

DEMİR ESASLI TOZ METAL PARÇALARIN ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞINDA OPTİMUM KAYNAK ŞARTLARININ BELİRLENMESİ

*Nurettin YAVUZ**
Rukiye GÜNER

Özet: Metal tozlarının preslenerek üretildiği toz metal parçaların günümüzde birleştirilmesine de ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada demir esaslı toz metal malzemeden toz metalürjisi teknikleri kullanılarak $4 \times 12 \times 70 \text{ mm}^3$ boyutlarında toz metal parçalar üretilmiştir. Sinterlenmiş toz metal parçalar birbirine elektrik direnç kaynağı ile belirli şartlarda kaynatılarak elde edilen kaynak bağlantısının mekanik özellikleri ve mikro yapı değişimleri incelenmiştir. Deneysel çalışmalar sonunda toz metal parçaların elektrik direnç kaynağı ile kaynatılabileceği gözlenmiştir. Fakat kaynak bölgesinde porozite ve mikro yapı yönünden önemli yapısal değişimler tespit edilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda kaynak parametreleriyle fiziki ve mekanik özelliklerin değişimleri incelenmiş ve optimum kaynak parametreleri belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Toz metal, Elektrik direnç kaynağı, Optimum parametre.

Determination of Optimum Welding Parameters of Iron-Based Powder Metal Parts in the Resistance Welding

Abstract: Nowadays, it was needed to join the powder metal parts which were manufactured by pressing the metal powders. In this study, $4 \times 12 \times 70 \text{ mm}^3$ dimensions powder metal parts are produced by using iron based powder metal material obtained by powder metal techniques. Powder metal parts sintered welded by certain conditions of resistance welding are welded. Mechanical, physical properties and microstructure of welding joint are examined comparatively. Experimental results showed that weldability of iron based powder metal parts which is welded by resistance welding is observed. But, in the welding area, from the point of porosity and microstructure important variation is determined. Variation of physical and mechanical properties together with the welding parameters is examined at the end of experimental studies. Finally optimum welding parameters are determined for iron-based powder metal parts.

Key Words: Powder metal, Resistance welding, Optimum parameters.

1. GİRİŞ

Toz metalürjisi çok küçük partiküllerin birbirini preslenmesiyle bağlanarak parça haline getirilmesi işlemidir. Maliyet ve kalitenin hedef haline geldiği şu günlerde toz metal teknikleri ile parça üretimi giderek önem kazanmaktadır. Toz metalürjisinin önemi; döküm, talaşlı imalat veya plastik deformasyonla şekillendirilmesi oldukça zor veya imkansız olan parçaların bu yöntemle kolaylıkla ve kütle üretimlerde ekonomik bir şekilde üretilmesinden kaynaklanmaktadır. (Anonim, 1984).

Milattan önce 3000 yıllarında Mısır'da toz metalürjisi ile üretilmiş küçük parçalara rastlanmasına rağmen ilk önemli kullanımı 1920 yılında tungsten-karbür kesici takımlarının üretimi şeklinde gerçekleşmiştir. Modern anlamda yeni bir parça üretim tekniği olarak teknolojiye yerini ikinci dünya savaşından sonra almıştır. Toz metal tekniği ile maksimum 45 kg ağırlığında ve 500 mm boyunda bazı parçaların üretilmektedir. Toz metalürjisi ürünlerinin %70'i otomotiv endüstride %12'si iş makinalarında, %5'i tarım aletlerinde ve %13'lük oranı da güncel aletlerde kullanılmaktadır. Bununla birlikte uçak endüstrisi, ileri teknoloji kompozitleri, elektronik parçalar magnetik malzemeler ve talaşlı imalatta kullanılan kesici takımların üretiminde kullanımı hızlı bir büyüme göstermektedir. Dünyada toz metal piyasası yılda %12 oranında büyüme göstermektedir. En çok kullanılan metal tozu %85 ile demir tozudur. İkinci sırada %6-7 ile bakır alaşımları gelir. (Çiğdem 1998). Bu üretim yönteminde ince partikül şeklindeki saf metaller, alaşımlar, karbon, seramik ve plastik malzemeler birbiriyle karıştırılarak basınç altında şekillendirilirler. Daha sonra bu parçalar ana bileşenin ergime sıcaklığının altında bir sıcaklıkta sinterlenerek partiküllerin temas yüzeyleri arasında kuvvetli bir bağ oluşturulur ve böylece istenilen özellikler elde edilir.

* Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü 16059, Görükle, Bursa

Toz metalurjisi küçük, karmaşık ve boyutsal hassasiyeti yüksek parçaların seri imalatına oldukça uygundur. Malzeme kaybı çok azdır. Bu yöntemde ergime kayıpları yoktur, yakın toleranslar ve düzgün yüzeyler elde edilir. Fakat tüm bunların yanında tozların kalıp içerisinde akıcılığının sınırlı olmasından dolayı yapılacak parçanın şekli kısıtlayıcı bir faktördür. Ayrıca ilk yatırım maliyetleri (presler, sinter teçhizatları) oldukça pahalıdır. Seri üretim yapılmadığı takdirde amortisman değerleri yüksek olur.

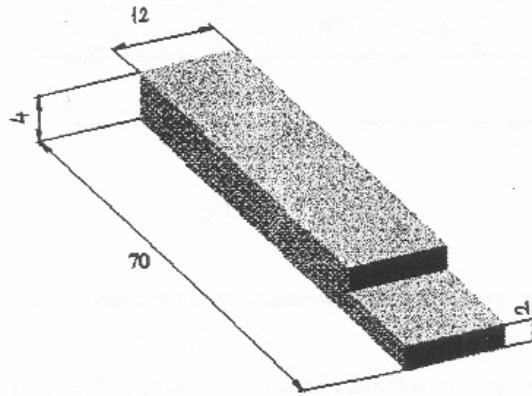
Klasik yöntemlerle üretilen parçalarda ihtiyaç duyulan kaynaklı birleştirme tekniklerine toz metal parçalarda da ihtiyaç duyulmaktadır. Toz metal parçaların poroziteli malzemeler olması ve kaynak ile poroz yapının bozulması nedeniyle toz metal parçaların kaynağı konusu ikinci planda kalmıştır. Ancak toz metal parçaların birleştirilmesi günümüzde ihtiyaç haline gelmektedir. Yapılan çalışmalarda kaynak yöntemlerinin toz metal parçalarda da uygun yöntemler ve kaynak parametrelerinde başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. (Kurt ve ark. 1996)

Yaptığımız çalışmada demir tozlarından toz metalurjisi metodu ile elde edilen parçalar sürekli sinter fırında sinterlendikten sonra elektrik direnç kaynağı ile birleştirilmiştir. Parçalar arasındaki kaynak kabiliyeti ve kaynak bölgelerinin mikro yapıları incelenmiştir. Deneyler sonucu belirli kaynak parametrelerine göre (süre, akım, ve basınç) toz metal parçalarının birbirleriyle elektrik direnç kaynağı ile kaynak edilebilirliği araştırılmıştır.

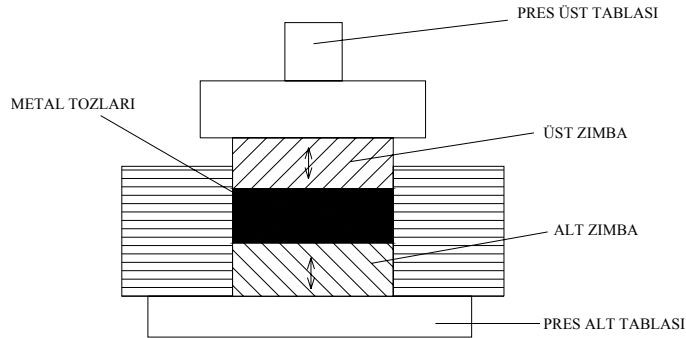
2. MATERYAL ve YÖNTEM

2.1. Materyal

Deneyel çalışmalarda, kimyasal kompozisyonu %2 Cu, %1 Zn ve geri kalan kısmı da demir olan 325 mesh boyutunda toz metal parçalar kullanılmıştır. Toz metal parçalar, Şekil 2.1'de verilen boyutlarda, Şekil 2.2'deki metal kalıp içerisinde $6,65\text{g/cm}^3$ yoğunlukta olacak şekilde eksantrik pres kullanılarak ön şekillendirme uygulanmıştır. Presleme işlemi olarak çift yönlü presleme uygulanmış ve kuvvetin daha dengeli dağılımı sağlanmıştır.



Şekil 1:
İmal edilen toz metal parçalar. (Boyutlar mm)



Şekil 2:
Toz metal numune imalatında kullanılan toz metal kalıp

Ön şekillendirilmiş parçalar 1100°C sıcaklıkta azot atmosferli sürekli sinter fırınında 30 dakika süreyle sinterleme işlemine tabi tutularak gereken mukavemete sahip olması sağlanmıştır. Deneysel çalışmalarda numune kalınlıklarının eşit olması ve yüzey geometrisinin iyileştirilmesi amacıyla parça yüzeyleri taşlama işlemine tabi tutulmuştur.

2.2. Yöntem

Optimum kaynak şartlarının tespit edilebilmesi için çizelge II.I de verilen şartlarda numuneler şekil 2.3 de verilen pozisyonda elektrik direnç kaynağı ile kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. Kaynak işlemi üç grupta gerçekleştirilmiş olup her grupta kaynak parametreleri olan zaman, kuvvet ve akım değerlerinin ikisi sabit tutulup biri değiştirilerek uygulanmıştır.

Kaynak işleminde kullanılan elektrik direnç kaynağı makinası 210 kW gücünde, 5 bar basıncında, sekonder voltajı 12 volt olup 400 kg maksimum kuvvet basabilme özelliğine sahiptir. Kaynak işleminde su soğutmalı bakır elektrotlar kullanılmıştır. Kaynak işlemi esnasında gerekli olan basma kuvveti tezgahdaki pnömatik sistemle sağlanmakta olup, kaynak akımı tezgaha bağlı olan bir ampermetre ile 0,1 kA hassasiyetinde ölçülmektedir. Kaynak işlemi uygulanan 12 nolu (8 cycle, 14,5 kA, 240 daN) parçalardan bir tanesi gerilme giderme tavlamasına tabi tutulmuştur. Gerilme giderme tavlaması 600°C sıcaklıkta uygulanmıştır.

Çizelge I. Toz metal parçalarının elektrik direnç değerleri:

A) Zaman ve kuvvet sabit, akım değişken

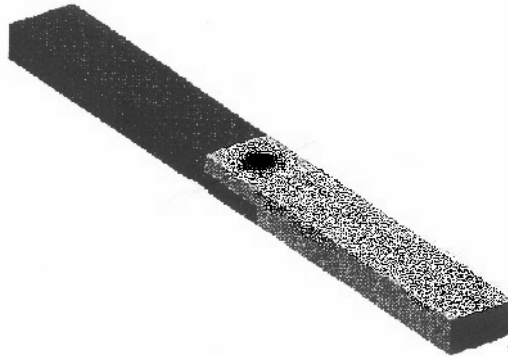
PARÇA NO	ZAMAN(cycle)	AKIM(kA)	KAYNAK BASINCI(daN/cm ²)
1	6	12,5	240
2	6	13,2	240
3	6	13,5	240
4	6	14	240

B) Zaman ve akım sabit kuvvet değişken:

PARÇA NO	ZAMAN(cycle)	AKIM(kA)	KAYNAK BASINCI(daN/cm ²)
5	6	13	260
6	6	13	280
7	6	13	290
8	6	13	300

C) Akım ve kuvvet sabit zaman değişken:

PARÇA NO	ZAMAN(cycle)	AKIM(kA)	KAYNAK BASINCI(daN/cm ²)
9	5	14,5	240
10	6	14,5	240
11	7	14,5	240
12	8	14,5	240



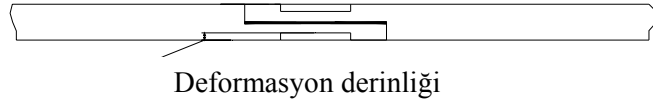
Şekil 3:
Toz metal numunelerin elektrik direnç kaynağında kaynatılma pozisyonu

3. DENEYSEL SONUÇLARIN İNCELENMESİ

6,65 g/cm³ yoğunlukta preslenip sinterlenmiş toz metal parçaların optimum elektrik direnç kaynak parametrelerinin tespit edilebilmesi için Çizelge II.I'de verilen şartlarda parçalar kaynak edilerek mekanik deneylere ve metalürjik incelemelere tabii tutulmuştur. Elektrik direnç kaynağı ile kaynatılmış parçalarda istenen özellik, bağlantının sağlıklı bir şekilde oluşup ihtiyaç duyulan mukavemet değerlerinin sağlanmasıdır.

3.1 Bağlantının Şekil İtibariyle İncelenmesi

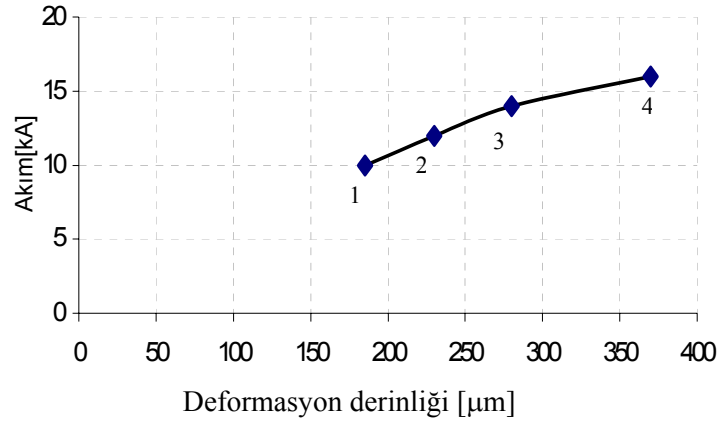
Bağlantının şekil itibariyle incelenmesi durumunda elektrotların baskı uyguladığı bölgelerde Şekil 3.1'deki deformasyonların oluştuğu gözlenmiştir. Kaynak parametreleri esas alındığında kaynak bölgesinde oluşan deformasyonlar Çizelge III.I ile Şekil 3.2, 3.3 ve 3.4'de verilmiştir.



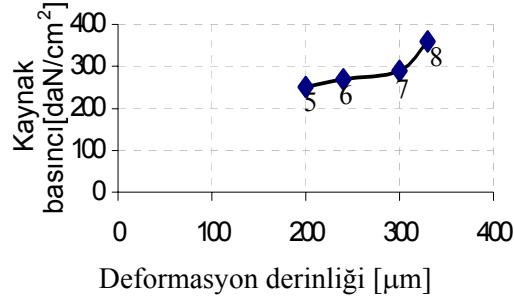
Şekil 4:
Elektrik direnç kaynağı uygulanan parçalarda oluşan deformasyon

Çizelge II. Kaynak edilen parçalarda oluşan deformasyon derinlikleri

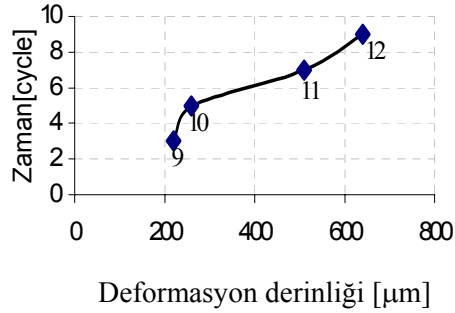
PARÇA NO	ZAMAN(cycle)	AKIM(kA)	KAYNAK BASINCI(daN/cm ²)	DEFORMASYON DERİNLİĞİ (µm)
1	6	10	240	185
2	6	12	240	230
3	6	14	240	280
4	6	16	240	370
5	6	13	250	200
6	6	13	270	240
7	6	13	290	300
8	6	13	360	330
9	3	14,5	240	220
10	5	14,5	240	260
11	7	14,5	240	510
12	9	14,5	240	640



Şekil 5:
1, 2, 3, 4 nolu parçaların akım-deformasyon derinliği grafiği
(zaman: 6cycle, basınç: 240daN/cm² sabit)



Şekil 6:
5, 6, 7, 8 nolu parçaların basınç-deformasyon derinliği grafiği
(zaman: 6cycle, akım: 13kA sabit)



Şekil 7:
9, 10, 11, 12 nolu parçaların zaman-deformasyon derinliği grafiği
(akım: 14,5kA, basınç: 240daN/cm² sabit)

3.2. Kaynak Bağlantısı Mikroyapı İncelemesi

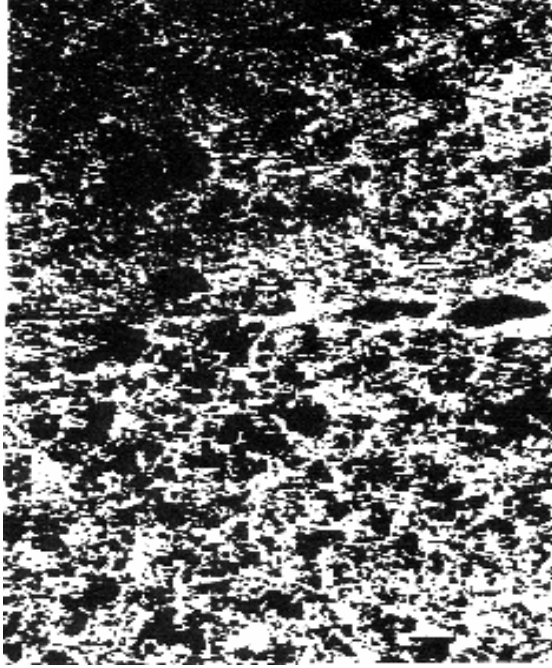
Çizelge II.I'de verilen kaynak parametreleri kullanılarak elektrik direnç kaynağı yapılmış parçaların mikroyapı fotoğrafları çekilerek mikroyapı incelenmiştir. Ana malzeme mikro yapısı Şekil 3.5'te verilmiştir. Ana malzemenin mikroyapısında homojen bir dağılımın olduğu görülmektedir. Şekil 3.6'da verilen mikroyapı fotoğrafından görüldüğü gibi ısı etkisi altında kalan bölgede gözeneklerin giderek büyüdüğü ve kaynak bölgesinde gözenek sayısının önemli derecede azaldığı, buna karşılık gözeneklerde büyümelerin olduğu tespit edilmiştir.

Akım geçiş süresine bağlı olarak bu büyük gaz boşluklarının yüzeye doğru yönlendikleri görülmüştür. Kaynak bölgesindeki gaz boşluklarının yüzeylerin düzgün olması ve sayısının azlığı kaynak bölgesinin gevrekliğini azaltıp mukavemetini arttırmıştır. Ayırma çekme deneylerinden de görüldüğü gibi parçalarda kırılmalar kaynak bölgesinde olmayıp daima ısı etkisi altındaki bölgelerde meydana gelmiştir.

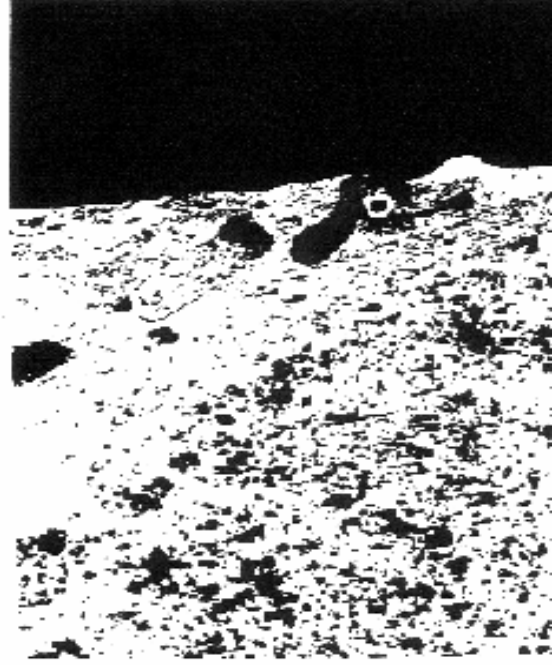
3.3 Kaynak Bağlantısının Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

3.3.1. Ayırma Deneyi

Elektrik direnç kaynağı ile kaynak edilmiş parçalar, punta ayırma deneyine tabi tutulmuştur. Yapılan punta ayırma deneyleri sonucunda kaynak edilmiş toz metal parçaların kaynak puntalarına yakın bölgelerden (ısı etkisi altındaki bölgeden) şekil değişimine uğramadan kırıldıkları görülmüştür.



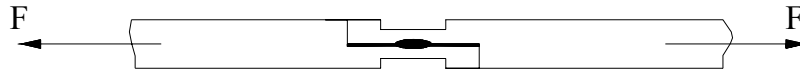
Şekil 8:
Kaynaklı toz metal parçaların
mikroyapısı. (x100)



Şekil 9:
Toz metal parçaların kaynak
bölgelerinin mikroyapısı. (x100)

3.3.2. Çekme Deneyi

Çizelge II.I'de verilen kaynak parametreleri ile 12 değişik şartlarda hazırlanan 6'şar adet deney numunelerine çekme işlemi uygulanmıştır. Şekil 3.7'de şematik olarak gösterilen bu işlem çekme cihazında 5 mm/dk hızda çekilerek gerçekleştirilmiştir. Çekme deneyinde kaynak bölgeleri kesiye zorlanmıştır. Fakat kaynak bölgesinde deformasyon oluşmadan toz metal parçalarda kaynak bölgesine yakın yerlerde kopmalar görülmüş ve çekme deney sonuçları Çizelge III.II'de toplu olarak verilmiştir.

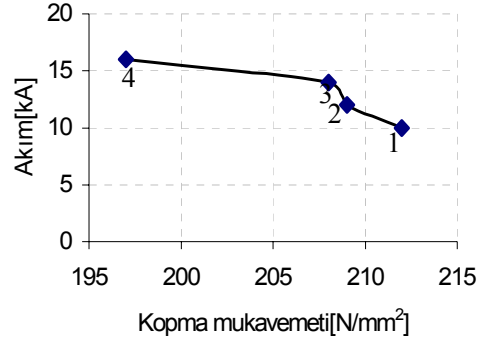


Şekil 10:
Çekme işleminin şematik olarak gösterilmesi

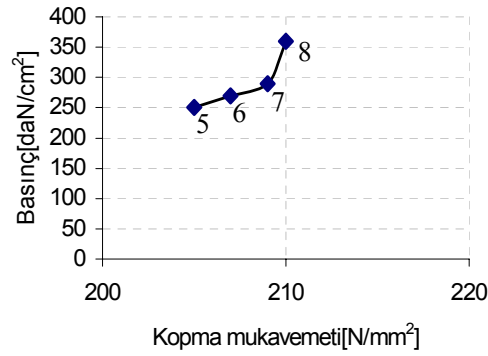
Çizelge III. Çekme Deney Sonuçları

PARÇA NO	ZAMAN(cycle)	AKIM(kA)	KAYNAK BASINCI(daN/cm ²)	KOPMA MUK.(N/mm ²)
1	6	10	240	212
2	6	12	240	209
3	6	14	240	208
4	6	16	240	197
5	6	13	250	205
6	6	13	270	207
7	6	13	290	209
8	6	13	360	210
9	3	14,5	240	209
10	5	14,5	240	207
11	7	14,5	240	205
12	9	14,5	240	201
12*	9	14,5	240	204

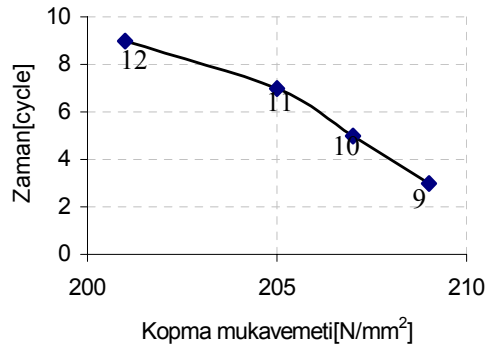
Not: 12*nolu parça gerilme giderme tavlama uygulanmış parçadır.



Şekil 11:
1, 2, 3, 4 nolu parçaların akım-kopma mukavemeti grafiği
(zaman: 6cycle, basınç: 240daN/cm² sabit)



Şekil 12:
5, 6, 7, 8 nolu parçaların basınç-kopma mukavemeti grafiği
(zaman: 6cycle, akım: 13kA sabit)



Şekil 13:
9, 10, 11, 12 nolu parçaların zaman-kopma mukavemeti grafiği
(akım: 14,5kA, basınç: 240daN/cm² sabit)

3.4. Sonuç ve Öneriler

Toz metal parçalar; metal tozlarının basınç altında preslenmesi ve daha sonra sinterlenmesi ile elde edilmektedir. Dolayısıyla metal tozlarıyla elde edilen toz metal parçalar uygulanan basınca, toz şekline ve boyutuna bağlı olarak çeşitli yoğunluklarda olabilmektedir. Ancak demir tozları ile elde edilen toz metal parçaların yoğunluğu 7,8g/cm³'e ulaşamaz. Günümüzde özel tekniklerin uygulanması ile %99,99'a varan yoğunluklarda parçalar üretilebilmektedir. Bu yüzden toz metal parçalarda porozite (gözenek) söz konusudur. Bu porozitenin istendiği filtre gibi üretim uygulamalarında aranan bir özelliktir.

Toz metal parçaların kaynak işlemi ile birleştirilmesi problemlidir ve bu durum kaynak parametrelerinin ön plana çıkmasına neden olmaktadır. Kaynak parametrelerinin uygun şartlarda olmaması durumunda toz metal parçalarda; çatlama, dağılma, çökme veya hiç birleşmeme gibi sorunlarla karşılaşılabilir. Ergitme esaslı kaynak yöntemlerinde kaynak bölgesinde tamamen, ısı etkisi altındaki bölgede kısmen toz

metal parça özellikleri kaybolmaktadır. Porozitenin önemli olduğu yerlerde birleştirmede; ergitme kaynak metodu yerine difüzyon kaynağı gibi yöntemler kullanılmalıdır.

Elektrik direnç kaynağı ile birleştirilmiş toz metal parçaların, punta ayırma ve çekme deney sonuçları, toz metal malzemelerin elektrik direnç kaynağının, düşük karbonlu çelik sacların kaynağı gibi kolay olmadığını göstermektedir ve toz metal parçalarda kaynak parametrelerinin daha hassas olduğu tespit edilmiştir.

Deney sonuçları ele alındığında;

- Akım, zaman, basınç artışı ile kaynak bölgesinde çökme (şekil bozuklukları) artmaktadır.
- Kaynak bölgesinde, seçilen değerler çerçevesinde birleşme yeterli mukavemete ulaşabilmektedir.
- Toz metal parçaların özellikleri kaynak bölgesinde ve ısı etkisi altındaki bölgede değişmektedir.
- Yapı homojenliğinin önemli olduğu yerlerde elektrik direnç kaynak yöntemi tercih edilmemelidir.
- Kaynak bölgelerinde deformasyon oluşmaktadır.
- Gerilme giderme tavlama gibi ısı işlemleri uygulanarak kaynak bağlantısının mekanik özellikleri iyileştirilebilir.
- Toz metal parçaların teknik ve ekonomik olarak kaynak edilebileceği görülmüştür.
- Deney sonuçları incelendiğinde 1 nolu (6 cycle, 10 kA, 240 daN), 5 nolu (6 cycle, 13 kA, 250 daN) ve 9 nolu (3 cycle, 14.5 kA, 240 daN) deney parçalarında verilen parametrelerin mukavemet ve fiziksel özellikleri yönünden optimum kaynak şartlarını sağladığı görülmektedir.

Sonuç olarak demir esaslı toz metal malzemelerden elde edilen parçaların elektrik direnç (direnç-nokta) kaynağı ile teknik ve ekonomik olarak kaynak edilebileceği görülmüştür. Kaynaklı parçaların şekil ve büyüklüğüne göre ısı işlemleri ile kaynak bağlantı özellikleri iyileştirilebilir.

4. KAYNAKLAR

1. Anonim (1971) *Metals Handbook*, Volume 6, *Welding and Brazing* A. S. M. Handbook Comitee, Ohio.
2. Anonim (1984) *Metals Handbook*, 9. baskı, Cilt 7, *Powder Metallurgy* A. S. M.
3. Bocchini, G. F. (1978) *The P/M from the Standpoint of Energy Consumptions*, 5 th European Symp. On P/NI, Stockholm, 23-24.
4. Çiğdem, M. (1998) *İmal Usulleri*, Yıldız Üniversitesi İstanbul.
5. Demir, A. (1992) *Sinterlenmiş Demir Toz Metal Malzemelerin Mekanik Özellikleri*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
6. Eryürek, İ. B. ,Bodur, O. Dikicioğlu, A. (1996) *Kaynak Teknolojisinin Esasları*, Birsen Yayınevi, İstanbul.
7. Gültekin, N. (1981) *Kaynak Tekniği*, Yıldız Üniversitesi, İstanbul.
8. Hausner, H. H. (1966) *Handbook of Metal Powders*, A. R. Poster (Ed.), Reinhold.
10. Kurt, A. Gülenç, B. Türker, M. I. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı, Gazi Üniversitesi, Ankara, 595-602.
11. Özdural, H. (1996) I. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı, Gazi (Üniversitesi, Ankara, 725-732.
12. Randal, M. G. (1989) *Powder Metallurgy Science*, Princeton.
13. Sands, R. L (1966) *Powder Metallurgy, Practice and Application*, George Newnes Ltd., Londra.
14. Uygur, M. E (1996) I. Ulusal Toz Metalurjisi Konferansı, Gazi Üniversitesi, Ankara, 477-484.