

AISI 5115 ÇELİKTEN İMAL EDİLEN DİŞLİ ÇARKIN DİŞ DİBİNDEKİ KALICI GERİLMELERİN İNCELENMESİ

Çetin KARATAŞ*, **Eldar FETULLAYEV****, **Fırat KAFKAS***

* Makine Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Gazi Üniversitesi,
Teknikokullar, Ankara, ckaratas@tef.gazi.edu.tr, fkafkas@tef.gazi.edu.tr

** Makine Mühendisliği Bölümü, Yozgat Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Erciyes
Üniversitesi, Yozgat

ÖZET

Kalıcı gerilmelerin parçanın çalışma performansı, dayanım ve tolerans gibi özelliklere etkisi büyüktür. Bu nedenle parçalardaki kalıcı gerilmelerin değerlerinin ve özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Yapılan bu çalışmada AISI 5115 çelik malzemeden imal edilen ve semantasyon işlemine tabii tutulmuş dişli çark kullanılmıştır. Diş diplerinde oluşan kalıcı gerilmeler katman kaldırma metodu kullanılarak ölçülmüştür. Yapılan ölçümler sonucunda diş dibi yüzeylerinde basma biçimindeki kalıcı gerilmeleri olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kalıcı gerilmeler, katman kaldırma tekniği, dişli çarklar, ısı işlem

THE RESEARCH INTO THE RESIDUAL STRESSES ON THE ROOT'S TEETH OF A GEAR WHEEL MADE OF AISI 5115 STEEL

SUMMARY

Residual stresses have considerable influence on the strength, tolerance and performance of the component. Because of this, their types and values have to be known. In this study, a gear wheel manufactured from carburized AISI 5115 steel was used. Residual stresses at the root of the gear have been investigated by layer removing method. It was found that residual stresses are compressive at the root of the gear.

Keywords: Residual stresses, layer removal technique, gear wheels, heat treatment

1. GİRİŞ

Kalıcı gerilmeler, dış kuvvetlerden bağımsız olarak bir cisimde meydana gelen gerilmeler sistemidir [1, 2].

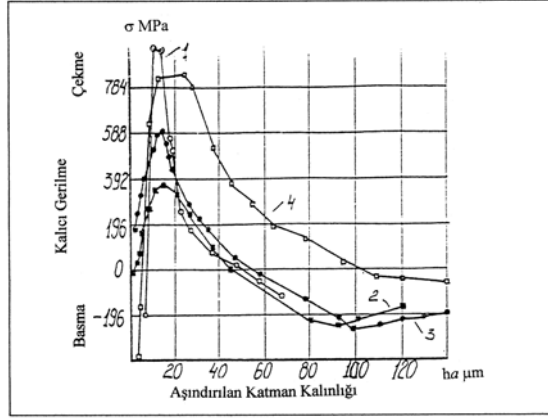
Kalıcı gerilmelerin etkisi olumlu veya olumsuz olmaktadır. Cıvata, pim, sıkı geçme gibi bağlantılarda kalıcı gerilmeler olumlu; ısıl işleme, soğuk çekme, soğutma, taşlama, kalıp ve kaynak işlemlerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır. Bu nedenle, kalıcı gerilmelerin parça yüzeyinden yüzeyin alt tabakalarına kadar olan dağılımlarının ve değerlerinin bilinmesi zorunlu olmaktadır [2].

Parçalardaki kalıcı gerilmeler basma veya çekme özelliğinde olabilir. Bunların değeri, parçanın bütünündeki dağılım modelleri, imal usulleri ve imalat parametreleri ile doğrudan ilgilidir. Parçaların üretiminde kullanılan imal usullerinde kalıcı gerilmeler parça hacminin bir kısmını veya tamamını kaplayabilmekte ve parça içerisinde muhtelif alanlarda çeşitli değerler ve özellikler kazanmaktadır [3-5].

Bazı imal usullerinde plastik deformasyon yöntemi ile talaş kaldırmada, yüzey sertleştirmede, kaplamada vs. dahili kalıcı gerilmeler oluşmaktadır. Bu gerilmelerin parçaya nüfuz etme derinliği 5~200 mikron, bazı imal usullerinde ise 50~2000 mikron veya biraz daha fazla olmaktadır. Yüzeyde oluşan gerilmeler ise parça içinde oluşan gerilmeler gibi çekme yada basma özellikli olmaktadır. Yüzeyde oluşan kalıcı gerilmeler azami değerlerini yüzeyden 2~30 mikron derinliklerde oluşmaktadır.

Yüzeyde oluşan kalıcı gerilmelerin oluşma nedenleri yüksek basınç, sıcaklık, faz dönüşümleri, ana malzeme ile yüzey tabakasının farklı mekanik özellikleri, kesit alanında eşit olmayan plastik deformasyon ve bu faktörlerin oluşturduğu özelliklerdir. Şekil 1’de torna tezgahında farklı imalat kriterlerinde çelik malzemeye açılmış vidaların dış dibi yüzeyinde oluşan kalıcı gerilmeler grafiksel olarak gösterilmektedir. Buradaki 1, 2 ve 3 nolu numunelerde kesme sıvısı kullanılırken 4 nolu numunede kesme sıvısı kullanılmamıştır. Şekilden de görüldüğü gibi imalat kriterleri değiştikçe kalıcı gerilme derinliklerinin, değerlerinin ve işaretlerinin değiştiği görülmektedir [6].

Yüzeyde arzu edilen kalıcı basma gerilmelerinin meydana getirilmesinde kullanılan en önemli ticari metotlar, dönen rulolarla yüzeyin haddeden geçirilmesi ve bilyeyle dövme metotlarıdır. Tane sertleşmesinden dolayı metalin uzama gerilmesindeki bazı değişikliklere rağmen bu işlemler sayesinde yorulma performansı iyileşmektedir. Yorulma performansında sağlanan bu iyileşme özellikle yüzeyde kalıcı basma gerilmesinin oluşmasından kaynaklanır.



Şekil 1. Adımı 5mm, vida diş dibi yarıçapı $r=0,508$ mm olan çelik malzemeye açılmış vidaların diş diplerinde oluşan kalıcı gerilmeler σ_0 ; 1*. $V=0,97$ m/s; 2*. $V=1,53$ m/s; 3*. $V=2,43$ m/sn; 4**. $V=1,53$ m/s
* Kesme sıvısı kullanılmış ** Kesme sıvısı kullanılmamış

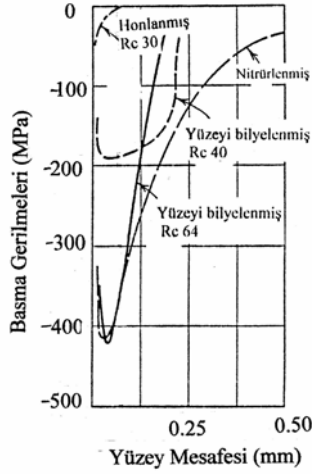
Çelikler için; su verme, semantasyon, ve nitrürleme, indüksiyonla sertleştirme işlemleri yüzeyde kalıcı basma gerilmeleri meydana getirmenin diğer metotlarıdır (Şekil 2) [7].

Semantasyon ve nitrürleme gibi yüzey sertleştirme işlemleri esnasında yüzeyler karbon veya azot verici ortamlarda ısıtılır. Bunun sonucunda yüzeylerin hacmi büyür ve basma kalıcı gerilmeleri meydana gelir. Buna bağlı olarak parçaların dayanım ve aşınma mukavemetleri artar [2].

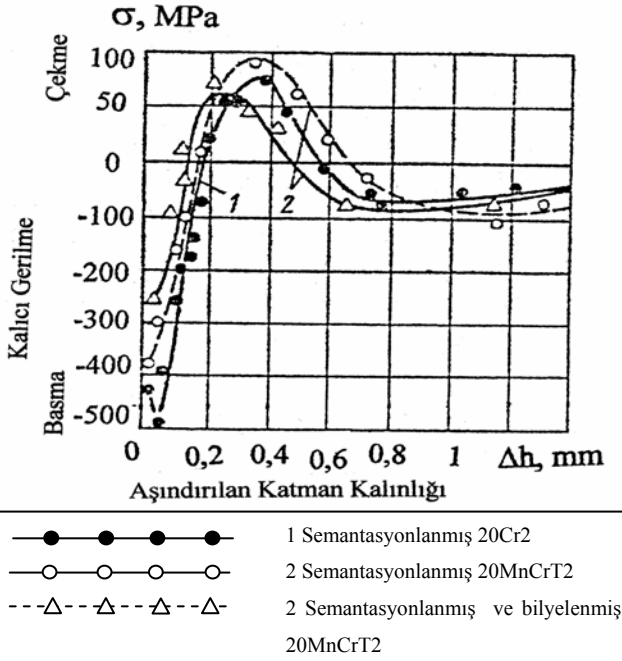
Semantasyon yapılmış çeliklerde sertleşmiş tabakanın kalınlığı arttıkça yüzeyde basma gerilmeleri değeri yükselmekte ve basma gerilmesinin çekme gerilmesine dönüşme derinliği artmaktadır (Şekil 3) [8].

Yüzeyde belirli bir kalınlıktaki tabakanın semantasyona uğratılması parçanın yorulma sınırını arttırmaktadır. Bunun nedeni semantasyona uğramış tabakada 400~500 MPa seviyesine basma gerilmelerinin oluşmasıdır [6, 8, 9].

Bu çalışmada, AISI 5115 (16MnCr5) çeliğinden imal edildikten sonra semantasyon işlemine tabii tutulmuş bir dişli çarkın diş dibinde oluşan kalıcı gerilmeler katman kaldırma tekniği kullanılarak ölçülmüştür. Yapılan ölçümler sonucunda diş diplerinin yüzeylerinde yaklaşık 470 MPa'lık basma kalıcı gerilmelerinin olduğu ve 20 mikron derinliğe kadar azalan bir eğilimle kalıcı gerilmelerin basma özelliğini koruduğu gözlenmiştir.



Şekil 2. Çelik Malzemelerde değişik yüzey işlemlerinin oluşturduğu gerilmelerin büyüklüğü ve derinliği



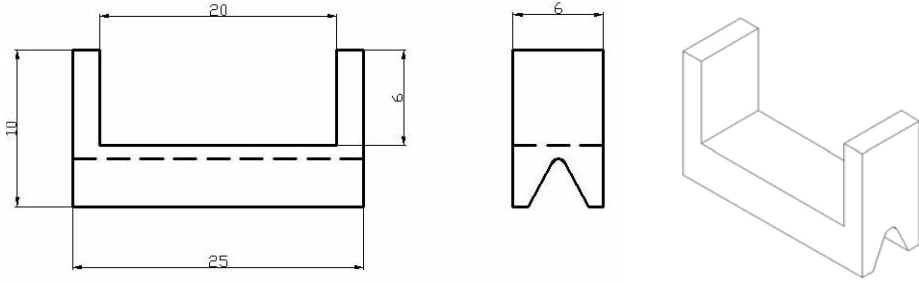
Şekil 3. Semantasyon işlemine tabi tutulmuş ve bilyelenmiş 20 MnCrT 2 ve 20 Cr 2 çeliklerdeki kalıcı gerilme dağılımları

2. MATERYAL VE METOT

DeneySEL çalışmada, malzeme bileşimi Tablo 1’de verilen AISI 5115 (16MnCr5) çelikten imal edilmiş ve semantasyon işlemine tabii tutulmuş dişli çark kullanılmıştır. Semantasyon işlemi neticesinde oluşan katman kalınlığı ise 110 mikron olarak tespit edilmiştir. Dişli çarkın diş dibinde oluşmuş olan kalıcı gerilmelerin ölçülmesi için gerekli numuneler tel erozyon tezgahında dişli çarkın diş dibinden kesilmiştir. Numune deney cihazına bağlamayı ve ölçü almayı kolaylaştırmak amacıyla U biçiminde hazırlanmıştır (Şekil 4).

Tablo 1. AISI 5115 malzemesinin kimyasal bileşimi ve dayanım değerleri

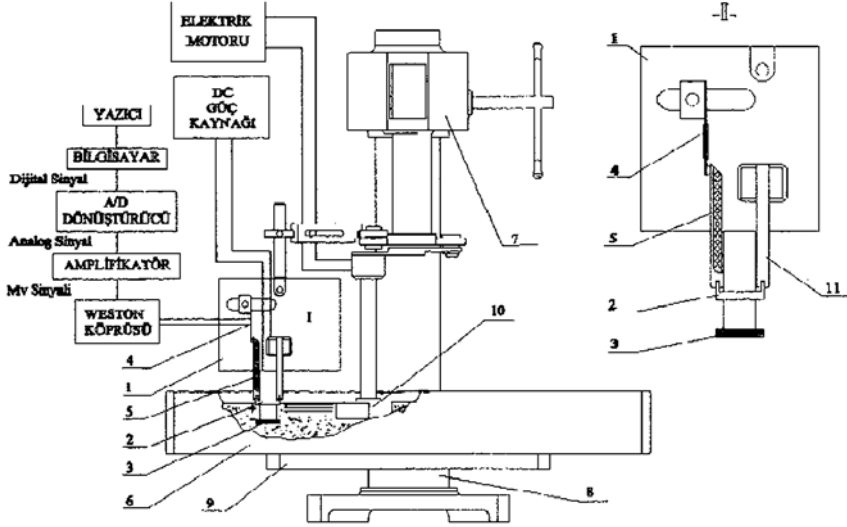
C(%)	Si(%)	Mn(%)	P(%)	S(%)	Cr(%)	$\sigma_{ak}(kg/mm^2)$	$\sigma_K(kg/mm^2)$
0,14~0,19	0,15~0,40	1~1,30	0,035	0,055	0,80~1,1	45~65	65~120



Şekil 4. Diş diplerinden tel erozyon yöntemi ile kesilerek elde edilen Deney numunesi

Deney elektro kimyasal işleme mantığına dayandığından numunelerin aşınmaması gereken yerler aside dayanıklı koruyucu bir (fotorezist kaplama) malzemeyle kaplanmıştır. Bu kaplama işleminde numunelerin sadece gerilmelerin ölçüleceği kısmı (diş dibi) kaplanmamıştır [10].

Deneyler tarafımızdan imal edilen ve katman kaldırma tekniğine dayalı olarak kalıcı gerilmelerin ölçüldüğü deney düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. Kullanılan cihazın şematik resmi Şekil 5’te görülmektedir. Numunelerden katmanların kaldırılması işlemi elektro kimyasal olarak gerçekleştirilmiştir. Katmanların kaldırılması esnasında elektrolit olarak %30’luk nitrik asit çözeltisi kullanılmıştır. Elektro kimyasal aşındırmanın tercih edilmesi, katmanların kaldırılması esnasında ilave bir gerilme oluşturulmaması ve art arda gelen katmanların seri bir şekilde kaldırılmasına olanak tanımamıştır. Numune, bir ucundan sabit diğer ucundan deformasyonun ölçülmesini kolaylaştıracak şekilde cihaza bağlanmıştır. Numunenin serbest ucuna ise ağırlığı ihmal edilecek seviyede olan ve numunedeki oluşan deformasyonu üzerine gerinim ölçerlerin yapıştırıldığı yaprak yaya taşınmasını sağlayan bir manivela kol



Şekil 5. Deney düzeneğinin şematik resmi

(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)

bağlanmıştır. Numuneden katmanlar kaldırıldıkça oluşan deformasyon yaprak yay üzerine yapıştırılmış gerinim ölçerler yardımıyla algılanmakta ve bir veri okuyucu kart sayesinde bu bilgiler bilgisayara aktarılmıştır. Numunede meydana gelen deformasyonun ölçülerek bilgisayar ortamına aktarılması ve belirli formüllerin kullanılmasıyla numunede mevcut olan kalıcı gerilmeler belirlenmiştir.

Numuneden kaldırılan her bir katmana karşılık gelen deformasyonlar (df/da) gerinim ölçerler kullanılarak ölçüldükten sonra kaldırılan her bir katmana karşılık gelen kalıcı gerilmeler aşağıdaki formülle hesaplanmıştır;

$$\sigma_{(a)} = \frac{4.E}{3.l^2k_y} \left[(h-a)^2 \cdot \frac{df}{da}(a) \right] \quad (1)$$

burada; E , elastikiyet modülü; l , numunenin boyu; h , numunenin ilk kalınlığı; a , birim zamanda kaldırılan katman kalınlığı; df/da , kaldırılan her bir katmana karşılık gelen deformasyon; k_y , büyüme katsayısıdır [3, 11-13].

3. SONUÇ

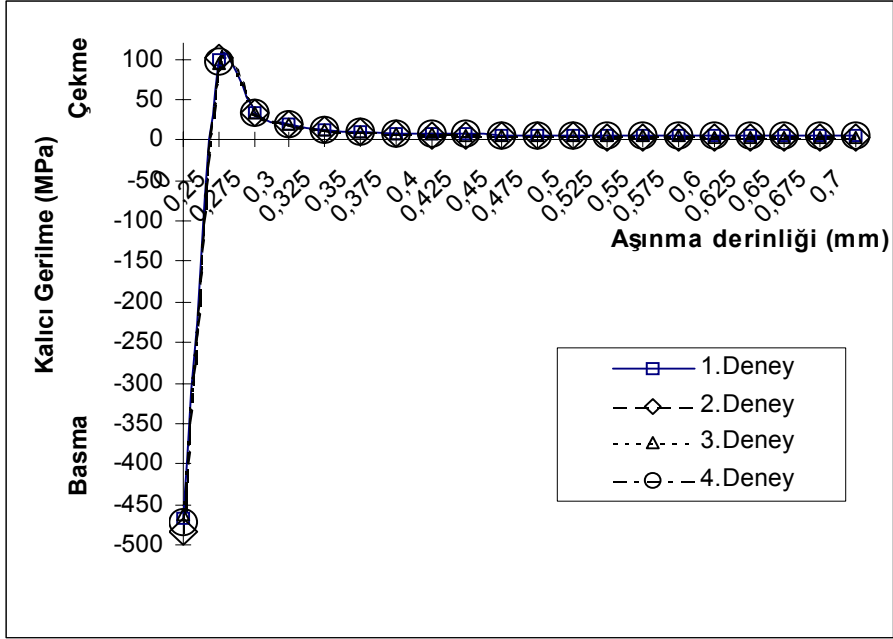
Deneyler yukarıda söylendiği şekilde hazırlanan dört numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu dört numune üzerinde yapılan deneylerde alınan sonuçlar Tablo 2’de görülmektedir.

Tablo 2. Deney verileri

	1.deney	2.deney	3.deney	4.deney
<i>a(mm)</i>	<i>σ (MPa)</i>			
0	-466,77	-483,62	-463,71	-471,45
0,25	98,16	100,49	95,16	97,59
0,275	33,19	33,08	33,60	33,64
0,3	18,66	18,81	18,30	18,51
0,325	12,73	11,99	12,65	12,71
0,35	9,93	9,44	9,78	10,02
0,375	8,22	7,26	7,76	8,60
0,4	7,20	6,12	7,13	7,53
0,425	6,56	5,62	6,05	6,89
0,45	6,06	4,95	5,06	6,40
0,475	5,70	4,52	5,12	6,03
0,5	5,43	4,31	4,87	5,79
0,525	5,14	4,06	4,63	5,66
0,55	4,99	3,78	4,45	5,42
0,575	4,94	3,62	4,27	5,16
0,6	4,69	3,57	4,09	4,97
0,625	4,61	3,51	3,94	5,01
0,65	4,49	3,35	3,83	5,04
0,675	4,41	3,31	3,71	4,84
0,7	4,37	3,25	3,65	4,75

AISI 5115 çelikten imal edilen ve semantasyon işlemine tabii tutulmuş dişli çarkın diş dibinde oluşan kalıcı yüzey gerilmelerinin incelenmesi sonucunda diş dibi yüzeyinde ortalama 470 MPa değerinde kalıcı basma gerilmeleri olduğu görülmüştür. Semantasyon işleminden kaynaklanan bu kalıcı basma gerilmelerinin, yüzeyden yaklaşık 20 mikron derinliğe kadar, semantasyon katmanının kalınlığı boyunca azalarak devam etmekte ve bu derinlikten sonra kalıcı çekme gerilmelerine dönüştüğü tespit edilmiştir. Yüzeyin alt katmanlarında oluşan bu çekme kalıcı gerilmeleri yaklaşık 25 mikron derinlikte maksimum değerine ulaşmakta ve bu derinlikten sonra tekrar azalmaktadır. Bu dört numunede mevcut olan kalıcı gerilme dağılımları Şekil 6’da verilen grafikte daha net olarak da görülmektedir.

Fetullayev’in [6] vidaların diş diplerinde ölçtüğü gibi çalışma incelendiğinde en uygun işleme şartlarında, düşüğe olsa yüzeyde bir basma kalıcı gerilmesi meydana



Şekil 6. AISI 5115 çelikten imal edilen ve semantasyon işlemi uygulanmış bir dişli çarkın diş dibinde oluşan kalıcı gerilme dağılımı

geldiği ve yüzeyin alt tabakalarında bu basma kalıcı gerilmelerin çekme kalıcı gerilmelerine dönüştüğü görülmektedir.

Hetanyı'nın [7] honlama, nitrürleme ve bilyeleme işlemi yapılmış numuneler üzerinde gerçekleştirdiği deneylerde bütün bu işlemlerin yüzeyde basma türü kalıcı gerilmeler oluşturduğu görülmektedir.

Lahtin [8] ise semantasyon işlemi uygulanmış malzemelerin yüzeyinde basma türü kalıcı gerilmelerini tespit etmiştir. Yüzeydeki bu basma kalıcı gerilmeleri semantasyon katmanı incelidikçe azalarak çekme kalıcı gerilmelerine dönüşmüştür.

Elde edilen veriler yukarıdaki açıklamalarla karşılaştırıldığında semantasyon işlemine uğratılmış bir parçada yüzeyde basma özelliğine sahip kalıcı gerilmeler oluşacağını göstermektedir. Semantasyon işleminin amacı, yüzeyde aşınma ve yorulma dayanımı yüksek bir tabaka oluşturarak parçanın çalışma performansını arttırmaktır. Bu da, semantasyon işlemi yüzeye karbon ve azot emdirilerek hacim genişlemesinin sağlanması neticesinde yüzeyde basma özelliğine sahip kalıcı gerilmelerin oluşturulmasıyla sağlanır.

Yapılan bu çalışmanın sonunda şu sonuçlara ulaşılmıştır;

1. Elde edilen veriler semantasyona uğratılmış parçada basma türü kalıcı gerilmelerini meydana geldiğini göstermektedir. Bu veriler semantasyona uğratılmış parçalara ait grafiklerle karşılaştırıldığında büyük benzerlikler gösterdiği görülmektedir. Değerlerdeki farklılıkların ise malzeme türü ve semantasyon katmanının sertliği ile kalınlığından kaynaklanmaktadır.
2. Parçaların çalışma performansını arttırmaya yönelik uygulanan semantasyon işleminde, malzeme yüzeylerinde basma türü kalıcı gerilmeler oluşmaktadır.
3. AISI 5115 çeliğinden imal edilen dişlide semantasyon işlemi nedeniyle diş diplerinin yüzeyinde 475 MPa değerinde basma türü kalıcı gerilmeleri ve yüzeyden merkeze doğru inildikçe bu basma gerilmelerinin azalarak çekme türü kalıcı gerilmelerine dönüştüğü ve 100MPa civarında bir maksimum değere sahip olduğu tespit edilmiştir.
4. Yüzeyde oluşan basma türü kalıcı gerilmelerinin yüzeyden yaklaşık 20 mikron derinliğe kadar azalarak ilerlediği, bu noktadan itibaren çekme kalıcı gerilmelerinin oluştuğu, 25 mikron derinliğinde çekme kalıcı gerilmelerinin maksimum değerine ulaştığı ve 40 mikrondan sonra bu çekme kalıcı gerilmelerinin sabit olarak ilerlediği görülmüştür.
5. Ölçülen dişlinin diş dibi yüzeyinde semantasyon sonucunda oluşan basma kalıcı gerilmelerinden dolayı dişli çarkın yorulma ve aşınma dayanımı artmıştır.
6. Yüzeyde basmanın olması ölçüde zaman içinde bir küçülmeye neden olabileceğinden bu olumsuzluğun dikkate alınması gerektiği tavsiye edilmiştir.

KAYNAKLAR

1. Dieter, G.E., “Mechanical Metallurgy”, McGraw Hill Book C., U.K., (1985).
2. Akkurt, M., Kent M., “Makine Elemanları”, Birsen Kitapevi Yayınlar, 453-460, İstanbul, (1984).
3. Birger, I.A., “Ostatocnie Naprjeniya”, Moskow, (1963).
4. Efanow, V.P., “Semyonov, A.Y., “Opredelenie Ostatoçnih Tehnologiceskih Naprejeniy V Kurupno Gobaritnih Konsruksiyah İ Obrazah Rennrgenovskim Metodom”, Zavotskaya Labarotrya, Moskow, (1987).
5. Fethullayev, E.K., Akyıldız, H.K., “Teknolojik Gerilmelerin Makine Parçalarının Üretiminde Önemi”, Erciyes Üniversitesi Yayını, Kayseri, (2000).
6. Fetullayev, E. K., “Talaş Kaldırma Yöntemi İle Üretilen Vidalı Elemanlara Yüzey Katında Oluşan Artık Gerilmelerin Vida Elemanlarına Etkisi”, Uluslararası Makina Tasarımı ve İmalat Kongresi, ODTÜ, Ankara, (1998).
7. Hetanyi, M., “Handbook Of Experimental Stress Analysis”, John Willy & Sons Inc., U.S.A. 342-395, (1950).
8. Lahtin, Y.M., Leontiyeva, V.P., “Materyela Vediniye”, Moskow, (1990).
9. Kogayev, V. P., “Rasçgoti Na Proçnost Pri Napryajeniyah, Peremenih Vo Vremini”, Moskow, (1977).

10. Kafkas, F., “Katman Kaldırma Tekniğine Dayalı Olarak Kalıcı Gerilmelerin Ölçülmesini Sağlayan Bilgisayarlı Ölçme Cihazının Tasarım Ve İmalatı”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2001).
11. Lu, J., “Handbook Of Measurement Of Residual Stresses”, Society For Experimental Mechanics, Prentice-Hall, Inc., France, 342-411, (1996).
12. Sachs, G., “Der Naubweis Inneres Spannanqez Und Rohren Zeitschur”, Metallkunde, Vol 19, 352-378, (1927).
13. Davidenko, N.,N., “Ob Izmrniostatocnak Naprijeny”, Zovodskaya Labarotoriya, No. 8, (1937).