

127721

**ÖTEKTİK Al - Si ALAŞIMININ MİKROYAPI KONTROLUNDA
YAVAŞ SOĞUTMA TEKNİĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Met. Müh. Turgay TURSUN
(506931053)

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON BİREKİMİ**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 2 Ocak 2002
Tezin Savunulduğu Tarih : 17 Ocak 2002

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ö. Aydın ATASOY
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Kutsal TÜLBENTÇİ
Prof. Dr. Şadi KARAGÖZ (KOÜ)

OCAK 2002

[Handwritten signature]
[Handwritten signature]
[Handwritten signature]
127721

ÖNSÖZ

Tez çalışmamı yönlendiren, çalışmalarında yardımcı olan ve aynı zamanda konuyla ilgili olarak yaptığı çalışmalarından yararlandığım değerli hocam Sayın Prof. Dr. Ö.Aydın ATASOY'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tercümelerime yardımcı olan sevgili eşim Artemiz Güler TURSUN'a, ASSAN laboratuvar imkanlarını kullandıran, ASSAN Kalite Güvence Müdürü Metalurji Y. Mühendisi Sayın Soner AKKURT'a, VURSAN SİLAH SAN. A.Ş. Kalite Güvence Laboratuvar imkanlarını kullandıran Mak. Müh. Sayın Gültekin SÜDAŞ'a, deneylerde kullanılan çekme çubuklarını büyük bir titizlikle hazırlayan iş ortağım Sayın Şenel ÇİNGÖL'e, yokluğumda işlerimizi aksaksız olarak yürüten Sayın Aydın KAYA'ya, Sayın Ahmet BAŞKURT'a ve Sayın Mehmet ESENLIKÇİ'ye ayrıca fakültemiz araştırma görevlilerinden Sayın Tahsin BOYRAZ'a ve teknikseyen Sayın Mızrap KAŞIBEYAZ'a teşekkür ederim.

Oğlum ERDEM TURSUN'a

Ocak 2002

Met. Müh. Turgay TURSUN

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	iv
TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	vii
ÖZET	viii
SUMMARY	ix
1. GİRİŞ ve AMAÇ	1
2. ÖTEKTİK Al – Si ALAŞIMLARINA GENEL BİR BAKIŞ	4
2.1. Katılma Mekanizmaları	4
2.1.a. Eşsiz Büyüme	4
2.1.b. Kısmen Eşli Büyüme	5
2.1.c. Eşli Büyüme	7
2.2. Saf Al – Si Ötektik Alaşımlarının Mikroyapıları	8
2.3. Stronsiyum İle Modifiye Edilmiş Al – Si Ötektik Alaşımlarının Mikroyapıları	10
3. SİLİSYUM MODİFİKASYONU	14
3.1. Modifikasyon Mekanizması	14
3.2. Modifiye Yapıcı Elementler ve Yan Etkileri	16
3.3. Hidrojen Girişi ve Kayıplar	17
3.4. Akıcılık	18
3.5. Doğrusal olarak katılaştırılmış Al - Si ötektik alaşımının mekanik özellikleri	18
4. FAZLAR ARASI MESAFE ÖLÇÜMLERİ	24
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	27
5.1. Ötektik Al – Si Alaşımının Hazırlanması	27
5.2. Mikroyapı Çalışmaları	27
5.3. Isıl İşlemler	28
5.4. Çekme Çubuklarının Hazırlanması ve Çekme Deneyleri	32
5.5. Elektron Mikroskobu (S.E.M) çalışması	33
5.6. Sertlik Ölçümleri	33
6. GENEL SONUÇLAR	36
KAYNAKLAR	40
ÖZGEÇMİŞ	42

KISALTMALAR

U.T.S : Ultimate Tensile Strength
H.B : Hardness Brinell
S.E.M : Scanning Electron Microscope
Dev : Devir



TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1.	Alüminyum – Silisyum alaşımlarında silisyumu modifiye edici olarak kullanılan elementlerin karakteristik özellikleri	15
Tablo 3.2.	Doğrusal olarak katılaştırılmış Al – Si ötektik alaşımının oda sıcaklığın daki çekme deney sonuçları	19
Tablo 3.3.	Kum ve metal kalıba dökülmüş teknik kalitedeki ötektik Al-Si alaşımlarıyla ilgili olarak literatürde verilen mekanik özellikler	23
Tablo 5.1.	Deneyde kullanılan ötektik alaşımların elementel analizi	27
Tablo 5.2.	Al – Si ötektik alaşımının ısı – işlem sıcaklık değerleri	29
Tablo 5.3.	Vickers sertlik değerleri	34
Tablo 6.1.	Al – Si ötektik alaşımlarının çekme mukavemet değerleri	39

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1. 1.	Al – Si Faz diyagramı	2
Şekil 2. 1.	Al - % 12,7 Si alaşımında $V = 53 \mu\text{m/sn}$ katılaşma hızıyla elde edilen “y” Şekilli ve fleyk silisyum kristallerinin enine kesitteki görünüşü.	5
Şekil 2. 2.	Al – % 11.45 Si alaşımı $V = 317 \mu\text{m / sn}$ katı – sıvı arayüzeyi	6
Şekil 2. 3.	a) Al - % 12.7 Si alaşımında $V = 10 \mu\text{m/sn}$ katılaşma hızıyla elde edilen katı – sıvı arayüzeyi. b) Al - % 12.7 Si , % 0.062 Sr alaşımı. $V = 10 \mu\text{m / Sn}$ katılaşma hızıyla elde edilen katı – sıvı arayüzeyi.	7
Şekil 2. 4.	Saf Al – Si ötektik alaşımlarında, yönlenmiş katılaşma sonucu oluşan mikroyapıların bileşim ve katılaşma hızı dikkate alınarak sınıflandırılması	9
Şekil 2. 5.	Sr ile modifiye edilmiş Al- Si ötektik alaşımında mikroyapılar	10
Şekil 2. 6.	Stronsiyum bileşimine bağlı olarak elde edilen mikroyapılar	12
Şekil 2. 7.	Eşli bölgede bulunan ötektik silisyum mikroyapıları	13
Şekil 3. 1.	Katılaşma hızı – akma mukavemeti diyagramı	20
Şekil 3. 2.	Katılaşma hızı – çekme mukavemeti diyagramı	20
Şekil 3. 3.	a ve b Sr ile modifiye edilerek kuma dökülen Al Si 12 alaşımının mekanik özelliklerinin Sr miktarına göre değişimi	22
Şekil 4. 1.	a) Al - % 2.7 Si alaşımı, $V = 53 \mu\text{m/sn}$. Enine kesit, X180. “Y” şekilli açısal silisyum kristalleri arasında yaklaşık olarak birbirine paralel Fleyk silisyum kristallerinden oluşan koloniler görülüyor. b) Al - % 13.17 Si alaşımı , $V = 40 \mu\text{m / sn}$. Boyuna kesit , X 200 c) Al - % 12.7 Si alaşımı , $V = 10 \mu\text{m / sn}$	25
Şekil 4. 2.	Fazlararası mesafe diyagramlarının toplu olarak karşılaştırılması	26
Şekil 5. 1.	Al - % 12,7 Si - % 0,04 Sr içeren alaşımda döküm mikroyapısı	28
Şekil 5. 2.	Deney düzeneği	29
Şekil 5. 3.	Sr ile modifiye edilmiş Al – Si alaşımının ısıtma – soğutma diyagramı	30
Şekil 5. 4.	1,7 °C/dak’lık soğuma hızıyla soğutulan ötektik alaşımın mikroyapısı	31
Şekil 5. 5.	Deneylerde kullanılan çekme çubuklarının ölçüleri	32
Şekil 5. 6.	Çapı 2.90 mm olan numune için gerilme - % uzama diyagramı	33
Şekil 5. 7.	S.E.M ‘ den elde edilen mikroyapının görünüşü , X 1000	34
Şekil 5. 8.	S.E.M ‘ den elde edilen mikroyapının görünüşü , X 1800	35
Şekil 6. 1.	Al - % 12,7 Si - % 0,04 Sr içeren ötektik alaşımında arayüzey hızı-radyal mesafe eğrisi	37
Şekil 6. 2.	Al - % 12,7 Si - % 0,04 Sr içeren ötektik alaşımında arayüzey hızı-radyal mesafe eğrisine bağlı olarak oluşan mikroyapılar	37
Şekil 6. 3.	Yönlendirilerek katılaştırılmış Al - Si ötektik alaşımında mikroyapının bileşim ve katı – sıvı arayüzey hızına göre sınıflandırılması.	38

SEMBOL LİSTESİ

λ	: Fazlar arası mesafe , μm
V	: Katılma hızı , $\mu\text{m} / \text{sn}$



ÖTEKTİK Al - Si ALAŞIMININ MİKROYAPI KONTROLUNDA YAVAŞ SOĞUTMA TEKNİĞİ

ÖZET

Al – Si ötektik alaşımlarının mekanik özellikleri modifikasyon işlemi ile önemli ölçüde iyileştirilirken kullanım alanı da genişler. Uygulama alanında modifikasyon işlemi ya kum kalıpta küçük miktarlarda modifiye edici element (Na, Sr) kullanılarak ya da metal kalıpta hızlı soğutma ile yapılmaktadır. Al – Si ötektik alaşımı kum kalıba döküldüğünde veya hızlı şekilde soğutulduğunda, yapıda fiber silisyum ile birlikte yumuşak bir faz olan ve mekanik özellikleri olumsuz yönde etkileyen α - Al dendritleri ortaya çıkar.

Bu çalışmada stronsiyum ile modifiye edilmiş ticari saflıktaki Al – Si ötektik alaşımının mekanik özelliklerini geliştirmek için yeni bir katılaştırma yöntemi denenmiştir. Bu katılaştırma yönteminde stronsiyum ile modifiye edilmiş Al – Si ötektik alaşımında α - Al dendritlerinin oluşumunu önlemek ve fleyk halindeki silisyumu fiber haline dönüştürmek için ötektik alaşım, 1,7 °C/dak.'lık bir soğuma hızı ile fırında soğutularak katılaştırılmıştır.

Katılaştıran alaşım üzerinde yapılan mikroyapı çalışmalarında yapının tamamen fiber silisyumdan oluştuğu görülmüştür. Yavaş soğutmayla elde edilen ve tamamen fiber silisyumdan oluşan yapının mekanik özelliklerinin diğer katılaştırma yöntemlerine (kum veya metal kalıba döküm) göre oldukça yüksek olduğu ve daha önce Atasoy ve Exner (1988) tarafından yapılan çalışmada 255 N / mm² değerine çıkmıştır. Bu değeri doğrulamak için yavaş soğutma uygulanan alaşımdan çekme deneyi için çekme çubukları hazırlanarak çekme deneyleri yapılmış ve sertlikleri ölçülmüştür. Yapılan sertlik ölçümlerinde 60 - 70 micro vickers sertlik değerleri bulunmuştur. Gaz boşluklarından dolayı sağlam çekme çubukları elde edilememiştir. Yaptığımız çekme deneyleri sonucunda 130 - 145 N / mm² arasında değerler bulunmuştur.

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

SLOW COOLING TECHNIQUE OF Al-Si EUTECTIC ALLOY UNDER THE MICROSTRUCTURE CONTROL

SUMMARY

The mechanical properties of Al – Si eutectic alloys are improved greatly by modification process and the using area of these alloys are widened. Modification process is either being done by adding small amounts of modifier elements (Na or Sr) to sand cast or is done by highly cooling of the alloys.

When Al – Si alloys are cast as a sand cast even when highly cooled in foundry condition soft α - Al dendrites which badly effects the mechanical properties, are found together with silicon fibers.

In this study, a new solidifying method was experienced in order to improve the mechanical properties of Al – Si eutectic alloys. In this solidifying method, Strontium modified Al – Si eutectic alloy was solidified at a rate of 1.7 °C/min. in the furnace. As a result α - Al formation was prevented and flake silicon transformed to the fiber silicon and this microstructure increased the mechanical properties of alloy.

The microstructure studies on the solidified alloy showed that the microstructure is entirely formed by fiber silicon. It has been stated that the mechanical properties of the fiber silicon which has formed by slow cooling rather higher than other solidifications methods such as sand or metal casting. Approximately 255 N / mm² . Rods has been prepared for tensile test from the slow cooled alloy and hardness value of the eutectic alloy has measured. Measurements showed hardness value between 60 – 70 micro vickers. As a result of gas holes , problems were faced on the preparation of the rods. To eliminate gas problem it has been tried to lower the measurement values of the sample to the possible minimum value but then Breaking problem of the sample has appeared in the machining process. For all these reasons problem free rods can not be obtained. Values of 130 – 145 N / mm² has been found as a result of the tensile tests.

Therefore , it has been seen that higher mechanical properties can be obtained when problem free rods is obtained.

1. GİRİŞ ve AMAÇ

Al ve alaşımları günümüzde büyük ölçüde kullanılmaktadır. Kullanımının bu denli büyük bir hızla yayılmasının nedenleri olarak, demir ve bakırdan üç kez hafif olması ağırlık oranları dikkate alındığında bakıra nazaran daha iletken olmasıdır.

Boksit cevherlerinde bulunan kuvars ve silikatlı kayaçlar nedeniyle, Silisyum alüminyum içinde çok miktarda bulunan elementlerin başında gelir. Bakırdan sonra alüminyumda en yaygın kullanılan alaşım elementidir. Alüminyuma akışkanlık, kaynak kabiliyeti ve yüksek mekanik özellikler kazandırdığı gibi bazı elementlerin ilavesi ile ısıtılma uygun alaşımlar yapmak da mümkündür.

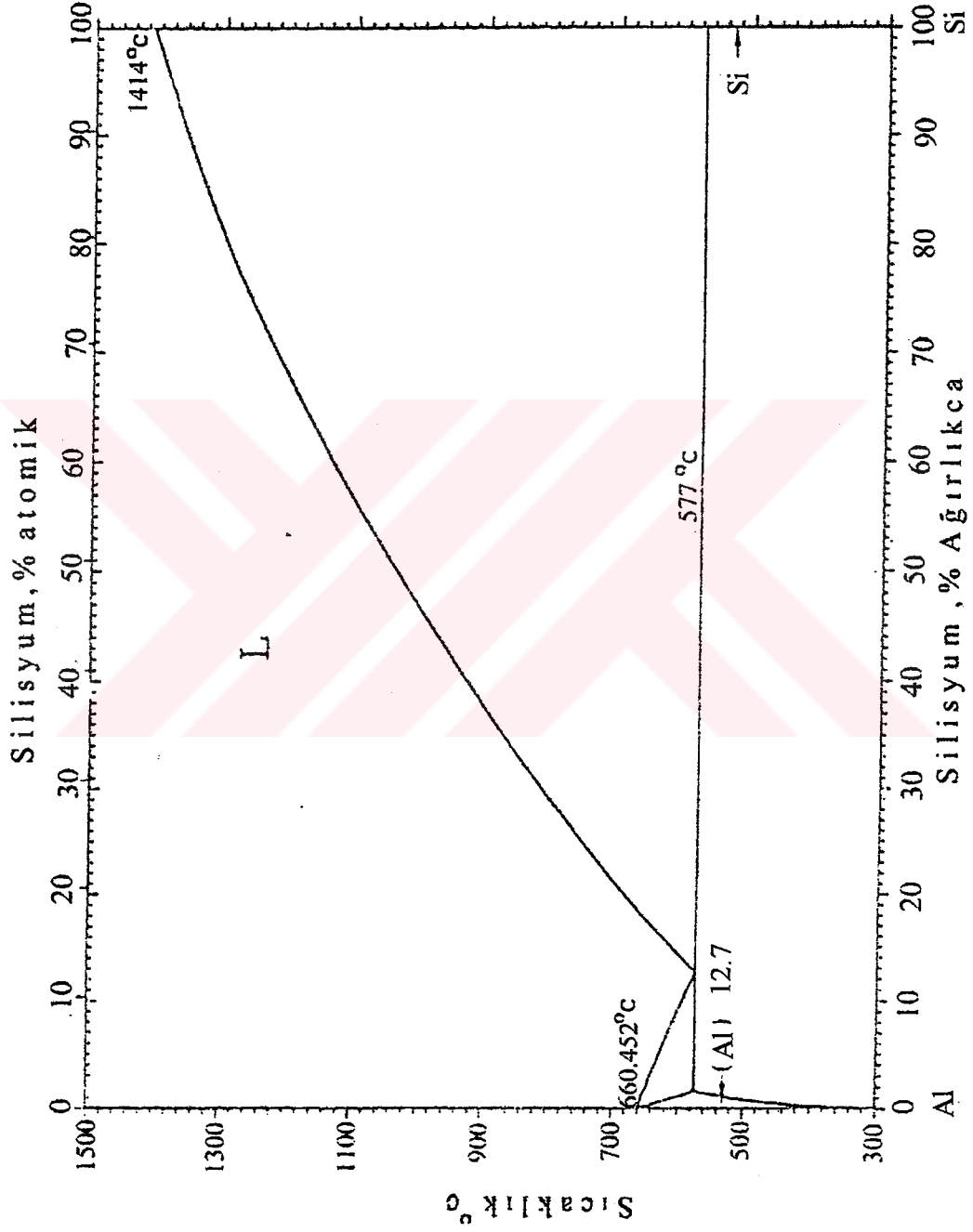
Alüminyum – Si alaşımları uygulamada yapılarına göre üç grupta incelenirler.

- a. Ötektik altı Al – Si alaşımları (% 5 – 11.5 Si)
- b. Ötektik Al – Si alaşımları (% 11.5 – 14 Si)
- c. Ötektik üstü Al – Si alaşımları (% Si > 14)

Al – Si diyagramı Şekil 1.1’de görüldüğü gibi 577 °C’ de % 12.7 Si bileşiminde ötektik yapmaktadır. Faz diyagramından görüleceği gibi oda sıcaklığında çok az silisyum, alüminyumda ergir. Ötektik sıcaklığında (577 °C) ise % 1.59 oranında ergir.

Al – Si ötektik alaşımlarının Kuma döküm yoluyla parça üretiminde silisyum fleyk şeklinde α - Al dendritleri ile beraber kristalleşir. Bu yapıyı fiber silisyum yapısına çevirmek için aşağıdaki modifiye edici işlemler uygulanır.

- a. Ötektik alaşımı yüksek hızda soğutmak (metal kalıba döküm).
- b. Ötektik alaşıma çeşitli oranlarda Na ve Sr gibi elementler katarak alaşımı yavaşça soğutmak (kum kalıba döküm).



Şekil 1.1. Al - Si Faz Diyagramı [1]

Bir önceki sayfada belirtilen modifikasyon işlemleri neticesinde bile yapıda primer α - Al dendritleri fiber silisyum ile birlikte bulunmaktadır. Bu da mekanik özelliklerin azalmasına neden olmaktadır.

Al – Si ötektik alaşımı belirli bir sıcaklık gradyanı altında yönlendirilerek katılaştırılırsa sadece silisyum fiberlerinden oluşan bir mikroyapı elde edilebilmektedir. Katılma hızının daha çok artırılması halinde ise α - Al ortaya çıkmaktadır. Alaşıma % 0.01 – 0.06 stronsiyum katılıp ötektik alaşım belirli bir sıcaklık gradyanı altında soğutulursa tamamen silisyum fiberlerinden oluşan bir yapı elde edilmektedir.

Bu çalışmada Sr ile modifiye edilen Al – Si ötektik alaşımının belirli bir soğuma hızında katılaştırılıp tamamen fiber silisyumdan oluşan bir yapı elde edilmesi ve bu yapının mekanik özelliklere olan etkisinin araştırılması amaçlanmıştır.

2. ÖTEKTİK Al – Si ALAŞIMLARINA GENEL BİR BAKIŞ

Bilindiği gibi Al – Si ötektik alaşımları geniş bir uygulama alanı olan alaşımlardır. Bunlarla ilgili olarak çok geniş araştırmalar yapılmıştır.

Al – Si ötektik alaşımlarında uygulanan yönlendirilmiş katılaştırma tekniğinin amacı, ortaya çıkan çok çeşitli mikro yapıların katılma mekanizmalarını belirlemenin yanında primer α - Al veya primer kaba Si fleykleri içermeyen ve tamamıyla fiber silisyumdan oluşan bir yapı elde etmektir. Çünkü bu durum alaşımın mekanik özelliklerini çok fazla artırmaktadır.

Ötektik Al – Si alaşımlarının yönlendirilerek katılaştırılmasında en son ve ayrıntılı çalışmalar Atasoy [2,3,4] tarafından yapılmıştır.

2. 1. Katılma Mekanizmaları

Yönlendirilerek katılaştırma sırasında katı – sıvı ara yüzeyinin durumuna göre üç tür kristal büyüme şekli görülmektedir. Bunlar;

- a. Eşsiz büyüme
- b. Kısmen eşli büyüme
- c. Eşli büyüme'dir.

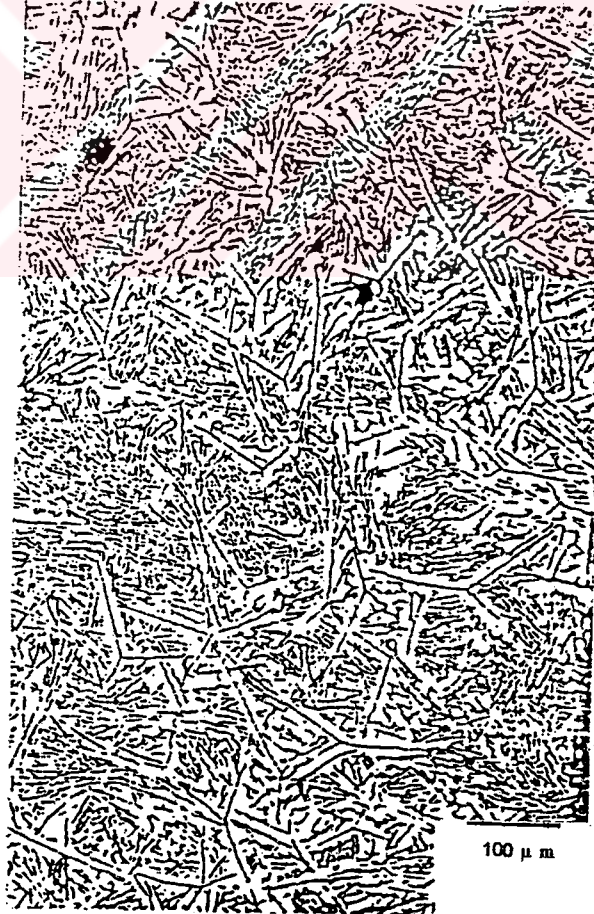
2. 1. a. Eşsiz Büyüme

Eşsiz büyümede fazlar birbirinden bağımsız olarak büyümektedirler. Yani fazlardan bir tanesi (α - Al dendritleri) diğerinden çok ileride olarak sıvıya doğru büyürken, diğer faz (ötektik silisyum) önde giden fazın aralarında kalan bölgelerde geriden ilerler. Bu durumda katı – sıvı ara yüzeyi izotermal olmadığı gibi görünümü de düzlemsel değildir, katı – sıvı ara yüzeyinde morfoloji ve sıcaklık dalgalanmaları vardır [2].

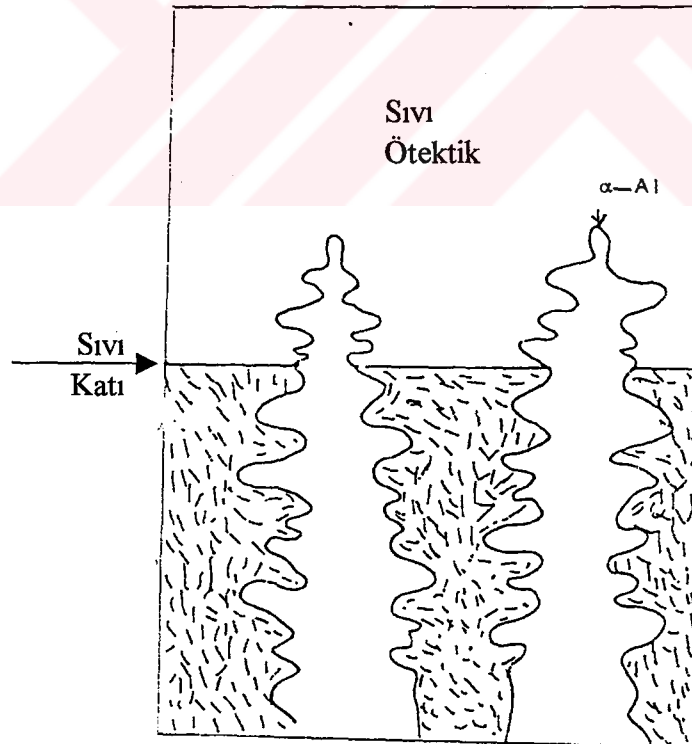
Şekil 2.2.'de % 11.45 silisyum içeren alüminyum alaşımda $V = 317 \mu\text{m/sn}$ katılma hızında elde edilen katı – sıvı ara yüzeyi görülmektedir. Ara yüzey, ileriye doğru çıkıntı yapan α - Al dendritleri nedeniyle düz değildir. Al – Si ötektik alaşımlarında bu tür büyüme şekli, yüksek katılma hızlarında (metal kalıba döküm) ortaya çıkmaktadır.

2. 1. b. Kısmen Eşli Büyüme

Atasoy [2] tarafından saptanan katılma hızlarında ise, mikro yapıda primer α - Al dendritleri bulunmamakla birlikte katı – sıvı ara yüzeyinde önde giden “Y” şekilli silisyum kristallerinin levhaları ile alüminyum ana fazı arasında “kısmen eşli büyüme” şekli (Şekil 2.3.b) mevcuttur. Şekilden de görüldüğü gibi katı – sıvı ara yüzeyi genel olarak izotermal değildir. Enine kesitte “ Y ” şeklinde görülen silisyum kristalleri , boyuna kesitte uzun levhalar şeklinde görülmektedir. (şekil 2.1)



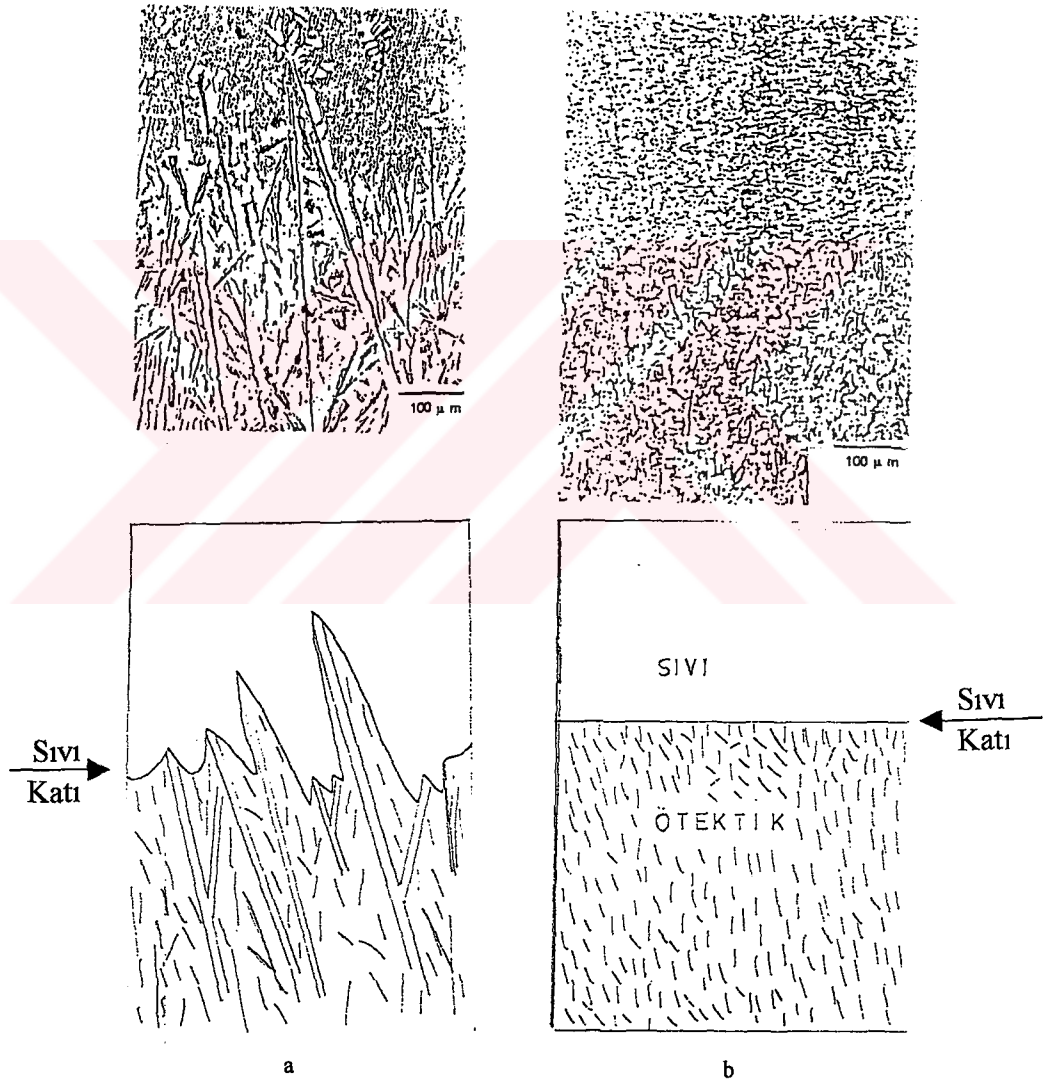
Şekil 2.1. Al- Si alaşımda $V = 53 \mu\text{m} / \text{saniye}$ katılma hızıyla elde edilen “ Y ” şekilli ve fleyk silisyum kristallerinin enine kesitteki görünüşü [2].



Şekil 2.2. Al - % 11.45 Si alaşımı $V = 317 \mu\text{m/sn}$ katı - sıvı ara yüzeyi (katılaşma yönü aşağıdan yukarıya doğru). Ara yüzey ileriye doğru çıkıntı yapan α - Al dendritleri nedeniyle düz değildir [2].

2.1.c. Eşli Büyüme

Her iki faz yaklaşık olarak düz bir katı- sıvı ara yüzeyi vererek birlikte ve aynı sıcaklıkta katılaşır. Katı - sıvı ara yüzeyine yakın sıvıda atom yayınması etkinleşir. Eşli büyüme ye yol açan alaşım bileşimleri ve katılaşma koşulları (yönlenmiş katılaşma hızı ve sıcaklık gradyanı gibi) dikkate alınarak elde edilen diyagramlara eşli büyüme diyagramları denir. Eşli büyüme bölgesi sadece ötektik mikroyapıda kristalleşme koşullarını belirler. Bu bölge dışında ötektik yapıya ek olarak primer fazlardan birisi bulunur.



Şekil 2.3. a) Al - % 12.7 Si alaşımında $V = 10 \mu\text{m/sn}$ katılaşma hızıyla elde edilen katı-sıvı ara yüzeyi (katılaşma yönü aşağıdan yukarıya doğru).
b) Al - % 12.7 Si, % 0.062 Sr alaşımı. $V = 10 \mu\text{m/sn}$ katılaşma hızıyla elde edilen katı - sıvı ara yüzeyi (katılaşma yönü aşağıdan yukarıya doğrudur). Fiber şeklindeki silisyum kristalleri düz bir ara yüzeyde alüminyum fazı ile eşli büyüme halinde görülüyor [2].

Saf Al- Si ötektik alaşımlarında eşli büyüme yoktur. Katı- sıvı ara yüzeyleri hiçbir zaman düz değildir. Eşli büyüme sadece Sr ile modifiye edilen alaşımlarda geçerlidir[2].

Şekil 2.4'te saf Al – Si ötektik alaşımlarında yönlendirerek katılaşma sonucu oluşan mikroyapıların bileşim ve katılaşma hızına (logaritmik) bağlı olarak sınıflandırılması görülmektedir.

2 . 2 . Saf Al – Si Ötektik Alaşımlarının Mikroyapıları

Atasoy [2] tarafından yapılan çalışmalarda 1.5 – 1266 $\mu\text{m}/\text{sn}$ arasındaki hızlarda yönelmiş olarak katılaştırılan alaşımların mikroyapıları şekil 2.4 'te ötektik yapıda primer fazların (α - Al dendritleri ve kompleks düzenli silisyum) bulunup bulunmamasına göre sınıflandırılmıştır.

Saf Al – Si ötektik alaşımlarında katılaşma hızlarına göre elde edilen mikroyapılar şekil 2.4. yardımıyla aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir.

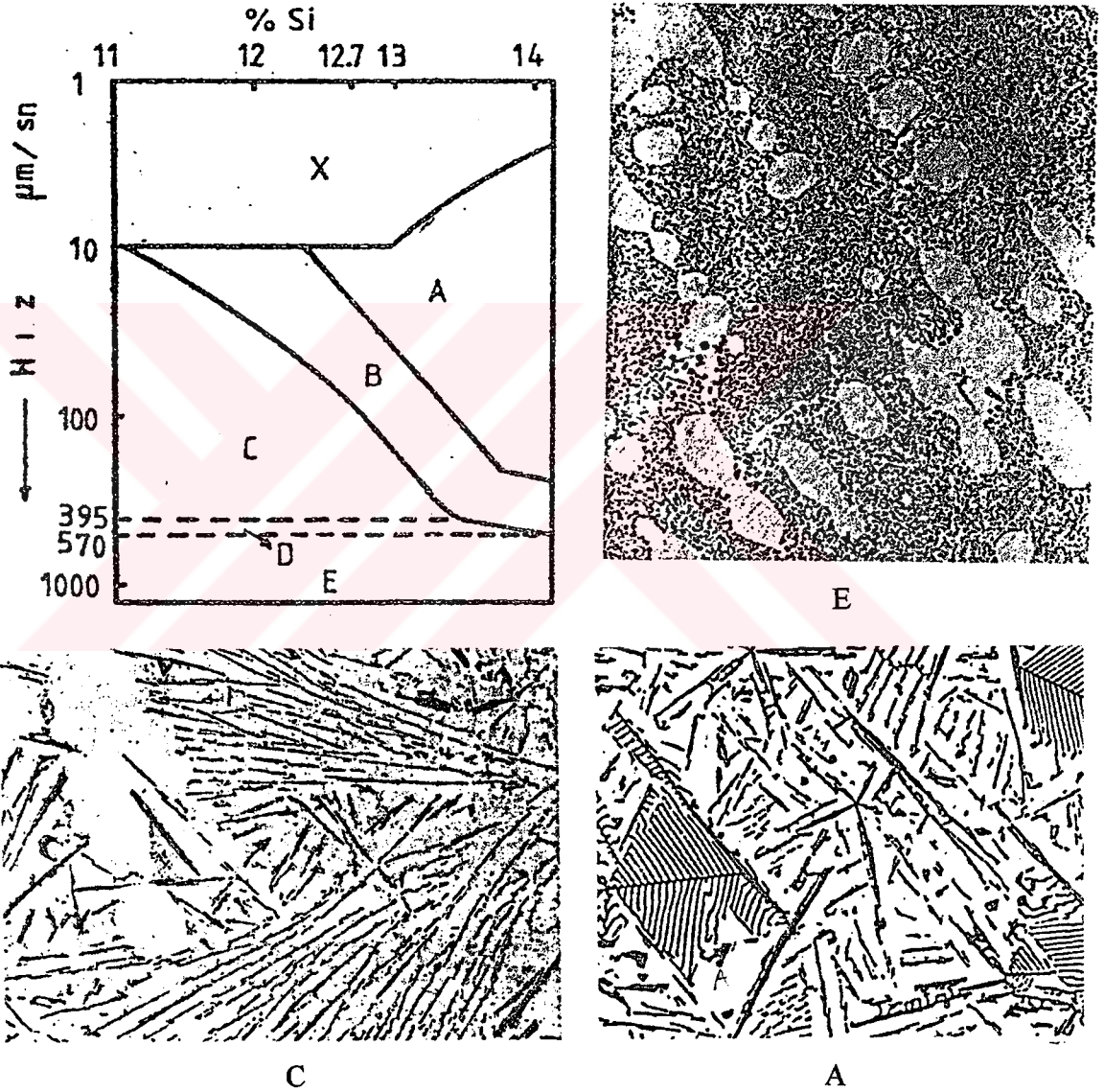
1.5 μm / saniye katılaşma hızında oluşan mikroyapılar kalın , geniş ve kitlesel iğne kompleks düzenli , açısız ve plaka şekilli silisyum gibi çok değişik tiplerde düzlemsel silisyum kristalleri göstermiştir. Şekil 2.4.' te X bölgesi.

1.5 μm / saniye – 10 μm / saniye arasındaki katılaşma hızlarında mikroyapı yine x bölgesindedir ve yine çeşitli kompleks düzenli açısız ve kaba fleyk silisyum kristalleri elde edilmiştir.Yalnız katılaşma hızının 10 μm / saniye 'ye ve Si miktarının da artmasıyla kompleks düzenli silisyum kristalleri arasında düzensiz kaba fleyk silisyum kristalleri görülür.

10 μm / saniye'den büyük katılaşma hızlarında ise ötektik mikroyapı bölgesinin , şekil 2.4. B bölgesi, sağ tarafındaki bölgede , silisyum bileşimi arttırılınca açısız silisyum kristallerinin kompleks düzenli kristallere , giderek çok yüzeyli kitlesel primer silisyum kristallerine doğru gelişmesi sırasında enine kesitte yıldız şeklinde beliren bir geçiş yapısının varlığı saptanmıştır. Katılaşma hızı arttıkça yıldız yıldız şeklindeki ve kompleks düzenli silisyum kristalleri yavaş yavaş kaybolmaya başlar ve açısız silisyum kristallerinin boyutları küçülür.

395 $\mu\text{m} / \text{sn}$ – 570 $\mu\text{m} / \text{sn}$ arasındaki katılaşma hızlarında fleyk silisyumdan fiber silisyuma dönüşüm görülür. 570 $\mu\text{m} / \text{sn}$ ' den yüksek katılaşma hızlarında ise , silisyum kristalleri α - Al dendritleri arasında tamamen düzensiz fiberler halinde bulunur.

Saf Al - Si ötektik alaşımı için çeşitli hızlarda yapılan katılaşma çalışmalarından elde edilen mikroyapılar şekil 2.4 ' te gösterilmektedir.

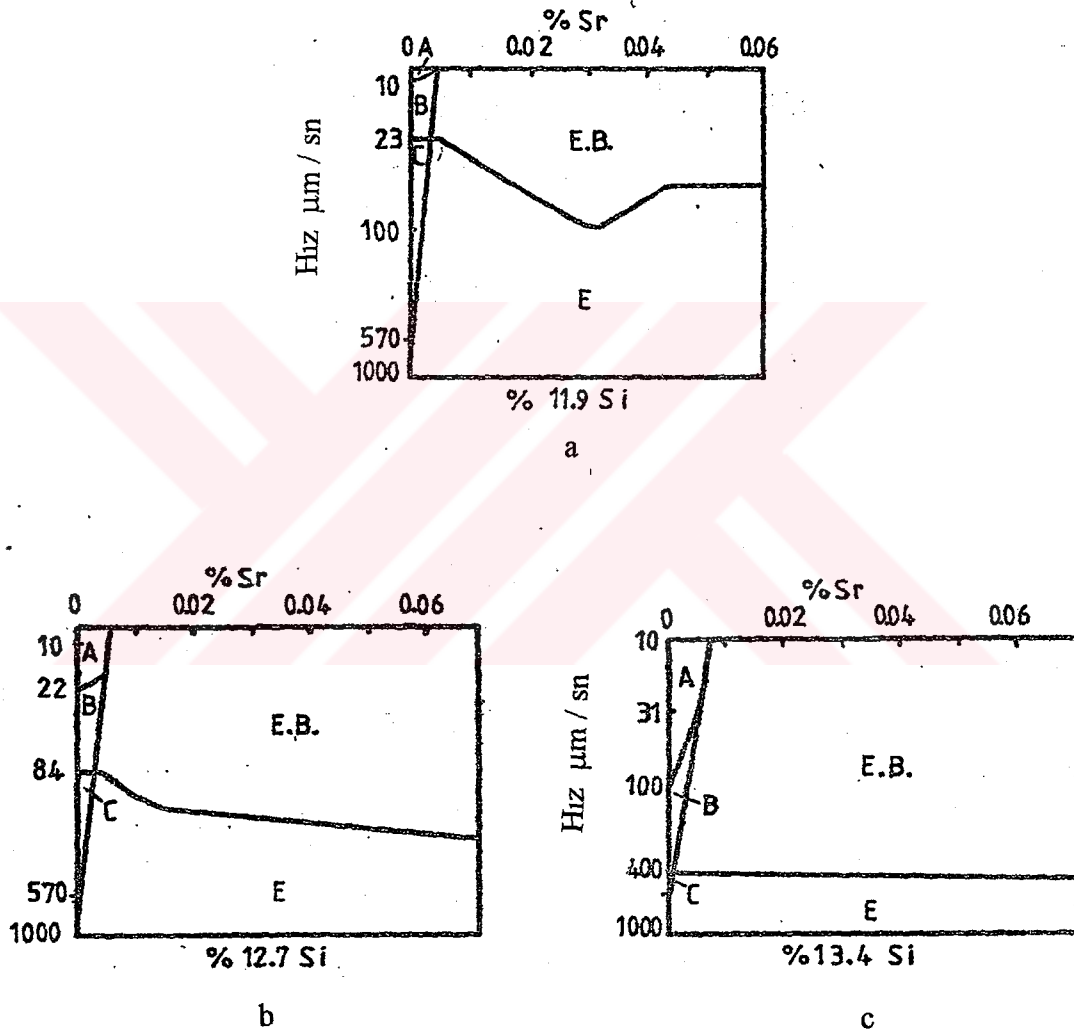


Şekil 2.4. Saf Al – Si ötektik alaşımlarında, yönlendirilmiş katılaşma sonucu oluşan mikroyapıların bileşim ve katılaşma hızı (logaritmik olarak) dikkate alınarak sınıflandırılması. Sıcaklık gradyanı 120 $^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ 'dir [6].

A: Kompleks düzenli silisyum, yıldız şekilli silisyum ve fleyk silisyum.
B: Fleyk ve “ Y ” şekilli silisyum (ötektik mikroyapı bölgesi). C : α - Al dendritleri ve fleyk silisyum. D: Fleyk silisyumdan fiber silisyuma dönüşüm bölgesi. E: α - Al dendritleri ve fiber silisyum. X: Çeşitli plaka , açılmal ve kompleks düzenli silisyum morfolojileri.

2.3. Stronsiyum İle Modifiye Edilmiş Al – Si Ötektik Alaşımlarının Mikroyapıları

Değişik bileşimlerde stronsiyum içeren yüksek saflıktaki Al – Si ötektik alaşımları, 10 – 1000 $\mu\text{m/sn}$ hızlarında yönlendirilmiş olarak katılaştırılmış ve elde edilen mikroyapılar Şekil 2.5 a,b,c de sınıflandırılmışlardır. İçinde sadece düz bir katı – sıvı arayüzeyi ile büyüyen fiber şeklindeki silisyumun bulunduğu eşli büyüme bölgesi elde edilmiştir.

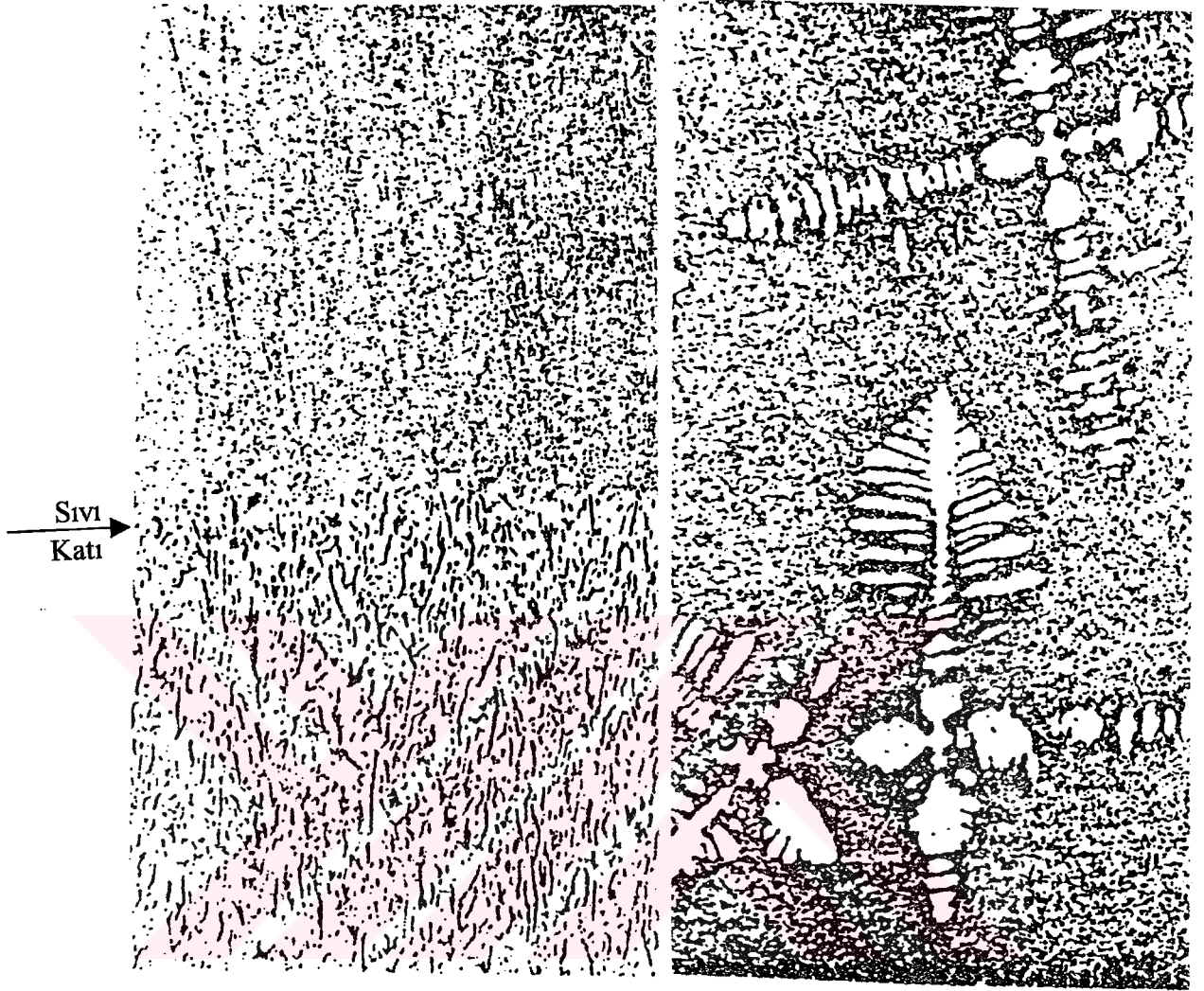


Şekil 2.5. Sr ile modifiye edilmiş Al- Si ötektik alaşımında mikroyapılar [6],
E.B : Eşli büyüme bölgesi - fiber silisyum
a) %11.9 Si , b) % 12.7 Si , c) %13.4 Si

10 $\mu\text{m/sn}$ 'nin altındaki hızlarda yapılan bazı deneylerde, istenildiği kadar stronsiyum ilave edilsin, modifikasyon olmadığı anlaşılmıştır.

Şekil 2.5 'in yorumuna gelince şekillerden de görüldüğü gibi düşük stronsiyum bileşimlerinde oluşan yapılar A, B ve C ile gösterilen üç bölgeye ayrılmışlardır. Bunlar aslında stronsiyumsuz alaşımlarda elde edilen yapıların aynısıdır. A bölgesindeki mikroyapılarda fleyk silisyum ve kompleks düzenli silisyum kristalleri vardır. Bunlar, stronsiyumsuz alaşımların ötektik mikroyapı zonunun sağındaki bölgede görülen yapıların aynısıdır. B bölgesinde, ötektik mikroyapı zorundaki gibi tamamen fleyk ve “y” şekilli silisyum kristalleri vardır. C bölgesinde ise α - Al dendritleri ve fleyk silisyum kristalleri görülür. C bölgesindeki mikroyapı, stronsiyumsuz alaşımların ötektik mikroyapı zonunun solundaki bölgedekinin aynısıdır. Gerçekte, A, B ve C bölgelerinin sınırlarının sıfır stronsiyum bileşimindeki katılma hızları, stronsiyumsuz alaşımların ötektik mikroyapı bölgesinin sınırları ile çok iyi bir uyum göstermektedir.

Şekil 2.5 'de görüldüğü gibi stronsiyumlu alaşımlara ait B bölgeleri, silisyum bileşimleri de dikkate alındığında, ötektik mikroyapı zonunun sınırları başlangıç olarak stronsiyum miktarı arttıkça genişlemektedirler. % 0,01'den düşük stronsiyum bileşimlerinde, modifiye olmamış yapının görüldüğü katılma hızı, stronsiyum miktarının artışıyla hızlı bir düşüş gösterir. Diğer bir deyişle, devamlı olarak artan miktarlarda stronsiyum ilavesi, fleyk – fiber dönüşümü için gerekli aşırı soğumayı azaltmaktadır. Stronsiyum, miktarı daha fazla arttırıldığında, içinde sadece fiber şeklindeki silisyumun (Şekil 2.6 a) bulunduğu bir bölge, B bölgesinin ve dolayısıyla ötektik mikroyapı zonunun uzantısı olarak elde edilmiştir. Bu bölgede, eşli büyüme sonucu tamamen modifiye ötektik mikroyapı elde edilir. Silisyum ve stronsiyum miktarının artmasıyla eşli büyüme bölgesi genişler. Eşli büyüme bölgesinin altındaki daha yüksek katılma hızlarında, çubuk şeklindeki silisyum kristalleri (Şekil 2.6 b) arasında α - Al dendritleri oluşmaya başlar. Bu bölgede katı – sıvı arayüzeyi düz değildir.



Boyuna kesit

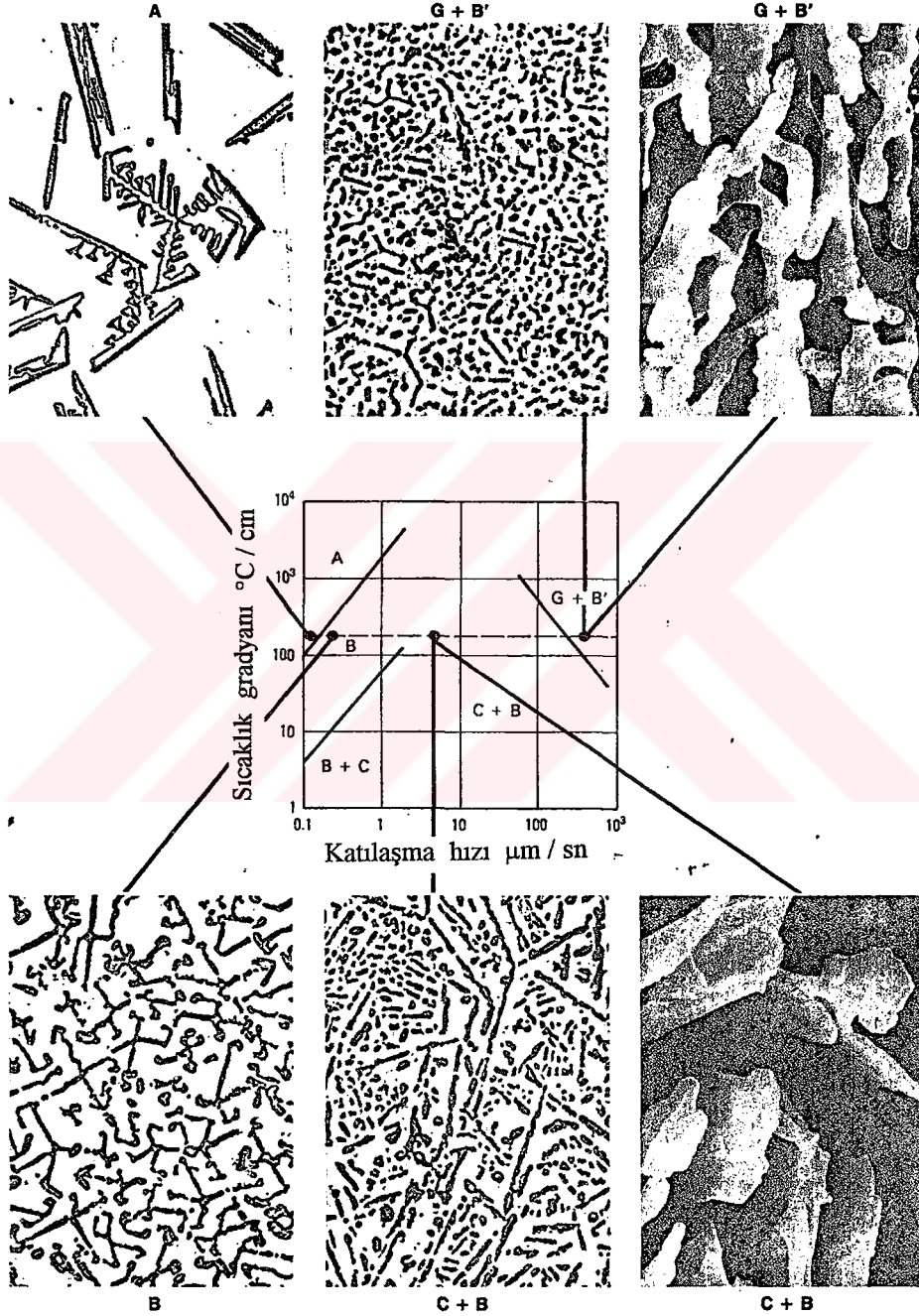
Enine kesit

Şekil 2.6. Stronsiyum bileşimine bağlı olarak elde edilen mikroyapılar [2].

a) Al - % 12,7 Si - % 0,062 Sr alaşımı .X150 V= 10 μm / saniye fiber Silisyum. b) Al - % 12,7 Si - % 0.062 Sr alaşımı . X235 V= 317 μs / sn

% 12,7 Si bileşiminde şekil 2.5 b'den görüleceği gibi katılaşma hızı eşli büyüme bölgesinin altında olduğu için (yüksek katılaşma hızı) fiber silisyum içinde α - Al dendritleri görülmektedir.

Gerek şekil 2.4 ' te gerek şekil 2.5 de bahsedilen eşli büyüme bölgesinde bulunan ötektik silisyum mikroyapıları , büyüme hızı ve sıcaklık gradyanına bağlı olarak şekil 2.7 ' de gösterilmektedir.



Şekil 2.7. Eşli bölgede bulunan ötektik silisyum mikroyapıları [8].

- A : Kütleli ötektik silisyum
- B : Çubuk şeklinde silisyum
- B+C : Açısız ve fleyk silisyum
- C+B : Açısız ve fleyk ötektik silisyum
- G+B' : Fiber ve modifiye olmuş açısız silisyum

3. SİLİSYUM MODİFİKASYONU

Alüminyum – silisyum döküm alaşımlarının tane yapısında olduğu gibi ötektik alaşımların da tane yapısını küçültmek standart işlemlerdir. Silisyum ötektik yapı arsenik, antimuan veya kükürt ile küçültüldüğünde mekaniksel özelliklerde orta derecede bir artış meydana gelmektedir [8]. Bilinen en etkili yöntem ise poroziteye karşı çok hassas olmasına rağmen yapıdaki silisyum fazının modifiye edilmesidir. Modifikasyon doğal olarak hızlı katılaşmada olur. Yavaş katılaşmada ise modifikasyon için modifiye edici elementler gereklidir. Periyodik tabloda I ve II A grubundaki toprak nadir elementleri, europium, lantanyum, cerium, praseodymium ve modymium modifikasyon için kullanılır. Tablo 3.1’de görüldüğü gibi sadece Sodyum ve Stronsiyum düşük konsantrasyonlarda güçlü şekilde modifiye edici etki yaparlar. Her ikisi de fleyk şeklindeki ötektik silisyum’u fiber şeklindeki silisyuma çevirirler. Bunun sonucunda alaşımın mekanik özelliklerinde artış meydana gelir.

3 . 1. Modifikasyon Mekanizması

Modifiye olmuş yapıda fiber silisyum dağılımı çeşitli mikroyapılarda görür. Al – Si alaşımında çeşitli hızlarda yapılan katılaştırma çalışmalarından elde edilen eşli büyüme bölgesi , Al - Si alaşım sisteminde bütünüyle ötektik yapı elde etmek için gerekli olan bileşim ve katılma hızının sınırlarını belirler.

Modifikasyon, azaltılmış sıcaklıkta ötektik silisyum fazının tekrarlı çekirdeklenmesine bağlanır [8,10]. Yeni yapılan araştırmalara göre, çekirdeklenme sıcaklığının bastırılmasına rağmen, silisyum fazı yüksek aşırı soğumada çekirdeklenmeyi tekrarlamaksızın sürekli büyür [13,14]. Alüminyum faz yapısal olarak modifikasyondan etkilenmez ve Na ve Sr’un Silisyum fazında bulunduğu dair kanıtlar vardır. Sonuç olarak, modifikasyon silisyum faz büyüme mekanizmasındaki değişimle ilgili bir olay olarak incelenmektedir. Bu değişiklik ya yüksek katılma hızlarında veya oldukça düşük sıcaklıkta modifiye yapıcı elementlerle yapılır.

Tablo 3.1. Alüminyum – Silisyum alaşımlarında silisyumu modifiye edici olarak kullanılan elementlerin karakteristik özellikleri [8].

Element	Atomik çap oranı(*)	Ergime sıcaklığı, K	1000 K’de Buhar Basıncı		Oksidasyon oluşum serbest enerjisi (ΔG_{oksit}) 1000 K’de kJ/mol	Modifiye Etkisi
			Pa	atm		
Baryum	1.85	998	5.07	5×10^{-5}	-482	Orta derecede modifiye edici
Kalsiyum	1.68	1112	26.3	2.6×10^{-4}	-509	Zayıf modifiye edici
Stronsiyum	1.84	1042	101.3	0.001	-480	Orta derecede modifiye edici. Çabucak kaybolmaz. Sodyuma göre depolanması ve taşınması kolay. Aşırı modifikasyon Sodyum kadar ciddi değildir. % 0.01 – 0.02 ilavesi uygundur.
Sodyum	1.58	371	2×10^4	0.2	-367	% 0.1 ilavesiyle güçlü bir modifiye edici elementtir. Çabuk çözünür ve buharlaşmadan dolayı kaybolur. Taşımak ve de-polamak zor. Aşırı modifikasyona neden olur.
Cerium	1.56	1071	10^{-11}	10^{-16}	-497	Çözünme için 60 dak. gereklidir. Kolayca kaybolmaz. % 2 ilaveye kadar modifikasyon etkisi vardır.
Alüminyum	1.22	933	$5-4 \times 10^{-6}$	5.3×10^{-11}	-457	
Silisyum	1.00	1683	9×10^{-12}	8.9×10^{-17}	-354	

(*) Elementin atom yarıçapının silisyum atom yarıçapına oranı

3.2. Modifiye Yapıcı Elementler ve Yan Etkileri

Modifiye yapıcılar Tablo 3.1’de kayıt edilen gözlemlere göre, atomik boyutların dışındaki faktörler modifiye edici elementlerin verimliliğini kontrol etmektedir. Düşük ergime sıcaklığı ve yüksek buhar basıncı, modifiye yapıcı elementin ergimiş metalde hızla yayılmasını sağlar. Fakat yüksek buhar basıncı da buharlaşma yoluyla kayıpların artmasını cesaretlendirir. Alüminyumun oksidasyon oluşum enerjisinden büyük oksidasyon oluşum serbest enerjisine sahip modifiye edici elementlerde de oksidasyon kaybı bir problemdir.

Alüminyum – Sodyum sisteminde olduğu gibi, çok düşük konsantrasyonlarda monotektik noktası düşük, katı çözünürlüğü ve geniş karışma bölgesi olan modifiye edici element, büyüme yüzeyinde çoğalarak, güçlü bir modifiye edici etki yapar. Onun için, sodyum ergimiş metal içinde oksitlenmeden çabucak çözünür, yayınır ve yavaş yavaş kaybolur (<20 dak.). Bu zaman içinde güçlü bir modifikasyon sağlar.

% 0.02’den fazla Sodyum ilavesi Al Si Na bileşimini oluşturarak aşırı modifikasyona neden olur ve bu durumda mekanik özellikler azalır. Stronsiyum aynı kompleks aşırı modifikasyonu göstermez fakat ağırlıkça % 0.05 stronsiyumdan fazlası $Al_2 Si Sr_2$ oluşumuna neden olur. Bu durumda mekanik özellikleri azaltır [16].

Sodyum ergimiş sıvıya, metal olarak, kapalı alüminyum kutular içerisinde veya üstteki flaks’a sodyum bileşikleri olarak ilave edilir. Stronsiyumda bu tip taşıma ve depolama problemi yoktur ve genellikle düşük stronsiyum master alaşımı Al – 10 Sr veya Al – 14Si – 10 Sr, yüksek stronsiyum master alaşımı örneğin, Al – 90 Sr veya saf metal şeklinde ilave edilir. Master alaşımları genellikle ızgara (waffle) biçiminde sağlanır. Fakat % 3 – 10 Sr içeren alüminyum esaslı master alaşımları hızlı çözünmesi için çubuk şeklinde hazırlanır. Izgara (waffle) şeklindeki master alaşımları hızlı bir şekilde yayınır ve optimum modifikasyon için 30 – 45 dakika gereklidir.

Metalik stronsiyum ilavesi küçüktür, çabuk çözünür ve master alaşımına nazaran alaşıma daha az demir girer. Stronsiyum 670 – 720 °C sıcaklıkları arasında alaşıma ilave edilmelidir. Düşük stronsiyum master alaşımları, hızlı çözünme ve yüksek verim için yüksek ergime sıcaklıklarında, yüksek stronsiyum master alaşımları da minimum ergime sıcaklıklarında ilave edilmelidir [16].

3.3. Hidrojen Giriş ve Kayıplar

Ergimiş Al – Si alaşımlarında hidrojen girişi konusu oldukça tartışmalıdır. Özellikle bazı bilim adamlarının modifiye edici elementlerin atmosferdeki nemden hidrojen giriş hızına olan etkilerini incelediğinde bu tartışma daha da artmaktadır. Literatürde de bazen birbirini tutmayan raporlar bulunmaktadır. Örneğin Sodyum ve Stronsiyum her ikisi de “gazlı” ergimeye neden olurlar ve hidrojen girişinde herhangi bir etkileri yoktur. Bu zorluk yükselebilir çünkü gaz içeriği, ergimiş metalin hidrojen içeriğini ölçmek yerine, dökümde oluşan porozite miktarından çıkarılır. Ancak Sodyum ve Stronsiyum güçlü kimyasal stabilitesi olan oksit bileşikleri oluşturmakta ve çok sayıda dökümhane çalışanı gaz girişindeki ticari problemleri rapor ettiği için modifiye olmuş alaşımdaki yükselen hidrojen girişi probleminin giderilmesi için bu yönde çalışmalar vardır. Bu problem yüksek ergime sıcaklıklarında ve yüksek modifiye edici konsantrasyonlarında daha da ciddi boyutlara çıkmaktadır. Onun için ötektik modifikasyon bir dereceye kadar hidrojen girişinin yanında oksit film oluşumuna ve poroziteye bağlıdır. Bunlar çok etkili modifiye edici element olan Sodyum ve Stronsiyum için geçerlidir. Ötektik modifiye edici Antimuan’ın bir avantajı da porozite oluşumu, düşük hidrojen seviyesi elde etmek için inert – klor gaz karışımından oluşan bir gaz flakısıyla antimuan kaybetmeksizin azaltılabilir. Buna karşın herhangi bir aktif gaz, örneğin klor veya freon gazı Sodyum veya Stronsiyum’u ergimiş metalden çok hızlı bir şekilde alır.

Modifiye edici bir element kullanıldığı zaman ergimiş metaldaki hidrojen miktarında bir artış olmaktadır. Ergimiş metalin hidrojen kapması, ergiyiğin üzerindeki oksit filminin kırılıp dışarıyla temas etmesi neticesinde olmaktadır. Onun için, hidrojen girişini minimuma indirmek için modifiye edici elementler karıştırılırken mümkün olduğu kadar çok küçük karıştırma hızında ilave edilmelidir.

Sodyum ilavesi ergimiş metale gaz karıştırır. Aynı şekilde Stronsiyum içeren master alaşımları da hidrojen kaynağıdır, fakat bu durum hidrojen miktarını azaltan döküm yöntemi kullanılarak elde edilmiş yüksek saflıkta bilhassa Stronsiyum esaslı master alaşımları kullanılarak azaltılmaktadır.

Modifiye edilmiş sıvı metalden fazla hidrojen inert gaz flaks tekniği kullanılarak alınabilir. Stronsiyum içeren ergimiş sıvılarda çok düşük hidrojen seviyelerine

(<0.10 cm³/100gr) inmek Sodyum içerene göre daha zordur. Fakat her iki durumda da ergimiş metalin flaks işlemine tabi tutulması, ergimiş metaldeki modifiye edici element miktarını artırmaktadır.

Birtakım çalışmalarda belirtildiğine göre Stronsiyum tarafından ergimiş sıvıya katılan hidrojeni almak Sodyumun kattığı hidrojeni almaktan daha zordur. Bu çalışmalar, ergimiş metaldeki hidrojen içeriğinden ziyade porozitenin gözlemlenmesine dayanır ve bazen yanlış yönlendirilebilir.

3.4. Akıcılık

Al – Si alaşımlarının diğer özellikleri de akıcılığının iyi olması veya kalıp boşluklarını iyi doldurabilmesidir. Akıcılık yüzey geriliminden, viskoziteden, alaşım katılma aralığından, ergimiş metal temizliğinden, aşırı ısıtmadan ve katılma şartlarından etkilenen kompleks karakterde bir özelliktir. Kimyasal modifiye ediciler genellikle akıcılığa zararlı olarak incelenmesine rağmen genellikle kullanılan kimyasallar yüzey gerilimini düşürürler. Bu anormallik, yüzey oksit filminin etkisinden meydana gelir, bu durum saf alüminyum yüzey gerilimini üç defa artırır. Bundan dolayı Sodyum'un, akıcılığı % 10 oranında düşürdüğü bulunmuştur [8]. Stronsiyumla modifiye edilmiş ergimiş metalin akıcılığı ise modifiye olmamış sıvı ile aynıdır.

3.5. Doğrusal olarak katılaştırılmış Al – Si ötektik alaşımının mekanik özellikleri

Malzemenin oda ve yüksek sıcaklarda korozyon direncini , sürünme özelliklerini , termodinamik kararlılığını ve dayanımını artırmak için uygulanan ötektik alaşımların doğrusal olarak katılaştırılması çok geniş olarak bilinen bir konudur. Bu konularda çok çalışmalar olmasın araştırmacıların ulaştıkları sonuçlar birbirinden farklıdır.

Doğrusal olarak katılaştırılmış Al – Si ötektik alaşımlarının mekanik özelliklerini belirlemek için yapılan bir çalışmada [9] 0.28 – 131 µm / saniye aralığında katılaştırma hızı ve 80 °C / cm civarlarındaki sıcaklık gradyanında elde edilen farklı numunelere çekme deneyleri uygulanmıştır ve Tablo 3.2 ' deki sonuçlar elde edilmiştir.

Çekme deneylerinin uygulandığı numuneler yüzey kusurlarını gidermek için , tornada işlendikten sonra yüzeylerine polisaj işlemi uygulanmış ve soğuk işlem etkilerini gidermek için 450 °C de 30 dakika bekletilmişlerdir.

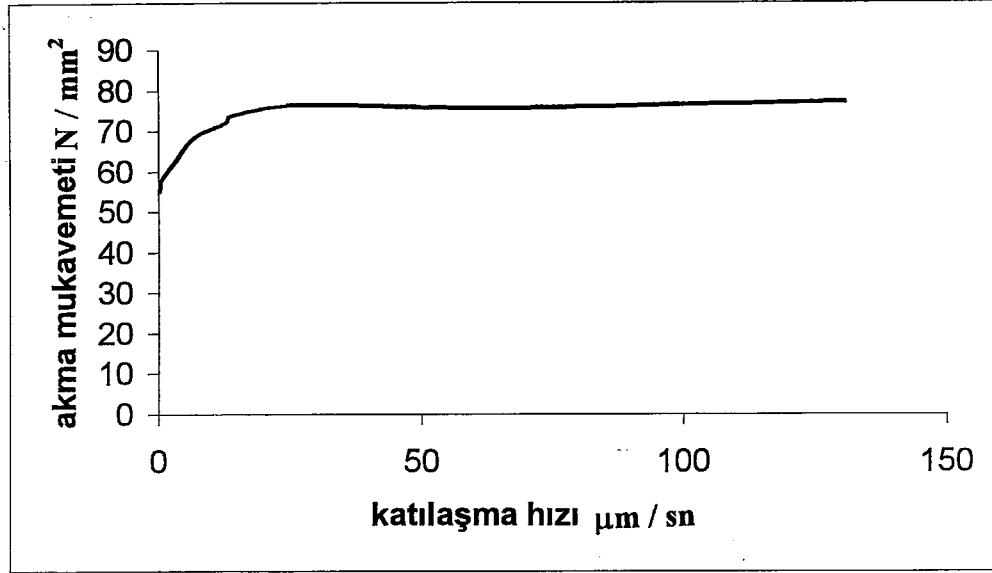
Tablo 3.2. Doğrusal olarak katılaştırılmış Al – Si ötektik alaşımının oda sıcaklığındaki çekme deney sonuçları. [9]

Sıcaklık Gradyanı °C / cm	Katılma hızı µm / sn	%0.2off-Set Akma Mukavemeti N/ mm ²	Maksimum çekme dayanımı N / mm ²	Uzama (%)
80.6	0.28	55	83	1.76
78.0	0.7	58	97.3	3.56
.8	2.8	61.6	127.6	5.1
79.1	6.7	68.3	127.6	4.25
88.5	12.8	72.0	152.3	6.23
78.0	13.6	73.6	155	6.03
78.0	26.9	76.3	163	7.9
101.5	64.4	75.6	176	7.16
50.2	130.6	77.0	178	9.2

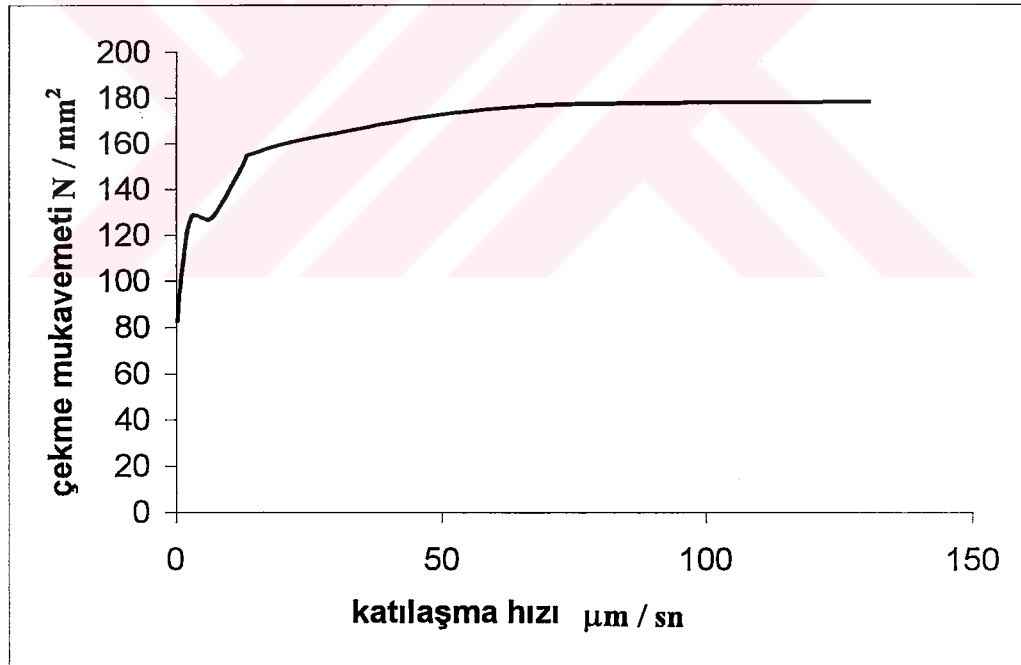
Çekme deneyi instron test cihazında 0,83 µm / sn ‘ lik bir çene hızıyla yapılmıştır. % 0.2 off - set akma dayanımını ve uzama değerlerini tam olarak elde etmek için yüksek hassasiyette çalışılmıştır.

Tablo 3.2 den elde edilen değerleri kullanarak elde edilen akma dayanımı – katılma hızı ve çekme dayanımı- katılma hızı diyagramları şekil 3.1 ve 3.2 ‘ de verilmiştir.

Tablo 3.1 ‘ den de görüldüğü gibi akma mukavemeti 13.6 µm / sn katılma hızına kadar artmakta bu değerden sonra sonra önemli bir değişiklik olmamaktadır. Çekme mukavemeti ise düşük katılma hızlarında yüksektir. Katılma hızı arttıkça mukavemetteki artış da çok az artmaktadır.



Şekil 3.1 Katılaşma hızı – akma mukavemeti diyagramı [9].

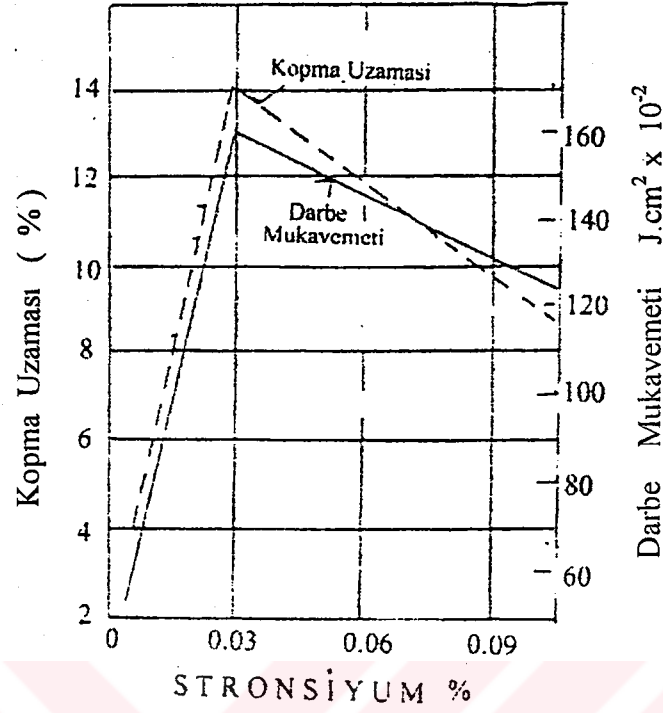


Şekil 3.2. Katılaşma hızı – çekme mukavemeti diyagramı [9].

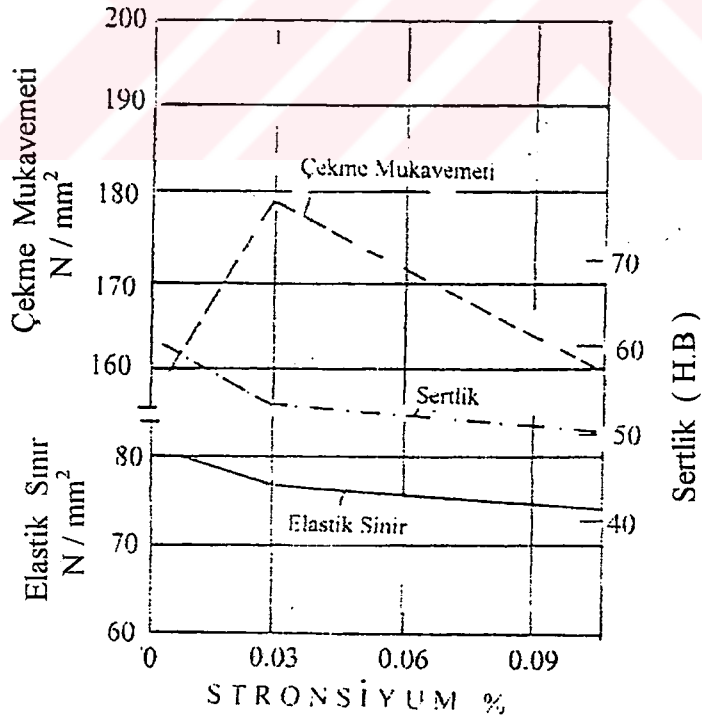
Bilindiği gibi ötektik Al – Si ötektik alaşımlarının mekanik özellikler modifiye edici elementin etkisine ve miktarına bağlı olarak değişmektedir. Günter ve Jürgens [13] Sr ile modifiye ederek kuma dökükleri ve α - Al dendritleri ile fiber silisyum kristallerinden oluşan bir mikroyapı gösteren teknik kalitedeki Al Si12 ötektik alaşımında mekanik özelliklerin değişimini Sr miktarına bağlı olarak inceleyip çekme mukavemetinin ve % uzamasının % 0.03 Sr'da maksimuma ulaştığını tespit etmişlerdir (Şekil 3.3).

Portalier [11] kum ve metal kalıba dökülen teknik saflıktaki G – AlSi12 alaşımının mekanik özelliklerini karşılaştırmıştır. Kum kalıba dökülen modifiye olmamış alaşımın çekme mukavemetini 130 N/mm^2 ve kopma uzamasını % 3 olarak tespit etmiştir. Aynı alaşıma Na katıldıktan sonra kum kalıba döküldüğünde ise çekme mukavemeti 190 N/mm^2 , kopma uzamasını % 11 olarak tespit etmiştir. Metal kalıba dökümde ise, Na ilave edilmemiş alaşımda 160 N/mm^2 ve % 4, Na ilave edilmiş alaşımda 210 N/mm^2 ve % 12 kopma uzaması değerleri elde edilmiştir. (Tablo 3.3).

Tablo da verilen literatür değerleri arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır.



a



b

Şekil 3.3. a ve b Sr ile modifiye edilerek kuma dökülen AlSi12 alaşımının mekanik özelliklerinin Sr miktarına göre değişimi [11].

Tablo 3.3.Kum ve Metal Kalıba Dökülmüş ötektik Al-Si alaşımlarıyla ilgili olarak literatürde verilen mekanik özellikler.

REFERANS VE BİLEŞİM	MODİFİKASYON İŞLEMİ	KUM KALIP			Sertlik [HB]	METAL KALIP		
		%0.2 Offset Akma mukavemeti N/mm ²	Çekme mukavemeti U.T.S N/mm ²	Kopma uzaması (%)		%0.20 Offset akma mukavemeti N/mm ²	Çekme mukavemeti N/mm ²	Kopma uzaması (%)
Hangue ve Kondic [15]								
Al - % 12 Si - % 0.51Fe	% 0.15 Sr	-	150.38	3,25	-	-	220.17	4
Fommei [7] Al - % 13 Si - % 0.6 Fe	-	115	139	1,8	-	127	127	6
	% 0.01-0.02 Na	125	86	11	-	120	195	12
	%0.01-0.02Na	-	-	-	-	125	195	12
	%0.005-0.03Sr	108	65	8,5	-	-	-	-
	% -	110	162	8,4	-	-	-	-
	% 0.05-0.16 Sr	105	158	6,8	-	-	-	-
	% 0.005-0.08 Sr	-	-	-	-	127	195	12
	% 0.10-0.016Sr	-	-	-	-	128	195	10
Portalier [11]								
Al - % 12.7 Si - % 0.5 Fe	-	-	130	3	-	-	160	4
Al - % 12.6 Si - % 0.5 Fe	200 ppmNa	-	190	11	-	-	210	12
Günther ve Jurgens [12]								
G-Al Si12	%0.03Sr	-	179	14	52	-	-	-

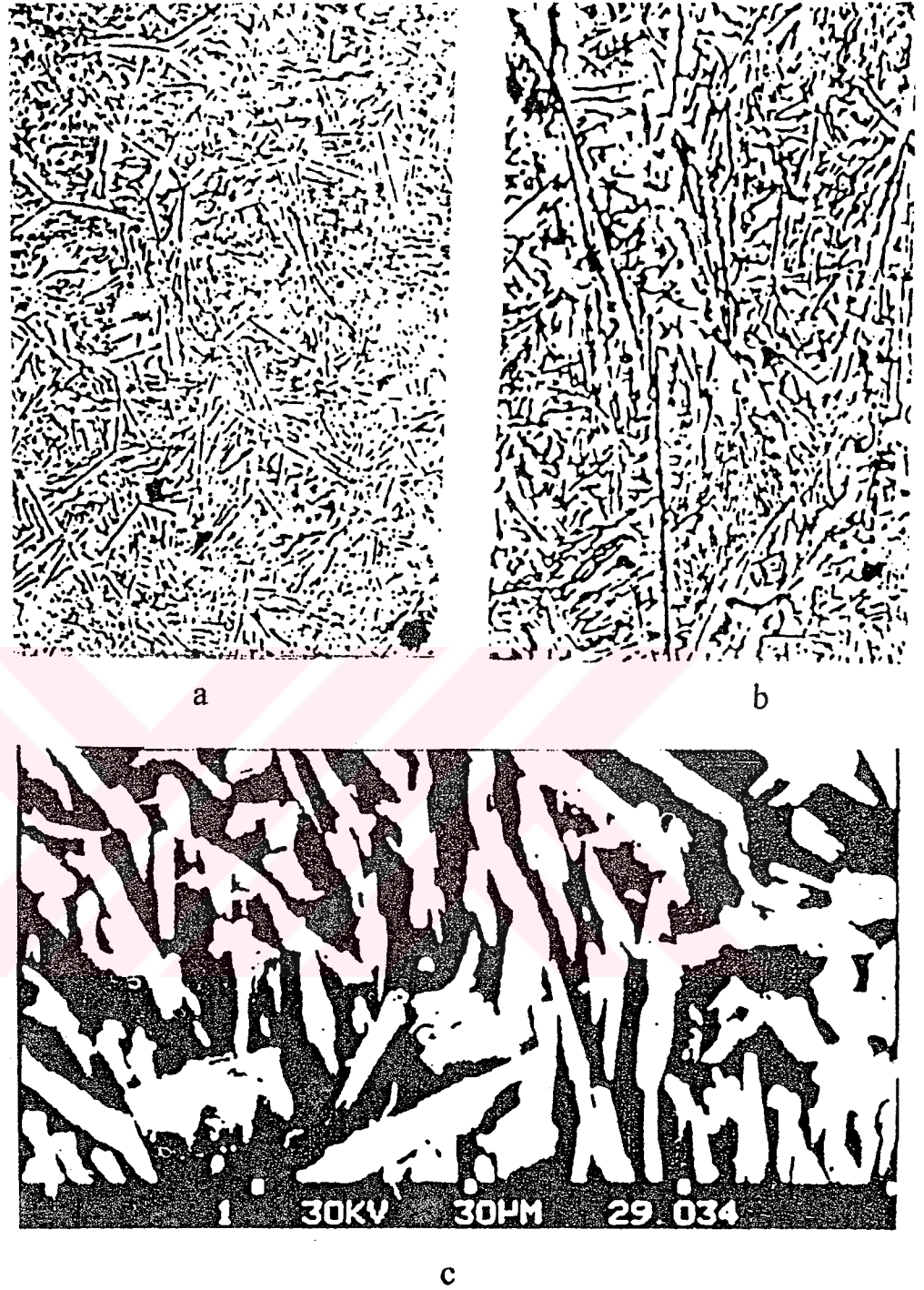
4. FAZLAR ARASI MESAFE ÖLÇÜMLERİ

Ötektik Al – Si alaşımlarının fleyk ve fiber şeklinde silisyum kristalleri arasındaki mesafe (λ) katılma hızına bağlı olarak değişmektedir. Düzlemsiz – düzlemsiz (metal-metal) ötektikler için fazlar arası mesafe – katılma hızı (λ -V) ilişkisi teorik olarak $\lambda^2 \cdot V = \text{sabit}$ şeklinde verilmektedir [17]. $\lambda^2 \cdot V = \text{sabit}$ bağıntısının Al – Si gibi düzlemsiz – düzlemlili (metal – ametal) sistemler için geçersiz olduğu ve bu konuda yeni teorik çalışmalar yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır [4].

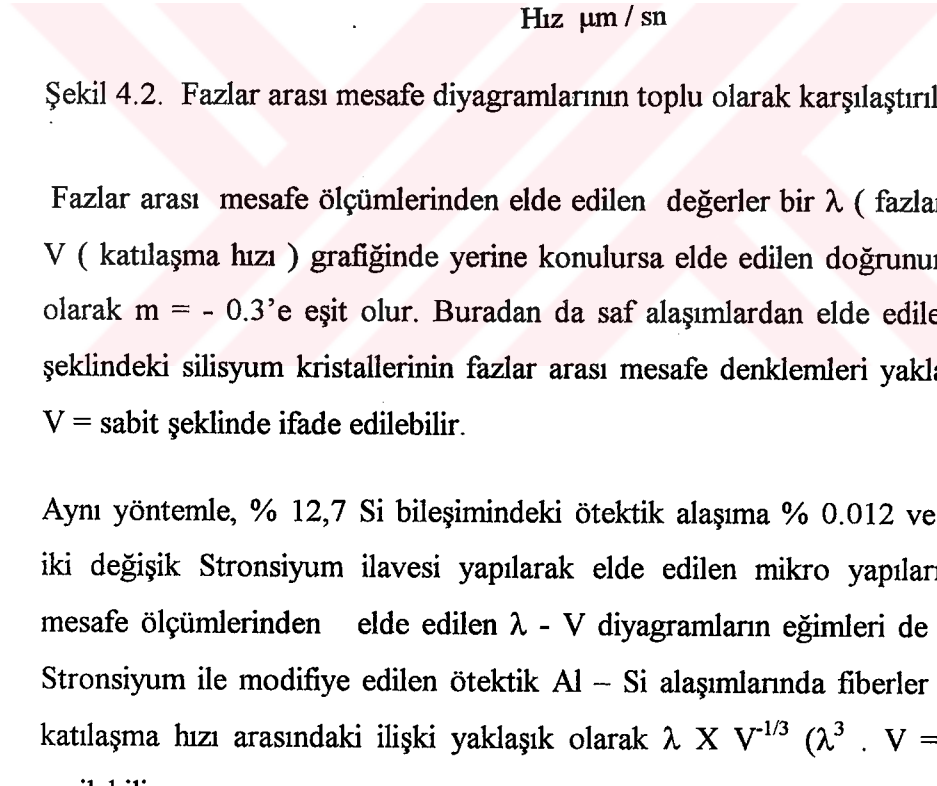
Atasoy [4] tarafından Al – Si ötektik alaşımlarında, 10 – 1266 $\mu\text{m/sn}$ arasındaki katılma hızlarında ve 120 °C/cm sıcaklık gradyanında yapılan fazlar arası mesafe ölçümlerinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Saf Al – Si ötektik alaşımlarında 10 – 395 $\mu\text{m/sn}$ arasındaki katılma hızlarında, değişik tiplerdeki açısall silisyum kristalleri arasında koloniler halinde düzensiz fleyk silisyum kristalleri elde edilmiştir (Şekil 4.1.a-c). 395 – 570 $\mu\text{m/sn}$ aralığındaki katılma hızlarında ise fleyk silisyum kristalleri fiber şeklindeki kristallere dönüşmektedir. 570 $\mu\text{m/sn}$ 'nin üzerinde ise silisyum kristalleri düzensiz bir şekilde dağılmış tamamen fiber halindedir. Küçük miktarlarda Stronsiyum ilave edilerek katılaştırılan Al – Si ötektik alaşımlarında ise katılma yönünde daha düzenli bir şekilde dağılmış fiber şeklindeki silisyum kristalleri, 10 $\mu\text{m/sn}$ 'nin üzerindeki katılma hızlarında elde edilmişlerdir.

Atasoy [4] tarafından değişik silisyum bileşimleri ve çeşitli katılma hızlarında fazlar arası mesafe ölçüm çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar ise şekil 4.2 ' te toplu olarak gösterilmiştir.Şekil 4.2 ' te görüldüğü gibi Si bileşimi ve stronsiyum miktarı arttıkça fazlararası mesafe yani fleykler ve fiberler arasındaki mesafe azalmaktadır. Bu etki % 13.43 Si bileşiminde açıkça görülmektedir. Aynı şekilde stronsiyumun etkisi de % 12.7 Si bileşiminde görülmektedir. Stronsiyum miktarı arttıkça fazlar arası mesafe kısalmaktadır.



Şekil 4.1.a) Al - % 2.7 Si alaşımı, $V = 53 \mu\text{m/sn}$. Enine kesit, X180. “Y” şekilli açısıl silisyum kristalleri arasında yaklaşık olarak birbirine paralel fleyk silisyum kristallerinden oluşan koloniler görülüyor. b) Al - % 13.17 Si alaşımı, $V = 40 \mu\text{m/sn}$. Boyuna kesit, X200 Kompleks düzenli ve yıldız şeklindeki silisyum kristallerinin kesitte görülen yan plakalarının arasında koloniler halindeki fleyk silisyum kristalleri görülüyor. Katılaşma yönü sağdan sola doğrudur. c) Al - % 12.7 Si alaşımı, $V=10 \mu\text{m/sn}$. Scanning Elektron Mikroskopunda (S.E.M.) dağlanmış enine kesitte, düzensiz fleyk silisyum kristallerinin 30° eğimle görünüşü, X1080 [4].



5 . DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1 Ötektik Al – Si Alaşımının Hazırlanması

Ötektik Al – Si alaşımı, Al - % 25 Si, Al - % 5 Sr içeren master alaşımlarının uygun miktarda karıştırılıp grafit potada argon gazı atmosferinde indüksiyon fırınında ergitilerek elde edilmiştir. Ergimiş sıvı 750 °C ' de 10 dakika homojenizasyon işlemine tabi tutulduktan sonra 10 mm çapında ve 100 mm yüksekliğindeki grafit kalıba dökülmüştür.

Dökümü yapılan parçalardan alınan numunelerin Assan Alüminyum Sanayi ve Ticaret A.Ş.nin laboratuvarında bulunan ARL 3460 spektrometrik analiz cihazında yapılan analizinde Tablo 5.1. deki element değerleri bulunmuştur.

Tablo 5.1. Deneyde Kullanılan Ötektik Alaşımın elementel analizi

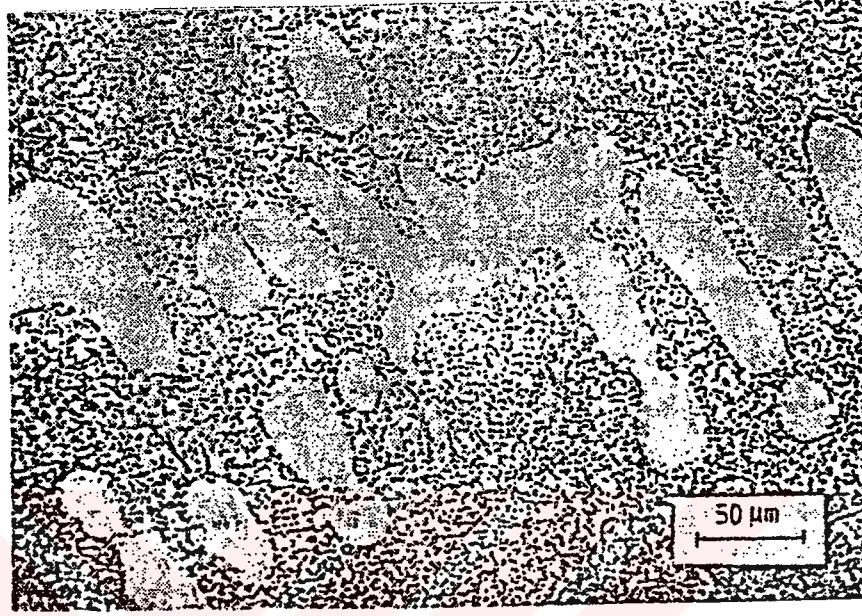
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ni	Pb	Sn	Ti	Al	% Al
1	9.59	1.06	0.18	0.08	0.04	0.01	0.03	0.01	0.02	0.01	0.01	82.71	88.91
2	10.60	0.81	0.13	0.05	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	117.91	88.28
Ort.	10.09	0.94	0.15	0.07	0.03	0.01	0.02	0.01	0.02	0.00	0.01	100.31	88.60
1	12.77	0.26	0.11	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	137.63	86.79
2	12.57	0.28	0.11	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	140.13	86.98
Ort.	12.67	0.27	0.11	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	138.88	86.89

Tablodan da görüldüğü gibi herbir numuneden 2 adet ölçüm yapılmış olup bunların ortalaması alınmıştır.

5. 2. Mikroyapı Çalışmaları:

Mikroyapı çalışmalarında Zeiss marka optik mikroskobu kullanılmıştır. Optik mikroskobu çalışmasında Dökümden ve ısıtılardan sonra ötektik alşımdan kesilerek alınan parçalar sırasıyla 80,150,220,320,400,800 ve 1200 numara SiC zımpara kağıtlarıyla zımparalanıp α , γ alümina kullanılarak parlatılmışlardır. Parlatılan numuneler daha sonra % 3 HCl içeren alkol çözeltisinde yaklaşık 7 saniye dağlanmışlardır.

Dökümden sonra parçadan alınan numune üzerinde yapılan optik mikroskobu çalışmasında şekil 5.1 deki mikroyapı görülmüştür. Resimden de görüldüğü gibi yapıda α - Al dendritleri fiber silisyum ile birlikte bulunmaktadır.



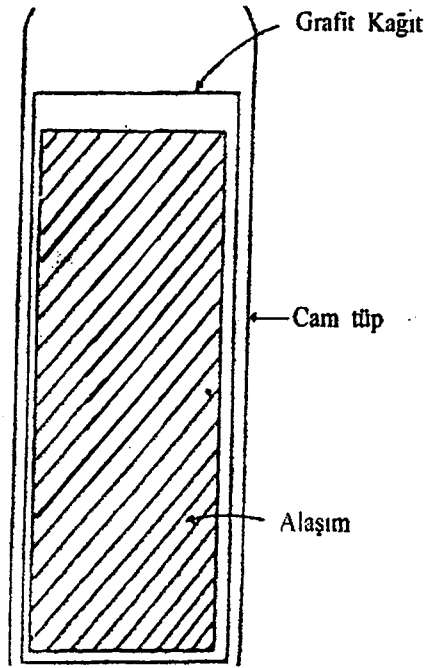
Şekil 5.1. Al - % 12.7 Si - % 0.04 Sr içeren ötektik alaşımda döküm mikroyapısı. α - Al dendritler ve silisyum fiberleri birlikte bulunmaktadır.

5.3. Isıl işlemler

10 mm çapında 100 mm uzunluğundaki ötektik alaşım aşağıda şekil 5.2 ' de görüldüğü gibi grafit kağıda sarılarak cam tüp içerisine yerleştirilmiştir.

Alaşımu grafit kağıda sarmamızın nedeni alaşım ergidiğinde içinde bulunan stronsiyumun buharlaşarak kaybolmaması ve birde alaşımın döküm şeklini koruması olarak açıklanabilir.

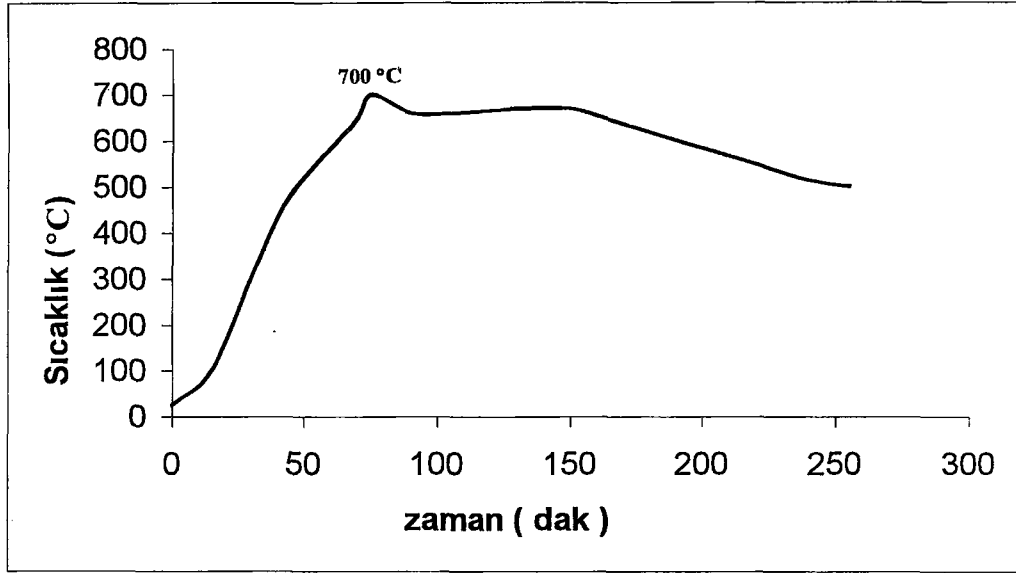
Isıl işlemlerde Herhaus tünel tipi fırın kullanılmıştır. Numune bir refrakter üzerine yerleştirilerek Fırının içerisinde termocoupl'un altına konulmuştur ve daha sonra tablo 5.2'de kayıt edilen sıcaklık değerlerinde ısı işlem yapılmıştır.



Şekil 5.2. Deney düzeneği

Tablo 5.2 Al –Si Ötektik alaşımının ısıt – İşlem sıcaklık değerleri.

Zaman (dakika)	Fırın sıcaklığı °C	
0	25 °C	ISITMA
15	100 °C	
30	300 °C	
45	480 °C	
60	640 °C	
75	700 °C	BEKLEME
90	660 °C	
105	660 °C	
120	665 °C	
135	670 °C	
150	670 °C	SOĞTUMA
165	644 °C	
180	618 °C	
195	592 °C	
210	566 °C	
225	540 °C	
240	514 °C	
255	500 °C	



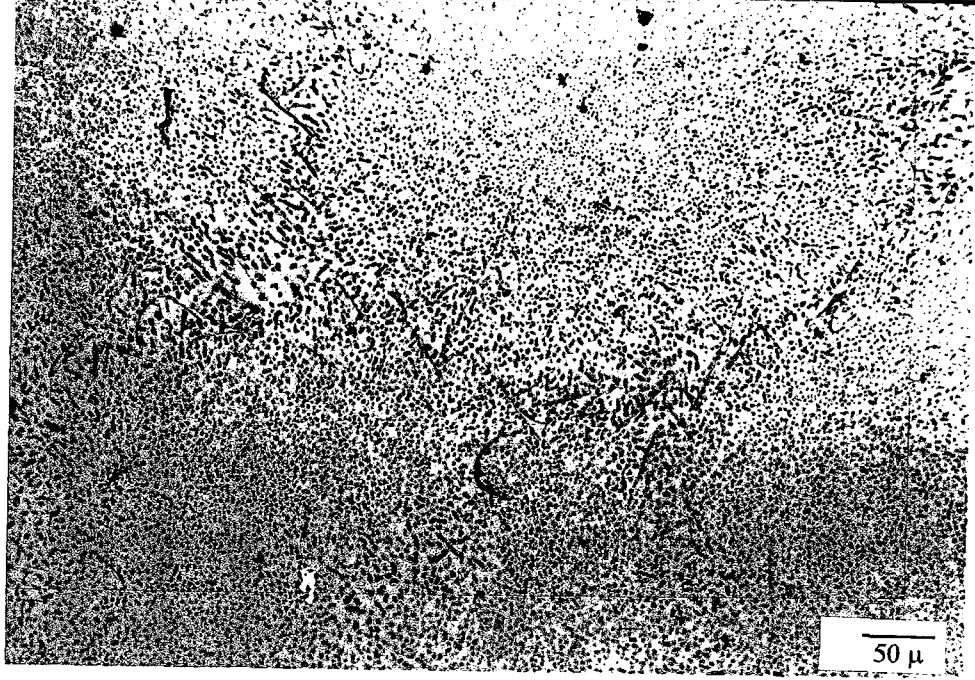
Şekil. 5.3 Ötektik alaşım için ısıtma – soğutma diyagramı

Tablodan elde ettiğimiz değerleri bir zaman – sıcaklık grafiğinde yerlerine koyarsak ısıtma işlemi neticesinde bütünüyle fiber yapıda olan ısıtma – soğutma diyagramı elde ederiz.

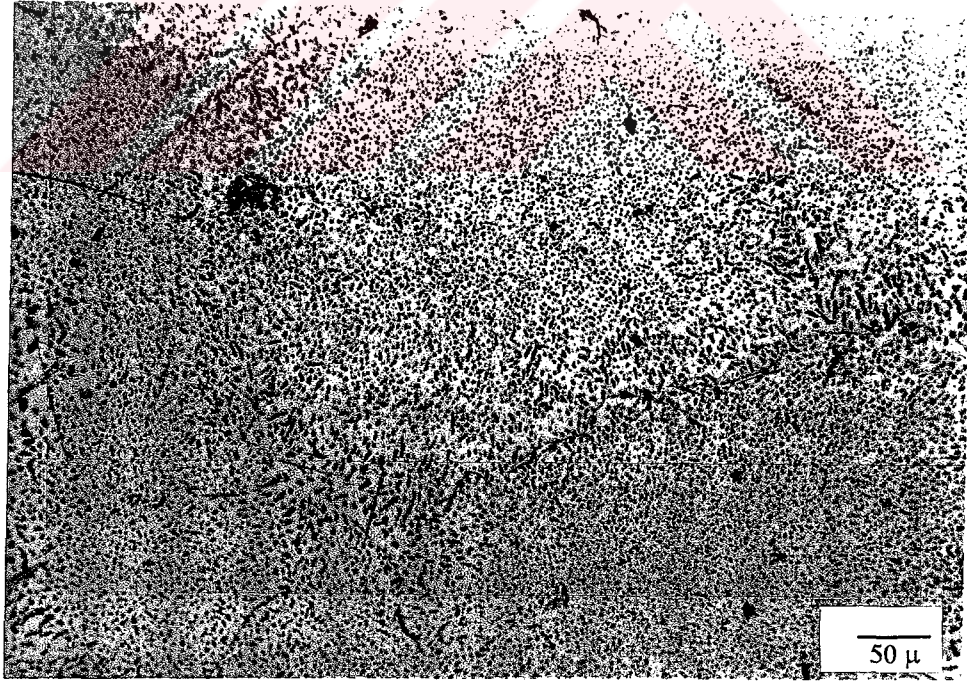
Isıl işlem sıcaklık değerlerinden de görüldüğü gibi numune 700 °C'ye kadar ısıtılarak bu sıcaklıkta difüzyonun tam olması için 1 saat 15 dakika bekletilmiştir. Bekleme anında fırın sıcaklığı 660 – 700 °C sıcaklıkları arasında oynamıştır. Bekleme süresinden sonra , fırın 1.7 °C / dak'lık bir soğuma hızında 500 °C ' ye kadar soğutulmuştur. 500 °C ' de fırından alınan numune daha sonra suda soğutulmuştur.

Isıl işlemi yapılan alaşımdan kesilerek alınan parçaya parlatma , dağlama işlemi uygulandıktan sonra Zeiss marka optik mikroskopta mikro yapısı incelenmiş ve şekil 5.4 ' te görülen mikroyapılar elde edilmiştir.

Resimlerden de görüleceği gibi uygulanan ısıtma işlemi neticesinde α - Al oluşması önlenmiş ve silisyumda fiber şeklinde dağılmıştır.



a

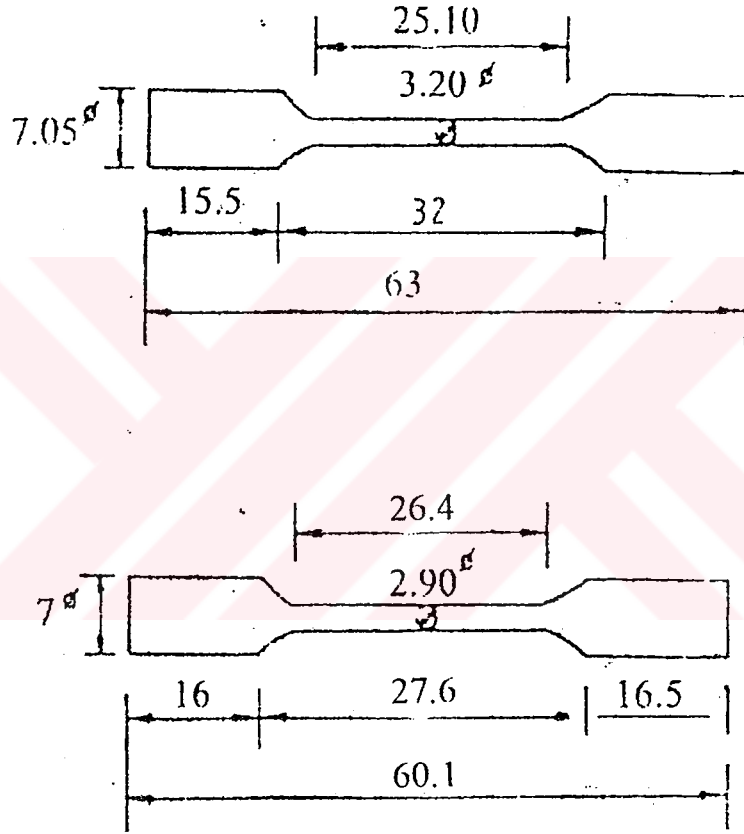


b

Şekil 5.4. a ve b de 1.7 °C / dak.'lık soğuma hızıyla soğutulan ötektik alaşımın optik mikroyapısı görülmektedir. X 200

5.4. Çekme Çubuklarının Hazırlanması ve Çekme deneyleri.

İstenilen Mikroyapı elde edildikten sonra Al – Si ötektik çubuklarından şekil 5.5 ‘ teki ölçülerde iki adet Çekme çubuğu hazırlanmıştır.Çekme çubuklarının hazırlanmasında Tezsan – Tos torna kullanılarak 1700 dev / dak da çalışılmıştır. Çekme deneylerinde ise Zwick Universal çekme makinası kullanılmıştır. Deneyler oda sıcaklığında 3 mm / dak ve 0.2 mm / dak ‘lık çene hızlarında yapılmıştır.



Şekil 5.5. Deneylerde kullanılan çekme çubuklarının ölçüleri (ölçüler mm ‘ dir)

Çekme deneyleri İMES- KOSGEB ve İTÜ Kimya – Metalurji Fakültesi İnstron laboratuvarların da yapılmıştır.Şekil 5.5. te çapı 2,90 mm olan numune için şekil 5.6 ‘ daki gerilme - % uzama diyagramı ve bu diyagramdan da şu sonuçlar elde edilmiştir.

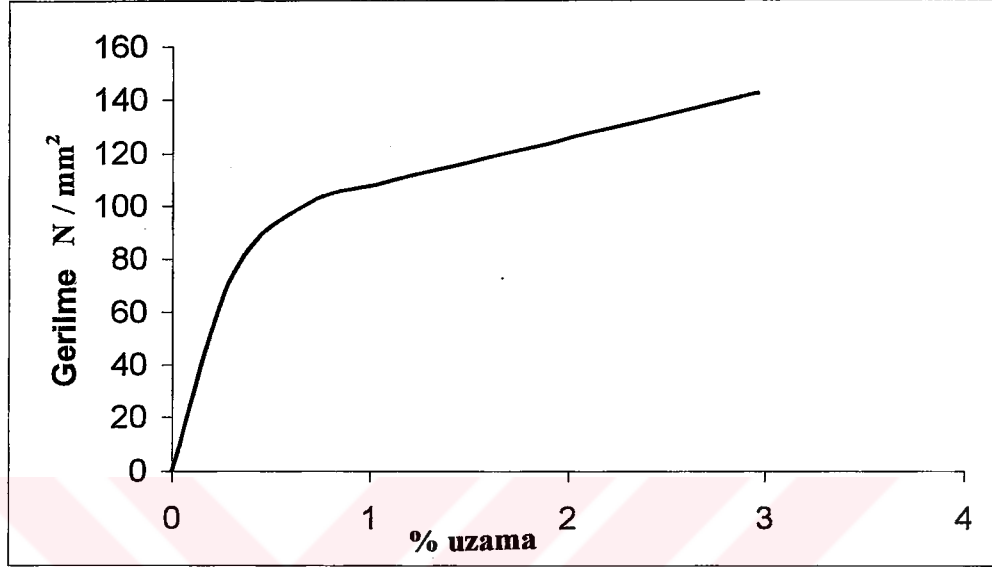
Diyagramdan aşağıdaki sonuçları çıkarabiliriz.

D_0 : 2,90 mm^φ

Alan: 6.60 mm²

UTS : 142 N / mm²

Akma Dayanımı : 96.21 N / mm²



Şekil 5.6. Çapı 2.90 mm olan numune için Gerilme - % uzama diyagramı

5.5. Elektron Mikroskobu (S.E.M) Çalışması.

Scanning Electron mikroskobu çalışmasında Jeol 840 marka mikroskop kullanılmıştır. Bu çalışma için ısıtma işlemi yapılmış numune % 3 HCl içeren etil alkol çözeltisinde 48 saat boyunca dağlanmış.

Scanning elektron mikroskobu çalışmasında numunenin mikroyapısı incelenmiştir. Elde edilen mikroyapılar şekil 5.7 ve 5.8 ' de görülmektedir. Şekil de görülen yapı Al matriks içinde fiber silisyumdur.

5.6. Sertlik Ölçümleri.

Sertlik ölçümlerinde Wilson marka mikro ölçüm cihazı kullanılmıştır. Bunun için çeşitli oranlarda Stronsiyum ile modifiye edilmiş ve Tablo 5.2 de belirtilen sıcaklık değerlerinde ısıtma işlemi yapılmış 2 adet Al - % 12.77 Si ötektik alaşımına kesme, parlatma dağlama işlemi uygulandıktan sonra mikroyapı incelemesi yapılmıştır.

Yapılan inceleme sonunda mikroyapısının Şekil 5.4'teki mikroyapı ile aynı olduğu görülmüştür ve sertlik ölçümü işlemine geçilmiştir.

Sertlik ölçümleri 200 gr yük uygulanarak yapılmıştır ve bulunan mikrosertlik değerleri Vickers Sertlik değerlerine Çevirim Tablosu yardımıyla çevrilmiştir ve Tablo 5.3 ' teki sonuçlar elde edilmiştir.

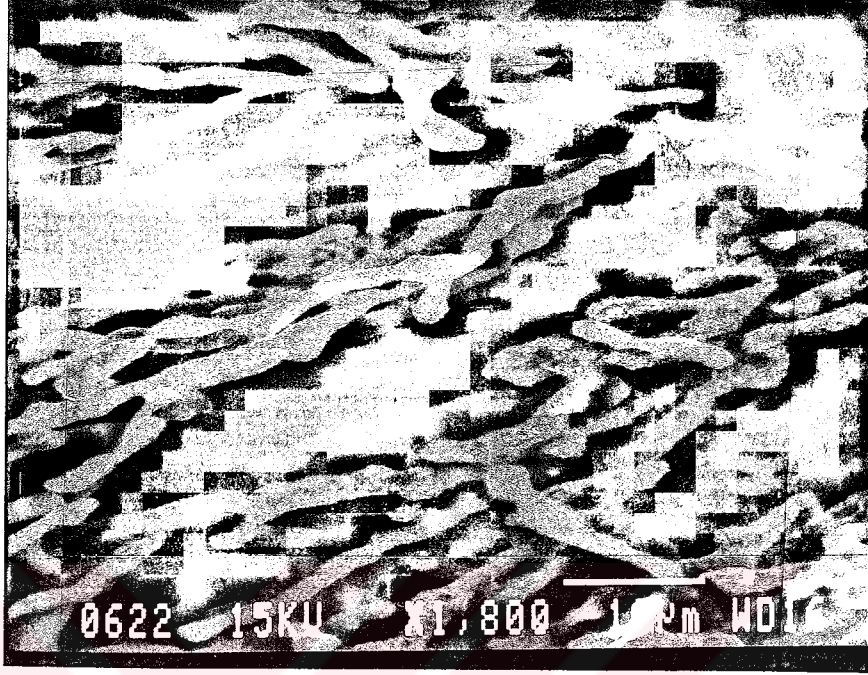
Tablo 5.3. Vickers sertlik değerleri

Numune No	Vickers Sertliği kg/mm ²			
	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm	Ortalama değer
1	60	60	60	60
2	63	61	60	61.3

Yukarıdaki Tabloda da görüldüğü gibi ortalama sertlik değerleri 60 Vickers sertliği civarındadır.



Şekil 5.7. 1.7 °C / dak .hızda soğumayla oluşan tamamen ötektik mikroyapının derin dağlanmasıyla ortaya çıkartılan fiber silisyum kristallerinin S.E.M ' de görünüşü.



Şekil 5.8. 1.7 °C / dak. hızda soğumayla oluşan tamamen ötektik mikroyapının derin dağlanmasıyla ortaya çıkartılan fiber silisyum kristallerinin S.E.M de görünüşü.

6. GENEL SONUÇLAR

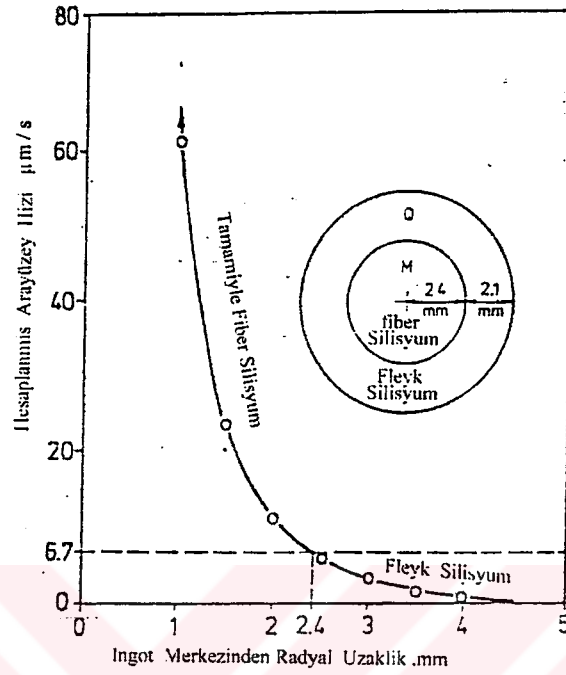
Normal dökümde fleyk şeklinde silisyum ve α - Al dendritlerinden oluşan Al - %12,7 Si - %0,04 Sr içeren ötektik alaşım 1.7 °C/dak.'lık soğuma hızında tamamıyla fiber yapıya dönüşmektedir (şekil 5.4). Alaşımında, dökümden sonra katılaşma grafit kalıbın duvarlarında başlar ve bütün sıvı bitinceye kadar içeriye doğru ilerler. Katılaşma yüzeyinin ilerleme hızı, katılaşma anında açığa çıkan ısıнын katı – sıvı arayüzeyinden alınıp çevreye verilmesiyle belirlenir. Onun için çevre sıcaklığı ile katılaşma yüzeyi arasındaki sıcaklık farklılığı reaksiyonu kontrol eden faktör olarak kabul edilir. Katılaşmanın kalıp yüzeyinden başlaması ve katılaşma yüzeyinin arkasındaki sıcaklık gradyanının sürekli yükselerek artmasından dolayı ötektik arayüzey hızı zamanla artmalıdır.

Ara yüzeyin radial değişimi Hanna's analizi [14] kullanılarak hesaplanabilir. Bu metod kullanılarak hesaplanan arayüzey hızı – radyal katılaşma eğrisi Şekil 6.1'de görülmektedir.

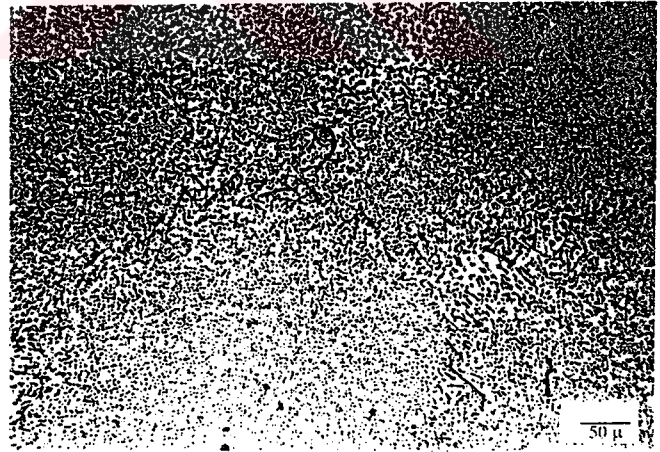
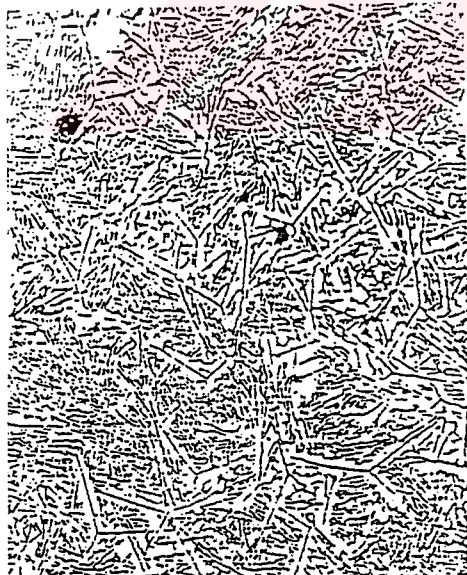
Şekilden de görüldüğü gibi, modifiye yapıdan modifiye edilmemiş yapıya geçiş, kalıp duvarlarından 2,1 mm uzaklıkta ve arayüzey hızı 6,7 $\mu\text{m} / \text{sn}$ ' ye ulaştığı zaman meydana gelmektedir. Arayüzey hızının 6,7 $\mu\text{m}/\text{sn}$ ' den küçük ve büyük olduğu durumlardaki mikroyapılar da şekil 6.2 ' de gösterilmiştir.

Atasoy'un da [18] daha önce yaptığı çalışmalarda belirttiği gibi, yönlendirilerek katılaştırılmış Al – Si ötektik alaşımlarında bu değer (6,7 $\mu\text{m}/\text{sn}$) modifiye olmamış yapıdan modifiye olmuş yapıya geçiş için kritik hız değeridir. Şekil 6.3. te bunun için dış tabakadaki fleyk, ötektik tabaka katılaşma şartlarını değiştirerek kontrol edilebilir. Yüksek soğutma hızı Şekil 6.3.'de verilen arayüzeyin ilerleme hızı – radyal mesafe eğrisini sağa doğru hareket ettirir ve sonuç olarak belirtilen tabakanın kalınlığını azaltır. Buna karşın Atasoy'un [18] daha önceden bulduğu sonuçlarla uyumlu olarak, hızlı soğutma hızları dış tabakanın kalınlığını düşürürken bilhassa ingot'u merkezine doğru fiber ötektiğinin yanında dendritik α - Al oluşumuna da

neden olur. Flake tabaka Sr varlığından etkilenmez. Bu mikroyapı Şekil 6.3.'de "Q" bölgesinde görülen mikroyapıyla benzerlikler gösterir.



Şekil 6.1. Al - % 12,7 Si - % 0,004 Sr içeren ötektik alaşımda arayüzey hızı – radyal mesafe eğrisi [14].



M Bölgesi

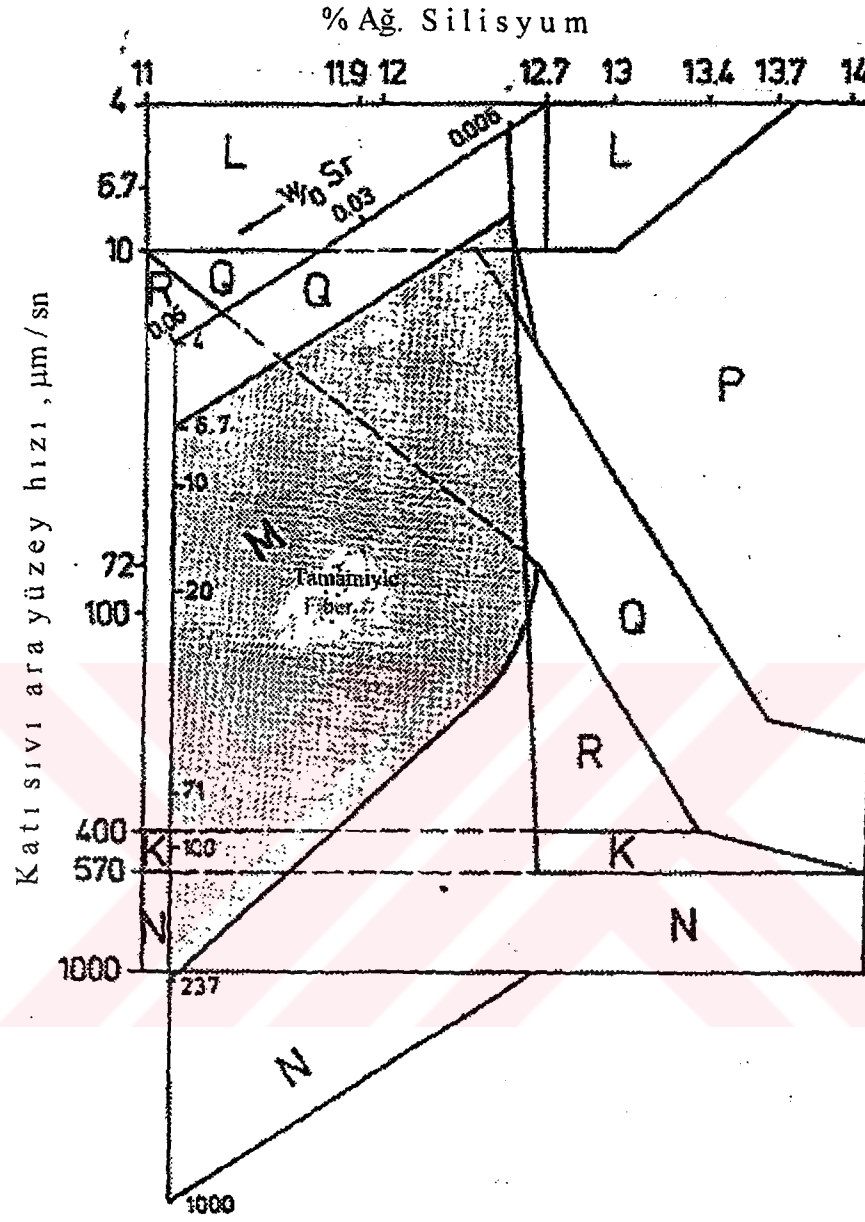
Q Bölgesi

Şekil 6.2. Al - % 12,7 Si - % 0,04 Sr içeren ötektik alaşımda arayüzey hızı - radyal mesafe eğrisine bağlı olarak oluşan mikroyapılar.

Q : Flek Si bölgesi

M: Fiber Si bölgesi

Arayüzey hızı 6.7µm / sn'den büyük olduğu zaman yapı şekil 6.2 M'de görüldüğü gibi tamamiyle fiberdir.



Şekil 6.3. Yönlendirilerek katılaştırılmış Al – Si ötektik alaşımında mikroyapının bileşim ve katı – sıvı arayüzey hızına göre sınıflandırılması. [20]

- K: fleyk silisyumdan fiber silisyum'a geçiş,
- L: çeşitli silisyum yapıları (düz, açısallı ve kompleks düzenli)
- M: bütünüyle fiber silisyum,
- N: fiber silisyum ve α - Al dendritleri,
- P: flake ve kompleks düzenli silisyum,
- Q: bütünüyle fleyk silisyum,
- R: α - Al dendritleri ve fleyk silisyum.

Tablo 6.1.'de 1,5 °C/dak'lık soğuma hızı kuma döküm soğuma hızından ve Sr , Na ile modifiye edilmiş metal kalıba döküm hızından düşük olmasına rağmen, bütünüyle

fiber yapıdaki ötektik alaşım 255 N/mm^2 lik bir maksimum çekme gerilmesi ve % 6,3'lük bir uzama oranı vermektedir. Bu değerler diğer döküm yöntemlerine göre oldukça yüksektir. Kum ve metal kalıba dökülmüş ve Sr ile modifiye edilmiş alaşım, fiber yapının içinde önemli miktarda α - Al dendritleri içermektedir.

Tablo 6.1. Al – Si ötektik alaşımlarının çekme mukavemet değerleri

Alaşım	Kuma döküm		Metal kalıp		Yavaş soğutma 1,5°C/dak	
	Çekme mukavemeti (N/mm^2)	Uzama (%)	Çekme mukavemeti (N/mm^2)	Uzama (%)	Çekme mukavemeti (N/mm^2)	Uzama (%)
Normal [14]	150	3	220	4	-	-
% 0.1Sr [14]	171	7,5	247	8	-	-
% 0,01 – 0,02 Na [7]	186	11	195	12	-	-
% 0,04 Sr	-	-	-	-	255	6,3

Yapılan çalışmalardan aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir.

1. Yaklaşık % 0,04 Sr içeren Al – Si ötektik alaşımı fırında yaklaşık olarak 1,7 °C/dak'lık bir hızla soğutulursa, silisyum Al ana faz içinde tamamıyla fiber halinde bulunmaktadır.
2. Alaşımın soğuma şartları kontrol edilebilirse yönlendirilmiş katılaşma için yapılmış diagramlardan Al – Si ötektik alaşımının mikroyapısı tahmin edilebilir.
3. Atasoy ve Exner [5] tarafından yapılan çalışmada , yavaş soğumayla elde edilen ve silisyumun tamamıyla fiber şeklinde bulunduğu yapının çekme mukavemetinin 255 N/mm^2 olduğu belirtilmiştir. Bu değer α - Al dendritleri içeren ve metal kalıba dökülen alaşımın çekme mukavemetinden bile daha yüksektir. Bunun böyle belirtilmesine karşın ,bizim yaptığımız çalışmalarda maksimum çekme gerilmesi olarak 142 N/mm^2 değeri bulunmuştur. Çünkü gaz boşluksuz çekme çubukları elde edilememiştir.

KAYNAKLAR

- [1] **Murray, J.D., Mc Alister, A.J.**, 1984. Bulletin of Alloy Phase Diagrams, 5, 90
- [2] **Elliot, R., Atasoy Ö.A.**, 1979. Alüminyum – Silisyum Ötektik Alaşımlarının Kontrollü Katılaşması ve Stronsiyum ile Modifikasyonu, 3. Ulusal Metalurji Kongresi, ODTÜ, 5-6-7 Aralık, S-335.
- [3] **Elliot, R., Atasoy, Ö.A.**, 1980. Yönlendirilmiş olarak katılaştırılan Al – Si ötektik alaşımlarının kristalleşme mekanizması, TÜBİTAK 7. Bilim Kongresi, İzmir, 29-31 Eylül, 501.
- [4] **Atasoy, Ö.A.**, 1981. Alüminyum – Silisyum ötektik alaşımlarında Bileşim ve yönlendirilmiş katılaşma hızının fazlar arası mesafeye etkisi, 1. Ulusal Döküm Sempozyumu, İ.T.Ü. Metalurji Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 28-30 Eylül, 391.
- [5] **Atasoy, Ö.A., H.E. Exner.**, 1988. Cast Metals, 1, 86.
- [6] **Atasoy, Ö.A.**, 1990. Ötektik Alaşımlar Katılaşma Mekanizmaları ve Uygulamaları, Cilt 1, İ.T.Ü. Kimya – Metalurji Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul
- [7] **Fommei, F.**, 1977. Modification Treatment of Al – Si Alloys, Alluminio, 46, 121
- [8] **ASM Metals Handbook**, Solidification of Eutectic Alloys, Ninth Edition, Volume 15 Casting, 160.
- [9] **Stefan, Justi., Robert, H. Bragg.**, 1978. Tensile properties of directionally solidified Al – Si eutectic, Metallurgical Transactions A Vol. 9A, 515
- [10] **Smith R.W.**, 1968. Solidification of Metals, Iron and Steel Institute, 110, 224.
- [11] **Portalier, R.**, 1973. Dauerveredelte AlSi – Gusslegierungen, Giesserei, 60, 703
- [12] **Gunther, B., Jurgens, H.**, 1980. Einfluss Geringer Beimengungen auf Mechanischen Eigenschaften Getügeaus – Bildung und Erstarrungsfront der Eutektischen bzw. Naheutektischen AlSi–Gusslegierungen, Giesserei, 67, 8
- [13] **Elliot, R.**, 1983. Eutectic Solidification Processing. Butterworths

- [14] **Hanna, M.D., Shu – Zu Lu., Hellaawell, A.,**1984. Modification in the Aluminum Silicon System. Metall – Trans. A, Vol 15A, 459.
- [15] **Haque, M.M., Kondic, V.,** 1985. Influence of Strontium On Solidification of Al – Si Alloy, Light Metals Science and Technology [Proceedings of on International Symposium, 159.
- [16] **Gruziieski, J.E., Pekgülyüz, M., Closset, M.,** 1987. In Proceedings of the third International Solidification Conference (Sheffield, U.K.), Institute of Metals
- [17] **Jackson, K.A., Hunt, J.D.,** 1966. Lamellar and Rod Eutectic Growth, Trans. Met. Soc. AIME. 236, 1129
- [18] **Atasoy, Ö.A.,** 1983. The Directional Solidification and Strontium Modification of Al – Si Eutectic Alloys, Aluminium, 59, 928-933
- [19] **Khan, S., Durdjini, A., Hamed, Q.S., Alam Najafabadi, M.A., Elliot,R.,** 1993. Hardness and mechanical property relationships in directionally solidified aluminium-silicon eutectic alloys with different silicon morphologies, Journal of materials science, 28, 5957-5962
- [20] **Atasoy, Ö.A., Kısakürek, Ş. Ergin.,** 1989. A Technique to Develop the mecical Properties of Al – Si eutectic Alloy, Bull. Tech. Univ. İstanbul, 42, 329-342

ÖZGEÇMİŞ

1965 Sorgun (Yozgat)'da doğan Turgay TURSUN, ilk – orta ve lise öğrenimini Sorgun'da tamamlamıştır. 1983 – 1987 yılları arasında ODTÜ Kimya mühendisliği bölümünde öğrenim görmüştür. 1989 yılında İ.T.Ü. Kimya – Metalurji Fakültesi Metalurji mühendisliği bölümüne girerek 1993 yılında bu bölümden Metalurji mühendisi olarak mezun olmuştur. 1993 – 1995 yılları arasında çeşitli firmalarda Metalurji mühendisi olarak çalışan Turgay TURSUN, 1995 yılında arkadaşları ile Silah Sanayine metalik kaplamalar konusunda hizmet veren ATEŞ AV TÜFEKLERİ LTD. ŞTİ.'ni kurmuştur.

Evli ve 1 çocuk babası olan Turgay TURSUN iş yaşamını, faaliyetini devam ettirmekte olan ATEŞ AV TÜFEKLERİ LTD.ŞTİ.'nde sürdürmektedir.



**TE. TURSUNOĞLU KURULU
BİLGİLENDİRME ALAKALI**