



# Alüminyum Test Eğitim ve Araştırma Merkezi

Mart 2017





Alüminyumun Sıvı Metal Hareketleri  
ve  
Ürün Kalitesine Etkisi  
(gaz problemi ve sıvı kompozisyon)

Prof. Dr. Fevzi Yılmaz  
FSMVÜ

Mart 2017

# GÜNDEM

1. Alüminyum hurdaların karakteristik özellikleri ve nihai ürüne etkileri
2. Hurdalardan gelen kirleticilerin sıvı metal hareketlerine etkisi
3. Fırın içi sıvı metal hareketlerinin nihai ürün kalitesine etkisi
4. Fırın içi sıcaklık ve basıncın nihai ürün kalitesine etkisi
5. **Fırın içi degazing (degassing) işlemlerinin önemi, kullanılan yöntemler ve avantaj/dezavantajları, uygulanmasında karşılaşılan problemler**
6. **Fırın içi kompozisyonun optimize edilmesi ve önemi**

# GİRİŞ

Bütün mühendislik alaşımlarının ilk hali dökümdür. Profesör Campbell iyi döküm elde etmenin şartlarını çok özgün bir şekilde vermiştir. Bunlardan bazıları:

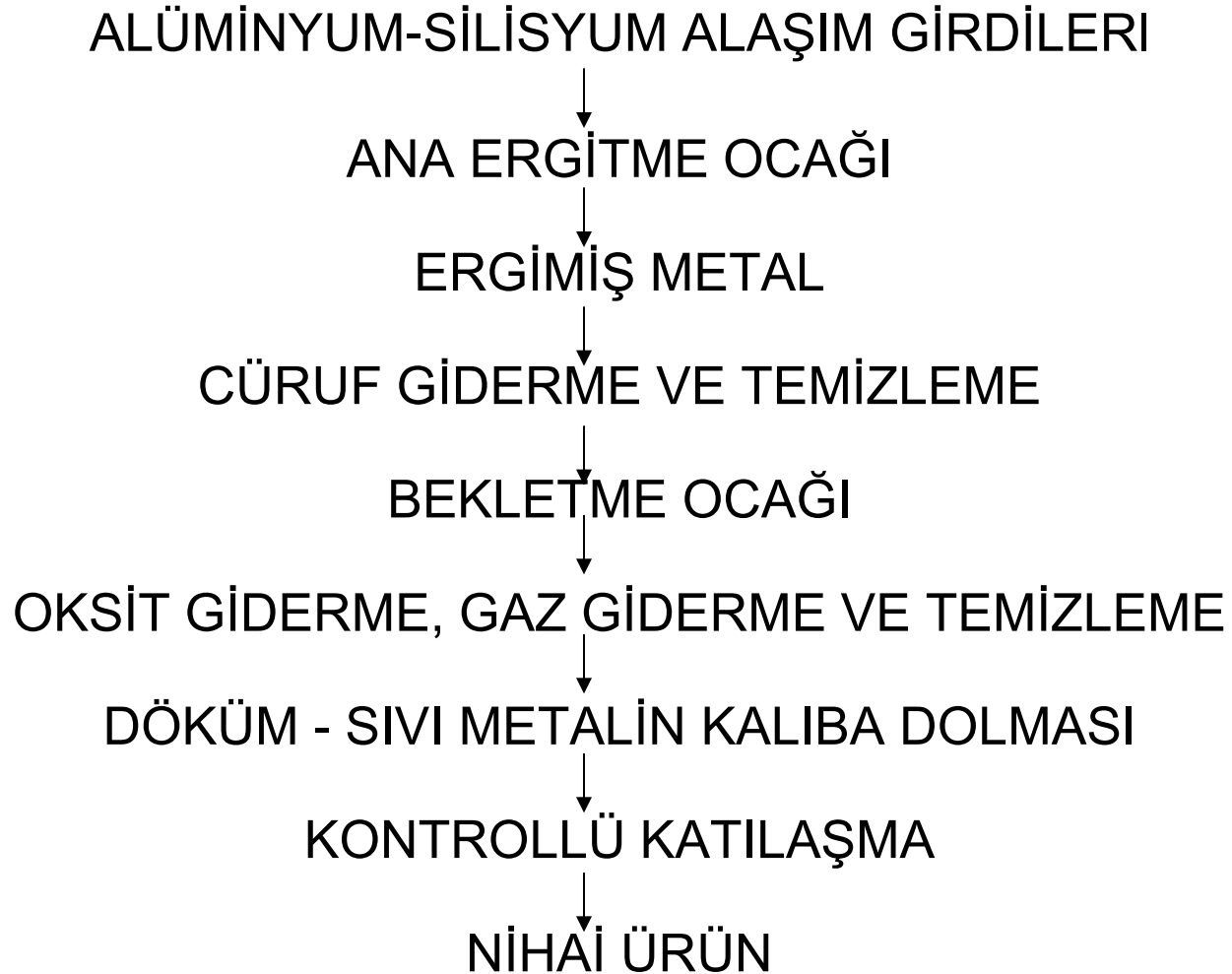
- a) İyi metal, iyi külçe, iyi hurda kullanınız.
- b) Çok hızlı dökmeyiniz (0,5m/s, maksimum 1m/s).
- c) Asla kesikli dökmeyiniz.
- d) Maça gazı metale girmemelidir. Aksi durumda büyük habbe ve kuyruğu oluşur.
- e) Gerekiyorsa büzülmeyi besleyin. İnce kesit besleme gerektirmez .
- f) Konveksiyondan ve segregasyondan kaçınınız.
- g) Stresten kaçınınız, Al dökümde akma gerilmesinden 10 kat fazla iç gerilme oluşur.

# ÖN TEST

- Külçe, ingot testi: gözle şekil inceleme, kesiti dađlama ve büyüteçle inceleme.
- Sıvı kalite testi: sıvıdan numune alma, alçak basınç testi (Hidrojen gazı için).



# Genel Al Alaşım Döküm İşlem Adımları



# ERGİTME

- Kullanılan gereçler çok temiz olmalı
- Aşırı ısıtmadan kaçınılmalı
- Potaya önce büyük parçalar, ergitmeden sonra da küçük parçalar yüklenmeli
- Nemden kaçınılmalı
- Koruyucu flaks kullanılmalı
- Temizleme flaksı kullanılmalı
- Gaz giderme işlemi yapılmalı
- Sıvı metal fazla karıştırılmamalı
- Sıvı metal hemen dökülmeli
- Metal sıcaklığı pirometre ile ölçülmeli
- Curuf dökümden hemen önce temizlenmeli
- Ergitme sırasında ve sonrasında metalin hava ve gazlarla teması önlenmelidir.

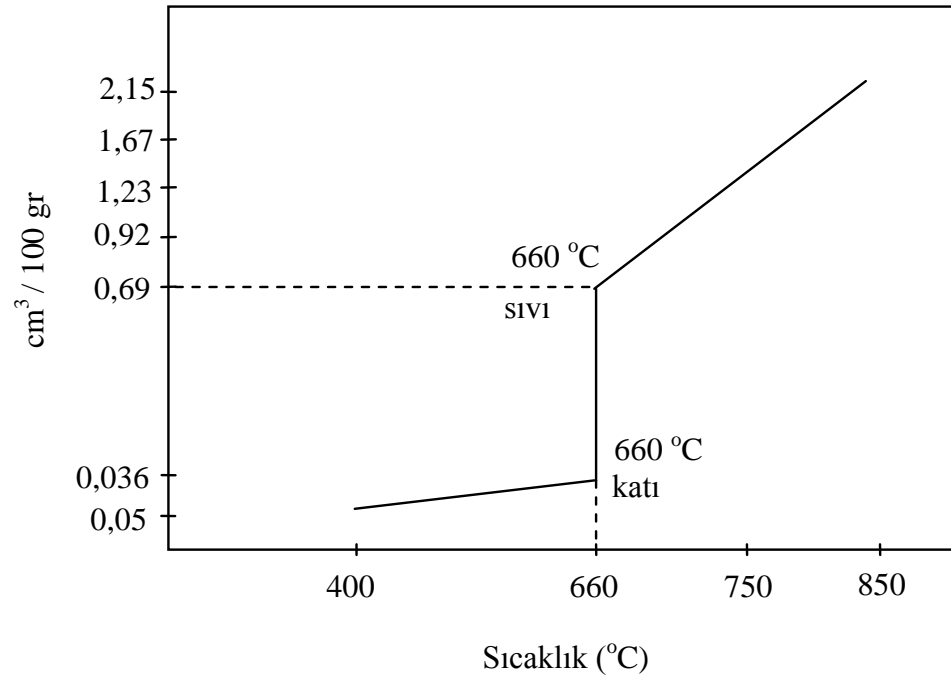


# Alüminyum Dökümlerde Gaz Problemi

- Gazların katı sıvıda çözünürlükleri büyük fark gösterir.
- Ergime sıcaklığının hemen üstünde Al'de H<sub>2</sub> gazı çözünürlüğü 0,69 cm<sup>3</sup>/100 gr.'dır. Ergime sıcaklığının hemen altında katı Al'de H<sub>2</sub> gazı çözünürlüğü 0,036 cm<sup>3</sup>/100 gr.dır.
- Bunun anlamı; sıvı Al, katı Al'a göre 20 kat fazla hidrojen eritir.



# Alüminyumda hidrojen çözünürlüğüne sıcaklığın etkisi



Artan döküm sıcaklığı gaz boşluğu riskini yükseltir

Sıcaklık (°C)	Hidrojen çözünürlüğü (cm <sup>3</sup> /100 gr.)
0	0,0000001
400	0,005
660 katı	0,036
660 sıvı	0,69
700	0,92
750	1,23
800	1,67
850	2,15

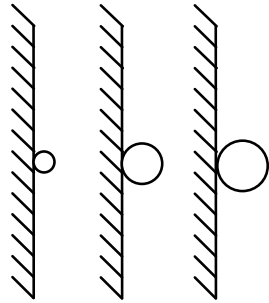
# Pinhole

- Sıvı Al döküm işlemi ile katılaştırılacağına göre fazla  $H_2$  ne olacaktır?
- Eğer katılaşma yavaş ise hidrojen katı - sıvı ara yüzeyinde itilerek habbecikler halinde atmosfere çıkacaktır ya da katı içinde hapsolacaktır.

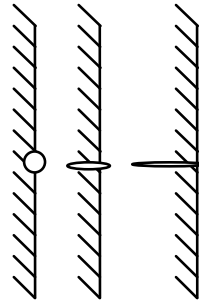
# Habbecik davranışları

Katı – sıvı ara yüzeyinde fazla çözünen sıvıdaki hidrojen iyonları habbecikler oluşturur. Ara yüzey habbecikleri üç şekilde davranırlar;

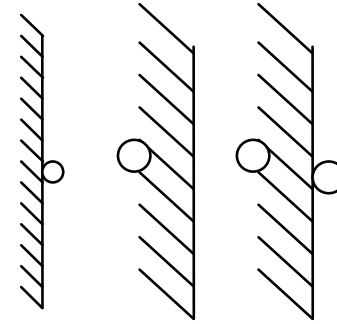
- Katı – sıvı ara yüzeyinde habbecikler birleşerek ayrılır giderler.
- Ara yüzeyle birlikte uzun çizgisel boşluk oluşturarak büyürler.
- Büyüyen ara yüzey önünde sıkışırlar, hapsolurlar.



(a)

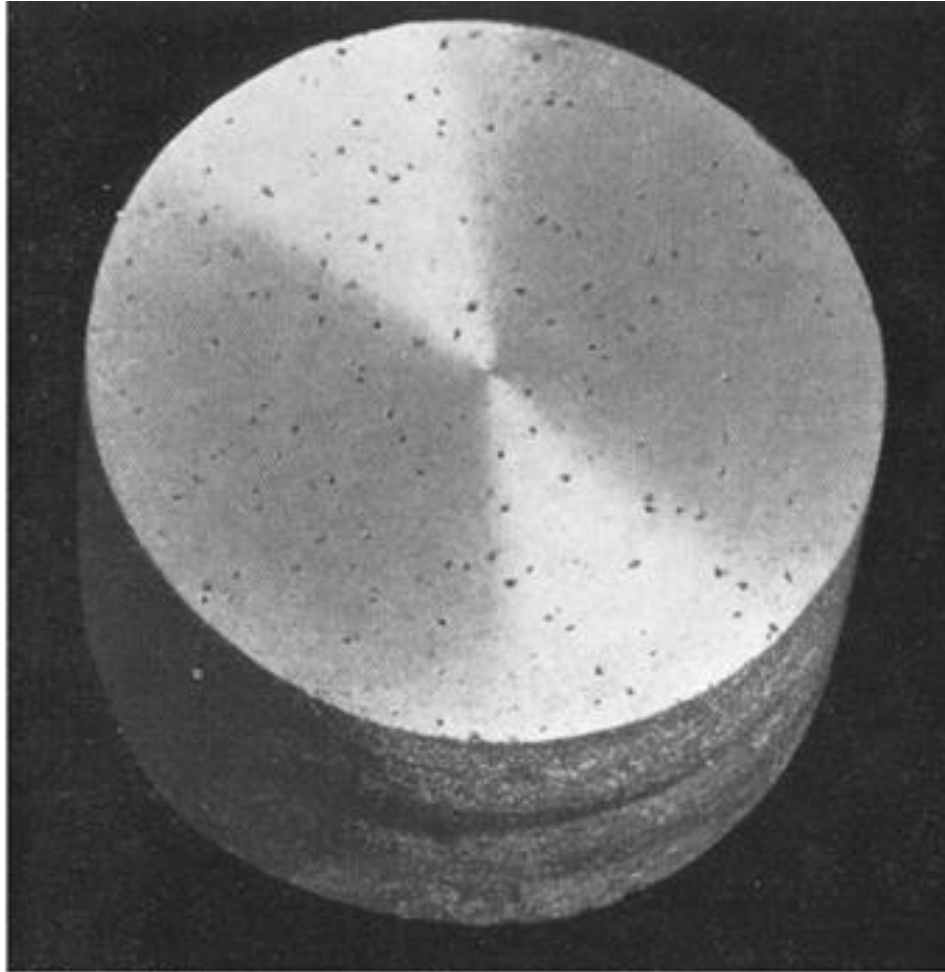


(b)



(c)

# Pinhole



*Fig. 9.8 Pinhole cavities in a sand-cast aluminium alloy, the result of hydrogen evolution on cooling.*

# ASAL GAZLA HİDROJEN ALMA

- Bir pipetle su dolu bir bardağın içine üfleyerek kabarcık oluşturduğunuzu düşünün. Olan,budur.
- Gazı en dipten vermeniz gerekiyor. Azot/argon kabarcıkları, sıvı içindeki hidrojen gazını toplar.
- Hegzakloreten tabletleri de iş görür.
- Etkinliği artırma:Sıvıya eklenen çok az miktarda Mg, alaşımın yüzey gerilimini düşürür, kabarcık büyür, geniş yüzey alanına sahip olur, yapıda kalan hidrojen miktarı daha da azaltılabilir. O nedenle, örneğin bir Al-7Si alaşımı yerine, az miktarda Mg de içeren A356 alaşımının dökülmesi, parçanın daha iyi mekanik özellikler sergilemesini sağlar (Effect of a degassing treatment on the quality of Al-7Si and and A356 melts – Degassing diffusers. T.S. Shih, K.Y. Weng. Materials Transactions, Vol. 45 (2004) 1852-1858.)

# VAKUM YÖNTEMİ (Sievert Kanunu)

- Sıvıdaki  $H_2$  çözünürlüğü sıvı üstündeki  $H_2$  kısmi basıncının kare kökü ile doğru orantılıdır.
- Tüm vakumlama tekniklerinin temeli budur. Vakum yapılarak sıvı metal üstündeki gaz yapıcı elementin veya gazın kısmi basıncı düşürülür.
- Basınç düşünce sıvı metaldeki ilgili elementin çözünürlüğü düşürülmüş olur. Böylece katılaşmadan sonra gaz boşluğu oluşumu azaltılır.

# VAKUM YÖNTEMİ

- Vakum yöntemiyle de sıvı alüminyum alaşımları içindeki gaz seviyesinin düşürülmesini sağlayabiliyoruz.
- Gaz çözünürlüğü sadece sıcaklığa değil, aynı zamanda ortam basıncına da bağlı olarak azaldığı için, eriyik bu düşük basınç altında içindeki hidrojeni yüzeyinden kismaya başlıyor.
- Dökümhane içine bir vakum sistemi kurulması gerekeceği için pahalıdır.



# ULTRASONİK YÖNTEM

- Sıvı içi basınç dalgaları çok sayıda küçük oyuklar oluşmasını sağlar. Bu minik oyukçuklar, basınç dalgalarının etkisiyle birbirleriyle çarpışarak daha büyük oyukların oluşmasına yol açar. Bu şekilde sıvı içinde oluşan gözenekler, sıvı içindeki hidrojeni temizleyerek yüzeye çıkar.
- Çevreye verdiği zarar çok az. Karıştırıcı kullanılmıyor olması oksit tabakası oluşturmaz. Sıvı içinde bulunan inklüzyonlar temizlenerek azalır.

# Gaz giderme

- Gaz gidermenin birinci yolu döküm sıcaklığını düşük tutmak ve temiz çalışmaktır. İkinci yolu ise çeşitli gaz gidericiler kullanmaktır.
- Başlıca gaz gidericiler;
- 1) N, Ar ve Cl gazı
- 2) Gaz giderme tabletleri (hegzakloretilen)
- 3) Gaz giderme flaksları

Flaks; Bünyesinde gaz giderici maddeler içeren ve cürufta toplanan toz.

# Gaz Giderme

- 1) Gaz enjeksiyonu: Tüp, lens, boru, gözenekli seramik blok.
- İnce baloncuk için 300-500 rpm. Reaktif gaz (%20) + inert gaz (%80)
- Reaktif gaz  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{F}_2 \rightarrow \text{AlCl}_3$ ,  $\text{AlF}_3$
- 2) Tabletlenmiş Katı Flaks: Hekzakloreten ( $\text{C}_2\text{Cl}_2$ ),  $\text{AlCl}_3$  baloncuğu hidrojeni süpürür. Bir kısım inklüzyon süpürülür. Koku rahatsızlığı oluşur. Ön ısıtılmış tablet. Su kapma önlenmeli.
- $2\text{Al} + 3\text{H}_2\text{O}(\text{Nem}) \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + 6\text{H}$ (Aluminyumda)
- Curuf alma önemli, yüzey oksitlenme sorunu önemli (pota/fırın)
- Mg varsa  $745^\circ\text{C}$  üzerinde Al-Mg-O spineli oluşur. [H] difüzyonunu arttırır.
- Sıcaklık gaz kapmayı arttırır. Gaz enjeksiyonda verim %10-20, Seramik bloklarda verim %40-50. Küçük baloncuk ve karıştırma önemli. Gaz enjeksiyonunda sadece inert gaz ( $\text{N}_2$ ,Ar) da kullanılır. Güvenlidir.

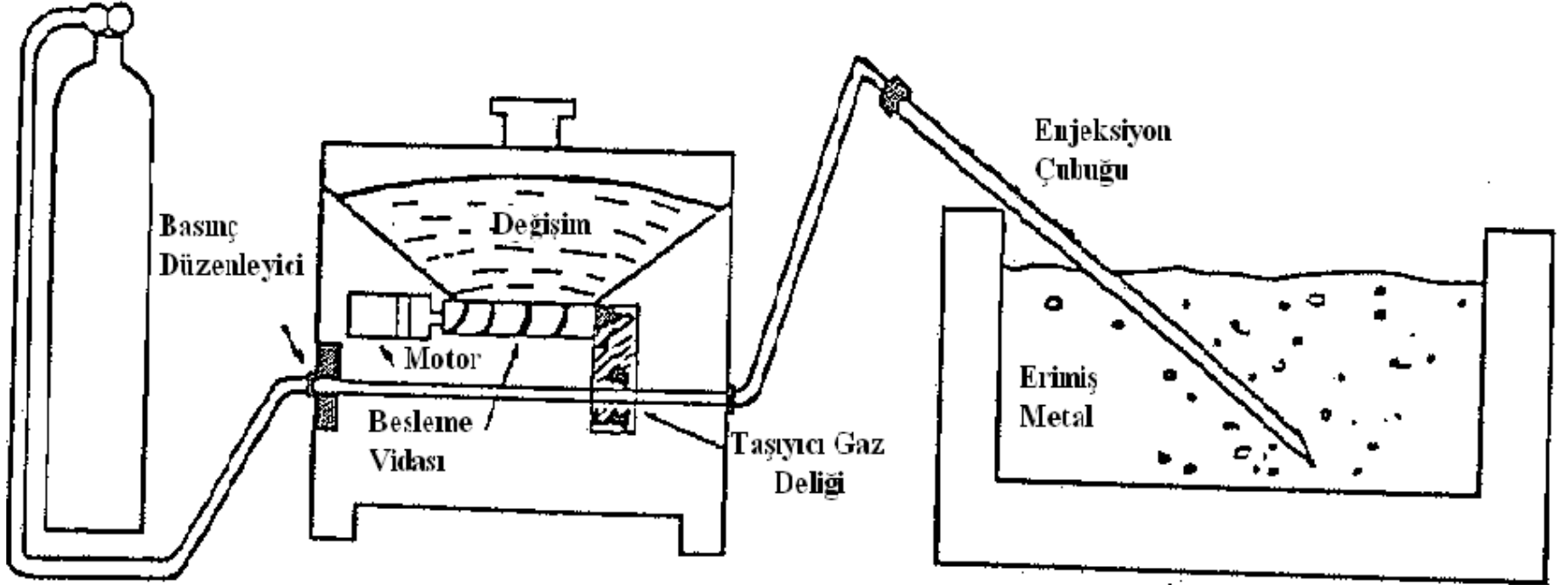
# GAZ GİDERME

- 1) Gaz-Flaks birlikteliği:** Karıştırma süreyi düşürür. Baloncuk küçük olur. Na, Li, Ca, K klor ile reaksiyona girer, alkali tuz oluşur. Katı alkali tuz balona yapışır. Yukarı taşınır. Klor fazla olursa Al ve Mg ile reaksiyon yapar (metal kaybı).
- Alkali rafinasyonu ve H<sub>2</sub> giderme için : %5 Cl<sub>2</sub> + N<sub>2</sub> (veya Ar)
  - Alkali rafinasyonu için reaktan flaks : MgCl<sub>2</sub>, KCl karışımı
  - $2\text{Na} + \text{MgCl}_2 \rightarrow 2\text{NaCl} + \text{Mg}$  benzeri reaksiyon
  - **İnklüzyonların Uzaklaştırılması**
  - Isıl ve metal türbülansı ile küme oluşturulur, baloncuklara yapışır, ince inklüzyon daha rahat yapışır. Çok küçükler seramik filtrede tutulur.

# Gaz-Flaks

Taşıyıcı Gaz  
Azot, Argon

Enjeksiyon İşlem Makinesi

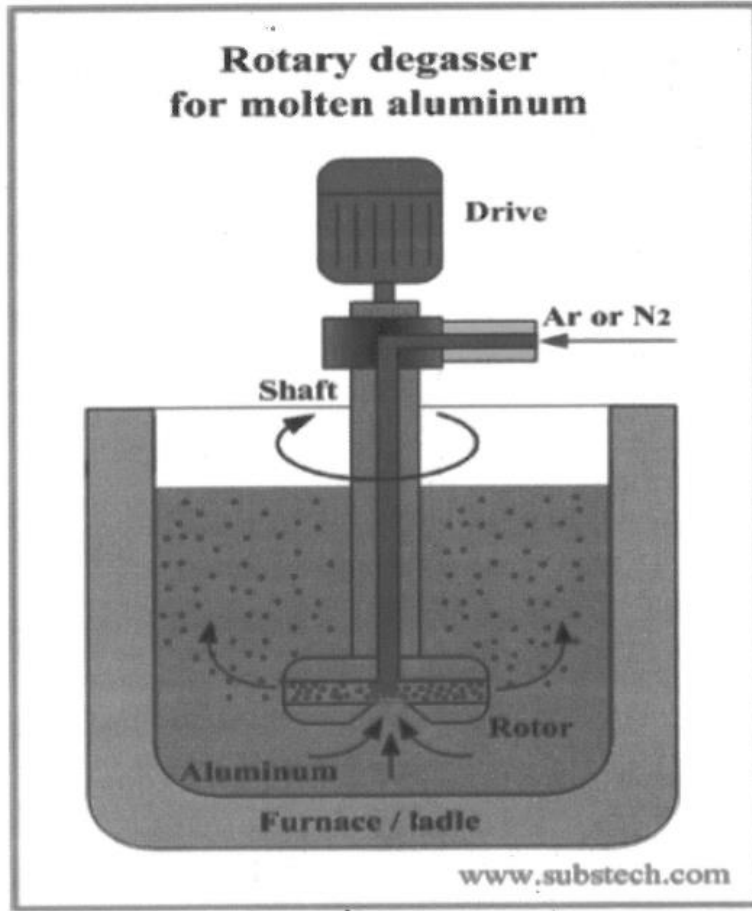


# GAZ GİDERME

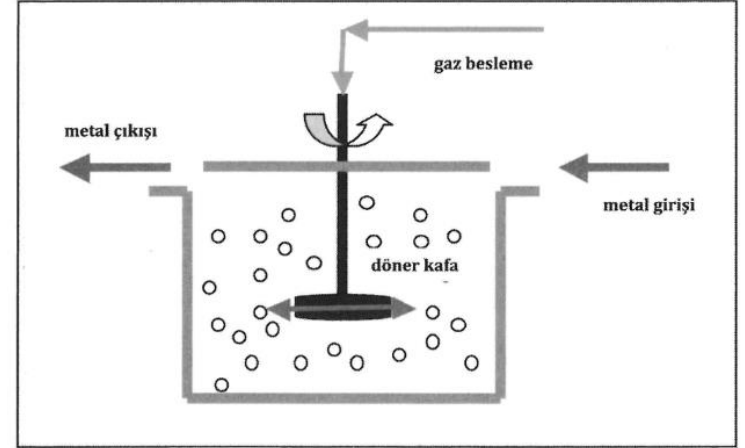
- **Kinetik**
- Balon çapı küçültme temas yüzeyi artma demektir. Azot, argon ile reaktif gaz kullanımı şarttır. Na, Ca, Li ancak bu şekilde giderilir.
- **Filtrasyon**
- Inklüzyon 0,1 – 5000 mikro metre
  - a) Elektrolizden gelenler: karbürler, alümina, alkali
  - b) Tutma ve transferden gelenler: oksitleri Mg-Al-O spineli
  - c) Alaşım elementlerinden gelenler: Mg- Alüminat, boridler
  - d) Rafinasyondan gelenler: Klorür tuzları
  - e) Refrakter koruyucu kaplamalardan gelenler: metal dışı kirlilik (boya)

# GAZ GİDERME

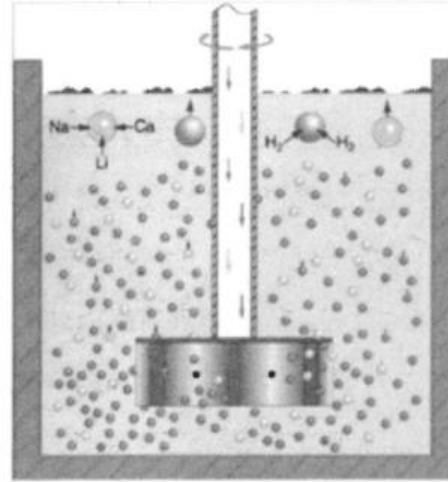
## Döner Rotor ile Metal Rafinasyonu



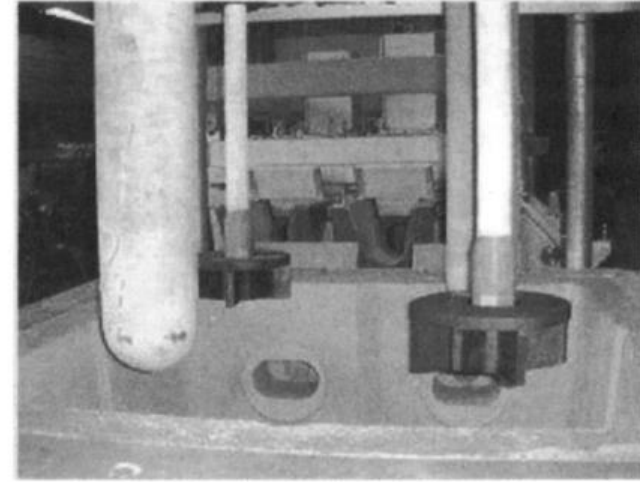
Şekil 4.16. Döner rotor ile metal rafinasyonu.



Şekil 4.24. Tek kademeli tek rotorlu ünite.



Şekil 4.23. Döner rotor (Alpur – Novelis).

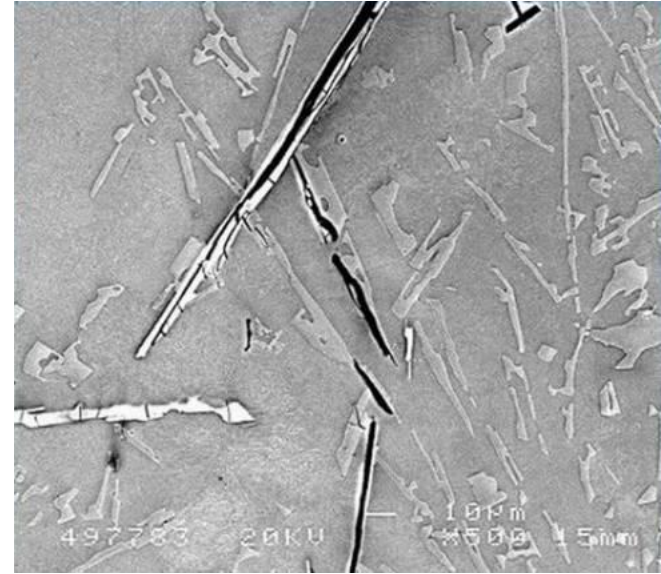
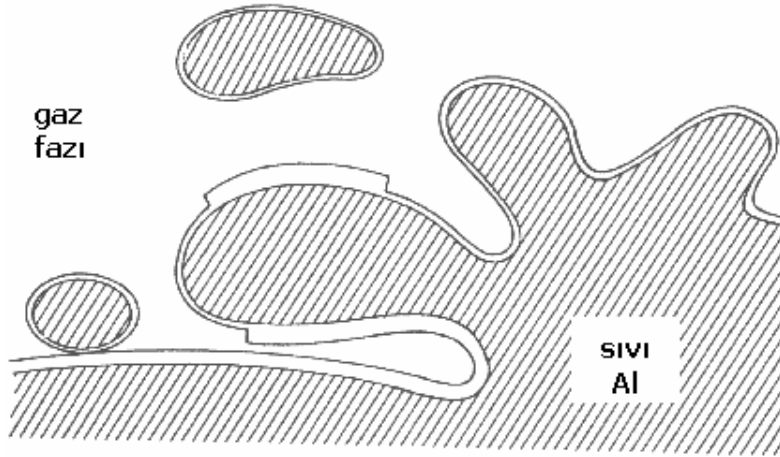


# OKSİT FİLMLERİ VE ÇİFTFİLM(BİFİLM) OLUŞUMU

- Alüminyum esaslı döküm alaşımlarda hedef oksit oluşturmamak olmalıdır, birçok araştırmacının ve sanayicinin yaptığı gibi oksidi yakalamak değil.
- Çeşitli nedenlerle (Türbülans gibi) oksit filminin iki kuru yüzü üst üste gelebilir. Katlanan kağıt benzeri oluşan bu çiftoksitli yapılara bifilm denir. Kuru iki oksit yüzey birbirine değer, hava tabakası aralarına sıkışır ve bağ oluşamaz ve 'bifilm' meydana gelir.



# OKSİT FİLMLERİ VE ÇİFTFİLM(BİFİLM) OLUŞUMU

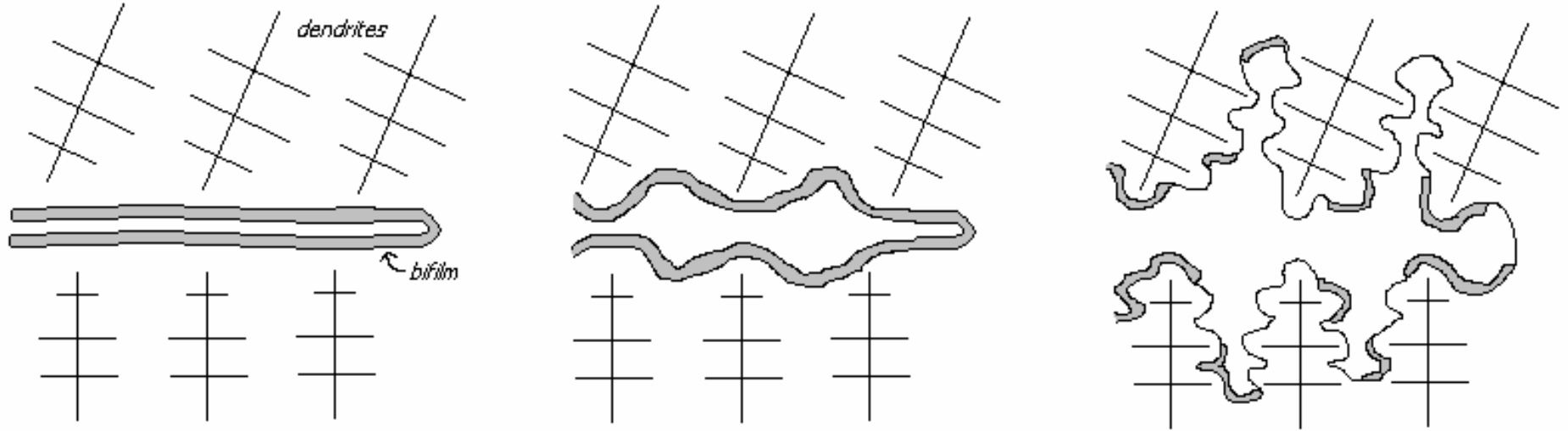


Bifilm ve etkileri **a)** Bifilmli ergiyiğin içine hapseden en bilinen yüzey türbülans mekanizması **b)** Islak yüzeyinde  $\beta\text{Al}_5\text{FeSi}$  ve  $\beta\text{Si}$  kristalleri oluşturan bifilm

# Porların Oluşumuna Bifilm Etkisi

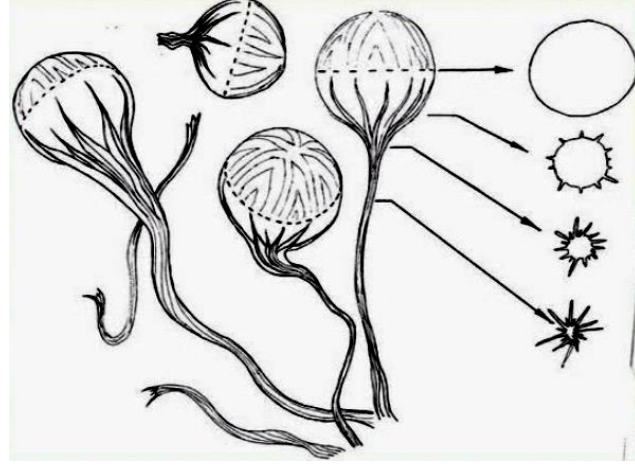
Campbell por çekirdeklenmesi görüşü yerine mevcut bifilmin açılmasını por oluşum sebebi olarak kabul etmiştir.

Katılaşmada hidrojen katı önünde segrege olur. Bifilm var ise içine difüze eder, yok ise katıda çözülür.

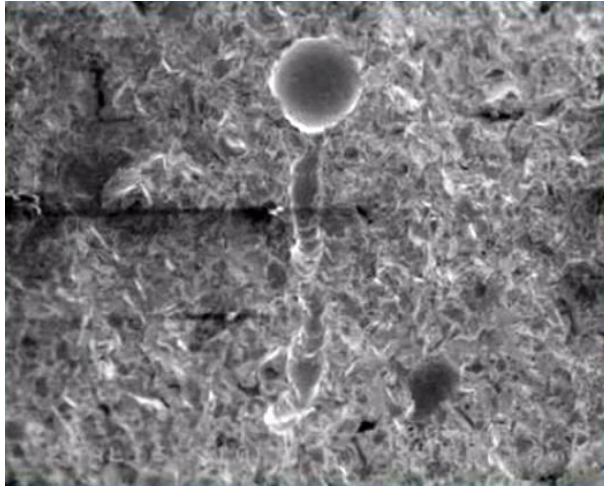


Bifilm ve porozite oluşumu

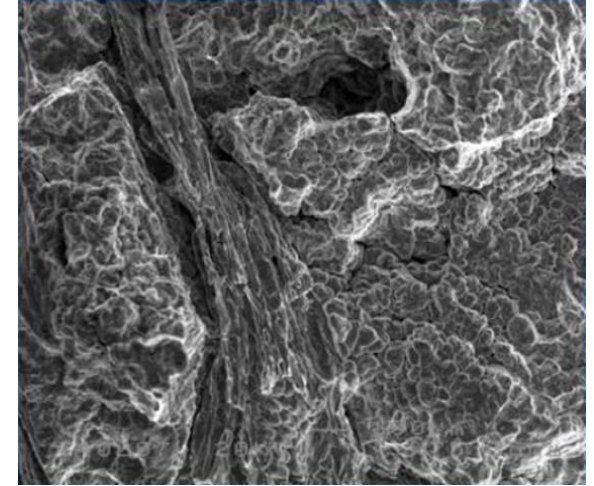
# Porların Oluşumuna Bifilm Etkisi



Kırık filmlerin büyüyen ve yükselen por etrafından aşağı süzülmesi ve kuyruk oluşumu (Şematik),

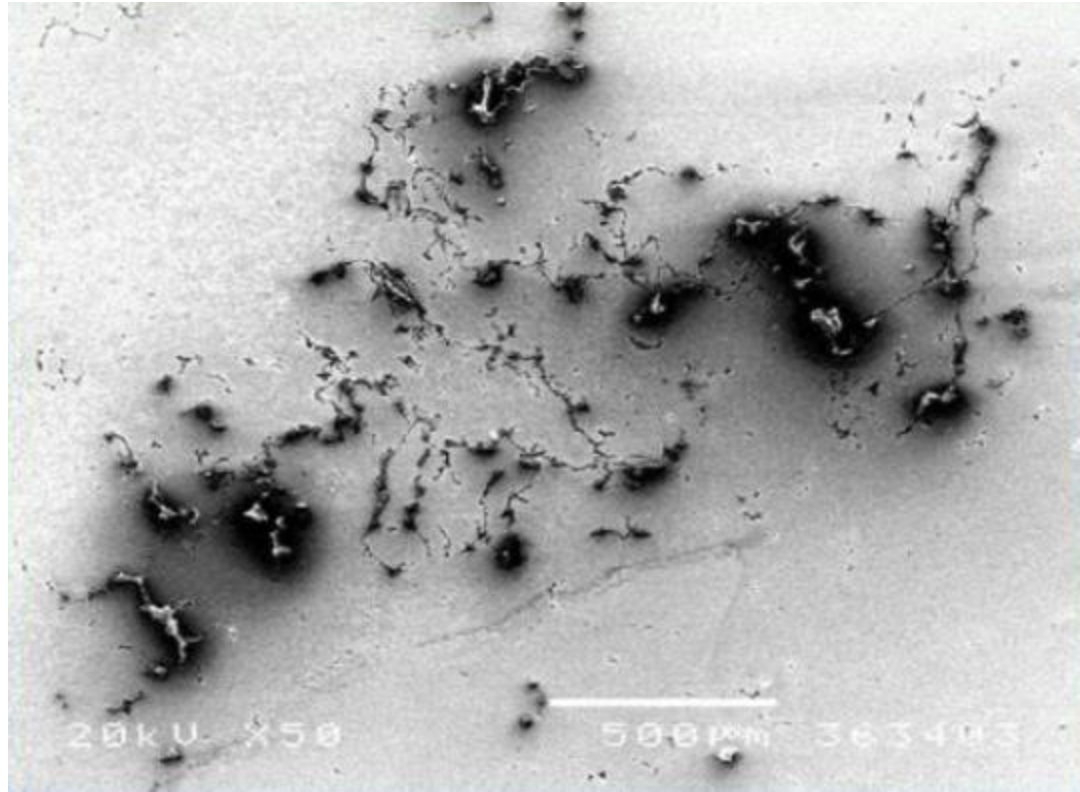


Por ve kuyruk (SEM resmi)



Kuyruk iç yapısı

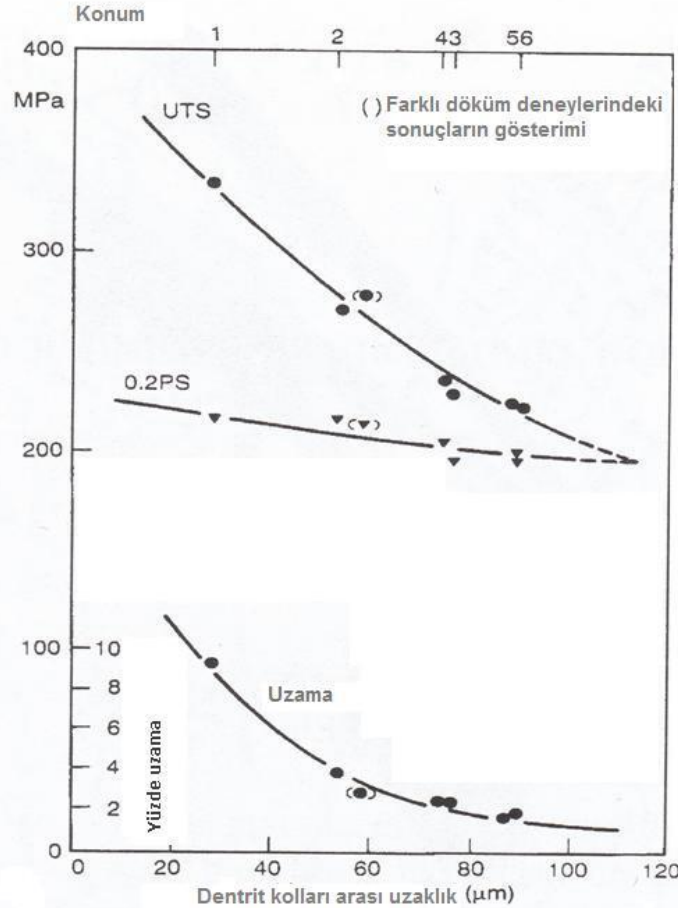
# Al alaşımında bağımsız gaz boşluğu kuyrukları



# Porsuz ve Çiftfilmsiz Sızdırmaz Döküm Parçaları

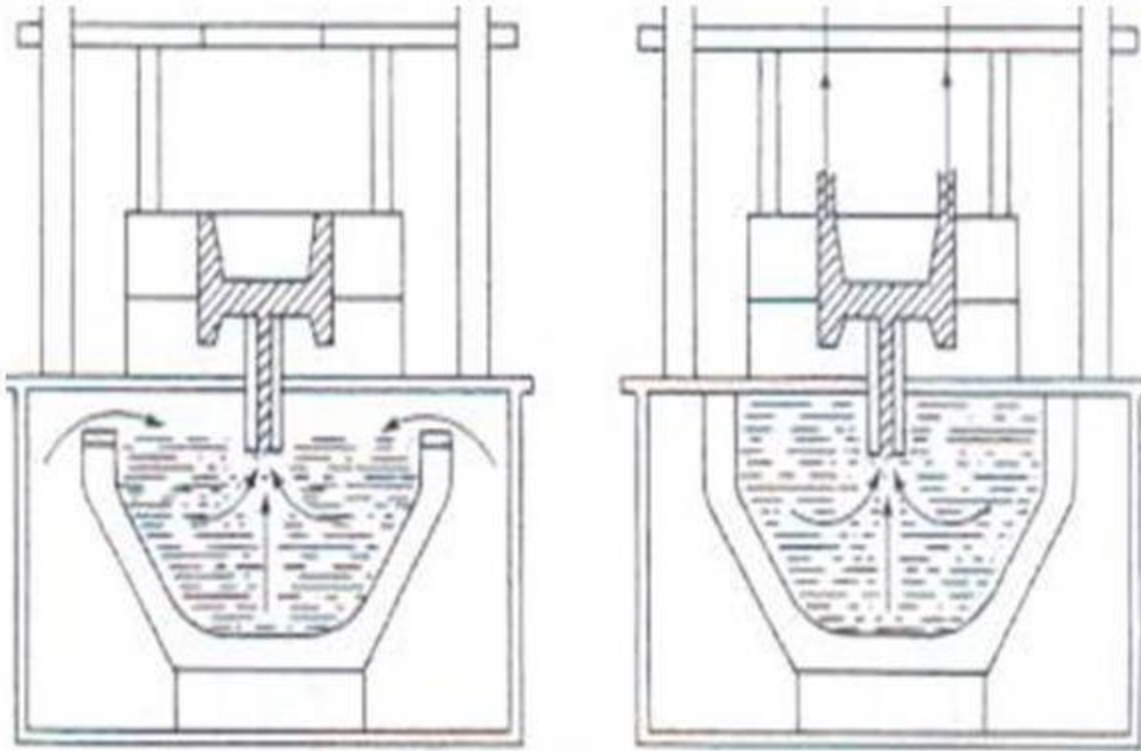
- Döküm alaşımlarında porozite %0'dan %0,4'e yükselirse mukavemet ve süneklik şaşırtıcı oranda düşer (ilki %50, ikincisi %90).
- Çil dökümler yavaş soğuyan (kum kalıp) dökümlerden daha yüksek düktiliteye sahiptir. Etki, sanılanın aksine tane boyutu veya DAS kaynaklı değildir. Hall – Petch etkisi geçersizdir. Hall-Petch akma gerilmesinin (%0,2 uzamadaki gerilme ) artan DAS ile azalacağını verir.Çil dökümde bifilm etkisi zayıf iken kum dökümde çok etkindir.

# Porsuz ve Çiftfilmsiz Sızdırmaz Döküm Parçaları



DAS'ın fonksiyonu olarak Al-7Si-0,4Mg alaşımının mekanik özellikleri

# Porsuz ve Çiftfilmsiz Sızdırmaz Döküm Parçaları



İki alçak basınçlı döküm kıyaslaması, soldakinde sıvı metalin üzerine hava basıncı uygular,sağdakinde kalıp içinde vakum uygulaması yapılır.

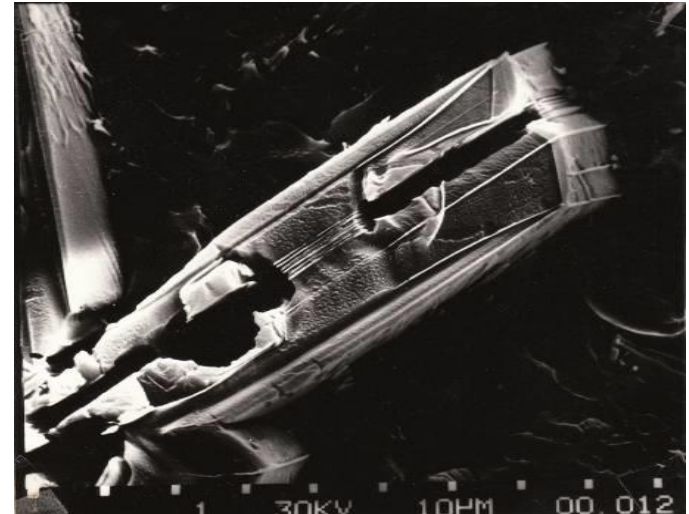
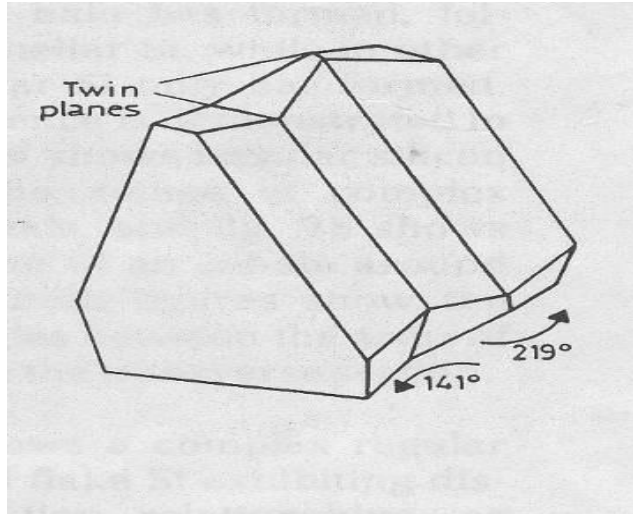
# Çiftfilm Teorisi ile İlgili Görüşler

- Aynı bileşime sahip Al-Si alaşımlarında yapılan çalışmalar, bifilm etken çekirdeklenme ve büyümenin katılma şartlarına (büyüme hızı ve sıcaklık gradyeni) bağlı olduğunu göstermiştir. Hegzagonal plaka şeklinde kristal büyümenin (TPRE mekanizması- ikiz düzlemleri yardımıyla büyüme) etkin olduğu katılma şartlarında bifilm etkileşimi yoğun olarak görülmektedir. Bu ilk gruba plaka-levha şeklinde büyüyen fleyk ötektik ve primer silisyum kristalleri örnek verilebilir. Bir kısım kompleks düzenli kristal merkez lameli (spine) de çiftfilm etkileşimi göstermiştir.



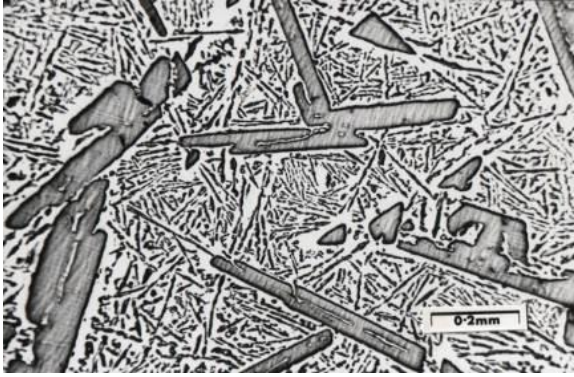
# Çiftfilm Teorisi ile İlgili Görüşler

- Katı/sıvı arayüzey önünde bölgesel aşırı soğumalar filmlerin çekirdekleyiciliklerini artırır ve bu düşük katılma hızlarında sağlanır (Kuma döküm, bir kısım kokil döküm). Yüksek katılma hızı veya hızlı soğumada (çil döküm) film etkisi göreceli olarak azdır.

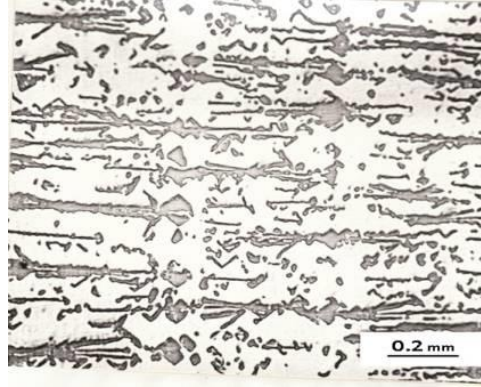


TPRE (İkiz düzlemi yardımıyla büyüme) modeli

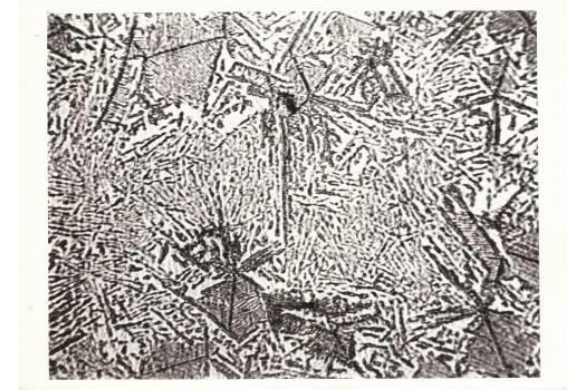
# Çiftfilm Teorisi ile İlgili Görüşler



a)



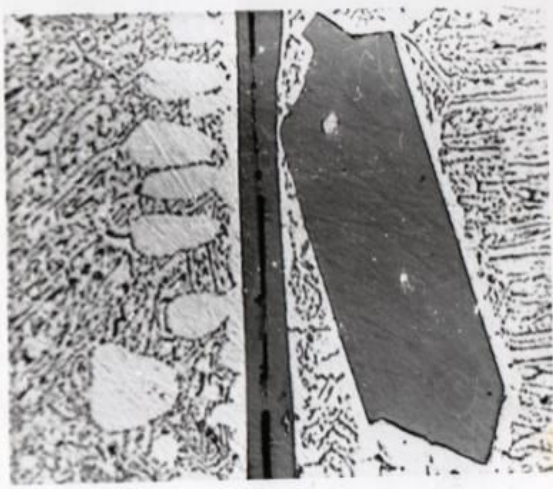
b)



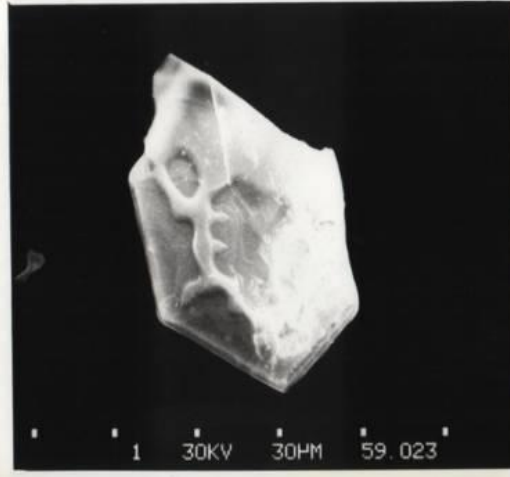
c)

Bifilm etkileşimli TPRE kristal büyüme. **a)** Kuma döküm, primer ve ötektik Si kristalleri **b)** Yüksek sıcaklık gradyeni altında yönlenmiş katılaşmış Al-%14Si alaşımı, paralel kesit **c)** Kompleks düzenli kristallerde bifilm etkileşimi sınırlı, TPRE büyüme yoktur.

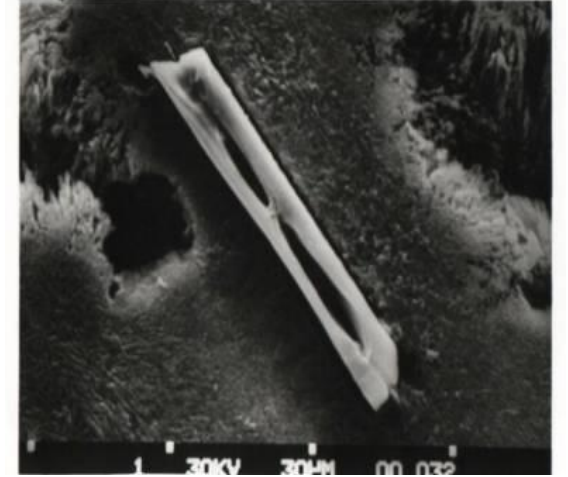
# Çiftfilm Teorisi ile İlgili Görüşler



a)



b)



c)

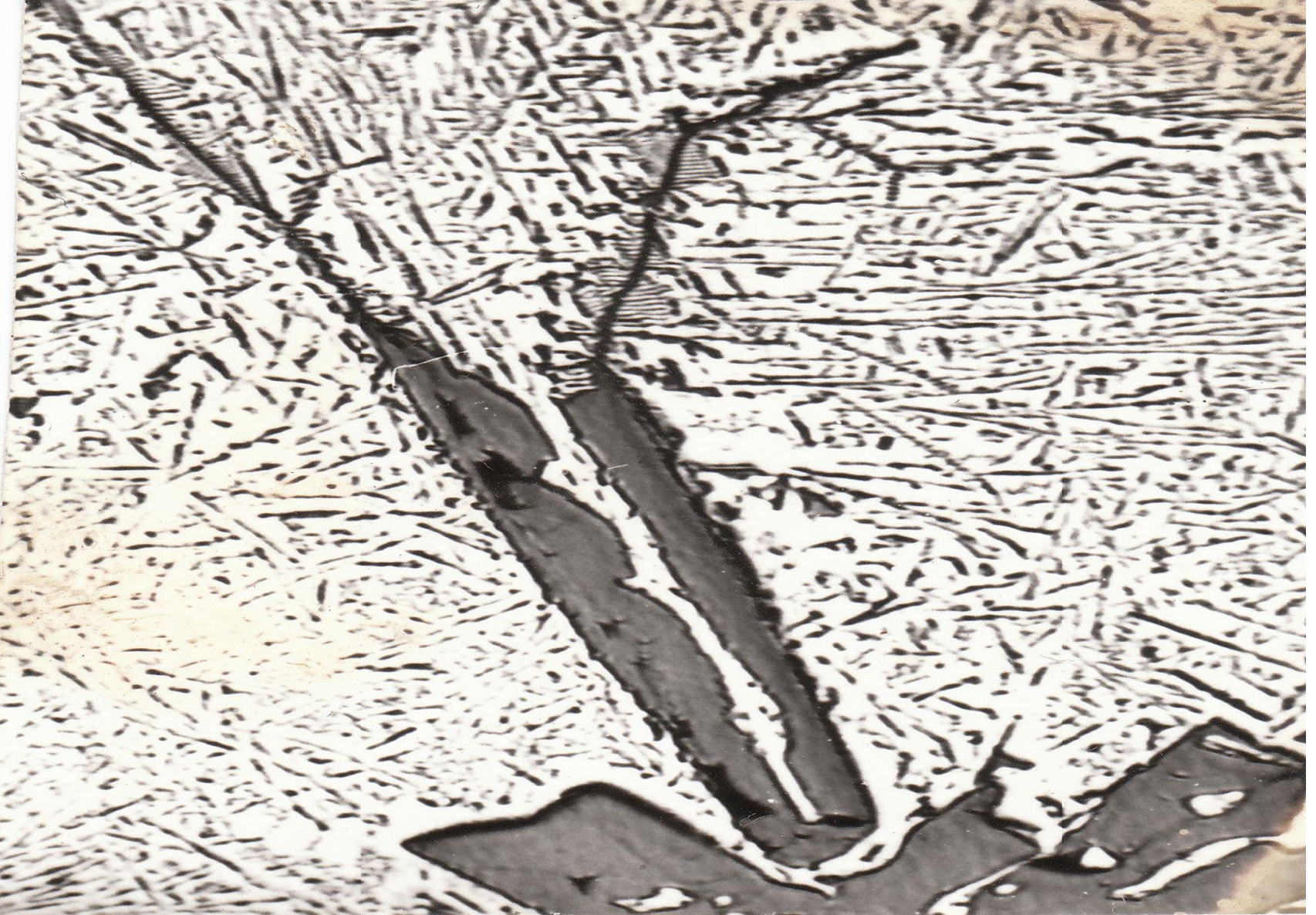
Bifilm etkili kristal büyümeler. **a)** Optik mikroyapıda gözlenen primer silisyum kristali merkez çizgisi (siyah) bifilmi gösterir.

**b)** Plaka şeklindeki hegzagonal primer silisyum kristalinin SEM’de çekilmiş 3 boyutlu görüntüsü(Yüzeyde dendirit oluşumu). **c)** Primer silisyum kristalinin merkez bölgesinde açılmış bifilm (SEM görüntüsü)

# Çiftfilm Teorisi ile İlgili Görüşler

- Al-Si özelinde yapılan mevcut çalışma pirimer ve iri plaka ötektik Si büyümede bifilm etkisini vermiştir. “Bifilm” teorisi ekseninde yapılan inceleme düşük-orta büyüme hızları ( $-400 \mu\text{m/s}$ ) bölgesinde bu mekanizmanın etkin olduğunu vermektedir. Yüksek katılma hızlarında (bifilm parçalanır-açılmaz-düşük bifilm boyutları) hakim mekanizma bifilm-dışıdır. Islatma ve kristal büyümeyi bifilm tetikleyemez.
- Çiftfilm ile aşılmalı gereksinimi ve etkileşimi var mıdır? Çift filmin tekrarlı çekirdeklenme ve büyüme (küresel yapı) ile sınırlı çekirdeklenme ve büyümede (ötektik hücre gibi) etkisi nedir? Bu sorular cevapsız kalmıştır. Yapılan çalışmalar ötektik fleyk ve fibre silisyumların bağlantılı (interconnected) olduğunu göstermiştir. Fleyk silisyumda çift film etkisi genellikle ilk çekirdeklenme safhasında vardır. Yıldız şekilli ve kompleks düzenli kristallerin çekirdeklenmeleri bunu kanıtlamıştır. Çekirdeklenme sonrası safhada kompleks düzenli kristaller genellikle çiftfilmsiz ve ikizsiz (hücresel büyüme) gösterir. Modifiye veya hızlı soğuma fibresel silisyum büyümesi çiftfilm etkileşimi göstermemiştir.

# Çiftfilm ve oluşan pirimer ve kompleks düzenli Si kristalleri



# Sr katılmış Al-%17Si alaşımlarında (modifikasyon) çiftfilmler ve yapısal karmaşalar





***Çabamız ve ısrarımız sürsün!***

***Teşekkürler***

***Prof.Dr. Fevzi YILMAZ***