



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>

Ezerek parlatma yapılan AA7075-T6 alüminyum alaşımında meydana gelen kalıntı gerilmelerin incelenmesi

Examining the residual stress on the burnished AA7075-T6 aluminum alloy

Yazar(lar) (Author(s)): Elif MALYER

ORCID: 0000-0001-9041-3842

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Malyer E., “Ezerek parlatma yapılan AA7075-T6 alüminyum alaşımında meydana gelen kalıntı gerilmelerin incelenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 21(3): 565-573, (2018).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.389592

Ezerek Parlatma Yapılan AA7075-T6 Alüminyum Alaşımında Meydana Gelen Kalıntı Gerilmelerin İncelenmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Elif MALYER*

Turgutlu Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Türkiye
(Geliş/Received : 21.04.2017 ; Kabul/Accepted : 29.05.2017)

ÖZ

Bu çalışmada, AA7075-T6 alüminyum alaşımında ezerek parlatma işlemi sonrasında meydana gelen kalıntı gerilmeler incelenmiş ve sonuçlar sayısal analiz programı ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. CNC frezede basit bir takım ve farklı işlem parametreleri kullanılarak ezerek parlatma işlemine tabi tutulan numunelerin kalıntı gerilme değerleri X-ışını kırınımı yöntemi ile belirlenmiştir. Ezerek parlatma işlemi yapılan tüm yüzeylerde basma kalıntı gerilmelerinin meydana geldiği tespit edilmiştir. Numuneler üzerinde oluşan kalıntı gerilmelerin ilerleme miktarı, ezme derinliği, yanal adım ve paso sayısı gibi işlem parametrelerinden ve ezerek parlatma işlemi gerçekleştirilmeden önce yüzeye uygulanan frezeleme işleminin yönünden ve işlem sırasında kullanılan yağlayıcıdan etkilendiği gözlemlenmiştir. İşlem sayısal analiz programı ile 2B olarak modellenmiş ve ilerleme miktarı ile ezme derinliğinin değişimi ile numunede meydana gelen kalıntı gerilme miktarları tespit edilmiştir. Parçanın üretiminden gelen artık gerilmeler programa dahil edilmemiş ve parça tavlı olarak kabul edilmiştir. Bu nedenle sayısal analiz yöntemi ile elde edilen değerlerin ölçümler sonucu elde edilen değerlere sayısal olarak benzemediği fakat işlem parametrelerinin etkilerinin ölçüm sonuçları ile benzerlik gösterdiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kalıntı gerilme, X-ışını yayını, ezerek parlatma, sayısal analiz.

Examining the Residual Stress on the Burnished AA7075-T6 Aluminum Alloy

ABSTRACT

In this study, the residual stresses occurring after the burnishing procedure of AA7075-T6 aluminum alloy, and the results were compared to the values obtained from numerical analysis software. The residual stress values of the samples, which were exposed to burnishing procedure in CNC milling machine by using simple equipment and different operational parameters, were determined via X-ray diffraction method. After the burnishing, compressive residual stresses were observed in all the surfaces. The residual stress on the samples was found to be related with operational parameters such as travelling distance, burnishing depth, stepover, and pass number, as well as the cutting direction applied on surface before burnishing and the lubricant used during the procedure. The heat treatment was modeled in 2D by using numerical analysis software, and the residual stress values were determined in relation with the changes in travelling distance and burnishing depth. The residual stresses originating from the production of part were not entered into the software, and the part was considered tempered. For this reason, it was determined that the values obtained from numerical analysis method and those obtained from measurements were not similar to each other but the operation parameters' effects were similar to measurement results.

Keywords: Residual stress, X-ray diffraction, burnishing, numerical analysis

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

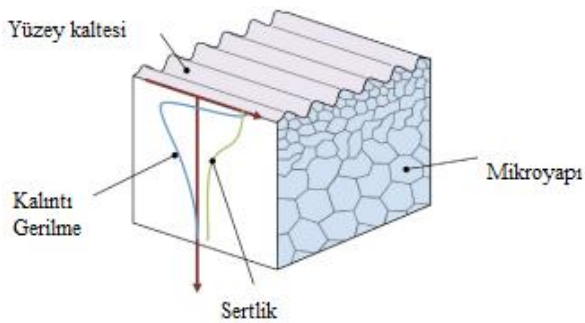
Malzemenin bölgesel olarak homojen olmayan elastik ve plastik deformasyona maruz kalması ile bünye içerisinde oluşan gerilmelere kalıntı gerilme denir [1]. Kalıntı gerilme denilmesinin nedeni, malzemenin bünyesinde bir önceki işlem sırasında meydana gelen ve işlem sonrasında üzerindeki tüm yükler kalktığında ortaya çıkan elastik gerilmeleri ifade etmesidir [2]. Kalıntı gerilmelerin şekil değişimine neden olmadığı durumlarda bu gerilmeler elastik gerilmelerdir ve kalıntı gerilmelerin ulaşabildiği maksimum değer malzemenin akma

gerilmesi ile sınırlıdır [2,3]. Tüm üretim yöntemleri, malzemeye uygulanan mekanik, termal ve kimyasal yükler malzeme içerisinde onların yorulma davranışlarını, kırılma dayanımlarını ve hatta korozyon dayanımlarını etkileyen kalıntı gerilim oluşmasına neden olur [1, 4]. Bu yöntemleri, mekanik yöntemler, termal yöntemler, kaplama yöntemleri, talaş kaldırma yöntemleri olarak sıralamak mümkündür. Mekanik yöntemler, malzeme yüzeyine uygulanan mekanik zorlamalar ile yüzeyde deformasyon sertleşmesine neden olan yöntemlerdir. Burada işlem gören malzemenin cinsi, işlem türü, işlemin hızı, işlem süresi malzemede meydana gelen kalıntı gerilmelere etki etmektedir. Bu

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : elif.malyer@cbu.edu.tr

yöntemlerin sebep olduğu kalıntı gerilmeler genellikle basma yönündedir. Ezerek parlatma ve bilya ile dövme yöntemleri mekanik yöntemlere iyi birer örnektir. Termal yöntemler ise mekanik parçaların üretilmesinde ısı ile birlikte uygulanan yöntemleri ifade eder. Parçanın belirli bir sıcaklığa ısıtılıp soğuması sırasında bünyede kalıntı gerilmelerin meydana gelmesi kaçınılmazdır. Dövme, döküm, haddeleme, ekstrüzyon, kaynak, ısıl işlem gibi yöntemler termal yöntemlere örnek olarak gösterilebilir. Kaplama yöntemleri, tüm yüzey kaplama yöntemlerini içerir. Talaş kaldırma yöntemlerine tornalama, frezeleme, broşlama, taşlama, parlatma, honlama gibi talaş kaldırma işleminin gerçekleştiği tüm yöntemler örnek olarak verilebilir. Kesme hızı, takımın malzemeye uyguladığı kuvvet, ilerleme miktarı, kesici takım geometrisi, soğutma sıvısı bünyede oluşacak kalıntı gerilmelere etki eden değişkenlerden bazılarıdır. Bu işlemlerden sonra yüzeyde meydana gelen kalıntı gerilmeler küçüktür ve parçanın üst yüzeyinden yaklaşık 0,02-0,2 mm derinliğe kadar olan bölgede meydana gelirler ve genellikle çekme yönündedirler. Bu nedenle talaş kaldırılmış yüzeye uygulanacak parlatma işlemi ile birçoğu giderilebilir.

Üretilen mekanik parçanın bünyesinde bulunan kalıntı gerilmelerin etkileri olumlu ya da olumsuz olabilir. Kalıntı gerilmeler de diğer gerilmelerde olduğu gibi basma ve çekme yönünde oluşabilirler. Çekme yönünde oluşan kalıntı gerilmeler mekanik parçanın yüzeyinde yorulma çatlaklarının oluşmasına ve büyümesine neden olurken, basma yönünde oluşanlar parçanın yorulma performansını artırırlar [3]. Mekanik yöntemler, özellikle ezerek parlatma yöntemi, mekanik parçadan beklenen yüzey tamlığının elde edilmesinde seçilebilecek iyi bir yöntemdir. Yüzey tamlığı, Şekil 1'de de gösterildiği üzere, malzemenin yüzey kalitesi, sertliği, içyapısı ve bünyesindeki kalıntı gerilmelerin birlikte değerlendirildiği bir ifadedir ve literatürde ezerek parlatma yönteminin bu dört değişkeni de olumlu yönde etkilediği belirtilmektedir [5].



Şekil 1. Yüzey tamlığı parametrelerinin şematik gösterimi [5] (Illustration of surface integrity parameters)

Literatürde kalıntı gerilmelerin ölçülmesi ve ön görülmesi ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların büyük bir çoğunluğu kaynaklı birleştirmelerde meydana gelen kalıntı gerilmeler ile ilgilidir [6-9]. Diğer bir önemli kısım ise kaplama

yöntemlerinin malzeme üzerinde meydana getirdiği kalıntı gerilmeler üzerinedir [10-13]. Ayrıca ezerek parlatma yöntemi ile ilgili çalışmaların büyük bir kısmı torna tezgâhında silindirik yüzeyler üzerinde özel takımlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın amacı ezerek parlatma işleminin kalıpların düzlem yüzeylerinde son işlem olarak kullanılabilirliğini araştırırken bu işlem ile kalıp yüzeylerinde meydana gelen basma kalıntı gerilmelerini incelemektir.

Bu çalışmada, ezerek parlatma yönteminin sayısal analiz programı ile modellenebilmesi amaçlanmıştır. Ezerek parlatma uygulanmış numunelerdeki kalıntı gerilme değerleri belirlenmiş ve sayısal analiz programı ile elde edilen kalıntı gerilme değerleri ile karşılaştırılmıştır. Deneysel numunelerde meydana gelen kalıntı gerilmelerin belirlenmesi için X-ışını kırınımı yöntemi kullanılmıştır.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Deneysel malzemesi olarak AA7075-T6 alüminyum alaşımı kullanılmıştır. Spektral analiz ve çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çizelge 1 ve 2'de sırasıyla malzemenin kimyasal içeriği ve mekanik özellikleri verilmektedir.

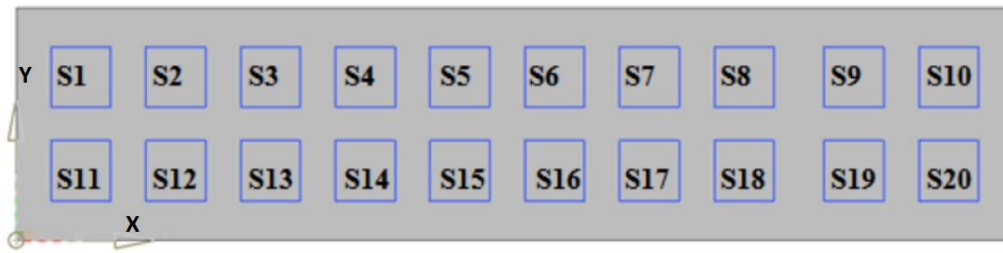
Çizelge 1. AA7075-T6 alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi (% ağırlık) (Chemical composition of AA7075-T6 aluminium alloy in w%)

Cu	Fe	Si	Zn	Mn	Mg	Al
1.7	0.2	0.4	6.2	0.02	2.6	Kalan

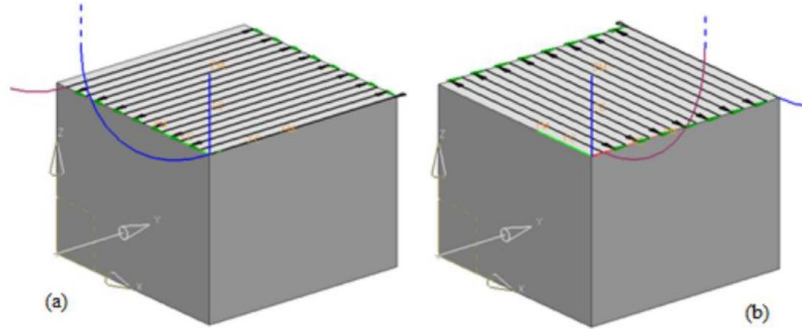
Çizelge 2. AA7075-T6 alüminyum alaşımının mekanik özellikleri (Mechanical properties of AA7075-T6 aluminium alloy)

Çekme Dayanımı (MPa)	570
Akma Dayanımı (MPa)	401
Young's Modülü (GPa)	68,646
Uzama (%)	9
Poisson oranı	0,3
Mikrosertlik (Hv)	168

Parçalar önce Fanuc kontrol ünitesine sahip CNC freze tezgâhında işlenmiş ve bu parçalar üzerinde 12 x 12 mm² lik alanlara her bir alan için farklı parametreler kullanılmak kaydıyla parlatma işlemi için takım yolları üretilmiştir. Oluşturulan alanlar ve yerleşim planı Şekil 2'de gösterilmektedir. Bu işlem için UGNX8.5 CAD/CAM yazılımı kullanılmıştır. Düzlem yüzey üzerine parlatma işlemleri $\pm 0,003$ mm tolerans ile zig zag takım yolu şekli seçilerek gerçekleştirilmiştir. Bu takım yolları Şekil 3'te görüldüğü üzere x-ekseni ile paralel, dik



Şekil 2. Ezerek parlatma işlemleri için yerleşim şeması (Layout plan of burnished areas)



Şekil 3. Ezerek parlatma işlemi takım yolu doğrultuları, (X-eksenine, (a) paralel, (b) dik). (Process directions, a) perpendicular to x-axis, b) parallel to x-axis).

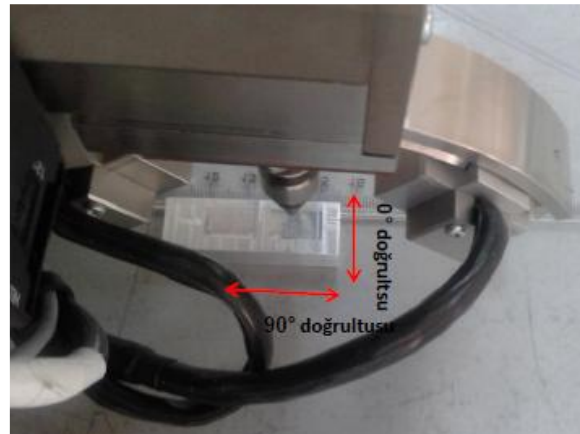
ve her iki yönde de olacak şekilde uygulanmıştır. Parlatma işleminin sanayi şartlarında kolaylıkla gerçekleştirilebilmesi ve takımın kolay elde edilebilmesi için basit bir takım tasarlanarak imal edilmiştir. Bunun için 16 mm çapında rulman bilyesi olarak kullanılan krom-karbon çelik bilye, 12 mm çapında işlenmiş ve bilyenin merkezlenebilmesi için yuva açılmış silindirik parçaya sert lehim ile birleştirilmiştir. Böylece hareketli değil sabit deformasyon elemanı kullanılmıştır. Çizelge 3, bu çalışmada kullanılan işlem parametrelerini göstermektedir.

Çizelge 3. Ezme işlemi parametreleri (Burnishing parameters)

Parametreler	Değerler
Devir sayısı, [S], (dev.dak ⁻¹)	1200
Ezici çapı, [D], (mm)	16
İlerleme miktarı, [f], (mm.dak ⁻¹)	400, 800, 1000
Ezme derinliği, [d _c], (mm)	0.025, 0.050, 0.100
Yanal adım, [a], (mm)	0.01, 0.05, 0.1
Ezme doğrultusu, [d], (°)	0°, 90°
Paso sayısı, [p]	1, 2, 4
Ezme şartları, [c]	Soğutma sıvısı, kesme yağı

Bu çalışmadaki numunelerin kalıntı gerilme değerleri, X-ışını kırınımı yöntemi ile belirlenmiştir. Ölçümler taşınabilir StresstechXStress 3000 G2R XRD Gerilim Analiz cihazı ile 2 mm çapında kolimatör kullanılarak EN150305 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Ezerek parlatılmış numunelerden yapılan ölçümler ve

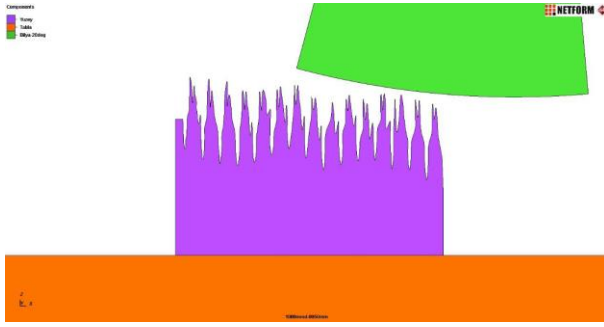
belirtilen doğrultular Şekil 4'te gösterilmiştir. Şekildeki 0° doğrultusu, parlatma işlemlerinde esas alınan X-eksenini, 90° doğrultusu ise Y-eksenini belirtmektedir. Ölçümler sırasında alüminyum malzemesinin yüzey merkezli kübik kafes yapısında, gerilmemiş durumda, CrK α ışınması altında, 139.3°'de kırınım piki oluşturan {311} atomik düzlemleri arasındaki mesafe ölçülmüştür. Bu mesafeden yararlanarak elastik genleme belirlenmiş ve numunenin yönelimsiz lineer elastik davrandığı varsayılarak gerilme değeri hesaplanmıştır. Ölçümler ezerek parlatma yönlerine paralel ve dik yönlerde alınmıştır.



Şekil 4. Kalıntı gerilme ölçüm doğrultuları (Residual stress measurement directions)

Analiz için Simufact programı kullanılmış ve işlem süresini kısaltmak amacıyla 2B modelleme yapılmıştır. Modellemeye ait şematik gösterim Şekil 5'te verilmiştir.

Bu çalışmada frezelenerek, ezerek parlatma işlemine hazırlanan yüzeyin, yüzey pürüzlülüğü ölçülmüş ve bu değerler 2B modelin yüzeyinin tanımlanmasında kullanılmış ve oluşturulan 2B model, analiz programına tanıtılmıştır. Daha sonra ezerek parlatma takımının kesit geometrisi oluşturulmuş ve her iki geometriye sonlu eleman ağı örülmüştür. Çözüm için Çözüm için MSC Software firması tarafından geliştirilen Marc çözücüsü içerisinde yer alan “iterative sparse” yöntemi kullanılmıştır. İşlemden malzemenin elastik davranışı, malzemenin Young’s modülü ve Poisson oranı kullanılarak Hooke yasasına göre hesaplanmış daha sonra simülasyon programına tanımlı, sıcaklık ve deformasyon hızına (strain rate) bağlı akma gerilmeleri (flow curve) kullanılarak Von Mises teorisine göre hesaplamalara devam edilmiştir. İşlemler için kullanılan diğer parametreler Çizelge 4 ‘te verilmiştir. Çözümler sırasında yüksek miktarda meydana gelen deformasyon sebebiyle oluşturulan sonlu elemanların aşırı deformasyona uğraması nedeniyle yakınsama sorunları ile karşılaşmış ve sonlu eleman ağının tekrar örülmesi (remesh) sıklığı azaltılarak bu problem çözülmüştür.



Şekil 5. Ezerek parlatma işleminin 2B modellenmesi (2D modelling of burnishing process)

Çizelge 4. Sayısal Analiz çalışmalarında kullanılan işlem parametreleri. (Process parameters used for numeric analysis)

Minimum sıcaklık	293,15 °K
Maksimum sıcaklık	573,15 °K
Minimum plastik gerinme miktarı	0,01
Maksimum plastik gerinme miktarı	2,0
Minimum gerinme oranı	0,001 1/s
Maksimum gerinme oranı	100,0 1/s
Yakınsama toleransı	0,1
Yer değiştirme toleransı	0,05

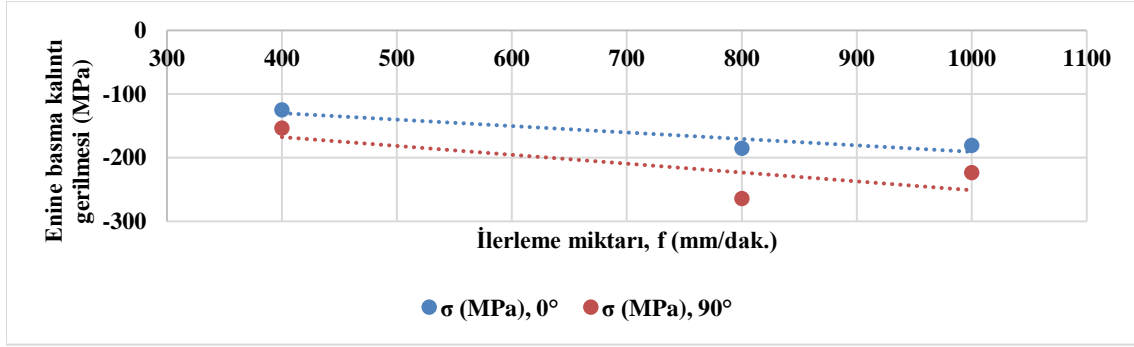
3. BULGULAR VE ARAŞTIRMA (RESULTS and DISCUSSION)

Çizelge 3 incelendiğinde ezerek parlatma işlemine esas alınan temel işlem parametrelerinin ilerleme miktarı, ezme derinliği, yanal adım ve paso sayısı olduğu görülmektedir. Kalıntı gerilme sonuçları da bu parametreler esas alınarak değerlendirilmiştir. Şekil 6, 7 ve 8’de bu parametrelerin malzeme bünyesinde oluşan enine basma kalıntı gerilmelerine etkisi görülmektedir. Grafikler incelendiğinde ezerek parlatma işleminden sonra beklendiği üzere malzeme bünyesinde meydana gelen kalıntı gerilmeler basma gerilmesi şeklinde olduğu görülmektedir.

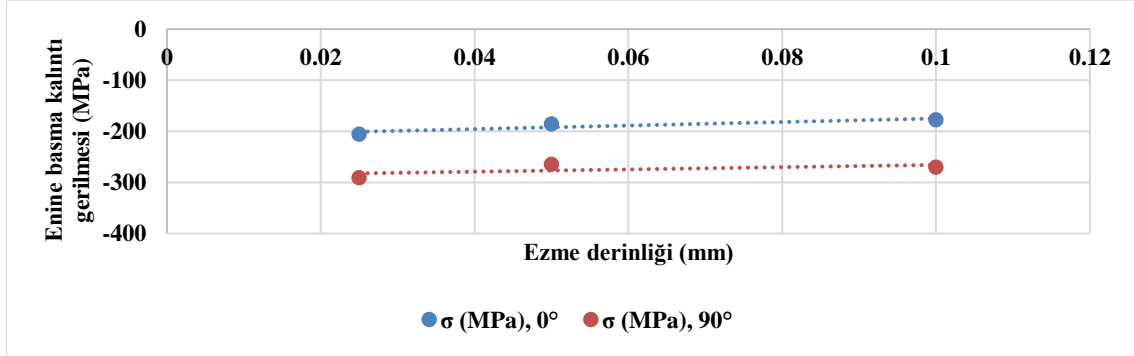
Şekil 6’da ezerek parlatma işlemine kullanılan ilerleme miktarının malzeme bünyesinde meydana gelen enine kalıntı gerilmelere etkileri verilmektedir. En düşük kalıntı gerilme miktarı, en küçük ilerleme değerinde elde edilmiştir. Literatürdekine benzer olarak ilerleme miktarı arttıkça malzemede meydana gelen kalıntı gerilmelerin artma eğiliminde olduğu söylenebilir [14, 15]. Okada ve ark. yaptıkları çalışmada ilerleme miktarı azaldıkça ezme izlerinin daha belirgin ve geniş olarak meydana geldiğini, ezme takımı ile malzeme yüzeyi arasındaki kayma mesafesinin, azalan ilerleme miktarı ile birlikte arttığını ve ezmenin gerçekleştiği noktanın çevresindeki malzeme akışının azalan ilerleme miktarı ile arttığını tespit etmişlerdir [15]. Buna göre ilerleme miktarı azaldıkça kuvvetin uygulandığı alan artmakta ve kuvvetin sabit kaldığı şartlarda alanın artması, meydana gelen gerilme miktarını azaltmaktadır. Bu da ortaya çıkan durumu açıklamaktadır.

Ezme derinliğinin enine kalıntı gerilmeler üzerine etkileri incelendiğinde ezme derinliği arttıkça kalıntı gerilmelerin azaldığı görülmektedir. Ezme derinliği arttıkça bölgesel plastik deformasyona uğrayan malzeme miktarı arttığı için basma kalıntı gerilmelerin değeri artmaktadır. Şekil 7’de ezme derinliğinin kalıntı gerilmelere etkisini gösteren grafik verilmiştir.

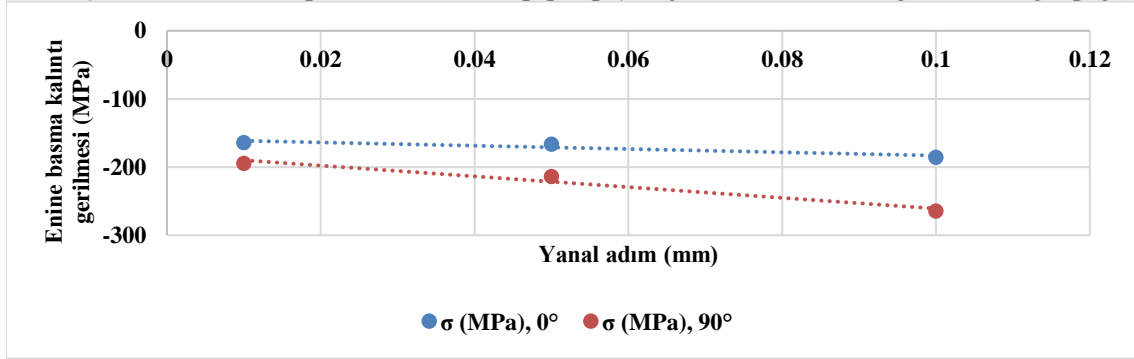
Şekil 8’de yanal adım değerinin enine basma kalıntı gerilmesi miktarına etkilerini ifade eden grafik verilmiştir. Grafik incelendiğinde, yanal adım arttıkça kalıntı gerilme miktarının da arttığı görülmektedir. Yanal adım bir doğrultuda arka arkaya gelen iki takım yolu arasındaki mesafeyi ifade etmektedir ve Şekil 9’da şematize edilmiştir. Takım ikinci takım yolunu izlerken birinci takım yolunun bir kısmı ile örtüşür. Yanal adım arttıkça örtüşme miktarı azalacaktır. Diğer bir deyişle yanal adımın küçük olduğu durumlarda, büyük olduğu şarta kıyasla daha az malzeme plastik deformasyona uğrayacaktır ve tersi de doğrudur. Basma kalıntı gerilmeleri malzeme bünyesinde meydana gelen plastik deformasyon arttıkça artmaktadır. Bu nedenle artan yanal adım değerlerinde basma kalıntı gerilmelerin artması olağandır. Şekil 10’da paso sayısının kalıntı gerilme miktarına etkisi verilmektedir. Grafik incelendiğinde paso sayısı arttıkça basma kalıntı gerilmelerin arttığı gözlemlenmiştir. Burada ezme derinliğinin her paso sayısı için sabit tutulduğuna dikkat edilmelidir. Örneğin ezme derinliği 0,1mm ise tek p asoda işlem yapılırken



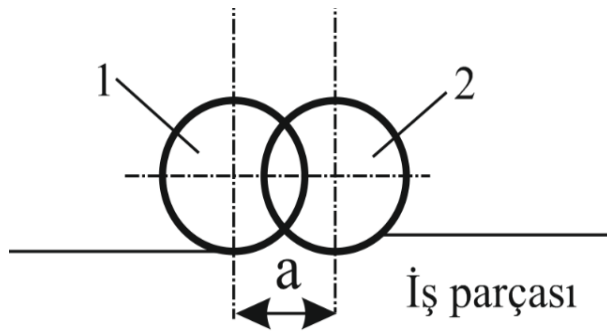
Şekil 6. Basma kalıntı gerilmesi-ilerleme miktarı grafiği (Compressive residual stress-feed rate graph)



Şekil 7. Basma kalıntı gerilmesi-ezme derinliği grafiği (Compressive residual stress-penetration depth graph)



Şekil 8. Basma kalıntı gerilmesi-yanal adım grafiği (Compressive residual stress-stepover graph)

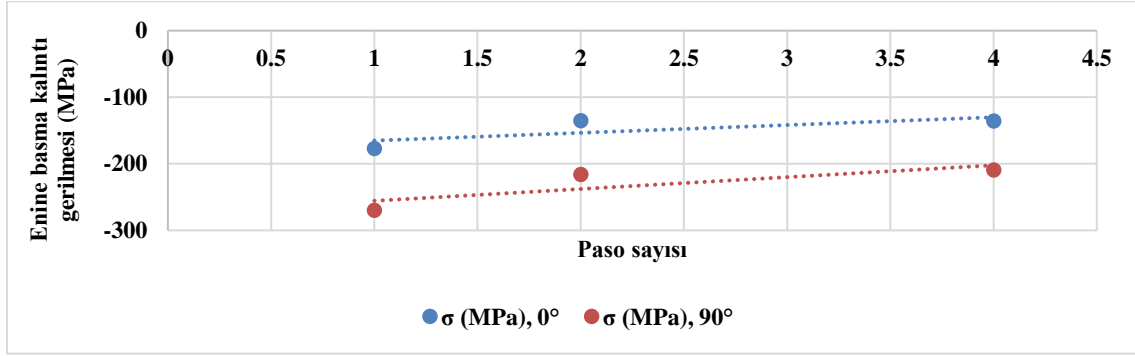


Şekil 9. Yanal adımın şematik gösterimi (Illustration of stepover)

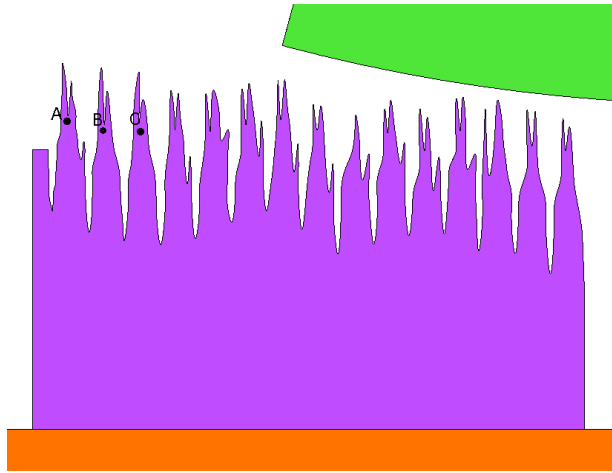
0,1mm'lik kalınlığın tamamı deformasyona uğrarken, 2 pasoda işlem yapılırken her seferde 0,05mm'lik kalınlık

deformasyona uğramakta, işlem sonunda deformasyona uğrayan kalınlık 0,1 mm olmaktadır. Dolayısıyla paso sayısı arttıkça her seferinde deformasyona uğrayan kalınlık azalırken işlem sayısı artmaktadır. Bu da basma kalıntı gerilmelerinde artış olarak karşımıza çıkmaktadır.

Ayrıca kesme yağı yerine soğutma sıvısının kullanıldığı şartlarda meydana gelen basma kalıntı gerilmelerin yaklaşık 0,7 kat azaldığı görülmüştür. Artışlı şekillendirme işlemlerinde de gözlemlendiği üzere plastik deformasyon için gerekli işlem sıcaklığının takım iş parçası arasındaki sürtünme ile elde edildiği durumlarda kullanılan yağlayıcı önem arz etmektedir. Sadece yağlama ya da sadece soğutma özelliği bulunan yağlayıcılar gerekli ve yeterli işlem sıcaklığının elde edilmesinde problem yaratmaktadır. Bu çalışmada soğutma sıvısı kullanımının işlem için gerekli ısının



Şekil 10. Basma kalıntı gerilmesi-paso sayısı grafiği (Compressive residual stress-number of toolpasses graph)



Şekil 11. Kalıntı gerilme tahmini için esas alınan noktaların şematik gösterimi (Illustration of points used for prediction of compressive residual stresses)

oluşmasına ve meydana gelen basma kalıntı gerilme miktarının azalmasına neden olduğu tespit edilmiştir. En küçük enine basma kalıntı gerilmesi değeri yaklaşık 125,1 MPa değerinde ve ilerleme miktarının en küçük seçildiği şartlarda elde edildiği tespit edilmiştir. Diğer yandan frezeleme yönünde gerçekleştirilen ezme işlemlerinde elde edilen kalıntı gerilme miktarının daha küçük, ters yönde gerçekleştirilen ezme işlemlerinde daha büyük olduğu belirlenmiştir. Her iki yönde gerçekleştirilen işlemlerde ise kalıntı gerilmenin daha da arttığı tespit edilmiştir. Bunun nedeni frezeleme işlemi sonucunda oluşan yüzey pürüzlülüklerinin kesme yönünde yönlendirilmiş olması olarak açıklanabilir.

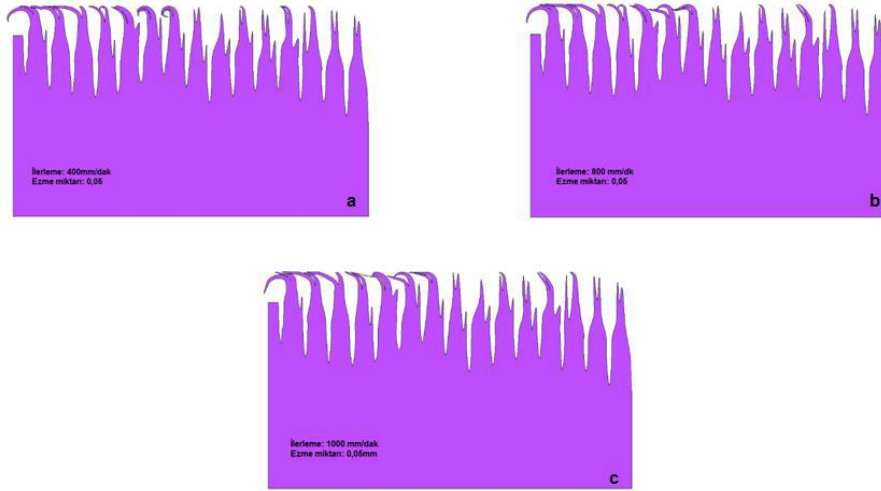
Kalıntı gerilme ölçümleri ezme işleminin en çok görüldüğü noktalar esas alınarak yapılmıştır. Belirlenen noktaların şematik gösterimi Şekil 11'de verilmiştir. Çalışmada sayısal analizler 2B gerçekleştirilmiş ve enine kalıntı gerilme değerleri tahmin edilmiştir. Bu nedenle çalışmalar ilerleme hızı ve ezme derinliği esas alınarak yapılmış, yanal adım ve paso sayısı dikkate alınmamıştır. Farklı ilerleme miktarlarına ve ezme derinliklerine ait ezme simülasyonu sonuçları sırasıyla Şekil 12 ve 13'te, sayısal analiz yöntemi ile tahmin edilen kalıntı gerilme-ilerleme miktarı ve kalıntı gerilme-ezme derinliği grafikleri ise sırasıyla Şekil 14 ve Şekil 15'te verilmiştir.

Sayısal analiz yöntemi ile tahmin edilen kalıntı gerilme değerleri, ilerleme miktarına göre değerlendirildiğinde en düşük basma kalıntı gerilmesinin en düşük ilerleme miktarında elde edildiği gözlemlenmiştir. Aynı işlem ezme derinliğine göre gerçekleştirildiğinde en düşük kalıntı gerilme değerinin yine en az ezme derinliğinde elde edildiği tespit edilmiştir. Sayısal analiz işlemlerinde frezeleme sonucunda malzemede önceden bulunan gerilmeler hesaba katılmadığından bu sonuçların, kalıntı gerilme ölçümleri ile kıyaslanabilmesi mümkün değildir. Ancak kendi içinde orantılandığında sayısal analiz ile ölçüm sonuçlarının paralellik gösterdiği görülmektedir.

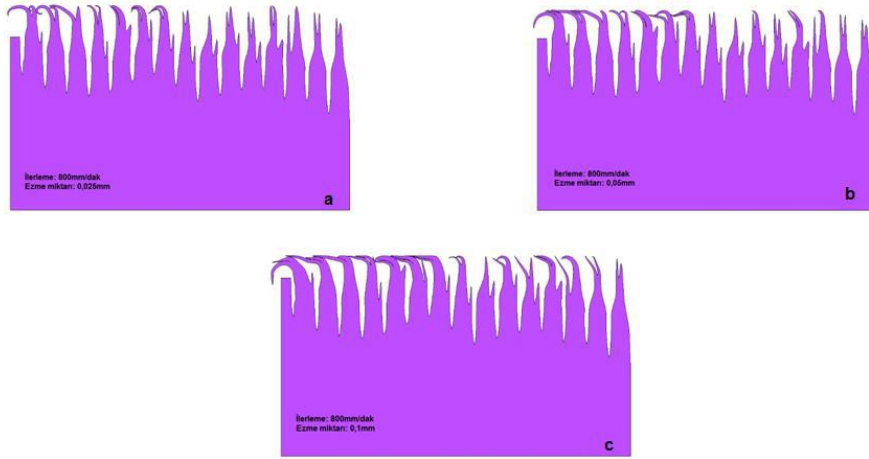
4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Sabit küresel ezme takımı ile yapılan ezerek parlatma işlemine ilerleme miktarı, yan kayma miktarı, ezme derinliği, paso sayısı ve soğutma elemanı gibi işlem değişkenlerinin oluşan kalıntı gerilme miktarlarına etkileri incelenmiş, aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

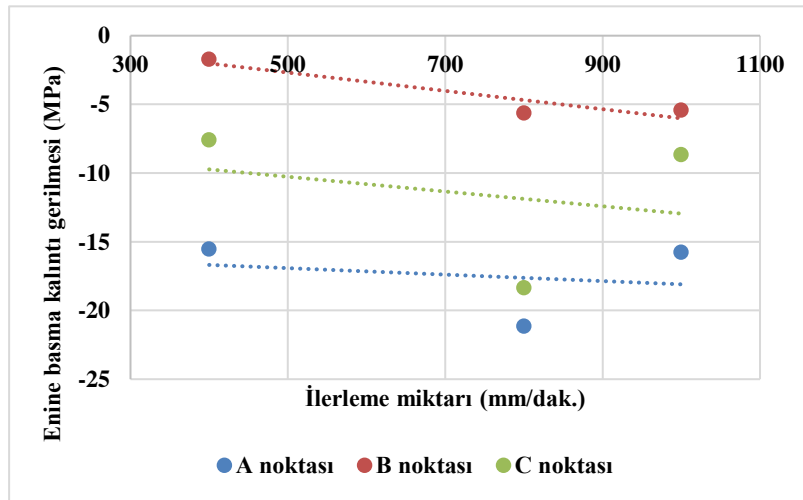
1. Çalışmada kalıntı gerilme miktarının ölçümü için X-ışını kırınımı yöntemi kullanılmıştır ve ezerek parlatma işleminden sonra beklendiği üzere malzeme bünyesinde meydana gelen kalıntı gerilmeler basma gerilmesi şeklinde meydana geldiği tespit edilmiştir.
2. İlerleme miktarı azaldıkça malzeme bünyesinde meydana gelen enine basma kalıntı gerilmelerinin azaldığı görülmüştür. En küçük kalıntı gerilme değerinin 400mm.dak⁻¹ ilerleme miktarı kullanılarak ezerek parlatılan yüzeylerde elde edildiği belirlenmiştir.
3. Yanal adım arttıkça kalıntı gerilme miktarının arttığı tespit edilmiştir.
4. Ezme derinliği azaldıkça kalıntı gerilmelerin azaldığı görülmüştür.
5. Paso sayısı arttıkça her seferde ezilen malzeme miktarı azaldığı için meydana gelen kalıntı gerilme değerleri de azalmıştır.
6. Ayrıca kesme yağı yerine soğutma sıvısının kullanıldığı şartlarda meydana gelen kalıntı gerilmelerin yaklaşık 0,7 kat azaldığı görülmüştür.



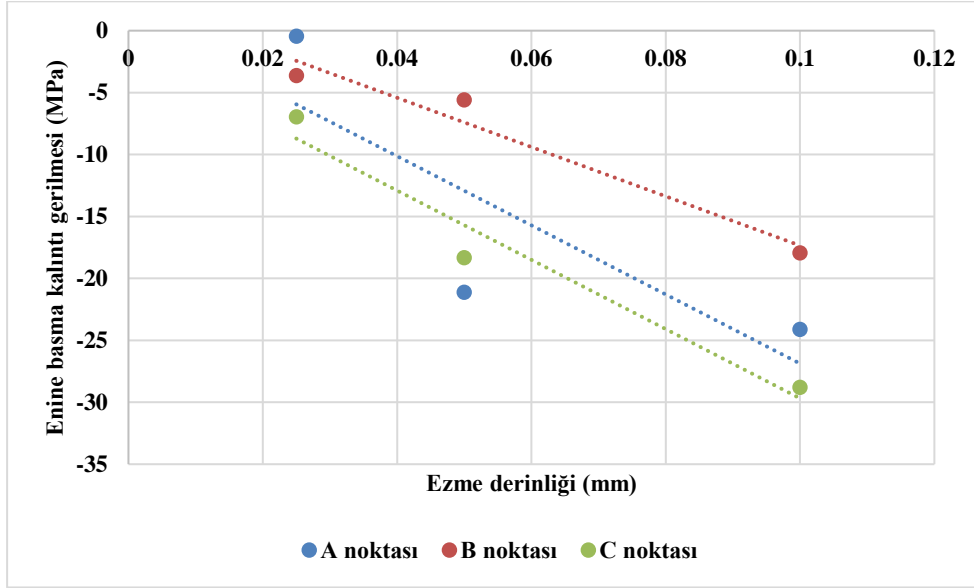
Şekil 12. Ezerek parlatma işlemi sonrasında elde edileceği elde edilen yüzeyler (dc: 0,05 mm, a) f: 400mm.dak-1, b)f: 800mm.dak-1, c) f: 800mm.dak-1) (Calculated surfaces obtained after burnishing process, dc: 0,05mm a) f: 400 mm.min-1, b)f: 800 mm.min-1, c)f: 1000 mm.min-1)



Şekil 13. Ezerek parlatma işlemi sonrasında elde edileceği ön görülen yüzeyler (f:800mm.dak-1 a) dc: 0,025 mm, b)dc: 0,05 mm, c) dc: 0,1mm) (Calculated surfaces after burnishing process, f 800 mm.min-1, a) dc:0,025mm, b)dc:0,05mm, c) dc: 0,1mm)



Şekil 14. Tahmin edilen enine basma kalıntı gerilmesi-ilerleme miktarı grafiği (Predicted compressive residual stress-feedrate graph)



Şekil 15. Tahmin edilen enine basma kalıntı gerilmesi-ezme derinliği grafiği (Predicted compressive residual stress-penetration depth graph)

- Diğer yandan frezeleme yönünde gerçekleştirilen ezme işlemlerinde elde edilen kalıntı gerilme miktarının daha küçük, ters yönde gerçekleştirilen ezme işlemlerinde daha büyük olduğu belirlenmiştir. Her iki yönde gerçekleştirilen işlemlerde ise kalıntı gerilmenin daha da arttığı tespit edilmiştir.
- Sayısal analizler, 2B gerçekleştirilmiş ve enine kalıntı gerilme değerleri sayısal analiz yöntemi ile elde edilmiştir. Bu nedenle işlemler ilerleme hızı ve ezme derinliği esas alınarak yapılmış, yanal adım ve paso sayısı dikkate alınmamıştır. Sayısal analiz yöntemi ile elde edilen kalıntı gerilme değerlerinin, azalan ilerleme miktarı ve ezme derinliği ile azaldığı gözlemlenmiştir.
- Parçanın üretiminden gelen artık gerilmeler programa dahil edilmemiş ve parça tavlı olarak kabul edilmiştir. Bu nedenle sayısal analiz yöntemi ile elde edilen değerlerin ölçümler sonucu elde edilen değerlere sayısal olarak benzemediği fakat işlem parametrelerinin etkilerinin ölçüm sonuçları ile benzerlik gösterdiği belirlenmiştir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

2013-128 numaralı projeye vermiş oldukları destekten dolayı Celal Bayar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Hauk V., "Structural and residual stress analysis by nondestructive methods: Evaluation-Application-Assessment", *Elsevier*, (1997).
- Çevik B., Özer A. ve Özçatalbaş Y., "Köşe Kaynaklarında Oluşturulan Gerilmelerin Fotoelastisite Yöntemiyle Analizi", *The Sixth International Advanced Technologies Symposium*, Elazığ, Türkiye, 409-414, (2011).

- Subaşı M., Kafkas F. ve Karataş Ç., "AISI 4140 çeliğinde sertlik ve kalıntı gerilme ilişkisi", *2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi*, Balıkesir, Türkiye, 211-220, (2010).
- Totten G. E., "Handbook of residual stress and deformation of steel", *ASM International*, (2002).
- Chomienne V., Valiorgue F., Rech J. and Verdu C., "Influence of ballburnishing on residual stress profile of a 15-5PH stainless steel", *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 13, 90-96, (2016).
- Park J. U., An G. And Woo W. "The effect of initial stress induced during the steel manufacturing process on the welding residual stress in multi-pass butt welding", *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, (2017) in press.
- Kouadri-Henni A., Seang C., Malard B. And Klošek V., "Residual stresses induced by laser welding process in the case of a dual-phase steel DP600: Simulation and experimental approaches", *Materials & Design*, 123, 89-102, (2017).
- Dawson H., Serrano M., Cater S., Wady P., Pirling T. and Jimenez-Melero E. "Residual Stress Distribution in Friction Stir Welded ODS Steel Measured by Neutron Diffraction", *Journal of Materials Processing Technology*, 246, 305-312, (2017).
- Lin J., Ma N., Lei Y. And Murakawa H., "Measurement of residual stress in arc welded lap joints by cosa X-ray diffraction method", *Journal of Materials Processing Technology*, 243, 387-394. (2017).
- Demirler U. ve Taptık Y., "FBB TiN kaplamalarda taban malzemenin kalıntı gerilme üzerine etkisi", *İTÜ Dergisi/d*, 4:1, 95-102, (2010).
- Bouaouina B., Besnard A., Abaidia S. E. And Haid F., "Residual stress, mechanical and microstructure properties of multilayer Mo₂N/CrN coating produced by RF Magnetron discharge", *Applied Surface Science*, 395, 117-121, (2017).
- Xiao Y., Shi W., Han Z., Luo J. and Xu L., "Residual stress and its effect on failure in a DLC coating on a

- steel substrate with rough surfaces”, *Diamond and Related Materials*,66, 23-35. (2016).
- [13] Maledi N. B.,Oladijo O. P., Botef I.,Ntsoane T. P., Madiseng A. And Moloisane L., “Influence of cold spray parameters on the microstructures and residual stress of Zn coatings sprayed on mildsteel”, *Surface and Coatings Technology*, (2017) in press.
- [14] Revankar G. D., Shetty R., Rao S. S. And Gaitonde V. N., “Wear resistance enhancement of titanium alloy (Ti-6Al-4V) by ball burnishing process” *Journal of Materials Research and Technology*,6(1), 13-32, (2017).
- [15] Okada M.,Shinya M., Matsubara H., Kozuka H., Tachiya H., Asakawa N. and Otsu M., “Development and characterization of diamond tip burnishing with a rotary tool” *Journal of Materials Processing Technology*, 244, 106-115, (2017).