

Mg70Zn30 METALLİK CAM ŞERİTLERİN
ÜRETİMİ VE ŞERİT GEOMETRİSİNE
ÜRETİM ŞARTLARININ ETKİSİ

Nedret Aydınbeyli /

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı
Konstrüksiyon ve İmalât Bilim Dalında
DOKTORA TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman : Doç.Dr.Macit YAMAN

Aralık - 1988

Nedret Aydınbeyli'nin DOKTORA TEZİ olarak hazırladığı "Mg₇₀Zn₃₀ Metalik Cam Şeritlerin Üretimi ve Şerit Geometrisine Üretim Şartlarının Etkisi" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

5.1.1989

Üye : Prof.Dr.Kutsal TÜLBENTÇİ

Üye : Doç.Dr.Erdoğan FIRATLI

Üye : Doç.Dr.Macit YAMAN (Danışman)

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
gün ve .199/7. sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof.Dr.Rüstem KAYA
Enstitü Müdürü

ÖZET

Bu çalışmada, $Mg_{70}Zn_{30}$ alaşımından "Eşeksenli Püskürtmeli Ergiyik Döndürme" hızlı katılaştırma tekniği ile metalik cam şeritlerin üretimi yapılmış ve şerit geometrisine üretim şartlarının etkisi araştırılmıştır.

Deneylerde kullanılan $Mg_{70}Zn_{30}$ alaşımı, ilgili metallerin indüksiyon ocağında vakum altında ergitilmesi ve külçe halinde katılaştırılması ile elde edilmiştir.

Alaşım, rezistans ısıtmalı kuvars tüp içinde ergitilerek tüpün ucundaki orifisten argon gazı basıncı ile tüpün altında yüksek hızla dönen bakır disk üzerine püskürtülmüş ve şerit halinde katılaştırılmıştır.

Deneylerde değişik orifisli üç ergitme tüpü kullanılmıştır. Belirli bir orifis çapında püskürtme gazı basıncı ve döner diskin devir sayıları değiştirilerek kesitleri farklı şeritler elde edilmiştir. Elde edilen şeritlerin amorfluğu x-ışın difraksiyon ve elektron difraksiyon modelleri ile kontrol edilmiştir. Şeritlerin genişlikleri mikroskop ile, kalınlıkları ise mikrometre ile ölçülmüştür.

Sonuçta, üretim parametrelerinden olan püskürtme gazı basıncı, döner disk hızı ve ergitme tüpü orifis çapının şeridin amorfluğuna ve geometrisine etkisi belirlenmiştir.

ABSTRACT

In this research, $Mg_{70}Zn_{30}$ Metallic glass ribbons were produced by Coaxial Jet Melt-Spinning rapid solidification technique and the effects of production parameters on ribbon geometry were determined.

The alloy of $Mg_{70}Zn_{30}$ obtained from pure Mg and Zn by melting in the vacuum induction furnace was melted in the quartz crucible by resistance heating and then it was ejected by argon gas pressure through a small orifice in the bottom of the crucible to the copper substrate rotating in high speeds.

Three melting crucibles which have got different orifices were used in the experiments. The ribbons in different cross-sections were produced in a constant orifice diameter versus different ejection gas pressure and rev/min of rotating disc. After that, ribbons were inspected by x-ray diffraction and TEM's electron diffraction patterns and the amorphous structure of ribbons were determined. The width and thicknesses of ribbons were measured by microscope and micrometer.

As a result, the effect of ejection gas pressure, rev/min of rotating disc and orifice diameter of melting crucible on ribbon geometry and amorphous structure have been determined.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın her aşamasında yönlendirici katkıları olan sayın hocam Doç.Dr.Macit YAMAN'ın değerli yardımlarını saygıyla anacağım.

Ayrıca, O.D.T.Ü. Müh.Mim. Fak. Metalurji Mühendisliği Bölümü x-ışın ve elektron mikroskobu labratuvarlarının olanaklarından yararlanmama fırsat tanıyan sayın ilgililerine, tezin yazımını gerçekleştiren sayın Neriman Karahan'a ve çizimlerimi yapan sayın Azime Sunter'e teşekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
2. TEORİK İNCELEME	3
2.1. Metalik Camın Tanımı	3
2.2. Metalik Camların Oluşumu	4
2.3. Metalik Camın Yapısı	11
2.3.1. Metalik camların yapısını incelemekte kullanılan teknikler	15
2.4. Metalik Camların Özellikleri ve Kullanım Yerleri	16
2.5. Metalik Camların Sınıflandırılması	21
2.6. Hızlı Katılaştırma Teknikleri	25
2.6.1. Atomik kondensasyon yöntemleri	25
2.6.2. Sıvıdan katılaştırma yöntemleri	25
2.6.2.1. Atomizasyon yöntemleri	25
2.6.2.2. Atomize olmayan yöntemler	32

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	45
3.1. Deneyde Kullanılan Cihazın Tanıtımı	45
3.2. Deneyleerde Kullanılan Malzeme	52
3.3. Deneylelerin Yapılışı	53
3.4. Deney Sonuçları	55
3.4.1. Yapı ile ilgili sonuçlar	55
3.4.2. Şerit geometrisi ile ilgili sonuçlar	71
4. SONUÇLAR	80
5. KAYNAKLAR	81
ÖZGEÇMİŞ	xv

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Zaman-sıcaklık-kristalleşme diyagramı	7
2.2. Metalik camların yapısının mikrokristalit modeli	11
2.3. Metalik camların, sertx kürelerin yoğun rastgele paket tipi yapı modeli	12
2.4. Metalik camların poliedral yapı modeli	13
2.5. Bir maddede atomların dağılımının, X-ışınları saçılma modelinden belirlenmesi	14
2.6. Amorf Pd ₇₅ Si ₂₂ ve kristalin Pd ₇₅ Si ₇₅ 'un X-ışın difraksiyon modelleri	15
2.7. Metalik cam oluşturan bazı alaşımların faz diyagramları	24
2.8. Sıvı metalin gaz ve su atomizasyonunun şematik resmi	26
2.9. Hızlı dönen kap atomizasyon tekniğinin şematik görünüşü	27
2.10. Dönen elektrot yönteminin şematik görünüşü	28
2.11. Konkav diskte hızlı katılaştırma yönteminin şematik resmi	28
2.12. Çift merdane atomizasyonunun şematik resmi	29
2.13. Duwez şok tekniğinin şematik resmi	30
2.14. Elektrohüdrodinamik atomizasyonun şematik resmi	31
2.15. Piston ve örs/çekiç tekniğinin şematik resmi	31
2.16. CBMS Yönteminin Şematik Resmi	33
2.17. CJMS yönteminin şematik resmi	33
2.18. Döküm yönü sayfanın dışına doğru olmak üzer CBMS yönteminin şematik diyagramlarının gösterilişi	34
2.19. Vakumda çalışılan CBMS cihazının şematik resmi	35

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.20. CJMS yöntemindeki işlem parametrelerinin şematik görünüşü	36
2.21. Düzlemsel akış döküm yönteminin şematik görünümü	36
2.22. Ergiyik çekme yönteminin şematik görünüşü	37
2.23. Ergiyik çıkarma yönteminin şematik görünüşü	37
2.24. Taylor teli yönteminin şematik görünüşü	39
3.1. Deneyleerde kullanılan metalik cam makinasının yan görünüşü	46
3.2. Deneyleerde kullanılan metalik cam makinasının üst görünüşü	47
3.3. Deneyleerde kullanılan metalik cam makinasının A-A kesiti	48
3.4. Deneyleerde kullanılan metalik cam makinasının çalışma prensibinin şematik görünüşü	50
3.5. Metalik cam elde etme çalışmalarında kullanılan cihazın fotoğrafı	51
3.6. Deneyleerde kullanılan kristalin $Mg_{70}Zn_{30}$ alaşımının difraksiyon modeli	52
3.7. Metalik cam makinasının çalışma sırasındaki fotoğrafı	54
3.8. Üretilen şeritlerin fotoğrafı	55
3.9. Ergitme tüpü orifis çapı $\phi=0.4\text{mm}$ ve disk hızı $V_r=12.29\text{m/s}$ olan üretim şartında değişik püskürtme gazı basınçları kullanılarak üretilen şeritlerin x-ışın ve $P_p=3.5\text{kg/cm}^2$ için elektron difraksiyon modelleri	56
3.10. Ergitme tüpü orifis çapı $\phi=0.4\text{mm}$ ve disk hızı $V_r=18.44\text{m/s}$ olan üretim şartında değişik püskürtme gazı basınçları kullanılarak üretilen şeritlerin x-ışın ve $P_p=3.5\text{kg/cm}^2$ için elektron difraksiyon modelleri	57
3.11. Ergitme tüpü orifis çapı $\phi=0.4\text{mm}$ ve disk hızı $V_r=25.59\text{m/s}$ olan üretim şartında değişik püskürtme gazı basınçları kullanılarak üretilen şeritlerin x-ışın difraksiyon modelleri	58

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.12. Ergitme tüpü orifis çapı $\phi=0.4\text{mm}$ ve disk hızı $V_r=30.74\text{m/s}$ olan üretim şartında değişik püskürtme gazı basınçları kullanılarak üretilen şeritlerin x-ışın difraksiyon modelleri	59
3.13. Ergitme tüpü orifis çapı $\phi=0.4\text{mm}$ ve disk hızı $V_r=36.89\text{m/s}$ olan üretim şartında değişik püskürtme gazı basınçları kullanılarak üretilen şeritlerin x-ışın ve $P_p=3.5\text{kg/cm}^2$ için elektron difraksiyon modelleri	60
3.14. Ergitme tüpü orifis çapı $\phi=0.25\text{mm}$ ve disk hızı $V_r=12.29\text{m/s}$ olan üretim şartında değişik püskürtme gazı basınçları kullanılarak üretilen şeritlerin x-ışın ve $P_p=3.5\text{kg/cm}^2$ için elektron difraksiyon modelleri	61
3.15. Ergitme tüpü orifis çapı $\phi=0.25\text{mm}$ ve disk hızı $V_r=18.44\text{m/s}$ olan üretim şartında değişik püskürtme gazı basınçları kullanılarak üretilen şeritlerin x-ışın difraksiyon modelleri	62
3.16. Ergitme tüpü orifis çapı $\phi=0.25\text{mm}$ ve disk hızı $V_r=25.59\text{m/s}$ olan üretim şartında değişik püskürtme gazı basınçları kullanılarak üretilen şeritlerin x-ışın difraksiyon modelleri	63
3.17. Ergitme tüpü orifis çapı $\phi=0.25\text{mm}$ ve disk hızı $V_r=30.74\text{m/s}$ olan üretim şartında değişik püskürtme gazı basınçları kullanılarak üretilen şeritlerin x-ışın difraksiyon modelleri	64
3.18. Ergitme tüpü orifis çapı $\phi=0.25\text{mm}$ ve disk hızı $V_r=36.89\text{m/s}$ olan üretim şartında değişik püskürtme gazı basınçları kullanılarak üretilen şeritlerin x-ışın ve $P_p=3.5\text{kg/cm}^2$ için elektron difraksiyon modelleri	65
3.19. Ergitme tüpü orifis çapı $\phi=0.15\text{mm}$ ve disk hızı $V_r=12.29\text{m/s}$ olan üretim şartında değişik püskürtme gazı basınçları kullanılarak üretilen şeritlerin x-ışın ve $P_p=3.5\text{kg/cm}^2$ için elektron difraksiyon modelleri	66
3.20. Ergitme tüpü orifis çapı $\phi=0.15\text{mm}$ ve disk hızı $V_r=18.44\text{m/s}$ olan üretim şartında değişik püskürtme gazı basınçları kullanılarak üretilen şeritlerin x-ışın difraksiyon modelleri	67
3.21. Ergitme tüpü orifis çapı $\phi=0.15\text{mm}$ ve disk hızı $V_r=25.59\text{m/s}$ olan üretim şartında değişik püskürtme gazı basınçları kullanılarak üretilen şeritlerin x-ışın difraksiyon modelleri	68

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.22. Ergitme tüpü orifis çapı $\phi=0.15\text{mm}$ ve disk hızı $V_r=30.74\text{m/s}$ olan üretim şartında değişik püskürtme gazı basınçları kullanılarak üretilen şeritlerin x-ışın difraksiyon modelleri	69
3.23. Ergitme tüpü orifis çapı $\phi=0.15\text{mm}$ ve disk hızı $V_r=36.89\text{m/s}$ olan üretim şartında değişik püskürtme gazı basınçları kullanılarak üretilen şeritlerin x-ışın ve $P_p=3.5\text{kg/cm}^2$ için elektron difraksiyon modelleri	70
3.24. $\phi=0.4\text{mm}$ orifis çaplı ergitme tüpü ile üretilen şeritlerin genişliğinin sabit disk hızlarında püskürtme gazı basıncı ile değişimi	74
3.25. $\phi=0.4\text{mm}$ orifis çaplı ergitme tüpü ile üretilen şeritlerin genişliğinin sabit püskürtme gazı basıncında disk hızıyla değişimi	74
3.26. $\phi=0.4\text{mm}$ orifis çaplı ergitme tüpü ile üretilen şeritlerin ortalama kalınlığının sabit disk hızlarında püskürtme gazı basıncı ile değişimi	75
3.27. $\phi=0.4\text{mm}$ orifis çaplı ergitme tüpü ile üretilen şeritlerin ortalama kalınlığının sabit püskürtme gazı basıncında disk hızı ile değişimi	75
3.28. $\phi=0.25\text{mm}$ orifis çaplı ergitme tüpü ile üretilen şeritlerin genişliğinin sabit disk hızlarında püskürtme gazı basıncı ile değişimi	76
3.29. $\phi=0.25\text{mm}$ orifis çaplı ergitme tüpü ile üretilen şeritlerin genişliğinin sabit püskürtme gazı basıncında disk hızıyla değişimi	76
3.30. $\phi=0.25\text{mm}$ orifis çaplı ergitme tüpü ile üretilen şeritlerin ortalama kalınlığının sabit disk hızlarında püskürtme gazı basıncı ile değişimi	77
3.31. $\phi=0.25\text{mm}$ orifis çaplı ergitme tüpü ile üretilen şeritlerin ortalama kalınlığının sabit püskürtme gazı basıncında disk hızı ile değişimi	77
3.32. $\phi=0.15\text{mm}$ orifis çaplı ergitme tüpü ile üretilen şeritlerin genişliğinin sabit disk hızlarında püskürtme gazı basıncı ile değişimi	78

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.33. $\phi=0.15\text{mm}$ orifis çaplı ergitme tüpü ile üretilen şeritlerin genişliğinin sabit püskürtme gazı basıncında disk hızıyla değişimi	78
3.34. $\phi=0.15\text{mm}$ orifis çaplı ergitme tüpü ile üretilen şeritlerin ortalama kalınlığının sabit disk hızlarında püskürtme gazı basıncı ile değişimi	79
3.35. $\phi=0.15\text{mm}$ orifis çaplı ergitme tüpü ile üretilen şeritlerin ortalama kalınlığının sabit püskürtme gazı basıncında disk hızı ile değişimi	79

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Metalik camlarla ilgili makale sayıları	2
2.1. İkili alaşımlarda atomik boyut etkisi değerleri	9
2.2. Bazı üçlü alaşımlar için minimum eriyen atom konsantrasyonu ve atomik boyut etkisi	10
2.3. Bazı metalik camların mekanik özellikleri	18
2.4. Bazı camsı ve kristalin malzemelerde korozif özellikler	19
2.5. Bazı camsı ve kristalin malzemelerde magnetik özellikler	20
2.6. Elemanların kimyasal sınıflandırılmasına dayalı metalik cam oluşturan alaşım sistemleri	22
2.7. Hızlı katılaştırma teknikleri ve tipik ürün parametreleri	40
3.1. Deneylerde kullanılan metalik cam makinasının parça listesi	49
3.2. Deneylerde kullanılan malzemenin bileşimi	52
3.3. Mg ₇₀ Zn ₃₀ alaşımının x-ışın difraksiyon modeli değerleri	53
3.4. $\phi=0.4\text{mm}$ orifis çaplı ergitme tüpü ile üretilen şeritlerin genişlik (W), kalınlık (t) ve ortalama kalınlık (t) değerlerinin disk hızı (V _r) ve püskürtme gazı basıncına (P _p) bağlı olarak değişimi	71
3.5. $\phi=0.25\text{mm}$ orifis çaplı ergitme tüpü ile üretilen şeritlerin (genişlik (W), kalınlık (t) ve ortalama kalınlık (t) değerlerinin (disk hızı (V _r) ve püskürtme gazı basıncına (P _p) bağlı olarak değişimi	72
3.6. $\phi=0.15\text{mm}$ orifis çaplı ergitme tüpü ile üretilen şeritlerin (genişlik (W), kalınlık (t) ve ortalama kalınlık (t) değerlerinin (disk hızı (V _r) ve püskürtme gazı basıncına (P _p) bağlı olarak değişimi	73

1. GİRİŞ

İnsanlığın yaklaşık 8000 yıldır kullandığı metalik malzemeler 1960 yılında Duwez ve ekibi tarafından ilk olarak orijinal kristal yapılarının dışına çıkarılmış ve atomları amorf sayılabilecek bir düzensizliğe sokulmuştur. Bundan önce de amorf metaller 1930'larda atomik kondensasyon yöntemiyle hazırlanmıştır. Ancak, bu çalışmalar süreklilik göstermemiştir.

Metalleri amorf yapıda üretebilmek, onları çok hızlı soğutmakla mümkün olabilmektedir. Böylece atomsal düzenleri koordinatsal olarak periyodik tekrarlanamaz duruma girmiştir. Ancak bir ölçüde kısa mesafe düzeninden söz edilebilir. Bunun sonucu atomik oranda izotropiye geçiş onları mukavemet, korozyon direnci ve kolay magnetize oluş gibi özellikler bakımından üstün duruma ulaştırmıştır. Aynı zamanda üretim maliyetleri de çok düşüktür. En azından bir boyutunun doğrudan mikron mertebesinde üretilebilmeleri klasik imalat türleri ile kristalin metallerin çok sayıda dövme, haddeme, tavlama ve çekme kademeleri sonunda o duruma girmelerine karşın büyük bir ekonomiklik sağlamaktadır. Üretim zamanı da çok kısadır. Klasik metalurjik işlemlerden dört beş defa daha az enerji tüketimi ile dakikada 2 km.'ye kadar ince metalik cam şerit elde edilebilmektedir.

Metalik malzemelerin amorf yapıda üretiminin keşfinden günümüze kadar geçen zaman içinde bu malzemeler üzerindeki araştırmalar, laboratuvar seviyesinin ötesinde faydalı imalat ürünlerine geçişi gerçekleştirmiş olup, şimdi etkin teknolojik çalışmaların odağı durumundadır.

Son yıllarda bu konuda yayınlanan makale sayısını gösteren Çizelge 1,1 'in incelenmesi, konunun önemini ve güncelliğini vurgulamaktadır.

Çizelge 1.1. Metalik camlarla ilgili makale sayıları (Metals Abstract'dan).

Yıl	Makale Sayısı
1979	380
1980	401
1981	559
1982	306*
1983	702
1984	833
1985	638

* İlk yedi ay için

2. TEORİK İNCELEME

2.1. Metalik Camın Tanımı

Cam, katı durumda, sıvı fazdaki yapısını koruyan amorf bir malzemedir. Sıvı fazda, atomlar arası bağ kuvveti yer çekimi kuvvetinin altına indiği için, sıvı bulunduğu kabın şeklini alır ve atomlar düzensiz bir yerleşimdedir. Sıvı katılaştığında atomlar belirli düzene giriyorlarsa malzeme kristal yapıdadır. Katılan malzemede atomlar sıvıdaki düzensizliğini devam ettiriyorsa malzeme cam gibi amorf olur (Chaudhari, et al., 1980).

Metalik malzemeler kristal yapılı olmalarına rağmen uzun çalışmalar sonunda amorf metaller elde edilebilmiştir. Metalik malzemelere amorf yapıda olduklarında "Camsı Metaller" veya "Metalik Camlar" denilmektedir (Takayama, 1976).

Kristalin form, amorf durumdan daha düşük serbest enerjiye sahip olduğundan termodinamik olarak tercih sebebidir. Bu nedenle herhangi bir katı malzeme kristalin olmaya, amorf olmaktan daha fazla eğilim gösterir. Metallerin kristal yapıda oluşmaları, metalik cam oluşumundan daha küçük bir aktivasyon enerjisi gerektirdiğinden daha kolay meydana gelir. Bu nedenle amorf metal yapımı çalışmaları gecikmiştir (Chaudhari, et al., 1980; Takayama, 1976).

Metalik malzemelerin sıvı durumdan camsı duruma geçişi konusunda ilk çalışma 1960 yılında Pol Duwez ve ekibi tarafından yapılmıştır. Onların metalik cam yapım tekniği bugün de uygulanmakta olan "Ergiyik Döndürme" (Melt-Spinning) yöntemidir. Bu yöntemle Duwez ve ekibi $Au_{81}Si_{19}$ ötektiğinden camsı alaşım yapmışlardır. Daha sonra birçok çalışma yapılarak diğer başka alaşımlar da camsı durumda elde edilmiştir (Polk and Giessen, 1978; Chen and Jackson, 1978).

Kristalin ve amorf katılar yoğunluk olarak veya birim hacimdeki ortalama atom sayıları bakımından benzerdirler. Fakat atomların yerleşimi farklıdır. Kristalin yapı atom pozisyonlarının periyodik olarak tekrarlanmasıyla oluşmuştur. Amorf katıda periyodik yapı yoktur. Yani;

atomlar arası uzaklıklar koordinatsal olarak tanımlanamaz. Bununla beraber, kısa mesafede birkaç atom aralığı kadar sahada bazı düzenlerden söz edilebilir (Chaudhari, et al., 1980).

2.2. Metalik Camların Oluşumu

Camsı metallerin oluşması için, sıvı metali likidüs sıcaklığı üzerinden, kendine has cam sıcaklığının altına doğrudan ve hızla soğutmak gerekir. Cam sıcaklığı, kristalleşme sıcaklığının oldukça altındadır. Bu soğutma çok hızlı ($\sim 10^6$ °Ks⁻¹) yapılmalıdır ki kristaller oluşmaya zaman bulmasın (Takayama, 1976; Polk and Giessen, 1978; Chaudhari, et al., 1980).

Kolay camlaşabilmenin üç faktörü vardır.

- a. Termodinamik faktörler
- b. Kinetik faktörler
- c. İşlem faktörleri

Bu faktörler birkaç parametre ile açıklanabilir. Termodinamik faktörler, ergime sıcaklığı (T_m), buharlaşma ısısı (ΔH_v) ve bütün fazların serbest enerjileridir. Kinetik faktörler; ergiyik vizkozitesi (η), cam geçiş sıcaklığı (T_g) ve homogen çekirdeklenme frekansıdır (I). Bu parametreler; bağ kuvveti, bağ yönü gibi sistemin enerji ile ilgili karakterlerine bağlıdır. İşlem faktörleri; soğuma hızı (\dot{T}), aşırı soğuma sıcaklık aralığı, $\Delta T_s = T_m - T$, ve heterogen çekirdeklenme hızına bağlıdır (Polk and Giessen, 1978).

Cam oluşma eğilimini açıklayan en kullanışlı ve basit bir parametre "Azalan Cam Sıcaklığı Oranı", $T_{rg} = T_g/T_m$ olup, cam geçiş sıcaklığının ergime sıcaklığına oranıdır. Bu oranın büyük olduğu alaşımlar cam olarak kolay katılaşır. Metalik alaşımların çoğunda bu oran 0,3-0,6 arasındadır. Silikatlar gibi yavaş soğuma ile camsı duruma geçen malzemelerde ise daha büyüktür (Chaudhari, et al., 1980; Chen et al., 1980; Massalski, 1981).

Bazı metalik cam alaşımlarında "Azalan cam sıcaklığı oranı" değerleri:

$Au_{51}Si_{19}$ (ötektik) : $T_m = 636^\circ K$, $T_g = 290^\circ K$, $T_{rg} = 0,45$

$Cu_{60}Zr_{40}$ (ϵ Bileşiği) : $T_m = 1550^\circ K$, $T_g = 1894^\circ K$, $T_{rg} = 0,57$

$Ca_{65}Al_{35}$ (ötektik) : $T_m = 818^\circ K$, $T_g = 565^\circ K$, $T_{rg} = 0,69$

$T_{rg} = 0,3$ den $0,6$ ya artarken, kritik soğuma hızı $\dot{T}_{cr} \sim 10^9$ $^\circ Ks^{-1}$ den 10^2 $^\circ Ks^{-1}$ e değişir. Örneğin; Ni, Pb gibi saf metaller için $T_{rg} \approx 0,25$, $\dot{T}_{cr} \approx 10^{10}$ $^\circ Ks^{-1}$, Au-Si, Ni-P, Pd-P alaşımları için $T_{rg} \approx 0,5$, $\dot{T}_{cr} \approx 10^6$ $^\circ Ks^{-1}$ ve Pd-Cu-Si, Pd-Ni-P gibi kolay cam oluşturan alaşımlar için ise $T_{rg} \approx 0,66$ ve $\dot{T}_{cr} \approx 10^2$ $^\circ Ks^{-1}$ dir (Chen, et al., 1980).

Düşük ötektik sıcaklıklı bileşimlerde sıvıdan cam oluşumu eğilimi artar. Çünkü bunlarda T_{rg} büyüktür. Saf metaller ve bazı yüksek ergime sıcaklıklı bileşik ve alaşımlar çok daha yüksek soğuma hızı gerektirdikleri için sıvıdan camlaştırılmazlar. Bu tür malzemeler ancak atomik kondensasyon yöntemleri ile amorf yapıya dönüştürülebilirler.

Kolay camlaşabilmeye etki eden kinetik parametrelerin etkisi Uhlmann tarafından açıklanmış olup homogen çekirdeklenme teorisine, kristal büyüme teorisine ve her bir cam oluşum bileşiminin ZSD (zaman-sıcaklık-dönüşüm) eğrilerinin durumuna bağlıdır.

Normal metaller için homogen çekirdeklenme frekansı I ($cm^{-3}sn^{-1}$) aşağıdaki bağıntıyla açıklanır.

$$I \approx \frac{10^{30}}{\eta} \exp \left(-\frac{ba^3\beta}{T_r \Delta T_r^2} \right) \text{ dir}$$

Burada;

η : Ergiyik viskozitesi

b : Şekil faktörü (küresel çekirdek için $16\pi/3$ dür)

T_r : Azalan sıcaklık

T_m : Ergime sıcaklığı

$T_r = T/T_m$ ve $\Delta T_r = 1 - T_r$

.

1 Burada ve ileride verilen alaşımların bileşim yüzdeleri atomiktir.

α ve β : Boyutsal parametreler olup; sıvı-kristal ara yüzey gerilimi σ 'ya ve füzyon entropisi ΔS_f 'ye bağlıdır.

$$\alpha = (N_0 V)^{1/3} \sigma / \Delta H_f$$

$$\beta = \Delta S_f / R \text{ dir.}$$

N_0 : Avogadro sayısı

V : Kristaldeki molar hacim

ΔH_f : Füzyonun molar ısısı

R : Gaz sabitidir.

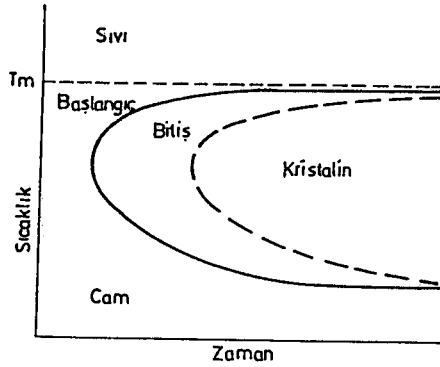
$\eta = 10^{-2}$ p. sabiti için çekirdek frekansı I , oldukça dik olarak yükselir. ΔT_r , sıfırdan maksimuma $T_r=1/3$ 'de çıkar. Maksimum çekirdek frekansı $I_{max} \approx 10^{32} \exp[-113 \alpha^3 \cdot \beta]$, σ 'ya ve ΔS_f 'ye kuvvetle bağlıdır. Turnbull sonuç olarak $\alpha \cdot \beta^{1/3} = 0,9$ olan sıvıların kolay camlaşacaklarını, $\alpha \cdot \beta^{1/3} < 0,25$ olanların ise kristalizasyonu yenemeyeceğini belirtmiştir. Cam oluşumu bu yüzden, daha büyük ara yüzey gerilimi ve erime entropisi tarafından büyük ölçüde arttırılır (Chen, et al., 1980; Chen and Jackson, 1978).

W Cam oluşumu için kritik soğuma hızının kalitatif tahmini Uhlmann ve Davies tarafından bulunmuş olup transformasyon kinetiklerinin Johnson-Mehl işlemi kullanımı ve çekirdeklenme teorisi ve büyümesine dayandırılmıştır. Bu işlemde, kristalin fazın küçük bir hacim fonksiyonu ile karşılaştırılan ZSD eğrileri çizilir. Bu eğrilerden, çeşitli camların oluşumları için, minimum soğuma hızları (T_{cr}) tahmin edilir (Chen and Jackson, 1978).

Cam geçiş sıcaklığı (T_g) ikili sistemlerde bileşim ile düzgün değişir. Bununla beraber Cu'ca zengin Zr-Cu camlarında Zr içeriği artışı ile T_g azalır.

Şekil 2,1'deki zaman-sıcaklık-kristalleşme (ZSK) eğrisinin burnu kristalleşmeye başlama için gerekli olan minimum zamanı gösterir. Silikatlar ve birçok organik polimerlerde burun pozisyonu saatler veya günler kadar uzaktır. Bu nedenle bu malzemeler kristalleşmeden katılaşırlar. Saf metallerde ise burun çok yakın olup 10^{-6} s. kadardır. Metalik cam olan alaşımlarda ise 10^{-3} s. olup bunların soğuma hızları 10^5-10^6 °Ks⁻¹'dir. Camlaşabilen alaşımların çoğu ötektik bileşimdedir. Bunun iki nedeni vardır. Birincisi, ötektik ergime sıcaklığı düşüktür.

İkincisi ve daha önemlisi ötektik bileşimdeki büyük yapısal değişimdir. Burada sıvı faz iki katı faza dönüşür. Kristalleşme sırasında kompleks yapısal değişimler zaman alır. Bu durumda ZSK eğrisinin burnu daha uzun zamanlara doğru kayar (Gilman, 1980).



Şekil 2.1. Zaman-sıcaklık-kristalleşme diyagramı (Gilman'dan, 1980).

Cam oluşumuna alaşımın kimyasal faktörlerinin de etkisi vardır. Kolay camlaşma için ilk olarak cam oluşturan alaşımın ergime sıcaklığının (T_m) relatif olarak düşük olması istenir. Bu durum bizi birkaç açıklamaya götürür.

a - Azalan ergime sıcaklığı, $\tau_m = k \cdot T_m / \Delta H_v$

Burada;

ΔH_v : Buharlaşma ısısı,

k : Boltzmann sabitidir.

τ_m 'nin azalması ile cam oluşum eğilimi artar (Takayama, 1976; Polk and Giessen, 1978).

b - Azalan ergime noktası düşmesi $\Delta T_{mr} = (\bar{T}_m - T_m) / \bar{T}_m$

Burada;

\bar{T}_m : Bileşenlerin ergime noktalarının ağırlıklı ortalamasıdır.

ΔT_{mr} 'nin artması ile cam oluşum eğilimi artar (Polk and Giessen, 1978).

Örneğin; tek derin öteklikli, dar bileşim aralıklı ve düşük T_m bölgesi Pd-Si ve Mg-Zn sistemlerinde $\Delta T_{mr} \sim 0,41$ iken, geniş bileşim aralığında düşük T_m 'ye sahip Nb-Ni ve Zr-Cu sistemlerinde $\Delta T_{mr} \sim 0,33$ 'dür.

Cam oluşturan sistemlerin elementlerinin bazı atomik özellikleri de cam oluşum eğilimi ile ilgilidir. Bunlardan biri atomik boyut oranı olup sistemi oluşturan ana atomların yarıçapı r_1 ve r_2 ise r_1/r_2 , değeri sıvıdan soğutma ile elde edilen camlar için 0,79'dan (Cu'ca zengin Zr-Cu için), 1,41'e (Y-Cu için) değişir. Camların çoğu için bu değer 1,15-1,25 arasındadır. Bazı metal-ametal camları için, Pd-Si gibi, nominal boyut farklılığı 1'e yakındır (Polk and Giessen, 1978). Alaşımın metalik cam oluşturma yeteneğini etkileyen diğer önemli bir faktör de atomik boyut etkisidir. İkili alaşım sistemlerinde atomik boyut etkisi (λ_o) şöyle açıklanabilir:

$$\lambda_o = |\Delta V_{AB} / V_A| \cdot C_B^{\min} \quad \text{ve}$$

$$\frac{\Delta V_{AB}}{V_A} = \left\{ (r_B)^3 - (r_A)^3 \right\} / r_A^3 = \left(\frac{r_B}{r_A} \right)^3 - 1$$

Burada;

C_B^{\min} : Hızlı soğutma ile amorf fazın oluşabilmesi için gerekli minimum eriyen atom konsantrasyonu

$\Delta V_{AB} / V_A$: Atomik hacim uygunsuzluğu

r_A ve r_B : Sırasıyla eriten ve eriyen atom çaplarıdır.

Deneysel sonuçlar, metalik cam oluşumunda atomik boyut etkisinin hemen hemen sabit olan 0,1 değerine yakın olduğunu göstermiştir (Çizelge 2.1).

Bu deneysel yaklaşım, bazı üçlü alaşım sistemlerinde de metalik cam oluşabilirliği için optimum kriteri belirler.

$$\lambda'_o = \left| \frac{\Delta V_{AB}}{V_A} \right| \cdot C_B + \left| \frac{\Delta V_{AC}}{V_A} \right| \cdot C_C^{\min}$$

Burada;

λ'_o : Atomik boyut etkisi,

C_B : B atomunun konsantrasyonu,

C_C^{\min} : Hızlı soğutma ile amorf fazın oluşabilmesi için gerekli minimum C elementi atom konsantrasyonu.

Çizelge 2.1. İkili alaşımlarda atomik boyut etkisi değerleri (Kubel'den, 1986).

A-B alaşımı	$\Delta V_{AB} / V_A$	C_B^{\min}	λ_o
Fe-B	- 0.773	14	0.108
Fe-P	- 0.523	15	0.078
Fe-Hf	1.221	9	0.110
Fe-Zr	0.881	9	0.079
Ni-B	- 0.773	18	0.139
Ni-Zr	0.831	10	0.088
Zr-Be	- 0.644	30(?)	0.193(?)
Zr-Co	- 0.468	22	0.103
Zr-Ni	- 0.468	22	0.103
Zr-Si	- 0.731	13	0.095
Mg-Zn	- 0.358	25	0.090
Hf-Co	- 0.550	22	0.121
Hf-Ni	- 0.550	20	0.110
Hf-Si	- 0.772	13	0.100
Pd-Si	- 0.621	15	0.093
Ag-Si	- 0.629	17	0.107
Au-Si	- 0.652	18.6	0.121
Cu-Zr	- 0.926	10	0.093
La-Au	- 0.534	18	0.096

Çizelge 2.2. Bazı üçlü alaşımlar için minimum eriyen atom konsantrasyonu ve atomik boyut etkisi (Ueno and Waseda'dan, 1985).

Fe-M ₁₀ -B _x			Fe-M ₁₀ -P _x			Co-M ₁₀ -B _x		
M	C _B ^{min}	λ ₀	M	C _B ^{min}	λ ₀	M	C _B ^{min}	λ ₀
Nb	6	0.094	Nb	11	0.106	Nb	4	0,079
Mo	9	0.098	Mo	13	0.096	Mo	9	0.098
V	11	0.100	V	14	0.088	V	13	0.115
Cr	11	0.090	Cr	14	0.078	Cr	13	0.105
Ni	13	0.101	Ni	15	0.078	Ti	7	0.103
Mn	13	0.111	Mn	11	0.070	Ta	5	0.096
P	2	0.068	B	6	0.109	Mn	13	0.110
C	6	0.125	C	7	0.115	W	8	0.096
Si	8	0.091	Si	6	0.081	Si	11	0.134
Ortalama		0.098	Ortalama		0.091	Ortalama		0.104

Fe-M-B, Fe-M-P, ve Co-M-B alaşım sistemleri için λ₀ değeri 0,1'e yaklaşır (M metal veya ametel). Bir başka deyimle 3. elementin camı fazi vermesi için gerekli minimum konsantrasyonu λ₀ = 0,1 varsayıldığı zaman hesaplanabilir (Çizelge 2.2).

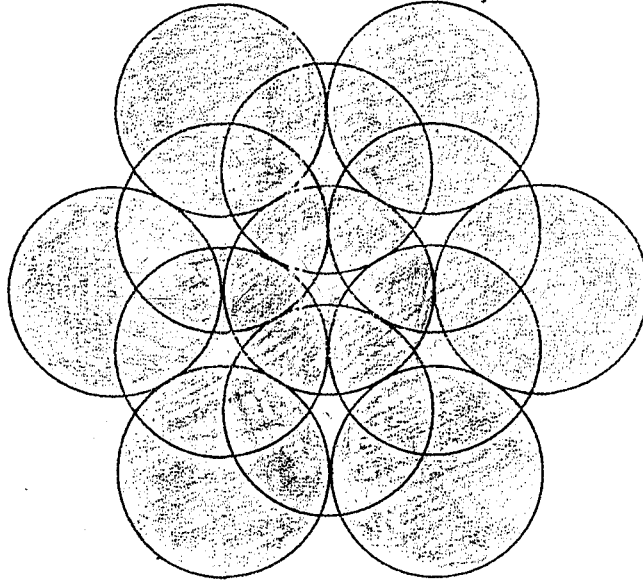
Amorf fazlar ısıtıldığında metastabil bir karakter gösterirler. Yani ısıtılırken, ergime başlamadan önce, malzeme kristalleşebilir. "Kinetik Kristalleşme Sıcaklığı" denilen bu sıcaklık ısıtma hızına bağlıdır. Yavaş ısıtma kinetik kristalleşme sıcaklığını düşürür. Camın kristalleşmeye direncinin kaba ölçüsü, kinetik kristalleşme sıcaklığının cam sıcaklığından olan uzaklığına göre verilir.

Metalik camlar arasında birkaçı dışında, cam sıcaklığı üzerinde küçük bir ısıtma, kristallerin uyarılması için yeterlidir. Hatta kinetik kristalleşme sıcaklığı, cam sıcaklığının altında olan bazı alaşımlar da vardır. Örneğin; Pd-Cu-Si, Pd-Ni-P, Pt-Ni-P ve Zr-Cu camları T_g'nin üzerinde kristalize olurken Ni₃₀P₂₀ ve Fe₃₀B₂₀ camları T_g'nin altında kristalize olur. Bu ikili alaşımların kristalizasyon sıcaklıkları sırasıyla 600°K ve 710°K iken T_g sıcaklıkları ise 620°K ve 780°K'dir (Takayama, 1976; Chen, et al., 1980).

Metalik camların kristalleşmesi ile mikro yapı bakımından çok homojen ve ince taneli kristalin malzemeler üretilebilir. Aynı zamanda standart metallurjik işlemlerle ulaşılamayan bazı kristalin fazları da elde etmek mümkün olur (Chen, et al., 1980).

2.3. Metalik Camların Yapısı

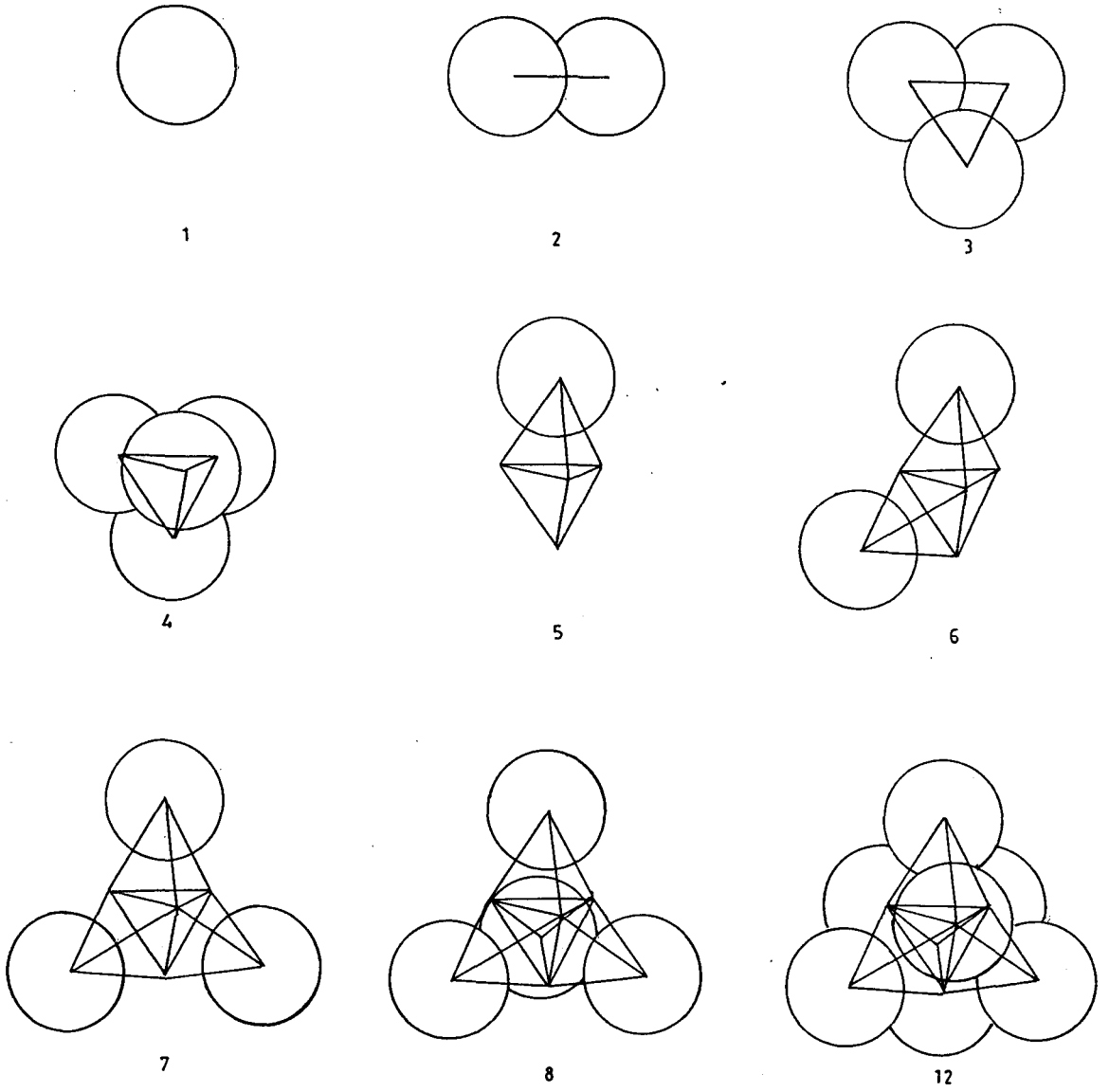
Metalik camların yapıları için üç esas tip model belirlenmiştir. Mikrokrystalit modele göre; amorf metaller, rastgele dizilmiş atomların matriksinde yerleşmiş kısa aralıklı düzende kristallerle çok sayıda küçük bölgeler içerir (Şekil 2.2). Bu mikrokristallerin her biri ortalama 100 atom kadardır. Bu da gerçek kristalin metalin en ince tanelerinden bile daha az bir uzaklıktır. Minyatür kristaller katıda tesadüfi bir dağılım ve yerleşme göstereceklerinden uzun aralıklı düzenden söz edilemez (Chaudhari, et al., 1980; Grant and McKim, 1982; Polk and Giessen, 1978).



Şekil 2.2. Metalik camların yapısının mikrokrystalit modeli (Chaudhari, et al.'dan, 1980).

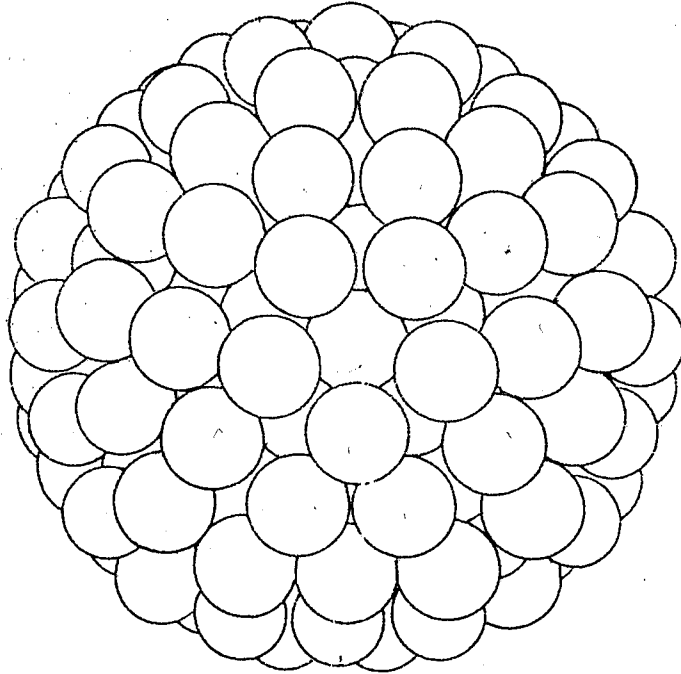
İkinci tip model, J.D.Bernal tarafından, basit sıvıların yapıları için belirtilen tiptir. Bu tip, sert kürelerin yoğun rastgele paket tipi olarak tariflenir. Küreler demetler meydana getirerek modeli oluşturur. Bu

şekilde mümkün olabilen en yoğun yerleşme oluşabilir. İlk dört küre tetraedron bir şekil oluşturur. Beşinci küre, merkezden eşit uzaklıkta bulunan tetraedronun (düzgün dört yüzlü) dört simetrik yüzünden biri üzerine yerleşebilir (Şekil 2.3). Demet büyüdükçe bir sonraki kürenin doğru pozisyonda yerleşebilmesi giderek daha güçleşir ve gelişen yapının geometrisi daha zor belirlenir. Bernal ve ekibi, üçgen yüzeyler arasında küçük boşluklar olduğunu göstermiştir (Chaudhari, et al., 1980; Grant and Mc Kim, 1982; Polk and Giessen, 1978).



Şekil 2.3. Metalik camların, sert kürelerin yoğun rastgele paket tipi yapı modeli (Chaudhari, et al.'dan, 1980).

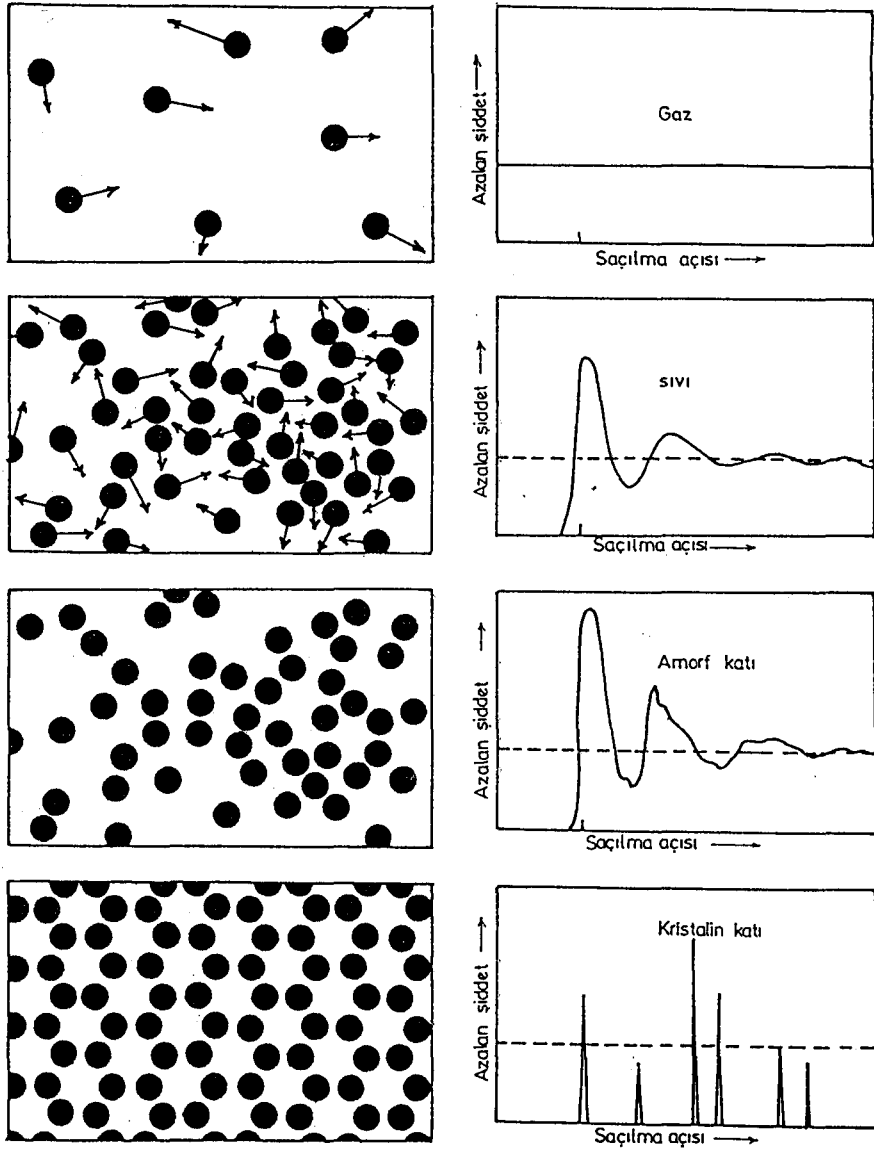
Metalik camın üçüncü modeli olan poliedral model atomların düzgün fakat kristalin olmayan bir sırada bir arada olmalarıyla meydana gelmiştir. 50 atoma kadar demetler için şekilde gösterilen poliedral model herhangi bir kristalin yerleşmeden daha düşük serbest enerjiye sahiptir. Katı kütlede demetler birbirleri ile bağlantılıdır (Şekil 2.4). Bununla beraber atom şebekesi, yapının enerjisini kristalden daha yükseğe arttırır. Poliedral model beş kat simetriye sahiptir. Beş katlı simetriye sahip maddeler boşluğu tamamen dolduramazlar. Londra Üniversitesinden Michael R.Hoare tarafından 266 atomluk bir model oluşturulmuştur (Chaudhari, et al., 1980).



Şekil 2.4. Metalik camların poliedral yapı modeli (Chaudhari, et al.'dan, 1980).

Tanımlanan bütün bu modeller metalik camların yapısını açıklamaya yeterli değildir. Çünkü hepsi de saf veya tek bileşenli malzemeler için tarif edilmiştir. Camsı durumda katılan saf metal ise henüz yoktur. Sadece iki veya daha fazla metalden oluşan alaşımların camsı duruma gelebileceği görülmüştür.

Metalik camların mikroskobik yapıları hakkında esas bilgi kaynağı; atomlardan saçılan x-ışınları, elektronlar ve nötronlardır. Örneğin, numune üzerine gönderilen x-ışınlarının dalga boyu ile atom çapı karşılaştırılabilir. Saçılan radyasyonun şiddeti daha sonra saçılma açısının fonksiyonu olarak ölçülür. Saçılma grafiğinden de atomların ortalama dağılımı hakkında fikir sahibi olunabilir (Şekil 2.5).

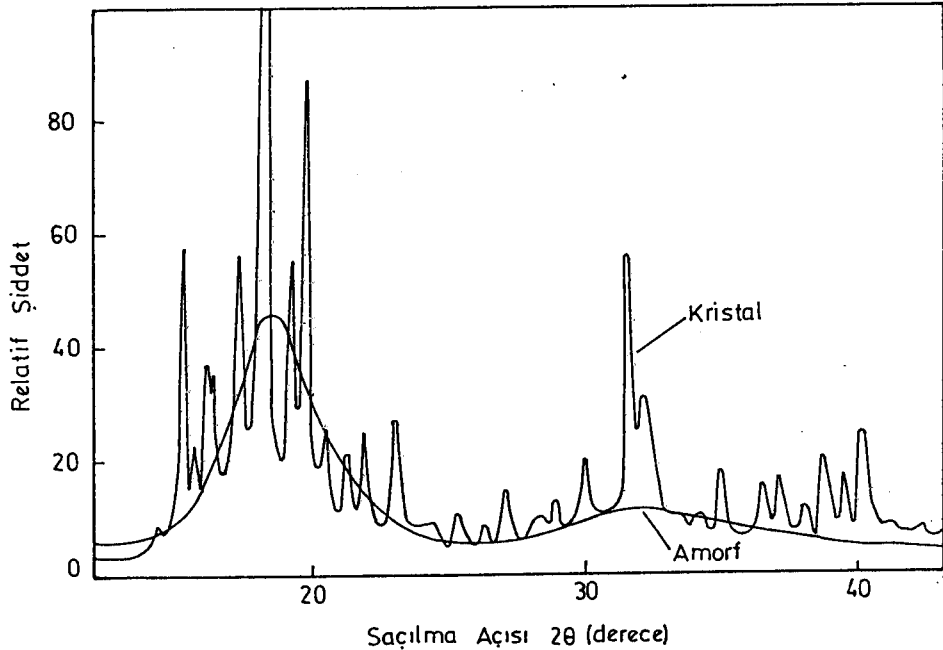


Şekil 2.5. Bir maddede atomların dağılımının, x-ışınları saçılma modelinden belirlenmesi (Chaudhari, et al.'dan, 1980).

Monoatomik bir gaz, örneğin soy gazlar için bir atom referans alınrsa, diğer atomlar üniform olasılıkla herhangi bir mesafede

bulunabilir. Yani azalan şiddet eğrisi üniform olup, atomların dağılımının tamamen tesadüfi olduğunu gösterir. Kristalin katılar için azalan saçılma şiddet eğrisi atomlar arası düzenli ilişkiden dolayı keskin sivri tepelerin sınırlanmasından oluşmuştur. Bu da atomların uzak mesafelerde de düzenli yerleştiğini ifade eder. Sıvı ve amorf katılarda azalan şiddet eğrileri kristaldeki kadar keskin değildirler ve giderek kaybolurlar. Camda eğrilerin üst formu sıvıdan biraz daha ince olmasına rağmen sıvıda atomların hareketi yüzünden bu durum belirsizleşir. Komşu atomların kısa mesafe durumları hakkında fikir verebilen bu eğriler uzun mesafeler için fikir vermez (Chaudhari, et al., 1980).

2.3.1. Metalik camların yapısını incelemekte kullanılan teknikler



Şekil 2.6. Amorf $Pd_{75}Si_{25}$ ve kristalin $Pd_{75}Si_{25}$ 'un x-ışın difraksiyon modelleri (Gilman'dan, 1975).

Metalik camların yapısı hakkında bilgi edinebilmek için kullanılan bir teknik x-ışını spektroskopisi ile enerji yayan x-ışını difraksiyonu (EDXD) yöntemidir. Geleneksel bir teknik olan monokromatik x-ışını

kaynağı kullanan açısal taramalı x-ışını difraksiyonu yönteminden farklı olarak, EDXD yöntemi sürekli x-ışını radyasyonu (beyaz) spektrumu ve sabit difraksiyon açısından yararlanır (Giessen and Gordon, 1968).

Şekil 2,6'da camı ve kristalin malzemedan elde edilen x-ışın difraksiyon modeli görölmektedir. Şekilden de göröldüğü gibi sıvı metalden elde edilen modeller gibi amorf malzemenin saçılma modeli de geniş pik vermektedir.

Metalik camların yapı çalışmalarında kullanılan diğere bir yöntem de genişletilmiş x-ışın ince yapı (EXAFS) yöntemidir. EXAFS ile, seçilen bir merkezi atom etrafında en yakın komşu atom sayısı ve tipi belirlenebilir ve camlarda tavlama ile yapıdaki değışimler incelenebilir (Wong, 1981).

Metalik cam çalışmalarında kullanılan Mössbauer Spektroskopisi bölgesel kimyasal değışmelere, yapıdaki magnetik ve elektrostatik etkileşime duyarlı bir tekniktir. Mössbauer Spektroskopisi, klasik x-ışın difraksiyonu ile kolaylıkla ayrılmayan amorf fazın homojensizlik çalışmalarında ve metalik camların magnetik özellik çalışmalarında kullanılır. Aynı zamanda metalik camların kristalleşme kinetiklerini araştırmada da kullanılır (Durand, et al., 1978).

Elektron mikroskobu, metalik cam çalışmalarında yardımcı araç olarak kullanılmaktadır. Geçirimli elektron mikroskobu (TEM) özellikle kristalleşme davranışlarının incelenmesinde gereklidir. TEM çalışmaları, x-ışın difraksiyonu ile ayırmanın güç olduğı ince boyut faz ayrımı ve tavlama ile oluşan fazlar üzerine bilgi verir (Inoue, et al., 1983).

2.4. Metalik Camların Özellikleri ve Kullanım Alanları

Metalik camlar, silikat camlarına çok benzemedikleri gibi kristalin metallerden de farklıdır. Yüksek mukavemet ve sertlik ile birlikte süneklik, korozyon direnci, elektrik ve magnetik bakımdan üstün özelliklere sahiptirler (Chaudhari, et al., 1980).

Bir kristalde germe kuvvetlerine, elektrik veya magnetik alana karşı koyma, alan veya kuvvetin kristal kafesine göre yönleneşine bağıdır. Bu karşı koymanın kristalde anizotropik olduğunu belirtebiliriz. Metalik camlarda ise uzun mesafe düzeni olmadığından karşı koyma tamamen izotropiktir. Yani yönden bağımsızdır. Çekme zorlanması altında silikat camları şekil değıştirmeden kırılır. Kristalin metaller, kayma düzlemleri boyunca hataların hareketi ile akar ve deformasyon sertleşmesi gösterirler. Amorf metaller ise aşırı çekme zorlanması altında zorlanma eksenine 45° lik bir açı üzerinde oluşan maksimum kayma zorlanmaları ile akarken deformasyon sertleşmesi olmaz (Grand and Mc Kim, 1982).

Silikat camlarında zorlanma, yönleneşmiş atomlar arası valans bağlarının koparılması sonunda kırılmaya yol açar. Metalik camlarda ise yönleneşmiş bağlar, uygulanan gerilimlere atomların küçük yer değıştirmelerle cevap vermesini sağlar. Böylece malzeme plastik deforme olur. W, Mo ve Cr ilaveli yüksek karbonlu çelik camı alaşımları ve Fe-B-Si camlarından yapılan şeritlerin çekme mukavemetleri 350 kg/mm² dir. Bunlar aynı zamanda sünek ve termal kararlılığa sahiptirler. Fe-B-Si camları 700°K de, çelik camlar ise 900°K de kristalleşir (Chen, et al., 1980).

Bazı metalik camların mekanik özellikleri çizelge 2,3'de gösterilmiştir. 304 tipi kristalin paslanmaz çeliğin akma mukavemetinin ~ 54kg/mm², sertliğinin de ~ 170Hv olduğu hatırlanırsa metalik camların kristalin malzemeye göre mekanik üstünlükleri daha da belirginleşir.

Kristalin metallerde periyodik atom yapısı nedeniyle plastik deformasyon oluşturan dislokasyonlar çok hareketlidir. Fakat camlarda atomik yapının periyodik olmaması yüzünden dislokasyon hareketi çok azdır. Düşük dislokasyon hareketliliğı, plastik akma için yüksek zorlanma gerilmeleri gerektirir. Bu yüzden metalik camların akma mukavemeti yüksektir (Gilman, 1980).

Çizelge 2.3. Bazı Metalik Camların Mekanik Özellikleri
(Davis'dan 1978).

Alaşım	Sertlik, Hv	Akma Muk σ_a (kg/mm ²)	Hv/ σ_a	Elastisite Mod. E (10 ³ kg/mm ²)	E/ σ_a
Fe ₃₀ B ₂₀	1100	370(a)	2,97	16,9	45
Ni ₂₅ Fe ₂ Cr ₁₄ P ₁₂ B ₆	880	278(a)	3,16	14,4	52
Fe ₃₄ P ₁₆ C ₃ B ₁	835	249(a)	3,35	13,8	55
Ni ₁₉ Fe ₂₉ P ₁₄ B ₅ Si ₂	792	243(a)	3,26	13,2	54
Pd ₂₄ Ni ₁₆ P ₂₀	452	158(b)	2,86	9,37	59
Pd _{77,5} Cu ₆ Si _{16,5}	498	157(b)	3,17	8,97	57

a : Çekme zorlanması
b : Basma zorlanması

Kristalin metallerde tane sınırları ve kimyasal heterojenlikler bölgesel potansiyel farkı oluşturarak korozyon direncini düşürür. Metalik camlar, üniformalığı ve homojen yapıları dolayısıyla korozyona karşı da alışılmamış ölçüde büyük direnç gösterirler. Ayrıca camsı yapıdaki malzeme, kristalin yapıdan daha yüksek enerjiye sahiptir. Bu da camsı durumu kimyasal olarak daha reaktif yapar. Genellikle yüzeyde hemen oksit filmi oluşur ve bu yüzden metalik camlar korozyondan korunur (Chen, et al., 1980; Chaudhari, et al., 1980; Grant and Mc Kim, 1982). Korozyon dirençleri paslanmaz çeliklerden yüksektir. Örneğin; Fe-Cr camlarının (Fe₃₃Cr₁₄Ni₃₅P₁₂B₆) yüzeyinde oluşan koruyucu film, hidrate olmuş krom oksihidroksit içerir ve süper paslanmaz çelik olur. Bu camlar klorürlere (deniz suyu) ve sülfatlı ortamlara çok dirençlidirler. Klasik paslanmaz çelikler standart ferriklorür solüsyonlarından şiddetli etkilenirken uygun Fe-Cr camları direkt temasta kullanılabilir.

Sadece geçiş metali içeriği değil, ametal içeriği de camın korozyon direncini belirlemede önemlidir. Demir esaslı camlar %5-10 Cr içerdiklerinde eğer diğer ametallere ilaveten % birkaç fosfor da içerirlerse korozyona çok dirençli olurlar. Silisyumun etkisi en azdır. Bor ve karbonun etkisi fosfor ve silisyum arasındadır (Gilman, 1980). Bazı camsı ve kristalin malzemelerin korozyon özellikleri çizelge 2,4'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.4. Bazı camlı ve kristalin malzemelerde korozyon özellikleri (Gilman'dan, 1980).

Alaşım	Korozyon etkeni	Korozyon hızı (mm/yıl)
Kristalin $Cu_{50}Zr_{50}$	Molar HCL	1,2
Camlı $Cu_{50}Zr_{50}$	"	0,15
Krist.Paslanmaz çelik (18Cr-8Ni)	%10FeCl ₃ ,60°	120
Krist.Paslanmaz çelik (17Cr-14Ni-2,5Mo)	"	29
Camlı $Fe_{72}Cr_8P_{13}C_7$	"	< 0,0001
Camlı $Fe_{65}Cr_{10}Ni_5P_{13}C_7$	"	< 0,0001

Amorf metallerin yapısındaki bozuk düzen onlara yüksek elektriksel direnç sağlar. Bu direnç aynı alaşımın kristalin formundan daha fazladır. Ayrıca direnç sıcaklıkla pek etkilenmez. Direnç sıcaklık katsayısı küçüktür. Metalik camların elektrik iletimleri de, yalıtkan olan silikat camlarından iyi fakat kristalin metaller kadar değildir. Bununla beraber, iletim özellikleri de sıcaklıkla az değişir (Grant and Mc Kim, 1982).

Kristalin malzemelerde, genellikle tercihli magnetizasyonun tek eksenini vardır. Magnetizasyonu bu eksenin diğer bir yöne saptırmak için enerji harcanmalıdır. Metalik camda ise yapı tamamen üniformdur. Bu nedenle kolay magnetize olabileceği belirli bir yön yoktur. Yani metalik camlar magnetik alan bakımından izotropdur. Bu yüzden magnetizasyon daha az bir enerji sarfı ile dönüştürülebilir (Çizelge 2.5). Camlı ferromagnetler çok kolay magnetize olurlar ve bu sayede güç kaynağı cihazlarında indüktör olarak kullanılırlar. Fe-Si-B camlı alaşımları, güç transformator çekirdeklerinde kristalin Fe-Si alaşımlarının yerini almaktadır. Metalik camların bu uygulamasında histerezis kayıpları tasarrufu büyük kazançlar sağlar (Gilman, 1980; Grant and Mc Kim, 1982; Chen, et al., 1980; Chaudhari, et al., 1980).

Çizelge 2.5. Bazı camısı ve kristalin malzemelerde magnetik özellikler (Grant and Mc Kim'den, 1982).

Camsı Alaşım	Koersif Alan (A/m)	Max Geçirgenlik
Fe ₄₀ Ni ₃₈ Mo ₄ B ₁₈	0,56	750000
Fe ₄₀ Ni ₃₈ P ₁₄ B ₆	0,48	880000
Co ₅₈ Ni ₁₀ Fe ₄ Si ₁₁ B ₁₆	0,80	900000
Klasik Yumuşak Magnetler:		
Mu Metal	4,00	100000
Supermalloy	0,16	800000

Metalik camların yüksek direnci ve magnetik olarak yumuşaklığı onların magnetik teyp kaydedicilerinde ve magnetik hafıza disklerinde okuma ve yazma kafaları olarak kullanımını sağlar. Amorf metal filmlerle ilgili bir diğer uygulama alanı da kompüter sisteminde kullanılan magnetik kabarcık hafızalardır. Bugün kullanılan hafıza cihazlarında kabarcıkların çapı 1 μ veya daha fazladır. Kristalin malzemelerde en küçük kabarcık Garnet kristali olup 0,5 μ kadardır. Nadir toprak metali - Geçiş Metali camısı alaşımlarında ise 0,1 μ 'dur. Kabarcık çapında 5 kat azalma, 25 kat fazla bilgi depolanabilmesi demektir (Chaudhari, et al., 1980).

Metalik camlar yüksek elektriksel dirence sahip olup "Eddy Akımları"nı söndürürler. Ayrıca, bazı camlara gerilmeler uygulandığında önemli magnetik değişmelere uğrarlar ve yüksek akma mukavemetleri nedeniyle elastik dalgaları fevkalâde bir şekilde çok az bir zayıflatma ile yayarlar. Bu durum da metalik camlara ilginç magnetoakustik özellikler kazandırır.

Metalik camlarla makina parçaları üzerine korozyon ve aşınmaya dayanıklı kaplamalar yapılabilir. Sertlik ve kimyasal kararlılıkları camısı alaşımları cerrahi malzemelerde, diş dolgularında, jilet vb. yapımında, yüksek mukavemetleri, lastik tekerlek ve transmisyon kayışlarını kuvvetlendirici olarak ve kompozit malzeme üretimi ile uçak ve füze sanayiinde kullanılır yapar. İnşaat sektöründe Fe-Mo-B camısı alaşımı beton kuvvetlendirici lifler şeklinde ucuz bir malzeme olarak ilgi çekmektedir. Camsı metallerin düzensiz yapıya sahip olmaları onların nükleer endüstride geniş kullanım sahası bulacağını göstermektedir.

Metalik cam şeritler, parça imalatı için kumaş gibi dokunabilir. Örülerek, bağlanarak halat yapılabilir. Helisel olarak bükülerek silindir veya tabakalar halinde plakalar yapılabilir. Bazı durumlarda camsı tozlardan şok basınçlarla da parça üretilebilir.

Krom esaslı camlar klorür ve sülfatlar içinde yüksek korozyon direncine sahip oldukları için denizcilik ve biyotıpta kullanılırlar. Sertlikle birlikte kolay magnetize olmaları, metalik camların çeşitli magnetik araçlarda akım taşıyıcı olarak kullanılmalarını cazip kılar. Bunlar içinde motorlar, jenaratörler, transformatörler, amplifikatörler, devre anahtarları, hafızalar ve kayıt kafaları sayılabilir (Chaudhari, et al., 1980; Grant and Mc Kim, 1982; Chen, et al., 1980; Gilman, 1980).

2.5. Metalik Camların Sınıflandırılması

Kolay camlaşabilen alaşımların sınıflandırılması tam olarak gerçekleştirilmemekle birlikte alaşım sistemleri için bazı ana sınıflandırmalar yapılabilir (Çizelge 2.6). Cam oluşturan bileşimlerin listesi Takayama tarafından ve cam oluşturan elementlerin periyodik tablosu Masumoto ve Maddin tarafından verilmiştir.

Kolay camlaşabilen alaşım sistemleri iki ana gruba ayrılır;

1. Temel sistemler,
2. İkincil sistemler.

Bu iki ana gruba ilâve olarak, teknik önemi olan ve atomik depozisyon işlemi ile hazırlanan "Termal olarak kararlı" amorf sistem grubundan da söz edilebilir.

Temel sistemler de kendi içinde iki alt gruba ayrılabilir. I.Grup; Metal-ametal grubu olup $T^{2-x} X_x$ şeklinde ifade edilebilir. Burada T^2 : Mn,Fe,Co,Ni,Pd,Au,Pt ve X : B,C,Si,Ge,P olabilir. Genel olarak X'in bileşimi 0,15-0,25 arasındadır. Burada T ve X herbir grubun elementlerinin kombinasyonu da olabilir ki bu durum cam oluşum eğilimini arttırır. Bu etkiye iyi bir örnek olan $Fe_{80}P_{13}C_7$, ikili alaşım olan Fe-C ve Fe-P'den daha kolay camlaşır. Ön geçiş metalleri gibi, B- metalleri de bu tip sistemlere ilave edilebilir. B- Metalleri: Cu,Zn,Al gruplarıdır.

Çokça çalışılan sistemler Fe esaslı, örneğin Fe-B (Şekil 2.7.a), ve Pd-Si (Şekil 2.7.b)'dir. Bu sistemler aşağı yukarı aynı bileşimlerde dar ve derin ötektik vermektedir.

Temel sistemlerin II.Grubu; geçiş metalleri / sistemleri olarak tanımlanır ve $T^1_{1-x} T^2_x$ olarak ifade edilebilir ve genellikle $x=0,3-0,65$ arasında olup sisteme bağlı olarak bu aralık da değişebilir.

$T^1 - T^2$ sistemleri üç alt gruba ayrılır:

Birinci alt grupta, örneğin Zr-Cu (Şekil 2.7.c), sıvıdan soğutma ile geniş aralıkta bir bileşim camlaşabilir.

Çizelge 2.6. Elemanların kimyasal sınıflandırılmasına dayalı metalik cam oluşturan alaşım sistemleri (Polk and Giessen'den, 1978).

Grup (a)	Örnek Sistemler	Tipik Bileşim	Hazırlama Yöntemi (b)
Temel Sistemler			
T^2 (veya soy)metali-A metal(I)	Pd-Si, Co-P, Fe-P-C, Ni-P-B	15-25X	LQ, ED
T^1 metali+ T^2 metali (veya Cu)	Zr-Cu	30-65Cu	LQ, SP
	Y-Cu, Ti-Ni	30-40 T^2 , Cu	LQ
	Nb-Ni, Ta-Ni	40-65Ni	LQ, SP
İkincil Sistemler			
A metali- B Metali	Mg-Zn	25-35 Zn	LQ
T^1 metali + A metali	(Ti-Zr)-Be	20-60 Be	LQ
Aktinit + T^1 metali	U-V, U-Cr	20-40 T^1	LQ
Sıvıdan Soğutma ile Elde Edilemeyen "Termal Kararlı" Amorf Sistemler			
T^2 metali + nadir toprak metali	Go - Gd	- 20 Gd	SP
(a) T^1 metali	: Ön geçiş metali (Sc, Ti, V grupları);		
T^2 metali	: Ard geçiş metali (Mn, Fe, Co, Ni grupları);		
A metali	: Li, Mg grupları;		
B metali	: Cu, Zn, Al grupları;		
Ametal	: B, C, Si, Ge, P.		
(b) ED	: Elektron çöktürme;		
LQ	: Sıvı soğutma;		
SP	: Sıvı sıçratma;		

İkinci alt gruptaki camlar, örneğin %30-40Ni içerikli Ti-Ni sistemi, T^1 'ce zengin bileşimlerde dir.

Üçüncü alt gruptaki camlar, örneğin Nb-Ni (Şekil 2.7.d), T²'ce zengin bileşimlerdedir.

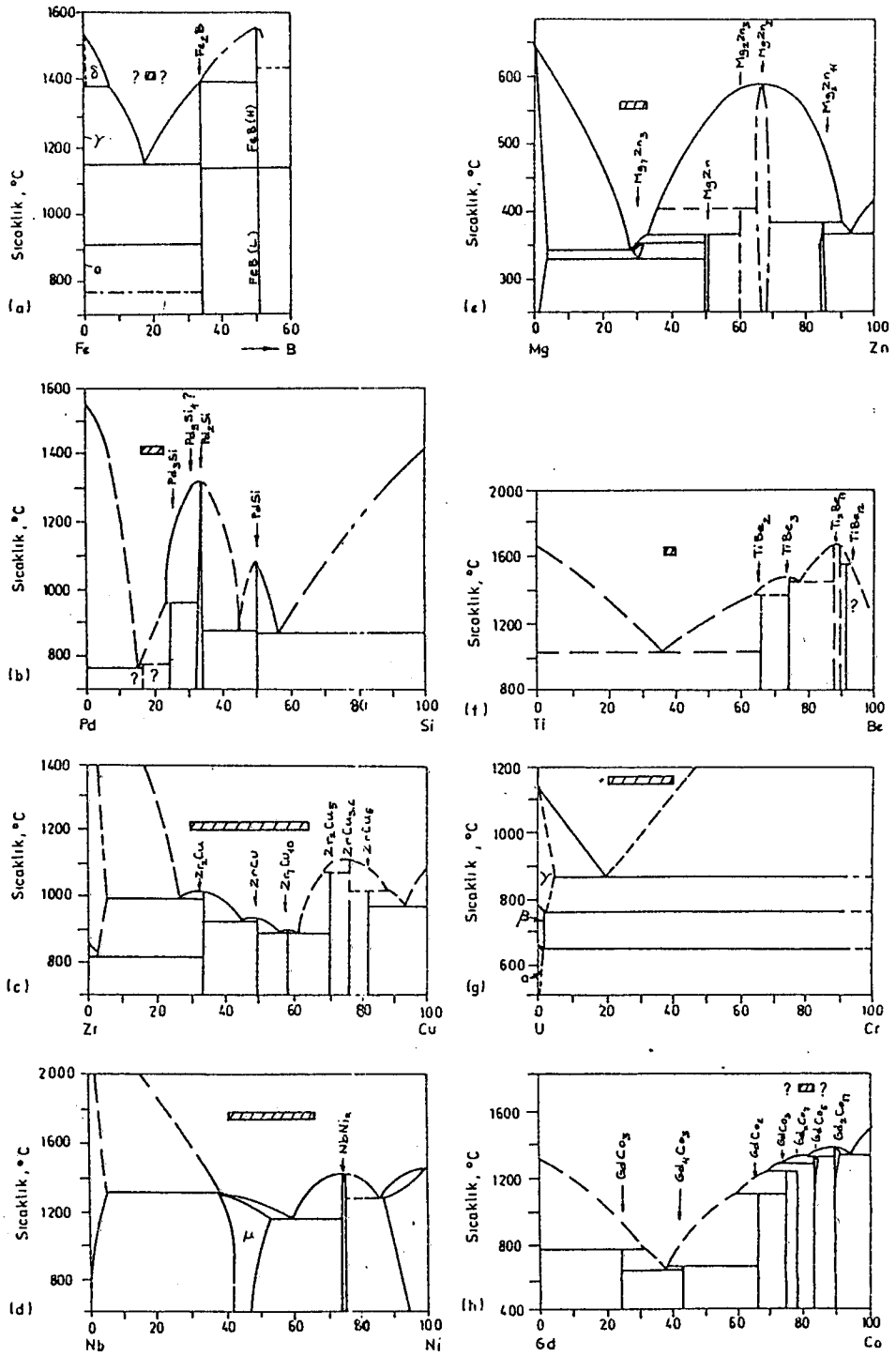
Nadir toprak veya aktinit metallерinin T² metali ile kombinasyonundan oluşan birkaç değişik T¹ - T² alaşım sistemi daha vardır. Yapılan çalışmalar sonucu Zr sistemleri de camlara ilave edilmiştir. Son zamanlarda süper iletken Zr-Rh alaşımları ile bazı Y'ce zengin Y-T² camları bulunmuştur.

Çizelge 2,6'da cam oluşturan sistemlerde işaretlenen ikinci ana grup olan "İkincil Sistemler" son zamanlarda belirtilmiştir. Mg-Zn sistemi, %25-30 Zn değerleri arasında derin ötektik verir. Bu, geçiş metali veya ametal içermeden, bileşenleri eş valanslı basit metal-metal alaşımı olarak eriyikten hazırlanan ilk amorf malzemedir (Şekil 2.7.e).

Berilyumlu Ti-Zr veya Ti-Be gibi teknik önemi olan amorf alaşım (Şekil 2.7.f) kombinasyonları ticari olarak elde edilebilir.

İkincil sistemin son grubunda gösterilen amorf uranyum alaşımları son zamanlarda bulunmuştur. Cam üretebilmek için Uranyum metaline T¹ metalleri olan V ve Cr %20-40 seviyelerinde ilave edilir (Şekil 2.7.g).

Cam oluşturan alaşım sistemlerinin son grubunda sıvıdan soğutma ile elde edilemeyen, oda sıcaklığının üzerinde termal kararlı teknik olarak enterasan olan Co-Gd sistemleri vardır (Polk and Giessen, 1978).



Şekil 2.7. Metalik cam oluşturan bazı alaşımların faz diyagramları (Polk and Giessen'den, 1978).

2.6. Hızlı Katılaştırma Teknikleri

Hızlı katılaştırma teknikleri ile soğuma hızına bağlı olarak çok küçük taneli kristalin metalik malzemeler veya amorf metalik camlar üretilir. Bu yöntemler ile elde edilen ürünler genellikle mikron ile ölçülen kalınlıklarda olup şerit, folyo, fiber, flâman, toz, lamel, pul veya tel şeklindedir.

Hızlı katılaştırma tekniklerini iki ana gruba ayırmak mümkündür.

2.6.1. Atomik kondensasyon yöntemleri

Pratik ve ekonomik olmayan yöntem olup şu alt bölümlere ayrılır;

- a. Elektrolizle çöktürme
- b. Buharla çöktürme
- c. Kimyasal çöktürme
- d. Plazma jeti ile çöktürme
- e. Parçalama soğutması

2.6.2. Sıvıdan katılaştırma yöntemleri

2.6.2.1. Atomizasyon yöntemleri

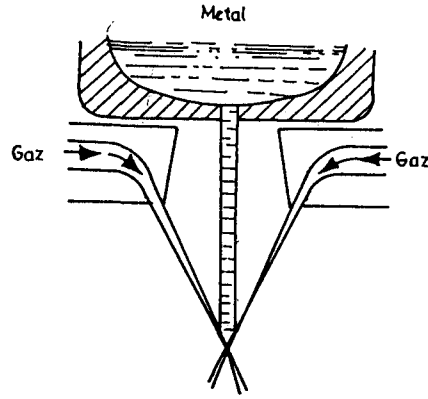
Sıvı metalin küçük parçacıklara dönüşmesi mekanizmalarını içeren teknikler olup şu alt bölümlere ayrılır;

I. Çift Akışkan Atomizasyonu

Bu işlemde metalik akışkana, ikinci bir yüksek hızlı akışkan tarafından darbe yapılarak sıvı metal atomize edilir.

a. Gaz ve su atomizasyonu

Sıvı metal, üzerine püskürtülen yüksek basınçlı su veya gaz ile atomize edilir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Sıvı metalin gaz ve su atomizasyonunun şematik resmi (Savage and Froes'den, 1984).

b. Ultrasonik gaz atomizasyonu

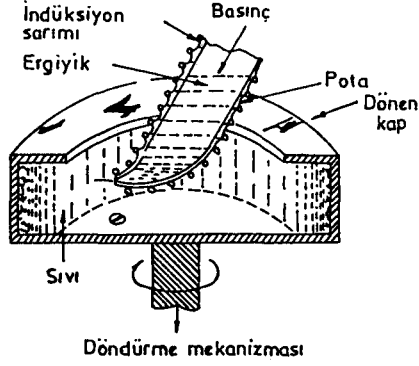
2,5 Mach'a kadar yüksek hızlarla titreşen gaz, Şekil 2,8'dakine benzer bir düzencele sıvı metal akışı üzerine verilir. Yüksek hızlı gaz titreşimleri sıvı metal akışı üzerine odaklanır, gazın darbesi ile metal akışı çok dar boyutta ve tek kademedede parçacıklara ayrılır.

c. Hızlı dönen kap yöntemi

Ergimiş metal 8000-16000 d/dak. hızla dönen kap içindeki soğutma sıvısına yönlendirilir. Sıvıya çarpan metal parçalanır ve santrifüj kuvvetin etkisiyle kabın çevresine fırlatılır (Şekil 2.9).

d. Tambura çarptırma yöntemi

Gaz atomizasyonu ile elde edilen metal damlacıkları alt yüzey olarak kullanılan dönen bir tamburun çevresine püskürtülür. Her damlacık tek tek katılır ve diğer damlacıklar üzerine kapanmadan tamburdan ayrılır. Damlacıklar darbenin etkisiyle ve tamburun dönme hızıyla incelik.



Şekil 2.9. Hızlı dönen kap atomizasyon tekniğinin şematik görünüşü (Savage and Froes'den, 1984).

II. Santrifüj Atomizasyonu

Sıvı metal parçacıkları santrifüj kuvvetin etkisiyle savrulur ve küreselleşir ve uçarken katılaşır.

a. Dönen elektrod yöntemi

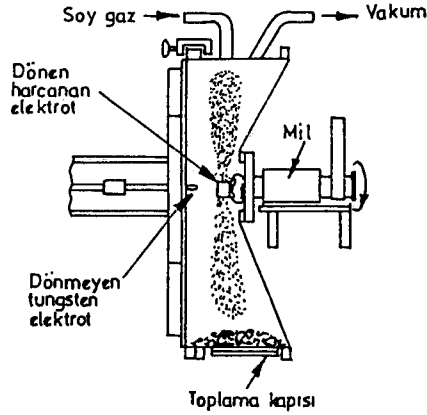
İyi işlenmiş bir çubuk alaşım yüksek hızda döndürülür. Çubuğun ucu kapalı bir bölme içinde olup tungsten arkı ile ergitilmektedir. Sıvı metal damlacıkları teğetsel olarak uçarken küreselleşir ve katılaşır (Şekil 2.10).

b. Konkav diskte hızlı katılaştırma yöntemi

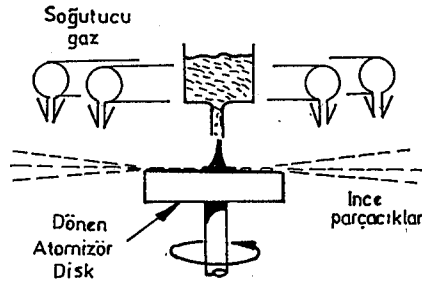
Sıvı metal helyum gazı ile çevrili konkav bir disk üzerine dökülerek savrulur (Şekil 2.11).

c. Dönen delikli kap yöntemi

Ergimiş metal düşey kenarları küçük delikli ve hızla dönen bir silindir içine dökülür ve buradan dışarı, kaba ve uzamış taneler halinde katılaşarak çıkar.



Şekil 2.10. Dönen elektrot yönteminin şematik görünüşü (Savage and Froes'den, 1984).



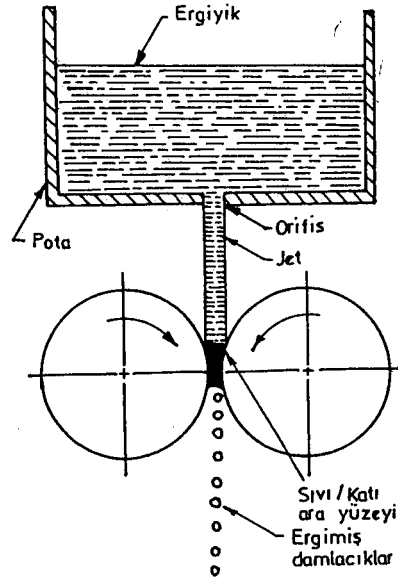
Şekil 2.11. Konkav diskte hızlı katılaştırma yönteminin şematik resmi (Savage and Froes'den, 1984).

III. Mekanik Atomizasyon

Mekanik işlemlerle sıvı metali parçacıklara ayırma teknikleridir.

a. Çift merdane atomizasyonu

Ergimiş metal akışının yüksek hızla ve ters olarak dönen merdaneler arasında atomizasyonu ile metal tozları elde edilir (Şekil 2.12).



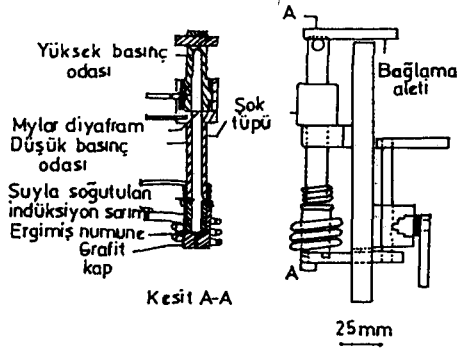
Şekil 2.12. Çift merdane atomizasyonunun şematik resmi (Savage and Froes'den, 1984).

b. Titreşimli elektrod atomizasyonu

Titreştirilen metal çubuk elektrod, tüketilmeyen bir diğer elektrod arkı ile, vakum veya soygaz doldurulmuş oda içinde, ucundan ergitilir. Damlacıklar fırlayarak katılaşır.

c. Duwez şok tekniği

Kuvars tüpte indüksiyonla ergitilen metale yapılan ani gaz basıncı ile tüp üzerindeki diyafram yırtılarak şok dalgası oluşturulması sonucu metalin orifisten atomize olarak çıkıp soğuk bir alt yüzeye çarpması ile katılaşma olur (Şekil 2.13).



Şekil 2.13. Duwez şok tekniğinin şematik resmi (Chen, et al.'dan, 1980).

IV. Diğer Yöntemler

a. Eriyebilir gaz atomizasyonu

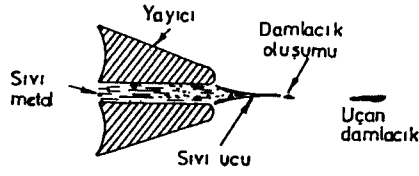
Basınç altında gazla aşırı doyurulmuş olan bir pota içindeki sıvı metal, bir transfer tüpü yardımıyla aniden vakuma geçirilir. Gaz genişleyerek eriyik dışına çıkar ve metalin damlacıklar halinde ayrılmasına sebep olur.

b. Elektrohidrodinamik atomizasyon

Kılcal bir kanal içindeki sıvı metalin yüzeyine şiddetli bir elektrik alanı uygulanarak yüzey gerilim kuvvetleri yenilir ve damlacıklar yayınarak bir toplayıcıya çarparlar (Şekil 2.14).

c. Kıvılcım erozyon tekniği

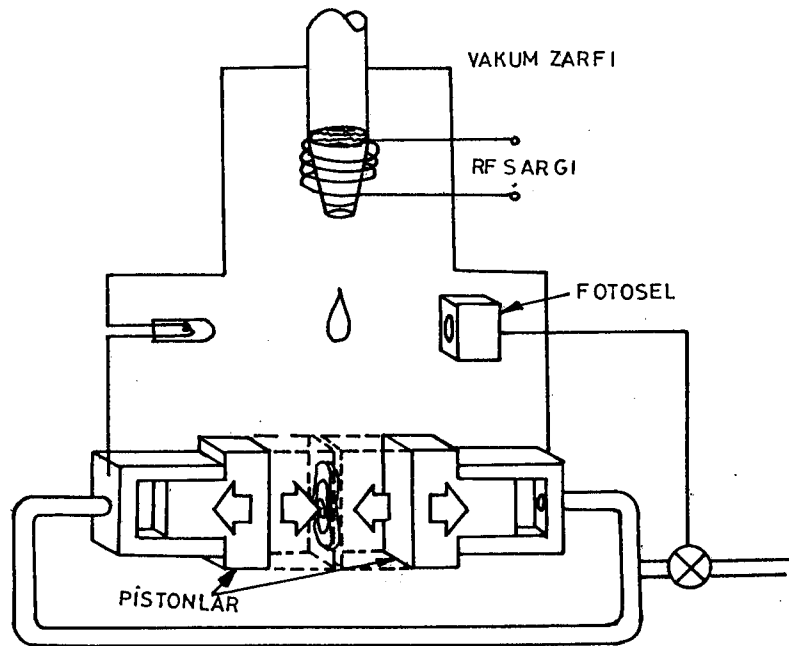
Bir dielektrik akışkan içersine daldırılmış ilgili metalden yapılan iki elektrot arasında devamlı bir kıvılcım oluşturulmaktadır. Her kıvılcım metali bir miktar ergitir veya buharlaştırır. Derhal katılaştıran bu parçacıklar toz oluştururlar.



Şekil 2.14. Elektrohidrokinamik atomizasyonun şematik resmi (Savage and Froes'den, 1984).

d. Piston ve örs/çekiç ve örs/çift piston teknikleri

Sıvı metal damlası iki yüksek iletken yüzey arasında ezilerek incelik ve pul tipi ürün elde edilir (Şekil 2.15).



Şekil 2.15. Piston ve örs/çekiç tekniğinin şematik resmi (Chen, et al.'dan, 1980).

e. Plazma püskürtme kaplaması

Kaplama yapımında kullanılır. Plazma ile tel veya çubuk şeklindeki alaşım ertirilerek bir alt yüzeye gönderilir.

f. Elektron bombardımanı ergitmeli çarpıtırma soğutması

Metal çubuk elektron bombardımanı ile vakumda ergitilir. Düşen damlacıklar dönen bir alt yüzeye çarpıp savrulurken uçarken katılaşırlar.

2.6.2.2. Atomize olmayan yöntemler

Sıvı metalin parçacıklara ayrılmadan hızlı katılaştırılması esasına dayanan tekniklerdir.

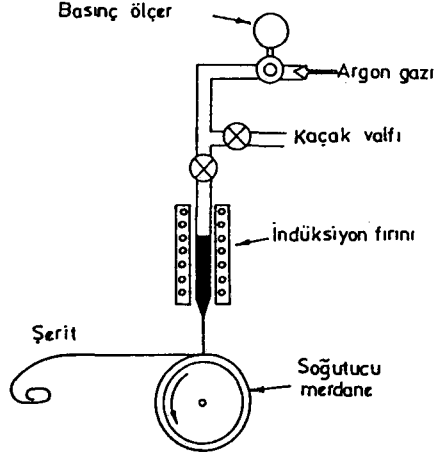
I. Ergiyik Ekstrüzyonu

Sıvı metal, ergitme tüpü orifisinden basınçla soygaz üflenerek ekstrüze edilir ve gaz veya sıvı bir soğutucu içine doğru uçarken katlaşır.

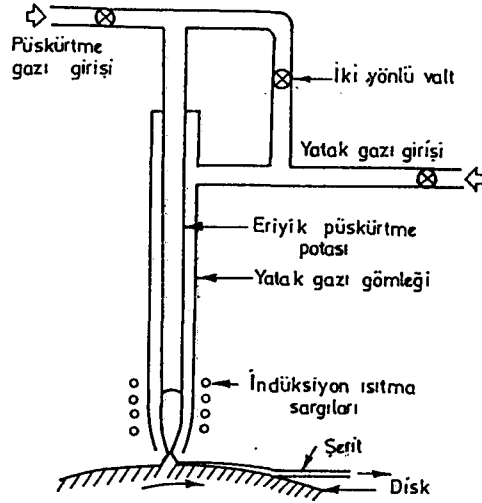
II. Soğutucu Bloкта Ergiyik Döndürme Yöntemi

Sıvı durumdan katılaştırma ile metalik cam üretiminde en çok kullanılan "Soğutucu Bloкта Ergiyik Döndürme (Chill Block Melt Spinning, CBMS)" yöntemidir. Bu yöntemde, üretim makinası esas olarak kuvars bir ergitme tüpü ve silindirik bir soğutucu alt yüzeyden meydana gelmiştir. Tüp içindeki metal genellikle indüksiyon bobini ile ergitilerek bir soygaz basıncı ile tüpün ucundaki orifisten hızla dönen alt yüzeye püskürtülür. Alt yüzeye temas eden metal hemen katılarak şerit halinde ayrılır (Şekil 2.16).

CBMS yönteminin bir türü olan Eşeksenli Püskürtmeli Ergiyik Döndürme Yönteminde (Coaxial Jet Melt-Spinning, CJMS) ayrıca bir dış tüp daha olup ikinci bir soy gaz, yatak gazı olarak alt yüzeye çarpan ergiyik jeti üzerine verilir. Bu yatak gazı hem şeridin oksitlenmesini önler, hem de şerit geometrisini etkiler (Şekil 2.17).

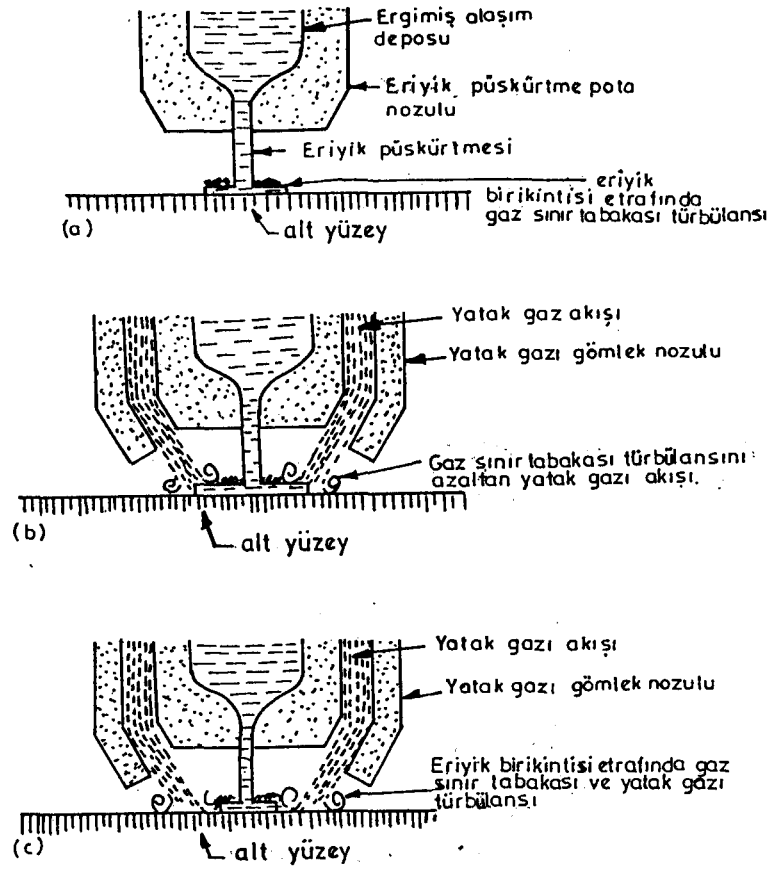


Şekil 2.16. CBMS Yönteminin Şematik Resmi (Savage and Froes'den, 1984).



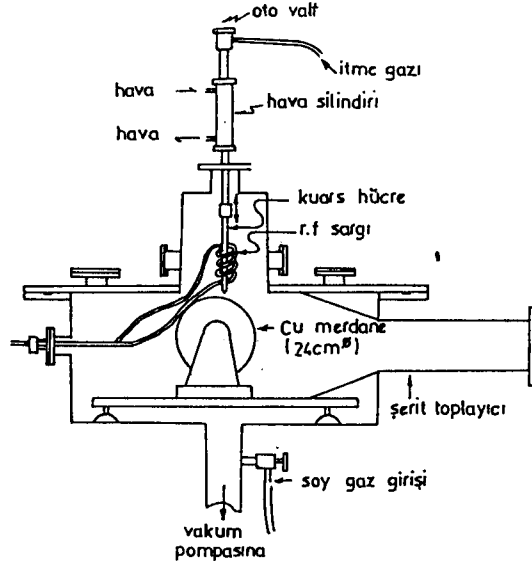
Şekil 2.17. CJMS yönteminin şematik resmi (Liebermann'dan, 1981).

Tüp ucu ile disk arası mesafe $< 5\text{mm}$. olduğunda yatak gazı akışı deliğin dışında yüksek basınç bölgesi meydana getirir. Burada en önemli şart, yatak gazı akışının gaz türbülansı yapmadan ergiyik damlasının dengesini sağlamasıdır. Gaz çevre tabakasının karışıklığını önlemek için, yatak gazı akışının ergiyik birikintisinin çevresinin üzerine püskürtülmesi gerekir (Şekil 2.18). Yatak gazı kullanılmadan işlem vakumda da yapılabilir (Şekil 2.19).



Şekil 2.18. Döküm yönü sayfanın dışına doğru olmak üzere CBMS yönteminin şematik diyagramlarının gösterilişi (Liebermann'dan, 1981).
 a) Havada yapılan klasik CBMS, b) Uygun şartlardaki CJMS,
 c) Uygun olmayan şartlardaki CJMS.

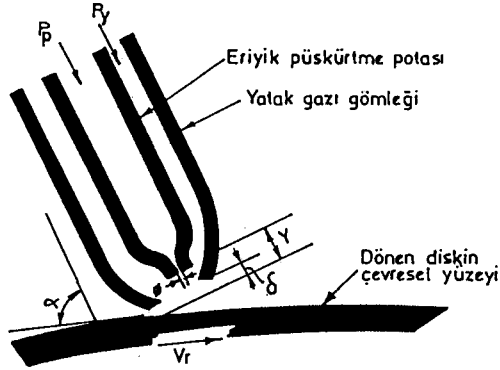
Bu yöntemde etkin işlem faktörleri şunlardır; Alt yüzey silindir çapı (D), alt yüzey malzemesi, alt yüzey diskinin devir sayısı (n) ve lineer yüzey hızı (V_r), ergitme tüpü orifis çapı (ϕ), orifisin alt yüzeye uzaklığı (y), tüp eğim açısı (α), eriyik püskürtme gazı basıncı (P_p), yatak gazı basıncı (P_y) ve hacimsal akış hızı (Q). Bu faktörler Şekil 2,20'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.19. Vakumda çalışılan CBMS cihazının şematik resmi (Suzuki, et al.'dan, 1980).

Bu yöntem ile metalik cam üretimi için kullanılan tüpler ergiyikle kimyasal reaksiyona girmemeli, sıcaklığa dayanıklı, termal şoka dirençli, düşük ısı iletimli ve düşük gaz geçirgenlikte olmalıdır. Alümina (Al_2O_3) tüpler $1650^\circ C$ 'ye kadar kullanılabilir. Tek dezavantajı çatlamaya eğilimli olmasıdır. Kuvars tüpler $1370^\circ C$ 'a kadar kullanılabilir. Sıcaklık sınırlamaları ve ergiyikle reaksiyona girebilme ihtimali dezavantajlarıdır.

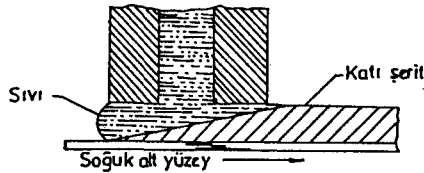
Isıtma, radyofrekans (RF) indüksiyon jeneratörü ve düşük ergime sıcaklıklı ($650^\circ C$ 'a kadar) alaşımlar için elektrik rezistansı ısıtıcı elemanları ile yapılabilir.



Şekil 2.20. CJMS yöntemindeki işlem parametrelerinin şematik görünüşü (Liebermann'dan, 1981).

III. Düzlemsel Akış Dökümü

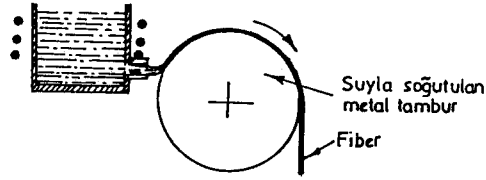
Ergitme tüpü orifisi, istenilen ürün genişliğinde olup, alt yüzeye istenilen şerit kalınlığı kadar yaklaştırılır. Sıvı metal bu aralığı tamamen doldurur. CBMS yönteminin değişik bir uygulaması olup daha geniş şerit elde edilebilir (Şekil 2.21).



Şekil 2.21. Düzlemsel akış döküm yönteminin şematik görünümü (Savage and Froes'den, 1984).

IV. Ergiyik Çekme Yöntemi

Sıvı metal orifisten bükülerek çıkarak dönen bir alt yüzeyin çevresi üzerine temas ettirilerek çekilir ve katılaşarak ayrılır (Şekil 2.22).



Şekil 2.22. Ergiyik çekme yönteminin şematik görünüşü (Savage and Froes'den, 1984).

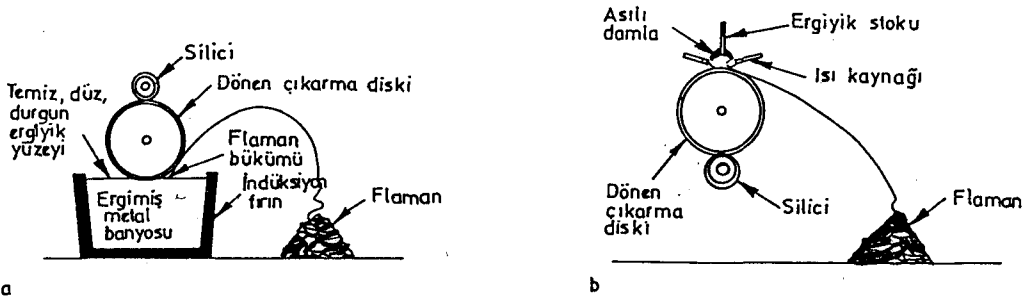
V. Ergiyik Çıkarma Yöntemi

Bu yöntemin sıvı metalin alt yüzey üzerine beslenmesine göre iki değişik şekli vardır:

a. Potadan ergiyik çıkarma

b. Sarkan damla ergiyik çıkarma

Her iki yöntemde de elektron bombardımanı veya indüksiyonla ergimiş metalin kaynağı ile temas ettirilen diskin kenarını yalayan metal katılaşır ve hemen ayrılarak uçar (Şekil 2.23).



Şekil 2.23. Ergiyik çıkarma yönteminin şematik görünüşü (Savage and Froes'den, 1984).

a) Potadan ergiyik çıkarma

b) Sarkan damla ergiyik çıkarma

VI. Püskürtme Kaplaması / Haddeleme

Bu yöntemde, atomize edilmiş soygaz ile oluşturulan ergimiş alaşım damlaları dönen bir tambur yüzeyine püskürtülür. Tamburun pürüzlü yüzeyine çarparak katılan metal üstüste tabaka yapar. Tamburdan ayrılan tabaka doğrudan haddeye verilir.

Bu yöntemin diğer bir şekli santrifüj püskürtme kaplamasıdır. Burada sıvı metal, yatay şekilde dönen bir disk üzerine dökülerek atomize olur ve diskin çevresinde bulunan silindirik yüzeyin iç kısmına çarpıp katılarak tabaka oluşturur ve sonra sıyrılarak haddelenir.

VII. Yönlendirilmiş Enerji Yöntemleri / Yüzey Ergitme ve Alaşımlama

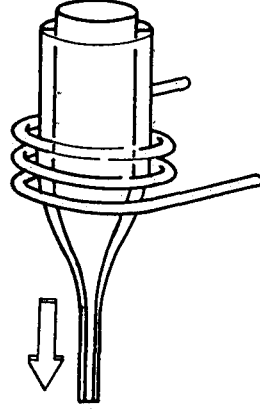
Şiddetli bir yönlendirilmiş enerji kaynağı (Lazer, Plazma veya Elektron Bombardımanı) malzemenin yüzeyine odaklanıp ergitme yapılarak yüzey taranır. Ergiyen tabaka derhal katılır. Yüzeyin ergimesine ilave olarak tel veya toz halindeki alaşım ilavesi yapılabilir.

VIII. Taylor Teli Yöntemi

Bir cam tüp içinde ergitilen sıvı metal önce camla beraber çekilerek ucu cam kılıf içinde şekillenir. Sonra, şekillenen tel bir tambura sürekli olarak sarılır (Şekil 2.24).

IX. Kalıp Yöntemleri

Sıvı metal, bakır bir kalıp boşluğu içinde küçük kesitlerde sıkıştırılır.



Şekil 2.24. Taylor Teli Yönteminin Şematik Görünüşü (Haour and Bode'den 1983).

Çizelge 2.7. Hızlı katılaştırma teknikleri ve tipik ürün parametreleri
(Savage and Froes'den, 1984).

TEKNİK	ÜRÜN TİPİ	TİPİK BOYUTLAR (μm)	TİPİK ŞOĞUMA HIZI (Ks^{-1})	UYGULANABİLİRLİK**	UYABILAR
Gas Atomizasyonu (Gas Atomization)	Düz, küresel tozlar	50-100 çap	10^2-10^3	1?, 2	Oksidasyon problem olduğunda, soy gaz (Ar, N_2) kullanılır
Su-Atomizasyonu (Water Atomization)	Pürüzlü, kaba ve düzgün olmayan tozlar	75-200 çap	10^2-10^4	3, özellikle Fe, Cu	Ton ölçüsünde kullanılır
Ultrasonik Gaz Atomizasyonu (Ultrasonic Gas Atomization)	Düzgün, küresel tozlar	10-50 çap	10^6 'ya kadar	1?, 2	Dar tane ölçüsü dağılımı, yüksek etkinlik
Hızlı dönen kap atomizasyonu (Rapid Spinning Cup)	Küreselden düzgün olmayan şekillere kadar	<50 çap mümkün	10^6	7	Dar tane ölçüsü dağılımı mümkün
Tambura çarptırma yöntemi (Drum Splat Process)	Lamel	1-3mm çap x 100 kalınlık	10^4-10^5	2, özellikle Al	Serbest akış yok, Yüksek üretim hızı
Dönen elektrot yöntemi (Rotating Electrode Process)	Düzgün, küresel tozlar	125-200 çap	10^2	1, özellikle Fe,	Düşük soğuma hızı, az pislenme

Çizelge 2.7. (Devam ediyor).

TEKNİK	ÜRÜN TİPİ	TİPİK BOYUTLAR (μm)	TİPİK SOĞUMA HIZI (Ks^{-1})	UYGULANABİLİRLİK*	UYARILAR
Konkav diskte hızlı katılaştırma (Rapid solidification Rate)	Düzgün, küresel tozlar	25-80 ϕ	10^5	2, özellikle Ni, Al	Düşük oksit, temiz toz
Dönem delikli kap yöntemi (Rotating Porforated Cup)	İğnesel taneler	1000-50000 uzunluk x 1000 ϕ	10^1	5, özellikle Al	Çok ekonomik
Çift merdane atomizasyonu (Twin roll atomization)	Değişken tozlar, lameler kadar	200 kalınlık, lamel	10^5-10^6	2	Ekonomik
Titreşimli Elektrot Atomizasyonu (Vibrating Electrode Atomization)	Küresel tozlar	10-2000 ϕ	$<10^{12}$	1	Düşük soğuma hızı, geniş ölçü dağılımı
Duwez-Şok Tekniği (Duwez Gun Technique)	Folya	0,1-10 kalınlık	10^9	2	Geniş uygulaması olan bir teknik

Çizelge 2.7. (Devam ediyor).

TEKNİK	ÜRÜN TİPİ	TİPİK BOYUTLAR (μm) /	TİPİK SOĞUMA HIZI (Ks^{-1})	UYGULANABİLİRLİK**	UYARILAR
Eriyebilir Gaz Atomizasyonu (Soluble Gas Atomization)	Küresel tozlar	20-100 çap	10^1-10^2	2	Çok temiz, serbest uçan tozlar
Elektro hidrodinamik Atomizasyon(Electrohydrodynamic Atomization)	Toz, lamel veya kaplama	0,01-100 çap	10^7 'ye kadar	2	Çok iyi toz ölçü kontrolü
Kıvılcım Erozyon Tekniği (Spark Erosion Technique)	Küresel veya düzgün olmayan şekillerde	0,5-30 çap	10^5-10^6	2	Toz ölçü kontrolü az (iyi değil)
Piston ve Ürs Tekniği (Piston and anvil)	Lamel	25mm çap x 5-300 kalınlık	10^4-10^6	1	Çok kullanılan bir laboratuvar tekniğidir
Plazma Püskürtme Kaplaması (Plasma Spray Deposition)	Birbirini tutan (yapışık) kaplama	>1mm kalınlık	$<10^7$	4, özellikle Ni	Net şekle yakın üretim potansiyeline sahiptir

Çizelge 2.7. (Devam ediyor).

TEKNİK	ÜRÜN TİPİ	TİPİK BOYUTLAR (μm)	TİPİK SOĞUMA HIZI (Ks^{-1})	UYGULANABİLİRLİK:	UYARILAR
Blektron Bon- bardmanı Br- gitmeli Çarp- tırma Soğut- ması (Electron baam Splat Quenching)	Uzamış laneller	40-100 kalın- lık	10^4-10^7	1, özellikle Ti	Reaktif ergiyiklere uygulanabilir
Soğutucu Blok- la Ergiyik Döndürme (Chill Block Melt Spinning)	Dikdörtgen kesitli şeritler	10-100 kalın- lık 3mm'ye kadar genişlik	10^5-10^7	1?, 2	Çok geniş kul- lanım sahası
Düzlemsel akış dökümü/ Ergiyik çekme (Planar Flow Casting/ Melt Drag)	Geniş, dikdörtgen kesitli şeritler	20-100 kalın- lık 50mm'ye kadar genişlik	10^5-10^6	2, özellikle Fe, Ni, Al	Geniş uygulama sahası
Potadan ergiyik çıkar- ma/ Sarkan Damla Ergiyik Çıkarma (Cru- cible Melt Ex- traction/ Pendent Drop Melt Extrat.)	Flaman veya fiber	20-100 kalın- lık	10^5-10^6	1,2, özellikle Fe	Reaktif ergiyiklere uygulanabilir

Çizelge 2.7. (Devam ediyor).

TEKNİK	ÜRÜN TİPİ	TİPİK BOYUTLAR (μm)	TİPİK SOĞUMA HIZI (Ks^{-1})	UYGULANABİLİRLİK**	UYARILAR
Püskürtme kaplaması (Spray Deposition)	Kalın kaplama	>1mm kalınlık	10^2-10^5	2, özellikle Al	Kalın kesitler için kısa işlem yolu
Yönlendirilmiş Enerji (Directed Energy)	Yüzey tabakası	10-1000	$10^5 - 10^8$	1	Özel yüzeyler ucuz olarak imal edilebilir
Taylor Teli (Taylor Weri)	Dairesel kesitli teller	20-100 çap tel	10^2-10^5	6	Ergiyeğin bu- laşma riski yüksek
Kalıp Metod- ları (Chill Methods= Die Methods)	Kama ve silindir	200-1000 kalınlık mümkün	10^5	1?, 2 özellikle Al	Geniş uygulanabilirlik, düşük soğuma hızı

* Tahmini

** Uygulanabilirliğin yedi kategorisi aşağıda belirtilmiştir. Bunlar zorluk sırasına göre sıralanmıştır. Örneğin; 3 derecesindeki bir teknik, bunun altındaki tüm diğer tekniklere uygulanabilir.

1. Yüksek reaktif ve oksitlenmeye hassas metaller, örneğin; Ti,Zr.
2. Orta reaktif veya oksitlenmeye hassas metaller, örneğin; Al.
3. Reaktif olmayan ve oksitleri hemen redüklenen metaller, örneğin; Ag,Cu.
4. Yüksek ergime sıcaklıklı metaller, örneğin; Ni.
5. Düşük ergime sıcaklıklı metaller; örneğin; Al,Mg.
6. Muhafaza kabı veya refrakter ile birlikte uygun olarak kullanılabilen herhangi bir metal.
7. Kullanılan soğutucu ile uygun olarak birlikte kullanılabilen herhangi bir metal.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Araştırmanın amacına yönelik deneysel çalışmalar iki bölüme ayrılabilir. Birincisi, kullanılan alaşımdan sıvıdan soğutma tekniği ile metalik camın elde edilmesidir. İkincisi ise elde edilen metalik cam şeritlerin geometrisine üretim şartlarının etkisinin araştırılmasıdır.

3.1. Denejde Kullanılan Cihazın Tanıtımı

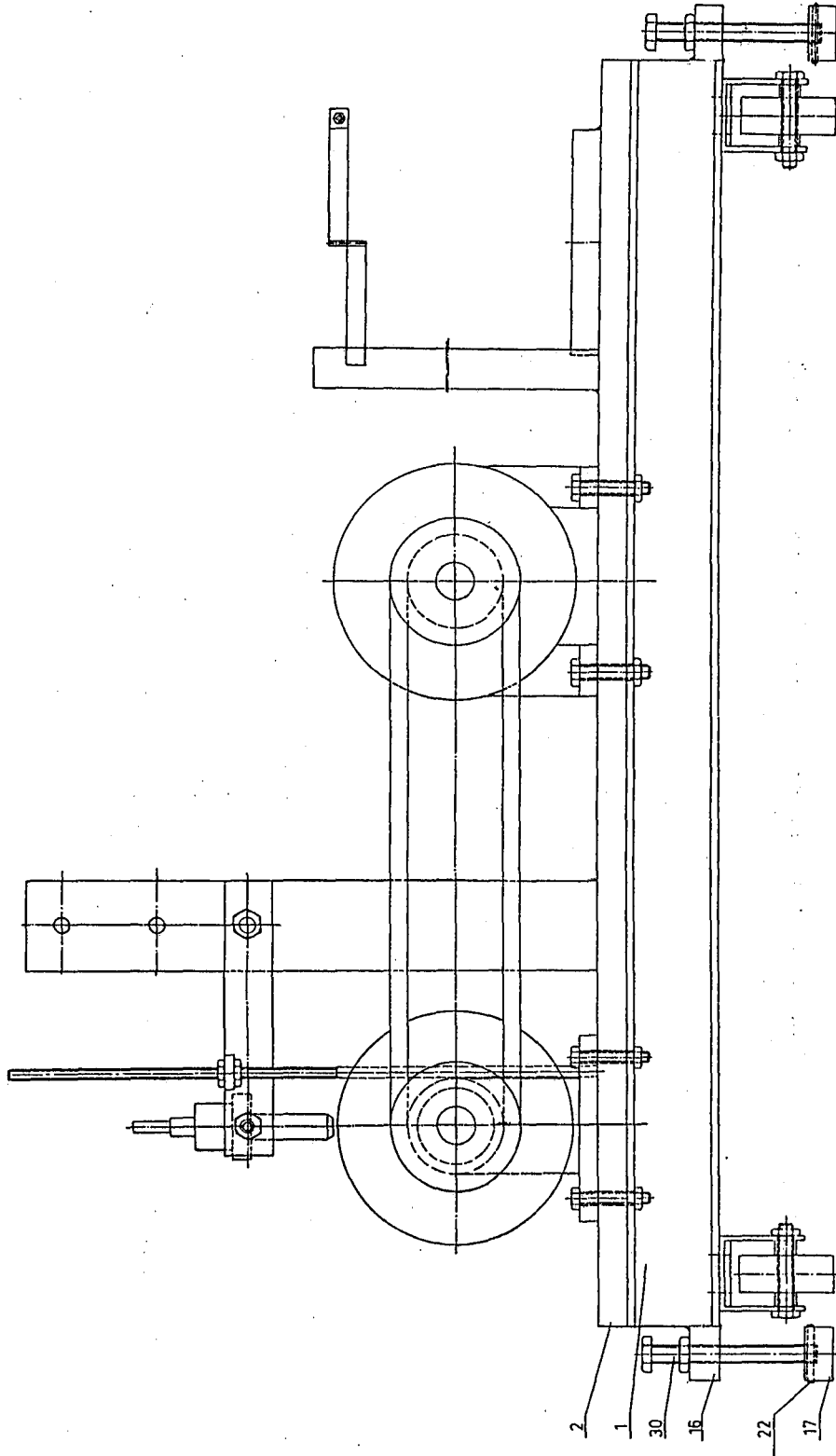
Parça listesi Çizelge 3,1 de ve ilgili teknik resimleri Şekil 3,1-3,3 de gösterilen "Eşeksenli Püskürtmeli Ergiyik Döndürme (CJMS)" yöntemi ile üretim yapan Metalik Cam Makinası'nın imalatı tarafımızdan yapılmıştır.

Çalışma prensibi Şekil 3,4 de gösterilen makina esas olarak; alaşımı ergitmeye yarayan tüp, üzerine püskürtülen ergimiş metalin hızlı soğumasını gerçekleştiren soğutucu döner disk, püskürtme ve yatak gazı düzeneği ile soğutucu diski değişik devirlerde döndürmeye yarayan elektrik motoru ve kayış kasnak sistemlerinden oluşmuştur.

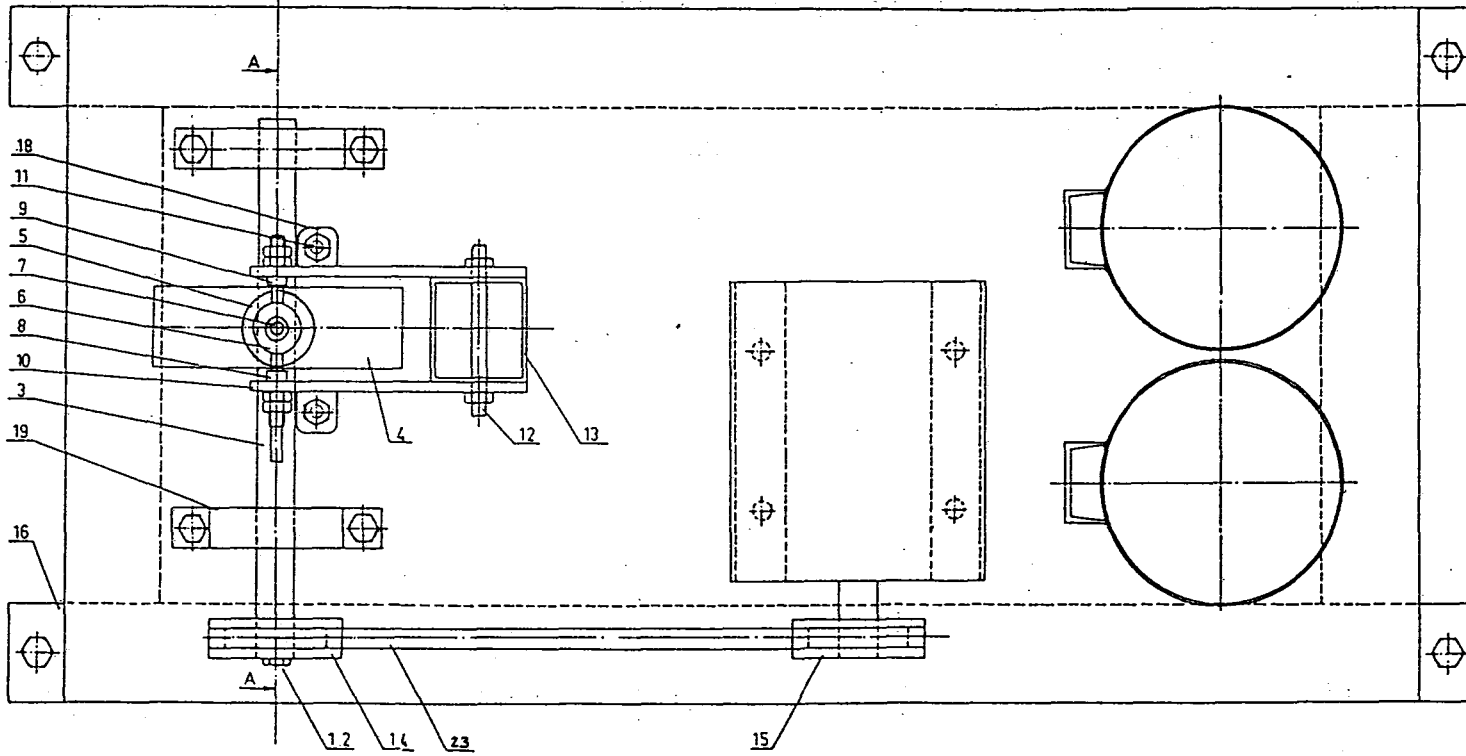
Makinadaki elektrik motoru $n=940$ dev/dak ve 2.2 KW gücündedir. Soğutucu disk 250 mm çapında olup elektrolitik bakırdan döküm yoluyla imal edilmiş ve yüzeyi hassas olarak düzgünleştirilmiştir.

Ergitme için, 10mm dış çapında ve 1 mm et kalınlığındaki kuvars tüp kullanılmış olup, ısıtma kuvars tüp üzerine açılan kanallara sarılan 0,4 mm çapındaki elektrik rezistansı ısıtıcı elemanları vasıtasıyla yapılmıştır.

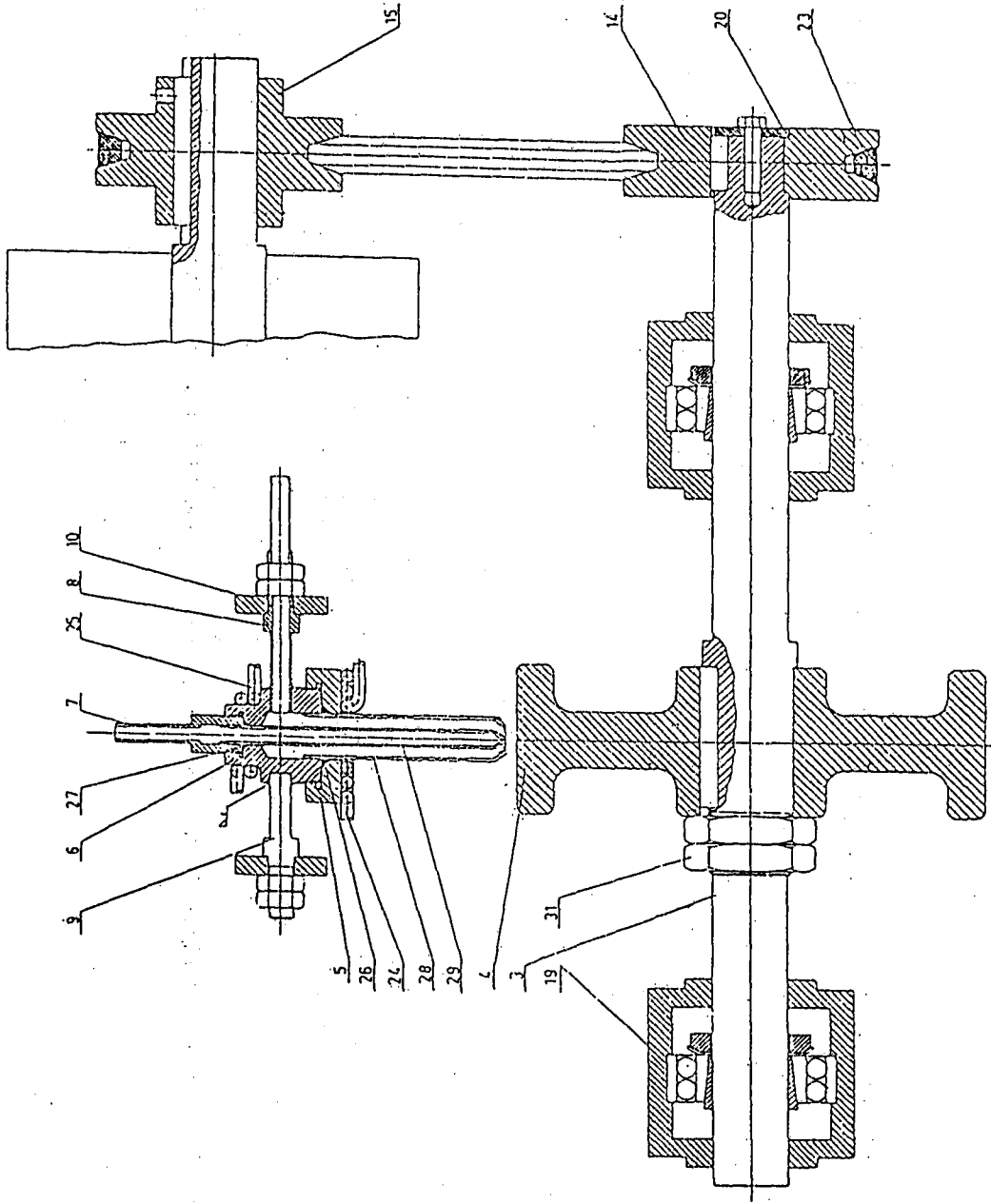
Ergitme tüplerinin bir ucu oksî-asetilen alevi ile büzdürülerek istenilen orifis çapları elde edilmiştir. Elektrik direnç telinin kuvars tüp üzerine kayma olmaksızın sarılması için tüp üzerine kanal açma işlemi şu şekilde yapılmıştır: Kuvars tüpün içi ve dışı parafin banyosunda kaplandıktan sonra tüpün dışındaki parafinin üzerine, istenilen incelikte, cam yüzeye kadar ve cam çizilmeden düzgün bir şekilde torna tezgahında spiral kanal açılmıştır. Bu işlemden sonra kuvars tüp HF asit banyosuna daldırılarak parafin üzerine açılan kanallara giren asidin tüpü aşındırması sağlanmıştır. Direnç telinin tüp



Şekil 3.1. Deneylerde kullanılan metalik cam makinasının yan görünüşü



Şekil 3.2. Deneilerde kullanılan metalik cam makinasının üst görünüşü



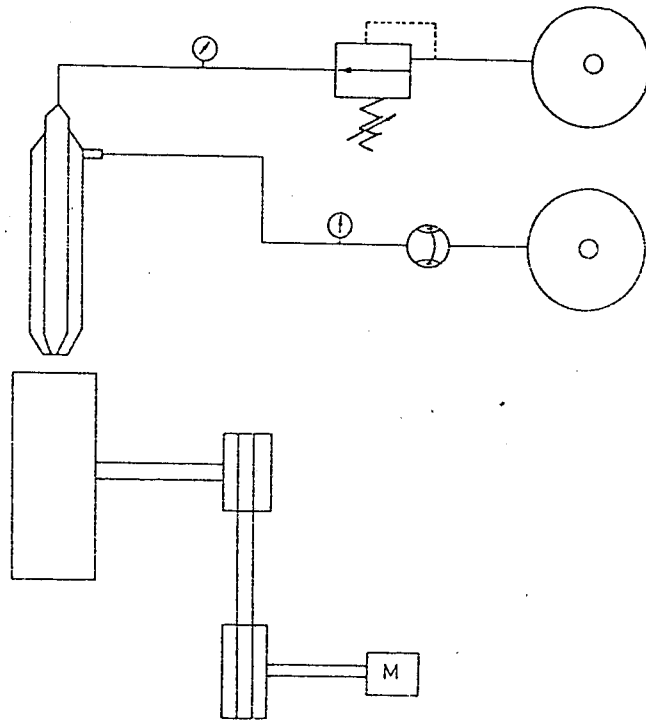
Şekil 3.3. Deneylerde kullanılan metalik cam makinasının A-A kesiti

Çizelge 3.1. Deneylerde kullanılan metalik cam makinasının parça listesi

P.No.	ADET	ADI	MALZEME
1	1	ÇERÇEBE PUTREL 100x100.....4000	St37
2	1	LAMA 20x500.....2000	St37
3	1	MİL \varnothing 55.....575	Bakır
4	1	DİSK \varnothing 250.....80	Pirinç
5	1	TUTUCU \varnothing 75.....20	Pirinç
6	1	TUTUCU \varnothing 55.....55	Pirinç
7	1	PÜSKÜRTME GAZI GİRİŞ BORUSU \varnothing 22.....70	Pirinç
8	1	YATAK GAZI GİRİŞ BORUŞU \varnothing 30.....130	Pirinç
9	1	TUTUCU KOLU \varnothing 20.....85	Pirinç
10	2	YAN TAŞIYICI 10x50.....300	St37
11	2	KLAVUZ \varnothing 12.....650	St37
12	1	TUTUCU CIVATA	St37
13	1	PROFİL 5x80x100.....625	St37
14	1	KASNAK \varnothing 100.....45	St37
15	5	KASNAK \varnothing 50- \varnothing 60- \varnothing 100- \varnothing 120- \varnothing 150.....85	St37
16	4	AYAK 30x70.....110	St37
17	4	AYAK 30x70.....110	St37
18	2	KULAK 10x50.....50	St37
19	2	GERME MANŞONLU RULMAN VE YATAÇI 22K+H H309	Hazır
20	1	RONDBLA \varnothing 45.....5	St37
21	4	OYNAK TBEERLEK \varnothing 100.....20	Hazır
22	4	PİM \varnothing 8.....70	St37
23	1	V KAYIŞ 19/14.....1400	Hazır
24	1	BORU \varnothing 6.....450	Bakır
25	1	BORU \varnothing 6.....350	Bakır
26	1	O-RİNG \varnothing 4 - \varnothing 19.8 (iç çap)	Hazır
27	1	O-RİNG \varnothing 3 - \varnothing 10 (iç çap)	Hazır
28	1	TÜP \varnothing 20x1.....110	Kuvars
29	1	TÜP \varnothing 10x1.....155	Kuvars
30	4	CIVATA M 20x180	St37
31	2	SOMUN M 44x1.5.....10	St37

üzerinde kaymadan sarılabileceği kadar aşınma miktarı gözlem yoluyla belirlenmiştir. Daha sonra tüp asit banyosundan çıkarılarak su ile yıkandıktan sonra üzerindeki parafinler alevle ısıtılarak temizlenmiştir.

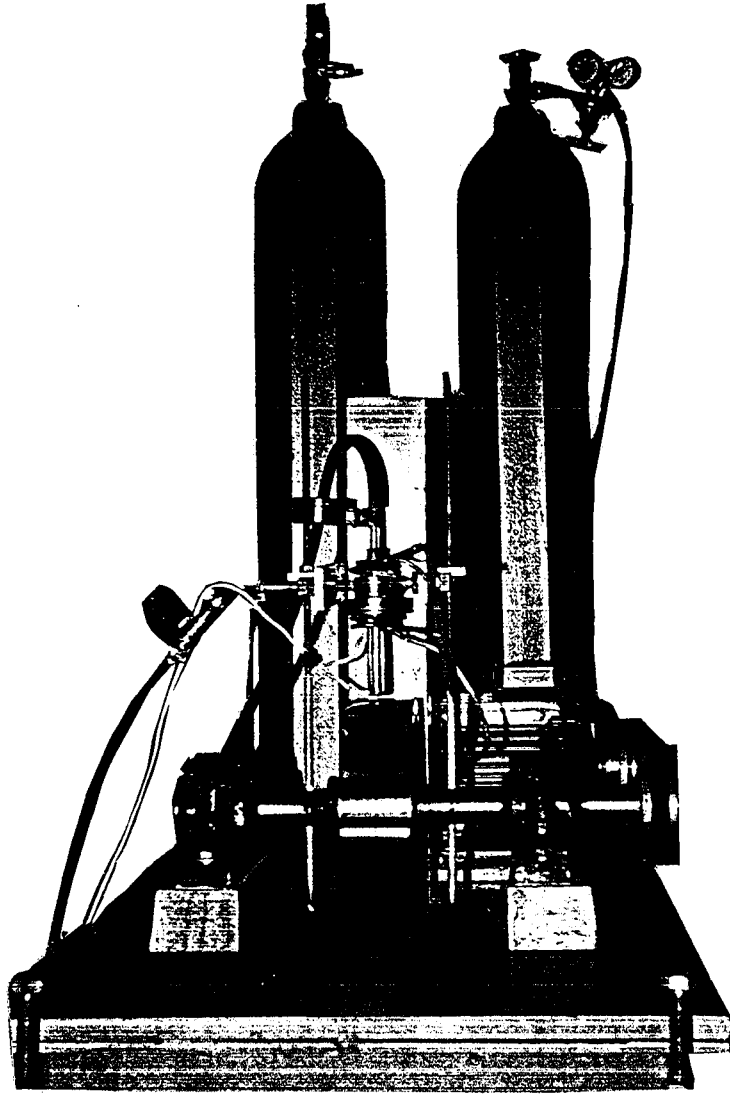
Yatak gazının akışı için kullanılan 20 mm çapındaki dış tüpün ucunun şekillendirilmesi ve iç tüp üzerine sarılan direnç teli uçlarını çıkarmaya yarayan deliklerin açılması da aynı yolla gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.4. Deneylerde kullanılan metalik cam makinasının çalışma prensibinin şematik görünüşü.

Püskürtme ve yatak gazı olarak argon kullanılmıştır. Püskürtme ve yatak gazlarının basıncı ve tüp kesitleri sabit olduğu için debisi, gaz tüpü çıkışlarındaki regülatörler vasıtasıyla ayarlanmış ve gaz basınçları sistemdeki ilgili manometrelerden tespit edilmiştir.

Metalik cam elde etme çalışmasında kullanılan, CJMS tekniği ile üretim yapılan, metalik cam makinasının fotoğrafı Şekil 3,5 de gösterilmiştir.



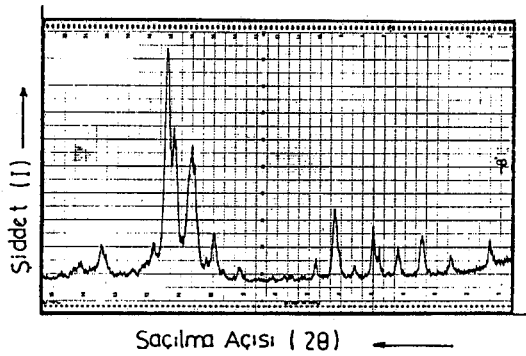
Şekil 3.5. Metalik cam elde etme çalışmalarında kullanılan cihazın fotoğrafı.

3.2. DeneYlerde Kullanılan Malzeme

DeneYlerde kullanılan $Mg_{70}Zn_{30}$ alaşımı, atomik % bileşim değerinde olup, ilgili metallerin bu oranı sağlayacak şekilde ağırlık yzdzeleri hesaplanarak indüksiyon ocağında vakum altında ergitilmiş ve kılçe halinde katılaştırılarak elde edilmiştir. Elde edilen alaşımın kimyasal analizi atomik absorbsiyon ve x-ışını difraksiyon yntemleriyle belirlenmiştir. Çizelge 3,2 de atomik absorbsiyon sonucu ve şekil 3,6 da da x-ışın difraksiyon modeli gsterilmiştir. X-ışın difraksiyon modeli, şiddet (I) ve saılma açısı (2θ) koordinatlarıyla verilmiş olup deneYler sonucu elde edilen şeritlerin x-ışın difraksiyon modelleri de aynı koordinat sistemiyle tanımlanmıştır. $Mg_{70}Zn_{30}$ alaşımı için x-ışın difraksiyon cihazı el kitabından alınan difraksiyon modelini zözmeye yarayan değerler de izelge 3,3 de gsterilmiştir.

Çizelge 3.2. DeneYlerde kullanılan malzemenin bileşimi.

	Mg	Zn
% Ağırlık	46.2 ± 0.5	52.6 ± 0.5



şekil 3.6. DeneYlerde kullanılan kristalin $Mg_{70}Zn_{30}$ alaşımının difraksiyon modeli

Çizelge 3.3. Mg₇₀Zn₃₀ alaşımının x-ışın difraksiyon modeli değerleri

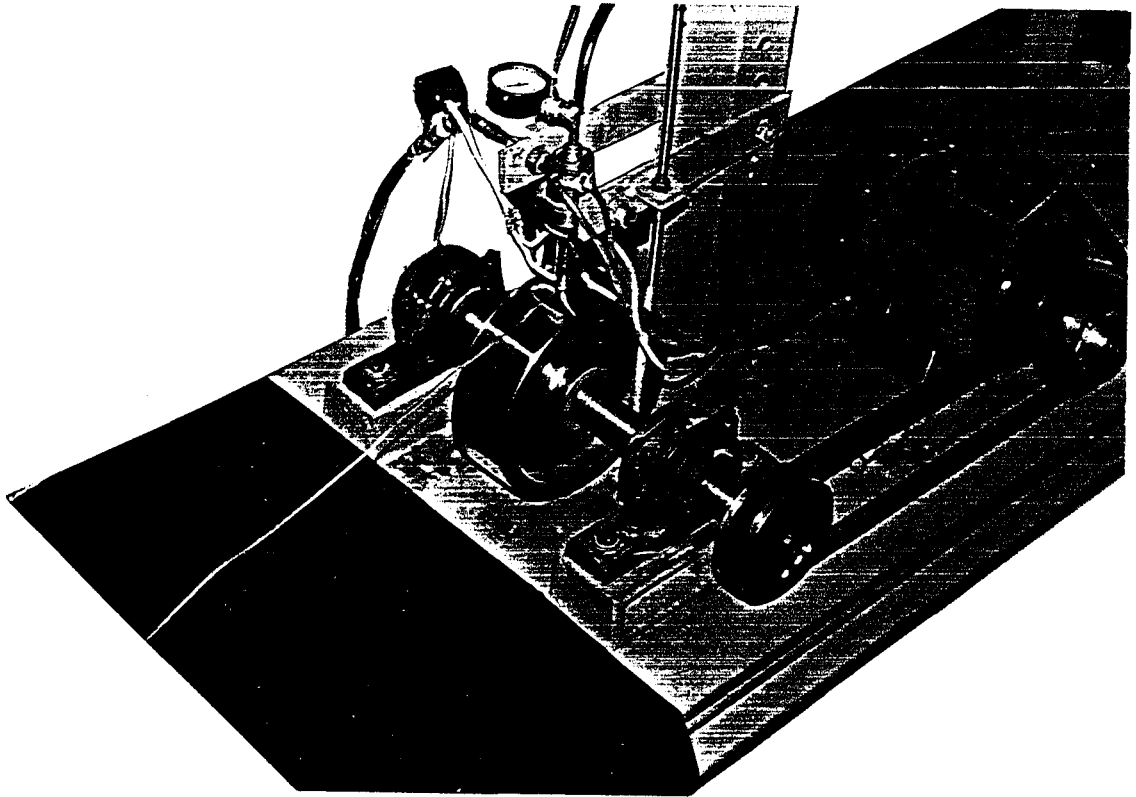
d Å°	I/I ₁	2 θ°	d Å°	I/I ₁	2 θ°
10.0	25	8.84	2.43	25	36.98
7.0	18	12.64	2.33	25	38.64
5.8	25	12.57	2.29	100	39.34
5.1	18	17.39	2.22	8	40.70
4.58	6	19.38	2.19	2	41.22
4.44	20	19.99	2.17	2	41.61
4.10	8	21.71	2.13	2	42.43
3.78	25	23.57	2.07	4	43.73
3.51	10	25.37	1.99	10	45.57
3.37	2	26.44	1.95	2	46.57
3.22	2	27.75	1.91	6	47.60
3.17	2	28.44	1.89	4	48.00
3.04	2	29.37	1.85	4	49.25
2.75	8	32.61	1.78	2	51.32
2.69	2	33.30	1.75	4	52.27
2.64	4	33.95	1.70	2	53.90
2.57	14	34.91	1.68	2	54.62
2.53	4	35.48	1.64	2	56.07
2.46	10	36.52	1.59	2	58.00

3.3. Deneyleerin Yapılışı

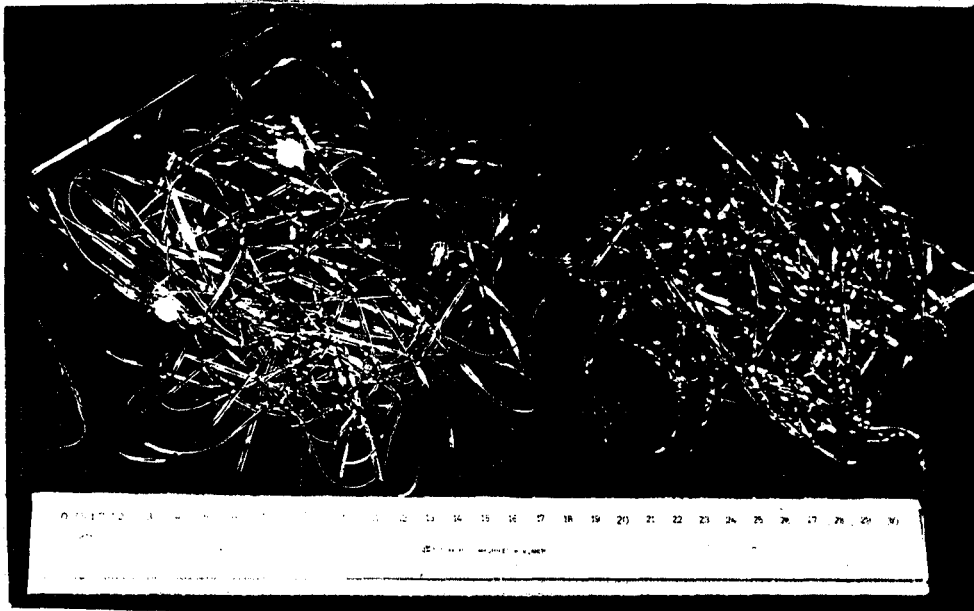
Deneyleerde 0,4 mm , 0,25 mm , ve 0,15 mm orifis çaplarındaki üç ergitme tûpü kullanılmıştır. Deneyleer sırasında ergitme tûpü eğim açısı $\alpha=90^\circ$ de, tûpün döner diske olan uzaklığı $y=2$ mm de ve yatak gazı basıncı $P_y=0.5$ kg/cm² de sabit tutulmuştur. Külçe halindeki Mg₇₀Zn₃₀ alaşımı birkaç milimetre boyutlarında kırılarak 2 gr lık miktarlarda ergitme tûpü içine koyulmuş ve 2,5 Amp , 65 V elektrik direnci ile ergitilmiştir. Her değişik orifis çaplı ergitme tûpüyle 12,29 - 18,44 - 24,59 - 30,74 - 36,89 m/s disk hızlarında 1,5 - 2,0 - 2,5 - 3,0 - 3,5 kg/cm² lik pûskürtme gazı basıncı kullanılarak 75 değişik işlem şartında şerit-üretimi yapılmıştır.

Üretimi yapılan şeritlerin herbirinin x-ışın difraksiyon modelleri alınmıştır. Bu amaçla PW 1320/00 tipi Philips marka x-ışın difraksiyon cihazı kullanılmış olup işlem şartları (36 KV , 1200 mA , 400 cps , 2°/dak , 1200mm/h) herbir şeritte sabit tutulmuştur. Kritik işlem değişkenlerine sahip bazı şeritlerin elektron difraksiyon modelleri alınmıştır. Bu amaçla JEOL-C100 marka taramalı elektron mikroskobu (TEM) kullanılmıştır. TEM'deki incelemeler için şeritlerin elektrolitik parlatma işlemleri -40°C daki nitrik asit-metilalkol çözeltisinde jet tekniğiyle yapılmıştır. Şeritlerin genişlikleri (W), Olympus-MF marka ışık mikroskobuyla, kalınlıkları (t) mikrometre ile ölçülmüştür. Ortalama şerit kalınlığı (\bar{t}) ise, belirli uzunluktaki şerit ağırlığının yoğunluk, genişlik ve uzunluk çarpımına bölünmesiyle elde edilmiştir.

Şekil 3,7 de metalik cam makinasının çalışma sırasındaki ve Şekil 3,8 de de üretilen şeritlerin fotoğrafı gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Metalik cam makinasının çalışma sırasındaki fotoğrafı.

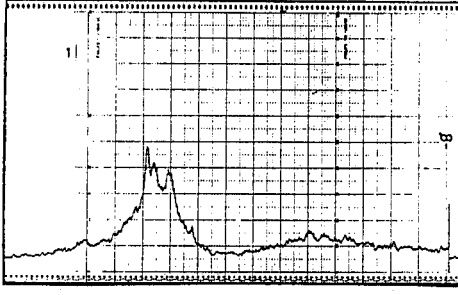


Şekil 3.8. Üretilen şeritlerin fotoğrafı.

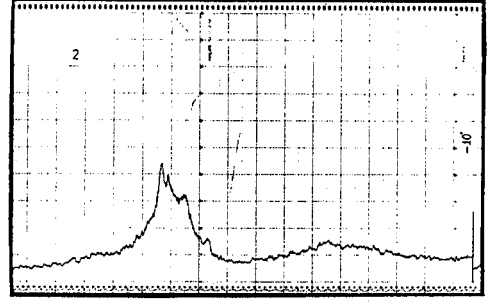
3.4. Deney Sonuçları

3.4.1. Yapı ile ilgili sonuçlar

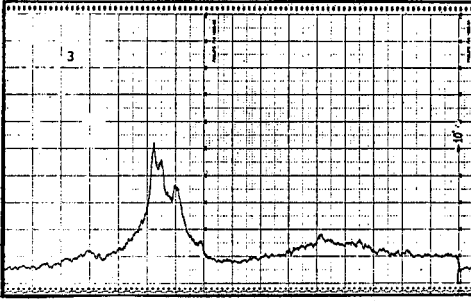
Çalışmanın birinci amacı $Mg_{70}Zn_{30}$ alaşımını amorf yapıda elde etmek olduğu için, değişik üretim şartlarında elde edilen şeritlerin amorf yapıda olup olmadıkları kontrol edilmiştir. Bu amaçla tüm şeritlerin x-ışın difraksiyon modelleri ve kritik üretim şartlarında elde edilen şeritlerin de elektron difraksiyon modelleri alınmıştır. Söz konusu modeller, üretim şartlarına göre gruplandırılarak, Şekil 3,9 - 3,23 de gösterilmiştir.



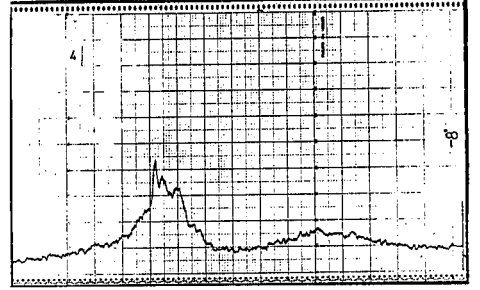
$P_p=1.5 \text{ kg/cm}^2$



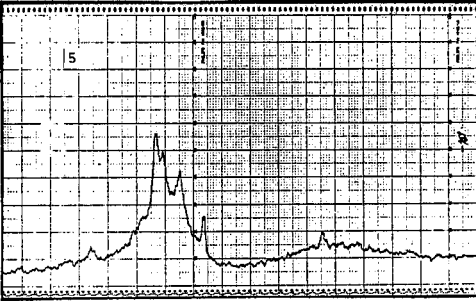
$P_p=2.0 \text{ kg/cm}^2$



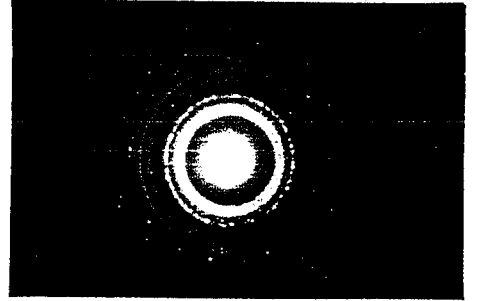
$P_p=2.5 \text{ kg/cm}^2$



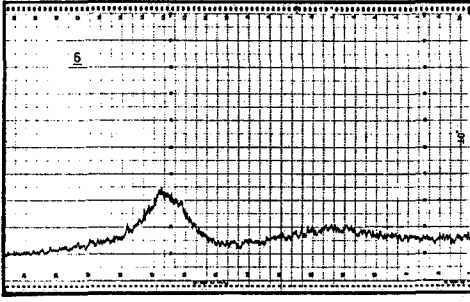
$P_p=3.0 \text{ kg/cm}^2$



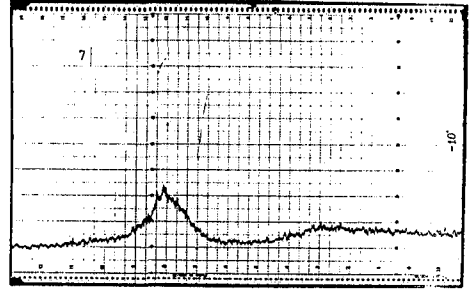
$P_p=3.5 \text{ kg/cm}^2$



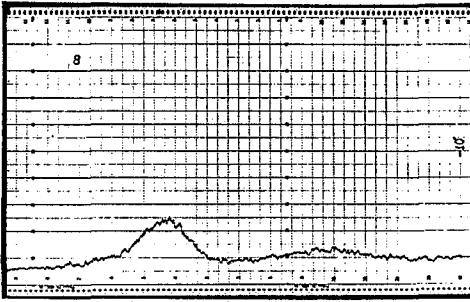
Şekil 3.9. Ergitme tüpü orifis çapı $\phi=0.4 \text{ mm}$. ve disk hızı $V_r=12.29 \text{ m/s}$ olan üretim şartında değişik püskürtme gazı basınçları kullanılarak üretilen şeritlerin x-ışın ve $P_p=3.5 \text{ kg/cm}^2$ için elektron difraksiyon modelleri.



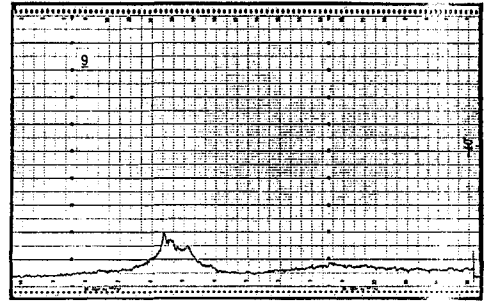
$P_p=1.5 \text{ kg/cm}^2$



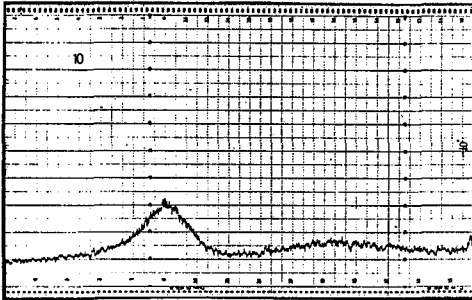
$P_p=2.0 \text{ kg/cm}^2$



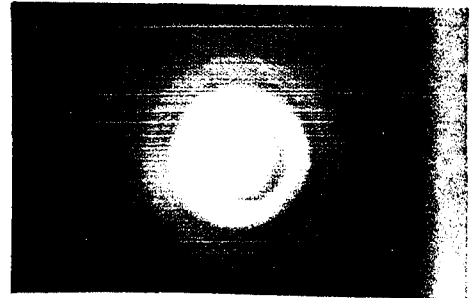
$P_p=2.5 \text{ kg/cm}^2$



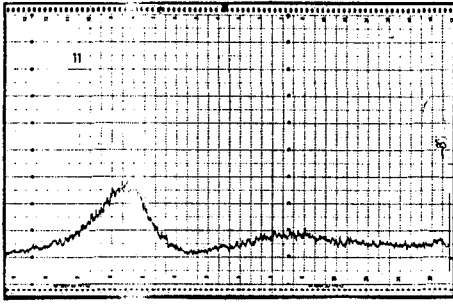
$P_p=3.0 \text{ kg/cm}^2$



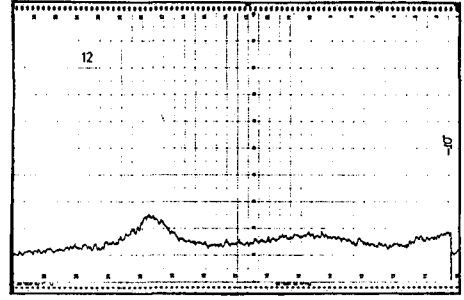
$P_p=3.5 \text{ kg/cm}^2$



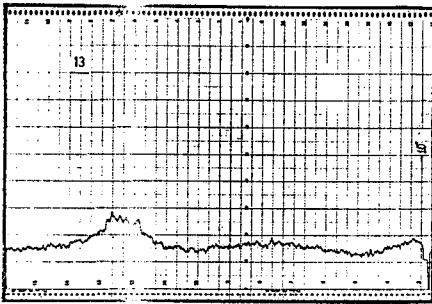
Şekil 3.10. Ergitme tüpü orifis çapı $\phi=0.4 \text{ mm}$. ve disk hızı $V_r=18.44 \text{ m/s}$ olan üretim şartında değişik püskürtme gazı basınçları kullanılarak üretilen şeritlerin x-ışın ve $P_p=3.5 \text{ kg/cm}^2$ için elektron difraksiyon modelleri.



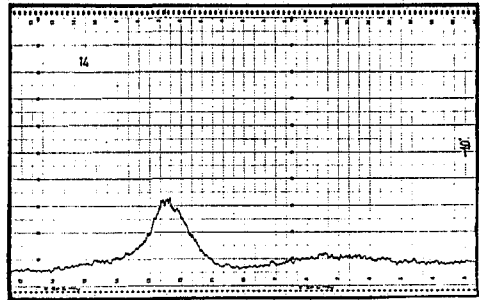
$P_p=1.5 \text{ kg/cm}^2$



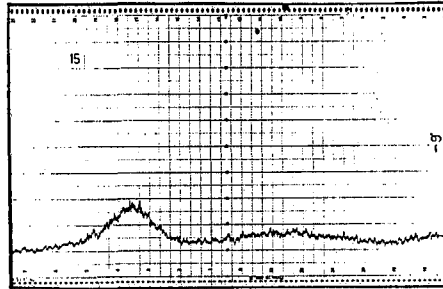
$P_p=2.0 \text{ kg/cm}^2$



$P_p=2.5 \text{ kg/cm}^2$

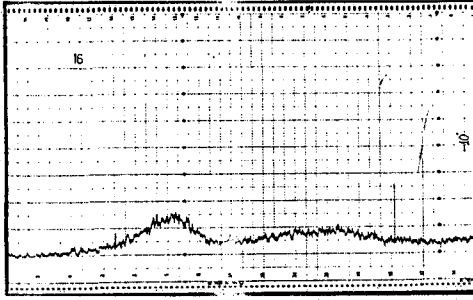


$P_p=3.0 \text{ kg/cm}^2$

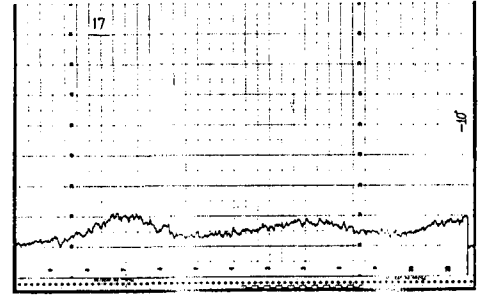


$P_p=3.5 \text{ kg/cm}^2$

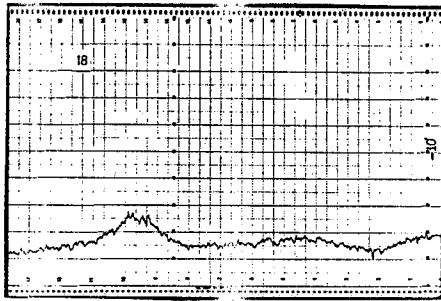
Şekil 3.11. Ergitme tüpü orifis çapı $\phi=0.4\text{mm}$. ve disk hızı $V_r=25.59\text{m/s}$ olan üretim şartında değişik püskürtme gazı basınçları kullanılarak üretilen şeritlerin x-ışın difraksiyon modelleri.



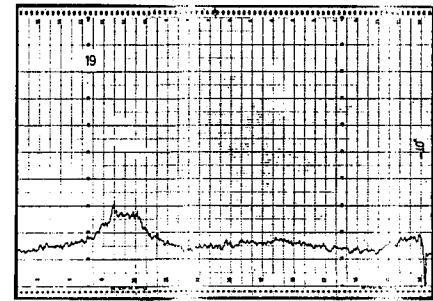
$P_p=1.5 \text{ kg/cm}^2$



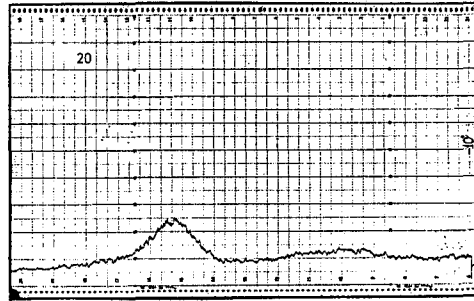
$P_p=2.0 \text{ kg/cm}^2$



$P_p=2.5 \text{ kg/cm}^2$

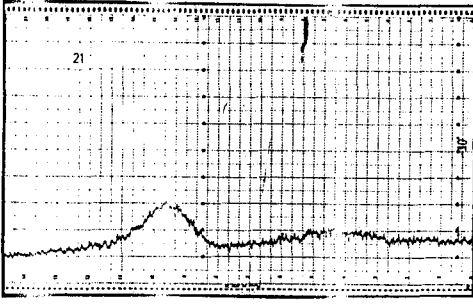


$P_p=3.0 \text{ kg/cm}^2$

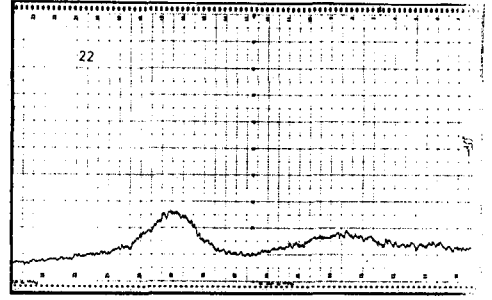


$P_p=3.5 \text{ kg/cm}^2$

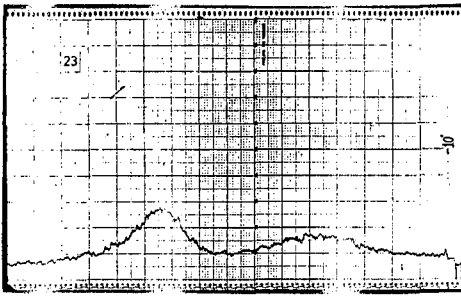
Şekil 3.12. Ergitme tüpü orifis çapı $\phi=0.4 \text{ mm}$. ve disk hızı $V_r=30.74 \text{ m/s}$ olan üretim şartında değişik püskürtme gazı basınçları kullanılarak üretilen şeritlerin x-ışın difraksiyon modelleri.



$P_p=1.5 \text{ kg/cm}^2$



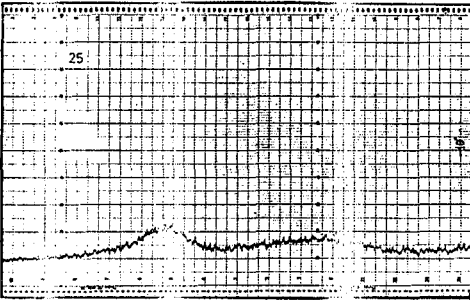
$P_p=2.0 \text{ kg/cm}^2$



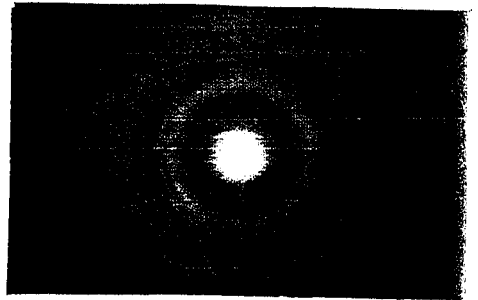
$P_p=2.5 \text{ kg/cm}^2$



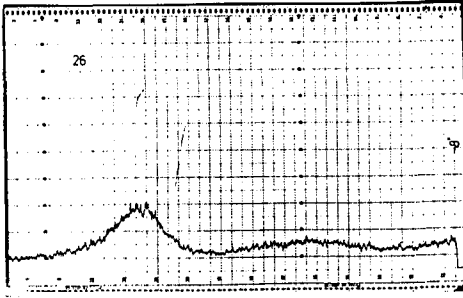
$P_p=3.0 \text{ kg/cm}^2$



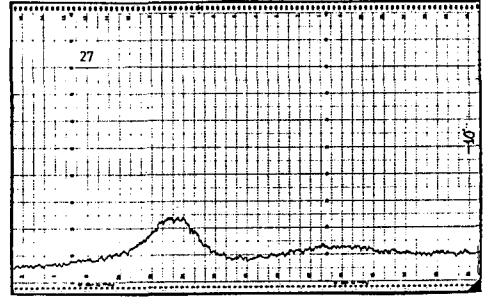
$P_p=3.5 \text{ kg/cm}^2$



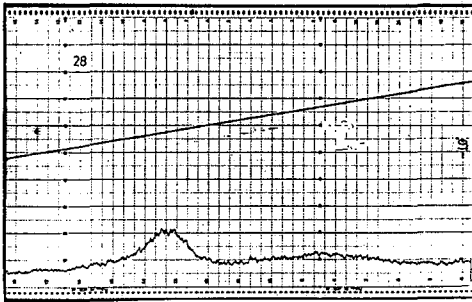
Şekil 3.13. Ergitme tüpü orifis çapı $\phi=0.4 \text{ mm.}$ ve disk hızı $V_r=36.89\text{m/s}$ olan üretim şartında değişik püskürtme gazı basınçları kullanılarak üretilen şeritlerin x-ışın ve $P_p=3.5 \text{ kg/cm}^2$ için elektron difraksiyon modelleri.



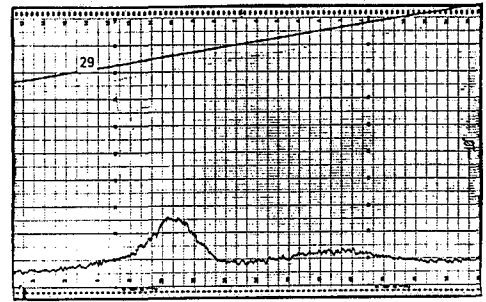
$P_p=1.5 \text{ kg/cm}^2$



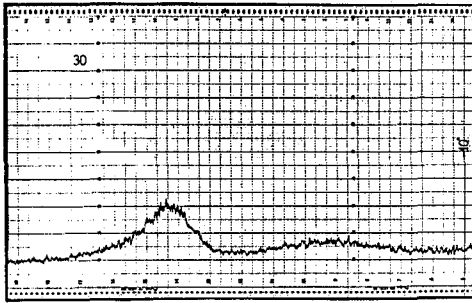
$P_p=2.0 \text{ kg/cm}^2$



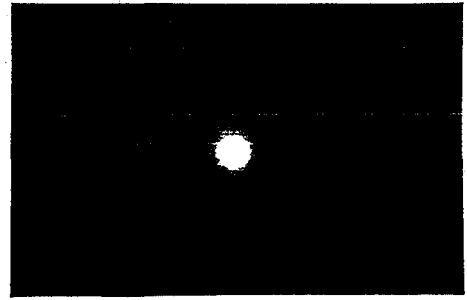
$P_p=2.5 \text{ kg/cm}^2$



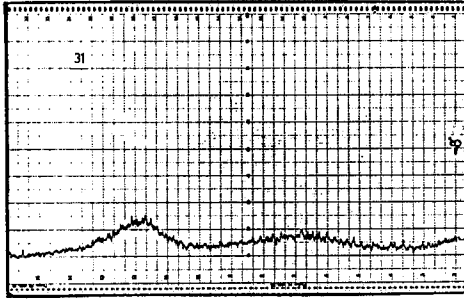
$P_p=3.0 \text{ kg/cm}^2$



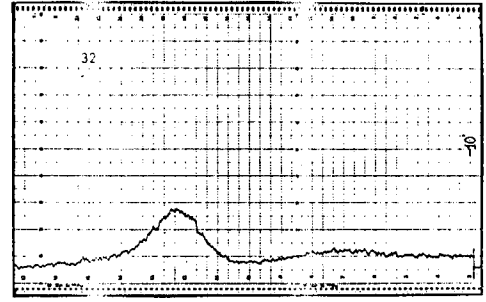
$P_p=3.5 \text{ kg/cm}^2$



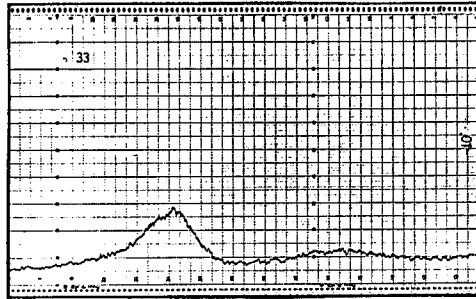
Şekil 3.14. Ergitme tüpü orifis çapı $\phi=0.25\text{mm}$. ve disk hızı $V_r=12.29\text{m/s}$ olan üretim şartında değişik püskürtme gazı basınçları kullanılarak üretilen şeritlerin x-ışın ve $P_p=3.5 \text{ kg/cm}^2$ için elektron difraksiyon modelleri.



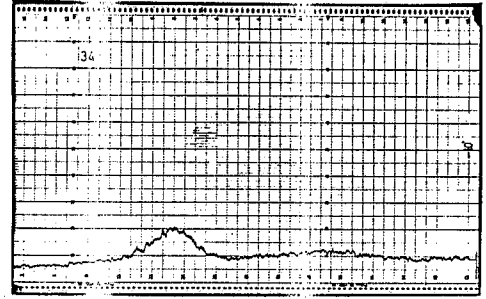
$P_p=1.5 \text{ kg/cm}^2$



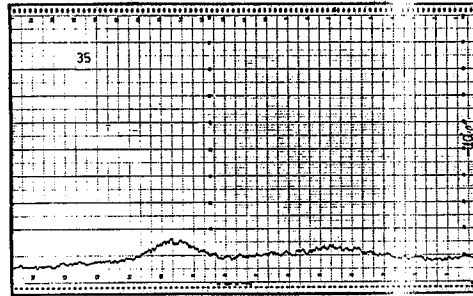
$P_p=2.0 \text{ kg/cm}^2$



$P_p=2.5 \text{ kg/cm}^2$

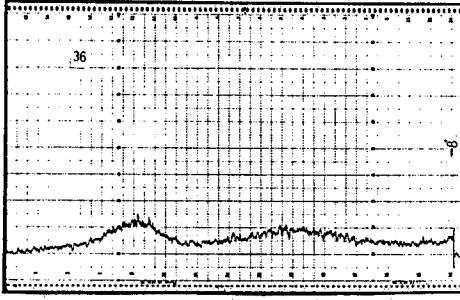


$P_p=3.0 \text{ kg/cm}^2$

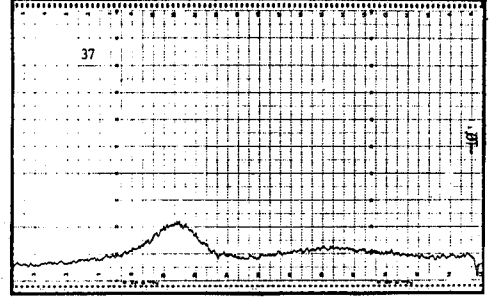


$P_p=3.5 \text{ kg/cm}^2$

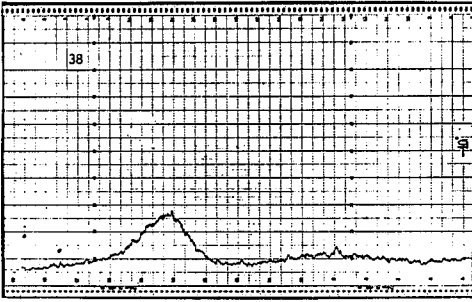
Şekil 3.15. Ergitme tüpü orifis çapı $\phi=0.25\text{mm}$. ve disk hızı $V_r=18.44\text{m/s}$ olan üretim şartında değişik püskürtme gazı basınçları kullanılarak üretilen şeritlerin x-ışın difraksiyon modelleri.



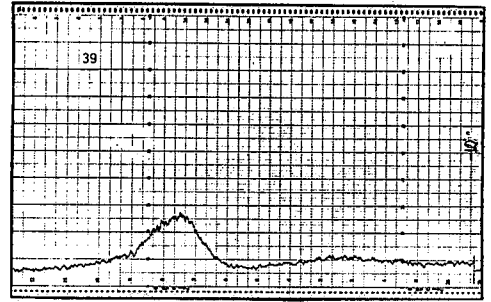
$P_p=1.5 \text{ kg/cm}^2$



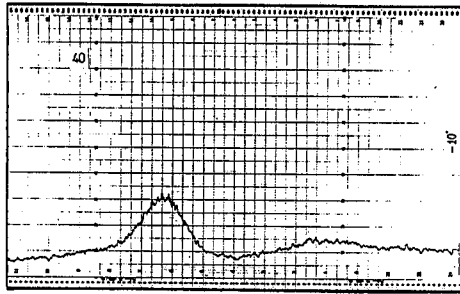
$P_p=2.0 \text{ kg/cm}^2$



$P_p=2.5 \text{ kg/cm}^2$

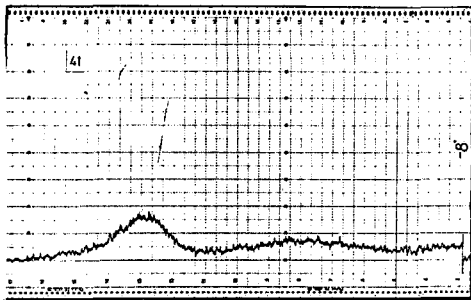


$P_p=3.0 \text{ kg/cm}^2$

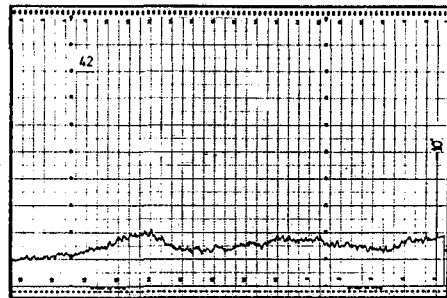


$P_p=3.5 \text{ kg/cm}^2$

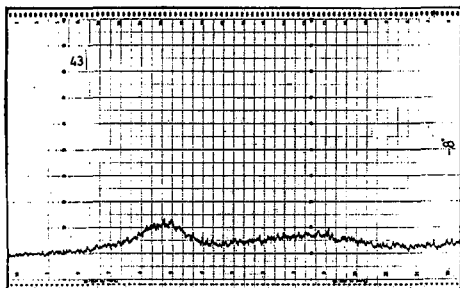
Şekil 3.16. Ergitme tüpü orifis çapı $\phi=0.25\text{mm}$ ve disk hızı $V_r=25.59\text{m/s}$ olan üretim şartında değişik püskürtme gazı basınçları kullanılarak üretilen şeritlerin x-ışın difraksiyon modelleri.



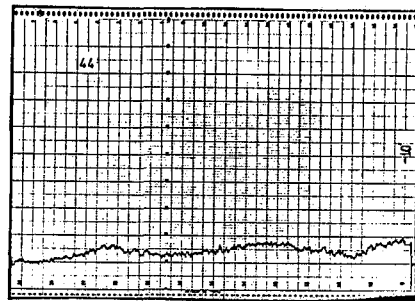
$P_p=1.5 \text{ kg/cm}^2$



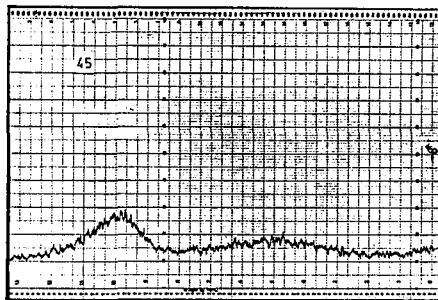
$P_p=2.0 \text{ kg/cm}^2$



$P_p=2.5 \text{ kg/cm}^2$

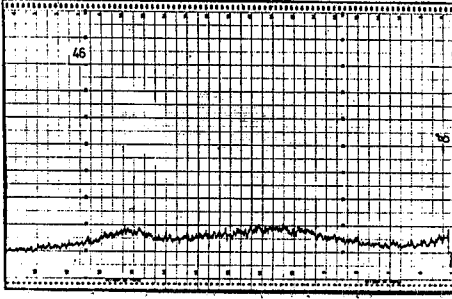


$P_p=3.0 \text{ kg/cm}^2$

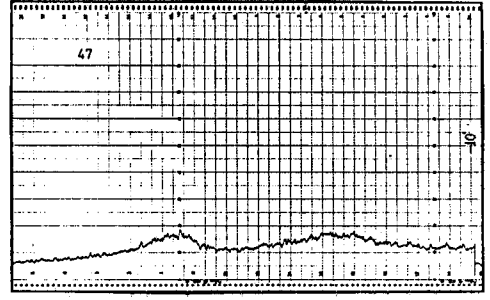


$P_p=3.5 \text{ kg/cm}^2$

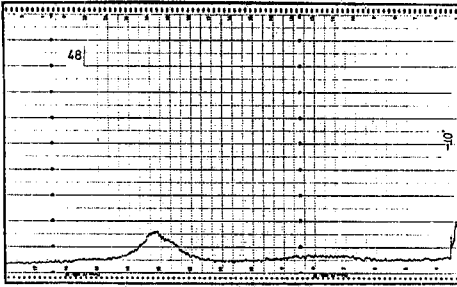
Şekil 3.17. Ergitme tüpü orifis çapı $\phi=0.25\text{mm}$. ve disk hızı $V_r=30.74\text{m/s}$ olan üretim şartında değişik püskürtme gazı basınçları kullanılarak üretilen şeritlerin x-ışın difraksiyon modelleri.



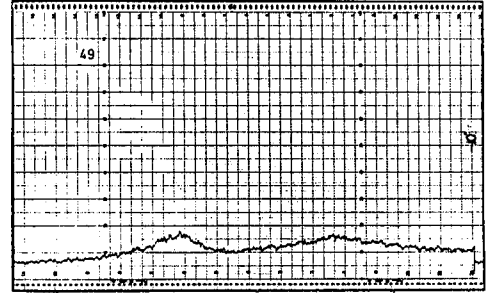
$P_p=1.5 \text{ kg/cm}^2$



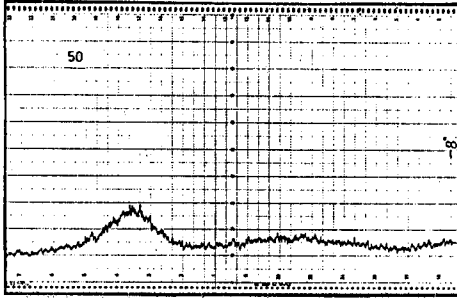
$P_p=2.0 \text{ kg/cm}^2$



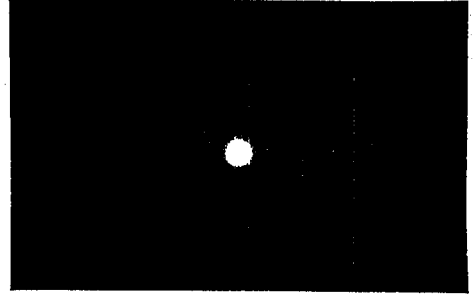
$P_p=2.5 \text{ kg/cm}^2$



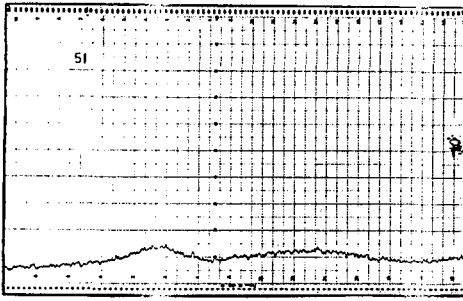
$P_p=3.0 \text{ kg/cm}^2$



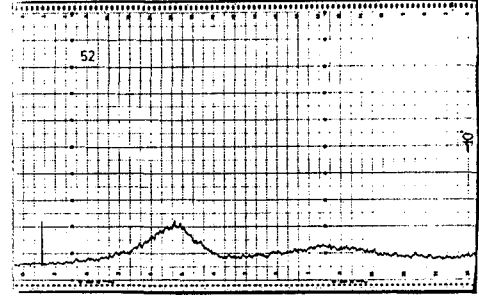
$P_p=3.5 \text{ kg/cm}^2$



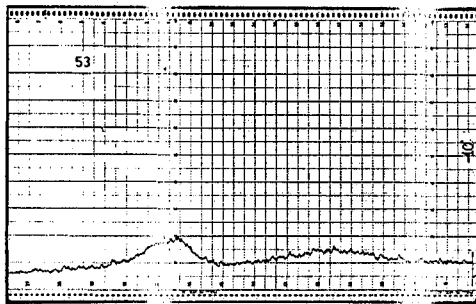
Şekil 3.18. Ergitme tüpü orifis çapı $\phi=0.25\text{mm}$. ve disk hızı $V_r=36.89\text{m/s}$ olan üretim şartında değişik püskürtme gazı basınçları kullanılarak üretilen şeritlerin x-ışın ve $P_p=3.5 \text{ kg/cm}^2$ için elektron difraksiyon modelleri.



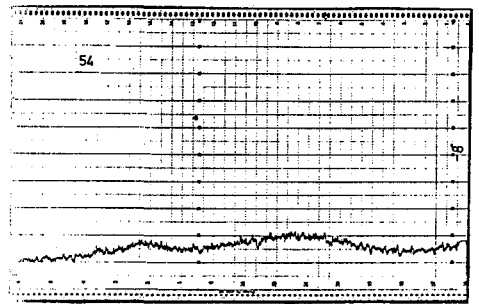
$P_p=1.5 \text{ kg/cm}^2$



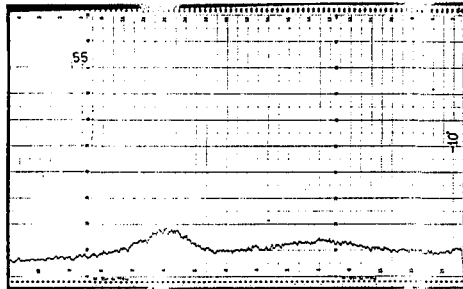
$P_p=2.0 \text{ kg/cm}^2$



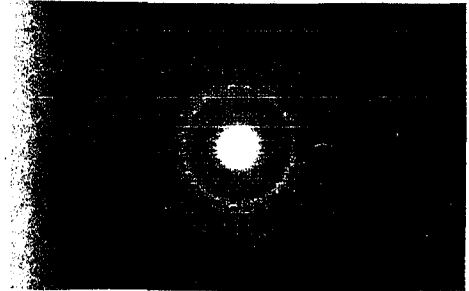
$P_p=2.5 \text{ kg/cm}^2$



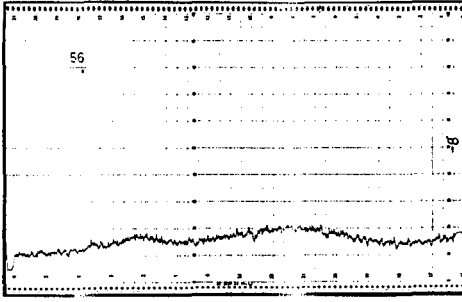
$P_p=3.0 \text{ kg/cm}^2$



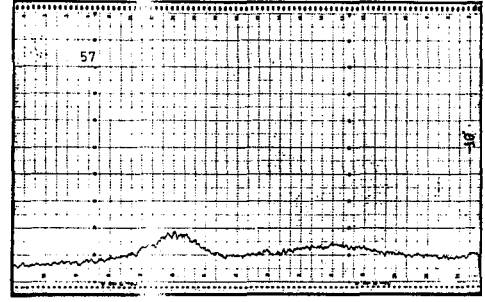
$P_p=3.5 \text{ kg/cm}^2$



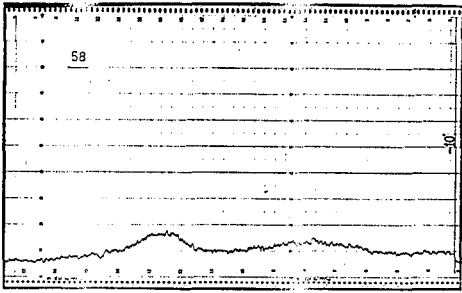
Şekil 3.19. Ergitme tüpü orifis çapı $\phi=0.15\text{mm}$. ve disk hızı $V_r=12.29\text{m/s}$ olan üretim şartında değişik püskürtme gazı basınçları kullanılarak üretilen şeritlerin x-ışın ve $P_p=3.5 \text{ kg/cm}^2$ için elektron difraksiyon modelleri.



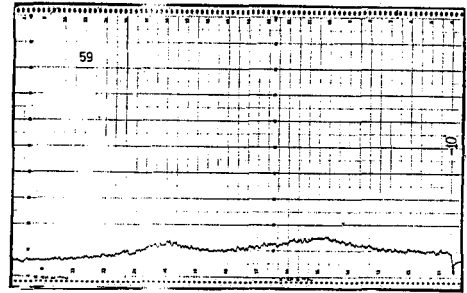
$P_p=1.5 \text{ kg/cm}^2$



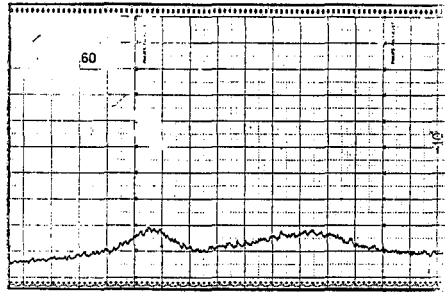
$P_p=2.0 \text{ kg/cm}^2$



$P_p=2.5 \text{ kg/cm}^2$

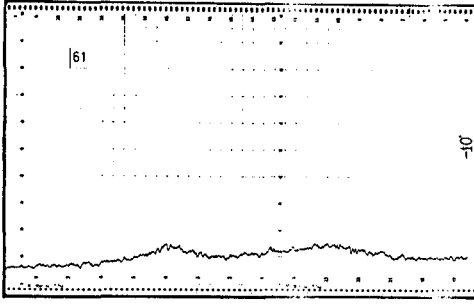


$P_p=3.0 \text{ kg/cm}^2$

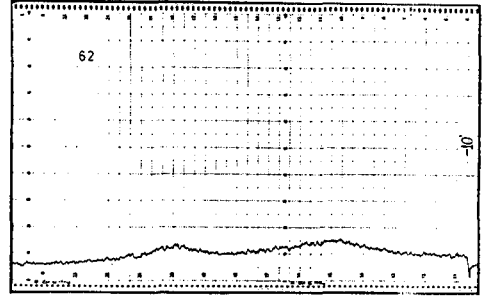


$P_p=3.5 \text{ kg/cm}^2$

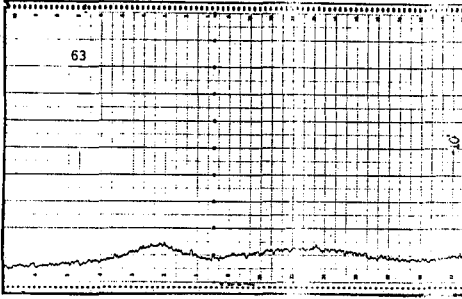
Şekil 3.20. Ergitme tüpü orifis çapı $\phi=0.15\text{mm}$. ve disk hızı $V_r=18.44\text{m/s}$ olan üretim şartında değişik püskürtme gazı basınçları kullanılarak üretilen şeritlerin x-ışın difraksiyon modelleri.



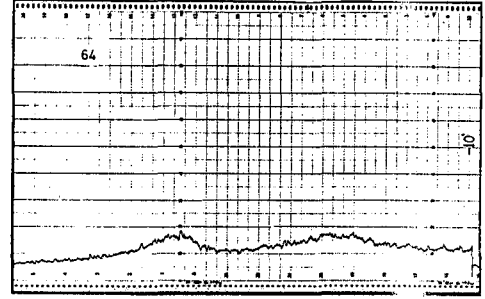
$P_p=1.5 \text{ kg/cm}^2$



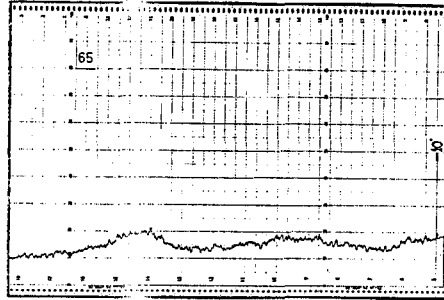
$P_p=2.0 \text{ kg/cm}^2$



$P_p=2.5 \text{ kg/cm}^2$

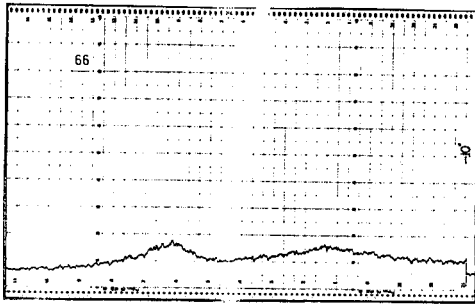


$P_p=3.0 \text{ kg/cm}^2$

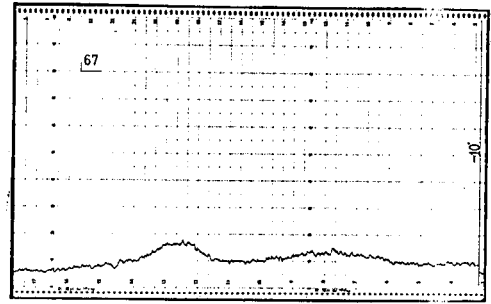


$P_p=3.5 \text{ kg/cm}^2$

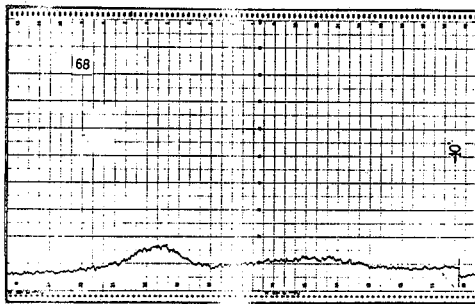
Şekil 3.21. Ergitme tüpü orifis çapı $\phi=0.15\text{mm}$. ve disk hızı $V_r=25.59\text{m/s}$ olan üretim şartında değişik püskürtme gazı basınçları kullanılarak üretilen şeritlerin x-ışın difraksiyon modelleri.



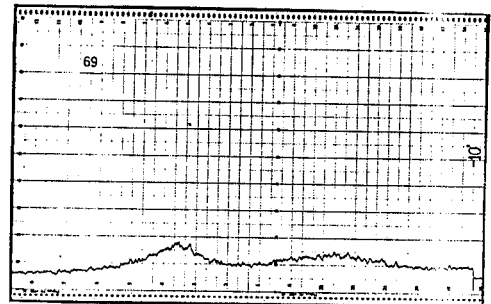
$P_p=1.5 \text{ kg/cm}^2$



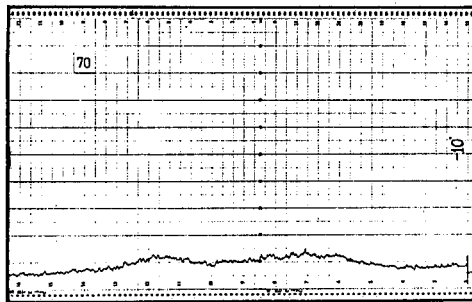
$P_p=2.0 \text{ kg/cm}^2$



$P_p=2.5 \text{ kg/cm}^2$

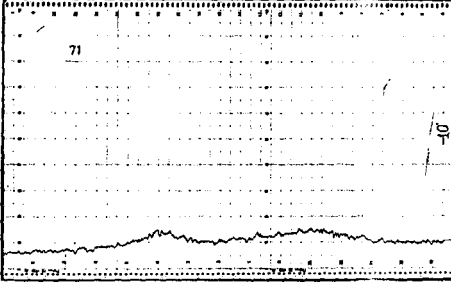


$P_p=3.0 \text{ kg/cm}^2$

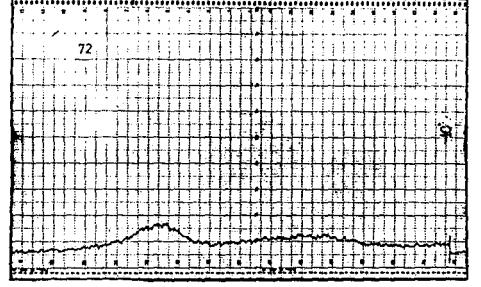


$P_p=3.5 \text{ kg/cm}^2$

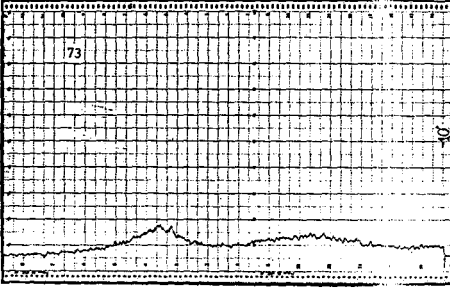
Şekil 3.22. Ergitme tüpü orifis çapı $\phi=0.15\text{mm}$. ve disk hızı $V_r=30.7\text{m/s}$ olan üretim şartında değişik püskürtme gazı basınçları kullanılarak üretilen şeritlerin x-ışın difraksiyon modelleri.



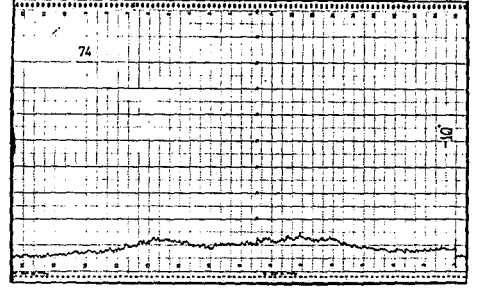
$P_p=1.5 \text{ kg/cm}^2$



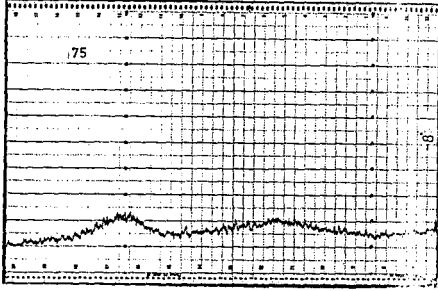
$P_p=2.0 \text{ kg/cm}^2$



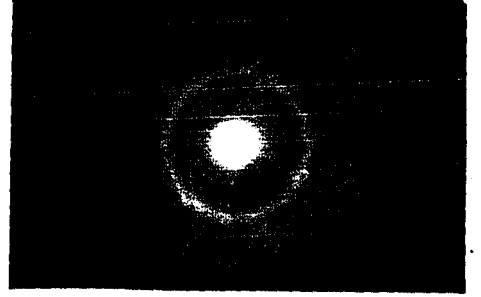
$P_p=2.5 \text{ kg/cm}^2$



$P_p=3.0 \text{ kg/cm}^2$



$P_p=3.5 \text{ kg/cm}^2$



Şekil 3.23. Ergitme tüpü orifis çapı $\phi=0.15\text{mm}$. ve disk hızı $V_r=36.89\text{m/s}$ olan üretim şartında değişik püskürtme gazı basınçları kullanılarak üretilen şeritlerin x-ışın ve $P_p=3.5 \text{ kg/cm}^2$ için elektron difraksiyon modelleri.

3.4.2. Şerit geometrisi ile ilgili sonuçlar

0.4-0.25-0.15 mm orifis çaplı (ϕ) ergitme tüpleri ile disk hızı (V_r) ve püskürtme gazı basıncı değişimine bağlı olarak üretilen şeritlerin ölçülen genişlik (W), kalınlık (t) ve ortalama kalınlık (\bar{t}) değerleri Çizelge 3,4-3,6 de gösterilmiştir. Bu çizelgelerdeki değerlerden faydalanılarak şerit genişlik ve ortalama kalınlık değerlerinin belirli orifis çaplarında disk hızı ve püskürtme gazı basıncı ile değişimleri diyagram halinde Şekil 3,24-3,35 de gösterilmiştir.

Çizelge 3.4. $\phi=0.4$ mm orifis çaplı ergitme tüpü ile üretilen şeritlerin genişlik (W), kalınlık (t) ve ortalama kalınlık (\bar{t}) değerlerinin disk hızı (V_r) ve püskürtme gazı basıncına (P_p) bağlı olarak değişimi.

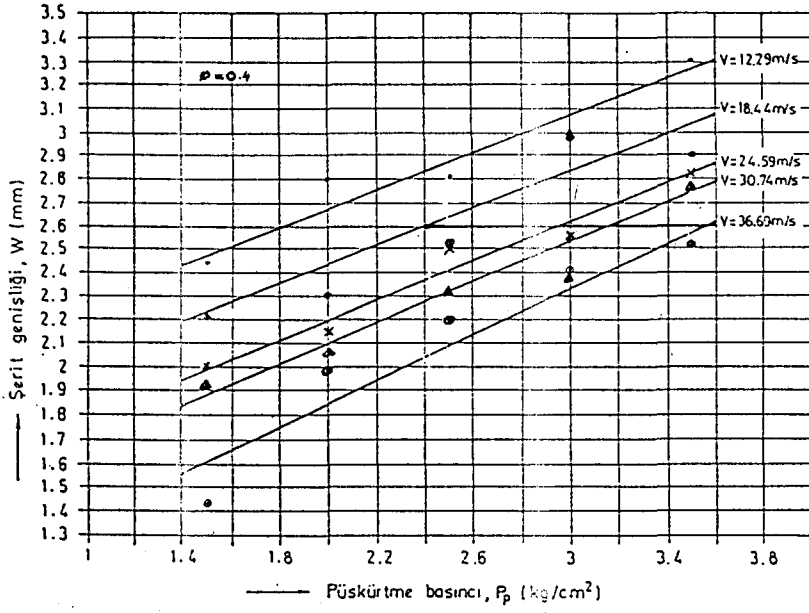
ϕ (mm)	V_r (m/s)	P_p (kg/cm ²)	W (mm)	t (μ m)	\bar{t} (μ m)
0.40	12.29	1.5	2.43	53.7	43.7
0.40	12.29	2.0	2.80	53.1	42.9
0.40	12.29	2.5	2.81	59.4	47.8
0.40	12.29	3.0	3.03	58.3	47.8
0.40	12.29	3.5	3.31	59.7	47.0
0.40	18.44	1.5	2.21	44.5	35.5
0.40	18.44	2.0	2.30	47.9	37.4
0.40	18.44	2.5	2.53	47.6	37.8
0.40	18.44	3.0	3.00	47.7	37.3
0.40	18.44	3.5	2.90	50.7	40.3
0.40	24.59	1.5	2.05	43.4	34.0
0.40	24.59	2.0	2.16	46.1	34.7
0.40	24.59	2.5	2.50	45.5	33.1
0.40	24.59	3.0	2.56	49.1	35.1
0.40	24.59	3.5	2.83	52.0	36.4
0.40	30.74	1.5	1.93	40.3	29.7
0.40	30.74	2.0	2.06	41.2	28.8
0.40	30.74	2.5	2.32	37.1	29.7
0.40	30.74	3.0	2.38	44.3	31.7
0.40	30.74	3.5	2.76	47.1	33.5
0.40	36.89	1.5	1.43	35.2	26.6
0.40	36.89	2.0	1.98	39.1	26.3
0.40	36.89	2.5	2.20	44.0	28.5
0.40	36.89	3.0	2.41	36.0	28.5
0.40	36.89	3.5	2.51	43.7	29.3

Çizelge 3.5. $\phi=0.25$ mm orifis çaplı ergitme tüpü ile üretilen şeritlerin genişlik (W), kalınlık (t) ve ortalama kalınlık (\bar{t}) değerlerinin disk hızı (V_r) ve püskürtme gazı basıncına (P_p) bağlı olarak değişimi.

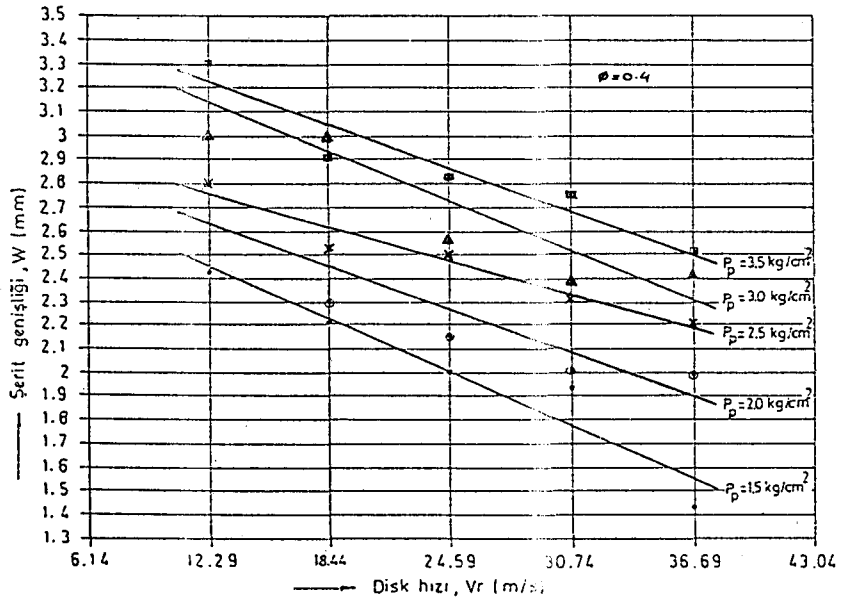
ϕ (mm)	V_r (m/s)	P_p (kg/cm ²)	W (mm)	t (μ m)	\bar{t} (μ m)
0.25	12.29	1.5	1.15	45.0	33.0
0.25	12.29	2.0	1.76	44.0	34.0
0.25	12.29	2.5	1.91	45.5	34.0
0.25	12.29	3.0	2.21	46.0	33.9
0.25	12.29	3.5	2.36	47.1	35.2
0.25	18.44	1.5	1.33	39.3	29.0
0.25	18.44	2.0	1.50	40.6	28.4
0.25	18.44	2.5	1.71	40.8	29.2
0.25	18.44	3.0	1.85	41.5	32.5
0.25	18.44	3.5	2.00	42.0	33.0
0.25	24.59	1.5	1.25	38.2	25.0
0.25	24.59	2.0	1.45	37.5	27.2
0.25	24.59	2.5	1.60	39.0	26.4
0.25	24.59	3.0	1.75	40.1	28.4
0.25	24.59	3.5	1.93	40.6	28.8
0.25	30.74	1.5	1.20	37.0	23.0
0.25	30.74	2.0	1.24	38.2	23.5
0.25	30.74	2.5	1.35	37.0	23.8
0.25	30.74	3.0	1.53	37.1	26.0
0.25	30.74	3.5	1.73	39.1	26.2
0.25	36.89	1.5	0.95	29.6	19.6
0.25	36.89	2.0	1.16	29.5	19.6
0.25	36.89	2.5	1.25	31.5	21.5
0.25	36.89	3.0	1.40	32.0	22.0
0.25	36.89	3.5	1.50	33.5	24.0

Çizelge 3.5. $\phi=0.15$ mm orifis çaplı ergitme tüpü ile üretilen şeritlerin genişlik (W), kalınlık (t) ve ortalama kalınlık (\bar{t}) değerlerinin disk hızı (V_r) ve püskürtme gazı basıncına (P_p) bağlı olarak değişimi.

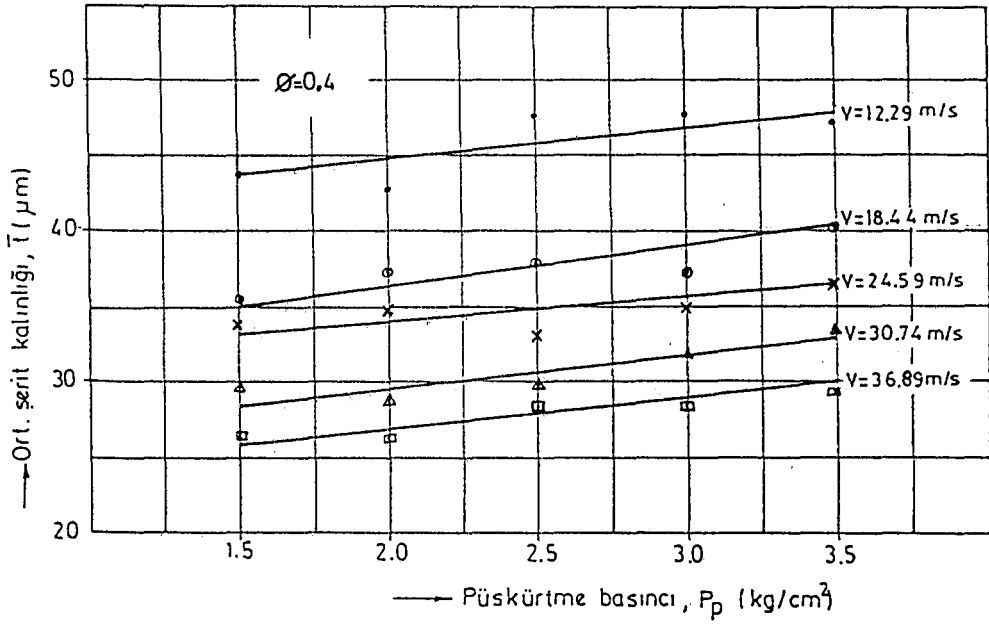
ϕ (mm)	V_r (m/s)	P_p (kg/cm ²)	W (mm)	t (μ m)	\bar{t} (μ m)
0.15	12.29	1.5	1.10	39.0	28.0
0.15	12.29	2.0	1.21	40.1	28.2
0.15	12.29	2.5	1.25	40.1	27.8
0.15	12.29	3.0	1.32	41.4	28.4
0.15	12.29	3.5	1.41	42.0	29.0
0.15	18.44	1.5	0.95	33.0	23.0
0.15	18.44	2.0	1.10	33.8	23.0
0.15	18.44	2.5	1.08	34.0	23.4
0.15	18.44	3.0	1.18	34.5	24.0
0.15	18.44	3.5	1.25	35.0	26.1
0.15	24.59	1.5	0.71	31.5	22.0
0.15	24.59	2.0	0.90	32.5	22.3
0.15	24.59	2.5	0.95	31.4	22.5
0.15	24.59	3.0	1.06	32.8	23.2
0.15	24.59	3.5	1.08	32.0	24.1
0.15	30.74	1.5	0.68	30.4	20.8
0.15	30.74	2.0	0.74	29.6	20.4
0.15	30.74	2.5	0.78	31.2	21.5
0.15	30.74	3.0	0.85	30.8	21.7
0.15	30.74	3.5	0.92	31.0	22.0
0.15	36.89	1.5	0.50	25.0	19.2
0.15	36.89	2.0	0.65	25.4	20.9
0.15	36.89	2.5	0.70	25.0	19.2
0.15	36.89	3.0	0.75	26.0	19.2
0.15	36.89	3.5	0.80	26.8	20.8



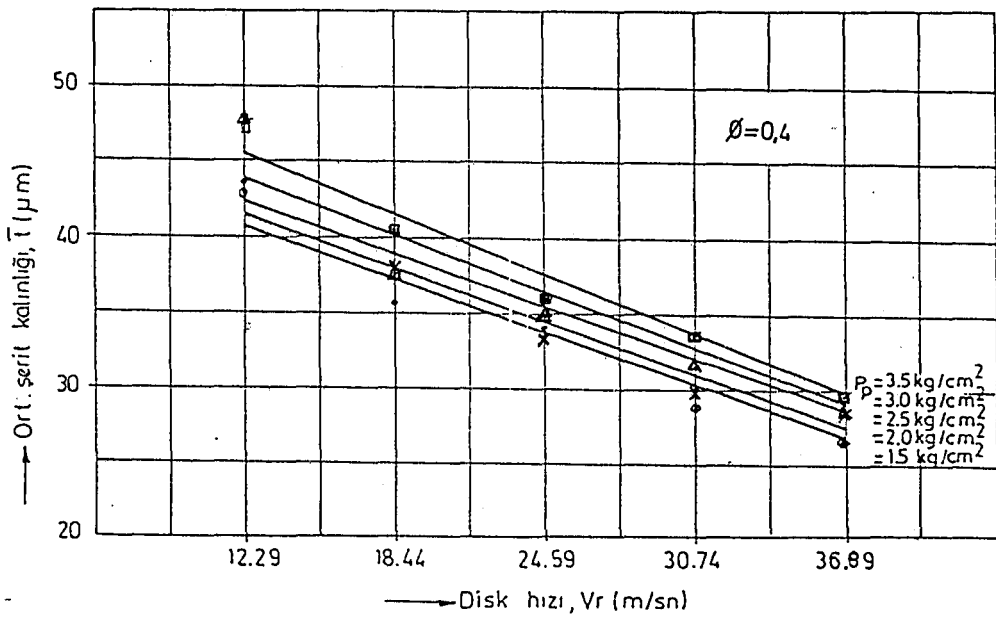
Şekil 3.24. $\phi=0.4$ mm orifis çaplı ergitme tüpü ile üretilen şeritlerin genişliğinin sabit disk hızlarında püskürtme gazı basıncı ile değişimi.



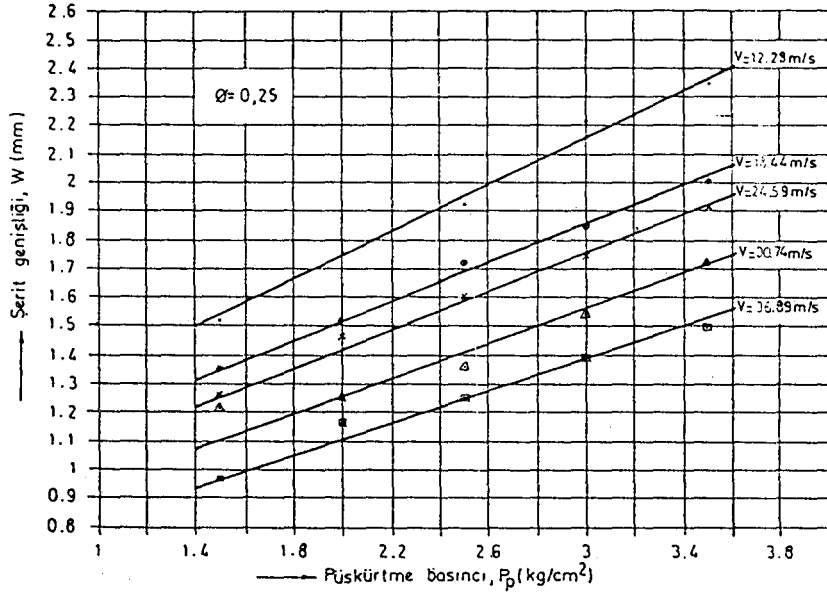
Şekil 3.25. $\phi=0.4$ mm orifis çaplı ergitme tüpü ile üretilen şeritlerin genişliğinin sabit püskürtme gazı basıncında disk hızı ile değişimi.



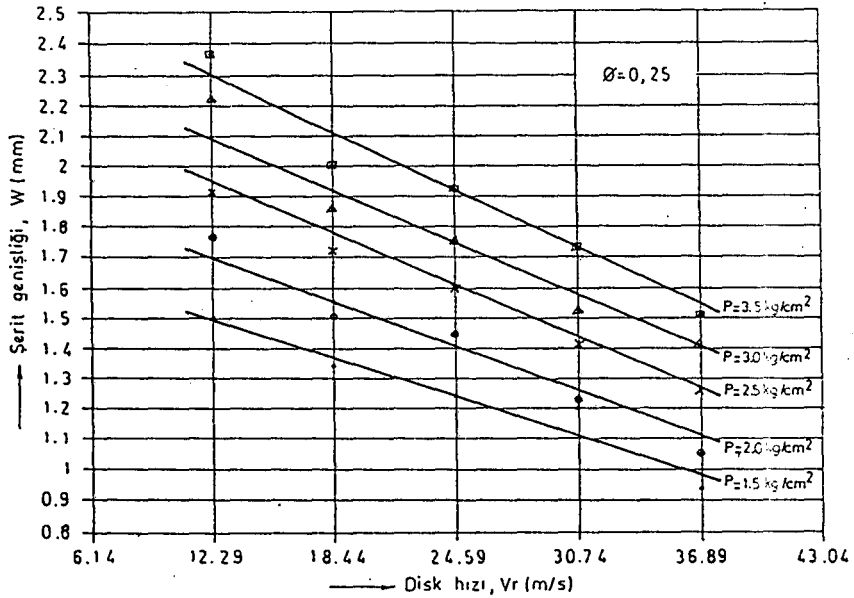
Şekil 3.26. $\phi=0,4$ mm orifis çaplı ergitme tüpü ile üretilen şeritlerin ortalama kalınlığının sabit disk hızlarında püskürtme gazı basıncı ile değişimi.



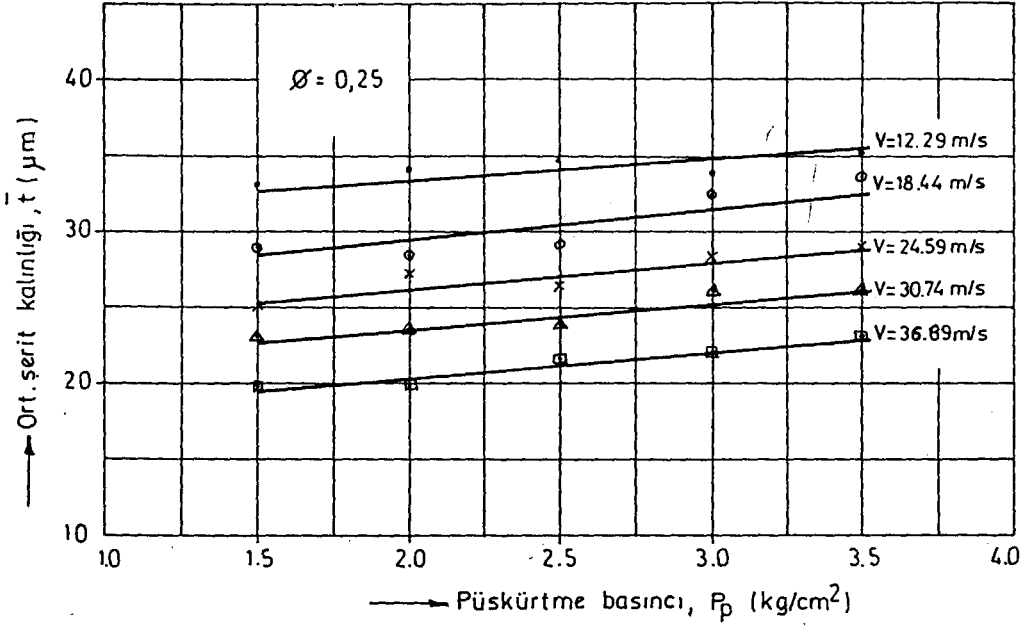
Şekil 3.27. $\phi=0,4$ mm orifis çaplı ergitme tüpü ile üretilen şeritlerin ortalama kalınlığının sabit püskürtme gazı basıncında disk hızı ile değişimi.



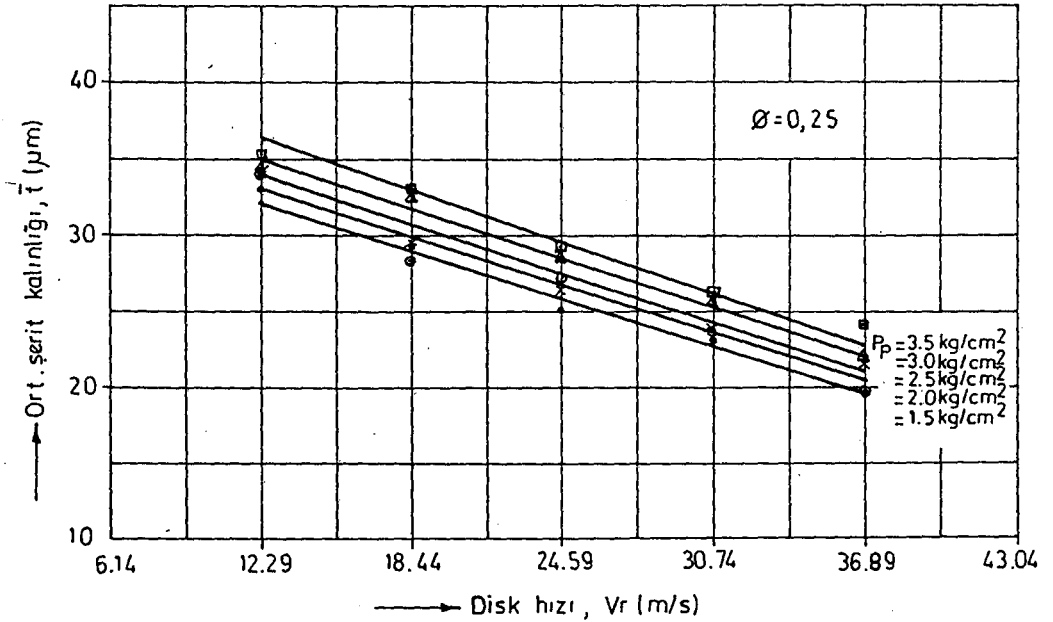
Şekil 3.28. $\phi=0.25$ mm orifis çaplı ergitme tüpü ile üretilen şeritlerin genişliğinin sabit disk hızlarında püskürtme gazı basıncı ile değişimi.



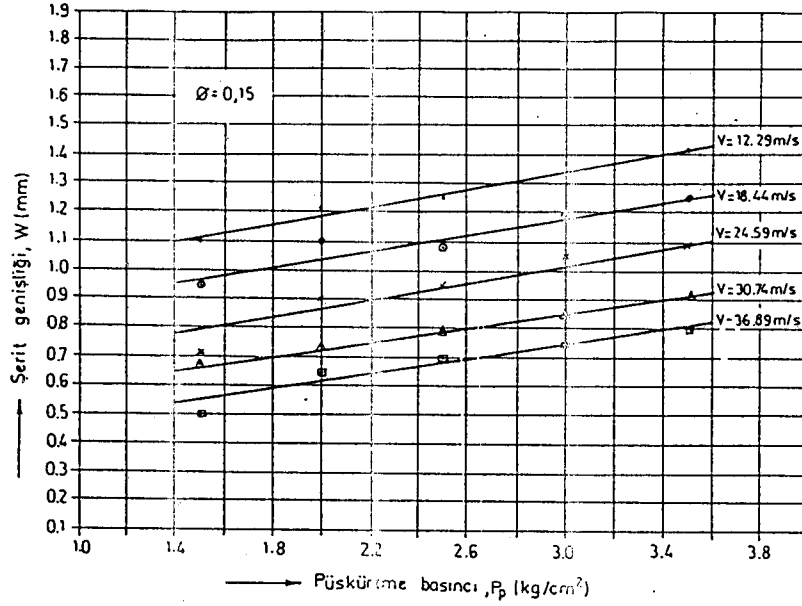
Şekil 3.29. $\phi=0.25$ mm orifis çaplı ergitme tüpü ile üretilen şeritlerin genişliğinin sabit püskürtme gazı basıncında disk hızı ile değişimi.



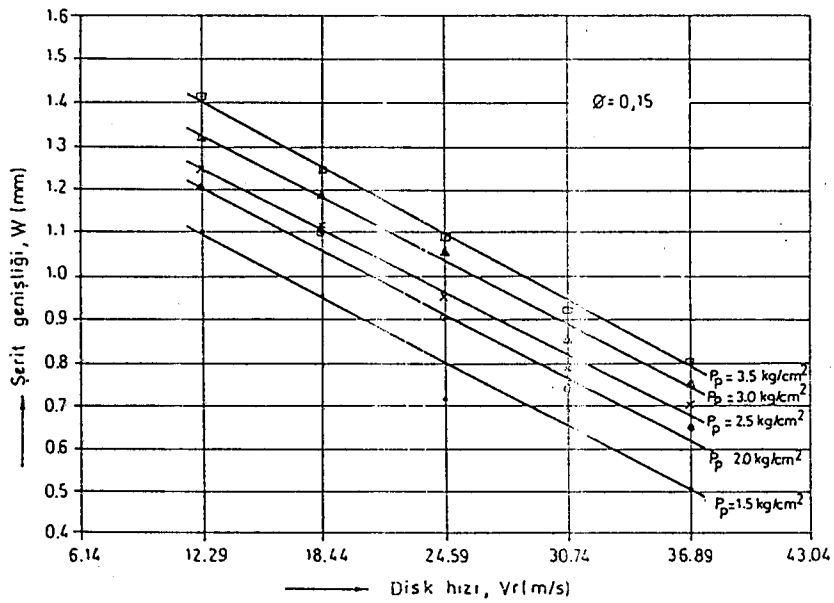
Şekil 3.30. $\phi=0.25$ mm orifis çaplı ergitme tüpü ile üretilen şeritlerin ortalama kalınlığının sabit disk hızlarında püskürtme gazı basıncı ile değişimi.



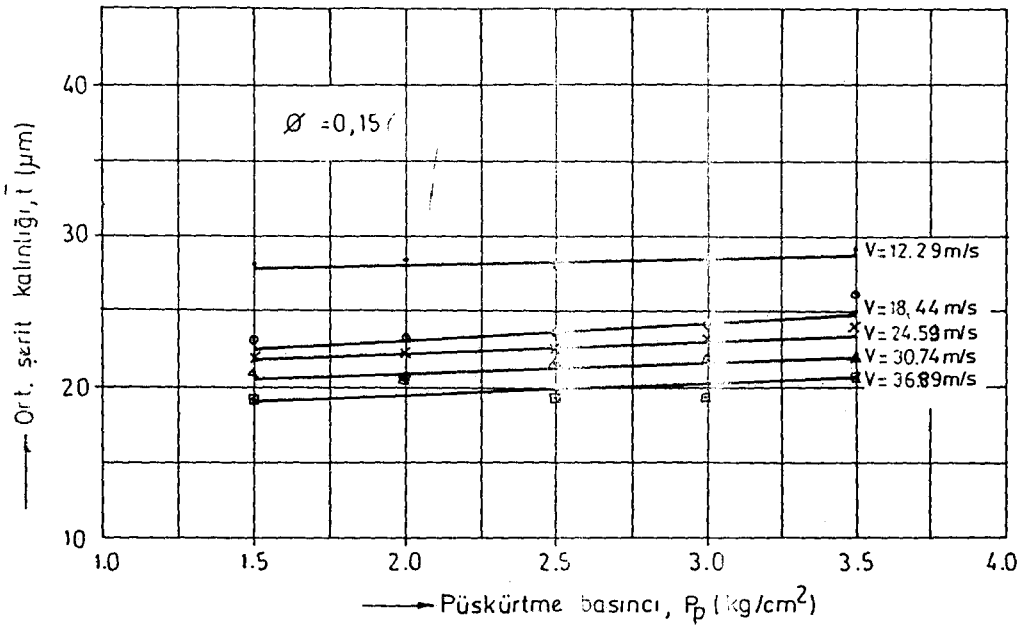
Şekil 3.31. $\phi=0.25$ mm orifis çaplı ergitme tüpü ile üretilen şeritlerin ortalama kalınlığının sabit püskürtme gazı basıncında disk hızı ile değişimi.



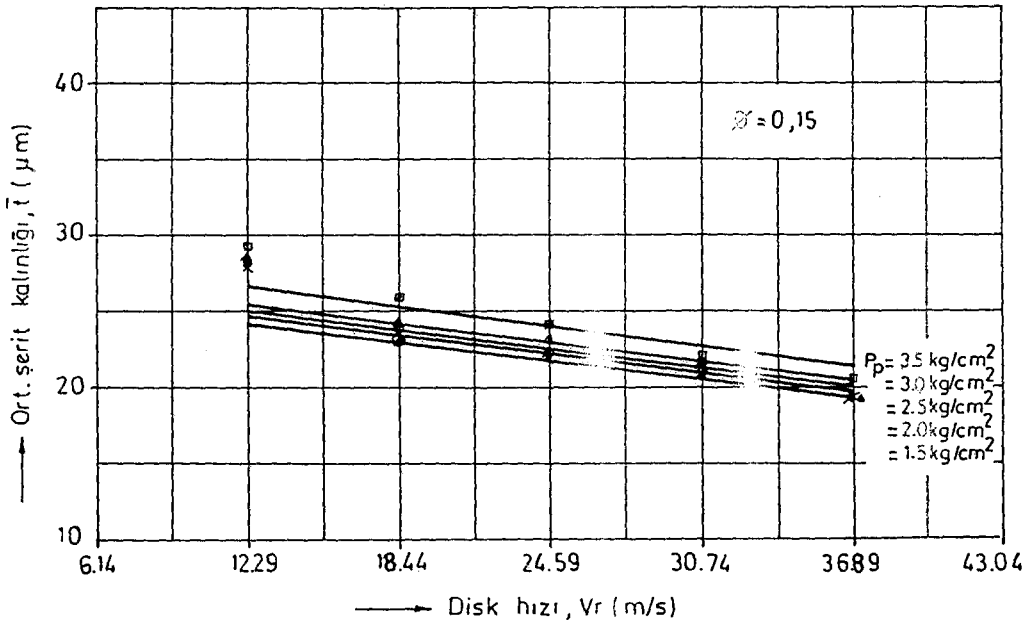
Şekil 3.32. $\phi=0,15$ mm orifis çaplı ergitme tüpü ile üretilen şeritlerin genişliğinin sabit disk hızlarında püskürtme gazı basıncı ile değişimi.



Şekil 3.33. $\phi=0,15$ mm orifis çaplı ergitme tüpü ile üretilen şeritlerin genişliğinin sabit püskürtme gazı basıncında disk hızı ile değişimi.



Şekil 3.34. $\phi=0.15$ mm orifis çaplı ergitme tüpü ile üretilen şeritlerin ortalama kalınlığının sabit disk hızlarında püskürtme gazı basıncı ile değişimi.



Şekil 3.35. $\phi=0.15$ mm orifis çaplı ergitme tüpü ile üretilen şeritlerin ortalama kalınlığının sabit püskürtme gazı basıncında disk hızı ile değişimi.

4. SONUÇLAR

1. Amorf yapının x-ışın difraksiyon modelinin geniş pikten (Gilman, 1975; Duwez, 1983; Anchev, et al., 1985), elektron difraksiyon modelinin de yaygın tek bir halkadan (Suryanarayana, 1983; Anchev, et al., 1985) meydana geldiği göz önüne alınırsa;

a - $\phi=0.4$ mm orifis çapı ve $V_r=12.29 - 18.44$ m/s disk hızlarında $P_p=1.5-2.0-2.5-3.0-3.5$ kg/cm² püskürtme gazı basıncı ile üretilen şeritlerin tamamen amorf yapıda olmadıkları, az miktarda da olsa mikro kristalin bir yapıyı da içerdikleri,

b - Diğer deney şartlarında üretilen şeritlerin ise tamamen amorf yapıda oldukları belirlenmiştir.

2. Sabit disk hızında, püskürtme gazı basıncındaki artış, şerit genişlik ve kalınlığının her ikisini birden arttırdığı belirlenmiştir.

3. Sabit püskürtme gazı basıncında, artan disk hızı şerit genişlik ve kalınlığını azaltmıştır.

4. Şerit genişlik ve kalınlığı ile püskürtme gazı basıncı ve disk hızı arasındaki ilişkinin lineer olduğu bulunmuştur.

5. Şerit genişliğine püskürtme gazı basıncı etkisinin, disk hızından daha fazla olduğu belirlenmiştir.

6. Şerit kalınlığına disk hızı etkisinin, püskürtme gazı basıncından daha fazla olduğu belirlenmiştir.

7. Ortalama şerit kalınlığı ile mikrometre ile ölçülen kalınlık değerleri arasında fark olduğu gözlenmiştir. Bunun nedeni; şerit kesitinin tam dikdörtgen olmamasıdır. Düşük püskürtme gazı basıncı, ergimiş alaşım jetinin diske çarpması sırasında yeterince yayılmamasına ve şeritin orta kısmının bombeli olmasına neden olmaktadır. Yüksek püskürtme gazı basıncı değerlerinde ise şerit kenarında hidrolik sıçramadan dolayı omuzlar oluşmaktadır.

5. KAYNAKLAR

- Anchev, V., Zaharidova, Z. and Karaivanov, L., 1985, Crystallization behaviour of amorphous alloy $\text{Co}_{60}\text{Ni}_{12}\text{Si}_{14}\text{B}_{14}$, Rapidly Solidified Materials, Conference Proceedings, 215-218.
- Chen, H.S., and Jackson, K.A., The influence of alloy composition on glass formation and properties, *Metallic Glasses*, ASM, 74-96.
- Chen, H.S., Leamy, H.J. and Miller, C.E., 1980, Preparation of glassy metals, *Ann. Rev. Mater. Sci.*, 10, 363-391.
- Chaudhari, P., Giessen, B.C. and Turnbull, D., 1980, Metallic glasses, *Scientific American*, 242, 84-96.
- Davis, L.A., 1978, Strength, ductility and toughness, *Metallic Glasses*, ASM, 190-223.
- Durand, J., Thompson, C. and Amamou, A., 1978, Magnetic transport properties of amorphous ferromagnetic $(\text{Fe}_{100-x}\text{M}_x)_{79}\text{P}_{13}\text{B}_8$ alloys by splat cooling, *Rapidly Quenched Metals III*, Proc. 3rd. Int. Conf., Vol.2, 428.
- Duwez, P., 1983, Structure and properties of alloys rapidly quenched from the liquid state, *Rapid Solidification Technology Source Book*, 3-29.
- Giessen, B.C. and Gordon, G.E., 1968, X-ray diffraction: New high speed technique based on x-ray spectroscopy, *Science*, 159, 973-975.
- Gilman, J.J., 1975, Metallic glasses, *Physics Today*, May, 46-53.
- Gilman, J.J., 1980, Metallic glasses, *Science*, 208, 856-861.
- Grant, C. and Mc Kim, R., 1982, Materials with a magnetic future, *New Scientist*, June, 637-640.
- Haour, G. and Bode, H., Rapid casting of metallic wires and ribbons, *Wire Industry*, March, 186-189.

- Inoue, A., Tomiska, H. and Masumato, T., 1983 Mechanical properties of ductile Fe-Ni-Zr and Fe-Ni-Zr amorphous alloys containing fine crystalline particles, *J. Mat. Sci.*, 18, 153.
- Kubel, J., 1986, All eyes on metallic glasses, *Metal Progress*, V:129, 6, 61-70.
- Liebermann, H.H., 1981, Coaxial jet melt-spinning of glassy alloy ribbons, *Journal of Materials Science*, 5, 2771-2776.
- Massalski, T.B., 1981, Relationships between metallic glass formation and phase diagrams, *Proc. 4th. Int. Conf. on Rapidly Quenched Metals*, V: 1, 203-208.
- Metals Abstracts, 1979-1985, *Metarials Information*, Joint Service of the Institute of Metals, 1 Carlone House Terrace, London.
- Polk, E. and Giessen, C., 1978, Overview of principle and applications, *Metallic Glasses*, ASM, 1-35.
- Savage, S.J. and Froes, F.H., 1984, Production of rapidly solidified metals and alloys, *Journal of Metals*, April, 20-33.
- Suryanarayana, C., 1983, Liquid-quenched metal-metal glasses, *Rapid Solidification Technology Source Book*, 248-259.
- Suzuki, K., Itoh, F., Misawa, M., Fukunaga, T. and Ikeno, K., 1980, Characteristic behaviors on atomic structure and electronic state of Fe-B glassy alloys, *Supplement to Sci. Rep. RITU, A*, March, 12-28.
- Takayama, S., 1976, Amorphous structures and their formation and stability, *Journal of Materials Science*, 11, 164-185.
- Ueno, S. and Waseda, Y., 1985, Evaluation of the optimum solute concentration for good glass formability in multi-component alloys, *Rapidly Solidified Materials, Conference Proceedings*, 153-160.
- Wong, J., 1981, EXAFS studies of metallic glasses, *Glassy Metals I*, 45-77.