

Genlik Değişiminin Titreşimli Gerilim Giderme Verim Oranı Üzerindeki Etkisi

Can GÖNENLİ^{*1} ORCID 0000-0001-9163-1569
Oğuzhan DAŞ² ORCID 0000-0001-7623-9278

¹Ege Üniversitesi, Ege Meslek Yüksekokulu, İzmir

²Milli Savunma Üniversitesi, Hava Astsubay Meslek Yüksekokulu, İzmir

Geliş tarihi: 06.01.2022

Kabul tarihi: 28.03.2023

Atıf şekli/ How to cite: GÖNENLİ, C., DAŞ, O., (2023). Genlik Değişiminin Titreşimli Gerilim Giderme Verim Oranı Üzerindeki Etkisi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 38(1), 1-12.

Öz

Bu çalışmada, literatürde “Vibratory Stress Relief” adıyla bilinen “Titreşimli Gerilim Giderme” yöntemi, ANSYS programı aracılığıyla sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak simüle edilmiştir. Paslanmaz çelik ve alüminyum malzeme kullanılarak modellenen üç farklı geometrideki öngerilmeli plakalar, üçer farklı öngerilme durumu için incelenmiştir. Öngerilmeli plaka oluşturabilmek için öncelikle plakaya yer değiştirme uygulanmış ve sonrasında serbest bırakılmıştır. Uygulanan yer değiştirme miktarı ile farklı değerlerde üçer öngerilme durumu yaratılmıştır. Öngerilmeli plakanın birinci rezonans frekansı tespit edilmiş ve devamında farklı genlik miktarlarında gerilim giderme işlemi gerçekleştirilmiştir. Kare ve iki farklı dikdörtgen geometriye sahip plakalarda gerçekleştirilen ANSYS simülasyonlarına göre, paslanmaz çelik için %80 ile %95 arasında artık gerilme değerlerinin azaldığı görülürken alüminyum için ise bu aralığın %71 ile %91 bandında olduğu görülmüştür. Ayrıca her bir plaka için oluşturulan gerilim-gerilme grafiklerine göre, yapı içerisindeki öngerilme miktarının, farklı genlik değerlerindeki titreşimler ile farklı oranlarda azaldığı tespit edilmiştir. Öngerilme miktarının artmasıyla plakalara uygulanabilecek titreşimli gerilim giderme genliği aralığının da arttığı görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Titreşimli gerilim giderme, Genlik, Sonlu elemanlar yöntemi, Paslanmaz çelik, Alüminyum

Effect of Amplitude Change on Vibratory Stress Relief Efficiency

Abstract

In this study, the “Vibratory Stress Relief” method, known as “Titreşimli Gerilim Giderme” in the Turkish literature, is simulated using the finite element method through the ANSYS. Prestressed plates in three different geometries, which are modeled using stainless steel and aluminum materials that are not suitable for conventional heat treatment, are examined for three different prestressed conditions. In order to model a prestressed plate, the plate is first displaced and then released. Three prestressed conditions at different values are modelled. The first resonance frequency of the prestressed plate is determined and

* Sorumlu yazar (Corresponding Author): Can GÖNENLİ, can.gonenli@ege.edu.tr

then stress relief is performed at different amplitudes. According to ANSYS simulations, it is observed that the residual stress values decreased between 80% and 95% for stainless steel in different situations, while this range is between 71% and 91% for aluminum. According to strain-stress graphs, it is observed that the prestress value in the structure decreases at different rates with vibrations at different amplitudes, while the range of vibration stress relief amplitude that can be applied to the plates expands with the increasing the amount of prestress.

Keywords: Vibratory stress relief, Amplitude, Finite element method, Stainless steel, Aluminum

1. GİRİŞ

Kaynaklı imalat, özellikle metal sanayide sıklıkla kullanılan bir üretim yöntemidir. Farklı görevde ve büyüklüklerde kullanılan tonajlı yapılar, çözülemeyen bağlantı türlerinden biri olan kaynak işlemi ile birleştirilmekte ve farklı yüklerle maruz kalmaktadırlar. Gerek kuvvet iletimi konusunda gerek değişken yüklerle dayanım konusunda güvenilir bir yöntem olan kaynaklı imalat işlemi, uygulanması esnasındaki yüksek ısıdan dolayı parçalarda çarpılmaya neden olmaktadır. Yüksek ısıya maruz kalan yapılar, kaynakla birleştirilen parçalar sebebiyle geometrilerini korumakla beraber, bir yandan da iç yapılarında ihmal edilemeyecek seviyelerde öngerilme oluşmaktadır. Kontrol edilemeyen ve düzensiz öngerilmeler ise, yapıdan istenen dayanım özelliklerin yitirilmesine yol açmaktadır. İmalat esnasında yapıların içerisinde oluşan öngerilmeler, geleneksel ısı tavlama işlemleri ile giderilebilmektedir. Ancak, bazı yapılar gerek boyutları gerek malzemeleri dolayısıyla ısı işleme tabi tutulmaya uygun değildir. Bu durum, alternatif gerilim giderme metodlarına yönelimi arttırmıştır. 20. yüzyılın ortalarından itibaren dünyada kullanılan alternatif bir gerilim giderme yöntemi olan titreşimli gerilim giderme metodu, özellikle son yıllarda ülkemizde de kendisine bir pazar edinmeye başlamıştır.

Titreşim, yapının tamamını ilgilendiren dinamik bir harekettir. Özellikle rezonans frekansında titreşim, yapının tüm kütlelerini etkileyen özel bir titreşim durumudur. Literatürde, titreşimli gerilim giderme metodu ile ilgili çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Walker ve arkadaşları [1] titreşimli gerilim giderme yöntemi ile ilgili kapsamlı bir çalışma sunmuşlardır. Buna göre düşük alışımlı

EN3b çelik malzemeye haddeleme yöntemi ile ön gerilim verilmiştir. Buna göre 100 Hz frekansta düşük genlikli titreşimin uzun bir süre ile uygulanması ile %40 oranında gerilim giderilmesi sağlanmıştır. Zhu ve arkadaşları [2] çekme deformasyonunun GH4169 alaşımında meydana gelen artık gerilmeler üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bu amaç için, X-ray artık gerilme testi, X-ray difraktometresi ve elektron geri saçılım difraksiyonu yöntemlerini kullanmışlardır. Buna göre %3'lük bir çekme deformasyonu sonucunda %90'luk bir gerilim giderimi elde etmişlerdir. Cai ve arkadaşları [3], akuple yanal-torsiyonel rezonansından faydalanan bir titreşimli gerilim giderme (TGG) yöntemini ele almışlardır. Sonlu elemanlar yöntemini kullanarak yanal rezonans ve akuple yanal-torsiyonel rezonans frekanslarının gerilim giderme etkisi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Xu ve arkadaşları [4] termal titreşim gerilim giderme (TTGG) sürecinin ince alüminyum 7075 alaşım parçalarının boyutsal stabilitesi ve artık gerilmesi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Buna göre eşdeğer eğilme direngenliğinin artması veya yapının topolojik güçlendirme ile yapı üzerinde meydana gelen deformasyonun azaldığı ve bu durumun TTGG yöntemini daha etkin kılarak daha fazla artık gerilme azalttığı sonucuna varmışlardır. Wu ve arkadaşları [5] Sonlu elemanlar yöntemini kullanarak 7075 alüminyum alaşım halkalarında gerilim giderme yöntemlerinden titreşimli gerilim giderme (TGG) ve termal-titreşim gerilim giderme (TTGG) yöntemlerini ele almışlardır. Buna göre TTGG'nin TGG'ye göre %20 daha fazla gerilim giderebildiği sonucuna ulaşmışlardır. Li ve Fang [6] kaynaklanmış D36 dikdörtgen plakalarında titreşimli gerilim giderme (TGG) yöntemini uygulamışlardır. Buna göre yanal ve enine yönde

meydana gelen artık gerilmelerin birlikte düşmesi gerektiği aksi durumda bir yönde düşme gözlemlenirken diğer yönde artış gözlemlenebileceği sonucuna varmışlardır. Zhao ve arkadaşları [7] doğrusal olmayan süper harmonik titreşimli gerilim giderme yöntemi parametrelerinin etkilerini araştırmışlardır. Buna göre yay direngenlik parametresi ve genliğinin bu titreşimli gerilim giderme yöntemini kullanan cihazlar üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu sonucuna varmışlardır. Vardanjanı ve arkadaşları [8] işleme tekniğinden dolayı meydana gelen artık gerilmelerin titreşimli gerilim giderme (TGG) yöntemi ile azaltılması üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Buna göre doğrusal kinematik sertleşmeli plastisite teorisine dayalı geliştirilen matematiksel modelin analitik sonuçlarla dikkörtgen kesitli kirişler için benzer davranış gösterdiği sonucuna varmışlardır. Luh ve Hwang [9] ayarlanmış delik delme yöntemini dikkate alarak titreşimli gerilim giderme (TGG) yönteminin etkisini araştırmışlardır. Buna göre maksimum artık gerilmenin %5,8 ile %27 arasında değişen oranlarda azaldığı sonucuna varmışlardır. Kacar ve Yılmaz [10] titreşimli gerilim giderme (TGG) yönteminin kaynaklanmış S355J2 çelik bağlantılarının yorulma ömrü üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Buna göre yapının çekme dayanımı ve yüzey sertliğinin küçük bir oranda arttığını, yorulma ömrünün yaklaşık üç kat arttığını ve TGG tekniğinin uygulanmasından sonra yüzey üzerinde artık gerilmenin azaldığı sonucuna varmışlardır. Tatar ve arkadaşları [11] deneysel ve nümerik bir yaklaşım ile kaynaklanmış östenitik paslanmaz çelikler üzerinde titreşimli gerilim giderme yönteminin etkisini incelemişlerdir. Bunun için arttırımlı merkezi delik delme metodu kullanılmış ve modal sarsıcı ile düşük ve yüksek frekans ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Buna göre tahrik genliği arttıkça giderilen artık gerilme oranının arttığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca, titreşimli gerilim giderme yönteminin etkinliğinin ilk çevrimde meydana geldiği sonucuna da ulaşmışlardır. Robinson ve arkadaşları [12] 2014A alüminyum alaşımında meydana gelen artık gerilmelerin giderilmesi ile ilgili olarak polialkalin glikol su verme (PAG) ve titreşimli gerilim

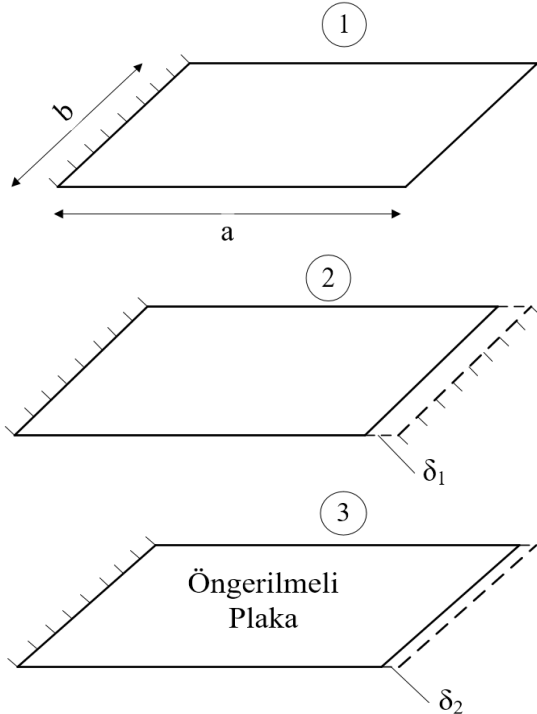
giderme (TGG) yöntemlerini araştırmışlardır. Buna göre her iki yöntemin de gerilim giderebildiğini ancak PAG yönteminin TGG'ye kıyasla çok daha etkili olduğu sonucuna varmışlardır. Zhang ve arkadaşları [13] ultrasonik titreşim kullanarak kaynaklanmış alüminyum plakalarda artık gerilim giderme işlemi gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak bu yöntem kullanılarak artık gerilimin en az %27 oranında giderildiği tespit edilmiştir. Huo ve arkadaşları [14] yüksek frekanslı titreşimli gerilim giderme (TGG) cihazı geliştirmişlerdir. Cihazın etkinliği ANSYS modeli ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak tasarlanan cihazın TGG yöntemini geliştirdiği anlaşılmıştır. Gao ve arkadaşları [15] titreşimli gerilim gidermeye (TGG) maruz kalan Ti-6Al-4V malzemesinin yorulma ömrünün incelenmesine dair deneysel bir çalışma sunmuşlardır. Sonuç olarak gerilim giderilmiş malzemenin yorulma ömrünün %10,60'a kadar arttığını tespit etmişlerdir. Lai ve arkadaşları [16] titreşimli gerilim giderimi sırasında düşük karbonlu çeliklerde meydana gelen iç sürtünmelerin gelişimini araştırmışlardır. Sonuç olarak titreşimin genliğine bağlı olarak yapının yorulma ömrüne etki eden iç sürtünmelerde zamana bağlı artışlar ve azalmalar tespit etmişlerdir. Gong ve arkadaşları [17] titreşimli gerilim giderme (TGG) yönteminin ince Al 7075 alüminyum alaşımlarının şekil stabilitesi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Buna göre TGG yöntemi sadece artık gerilmeyi düşürmemiş, aynı zamanda malzemenin şekilsel stabilite özelliğini de geliştirmiştir.

Bu çalışmada, titreşimli gerilim giderme yönteminde kullanılan parametrelerden biri olan genlik değerinin gerilim giderme üzerindeki etkisi incelenmiştir. Genlik, aynı zamanda mekanik titreşimde de kullanılan ve ölçülebilen bir parametredir. Çekme deformasyonu ile öngerilme oluşturulan üç farklı geometriye ve iki farklı malzemeye sahip ince plakalarda, farklı genlikler uygulanarak titreşimli gerilim giderme yöntemi ANSYS aracılığıyla simüle edilmiş ve teorik olarak gerilimin azalma miktarı tespit edilmiştir. Literatürde bulunan birçok çalışmada elde edilen sonuçlara paralel olarak, yöntemin doğru

parametrelerle uygulanması ile ısı tavlama elde edilebilecek sonuçlara yaklaşılabileceği görülmektedir. Yapılar içerisindeki öngerilme miktarının fazla olması yöntemin uygulanma aralığını da genişletirken, her bir plaka için üç farklı öngerilme durumu için tekrarlanan simülasyonlarda gerilim giderme başarı oranının %70 ile %95 aralığında olduğu görülmektedir.

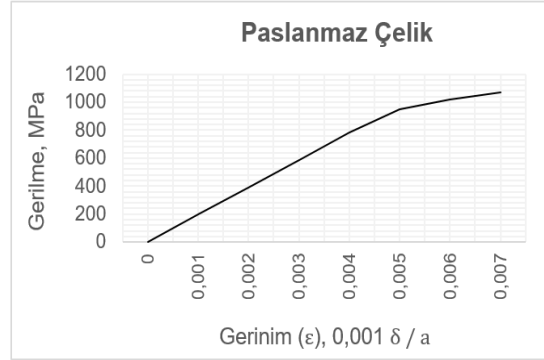
2. MATERYAL VE METOT

Çalışmada incelenen plakaların öngerilmeli hale getirilebilmesi için, ilk olarak yapılar tek kenarı sabit halde modellenmiştir. Sabitlenen kenarın karşı kenarından yer değiştirme tanımlanarak, yapı içerisinde gerilme yaratılmıştır. Devamında ise karşı kenara verilen yer değiştirme kaldırılmış ve plaka yeniden ilk durumundaki gibi tek kenarı sabit hale getirilmiştir. Bu işlem sonucunda, yapıya uygulanan yer değiştirme değerine bağlı olarak yapı içerisinde farklı değerlerde öngerilme oluşması sağlanmıştır. Şekil 1’de üç aşamalı öngerilme oluşturma adımları verilmiştir.

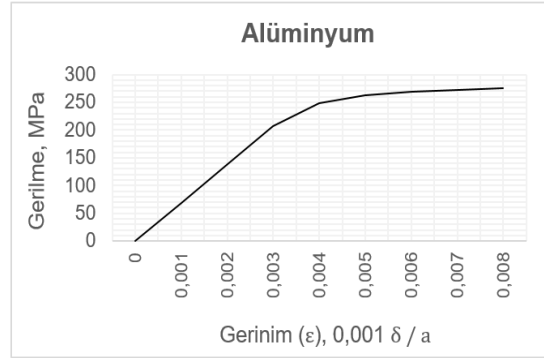


Şekil 1. Öngerilme oluşturma aşamaları

Malzeme olarak geleneksel ısı tavlama işlemlerine uygun olmayan paslanmaz çelik (17-4PH H1000) ve alüminyum (6061-T6) seçilmiştir [18]. Bu iki malzemeye ait gerilim-gerilme grafikleri, Şekil 2’de verilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 2. Gerilim-gerilme grafikleri, (a) Paslanmaz çelik, (b) Alüminyum [18,19]

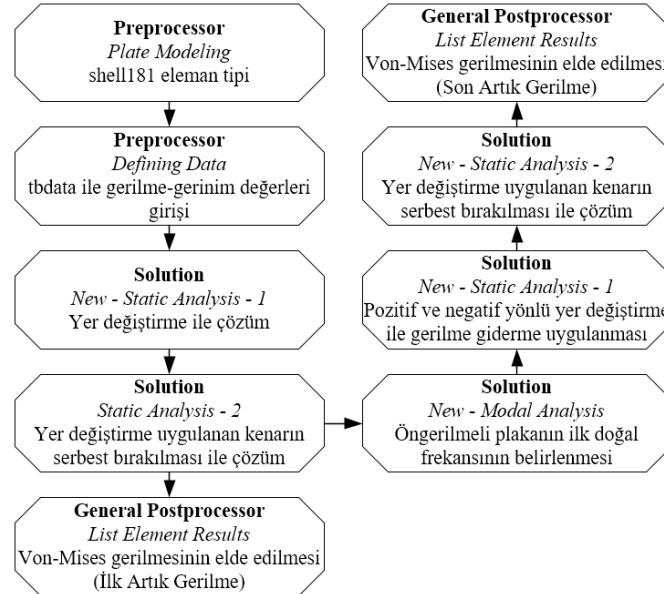
Paslanmaz çelik ve alüminyum olmak üzere toplamda iki farklı malzeme, kare ($a/b=1$) ve dikdörtgen ($a/b=2$ ve $a/b=0,5$) olmak üzere üç farklı geometri ve her biri için üç farklı öngerilme durumu olmak üzere toplamda 18 farklı durum incelenmiştir. Çizelge 1’de, çalışmada kullanılan malzemelere ait mekanik özellikler ile incelenen ince plakaların geometrik değerleri sunulmaktadır.

Çizelge 1. Malzeme özellikleri ve plaka geometrisi

Sembol	İsim	Değer
E_{al}	Elastisite modülü, alüminyum	68,94 GPa
E_{ss}	Elastisite modülü, paslanmaz çelik	196,5 GPa
ρ_{al}	Kütle yoğunluğu, alüminyum	2768 kg/m ³
ρ_{ss}	Kütle yoğunluğu, paslanmaz çelik	7806 kg/m ³
ν_{al}	Poisson oranı, alüminyum	0,33
ν_{ss}	Poisson oranı, paslanmaz çelik	0,27
a	Plaka uzunluğu	0,5 m – 0,25 m
b	Plaka genişliği	0,5 m – 0,25 m
a/b	Kare plaka (a=0,5 m, b=0,5 m)	1
a/b	Dikdörtgen plaka (a=0,5 m, b=0,25 m)	2
a/b	Dikdörtgen plaka (a=0,25 m, b=0,5 m)	0,5
h	Plaka kalınlığı	0,005 m
...	Mesh eleman ölçüsü	0,05 m

Seçilen malzeme tipleri ve geometrilere uygun olarak, öngerilmenin tüm eksenlerdeki toplam etkisinin incelenmesi amacıyla, altı serbestlik derecesini de temsil eden shell181 eleman tipi seçilmiştir [20]. Şekil 1’de verilen öngerilme oluşturma aşamalarını kapsayan ve Şekil 2’de verilen malzeme özelliklerine sahip öngerilmeli modeldeki gerilim giderme işlemi ANSYS ile simüle edilmiştir. ANSYS’de öngerilme oluşturma ve gerilim giderme işlemleri birbirini takip eden toplamda beş analiz ile gerçekleştirilmiştir. Yer değiştirme uygulanan kenar serbest bırakıldıktan

ve öngerilme oluşturulduktan sonra, yer değiştirme uygulanan kenara farklı genlik değerlerinde ve ilk rezonans frekansında pozitif ve negatif yönlü yer değiştirme uygulanmıştır. Rezonans frekansında plakaya uygulanan pozitif ve negatif yönlü yer değiştirme, ilgili kenarda titreşimi temsil etmekte ve böylece plakaya titreşimli gerilim giderme işlemi uygulanmış olmaktadır. Son olarak, titreşim uygulanan kenar serbest bırakılarak işlem tamamlanmaktadır. Şekil 3, ANSYS’te gerçekleştirilen tüm adımların akış şemasını göstermektedir.



Şekil 3. ANSYS APDL akış şeması

Şekil 3'te de görülebileceği gibi, öngerilme oluşturma aşamasından sonra yer değiştirme kaldırılarak plaka içerisinde oluşan öngerilme değeri kaydedilmektedir. İlgili öngerilme değeri korunarak, modal analiz ile öngerilmeli plakanın doğal frekans analizi gerçekleştirilmektedir. Devamında ise birinci doğal frekans değeri ve farklı genlikler kullanılarak titreşimli gerilim giderme işlemleri uygulanmaktadır. İşlemler tamamlandıktan sonra uygulanan döngüsel yer değiştirme kaldırılarak, plakanın içerisinde kalan artık gerilme değeri okunmakta ve öngerilme değeri ile karşılaştırılmaktadır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

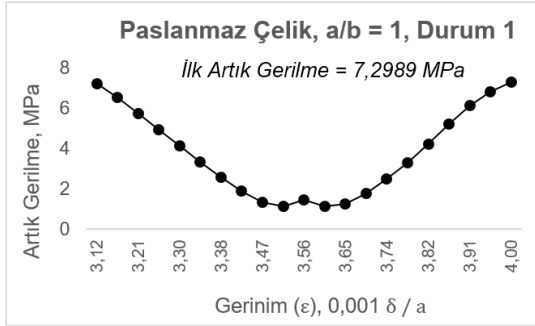
Çalışmada iki farklı malzeme, üç farklı öngerilme durumu ve üç farklı geometrideki ince plaka, farklı genlik değerlerindeki titreşimli gerilim giderme yöntemine maruz bırakılmışlardır. Farklı öngerilme değerlerindeki artık gerilme davranışlarının incelenbilmesi için yapılar Şekil 2'de verilen gerilim-gerilme eğrileri dikkate alınarak akma sınırı ve akma sınırının hemen üzerinde deformasyonlarda öngerilmeli hale getirilmişlerdir. Çizelge 2, her bir plaka ve her bir durum için oluşturulan öngerilmeli yapıların öngerilme değerlerini vermektedir.

Çizelge 2. Üç farklı durum ve iki farklı malzeme için oluşturulan ilk artık gerilme (öngerilme) değerleri

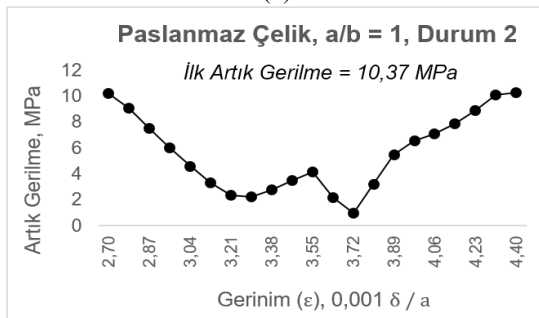
		a/b = 1 Artık gerilme (MPa)	a/b = 2 Artık gerilme (MPa)	a/b = 0,5 Artık gerilme (MPa)
<i>Paslanmaz çelik</i>	Durum 1	7,299	4,418	6,960
	Durum 2	10,370	25,452	13,470
	Durum 3	89,878	69,806	88,110
	Durum 1	7,095	4,840	6,878
<i>Alüminyum</i>	Durum 2	15,376	10,298	16,391
	Durum 3	36,370	20,498	39,110

Kaynaklı imalat ile birleştirilerek üretilen paslanmaz çelik konstrüksiyonlar, paslanmazlık özelliğinin kaybolması sebebiyle ısıl işleme uygun olmayan tip bir malzemedir. Şekil 4, üç farklı öngerilme değerine sahip kare paslanmaz çelik plakaya ait gerinime bağlı olarak belirlenen farklı genlik değerlerindeki artık gerilme miktarlarını göstermektedir. Şekil 4-a'da verilen 0,004 gerinim değeri, yapının öngerilme oluşturulma aşamasında kullanılan parametreye eşittir. Buna göre yapı, 0,00312 ile 0,004 gerinim değerleri arasındaki bir genlikte titreşimli gerilim giderme yöntemine tabi tutulduğunda, yapıdaki artık gerilmenin farklı miktarlarda azaldığı görülmektedir. 0,00312 değerinin altındaki bir genlik değerinde plakadaki artık gerilme miktarı öngerilmeye eşit olurken 0,004 değerinin üstündeki bir genlik değerinde ise plakadaki artık gerilme miktarı öngerilme

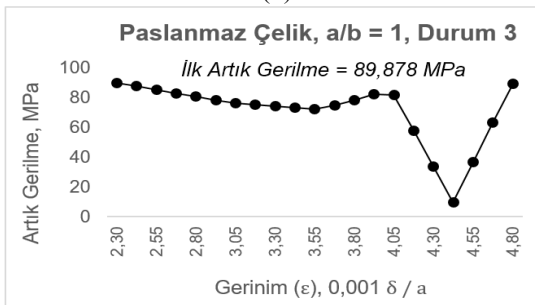
değerinin üzerine çıkmaktadır. Bu durum için en yüksek %84,55 gerilim giderme değerine ulaşılırken, iki farklı noktada benzer değerler ortaya çıkmıştır. Şekil 4/b'ye göre maksimum gerilim giderme oranı %90,19 olmaktadır. Bir diğer yüksek gerilim giderme tespit edilen noktada ise yine %80 civarında bir gerilim giderme değerine ulaşılmaktadır. Üçüncü durumda ise öngerilme değeri 89,878 MPa olarak verilmiştir. Artık gerilmenin en düşük seviyede ölçüldüğü gerinim genlik değerinde gerilim giderme miktarı %89,26 olmuştur. Ancak oldukça yüksek bir artık gerilme miktarı içeren bu durumda, titreşimli gerilim gidermenin uygulanabileceği genlik alanı oldukça geniş olmasına rağmen, gerilim gidermenin verimli olarak uygulanabileceği alan ise oldukça dar olarak gözükmektedir.



(a)



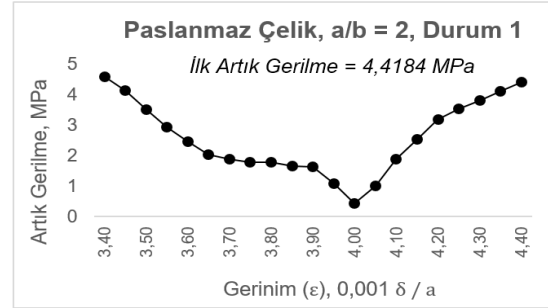
(b)



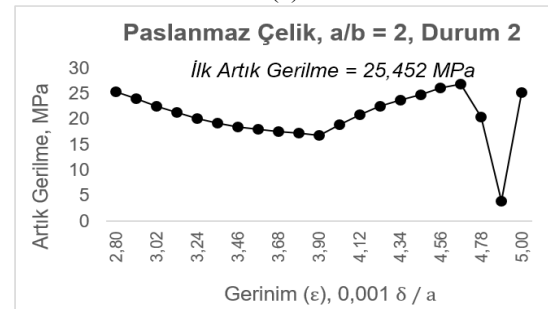
(c)

Şekil 4. Paslanmaz çelik kare plaka ($a/b=1$) için gerilme giderme grafikleri, (a) Durum 1, (b) Durum 2, (c) Durum 3

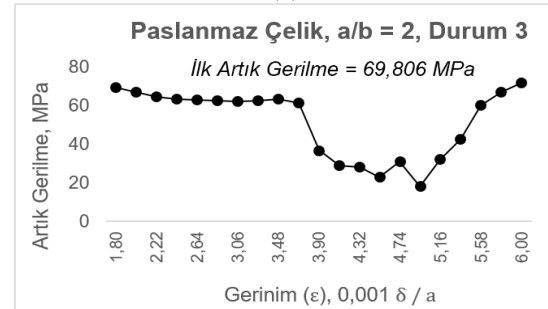
Şekil 5'te, kısa kenarı sabit, uzun kenarı ise serbest durumda olan paslanmaz çelik dikdörtgen plaka için üç farklı durum sunulmuştur. İlk durumda öngerilme miktarı 4,4184 MPa iken, uygun noktada artık gerilmenin %89,87 oranına kadar azalabildiği görülmektedir. İkinci durumda bu oran %84,34 olup gerilim giderme veriminin kabul edilebilir olduğu genlik bölgesi oldukça dar iken, üçüncü durumda ise ikinci duruma kıyasla daha geniş bir alanda bu oran %74,05 olarak hesaplanmıştır.



(a)



(b)

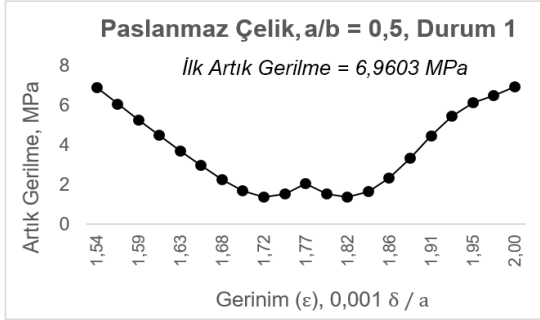


(c)

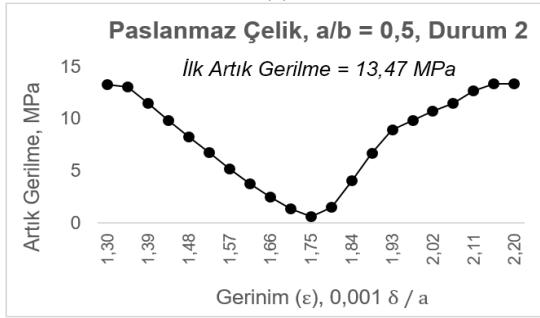
Şekil 5. Paslanmaz çelik dikdörtgen plaka ($a/b=2$) için gerilme giderme grafikleri, (a) Durum 1, (b) Durum 2, (c) Durum 3

Paslanmaz çelik malzemeye ait incelenen son yapı, uzun kenarından sabit, kısa kenarı ise serbest dikdörtgen bir plakadır. Şekil 6'da uzun kenarından sabit dikdörtgen plakaya ait üç farklı durum için gerinim-artık gerilme grafikleri sunulmuştur. Şekil 6-a'da görülebileceği gibi, ilk durumdaki öngerilme miktarı 6,9603 MPa olarak belirlenmiştir. Uygun noktadaki genlik ile titreşimli gerilim giderme metodu uygulandığında artık gerilmenin %80,31 oranında azalabildiği görülmektedir. İkinci durumda bu oran %95,48

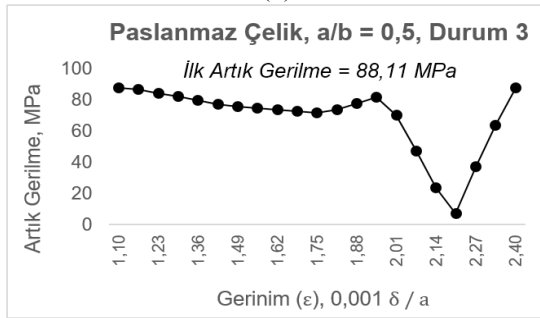
iken, üçüncü durumda ise %91,73 olarak hesaplanmıştır. Bu yapı için öngerilme miktarı arttıkça gerilim giderme işleminin uygulanabileceği aralığın arttığı, ancak yüksek verimin elde edilebileceği aralığın ise daraldığı görülmektedir.



(a)



(b)

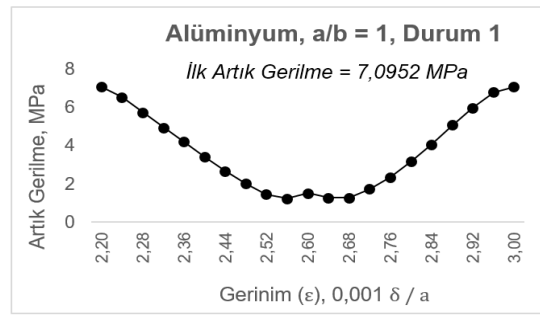


(c)

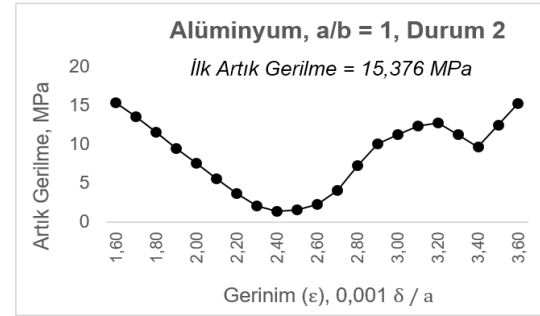
Şekil 6. Paslanmaz çelik dikdörtgen plaka (a/b=0,5) için gerilme giderme grafikleri, (a) Durum 1, (b) Durum 2, (c) Durum 3

İncelenen malzemelerden bir diğeri olan Alüminyum alaşımı (6061-T6) için kare geometrideki ilk durum için öngerilme değeri 15,376 MPa'dır ve Şekil 7-a'da gerilim-gerilme

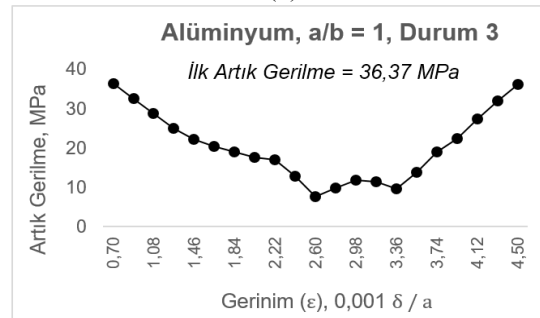
değişimi verilmektedir. Gerilim giderme oranı maksimum %82,27 olarak hesaplanmıştır. Şekil 7-b'de 15,376 MPa'lık öngerilmeye sahip plaka için gerilim-gerilme değişimi verilmektedir. Maksimum %90,84'lük gerilim giderme oranının elde edildiği bu durum için iki farklı bölgede artık gerilme miktarının azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Şekil 7-c'de ise kare geometrideki son öngerilme durumuna ait maksimum gerilim giderme oranı %78,67 olarak hesaplanmıştır.



(a)



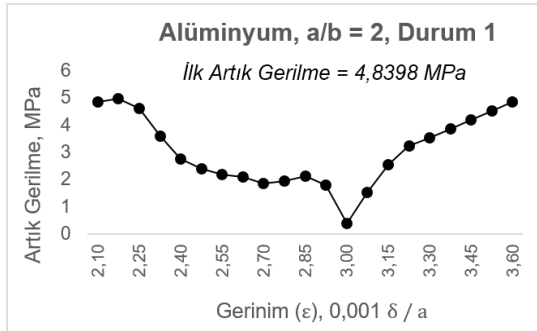
(b)



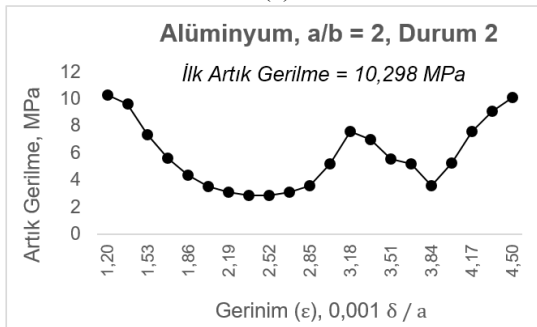
(c)

Şekil 7. Alüminyum kare plaka (a/b=1) için gerilme giderme grafikleri, (a) Durum 1, (b) Durum 2, (c) Durum 3

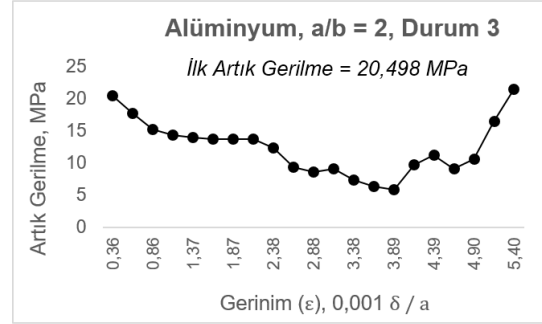
Kısa kenarı sabit, uzun kenarları serbest olan dikdörtgen alüminyum plakaya ait üç farklı öngerilmeli durum Şekil 8'de verilmektedir. Sırasıyla her bir durum için hesaplanan maksimum gerilim giderme oranları %91,83, %72,43 ve %71,59 olarak hesaplanmıştır. Öngerilme yaratan yer değiştirme miktarının artması ile, gerilim giderme işleminde kullanılabilir genlik oranının arttığı görülmektedir. Ancak bu artışla beraber, farklı genlik değerlerinde farklı oranda artık gerilmeler kaldığı da anlaşılmaktadır. İlk durumda, maksimum gerilim giderme oranı, öngerilme yaratan gerilim değerinin %80-%85'i oranındaki genlik değerinde gerçekleşmiştir. İkinci durumda iki farklı bölgede gerilim giderme maksimum verime ulaşmıştır. Bu verim bölgelerinden ilki, öngerilme yaratan gerilim değerinin yaklaşık %45-%55'i aralığında iken, ikincisi ise %85'i civarındadır. Üçüncü durumda ise öngerilme yaratan gerilim değerinin yaklaşık %70-%75'i aralığında maksimum verime ulaşılmaktadır.



(a)



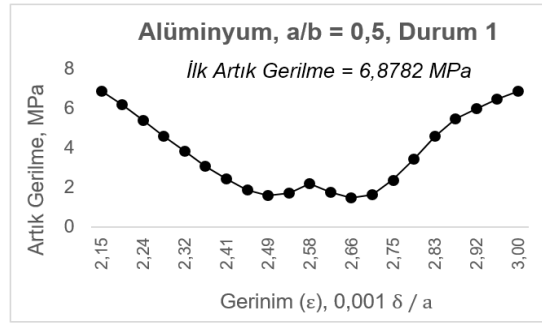
(b)



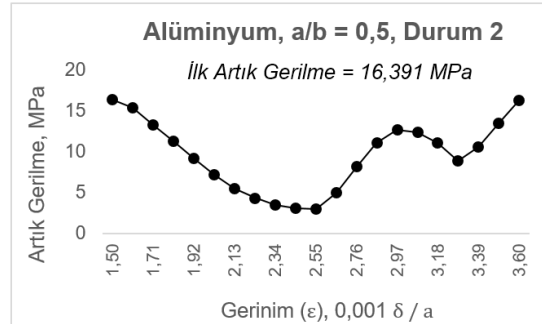
(c)

Şekil 8. Alüminyum dikdörtgen plaka ($a/b=2$) için gerilme giderme grafikleri, (a) Durum 1, (b) Durum 2, (c) Durum 3

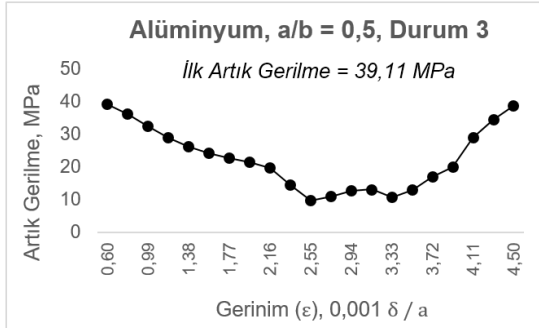
Uzun kenarından sabit, kısa kenarları serbest olan dikdörtgen plakada ise maksimum gerilim giderme oranları sırasıyla %78,58, %81,80, %75,65 olarak hesaplanmıştır ve gerilim-gerilme grafikleri Şekil 9'da verilmektedir. Bu geometriye ait elde edilen genliğe bağlı artık gerilme davranışları, alüminyum kare plakadakine benzerdir. Öngerilme yaratan gerilim değeri arttıkça, gerilim gideren genlik aralığının da yine genişlemektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 9. Alüminyum dikdörtgen plaka (a/b=0,5) için gerilim giderme grafikleri, (a) Durum 1, (b) Durum 2, (c) Durum 3

Şekil 4-9'daki gerinime bağlı genlik ve artık gerilme arasındaki davranışlara göre, tüm malzeme tipleri, tüm durumlar ve tüm geometriler için titreşimli gerilim giderme işlemi sonunda yapılar içerisinde kalan artık gerilme oranları ve ilk durumdaki öngerilmeye kıyasla gerilim giderme oranları toplu olarak Çizelge 3'te verilmektedir. Çizelge 3'e göre incelenen tüm yapılar içerisinde en yüksek gerilim giderme oranı %95,48 olarak hesaplanırken en düşük gerilim giderme oranı ise %71,59 olarak hesaplanmıştır. Kontrol edilen aralık ise, plakada öngerilme yaratan maksimum gerinim değeri ile artık gerilme değerinin öngerilme değerine eşit olduğu minimum gerinim değeri arasındadır.

Çizelge 3. İncelenen tüm durumlar için son artık gerilme değerleri ve gerilim giderme oranları

		a/b = 1		a/b = 2		a/b = 0,5	
		Son artık gerilme (MPa)	Gerilme giderme oranı	Son artık gerilme (MPa)	Gerilme giderme oranı	Son artık gerilme (MPa)	Gerilme giderme oranı
Paslanmaz çelik	Durum 1	1,128	%84,55	0,448	%89,87	1,370	%80,31
	Durum 2	1,017	%90,19	3,987	%84,34	0,609	%95,48
	Durum 3	9,654	%89,26	18,117	%74,05	7,285	%91,73
Alüminyum	Durum 1	1,258	%82,27	0,395	%91,83	1,474	%78,58
	Durum 2	1,408	%90,84	2,839	%72,43	2,983	%81,80
	Durum 3	7,758	%78,67	5,824	%71,59	9,525	%75,65

4. SONUÇ

Çalışma kapsamında, ısıl işleme uygun olmayan paslanmaz çelik ve alüminyum olmak üzere iki farklı malzemeden elde edilen üçer farklı geometri ve üçer farklı öngerilmeli durum incelenmiştir. Alternatif bir gerilim giderme işlemi olan titreşimli gerilim giderme yönteminin, farklı genliklerde uygulanmasının yöntem verimi üzerindeki etkisi ANSYS ile simüle edilerek araştırılmıştır. Farklı genlikler, plakalara ilk verilen yer değiştirme ile oluşturulan gerinime bağlıdır. Titreşimli gerilim giderme ise, öngerilmeli plakaların ilk doğal frekansı elde edildikten sonra bu rezonans frekansında pozitif ve negatif yönlü yer değiştirmeler ile tanımlanmıştır. İncelenen tüm durumlar için gerilim giderme oranı %70'in üzerinde hesaplanırken, yöntemin benzer parametreler ile deneysel olarak çalışılması ihtiyacı doğmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre:

- Yapı içerisindeki öngerilme miktarı arttıkça, titreşimli gerilim gidermede uygulanabilecek genlik aralığı da artmaktadır.
- Gerinime bağlı belirlenen genlik değeri, her durum için belli bir değer altına indiğinde titreşimli gerilim giderme sonucunda elde edilen artık gerilmenin öngerilmeye eşit olduğu görülmektedir.
- Gerinime bağlı belirlenen genlik değeri, her durum için öngerilme yaratan gerinim değerinin üzerine çıktığında gerilim giderme sonucunda elde edilen artık gerilmenin öngerilmeden daha yüksek olduğu görülmektedir. Önceki maddedeki durum ile bu maddedeki durum, çalışma aralığını belirlemek için kullanılmaktadır.
- Titreşimli gerilim gidermede kullanılan ve çalışma aralığı belirlenen gerinime bağlı genlik değeri, her bir durum için malzeme içerisinde farklı oranlarda artık gerilme bırakmaktadır. Bu durum malzemeye, geometriye ve öngerilme

miktarına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

- Uygulamada ısı tavlama işlemleri ile elde edilen verim daha yüksek olsa da, titreşimli gerilim giderme işleminin doğru parametrelerle uygulanması ile ısı tavlama işlemlerinde elde edilen verime ulaşabileceği anlaşılmaktadır.
- Titreşimli gerilim giderme işleminde, uygulamada ihmal edilen parametrelerden biri olan genlik değerinin önemi, bu çalışmadan elde edilen sonuçlarla ortaya konulmaktadır.

5. KAYNAKLAR

- Walker, C. A., Waddell, A.J., Johnston, D.J., 1995. Vibratory Stress Relief—An Investigation of the Underlying Processes. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering, 209(1), 51–58.
- Zhu, W., Zhao, F., Yin, S., Liu, Y., Yang, R., 2021. Effect of Tensile Deformation on Residual Stress of Gh4169 Alloy. Materials, 14(7), 1773.
- Cai, G., Huang, Y., Huang, Y., 2017. Operating Principle of Vibratory Stress Relief Device Using Coupled Lateral-torsional Resonance. Journal of Vibroengineering, 19(6), 4083–4097.
- Xu, Y., Shi, Z., Li, B., Zhang, Z., 2021. Effects of TVSR Process on the Dimensional Stability and Residual Stress of 7075 Aluminum Alloy Parts. Reviews on Advanced Materials Science, 60(1), 631–642.
- Wu, S.F., Gao, X.S., Zhang, X.R., Gao, H.J., 2021. Finite Element Simulation Analysis on Residual Stress Relief of 7075 Aluminum Alloy Ring. Materials Science Forum, 1032, 135–140.
- Li, S., Fang, H., 2018. Vibration Stress Relief of DH 36 Rectangle Welded Plates. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 322, 042002.
- Zhao, L., Mo, R., Li, Y., Cai, G., 2021. Influence of the Nonlinear Stiffness Parameter of the Vibratory Stress Relief Device on Strong Nonlinear Superharmonic Resonance. IEEE Access, 9, 6899–6906.
- Vardanjani, M.J., Ghayour, M., Homami, R.M., 2016. Analysis of the Vibrational Stress Relief for Reducing the Residual Stresses Caused by Machining. Experimental Techniques, 40(2), 705–713.
- Luh, G.C., Hwang, R.M., 1998. Evaluating the Effectiveness of Vibratory Stress Relief by a Modified Hole-Drilling Method. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 14(11), 815–823.
- Kacar, S., Yilmaz, O., 2019. Effect of Vibratory Stress Relief on Fatigue Life of S355J2 Steel Welded Joints. Makina Tasarım ve İmalat Dergisi, 17(1), 1-8.
- Tatar, F., Mahmoudi, A.H., Shoostari, A., 2020. Vibratory Stress Relief of Welded Austenite Stainless Steel Plates: A Numerical and Experimental Approach. Iranian Journal of Materials Forming. 8(1), 50-64.
- Robinson, J.S., Hossain, M.S., Truman, C.E., 2021. Residual Stresses in the Aluminium Alloy 2014A Subject to PAG Quenching and Vibratory Stress Relief. The Journal of Strain Analysis for Engineering Design. 57(3), 167-176.
- Huo, Z., Gu, B., Jin, Z., Wang, Z., Hu, X., Xu, G., Lai, J., 2021. The Design of High-frequency Vibratory Stress Relief Device. International Core Journal of Engineering. 7(2), 288-292.
- Zhang, Q., Yu, L., Shang, X., Zhao, S., 2020. Residual Stress Relief of Welded Aluminum Alloy Plate Using Ultrasonic Vibration. Ultrasonics, 107, 106164.
- Gao, H.J., Zhang, Y.-D., Wu, Q., Song, J., 2017. Experimental Investigation on the Fatigue Life of Ti-6al-4v Treated by Vibratory Stress Relief. Metals, 7(5), 158.
- Lai, H.-H., Cheng, H.-C., Su, S.-H., Lin, C.-M., Wu, W., 2020. Evaluation of Internal Friction in Low-Carbon Steel During Vibratory Stress Relief. Journal of Materials Research and Technology, 9(3), 5403–5409.
- Gong, H., Sun, Y., Liu, Y., Wu, Y., He, Y., Sun, X., Zhang, M., 2018. Effect of Vibration Stress Relief on the Shape Stability of Aluminum Alloy 7075 Thin-Walled Parts. Metals, 9(1), 27.

18. U.S. Dept. of Defense. (1998). *Metallic Materials and Elements for Aerospace Vehicle Structures*. Washington: GPO, December 1, 2396.
19. Robbins, M.E., (2004). In *Topics in Vibratory Stress Relief of Weldments*, 36.
20. Mechanical APDL Command Reference. (2017, July 14). Retrieved January 6, 2022, from https://www.mm.bme.hu/~gyebro/files/ans_help_v182/ans_cmd/Hlp_C_CmdTOC.html