

## **BİLYALI DÖVME İŞLEMİ VE YÜKSEK SICAKLIĞIN, BAKIR İLAVELİ TOZ METAL ÇELİK PARÇALARIN YORULMA DAYANIMINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**Ali BAŞARAN<sup>a</sup>, Remzi VAROL<sup>b</sup>, Gürsev PİRGE<sup>c</sup>, Süleyman BAŞTÜRK<sup>a</sup>  
ve Hatice VAROL<sup>d</sup>**

<sup>a</sup> Hava Harp Okulu, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye

<sup>b</sup> SDÜ, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

<sup>c</sup> Hava Harp Okulu, Dekanlık, Yeşilyurt, İstanbul, Türkiye

<sup>d</sup> Cumhuriyet Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Sivas, Türkiye

### **ÖZET**

Değişken gerilmeler altında çalışan makine parçalarının, yorulma dayanımı değerlerinin artırılması için bilyalı dövme işlemleri pratikte endüstriyel anlamda yaygın olarak uygulanmaktadır. Tam yoğun malzemelerden imal edilmiş makine parçaları önemli bir soğuk yüzey işlemleri olan bilyalı dövme işlemi uygulandığında dövülen parçanın yüzey bölgesinde bir tabakada kalıcı basma gerilmesi oluşmaktadır. Parçanın iç kısımlarında ise kalıcı çekme gerilmesi oluşmaktadır. Kalıcı basma gerilmeleri, dövülen parçaların yorulma dayanımlarını arttırmaktadır. Kalıcı basma gerilmesinin yorulma dayanımını artırıcı yöndeki etkisi, artan sıcaklıkla beraber kısmen veya tamamen ortadan kalkmaktadır. T/M parçalara uygulanan bilyalı dövme işlemlerinin yorulma dayanımlarını arttırdığı yapılan deneysel çalışmalarda gösterilmiştir. T/M parçalara bilyalı dövme işlemi uygulanması durumunda bir taraftan dövülen yüzeyde kalıcı baskı gerilmeleri oluştururken diğer taraftan dövülen parçalarda yüzey bölgesinde izafi yoğunluğun artmasına neden olmaktadır. Bu çalışmada, farklı bilyalı dövme şartlarında bilyalı dövme işlemi uygulanmış (FC 0205) bakır ilave edilmiş T/M çelik parçaların yüksek sıcaklığa maruz bırakılması durumunda yorulma dayanımındaki değişimler incelenmiştir. Bilyalı dövülmüş T/M çelik parçalar 560 °C sıcaklıkta 30 dakika tutulmuşlardır. Tüm numune gruplarına dönel eğmeli yorulma deneyleri uygulanarak her bir grup için S-N eğrileri çizilerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Numunelerin kırık yüzeyleri incelenerek metalografik çalışmalar ile yorulma deney sonuçları yorumlanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Bilyalı Dövme, S-N diyagramı, Toz Metalurjisi

### **INVESTIGATION OF THE SHOT PEENING EFFECT OF ELEVATED TEMPERATURE ON THE FATIGUE STRENGTH OF CUBBER ADDED P/M STEELS**

#### **ABSTRACT**

Shot peening is widely used in industry in order to increase the fatigue strength of machine parts under cycling loading. If shot peening process is applied to machine parts manufactured from fully dense alloys, residual compressive stresses are formed in a layer on the surface of the part. In the inner layers of the part, residual tensile stresses are formed. Residual

compressive stresses increase the fatigue strength of the shot-peened parts. Raising the temperature diminishes the increase in the fatigue strength value completely or partially. The positive effect of shot peening on the fatigue strength property of parts manufactured using powder metallurgy is proved experimentally. If shot peening is applied to parts manufactured by powder metallurgy, both the density of the part increases and residual stresses are formed on the shot-peened surface. In this study, steel powder metallurgy parts containing copper (FC 0205) are shot-peened using different parameters and the change in the fatigue strength values are analyzed when the parts are exposed to high temperature values. The parts are kept at 560°C for 30 minutes. The whole parts are applied rotating bending fatigue test. They are plotted S-N curve. The fractured surfaces are examined metallographically in order to interpret the fatigue test results.

**Keywords:** Shot peening, S-N Curve, Powder Metallurgy

## 1. GİRİŞ

Toz metalurjisi, uygun metotlarla hazırlanan metal tozlarının karıştırılıp istenilen şekle sıkıştırılarak sokulduktan sonra atmosfer kontrollü fırında sinterlenerek makine parçasına dönüştürülmesi yöntemidir[1].

T/M malzemelerin yoğunluğunu artırıcı her yöntem yorulma dayanımını da artırır. Yüksek presleme basıncı, küçük toz boyutu ve alaşım ilaveleri, sıvı faz sinterleme ile gözeneklerin doldurulması, yüksek sinterleme sıcaklığı ile küçük gözeneklerin difüzyonla kaybolması ve büyük gözeneklerin küreselleşmesi, yüzey tabakaların plastik deformasyonla yoğunlaştırılması ve faydalı kalıcı gerilme oluşturma yöntemlerinin hepsi yorulma dayanımını artırır. Çatlak başlaması için birbirine bağlı ve dışa açık gözenekler kapalı gözeneklere göre çok daha tehlikelidir. Yüzeydeki gözenekler gerilme birikmesinden ve yüzeydeki aşırı gerilmelerden dolayı yorulma çatlak başlangıcına uygun yerlerdir [2].

Bilyalı dövme işlemi, dövülmesi istenen malzemeye göre daha sert, genellikle küre şekilli dökme demir, çelik, cam, seramik gibi malzemelerden yapılmış bilyaları dövülecek malzeme üzerine batmasını sağlayacak büyüklükte bir hız verilerek fırlatılması işlemidir. Çok fazla miktarda fırlatılan bilyaların akışı bir su jetine benzetilebilir. Yüksek hızlı bilya jeti içindeki bilyalardan bir tanesinin hareketi incelendiğinde, küre şekilli bilyanın düz bir yüzeye gelip çarpması sonucu bu bölgede dövülen malzemenin aktığı gözlenir. Dövülen parçanın yüzeyinde küre takkesine benzer bir iz meydana gelmektedir. Bütün olarak bilya jeti dikkate alındığında dövülen malzemenin, yüzeyinde kısa süreli bir akma görülür. Deformasyona uğramış bu bölgeler genişlemeye çalışacaktır. Ancak iç bölgelerde plastik deformasyon görülmecektir. Plastik deformasyona uğramış tabaka daha fazla hacim kaplamak isteyecek ancak iç bölgeler buna izin vermeyecektir. Bunun sonucu yüzey tabakası belli bir derinliğe kadar, kalıcı basma gerilmesine maruz kalacaktır. Plastik ve elastik şekil değişikliğinin bir arada görülmesi kalıcı basma gerilmesinin ortaya çıkmasında etkili olmaktadır [3].

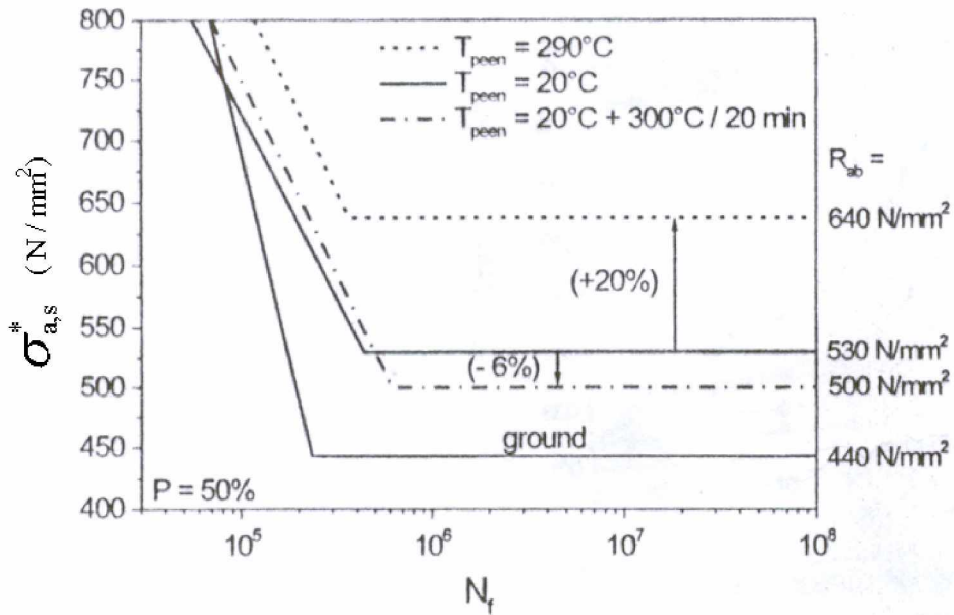
Bilyalı dövme işlemi ile T/M malzemelerin yorulma dayanımlarının artırıldığı, aşırı dövme, dövülen yüzeyde çatlak başlangıcına neden olduğu bundan dolayı yorulma dayanımının düştüğü belirtilmektedir [4].

Bilyalı dövme işleminde, bilyalı dövmeyi kısıtlayacak çok fazla bir özellik bulunmaz. Bununla beraber bazen, dövülecek parçanın yüzey sertliği, yüzey şartları, miktarı, şekli, boyutu ve malzemesi sınırlayıcı etkenler olabilir. Ana sınırlayıcılar, bilyalı dövülen yüzeyde

oluşturulan baskı tabakasının, makinalama ile kaldırılması veya malzemenin yüksek sıcaklıkta tutulması sonucu dış yüzeydeki gerilmesinin kalkması olarak söylenebilir.

Düşük sıcaklıklarda uygulanan temperleme işlemleri, bilyalı dövme sonucu oluşan kalıcı gerilmeler üzerinde olumsuz bir etkiye sahip değildir. Düşük alaşımli çelikler, kalıcı basma gerilmesi oluşmuş bölgede oluşan kalıcı gerilme değerinde ciddi bir düşüş olmadan, yarım saat kadar 175-230 °C’de tutulabilirler. Ancak, 540 °C üzerinde yüksek alaşım çelikleri dahil hiçbir demir esaslı malzemede, kalıcı gerilmenin korunması sağlanamaz. Alüminyum alaşımlarında da 175 °C üzerindeki sıcaklarda kalıcı gerilme profilinin faydalı etkisi kaybolur [5].

AISI 4140 çeliğinden imal edilmiş, su verilmiş ve temperlenmiş daha sonra farklı sıcaklıklarda bilyeli dövme işlemi uygulanmış numuneler için S-N eğrileri Şekil 1’de verilmektedir. Şekle göre oda sıcaklığından daha yüksek sıcaklıklarda yapılan bilyalı dövmenin yorulma dayanımındaki artışın oda sıcaklığındaki bilyeli dövme işlemine göre, daha fazla olduğu görülmektedir. Bu tür bilyalı dövme işlemlerine “ılık bilyalı dövme işlemi” denilmektedir. Ilık bilyeli dövme işleminde, konvansiyonel bilyeli dövme işlemine göre çok az bir basma kalıcı gerilme fazlalığı elde edilmiştir. Konvansiyonel bilyeli dövme işleminden sonra tavlama, yorulma dayanımını düşürür. Çünkü, bu ısıl işlem ile, çevrimsel yüklemeye esnasında kararlılık artarken, kalıcı gerilme azalır. [6].

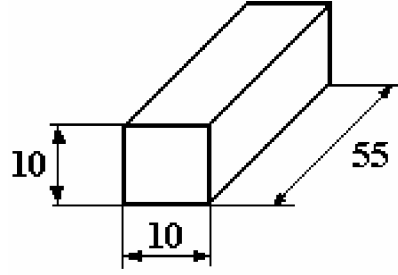


**Şekil 1.** Farklı sıcaklıkta bilyeli dövülmüş ve dövme işlemi yapılmamış AISI 4140 çeliğinden imal edilmiş numuneler için S-N eğrileri [6]

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneysel çalışmada, özellikle taşıt endüstrisinde yaygın olarak kullanılan FC 0205 bakır çeliğini (Fe + % 2 Cu + % 0.5 C) oluşturan tozlar esas alınmıştır. Yağlayıcı olarak da toplam karışım ağırlığının %0.8 oranında Zn-Stearate kullanılmıştır.

Tozlar, maksimum karıştırma kapasitesi 10 kg olan özel bir karıştırıcıda, 20 dev./dak süre ile 45 dakika karıştırılmıştır. T/M deney numunelerinin şekli ve boyutları Şekil 2’de verilmektedir. Numune taslakları tek etkili preste kalıp içinde 680 MPa basınç altında sıkıştırılmıştır. Sinterlenmemiş numunelerin ham yoğunluğu 6.99 g/cm<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür.

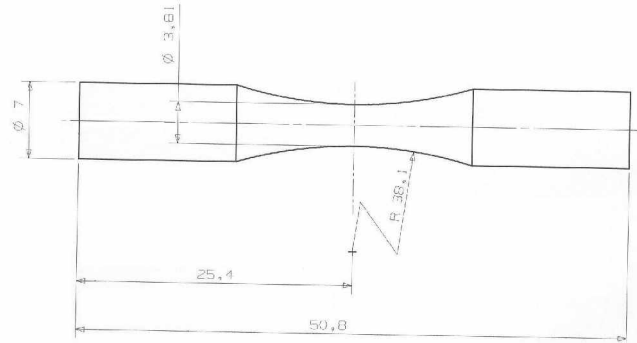


Şekil 2. T/M Numunelerin şekli ve boyutu

Sinterleme işlemlerinin yarısı Abar-İpsen atmosfer kontrollü vakum fırında, diğer yarısı ise endotermik gaz (propan) ortamına sahip sürekli sinterleme fırınında gerçekleştirilmiştir. Vakum sinterleme şartları; 0,5 bar kısmi vakumda, 13 °C/dak ısıtma hızında 1125 °C'ye çıkmış, bu sıcaklıkta 30 dak tutulmuş ve fan ve argon gazı kullanılarak 75 °C/dak soğutma hızında, gerçekleştirilmiştir. Konvansiyonel sinterleme şartları ise; endotermik gaz ortamına sahip sürekli sinterleme fırınında 1120 °C'de 30 dakika süreyle gerçekleştirilmiştir.

Sinterleme sonrası yoğunluk 7,02 g/cm<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. Bu değer, numuneyi oluşturan karışımın tam yoğunluğunun % 89,3'ne karşılık gelmektedir.

Şekli ve boyutları Şekil 2'de verilen briketler talaşlı imalat yöntemi ile işlenerek Şekil 3'de gösterilen yorulma numuneleri haline getirilmiştir. Talaşlı imalatta CNC torna tezgahı kullanılmış ve numunelerin yüzey kalitesine özen gösterilmiştir.



Şekil 3. Deneylerde kullanılan yorulma numunelerinin şekil ve boyutları

Bilyalı dövme işlemleri, Micropeen–Peenmatic 2000S yarı otomatik bilyalı dövme tezgahında gerçekleştirilmiştir. Numunelerden bir kısmı 20A bir kısmı da 32A Almen dövme şiddetinde bilyalı dövülmüştür. Dövme şiddetlerine ait parametreler Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Bilyalı dövme işleminde uygulanan işlem parametreleri

Almen Dövme Şiddeti	20A	32A
Almen Şeridi Tipi	A	A
Dövme Şiddeti (mm)	0,20	0,32
Doyurma Oranı	% 100	% 100
Basınç (psi), [bar]	80 [5,5]	100 [6,9]
Süre (s)	30	80
Bilye Malzemesi ve Çapı (mm)	Çelik, S110 (0,3)	Çelik, S230 (0,6)
Nozul- iş parçası arası uzaklık (cm)	15	15

FC 0205 bakır ilaveli çelik malzemeden numunelerde bilyalı dövme sonrasında oluşturulan kalıcı basma gerilmelerinin, uygulanan tavlama ısıl işlemi ile ne oranda etkisinin kaldığının, araştırılması amaçlanmaktadır. Bu nedenle deney numuneleri, bilyalı dövüldükten sonra 560 °C sıcaklıkta 30 dakika tutulmuşlardır.

Yorulma deneyleri, 380 V, 0,5 BG ve 2820 dev/dak (frekans 47 Hz) özelliklerine sahip masa üstü dönen eğmeli ankastre giriş tipi yorulma cihazında oda sıcaklığında yapılmıştır. Deneyler, numuneler hasara uğrayıncaya kadar kesintisiz sürdürülmüştür.  $3 \cdot 10^6$  çevrim sayısına kadar kırılma oluşmamişsa deneylere son verilmiştir. Deneylerde gerilme oranı  $R = -1$  olarak uygulanmıştır.

### 3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Fe+%2Cu+%0,5C çeliğın, 1120 °C’de 30 dakika ile sinterlenip, 7,1 gr/cm<sup>3</sup> yoğunlukta,  $R = -1$  eğmeli dönme yorulma testlerinde, yorulma dayanımını 125 MPa olarak verilmektedir [7].

Fe %1,5 Cu karışımından elde edilmiş numuneler 1280 °C’de, 7,1 ve 7,4 gr/cm<sup>3</sup> yoğunlukta, 30A, 40A ve 50A ile bilyalı dövme sonucu yorulma dayanımının % 47 arttığı belirtilmektedir. [8]. Fe %2 Cu ve %0,5 C’lu karışım 1120 °C’de, 6,9 gr/cm<sup>3</sup> yoğunlukta numunelere uygulanan bilyalı dövme işleminde ise % 30-35 yorulma dayanımında artış tespit edilmiştir. Ayrıca, bilyalı dövme işlem parametreleri çok iyi denetlenmedikçe, maksimum ömür artışı sağlayan minimum dövme şiddetinin kullanılması gerektiği vurgulanmaktadır [1].

FC 0205 bakır çeliği 7,1 gr/cm<sup>3</sup> yoğunlukta yorulma dayanımı 125 MPa nitrokarbürleme sonrası ise 270 MPa olarak verilmektedir [9].

Fe + % 2 Ni malzeme vakumda 1200 °C’de sinterlemede, tam yoğunluklu (% 98) yorulma çalışmalarında, sinterleme sonrası yorulma dayanımını 200 MPa, ısıl işlem sonrası ise 360 MPa, sertlik değerini ise 40 HR<sub>C</sub> olarak bulmuştur [10].

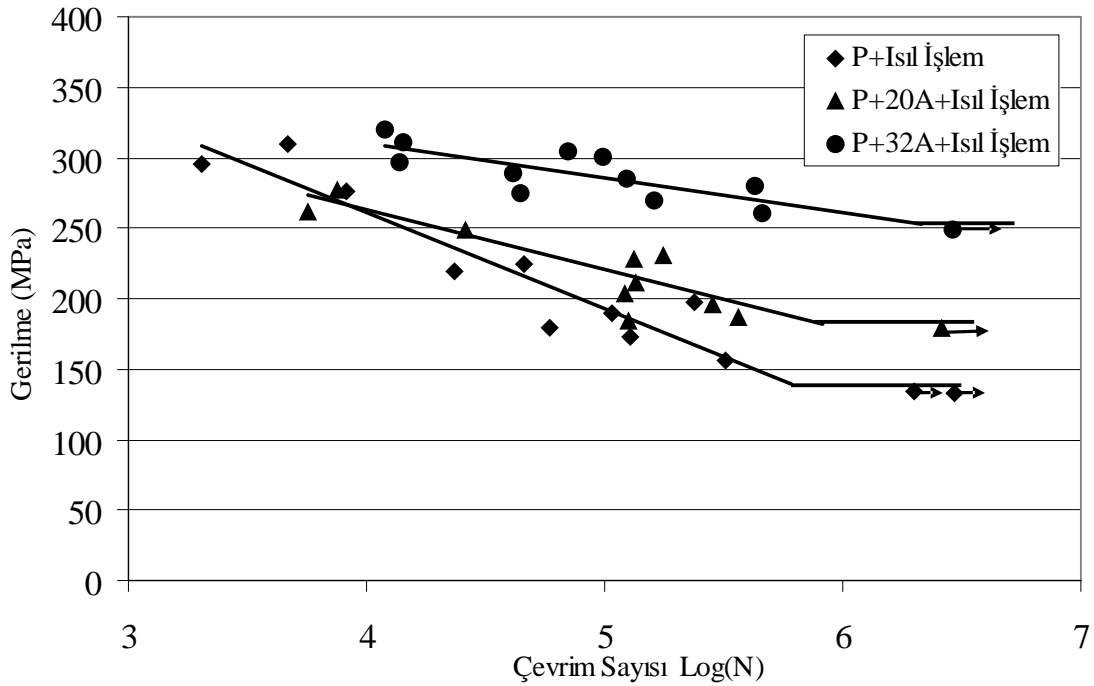
T/M malzemelerin yorulma ömrünün artırılması, kalıcı basma gerilmelerinin ve sertliğin artırılmasının sonucu sağlandığını, çelik alaşımlı T/M malzemelerin optimum dövme şiddetinde yorulma ömrünün % 22 artırıldığını belirtmektedir [11].

Farklı ısıl ve mekanik yüzey işlemleri uygulanmış TM çelik yorulma numunelerine tavlama ısıl işlemi uygulama sonrası deneylerden elde edilen sonsuz ömür gerilme değerleri Çizelge 2’de verilmektedir. Herbir işlem için yorulma deneyine son verilen çevrim sayıları ve bunlara karşılık gelen yorulma dayanımı değerleri toplu halde görülmektedir. Yorulma deneylerinden elde edilen sonuçlardan oluşturulan S-N eğrileri Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6’da verilmiştir.

**Çizelge 2.** Farklı ısıl ve mekanik yüzey işlemleri uygulanmış TM çelik yorulma numunelerine tavlama ısıl işlemi uygulama sonrası yorulma deneylerinden elde edilen sonuçlar

Numuneler	S (MPa)	N (devir)	Kırılıp Kırılmadığı
P+Isıl İşlem	132	2 961 000	Kırılmadı
P+20A+Isıl İşlem	179	2 602 860	Kırılmadı
V+20A+Isıl İşlem	179	3 129 283	Kırılmadı
V+32A+Isıl İşlem	199	3 814 558	Kırılmadı
P+32A+Isıl İşlem	250	3 229 082	Kırılmadı

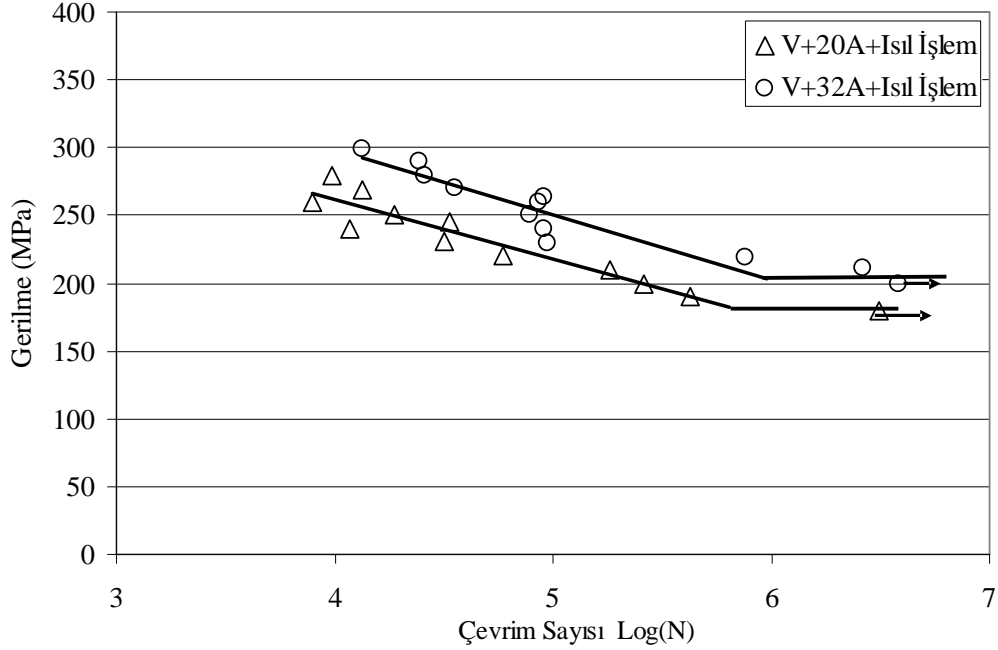
Şekil 4’de, P+Isıl İşlem ile P+20A+Isıl İşlem arasında %36, P+Isıl İşlem ile P+32A+Isıl İşlem arasında %90, P+20A+Isıl İşlem ile P+32A+Isıl İşlem arasında ise %40 yorulma dayanımının arttığı görülmektedir. Grup kendi içinde tamamen paralellik gösterirken dövme şiddeti arttıkça kısa ömür bölgesinde S-N eğrisinde eğimin yükseldiği tespit edilmiştir. Ayrıca, bilyalı dövme sonrası uygulanmış gerilme giderme tavlama sonucunda oluşan kalıcı basma gerilme etkisinin kaybolmasını gerektirirken, bilyalı dövme şiddetine bağlı olarak yorulma sınırının yükseldiği görülmektedir.



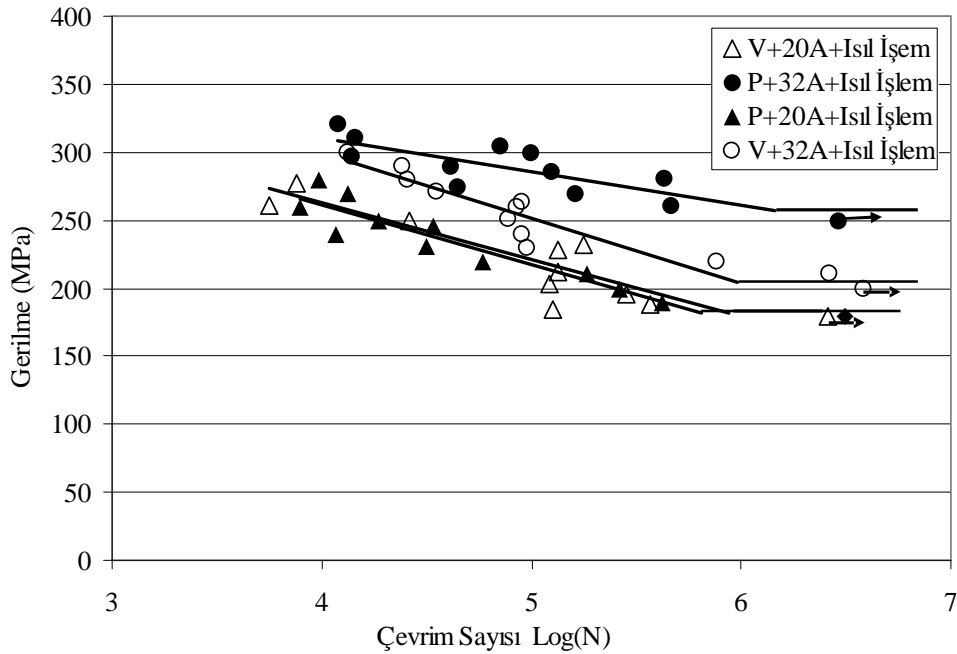
**Şekil 4.** P+Isıl İşlem, P+20A+Isıl İşlem ve P+32A+Isıl işlemlerine tabi tutulmuş TM çelik numunelerin S-N eğrileri

Şekil 5’te, V+20A+Isıl İşlem ile V+32A+Isıl İşlem arasında %11 yorulma mukavemetinin iyileştiği görülmektedir. S-N eğrilerinin kısa ömürlü bölgeleri kendi içinde tamamen paralellik gösterirken dövme şiddeti arttıkça yorulma dayanımının da yükseldiği

görülmektedir. Şekil 4 ve Şekil 5'te verilen S-N eğrilerinin benzer karakteristik gösterdiği dikkat çekmektedir.



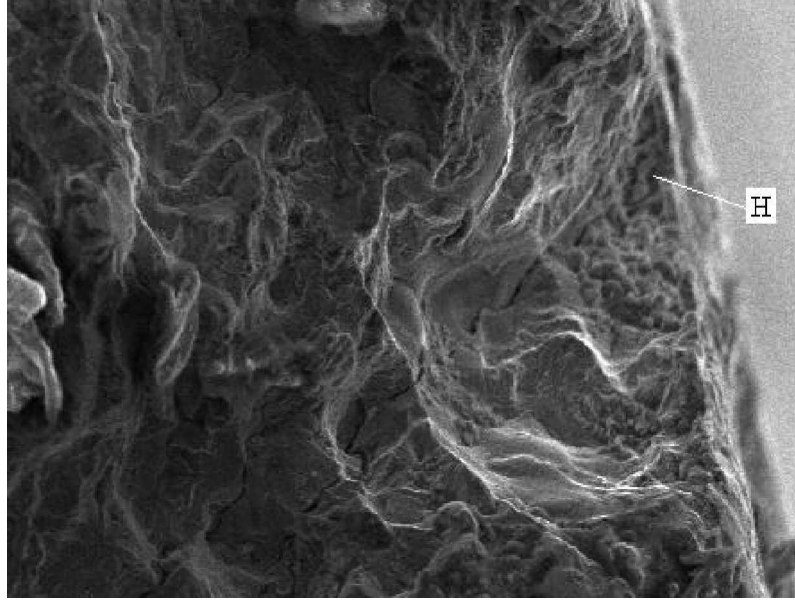
Şekil 5. V+20A+Isıl İşlem ve V+32A+Isıl işlemlerine tabi tutulmuş TM çelik numunelerin S-N eğrileri



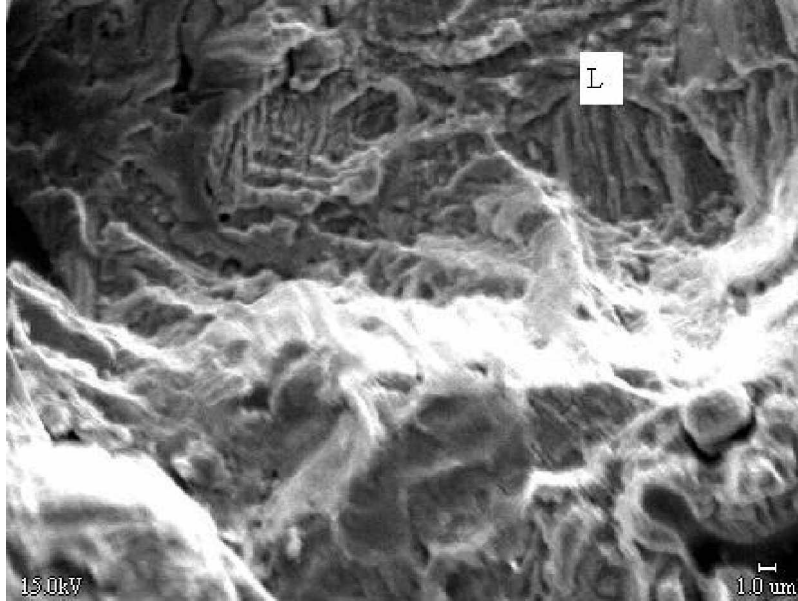
Şekil 6. P+20A+Isıl İşlem, P+32A+Isıl İşlem, V+20A+Isıl İşlem ve V+32A+Isıl işlemlerine tabi tutulmuş numunelerin bir grafikte toplanmış S-N eğrileri

Şekil 6'da, P+20A+Isıl İşlem ile V+20A+Isıl İşlem, numunelerin yorulma dayanımlarının hemen hemen aynı olması dikkat çekmektedir. Ancak 32A şiddetinde dövülmüş ve daha sonra gerilme giderme tavı uygulanmış numunelerin yorulma dayanımı değerlerinde artışlar elde edilmiştir. Bu durum dövme şiddetinin etkisini ortaya koymaktadır. Bunun yanısıra P+32A+Isıl İşlem'in V+32A+Isıl İşlem'e göre %25 daha fazla yorulma dayanımı verdiği belirlenmiştir. Propan gazı ile sinterleme işleminin Vakumda sinterlemeye göre daha mekanik

özellikler üzerindeki etkisi daha fazla olduğunu göstermektedir. Şekil 7 ve Şekil 8’de numunelerin yorulma kırık yüzey görüntüleri verilmektedir.



**Şekil 7.** P+32A+Isıl İşlem uygulanmış TM çelik numunenin yorulma kırık görünüşü (x750)

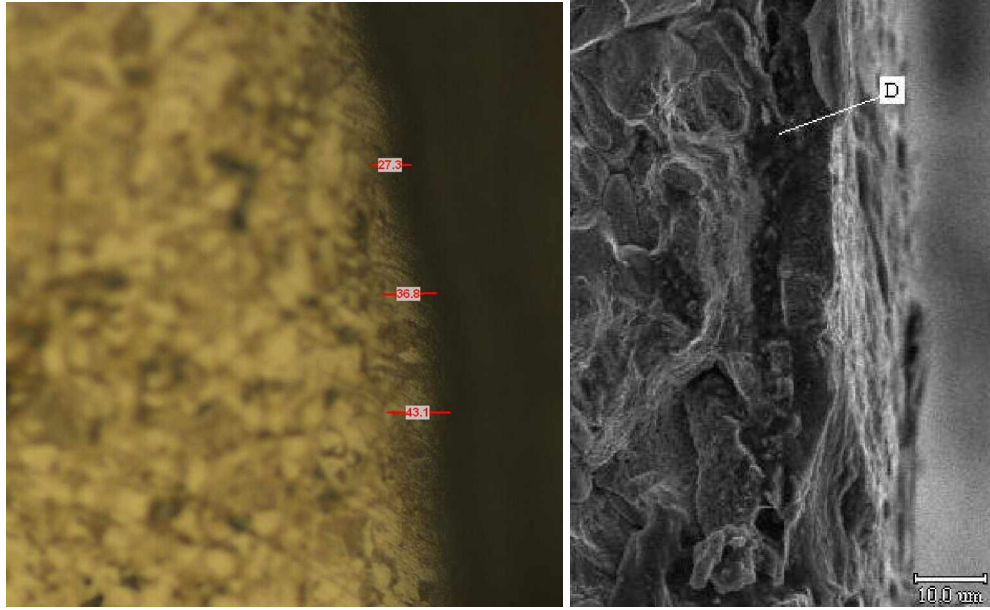


**Şekil 8.** V+32A+Isıl İşlem uygulanmış TM çelik numunenin yorulma kırık yüzeyi (x2000)

Şekil 9’da, P+20A+Isıl İşlem numunenin dağlanmış haldeki ışık mikroskobu görüntüsünde, bilyalı dövülmüş tabaka kalınlığı açıkça gösterilmektedir. Dövülmüş tabakanın kalınlığının 25-45  $\mu\text{m}$  mertebesinde elde edildiği belirlenmiştir. Benzer şekilde bilyalı dövülmüş tabakanın bir başka görünüşü verilmektedir. Özellikle TM malzemede bilyalı dövmenin etkisi ışık mikroskobunda ve elektron mikroskobu görüntülerinde açıkça görülebilmektedir. Bu tabakada gözenek miktarında azalma, gözenek yapısında değişim görüldüğünden izafi yoğunluk yükselmektedir. Bu durum S-N eğrilerinde elde edilen yorulma dayanımı artışını, uygulanan gerilme giderme tavlamaına rağmen, anlamlı kılmaktadır. TM malzemedden

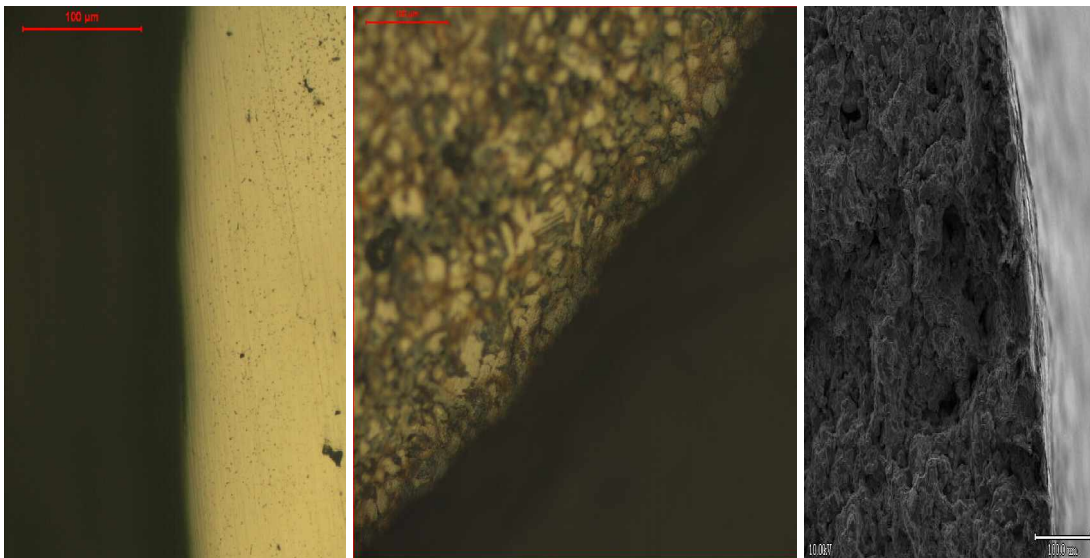


makine parçalarının mekanik özellikleri gözenek miktarına, dağılımına, şekline ve birbirlerine bağlı olmasına çok yakından bağlıdır[1,4,7,8].



**Şekil 9.** P+20A+Isıl İşlem uygulanmış TM çelik numunenin görünümü

Şekil 10'da V+20A+Isıl İşlem uygulanmış numunenin sırasıyla dağlanmamış, dağlanmış haldeki ve kırık kesiti görünüşleri verilmektedir. Dağlanmamış haldeki görünüşte gözenek yapısı ve gözeneklerin dağılımı görülmektedir. Bu görünüşlerden elde edilen bilyalı dövülmüş tabaka kalınlıkları 15-45 µm mertebesindedir. Genel olarak dövme etkisi en fazla 50 µm mertebesindedir. Tam yoğun parçalarda bu etki malzemenin sertliğine, dövme şiddetine, dövme ortamına bağlı olarak 400 µm mertebesine kadar çıkabilmektedir [3]. TM çelik malzeme için bu rakam değişik araştırmacılar tarafından 100-120 µm mertebesinde verilmektedir[1,2,4,8].



**Şekil 10.** V+20A+Isıl İşlem uygulanmış TM çelik numunenin değişik görünüşleri

#### 4. SONUÇLAR

Propan gazı atmosferinde sinterlenen numunelerin yorulma dayanımı, vakumda sinterlenen numunelerin yorulma dayanımından daha yüksek bulunmuştur.

FC 0205 TM malzeme üzerine 20A şiddetinde bilyalı dövme yapıldığında 25-30 µm, 32A şiddetinde dövüldüğünde ise yaklaşık 35-45 µm malzeme yüzeyinde dövülmüş bir tabaka kalınlığı belirlenmiştir.

Propan gazı atmosferinde sinterlenen ve 20A+Isıl İşlem yapılan numuneler ile vakum fırınında sinterlenen ve 20A+Isıl İşlem yapılan numunelerin yorulma grafikleri hemen hemen aynı olduğu belirlenmiştir. Benzer sonuç 32A ile dövülmüş numunelerde çıkmamıştır. Bunda sinterleme şartlarının farklılığı ve numunelerin gözenek miktarlarının farklılığının etkili olduğu değerlendirilmektedir.

Tam yoğun malzemelerin bilyalı dövme sonrası malzeme yüzeyinde yoğunluk değişiminden daha ziyade basma gerilme tabakasının oluşmuş olması yorulma dayanımını arttırmaktadır. Bunun üzerine uygulanacak olan gerilme giderme tavı kalıcı basma gerilmesi profilini ortadan kaldırmakta ve malzemenin yorulma dayanımı ilk haline dönmektedir[3]. Toz metal malzemelerin gözenekli olmalarından ve konvensiyonel yöntemlerle TM parça imali sonrası erişilebilen izafi yoğunluk değerleri en fazla %90-92 mertebesinde olabileceğinden[4,6,10] uygulanan bilyalı dövme işlemi, yüzeyde basma gerilmesinin yanında dövülen malzeme yüzey yoğunluğunun artmasına da neden olmaktadır. Bu durumda malzemeye gerilme giderme işlemi uygulandığında basma gerilme etkisini kaybederken, yüzey bölgesinde izafi yoğunluğun aynen korunmaktadır. Dolayısıyla, tavlama ısıl işlem sonrası yüzey bölgesindeki izafi yoğunluğun bilyalı dövme öncesi izafi yoğunluğa düşmediği için bilyalı dövme sonrası oluşan kalıcı basma gerilmesi değeri azalmış olsa bile yorulma dayanımına olumlu etkisinin olduğu belirlenmiştir.

#### KAYNAKLAR

1. Akyıldız, H.K. ve Sarıtaş, S., 1999. Bilyalı Dövmenin Fe+%2Cu+%0,5C T/M Çeliğin Yorulma Dayanımına Etkisinin Araştırılması. **2. Ulusal Toz Metalürjisi Konferansı Bildiriler Kitabı**. 519-527. Ankara.
2. Sarıtaş, S., 2002. Toz Metal Çeliklerin Yorulma Özellikleri. **The 3rd International Powder Metallurgy Conference**. 1207-1220. Gazi Üniversitesi Ankara.
3. Varol, R., 1990. 2024 Alüminyum Alaşımının Yorulma Ömrü Üzerine Farklı Bilyalı Dövme İşlem Parametrelerinin Etkisi. **Selçuk Üniversitesi, Doktora Tezi**, 127s
4. Varol, R. ve Sarıtaş, S., 1996. Bilyalı Dövme İşleminin Demir Esaslı T/M Parçaların Yorulma Özellikleri Üzerine Etkisinin Araştırılması. **1nci Ulusal T/M Konferansı Bildiri Kitabı**. 407-417s. Gazi Üniversitesi Ankara.
5. Kostilnik, T., 1994. Shot Peening. **Metals Handbook Tenth Edition. Vol.5. Surface Engineering**, 126-135, Ohio.
6. Wick, A., Schulze, V., Vohringer, O., 2000. Effect of warm peening on fatigue life and relaxation behaviour of residual stresses in AISI 4140 steel, **Metarial Science & Engineering**, 191-197s. Elsevier
7. German, R.M. ve Queeney, R.A., 1997. Fatigue and Fracture Control for Powder Metallurgy Components. **ASM Handbook. Fatigue and Fracture**. Volume 19. 337-344.
8. Pavel, C., Brandusan, L., Muresan, R., 2002. The influence of shot peening on the fatigue properties of powder materials. **3ncü Ulusal T/M Konferansı Bildiri kitabı**. 688-701. Gazi Üniversitesi, Ankara.
9. Ferguson, H.A., 1997. Heat Treating of Powder Metallurgy Steels. **Metals Handbook Vol.4. Heat Treatment**, 229-236, Ohio

10. Sudhakar, K.V., 2000. Fatigue behavior of a high density powder metallurgy steel. **International Journal of Fatigue** 729–734. Elsevier.
11. Champaigne, J., 2001. Shot Peening Overview. **Metal Improvement Co.** 37s.