

## BİLYELİ DÖVÜLMÜŞ Ç1020 MALZEMEDE KALICI GERİLMENİN KATMAN KALDIRMA YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ

**Emrah Dülek\***, **Çetin KARATAŞ\*** ve **Süleyman SARITAŞ\*\***

\* Makine Eğitimi bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Gazi Üniversitesi,  
Teknikokullar, Ankara, [cefink@gazi.edu.tr](mailto:cefink@gazi.edu.tr)

\*\* Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Gazi  
Üniversitesi, Maltepe, Ankara, [ssaritas@gazi.edu.tr](mailto:ssaritas@gazi.edu.tr)

### ÖZET

Bilyeli dövme, metal parçaların yüzeylerinde basma kalıcı gerilmeleri oluşturarak performanslarını geliştirmek için kullanılan bir metottür. Bu çalışmada bilyeli dövülmüş Ç1020 çelik numunedeki kalıcı gerilme değerleri, elektro-kimyasal katman kaldırma tekniği ve gerinim ölçerler kullanılarak incelenmiştir. Farklı şartlarda bilyeli dövülerek elde edilen çeşitli Almen şiddetleri ile kalıcı gerilmeler arasındaki ilişki araştırılmıştır. Çelik malzemede hadde halinde ve tavlanmış halinde oluşan kalıcı gerilmeler karşılaştırılmıştır. Bilyeli dövme ile çelikte oluşturulan maksimum kalıcı gerilmelerin 276 MPa (basma) ile 363 MPa (basma) arasında değiştiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Kalıcı gerilme, katman kaldırma tekniği, bilyeli dövme

### INVESTIGATION OF RESIDUAL STRESSES IN SHOT PEENED AISI 1020 STEEL BY LAYER REMOVAL TECHNIQUE

### ABSTRACT

Shot peening is used for creation of compressive residual stresses on the surface layers of components and thus improving their performance. In this work, residual stresses in shot peened AISI 1020 steel were measured by using electro-chemical layer removal technique and strain gauges. Relations between Almen intensities, obtained by shot peening under various conditions, and residual stresses were investigated. Residual stresses in the steel in rolled and in annealed conditions were compared. Maximum residual stresses created in the steel by shot peening varied between 276 MPa (compression) to 363 MPa (compression).

**Keywords:** Residual stress, layer removal technique, shot peening

## 1. GİRİŞ

Bilyeli dövme işleminde; küçük, küresel ve sert bilyeler yüzeye kontrollü şartlarda fırlatılarak, yüzeyde plastik deformasyon oluşturulur. Bu işlemde asıl hedeflenen plastik deformasyon ile basma kalıcı gerilmeli bir tabaka oluşturmaktır. Bu tabaka sayesinde malzemenin yorulma ömründe dikkate değer artışlar elde edilebilmektedir.

Kalıcı gerilmeler, dış kuvvete bağlı olmayan ve bir parçada “hapsolmuş” gerilmeler şeklinde düşünülmektedir. Kalıcı gerilmeler mühendislik malzemelerinin yorulmalarında önemli rol oynar. Çünkü yorulma çatlakları genellikle yüzeyde başlar. Yüzeyde oluşan basma gerilmeleri genellikle faydalıdır. Çünkü basma gerilmeleri çatlak oluşumuna ve gelişimine engel olur Çekme gerilmeleri ise zararlıdır, çünkü çekme gerilmeleri; yüzeyde çatlak oluşumuna ve gelişimine yardımcı olur ve gerilmeli korozyon çatlaklarına öncülük eder [1,2].

Bilyeli dövme işlemi ile oluşturulan kalıcı basma gerilmeleri, malzeme bünyesindeki kalıcı çekme gerilmeleri ile dengelenerek yorulma ömrü üzerinde bazı etkiler meydana getirir. Bunlar:

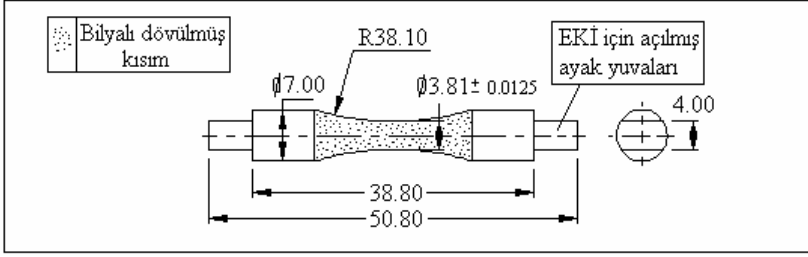
- Dövme şiddetinin artmasıyla, malzeme yüzeyinden daha derin bölgelerde basma kalıcı gerilme alanları oluşmakta, bilyenin malzeme yüzeyinde oluşturduğu çukurluk derinliği büyümektedir [3,4].
- Bilye hızı ve çapı arttıkça, dövme şiddetinin değeri de artmakta ve malzeme yüzeyinden daha derin bölgelerde basma kalıcı gerilme alanları oluşmaktadır [5,6].
- Bilyenin malzeme ile olan temas yarıçapı küçüldükçe, malzeme yüzeyindeki basma kalıcı gerilmesinin değerleri artmaktadır [6].
- Bilyeli dövme işlemi, haddeme işlemine göre malzeme yüzeyinde daha yüksek basma kalıcı gerilme değerleri oluşturmaktadır [7].
- Almen (dövme) şiddetinin artmasıyla, malzemenin yüzey pürüzlülük değeri kötüleşmektedir [8].

Bu çalışmada farklı şiddetlerde bilyeli dövülmüş olan Ç1020 çelik numunelerdeki kalıcı gerilmeler elektro-kimyasal işleme ile katman kaldırarak ve gerinim ölçerler kullanılarak araştırılmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Deneysel Numunelerinin Hazırlanması

Deneysel malzemesi olarak Ç1020 çeliği kullanılmıştır. Numuneler soğuk haddelenmiş 8mm çaplı çelik bir milden Şekil 1’de gösterildiği ölçülerde CNC torna tezgahında işlenmiştir. Deneysel numunelerinin bir bölümü tavlانیp bilyeli dövülmüş, diğer bir



Şekil 1. Yorulma deney numunesi

bölümü ise yalnızca bilyeli dövme işlemine tabi tutulmuşlardır. Yürütülen çalışmanın yorulma ile ilgili kısmı daha önce yayınlanmıştır [9]. Bu çalışmada ise, aynı yorulma numunelerinde Elektro Kimyasal İşleme (EKİ) ve katman kaldırma tekniği kullanılarak kalıcı gerilmeler araştırılmıştır. Çeliğin malzeme analizi Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Ç1020 çeliğin kimyasal bileşimi

Element	C	Mn	Si	Cr	S	P	Ni
%	0,172	0,453	0,050	0,040	0,037	0,020	0,018

Bilyeli dövülmüş numunelerin işlem parametreleri Çizelge 2'de verilmiştir. Kalıcı gerilmelerini ölçmek üzere dövülen numuneler 3 gruba ayrılmıştır. Bu gruplar Şekil 3'te gösterilmiştir. Deney numunelerinin EKİ'ye tabi tutulacak kısımları açıkta kalacak şekilde, diğer yüzeylerine 3 kat klorovinil reçine sürülmüştür. Reçine ile kaplama işleminde, EKİ ile oyulacak kısım 2 mm genişliğinde 180° yay oluşturmuştur (Şekil 3).

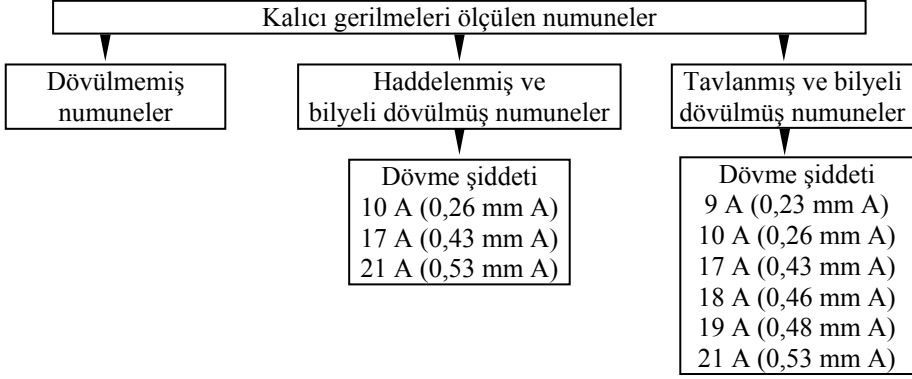
## 2.2. Kalıcı Gerilme Deney Seti

Kalıcı gerilme ölçüm tekniklerinden olan Elektro Kimyasal İşleme (EKİ) deney seti aşağıdaki kısımlardan oluşmaktadır (Şekil 4).

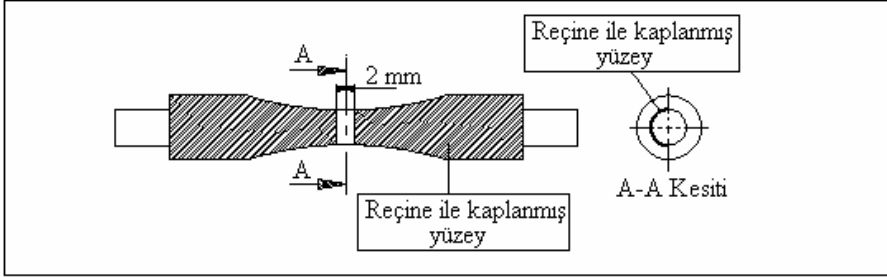
- **Elektro kimyasal kısım:** Cihazın bu kısmı, numuneden katmanların elektro kimyasal olarak kaldırılmasını gerçekleştirmektedir.

Çizelge 2. Bilyeli dövme işlem parametreleri

Dövme şiddeti	Bilye tipi (çap, mm)	Hava basıncı (bar)	Dövme süresi (s)
0,23 mm A	S 170 (0,42)	3.8	60
0,26 mm A	S 170 (0,42)	3.8	60
0,43 mm A	S 460 (1,17)	5.0	40
0,46 mm A	S 780 (1,98)	5.0	50
0,48 mm A	S 550 (1,4)	5.0	60
0,53 mm A	S 660 (1,68)	5.0	75



Şekil 2. Kalıcı gerilmeleri ölçülen numune grupları

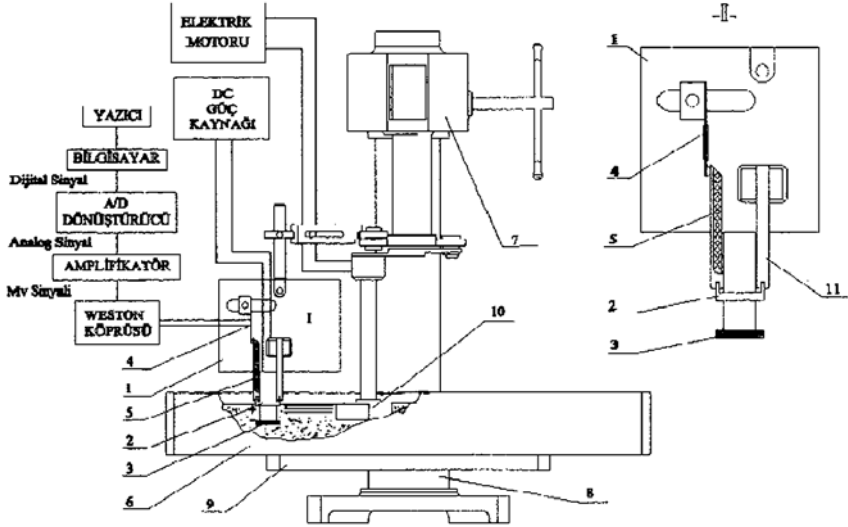


Şekil 3. Reçine ile kaplanmış kalıcı gerilme ölçme numunesi

- **Mekanik kısım:** Cihazın bu kısmında numunenin cihaza tutturulması ve aşındırılması sonucunda meydana gelen deformasyonun yaptığı sehim değerinin ölçecek, gerinim ölçerlerin yapıştırılmış olduğu yaprak yaya iletilmesi işlemi yapılmaktadır.
- **Elektriksel kısım:** Bu kısım mekanik olarak oluşturulan sehim değerinin elektrik sinyallerine dönüştürülmesini sağlamaktadır.
- **Kullanılan bilgisayar donanımı ve yazılımı:** Sistemde DATATAKER DT 50 donanımı, veri toplama amacıyla kullanılmıştır. DT 50 cihazı için veri toplama ve bilgisayarda değerlendirme işlemi için ise Determinal programı kullanılmıştır. Çalışmada, DT 50 cihazından ve Determinal programından faydalanarak her birim zamana karşılık gelen sehim değerlerinin verdiği voltaj değişimi ölçülmüştür.

### 2.3. Deneylerin Yapılışı

Deneye başlanmadan önce numunelerin aşındırma yapılmayacak kısımları reçine ile kaplandıktan sonra, numuneler iki ucundan manivela kollarına tespit edilmiştir. Daha sonra cihazın mekanik kısmına sabit manivela kolu yardımıyla numune



(Resimdeki numaralar: 1. Taşıma plakası, 2. Anot numune, 3. Kurşun katot, 4. Gerinim ölçerli yaprak yay, 5. Serbest manivela kol, 6. Elektrolit havuzu, 7. Daldırma mekanizması, 8. Gövde, 9. Tabla, 10. Pompa, 11. Numune tutma kolu)

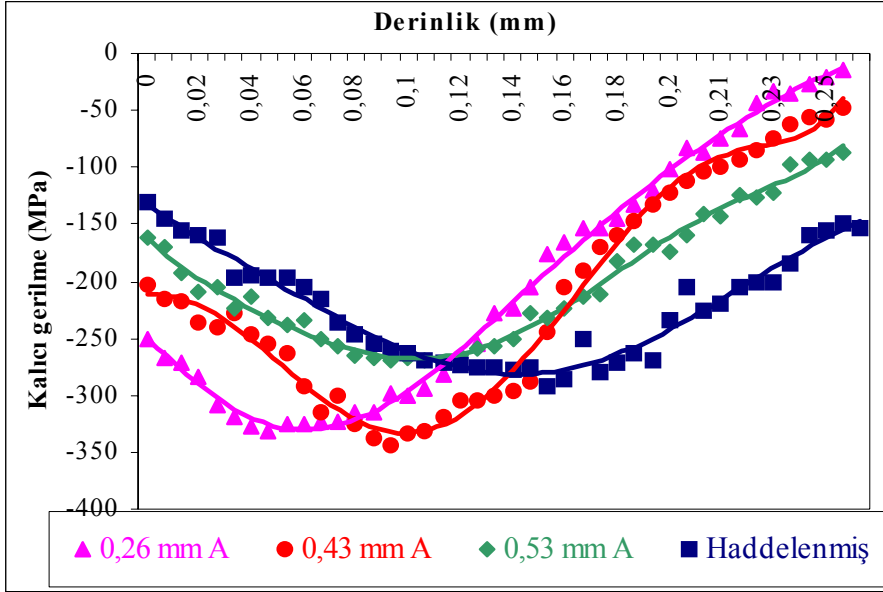
**Şekil 4.** Deney düzeneğinin şematik resmi

bağlanmıştır. Numunenin diğer ucundaki serbest manivela koluna yaprak yay temas ettirilmiştir. Bakır katot ile numune arasındaki mesafe 5 mm'ye getirilerek çalışma boşluğu da ayarlanmış ve sistem deneye hazır hale getirilmiştir. Sistem hareketli kol vasıtasıyla numunenin yarısı elektrolit (300 ml  $H_2SO_4$ , 700 ml  $H_3PO_4$ , 75 gr  $CrO_3$  karışımı) içerisine girene kadar aşağıya doğru hareket ettirilip, DC güç kaynağından 10 volt ve 1,5 amper'lik akım yoğunluğu sisteme gönderilerek deneye başlanmıştır. Veriler birer dakikalık aralıklarla alınmıştır. Yani deformasyon değerine karşılık gelen mV verileri bilgisayara birer dakika ara ile gelmiştir. Numunelerden 0,26 mm tabaka kaldırılmıştır. Elde edilen mV değerleri daha sonra Microsoft Excel programına aktarılarak, yüzeyden kaldırılan her bir tabaka için  $df/da$  türevi grafik yöntemle bulunmuştur. Daha sonra da gerilme-aşınma grafikleri oluşturulmuştur.

### 3. SONUÇ VE TARTIŞMA

#### 3.1. Haddelenmiş ve Dövülmüş Numuneler

Soğuk haddelenmiş ve dövülmüş Ç1020 numunelerin deneyde ölçülmüş kalıcı gerilme sonuçları Şekil 5'de verilmiştir. Deney sonuçları incelenecek olursa, haddelenmiş numunelerin yüzeyinde -130 MPa basma gerilmesi var iken bu numunelerin maksimum basma gerilmesi değeri -291 MPa bulunmuştur. Bilyeli



Şekil 5. Soğuk haddelenmiş ve farklı dövme şiddetleri ile dövülmüş Ç1020 malzemede oluşan gerilme dağılımları

dövülen numelerde ise yüzeyinde oluşan en yüksek basma gerilmesi değeri, 0,26 mm A şiddetinde yapılan dövme sonucu  $-250$  MPa iken, yüzeydeki en düşük basma gerilmesi, 0,53 mm A şiddetinde yapılan dövme sonucu  $-160$  MPa bulunmuştur. Ç1020 malzemesinde maksimum basma gerilmesi değeri, 0,43 mm A şiddetinde yapılan dövme sonucu  $-343$  MPa olarak bulunmuştur. 0,26 mm A şiddetinde dövülen numunede ise maksimum gerilme  $-331$  MPa bulunmuştur. Dövme şiddeti arttıkça basma gerilmesinin derinliğinin de arttığı görülmektedir.

Wang et al. [3], çekme dayanımı düştükçe numunede oluşan basma gerilmesinin yüzeyden derinliğinin de azaldığını belirterek çekme dayanımı 870-1000 MPa aralığı için 0,26 mm dövme şiddeti ile numune yüzeyinden yaklaşık 0,32 mm derinliğe kadar basma gerilmesinin devam ettiğini belirtmektedirler. Çalışılan Ç1020 malzememizin çekme dayanımı 634 Mpa'dır. 0,26 mm A şiddetindeki dövme ile 0,26 mm derinliğe kadar basma kalıcı gerilmesi elde edilmiştir. Çalışmanın uyum sağladığı görülmektedir.

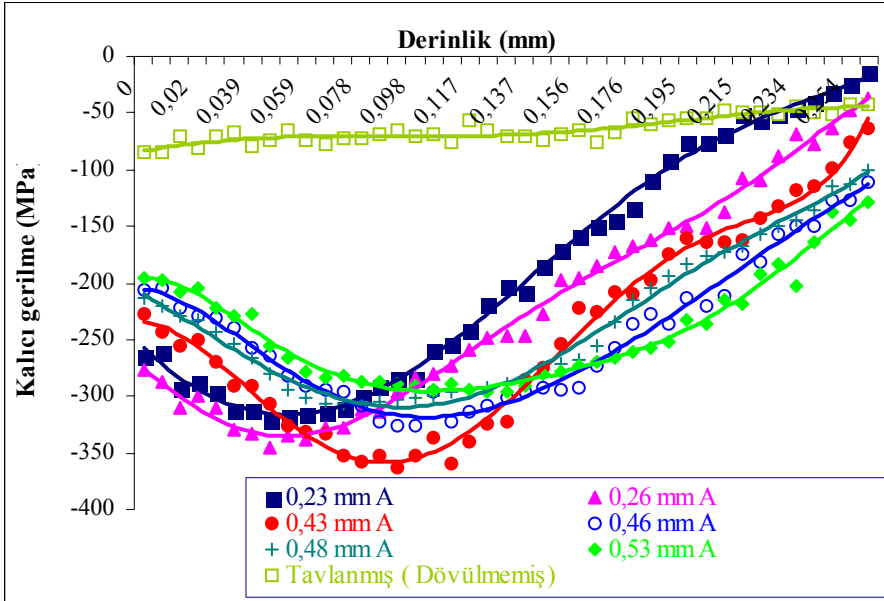
Torres and Voorwald [10], Meguid et al [6], Guagliano et al. [4], Wang et al. [3], dövme şiddetinin artması ile basma kalıcı gerilmelerin malzeme yüzeyinden daha derinlere ulaşacağı belirtilmektedir. Şekil 4'de görüldüğü gibi çalışmamızda da dövme şiddeti artırıldıkça maksimum kalıcı gerilmenin yüzeyden derinliği artmıştır.

Wang et al [3], yaptıkları diğer bir çalışmada malzemenin akma dayanımı bilindiği takdirde malzeme yüzeyindeki ve malzemenin maksimum noktasındaki basma kalıcı gerilme değerinin, yaklaşık olarak bulunabileceğini söyleyerek ampirik formülleri ortaya çıkarmışlardır. Wang ve diğerlerinin bulduğu ampirik formüle göre numunemizin yüzeyindeki basma gerilmesi değerinin  $-270$  MPa olması gerekirken, deneyde  $-300$  MPa olarak bulunmuştur.

Torres and Voorwald [10], yaptıkları çalışmalarında numune yüzeyindeki en yüksek basma gerilmesi değeri  $0,21$  mm A şiddetinde, en düşük basma gerilmesi değeri ise  $0,35$  mm A şiddetindeki dövmelelerde olduğunu, ancak dövme şiddetinin artması ile yüzeyden daha derin bölgelerde basma gerilmelerinin oluştuğunu belirtmişlerdir. Çalışmamızda yüzeydeki en yüksek basma gerilmesi değeri  $0,26$  mm A şiddetinde yakalanmıştır. Bu şiddetin üzerindeki dövme şiddetlerinde yüzeydeki basma gerilmelerinin değeri düşmüştür.

### 3.2. Tavlanmış ve Dövülmüş Numuneler

Yapılan bu çalışmada ise tavlandıktan sonra farklı şiddetlerde bilyeli dövülmüş olan Ç1020 malzemede kalıcı gerilmeler incelenmiştir. Tavlanmış ve dövülmüş Ç1020 numunelerin katman kaldırma tekniği ile ölçülmüş kalıcı gerilme deney sonuçları Şekil 6'da gösterilmiştir. Deney sonucunda tavlanmış (dövülmemiş) numunelerin



**Şekil 6.** Tavlanmış ve farklı bilyeli dövme şiddetleri ile dövülmüş Ç1020 malzemede oluşan gerilme dağılımları

yüzeylerindeki basma kalıcı gerilmelerin  $-84$  MPa değerinde olduğu görülmüştür. Ayrıca yüzeyden derinliklere inildikçe basma gerilme değerleri azalmıştır. Tavlanmış-bilyeli dövülmüş numunelerin, haddelenmiş-bilyeli dövülmüş numunelere göre, yüzeylerindeki ve maksimum noktalarındaki basma gerilmesi değerlerinin arttığı görülmüştür. Haddelenmiş-bilyeli dövülmüş numunelerde ve tavlanmış-bilyeli dövülmüş numunelerde gerilme dağılımlarını veren grafikler (Şekil 5 ve 6) incelenecek olursa, her iki numune grubunda da  $0,26$  mm A şiddetinde yapılan dövme işlemi, yüzeydeki en yüksek basma gerilmesi değerini vermiştir. Yine her iki grup içinde numunedeki maksimum basma gerilmesi değeri  $0,43$  mm A şiddetinde yapılan dövme sonucu oluşmuştur. Bunun yanı sıra her iki numune grubunda da (bilyeli dövülmüş ve tavlanmış-bilyeli dövülmüş) dövme şiddetinin artmasıyla yüzeyden daha derinlerde basma gerilmeleri oluşmuştur.

Ochi et al. [11], yaptıkları çalışmada bilyeli dövülmüş ve dövülmemiş numunelerin kalıcı gerilmeleri karşılaştırmışlardır. Bilyeli dövme işleminde  $0,6$  mm çapında bilyalar kullanılırken, bilyeli dövme şiddeti  $0,4$  mm A seçilmiştir. Çalışma sonunda, dövülmemiş numune yüzeylerindeki basma kalıcı gerilme değerinin  $-230$  MPa olduğu, bunların dövüldükten sonra  $-450$  MPa değerine kadar ulaştığı görülmüştür. Çalışmamızda da dövülmemiş (tavlanmış) numune yüzeylerindeki basma kalıcı gerilme değerinin  $-84$  MPa olduğu, tavlanıp  $0,26$  mm A şiddetinde dövülmüş numune yüzeylerindeki kalıcı gerilme değerinin  $-276$  MPa değerine ulaştığı Şekil 5'de görülmektedir.

Tavlanıp bilyeli dövülen Ç1020 numunelerin, haddelenip bilyeli dövülen numunelere göre yüzeylerindeki ve maksimum noktalarındaki basma gerilmesi değerlerindeki artış oranları Çizelge 3'te verilmiştir.

Literatür araştırmalarında [3,4,10] ve bizim çalışmamızda  $0,2$  ile  $0,4$  mm A aralığındaki şiddetin ve bu şiddetlere uygun bilya çapları ve hızları ile yapılan dövmelerin, numune yüzeyindeki basma kalıcı gerilme değerlerine, en iyi etkiyi verdiği anlaşılmıştır. Yani dövme şiddeti belli bir değer üzerine çıktığında veya altında kaldığında numune yüzeyinde istenen etkiyi gösterememektedir.

**Çizelge 3.** Tavlamanın numunedeki basma gerilmelerine etkisi

Numune grubu	Dövme şiddeti (mm A)	Yüzeydeki gerilme (MPa)	Artış (%)	Maksimum gerilme (MPa)	Artış (%)
Haddelenip bilyeli döv.	0,26	-250	10,4	-331	4
Tavlanıp bilyeli dövülmüş		-276		-344	
Haddelenip bilyeli döv.	0,43	-200	13	-343	6
Tavlanıp bilyeli dövülmüş		-226		-363	
Haddelenip bilyeli döv.	0,53	-160	22,5	-271	9
Tavlanıp bilyeli dövülmüş		-196		-295	



### 3.3. Sonuç

Bu çalışmanın sonunda aşağıdaki belirtilen sonuçlara varılmıştır.

1. Bilyeli dövme işlemi malzemede basma gerilmesi oluşturmaktadır
2. Tavllanmış Ç1020 malzemesinin yüzeyindeki basma kalıcı gerilmeleri  $-84$  MPa'dır.
3. Tavlama farklı şiddetlerde (0,23, 0,26, 0,43, 0,46 ve 0,53 mm A) bilyeli dövülmüş Ç1020 malzemesinin yüzeyindeki en yüksek basma kalıcı gerilme değeri  $-276$  MPa olup, 0,26 mm A şiddetindeki dövme sonucu elde edilmektedir.
4. Haddelenip farklı şiddetlerde (0,23, 0,26 ve 0,53 mm A) bilyeli dövülmüş Ç1020 malzemesinin yüzeyindeki en yüksek basma kalıcı gerilme değeri  $-250$  MPa olup, 0,26 mm A şiddetindeki dövme sonucu elde edilmektedir.
5. Ç1020 malzemenin 0,26 mm A şiddetinde dövülmesi ile malzeme yüzeyindeki en yüksek basma gerilmesi değeri elde edilmektedir. Bu şiddetin üzerindeki şiddetler yüzeydeki basma gerilmesi değerlerini düşürmektedir. Malzemenin maksimum noktadaki en yüksek basma gerilmesi değeri 0,43 mm A şiddetinde yakalanırken bu şiddetin üzerindeki şiddetler de maksimum noktadaki basma gerilmesi değerlerini düşürmektedir.
6. Tavlama bilyeli dövülen numunelerdeki basma gerilmesi değerlerinin, haddelenip bilyeli dövülenlere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bilyeli dövme öncesinde tavlama işlemi malzemede basma gerilmesi oluşturmada olumlu etki yaratmaktadır.
7. Ç1020 numuneye uygulanan dövme şiddetlerinin artırılması ile, yüzeyden daha derin bölgelerde basma gerilmeleri oluşmaktadır.
8. Dövme şiddetini belirleyen bilye çaplarının ve hızlarının gereğinden büyük seçilmesi durumunda dövme şiddetinden beklenen sonuç alınamamaktadır. İstenilen dövme şiddetine ulaşmada, bilye çapı ve hızı arttırılmadan önce dövme süresi bir miktar daha arttırılmalıdır.

### KAYNAKLAR

1. Kafkas, F., "Katman Kaldırma Tekniğine Dayalı Olarak Kalıcı Gerilmelerin Ölçülmesini Sağlayan Bilgisayarlı Ölçme Cihazının Tasarımı ve İmalatı", **Yüksek Lisans Tezi**, Gazi Üniversitesi, Fen bilimler Enstitüsü, Ankara, 2001.
2. Lu, J., **Handbook of Measurement of Residual Stresses**, Society For Experimental Mechanics, Prentice-Hall Inc., 342-411, 1996.
3. Wang, S., Li, Yongjun., Yao, M., Wang, R., "Compressive residual stress introduced by shot peening", **Journal of Materials Processing Technology**, Cilt 73, 64-73, 1998.
4. Guagliano, M., Riva, E., Guidetti, M., "Contact fatigue failure analysis of shot-peened gears", **Engineering Failure Analysis**, Cilt 9, 147-158 2002.

5. Guagliano, M., "Relating Almen intensity to residual stresses induced by shot peening: a numerical approach", **Journal of Materials Processing Technology**, Cilt 110, 277-286, 2001.
6. Meguid, S.A., Shagal, G., Stranart, J.C., Daly, J., "Three-dimensional dynamic finite element analysis of shot-peening induced residual stresses", **Finite Elements in Analysis and Design**, Cilt 31, 179-191, 1999.
7. Altenberger, I., Scholtes, B., Martin, U., Oettel, H., "Cyclic deformation and near surface microstructures of shot peened or deep rolled austenitic stainless steel AISI 304", **Materials Science and Engineering**, Cilt A264, 1-16.
8. Wagner, L., 1999, Mechanical surface treatments on titanium, aluminum and magnesium alloys", **Materials Science and Engineering**, A263, 210-216, 1999.
9. Orman, Ş. ve Sarıtaş, S., "Bilyalı Dövme Parametrelerinin 1020 Çeliğinin Yorulma Davranışına Etkileri", **9. Denizli Malzeme Sempozyumu**, Pamukkale Üniversitesi, 8-10 Mayıs 2002, Denizli, 122-128.
10. Torres, M.A.S. and Voorwald, H.J.C., "An evaluation of shot peening, residual stress and stress relaxation on the fatigue life of AISI 4340 steel", **International Journal of Fatigue**, Cilt 24, No 8, 877-886, 2002
11. Ochi, Y., Masaki, K., Matsumura, T., Sekino, T., "Effect of shot-peening treatment on high cycle fatigue property of ductile cast iron", **International Journal of Fatigue**, Cilt 23, No 5, 441-448, 2001.