleştirilmiş, ternokuplun uç noktası parçanın ısı merkezine gelecek şekilde ayarlandıktan sonra, kalıp kumu sıkıştırılarak yerine tesbit edilmiştir.

3.6.4 Ternokupl Dizaynı

Dökme parçaların katılaşma sürelerini ölçmede kullanılan ternokupllar maksimum duyarlık için dizayn edilmiştir.

36 geyc kronel-alünel ve cam elyafı ile yalıtılmış ternokupllar, 1,5/2,5 mm. iç ve dış çaplarındaki silis camı tüplerine ucu açıkta kalacak şekilde yerleştirilmiştir. Daha yüksek dayanım sağlamak için, 1,5/2,5 mm çap tüp ikinci bir 3,0 mm iç çapındaki silis camı tüpü içine yerleştirilmiş ve tesbit edilmiştir.

Ternokupl sıcak ucu, nokta kaynağı tekniği ile yapılmıştır. Sıvı metalin tesirine karşı uç ince bir alümina tabakası ile kaplanmıştır.

Döküm sıcaklığını ölçmek için 1 mm. tel çaplarında kronel-alünel ternokupl kullanılmıştır. Ternokupl iki delikli silis camı tüpleri içine yerleştirilmiş, sıcak uç açıkta bırakılmış, sıvı metal tesirine karşı bir alümina tabakası ile korunmuştur.

3.6.5 Sıcaklık ve Katılaşma Süreleri Ölçmeleri

Döküm sıcaklığını ölçmek için taşınabilir tip bir D.C. potansiyometresi kullanılmıştır. Katılaşma süreleri ölçmeleri "Moseley 7100 B" modeli bir şeritli sıcaklık kaydedicisi ile yapılmıştır. Şerit hızı 2,54 cm/dak. olarak seçilmiştir. Katılaşma süresi, sıcaklığın aniden yükselmeğe başladığı nokta başlangıç noktası, soğuma eğrisinde belirli bir eğim değişikliği olduğu nokta katılaşma sonu noktası alınarak tesbit edilmiştir. Katılaşma sonu noktasının kesin yerini tesbit için soğuma eğrisine, eğim değişikliği başlangıcından önce ve sonra teğetler çizilmiştir. Bunların kesişme noktaları, katılaşma sonu noktası olarak kabul edilmiştir.

Sıcaklık kaydedicisi döküm başlanmadan önce muhakkak ısıtılmış ve birkaç dakika önceden çalıştırılmağa başlanmıştır.

3.6.6 Metalin eritilmesi ve dökülmesi

Eritme işlemi için nazotla ısıtılan bir pota ocağı kullanılmıştır.

Antirumanın oksitlenmesini önlemek için % 40 sodyum sülfür ve % 60 sodyum karbonattan oluşan bir flaks kullanılmıştır. Flaks, antirumanın üzerinde sıvı bir örtü meydana getirmiştir. Döküm için içi sıvı metalle dolu grafit pota ocaktan dışarı alınmış, metal sıcaklığının döküm sıcaklığına düşmesi beklenirken flaks sıvı metalin üzerinden temizlenmiştir. Döküm sıcaklığında bir yanılma olmaması için potada daima deneyde kullanılacak olandan çok daha fazla metal bulundurulmuş, böylece ani sıcaklık düşmeleri önlenmiştir.

Metal dökülürken yalıtım daima dolu tutulmasına ve böylece döküm tuzunun sabit kalmasına çalışılmıştır. Döküm bittikten sonra, yolluktaki çıplak metalin konveksiyon ve ışına yolu ile aşırı derecede ısı yitirmesini önlemek için üzeri kuru döküm kumu ile örtülmüştür.

Alüminyum-silisyum ötektik alaşımı dökümünde flaks kullanılmamış, diğer hususlarda aynı deneysel yol izlenmiştir.

Parçalar katılaştıktan sonra temizlenmiş ve büyüklük bakımından bir sapına olup olmadığına kontrol bakımından tartılmışlardır.

KISIM : 4

DENEY SONUÇLARI

4.1 Bicim ve Büyüklüğün Katılma Süresine Etkisi Deneyleri

Yolluklu olarak ve 100°C aşırıısı ile dökülen antimon dökme parçalarının katılmaadan sonra yapılan muayenelerinde, yüzey çökmeleri vs. ile karşılaşılınmıştır. Metalin katılma çekmesi, ancak büyük parçalarda ve çok küçük bir bölge içinde oluşan çökme boşluğu olarak kendini göstermiştir. Bu bakımdan, yapılan ölçmelerde, deney parçası yüzey alanının gerçek ısı yitiren yüzey alanı olarak alınabilmesi mümkün ve doğrudur.

Deney sonuçları Tablo 3 ve Şekil 14'de sunulmuştur.

Şekil 14'de görülebileceği gibi, her büyüklük grubunda log katılma süreleri ve log yüzey alanı arasında doğrusal bir bağıntı vardır ve bunun genel olarak ifadesi:

$$t = c_1 A^n \quad \text{dir.} \quad (49)$$

Burada c_1 bir konstant, n ise Chvorinov'un n değeri ile ilgisi olmayan ayrı ve yeni bir konstanttır. En küçük kareler yöntemi ile deneysel sonuçlara en iyi uyabilen doğruların denklemleri şöyle bulunmuştur:

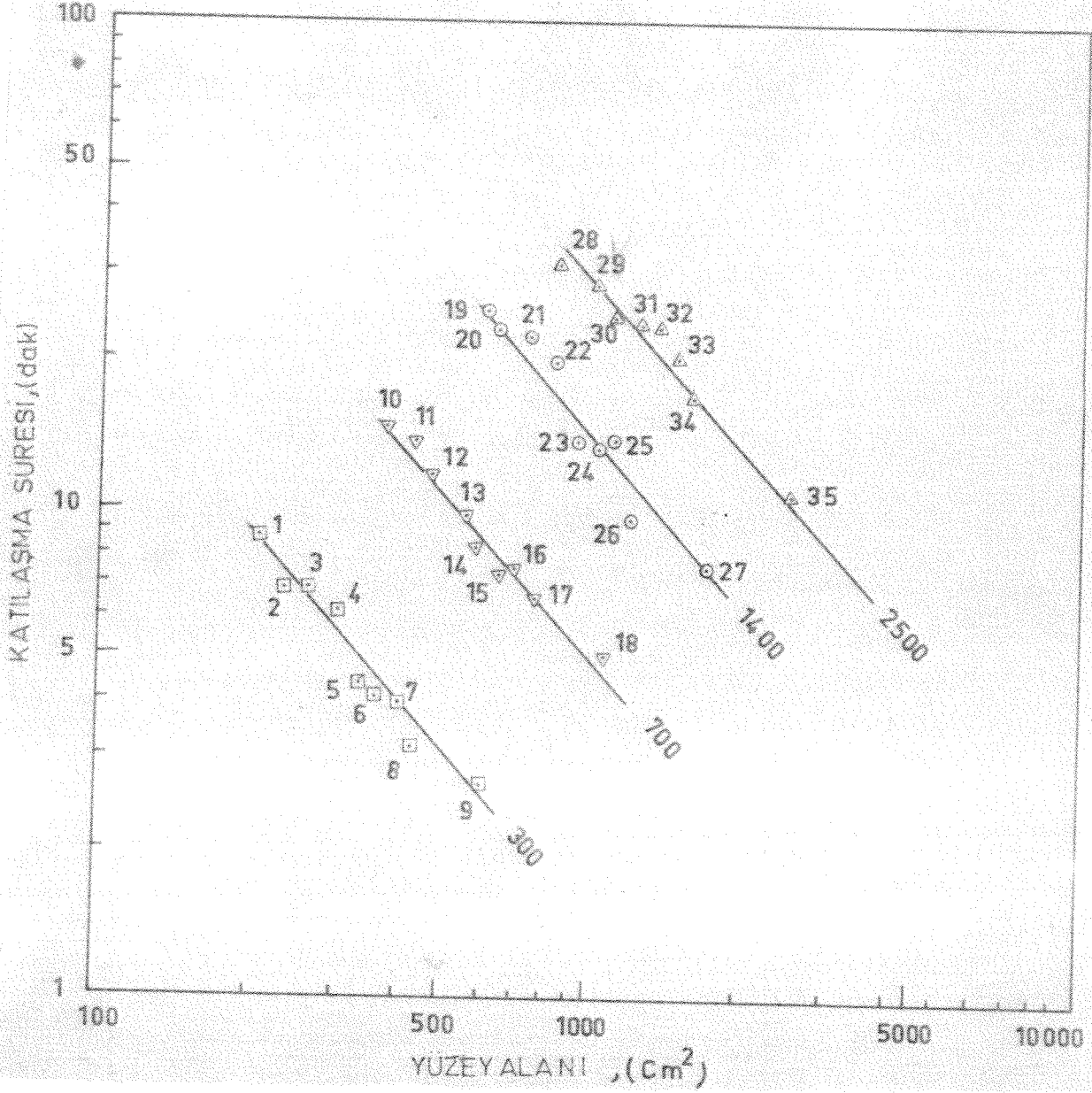
$$\begin{array}{lll} t = 4265 & A^{-1.163} & (H= 300 \text{ cm}^3) \\ t = 23840 & A^{-1.237} & (H= 700 \text{ cm}^3) \\ t = 80364 & A^{-1.249} & (H= 1400 \text{ cm}^3) \\ t = 31375 & A^{-1.010} & (H= 2500 \text{ cm}^3) \end{array}$$

Görüldüğü gibi " n " değeri -1.010 ile -1.249 arasında değişmektedir. Aritmetik ortalamaya alınırsa $n = -1.165$ olarak bulunur. " n " değerlerindeki sapmaların deney noktalarının azlığından ileri geldiği kanaatine varılmıştır.

TABLO 3: Biçim ve Büyüklüğün Katılaşma Süresine Etkisi Deneyle Sonuçları

Deney Sıra No.	Biçim	H, cm ³	A, cm ²	H/A, cm	Katılaşma Süresi, dak	Ağırlık W, (g)	Ağırlık ortalaması, \bar{W} , g
1	Küre	300	216	1,389	8,68	1950	
2	Silindir	300	248	1,210	6,80	2010	
3	Küp	300	269	1,115	6,92	1990	
4	L-takoz	300	303	0,990	6,21	1975	
5	T-takoz	300	338	0,889	4,34	1990	
6	Artı-takoz	300	368	0,815	4,14	1975	
7	Kare plâka	300	407	0,737	4,00	1995	
8	Dikdörtgen plâka	300	432	0,694	3,22	1980	
9	T-T plâka	300	617	0,486	2,74	2060	
10	Küre	700	382	1,832	14,82	4700	
11	Silindir	700	436	1,606	13,83	4620	
12	Küp	700	473	1,480	11,98	4615	
13	L-takoz	700	530	1,321	9,66	4630	
14	T-takoz	700	595	1,176	8,38	4600	
15	Artı-takoz	700	621	1,127	7,14	4605	
16	Kare plâka	700	695	1,007	7,55	4630	
17	Dikdörtgen plâka	700	769	0,910	6,48	4650	
18	T-T plâka	700	1078	0,649	4,92	4650	
							1992
							4633

19	Küre	1400	607	2,306	23,43	9450
20	Silindir	1400	690	2,029	23,12	9180
21	Küp	1400	753	1,839	22,58	9210
22	L-takoz	1400	841	1,665	20,15	9250
23	T-takoz	1400	944	1,483	13,86	9260
24	Artı-takoz	1400	1027	1,363	13,40	9260
25	Kare plâka	1400	1189	1,262	14,00	9210
26	Dikdörtgen plâka	1400	1209	1,158	9,55	9150
27	T-T plâka	1400	1760	0,795	7,62	9280
						9250
28	Küre	2500	891	2,806	31,28	16530
29	Silindir	2500	1018	2,456	28,94	16400
30	Küp	2500	1107	2,258	24,93	16350
31	L-takoz	2500	1237	2,021	24,08	16450
32	T-takoz	2500	1387	1,802	23,78	16450
33	Artı-takoz	2500	1512	1,653	20,50	16500
34	Kare plâka	2500	1614	1,549	17,04	16400
35	T-T takoz	2500	2540	0,984	10,95	16550
						16460



Şekil 14 - Sabit büyüklükteki deney parçalarının katılaştırma sürelerinin yüzey alanı ile değişmesi.

n için sabit bir değer seçilirse (49) denklemindeki c_1 ile dökün hacmi H arasında da bir bağıntı olduğu görülebilir (şekil 15).
Bu bağıntının genel ifadesi:

$$c_1 = c_2 \cdot H^n \quad \dots (50)$$

olarak gösterilebilir. c_2 ve n birer konstantlardır.

Değişik n değerleri (1,00 ile 1,25 arasında) için hesaplanan n ve c_2 değerleri Tablo 4'de verilmiştir.

Bu durumda, (49) ve (50) denklemleri bir araya getirilirse:

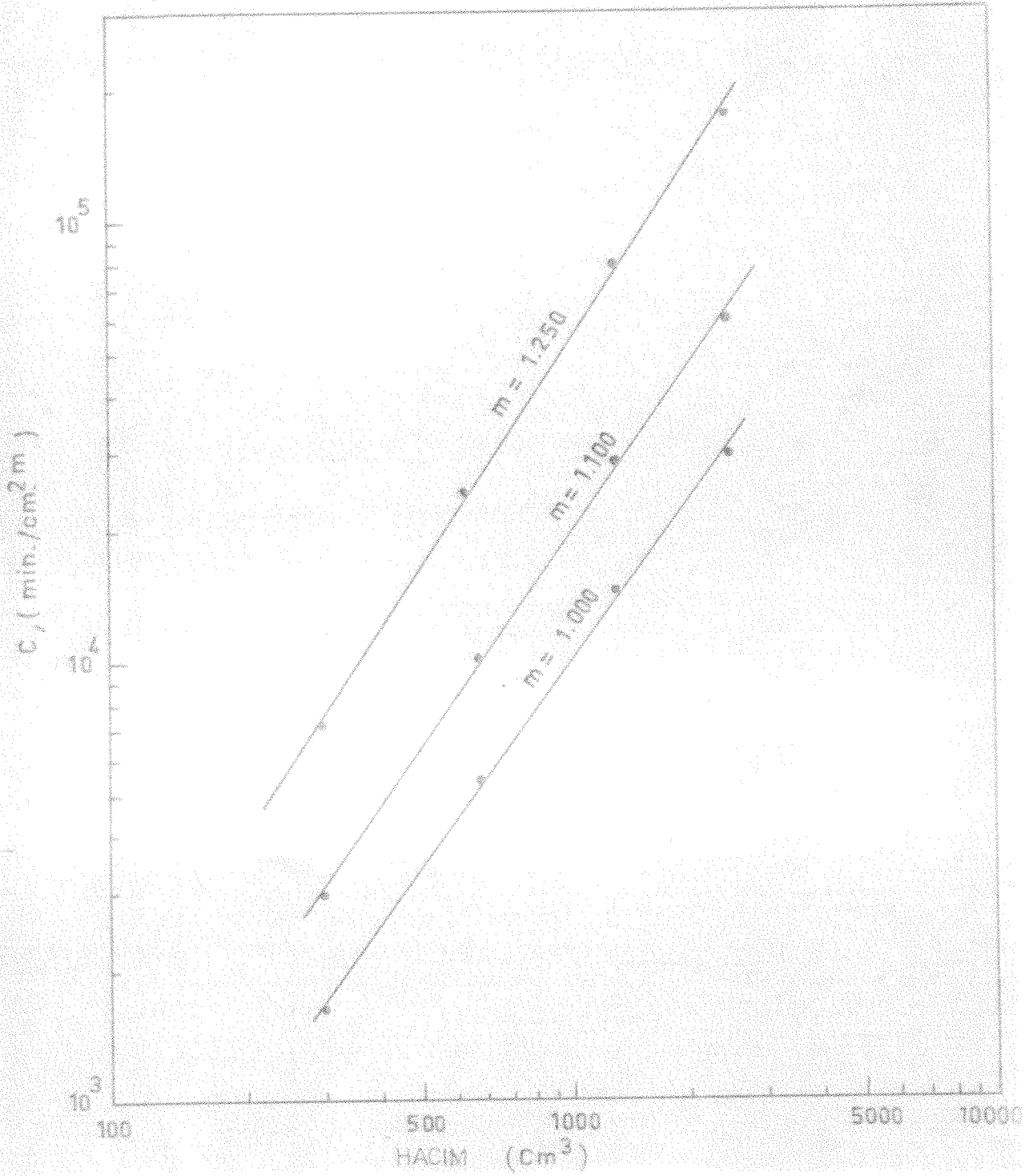
$$t = c_2 \cdot H^n \cdot A^m \quad \dots (51)$$

şeklinde dökme parçaların biçim ve büyüklük etkilerini içeren bir genel denklem elde edilebilir. c_2 değeri 100°C aşırıısı için elde edilen bir değerdir ve aşırıısı etkisini ifade eden genel bir gösterilişte daha küçük bir c_2 değerinin geçerli olacağı açıktır.

4.2 Aşırıısının Katılma Süresine Etkisi Deneyleri

Yolluklu dökülen parçalarda, aşırıısı genellikle yolluk sisteminde ve kalıp boşluğunun doldurulması sırasında ısı kayıpları nedeniyle, yitirilir. Metalin sıvı haldeki özgül ısısı ne kadar fazla ise ve katılma sıcaklığı ne kadar düşük ise, aynı biçim için, deney koşulları sabit kalmak şartıyla aşırıısı kayıpları o kadar azalır.

Antivanla yapılan ve iki büyüklükteki (300 ve 1400 cm^3 .) silindir ve kare plâka dökümlerinin $30 - 200^{\circ}\text{C}$ aşırıısı ile ölçülen katılma süreleri Tablo 5'de verilmiştir. Daha yüksek sıvı özgül sıcaklığına sahip ve benzer katılma sıcaklığındaki bir başka metalle (Al-Si ötektik alaşımı) dökülen aynı parçaların katılma süreleri Tablo 6 da verilmiştir. Al-Si ötektik alaşımında çözünen hidrojen gazı bilhassa giderilmediğinden katılma sonucu dökme parçalarda herhangi bir yüzey çökmesi gözlemlenmiştir.



Şekil 15- Sabit büyüklük için elde edilen " c_1 " değerlerinin Hacim ile değişmesi.

TABLO 4 : Belirli "m" değerleri için hesaplanan "C₂" değerleri

Kabul edilen "m" değeri	"C ₂ " değeri			2500
	H = 300 cm ³	700	1400	
- 1.00	1654	5252	14630	29191
- 1.10	2962	9943	29030	60000
- 1.15	3963	13682	40890	86010
- 1.20	5303	18825	57600	123300
- 1.25	7096	25902	81140	176800

TABLO 5: Antimüdenen Yolluclu Dökülen Silindir (Çap=Yükseklik) ve Kare Plâka Denev Parçolarının Katılma Sürelerine Aşırıının Etkisi.

Aşırı (°C)	Katılma Süresi (dakika)			
	Silindir, 3 H = 300 cm ³	Silindir 3 H = 1400 cm ³	Kare Plâka 3 H = 300 cm ³	Kare Plâka 3 H = 1400 cm ³
30	5,00	18,00	3,10	9,70
70	6,37	19,80	4,10	13,10
100	6,80	23,04	4,00	14,00
130	6,51	22,70	4,20	13,20
170	7,49	22,80	5,80	14,90
200	7,56	24,50	5,40	16,80

Tablo 6 : Alüminyum - Silisyum Ötektik Alaşımından Yollu Klü Dökülen
Sıvıdır (Çap = Yükseklik) ve Kare Plâka Dency Parçalarının
Katılma Sürelerine Aşırısının Etkisi

Aşırısı, °C	Katılma Süresi (dakika)			
	Silindir H = 300 cm ³	Silindir H = 1400 cm ³	Kare Plâka H = 300 cm ³	Kare Plâka H = 1400 cm ³
30	4,80	16,00	3,20	8,10
70	5,30	17,50	3,40	10,00
100	6,40	20,70	3,10	11,70
130	7,60	25,20	4,50	13,00
170	7,90	23,30	5,00	13,90
200	8,20	26,80	5,10	15,60

Deney sonuçlarının Tiryakioğlu ve Kondic:

$$t = t_0 e^{aU} \quad (45)$$

ve, Chvorinov:

$$t = t_0 (1 + gU)^2 \quad (46)$$

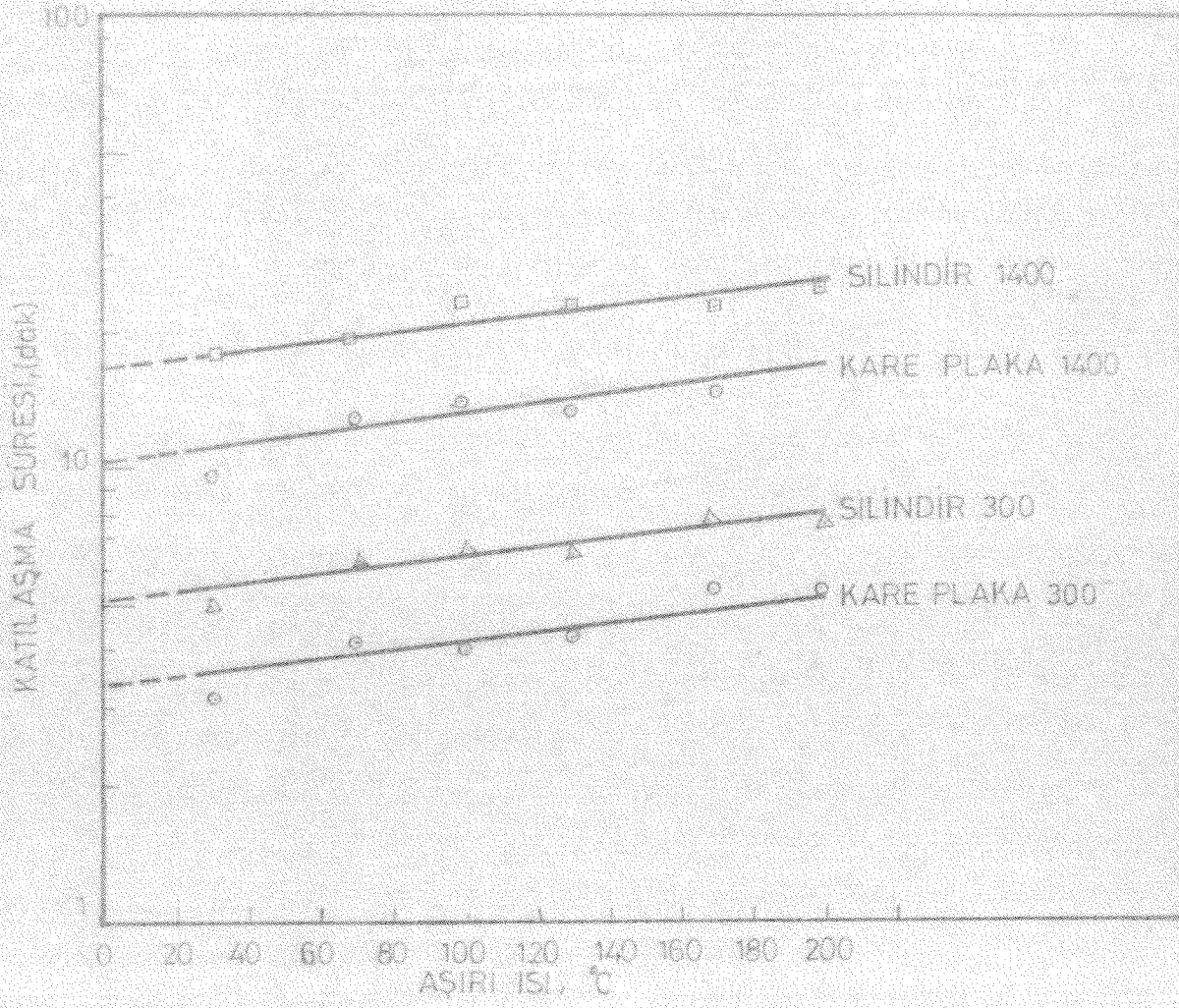
denklemlerine en küçük kareler yöntemiyle uydurulması ile elde edilen a , t_0 ve g , t_0 değerleri Tablo 7'de verilmiştir. Deney sonuçları grafiksel olarak Şekil 16, 17, 18 ve 19'da sunulmuştur.

TABLO 7 : Tiryakioğlu - Kondic ve Chvorinov eşitliği denklemleri konstantlarının ve t_0 değerlerinin deney sonuçlarından hesaplanan değerleri:

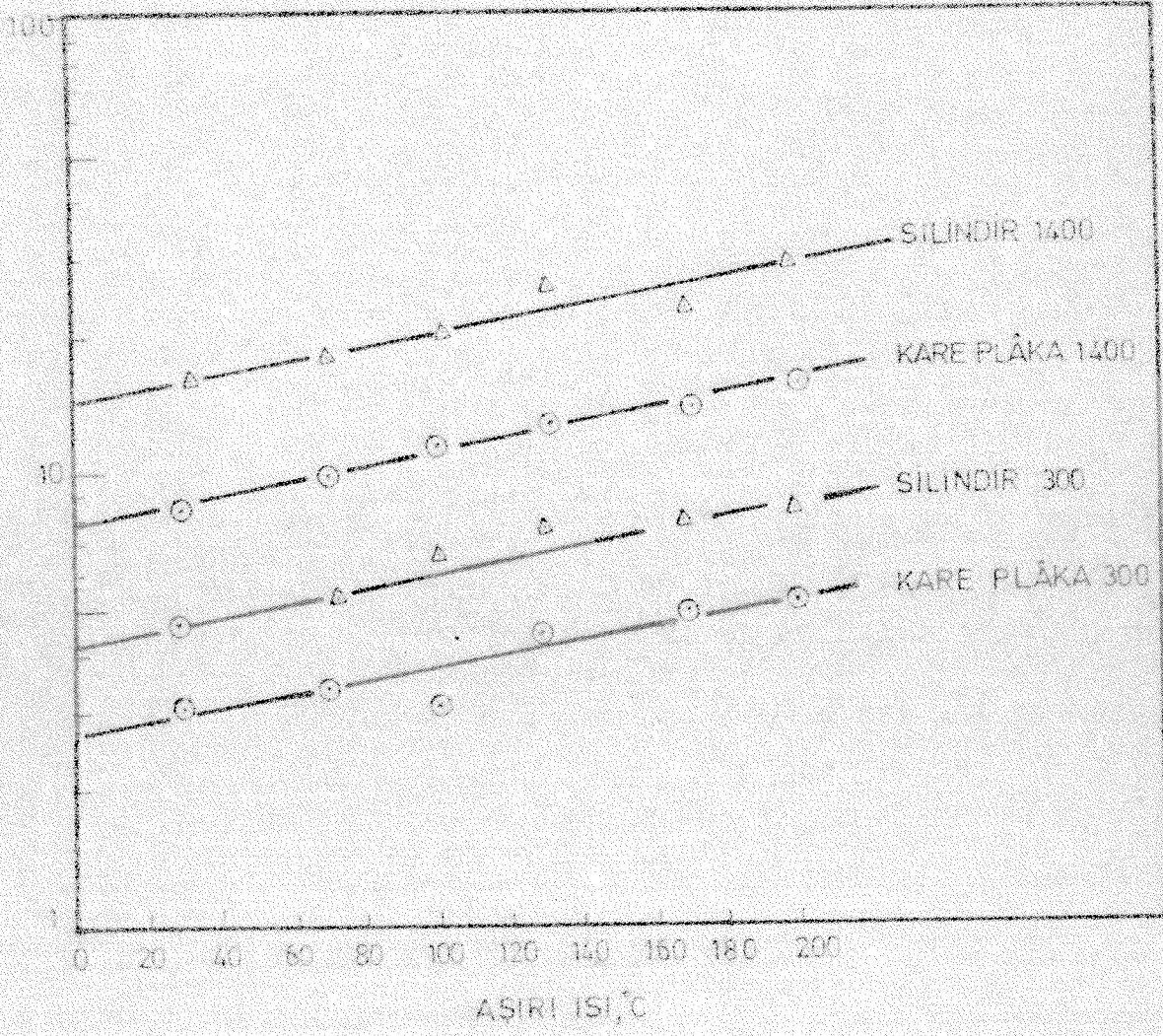
Antimuan	$a, (^{\circ}C^{-1})$ (1)	t_0 (1)	$g, (^{\circ}C^{-1})$ (2)	t_0 (2)
Silindir, 300 cc.	0,00094	5,10	0,00120	5,06
" " 1400 cc.	0,00072	17,90	0,00089	17,81
Kare Plâka, 300 cc.	0,00145	2,94	0,00205	2,86
" " 1400 cc.	0,00115	9,87	0,00152	9,73
<u>Al-Si Ötektik alosunu</u>				
Silindir, 300 cc.	0,00138	4,53	0,00208	4,30
" " 1400 cc.	0,00132	14,88	0,00181	14,58
Kare Plâka, 300 cc.	0,00141	2,71	0,00202	2,62
" " 1400 cc.	0,00161	7,63	0,00230	7,40

(1) Tiryakioğlu - Kondic denklemlerine (45) göre hesaplanan a ve t_0 değerleri.

(2) Chvorinov denklemlerine (46) göre hesaplanan g ve t_0 değerleri.

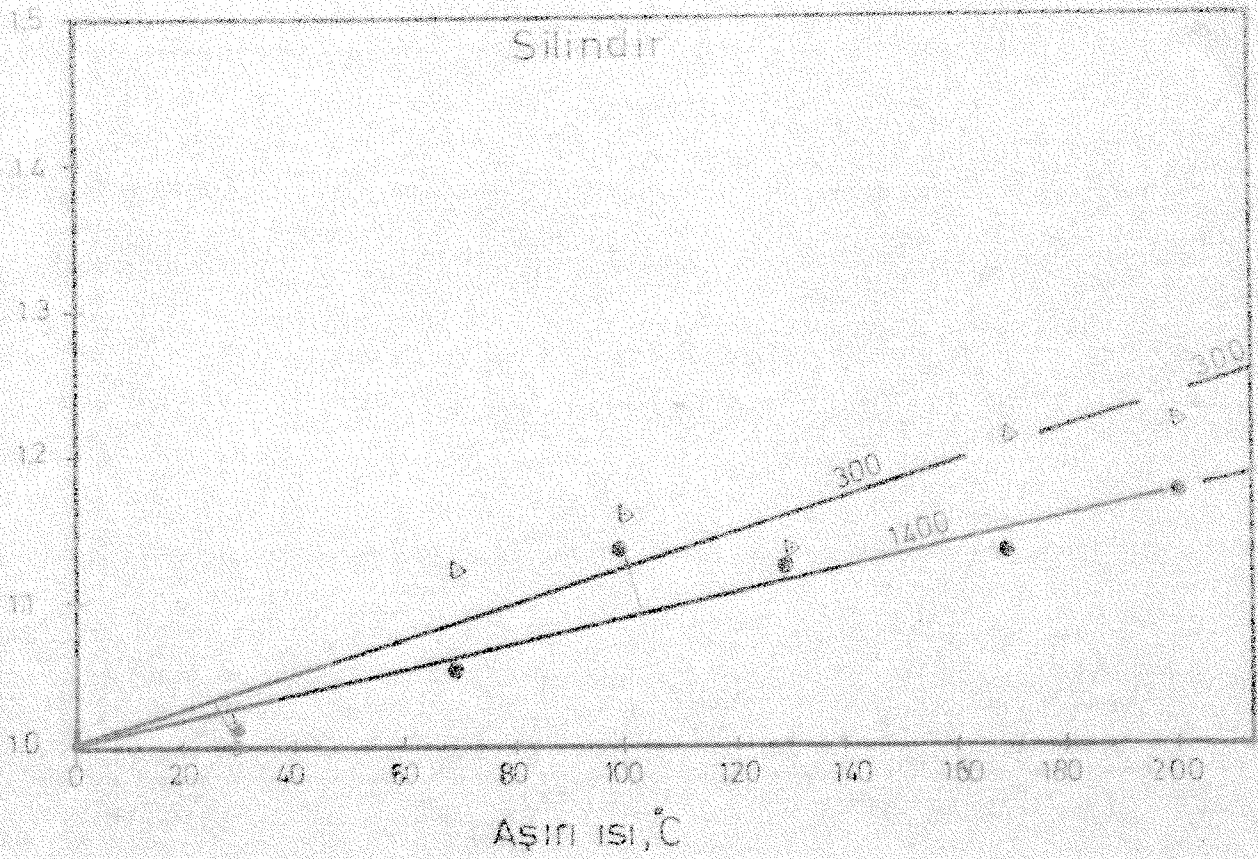


Şekil 16 - İndüksiyon sıcaklığı aralığında 1400 ve 300 mm çaplı çubukların katılma süreleri.

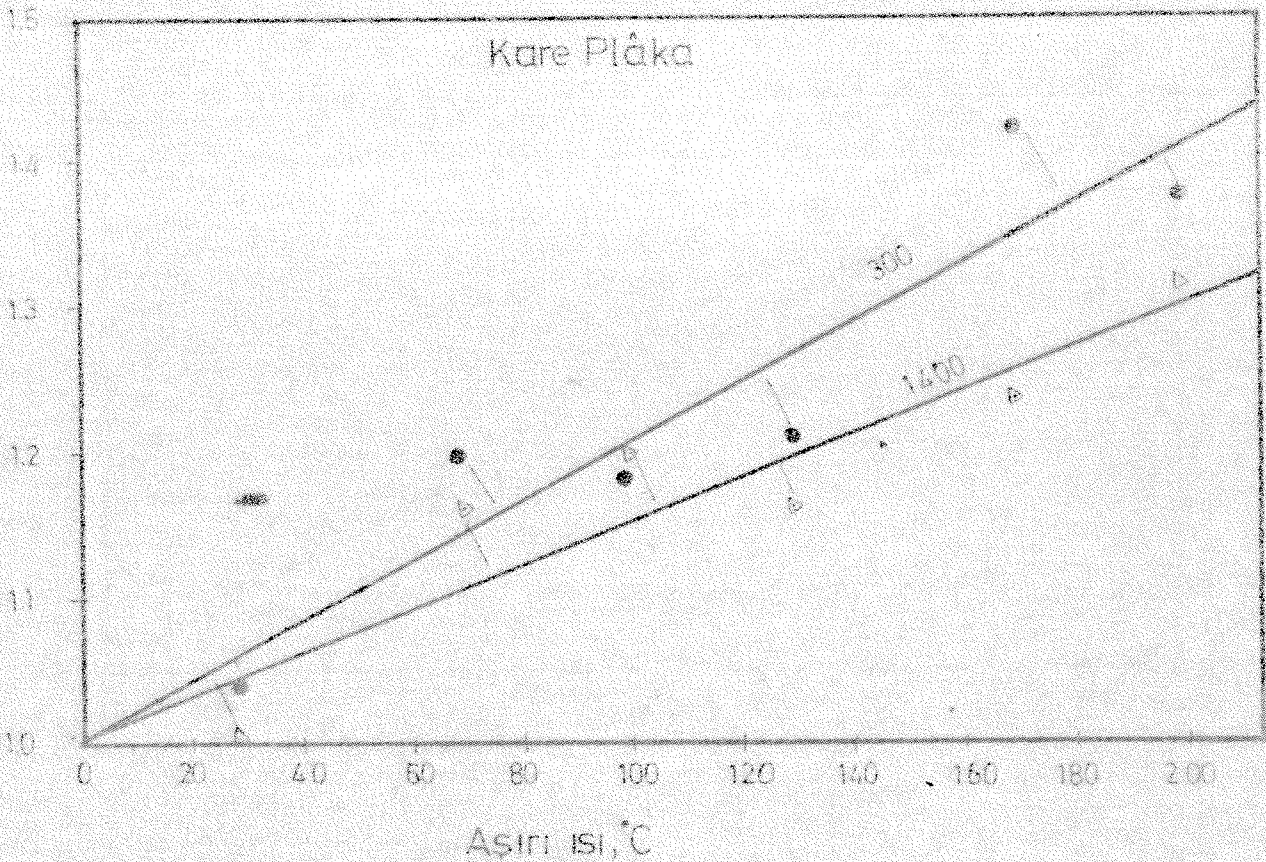


Şekil 17 - Al-Si birliktik oranından değişik aşırı sıcaklıklarla dokülen silindirik ve kare plaka deney parçalarının katılama süreleri.

(3.16)

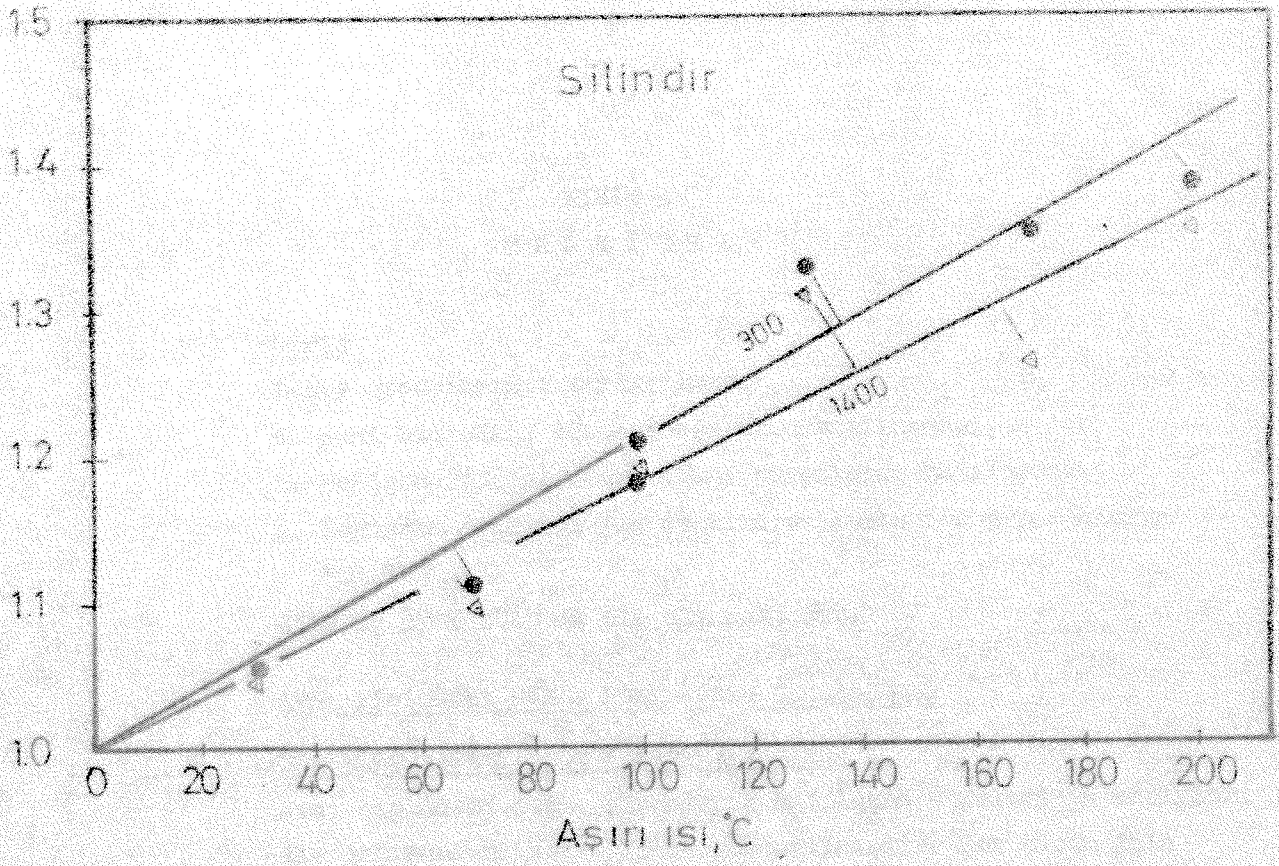


(3.17)

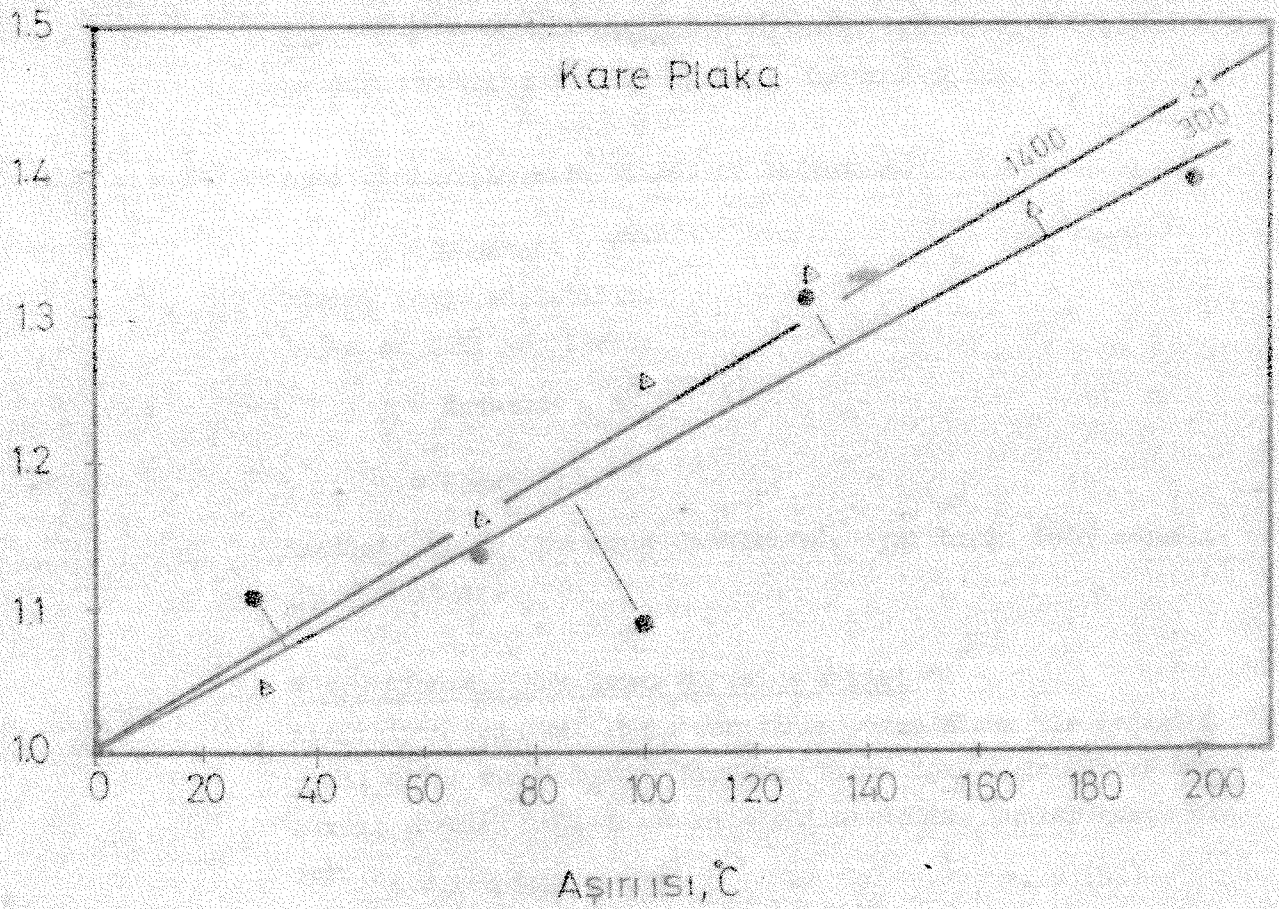


Şekil 16 - Antimandan değişik sıcaklıklarla ısıtılan silindir ve kare plâka deney partalarının izafi ısıtılma şerhleri. (Charinov yaklaşımı)

13:10



13:12



Şekil 19 - Al-Si eutektik alaşımından değişik aşırı sıcaklıklarla dökülen silindir ve kare plaka deney parçalarının izafi katılma süreleri. (Chvorinov yaklaşımı)

KISIM 5
T A R T I Ő M A

5.1 Giris

Deney sonuçlarının tartişılması:

- a. Aynı biçindeki dökme parçaların katılmaşması,
- b. Değişken biçimlerdeki dökme parçaların katılmaşması,
- c. Değişken aşırıısı ile dökülen yolluğlu dökme parçaların katılmaşması

diye üç ayrı bölüme ele alınmaktadır.

5.2 Aynı Biçindeki Dökme Parçaların Katılmaşması

5.2.1 Büyükliğün Katılmaşma Süresine Etkisi

Aynı biçindeki dökme parçaların katılmaşma sürelerinin hacimleri ile değişmeleri Şekil 20'de gösterilmiştir. Her biçim için ayrı ve birbirine paralel doğrusal bağantılar elde edilmiştir. Küre en yüksek katılmaşma süresini vermekte, T-T plaka ise en düşük katılmaşma süresine sahip bulunmaktadır.

Aynı biçim için elde edilen bu bağantılar:

$$t = \text{Konstant} \cdot H^{0,67} \quad \dots (52)$$

olarak ifade edilebilir.

Boyut analizi yapılırsa:

$$t = \text{Konstant} \cdot L^3 \times 0,67$$

$$= \text{Konstant} \cdot L^2$$

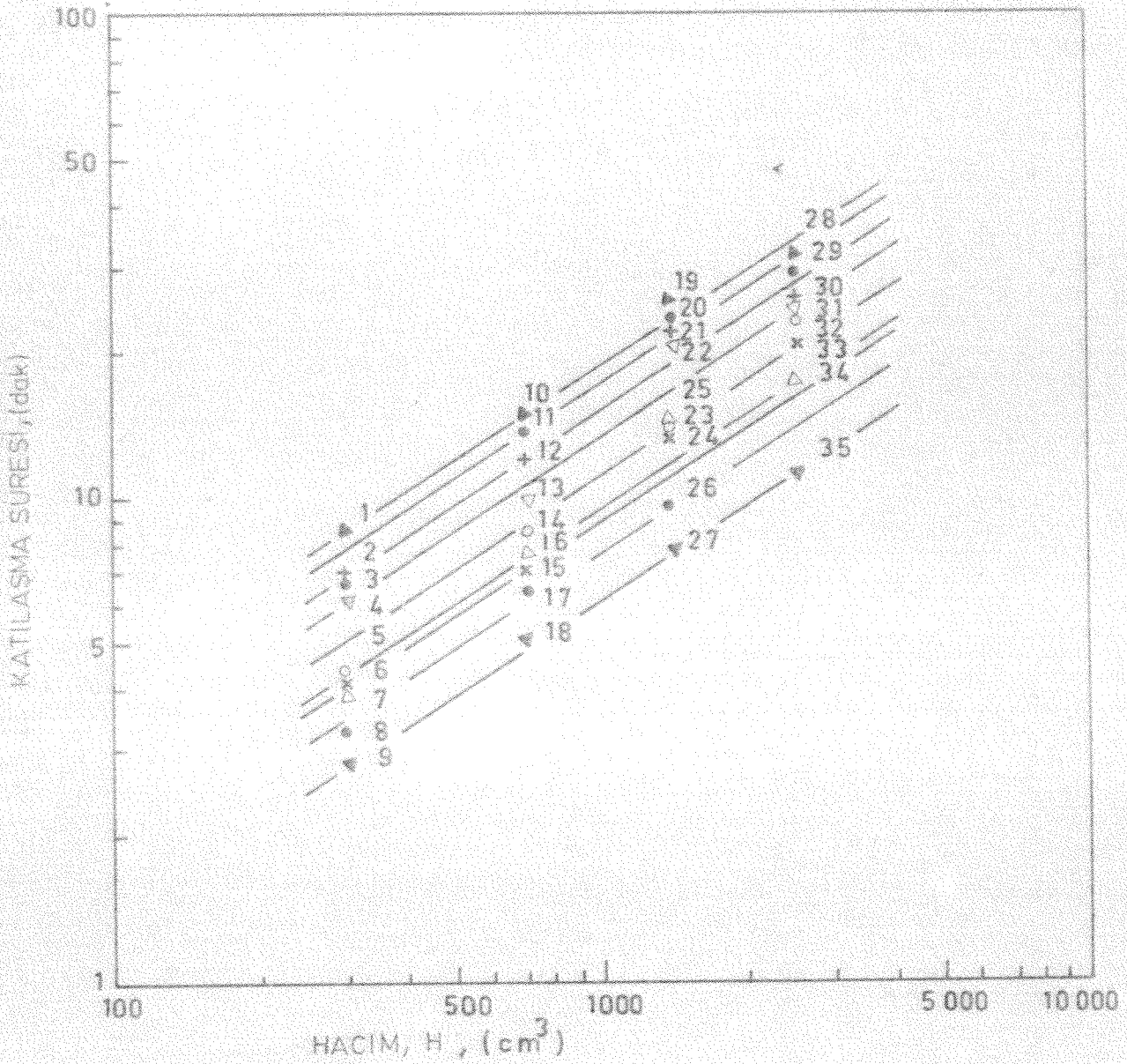
bulunur, bu da Chvorinov denkleminin aynı biçim için geçerliğine kanıttır.

5.2.2 Yüzey Alanının Katılmaşma Süresine Etkisi

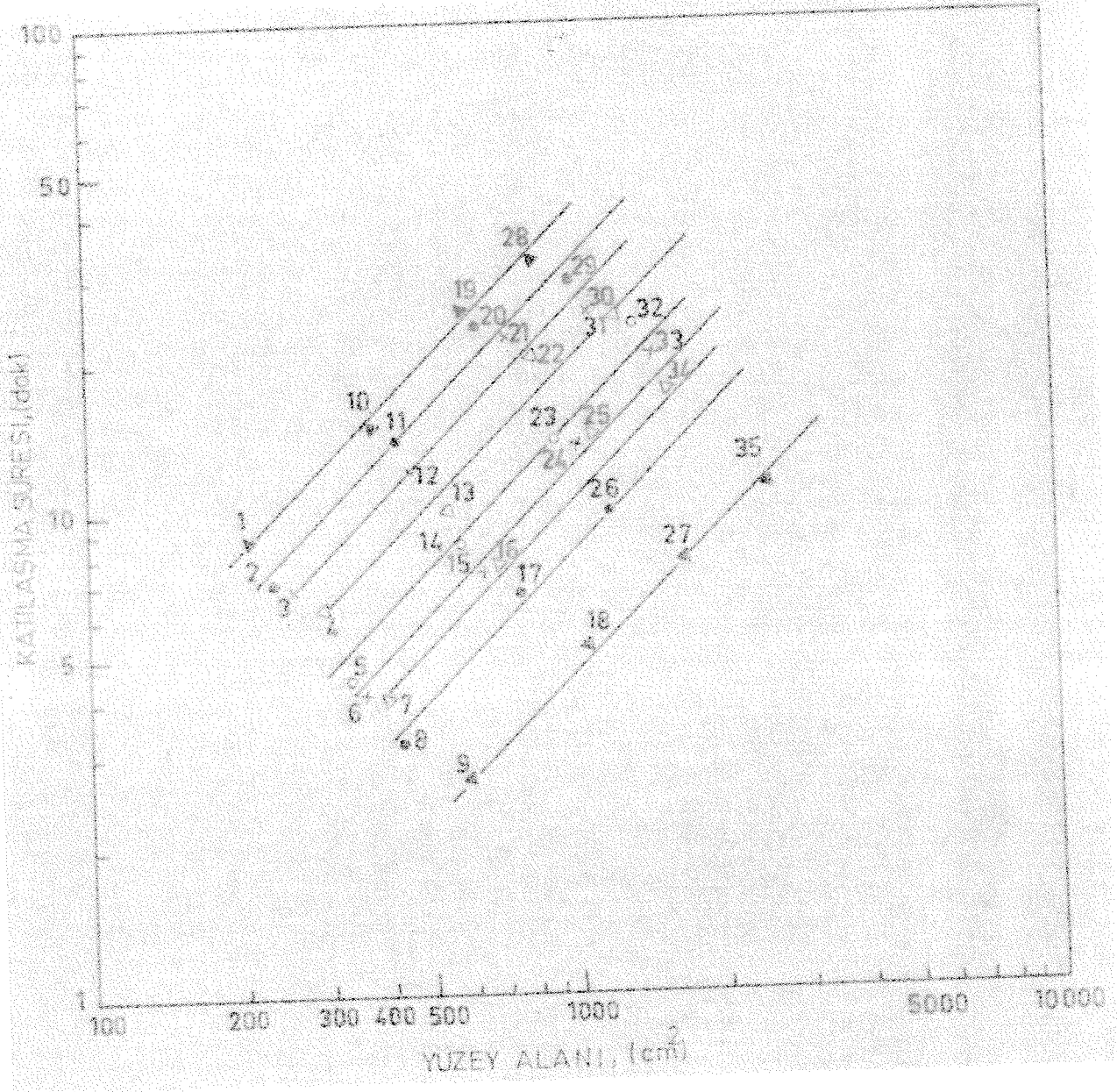
Aynı biçim için katılmaşma süresinin yüzey alanı ile değişimi Şekil 21'de sunulmuştur. Yine her biçim için doğrusal ve birbirine paralel bağantılar elde edilmiştir. Bunlar genel olarak:

$$t = \text{Konstant} \cdot A^{1,0} \quad \dots (53)$$

diye tanımlanabilir.



Şekil 20 - Aynı biçimdeki dölme parçaların katılma sürelerinin büyüklük ile değişmesi. En üstteki doğru küre, en alttaki ise T-T plâkadır.



Şekil 21 - Aynı biçimdeki dökme parçaların katılma sürelerinin yüzey alanı ile değişmesi. En üstteki doğru kürelere, en alttaki ise T-T plâkalarına aittir.

Boyut analizi :

$$t = \text{Konstant} \cdot L^2$$

vermektedir ve Chvorinov denklemine uygundur.

5.2.3 Chvorinov Parametresinin Katılma Süresine Etkisi

Chvorinov parametresi ile katılma süresi arasındaki bağlantı şekil 22'de görülebilir. Her biçim için değişik büyüklüklerdeki homolog deney parçaları, Chvorinov denkleminin öngördüğü $n = 2$ eğrinde bir doğru ile birleştirilebilen katılma sürelerine sahiptirler.

En toplu biçim olan küre (en sağda) ile en yaygın biçim olan T-T plâka (en solda) arasında yer alan deney parçaları katılma sürelerini, Chvorinov'un öngördüğü gibi tek bir denklemde toplamak, Chvorinov'un yaklaşımını ile mümkün değildir. Aynı H/A değeri için katılma süreleri arasındaki fark, T-T plâka yerine daha da yaygın biçimler kullanılmakla artacaktır. Bu, Halbart'ın öngördüğü küre/sonsuz plâka farkından çok büyüktür, ve küre ile T-T plâka katılma süreleri arasındaki fark 2,7 nisli mertebesinde dir.

Chvorinov denkleminin biçim etkisini içermediği açıktır.

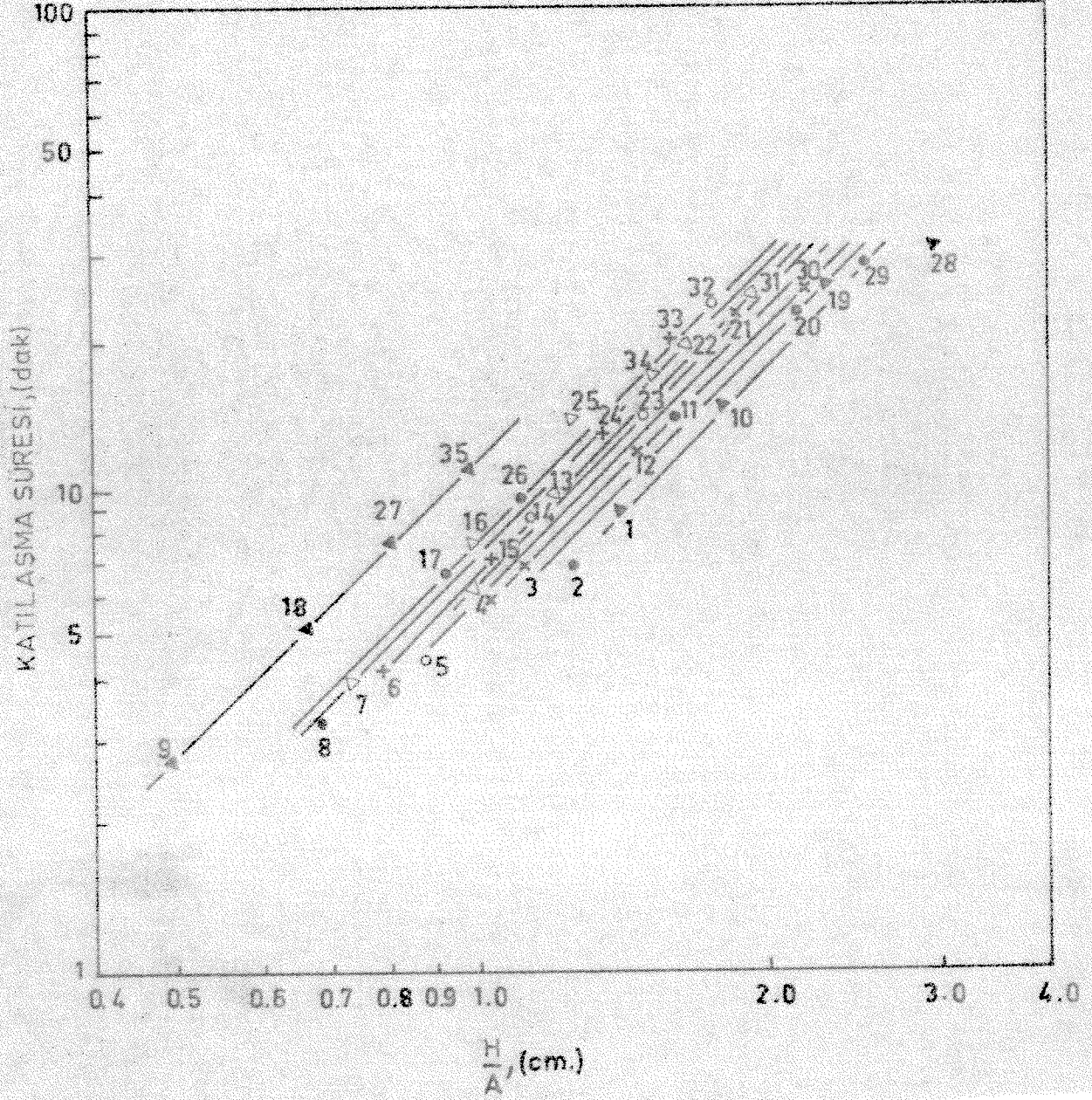
5.2.4 Sonuç

- a - Aynı biçimdeki dökme parçaların katılma süreleri, her biçim için, duyarlılıkla Chvorinov denklemine uymaktadırlar.
- b - Chvorinov denklemi biçim etkisini içermemektedir.

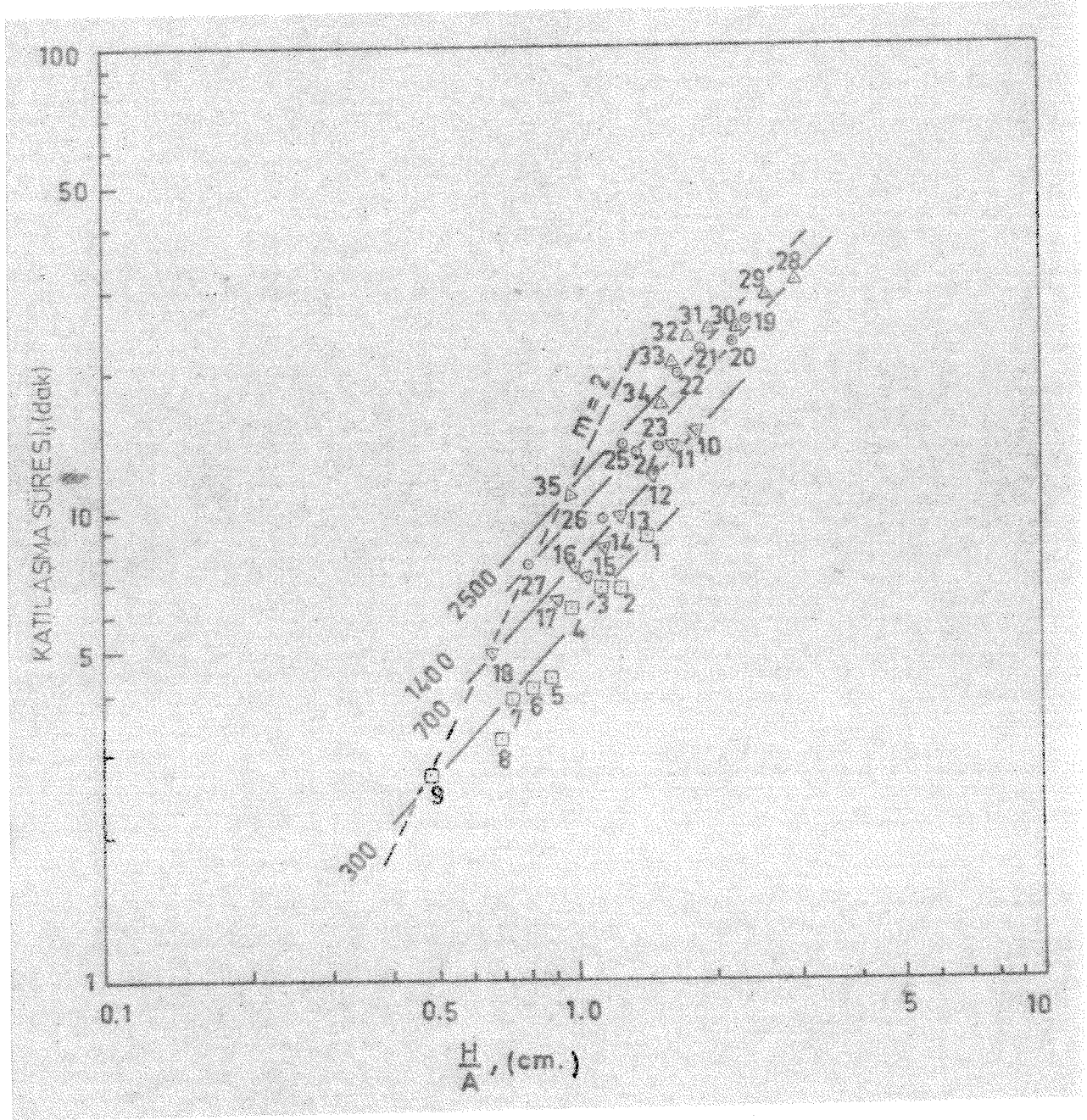
5.3 Değişken Biçimlerdeki Dökme Parçaların Katılma Süresi

5.3.1 Sabit Büyüklük Değişken Biçimlerdeki Dökme Parçalarda Chvorinov Parametresi- Katılma Süresi İlişkisi

Aynı büyüklükteki deney parçalarının katılma sürelerini H/A parametresi ile değişmesi şekil 23'de sunulmaktadır. T-T plâkaların katılma süreleri kesikli çizgili bir doğru ile birleştirilerek, Chvorinov denklemindeki $n = 2$ eğini işaretlemiştir.



Şekil 22 - Aynı biçindeki deney parçalarının Katılma Süreleri ile Chvorinov Parametresi arasındaki bağlantı. Doğruların eğimi $n = 2$ 'dir.



Şekil 23 - Aynı büyüklükte ve değişik biçimlerdeki deney parçalarında Chvorinov Parametresi ve Katılama Süresi ilişkisi. $n = 2$ doğrusu T-T plâka için çizilmiştir.

Her büyüklük grubu için yaklaşık olarak bir doğru ile katılaşıma süreleri H/A cinsinden ifade edilebilir. Ancak, her büyüklük için farklı bir bağıntı bulunması, Chvorinov denkleminin değişken biçim durumunda büyüklük etkisini içermediğini kanıtlanmaktadır.

5.3.2 Sabit Büyüklük için Yüzey Alanı-Katılama Süresi Bağıntısı

Katılama süresi ile yüzey alanı arasındaki:

$$t = c_1 \cdot A^n \quad \dots (49)$$

şeklinde elde edilen denklemindeki n değerinin, Chvorinov'un öngördüğü $n = -2$ değerinden çok farklı oluşu, anlamlı bir bulgudur. Biçim etkisi her ne kadar A^{-2} cinsinden ifade ediliyorsa da, sabit bir büyüklük için biçimin katılama süresine etkisi yüzey alanının fonksiyonu olarak tanımlanabilmekte, ancak n değeri $(-1,165)$ kadar olmaktadır. n değerini duyarlı olarak saptamak için büyüklüğün bu araştırmanın olanakları dışında arttırılması ve daha çok sayıda biçimlerle çalışmak gerekebilir. Bu araştırmanın başında da değinildiği gibi, tek bir besleyicinin besleme bölgesi içinde kalan tek ısı merkezli dökme parçalar gözönüne alınır, kullanılan büyüklükler için kapsanan "biçim sahası" yeterlidir ve bu saha içinde n sabittir denilebilir.

5.3.3 Biçim ve Büyüklük Etkilerini İçeren Ampirik Katılama Denklemi

Sabit büyüklük için elde edilen (49) denklemi konstantanın büyüklük değişkenini de içerecek şekilde:

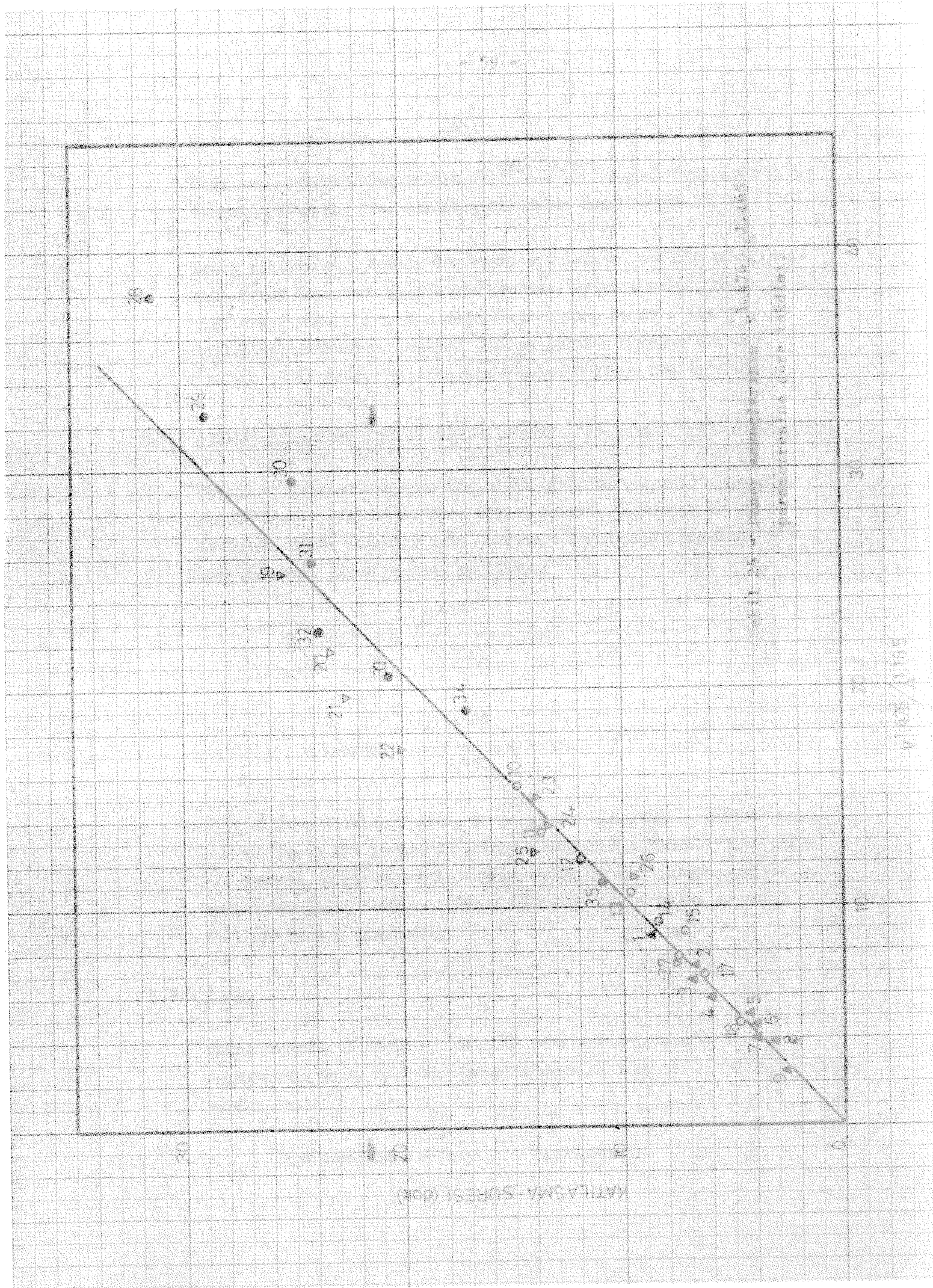
$$c_1 = c_2 \cdot H^n \quad \dots (50)$$

olarak ifade edilebildiğine sayfa 41'de değinilmiştir.

$n = -1,165$ değeri için, en küçük kareler yöntemiyle bulunan n değeri $1,476$ ve c_2 değeri de $0,964$ 'dür. Buna göre, biçim ve büyüklük etkilerini içeren ampirik katılama denklemi, antimon ve 100°C aşırıısı için:

$$t = 0,964 \frac{H^{1,476}}{A^{1,165}} \quad \dots (54)$$

olarak bulunur.



Katılaşma süresi değerlerinin $H^{1,476} / A^{1,165}$ parametresi fonksiyonu olarak grafiksel gösterilimi şekil 24'de sunulmuştur.

Deney noktalarının denklemlerden sapma oranları en çok %18 civarındadır. Deney sonuçları genellikle denkleme uymaktadırlar. Daha çok sayıda deney yapmakla n ve n değerlerinin daha duyarlı olarak elde edilmeleri mümkündür. Deneysel olarak bulunan n değerlerindeki (-1,01) ile (-1,249) arasında saçılma böylece azaltılabilir.

5.3.4 Ampirik Katılaşma Denklemine Chvorinov Denklemleriyle Karşılaştırılması

Chvorinov denkleminin aynı biçimdeki dökme parçalar için geçerli olduğu tesbit edilmişti. Elde edilen ampirik denklemin de aynı biçimdeki dökme parçalar için Chvorinov denkleminin boyutunu vermesi gerekir. Boyut analizi yapılırsa:

$$t = \text{Konstant} \cdot \frac{H^{1,476}}{A^{1,165}} = \text{Kons.} \cdot \frac{L^3 \times 1,476}{L^2 \times 1,165}$$
$$= \text{Konstant} \cdot \frac{L^{4,428}}{L^{2,330}} = \text{Kons.} \cdot L^{2,098} \quad L^2$$

elde edilir. Görüldüğü gibi, bu çalışmada elde edilen ampirik denklemler çok küçük bir farkla Chvorinov denklemini sağlamaktadır. Başka bir deyişle, ampirik denklem dökme parçaların katılaşma sürelerini tanımlayan genel denklem, Chvorinov katılaşma denklemini de bunun özel bir çözümü olmaktadır.

5.3.5 Sonuç

Dökme parçalarda biçim ve büyüklük etkilerini içeren ve Chvorinov denkleminin bunun özel bir çözümü olduğu ampirik bir katılaşma denklemi vardır, ve :

$$t = \text{Konstant} \cdot \frac{H^n}{A^n} \quad \text{şeklindedir.}$$

Bu araştırmanın deney koşulları için konstantın değeri 0,964, ve $n = + 1,165$ ve $n = 1,476$ olarak bulunmuşlardır.

5.4 Değişken Aşırılığı ile Dökülen Yolluklu Dökme Parçaların Katılaşması

Yolluklu olarak antinuan ve alüminyum-silisyum ötektik alaşımından dökülen küre ve kare plâka dökümlerinin katılaşma süreleri, daha önce önerilen Tiryakioğlu-Kondic ve Chvorinov denklemlerine uymaktadırlar. Deney parçalarında saçılma doğal olarak yolluksuz dökülen parçalarına göre oranla daha fazladır. Ancak, daha önce de değinildiği gibi, sapmalar daha büyük parça ve daha yüksek sıvı özgül ısısına sahip metal-lerde daha az olabilecektir.

Yolluklu ve yolluksuz dökülen dökme parçalar için, genel olarak biçim, büyüklük ve aşırılığı etkilerini içeren bir katılaşma denklemi şu şekillerde yazılabilir:

$$a - \quad t = \text{Konstant} \cdot \frac{H^n}{A^n} \cdot e^{a \cdot U} \quad \dots (55)$$

veya,

$$b - \quad t = \text{Konstant} \cdot \frac{H^n}{A^n} \cdot (1 + g \cdot U)^2 \quad \dots (56)$$

Burada her iki konstant değeri , a ve g kullanılan metal ve kalıp fiziksel değişkenlerine bağlı olarak değişeceklerdir, n ve n sabit değerlerdir.

KISIM 6

Ö Z E T

Kuma yapılan dökümlerde parça biçim ve büyüklüğünün katılma süresine etkisi, antinuan ve 100°C aşırıısı kullanılarak benzer katılma koşulları için, araştırıldı. Aşırıısının katılma süresine etkisi belirli parçalar kullanılarak antinuan ve alüminyum-silyum ötektik alaşımı üzerinde incelendi.

Sistemantik olarak ilk defa yapılan bu deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar şöyle özetlenebilir:

- 1 - Aynı biçimdeki dökme parçaların katılma süreleri, her biçim için, duyarlıkla Chvorinov denkleminine uymaktadırlar.
- 2 - Küre ile sonsuz plâka katılma süreleri arasında, Halbart'ın öngördüğü maksimum %10 fark değil, %270'den fazla fark olabileceği, gerçekte karşılaşılabilen dökme parçalar için, isbatlanmıştır. Halbart'ın ana görüşüne dayanan Hamur yaklaşımı da bu nedenle teorik kalmaktadır.
- 3 - Değişken biçimli parçalarda Chvorinov katılma denklemi biçim ve büyüklük etkilerini içermektedir. Bu, 1939'dan beri inanılanın tersi bir durumdur.
- 4 - Dökme parçalarda biçim ve büyüklük etkilerini içeren ve Chvorinov katılma denkleminin bunun özel bir çözümünü teşkil ettiği genel bir ampirik katılma denklemi vardır, ve:

$$t = \text{Konstant} \cdot \frac{H^n}{A^m}$$

şeklinde yazılabilen bu denklemde n ve m 2 değerinden çok farklıdır. Bu araştırmanın deney koşulları için konstantın değeri 0,964 olarak bulunmuştur. Ayrıca, n = 1,476 ve m = +1,165 'dir.

- 5 - Aşırıısının katılma süresini tanımlamak üzere önerilen Chvorinov ve Tiryakioğlu-Kondic aşırıısı denklemlerinin ikisinin de geçerli olduğu saptanmıştır.
- 6 - Aşırıısı, biçim ve büyüklük etkilerini içeren genel bir katılma

denkleri şu şekillerde yazılabilir:

$$t = \text{Konstant} \cdot \frac{H^n}{\Lambda^n} \cdot e^{a \cdot U}$$

veya,

$$t = \text{Konstant} \cdot \frac{H^n}{\Lambda^n} \cdot (1 + g \cdot U)^2$$

SECTION 6

SUMMARY

The effect of shape and size on the solidification times of sand castings has been investigated under similar solidification conditions, by using antimony cast with a superheat of 100°C . The effect of superheat on solidification times has been studied by using antimony and aluminium-silicon eutectic alloy on certain test castings.

The findings of this experimental work, which happens to be the first systematic one of its kind, can be summarized as follows:

- 1 - The solidification times of castings of same shape, conform precisely to the Chvorinov solidification equation, separately for each shape.
- 2 - The difference between the solidification times of spheres and of infinite plates is not 10% at the maximum as calculated by Halbart, but it can be as much as 270% for shapes encountered in practice. Namur's approach, based primarily on Halbart's, is considered to remain theoretical for the same reason.
- 3 - Chvorinov's solidification equation does not express the effect of shape and size when castings of varying shape are considered. This is contrary to what was believed to be true since 1939.
- 4 - There exists a general empirical solidification equation which considers the effect of shape and size of castings, and whose Chvorinov's solidification equation constitutes a particular solution, such as:

$$t = \text{Constant} \cdot \frac{V^n}{A^m}$$

where the values of n and m , the empirical constants, are too much different from 2. For the experimental conditions of this research, the value of the constant has been determined as 0.964, n was found as 1.476 and m as -1.165.

- 5 - Chvorinov and Tiryakioğlu-Kondic equations, put forward to define

the influence of superheat on the solidification times of castings, has been found to be both valid.

6 - A general solidification equation which takes the effects of shape, size and superheat into consideration, can be written as:

$$t = \text{Constant} \cdot \frac{V^n}{A^n} \cdot e^{a \cdot U}$$

or as:

$$t = \text{Constant} \cdot \frac{V^n}{A^n} \cdot (1 + g \cdot U)^2$$

where V denotes the volume, A the surface area of the casting, n, m, a and g are empirical constants, and U the superheat.

DİKLİYOGRAFYA

- 1 - Heuvers, A., Stahl und Eisen, 1929, 49, s. 1249-1236
- 2 - Schwartz, C., Archiv für das Eisenhüttenwesen, 1931, 5, (3), s. 139-148, ve, (4), s. 177-191
- 3 - Riemann-Weber, Die partiellen Differentialgleichungen der mathematischen Physik, 5. Baskı, 1912, Cilt 2, s.121
- 4 - Chvorinov, N., Foundry Trade Journal, 1939, 61, (1199), s.95-99
- 5 - Chvorinov, N., Die Giesserei, 1940, 27, (10) s.177-186 ve (12), s.222-5
- 6 - Chvorinov, N., Hutnické Listy, 1951, 6, (11), s.549-552, ve (12), s. 594-598. B.S.C.R.A. Tercine No. 10,10A.
- 7 - Chvorinov, N., 30. Uluslararası Dökümcülük Kongresi, Prag, 1963, s. 357-382
- 8 - Holbart, G., Eléments d'une Théorie Mathématique de la Fonderie, Editions Vaillant-Carmanne, Liège, 1945
- 9 - Carslaw, H.S. ve J.C.Jaeger, Conduction of Heat in Solids, 2. Baskı, Oxford at The Clarendon Press, 1960
- 10 - Namur, R., 21. Uluslararası Dökümcülük Kongresi, Floransa, 1954, Makale No.12
- 11 - Koppe, W., Giesserei Technisch-Wissenschaftliche Beihefte, 1960, (28), s.1535-1543
- 12 - Briggs, C.W ve R.A.Gezelius, Transactions of the American Foundrymen's Association, 1935, 43, s.274
- 13 - Nechendzi ve Girshowitch, Zatverdevanie Metallov, 2. Sempozyum Makaleleri, Mashgiz, Moskova, 1958, s.33-90
- 14 - Deery, J., V.Kondic, ve G. Martin, Transactions of The American Foundrymen's Association, 1959, s. 449-476
- 15 - Chvorinov, N., 30. Uluslararası Dökümcülük Kongresi, Prag, 1963, s. 357-382
- 16 - Tiryakioğlu, E., V.Kondic ve C.Richmond, Metalürji, 1, (1), 1972, s. 15-21
- 17 - Ruddle, R.W., Solidification of Castings, Institute of Metals, Londra, 1957
- 18 - Weston, J., ve V.Kondic, Foundry Trade Journal, 1961, 111, (2351), s.791-797
- 19 - Tiryakioğlu, E., A Study of The Dimensioning of Feeders for Sand Castings, Doktora Tezi, Department of Industrial Metallurgy, Birmingham University, 1965