Hafif Ticari Araç Debriyaj Kapağının Optimum Tasarımı

Uğur KÖPRÜBAŞI

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAFİF TİCARİ ARAÇ DEBRİYAJ KAPAĞININ OPTİMUM TASARIMI

Uğur KÖPRÜBAŞI

Prof. Dr. Mehmet İhsan KARAMANGİL
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2024
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans

HAFİF TİCARİ ARAÇ DEBRİYAJ KAPAĞININ OPTİMUM TASARIMI

Uğur Köprübaşı

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mehmet İhsan Karamangil

Son yıllarda elektrikli araçların kullanımının artmasına karşın içten yanmalı motorların kullanımı günümüzde halen devam etmektedir. Bu sebeple içten yanmalı motorlarda kullanılan aktarma organları gruplarında, iyileştirme ve ağırlık azaltma çalışmalarına halen ihtiyaç duyulmaktadır. Günümüzde içten yanmalı motorların kullanımından kaynaklı karbondioksit emisyonunun azaltılması için yapılacak ağırlık azaltma çalışmalarında TWIP çelikleri önemli bir potansiyel taşımaktadır. TWIP çelikleri, yüksek mukavemetli, hasar direncine karşı dayanıklı ve süneklik açısından iyi bir kombinasyonuna sahiptir ve otomotiv sektöründen yaygın olarak kullanılan malzemelerdendir. Yüksek mukavemetleri ile hafiflik sağlarken, yüksek sünekliklerinden dolayı da karmaşık geometrilerde kolayca şekillendirilebilmektedir. TWIP çeliklerinin bazı dezavantajları, yüksek maliyetli olması ve üretimi esnasında şekillendirme işleminden sonra yüksek miktarda geri esneme yapmasıdır. Bu çalışmada, 300 Nm araç torkuna sahip hafif ticari bir aracın, DD13 çeliği malzemeli debriyaj kapağı ve optimum tasarıma sahip TWIP çeliği malzemeli debriyaj kapağının karşılaştırmalı rijitlik analizi yapılmıştır. Debriyaj sisteminde yer alan debriyaj komplesi kapağı, yüksek hacim ve ağırlığa sahip olduğundan dolayı hafifleştirme çalışmalarında tercih edilebilecek, potansiyele sahiptir. Bunun yanında debriyaj komplesinde kullanılan baskı kapağı, tork iletiminde önemli bir fonksiyona sahip olmasından dolayı bu üründe kullanılacak çelik malzemelerinin fonksiyonel gereklilikleri karşılaması beklenmektedir. Bu çalışma kapsamında ANSYS sonlu elemanlar analizi programı kullanarak konvansiyonel DD13 malzeme debriyaj kapağı ve iyileştirilmiş optimum tasarıma sahip TWIP malzemeli debriyaj kapağının rijitlik analizleri yapılmıştır. Yapılan tasarım ile birlikte TWIP çeliği kullanılan debriyaj kapağında %23 oranında ağırlık azalımı gerçekleşmiştir. Oluşturulan optimum tasarımda rijitlik değeri, geleneksel DD13 malzemeli debriyaj kapağına göre benzer rijitlik davranışları sergilemiştir. Ancak, TWIP çeliği malzemelerin debriyaj kapağında alternatif olarak kullanılabilmesi için üretim ve tezgah testlerin tamamlanması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: TWIP, Debriyaj, Debriyaj kapağı, Güç aktarma sistemi, Optimum tasarım, Sonlu elemanlar analizi

2024, xv + 58 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

OPTIMUM DESIGN OF THE LIGHT COMMERCIAL VEHICLE CLUTCH COVER

Uğur Köprübaşı

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Automotive Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Mehmet İhsan Karamangil

Although the use of the electric vehicles has increased in recent years, the use of internal combustion engine vehicles still continues today. For this reason, improvement and weight reduction studies are still needed in the powertrain groups used in internal combustion engine vehicles. Nowadays, TWIP steels have a significant potential in the weight reduction studies to reduce CO2 emissions resulting from the use of internal combustion engines. TWIP steel has a good combination of high strength, ductility and damage resistance and is widely used in automotive industries. While they provide lightness with their high strength, they can be easily shaped into complex geometries due to their high ductility. Some of the disadvantages are including high costs and the possibility of high stretch affect after shaping. In this study, comparative stiffness analysis of conventional DD13 steel clutch cover and optimum designed TWIP steel clutch cover were performed on light commercial vehicle with a engine torque of 300 Nm. The pressure cover used in the clutch pressure plate cover assembly has a significant potential to be preferred in the weight reduction studies due to it has a high volume and high weight. And besides that, since the clutch pressure cover has an important function in torque transmission, the steel materials used in this product are expected to meet the functional requirements. In this context of the study, stiffness analyzes of the conventional DD13 material clutch cover and the improved design TWIP material clutch cover were performed using the ANSYS finite element analysis program. 23% weight reduction was achieved in the clutch cover design using TWIP steel. In the optimum design created, the stiffness value exhibited similar stiffness behavior compared to the conventional DD13 material clutch cover. However, production and bench tests must be completed before TWIP steel materials can be used as an alternative in the clutch cover.

Key words: TWIP, Clutch, Clutch cover, Powertrain system, Optimum design, Finite element analysis

2024, xv + 58 pages.

TEŞEKKÜR

Teknik, sosyal ve iletişim alanlarında kendimi geliştirdiğim yüksek lisans eğitimim boyunca, beni her zaman yenilikçi noktalara yönlendiren, akademik ve bilimsel konularda gelişmem konusunda büyük emek gösteren değerli danışman hocam Prof. Dr. Mehmet İhsan Karamangil'e teşekkürlerimi sunarım.

Otomotiv sektöründe öncü ve önemli başarıya sahip olan, Ar-Ge çalışmalarımda ve yüksek lisans eğitimim boyunca her türlü destekleri sunan Valeo firmasına, Ar-Ge müdürüm Emre Güran'a, Ar-Ge koordinatörüm Mustafa Aksoy'a ve çalışma sırasında emeği geçen tüm arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bana her zaman destek olan annem Seher Köprübaşı, babam Fuat Köprübaşı ve sevgili eşim Yaren Köprübaşı 'ya teşekkürlerimi sunarım.

Uğur Köprübaşı
28/06/2024

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET viii
ABSTRACT ix
TEŞEKKÜR x
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ xii
ŞEKİLLER DİZİNİ xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ xv
1. GİRİŞ……. 1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI 3
2.1 Debriyaj Ürün Grubunda Yapılan Ağırlık Azaltma ile İlgili Çalışmalar 3
2.2 Otomotiv Sektöründe TWIP Çeliklerinin Kullanımı ile İlgili Çalışmalar 10
3. MATERYAL ve YÖNTEM 12
3.1 Debriyaj Sistemi Tork Aktarım İlişkisi 13
3.2 Otomotiv Sektöründe Kullanılan Malzeme Özellikleri 16
3.2.1 Otomotivde Çelikler 18
3.2.2 Debriyaj Baskı Kapağında Kullanılan Malzeme Tipleri 21
3.3 Otomobillerde Debriyaj Sistemi 21
3.3.1 Debriyaj Baskı Komplesinin Yapısı 25
3.3.1.1 Debriyaj Kapağının Tasarım Kriterleri 26
3.3.1.2 Debriyaj Baskı Kapağının Tasarım Doğrulaması ve Test Prosedürleri 29
3.3.2 Debriyaj Kavrama Diskinin Yapısı 33
3.4 Debriyaj Kapağının Modellenmesi ve Analizleri 34
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 41
4.1 ANSYS Programında Yük Altında Rijitlik Analizleri 41
4.2 ANSYS Programında Yük Altında Gerilme Analizleri 48
5. SONUÇ… 54
KAYNAKLAR 56
ÖZGEÇMİŞ 58

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	**Açıklama**
T	Tork aktarımı (Nm)
Fc	Disk balata yüzeyine etki eden baskı kuvveti (N)
R	Ortalama yarıçapı
rz	Disk dış çapı
ry	Disk iç çapı
μ	Sürtünme katsayısı
z	Sürtünme yüzey sayısı
P	Disk balatası üzerine etkiyen basın (Pa)
A	Sürtünme yüzey alanı
dA	Birim alan (m^2)
dN	Temel kuuvet (N)

Kısaltmalar	**Açıklama**
TWIP	İkizlenme ile plastisitesi arttırılmış çelikler
DD13	DD13 kalite düşük karbon çelik türü
DD14	DD14 kalite düşük karbon çelik türü
ANSYS	Sonlu elemanlar yönetimi kullanan yazılım türü
CO2	Karbondioksit
MPI	Kalıp akış plastik öngörüsü (Mold Flow Plastic Insight)
AHHS	Gelişmiş ileri teknoloji yüksek mukavemetli çelikler (Advanced High Strength Steel)
YP - MC	Mikro alaşımlanmış çelikler
DP	Çift fazlı çelikler
TRIP	Şekillendirme ile plastisitesi arttırılmış çelikler
CP	Kompleks fazlı çelikler
Mart	Martenzitik çelikler

ŞEKİLLER DİZİNİ

		Sayfa
Şekil 2.1.	Farklı dönme hızlarında ısı transfer katsayısı değişimi (Çakmak ve ark. 2018)…….	3
Şekil 2.2.	5000 rpm'de kompozit versiyonların, seri tasarım ile karşılaştırıldığında, gerilim değişimi ve toplam deformasyon değerleri (Çakmak ve ark. 2020).....	4
Şekil 2.3.	TWIP980 ve DD14 karşılaştırmalı rijitlik davranışlarının analizleri (Genç ve ark. 2017).....	5
Şekil 2.4.	Mold Flow Plastic Insight (MPI) yazılımını kullanarak simülasyonu yapılan cam elyaf takviyeli Poliamid 6,6 kompozit debriyaj pedalı……..	6
Şekil 2.5.	Çalışmada geliştirilen cam elyaf takviyeli Poliamid 6,6 kompozit debriyaj pedalı…….....	7
Şekil 2.6.	Geleneksel debriyaj ve kendinden ayarlamalı debriyajın karşılaştırması (Kimmig ve ark., 2012)	9
Şekil 2.7.	TWIP900 ve DP600 çeliklerinin karşılaştırmalı akma ve çekme dayanımları……...	10
Şekil 2.8.	TWIP çeliğinin (a) gerilim olmadan, (b) %18 gerilimde, (c) %26 gerilimde, (d) %34 gerilimdeki yapısı (Alza, 2021)……	11
Şekil 3.1.	Debriyaj sisteminin yapısı……	12
Şekil 3.2.	Debriyaj sistemi tork aktarım ilişkisi……...	13
Şekil 3.3.	Otomobil üzerinde kullanılan parçalardaki malzeme dağılımı	17
Şekil 3.4.	Otomotiv sektöründe kullanılan çeliklerin uzama-dayanım grafiği……...	18
Şekil 3.5.	TRIP çeliğinin mikro yapısı (Hayat, 2010)……..	20
Şekil 3.6.	Manuel şanzıman tipli otomobillerde debriyaj sistemi……	22
Şekil 3.7.	Çift kütleli volanın yapısı (Pavlov, 2018)……	23
Şekil 3.8.	Kavrama (a) ve ayırma (b) durumunda debriyaj sisteminin yapısı (Sayaca 2008)……	24
Şekil 3.9.	Debriyaj sisteminde titreşim sönümlenmesi (ZF Sachs, 2014)	25
Şekil 3.10.	Debriyaj baskı komplesinin yapısı (Sayaca, 2008)……..	26
Şekil 3.11.	DD13 malzemeli debriyaj kapağının eylemsizlik momenti….	27
Şekil 3.12.	DD13 malzeme salıncak parçasının üretimi esnasından oluşan yırtılma (Tuyan, 2021)……..	28
Şekil 3.13.	Ürün geliştirme süreçleri (Anonim)…….	30
Şekil 3.14.	TWIP çeliğinin gerçek uzama eğrisi (Akşen, Esener ve Firat, 2024)…….	31
Şekil 3.15.	DD13 çeliğinin gerçek uzama eğrisi (Said ve Wali, 2022)…..	31
Şekil 3.16.	Örnek Smith-Goodman diyagramı……...	32
Şekil 3.17.	Debriyaj kavrama diskinin yapısı (Sayaca 2008)…….	33
Şekil 3.18.	CATIA V5 programında oluşturulan modeller……	35
Şekil 3.19.	ANSYS programında oluşturulan statik yapı……...	36
Şekil 3.20.	Rulman yükü ve baskı yükü şartları…….	37
Şekil 3.21.	ANSYS mesh ataması yapılan modeller…….	38
Şekil 3.22.	ANSYS'de tanımlanan DD13 malzeme mekanik özellikleri (Akşen, Esener ve Firat, 2024)…….	39

Şekil 3.23.	ANSYS'de tanımlanan TWIP malzeme mekanik özellikleri (Said ve Wali, 2022)…….	39
Şekil 3.24.	DD13 malzemeli ve 5,5 mm sac kalınlığındaki debriyaj kapağının rulman yükü altında oluşan deformasyon miktarı...	40
Şekil 3.25.	DD13 malzemeli ve 5,5 mm sac kalınlığındaki debriyaj kapağının rulman yükü altında oluşan gerilme miktarı……	40
Şekil 4.1.	DD13 malzeme ve 5,5 mm sac kalınlığında debriyaj kapağının rulman yükü altında deformasyon sonuçları……	42
Şekil 4.2.	DD13 malzeme ve 5,5 mm sac kalınlığında debriyaj kapağının baskı yükü altında deformasyon sonuçları……..	43
Şekil 4.3.	TWIP malzeme ve 3,5 mm sac kalınlığında debriyaj kapağının rulman yükü altında deformasyon sonuçları……..	43
Şekil 4.4.	TWIP malzeme ve 3,5 mm sac kalınlığında debriyaj kapağının baskı yükü altında deformasyon sonuçları……..	44
Şekil 4.5.	TWIP malzeme ve 4 mm sac kalınlığında debriyaj kapağının rulman yükü altında deformasyon sonuçları, (a) optimum tasarım sonrası, (b) optimum tasarım öncesi……	45
Şekil 4.6.	TWIP malzeme ve 4 mm sac kalınlığında debriyaj kapağının baskı yükü altında deformasyon sonuçları, (a) optimum tasarım sonrası, (b) optimum tasarım öncesi…..……..	45
Şekil 4.7.	TWIP malzeme ve 4,5 mm sac kalınlığında debriyaj kapağının rulman yükü altında deformasyon sonuçları……..	46
Şekil 4.8.	TWIP malzeme ve 4,5 mm sac kalınlığında debriyaj kapağının baskı yükü altında deformasyon sonuçları……..	46
Şekil 4.9.	Farklı malzeme ve farklı sac kalınlığındaki debriyaj kapağının rulman yükü altında deformasyon sonuçları……..	47
Şekil 4.10.	Farklı malzeme ve farklı sac kalınlığındaki debriyaj kapağının baskı yükü altında deformasyon sonuçları……..	47
Şekil 4.11.	DD13 malzeme ve 5,5 mm sac kalınlığında debriyaj kapağının rulman yükü altında maksimum gerilme sonuçları.	49
Şekil 4.12.	DD13 malzeme ve 5,5 mm sac kalınlığında debriyaj kapağının baskı yükü altında maksimum gerilme sonuçları…	49
Şekil 4.13.	TWIP malzeme ve 3,5 mm sac kalınlığında debriyaj kapağının rulman yükü altında maksimum gerilme sonuçları.	50
Şekil 4.14.	TWIP malzeme ve 3,5 mm sac kalınlığında debriyaj kapağının baskı yükü altında maksimum gerilme sonuçları…	50
Şekil 4.15.	TWIP malzeme ve 4 mm sac kalınlığında debriyaj kapağının rulman yükü altında maksimum gerilme sonuçları……..	51
Şekil 4.16.	TWIP malzeme ve 4 mm sac kalınlığında debriyaj kapağının baskı yükü altında maksimum gerilme sonuçları…….	51
Şekil 4.17.	TWIP malzeme ve 4,5 mm sac kalınlığında debriyaj kapağının rulman yükü altında maksimum gerilme sonuçları.	52
Şekil 4.18.	TWIP malzeme ve 4,5 mm sac kalınlığında debriyaj kapağının baskı yükü altında maksimum gerilme sonuçları…	52

ÇİZELGELER DİZİNİ

		Sayfa
Çizelge 3.1.	Çizelge 3.1. DD13 ve TWIP çeliklerinin mekanik özellikleri.	28
Çizelge 3.2.	Çizelge 3.2. CATIA V5 Programında Oluşturulan Modellerin Özellikleri…….....	35
Çizelge 3.3.	ATIA V5 Programında Oluşturulan Modellerin Özellikleri…….....	36
Çizelge 3.4.	ANSYS programındaki modellerin eleman ve düğüm (node) sayıları……..	38
Çizelge 4.1.	Farklı malzeme ve farklı sac kalınlığında debriyaj kapağının rijitlik sonuçları……	48
Çizelge 4.2.	Farklı malzeme ve farklı sac kalınlığında debriyaj kapağının maksimum gerilme sonuçları……...	53

1. GİRİŞ

Debriyaj, motorla vites kutusu arasındaki irtibatı keserek vites değiştirme olanağı, ilk hareket sırasında motorun hareketini tekerleklere ileterek taşıtın sarsıntısız olarak harekete geçişini, tork aktarımını sarsıntısız şekilde aktarmak ve titreşim sönümlemesi sağlayan güç aktarma organlarından biridir. Motordan aktarılan tork, debriyaj sistemine ardından dişli kutusu ve sonrasında güç aktarma milleri sayesinde aracın hareket ettirilmesi için tekerleklere aktarılır.

Son yıllarda elektrikli araçların kullanımının artmasına karşın içten yanmalı motorların ve bununla birlikte debriyaj kullanımı günümüzde halen devam etmektedir. Bu sebeple içten yanmalı motorlarda kullanılan aktarma organları gruplarında, iyileştirme ve ağırlık azaltma çalışmalarına halen ihtiyaç duyulmaktadır. Debriyaj baskı komplesinde kullanılan baskı kapakları, diğer komponentlere göre daha fazla ağırlığa sahiptir ve ürün ağırlık azaltma çalışmalarında dikkate alınabilecek bir potansiyele sahiptir.

Bunun yanında debriyaj baskı kapağı tork iletiminde önemli bir fonksiyona sahip olmasından dolayı bu üründe kullanılacak çelik malzemelerinin çeşitli gereklilikleri karşılaması beklenmektedir. Debriyaj kapağı rijitliği, debriyaj komplesininin fonksiyonelliğini etkileyen en önemli parametrelerdendir. Motorda üretilen torkun iletimi açısından debriyaj komplesi istenilen fonksiyonelliği sağlaması gerekmektedir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan debriyaj baskı komplesinde kullanılan baskı kapaklarının malzemesi DD13 ve DD14 kalite çelik malzeme olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

TWIP çeliği geliştirilmiş yüksek mukavemetli çelikler grubundadır ve otomotiv endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek mukavemetleri ile hafiflik sağlarken, yüksek sünekliklerinden dolayı da karmaşık geometrilerde kolayca şekillendirilebilmektedir. İçerdikleri bazı dezavantajlar arasında içerdikleri yüksek alaşım malzemeleri nedeniyle yüksek maliyetleri, kaynak edilmelerinde yaşanan zorluk, şekillendirmeden sonra yüksek miktarda geri esneme yapma olasılığı bulunmaktadır. Diğer dezavantajları ise üretim maliyetinin yüksek olmasıdır ve üretim esnasında

yaşanılan çatlama sorunlarıdır. Günümüzde içten yanmalı motorların kullanımından kaynaklı karbondioksit emisyonunun azaltılması için yapılacak ağırlık azaltma çalışmalarında TWIP çelikleri önemli bir potansiyel taşımaktadır.

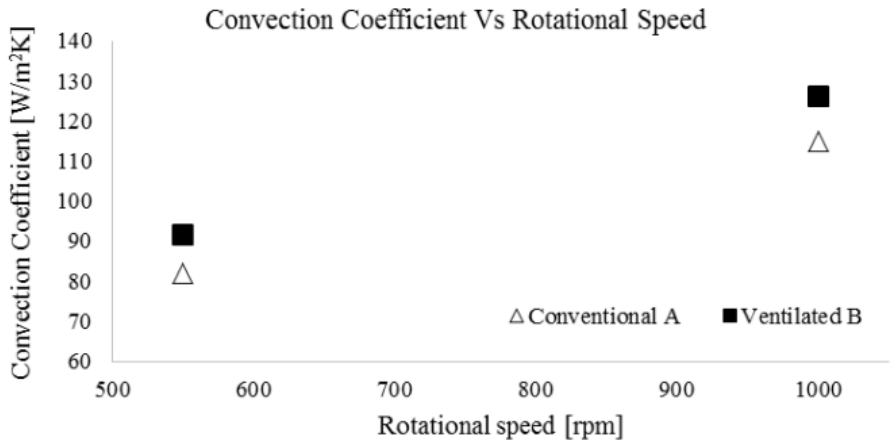
Daha düşük sac kalınlığında ve TWIP çeliği malzeme seçilerek yapılan debriyaj kapağı tasarımının en önemli noktalarından birisi, endüstriyel DD13 çeliği mevcut ürünlerle kıyaslamada aynı fonksiyonel özelliğe sahip olmasıdır. Mevcut endüstriyel DD13 çeliği ve TWIP çeliğinin karşılaştırmalı rijitlik analizi bu çalışmanın önemli noktalarından birisidir. Bu çalışmada, 300 Nm araç torkuna sahip hafif ticari araçta kullanılacak debriyaj kapağının, ANSYS sonlu elemanlar analizi programında aynı tasarıma sahip debriyaj kapağının farklı kalınlıkta ve farklı malzemelerde çelik ile rijitlik analizi sonuçları değerlendirilerek optimum tasarıma ulaşılması hedeflenmektedir. Bu çalışmadaki diğer önemli nokta TWIP çeliği tasarımı yapılan debriyaj kapağının CO2 emisyonuna etkisinin incelenmesidir.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

Literatürde yüksek mukavemetli çeliklerinin otomotiv endüstrisinin çeşitli alanlarında kullanımı ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Bu alanda yapılan çalışmalar yeni nesil yüksek mukavemetli çeliklerin otomotiv sektöründeki kullanımlarının incelenmesidir. Yüksek mukavemetli çeliklerden birisi olan TWIP çelikleri otomotivin birçok farklı alanındaki çalışmalarda yer edinmiştir. Bu çalışmalardan bazıları, araç ağırlık hafifletme, yakıt tüketimini düşürme ve karbondioksit salınım oranını azaltmak amacıyla yapılan çalışmalardır. Bu tez çalışmasında bu alanlar için literatür incelemesi yapılmıştır.

2.1 Debriyaj Ürün Grubunda Yapılan Ağırlık Azaltma ile İlgili Çalışmalar

Çakmak ve ark. (2018) debriyaj baskı plakasında konvektif ısı transferini, havalandırma kanalı tasarımı yaparak geliştirilmesi çalışmasında bulunmuştur. 3D modeli oluşturulan havalandırma kanallı tasarım analiz edilmiştir ve geleneksel havalandırmasız tasarımla karşılaştırılmıştır. Isı transferi iyileştirilerek, tekrarlayan kavramalar esnasında sıcaklık artışını önleme amaçlanmıştır. Sayısal sonuçlara göre, farklı dönme hızlarında havalandırma kanallı tasarım için, ısı transfer katsayısında %9,7 ila %11,8 oranında iyileşme ve tepe sıcaklık değerlerinde ciddi azalma görülmüştür(Şekil 2.1). Ayrıca, döküm baskı plakasına havalandırma kanalları uygulaması ile %25 ağırlık azaltışı sağlamıştır ve aynı zamanda aracın yakıt tüketimini azaltmaya da yardımcı olmuştur.



Şekil 2.1. Farklı dönme hızlarında ısı transfer katsayısı değişimi (Çakmak ve ark. 2018)

Çakmak ve ark. (2020) içeriğinde alüminyum köpük yapı bulunan yenilikçi bir hafif kompozit kuru debriyaj baskı plakası çalışmasını yaparak, ağır vasıta araçlarda CO2 salınımının azaltılması çalışması yapmışlardır. Çekirdek köpük yapısının olduğu beş farklı kompozit tasarımın plaka burst performansı sonlu eleman yöntemi aracılığıyla analiz edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda geleneksel tasarımlara göre ağırlık %47 kadar azaltılıp, stres %65'e kadar artmıştır. Ağırlık azaltılmasının yanında, konvektif yüzey artışı vasıtasıyla ısı dağılımı artırılmıştır. Ayrıca ürünün toz metalürjisi teknolojisiyle üretilmesi planlanmaktadır.

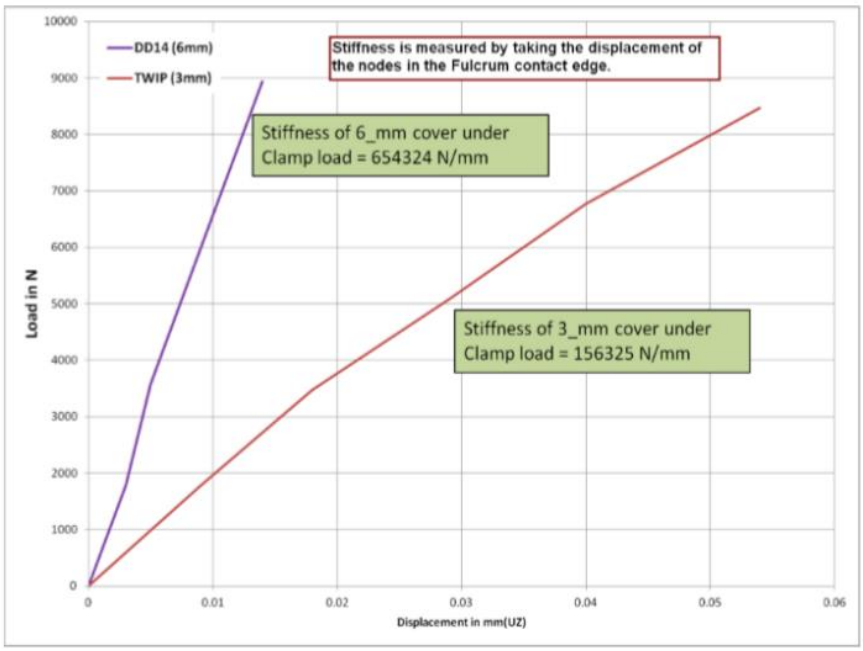
Geo	Machined Mass (kg)	Stress (MPa)	Deformation (mm)
Serial	Base	Base	Base
(1)	- 43%	+ 82%	+ 25%
(2)	- 42%	+ 73%	+ 17%
(3)	- 47%	+ 65%	+ 19%
(4)	- 48%	+ 64%	+ 17%
(5)	- 38%	+ 57%	+ 5%

Şekil 2.2. 5000 rpm'de kompozit versiyonların, seri tasarım ile karşılaştırıldığında, gerilim değişimi ve toplam deformasyon değerleri (Çakmak ve ark. 2020)

Kartik ve ark. (2021) en iyi balata malzemesi seçimi ve tasarımını yaparak, ANSYS programında gerilme ve termal yük altında performanslarının incelenmesi çalışmasını yapmışlardır. Cam epoksi, dökme demir-yumuşak çelik alaşımı, seramik ve kevlar gibi farklı sürtünme katsayılarına sahip malzemeler seçilerek günümüzde kullanılan sürtünme malzemeleri(asbestos) ile performansları karşılaştırılmıştır.

Genç ve ark. (2017) TWIP980 çeliklerinin otomotiv endüstrisinde kullanımını ve güç aktarma organlarında kullanılan debriyaj kapaklarında kullanımını incelemişlerdir. Çalışma esnasında ağır vasıta araçlarda kullanılan bir debriyaj kapağının sonlu elemanlar yöntemiyle rijitlik incelemesini yapmışlardır. Benzer tasarıma sahip DD14 ve TWIP980 malzemeye sahip debriyaj kapağının karşılaştırmalı olarak FEA analizlerini incelemişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda endüstriyel çelik malzemesi olan DD14 baskı kapağına göre %50 daha düşük kalınlıkta TWIP980 baskı kapağı kullanılması

durumunda kapak rijitliğinde %76 düşüş meydana geldiği bulgusunu paylaşmışlardır(Şekil 2.3).



Şekil 2.3. TWIP980 ve DD14 karşılaştırmalı rijitlik davranışlarının analizleri (Genç ve ark. 2017)

Dama ve ark. (2015) sera gazı emisyonlarının getirdiği kısıtlamaları otomotiv sektörü açısından incelemiştir. Yapılan çalışmada emisyon oranlarında yapılan yasal düzenlemelerin otomotiv sektörünü farklı yaklaşımlara zorladığını belirtmişlerdir. Bu yaklaşımları yakıt tasarrufu sağlayan teknolojiler arasında olan aktarma organları verimlilik iyileştirmeleri, alternatif yakıt sistemleri, turboşarjlı motor kapasitesinin küçültülmesi veya süperşarj, aerodinamik tasarım ve araç ağırlık azaltma olarak özetlemişlerdir. Bu teknolojiler çerçevesinde, yakıt tüketiminin iyileştirilmesi ve sera gazı emisyonlarının düşürülmesi ağırlık azaltmada en önemli tekniklerden biri olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmada genel olarak ağırlık azaltma için sürdürülebilir otomotiv tasarımlarının geriye dönük yapılan çalışmaları gösterilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, aktarma organları, yakıt enjeksiyon sistemleri, turboşarjlı motor ve çift kavramalı şanzıman teknolojilerinde yapılabilecek ileri teknoloji malzeme kullanımı, entegre araç parçaları kullanımı, şekillendirme teknikleri ve bütünsel araç tasarımlarında yapılabilecek iyileştirmelerle araç ağırlık azaltma ve karbondioksit emisyonlarının

düşürülebileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca araçta yapılan %20 oranında ağırlık azaltılmasının CO2 emisyonunda %12 ile %16 arasında azalmaya neden olabileceğini belirtmişlerdir.

Sapuan ve ark. (2007) enjeksiyon kalıplama üretim metoduyla üretilen mevcut çelik malzeme debriyaj pedalı ile Mold Flow Plastic Insight (MPI) yazılımını kullanarak üretilen kompozit debriyaj pedalının karşılaştırmasını yapmışlardır. Ayrıca çalışmalarında enjeksiyon kalıplama üretim metoduyla üretilen cam elyaf takviyeli poliamid kompozit debriyaj pedalının üretim aşamalarından bahsetmişlerdir. Simülasyon sonuçlarını karşılaştırmak için cam elyaf takviyeli Poliamid 6,6 kompozit debriyaj pedalı üretimi gerçekleştirmişlerdir. Gerçek parça ve simülasyon çıktıları karşılaştırıldığında birbirleriyle uyumlu olduklarını belirtmişlerdir. Çalışma sonucunda kompozit malzemenin yoğunluğunun çok daha az olmasından ötürü 647.7 gram olan mevcut çelik debriyaj pedalı kompozit malzeme debriyaj pedalı ile 125.8 grama düşmüştür.



Şekil 2.4. Mold Flow Plastic Insight (MPI) yazılımını kullanarak simülasyonu yapılan cam elyaf takviyeli Poliamid 6,6 kompozit debriyaj pedalı



Şekil 2.5. Çalışmada geliştirilen cam elyaf takviyeli Poliamid 6,6 kompozit debriyaj pedalı

Alavilli ve ark. (2021) kütle azaltımı yapılmış bir debriyaj sistemi tasarımının, güç aktarma sırasındaki ortaya çıkan enerji aktarımındaki değişimleri incelemişlerdir. Ağırlık azaltma çalışmalarının çok önemli olduğunu ancak debriyaj sistemin ömrünün de aynı şekilde uzun olması gerektiğini belirtmişlerdir. Çalışma sırasında, sürtünme parçalarındaki ağırlığın azalmasından dolayı, tork aktarımı esnasındaki ortaya çıkan enerjinin parça üzerindeki dağılımının olumsuz olarak etkileneceğinden, sürtünme yüzeylerindeki ısı miktarının arttığını gözlemlemişlerdir. Bu durumun, debriyajın erken aşınmasına ve hatta yanmasına neden olacağını belirtmişlerdir. Çalışmada, debriyaj sisteminin tork aktarımı esnasındaki ortaya çıkan kayma enerjisini, araç üzerindeki sensörler vasıtasıyla hesaplayabilen yöntem geliştirmişlerdir. Çalışma sonunda, istenilen çalışma aralıklarında, araç testi sırasında, debriyaj sisteminde tork aktarımında sürtünme yüzeylerinde açığa çıkan enerjiyi hesaplamışlardır.

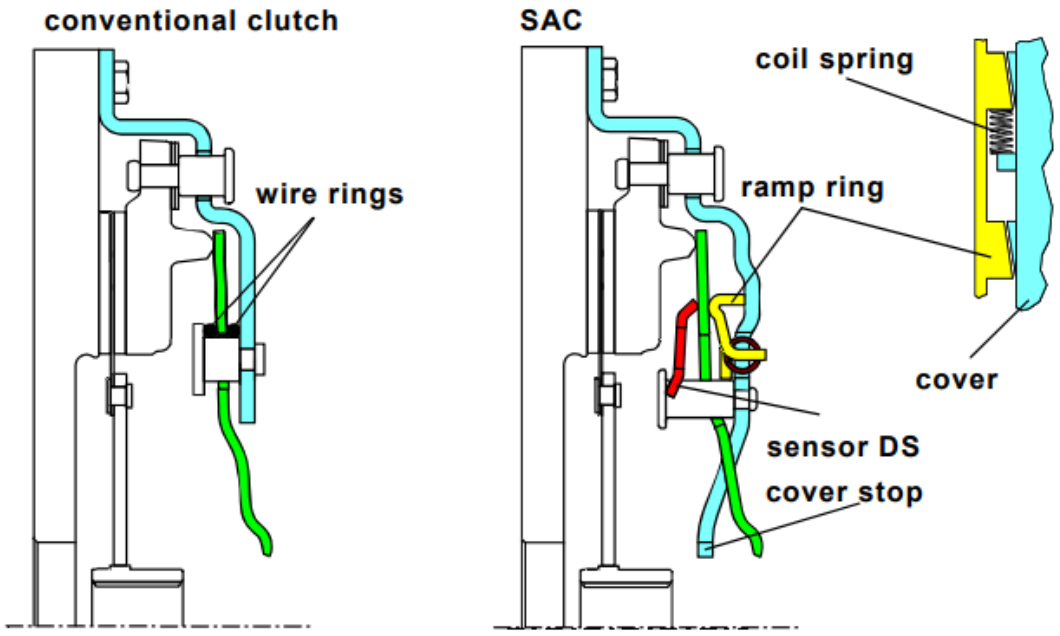
Oday ve ark. (2014) optimum ağırlığa ve maliyete sahip dampersiz debriyaj diskinin ve klasik modelde dampersiz debriyaj diskinin çalışma esnasında meydana gelen stres, deformasyon ve titreşim davranışlarının Ansys programında karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Debriyaj sürtünme diskinin güç aktarımı esnasında önemli bir role sahip olduğunu belirtmişlerdir. Çalışma sonunda sayısal sonuçlara istinaden, dampersiz rijit debriyaj diskinin gerilim ve titreşim özelliklerinin tasarım parametrelerinin ayarlanmasıyla kontrol edilebileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca çalışma sonunda önerilen

modellerle, debriyaj sistemindeki tork aktarımının önemli ölçüde iyileştirildiğini belirtmişlerdir.

Cardoso ve ark. (2011) günümüzde kullanılan küçük debriyaj sistemlerinin, şanzımanın toplam ağırlığını azaltarak, motor bölmesinde yerden tasarruf sağladığını, motorun dönme direncini en aza indirdiğini ve daha az mekanik kayıp sağladığını belirtmişlerdir. Daha küçük ağırlıkta diyafram yaylı debriyaj komplesinin yapısı ve montaj koşullarının öneminden bahsetmişlerdir. Debriyaj komplesi diyaframı sistemde yanlış hizalanması durumunda, debriyaj pedalında ses yapma, debriyaj pedalında titreşim veya debriyaj pedalında sertliğe sebebiyet verebileceğini belirtmişlerdir. Debriyaj komplesi diyaframı harekete geçirildiğinde sistemdeki ilişkili bileşenlerde gerilmelerin arttığı ve debriyaj komplesinin yanlış montaj olması durumunda bu gerilmelerin dağılımının eşit olmayacağını belirtmişlerdir. Bu çalışmada, geliştirdikleri teknikle, debriyaj diyafram yayının yüzeyindeki oluşan gerilmelerin ve deformasyonları değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Çalışma sonunda, oluşturdukları teknikle çıkan sonuçlar ile geleneksel sonlu elemanlar yöntemi ile çıkan sonuçların karşılaştırmasını yapmışlardır.

Mohire ve ark. (2019) çalışmalarında şehirlerde trafik yoğunluğunun artmasıyla birlikte debriyajın kullanım ömrünün de büyük ölçüde etkilendiğini, bunun da metropol şehirlerde debriyaj şikayetlerinin artışta olduğunu belirtmişlerdir. Debriyajın ömrünü etkileyen ana tasarım parametresinin, debriyaj diskinin sürtünme balatasının birim alanı başına debriyajda harcanan enerjisi olduğunu belirtmişlerdir. Debriyajın ömrünün, debriyajın tasarım aşamasında dikkate alınan araç ağırlığına, motor torkuna, aktarma organları oranlarına, sürtünme balatasına ve debriyaj boyutuna bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmaları sırasında debriyaj sistemi ömrünü olumsuz etkilemeden, ağırlığını azaltmayı hedeflemişlerdir. Bu doğrultuda motor kalibrasyonunda yapılan iyileştirmeler yaparak, iki farklı kalibrasyondaki aracın, trafikteki davranışlarını, motor kalibrasyonun manevralara etkisini, debriyajda sisteminde harcanan enerjiyi sürüş koşullarında data olarak kayıt altına almışlardır. Çalışma sonucunda, debriyaj ağırlığını azaltmak ve debriyaj ömrünü uzatmak için, motor kalibrasyonunda yapılan iyileştirmelerin olumlu yönde etkisi olabileceğini belirtmişlerdir.

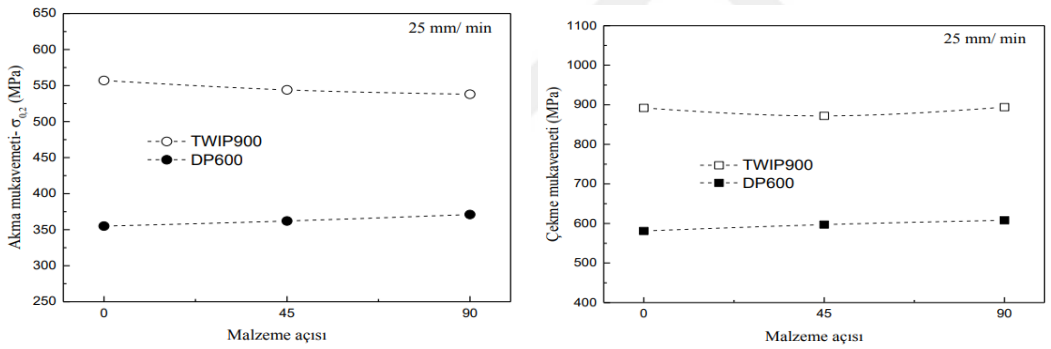
Kimmig ve ark. (2012) LUK marka kendinden ayarlı debriyaj sistemi tasarımı yaparak, ağırlık azaltma, debriyaj ömrünü uzatma, aşınma aralığını arttırma, çalışma yükünü azaltma ve rulman strokunu azaltmayı hedeflemişlerdir. Çalışmalarında geleneksel debriyaj sistemi üzerindeki yüklerin, çalışma koşullarından dolayı zamanla arttığını belirtmişlerdir. Bunun sonucunda ise debriyaj sisteminin ayırma ve kavrama koşullarında yüksek rulman yüklerine sebep olacağı ve debriyaj sisteminin ömrünün etkileneceğini belirtmişlerdir. Çalışmaları sonunda, kendinden ayarlı debriyaj sisteminin geleneksel debriyaj sistemine göre, ürün maliyeti, ağırlık azaltımı ve performans açısından daha iyi sonuçlar ortaya çıkardığını belirtmişlerdir. Şekil 2.6'da geleneksel debriyaj ve kendinden ayarlamalı debriyajın karşılaştırması gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Geleneksel debriyaj ve kendinden ayarlamalı debriyajın karşılaştırması **(**Kimmig ve ark., 2012)

2.2 Otomotiv Sektöründe TWIP Çeliklerinin Kullanımı ile İlgili Çalışmalar

Kılıç ve ark. (2016) otomotiv endüstrisinde kullanılan yüksek mukavemetli TWIP ve DP çeliklerinin kullanımını incelemişlerdir. Çalışma esnasında TWIP900 ve DP600 çeliklerinin karşılaştırmalı çekme ve geri esneme deneylerini yaparak performanslarının karşılaştırmasını yapmışlardır. Ayrıca sonlu elemanlar yöntemiyle modellemeler yaparak çalışmalarında karşılaştırma yapmışlardır. Yapılan analizler sonucunda TWIP900 çeliklerinde DP600 çeliklerine göre çok daha fazla uzama meydana geldiğini gözlemlemişlerdir. Karşılaştırmalı modellere göre sonuçlar incelendiğinde TWIP çeliklerinin daha yüksek mukavemete sahip olduğu ve daha ince saclar kullanılarak istenen mukavemet değerlerine ulaşılabileceği gözlemlenmiştir(Şekil 2.7). Yapılan çalışma sonucunda TWIP çeliklerinin araç hafiflemesine büyük katkı sağlayacağı ancak geri esneme problemlerinin iyileştirilmesi gerektiğini gözlemlemişlerdir.

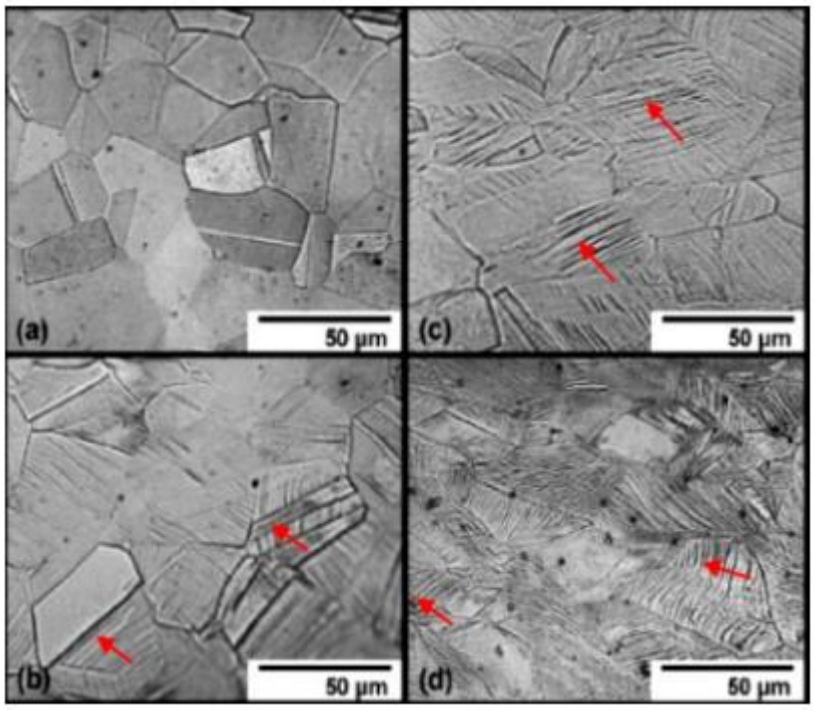


Şekil 2.7. TWIP900 ve DP600 çeliklerinin karşılaştırmalı akma ve çekme dayanımları

Hayat (2010) TRIP çeliklerinin otomotiv endüstrisinde kullanılmasını incelemiştir. Çalışma sırasında TRIP çeliklerinin otomotivde kullanılan diğer çelik malzemelere göre mikro yapılarını, çekme dayanımlarını, şekillenebilme ve yorulma özelliklerini karşılaştırmalı olarak ele almıştır. Ayrıca TRIP çeliklerinin Türkiye'de üretilebilirliği ile ilgili çalışmalarda bulunmuştur.

Alza (2021) çalışmasında, son yıllarda otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan gelişmiş yüksek mukavemetli çeliklerden, ikizlenme ile plastisitesi arttırılmış çelikleri (TWIP) araştırmıştır. Çalışması sırasında, TWIP çeliklerinin mekanik ve kimyasal

özelliklerini incelemiştir. Bu çeliklerin ikizleme mekanizmasını inceleyerek, malzeme yapısındaki istif bozukluğunu etkileyen çeşitli faktörleri ve deformasyon sertleştirme mekanizmasına etkisini ve aynı zamanda gerinim hızının değişmesi nedeniyle ortaya çıkan fazları, optik ve elektron mikroskobu ile göstermiştir. Şekil 2.8 de TWIP çeliğinin farklı gerginlikteki yapısı gösterilmiştir. Daha sonra metalürjik analize dayanarak çekme mekanik özellikleri sunmuş ve açıklamıştır. Çalışmasında lineer olmayan TWIP çeliklerinin davranışlarını göstermiştir.



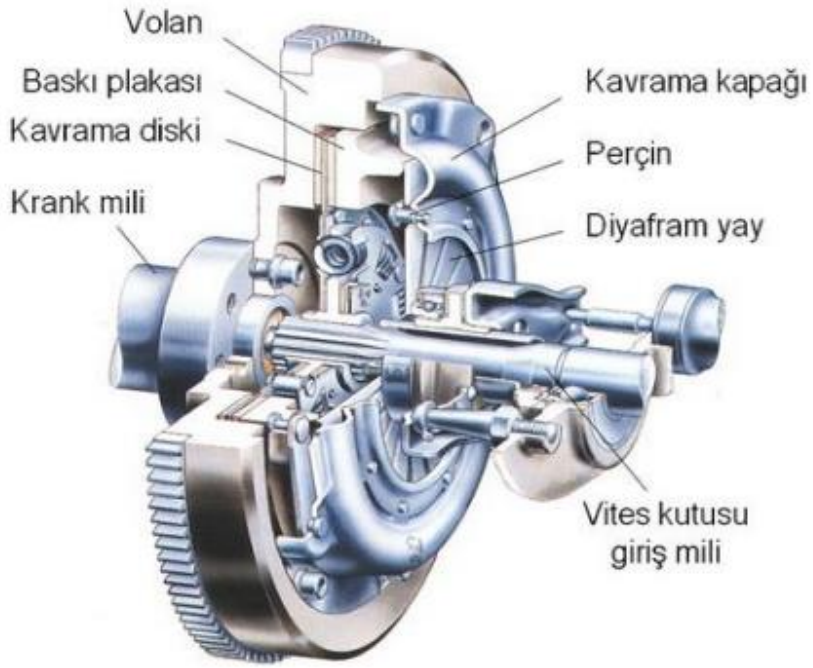
Şekil 2.8. TWIP çeliğinin (a) gerilim olmadan, (b) %18 gerilimde, (c) %26 gerilimde, (d) %34 gerilimdeki yapısı (Alza, 2021)

Madivala ve Bleck (2018) yüksek manganlı ikizleme ile plastisitesi arttırılmış çeliğin (TWIP) sertleştirme esnasındaki davranışı üzerinde gerinim oranının etkisini araştırmıştır. Adyabatik ısınma ve deformasyon hızının mekanik özellikler üzerindeki etkisi, eşzamanlı sıcaklık ve gerinim ölçümleri ile yarı statik ve dinamik çekme testleri ile incelemiştir. Çalışma sonunda, adyabatik ısınma nedeniyle sıcaklıktaki artış, istifleme hatası enerjisinin artmasına yol açmış, dolayısıyla ikizlenme davranışının değişmesine veya dinamik yükleme altında dislokasyon kaymasının desteklenmesine neden olmuştur.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu bölümde TWIP çeliği malzemelerin debriyaj kapağında kullanımında yapılan analiz çalışmaları, modellemeleri, testleri ve optimum tasarım çalışmalarının materyal ve yöntem noktaları incelenmiştir.

Debriyaj sistemi, motor ve vites kutusu arasındaki aktarımı keserek, vites değiştirmeyi sağlayan güç aktarma organlarından birisidir. Şekil 3.1'de debriyaj sisteminin yapısı gösterilmektedir. Volan, krank miline ve kavrama kapağı da volana bağlanmıştır. Kavrama diski, vites kutusu giriş miline dişliler vasıtasıyla bağlıdır. Kavrama diski, volan ve kavrama kapağı arasında sıkıştırılarak diyafram yayının ileri itilip ve geri çekilmesi vasıtasıyla tork aktarımı yaparak motordan şanzımana hareketin aktarılmasını sağlar.



Şekil 3.1. Debriyaj sisteminin yapısı

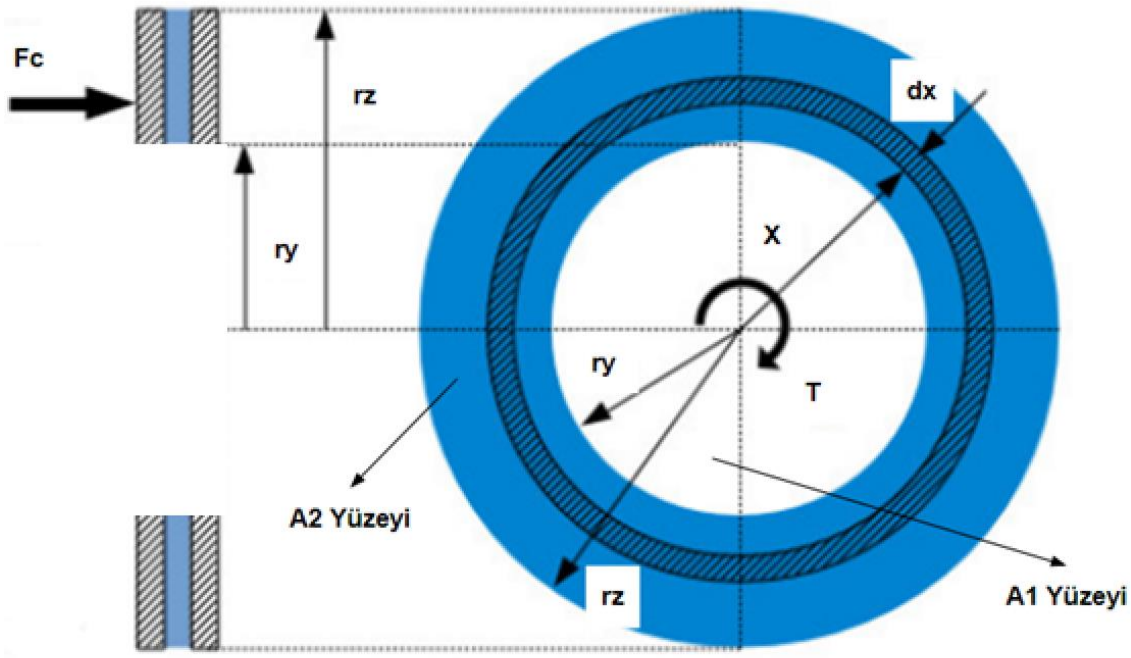
Debriyaj sistemini özelliklerini, ilk hareket sırasında motorun hareketini tekerleklere tedricen ileterek taşıtın sarsıntısız olarak harekete geçişini sağlamak, taşıt hareket halinde iken vites durumlarını değiştirmek için motordan vites kutusuna hareket

iletimini geçici olarak kesmek ve gerekli hallerde motorla güç aktarma organlarının bağlantısını kesmek olarak özetleyebiliriz.

Debriyaj sisteminin bir diğer özelliği de sürüş esnasında oluşan yüksek dinamik kuvvetlerin sönümlenmesi, sürüş konforunun iyileştirilmesi ve motordan gelen titreşimlerin sönümlenmesini sağlamasıdır.

3.1 Debriyaj Sistemi Tork Aktarım İlişkisi

Debriyaj sisteminin en önemli rolü tork aktarımıdır. Baskı kapağı tork iletiminde önemli bir fonksiyona sahip olmasından dolayı bu üründe kullanılacak çelik malzemelerinin çeşitli gereklilikleri karşılaması beklenmektedir. Debriyaj kapağı rijitliği, ürün fonksiyonelliğini etkilediği için motorda üretilen torkun iletimi açısından en önemli parametrelerin başında gelmektedir. Tork aktarımı T [Nm], disk balata yüzeyine etki eden baskı kuvveti Fc [N], sürtünme katsayısı μ, ortalama yarıçapı R (rz-ry) ve çok diskli kavrama tipleri için sürtünme yüzey sayısı z ile orantılıdır. (Denklem 3.14)



Şekil 3.2. Debriyaj sistemi tork aktarım ilişkisi

Debriyaj sistemi tork aktarım formülünü daha detaylı inceleyecek olursak;

Disk balatası yüzeyine etki eden basıncı P [Pa], sürtünme yüzeyine etki eden kuvvet Fc ve sürtünme yüzey alanı ile ilişkilidir,

$$P = \frac{Fc}{A} \tag{3.1}$$

Disk balatası üzerindeki boşaltma kanalları ve perçin delikleri ihmal edilerek sürtünme yüzey alanı aşağıdaki şekilde hesaplanır,

$$A = A2 - A1 = \pi * \mathrm{rz}^2 - \pi * ry^2 \tag{3.2}$$

3.1 numaralı denklemin içerisinde alan formülünün yerine 3.2 numaralı denklem yazılırsa,

$$P = \frac{Fc}{\pi * (\mathrm{rz}^2 - ry^2)} \tag{3.3}$$

Temel alan (dA), x yarı çaplı bölgede diferansiyel denklem yaklaşımıyla oluşturulursa,

$$dA = 2 * \pi * x * dx \tag{3.4}$$

Temel alana (dA) etki eden temel kuvvet aşağıdaki şekilde hesaplanır,

$$dN = P * dA \tag{3.5}$$

3.3 ve 3.4 numaralı denklemler 3.5 numaralı denkleme yazılırsa,

$$dN = \frac{2 * Fc * x * dx}{rz^2 - ry^2} \tag{3.6}$$

Disk üzerine etki eden temel sürtünme kuvveti yüzey sürtünme katsayısına bağlı aşağıdaki gibi yazılırsa,

$$dF = \mu * dN \tag{3.7}$$

3.6 numaralı denklemi 3.7 numaralı denkleme eklersek,

$$dF = \frac{2 * \mu * Fc * x * dx}{rz^2 - ry^2} \tag{3.8}$$

Sürtünme yüzeyine etki eden temel sürtünme torku yazılacak olursa,

$$dT = x * dF \tag{3.9}$$

3.8 numaralı denklemi 3.9 numaralı denklemde yazarsak,

$$dT = \frac{2 * \mu * Fc * x^2 * dx}{rz^2 - ry^2} \tag{3.10}$$

Tork aktarım kapasitesinin matematiksel formülünü rz ve ry sınır şartları içerisinde integral formülü yazılacak olursa,

$$T = \int_{ry}^{rz} dT$$

$$= \frac{2 * \mu * Fc}{rz^2 - ry^2} \int_{ry}^{rz} x^2 * dx$$

$$= \frac{2}{3} * \mu * \frac{rz^3 - ry^3}{rz^2 - ry^2} * Fc$$

Tek plakalı debriyaj sistemlerinde iki adet sürtünme yüzeyi bulunmasından dolayı tork kapasitesi aşağıdaki şekilde yazılabilir,

$$T = 2 * \frac{2}{3} * \mu * \frac{rz^3 - ry^3}{rz^2 - ry^2} * Fc \qquad 3.11$$

Çok diskli debriyaj sistemlerinde tork aktarım kapasitesi aşağıdaki şekilde yazılabilir,

$$T = \mathrm{z} * \frac{2}{3} * \mu * \frac{rz^3 - ry^3}{rz^2 - ry^2} * Fc \qquad 3.12$$

Sürtünme yüzeyi ortalama yarıçapını aşağıdaki şekilde kabul edersek,

$$R = \frac{rz + ry}{2} \qquad 3.13$$

Gerekli sadeleştirmeler yapılırsa basitleştirilmiş şekilde debriyaj sistemi için tork aktarım kapasitesi,

$$T = z * \mu * Fc * R \qquad 3.14$$

Özetle debriyaj sisteminde tork aktarımı T, sürtünme yüzey sayısı (z), disk balatası sürtünme katsayısı (μ), disk balata yüzeyine etki eden kuvvet (Fc) ve sürtünme yüzeyi ortalama yarıçapına (R) bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

Baskı yükü 6500 N, dış yarıçap 0,14 m, iç yarıçap 0,07 m ve 0,3 sürtünme katsayısına sahip tek kavramalı kuru debriyaj sisteminin tork aktarımı hesabı 3.15 numaralı denklemde belirtilmiştir.

$$T = 2 \,.\, 0{,}3 \,.\, 6500 \,.\, \frac{0{,}14 + 0{,}07}{2} = 409{,}5\ Nm \qquad 3.15$$

Motordan çıkan torkun tekerleklere aktarılabilmesi için debriyaj baskı komplesinin yeterli seviyede kuvvet üretmesi gerekmektedir. Baskı komplesinin fonksiyonel davranışının etkileyen faktörlerden birisidebaskı kapağıdır.

Debriyaj baskı komplesinde kullanılan baskı kapağı, ürünün en yüksek ağırlığa sahip komponentlerden birisi olmasından ötürü ürün ağırlığının azaltılması çalışmalarında dikkate alınabilecekkomponentlerden birisidir.

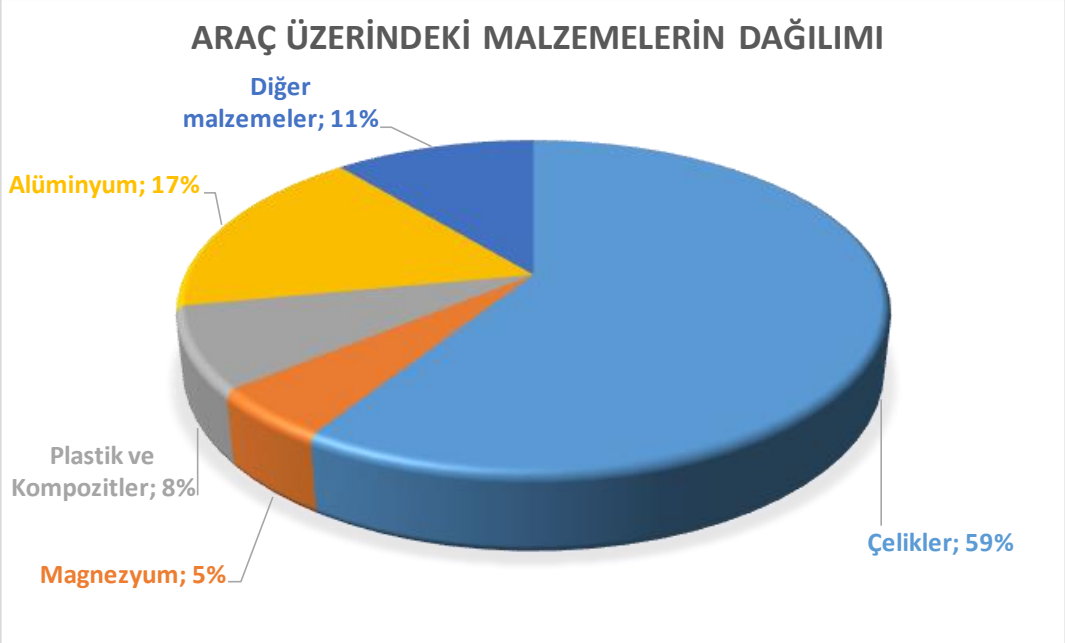
3.2 Otomotiv Sektöründe Kullanılan Malzeme Özellikleri

Otomotiv sektöründe çelik malzemelerle birlikte, plastik, magnezyum, alüminyum, kompozit vb. gibi birçok farklı malzeme kullanılmaktadır. Kullanılan malzemenin seçiminde, araçlarda ağırlığı azaltmak, yakıt tüketimini azaltmak, güvenlik gereksinimlerini karşılamak ve üretilebilirlik en önemli faktörlerden birisidir. Bir otomobilde kullanılan malzemelerden istenilen özellikler aşağıdaki şekilde özetlenebilir;

- Güvenlik,
- Üretilebilirlik,
- Performans,
- Yakıt verimi,
- Düşük CO2 emisyonu,
- Konfor,
- Hafiflik,
- Kalite,
- Geri dönüşüm,
- Düşük maliyet.

Otomobil üretiminde, ağırlık, dayanıklılık, kalite, onarım kolaylığı, üretim kolaylığı ve buna benzer birçok unsur göz önünde bulundurulur. Otomobil üretiminin sanayi açısından çok önemli olduğu bir noktada, araç modellerinde kullanılan her bir ürünün, otomobilin gelişmişliği hususunda son derece önemlidir. Araç üretiminde kullanılan materyallerin kullanımının, gelişen otomobil üretimi teknolojileri ile doğru orantıda

gelişmektedir. Şekil 3.3'te otomobil parçaların kullanılan malzemelerin dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Otomobil üzerinde kullanılan parçalardaki malzeme dağılımı

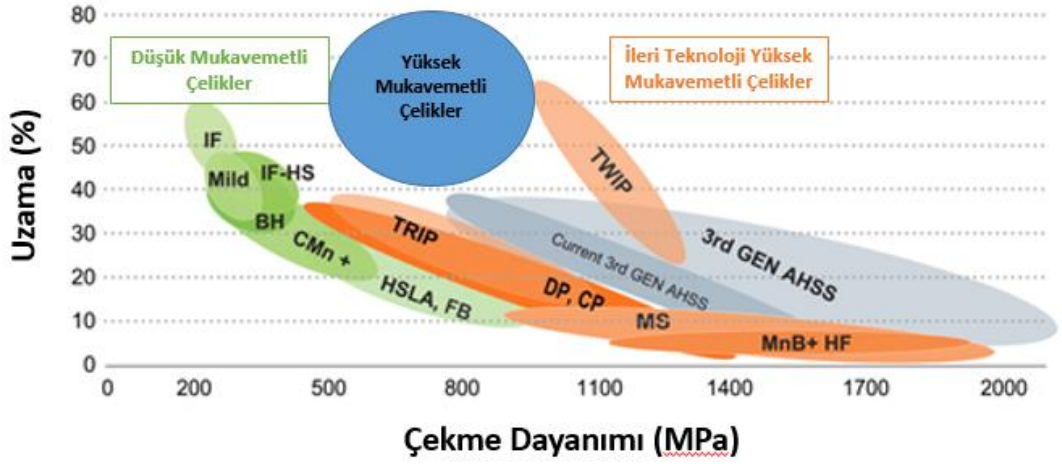
Günümüzde metalurji ve malzeme sektörünün en çok etkileşim halinde bulunduğu sektörlerden birisi hızla gelişmekte olan otomotiv endüstrisidir. Otomotiv sektörünün gelişmesiyle birlikte, malzeme üretimi ve teknolojisi de gelişmektedir. Otomobil üretimi, artan araç model çeşitliliği ve marka rekabetleri sebebiyle günden güne büyümeye devam etmektedir. Otomobil üreticileri, müşterilerin taleplerini karşılayan, düşük maliyetli, güçlü, daha hızlı ve teknolojik araba modelleri üretebilmek adına sürekli gelişmiş tasarımlar ortaya çıkarmaktadır. Otomobil üretiminde kullanılan materyallerin kullanımı, gelişen otomobil üretimi yenilikleri ile doğru orantıda gelişmektedir.

3.2.1 Otomotivde Çelikler

Otomotiv sektöründe birçok farklı kimyasal özelliklere sahip çelikler kullanılmaktadır. Çelikler yüksek sıcaklıklarda ham demirin, karbon oranlarının çeşitli yöntemlerle ayarlanmasıyla elde edilerek, günümüzde birçok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çeliklerin yapısı, üretilen komponentin çalıştığı bölgedeki fonksiyonuna, üretim şekillerine göre değişiklik göstermektedir.

Otomotiv çelikleri literatürde birçok farklı şekilde tanımlanmışlardır. Otomotiv sektöründe kullanılan çeliklerin uzama-dayanım grafiği Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Genel olarak otomotiv sektöründe çelikler için genel sınıflandırma şu şekilde yapılmaktadır;

- Düşük mukavemetli çelikler,
- Konvansiyonel yüksek mukavemetli çelikler(ısıl işlem çelikleri),
- Geliştirilmiş yüksek mukavemetli çelikler (AHHS - Advanced High Strength Steel).



Şekil 3.4. Otomotiv sektöründe kullanılan çeliklerin uzama-dayanım grafiği

Düşük mukavemetli çelikler, üretim prosesi sırasında kolayca şekil alabilen ve işlenebilen bir çelik grubudur. Orijinal çelik özelliklerine göre yaklaşık 34-70 MPa'lık bir akma mukavemeti artışına sahip parçalar elde edilebilmektedir.

Yüksek mukavemetli çelikler, çekme dayanımları 270-700 MPa olan çelik türleridir. Araç ağırlığının azaltılması, yakıt tüketiminin azaltılması ve güvenli sürüş gerekliliklerinden dolayı otomotiv sektöründe kullanılmaktadır. Bu çeliklerle araç karoserinde ağırlık azaltma çalışmaları sac kalınlığını azaltarak yapılmaktadır. Ayrıca yüksek mukavemet özelliklerini de karşıladığı için güvenlik gereksinimlerini karşılayabilmektedir. Günümüzde otomobillerde yüksek mukavemetli çeliklerin kullanım alanları aşağıdaki gibidir;

- Tamponlar,
- Darbe emiciler,
- Kapı profilleri,
- A sütun,
- B sütun,
- C sütun,
- Tavan çerçeveleri,
- Kapı güçlendirmeleri,
- Kapı mekanizmaları,
- Süspansiyon başlık.

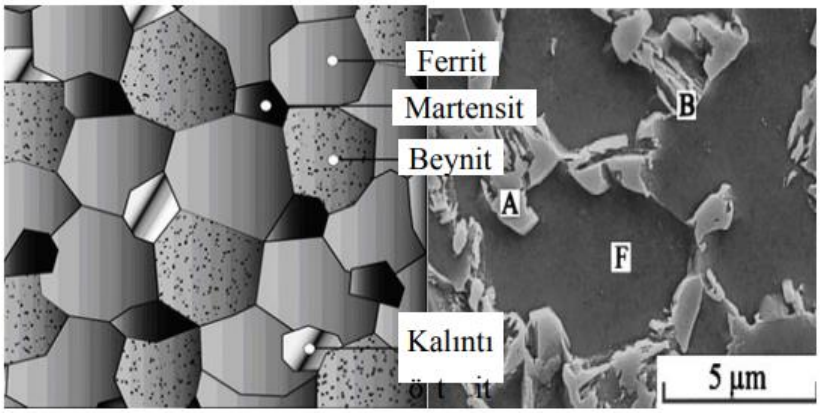
Geliştirilmiş yüksek mukavemetli çelikler, çekme dayanımları 700 MPa seviyelerinin üzerindeki çelik türleridir. Yüksek mukavemetli çeliklere göre çok daha yüksek mukavemet özelliklerine sahiptir. Ayrıca deformasyon sırasında enerji sönümleme özelliğine sahiptir. Bu çelikler, enerji sönümleme, yüksek mukavemet ve düşük ağırlık özelliklerinden dolayı otomobillerde, şasi ve tampon uygulamalarında kullanılmaktadır. Geliştirilmiş ileri teknoloji yüksek mukavemetli çelikler, ağır vasıta araçlarda, güvenlik gereksinimi getiren otomobil parçalarında, otomobil koltuklarında, ağır iş makinelerinde ve konteynerlerde kullanılmaktadır.

Ancak geliştirilmiş yüksek mukavemetli çelikler otomotiv parçalarının üretimi sırasında şekil verme, kesme, delme ve çekme prosesleri sırasında istenilen performansı

sağlayamamaktadır. Bu sebeple geliştirilmiş ileri teknoloji yüksek mukavemet çelik malzemeli otomobil parçalarının üretim proseslerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Otomotiv endüstrisinde kullanılan geliştirilmiş ileri teknoloji yüksek mukavemet çelik tipleri şu şekilde sınıflandırılmaktadır;

- YP ve MC - Mikro alaşımlanmış çelikler
- DP - Çift fazlı çelikler
- TRIP - Şekillendirme ile plastisitesi arttırılmış çelikler
- CP - Kompleks fazlı çelikler
- Mart – Martenzitik çelikler
- TWIP - İkizlenme ile plastisitesi arttırılmış çelikler

Otomobil parçalarında kullanılan TRIP çelikleri, üretim esnasında uygulanan çeşitli prosesler sonucu ostenit yapının martensit yapıya dönüşmesiyle sertleşme katsayısının artması ile homojen deformasyon bölgesinin genişletilmesidir. Özellikle ostenitik çeliklerde mukavemetle birlikte süneklik sağlar. TRIP çeliklerinin üretimi esnasında karbonun %0,3'e kadar yükseltilmesi ile mukavemet artışı sağlanmaktadır.



Şekil 3.5. TRIP çeliğinin mikro yapısı (Hayat, 2010)

Otomobil parçalarında son yıllarda kullanılmaya başlayan bir diğer çelik türü olan TWIP çelikleri, içerinde Mangan, Alüminyum ve Silisyum bileşenleri içeren östenitik fazda yüksek dayanımlı çeliklerdir. TWIP çeliğinin yüksek mukavemetli (~UTS 1000 MPa) olmasının sebebi ikizlenme yoluyla üretilmesinin sebebidir. Ayrıca süneklik

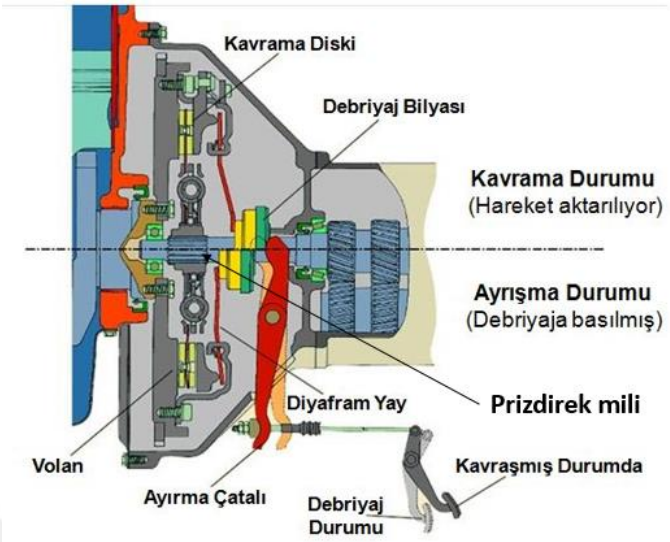
özelliklerinden ötürü yüksek miktarda (>40%) uzama değerine sahiptirler ve karmaşık geometrilerde kolayca şekillenebilirler. TWIP çelikleri, içerdikleri yüksek alaşım malzemeleri nedeniyle yüksek maliyetlidirler, kaynak prosesi sırasında zorluklar yaşanmaktadır ve şekillendirme prosesinden sonra yüksek miktarda geri esneme yapması dezavantajlarından bazılarıdır. Otomobillerde TWIP çelikleri, tampon, kapı, gövde destek saclarında tercih edilmektedir. TWIP çelikleri, hafiflik olmasından ötürü, karbondioksit salınımın ve yakıt tüketiminin düşürülmesinde büyük avantaj sağlar ve sahip oldukları yüksek süneklik ve dayanım ile araçta meydana gelecek olası darbelere karşı yüksek performans göstermektedir. TWIP çelikleri TRIP çeliklerine göre daha iyi uzama oranına sahiptir.

3.2.2 Debriyaj Baskı Kapağında Kullanılan Malzeme Tipleri

Günümüzde, debriyaj baskı komplesinde kullanılan baskı kapaklarının malzemesi DD13 ve DD14 kalite çelik malzeme olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu malzemelerin özelliği düşük karbonlu içeriği, yüksek mukavemet, kolay şekillendirme, kaynaklanabilirlik ve farklı sıcaklıklara (düşük ve yüksek) karşı dayanıklılık sağlamasından ötürü endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. DD13 ve DD14 malzemeler otomobilin birçok parçasında kullanılmaktadır. Bir otomobilin yapısal bölümlerinde ve motor sistemlerinde kullanılmaktadır. Şasi, gövde ve bunların çeşitli bileşenlerinde kullanılmaktadır. Düşük ve yüksek sıcaklıklara dayanıklılığı sebebiyle motor bileşenleri ve egzoz sistemlerinde kullanılmaktadır. DD13 ve DD14 çeliklerinin debriyaj komplesi kapağında kullanılmasının en önemli sebeplerinin başında, yüksek mukavemetli olmasından ötürü, zorlu çalışma koşullarında dayanımlarının iyi olması ve üründe istenilen performansı sağlamasıdır.

3.3 Otomobillerde Debriyaj Sistemi

Otomobillerde kuru kavramalı debriyaj sistemleri, motordan gelen hareketle, vites kutusu arasındaki bağlantıyı keserek vites değiştirmeyi sağlayan güç aktarma organlarından biridir. Şekil 3.6'da manuel şanzımanlara ait otomobil debriyaj sistemi gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Manuel şanzıman tipli otomobillerde debriyaj sistemi

Debriyaj sistemi aşağıdaki ürünlerden meydana gelmektedir;

- Volan
- Kavrama diski
- Debriyaj baskı komplesi
- Debriyaj bilyası
- Ayırma çatalı
- Debriyaj pedalı

Debriyaj sisteminde, volan ve diğer debriyaj sistemi elemanları motor krank mili ekseninde olacak şekilde, motor ve vites kutusu arasına bağlanır. Debriyaj sistemi, debriyaj pedalına basıldığında motor ve vites kutusu arasındaki bağlantıyı kesen sistemdir. Debriyaj pedalı mekanik veya hidrolik sistemlerden oluşabilir. Debriyaj pedalına basıldığında, motor ve vites kutusu arasındaki bağlantının kesilmesiyle vites değiştirilmesi gerçekleşir. Motor ve vites kutusu arasındaki bağlantının kesilmesiyle rahat bir vites geçişi sağlanmış olur. Kavrama durumundaki debriyaj sisteminde, motorla birlikte dönen volanın hareketi, debriyaj diskine, debriyaj diskinden de priz direkt miline aktarılır. Debriyaj diski, priz direkt miline dişliler vasıtasıyla bağlıdır.

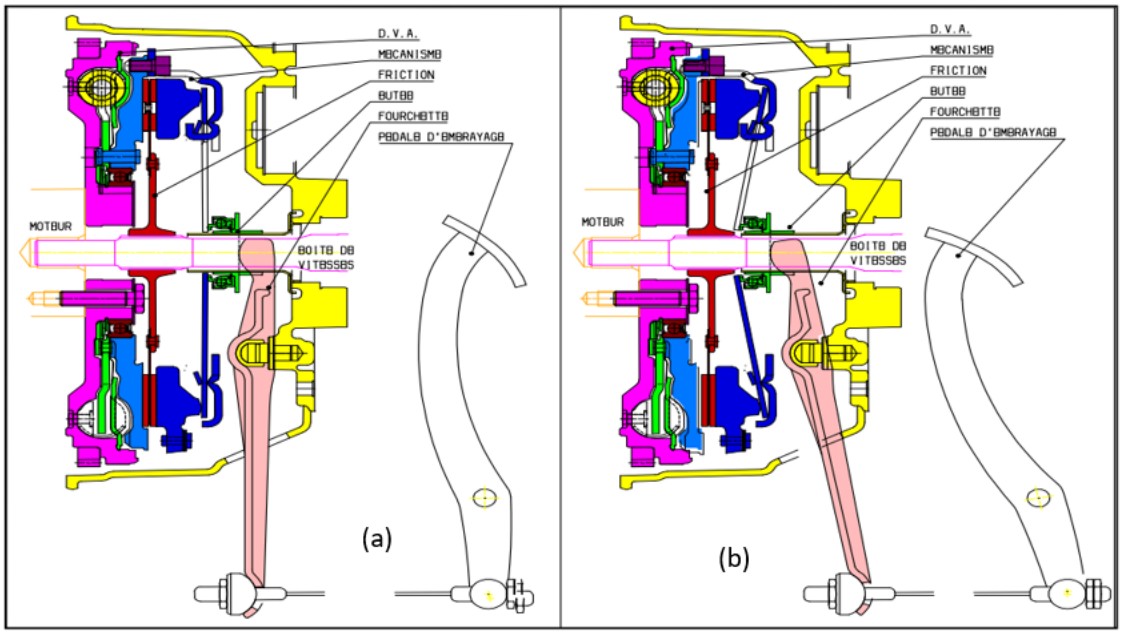
Debriyaj sisteminin bir diğer parçası olan volan, krank mili cıvataları vasıtasıyla krank miline bağladır. Volan, motorun çalışması sırasında, krank milinden gelen dönüş hareketini kavrama diskine, sonrasında da vites kutusu giriş miliyle vites kutusuna aktarır. Volan döküm malzemelerden yapılmaktadır ve çalışma koşullarına göre malzeme özellikleri değişmektedir. Volanın ağır olması sebebiyle motordan gelen dalgalanmaları azaltır. Volan, debriyaj sisteminde ayırma ve kavrama esnasında açığa çıkan enerjinin sönümlenmesini sağlar. Volanın dış bölgesinde volan dişlisi bulunur, volan dişlisi, marş motoru tarafından döndürülerek, aracın çalıştırılması esnasında motora ilk hareketi verir. Volan tipleri, tek kütleli ve çift kütleli olmak üzere iki şekildedir. Çift kütleli volanın yapısında titreşim sönümleme yayları bulunmaktadır ve birbirleriyle montajlı iki farklı kütleye sahiptir. Şekil 3.7'de çift kütleli volanın yapısı bulunmaktadır. Çift kütleli volanın amacı motordan gelen titreşimleri yaylar vasıtasıyla sönümleyerek, motor titreşimlerinin şanzımana aktarılmasını engellemek ve sürüş konforu sağlamaktır. Günümüzde daha küçük hacimli motorların kullanımından ötürü titreşimlerin azaltılması adına benzin ve dizel motorlarda çift kütleli volanın daha fazla tercih edilmektedir.



Şekil 3.7. Çift kütleli volanın yapısı (Pavlov, 2018)

Kavrama diski, volan ve debriyaj baskı komplesi arasında sıkıştırılarak diyafram yayının ileri itilip ve geri çekilmesi vasıtasıyla tork aktarımı yaparak motordan dişli kutusuna ve sonrasında da diğer aktarma organlarına motordan çıkan torkun aktarılmasını sağlar.

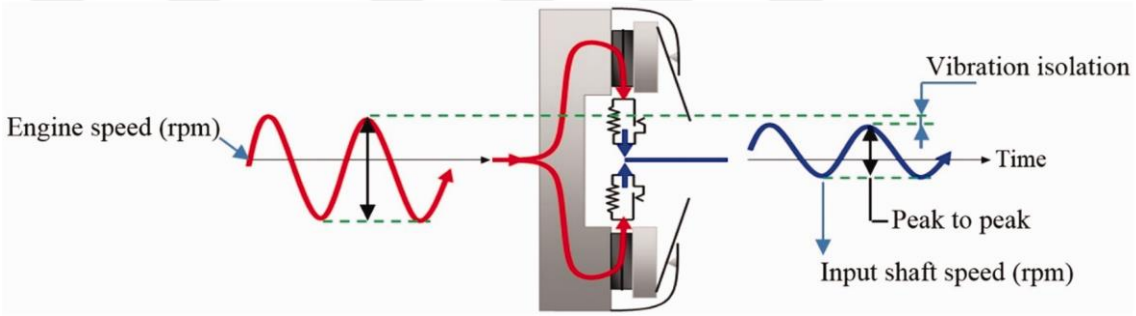
Debriyaj sisteminde kavrama durumu, sürücünün debriyaj pedalına basmadığı koşula denir. Debriyaj sistemi kavrama durumunda motor tarafından üretilen torku aktarma organlarına aktarmakla görevlidir. Debriyaj sisteminde ayırma durumu, sürücünün debriyaj pedalına bastığı koşula denir. Debriyaj sisteminde ayırma durumu, motorla vites kutusu arasındaki hareketin kesilmesi durumudur. Bu sayede vites geçişi kolaylıkla sağlanmaktadır. Şekil 3.8'de kavrama ve ayırma durumunda debriyaj sisteminin yapısı gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Kavrama (a) ve ayırma (b) durumunda debriyaj sisteminin yapısı (Sayaca 2008)

Debriyaj sisteminin görevleri kısaca aşağıdaki şekilde özetlenmektedir;

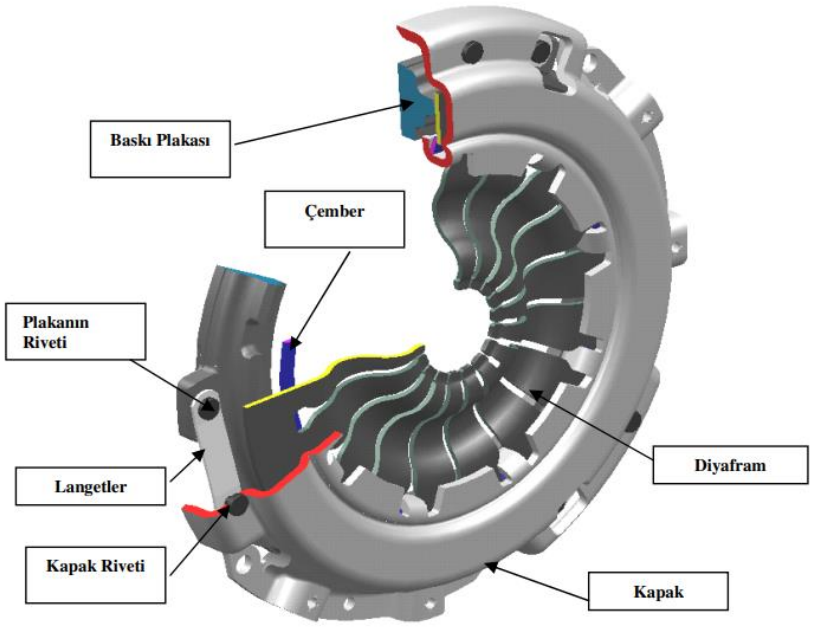
- Otomobilin ilk hareketi sırasında motorun hareketini tekerleklere ileterek taşıtın sarsıntısız olarak harekete geçişini sağlamak,
- Otomobil hareket halinde iken vites değiştirmek için motor ile vites kutusu arasındaki hareket iletimini kesmek,
- Gerekli hallerde motorla güç aktarma organlarının bağlantısını kesmek,
- Motordan gelen düzensiz hareketlerin ve titreşimlerin sönümlenmesini sağlamak ve yolcuların konforunu arttırmak(Şekil 3.9),
- Motordan gelen yüksek torkların sönümlemesini yaparak, vites kutusunu hasarlardan korumak.



Şekil 3.9. Debriyaj sisteminde titreşim sönümlenmesi (ZF Sachs, 2014)

3.3.1 Debriyaj Baskı Komplesinin Yapısı

Debriyaj baskı komplesi, baskı kapağında bağlama delikleri vasıtasıyla volana bağlıdır ve volanla birlikte dönmektedir. Debriyaj pedalına basılmasıyla birlikte, debriyaj bilyası diyaframı ileriye doğru iter ve bu esnada baskı plakası langetler vasıtasıyla geri çekilerek ayırma işlemi gerçekleşir. Bu sayede motorla vites kutusu arasındaki bağlantı kesilmiş olur. Baskı komplesinin tasarımı, otomobilin tipine, yakıt tipine ve motor torkuna göre değişkenlik göstermektedir. Şekil 3.10'de debriyaj baskı komplesinin yapısı bulunmaktadır.



Şekil 3.10. Debriyaj baskı komplesinin yapısı (Sayaca, 2008)

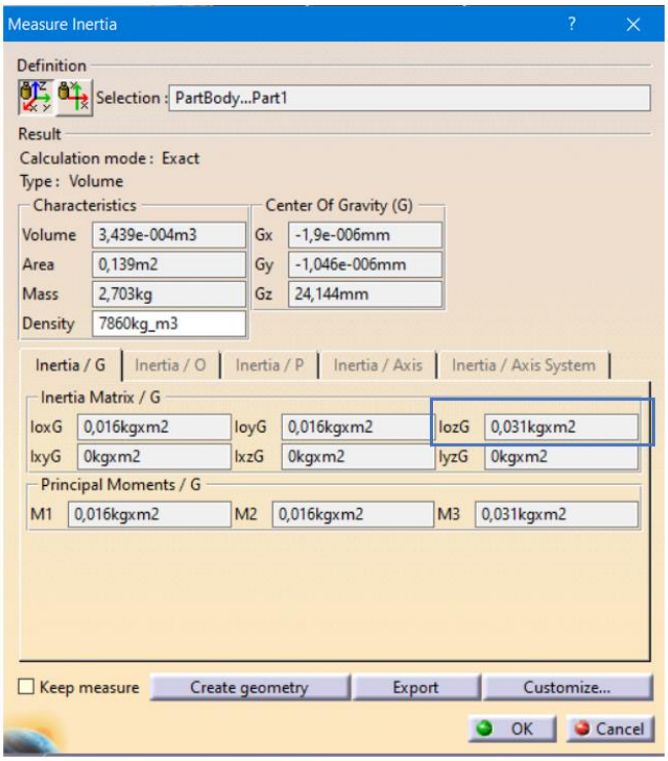
Baskı plakası enerji sönümleme özelliğinden ötürü, genellikle döküm malzemelerden yapılmaktadır. Ayrıca kavrama diskini, volanla birlikte sıkıştırarak tork aktarımı sağladığından dolayı, plakanın kavrama diski yüzeyinde istenilen sürtünme yüzey yapısını sağlaması beklenmektedir.

3.3.1.1 Debriyaj Kapağının Tasarım Kriterleri

Debriyaj komplesinde baskı kapağı tork iletiminde önemli bir fonksiyona sahip olmasından dolayı, tasarım kriterleri bu nokta dikkate alınarak yapılmaktadır. Debriyaj kapağı tasarımında dikkat edilmesi gereken en önemli noktalardan birisi kullanılan malzemenin özelliğidir. Debriyaj kapağında kullanılacak çelik malzemelerinin fonksiyonel gereklilikleri karşılaması beklenmektedir. Debriyaj kapağının rijitliği, motorda üretilen torkun iletimi açısından en önemli parametrelerin başında gelmektedir. Rijitlik değeri düşük olan baskı kapağında geri esnemeler fazla olacağından, debriyaj baskı komplesi, baskı yükünün düşmesinden dolayı, istenilen torku şanzıman sistemine aktaramaz ve araçta kaçırma problemleri gerçekleşir. Debriyaj kapağının rijitliği için bir kriter bulunmamaktadır. Rijitlik değeri ne kadar yüksek olursa, debriyaj komplesinin fonksiyonelliği o derece etkilenmez. Debriyaj kapağı rijitlik değeri sonlu elemanlar

yöntemiyle hesaplanabilir ve tezgah testleri ile bu sonuçlar karşılaştırılabilir. Aynı zamanda benzer fonksiyonel özelliğe sahip debriyaj baskı komplelerinin rijitlik değerleri ölçüt olarak kabul edilebilir. Debriyaj kapağı tasarımı yapılırken dikkat edilmesi gereken bir diğer ölçüt, ürünün yüksek kuvvet değerlerine maruz kalmasından dolayı, ömür ve dayanıklılık açısından uygun özelliğe sahip olmasıdır.

Debriyaj kapağı, debriyaj baskı komplesi komponentleri arasında en ağırlarından birisi olduğundan, tasarım sırasında hesaplanan eylemsizlik momenti değerinin gerçek parçadaki eylemsizlik değeri arasında uyum olması gerekmektedir. Eylemsizlik momenti birimi kilogram metrekaredir ve dönmekte olan bir cismin, dönme hareketine karşı durmasına eylemsizlik momenti denir. Eylemsizlik değerinin uygun olmadığı durumlarda araçta titreşim veya ses problemleri meydana gelebilmektedir. Şekil 3.11'de CATIA programında 3D modeli oluşturulan DD13 malzemeli debriyaj kapağının eylemsizlik momenti gösterilmektedir. Eylemsizlik momenti için kabul kriteri olmayıp debriyaj komplesinin toplam eylemsizlik momenti dikkate alınarak yapılan araç titreşim ve sönümleme analizlerinin sonuçlarıyla ilişkilendirilebilir.



Şekil 3.11. DD13 malzemeli debriyaj kapağının eylemsizlik momenti

Debriyaj kapağında genelde yüksek mukavemetli malzemeler kullanıldığından, ürün ömür testleri sırasında debriyaj kapağında kırık yaşanmamaktadır. Ancak üretim prosesi esnasında malzemenin yırtılması kaynaklı kırık veya çatlaklar yaşanabilmektedir. Şekil 3.12'de otomotiv süspansiyon sisteminde kullanılan DD13 malzemeli salıncak parçasının üretimi esnasından oluşan yırtılma gösterilmiştir. Debriyaj kapağı formlu bir yapıya sahip olduğundan, tasarım sırasında üretim prosesleri açısından da dikkate alınması gerekmektedir. Kullanılan malzemenin gerekli uzama karakteristiklerini sağlaması gerekmektedir. Çizelge 3.1'de bu tez çalışmasında kullanılan DD13 ve TWIP çeliklerinin mekanik özellikleri verilmiştir.



Şekil 3.12. DD13 malzeme salıncak parçasının üretimi esnasından oluşan yırtılma (Tuyan, 2021)

Çizelge 3.1. DD13 ve TWIP çeliklerinin mekanik özellikleri

	Akma Dayanımı (MPa)	**Çekme Gerilmesi (MPa)**	**Uzama (%)**	**Young Modulü (GPa)**	**Poisson Oranı**
DD13	310	400	33	210	0.3
TWIP	501	1139	45.7	165.7	0.316

Günümüzde yaygın olarak kullanılan debriyaj baskı komplesinde kullanılan baskı kapaklarının malzemesi DD13 ve DD14 kalite çelik malzeme olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Genel olarak debriyaj kapağı tasarımında dikkat edilmesi gereken noktaları özetleyecek olursak;

- Gerekli rijitlik değerine sahip olmak ve kuvvete maruz kaldığında geri esnemeleri engellemek,
- Ömür ve dayanıklılık açısından istenilen performansı karşılaması,
- Baskı komplesinin tork aktarımı sırasında istenilen fonksiyonelliği karşılaması,
- Yüksek radyal kuvvetlere karşı dayanım sağlaması,
- Ürün validasyon testlerinde gerekli standartları ve müşteri taleplerinin karşılaması,
- Baskı komplesinin volana montajı için uygun kriterleri sağlaması,
- Hesaplanan eylemsizlik kuvvetinin gerçek parça ölçümleri ile uyumlu olmasıdır.

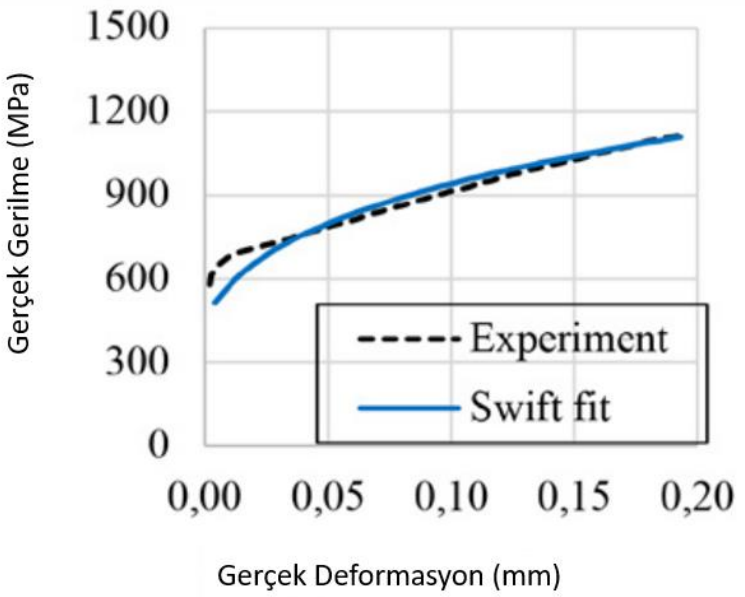
3.3.1.2 Debriyaj Baskı Kapağının Tasarım Doğrulaması ve Test Prosedürleri

Ürün tasarımı yapılırken birçok farklı nokta dikkate alınmaktadır. Tüm tasarım koşulları dikkate alındıktan sonra üretilen ürünün testleri yapılarak, ürün doğrulama süreçleri tamamlanmaktadır. Ürün doğrulama aşamasında, sistemin ve ürünün çalışma koşulları dikkate alınır, son kullanıcının ürünü kullanma şartları dikkate alınır ve sistemin çalışma süresi içerisinde tüm fonksiyonel gerekliliklerini sağladığının kontrolü yapılır. Şekil 3.13'de ürün tasarımı esnasında dikkate alınan aşamalar belirtilmiştir.

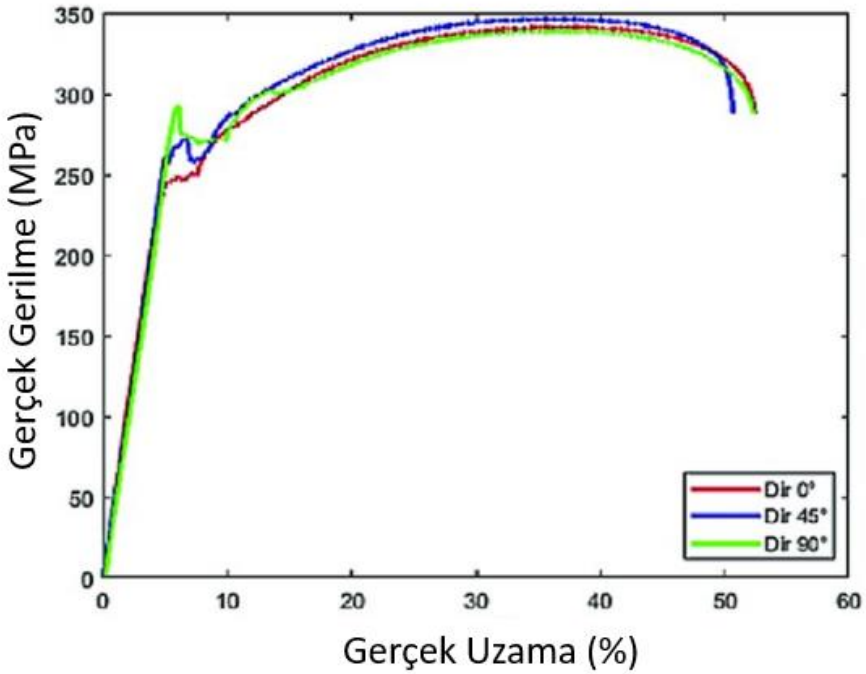


Şekil 3.13. Ürün geliştirme süreçleri (Anonim)

Tasarım, sonlu elemanlar analizleri, fonksiyonel tezgâh testleri ve gerçek kullanım testleri, ürünün doğrulamaları arasındadır. Malzeme sınırları dikkate alınarak yapılan analizlerde belirli bir güvenlik faktörü dikkate alınmaktadır. Debriyaj kapağında kullanılan çeliklerin malzeme yapıları doğrusal olmayan malzeme özelliğine sahip olup, dayanıklılık ve ömür açısından debriyaj kapağında oluşabilecek kırık ve çatlakların önlenmesi için detaylı incelenmektedir. Şekil 3.14 ve Şekil 3.15'de analiz çalışmasında kullanılan TWIP ve DD13 çeliklerinin doğrusal olmayan gerçek uzama eğrisi gösterilmiştir.

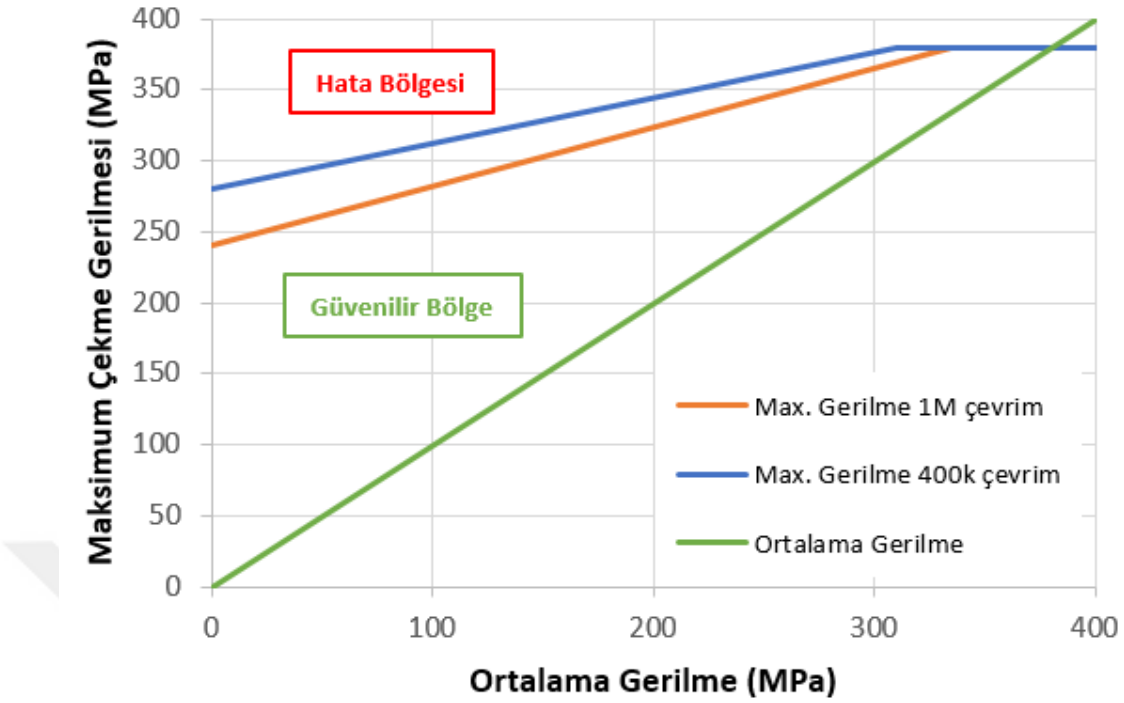


Şekil 3.14. TWIP çeliğinin gerçek uzama eğrisi (Akşen, Esener ve Firat, 2024)



Şekil 3.15. DD13 çeliğinin gerçek uzama eğrisi (Said ve Wali, 2022)

Debriyaj kapağı tasarımı sırasında yorulma dayanımı için dikkate alınan kıstas Smith-Goodman eğrisidir. Şekilde 3.16'da DD13 malzeme için Smith-Goodman eğrisi gösterilmiştir.



Şekil 3.16. Örnek Smith-Goodman diyagramı

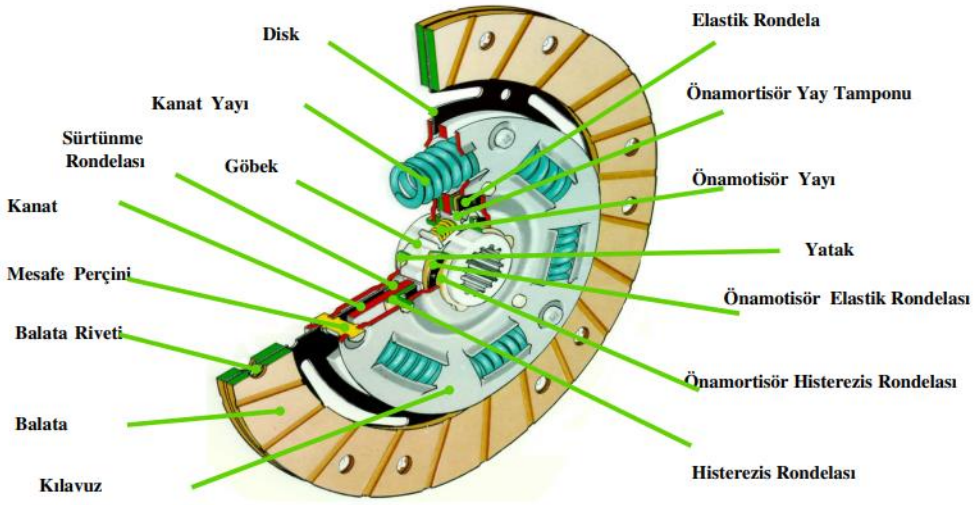
Debriyaj kapakları için genel olarak aşağıda belirtilen testler dikkate alınmaktadır;

- Eksenel dayanıklılık testleri: Belirli bir test çevrimi sayısında, debriyaj baskı komplesinin ayırma ve kavrama sırasındaki debriyaj baskı komplesinin hareketlerini amaçlayan statik fazda eksenel yorulma testidir. Bu testte debriyaj baskı komplesi ile birlikte debriyaj kapağının dayanıklılığı kontrol edilmektedir. Bu testler farklı yük şartları altında, farklı frekansa bağlı, farklı sıcaklıkta ve farklı fonksiyonel koşullarda yapılabilmektedir. Test sonrasında üründe, kırık ve çatlak kontrolünün yanı sıra bazı fonksiyonel özelliklerin karşılanması beklenmektedir.
- Patlatma testleri: Debriyaj baskı komplesinin ayırma ve kavrama koşullarındaki mekanik mukavemetinin, motor hızı ve güvenlik katsayına bağlı olarak, dinamik koşullarda patlatma testi doğrulamasıdır. Bu testte yüksek açısal hız değerinde çalışan debriyaj baskı komplesi ile birlikte debriyaj kapağının dayanıklılığı kontrol edilmektedir. Test sonrasında dikkate alınan hız değerine göre, kırık, çatlak kontrolünün yanında fonksiyonel gereklilikler kontrol edilmektedir.

- Rijitlik testi: Debriyaj baskı kapağının, mukavemetini ve eksenel stiffness özelliklerini ölçmek için yapılan bir testtir. Test sonucunda özel bir kriter bulunmamakla birlikte, ölçüm sonuçları FEA sonuçları ile birlikte karşılaştırılabilir.

3.3.2 Debriyaj Kavrama Diskinin Yapısı

Kavrama diski, volan ve debriyaj baskı komplesi arasında kavrama durumunda sıkışmış haldedir. Vites kutusu mili üzerinde serbest durumdadır ve vites kutusu mili ile birlikte dönmektedir. Kavrama diskinin iki yüzeyinde de kompozit malzemeden üretilmiş balatalar bulunmaktadır. Balataların sürtünme özelliği sayesinde motordan çıkan hareketin tekerleklere aktarılması sağlanır. Debriyaj diskinin bir diğer yapısı da sönümleme yaylarıdır. Sönümleme yayları vasıtasıyla araçtan ya da motordan gelen ani torkların ve yüksek titreşimlerin sönümlenerek sürüş konforu sağlanmaktadır. Şekil 3.17'de sönümleme yaya sahip debriyaj kavrama diskinin yapısı gösterilmiştir. Çift kütleli volana sahip bazı araçlarda düşük maliyet sağlanması amacıyla sönümleme yayı olmayan rijit tip kavrama diskleri kullanılmaktadır.



Şekil 3.17. Debriyaj kavrama diskinin yapısı (Sayaca 2008)

Debriyaj kavrama diskinin görevleri aşağıdaki şekilde özetlenebilir;

- Balataların sürtünme özelliği sayesinde, kavrama noktasında motordan gelen torku iletmek,
- Motor torkunu, diskin yastıklama yayı özelliği sayesinde ayrıma ve kavrama esnasında kademeli olarak şanzımana ileterek sürüş konforu sağlamak,
- Motorun çalışması esnasında, motorun oluşturduğu düzensiz hareketleri, sönümleme yayları ve histerezis parçaları ile sönümleyerek sürüş konforu sağlamak.

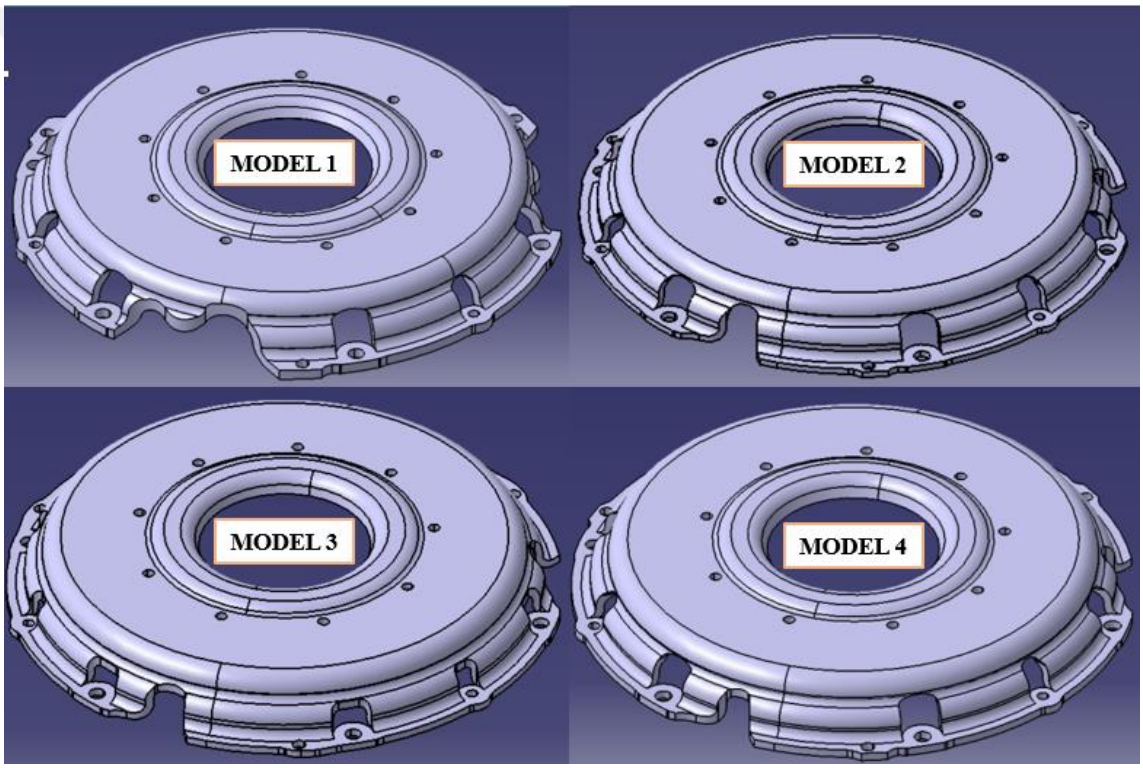
3.4 Debriyaj Kapağının Modellenmesi ve Analizleri

Bu bölümde CATIA V5 programında, oluşturulan farklı sac kalınlığında, DD13 ve TWIP çeliğine sahip debriyaj kapağı modelleri incelenmiştir. Oluşturulan bu modellerin ANSYS 2020 programında, yapısal analizleri sırasında gerçek çalışma koşulları dikkate alınarak bilgiler verilmiştir. Doğrusal olmayan malzeme özelliğine sahip DD13 ve TWIP çeliği malzemelerinin yapısal analizi sırasında bu yapı dikkate alınmıştır. Farklı sac kalınlığında TWIP çeliğine sahip debriyaj kapaklarının rijitlik analizleri, DD13 malzemeli seri uygulama debriyaj kapağı sonuçlarına göre yaklaşımda bulunarak incelenmiştir. Bu amaçla 3D modelleri CATIA programında oluşturulan çeşitli modellerin analizler ANSYS 2020 programında yapılmıştır.

CATIA V5 programında DD13 ve TWIP çeliğine sahip, farklı sac kalınlıklarında debriyaj kapağı tasarımı yapılarak 3D modeller oluşturulmuştur. Çizelge 3.2'de CATIA V5 programında oluşturulan 3D modellerin malzeme tipi ve sac kalınlıkları gösterilmiştir. Farklı sac kalınlığında TWIP çelik malzemeye sahip tasarımların oluşturulma sebebi optimum ağırlık ve optimum rijitlik değerlerini yakalamaktır. Şekil 3.18'de CATIA V5 programında oluşturulan modellerin görselleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. CATIA V5 Programında Oluşturulan Modellerin Özellikleri

Model No	Malzeme	Sac Kalınlığı (mm)
Model 1	DD13	5,5 mm
Model 2	TWIP	3,5 mm
Model 3	TWIP	4 mm
Model 4	TWIP	4,5 mm



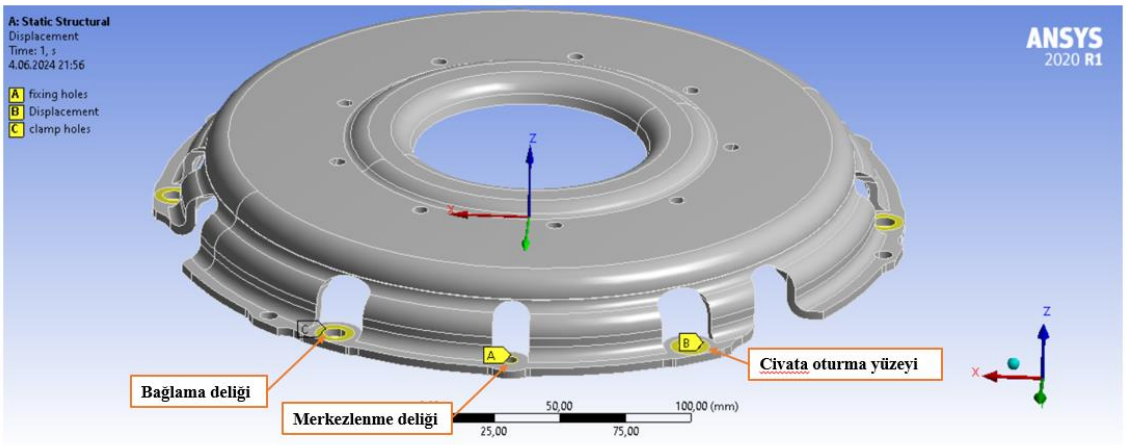
Şekil 3.18. CATIA V5 programında oluşturulan modeller

Çalışma sırasında dikkate alınan malzemelerin çekme gerilmeleri, DD13 çeliği için 400 MPa, TWIP çeliği için 1000 MPa olarak dikkate alınmıştır. Birbirine yakın yoğunluk özelliğine sahip bu iki malzeme için, DD13 çeliği için yoğunluk 7850 $kg.m^{-3}$, TWIP çeliği için yoğunluk 7467 $kg.m^{-3}$ olarak alınmıştır. Çizelge 3.3'de oluşturulan modellerin ağırlıkları karşılaştırılmıştır.

Çizelge 3.3. CATIA V5 Programında Oluşturulan Modellerin Özellikleri

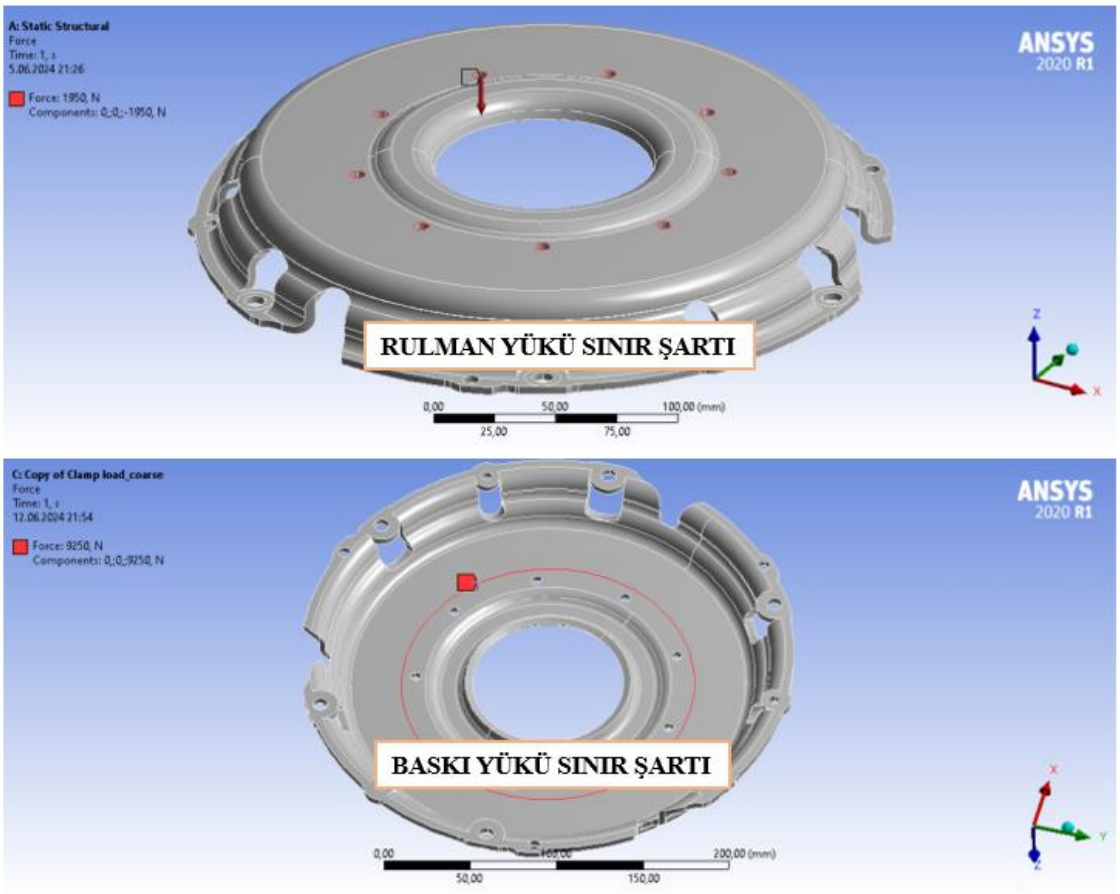
Model No	Malzeme	Sac Kalınlığı (mm)	Ağırlık (kg)
Model 1	DD13	5,5 mm	2,703 kg
Model 2	TWIP	3,5 mm	1,79 kg
Model 3	TWIP	4 mm	2,075 kg
Model 4	TWIP	4,5 mm	2,272 kg

Analiz esnasında, debriyaj kapağı volan bağlama delikleri, merkezlenme delikleri ve cıvata oturma yüzeylerinden sabitlenerek, gerçek çalışma koşulları dikkate alınarak sınır koşulları belirlenmiştir. Debriyaj baskı komplesi çalışması esnasında, sistemde oluşan kuvvete tepki olarak bağlama delikleri, merkezlenme delikleri ve cıvata oturma yüzeylerinde yüksek gerilmelere maruz kalmaktadır. Şekil 3.19'da ANSYS programında oluşturulan statik yapı gösterilmiştir.



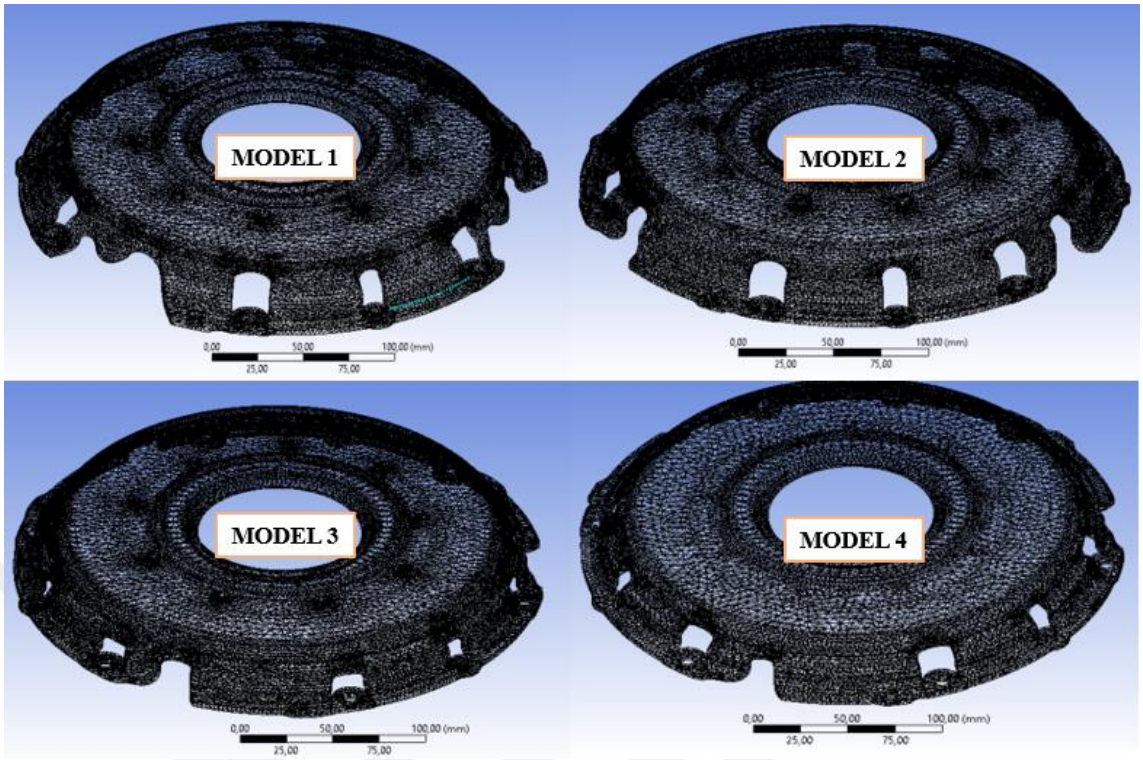
Şekil 3.19. ANSYS programında oluşturulan statik yapı

Debriyaj baskı komplesi çalışması esnasında iki farklı yüke, yüksek miktarda maruz kalmaktadır. Analiz esnasında, rulman yükü ve baskı yükü olarak iki farklı koşullarda analiz yapılmıştır. Rulman yükü –z yönünde 1950 N ve baskı yükü +z yönünde 9250 N olarak tanımlanmıştır. Şekil 3.20'de rulman ve baskı yükü için tanımlanan sınır şartları gösterilmiştir.



Şekil 3.20. Rulman yükü ve baskı yükü şartları

Farklı sac kalınlığa ve farklı malzemeye sahip debriyaj kapağının rijitlik ve gerilme analizi için 2,5 mm boyutunda eşkenar üçgen yapısına elemanlarla modellenmiştir. Şekil 3.21'de ANSYS programında mesh ataması yapılan modeller gösterilmiştir. Çizelge 3.4'te mesh ataması yapılan modellerin eleman ve düğüm (node) sayıları gösterilmiştir.



Şekil 3.21. ANSYS mesh ataması yapılan modeller

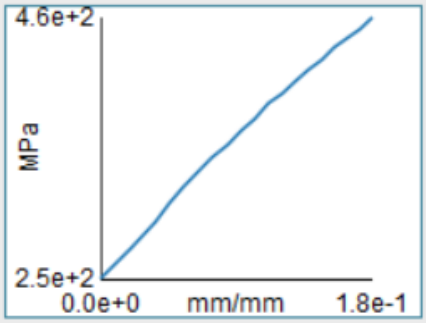
Çizelge 3.4. ANSYS programındaki modellerin eleman ve düğüm (node) sayıları

Model No	Malzeme	Sac Kalınlığı (mm)	Eleman Sayısı	Düğüm Sayısı
Model 1	DD13	5,5 mm	125375	223650
Model 2	TWIP	3,5 mm	120901	219137
Model 3	TWIP	4 mm	126712	228817
Model 4	TWIP	4,5 mm	124272	224686

Doğrusal olmayan yapıya sahip DD13 ve TWIP çelikleri, deformasyon arttıkça farklı gerinim değerleri göstermektedir. Şekil 3.22 ve Şekil 3.23'de ANSYS programında DD13 ve TWIP çelikleri için tanımlanan mekanik özellikler ve doğrusal olmayan malzeme davranışları gösterilmiştir.

Structural

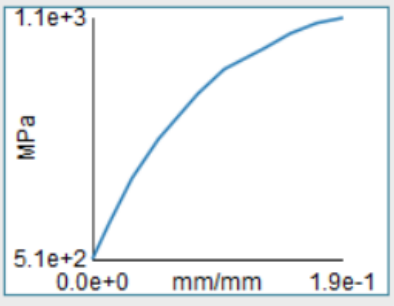
Isotropic Elasticity

Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio
Young's Modulus	2,1e+05 MPa
Poisson's Ratio	0,30000
Bulk Modulus	1,75e+05 MPa
Shear Modulus	80769 MPa
Multilinear Isotropic Hardening	

Şekil 3.22. ANSYS'de tanımlanan DD13 malzeme mekanik özellikleri (Akşen, Esener ve Firat, 2024)

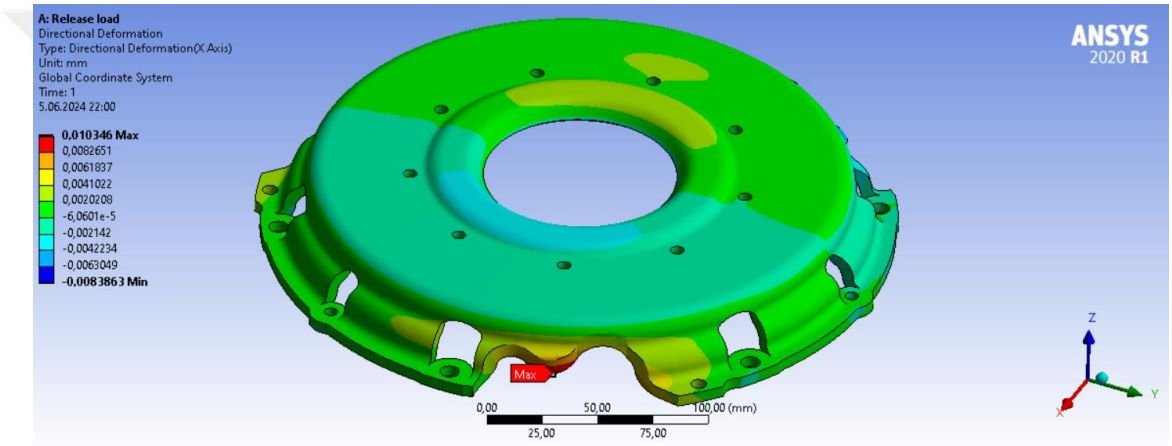
Structural

Isotropic Elasticity

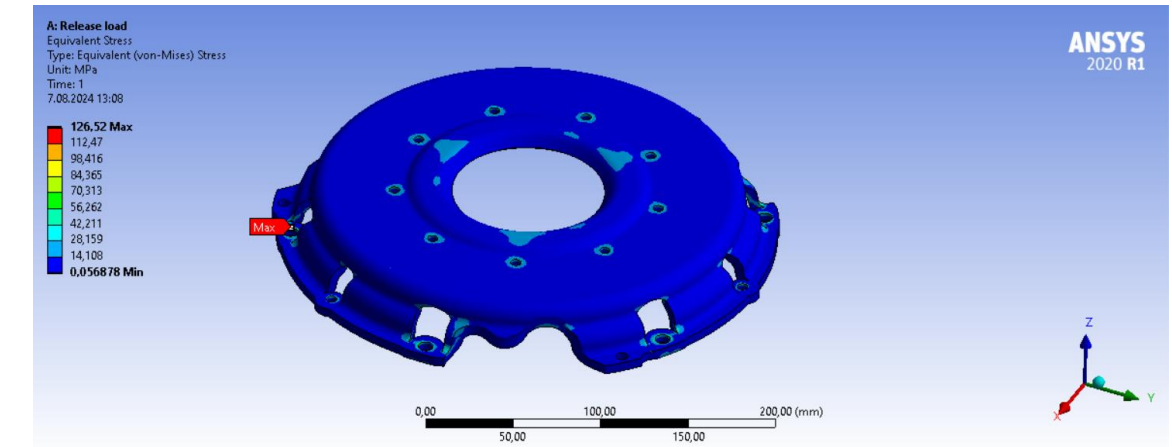
Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio
Young's Modulus	1,657e+05 MPa
Poisson's Ratio	0,31600
Bulk Modulus	1,5009e+05 MPa
Shear Modulus	62956 MPa
Multilinear Isotropic Hardening	

Şekil 3.23. ANSYS'de tanımlanan TWIP malzeme mekanik özellikleri (Said ve Wali, 2022)

Analiz sonucunda rijitlik değerinin hesabı için deformasyon değeri ve ürüne etki eden kuvvetler raporlanmıştır. Rijitlik değeri birim miktarda etki eden kuvvetin deformasyon miktarına bölünerek bulunmaktadır. Şekil 3.24'de DD13 malzemeli ve 5,5 mm sac kalınlığındaki debriyaj kapağının rulman yükü altında oluşan deformasyon miktarı gösterilmiştir. Analiz sonucunda, debriyaj kapağında maksimum rulman yükü sınır şartları altında 0,01 mm deformasyon meydana gelmiştir. Şekil 3.25'te DD13 malzemeli ve 5,5 mm sac kalınlığındaki debriyaj kapağının rulman yükü altında oluşan gerilme miktarı gösterilmiştir. Analiz sonucunda, debriyaj kapağında maksimum rulman yükü sınır şartları altında 126,52 MPa gerilme meydana gelmiştir.



Şekil 3.24. DD13 malzemeli ve 5,5 mm sac kalınlığındaki debriyaj kapağının rulman yükü altında oluşan deformasyon miktarı



Şekil 3.25. DD13 malzemeli ve 5,5 mm sac kalınlığındaki debriyaj kapağının rulman yükü altında oluşan gerilme miktarı

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

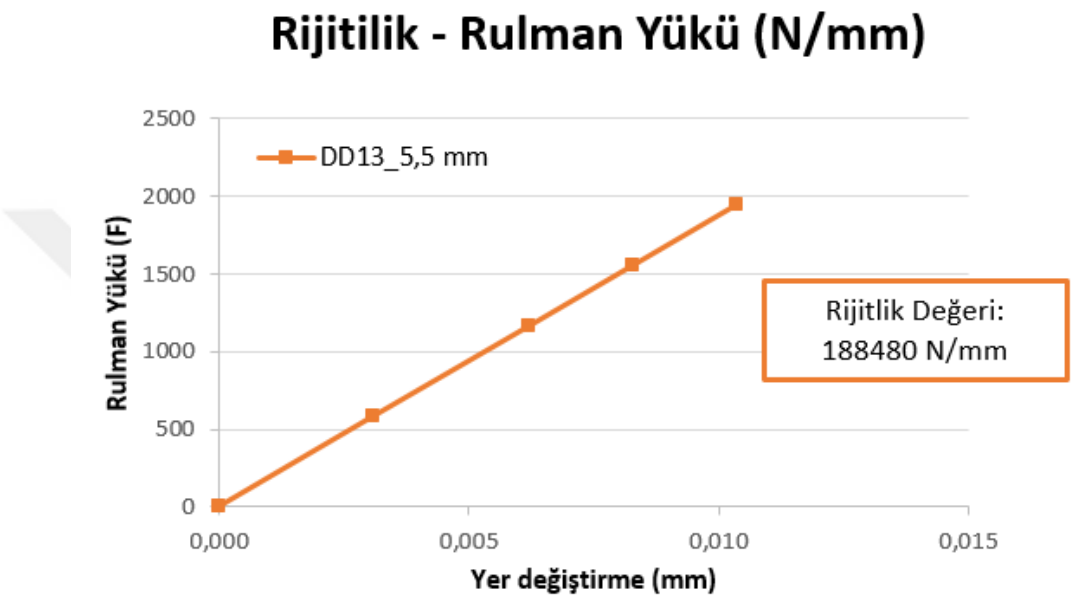
Bu bölümde analiz sonuçları farklı sac kalınlığında malzemeler ile incelenerek, elde edilen sonuçlar değerlendirilerek ve çıkarımlarda bulunulmuştur. DD13 ve TWIP çeliği malzemelerinin analizleri gerçek kullanım koşulları dikkate alınarak oluşturulmuştur. Doğrusal olmayan malzeme özelliğine sahip bu iki malzemenin analizi sırasında da bu yapı dikkate alınmıştır. Öncelikle farklı sac kalınlığında, DD13 ve TWIP çeliğine sahip debriyaj kapağı tasarımları CATIA V5 programında oluşturulmuştur. Sonrasında oluşturulan 3D modellerin yapısal analizleri ANSYS 2020 programında, gerçek çalışma koşulları dikkate alınarak yapılmıştır. Seri uygulamalarda kullanılan DD13 malzemeli debriyaj kapağı ile TWIP çeliğine sahip debriyaj kapağının rijitlik analizleri, optimum tasarım seviyesini yakalamak amacıyla farklı sac kalınlıklarında analizler yapılarak, sonuçlar incelenmiştir. Rijitlik sonuçları, seri uygulamalarda kullanılan DD13 malzemeli debriyaj kapağı tasarımına göre karşılaştırılmıştır. Ayrıca sistemin çalışması esnasında debriyaj kapağında ortaya çıkan gerilme seviyelerinin analizi Smith-Goodman eğrilerine göre incelenmiştir. Yapılan analizlerle birlikte, baz olarak dikkate alınan seri uygulama DD13 malzeme debriyaj kapağının belirgin davranışları incelenip, tasarım optimum tasarım ve ağırlık azalımı ile oluşturulan optimum tasarım TWIP çeliği debriyaj kapağının fonksiyonel gereklilikleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

ANSYS programında rijitlik ve gerilme analizleri farklı sac kalınlığı ve farklı saç malzemelerinde yapılmıştır. Debriyaj kapağı tasarımında rijitlik ve gerilme analizi modellemede en önemli noktalardan birisidir.

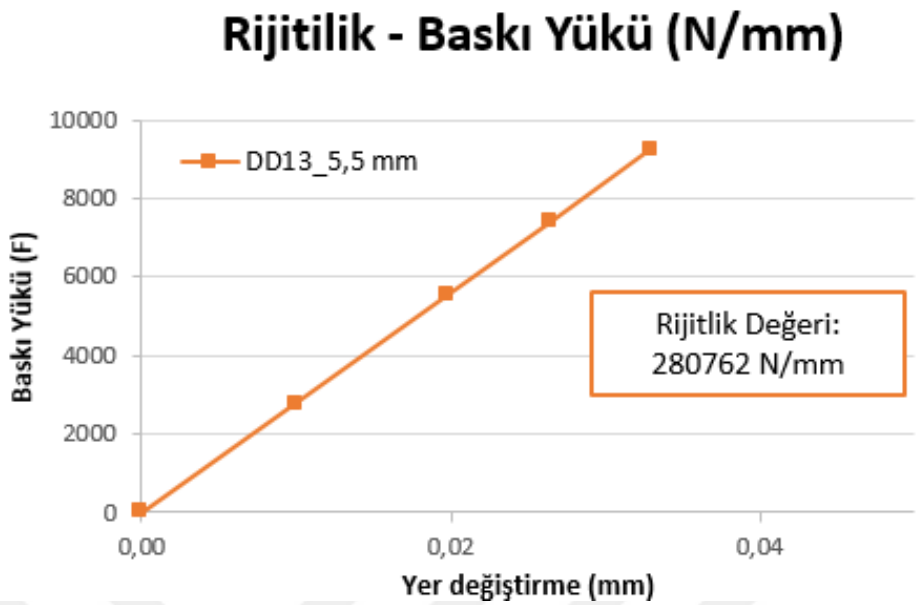
4.1 ANSYS Programında Yük Altında Rijitlik Analizleri

Bu bölümde farklı malzeme ve farklı sac kalınlığına sahip debriyaj kapaklarının yük altında deformasyon sonuçları gösterilmiştir ve karşılaştırılmıştır.

DD13 malzemeli ve 5,5 mm sac kalınlığına sahip debriyaj kapağının yüke bağlı deformasyon sonuçları rulman yükü ve baskı yükü koşullarına göre gösterilmiştir. Elde edilen bu değerler diğer modellerin sonuçları ile karşılaştırılacaktır. Şekil 4.1'de oluşturulan modelin rulman yükü altında oluşan deformasyon miktarı gösterilmiştir. Şekil 4.2'de oluşturulan modelin baskı yükü altında oluşan deformasyon miktarı gösterilmiştir.

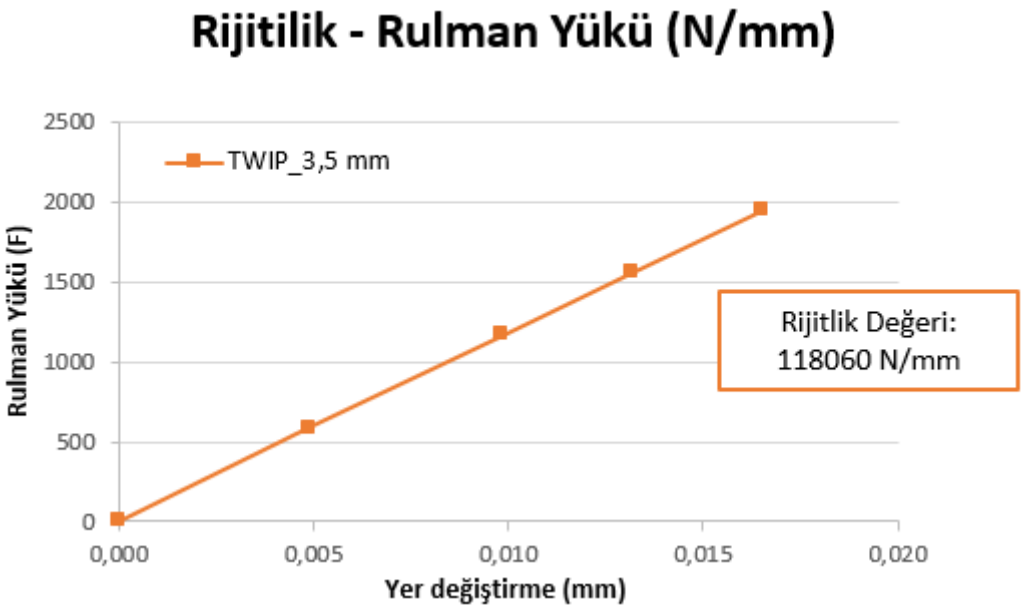


Şekil 4.1. DD13 malzeme ve 5,5 mm sac kalınlığında debriyaj kapağının rulman yükü altında deformasyon sonuçları

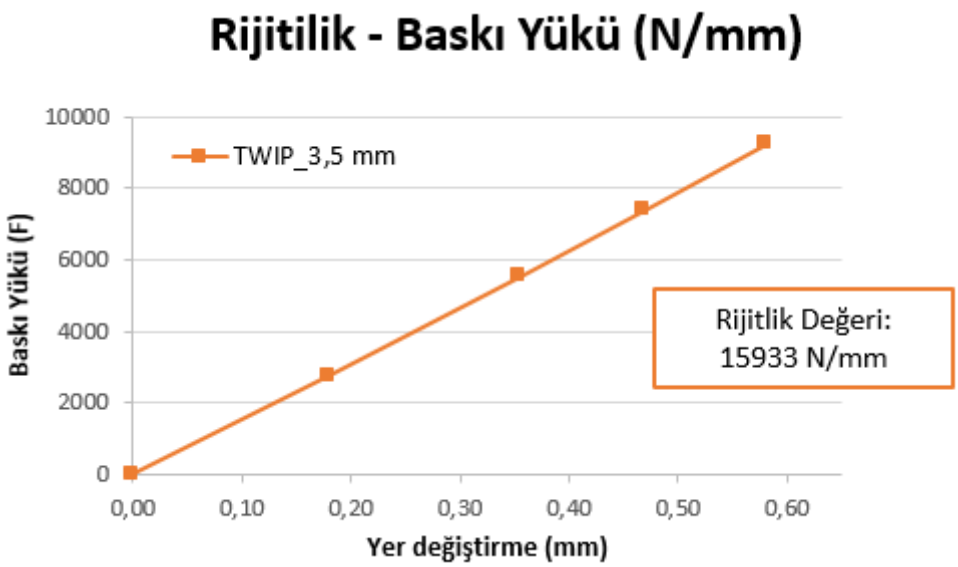


Şekil 4.2. DD13 malzeme ve 5,5 mm sac kalınlığında debriyaj kapağının baskı yükü altında deformasyon sonuçları

TWIP malzemeli ve 3,5 mm sac kalınlığına sahip debriyaj kapağının yüke bağlı deformasyon sonuçları rulman yükü ve baskı yükü koşullarına göre gösterilmiştir. Şekil 4.3'de oluşturulan modelin rulman yükü altında oluşan deformasyon miktarı gösterilmiştir. Şekil 4.4'de oluşturulan modelin baskı yükü altında oluşan deformasyon miktarı gösterilmiştir.

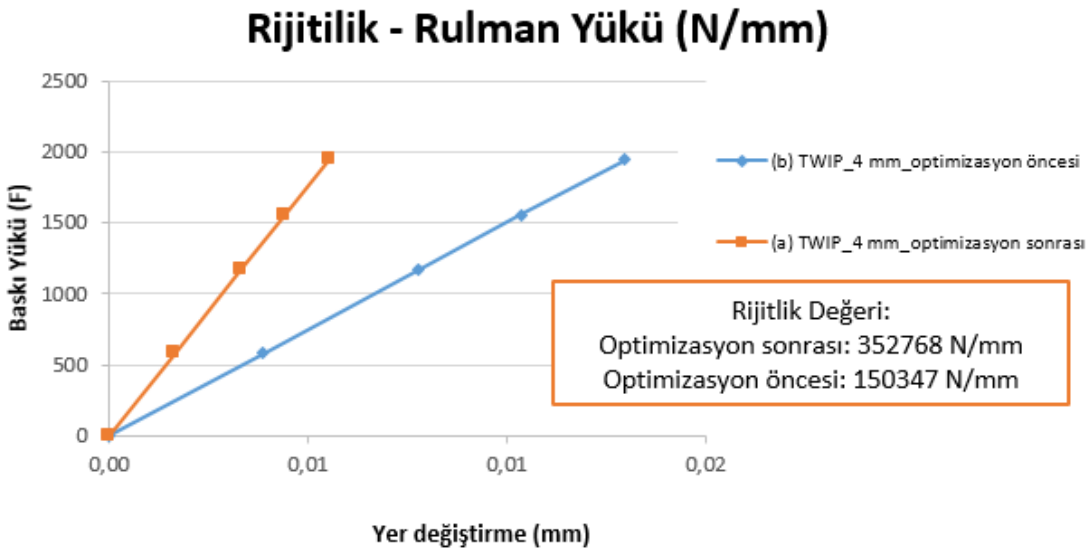


Şekil 4.3. TWIP malzeme ve 3,5 mm sac kalınlığında debriyaj kapağının rulman yükü altında deformasyon sonuçları

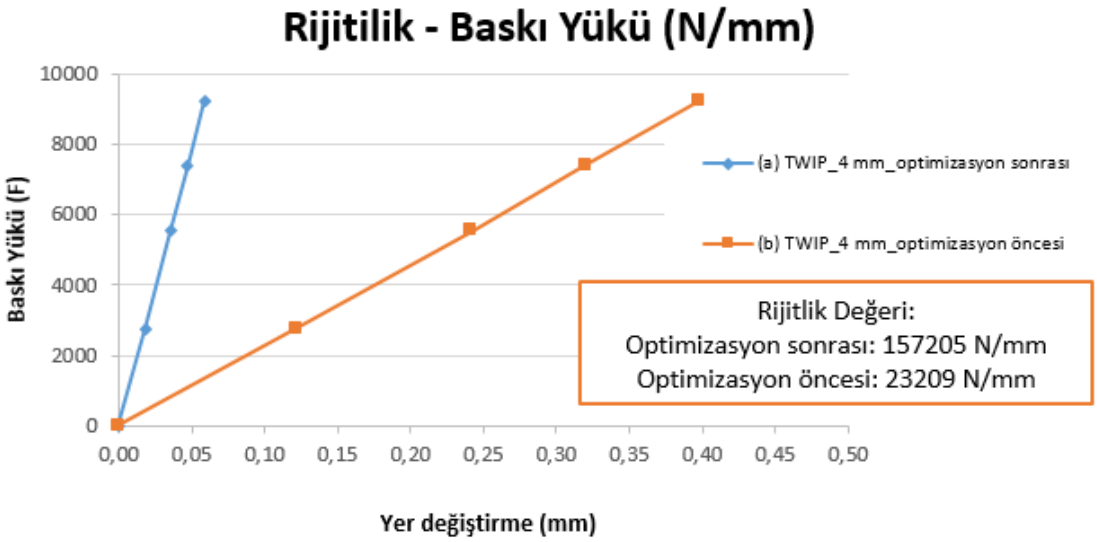


Şekil 4.4. TWIP malzeme ve 3,5 mm sac kalınlığında debriyaj kapağının baskı yükü altında deformasyon sonuçları

TWIP malzemeli ve 4 mm sac kalınlığına sahip debriyaj kapağının yüke bağlı deformasyon sonuçları rulman yükü ve baskı yükü koşullarına göre gösterilmiştir. Bu modele optimum tasarım yapılarak, iyileştirmeler gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.5'de oluşturulan ilk modelin ve optimum tasarımı sonrası oluşturulan modelin rulman yükü altında oluşan deformasyon miktarı gösterilmiştir. Şekil 4.6'da oluşturulan ilk modelin ve optimum tasarımı sonrası oluşturulan modelin baskı yükü altında oluşan deformasyon miktarı gösterilmiştir. Optimum tasarım, debriyaj kapağının iç boğaz bölgesindeki yükseklik artırışı ile yapılmıştır.

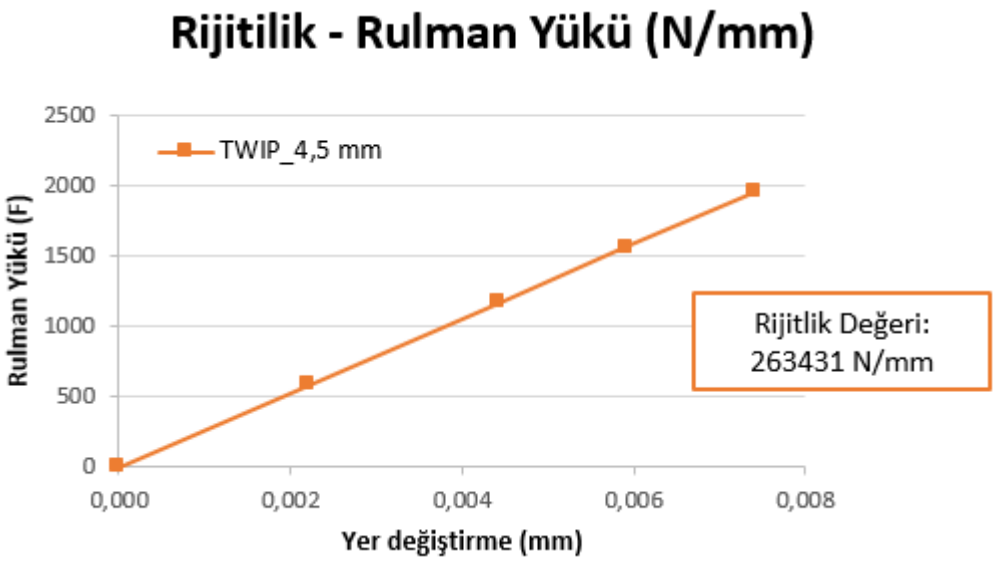


Şekil 4.5. TWIP malzeme ve 4 mm sac kalınlığında debriyaj kapağının rulman yükü altında deformasyon sonuçları, (a) optimum tasarım sonrası, (b) optimum tasarım öncesi

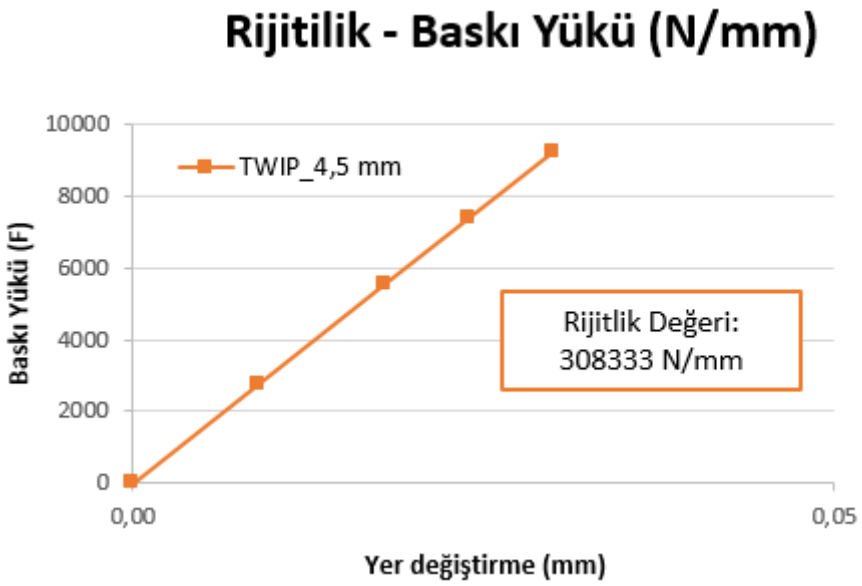


Şekil 4.6. TWIP malzeme ve 4 mm sac kalınlığında debriyaj kapağının baskı yükü altında deformasyon sonuçları, (a) optimum tasarım sonrası, (b) optimum tasarım öncesi

TWIP malzemeli ve 4,5 mm sac kalınlığına sahip debriyaj kapağının yüke bağlı deformasyon sonuçları rulman yükü ve baskı yükü koşullarına göre gösterilmiştir. Şekil 4.7'de oluşturulan modelin rulman yükü altında oluşan deformasyon miktarı gösterilmiştir. Şekil 4.8'da oluşturulan modelin baskı yükü altında oluşan deformasyon miktarı gösterilmiştir.



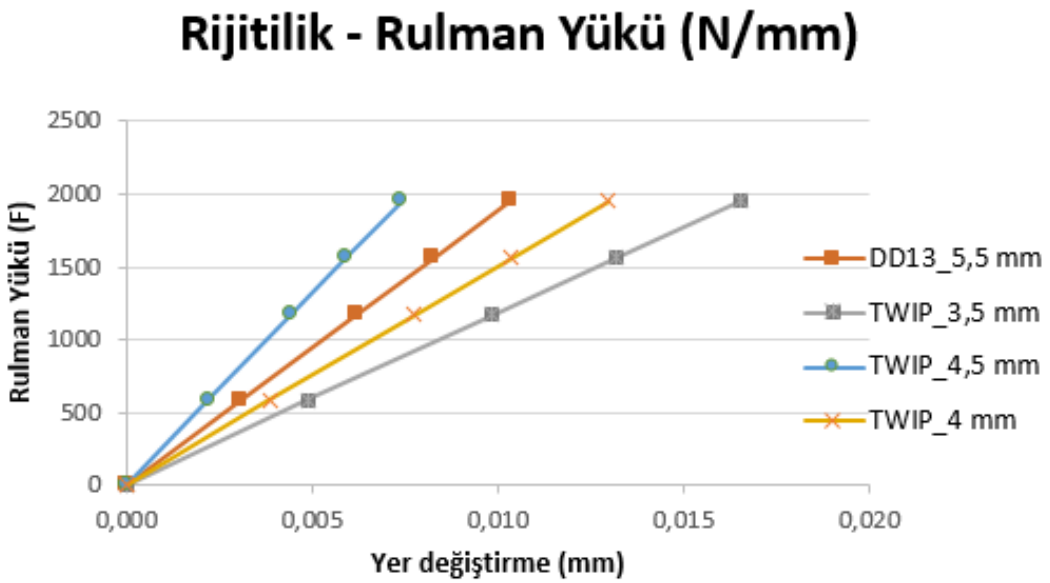
Şekil 4.7. TWIP malzeme ve 4,5 mm sac kalınlığında debriyaj kapağının rulman yükü altında deformasyon sonuçları



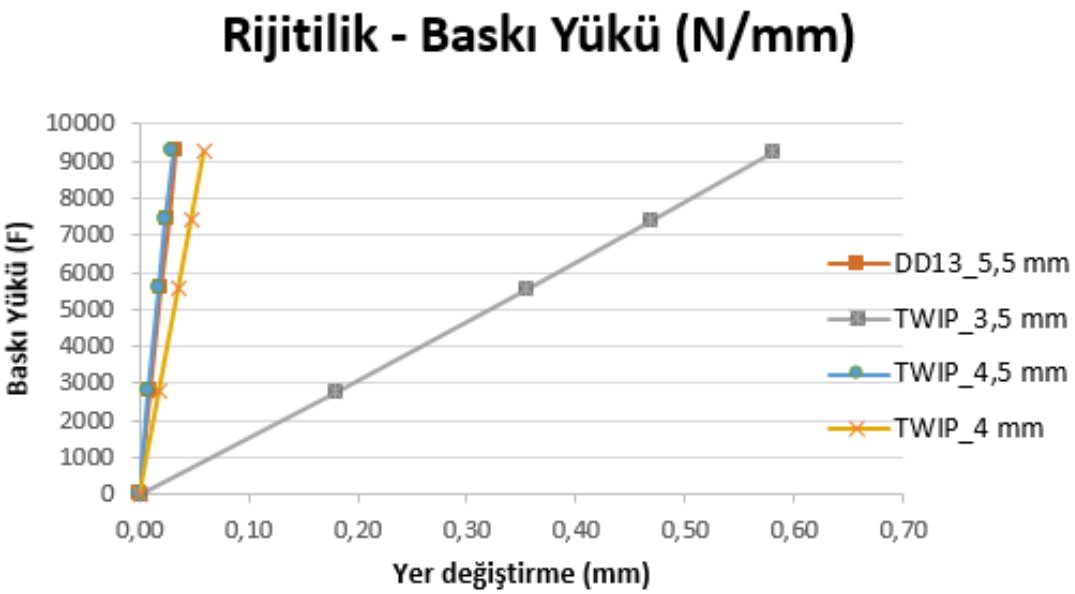
Şekil 4.8. TWIP malzeme ve 4,5 mm sac kalınlığında debriyaj kapağının baskı yükü altında deformasyon sonuçları

Şekil 4.9 ve Şekil 4.10 farklı malzeme ve farklı sac kalınlığında debriyaj kapağının deformasyon sonuçları rulman yükü ve baskı yükü altında gösterilmiştir. Çizelge 4.1'de farklı malzeme ve farklı sac kalınlığında debriyaj kapağının rijitlik sonuçlarının rulman yükü ve baskı yükü altındaki değerleri gösterilmiştir. Debriyaj kapağı kalınlığının azaldıkça rijitlik değerinin de azaldığı görülmüştür. Bu sonuçar, TWIP çelikli debriyaj

kapağında sac kalınlığı azaltılarak, mevcut ürünlerle aynı rijitlik karakteristiğine sahip olabileceğini göstermiştir.



Şekil 4.9. Farklı malzeme ve farklı sac kalınlığındaki debriyaj kapağının rulman yükü altında deformasyon sonuçları



Şekil 4.10. Farklı malzeme ve farklı sac kalınlığındaki debriyaj kapağının baskı yükü altında deformasyon sonuçları

Çizelge 4.1. Farklı malzeme ve farklı sac kalınlığında debriyaj kapağının rijitlik sonuçları

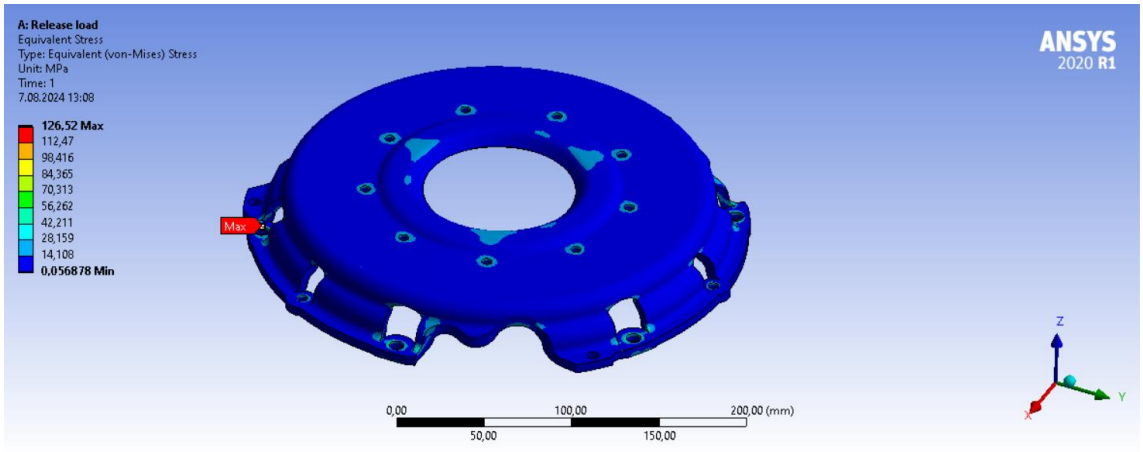
Model No	Malzeme	Sac Kalınlığı (mm)	Rijitlik – Rulman Yükü (N/mm)	Rijitlik – Baskı Yükü (N/mm)
Model 1	DD13	5,5 mm	188478	280762
Model 2	TWIP	3,5 mm	118060	15933
Model 3	TWIP	4 mm	150346	157205
Model 4	TWIP	4,5 mm	263431	308333

Analiz sonuçları incelendiğinde, maksimum deformasyon miktarlarının gerçek parça davranışları ile benzer sonuçlar ortaya koyduğu gözlemlenmiştir. Deformasyon sonuçlarına göre, debriyaj baskı kapağında TWIP çeliği kullanımında, sac kalınlığı azaltılarak rijitlik değerlerinin istenilen seviyelere çıkabildiği gözlemlenmiştir. Sonuçlar karşılaştırıldığında DD13 malzeme ve 5,5 mm sac kalınlığındaki debriyaj kapağı ile TWIP malzeme ve 4 mm sac kalınlığındaki malzemenin rijitlik sonuçları birbirine yakın çıkmıştır. Analiz sonuçları incelendiğinde, TWIP çelikli ve 4 mm sac kalınlığına sahip debriyaj kapağında optimum tasarıma ulaşarak, rijitlik karakteristiğinin daha da iyileştirilebileceğini göstermiştir.

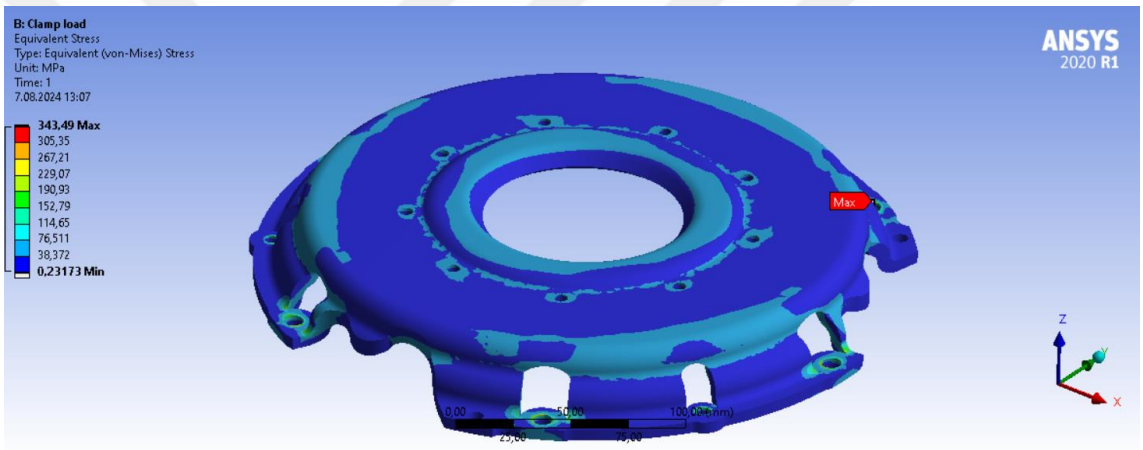
4.2 ANSYS Programında Yük Altında Gerilme Analizleri

Bu bölümde farklı malzeme ve farklı sac kalınlığına sahip debriyaj kapaklarının yük altında maksimum gerilme sonuçları gösterilmiştir ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

DD13 malzemeli ve 5,5 mm sac kalınlığına sahip debriyaj kapağının yüke bağlı maksimum gerilme sonuçları rulman yükü ve baskı yükü koşullarına göre gösterilmiştir. Şekil 4.11'de oluşturulan modelin rulman yükü altında oluşan maksimum gerilme miktarı gösterilmiştir. Şekil 4.12'de oluşturulan modelin baskı yükü altında oluşan maksimum gerilme miktarı gösterilmiştir.

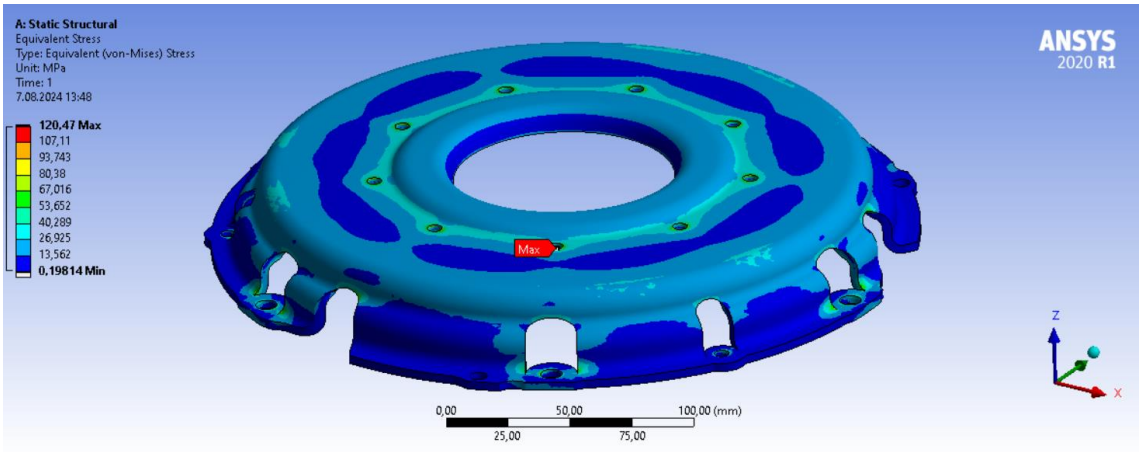


Şekil 4.11. DD13 malzeme ve 5,5 mm sac kalınlığında debriyaj kapağının rulman yükü altında maksimum gerilme sonuçları

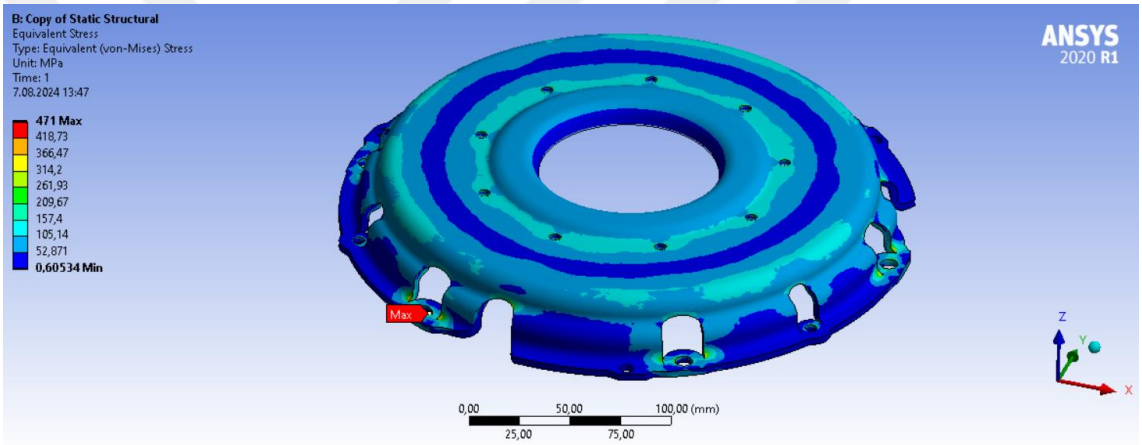


Şekil 4.12. DD13 malzeme ve 5,5 mm sac kalınlığında debriyaj kapağının baskı yükü altında maksimum gerilme sonuçları

TWIP malzemeli ve 3,5 mm sac kalınlığına sahip debriyaj kapağının yüke bağlı maksimum gerilme sonuçları rulman yükü ve baskı yükü koşullarına göre gösterilmiştir. Şekil 4.13'de oluşturulan modelin rulman yükü altında oluşan maksimum gerilme miktarı gösterilmiştir. Şekil 4.14'de oluşturulan modelin baskı yükü altında oluşan maksimum gerilme miktarı gösterilmiştir.

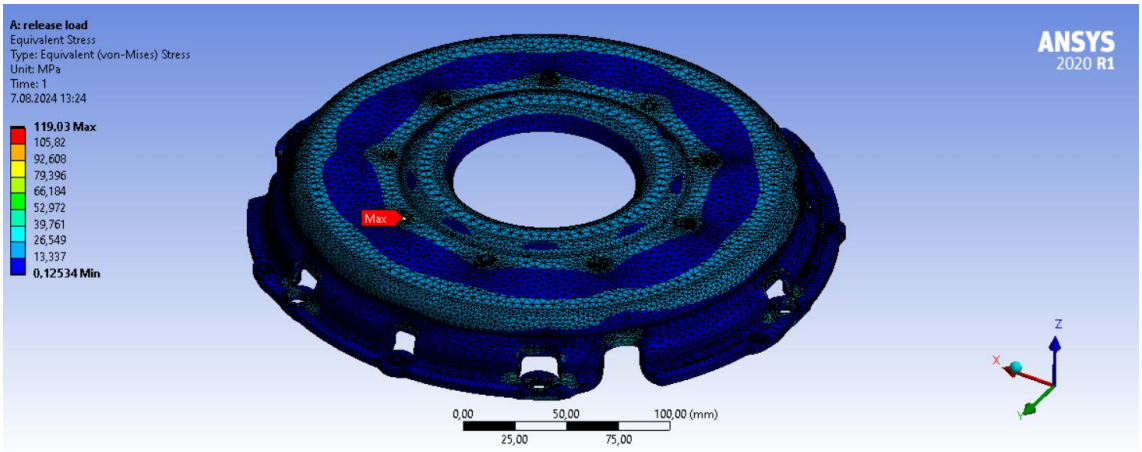


Şekil 4.13. TWIP malzeme ve 3,5 mm sac kalınlığında debriyaj kapağının rulman yükü altında maksimum gerilme sonuçları

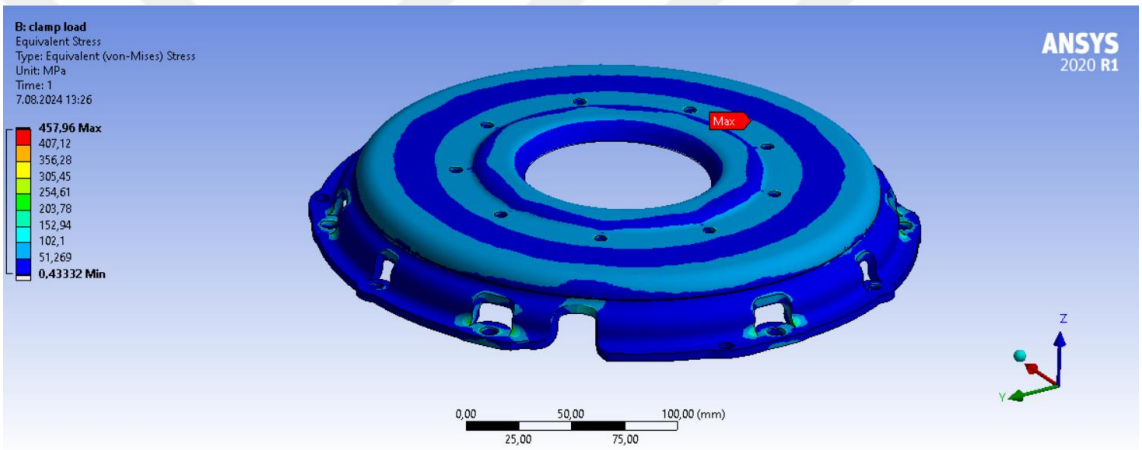


Şekil 4.14. TWIP malzeme ve 3,5 mm sac kalınlığında debriyaj kapağının baskı yükü altında maksimum gerilme sonuçları

TWIP malzemeli ve 4 mm sac kalınlığına sahip debriyaj kapağının yüke bağlı maksimum gerilme sonuçları rulman yükü ve baskı yükü koşullarına göre gösterilmiştir. Şekil 4.15'de oluşturulan modelin rulman yükü altında oluşan maksimum gerilme miktarı gösterilmiştir. Şekil 4.16'da oluşturulan modelin baskı yükü altında oluşan maksimum gerilme miktarı gösterilmiştir.

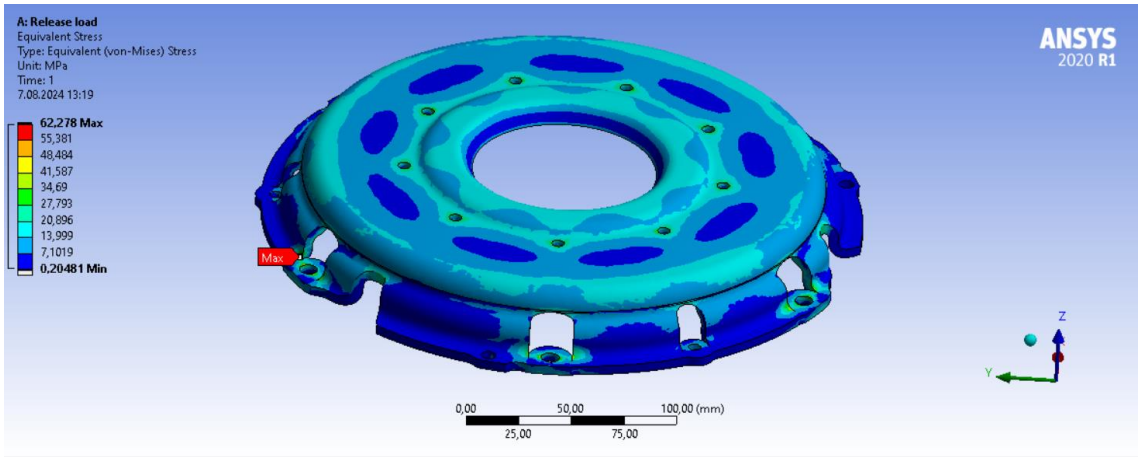


Şekil 4.15. TWIP malzeme ve 4 mm sac kalınlığında debriyaj kapağının rulman yükü altında maksimum gerilme sonuçları

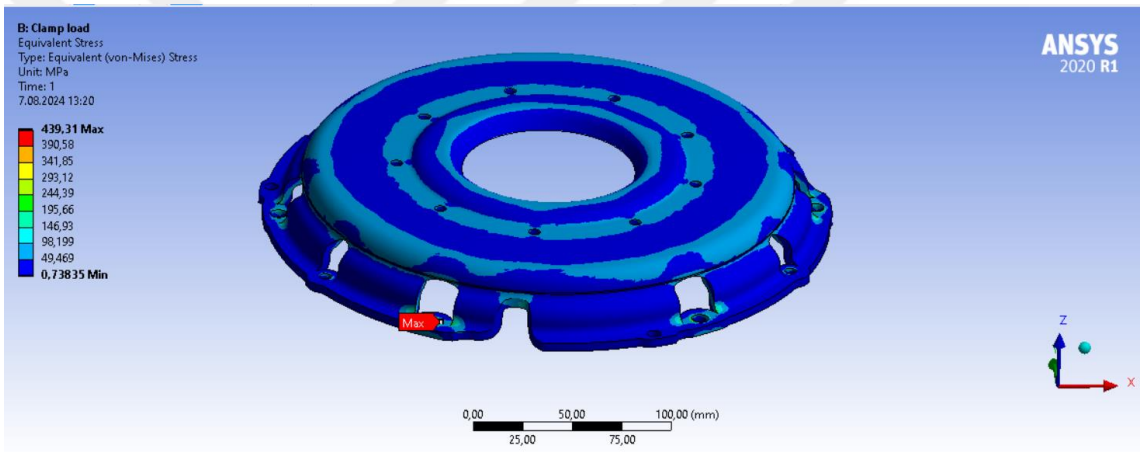


Şekil 4.16. TWIP malzeme ve 4 mm sac kalınlığında debriyaj kapağının baskı yükü altında maksimum gerilme sonuçları

TWIP malzemeli ve 4,5 mm sac kalınlığına sahip debriyaj kapağının yüke bağlı maksimum gerilme sonuçları rulman yükü ve baskı yükü koşullarına göre gösterilmiştir. Şekil 4.17'de oluşturulan modelin rulman yükü altında oluşan maksimum gerilme miktarı gösterilmiştir. Şekil 4.18'de oluşturulan modelin baskı yükü altında oluşan maksimum gerilme miktarı gösterilmiştir.



Şekil 4.17. TWIP malzeme ve 4,5 mm sac kalınlığında debriyaj kapağının rulman yükü altında maksimum gerilme sonuçları



Şekil 4.18. TWIP malzeme ve 4,5 mm sac kalınlığında debriyaj kapağının baskı yükü altında maksimum gerilme sonuçları

Çizelge 4.2'de oluşturulan farklı modellerdeki debriyaj kapağının maksimum gerilme sonuçlarının rulman yükü ve baskı yükü altındaki değerleri gösterilmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde maksimum gerilmeler baskı yükü sınır şartları altında daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca model üzerinde oluşan maksimum gerilme bölgelerinin volan bağlama delikleri ve çevresinde olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun nedeni, debriyaj kapağının baskı yükü altında bu bölgelerde karşı tepki kuvveti alarak zorlanmasıdır. Debriyaj kapağı kalınlığının azaldıkça gerilme değerinin arttığı görülmüştür. Sonuçlar Smith-Goodman eğrilerine göre incelendiğinde, gerilme sonuçlarının güvenilir bölgede olduğunu göstermiştir.

Çizelge 4.2. Farklı malzeme ve farklı sac kalınlığında debriyaj kapağının maksimum gerilme sonuçları

Model No	Malzeme	Sac Kalınlığı (mm)	Gerilme (von-Mises) – Rulman Yükü (MPa)	Gerilme (von-Mises) – Baskı Yükü (MPa)
Model 1	DD13	5,5 mm	126,52	343,49
Model 2	TWIP	3,5 mm	120,47	471,0
Model 3	TWIP	4 mm	119,03	457,96
Model 4	TWIP	4,5 mm	62,28	439,31

Analiz sonuçları incelendiğinde, TWIP malzeme ve 4 mm kalınlığa sahip debriyaj kapağının, geleneksel DD13 malzeme ve 5.5 mm kalınlığa sahip debriyaj kapağına göre rulman yükü sınır şartları altında daha düşük gerilme değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Bu sonuç, TWIP çeliklerinin daha yüksek gerilme dayanımına sahip olması ile ilişkilidir. Baskı yükü sonuçları incelendiğinde, TWIP çeliği malzemeye sahip modellerin, Smith-Goodman eğrisine göre güvenilir bölgede olduğunu göstermiştir. Analiz sonuçları, oluşturulan modellerin gerilme değerleri açısından karşılaştırdığında, debriyaj kapağında TWIP çeliği kullanarak daha iyi bir dayanım sağlayacağını göstermiştir.

5. SONUÇ

Gelişmiş yüksek mukavemetli çeliklerden biri olan TWIP çelikleri, yüksek mukavemet ve hafiflik avantajı dolayısıyla özellikle son zamanlarda otomotiv endüstrisinde yaygın olarak talep edilmektedir. Bu çeliklerin yük altındaki davranışları doğrusal değildir. Bu çalışmada TWIP çeliğine sahip optimum tasarım debriyaj kapağı rijitlik ve gerilme analizleri geleneksel DD13 malzeme debriyaj kapağı ile karşılaştırılmıştır. Bu amaçla, debriyaj kapağında rijitlik, gerilme ve ürün ağırlığı açısından optimum tasarıma ulaşmak için, farklı sac kalınlığında TWIP çeliğine sahip debriyaj kapağının 3D modelleri oluşturulmuştur. Oluşturulan farklı modellerin rijitlik ve gerilme analizleri, ANSYS programında sonlu elemanlar metoduyla analizi yapılarak, geleneksel debriyaj kapağı sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, TWIP çeliği ve 4 mm sac kalınlığına sahip debriyaj kapağının (Model 3) rijitlik sonuçları, geleneksel DD13 çeliği ve 5,5 mm sac kalınlığına sahip debriyaj kapağının (Model 1) rijitlik sonuçlarına benzer davranış gösterdiği gözlemlenmiştir. Sonrasında, TWIP çeliği ve 4 mm sac kalınlığına sahip debriyaj kapağına optimum tasarım yaparak rijitlik açısından tekrar değerlendirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, optimum tasarımı yapılan TWIP çeliği ve 4 mm sac kalınlığında debriyaj kapağında (Model 3), geleneksel DD13 malzemeli debriyaj kapağına (Model 1) göre %23 oranında ağırlık azalımı gerçekleşmiştir. TWIP çeliği ve 4,5 mm sac kalınlığında debriyaj kapağında (Model 4), geleneksel DD13 malzemeli debriyaj kapağına (Model 1) göre %19 oranında ağırlık azalımı gerçekleşmiştir. Rijitlik analizi açısından karşılaştırma yapıldığında, rijitlik seviyesi TWIP çeliği ve 4 mm sac kalınlığında optimum tasarım debriyaj kapağında (Model 3), geleneksel DD13 malzemeli debriyaj kapağına (Model 1) göre rulman yükü sınır şartları altında %25 daha az olmasına karşın, sonuçlar seri uygulamalarla karşılaştırıldığında, istenilen değerlerin yakalandığı görülmektedir. Rijitlik seviyesi, TWIP çeliği ve 4,5 mm sac kalınlığında debriyaj kapağında (Model 4), geleneksel DD13 malzemeli debriyaj kapağına (Model 1) göre rulman yükü sınır şartları altında %40 daha iyi sonuç göstermiştir. Sonuçlar, TWIP çeliği ve 4,5 mm sac kalınlığında debriyaj kapağının (Model 4) fonksiyonel açıdan daha güvenilir olması sebebiyle opsiyonel olarak tercih edilebileceğini göstermiştir. TWIP çeliği ve 3,5 mm sac kalınlığında debriyaj kapağında (Model 2) istenilen rijitlik performansı yakalanamamıştır. Debriyaj komplesinin

fonksiyonelliği tork aktarımı açısından önemlidir ve debriyaj kapağı tork aktarımında rijitlik açısından önemli bir role sahiptir. Debriyaj kapağı rijitlik değerindeki yüksek miktarda azalış, ürünün fonksiyonel özelliğini yerine getiremeyeceği anlamına gelmektedir. Debriyaj kapağında rijitliğin düşük olması, fonksiyonelliğin azalması ve tork aktarımının azalmasına sebebiyet vermektedir. Oluşturulan optimum tasarıma sahip TWIP çelikli debriyaj kapağı modelinde rijitlik değeri geleneksel debriyaj kapağına göre birbirine yakın değerler gösterdiği için, fonksiyonel açıdan uygun koşulları sağlayabileceği anlamına gelmektedir. Ancak yapılan analizlerin doğruluğunun daha detaylı incelenmesi ve gerçek parça üretiminin gerçekleşmesi gerekmektedir. Oluşturulan optimum tasarıma sahip TWIP çelikli debriyaj kapağının üretilerek, fonksiyonel özelliklerinin incelenmesi ve tezgah testleri ile doğrulamalarının yapılması gerekmektedir.

Otomotiv sektörünün gelişmesiyle birlikte, malzeme üretimi ve teknolojisi de gelişmektedir. Otomobil üretimi, artan araç model çeşitliliği ve marka rekabetleri sebebiyle günden güne büyümeye devam etmektedir. Otomobil üreticileri, müşterilerin taleplerini karşılayan, düşük maliyetli, hafiflik özelliğine sahip, yakıt tasarruflu, güçlü, daha hızlı ve teknolojik araba modelleri üretebilmek adına sürekli gelişmiş tasarımlar ortaya çıkarmaktadır. Bu bağlamda geliştirilmiş yüksek mukavemetli çelikler otomobil parçalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu malzemelerden birisi olan TWIP çelikleri de yüksek mukavemet ve yüksek uzama oranları dolayısıyla otomobillerde kullanılan parçaların malzemelerinde alternatif olarak kullanılabilecek potansiyele sahiptir. Ancak maliyetlerinin fazla olmasından dolayı rekabetçi olamamaktadır. TWIP çeliklerinin bir diğer dezavantajı da üretim prosesleri esnasında yaşanılan zorluklarıdır.

Analiz sonuçları incelendiğinde, TWIP çeliklerinin optimum tasarım yaparak istenilen fonksiyonel özellikleri sağlayabilmesi kaydıyla debriyaj kapağında kullanılabileceği anlamında gelmektedir. Bu bağlamda, tez çalışmasında elde edilen bulgular, gelecekte yapılacak çalışmalara destek sağlaması hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR

Genç ,M. O., & Pehlivan, A. K., (2017). Twip çeliklerinin debriyaj kapağı rijitlik davranışlarının incelenmesi. *20. Ulusal Mekanik Kongresi, Türkiye*, 881-889. *http://hdl.handle.net/11527/18413*

Çakmak, T., Öter, Z. Ç., & Sürmen, O., (2021). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: Vol. 1070*. Lightweight Innovative Composite Dry Clutch Pressure Plate. Springer. http://dx.doi.org/ 10.1088/1757-899X/1070/1/012117

Çakmak T., Sevilgen G., & Kılıç, M., (2018). Heat transfer enhancement in dry clutch pressure plate using ventilation channels. *9th International Automotive Technologies Congress, Türkiye*, 1134-1140.

Virmani, K., Madhogaria, T., & Baskar, P., (2021). Design optimization of friction Lining of a clutch plate. *Materials Today: Proceedings, 46*(17), 8009-8024. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.775

Hayat, F., (2010). Trip çeliklerinin otomotiv endüstrisinde kullanımının incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, *25*(4), 701-712.

Patel, M., Pardhi, B., Chopara, S., & Pal M., (2018). Lightweight composite materials for automotive. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 5*(11), 41-47.

Berggren, C., & Magnusson, T., (2011). Reducing automotive emissions—the potentials of combustion engine technologies and the power of policy. *Energy Policy, 41*, 636-643. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.11.025

Kimmig, K., Freitag, J., Gerhardt, F., & Hausper, M., (2012). The self-adjusting clutch SAC of the 2nd generation. *SAE Technical Paper 2012*. https://doi.org/10.4271/2012-28-0031

Kılıç, S., & Öztürk, F., (2016). Ticari TWIP900 ve DP600 yüksek mukavemetli çeliklerin otomotiv endüstrisindeki performanslarının karşılaştırılması. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, *31*(3), 567-578. https://doi.org/10.17341/gummfd.81389

Çakmak, T. (2018). T*aşıtlarda kullanılan debriyaj sistemlerinin termo-mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi* [Unpublished doctoral dissertation]. Bursa Uludağ University.

Dama, K. K., Suresh Babu, V., & Vishwanath, A.K., (2015). A study: automotive sustainable design for GHG emission reductıon in the environment by downweighting. *International Conference on New Frontiers in Chemical, Energy and Environmental Engineering INCEEE-2015.*

Sapuan, S. M., Syed, S. I., Sulaiman, S., & Zainudin, E. S., (2014). Comparison of simulated and actual product of polymer composite automotive clutch pedal. *International Journal of Mechanical and Materials Engineering (IJMME), 2*(1), 29-39.

Tuyan, M. (2021). *Otomotiv süspansiyon sisteminde kullanılan sac malzemelerin yırtılma davranışlarının incelenmesi* [Unpublished post graduate dissertation]. Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi.

Said, L. B., & Wali, M., (2022). Accuracy of variational formulation to model the thermomechanical problem and to predict failure in metallic materials. *Mathematics, 10*(3555), 1-23. https://doi.org/10.3390/math10193555

Pavlov, N., (2018). Numerical simulatıon on the vibration of a vehicle drivetrain with dual mass flywheel. *International Scientific Journal "Machines. Technologies. Materials."*, (2), 49-52.

Minas, I., Morris, N., Theodossiades, S., O'Mahony, M., & Voveris, J., (2021). *Powertrain Systems for Net-Zero Transport.* Modelling And Simulation Of Transient Clutch System Dynamics. http://www.routledge.com/9781032112831

Yüceşan, A, & Sezer S., (2018). Vibration isolation with clutch disk pre-damper mechanism for the idle rattle phenomenon. *Journal of Vibration and Control, 24*(8), 1518-1534. https://doi.org/10.1177/1077546316662413

Billur, E., Karabulut, S., Yılmaz, İ. Ö., Erzincanoğlu S., Çelik, H., Altınok E., & Başer, T., (2018). Mechanical properties of trip aided bainitic ferrite (TBF) steels in production and service conditions. *Hittite Journal of Science and Engineering, 5*(3), 231-237. http://dx.doi.org/10.17350/HJSE19030000100

Alza V. A., (2021). TWIP steels: mechanical and metallurgical properties - a review. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST), 8*(1), 13333-13349.

Madivala, M., & Bleck, W., (2019). Strain rate dependent mechanical properties of twıp steel. *Advanced High-Strength Steels for Automobiles, 71*(4), 1291-1302. https://doi.org/10.1007/s11837-018-3137-0

Akşen, T. A., Esener E., & Firat M., (2023). Characterizing the mechanical deformation response of AHSS steels: A comparative study of cyclic plasticity models under monotonic and reversal loading. *Revista de Metalurgia, 59*(4), e251. https://doi.org/10.3989/revmetalm.251

Joo, G., & Huh, H., (2018). Rate-dependent isotropic–kinematic hardening model in tension–compression of TRIP and TWIP steel sheets. *International Journal of Mechanical Sciences, 146*(1), 432-444. https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2017.08.055

Tutar, M., (2017). *Kaynaklı twıp çeliklerinde mikroyapı ve mekanik özellikler arasındaki ilişkilerin araştırılması* [Unpublished doctoral dissertation]. Bursa Uludağ Üniversitesi.

Alavilli, S., & Maideen M, S., (2021). Slip energy evaluation for a conventional friction clutch. *Symposium on International Automotive Technology*. https://doi.org/10.4271/2021-26-0480

Abdullah, O., Schlattmann, J., & Pireci, E., (2014). Design optimization of the rigid drive disc of clutch using finite element method. *SAE 2014 World Congress and Exhibition.* https://doi.org/10.4271/2014-01-0800

Cardoso, K., Cury, R., de Freitas, T., & de Paula, F., (2011). Analysis of deformation and stress distribution for spring eardrum in the clutch by the method of moire ınterferometry. *SAE Brasil 2011 Congress and Exhibit.* https://doi.org/10.4271/2011-36-0117

Mohire, S., Katarki, S., Chaskar, M., Uttamani, R., & Tendulkar V., (2019). Energy based analytical study of effect of engine calibration, clutch modulation on the life of dry clutch in view of city traffic using road load data. *Symposium on International Automotive Technology 2019*. https://doi.org/10.4271/2019-26-0331

Kimmig, K., Freitag, J., Gerhardt, F., Hausper, M., & Wittman C., (2012). Self-adjusting clutch for the 2nd generation. *International Mobility Conference.* https://doi.org/10.4271/2012-28-0031