

**SERAMİKLERİN KAPASİTÖR-DEŞARJ
TEKNİĞİ İLE KAYNAKLANMASI**

**ÖZLEM YÖRÜK
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
SERAMİK MÜHENDİSLİĞİ-ANABİLİM DALI
ARALIK 1999**

**SERAMİKLERİN KAPASİTÖR-DEŞARJ TEKNİĞİ
İLE KAYNAKLANMASI**

Özlem YÖRÜK
Yüksek Lisans Tezi /

Fen Bilimleri Enstitüsü
Seramik Mühendisliği
Anabilim Dalı
Aralık-1999

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Özlem Yörük'ün Seramiklerin Kapasitör-Deşarj Tekniği ile Kaynaklanması başlıklı Seramik Mühendisliği Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans tezi ~~06.12.1999~~ tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adı-Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı)	:Doç.Dr.Servet...TURAN	
Üye	:Doç.Dr.Hayran...MANDAL	
Üye	:Doç.Dr.Fehat...KARFI	
Üye	:.....	
Üye	:.....	

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun ~~08.12.1999~~ tarih ve ~~.....~~ ~~24/7~~.....sayılı kararıyla onaylanmıştır.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SERAMİKLERİN KAPASİTÖR-DEŞARJ TEKNIĞİ İLE KAYNAKLANMASI

ÖZLEM YÖRÜK

**Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Seramik Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Servet TURAN

1999

Bu çalışmada bir dizi seramik malzeme, metal folyolar kullanılarak kapasitör-deşarj tekniği ile kaynaklanmıştır. Elde edilen kaynakların mekanik dayanımları kayma testi kullanılarak belirlenmiştir. Ara yüzeylerin mikro yapıları taramalı elektron mikroskobu ile karakterize edilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucu iyi bir kaynak için; (i) metalin seramiği ıslatması, (ii) aratabakada bir reaksiyon gerçekleşmesi ve (iii) termal gerilmelerin minimum düzeyde olması için malzemelerin genleşme katsayılarının birbirine yakın olması gerekmektedir. Bunların yanısıra metal folyo kalınlığının uygun olması ve bağ özelliklerinin optimizasyonu için uygun enerji kullanımı gereklidir.

Anahtar Kelimeler: Seramik, kaynaklama, ara yüzey, taramalı elektron mikroskobu, enerji saçılımlı X-ışınları spektrometresi, ıslatma, kayma mukavemeti

ABSTRACT**Master of Science Thesis****JOINING OF CERAMICS USING
CAPASITOR-DISCHARGE TECHNIQUE****ÖZLEM YÖRÜK****Anadolu University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Ceramic Engineering****Supervisor: Doç. Dr. Servet TURAN****1999**

In this thesis, a series of ceramic materials having metal foils as interlayers were joined using capasitor-discharge technique. The mechanical strength of the joints were measured by means of shear test. The microstructures of interfaces were characterized using a scanning electron microscope attached with a energy dispersive X-ray spectroscopy. As a result of the study, it was determined that for a desirable joining to be obtained, (i) metal should wet the ceramic, (ii) a reaction should to occur at the interface and (iii) thermal stresses should be at a minumum level (so the thermal expansion-coefficients should be close to one another). In addition to these, the thickness of metal foils should be suitable and for an optimization of bond-properties use of suitable amount of energy is essential.

Key Words: Ceramics, joining, interfaces, scanning electron microscopy, energy dispersive X-ray spectroscopy, wetting, shear strength.

TEŐEKKÖRLER

Bu tez çalıŐması boyunca her tÖrlÖ yardımıını esirgemeyen Sayın Hocam Doç. Dr. Servet TURAN'a ve maddi ve manevi her tÖrlÖ desteği sağlayan aileme teŐekkÖr ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜRLER.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. SERAMİKLERİ KAYNAKLAMA YÖNTEMLERİ.....	3
2.1. Aktif Metal Kaynaklama.....	3
2.1.1. Yüzey özellikleri.....	4
2.1.2. Çevre koşullarının etkisi.....	5
2.1.3. Isıtma rejimi.....	5
2.2. Difüzyon Bağlama.....	6
2.2.1. Bağlanma mekanizması.....	8
2.2.2. Ara yüzey oluşumu.....	9
2.3. Kapasitör-Deşarj Kaynaklama Tekniği.....	10
2.3.1. Mekanik test sonuçları.....	13
2.3.2. Mikroskop inceleme sonuçları.....	15
2.4. Kaynaklamayı Etkileyen Parametreler.....	17
2.4.1. Islatma ve yapışma.....	17
2.4.2. Kaynaklamada oluşan kimyasal reaksiyonlar.....	18
2.4.3. Termal genleşme katsayıları (α) uyumu.....	23
2.5. Çalışmanın Amacı.....	24

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	25
3.1. Malzemeler.....	25
3.2. Malzeme Hazırlama.....	26
3.2.1. Kesme.....	26
3.2.2. Parlatma.....	26
3.2.3. Kaynaklama.....	27
3.3. Mekanik Testler.....	27
3.4. Mikroyapı İncelemesi İçin Numune Hazırlama ve Kullanılan Cihazlar.....	28
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	29
4.1. Kayma Testi Sonuçları.....	29
4.2. Mikroyapı İncelemeleri.....	30
4.2.1. Oksit seramik kaynakların incelenmesi.....	31
4.2.1.1. ZrO_2 -Ti- ZrO_2 kaynağının mikroskop incelemesi.....	31
4.2.1.2. Al_2O_3 - $Al_xNi_yY_z$ - Al_2O_3 kaynağının kayma testi sonucu oluşan kayma yüzeylerinin incelenmesi.....	31
4.2.1.3. Al_2O_3 -Ti- Al_2O_3 kaynağının mikroskop incelemesi.....	35
4.2.2. Oksit olmayan seramik kaynaklarının incelenmesi.....	36
4.2.2.1. Si_3N_4 - $Al_xNi_yY_z$ - Si_3N_4 kaynağının mikroskop incelemesi.....	36
4.2.2.2. Si_3N_4 -Ti- Si_3N_4 kaynağının mikroskop incelemesi.....	39
4.2.2.3. SiAlON-Ti-SiAlON kaynağının mikroskop incelemesi.....	42
4.2.2.4. SiAlON- $Al_xNi_yY_z$ -SiAlON kaynağının mikroskop incelemesi.....	42
4.2.2.5. (SiC-TiB ₂)- $Al_xNi_yY_z$ -(SiC-TiB ₂) kaynağının mikroskop incelemesi.....	45
4.2.2.6. (SiC-TiB ₂)-Ti-(SiC-TiB ₂) kaynağının mikroskop incelemesi.....	48

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.2.2.7. Çok tabakalı kaynakların mikroskop incelemesi.....	50
4.2.3. Karışık Kaynakların Mikroyapı İncelemesi.....	50
4.2.3.1. SiAlON-Al _x Ni _y Y _z -(SiC-TiB ₂) kaynağının mikroskop incenlemesi.....	50
4.2.3.2. ZrO ₂ -Ti-(SiC-TiB ₂) kaynağının mikroskop incelemesi.....	52
4.2.3.3. ZrO ₂ -Al _x Ni _y Y _z -(SiC-TiB ₂) kaynağının mikroskop incelemesi.....	52
4.2.3.4. Si ₃ N ₄ -Al _x Ni _y Y _z -ZrO ₂ -Al _x Ni _y Y _z -(SiC-TiB ₂) kaynağının mikroskop incelemesi.....	53
5. GENEL SONUÇLAR.....	55
6. ÖNERİLER.....	57
7. KAYNAKLAR.....	58

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
1. Metal-seramik difüzyon bağlaması esnasında olayların gelişimi.....	8
2. Difüzyon bağlama esnasında kütle transferindeki kaynak ve boşlukların giderilmesi.....	10
3. Kapasitör-deşarj kaynaklama tekniğinin şematik gösterimi.....	11
4. Kaynakların kayma mukavemetleri.....	13
5. Bazı oksitler için serbest enerji-sıcaklık diyagramı.....	16
6. Bir sessile damlasında yüzey enerjisi kuvvetlerinin rolü	17
7. Sessile damlaları ve arayüzey enerjisi.....	18
8. Adhezyon işi, metal-seramik arayüzey enerjisi ve elde edilen bağ mukavemeti arasındaki ilişkiler	21
9. Seramik parçaların şematik olarak kaynaklanmış hali	26
10. Kayma testinin şematik görüntüsü.....	27
11. Oksit olmayan seramik kaynakların kayma testi sonuçları	29
12. (a) ve (b) ZrO_2 -Ti- ZrO_2 kaynağının SEM görüntüleri	32
(c) Ti aratabakasının EDX analizi.....	32
13. (a) Al_2O_3 - $Al_xNi_yY_z$ - Al_2O_3 kaynağının kayma testi sonucu oluşan kayma yüzeyinin SEM görüntüsü	33
(b) 1. noktanın EDX analizi.....	33
(c) 2. noktanın (tanenin yanı) EDX analizi.....	33
14. Al_2O_3 - $Al_xNi_yY_z$ - Al_2O_3 kaynağının kayma testi sonucu oluşan kayma yüzeyinin diğer bir SEM görüntüsü	35
15. Al_2O_3 -Ti- Al_2O_3 kaynağının SEM görüntüsü	36
16. (a) Si_3N_4 - $Al_xNi_yY_z$ - Si_3N_4 kaynağının SEM görüntüsü	37
(b) $Al_xNi_yY_z$ aratabakasının EDX analizi	37
(c) Bazı nitrürler için serbest enerji-sıcaklık diyagramı	39
17. (a) Si_3N_4 -Ti- Si_3N_4 kaynağının SEM görüntüsü	40
(b) Ti aratabakasının EDX analizi.....	40

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

Sayfa

(c) ve (d) Si'un ve Ti'un Si_3N_4 -Ti- Si_3N_4 çizgisi boyunca kompozisyon değişimi	40
18. (a) SiAlON-Ti-SiAlON kaynağının SEI görüntüsü.....	43
(b) kaynağın EDX analizi	43
(c), (d) ve (e) Al, Si ve Ti'un kompozisyon değişimi.....	43
19. (a) SiAlON- $\text{Al}_x\text{Ni}_y\text{Y}_z$ -SiAlON kaynağının SEM görüntüsü	44
(b) SiAlON- $\text{Al}_x\text{Ni}_y\text{Y}_z$ -SiAlON kaynağının EDX analizi	44
20. (a) (SiC-TiB ₂)- $\text{Al}_x\text{Ni}_y\text{Y}_z$ -(SiC-TiB ₂) kaynağının SEM görüntüsü	46
(b) aynı kaynağın büyütülmüş SEM görüntüsü	46
(c) 1. noktanın EDX analizi.....	46
(d) 2. noktanın EDX analizi	47
(e) 3. noktanın EDX analizi.....	47
21. Bazı karbürler için serbest enerji-sıcaklık diyagramı	47
22. (a) (SiC-TiB ₂)-Ti-(SiC-TiB ₂) kaynağının SEM görüntüsü	49
(b) ve (c) kaynağın Si ve Ti'un kompozisyon değişimi.....	49
23. (SiC-TiB ₂)-Ti-(SiC-TiB ₂)-Ti-(SiC-TiB ₂) kaynağının SEM görüntüsü	50
24. (a) SiAlON- $\text{Al}_x\text{Ni}_y\text{Y}_z$ -(SiC-TiB ₂) kaynağının SEM görüntüsü.....	51
(b) $\text{Al}_x\text{Ni}_y\text{Y}_z$ aratabakasının EDX analizi	51
25. ZrO ₂ -Ti-(SiC-TiB ₂) kaynağının optik mikroskop görüntüsü.....	52
26. ZrO ₂ - $\text{Al}_x\text{Ni}_y\text{Y}_z$ -(SiC-TiB ₂) kaynağının SEM görüntüsü.....	53
27. Si_3N_4 - $\text{Al}_x\text{Ni}_y\text{Y}_z$ -ZrO ₂ - $\text{Al}_x\text{Ni}_y\text{Y}_z$ -(SiC-TiB ₂) kaynağının SEM görüntüsü	54

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
1. Difüzyon bağlama işlemi sırasında kütle transferi operasyonu esnasında mekanizmalar, kaynaklar ve çökme bölgeleri	9
2. Bazı seramiklerin ayrışma reaksiyonları ve bu reaksiyonlara ait termodinamik değerler	23
3. Bazı seramik ve metallerin termal genişleme katsayıları	24
4. Seramiklerde kullanılan kaynak malzemeleri ve özellikleri.....	25
5. Bazı bileşiklerin elektriksel direnç değerleri.....	30
6. $Al_2O_3-Al_xNi_yY_2-Al_2O_3$ kaynağında 1. ve 2. noktanın (tanenin yanı) yarı kantitatif EDX analizi sonucu elde edilen yaklaşık kompozisyonları ve $Y_2O_3-Al_2O_3$ sisteminde oluşması beklenen fazların kimyasal bileşimleri.....	34

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

EDX	: Enerji saçılımlı X-ışınları spektrometresi
TEM	: Geçirimli elektron mikroskobu
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
ΔH	: Entalpi değişimi
ΔS	: Entropi değişimi
ΔG	: Serbest enerji değeri
α	: Isısal genleşme katsayısı
ν	: Poisson oranı
E	: Elastisite modülü
G_{islatma}	: Islatma için sürücü güç
W_{ad}	: Adhezyon enerjisi
α_{KS}	: Katı-sıvı arayüzey enerjisi
α_{KB}	: Katı-buhar arayüzey enerjisi
α_{SB}	: Sıvı-buhar arayüzey enerjisi
θ	: Kontakt açısı

1. GİRİŞ

Seramik malzemeler, yüksek sıcaklık dayanımı, korozyon ve aşınmaya karşı direnç gibi metallerde bulunmayan birçok üstün özelliğinden dolayı potansiyel uygulama alanları bulmaktadır. Ancak, bu üstün özelliklerine rağmen kullanımında beklenildiği ölçüde bir artış kaydedilememiştir. Bunun birçok sebebi olmakla birlikte, en önemli sebeplerinden bir tanesi seramiklerin kompleks şekilli parçalar halinde üretilmemesidir ki, bu taşıma endüstrisinde olduğu gibi bazı uygulamalarda kullanımını kısıtlamıştır. Bu nedenle basit şekilli seramiklerin kaynaklanmasıyla kompleks şekilli seramiklerin üretilmesi yoluna başvurulmuştur. Ancak kompleks şekiller üretmek için kullanılan kaynaklamanın ucuz, güvenilir ve hızlı olması gerekmektedir.

Seramikleri kaynaklamak için şimdiye kadar iki tip kaynaklama yöntemi uygulanmıştır. Bunlar: (i) mekanik kaynaklama yöntemleri, örneğin civatalama, (ii) kimyasal kaynaklama yöntemleri, örneğin aktif metal kaynaklaması, difüzyon bağlaması ve seramik yapıştırıcılarıdır. Ancak daha sonrada bahsedileceği gibi bu yöntemlerin avantaj ve dezavantajları vardır. Örneğin aktif metal kaynaklama, difüzyon bağlama ve seramik yapıştırıcılar yüksek sıcaklıkta güvenilir değildir. Difüzyon bağlama ve aktif metal kaynaklamanın gerçekleştirilmesi uzun süreli ve pahalıdır. Buradan görüleceği üzere kaynaklamada istediğimiz ve seramiklerin daha yaygın olarak kullanılmasını sağlayacak güvenilirlik, ucuzluk ve hız faktörlerinin hepsini hiçbir teknik bir arada sağlayamamaktadır. Bu nedenle yeni yöntemlerin geliştirilmesi gerekmektedir.

1990 yılında eski Sovyetler Birliği'nde deneysel olarak gerçekleştirilen, ancak Sovyetler Birliği'nin dağılmasıyla birlikte araştırılması yarıda bırakılan kapasitör deşarjı yöntemi ile seramiklerin kaynaklanması fikri [1] daha sonra İngiltere'de Cambridge Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Metalurji Bölümünde tekrar ele alınmıştır [2]. Bu yeni tekniğin en ilgi çekici yanı çok kısa bir sürede (yaklaşık 60 mikro saniyede) kaynaklamanın gerçekleşmesidir.

Bu yeni teknikte oksit veya oksit olmayan seramik parçalar arasına ince metal folyolar konularak kaynak gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada seramik malzemelerin kapasitör deşarj tekniği ile kaynaklanması üç başlık halinde incelenecektir. Bunlar:

- i. Oksit seramik kaynaklar
- ii. Oksit dışı seramik kaynaklar
- iii. Farklı seramiklerin kaynaklanması sonucu oluşan kaynaklar

2. SERAMİKLERİ KAYNAKLAMA YÖNTEMLERİ

Seramikleri kaynaklamak için kullanılan yöntemler iki başlık altında incelenebilir. Bunlar:

i) Mekanik Kaynaklama Yöntemleri: Yük destekleyici ara tabaka ile sıkıştırma ve civatalama bu yöntemlere örnek gösterilebilir. Yük destekleyici ara tabaka ile sıkıştırmada, bükülebilir bir ara tabaka istenmeyen gerilmeleri toplamaktadır veya gerilme konsantrasyonunun belirli bölgelere toplanmasıyla kaynaklama gerçekleştirilmektedir [3].

ii) Kimyasal Kaynaklama Yöntemleri: Aktif metal kaynaklaması, difüzyon bağlama ve seramik yapıştırıcılar bu tür kaynaklama yöntemlerindedir.

Kimyasal yöntemler hermetik sızdırmazlık (hava geçirmezliği) açısından ilgi çekici tekniklerdir. Bunlardan seramik yapıştırıcılar yüksek sıcaklıkta kararlı olmasına rağmen relatif olarak mukavemetleri düşüktür. Difüzyon bağlama ve aktif metal kaynaklama tekniklerinin her ikisi de seramik parçaların uzun bir süre yüksek sıcaklıklarda tutulmasını gerektirmektedir ki bu pahalı olduğu gibi seramiklerin özelliklerini de değiştirebilir [2,4].

2.1. Aktif Metal Lehimleme

Aktif metal lehimleme, seramik-seramik ve seramik-metal kaynakların üretiminde kullanılırlar. Seramik-seramik ve seramik-metal yapıların lehimlenmesiyle birleştirilmesi dizayn esnekliğinden, proses ekipmanlarının yaygın olarak mevcut olması ve metal-metal yapıların yüksek bütünlüğü için lehimleme tekniğinin yerleşmiş kullanımından dolayı ilgi çekicidir [5].

Bu yöntem, kullanım kolaylığından dolayı ilgi çekici ve dizayn mühendisleri tarafından iyi bilinen bir teknik olmasına rağmen lehimleme uygulamaları oldukça karışıktır. Çünkü teknolojik olarak önemli olan birçok seramik ile kullanılan metal ve alaşımlar (Ag, Au ve Cu'a dayalı geleneksel

lehimler) arasında yüzeylerde karşılıklı bir difüzyon meydana gelmez ve ayrıca seramikleri ıslatamazlar. Bunun için, yeni ve özel gelişmiş lehim alaşımları seramikleri kaynaklamak için kullanılır. Bu yeni alaşımlar aktif lehimler olarak isimlendirilir. Bu alaşımlar seramiklerin yüzeylerin kimyasal değişimi için seramiklerle tepkimeye girecek elemanlar içerirler ve böylece lehim tarafından ıslatma ve bağlanma sağlar [6].

Çoğu mevcut ticari aktif metal lehimlerde Ti içeren ötektik veya ötektiğe yakın Ag-Cu alaşımlar kullanılır [5].

Lehimlemede arayüzey oluşumu için gerekli iş Young denkleminde ıslatma davranışı ile direkt olarak ilişkilendirilir. Lehimlemede sıvı metal seramiği ıslatmalıdır ve ıslatma için sürücü güç;

$$G_{\text{ıslatma}} = W_{\text{ad}} - \gamma_{\text{SB}} \quad (2.1)$$

Burada, γ_{SB} ; Sıvı lehim-metal yüzey enerjisi

W_{ad} ; Sıvı-katı arayüzeyi için adhezyon işi'dir.

Seramiklerin lehimlenmesinde etkili olan faktörler aşağıda tartışılmıştır.

2.1.1. Yüzey özellikleri

Seramiklerde lehimlemeden önce metal bileşenlerin yüzeylerinin hazırlanması gerekmektedir. Yüzey pürüzlülüğü lehimleme esnasında, akış davranışı ve ıslatma eğilimini etkilemektedir [7]. Pürüzlü yüzeyler ıslatma kabiliyetlerini temas açısı 20° 'den az olan etkili lehimleme alaşımları dışında azaltır [8]. Parçanın yüzey pürüzlülüğü aşındırma veya işleme operasyonlarıyla değişebilir. Ama mekanik olarak "kesme izleri" gibi lekelerin temizlenmesi faydalı olabilir [7].

Seramik yüzeylerin pürüzlülüğü, ıslatma ve akma davranışını etkiler. Ancak seramik parçalarının yüzeyleri, genel olarak şekil ve boyut olarak uygun mühendislik toleranslarına ulaşmak için parlatılır. Ama bu yüzey pürüzlülüğünün yanı sıra kırıkların çekirdeklenmesine neden olur ki bu mekanik özellikleri azaltır. Bu nedenle kuvvetli kaynakların elde edilebilmesi için çatlakların iyileştirilmesi yada yok edilmesi, yüksek sıcaklıkta yeniden pişirme veya ince parlatma gerektirir.

Piştirme hava ortamında yapıldı ise oksit yüzeyine yapışan karbonlu film uzaklaştırılabilir. Ancak karbür ve nitrürlerin yüzeyinden oksit filmlerin uzaklaştırılması, en iyi mekanik olarak yapılabilir ve bunu izleyen kademede yağ giderme işlemi yapılmalıdır [7].

Ayrıca, kimyasal işlemler veya aşındırma işlemleri ile metal yüzeylerinin ince oksit tabakasından arındırılması gerekmektedir, ancak bu tabaka giderilir giderilmez tekrar oluşur. Yüzeyler daha sonra yağ gidericilerle işleme sokularak organik kirler temizlenir. Böylece lehimleme esnasında karbonlu tabaka oluşma olasılığı azalmaktadır [7].

2.1.2. Çevre koşullarının etkisi

Aktif metal lehimlemede çevre koşulları, titanyumun reaksiyona girebilirliğinin belirlenmesinden daha önemlidir. Çoğu operasyonlarda vakum kullanılarak fırın basınçlarının 10^{-3} mbar'dan daha düşük değerlere (10^{-4} – 10^{-5} mbar) indirilmesiyle düşük oksijen ve azot aktiviteleri elde edilir. Ancak düşük azot aktivitesine sahip ortamlarda azotlu bileşiklerin bazılarının ayrışması meydana gelebilir [7].

Lehimlemenin güvenilir olmadığı basınçlar birkaç faktöre bağlıdır. Bu faktörler;

- i. Fırın hacminin lehimlenen malzemenin yüzey alanına oranı ve
- ii. Fırın haznesinin sızdırmazlığı'dır.

Yaygın olmayan fakat vakumun pratik olmadığı durumlarda, lehimleme inert gaz atmosferde veya indirgen atmosferde gerçekleştirilebilir. Burada önemli olan kullanılan gazlı ortamın kalitesinin korunmasıdır [7].

2.1.3. Isıtma rejimi

Isıtma rejimi yakından kontrol edilebilir ve bunun seçimi oldukça önemlidir. Kullanılan ısınma oranları, parçanın şekline, geometrisine ve cihazların limitlerine bağlıdır.

Başarılı uygulamalar için parçalar yavaşça ısıtılır. Parçanın her yerinde sıcaklığın homojen olması için parça 10-20 K/dak. ısıtma hızı ile lehim hazırlama sıcaklığının altında en az 15 dak. tutulur. Bu sıcaklığın üzerinde parçalar lehimleme sıcaklığına daha yavaş (1-5 K/dak.) ısıtılır ki sıcaklık çoğunlukla likidüsün 50°C üzerindedir. Parçalar burada yaklaşık 30 dak. tutulur.

2.2. Difüzyon Bağlama

Difüzyon bağlama; iki yüzeyin yüksek sıcaklıkta (minimum tipik bir refrakter malzeme için ergime sıcaklığının % 60'ının üzeri) belirli bir süre bir arada tutulmasıyla oluşan bir kaynaklama prosesidir. Bu proses, iki benzer malzeme kaynaklandığı durumlarda basit bir işlemdir, ancak birbirine benzemeyen malzemeler kaynaklandığı zaman birçok karmaşıklık gözlenir [7].

Difüzyon bağlama bir katı hal prosesidir ve kaynaklanan parçalarda deformasyon sadece yüzeye yakın bölgelerde meydana gelir. Prosesteki bütün bileşenler katıdır ve arayüzey oluşumu için itici güç sadece yapıştırma işidir:

$$W_{ad} = \gamma_{K1B} + \gamma_{K2B} - \gamma_{K1K2} \quad (2.2)$$

Burada, W_{ad} ; Ara yüzey oluşumu için enerji

γ_{K1B} ; Birinci katı ve buhar arasındaki arayüzey enerjisi

γ_{K2B} ; İkinci katı ve buhar arasındaki arayüzey enerjisi

γ_{K1K2} ; İki katı arasındaki arayüzey enerjisi'dir.

Difüzyon bağlamanın lehimlemeye göre en büyük avantajı, düşük ergime noktasına sahip alaşımların üretimi kolaylaştırmak için aratabaka olarak kullanılmamasıdır. Bu yüzden difüzyonla bağlanmış kaynakların serviste kullanım sıcaklığı daha yüksek olabilmektedir ve bu yüzden yüksek sıcaklık uygulamaları için potansiyel bir kullanım yöntemidir; örneğin, seramik turbo yükleyicilerde ve adyabatik motor bileşenlerinde [7]. Difüzyon bağlama ile kaynaklanmış metal-seramik kaynakların birçok mühendislik uygulamalarında başarıyla kullanıldığı rapor edilmiştir [7].

Katı hal bağlama prosesleri, basınç ve sıcaklığın birlikte uygulanmasına dayanmıştır ve çoğunlukla parçanın biri veya diğerinin aktif olarak termal sürünme deformasyonu ve yanısıra çok uzun zamanlar gerektirir [3].

Özel bir uygulama için gerekli olan minimum temasın ve bağlamanın başarılabilmesi aşağıdaki parametrelere bağlıdır [9]:

- Sıcaklık
- Zaman
- Basınç
- Çevre koşulları
- Yüzey pürüzlülüğü ve temizliği.

Bağlama prosesinin detayları durumdan duruma değişiklik gösterir ama ortak noktalarda vardır. Difüzyon bağlama, temas eden yüzeyler arasında meydana gelir. Bu sebepten dolayı bağlanma işleminden önce yüzeyler düzgün olacak şekilde parlatılmalıdır. Yüzey durumu önemli bir proses parametresidir ve bütün kaynaklama tekniklerinde yüzey temizliği çok önemlidir. Bağlama mukavemetinin tespitinde sıcaklık ve basınç önemli birer parametre olmakla birlikte yüzey pürüzlülüğünün derecesi de bir başka önemli parametredir [10].

Difüzyon bağlaması için oda sıcaklığından gerekli sıcaklığa kadar sıcaklık sınırları boyunca parçaların termal dağılım özelliklerinin yeterli derecede uygun olması ile, en aza indirilmiş termal gerilmeler difüzyon bağlamanın başarısı için gerekli bir faktördür. Ayrıca iki parça arasında ara yüzeyde bir yandan diğer yana temas gelişimi amacıyla plastik akışı çeken en az bir parçanın olması gereklidir.

Mikroyapısal dengesizliğin minimuma indirilmesiyle mukavemet ve yeterli bağ elde etmek amacıyla ara yüzeyde difüzyonun oluşması için yeterli zaman olmalıdır [3].

Difüzyon bağlama, 1 ile 10^4 saniye süreyle ve 1 ile 100 MPa arasında ki basınçlarda gerçekleştirilmektedir. Genellikle basınç veya zamanın artırılması, bağın teması ve kalitesini artırır. Ancak sıcaklığın etkisi daha önemlidir [9].

Difüzyon bağlamanın oluşumu, hem aktif plastik akışa hem de kontrol altında kütle transferine bağlıdır [3].

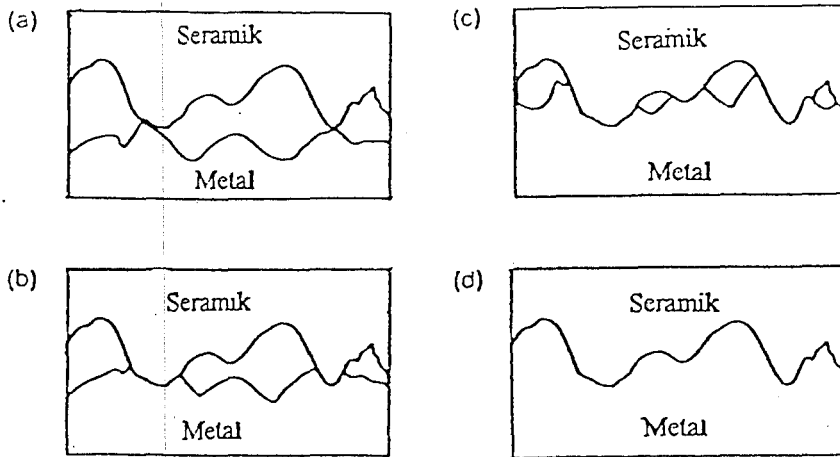
Ergitilerek kaynaklamadan (fusion welding) farklı olarak metal ve seramiklerin benzer refrakterlikleri, difüzyon bağlamada gerekli değildir.

Elde edilen bağın korunması dizayna bağlıdır. Seramik-metal kombinasyonlarının genişleme katsayıları çoğunlukla farklı olduğu için, üretimden sonra soğutma esnasında meydana gelen gerilmelerin bağa zarar vermemesi için yapılacak dizayn çok önemlidir [9].

2.2.1. Bağlanma mekanizması

Bağlama prosesi paralel olarak işleyen iki kısma ayrılabilir. Birincisi; temas eden pürüzlü iki yüzeyin ara yüzeyde benzer yüzey özelliklerine sahip hale gelmesi Şekil 1’de gösterildiği gibi gerçekleşir.

Burada kütle transfer mekanizmasıyla birbirine uygun kılınmış geniş hacimli ara yüzey boşluklarının elimine edilmesini içerir (örneğin, plastik akış ve difüzyon). Fakat, buna paralel olarak adhezyon prosesinin de olması gerekir. Bir üçüncü basamak, sınırdaki üçüncü bir faz şekillendirmek için temasta bulunan metal veya seramiğin arasındaki kimyasal reaksiyondur [11].



Şekil 1. Metal-seramik difüzyon bağlaması esnasında olayların gelişimi [7]; (a) pürüzlü sert seramik sünek metal yüzeyleri temasa geçer, (b) pürüzlü seramik parçanın büyük bölgesel gerilme altında plastik olarak eğilen metal yüzeyi çentikleri, (c) deformasyon birincil olarak metalde, ara yüzey boşluklarda çekmeye sebep olan difüzyonel kuvvet transferiyle bağlantılı olarak devam eder, (d) sonunda bağlanma ideal olarak mükemmel bir ara yüzey olarak şekillenmiştir.

2.2.2. Ara yüzey oluşumu

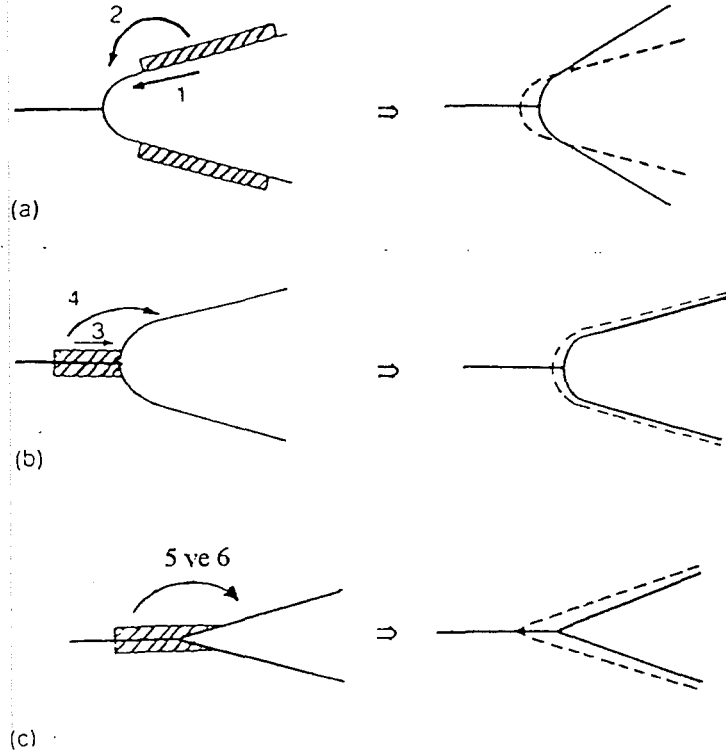
Güçlü bir seramik-metal faz sınırının kimyasal etkileşiminin nedeni karmaşık ara yüzey etkileşimleridir. Birbirine benzer iki farklı difüzyon bağlama çalışmaları 1960' dan beri sürmektedir [7]. Genel bir görüşe göre kaynaklama işlemi birçok difüzyon ve sürünme mekanizmaları nedeniyle oluşan ara yüzey boşluklarının doldurulmasıyla meydana gelmektedir. Son yıllarda bu konu hakkında bir çok makale yayınlanmıştır [10,12,13] ve gelişmeler tartışılmıştır [14]. Ara yüzey boşluklarının giderilmesi birkaç mekanizmayla gerçekleşebilir (Şekil 2) [10]. Bu mekanizmalar Tablo 1'de gösterilmiştir.

Difüzyon bağlama, seramik-metal kaynaklaması için uygulanabilir bir tekniktir. Difüzyon bağlama lehim alaşımları ile kaynaklamaya göre daha yüksek sıcaklıkta uygulanır. Oksit seramikler ile metaller arasındaki kaynaklarda bağ mukavemeti potansiyel olarak çok iyidir. Buna karşılık termal genleşme uyumsuzluklarından dolayı karbür ve nitrürlerde bağ mukavemeti daha kötüdür [7].

Yüksek sıcaklık işlemlerinin çok pahalı olmasının yanı sıra sıcaklığın etkisinden dolayı malzemelerin özelliklerinin değişmesi bu tekniğin kullanımını sınırlamaktadır.

Tablo 1. Difüzyon bağlama işlemi sırasında kütle transferi operasyonu esnasında mekanizmalar, kaynaklar ve çökme bölgeleri

Mekanizmalar	Kaynaklar	Çökme bölgeleri
Yüzey boyunca difüzyon (1)	Yüzey	Bağlama-boyun hattı
Hacimde ki difüzyon (2.a)	Yüzey	Bağlama-boyun hattı
Buhar Transferi (2.b)	Yüzey	Bağlama-boyun hattı
Ara yüzey boyunca difüzyon (3)	Yüzey	Bağlama-boyun hattı
Hacimde ki difüzyon (4)	Ara yüzey bağı	Bağlama-boyun hattı
Çökmeden sonraki plastik akış (5)	Genel pürüzlülük deformasyonu	
Sürünme (6)	Genel pürüzlülük deformasyonu	

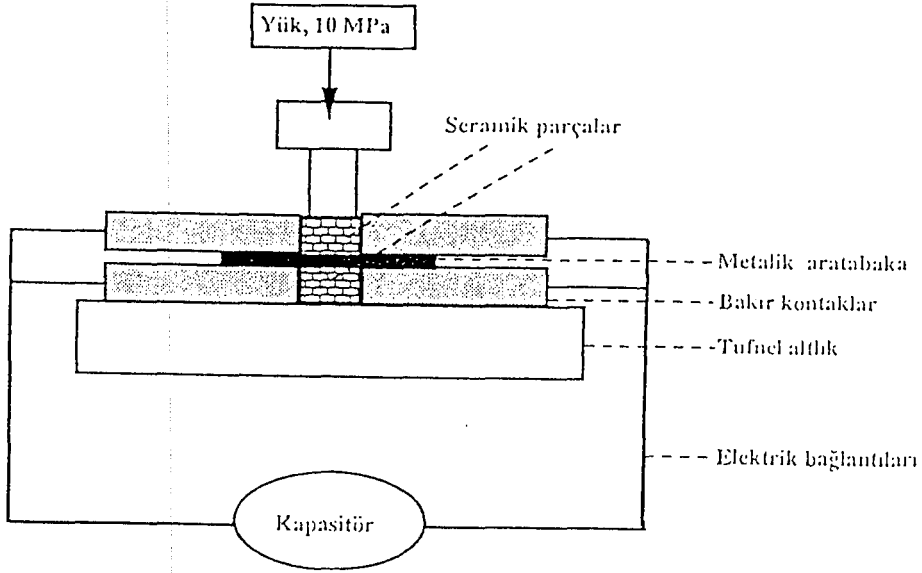


Şekil 2. Difüzyon bağlama esnasında kütle transferindeki kaynak ve boşlukların giderilmesi (aynı zamanda Tablo 1'e bakın); (a) yüzey kaynaklarından ara yüzey boyunca geçiş (1,2), (b) ara yüzey bağlanmasından boyuna geçiş (3,4), (c) sürünme sırasında veya boşluk giderme sonrasında plastik akış ile oluşan hacimsel deformasyon (5,6). Birbirinden farklı malzemeler arasında bu mekanizmalar büyük ihtimalle ara yüzeyin her bir yüzeyinde farklı oranlarda ortaya çıkar.

2.3. Kapasitör-Deşarj Kaynaklama Tekniği

Bu teknik ilk olarak 1990 yılında Kiev'de E.O. Paton Elektrik Kaynaklama Enstitüsü'nde Yuschenko ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir [1] ve daha sonra Turan ve arkadaşları tarafından seramik malzemelerin kaynaklanmasında kullanılmıştır [2]. Kapasitör-deşarj kaynaklama tekniğinde, kapasitörden deşarjı taşımak için metal folyo iki bakır elektrot ile temasta olup aynı zamanda iki seramik parça arasına yerleştirilir (Şekil 3). Daha sonra kapasitörün elektrotlar aracılığıyla deşarj edilmesi sonucu yüksek enerjiye maruz kalan metal folyo plazma haline gelip buharlaşır ve her iki tarafta yer alan seramiklere yapışır.

Metalin plazma haline gelmesi sırasında oluşacak olan genişmesi seramik parçaları kaynaklamak yerine parçaları uzağa iteceği için kapasitörün deşarjı esnasında belli bir oranda basınç uygulanması gerekmektedir. Bu teknik çok hızlıdır ve kaynaklama yaklaşık olarak 60 mikro saniyede meydana gelir.



Şekil 3. Kapasitör-deşarj kaynaklama tekniğinin şematik gösterimi [2]

Yushchenko ve arkadaşları [1] ve Schevchuk ve arkadaşlarının [15] çalışmaları iki konu üzerine yoğunlaşmıştır. Bunlardan birincisinde zamanın bir fonksiyonu olarak akımdaki değişim ve uygulanan enerji miktarı gibi fiziksel parametrelerin etkileri araştırılmıştır [1]. İkincisi ise, silisyum nitrür (Si_3N_4)'ün kaynaklanmasında Ti, Ta, Cu folyolarla elde edilen kaynakların ara yüzeylerinin elektron mikroskopuyla incelemeleri yapılmıştır [15]. Araştırma sonuçlarına göre en kuvvetli bağlar ara tabakada, sadece Ti folyo kullanılarak Si_3N_4 kaynaklanması ile elde edilmiştir. Cu veya Ta ile elde edilen kaynaklar ise zayıftır. Bunların yanı sıra kaynaklamada ara tabaka olarak Ti+Cu ve Ti+Ta kompozitlerini kullanmışlardır. Üç nokta eğme testi ile kaynaklamada Ti+Cu'nun kullanımı ile elde edilen mukavemetin (150-170 MPa), Ti+Ta ara tabaka kullanılına göre (50-100 MPa) daha iyi olduğunu göstermişlerdir.

Geçirimli elektron mikroskobu (TEM) incelemeleri sonucunda seramikte mevcut porlara, düşük ergime noktasına sahip ara tabaka Ti+Cu'in girmesiyle

geçici zon (tabaka) oluştuğu saptanmıştır [15]. Buna karşın ara tabaka olarak Ti+Ta kullanıldığında geçici zonen yerine amorf refrakter bir film oluşmuştur ve Ti+Ta ara tabaka kullanıldığında elde edilen düşük mukavemetin sebebinin Ti+Ta ara tabakasının oksijen ve azot ile daha yüksek reaksiyon yeteneğine sahip olması sonucu oluşan refrakter amorf tabakanın ergimiş metalin porlara girmesini engellemesinden dolayı olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Binner ve arkadaşları [16] Al veya Ti ara tabakalar veya kaplanmış seramik yüzeylerin kullanımı ile elde edilen SiAlON, SiC ve kurşun zirkonyum titanat kaynakların mikro yapısını SEM (taramalı elektron mikroskobu) ve EDX (enerji saçılımlı X-ışınları difraksiyonu) ile incelemişlerdir (bu kaynaklar da Kiev'de üretilmiştir). Ancak kaynakların bağ mukavemetlerini ölçmemişlerdir. Onlar da, Al'un SiAlON'un yüzeyini SiC'e göre daha iyi ıslattığını ve karşılıklı yüzeyler arasında difüzyonun meydana gelmediğini göstermişlerdir. Bunun yanı sıra, Ti ara tabaka ile elde edilen yapışma SiC'de, SiAlON'dakine göre daha iyidir ve diğer parçalarda ara tabaka olarak Al kullanıldığında da iyi bir yapışma elde edilmiştir. Kimyasal analizler sonucu, ara tabakada elementlerin şiddetleri yavaşça azalmakta ve bu da Ti kullanıldığında reaksiyon meydana geldiğini göstermektedir.

Onların elde ettiği sonuçlar, metalik kaplamaların kullanılmasıyla seramiklerin çok daha iyi ıslandığını ve ara tabaka kalınlığının inceltilmesiyle kaynak mukavemetinin arttığını göstermiştir.

İyi bir bağ için, proses parametreleri öyle seçilmelidir ki, ara tabakadaki metal ergimeli, seramiği ıslatmalı ve kimyasal olarak bağlanmalıdır. İlave olarak bağ özelliklerinin optimizasyonu için ara tabaka metal kalınlığı, termal genleşme katsayısı ve termal kararlılığın kontrolü gereklidir. Ayrıca çok düşük ya da çok yüksek enerji kullanımı durumunda yapışma gerçekleşmemektedir. Kullanılan enerji değeri çok yüksek ise, bağ oluşmadan ara yüzeylerin metalizasyonu meydana gelir ve seramikler kırılır.

Yuschenko ve arkadaşları [1] bu tekniği kullanarak oksit olmayan seramikleri başarıyla kaynaklamıştır. Shevchuk ve arkadaşları [5] ve Binner ve arkadaşları [16] ise bunların mikro yapılarını karakterize etmişlerdir. Ancak oksit seramiklerin kaynaklanması üzerine veya onların elde ettiği sonuçların doğruluğu

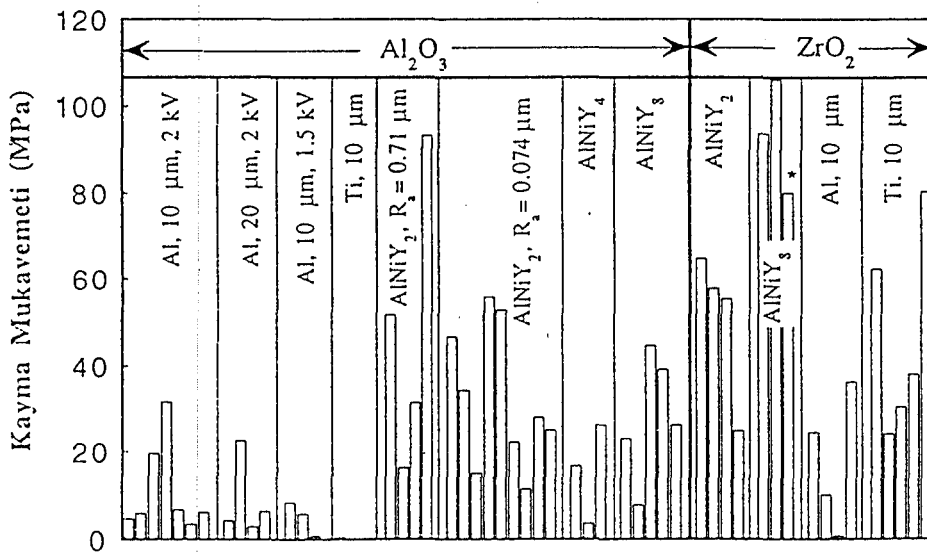
üzerine herhangi bir çalışma yoktur. Bunlara ilave olarak çok az miktarda veri olması nedeniyle bağ mukavemetlerinin yeterince güçlü olup olmadığı değerlendirilemediği gibi diğer kaynaklama tekniklerinden elde edilen sonuçlarla da karşılaştırılmamaktadır.

Son zamanlarda kapasitör-deşarj tekniği Turan ve arkadaşları tarafından [2] alümina ve zirkonya gibi oksit seramiklerin kaynaklanmasında kullanılmıştır. Bağ mukavemetleri kayma testi ile mikro yapıları ise optik mikroskop, SEM ve TEM (geçirimli elektron mikroskobu) kullanılarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

2.3.1. Mekanik test sonuçları

Başlıca dört deneysel değişkenin kaynak mukavemeti üzerindeki etkisi alümina altlık kullanılarak belirlenmiştir.

- kapasitörde depolanan enerji miktarı,
- folyo kalınlığı,
- yüzey pürüzlülüğü,
- folyo kompozisyonu. Kayma testi sonuçları Şekil 4'de gösterilmektedir.



Şekil 4. Oksit seramik kaynaklara ait kayma mukavemetleri

a) Deşarj Enerjisi

Kapasitörde depolanan enerji yükleme voltajı tarafından kontrol edilir. Kayma testleri sonuçlarından görüleceği üzere ara tabaka olarak 10 μm kalınlığında Al folyolar kullanıldığında ve 2 kV'luk bir enerji uygulandığında 1.5 kV'luk enerjiye oranla daha yüksek mukavemete sahip bağlar elde edilmiştir. Daha düşük enerjiler kullanıldığında ya çok zayıf bağlar elde edilmiş ya da hiç bağ oluşmamıştır ki bu sonuçlar daha önce Yuschenko ve arkadaşları [1] tarafından elde edilen sonuçları doğrulamaktadır. Bu incelemelerin yanı sıra Yuschenko tarafından belirtildiği gibi daha yüksek enerjiler seramiğin kırılmasına neden olmaktadır (örneğin 2.5 kV'da). Dolayısıyla bu çalışmada sadece 2 kV yükleme voltajı kullanılmıştır [4].

b) Folyo Kalınlığı

Folyo kalınlığının etkisinin incelenmesi için 10 μm ve 20 μm kalınlığındaki folyolar kullanılarak alümina-metal-alümina kaynaklar yapılmıştır. Her iki durumda da elde edilen bağ mukavemetleri önemli farklılık göstermemiştir (Şekil 4). Dolayısıyla ara tabakanın kalınlığı mevcut deneysel düzenek için kritik parametre değildir. Ancak Al düşük elektrik özdirencine sahiptir ve folyonun kalınlığı, çok yüksek özdirence sahip başka ara tabaka malzemelerin kullanılmasında önemli olabilir. Bu sınırlı araştırma iki farklı kalınlık kullanımı sonucu bağ mukavemetinde oluşacak farkı açık ve kesin olarak vermemektedir [4]. Daha önceki çalışmalarda [1] ince folyoların tercihiyle daha iyi sonuçların alınacağı savunulabilir.

c) Yüzey Pürüzlülüğü

Farklı yüzey pürüzlülüğüne sahip seramik parçalar kaynaklandığında elde edilen sonuçlardan kaynak mukavemetlerinin yüzey pürüzlülüğü ile değişmediği görülmüştür.

d) Folyo Kompozisyonu

Son olarak Al, Ti ve % 2, % 4 veya % 8 Y içeren $Al_xNi_yY_z$ folyoların kullanılmasıyla alümina veya zirkonya altlıklar kullanılarak folyo kompozisyonunun etkisi incelenmiştir.

Alümina kaynaklanmasında 10 μ m kalınlığındaki Ti folyolar kullanıldığında çok zayıf bağlar elde edilmiştir. Diğer yandan amorf $Al_xNi_yY_z$ alaşımları kullanıldığında çok yüksek bağ mukavemetleri elde edilmiştir ve bu Ni ve Y ilavesinin daha iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir. Bunun yanı sıra amorf $Al_xNi_yY_z$ folyoları, saf Al folyolarından daha iyi sonuçlar vermiştir.

Alümina parçalar arasındaki $Al_xNi_yY_z$ folyoların bağ mukavemetleri farklı Y konsantrasyonlarında aynıdır (Şekil 4). Ancak aynı ara tabaka kullanıldığında alümina sisteminden zirkonya-metal-zirkonya kaynaklamada elde edilen kayma mukavemetleri genel olarak daha yüksektir. Ama zirkonya kaynaklama şartlarında daha güçlü bağların oluşumu için daha yüksek Y konsantrasyonu gerektiği söylenebilir (Şekil 4).

2.3.2. Mikroskop inceleme sonuçları

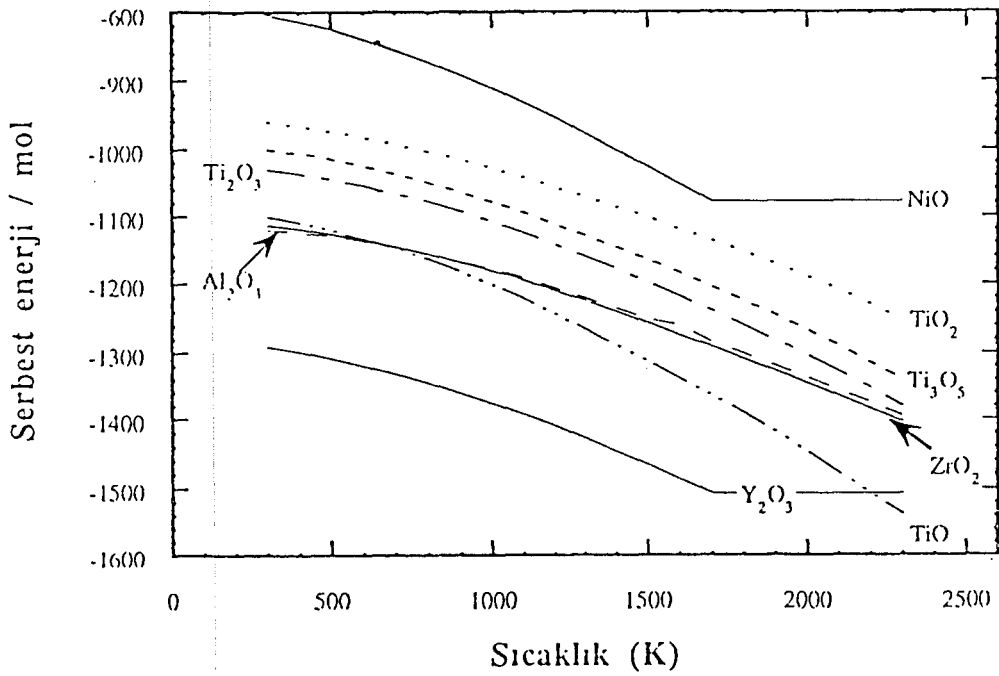
Optik mikroskopta düşük büyütmelerdeki incelemeler bazen folyo kalınlığının bir taraftan diğer tarafa eşit olmadığını göstermiştir. Bunun sebebi yüzeylerin birbirine paralel olmayışı veya uygulanan basıncın yüzeye eşit dağılmamış olması olabilir.

Kırılmış yüzeyler incelendiğinde belirli kısımların yüzeylerden bir tanesini ıslatmadığı görülmüştür. Bu sonuçtan hareketle hesaplanan ortalama kaynak mukavemetleri gerçek bağlanma mukavemetini yansıtmamaktadır.

SEM incelemelerinde de kaynaklanmış yüzeylere dik yönde seramikte ve/veya metal ara tabakasında çatlaklar görülmüştür. Bununda iki sebebi olabilir:

- i. termal genleşme katsayılarının uyumsuzluğu
- ii. proses esnasında meydana gelen basınçlar

TEM incelemelerinde daha detaylı bilgiler elde edilmiştir. Elde edilen en önemli sonuçlardan bir tanesi güçlü bağların oluştuğu sistemlerde örneğin $Al_xNi_yY_z$ kullanıldığında, seramik ile aratabaka arasında reaksiyonlar meydana gelmiştir. Seramik ile aratabaka arasında oluşan reaksiyon zonunun kimyasal analizi yapıldığında görülmüştür ki; aratabaka Ni içermemekte ve tabakanın içerisinde reaksiyon ürünü olan Al, saf Al kristalleri halinde yer almaktadır. Reaksiyon tabakasında Al, Y, O içermekte olup amorf yapıdadır. Termodinamik hesaplamalar göstermiştir ki; alümina ve zirkonya ile sadece Y reaksiyona girmektedir ve elde edilen deneysel sonuçları doğrulamaktadır (Şekil 5).

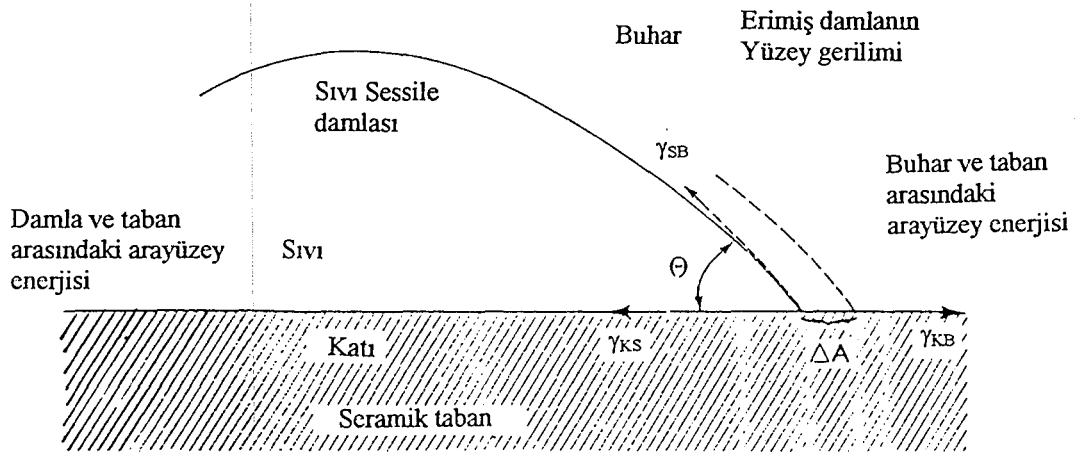


Şekil 5. Bazı oksitler için serbest enerji-sıcaklık diyagramı [2]

2.4. Kaynaklamayı Etkileyen Parametreler

2.4.1. Islatma ve yapışma

Bir katı seramik yüzey üzerindeki erimiş bir lehim dolgu damlamasının şekli katı-sıvı ara yüzey enerjisi (γ_{KS}), katı-buhar ara yüzey enerjisi (γ_{KB}) ve sıvı buhar arayüzey enerjisi (γ_{SB}) gibi etkileşim kuvvetleriyle tanımlanmaktadır (Şekil 6).



Şekil 6. Bir sessile damlasında yüzey enerjisi kuvvetlerinin rolü

Ara yüzey gerilimlerinin bu dengesi Young denklemiyle ifade edilir.

$$\gamma_{KS} - \gamma_{KB} + \gamma_{SB} \cos \theta \quad (2.4)$$

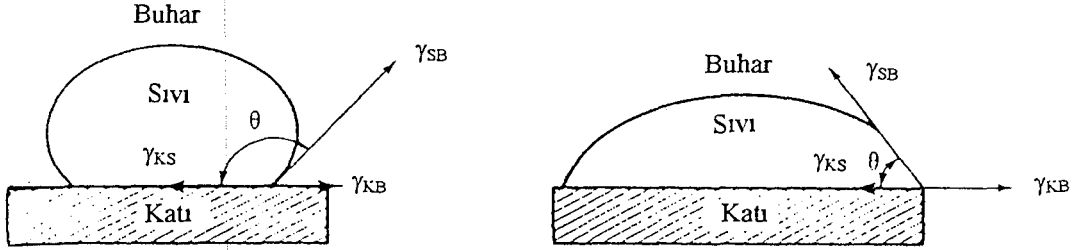
veya

$$\gamma_{KS} = \gamma_{KB} - \gamma_{SB} \cos \theta \quad (2.5)$$

Katı yüzey ve kontakt noktasında sıvı yüzeyin tanjantı arasındaki açı veya "kontakt açısı; θ ", 0° ile 180° arasında değişebilir. Eğer γ_{KS} yüksekse sıvı küçük bir ara yüzey alanına sahip bir yuvarlak şekle yönelir. Eğer γ_{KB} relatif olarak yüksekse, yuvarlak yayılır. Sıvı- buhar ara yüzey enerjisi (yüzey gerilimi) nin etkisi sabit değildir. Eğer sadece sıvı yüzey enerjisi azalmaktaysa, başlangıçta ıslatma damlası $\theta < 90^\circ$ olduğu için kontakt açısı azalır (bu, ıslatmayı azaltır). Fakat başlangıçta ıslatmayan damla için $\theta > 90$ derece ise kontakt açısı azalır.

Yukarıda ki denklemler γ_{KS} , γ_{KB} den daha büyük olduğunda kontakt açısı θ 90° den daha büyüktür (Şekil 7(a)) ve sıvı damla küreselleşme eğilimindedir.

Kontakt açısı θ , 90° 'den daha küçükse (Şekil 7(b)) sıvı damla dışarıya doğru düzleştirilmiş ve katı ıslatılmıştır. Eğer denge, $\theta=0$ durumunda ise ve daha büyük ıslatma istenirse, θ mümkün olduğunca daha küçük olmalıdır ki $\cos \theta$ tabana yaklaşır ve sıvı, katı yüzey üzerinde dağılır.



Şekil 7. Sessile damlaları ve arayüzey enerjileri, (a) kontakt açısı 90 derece (1,6 rad)'den daha büyüktür; ıslatma oluşmaz, (b) Kontakt açısı 90 derece (1,6 rad)'den daha azdır ve ıslatma oluşur [9]

Sessile damlası ve tabaka arasındaki adhezyon işi veya ilişkilendirilmiş adhezyon enerjisi (W_{ad}) ki bir sıvı ve bir katı yüzeyindeki bir ünite alanının arayüzey ayırımı için gösterdiği serbest enerji değişimi Dubre denklemiyle ifade edilebilir:

$$W_{ad} = \gamma_{KB} + \gamma_{SB} - \gamma_{KS} \quad (2.6)$$

veya Young denklemiyle birleştirilirse

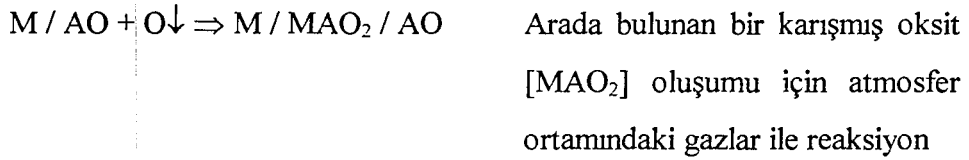
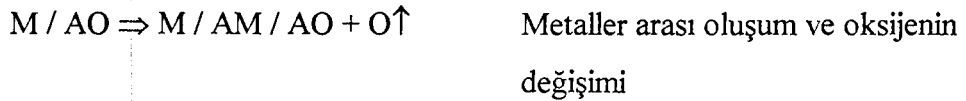
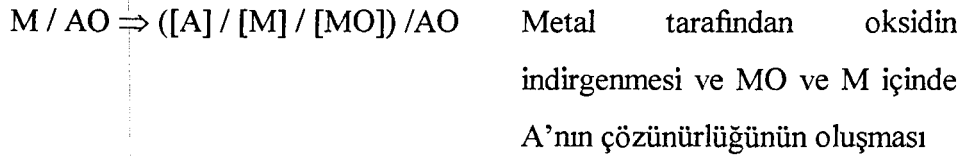
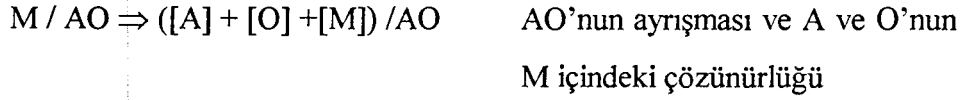
$$W_{ad} = \gamma_{SB} (1 + \cos \theta) \quad (2.7)$$

Adhezyon işi tabana damlanın yapışmasının bir kısım belirtisini verir, fakat katılaştırmış damlanın yapışmasını önceden göstermeyebilir [9].

2.4.2. Kaynaklamada oluşan kimyasal reaksiyonlar

Birbirinden farklı iki malzeme, birbirine temas edecek şekilde tutulup sıcaklık arttırılırsa aralarında birçok kimyasal reaksiyon meydana gelebilir. Bir malzeme diğerini solüsyon içine alabilir, reaksiyonda üçüncü bir faz oluşturulabilir

yada ortamı da içeren bir reaksiyon gerçekleşebilir. Metal seramik bağları oldukça karışıktır çünkü seramikler en az iki tane arayer boşluğu içerirler. Örneğin, saf bir M metali ile basit bir AO oksidi arasında olası reaksiyonları ele alalım [17,18].



Seramik-metal bağlarında elde edilmiş ve bağlanma esnasında meydana gelebilecek reaksiyonlar yalnızca birkaç tanedir. Eğer metal veya seramik önemli alaşımlar veya tane sınırı bileşenleri içerirse, bunun sonucu olarak arayüzey boyunca ve arayüzeyden çökelmeler meydana gelir.

Metal-seramik arayüzey reaksiyonlarının doğası geniş bir şekilde incelenebilir, fakat burada bazı metaller ve oksit seramikler arasında bağ mukavemeti üzerine bağlanma atmosferinin etkisi incelenecektir. Altın, oksit seramiklere çok başarılı bir şekilde bağlanır [19]. Bu arayüzeyin kimyasal reaksiyonunun doğası açık değildir, fakat bir oksitlenme atmosferi bağlanmayı kolaylaştırır ve daha sağlam bir kaynaklama oluşur [20]. Platin ve paladyumda, oksit seramiklere iyi bir şekilde bağlanır ve arayüzey reaksiyonu elektron mikroskopunda gözlenmiştir [21]. Bununla beraber bu durumda reaksiyon bir

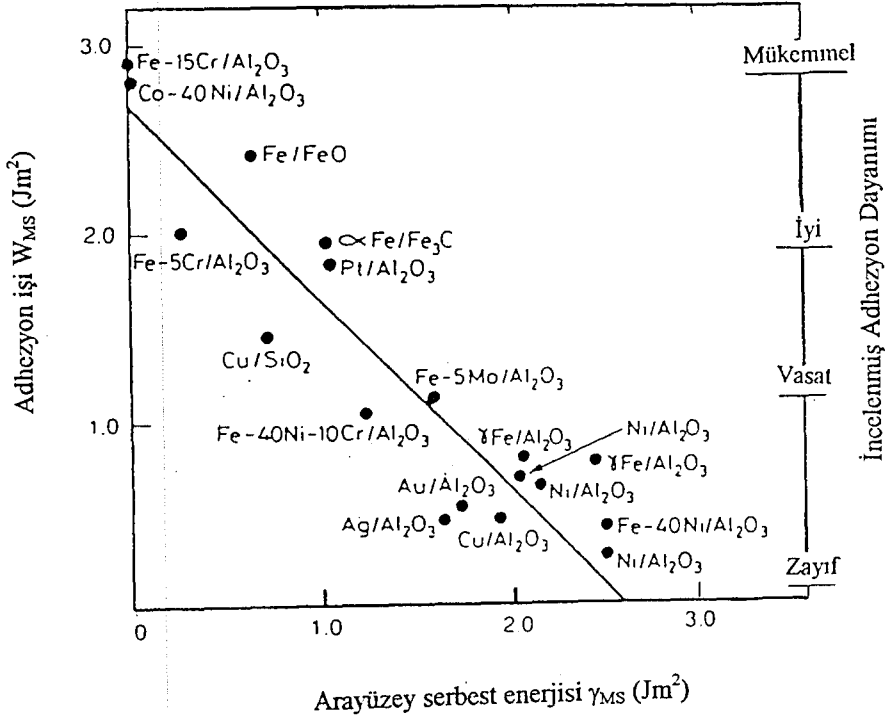
* “çözünürlük” köşeli parantezle gösterilir, örneğin [M], bir M metalinin çözünürlüğünün gösterimidir.

indirgeme atmosferiyle ilerletilir [22]. Oksit seramikler ve platin grubu metaller arasındaki reaksiyonun, platin içeren metal bileşik ve oksijen çözeltisi oluşumu için oksidin indirgenmesi ile meydana geldiğine inanılır ve benzer bir reaksiyon, vakum uygulanmış niobum ve Al_2O_3 arasında bağlanma durumunda iletilir [23,24]. Bir metal-seramik kütle reaksiyonunun oluşumu gecikebilir. Nikel, oksidasyon atmosferinde Al_2O_3 ile bağlandığında spinel yapıda arada bulunan karışmış oksit oluşur [25], bununla birlikte bu malzemeler bir vakum veya indirgeyici koşullarda bağlandığında spinel oluşmaz ve daha güçlü bir bağ üretilir [20]. Havada bağlandıklarında niobum ve Al_2O_3 arasında bir ara reaksiyon tabası bulunur [26] fakat vakumda bağlandıklarında [24] kesin bir atomik arayüzey gözlenir ve daha güçlü bağ oluşur. ZrO_2 -Ni için daha güçlü olan vakumda yeniden kaynak yapıldığında daha güçlü bağlar oluştuğu gözlemlenmiştir [11].

Bu gözlemlerin birçoğu oksit seramiklerin sıvı metallerce ıslatılmasını açıklamak için geliştirilen metal-seramik arayüzey modelleriyle uyum içindedir [27,28]. Naidlich'in modelinde karışık oksitten çok ince arayüzey istenmekte ve adhezyonun işinin metal oksidasyonundaki serbest enerjiyle doğrusal ilişkide olduğu görülür [27]. Bir oksijen kaynağı mevcutsa, spinel formundaki serbest enerji tarafından adhezyonun işine karar verildiği hallerde, metallere alümina reaksiyona girerse karışık bir spinel yapıya sahip oksit elde edilebilir. Metal-ramik katı hal arayüzeylerine çok benzer bir arayüzey olduğu varsayımı, kabul edilebilir.

Genel bir ara reaksiyon fazı oluştuğunda yerel hacim değişmesi ortaya çıkacaktır. Bu hacim değişimi bağlamadan sonra arayüzeyde kalıcı gerilme doğuracaktır ve böyle gerilmeler bazı kritik reaksiyon miktarı üzerinde olumsuz etkiler yaratabilir. Bu, Al_2O_3 -Nb ve ZrO_2 sistemlerinde daha güçlü bağlar elde edilmesini sağlayacak reaksiyon tabakası olmayışı bu olay ile açıklanır. Bununla birlikte, bazı durumlarda güçlü bağlar oluşturulabilen reaksiyon sistemleride gözlenmiştir (değerli metal oksit bağları gibi) fakat bu sadece gerçek bağlanma koşullarını oluşturan ortamlarda yapılmayan deneylerde görülmüştür. Buradan bu sonuçların ikna edici olmadığı söylenebilir [21]. İki tür bağlanma olabilir: bir tanesinde adhezyon için bazı kimyasal reaksiyonlar gereklidir ve diğerlerinde ise bağlanma için kimyasal reaksiyon gerekmez ve daha sonra çevresel etkilerle

meydana gelen kimyasal reaksiyonlar bağlanma mukavemetini kalıcı gerilmeler oluşturarak düşürür. Bir kaynağın gerçek mukavemeti adhezyonunun işiyle ilişkilendirilmelidir ve bu malzeme kompozisyonundaki küçük değişiklerin bağlama davranışlarına büyük etkileri olacağını gösteren Şekil 8'de [29] ki ilişkiyle kalitatif olarak doğrulanmıştır.



Şekil 8. Adhezyonun işi, metal-seramik arayüzey enerjisi ve elde edilen bağ mukavemeti arasındaki ilişkiler. Burada adhezyonun işinin yüksekliği ve iyi bağ mukavemeti arasında bir ilişki olduğu görülebilir.

Arayüzey reaksiyonları daha çok oksit olmayan malzemeleri bağlamada yaygındır, örneğin, SiC veya Si₃N₄. Bu seramikler yüksek sıcaklıklardaki metallere nazaran genelde daha az kararlıdır. Bu, nispeten düşük sıcaklıklarda ötektik metal-silisit demir ve nikel erimesiyle bağlanmanın gerçekleştiği Si₃N₄ gibi olaylarda uygulanabilir [30,31]. Bu reaksiyonlar karmaşık arayüzeye sahip mikroyapılar oluşturur. Benzer reaksiyonlar SiC ve metaller arasındaki bağlarda da tespit edilmiştir. Karbürler ve nitrürler için güçlü difüzyon bağları elde edilememiştir ve tipik bağlama mukavemeti 50-100 MPa arasındadır [31]. Bunun

sebebi çok düşük ısıl genişleme katsayısına sahip oksit olmayan seramiklerde artan gerilme problemlerinden dolayı olabilir [26].

Seramik (A_xB_y) ile metal (C_z) arasında reaksiyon ürünü (C_zB_y) oluşturacak şekilde bir reaksiyonun termodinamik olarak gerçekleşip gerçekleşmeyeceğini inceleyecek olursak;

$A_xB_y + C_z \longrightarrow C_zB_y + xA$ reaksiyonunun gerçekleşmesi için gerekli serbest enerji miktarı aşağıdaki gibi hesaplanır.

Ayrışma reaksiyonlarının

Entalpi değişimi (ΔH) Entropi değişimi (ΔS)



ikinci reaksiyon ters çevirilip birinci ile toplanırsa



$A_xB_y + zC \longrightarrow C_zB_y + xA$ şeklinde reaksiyon gerçekleşir.

$$\text{Reaksiyonların entalpi farkı } (\Delta H_T); \Delta H_T = \Delta H_1 - \Delta H_2 \quad (2.8)$$

$$\text{Reaksiyonların entropi farkı } (\Delta S_T); \Delta S_T = \Delta S_1 - \Delta S_2 \quad (2.9)$$

$$\text{Serbest enerji } (\Delta G_T); \Delta G_T = \Delta H_T - T\Delta S_T \quad (2.10)$$

Reaksiyonun gerçekleşip gerçekleşmeyeceğini saptamak için ΔG (serbest enerji) farklarına bakmak gerekir. Termodinamik olarak reaksiyonun gerçekleşmesi için ΔG farkının negatif (-) çıkması gerekir. Çünkü enerji ne kadar negatif ise kararlılık o kadar fazladır. Termodinamik hesaplamalar için bazı seramik bileşiklerinin ayrışma reaksiyonları ve bu reaksiyonlara ait entalpi ve entropi değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Bazı seramiklerin ayrışma reaksiyonları ve bu reaksiyonlara ait termodinamik değerler [32]

Reaksiyonlar	ΔH° (J/mol)	ΔS° (J/mol)	Derece ($^\circ\text{C}$)
$\text{AlN}_{(k)} \rightarrow \text{Al}_{(s)} + 1/2 \text{N}_2$	326751	115.4	660-2000
$\text{Al}_2\text{O}_3 \rightarrow 2\text{Al}_{(s)} + 3/2 \text{O}_{2(g)}$	1685627	326.5	660-2050
$\alpha\text{-Si}_3\text{N}_4 \rightarrow 3\text{Si}_{(k)} + 2\text{N}_{2(g)}$	723140	314.8	25-1412
$\alpha\text{-Si}_3\text{N}_4 \rightarrow 3\text{Si}_{(k)} + 2\text{N}_{2(g)}$	873620	404.6	1412-1700
$\beta\text{-SiC}_{(k)} \rightarrow \text{Si}_{(k)} + \text{C}_{(k)}$	72983	7.65	25-1412
$\beta\text{-SiC}_{(k)} \rightarrow \text{Si}_{(k)} + \text{C}_{(k)}$	122474	37.00	1412-2000
$\text{TiN}_{(k)} \rightarrow \text{Ti}_{(k)} + 1/2\text{N}_{2(g)}$	335988	93.17	25-1670
$\text{TiB}_{2(k)} \rightarrow \text{Ti}_{(k)} + 2\text{B}_{(k)}$	284240	20.48	25-1670
$\text{TiC}_{(k)} \rightarrow \text{Ti}_{(k)} + \text{C}_{(k)}$	184588	12.54	25-1670
$\text{TiO}_{(k)} \rightarrow \text{Ti}_{(k)} + 1/2\text{O}_{2(g)}$	514140	73.99	25-1670
$\text{YN}_{(k)} \rightarrow \text{Y}_{(k)} + 1/2\text{N}_{2(g)}$	296780	99.48	25-1526
$\text{ZrO}_2 \rightarrow \text{Zr}_{(k)} + \text{O}_{2(g)}$	1090980	183.5	25-1850
$\text{NiO}_{(k)} \rightarrow \text{Ni}_{(k)} + 1/2\text{O}_{2(g)}$	235376	85.98	25-1984

2.4.3. Termal genişleme katsayıları (α) uyumu

Kaynaklamada, metal ile seramiğin termal genişleme katsayılarının birbirine yakın olması istenir. Çünkü α değerleri birbirine ne kadar yakın olursa termal gerilme (σ) farkları o kadar az olmaktadır. Tablo 3'te bazı malzemelerin α değerleri verilmiştir.

Termal gerilme (σ)

$$\sigma = E_k (\alpha_s - \alpha_k) (T_2 - T_1) (1 - \nu) \quad (2.11)$$

olarak ifade edilir.

Burada;

E_k = Metalin elastisite modülü

α_s = Seramiğin termal genişleme katsayısı

α_k = Katının (metal) termal genişleme katsayısı

T_2 = Oda sıcaklığı

T_1 = Seramik- metal arayüzey sıcaklığı

ν = Metalin poisson oranıdır.

Tablo 3. Bazı seramik ve metallerin termal genleşme katsayıları [7]

<u>Malzeme</u>	<u>Erime sıcaklığı (°C)</u>	<u>Termal genleşme katsayıları (X10⁻⁶/K)</u>
SiC	2700 ⁺	4.3
TiC	3140	7.2
Si ₃ N ₄	1900	2.5
TiN	2900	8.1
Al ₂ O ₃	2050	7.9
SiO ₂	1710 ⁺⁺	3.0
ZrO ₂	2960	7.5
Al	660	23.5
Ti	1677	8.9
Ni	1455	8.9
Si	-	3.5

+ erimez, fakat katı halden sıvı hale geçmeden buharlaşır.

++ Kristalin SiO₂ , camlaşmış SiO₂ için katsayı 0.5 X 10⁻⁶/K

2.5. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada, daha önce başarı ile yapılmış olan oksit seramik kaynakların karakterizasyon çalışmalarına ilave olarak oksit olmayan seramiklerin kaynaklanması ve elde edilen kaynakların mukavetlerinin ölçülmesi ve arayüzeylerinin karakterizasyonu sonucu kaynak mukavemeti ile arayüzey ilişkilerinin saptanması amaçlanmaktadır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Malzemeler

Genel olarak kaynaklarda kullanılacak malzemeler ve özellikleri, Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. Seramiklerde kullanılan kaynak malzemeleri ve özellikleri

Kaynaklanacak Malzemeler	Folyo Malzemeleri	Folyo Kalınlığı (μm)
$\text{ZrO}_2\text{-ZrO}_2$	Ti	10
	$\text{Al}_x\text{Ni}_y\text{Y}_z$	20-65
$\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$	Ti	10
$\text{Si}_3\text{N}_4\text{-Si}_3\text{N}_4$	$\text{Al}_x\text{Ni}_y\text{Y}_z$	10
	Ti	10
SiAlON-SiAlON	Ti	10
	$\text{Al}_x\text{Ni}_y\text{Y}_z$	20-65
$(\text{SiC-TiB}_2)\text{-(SiC-TiB}_2)$	$\text{Al}_x\text{Ni}_y\text{Y}_z$	20-65
	Ti	10
SiAlON-SiC	$\text{Al}_x\text{Ni}_y\text{Y}_z$	20-65
$\text{ZrO}_2\text{-(SiC-TiB}_2)$	$\text{Al}_x\text{Ni}_y\text{Y}_z$	20-65
	Ti	10
SiC-SiC	Al	10
	Ti	10
$\text{Si}_3\text{N}_4\text{-ZrO}_2\text{-(SiC-TiB}_2)$	Ti	10

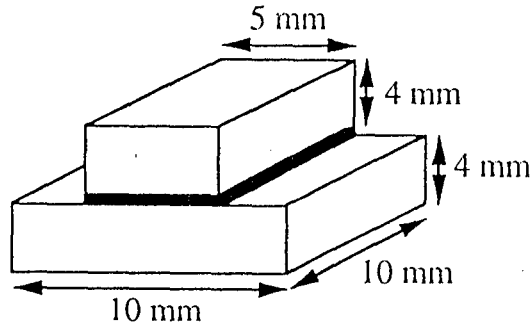
3.2. Malzeme Hazırlama

Kaynaklanacak olan seramik malzemeler iki aşamada hazırlanmaktadır:

i) kesme ve ii) parlatma

3.2.1. Kesme

Kaynaklanacak olan seramik parçalar yaklaşık 4 mm kalınlığında 10x10 mm ve 10x5 mm boyutlarına sahip karolar şeklinde kesilir. Şekil 9'da şematik olarak gösterildiği gibi 10x5 mm yüzeyli bir parça 10x10 mm yüzeyli karonun merkezine kaynaklanmaktadır*



Şekil 9. Seramik parçaların şematik olarak kaynaklanmış hali

3.2.2. Parlatma

Kaynaklanacak yüzeyler kaynaklanmadan önce uygun olarak hazırlanmalıdır. Karoların kaynaklanacak yüzeyleri son kademedede 1 μm elmas pasta ile $R_a=0.0074 \mu\text{m}$ yüzey pürüzlülüğü verecek şekilde parlatılmıştır. Karoların köşegenleri boyunca yapılan yüzey derinliği ölçümü 1 μm ya da daha az bombeleşme meydana geldiğini göstermiştir. Kaynaklama yapılmadan önce seramik ve metal ara tabaka yüzeyi iyonik olmayan sulu deterjanla ultrasonik olarak temizlenmiştir.

* Denemeler en uygun aratabaka kalınlığının 3 mm olduğunu göstermiştir.

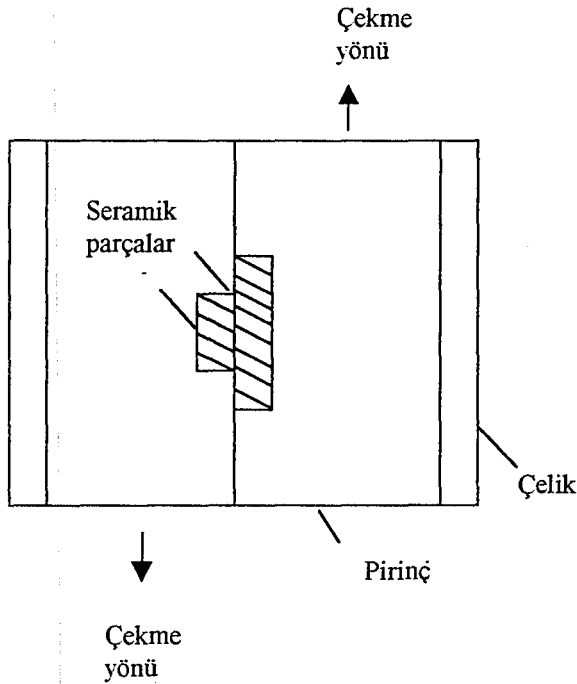
3.2.3. Kaynaklama

Metal ara tabaka iki seramik parça arasına yerleştirilir ve kapasitör 2 kV'a şarj edilir ve basınç uygulanırken deşarj edilir. Bağlanma esnasında modifiye edilmiş instron çekme cihazı ile 10 MPa basınç uygulanır (Şekil 3). Her deneysel koşul için en az 5 kaynak yapılmıştır. Yapılanların en az üçü bağ mukavemetinin ölçülmesi için kayma testinde kullanılır. Bir tanesi mikroskopta incelenirken diğeri de yedek olarak saklanmaktadır.

3.3. Mekanik Testler

Kaynak mukavemetini ölçmek için kayma testi uygulanmıştır. Kaynaklar, pirinç bir sürgü tarafından paralel hareketli baskı yapılan iki sürme tutanaktan meydana gelen bir donanım kullanılarak bir Schenck gerilme düzeneğinde test edilmiştir.

10 kN yüke sahip hücre ve 0.5 mm/min düzgün bir hız kullanılmıştır. Kayma donanımının şematik çizimi Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10. Kayma testinin şematik görünüşü

3.4. Mikroyapı İncelemesi İçin Numune Hazırlama ve Kullanılan Cihazlar

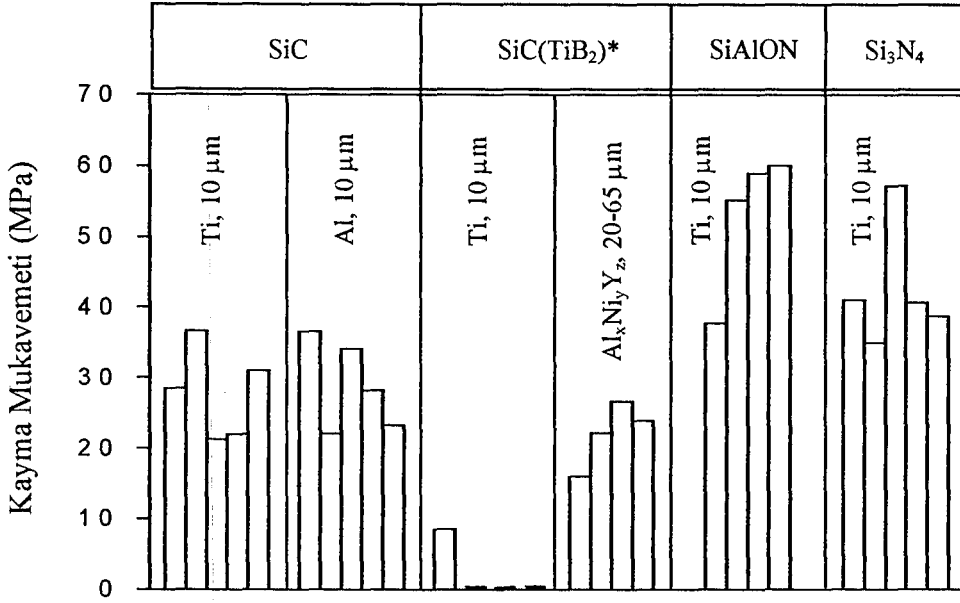
Mikroskopta incelenecek olan numune kaynaklamadan sonra kaynaklama yüzeyine dik yönde kesilip bakalite alınır. Daha sonra numune yüzeyi sırasıyla 45, 9 ve 1 μm 'a kadar elmas pasta ile parlatılır.

Parlatılan numuneler genel bir mikroyapı görüntüsü için optik mikroskopta incelenmiştir (Olympus BXM 60 marka). "Agar Sputter Coater" cihazı ile numunenin şarj etmesini engellemek için yüzey altın ile kaplanır. Bu işlem 0,08 mbar vakum, 30 mamp kaplama akımında 20 saniye sürede gerçekleştirilmiştir. Daha sonra numunede kaynaklarda oluşan arayüzeylerin ve bu arayüzeylerin kimyasal analiz işlemleri için taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemesine geçilmiştir. Kaynaklama sonucu oluşan ara yüzey incelemeleri, kompozisyon analizleri gibi incelemeler çok ince pencereci enerji saçılımlı X-ışını spektrometresine (EDX) sahip 20 kV'da çalıştırılan Cam Scan S4 SEM cihazının kullanılmasıyla gerçekleştirilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Kayma Testi Sonuçları

Oksit olmayan kaynakların kayma testi sonucu elde edilen mukavemet değerleri Şekil 11’de verilmiştir. Oksit seramiklere ait deneysel sonuçlar ise Şekil 4’de gösterilmiştir.



Şekil 11. Oksit olmayan seramik kaynaklara ait kayma testi sonuçları

SiC parçaların Ti ve Al folyolar kullanılarak kaynaklanması sonucu elde edilen kaynakların mukavemet değerleri karşılaştırıldığında aralarında belirgin bir fark olmadığı görülmektedir.

SiC(TiB₂)* parçalarının Ti ve Al_xNi_yY_z folyolar kullanılarak yapılmış her iki kaynağın mukavemet değerleri karşılaştırıldığında, Ti folyo ile yapılan kaynağın mukavemetinin iyi olmadığı saptanmıştır. Bunun sebebi TiB₂'ün iletkenliği arttırarak kapasitör-deşarj tekniğinin çalışmamasına sebep olmasıdır.

* (SiC-TiB₂)-Ti-(SiC-TiB₂) kaynağında en yüksek bağlanma 8.5 MPa ile gerçekleşmiş olup diğer 3 kaynakta hiç bağlanma olmamıştır.

Tablo 5’de bazı bileşiklerin ve TiB_2 ’ün elektrik direnç değerleri verilmiştir. Bu değerleri karşılaştırdığımızda TiB_2 ’ün değerinin düşük olduğu söylenebilir. Oysaki aynı seramik parçalar $Al_xNi_yY_z$ folyo ile kaynaklandığında mukavemet değerleri iyidir. Bunun sebebi ise $Al_xNi_yY_z$ ’un ergime noktasının TiB_2 ’e göre düşük olmasıdır (Tablo 3).

Tablo 5. Bazı bileşiklerin elektriksel direnç değerleri [9]

Bileşik	Elektriksel Direnç (mikroohm-cm)
Al_2O_3	5.0×10^{13}
ZrO_2	-
SiC	10^3-10^5
TiC	190
TiB_2	15.3
Si_3N_4	-
TiN	130
AlN	4×10^{12}

$SiAlON$ ve Si_3N_4 seramik parçalarının Ti folyolar ile yapılmış kaynakları SiC ile yapılmış kaynaklara göre daha iyidir ve her iki kaynağın mukavemet değerleri ise birbirine benzemektedir. Bunun sebebi kırılma tokluklarının benzer olması olabilir. Ayrıca $SiAlON$ ve Si_3N_4 kaynaklarında reaksiyonlar SiC’e göre daha şiddetli olabilir.

4.2. Mikroyapı İncelemeleri

Mikroyapı incelemelerini üç başlık altında toplayabiliriz. Bunlar:

- Oksit seramik kaynakların mikroyapı incelemeleri
- Oksit olmayan seramik kaynakların mikroyapı incelemeleri
- Karışık kaynakların mikroyapı incelemeleri

4.2.1. Oksit seramik kaynaklarının incelenmesi

4.2.1.1. ZrO_2 -Ti- ZrO_2 kaynağının mikroskop incelemesi

Ti folyo kullanılarak ZrO_2 seramik parçalar birbirine kaynaklanmıştır. Bu kaynağa ait SEM mikroyapı görüntüsü Şekil 12(a) ve (b)'de, aratabakadan alınan EDX analizi ise Şekil 12(c)'de gösterilmiştir.

Şekil 12(a)'dan görüleceği gibi iyi bir kaynak gerçekleşmiş, Ti ile ZrO_2 arasında düzgün bir birleşme sağlanmıştır. Aratabaka kalınlığı yaklaşık olarak aynı kalmıştır.

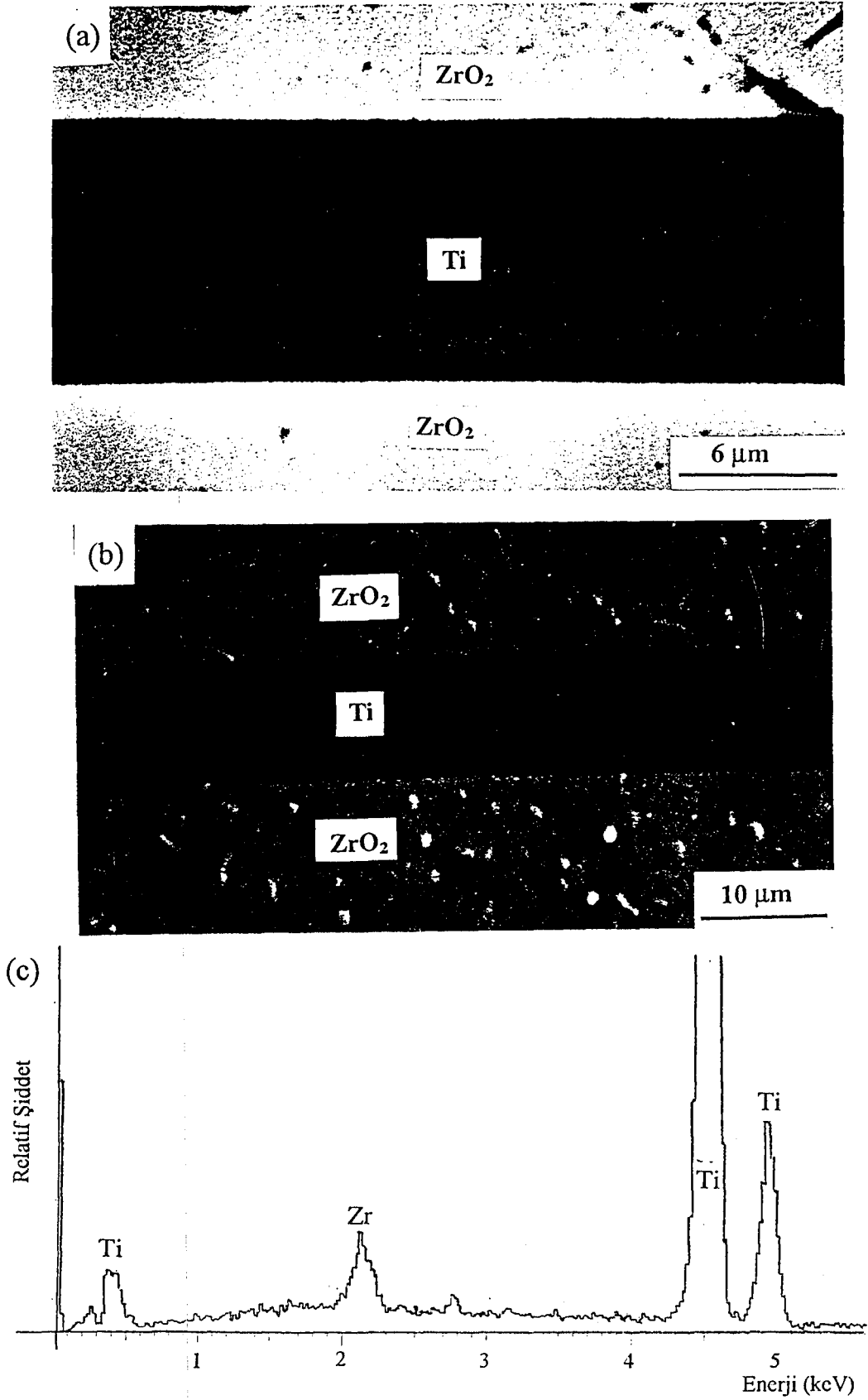
Aratabaka Ti metalinden toplanan EDX spektrumunda (Şekil 12 (c)), Ti'un yanısıra Zr'a rastlanmıştır. Buna karşılık oksijen saptanamamıştır. Bu da göstermektedir ki ZrO_2 'dan serbest kalan Zr metali Ti aratabasına difüz olmuştur. Ayrıca Ti metali kaynaklama esnasında oksitlenmemiştir.

Şekil 12(b)'de gösterilen mikroyapı görüntüsünde metal aratabakada bir çatlak oluştuğu görülmektedir. Burada ki çatlak her iki seramik malzemede devam etmektedir. Bu çatlak seramik malzeme ($\alpha = 7,5 \times 10^{-6}/K$) ile folyo malzemesi ($\alpha = 8,9 \times 10^{-6}/K$) arasındaki genleşme katsayılarının uygun olmamasından yada malzeme hazırlanırken oluşmuş bir çatlak olabilir.

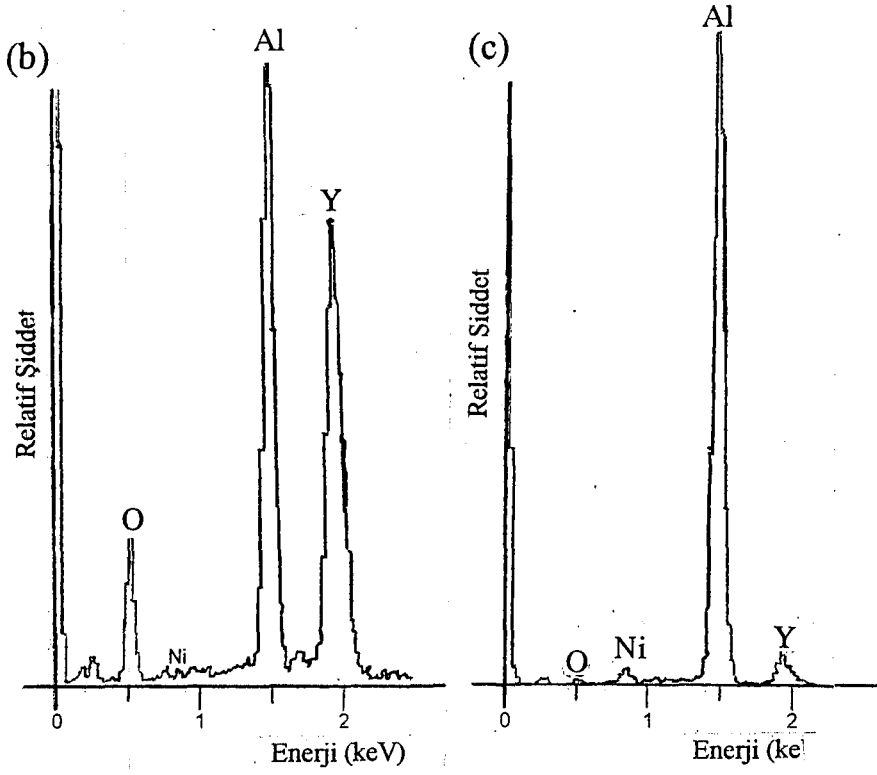
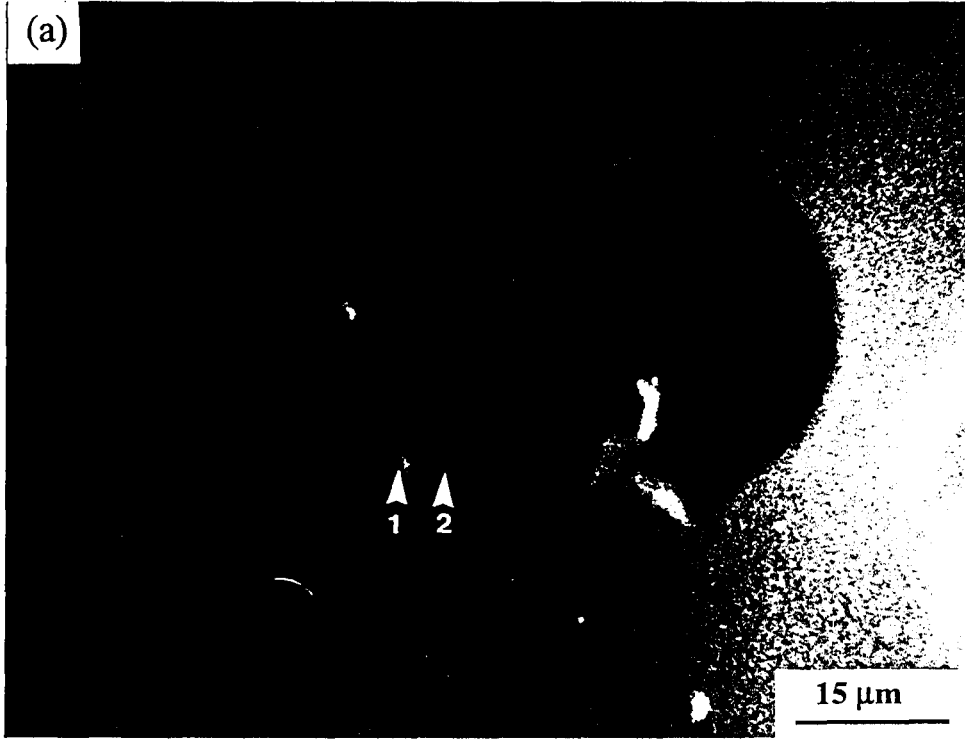
4.2.1.2. Al_2O_3 - $Al_xNi_yY_z$ - Al_2O_3 kaynağının kayma testi sonucu oluşan kayma yüzeylerinin incelenmesi

$Al_xNi_yY_z$ folyo kullanılarak yapılan Al_2O_3 kaynağının kırık yüzeyinin SEM görüntüsü Şekil 13(a)'da verilmiştir. SEM fotoğrafında yüzeyde beyaz küresel taneler görülmektedir. Şekil 13(a)'da ok ile işaretlenen 1 ve 2 noktalarının EDX analizleri Şekil 13 (b) ve (c)'de verilmiştir.

Ayrıca büyük siyahlıklar, üstteki parçanın kopmuş olduğunu ve alt tabanın ortaya çıkmış olduğunu göstermektedir.



Şekil 12 (a) ve (b) ZrO_2 -Ti- ZrO_2 kaynağının SEM görüntüleri, (c) Ti aratabakasının EDX analizi



Şekil 13 (a) $Al_2O_3-Al_xNi_yY_z-Al_2O_3$ kaynağının kayma testi sonucu oluşan kayma yüzeyinin SEM görüntüsü, (b) 1. noktanın EDX analizi, (c) 2. noktanın (tanenin yanı) EDX analizi

1 numaralı noktadan elde edilen EDX analizinde Al ve Y elementlerinin piklerinin yanısıra O₂ pikide oldukça yüksek bir şiddete sahiptir. 2 numaralı nokta (tanenin yanı)'dan elde edilen EDX analizine bakıldığında, Al oldukça şiddetli bir pike sahip olup Ni, Y ve Al'ye göre çok daha az şiddete sahiptir. O₂ ise çok az bir şiddettedir. Buradan 2. noktanın Al_xNi_yY_z folyo olduğu ve 1 ile gösterilen beyaz kürenin yüksek miktarda Al ve Y içeren bir oksit tanesi olduğu söylenebilir.

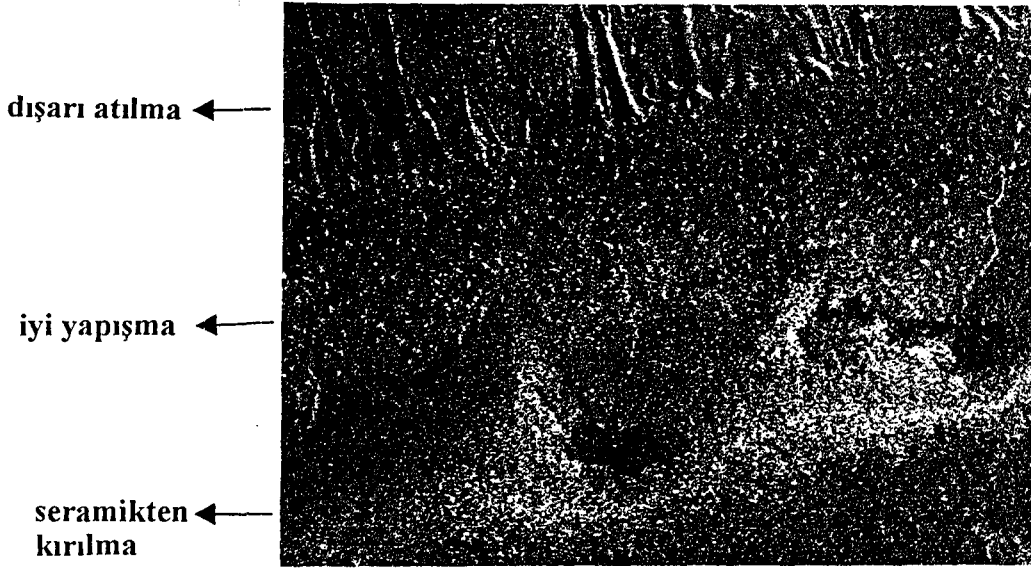
Tablo 6'da 1. ve 2. noktalarda bulunan elementlerin % atom ağırlıkları ve muhtemel Y, O₂, Al içeren bileşiklerin element analizleri verilmiştir. Meydana gelebileceği düşünülen YAM (Y₄Al₂O₉), YAG (Y₃Al₅O₁₂), ve YAP (YAlO₃) fazlarının % atom ağırlıkları karşılaştırılmıştır.

Buradan da görüleceği gibi 1 nolu noktada O₂ ve Y oldukça fazladır. Burada yeni bir kristal meydana gelmiş olabilir. Ancak XRD (X-ışınları difraksiyon tekniği) ile ne oldukları saptanamamıştır. Kantitatif olarak bu tanenin belirlenmesi çok zordur. Çünkü EDX analizi ile saptanabilecek minimum numune miktarı 1µm³'dür. Bu tanenin boyutu ise 1 µm boyutundadır ve tanenin alt ve yanlarında X-ışınları gelmektedir.

Tablo 6. 1. ve 2. (tanenin yanı) noktanın yarı kantitatif EDX analizi sonucu elde edilen yaklaşık kompozisyonları ve Y₂O₃-Al₂O₃ sisteminde oluşması beklenen fazların kimyasal bileşimleri

	1. nokta	2. nokta (tanenin yanı)	YAG (Y ₃ Al ₅ O ₁₂)	YAM (Y ₄ Al ₂ O ₉)	YAP (YAlO ₃)
Al	23.53	82.88	22.72	9.75	16.4
O	16.47	7.47	32.3	26.00	29.29
Ni	-	4.13	-	-	-
Y	60	5.52	44.93	64.24	54.3

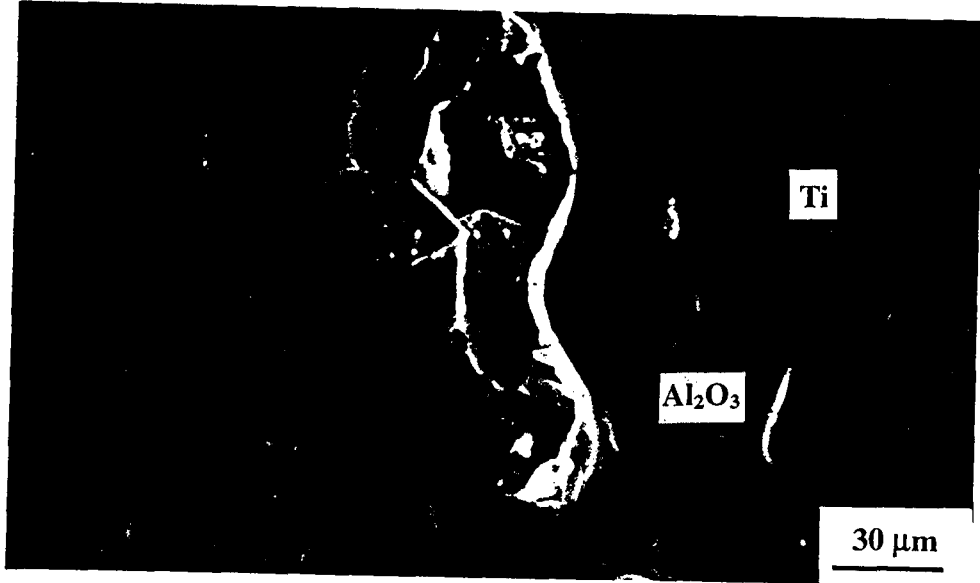
Kırık yüzeyine ait bir başka SEM görüntüsü Şekil 14’de verilmiştir. Burada görüldüğü gibi üst kısımda Al_2O_3 kaynaktan dışarıya taşmıştır. SEM görüntüsünde ortada bulunan kısımda iyi bir yapışma olduğunu göstermektedir. Alt kısımda ise test sonucu oluşan karşı yüzeyde kırılmalar meydana gelerek iki kaynak parçası ayrılmıştır.



Şekil 14. $Al_2O_3-Al_xNi_yY_z-Al_2O_3$ kaynağının kayma testi sonucu oluşan kırık yüzeylerinin diğer SEM görüntüsü

4.2.1.3. $Al_2O_3-Ti-Al_2O_3$ kaynağının SEM görüntüsü

Ti folyo kullanılarak kaynaklanmış Al_2O_3 seramiğinin yüzeyinin kayma testinden sonraki görüntüsü Şekil 15’de gösterilmiştir. Şekil 15’de görüleceği gibi Al_2O_3 yüzeyinde Ti tam olarak yüzeyi ıslatmamıştır. Islatılan kısımlarda çatlamlar meydana gelmiştir. Ancak bu kısımlar diğer Al_2O_3 yüzeyini ıslatmamıştır. Bu tür bağların düşük kayma mukavemetine sahip olmasının sebebi bu ıslatma davranışı olabilir.



Şekil 15 Al_2O_3 -Ti- Al_2O_3 kaynağının SEM görüntüsü

4.2.2. Oksit olmayan seramik kaynaklarının incelenmesi

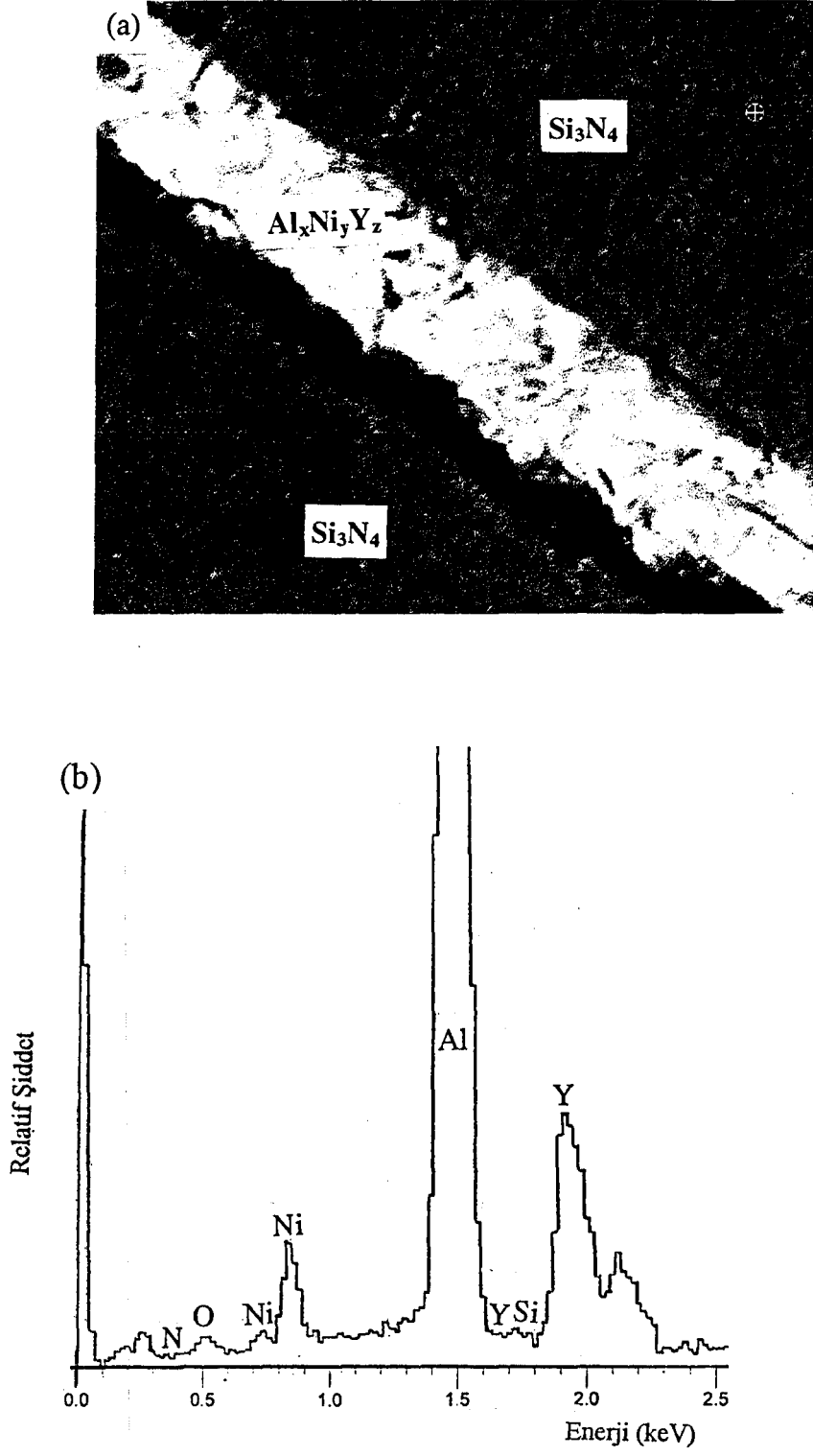
4.2.2.1. Si_3N_4 - $\text{Al}_x\text{Ni}_y\text{Y}_z$ - Si_3N_4 kaynağının mikroskop incelemesi

$\text{Al}_x\text{Ni}_y\text{Y}_z$ folyo kullanılarak kaynaklanan iki Si_3N_4 karosunun mikroskop inceleme sonuçları Şekil 16(a)'da gösterilmiştir. Şekil 16(b)'de ise kaynak bölgesindeki elementlere ait EDX analizi gösterilmiştir.

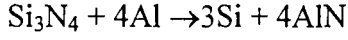
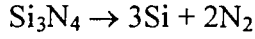
Şekil 16(a)'da görüldüğü gibi iyi bir bağlanma vardır. Altteki karo ile folyo arasında meydana gelen debonding büyük bir ihtimalle bağlanmadan sonraki numune hazırlama esnasında meydana gelmiştir.

EDX analizinde görüleceği gibi folyodan ($\text{Al}_x\text{Ni}_y\text{Y}_z$ 'dan) gelen Al, Ni ve Y mevcut olup Si_3N_4 'den Si ve N gelmemiştir. Çok az miktarda da O mevcuttur. Sonuçta bu bölgeye Si_3N_4 'den herhangi bir difüzyon meydana gelmediği saptanmıştır.

Si_3N_4 ile Al ve Y arasında olabilecek reaksiyonlara termodinamik yönden Tablo 3'te ki değerleri ve eşitlik 2.8, 2.9 ve 2.10'u kullanarak bakacak olursak;



Şekil 16 (a) $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-Al}_x\text{Ni}_y\text{Y}_z\text{-Si}_3\text{N}_4$ kaynağının SEM görüntüsü, (b) $\text{Al}_x\text{Ni}_y\text{Y}_z$ aratabakasının EDX analizi



$$\text{AlN oluşumu için} \quad \Delta S = 4 \times (-115.4) = -461.6 \text{ J} \quad (660-2000 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$\Delta H = 4 \times (-326751) = -1307004 \text{ J}$$

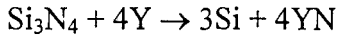
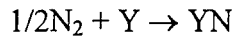
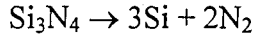
$$\text{Si}_3\text{N}_4 \text{ ayrışımı için} \quad \Delta S = 404.6 \text{ J} \quad (1412-1700 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$\Delta H = 873620 \text{ J}$$

$$\Delta H_t = 873620 - 1307004 = -433384 \text{ J}$$

$$\Delta S_t = 404.6 - 461.6 = -57 \text{ J}$$

$$\Delta G_t = -433384 - T \times (-57) < 0 \quad \Rightarrow T < 7603.2 \text{ K}$$



$$\text{YN oluşumu için} \quad \Delta S = 4 \times (-99.48) = -397.92 \text{ J} \quad (25-1526 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$\Delta H = 4 \times (-296780) = -1187120 \text{ J}$$

$$\text{Si}_3\text{N}_4 \text{ ayrışımı için} \quad \Delta S = 404.6 \text{ J} \quad (1412-1700 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$\Delta H = 873620 \text{ J}$$

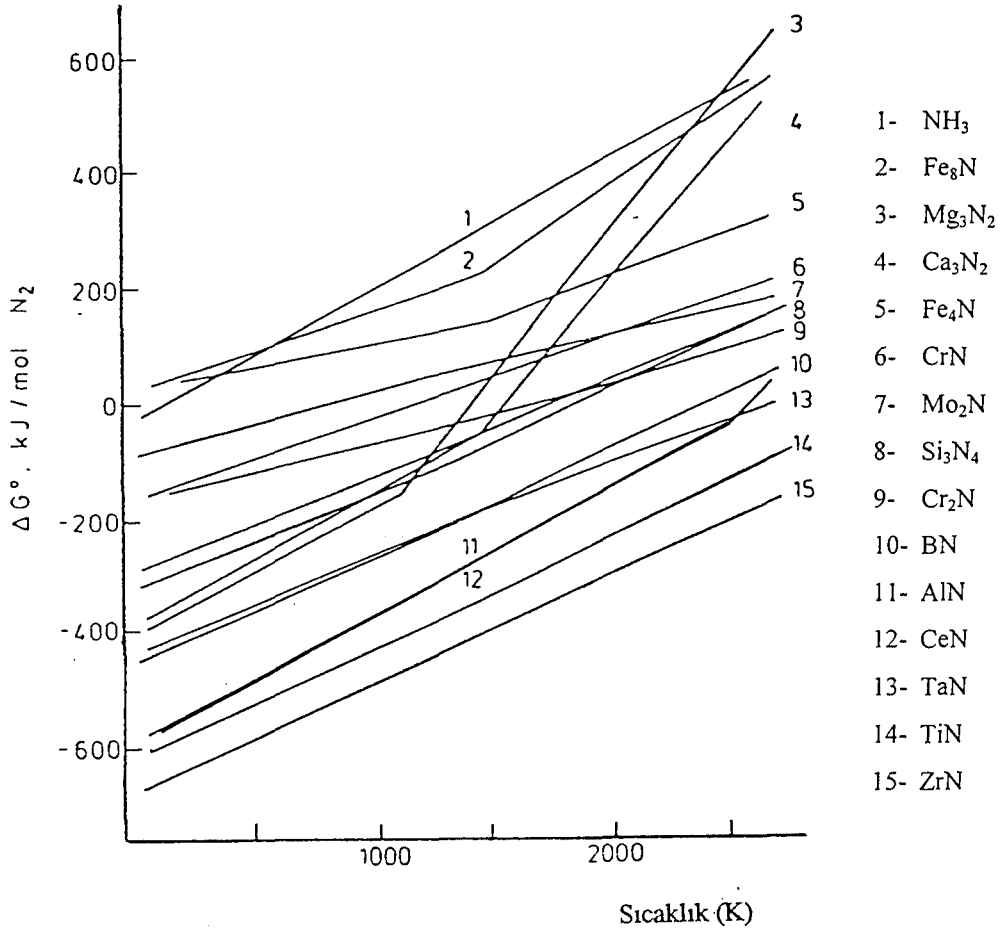
$$\Delta H_t = 873620 - 1187120 = -313500 \text{ J}$$

$$\Delta S_t = 404.6 - 397.92 = 6.68 \text{ J}$$

$$\Delta G_t = -313500 - T \times 6.68 < 0 \quad T < 46931 \text{ K}$$

Termodinamik hesaplamalardan görüldüğü üzere reaksiyonların her ikisi de çok yüksek sıcaklıklara kadar gerçekleşmektedir. Dolayısıyla Si_3N_4 hem Al ile hem de

Y ile reaksiyona girerek arayüzeyde AlN ve/veya YN bileşiği oluşturabilir. Bazı nitrürlerin serbest enerjilerinin sıcaklık ile değişimi Şekil 16(c)'de gösterilmiştir.

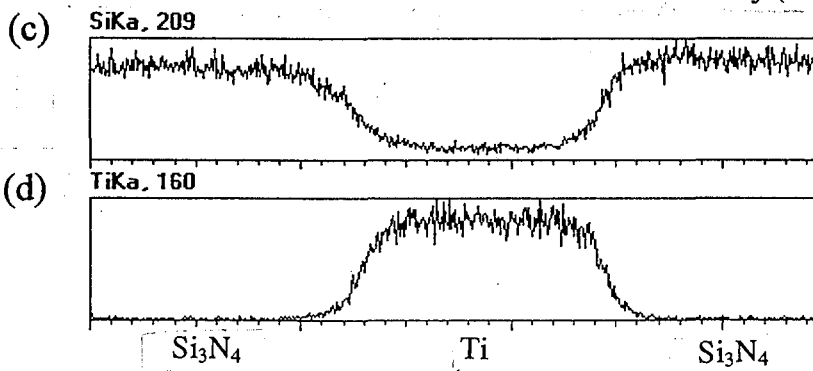
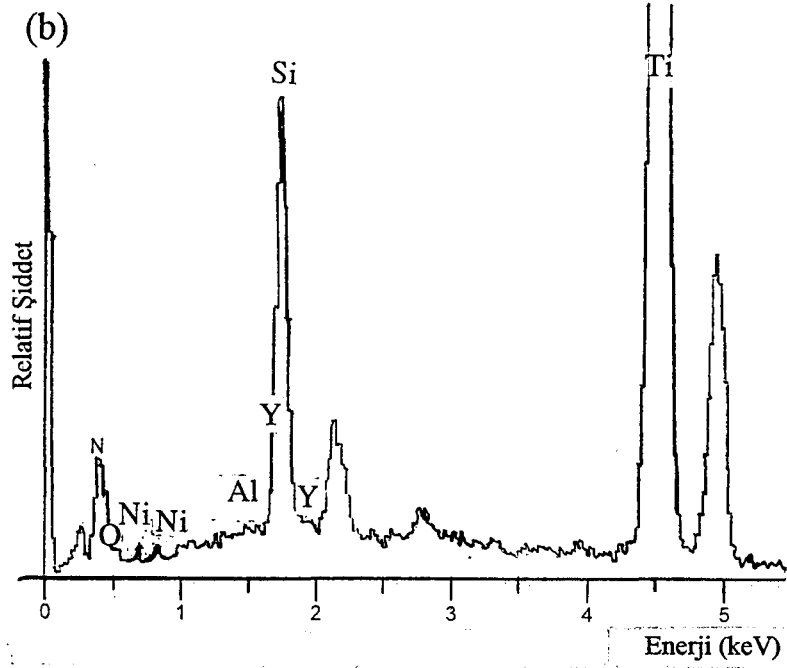
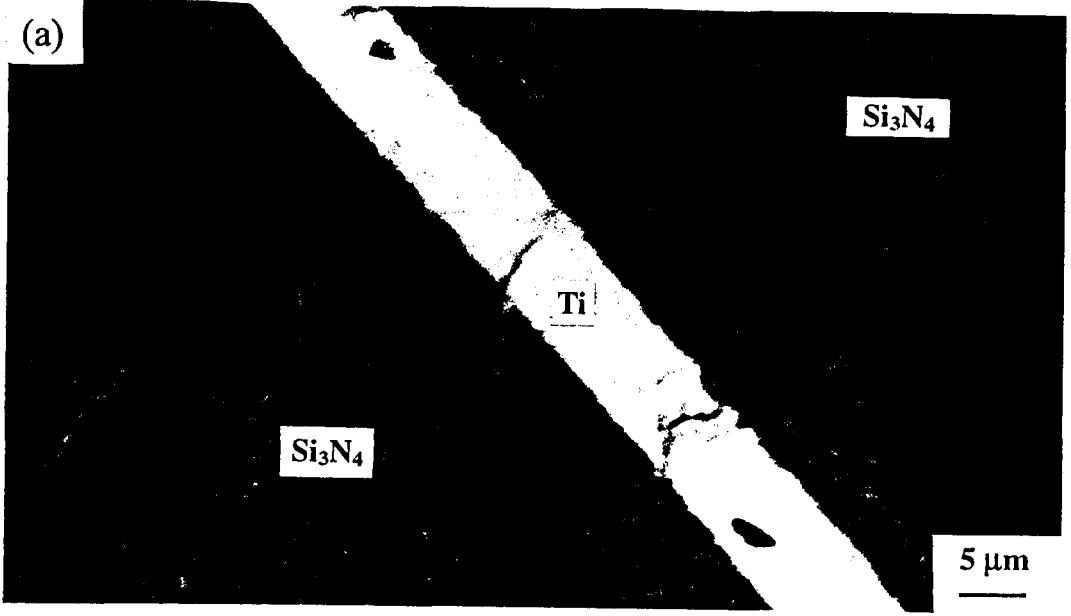


16 (c) Bazı nitrürler için serbest enerji-sıcaklık diyagramı [7]

4.2.2.2. Si₃N₄-Ti-Si₃N₄ kaynağının mikroskop incelemesi

Ti folyo kullanılarak birbirine kaynaklanmış iki Si₃N₄ parçaya ait SEM görüntüsü Şekil 17(a)'da ve kaynak boyunca yapılan EDX analizi Şekil 17(b)'de gösterilmiştir. Şekil 17(c) ve 17(d)'de ise sırasıyla birinci Si₃N₄ parçasından başlayıp aratabakayı geçerek ikinci Si₃N₄ parçasına uzanan bir çizgi boyunca Si ve Ti içeriğinin değişimi gösterilmiştir.

SEM incelemesinde görüldüğü gibi iyi diyebileceğimiz bir kaynak gerçekleşmiştir. Ti ve Si₃N₄ arasında oldukça düzgün bir birleşme gerçekleşmiştir. Ancak Ti aratabakada çatlaklar oluşmuştur.



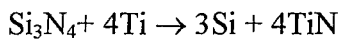
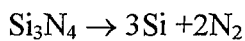
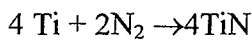
Şekil 17 (a) Si_3N_4 -Ti- Si_3N_4 kaynağının SEM görüntüsü, (b) Ti artabasının EDX analizi, (c) ve (d) Si'un ve Ti'un Si_3N_4 -Ti- Si_3N_4 çizgisi boyunca kompozisyon değişimi

Ti folyodan alınan EDX spektrumuna göre Ti'un yanısıra Si ve N pikleride gözlenmiştir.

Şekil 17(c)'de Si'un kompozisyon değişimine bakacak olursak Si kaynak bölgesinde direk bir iniş yapmamış, yavaşça azalarak belli bir miktarda kaynak bölgesinde sabit kalmıştır. Yani Si konsantrasyonu sifira inmemiştir.

Şekil 17(d)'de Ti'un şiddetinde ise aynı şekilde kaynak bölgesinde direk bir artış yerine yavaşça bir artış meydana gelmiştir.

Sonuç olarak burada Si_3N_4 ile Ti'un arasında bir reaksiyon olabileceği söylenebilir. Bunun içinde termodinamik olarak gerçekleşip gerçekleşmediğine Tablo 2'de ki değerleri kullanarak bakacak olursak:



$$\text{TiN oluşumu için} \quad \Delta S = 4 \times (-93.17) = -372.68 \text{ J} \quad (25-1670 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$\Delta H = 4 \times (-335988) = -1343952 \text{ J}$$

$$\text{Si}_3\text{N}_4 \text{ ayrışımı için} \quad \Delta S = 404.6 \text{ J} \quad (1412-1700 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$\Delta H = 873620 \text{ J}$$

$$\Delta H_T = 873620 - 1343952 = -470332 \text{ J}$$

$$\Delta S_T = 404.6 - 372.68 = 31.92 \text{ J}$$

$$\Delta G_T = -470332 - T \times 31.92 < 0$$

Bu denklemde $-T \times 31.92$ terimi her zaman negatif olacağı için termodinamik olarak reaksiyon her sıcaklıkta gerçekleşecektir (Şekil 17(c)). Daha önceki yapılan çalışmalarda da Si_3N_4 ile Ti'in reaksiyona girerek TiN oluştuğu bulunmuştur (7).

4.2.2.3. SiAlON-Ti-SiAlON kaynağının mikroskop incelemesi

SiAlON-SiAlON parçalar arasına Ti folyo konularak yapılmış kaynağın SEI görüntüsü Şekil 18(a)'da ve Ti folyodan alınan EDX spektrumu Şekil 18(b)'de gösterilmiştir. Şekil 18(c), (d) ve (e)'de sırasıyla Al, Si ve Ti'un bir çizgi boyunca yapılan kompozisyon değişimleri verilmiştir.

Şekil 18 (a)'dan da anlaşılacağı gibi iyi bir kaynak gerçekleşmiş ve kaynak bölgesi düzgün bir hat izlemiştir.

Şekil 18(b)'de folyodan alınan EDX analizinde Ti'un yanı sıra Si, Al, N ve C elementi de mevcuttur. C elementi kirlilikten gelmiştir. Ca elementi SiAlON 'a yapılan katkı malzemesinden gelmiştir.

Şekil 18(c) ve (d)'de Al ve Si'un şiddetinde çok az bir değişiklik olmuştur.

Şekil 18(e)'de Ti'in şiddet değişimine bakacak olursak Ti kaynak bölgesinde direk bir şiddet artışı kaydetmeyip, kaynak bölgesinin başlangıcında yavaş yavaş artmıştır.

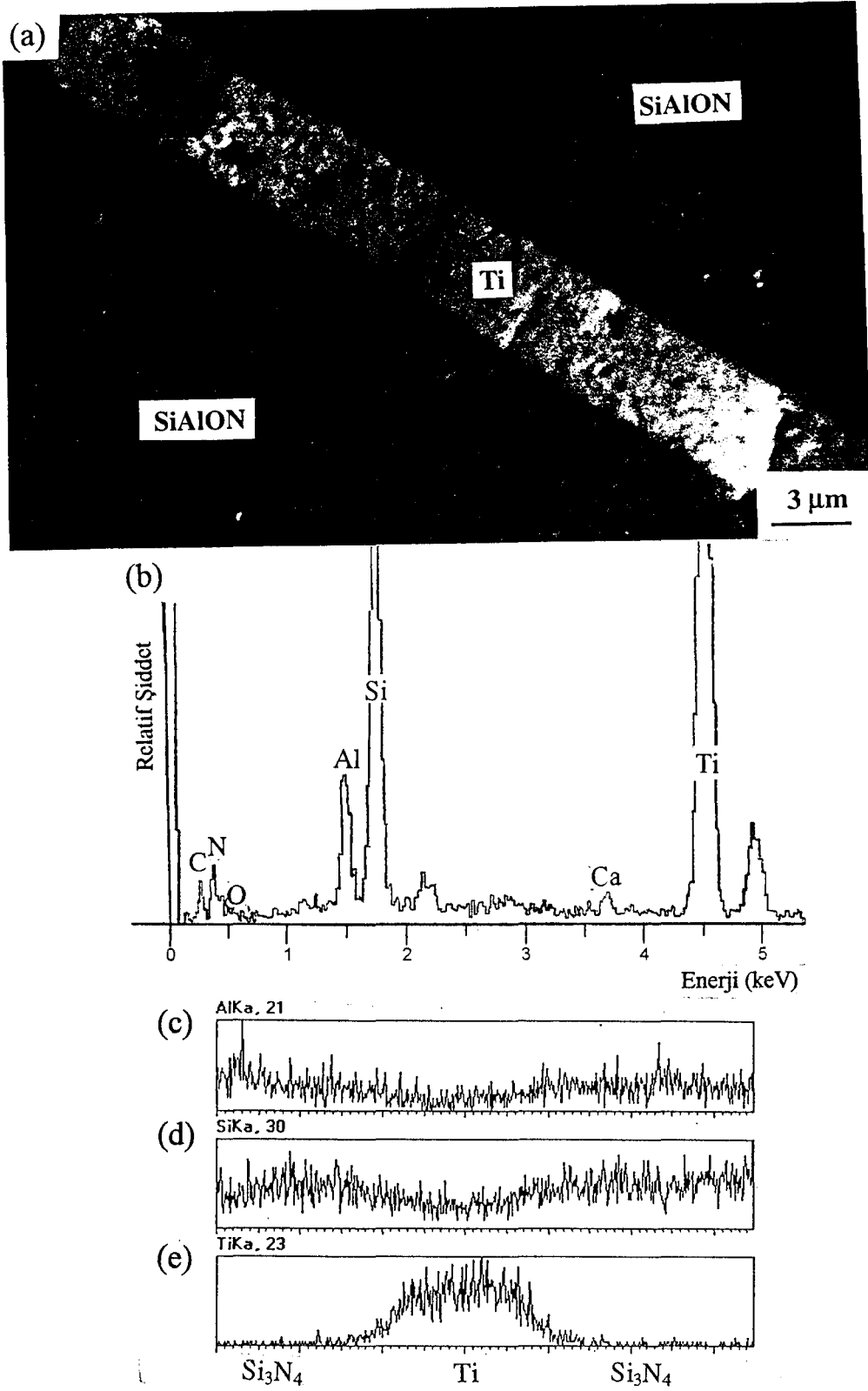
Sonuç olarak kaynaklanacak SiAlON malzemesinden gelen Si ve Al, Ti folyoya difüz olmuştur. Bu da Si_3N_4 kaynaklamada olduğu gibi Ti ile SiAlON'un reaksiyona girmesi sonucu oluşmuş TiN bileşiğinin oluşabileceği bir kaynak elde edilmiştir.

4.2.2.4. SiAlON- $Al_xNi_yY_z$ -SiAlON kaynağının mikroskop incelemesi

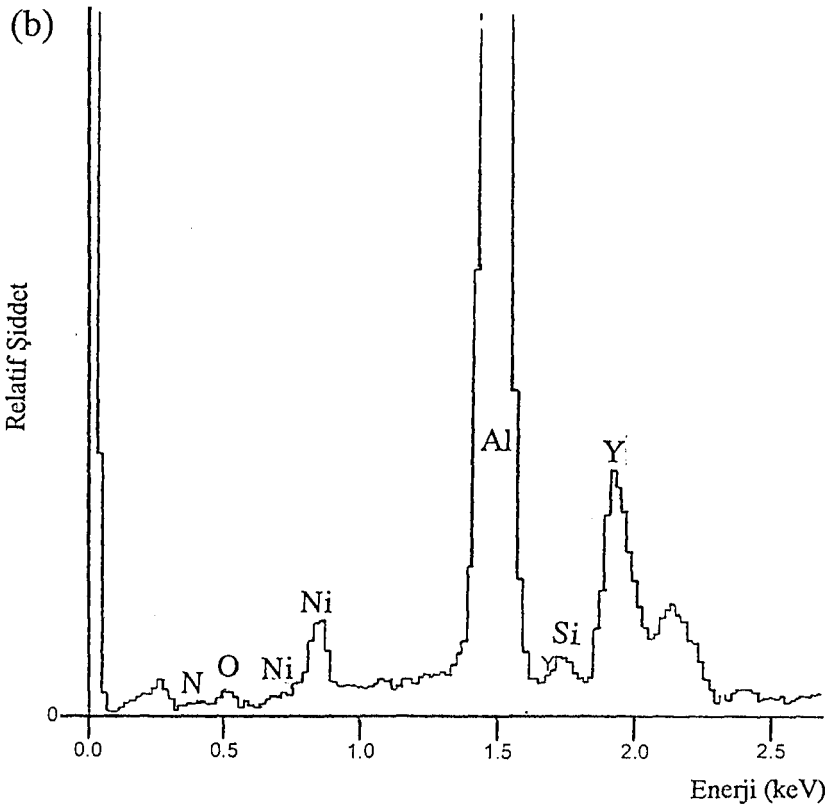
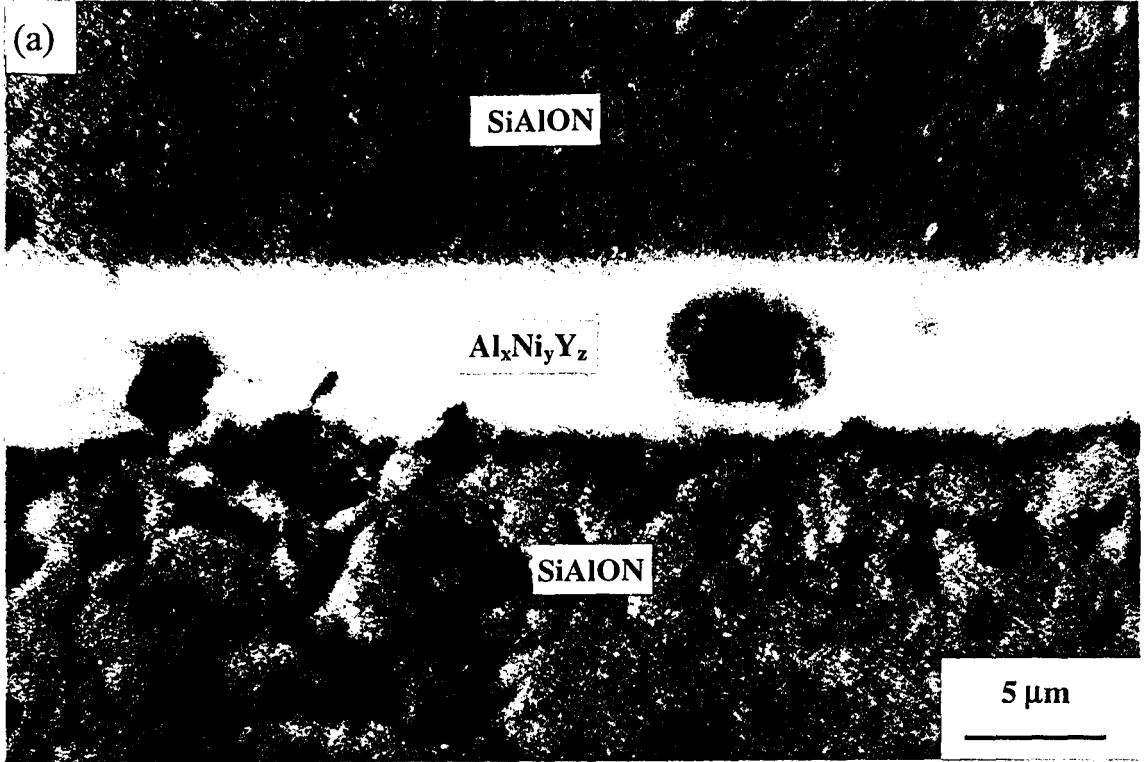
$Al_xNi_yY_z$ folyo malzemesi kullanılarak iki SiAlON malzeme kaynaklanmış ve Şekil 19(a)'da SEM görüntüsü ve Şekil 19(b)'de ise kaynağın EDX analizi verilmiştir.

Şekil 19 (a)'dan iyi sayılabilecek bir kaynak gerçekleştiği söylenebilir.

EDX analizinde folyodan gelen Al, Ni ve Y piklerinin şiddeti fazladır. Bunun yanısıra az miktarda Si ve çok az O_2 mevcuttur. SiAlON'daki Si aratabakaya difüze olmuştur.



Şekil 18 (a) SiAlON-Ti-SiAlON kaynağının SEI görüntüsü (b) kaynağın EDX analizi, (c), (d) ve (e) Al, Si ve Ti'un kompozisyon değişimi



Şekil 19 (a) SiAlON - $Al_xNi_yY_z$ - SiAlON kaynağının SEM görüntüsü, (b) SiAlON- $Al_xNi_yY_z$ -SiAlON kaynağının EDX analizi

4.2.2.5. (SiC-TiB₂)-Al_xNi_yY_z-(SiC-TiB₂) kaynağının mikroskop incelemesi

Al_xNi_yY_z folyo malzemesi kullanılarak iki seramik parçası kaynaklanmış ve kaynağa ait SEM görüntüsü Şekil 20(a)'da verilmiştir. Şekil 20(b)'de üzerinde 3 nokta işaretlenmiş ve büyütülmüş diğer bir SEM fotoğrafı verilmiştir. Fotoğraftaki 1, 2 ve 3 noktalarının EDX analizleri ise sırasıyla Şekil 20(c), (d) ve (e)'de verilmiştir.

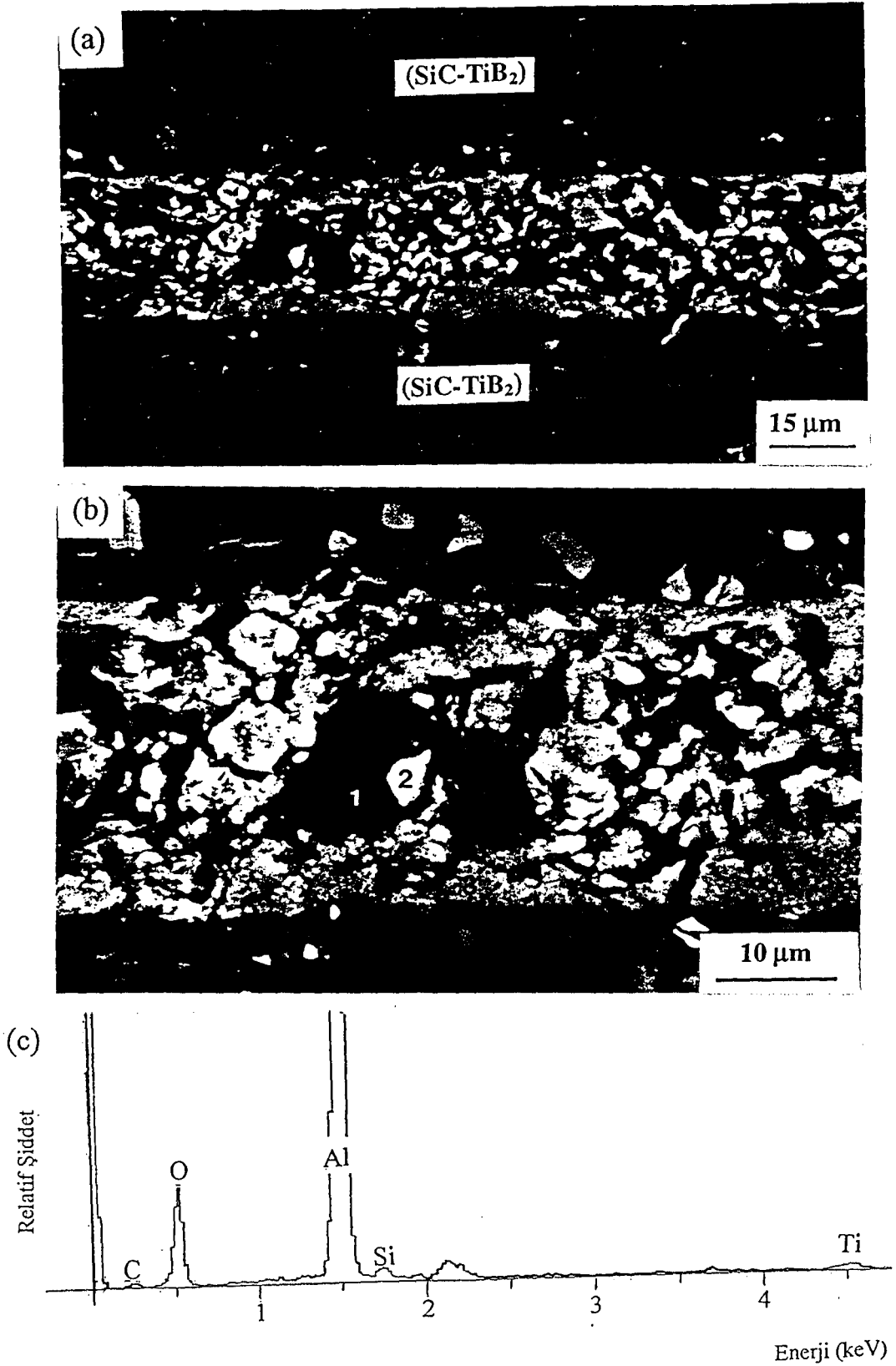
SEM fotoğraflarında (Şekil 20 (a) ve (b)) görüleceği gibi istediğimiz şekilde bir kaynak sağlanamamıştır. SiC içindeki beyaz taneler TiB₂'dür ve seramik parçada porlar bulunmaktadır. Kaynak bölgesi düzgün bir hat izlemiştir. Ancak aratabaka parçalanmıştır.

Şekil 20(c)'de 1. noktanın EDX analizinde Al'un yanısıra O₂ pikide mevcuttur. Bu Al'un oksitlenmiş olabileceğini göstermektedir.

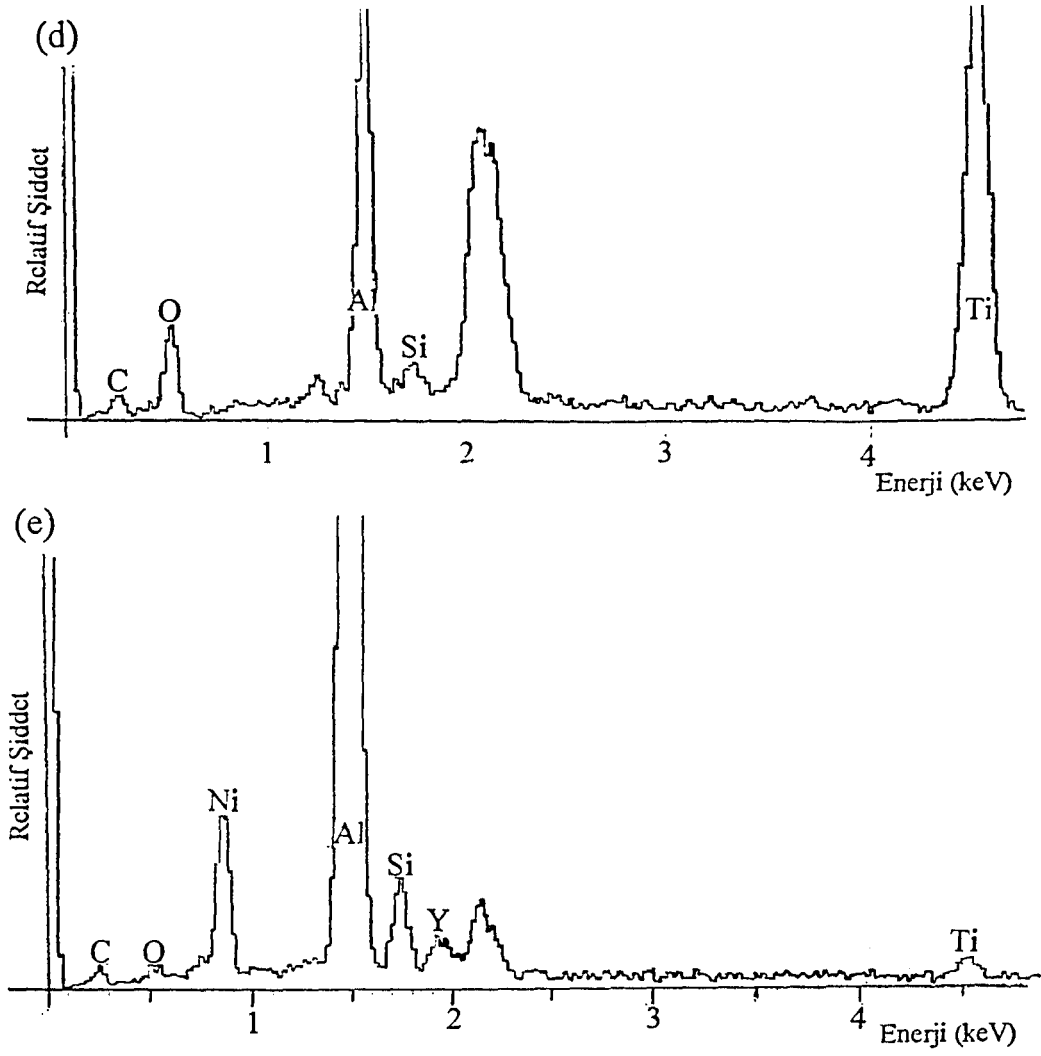
Şekil 20(d)'de 2. noktanın EDX analizinde Al, Ti, O₂ ve çok az Si ve C pikleri mevcuttur.

Folyonun SiC-TiB₂'e yakın kısmındaki 3. noktanın EDX analizinde (Şekil 20(e)) Al, Ni, Si piklerinin yanı sıra Y, O₂, C pikleri de mevcuttur. Al, Ni, Y folyodan gelirken bunların yanında bulunan Si ve C ise SiC'den gelmiştir.

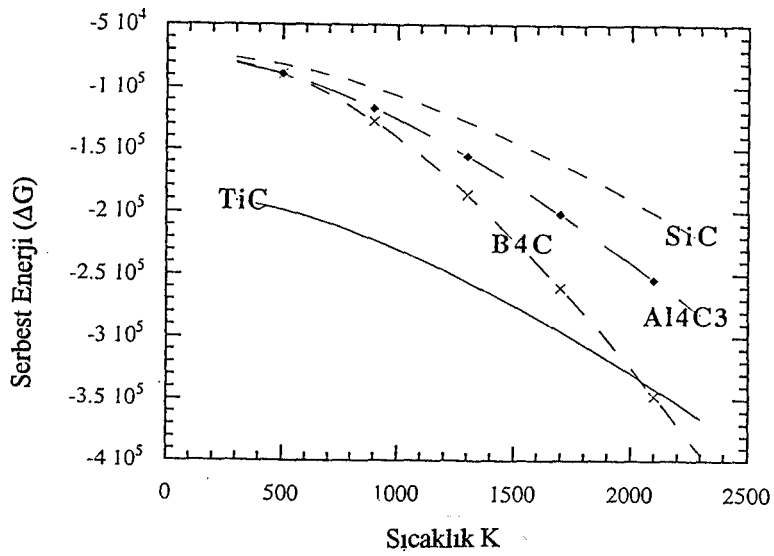
Termodinamik olarak SiC ile Al arasında bir reaksiyon olup olamayacağına Ellingham denge diyagramında bakarsak (Şekil 21), Al₄C₃ reaksiyonu daha negatif değerlere sahiptir ve daha kararlıdır. Dolayısıyla SiC ile Al_xNi_yY_z arasında reaksiyon termodinamik olarak gerçekleşebilir.



Şekil 20 (a) (SiC-TiB₂)-Al_xNi_yY_z-(SiC-TiB₂) kaynağının SEM görüntüsü, (b) aynı kaynağın büyütülmüş SEM görüntüsü, (c) 1. noktanın EDX analizi



Şekil 20 (d) 2. noktanın EDX analizi, (e) 3. noktanın EDX analizi



Şekil 21. Bazı karbürler için serbest enerji-sıcaklık diyagramı

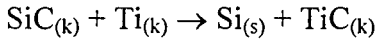
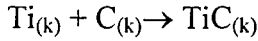
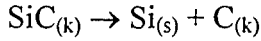
4.2.2.6. (SiC-TiB₂)-Ti-(SiC-TiB₂) kaynağının mikroskop incelemesi

Ti folyo kullanılarak iki (SiC-TiB₂) seramik parça kaynaklanmıştır. Bu kaynağa ait SEM görüntüsü Şekil 22(a)'da verilmiştir. Şekil 22(b) ve (c)'de birinci (SiC-TiB₂) parçasından başlayarak aratabakaya geçen ve ikinci (SiC-TiB₂) parçasına uzanan bir çizgi boyunca Si ve Ti içeriği gösterilmiştir.

Şekil 22 (a)'da görüleceği gibi iyi bir kaynak gerçekleşmiş, düzgün bir hat izlemiştir. SiC içindeki beyaz taneler TiB₂ dür.

Şekil 22(b)'de görüleceği üzere Si kaynak bölgesinde direkt sıfıra iniş kaydetmiştir. Şekil 22(c)'de ise Ti SiC bölgesinde sıfıra inmemektedir, yani Ti, SiC içine difüze olmuştur.

Termodinamik yönden reaksiyonun gerçekleşip gerçekleşmediğine Tablo 2 ve eşitlik 2.8, 2.9 ve 2.10'u kullanarak bakacak olursak;



SiC ayrışımı için	$\Delta S = 7.65 \text{ J}$	(25-1412 °C)
-------------------	-----------------------------	--------------

$$\Delta H = 72983 \text{ J}$$

TiC ayrışımı için	$\Delta S = -12.54 \text{ J}$	(25-1670 °C)
-------------------	-------------------------------	--------------

$$\Delta H = -184588 \text{ J}$$

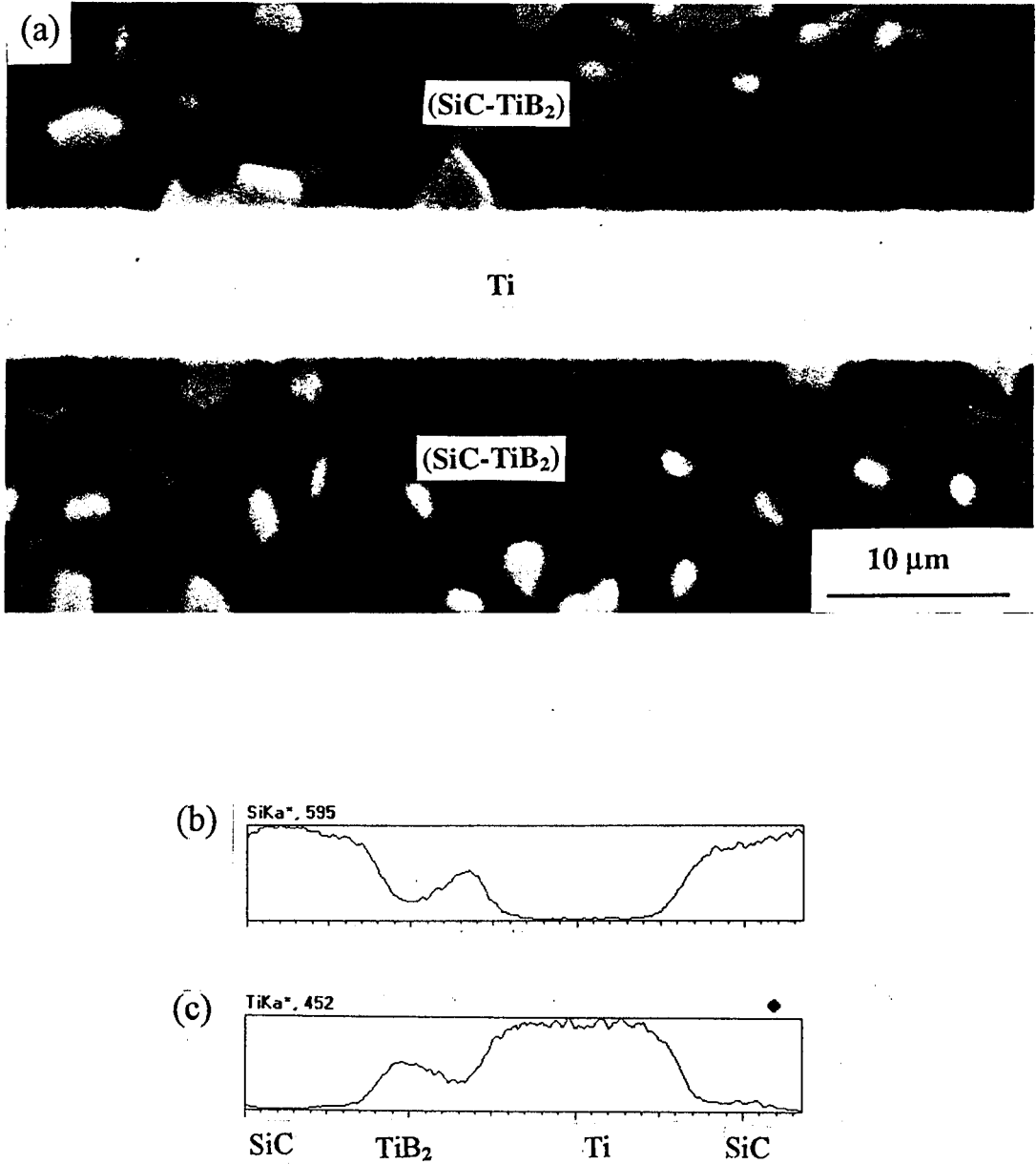
$$\Delta H_T = 72983 - 184588 = -111605 \text{ J}$$

$$\Delta S_T = 7.65 - 12.54 = -4.89 \text{ J}$$

$$\Delta G_T = -111605 - T \times 22823 < 0$$

$\Delta G_T = 0$ için $T = 22823 \text{ K}$ 'in altında ki bütün sıcaklıklarda gerçekleşir.

Bu hesaplamalardan ve Şekil 19'dan yararlanarak Si, C ile Ti arasında termodinamik olarak reaksiyon gerçekleşmektedir. Ayrıca Şekil 19'dan görüleceği üzere SiC ile Al kolayca reaksiyona girebilmektedir. Kayma mukavemeti sonuçları incelendiğinde SiC'ün Al ve Ti ile kaynaklanması sonucu elde edilen kaynakların benzer mukavemete sahip olduğu görülmektedir.

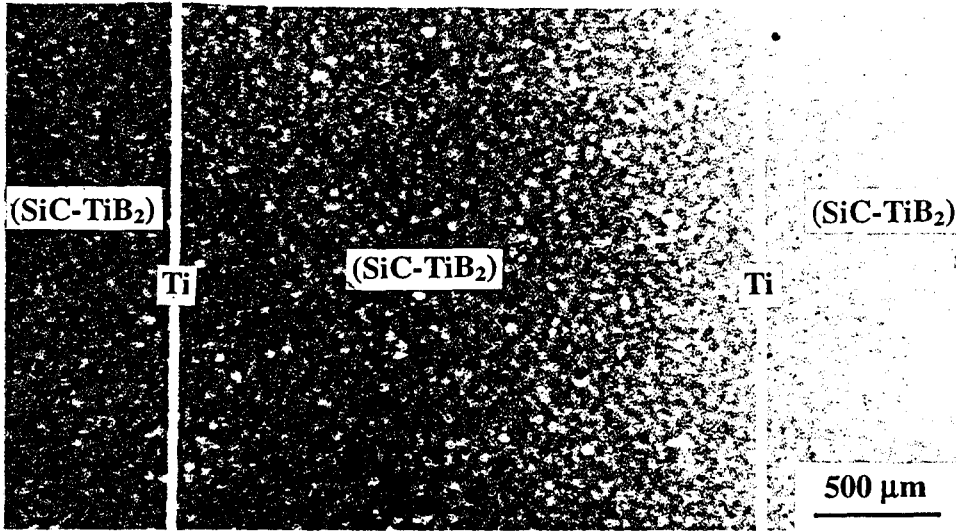


Şekil 22 (a) (SiC-TiB₂)-Ti-(SiC-TiB₂) kaynağının SEM görüntüsü, (b) ve (c) kaynağındaki Si ve Ti'un değişimi

4.2.2.7. Çok tabakalı kaynakların mikroskop incelemesi

3 tane SiC-TiB₂ parça Ti folyo ile kaynaklanmıştır. Bu kaynağa ait SEM görüntüsü Şekil 23’de verilmiştir. Her iki kaynak zonunda düzgün bir hat izlemiş, iyi bir kaynak gerçekleşmiştir.

Çok tabakalı kaynakların kayma testleri yapılmamış olup, genel olarak bu kaynaklanmaya değinilmiştir.



Şekil 23. (SiC-TiB₂)- Ti - (SiC-TiB₂)- Ti - (SiC-TiB₂) kaynağının SEM görüntüsü

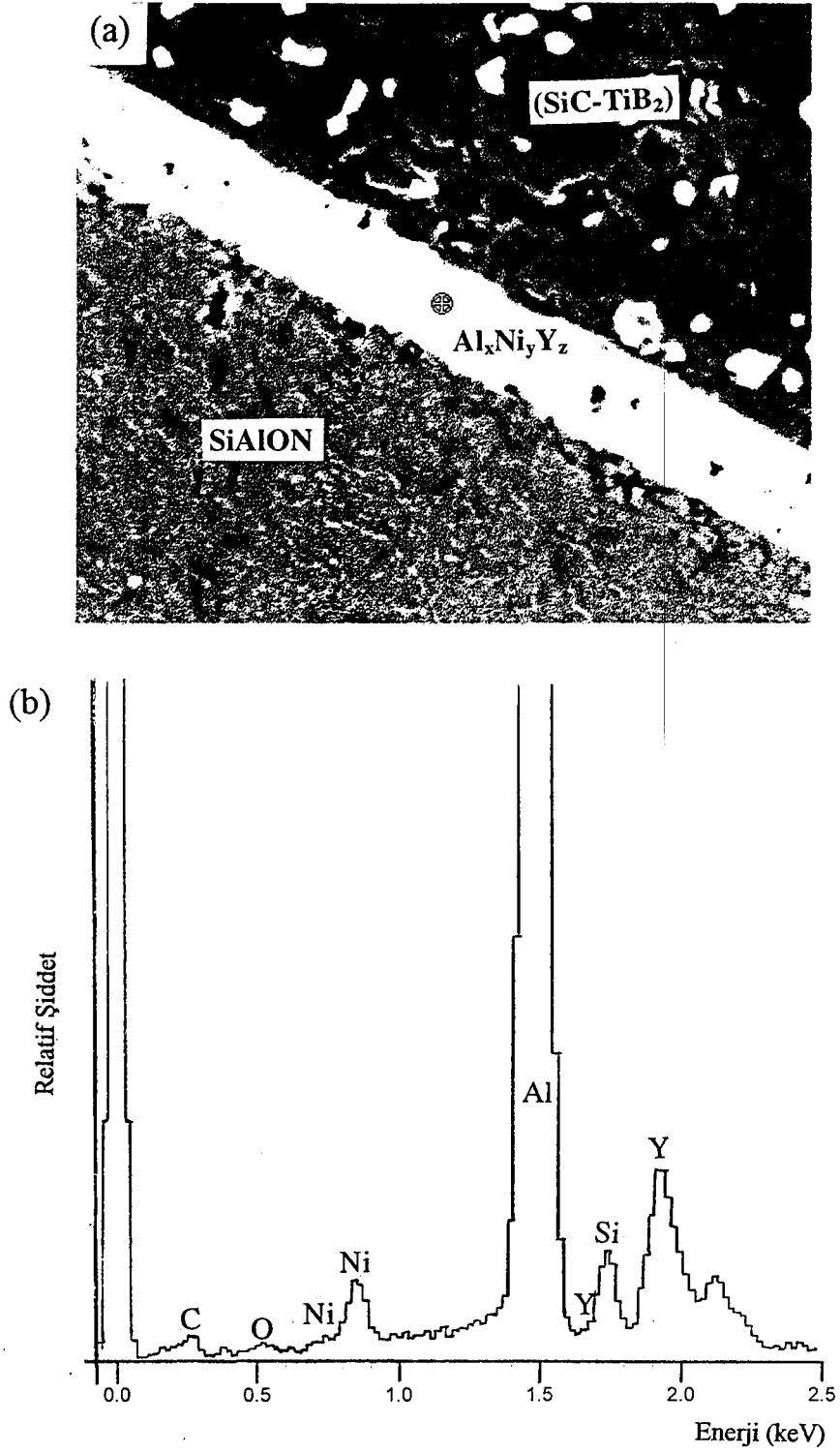
4.2.3 Karışık Kaynakların Mikroyapı İncelemeleri

4.2.3.1. SiAlON-Al_xNi_yY_z-(SiC-TiB₂) kaynağının mikroskop incelemesi

SiAlON ve SiC seramik parçalar arasına folyo malzemesi olarak Al_xNi_yY_z folyo kullanılmış ve kaynak gerçekleştirilmiştir. Bu kaynağın SEM görüntüsü Şekil 24(a)’da verilmiştir. Al_xNi_yY_z folyonun EDX analizi ise Şekil 24(b)’de verilmiştir.

SEM görüntüsünde gerek SiC tarafında gerekse de SiAlON tarafında iyi bir bağlanma görülmüştür. SiC içindeki beyaz taneler TiB₂’dür. SiAlON içindeki beyaz taneler ise Yb ve Ca içeren sıvı faza aittir ve SiAlON’a yapılan ilavelerden kaynaklanmıştır.

Şekil 24(b)’de verilen EDX analizinde folyodan gelen Al, Ni, Y piklerinin yanısıra Si mevcuttur. Si aratabaka içine SiC veya SiAlON dan difüze olmuştur.



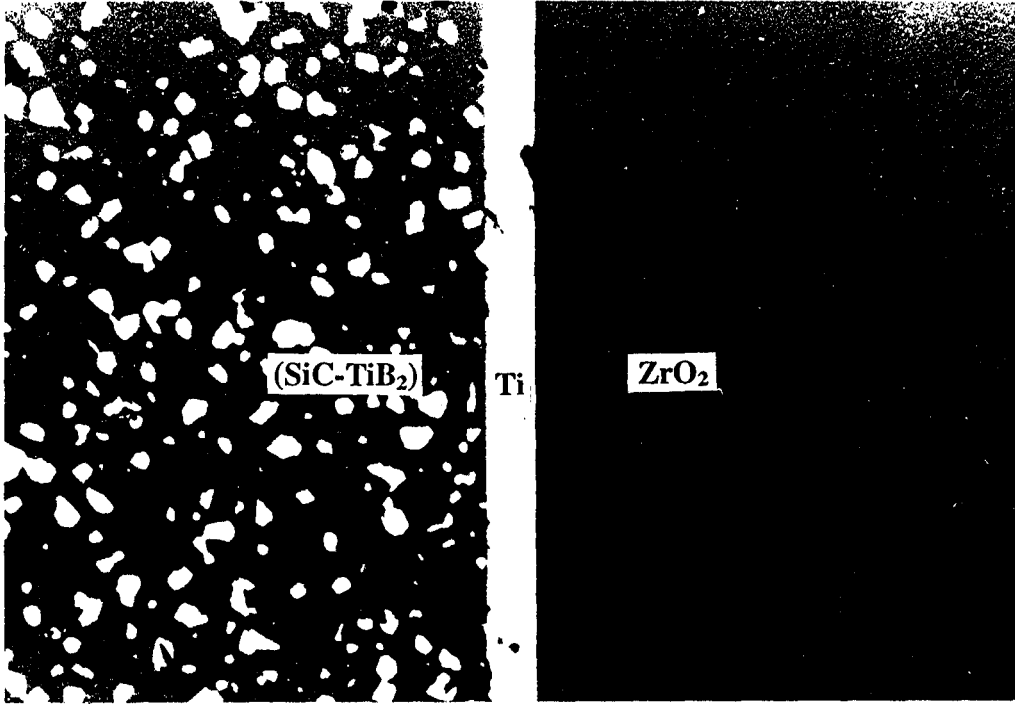
Şekil 24 (a) SiAlON-Al_xNi_yY_z-(SiC-TiB₂) kaynağının SEM görüntüsü, (b) Al_xNi_yY_z aratabakasının EDX analizi

4.2.3.2. ZrO_2 -Ti-(SiC-TiB₂) kaynağının mikroskop incelemesi

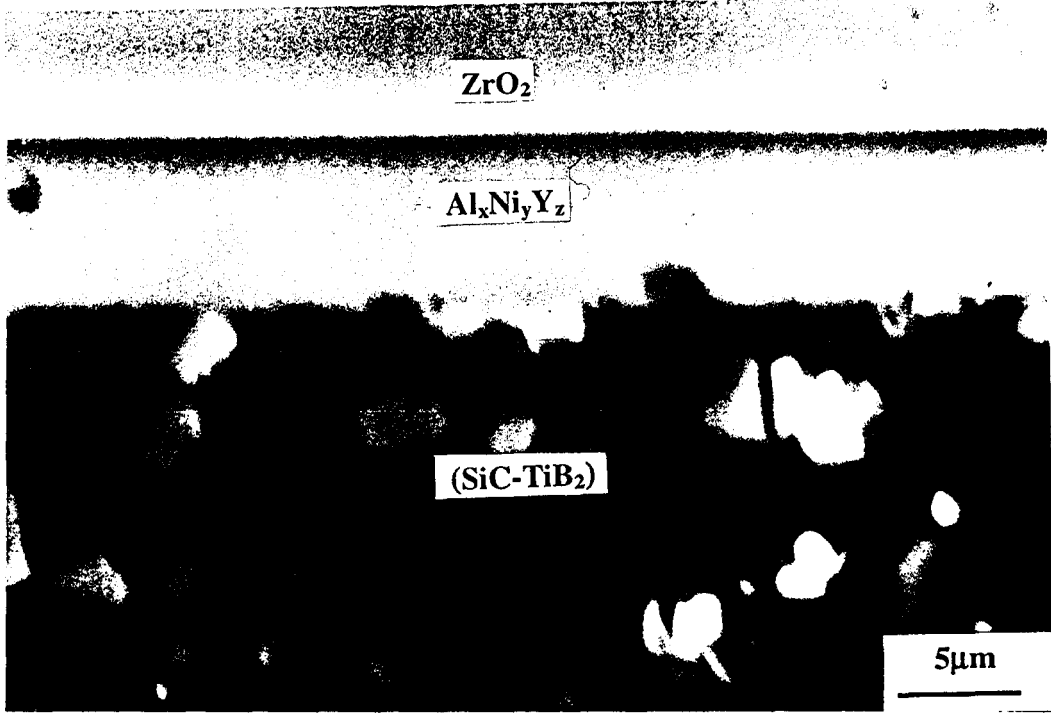
SiC-TiB₂ ile ZrO_2 seramik parçalar Ti folyo kullanılarak kaynaklanmış ve optik görüntüsü Şekil 25’de verilmiştir. Siyah kısımlar ise pordur. Kaynak oldukça düzgündür.

4.2.3.3. ZrO_2 -Al_xNi_yY_z-(SiC-TiB₂) kaynağının mikroskop incelemesi

ZrO_2 ile (SiC-TiB₂) parçalar arasında Al_xNi_yY_z folyo yerleştirilerek kaynak yapılmıştır. Bu kaynağın SEM görüntüsü Şekil 26’da verilmiştir. Buradan da anlaşılacağı gibi iyi bir kaynak gerçekleştirilmiştir. Ancak SiC-TiB₂ ile Al_xNi_yY_z arasında kaynak düzgün değildir.



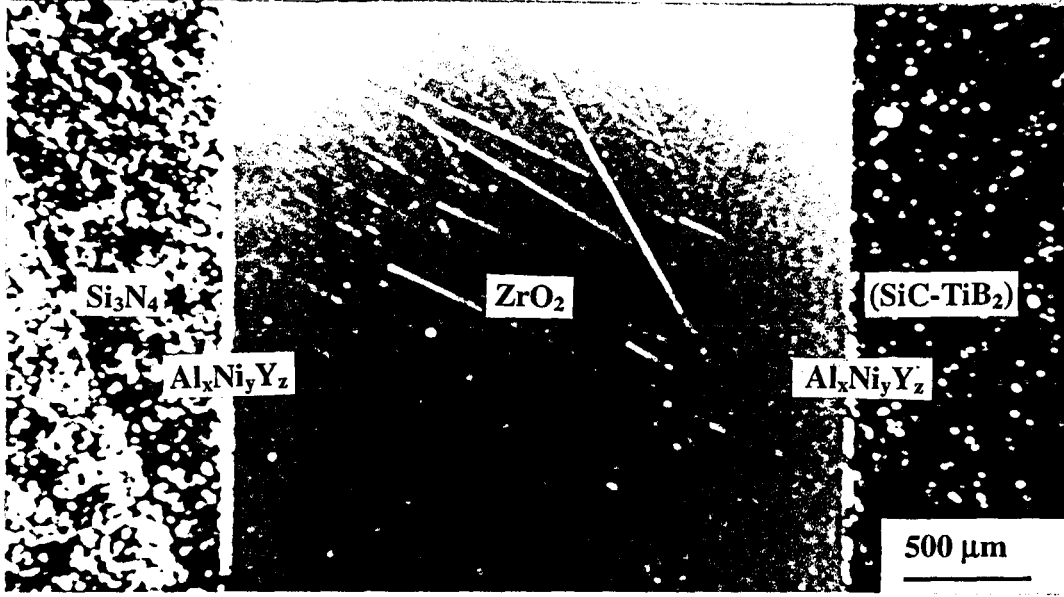
Şekil 25. ZrO_2 -Ti-(SiC-TiB₂) kaynağının optik mikroskop görüntüsü



Şekil 26. ZrO_2 - $Al_xNi_yY_z$ - $(SiC-TiB_2)$ kaynağının SEM görüntüsü

4.2.3.4. Si_3N_4 - $Al_xNi_yY_z$ - ZrO_2 - $Al_xNi_yY_z$ - $(SiC-TiB_2)$ kaynağının mikroskop incelemesi

Şekil 27'de görüleceği gibi üç farklı seramik malzeme, azotlu seramik (Si_3N_4), oksitli seramik (ZrO_2) ve karburlu-borürlü seramik kompozit ($SiC-TiB_2$), $Al_xNi_yY_z$ folyo kullanılarak kaynaklanmıştır. SEM mikroskop incelemelerine göre elde edilen bağlar oldukça iyidir.



Şekil 27. Si_3N_4 - $\text{Al}_x\text{Ni}_y\text{Y}_z$ - ZrO_2 - $\text{Al}_x\text{Ni}_y\text{Y}_z$ -(SiC-TiB_2) kaynağının SEM görüntüsü

5. GENEL SONUÇLAR

Oksit ve oksit olmayan seramiklerin aralarına Al, Ti ve $Al_xNi_yY_z$ folyo malzemeleri yerleştirilerek kapasitör-deşarj tekniği ile kaynaklanmıştır.

Kaynakların arayüzeylerinin mikro yapı incelemeleri taramalı elektron mikroskobunda yapılmış EDX analizleriyle kaynak sonrası ne gibi değişimler meydana geldiği bulunmaya çalışılmıştır. Termodinamik hesaplamalarla da ara yüzeyde oluşabilecek bileşiklerin oluşup oluşmayacağı tespit edilmeye çalışılmıştır. Kaynakların mukavemetleri ise kayma testi ile bulunmuştur.

Elde edilen sonuçlardan bir tanesi iyi bir kaynak mukavemetinin elde edilebilmesi için seramik parça ile folyo malzemesi arasında bir takım reaksiyonların meydana gelmesi gereğidir. İki Si_3N_4 parça arasına Ti folyo konularak yapılan kaynağın EDX analizinde aratabakada Ti yanısıra Si ve N piklerinin olduğu ve termodinamik hesaplamalarla da TiN bileşiğinin oluşabileceği bulunmuştur. SiAlON-Ti-SiAlON kaynağında ise yine Si_3N_4 -Ti- Si_3N_4 kaynağında olduğu gibi SiAlON ve Ti arasında bir reaksiyon gerçekleşebilir. Ti folyo konularak yapılan Si_3N_4 ve SiAlON kaynaklarının mukavemet değerleri birbirine benzer ve oldukça iyidir (Tablo 4).

Aynı şekilde $Al_xNi_yY_z$ folyo konularak yapılan SiC-TiB₂ kaynağında gerek EDX analizinde gerekse termodinamik hesaplamalarda Al_4C_3 bileşiğinin oluşabileceği bulunmuştur. Kayma testi sonucunda elde edilen mukavemet değerleri oldukça iyidir. Bunun sebebi $Al_xNi_yY_z$ ergime noktasının düşük olmasıdır. Oysa SiC-TiB₂ parçaların Ti folyo ile elde edilmiş kaynağında ise arayüzeyde bir reaksiyon termodinamik olarak gerçekleşir görünürken, gerçekte reaksiyon gözlemlenememiştir. Ayrıca mukavemet ölçümlerinde en yüksek bağlanma 8.5 Mpa değerine sahip olup diğer 3 ölçümde bağlanma olmadığı bulunmuştur. Bunun sebebi TiB₂'ün iletkenliği arttırarak kapasitördeşarj tekniğinin çalışmamasına sebep olmasıdır.

SiC parçalar Ti ve Al folyolar konularak elde edilmiş kaynakların mukavemet değerlerinde belirgin bir fark olmayıp, birbirine yakın değerlerdir.

Ancak SiAlON ve Si₃N₄ parçaların arasına Ti folyolarak konularak yapılan kaynakların mukavemet değerleri SiC ile yapılmış kaynaklara göre daha iyidir.

Sonuç olarak iyi bir kaynağın gerçekleşmesi için genel olarak kaynaklamayı etkileyecek parametreler; i) metalin seramiği ıslatması, ii) aratabakada bir reaksiyon gerçekleşmesi, iii) termal gerilmelerin minimum değerde olması için genişleme katsayılarının birbirine yakın olması, iv) metal folyo kalınlığının uygun olması v) bağ özelliklerinin optimizasyonu için de uygun enerji kullanımı gerekmektedir.

6. ÖNERİLER

Arayüzeyler daha iyi ayırma gücüne sahip TEM (geçirimli elektron mikroskobu) ile incelenebilir. Böylece reaksiyonların gerçekleşip gerçekleşmediği daha iyi anlaşılabilir ve reaksiyon varsa oluşan ürünlerin kompozisyonları belirlenebilir.

KAYNAKLAR

1. Yushchenko, K. A., Nesmikh, V. S. and Dubovetskii, I. V., *Application of conductor electric explosion in joining ceramics, In Advances in joining newer structural materials*, p 109- 1990.
2. Turan, S., Bucklow, I. A. and Wallach, E. R., *Capasitor-Discharge Joiningd Oxide Ceramics*, J. Am. Ceram.Soc., **82**, 1242-48, 1999.
3. Brandon, D., Kaplan, W. D., *Joining processes an introduction*, John Wiley & Sons Ltd., England, 1997.
4. Turan, S., *Reactions at Ceramic-Metal Interfaces in Capasitor-Discharge Joined Ceramics*, Materials Science Forum, Vols., 294-296, p. 345-348, 1999.
5. Peteves, S. D. and Nicholas, M. G., *Evaluation of Brazed Silicon Nitride Joints: Microstructure and Mechanical Properties*, J. Am. Ceram. Soc., **79**, [6], 1553-62, 1996.
6. Nicholas, M. G. Harwell Laboratory, Oxon, U.K.
7. Nicholas, M. G., *Joining of ceramics*, The University Press Cambridge, 1990.
8. Hitchcock, S. J., Carroll, N. T. and Nicholas, M. G., *J. Mater. Sci.*, **16**, 714, 1981.
9. Schwartz, M. M., *Ceramic joining*, ASM International, Amerika, 1990.
10. Derby, B., Wallach, E. K., *Theoretical model for diffusion bonding*, Met. Sci., **16**, 49, 1982.
11. Derby, B., and Wallach, E.R., *Diffusion bonds in copper*, J. Mater. Sci., **19**, 140, 1984.
12. King, W. H. And Owczarski, W. A., *Additional studies on the diffusion welding of titanium*, *Weld. Res. Suppl.*, **47**, 446, 1968.
13. Pilling, J., Livesey, D. W. , Hawkyard, J.B., and Ridley, N., *Met. Sci.*, **18**, 117, 1987.
14. Wallach, E. R. And Hill. A., *Modelling of diffusion bonding in Diffusion Bonding (ed. R. Pearce)*, Cranfield, p.9, 1987.
15. Shevchuk, T. V., Dubovetskii, I.D., Nesmikh, V. S. and Statsenko, V. V., *Effect of interlayer composition on structure and properties of discharge-pulse welded joints in nitride ceramics*, 1990.

KAYNAKLAR (devam)

16. Binner, J. G. P., Davis, P.A., Fernie, J. A., and Dubovetskii, I. D., *Characterisation of the join of electric discharge pulse welded ceramics*, J. Euro.Cer.Soc., **15**, 1037-41,1995.
17. Klomp, J. T., *Study. Phys. Theo. Chem.* **48**, 3, 1987.
18. Klomp, J. T. And Vrugt, P. J., *Interfaces between metals and ceramics, Surfaces and Interfaces in Ceramic and Ceramic- Metal Systems* (eds J. A. Pask and A. G. Evans), p.97, Plenum, New York,1981.
19. De Bruin, H. J., Moodie, A. F. and Warble, C. E., *Ceramic-metal reaction welding.*, J. Mater. Sci. **7**, 909, 1978.
20. Bailey, F. P. and Black, K. J. T., *The effect of ambient atmosphere on the gold to aluminium solid state reaction bond*, J. Mater. Sci., **13**, 1606, 1978.
21. Moodie, A. F. and Warble, C. E. , *Direct observation of Pd/MgO and Pd/SiO₂ reactions in the transmission electron microscope*, Phils, Mag., **35**, 201, 1977.
22. Ott, D. And Raub, C. J., *The affinity of the platinum metals to refractory oxides*, Platinum Met. Rev., **20**, 79,1976.
23. Burger, K., Mader, W. and Rühle, M., *Materials transport mechanism during the diffusion bonding of niobium to Al₂O₃*, Proc. Am. Ceram. Soc., 87 th Meet, in press, 1987.
24. Burger, K., Mader, W. and Rühle, *Structure, chemistry and diffusion bonding of metals/ceramic interfaces*, Ultramicroscopy, **22**, 1, 1987.
25. Calow, C. A. And Porter, I.T., *The solid state bonding of nickel to alumina*, J. Mater. Sci., **6**, 156, 1971.
26. Morozumi, S., Endo, M., Kikuchi, M. And Hamajima, K., *Bonding Mechanism between silicon carbide and thin foils of reactive metals*, J. Mater. Sci., **20**, 3976, 1985.
27. Naidlich, J. W., Prog. Surf. Membr. Sci, **14**, 353, 1981.
28. McDonald J. E. And Eberhart, J. G. , *Second Inter. Conf on science of hard materials*, Trans. Metall. Soc., AIME, **233**, 512.1965.
29. Hondros, E. D., *Bonding of metal/ceramic interfaces adhesion in aluminium oxide- metal systems*, Inst. Phys. Conf. Ser., **75(2)**, 121, 1984.

KAYNAKLAR (devam)

30. Suganuma, K., Okamoto, T., Miyamoto, Y., Schimata, M. And Koizumi, M., *Joining Si_3N_4 to type 405 steel with soft metal interlayers*, Mater. Sci. Technol, **2**, 1156, 1986.
31. Suganuma, K., Okamoto, T., Koizumi, M., Fujiata, T. and Niihara, K., *Joining of silicon nitride with metallic interlayers in Conf. on High Technology Joininig* (ed. M. G. Nicholas), BABS, London, p.101, 1987.
32. McColm, I. J., *Ceramic science for materials technologist*, Chapman & Hall, New York, 1983.