



ISSN:1306-3111  
e-Journal of New World Sciences Academy  
2008, Volume: 3, Number: 4  
Article Number: A0097

**NATURAL AND APPLIED SCIENCES**  
**MATERIAL AND METALLURGY ENGINEERING**

Received: February 2008  
Accepted: September 2008  
© 2008 [www.newwsa.com](http://www.newwsa.com)

Haluk Kejanlı  
Mustafa Taşkın  
Uğur Çalığülü  
University of Dicle  
kejanlih@dicle.edu.tr  
Diyarbakir-Turkiye

**TOZ METALURJİSİ YÖNTEMİYLE ÜRETİLMİŞ Ni-Ti-Cu KOMPOZİTLERİN Ni ve Cu ARATABAKA KULLANILARAK DİFÜZYON KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLMESİNDE KAYNAK SICAKLIĞININ BAĞLANTI KARAKTERİSTİĞİ ÜZERİNE ETKİSİ**

**ÖZET**

Bu çalışmada, toz metalurjisi yöntemiyle üretilen, Ni-Ti-Cu kompozitlerin, Ni ve Cu aratabaka kullanılarak difüzyon kaynağı ile birleştirilmesinde kaynak sıcaklığının bağlantı karakteristiği üzerine etkisi araştırılmıştır. Kompozit malzemeler ortalama  $44\pm 5\mu\text{m}$  boyutlarında Ni-Ti ve  $37-105\pm 5\mu\text{m}$  boyutunda Cu tozları karıştırılarak üretilmiştir. Üretilen numunelerin difüzyon kaynakları, argon atmosferinde, 5 MPa'lık dinamik yükleme ile 60 dk'lık sabit süre, 910, 940 ve  $970^\circ\text{C}$ 'lik sıcaklıklarda Ni ve Cu aratabaka kullanılarak yapılmıştır. Deneyler sonucunda mikro yapı özellikleri optik mikroskop, EDS ve X-Ray analizleri ile incelenmiş, numunelere bindirme kayma ve mikrosertlik testleri uygulanmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda homojen Ni-Ti-Cu dağılımı gözlenmiş ve artan sıcaklığa paralel olarak kaynağın mekanik özelliklerinin iyileştiği tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Toz Metalurjisi, Soğuk Presleme, Ni-Ti-Cu, Difüzyon Kaynağı, Mekanik Özellikler

**THE EFFECT ON THE CONNECTING CHARACTERISTIC OF WELDING TEMPERATURES ON THE JOINING WITH THE DIFFUSION BONDING USING Ni AND Cu INTERLAYER OF Ni-Ti-Cu COMPOSITES MANUFACTURED BY POWDER METALLURGY METHOD**

**ABSTRACT**

In this study, the effect on the connecting characteristic of welding temperatures on the joining with the diffusion bonding using Ni and Cu interlayer of Ni-Ti-Cu composites manufactured by powder metallurgy method has been investigated. Composite materials have been produced with proportions by mixing  $44\pm 5\mu\text{m}$  Ni-Ti and  $37-105\pm 5\mu\text{m}$  Cu powders. Diffusion bonding experiments have been carried out in argon atmosphere at the temperatures 910-940 and  $970^\circ\text{C}$  and 5 MPa under a dynamic load for at 60 min. constant holding time. The properties of microstructure occurred in the interface zone of the bonds of the joints have been examined by optic analysis, EDS and X-Ray. The strength of the joint has been tested by lap-shear and microhardness tests. The result of all observations has been indicated a homogenous Ni-Ti-Cu distribution and the quality of the coalescence at interfaces at elevated temperatures.

**Keywords:** Powder Metallurgy, Cold Pressing, Ni-Ti-Cu, Diffusion Bonding, Mechanical Properties



## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde bütün malzemelerde olduğu gibi, toz metalurjisi yöntemi ile üretilmiş malzemelerin birbirleri ile ya da farklı malzemelerle kaynak edilerek kullanılması da bir ihtiyaç haline gelmiştir. Bu nedenle birçok farklı kaynak yöntemi ile toz metalurjisi yöntemi ile üretilmiş malzemelerin birleştirilmesi üzerine çalışmalar yapılmış ve bu çalışmalarda uygun şartlar sağlandığında başarılı sonuçlar alındığı görülmüştür [1 ve 2]. Kompozitlerin kaynağını iki grupta toplamak mümkündür. Bunlar; ergitme kaynak yöntemleri ve katı hal kaynak yöntemleridir. Ergitme kaynak yöntemleri ile yapılan birleştirmelerde; yüksek viskozite, katılaşmanın kontrolsüz gerçekleşmesi ve istenmeyen reaksiyonlar gibi problemler oluşur. Bu problemler kaynağa mikro ve makro kusurlara yol açarak kaynak kabiliyetini azaltır. Ayrıca ergitme kaynaklarında yüksek sıcaklık nedeniyle ana malzemenin özellikleri değiştiğinden, bu durum ergimiş matris ile takviye arasındaki zararlı kimyasal reaksiyonların oluşmasına neden olmaktadır. Ergitme kaynak yöntemlerinde oluşması muhtemel bu birleşme problemlerinden dolayı metal matrisli kompozitleri (MMK) katı hal birleştirme yöntemleri ile birleştirmenin daha avantajlı olduğunu yapılan son araştırmalar ortaya koymuştur [3, 4 ve 5].

Difüzyon kaynağı, bir katı hal kaynak yöntemi olup, birleştirilmek üzere eşleşmiş iki yüzeyin, malzemelerin ergime sıcaklıkları altındaki bir sıcaklıkta, malzemelerde makroskobik plastik deformasyon oluşturmaz bir basınç altında, katı hal difüzyonu yoluyla malzemeler arasında metalurjik bir bağ oluşuncaya kadar, malzemenin özelliklerini önemli ölçüde etkilemeyecek kadar bir sürede tutulmasıyla yapılan birleştirmedir. Difüzyon kaynak yönteminde malzemelerde istenmeyen mikro ve makro dönüşümlerin sınırlı oranda olmasından ve kompozit malzemelerin kaynağında ana malzemenin mukavemet değerlerine yaklaşılmamasından dolayı, bu yöntemin diğer katı hal kaynak yöntemlerine göre daha cazip olduğu düşünülmektedir [6 ve 7]. Sıcaklık, basınç ve zaman gibi parametreler difüzyon kaynağını önemli ölçüde etkiler. Difüzyon kaynak sıcaklığı genellikle (0.5- 0.7 Tm) olacak şekilde belirlenmektedir. Ni-Ti-Cu tozlarının toz metalurjisi yöntemi ile kompozit üretiminde kullanılması ve üretilen kompozitin kullanım alanlarının belirlenmesi oldukça önem arz etmektedir. Toz metalurjisi (TM) yöntemiyle üretilmiş malzemelerin difüzyon kaynağı yöntemiyle birleştirilmesi, hem TM ile üretilen malzemelerin orijinal yapısının korunması ve hem de oluşturulacak malzeme çiftinin difüzyon kaynağı davranışlarının anlaşılması açısından önemlidir [8, 9 ve 10].

Kompozit malzemelerin birleştirilmesinde bir diğer alternatif yöntem aratabakalı difüzyon kaynağıdır. Yöntem, esas itibarıyla ara kesitte ana metallerin birleştirilecek yüzeylerini ıslatabilecek ince bir film tabakası oluşturma ve bu tabakanın izotermal olarak katılaşması esasına dayanmaktadır. Aratabaka difüzyonu, ana metal ile ara metal arasında ötektik ya da peritektik ergime noktası bulunması halinde, bu sıcaklığa ulaşıncaya meydana gelir. Bu yöntemle, ana metalin mekanik ve mikro yapı özelliklerine benzer birleştirmeler yapılabilir. Aratabaka veya kaplamanın ara yüzeyde kullanılmasının amaçları; plastik akışı hızlandırmak, temiz bir yüzey elde etmek, difüzyonu hızlandırmak, arzu edilmeyen intermetaliklerin oluşumunu en aza indirmek, ana metalin difüzyonunu hızlandırmak için geçici ötektik ergimeyi oluşturmak, kirkendall gözenekliliğini minimuma indirmek, kaynak süresini kısaltmak, arzu edilmeyen elementleri uzaklaştırmak ve oksidasyonu önlemektir [11].

## 2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICATION)

Bu çalışmada, toz metalurjisi üretim yöntemlerinden biri olan soğuk presleme yöntemiyle üretilen, Ni-Ti-Cu kompozitlerin, Cu ve Ni aratabaka kullanılarak difüzyon kaynağı ile birleştirilmesinde kaynak sıcaklığının bağlantı karakteristiği üzerine etkisi araştırılacaktır. Deneyler sonucunda kaynaklı bağlantılar; optik mikroskop, EDS ve X-Ray analizleri ile incelenecektir. Hedeflenen birleşme parametrelerine ve mikroyapı eldesine ulaşmak amaçlanmaktadır.

## 3. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL STUDY)

### 3.1. Deney Malzemeleri (Experimental Materials)

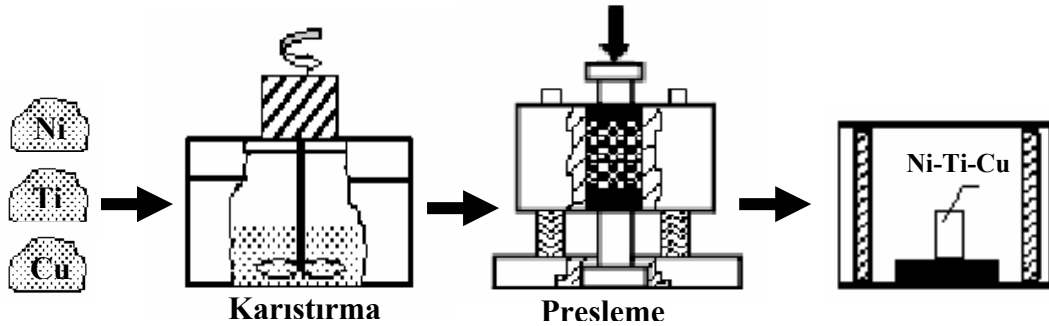
Bu çalışmada kullanılan toz malzemeler;

- %99.80 saflıkta ortalama 44±5 µm tane büyüklüğünde nikel,
- %99.50 saflıkta ortalama 44±5 µm tane büyüklüğünde titanyum,
- %99.90 saflıkta ortalama 37-105±5 µm tane büyüklüğünde bakır tozları ağırlıkça  $10^{-4}$  hassasiyetli dijital terazide tartılarak Tablo 1'de görülmekte olan oranlar dikkate alınarak hazırlandı.

Tablo 1. Tozların ağırlık oranları  
(Table 1. Weight rates of powders)

Numune	Element (% ağırlık)		
	Ni	Ti	Cu
A	48,9	45,1	6,0
B	49,5	45,0	5,5
C	49,9	45,1	5,0

Toz malzemeler homojen dağılım sağlamak için, 250 dev/dk.'da 15 dakika süreyle karıştırıldı. Karıştırılan tozlar 900 MPa basınçta soğuk preslendi, soğuk presleme sonrası numuneler argon atmosferli fırında 830 °C sıcaklıkta 30 dk. sinterlenerek Ø10x11 mm boyutlarında kaynak numuneleri hazırlandı. A, B ve C kompozitlerine ait deney numunelerinin hazırlanması Şekil 1'de görülmektedir.

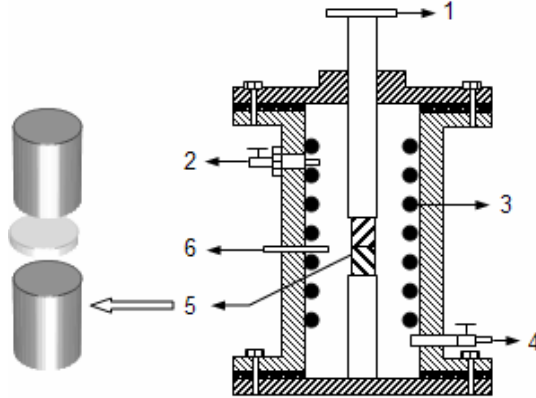


Şekil 1. Numunelerin Hazırlanmasının Şematik Gösterimi [12]  
(Figure 1. Schematic illustration of prepared of samples [12])

### 3.2. Difüzyon Kaynakları (Diffusion Weldings)

Ø10x11 mm boyutlarında hazırlanan kaynak numunelerinin birleşmek üzere eşleştirilmiş yüzeyleri, difüzyon kaynağı öncesi 1000 meshlik zımpara ile parlatıldı ve asetonda ultrasonik olarak temizlendi. Difüzyon kaynakları Şekil 2'de görülen difüzyon kaynak aparatında argon koruyucu gaz atmosferinde, 5 MPa'lık dinamik yükleme ile 910-940-970°C'lik sıcaklıklarda, 60 dk'lık sabit sürede, 50 µm kalınlığında 180 HV sertlikte nikel ve 50 µm kalınlığında 120 HV sertlikte bakır aratabaka kullanılarak yapıldı (Literatür çalışması ve ön deneyler sonucunda 910-940-970°C'lik sıcaklıklar ve 60 dk. süre

aralığının 5 MPa'lık yük altında difüzyon kaynağı için uygun olduğu sonucuna varılmıştır).

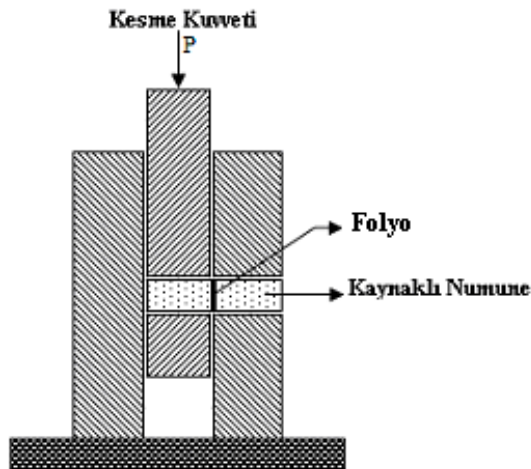


1-Uygulanan Yük 2-Argon Çıkışı 3-Isıtıcı Dirençler 4-Argon Girişi  
5-Numuneler 6-Termokupol

Şekil 2. Difüzyon Kaynak Aparatının Şematik Gösterimi [13]  
(Figure 2. Schematic illustration of diffusion welding apparatus [13])

### 3.3. Mekanik ve Metalografik İncelemeler (Mechanical and Metalography Investigations)

Numunelerin kaynak sonrası bağlantı mukavemetini tespit etmek amacıyla, bindirme-kayma testleri ASTM D 3165-07 standardına uygun olarak Şekil 3'de görülen özel olarak hazırlanmış bindirme-kayma aparatında gerçekleştirildi. Bindirme-kayma deneyleri 2 mm/dk hızda ve oda sıcaklığında gerçekleştirildi. Kaynaklı birleştirmelerin kayma gerilmeleri elde edilen verilere göre hesaplandı. Difüzyon kaynağı yapılan numunelerin kaynak sonrası birleşme bölgesinde meydana gelen yapısal değişimlerini belirlemek amacıyla, kaynak yapılmış numuneler birleşme yüzeyine dik doğrultuda kesilerek, 1000 meshlik zımpara ile zımparalandıktan sonra, 3 µm'lik elmas pasta ile parlatıldı daha sonra ise Kroll (%6 HF, %9 NHO<sub>3</sub>, %85 su) dağlayıcısı ile dağlanarak metalografik incelemeye tabi tutuldu. Deneyler sonucunda mikro yapı özellikleri optik mikroskop, EDS ve X-Ray analizleri ile incelendi. Ayrıca kaynaklı numunelerin sertlik değişimlerini belirlemek amacıyla mikrosertlik değerleri 10 gr'lık yük altında tespit edildi.



Şekil 3. Bindirme-Kayma Testi Aparatının Şematik Resmi [1]  
(Figure 3. Schematic illustration of lap-shear test apparatus[1])

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR (FINDINGS AND DISCUSSIONS)

Kaynak sonrası numunelere uygulanan bindirme-kayma testi sonuçları esas malzemelerin bindirme-kayma değerleri ile kıyaslandığında (Tablo 2), 970°C sıcaklıkta yapılan kaynakta C-C numune çiftinin difüzyon kaynağında, hem Cu hem de Ni aratabakada en yüksek kayma gerilmesi değerleri elde edilmiştir (Tablo 3).

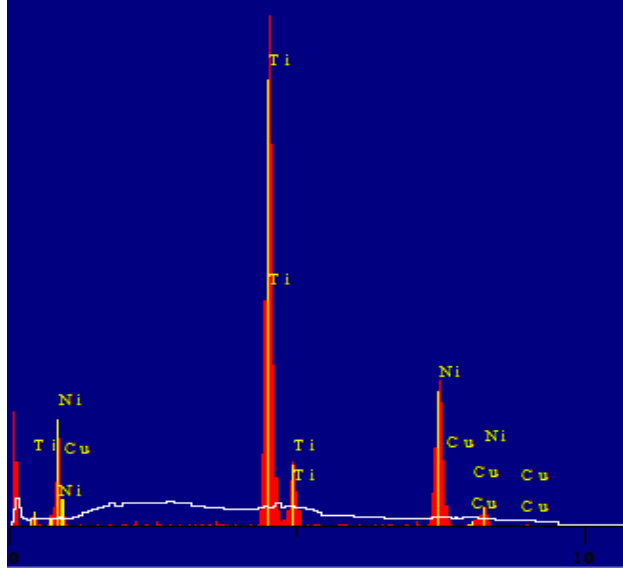
C-C numunelerinin 970°C sıcaklıkta yapılan difüzyon kaynağında, yüksek bindirme-kayma gerilme değerlerinin elde edilmesinin nedeni, Ni oranının yüksek olmasından dolayı Ni difüzyonuna ve bu sıcaklığın difüzyonun gerçekleşmesi için uygun bir sıcaklık olmasına bağlanabilir.

Tablo 2. Esas malzemelerin mikrosertlik ve bindirme-kayma değerleri  
Table 2. Lap-shear and microhardness values of basic materials

Numune	Sıcaklık	Bindirme-kayma (MPa)	Mikrosertlik (HV)
A	910 °C	150	332
	940 °C	168	310
	970 °C	175	320
B	910 °C	151	300
	940 °C	164	290
	970 °C	178	346
C	910 °C	155	301
	940 °C	172	301
	970 °C	185	310

Tablo 3. Deneysel çalışmanın kaynak parametreleri  
(Table 3. Welding parameters of experimental study)

Numune No	Sıcaklık (°C)	Süre (dk.)	Ni Aratabakalı		Cu Aratabakalı	
			Numune Çiftleri	Kesme Mukavemeti (MPa)	Numune Çiftleri	Kesme Mukavemeti (MPa)
1	910	60	A/A	150	A/A	151
2	910	60	B/B	157	B/B	151
3	910	60	C/C	164	C/C	155
4	940	60	A/A	164	A/A	170
5	940	60	B/B	172	B/B	164
6	940	60	C/C	170	C/C	172
7	970	60	A/A	180	A/A	175
8	970	60	B/B	184	B/B	178
9	970	60	C/C	193	C/C	185



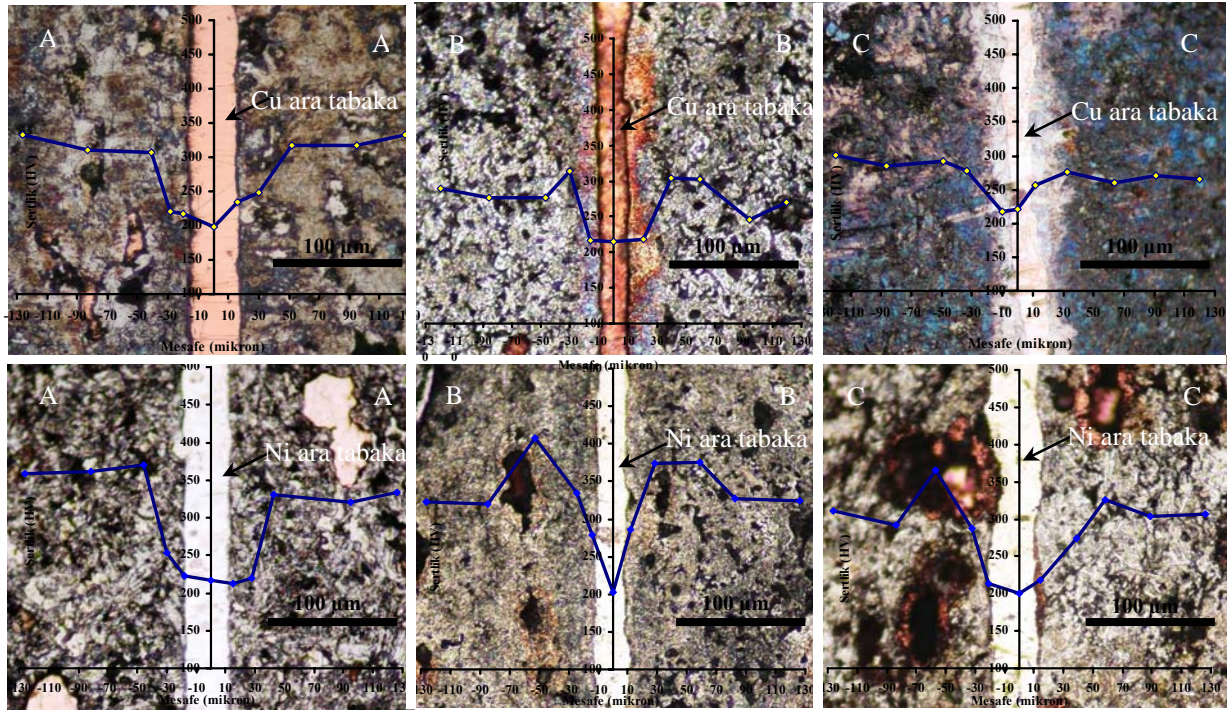
Analiz Noktası	Elt	Line	Intensity (c/s)	Conc (wt)	Atomic (%)
Cu aratabaka	Ti	Ka	816.36	42.64	47.93
	Ni	Ka	301.78	50.13	45.93
	Cu	Ka	31.41	7.3	6.14
Total				100.000	100.000

Analiz Noktası	Elt	Line	Intensity (c/s)	Conc (wt)	Atomic (%)
Ni aratabaka	Ti	Ka	841.28	44.57	49.83
	Ni	Ka	295.40	49.91	45.51
	Cu	Ka	23.58	5.53	4.66
Total				100.000	100.000

Şekil 4. Cu-Ni ara tabaka kullanılarak yapılan difüzyon kaynaklarının EDS analizleri

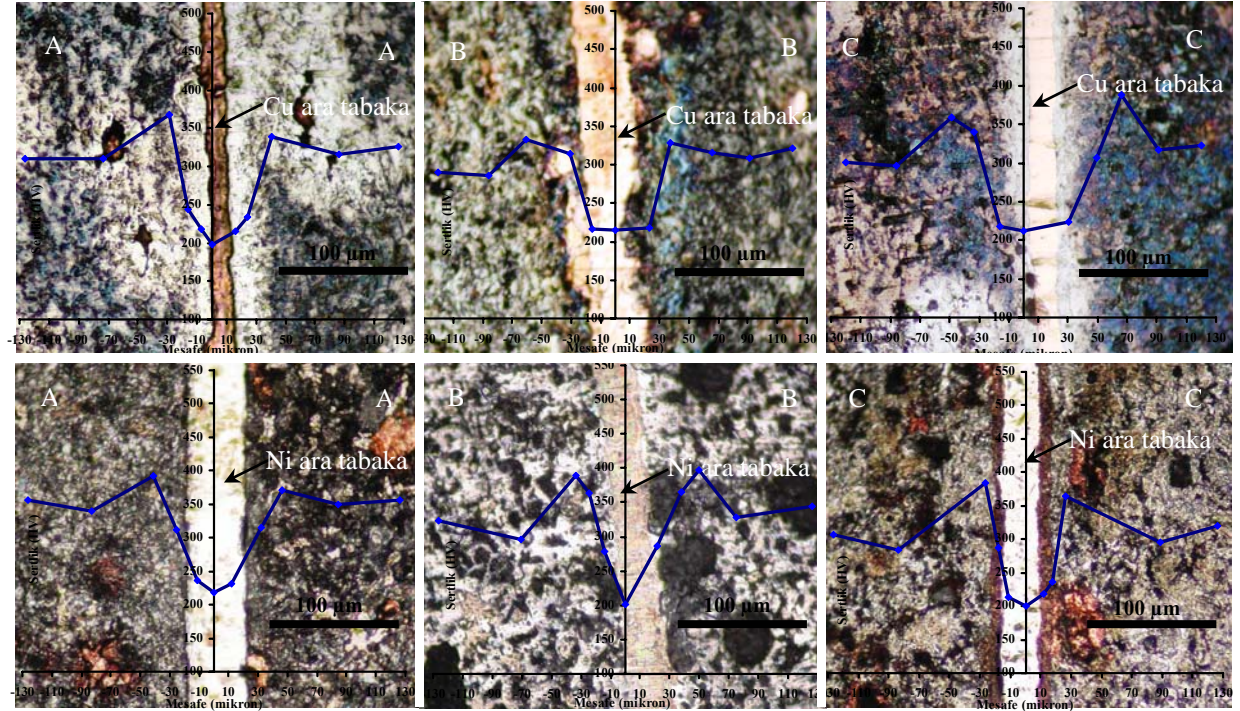
(Figure 4. EDS analysis of specimens diffusion bonded for Cu-Ni interlayer)

910°C'de Cu ve Ni aratabaka kullanılarak yapılan birleştirmelerde (Şekil 5) tüm numunelerde arakesitte boşlukların kapandığı ve birleşme çizgilerinin genel olarak yok olduğu tespit edilmiştir. Ancak B-B numunelerinde yer yer noktasal kusurlar tespit edilmiştir. Bu boşlukların imalat hatası sonucu ortaya çıkmış olabileceği düşünülmektedir. Ni aratabaka kullanılarak yapılan birleştirmelerin metalografik olarak Cu aratabakalı numunelere göre daha iyi olduğu gözlenmiş, aratabaka kalınlıkları açısından bakıldığında Cu aratabakalı numunelerin 910°C'de plastik deformasyondan dolayı ~15 µm'ye düştüğü, Ni aratabakanın ise ~20 µm'ye düştüğü tespit edilmiştir. Cu difüzyonunun Ni'ye göre daha fazla olmasının sebebi, ergime sıcaklığına daha fazla yaklaşılan bakırın artan difüzyon yeteneğine bağlamak mümkündür (Şekil 4). Birleştirilen tüm numunelerde arakesitten itibaren hızlı bir mikrosertlik artışı tespit edilmiştir. 910°C'de yapılan birleştirmelerde, Cu ve Ni metallerarası bileşik oluşturacak süreyi bulduğu için, oluşan bileşikler difüzyon bölgesinde sertlik değerini arttırmıştır. Ti oranı en yüksek malzemelerde daha yüksek sertlik değerleri elde edilmiştir.



Şekil 5. 910°C'de Cu-Ni ara tabaka kullanılarak yapılan difüzyon kaynaklarının optik görünüşleri ve mikrosertlik grafikleri  
(Figure 5. Hardness impression profiles and optic figures of specimen diffusion bonded at 910°C for Cu-Ni interlayer)

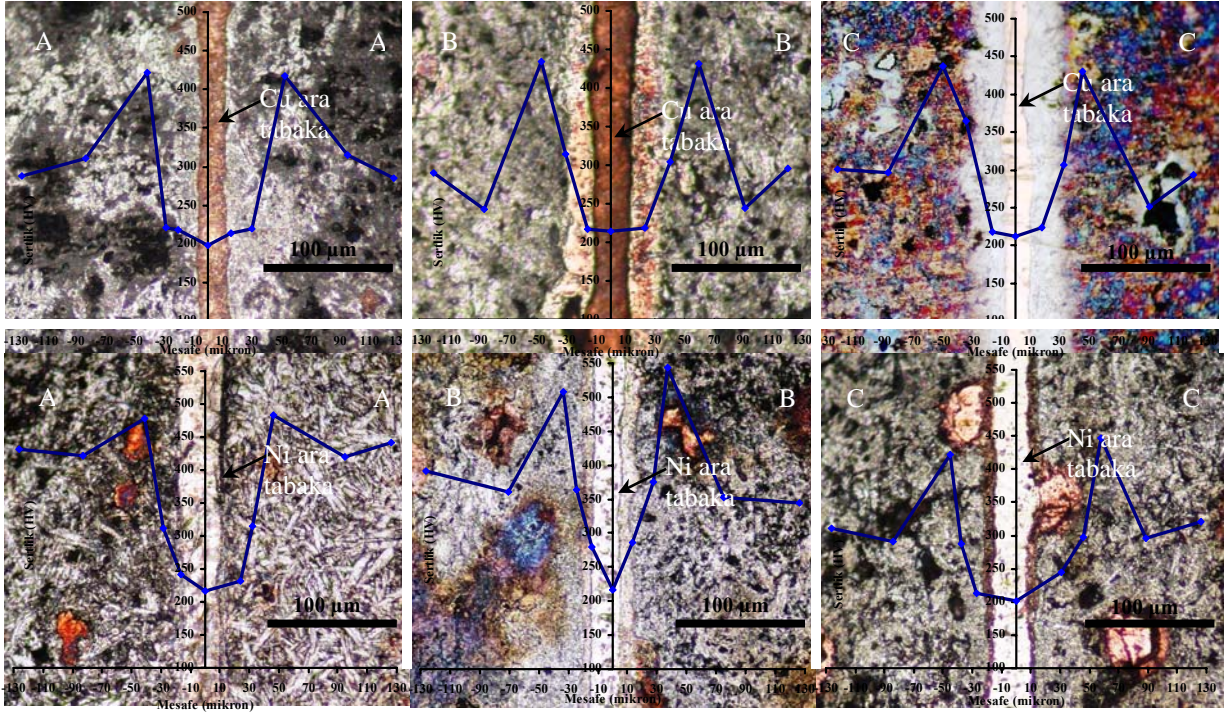
940°C'de Cu ve Ni aratabaka kullanılarak yapılan birleştirmelerde (Şekil 6) tüm numunelerde arakesitte boşlukların tamamen kapandığı ve birleşme çizgilerinin yok olduğu tespit edilmiştir. Cu aratabaka kullanılarak yapılan birleştirmede aratabaka kalınlığının ~30 µm'ye düştüğü, Ni aratabaka kullanılarak yapılan birleştirmede ise aratabaka kalınlığının ~35 µm'ye düştüğü gözlenmiştir. Cu difüzyonu Ni'ye göre daha fazla olmuştur. Bunun da ergime sıcaklığına daha fazla yaklaşan bakırın artan plastik deformasyondan kaynaklandığı düşünülmektedir. Birleştirilen tüm numunelerde arakesitten itibaren hızlı bir mikrosertlik artışı tespit edilmiştir. Cu aratabaka kullanılan numunelerde max. değere ~50 µm'lik mesafede, Ni aratabaka kullanılan numunelerde ise ~40 µm'lik mesafede max. değere ulaşılmıştır. 940 °C'de yapılan birleştirmelerde, Cu ve Ni metallerearası bileşik oluşturacak süreyi bulduğu için, oluşan bileşikler difüzyon bölgesinde sertlik değerini arttırmıştır. Cu aratabaka kullanılan numunelerde en yüksek sertlik değeri ana malzemede bakırın düşük olduğu numunelerde elde edilmiştir. Ni aratabaka kullanılan numunelerde de en yüksek sertlik değerleri ana malzemede bakırın az olduğu numunelerde elde edilmiştir.



Şekil 6. 940°C'de Cu-Ni ara tabaka kullanılarak yapılan difüzyon kaynaklarının optik görünüşleri ve mikrosertlik grafikleri (Figure 6. Hardness impression profiles and optic figures of specimen diffusion bonded at 940°C for Cu-Ni interlayer)

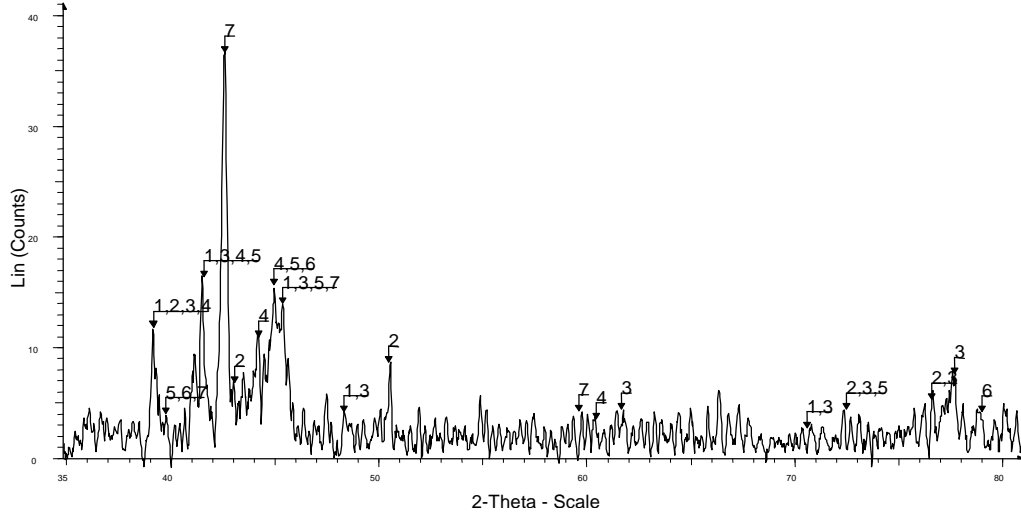
970°C'de Cu ve Ni aratabaka kullanılarak yapılan birleştirmelerde (Şekil 7) Cu ve Ni aratabaka kullanılarak yapılan birleştirmelerin tamamında arakesit çizgilerinin yok olduğu ve boşlukların tamamen kapandığı tespit edilmiştir. Ara kesit çizgilerinin yok olması ve boşlukların kapanması kaynak kalitesinin belirlenmesindeki önemli faktörlerden olması nedeni ile metalurjik açıdan iyi bir birleştirmenin sağlandığı söylenebilir. 970°C'de yapılan birleştirmelerde Cu aratabaka kalınlığında kaynak sonrası kalınlık ~25-30 µm iken, Ni aratabaka kalınlığının ~5-10 µm'ye incelendiği tespit edilmiştir. 940 ve 970 °C'de yapılan birleştirmeler Ni difüzyonu açısından kıyaslandığında Ni difüzyonunun 970 °C sıcaklıkta daha fazla olduğu görülmektedir. Birleştirilen tüm numunelerde arakesite yakın bölgede hızlı bir sertlik artışı tespit edilmiştir. Sertlik artışları Ni ve Cu aratabaka numunelerde ~40-70 µm aralığında max. değerlere ulaşmıştır. Ni aratabaka kullanılan numunelerde sertliğin Cu aratabakalı numunelere göre daha fazla arttığı ölçülmüştür, bu sertlik artışının sebebi nikel-titanyum bileşiklerine bağlanabilir. Ana malzemede titanyumun en yüksek olduğu numunelerde daha yüksek sertlik değerleri bulunmuştur. Cu ve Ni aratabaka kullanılarak yapılan birleştirmelerde yapılan EDS analizlerinden Ni-Ti-Cu tozlarının kompozit içerisinde homojen bir dağılım gösterdiği ve arakesitte Ni-Ti-Cu difüzyonunun gerçekleştiği görülmektedir (Şekil 7).





Şekil 7. 970°C'de Cu-Ni ara tabaka kullanılarak yapılan difüzyon kaynaklarının optik görünüşleri ve mikrosertlik grafikleri (Figure 7. Hardness impression profiles and optic figures of specimen diffusion bonded at 970°C for Cu-Ni interlayer)

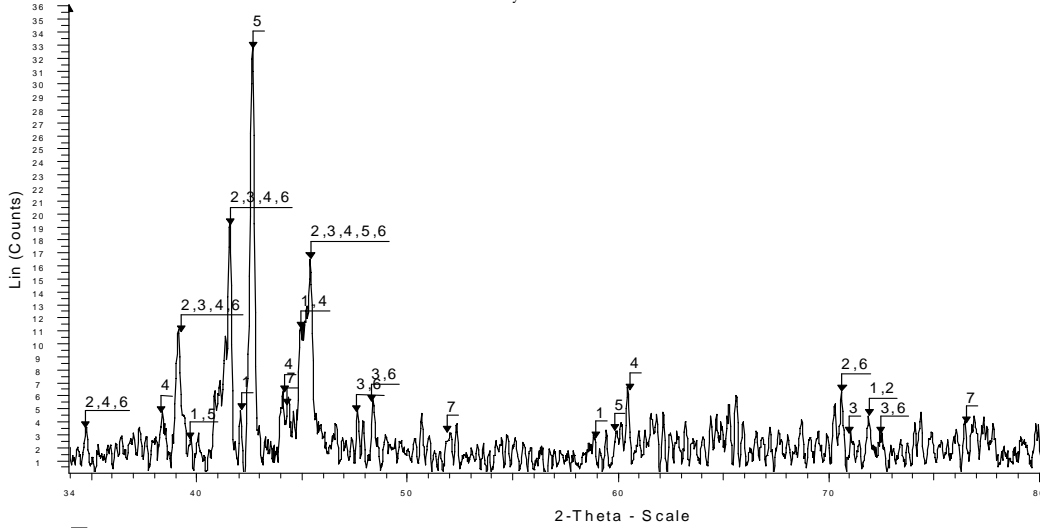
Kaynaklı bağlantıların ara kesit bölgesinde yapılan X-Ray analizlerinde tüm numunelerde yoğun olarak  $NiTi_2$  ve  $NiTi$  fazlarına rastlanılmıştır. Bakır aratabakalı numunelerde  $Ti_4Ni_3Cu_3$  fazı, nikel aratabakalı da ise  $TiNi$  ve  $Ti_{12}Ni_{10}Cu$  fazları tespit edilmiştir (Şekil 8 ve 9).



Bileşiğin Numarası	Bileşiğin		Kristal Sistemi
	İsmi	Kapalı formül	
1	Nickel Titanium	NiTi <sub>2</sub>	Cubic
2	Copper Nickel Titanium Hydride	Cu <sub>0.8</sub> Ni <sub>0.2</sub> Ti <sub>2</sub> H <sub>0.65</sub>	Tetragonal
3	Nickel Titanium Oxide	Ni <sub>2</sub> Ti <sub>4</sub> O	Cubic
4	Nickel Titanium	NiTi	Monoclinic
5	Copper Titanium	Cu <sub>3</sub> Ti	Orthorhombic
6	Nickel Carbide	Ni <sub>3</sub> C	Hexagonal
7	Copper Nickel Titanium	TiNi <sub>0.8</sub> Cu <sub>0.2</sub>	Monoclinic

Şekil 8. Cu ara tabaka kullanılarak yapılan difüzyon kaynaklarının X-Ray analizleri

(Figure 8. X-Ray analyses of specimen's diffusion bonded for Cu interlayer)



Bileşiğin Numarası	Bileşiğin		Kristal Sistemi
	İsmi	Kapalı Formülü	
1	Nickel Carbide	Ni <sub>3</sub> C	Hexagonal
2	Nickel Titanium Oxide	Ni <sub>2</sub> Ti <sub>4</sub> O	Cubic
3	Nickel Titanium	Ti <sub>2</sub> Ni	Cubic
4	Nickel Titanium	NiTi	Monoclinic
5	Copper Nickel Titanium	TiNi <sub>0.8</sub> Cu <sub>0.2</sub>	Monoclinic
6	Nickel Titanium	NiTi <sub>2</sub>	Cubic
7	Nickel, syn	Ni	Cubic

Şekil 9. Ni ara tabaka kullanılarak yapılan difüzyon kaynaklarının X-Ray analizleri  
(Figure 9. X-Ray analysis of specimens diffusion bonded for Ni interlayer)

##### 5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND SUGGESTIONS)

Toz metalurjisi yöntemi ile üretilmiş Ni-Ti-Cu kompozit malzemelerin, Ni ve Cu aratabaka kullanılarak, argon koruyucu gaz atmosferinde, 5 MPa'lık dinamik yükleme ve 60 dakikalık sabit sürede 910, 940 ve 970°C'lik sıcaklıklarda yapılan difüzyon kaynağında bütün numunelerde endüstriyel şartlarda birleşmenin gerçekleştiği tespit edilmiştir.

910°C'de nikel aratabaka kullanılarak yapılan birleştirmede nikel aratabakadan ana malzemeye en yüksek difüzyon C numunesinde elde edilmiş ve aratabakadaki incelmenin ~10-20 µm olduğu belirlenmiştir.

940°C'de yapılan birleştirmelerde de en iyi birleşme nikel oranının en yüksek olduğu C numunesinde elde edilmiş ve aratabakada ~10-30 µm'lik incelme belirlenmiştir.

940°C'de yapılan birleştirmelerden alınan X-Ray analizler sonucunda yer yer TiNi, Ti<sub>3</sub>Ni<sub>4</sub>, Ti<sub>2</sub>Ni ve az oranda Cu<sub>3</sub>Ti ve Cu<sub>4</sub>Ti fazlarına rastlanmıştır. Mikrosertlik değerleri 910°C'de yapılan birleştirmelere göre daha yüksek tespit edilmiştir. Bu da Ti<sub>2</sub>Ni fazının 940°C sıcaklıkta yapılan birleştirmelerde daha yaygın bulunmasına bağlanabilir.

970°C'de yapılan birleştirmelerde bakır aratabaka kalınlığında 910 ve 940°C'de yapılan birleştirmelere göre daha fazla incelmeye meydana gelmiştir. 970°C'de yapılan birleştirmeler kendi içinde kıyaslandığında ise bakır aratabakanın difüzyona uğrama miktarı ana malzemedeki bakır oran ile ters orantılı olarak değişmiştir. 970°C'de tüm birleştirmelerde mekanik ve metalurjik açıdan yeterli mukavemette bağlantılar elde edilmiştir. Numunelerde bazı bölgelerde aratabakanın neredeyse tamamen difüzyon ve plastik deformasyon etkisiyle yayındığı belirlenmiştir. En iyi birleştirme C numunesinde tespit edilmiştir.

970°C sıcaklıkta genel olarak nikel aratabakanın ~10-30 µm kadar incelendiği, en iyi kaynak kalitesinin; 970°C'de yapılan birleştirmelerde ana malzemede nikel miktarı en yüksek olan C numunesinde maksimum bindirme kayma değeri olan 193 MPa elde edilmiştir. Ana malzemedeki bakır oranına bağlı olarak sertlik değerleri değişmiş, bakır arttıkça sertlik düşmüştür. Sertlik analizleri sonucu bakır aratabaka bölgesi YMK kafesli doğası gereği ve diğer metallerle oran itibarı ile daha az sert metal bileşikleri oluşturduğundan, beklendiği gibi en yumuşak bölge olduğu tespit edilmiştir.

Kaynak birleşme bölgesindeki aratabakanın sertlik değerlerinin en düşük sertliğe sahip olduğu gözlemlenmiştir. Birleştirme sonrası mikrosertlik değerleri incelendiğinde; bakır ve nikelin ağırlıklı bulunduğu ara bölgede mikrosertliğin düşük olduğu, geçiş bölgesinde doğrusala yakın bir seyirle hızla arttığı, özellikle titanyum nikel bileşik fazlarının olduğu noktalarda en üst düzeye ulaştığı, sonra da birleştirilen parçaların orijinal sertlik değerlerine yakın değerlere kadar düşme gösterdiği tespit edilmiştir.

Kaynaklı bağlantının ara kesit bölgesinde yapılan X-Ray analizlerinde tüm numunelerde yoğun olarak NiTi<sub>2</sub> ve NiTi fazlarına rastlanılmıştır. Bakır aratabakalı numunelerde Ti<sub>4</sub>Ni<sub>3</sub>Cu<sub>3</sub> fazı, nikel aratabakalı da ise TiNi ve Ti<sub>12</sub>Ni<sub>10</sub>Cu fazları tespit edilmiştir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Kejanlı, H., (2007). Toz metalurjisi yöntemiyle üretilmiş Ni-Ti-Cu alaşımlarının sıvı faz difüzyon kaynağı ile birleştirilebilirliğinin araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
2. Taşkın, M., Dikbaş, H. ve Çalığülü, U., (2006). TM Yöntemiyle Üretilmiş Nitinol Alaşımının Difüzyon Kaynağında Sürenin Birleşme Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi, Metal Makine Dergisi, 162, ss:428-431.
3. Salehi, M.T., (1990). Isostatic Diffusion of Some Superplastic Alloys, PhD Thesis, UMIST, Manchester, UK.
4. Taşkın, M., Çay, V. ve Özdemir, N., (2005). Sürtünme Kaynağı ile Birleştirilmiş AISI 430/Ç1010 Çelik Çiftinin Arayüzey Mikroyapı Değerlendirmesi, Teknoloji Dergisi, 8, 1, ss:65-70.
5. Taşkın, M., Kejanlı, H., Fırat, E. Hanifi ve Çalığülü, U., (2008). T/M Yöntemiyle Üretilmiş Ni-Ti-Cu Alaşımlarının TLP Difüzyon Kaynağında Ni ve Cu Aratabaka Arasındaki Mikrosertlik Değerlerinin İstatistikî Olarak İncelenmesi, Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt:20(2), ss:379-388.
6. Çalığülü, U. ve Taşkın, M., (2006). Sıcak Presleme Yöntemiyle Üretilmiş AlSiMg-SiCp Takviyeli Kompozitlerin Difüzyon Kaynağında Basıncın Birleşme Üzerindeki Etkisinin Araştırılması, Metal Makine Dergisi, Cilt:159, ss:526-530.
7. Ellis M.B.D, Gittos M.F., Threadgill P.L., (1994). Joining aluminium based metal matrix composites, Materials World; 2, (8), pp:415-417.



8. Peterson, K.A., Park, C. and Dutta, I., (2002). Interfacial Sliding in Back-End Interconnect Structures in Microelectronic Devices, Proc. MRS Symp. 716.
9. Taşkın, M., Dikbaş, H., Çalığülü, U., Gür, A.K., Ozan, S., Çay, V.V., (2006). TM ile üretilmiş Nitinol alaşımının difüzyon kaynak yöntemiyle birleştirilebilirliğinin araştırılması, 11. Uluslararası Denizli Malzeme Sempozyumu, ss:767-771, Denizli.
10. Ozan, S., Çalığülü, U., Taşkın, M., Gür, A.K., Dikbaş, H., Çay, V.V., (2006). Sıcak presleme yöntemiyle imal edilmiş SiC<sub>p</sub> takviyeli alüminyum esaslı kompozitlerin difüzyon kaynağında sıcaklığın birleşme üzerindeki etkisinin incelenmesi, 11. Uluslararası Denizli Malzeme Sempozyumu, ss:233-236, Denizli.
11. Shirzadi, A.A., Wallach, E.R., (1997). Temperature Gradient Transient Liquid Phase Diffusion Bonding: A New Method for Joining Advanced Materials, Science and Technology of Welding and Joining, 2, 3, ss:89-94.
12. Dikbaş, H., Çalığülü, U. ve Taşkın, M., (2008). Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretilmiş Ni-Ti Kompozitinin Difüzyon Kaynağında Sıcaklığın Birleşme Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi, Teknolojik Araştırmalar, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi Cilt:5, Sayı:1, ss:1-6.
13. Aydın, M., TR2002 02710 U Patentli Difüzyon Kaynak Makinesi, Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kütahya, TÜRKİYE.