

**METAL MATRİKS KOMPOZİT SARILMIŞ NAMLU HAZNESİ
YAPISAL ANALİZİ
VE ÇAP OPTİMİZASYONU**

Onur GÜNGÖR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ŞUBAT 2010
ANKARA**

Onur GÜNGÖR tarafından hazırlanan METAL MATRİKS KOMPOZİT SARILMIŞ NAMLU HAZNESİ YAPISAL ANALİZİ VE ÇAP OPTİMİZASYONU adlı bu tezin yüksek lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yard. Doç. Dr. Selim TÜRKBAŞ

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Yard. Doç. Dr. Nihat GEMALMAYAN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Yard. Doç. Dr. Ahmet TAŞKESEN

Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Yard. Doç. Dr. Selim TÜRKBAŞ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Tarih : 11.02.2010

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU

Fen Bilimleri Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Onur GÜNGÖR

**METAL MATRİKS KOMPOZİT SARILMIŞ NAMLU HAZNESİ
YAPISAL ANALİZİ
VE ÇAP OPTİMİZASYONU
(Yüksek Lisans Tezi)**

Onur GÜNGÖR

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Şubat 2010**

ÖZET

Çalışmada, iç basınca maruz bırakılmış, iç, dış çapları ve sıcaklıkları ile iki ucu sabit kabul edilmiş çelikten üretilmiş namlu haznesinin yapısal analizi gerçekleştirilmiştir. Python dili kullanılarak yazılmış bir kod yardımı ile ara çap sürekli değiştirilmiştir. Çelik namlu haznesi üzerine izotropik metal matriks kompozitin sıkı geçme yöntemi kullanılarak monte edilmesi durumunda, çelikten üretilmiş namlu haznesi ile benzer dayanımı gösterdiği optimum çap belirlenmiştir. Optimum çaplar için gerçekleştirilen hesaplama sonuçlarının, otofretaj tekniği için gerçekleştirilen hesaplama sonuçları ile benzer olduğu değerlendirilmiştir.

Bilim Kodu : 914
Anahtar Kelimeler : Namlu haznesi, metal matriks kompozit, optimizasyon
Sayfa Adedi : 69
Tez Yöneticisi : Yard.Doç. Dr. Selim TÜRKBAS

**STRUCTURAL ANALYSIS OF
METAL MATRIX COMPOSITE WRAPPED GUN BARREL CHAMBER
AND THE OPTIMISATION OF THE INTERFACE DIAMETER
(M.Sc.Thesis)**

Onur GÜNGÖR

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
February 2010**

ABSTRACT

This study includes, the structural analysis of a steel made gun barrel chamber that pressurized internally, having inner, outer diameters unchanged, both ends constrained and no temperature difference. An evaluation of interface diameter has been done if the gun barrel chamber wrapped with a metal matrix composite by the method of shrink fitting. A python code changes the interface diameter, makes the structural analysis done and compares the results, optimise the interface diameter that shows the same structural behavior with the steel made gun barrel chamber. Evaluated that the results of the calculations for optimised diameters are similar with the results of the calculations for autofrettage technique.

Science Code	: 914
Key Words	: Gun barrel chamber, metal matrix composites, optimisation
Page Number	: 69
Adviser	: Assist. Prof. Dr. Selim TÜRKBAS

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi sırasında beni değerli fikirleri ile yönlendiren danışmanım Sayın Yard.Doç.Dr. Selim TÜRKBAŞ'a, yoğun iş temposuna rağmen çalışmalarımı tamamlama olanak veren Sayın İdris AYDOĞDU "Makina ve Kimya Endüstrisi Kurumu" ve Sayın Şeref TANIT'a "Makina ve Kimya Endüstrisi Kurumu", göstermiş oldukları anlayış ve destek için annem Nefize, babam Hasan, eşim İnci ve kızım Yağmur GÜNGÖR'e teşekkür ederim.

Onur GÜNGÖR

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ÇİZELGELER LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. KOMPOZİTLER.....	2
2.1. Kompozitlerin Özellikleri	5
2.1.1. Yoğunluk.....	5
2.1.2. Çekme kuvveti ve elastik modül.....	7
2.1.3. Spesifik ısı kapasitesi	9
2.1.4. Isı taşıma kapasitesi	9
2.1.5. Isıl genleşme katsayısı	10
2.2. Metal Matriks Kompozitler	11
3. METAL MATRİKSLİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİLMESİ	13
3.1. Metal Matriks Kompozitlerin Fabrikasyonu	14
3.1.1. Basınç sızdırma (infiltrasyon) yöntemi ile döküm.....	14
3.1.2. Vorteks oluşturarak döküm	15
4. METAL MATRİKS KOMPOZİTLERİN ÖZEL UYGULAMA ALANLARI	17
4.1. Hava Taşıt Motorları için Metal Matriks Kompozitler.....	17
4.2. Motorbisikletler için Metal Matriks Kompozitler	20
4.3. Otomobil Parçaları için Yüksek Modüllü Çelik Matriks Kompozitler	22
5. LİTERATÜR TARAMASI	24

	Sayfa
5.1. Malzeme Bilgileri (Literatür Taraması)	28
6. KALIN DUVAR SİLİNDİR.....	31
6.1. Formüller	32
6.2. Yükleme Formülleri.....	33
6.3. Başlangıç Parametreleri	34
7. NAMLU DİZAYNI	35
8. BÖLÜMLER.....	38
8.1. Birinci Bölüm.....	38
8.2. İkinci Bölüm	38
8.3. Üçüncü Bölüm	38
9. BİRİNCİ BÖLÜM.....	39
9.1. Analitik Hesaplama Modeli	39
9.2. Sonlu Elemanlar Modeli (Çelik Namlu Haznesi için)	40
9.3. Analitik Hesaplama ve Sonlu Elemanlar Hesaplama Sonuçlarının Karşılaştırılması	42
9.4. Von Misses Gerilmesi (Çelik Namlu Haznesi için)	47
10. İKİNCİ BÖLÜM	48
10.1. Sonlu Elemanlar Modeli (Çelik Üzerine Metal Matriks Kompozit Sıkı Geçirilmiş Namlu Haznesi için)	48
11. ÜÇÜNCÜ BÖLÜM	50
11.1. Optimizasyon Modeli (Çelik Üzerine Metal Matriks Kompozit Sıkı Geçirilmiş Namlu Haznesi için).....	50
12. SIKI GEÇME TOLERANSLARI	54
13. SONUÇLAR.....	55
13.1. Birinci Aşama (Sıkı Geçme Oluşumu) (Optimize Edilmiş Çap Değerleri için)	57

	Sayfa
13.2. İkinci Aşama (Basınç Uygulanması) (Optimize Edilmiş Çap Değerleri için)	59
14. KARŞILAŞTIRMA.....	61
15. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	64
KAYNAKLAR	66
ÖZGEÇMİŞ	68

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Kompozit malzemelerin yapısal sınıflaması	4
Çizelge 2.2. Ana ticari metal matriks kompozitler	12
Çizelge 4.1. Motor bisikletler üzerinde metal matriks malzemelerin kullanıldığı parçalar	21
Çizelge 5.1. Boralyon kompozitleri için çekme testi verisi [1]	28
Çizelge 5.2. AlXX/SiC/60p kompozitleri için mekanik özellikler [3]	28
Çizelge 5.3. Çizelge 380 Alüminyum alaşımı ve 380 Alüminyum alaşımı matriksli kompozitlerin çekme testi verisi [4]	29
Çizelge 5.4. Alüminyum matriks ve çeşitli Si kuvvetlendiricili kompozitlerin sıcaklığa bağlı elastik modül ve poisson oranı değişimleri [7] .	29
Çizelge 5.5. Değerlendirilmeye alınan kompozit malzemeler ve özellikleri .	30
Çizelge 6.1. Değişik yükleme durumları için formüller	33
Çizelge 6.2. İç ve dış çapın kısıtlarına göre başlangıç parametre formülasyonları	34
Çizelge 9.1. Namlu haznesine 4450 bar basınç uygulanması durumunda hesaplanan çapa bağlı gerilme bileşenleri ve yerdeğiştirme değerleri (Analitik hesap yöntemi)	42
Çizelge 9.2. Namlu haznesine 4450 bar basınç uygulanması durumunda hesaplanan çapa bağlı gerilme bileşenleri ve yerdeğiştirme değerleri (Sonlu elemanlar yöntemi)	43
Çizelge 9.3. Sonlu elemanlar sonuçlarının analitik yöntem sonuçları ile yakınlıkları	44

Çizelge**Sayfa**

Çizelge 13.1. Optimum arayüz çapları ve bu çap değerleri için çelik ve kompozit malzeme üzerindeki en yüksek gerilme değerleri 56

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Metal matriks kompozit fabrikasyon yöntemleri.....	14
Şekil 3.2. Basınç sızdırma (infiltrasyon) yöntemi için tipik bir aparat.....	15
Şekil 3.3. Vorteks oluşturma yöntemi için şematik gösterim	16
Şekil 4.1. Aluminyum metal matriks kompozit işleme sırası.....	17
Şekil 4.2. Aluminyum metal matriks kompozitin izotropik mikro yapısı	18
Şekil 4.3. Aluminyum metal matriks kompozit mekanik özellikleri. (a) Spesifik modül karşılaştırması, (b) Matriks özellik karşılaştırması, (c) Yorulma özelliklerinin karşılaştırılması (Aerospace Metal Composites Ltd.)	19
Şekil 4.4. Aluminyum metal matriks kompozitin uçak motoru üzerindeki muhtemel kullanım uygulamaları (yaklaşık 150°C'yi geçmeyen yerlerde).....	20
Şekil 4.5. Dökülmüş (sol) ve dövülmüş kompozit (sağ) karşılaştırma	22
Şekil 4.6. (a) 30TiB ₂ /Fe-17Cr'nin elektron mikroskopunda görülen mikroyapısı, (b) 30TiB ₂ partikül görüntüsü, (c) Demir - TiB ₂ partikül arayüzü.....	23
Şekil 4.7. Yüksek modül çelik kompozitten üretilmiş deneme otomobil motoru parçaları	23
Şekil 5.1. Farklı Al _{99.99} /SiC/60p kompozitlerin gerime – gerinim davranışlarının şematik gösterimi (tip I: Al _{99.99} /SiC/60p ve AlZn ₆ /SiC/60p, tip II: AlMg ₄ /SiC/60p, AlCu ₃ /SiC/60p-F&T ₆ ve AlZn ₆ Mg ₁ /SiC/60p-F, tip III: AlZn ₆ Mg ₁ /SiC/60p-T ₆)	25
Şekil 6.1. Kalın duvar silindirdeki gerilmeler (a) z ekseninin düzleme dik olduğu gösterim (b) Kalınlık dz'nin silindirik hacim elemanı	31
Şekil 7.1. Bir namlu için basınç – konum eğrisi.....	36
Şekil 9.1. Analitik hesaplama çözümleme modeli	39

Şekil	Sayfa
Şekil 9.2. Çelik namlu haznesi sonlu elemanlar modeli (Sınır şartlar, yükleme koşulları ve çözüm ağı)	41
Şekil 9.3. Analitik ve sonlu elemanlar yerdeğiştirme sonuçlarının karşılaştırılması	45
Şekil 9.4. Analitik ve sonlu elemanlar radyal gerilme sonuçlarının karşılaştırılması	45
Şekil 9.5. Analitik ve sonlu elemanlar çevresel gerilme sonuçlarının karşılaştırılması	46
Şekil 9.6. Analitik ve sonlu elemanlar eksenel gerilme sonuçlarının karşılaştırılması	46
Şekil 9.7. 4450 bar iç basınca maruz bırakılmış çelik namlu haznesi Von Misses gerilmesi.....	47
Şekil 10.1. Çelik üzerine metal matriks kompozit geçirilmiş namlu haznesi sonlu elemanlar modeli (Sınır şartlar, yükleme koşulları ve çözüm ağı)	49
Şekil 11.1. Optimizasyon modeli (Çelik üzerine metal matriks kompozit sıkı geçirilmiş namlu haznesi için)	50
Şekil 11.2. Python kodunun bir bölümü	51
Şekil 11.3. Namlu haznesi ölçüleri, a iç çap, b dış çap, c arayüz çapı, l=1000 mm alınmıştır (Çelik üzerine metal matriks kompozit sıkı geçirilmiş namlu haznesi için)	52
Şekil 12.1. ISO sıkı geçme toleransları [14]	54
Şekil 13.1. Beş farklı metal matriks kompozit malzeme için yapılan hesaplama sonucu elde edilen eşdeğer gerilmeler.	55
Şekil 13.2. Sıkı geçme oluşumu sonrası kalıcı radyal gerilmeler.	57
Şekil 13.3. Sıkı geçme oluşumu sonrası kalıcı çevresel gerilmeler.....	57
Şekil 13.4. Sıkı geçme oluşumu sonrası kalıcı eksenel gerilmeler.....	58

Şekil	Sayfa
Şekil 13.5. Sıkı geçme oluşumu sonrası yerdeğiştirmeler.	58
Şekil 13.6. Basınç uygulanması sonrası radyal gerilmeler.....	59
Şekil 13.7. Basınç uygulanması sonrası çevresel gerilmeler.	59
Şekil 13.8. Basınç uygulanması sonrası eksenel gerilmeler.	60
Şekil 13.9. Basınç uygulanması sonrası yerdeğiştirme değerleri.....	60
Şekil 13.10.Çelikten üretilmiş ve metal matriks kompozit sarılmış namlu haznelerinin eşdeğer gerilme değerlerinin karşılaştırması.	61
Şekil 14.1. Salzar'ın [8], kalınlığının %25, %50 ve %75'i metal matriks kompozit sarılması ve otofretaj uygulanması sonrası oluşan kalıcı çevresel gerilme durumu.....	62
Şekil 14.2. Optimize edilmiş çaplar için değişik metal matriks kompozitler için sıkı geçme oluşumu sonrası kalıcı çevresel gerilmeler	63

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simge	Açıklama
M, m	Kütle
V	Hacim
ρ	Yoğunluk
w_M, w_R	Birimsiz kütle oranı
v_v	Birimsiz boşluk oranı
F	Kuvvet
c_p	Spesifik ısı kapasitesi
k	Isı taşıma kapasitesi
a	İç yarıçap
b	Dış yarıçap
c	Arayüz çap
l	Namlu haznesi boyu
r	Çap (değişken)
E	Elastisite modülü
ν	Poisson oranı
p_1	Uygulanan iç basınç

Simge	Açıklama
p_2	Uygulanan dış basınç
r, θ, z	Silindirik koordinatlar
ΔT	Sıcaklıktaki değişim
U	Yerdeğiştirme
α	Isıl genleşme katsayısı
λ	$E\nu/[(1+\nu)(1-2\nu)]$ Lamé katsayısı
G	$E/[2(1+\nu)]$ Kayma elastiklik modülü
σ_γ	Eşdeğer gerilme
σ_r	Radyal gerilme
σ_θ	Çevresel gerilme
σ_z	Eksenel gerilme
W	Doğal frekans
Ω	Açısal dönme hızı
F	Üretildiği gibi
0	İslah edilmiş
$T6$	Isıl işlem yapılmış ve yapay olarak yaşlandırılmış

1. GİRİŞ

Sağlamlık ve hafiflik bir silahın etkinliğini artırmak için vazgeçilmez unsurlardır. İleri seviye malzemeler, çelik kadar dayanıklı olmaları ve hafiflikleri ile namlu üretiminde geleneksel çelik ile yarışır duruma gelmiştir. Namlu çeliği, kırılma tokluğu ve otofretaj sırasında tatmin edici kalıcı gerilme oluşturabilme yeteneği ile beraber oldukça yüksek yoğunluğa sahip olmasına rağmen geleneksel olarak namlu üretimlerinde kullanılmaktadır.

Son on yıldır, nano boyuttaki güçlendiriciler ile üretilmiş nano kompozitler, kompozit malzeme teknolojisinde devrim niteliğinde gelişmeleri beraberinde getirmiştir. Güçlendirilmemiş alaşımlar ile kıyaslandığında, Metal Matriks Kompozitler genellikle daha yüksek bir dayanım ve elastik modül, gelişmiş bir yüksek sıcaklık ve aşınma dayanımı sağlarlar. Bu olağanüstü termomekanik özelliklere karşılık, yüksek üretim maliyetleri, Metal Matriks Kompozitleri malzeme performansının, maliyet sorununa göre ağırlık kazandığı uzay, savunma ve otomotiv sektörleri için uygun bulunur duruma getirmiştir.

Çalışmanın ilk bölümünde, iç basınca maruz bırakılmış, iç, dış çapları ve sıcaklıkları ile iki ucu sabit kabul edilmiş çelikten üretilmiş namlu haznesinin gerilme analizi gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalarda Abaqus/Standart çözücüsü kullanılmıştır. Analiz sonuçları, analitik sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

İkinci bölümde, iki aşamalı bir analiz gerçekleştirilmiştir. Analizin birinci aşamasında, çelik namlu haznesi üzerine izotropik metal matriks kompozitin belirlenmiş bir ara çap için sıkı geçme yöntemi kullanılarak monte edilmesi durumunda oluşacak öngerilme durumu hesaplanmış, ikinci aşamasında iç basınç uygulanmış ve gerilme analizi gerçekleştirilmiştir.

Üçüncü bölümde, python dili kullanılarak yazılmış bir kod yardımı ile ara çap sürekli değiştirilerek, ikinci bölümdeki analizlerin ardarda ve çok sayıda koşturulması sureti ile bir çözüm kümesi elde edilmiş ve sonuçlar ilk bölümdeki sonuçlar ile kıyaslanarak bir optimum ara çap belirlenmiştir.

2. KOMPOZİTLER

Kompozit malzeme, kısaca kompozit, en az iki elementin birbirleri ile beraber çalışarak, elementlerin bağımsız olarak düşünüldüklerindeki özelliklerinden çok daha gelişmiş mekanik ve fiziksel özelliklere ve fonksiyonlara sahip malzemelere denir. Pratikte, pek çok kompozit, ana hacimsel yapıyı oluşturan bir matriks ve mekanik kuvveti ve matriksin peklğini artırırken bazen termal iletkenliğini ve elektriksel direngenliğini değiştiren takviye veya dolgu maddesinden oluşur. Bu takviyelendirme, genellikle, fiberlerden (örn. Monofilamentler, whiskerler) ayrıca partiküllerden (örn. Partikül takviyeli) veya daha kompleks şekle sahip malzemelerden (örn. ağ, şerit, laminat) oluşur. Kompozitler, matriks fazlarına göre üç ana sınıfa ayrılırlar:

Polimer matriks kompozitler (PMC'ler), en yaygın olarak kullanılan ve fiber takviyeli polimerler (FRP'ler) veya daha önceleri reçine bazlı kompozitler (RBC'ler) olarak bilinirler. Bu kompozit malzemelerde polimer bazlı reçine matriks olarak ve pek çok çeşit fiberler örneğın e-cam, karbon-monofilamentler ve polyaramit takviye maddesi olarak kullanılır.

Seramik matriks kompozitler (CMC'ler), yüksek sıcaklıkta çalışma ve korozyon direncinin önem kazandığı zorlu koşullarda kullanılırlar. Bu tip kompozit malzemelerde, seramik, matriks maddesi ve silikon karbitten (SiC) ve boron nitritten (BN) üretilmiş kısa fiber ve whiskerler takviye maddesi olarak kullanılır. Bu kompozitlerin iki önemli alt sınıfları, cam ve cam-seramik-matriks kompozitler (GMC'ler) ve karbon-karbon kompozitlerdir (CCC'ler).

Metal matriks kompozitler (MMC'ler), ileri seviye malzemeler olarak düşünülürler, çünkü yüksek peklik ve yüksek dayanım – yoğunluk oranına, korozyon direncine ve bazı durumlarda özel elektriksel ve termal özelliklere sahiptirler. Bu özelliklerin bir malzemede toplanması, ileri seviye kompozitleri, havacılık ve uzay yapısal parçaları için çok çekici hale getirmiştir. Otomotiv sanayinde, alüminyum ve magnezyumun matriks olarak ve örneğın silikon

karbit veya boron nitrit gibi ileri seviye seramik fiberlerin takviye malzemesi olarak kullanıldığı uygulamalar hızla artmaktadır.

Yine de, önceki paragraflarda genel tanımlamaları ve basit sınıflandırılmaları yapılmış kompozit malzemelere ilaveten çevremizdeki günlük hayatımızda kullandığımız pek çok malzeme de kompozittir. Örneğin, biyolojik prosesler ile üretilmiş kemik (örn.kollajen, kalsiyum fosfat) gibi doğal malzemeler ve ağaç (örn. matriks olarak lignin ve selüloz fiber) veya el yapımı malzemeler örneğin beton (örn. hidrolik çimento ve türevleri), kart levhası ve kağıt, mükemmel mekanik performans gösteren kompozitlerdir. Kompozit malzeme sınıfları Çizelge 2.1.'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Kompozit malzemelerin yapısal sınıflaması

Sınıfı	Matriks tipi	Takviye tipi
Polimer matriks kompozitler (PMC'ler) (Fiber takviyeli kompozitler, reçine bazlı kompozitler)	Termoplastikler (örn. PPS, PES)	Dolgu (örn. metal seramik tozlar, partiküller, taneler)
		Fiberler (örn. karbon monofilamentler / kesilmiş kablolar)
		Laminatlar (örn. cam levhalar, alüminyum yaprak)
	Termosetler (örn. epoksi, PI, PA)	Dolgu (örn. metal seramik tozlar, partiküller, taneler)
		Fiberler (örn. cam fiberler, karbon monofilamentler / kesilmiş kablolar)
		Laminatlar (örn. cam levhalar, alüminyum yaprak, balpeteği)
	Elastomerler (örn. kauçuk)	Dolgu (örn. grafit tozlar, partiküller, taneler)
		Fiberler (örn. karbon monofilamentler / kesilmiş kablolar)
		Laminatlar (örn. cam levhalar)
Metal matriks kompozitler (MMC'ler)	Metaller (örn. Al, Mg, Ti, Cu)	Partiküller, pullar (örn. seramik, sertmetal, elmas tipi karbon)
		Fiberler (örn. SiC veya B ₄ C monofilamentler, whiskerler)
		Diğerleri (örn. genişlemiş metaller, ağ, balpeteği)
	Alaşımlar	Partiküller, pullar (örn. seramik, sertmetal, elmas tipi karbon)
		Fiberler (örn. SiC veya B ₄ C monofilamentler, whiskerler)
		Diğerleri (örn. genişlemiş metaller, ağ, balpeteği)
Seramik matriks kompozitler (CMC'ler)	Seramik	Partiküller veya pullar
		Karbon monofilamentler, whiskerler
		Metal fiberler, kesilmiş kablolar ve whiskerler
		Diğerleri (örn. genişlemiş metaller, ağ, balpeteği)
	Cam veya cam-seramik	Partiküller
	Karbon-karbon	Monofilamentler, whiskerler, fabrik balpetekleri

2.1. Kompozitlerin Özellikleri

Bu paragrafta kompozitlerin fiziksel özellikleri kısaca tartışılacaktır. Genel bir kural olarak, kompozitin özellikleri, takviye maddesinin özellikleri, matriksin fiziksel özellikleri, matrikse yapılan takviye oranı ve son olarak takviye maddesinin geometrisi ve oryantasyonu tarafından belirlenir. Genellikle, yoğunluk ve spesifik ısı kapasitesi gibi skaler fiziksel nicelikler için karışım kuralı uygulanabilirken, vektörel veya daha yüksek dereceden tensörsel özellikler (örn. çekme kuvveti, Young modülü, termal iletim ve geçirgenlik vb.) Elastisite teorisi veya anizotropik ısı transferi üzerine kurulmuş daha sofistike hesaplama yöntemleri kullanılarak belirlenmelidir.

2.1.1. Yoğunluk

Kompozit malzemenin matriks M ve takviye maddesi R'den oluştuğunu kabul edersek, kompozitin toplam kütlesi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$M_C = m_M + m_R \quad (2.1)$$

Kompozitin toplam hacmi, boşlukların hacmi de dikkate alınarak yazıldığında;

$$V_C = V_M + V_R + V_V \quad (2.2.)$$

Kompozit malzemenin kg/m³ cinsinden yoğunluğu;

$$\rho_C = \frac{M_C}{V_C} = (m_M + m_R) / (V_M + V_R + V_V) \quad (2.3)$$

Matriks ve takviye maddesinin birimsiz kütle oranları (w_M, w_R) ve yoğunlukları (ρ_M, ρ_R) olarak tanımlandığında;

$$w_M = \frac{m_M}{m_M + m_R} \quad w_R = \frac{m_R}{m_M + m_R} \quad w_M + w_R = 1 \quad (2.4)$$

$$\rho_M = \frac{m_M}{V_M} \quad \rho_R = \frac{m_R}{V_R} \quad (2.5)$$

Buradan;

$$\rho_C = \left[\frac{w_M}{\rho_M} + \frac{w_R}{\rho_R} + \frac{V_V}{m_M + m_R} \right]^{-1} = \left[\frac{w_M}{\rho_M} + \frac{w_R}{\rho_R} + \frac{V_V}{\rho_C V_C} \right]^{-1} \quad (2.6)$$

Birimsiz boşluk oranı tanımlanırsa;

$$v_V = V_V / V_C \quad (2.7)$$

Kompozit malzemenin yoğunluğu;

$$\rho_C = 1 / \left[\frac{w_M}{\rho_M} + \frac{w_R}{\rho_R} + \frac{v_V}{\rho_C} \right] \quad (2.8)$$

Doğru yoğunluk ölçümlerinden boşluk oranı deneysel olarak hesaplanabilir. Denklem tekrar yazılması ile;

$$v_V = \left[1 - \rho_C \left(\frac{w_M}{\rho_M} + \frac{w_R}{\rho_R} \right) \right] \quad (2.9)$$

Diğer taraftan, matriks ve takviye maddesi için birimsiz boşluk oranları v_M ve v_R tanımlanırsa;

$$V_M = \frac{V_M}{V_M + V_R + V_V} \quad V_R = \frac{V_R}{V_M + V_R + V_V} \quad v_M + v_R = 1 \quad (2.10)$$

Kompozitin yoğunluğu;

$$\rho_C = \frac{M_C}{V_C} = (\rho_M V_M + \rho_R V_R) / (V_M + V_R + V_V) \quad (2.11)$$

Sadeleşince;

$$\rho_C = (\rho_M V_M + \rho_R V_R) \quad (2.12)$$

Kompozit malzemenin yoğunluğu, her bir komponentin hacimsel oranları katsayı olarak kullanıldığında, yoğunluklarının ağırlıklı ortalamasına bağlı bir denklem olarak ifade edilebilir.

2.1.2. Çekme kuvveti ve elastik modül

Eğer, sürekli fiber ile takviye edilmiş bir kompozit düşünürsek, fiberlere paralel ve dik olan yönler ana eksen olarak değerlendirilir.

Fiberlere paralel yükleme: ilk olarak, eğer kuvvet F 'i, fiberlerin boyunca uygularsak, bu kuvvet matriks veya fiber tarafından taşınır. Buna ilaveten, matriks ile fiber arasında iyi bir bağlama yapıldı ise, her ikisi de aynı oranda uzar ve yükleme her yönde aynı gerinimi oluşturacak izostrain bir yükleme ise tüm gerinimler eşittir.

$$\varepsilon_c = \varepsilon_f = \varepsilon_m \quad (2.13)$$

Bu nedenle, kompozitin dayanması gereken en büyük kuvvet, fiberler ve matriks tarafından taşınması gereken içsel kuvvetlerin toplamı olur.

$$F = F_f + F_m \quad (2.14)$$

Çekme ve bası gerilmelerini σ_f ve σ_m , kesit alanlarını da A_f ve A_m olarak tanımlarsak kuvveti gerilme ile kesit alan çarpımı olarak gösterdiğimiz basit bir formül elde etmiş oluruz.

$$\sigma_c \cdot A_c = \sigma_f \cdot A_f + \sigma_m \cdot A_m \quad (2.15)$$

Yukarıdaki eşitliği kompozitin toplam kesit alanına bölersek, kompozitin gerilmesini fiber ve matriksin gerilme ve hacimsel oranları cinsinden elde etmiş oluruz ki burada matriksin, fiberlerin ve kompozitin uzunluğu aynı kabul edilir.

$$\sigma_c = \sigma_f \cdot V_f + \sigma_m \cdot V_m \quad (2.16)$$

$$V_f + V_m = 1 \quad (2.17)$$

Olduğundan yukarıdaki eşitlik aşağıdaki gibi sadeleştirilebilir.

$$\sigma_c = \sigma_f \cdot V_f + \sigma_m \cdot (1 - V_f) \quad (2.18)$$

Diğer taraftan, yükleme izostrain olmasından ötürü yukarıdaki eşitliği ilgili gerinim değerine bölersek;

$$\frac{\sigma_c}{\varepsilon_c} = \left(\frac{\sigma_f}{\varepsilon_f} \right) \cdot V_f + \left(\frac{\sigma_m}{\varepsilon_m} \right) \cdot (1 - V_f) \quad (2.19)$$

Eğer gerilmeler her bir malzeme için elastik bölgede uygulanıyor ise, Hooke kanunu her bir malzeme için uygulanabilir ve her bir oranı ilgili Young modülü ile değiştirmek mümkün olur.

$$E_c = E_f \cdot V_f + E_m \cdot (1 - V_f) \quad (2.20)$$

Paratikte, kütle oranını bilmek veya ölçmek, hacim oranını bilmek veya ölçmekten daha kolaydır. Hacim oranları, kütle oranları ile değiştirilirse genel bir denklem elde ederiz.

$$E_c = E_f \cdot \{1/[1 + (w_f \cdot \rho_m / w_m \cdot \rho_f)]\} + E_m \cdot \{1/[1 + (w_m \cdot \rho_f / w_f \cdot \rho_m)]\} \quad (2.21)$$

Özel bir durum olarak, matriks ve fiberin yoğunluklarının eşit veya çok yakın olduğu durumlarda (örn. Alüminyum alaşımına boron fiber takviyesi, magnezyuma karbon fiber takviyesi), üstteki eşitlik;

$$E_c = E_f \cdot w_f + E_m \cdot w_m \quad (2.22)$$

olur.

Fiberlere dik yükleme: Bir yükün fiberlere dik olarak uygulanması durumunda, yük, matriks ve fiberlerin seri bir direnci tarafından desteklenir. Bu nedenle matriks, fiber ve kompozit içerisinde oluşan gerilmeler eşittir. Bu özel durum izostress olarak adlandırılır ve aşağıdaki şekilde karakterize edilir.

$$\sigma_c = \sigma_f = \sigma_m \quad (2.23)$$

ve

$$\varepsilon_c = \varepsilon_f \cdot V_f + \varepsilon_m \cdot (1 - V_f) \quad (2.24)$$

Bu nedenle, Young modülü tanımlaması ve Hooke kanunu uygulaması ile;

$$\varepsilon_c = \left(\frac{\sigma_f}{E_f} \right) \cdot V_f + \left(\frac{\sigma_m}{E_m} \right) \cdot (1 - V_f) \quad (2.25)$$

Bu denklemleri tekrar düzenlersek, elastik modülü aşağıdaki şekilde ifade etmek mümkün olur.

$$E_c = E_f \cdot E_m / (V_f \cdot E_f + V_m \cdot E_m) \quad (2.26)$$

Not etmek gerekir ki, izostress ve izostrain yükleme koşulları bir kompozitin teorik dizayn limitlerini temsil eder. Pratikte, çoğunlukla, mekanik performanslar bu limitlerin arasına denk gelir. Diğer taraftan, izostrain yükleme koşulunda, kompozitin benzer peklik değerlerinin yakalanması için fiberlerin daha düşük hacimsel oranları gerekmektedir.

2.1.3. Spesifik ısı kapasitesi

$J/kg.K$ ile ifade edilen kompozit malzemenin spesifik ısı kapasitesi, kompoziti oluşturan her bir komponenti k 'nın kütle oranına bağlıdır ve basit bir formülasyon ile ifade edilir.

$$c_{pC} = \sum_k w_k \cdot c_{pk} \quad (2.27)$$

2.1.4. Isı taşıma kapasitesi

Genel bir kural olarak, bir kompozit malzemenin ısı taşıma kapasitesi, kompozitin matriksinin ısı taşıma kapasitesi (k_m) ile takviye maddesinin (k_f) ısı taşıma kapasitesinin kompleks bir fonksiyonudur. Özel bir durum için, kompozit malzemenin ortotropik özelliklerde olması durumunda, matriks ve takviye maddesinin her birisi bir tensör $[k_{ij}]$ niceliğidir ki k_{11} , k_{22} , k_{33} gibi ana eksenler üzerindeki üç komponente sahiptir. k_{11} eksenel yöndeki, diğer ikisi de buna dik eksenlerdeki (k_{22} ve k_{33}) komponentlerdir. Özel bir durum olan,

her doğrultuda izotropik malzemeler için malzemenin eksenel ısı taşıma kapasitesi k_c , eksenel W/mK cinsinden ifade edilirse, karışım kanununa göre;

$$k_{c,eksenel} = k_{11} = V_f \cdot k_c + (1 - V_f) \cdot k_c \quad (2.28)$$

Diğer yönlerdeki ısı taşıma kapasitesi de daha kompleks bir eşitlik olarak yazılırsa;

$$\begin{aligned} k_{c,diğer} &= k_{22} = k_{33} \\ &= V_f \cdot k_c + \left[1 - (V_f)^{\frac{1}{2}} \right] \cdot k_m + k_m \cdot (V_f)^{\frac{1}{2}} / \left[1 - (V_f)^{\frac{1}{2}} \left(1 - \frac{k_m}{k_{f2}} \right) \right] \end{aligned} \quad (2.29)$$

2.1.5. Isıl genleşme katsayısı

Isıl taşıma kapasitesine benzer şekilde, bir kompozit malzemenin ısı genleşme katsayısı, kompozitin matriksinin ısı genleşme katsayısı (α_m) ile takviye maddesinin (α_f) ısı genleşme katsayısının kompleks bir fonksiyonudur. Özel bir durum için, kompozit malzemenin ortotropik özelliklerde olması durumunda, matriks ve takviye maddesinin her birisi bir tensör $[\alpha_{ij}]$ niceliğidir ki α_{11} , α_{22} , α_{33} gibi ana eksenler üzerindeki üç komponente sahiptir. α_{11} eksenel yöndeki, diğer ikisi de buna dik eksenlerdeki (α_{22} ve α_{33}) komponentlerdir. Özel bir durum olan, her doğrultuda izotropik malzemeler için malzemenin eksenel ısı genleşme katsayısı $\alpha_{eksenel}$ W/mK cinsinden ifade edilirse, karışım kanununa göre matriks ve fiberin Young modülü cinsinden ifade edilirse;

$$\alpha_{eksenel} = \alpha_{11} = [V_f \cdot E_{f1} \cdot \alpha_{f1} + (1 - V_f) \cdot E_m \cdot \alpha_m] / [V_f \cdot E_{f1} + (1 - V_f) \cdot E_m] \quad (2.30)$$

Diğer yönlerdeki ısı genleşme katsayıları daha kompleks bir eşitlik şeklinde;

$$\begin{aligned} \alpha_{diğer} &= \alpha_{22} = \alpha_{33} \\ &= \alpha_{f1} \cdot (V_f)^{\frac{1}{2}} + \alpha_m \cdot \left(1 - (V_f)^{\frac{1}{2}} \right) \cdot \{ 1 + \{ V_f \cdot E_{f1} \cdot \alpha_m / [\{ V_f \cdot E_{f1} \\ &\quad + (1 - V_f) \cdot E_m \}] \} \end{aligned} \quad (2.31)$$

2.2. Metal Matriks Kompozitler

Metal matriks kompozitler bir metal veya alaşım matriks ve takviye maddesinden (Örn. Partikül, monofilament veya whiskers) oluşurlar. Matriks alaşımı, takviye maddesi, takviyenin şekli ve hacmi, takviyenin yeri ve fabrikasyon yöntemi, istenilen özelliğın gerçekteştirilmesi için değıştirilebilir. Pek çok metal matriks kompozitinde matriks maddesi olarak alüminyum kullanılır. Alüminyum matriks kompozitler tek bir malzeme olarak düşünölmek yerine pekliğı, mukavemet, yoğunluğı, termal ve elektriksel özelliklerinin isteklere göre belirlenebildiğı bir malzeme ailesi olarak değıerlendirilmelidir. Her gün artan sayıdaki uygulamalarda, geliştirilmiş matriks özellikleri talep edilmekte ve böylece magnezyum, titanyum, super alaşımlar, bakır veya demir bile ticari anlamda kullanılır hale gelmiştir. Diğeri malzemeler ve alaşımları ile kıyaslandıklarında metal matriks kompozitler aşağıdaki avantajlara sahiptir.

Daha yüksek mukavemet – yoğunluk ve peklik – yoğunluk oranları,

Daha iyi yorulma ve aşınma dayanımı,

Daha iyi yüksek sıcaklık özellikleri,

Düşük sürünme oranı,

Daha düşük termal genleşme katsayısı.

Buna ilave olarak, metal matriks kompozitler, özellikle polimer matriks kompozitlere göre daha iyi performans gösterirler. Çünkü, ateşe dayanım gibi daha yüksek sıcaklık dayanımı, düşük gaz geçirgenliğı, daha yüksek çapraz eksen pekliğı ve mukavemeti ile mükemmel elektriksel ve termal ısı taşıma kapasitelerine sahiptirler. Bunun yanında, hala kompleks ve pahalı fabrikasyon metotları ile üretildiklerinden bazı dezavantajlara da sahiptirler.

Metal matriks kompozitler, genellikle monofilamentler, süreksiz fiberler, whiskerler, partiküller veya teller ile takviye edilirler. Tellerin dışında, takviye

maddeleri genellikle seramik, boron, karbon, alumina ve silikon karbit gibi ileri seviye metallerdir. Metal teller, tungsten, berilyum, titanyum ve molibden'den üretilirler. En önemli metal matriks kompozit sistemleri Çizelge 2.1'de özetlenmiştir.

Çizelge 2.1. Ana ticari metal matriks kompozitler

Metal matriks	Takviye maddesi	Uygulamalar
Aluminyum	SiC ve B ₄ C partiküller	Fren rotorları, pistonlar ve diğer otomotiv parçaları
	C, B, SiC, veya Al ₂ O ₃ monofilamenler	Golf sopaları, bisikletler
	Al ₂ O ₃ ve SiO ₂ süreksiz fiberler	Makina parçaları
	SiC whiskerler	Golf sopaları, bisikletler
Magnezyum	SiC ve B ₄ C partiküller	
	C veya Al ₂ O ₃ monofilamenler	
	SiC whiskerler	
Titanyum Bakır	TiC partiküller SiC veya Al ₂ O ₃ kaplı monofilamentler SiC, B ₄ C, TiC partiküller	Termal kaplamalar Yüksek – sıcaklık, korozyon dirençli komponentler veya uzay mekiği için kaplama malzemesi Elektronik paketleme
	C ve SiC monofilamentler	
	Nb ₃ Ti ve Nb ₃ Sn teller	Süperiletkenler
Süper alaşımlar	Tungsten teller	900 °C üzerindeki sıcaklıklarda çalışan jet türbin motorları

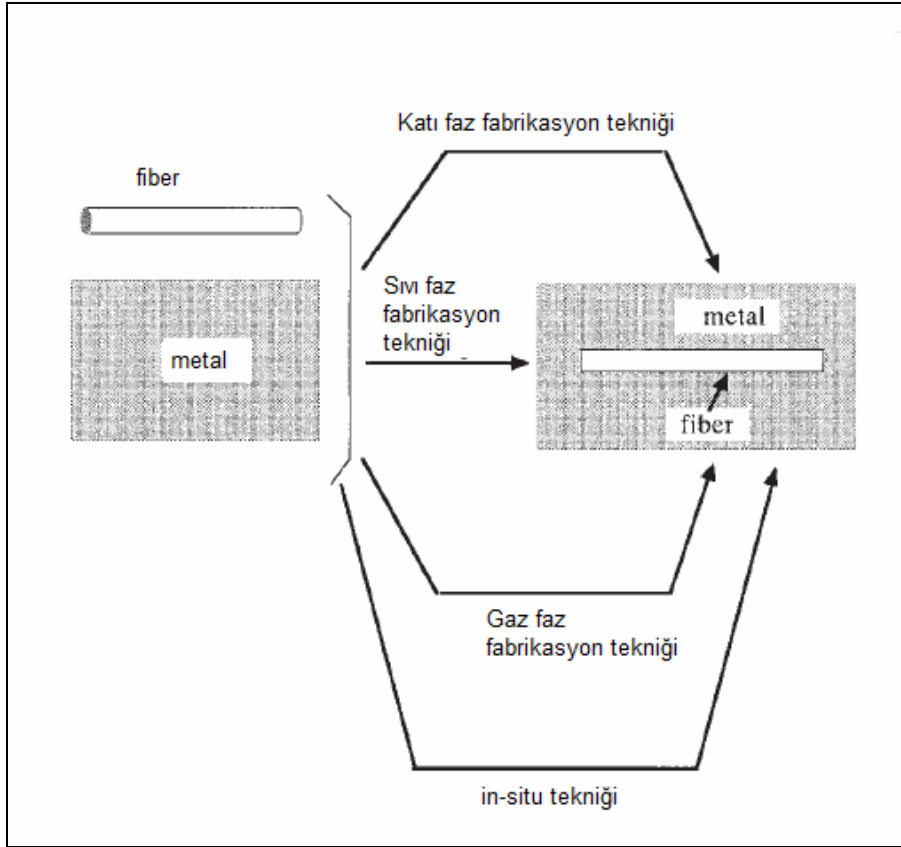
3. METAL MATRİKSLİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİLMESİ

Hafif metal uygulamaları, makinaların verimini artırmakta ve enerji tüketimini düşürmektedir. Alüminyum, magnezyum gibi hafif metal alaşımları, çelikle karşılaştırıldıklarında, düşük elastik modül, yüksek termal genleşme katsayısı ve düşük aşınma direncine sahiptirler. Ancak, bu alaşımlar fiberlerle veya partiküllerle takviye edildiklerinde takviye maddesinin özelliklerine göre elastik modülleri yükselir ve termal genleşme katsayıları düşer. Metal matriksli kompozitlerin işlenmesi zor ve üretim maliyetleri yüksektir. Bu nedenle ticari anlamda değer kazanmış matriksli kompozitlerin sayısı oldukça düşüktür. Buna ilave olarak, metal matriks kompozitlerin geri dönüşümü önemli bir konu haline gelmiştir.

Metal matriksli kompozitin serbest enerjisi, genellikle matriks ve takviye maddesinin ayrı ayrı serbest enerjileri toplamından fazladır. Serbest enerjilerdeki farkı oluşturmak için uygulanan yöntemler mekanik veya kimyasal anlamda olmaktadır. Geri dönüşümünde, serbest enerji bariyerini aşarak takviye maddesini matriksten ayırmak için tekrar bir mekanik veya kimyasal metot gerekmektedir.

3.1. Metal Matriks Kompozitlerin Fabrikasyonu

Metal matriksli kompozitlerin üretilmesinde pek çok yöntem geliştirilmiştir.



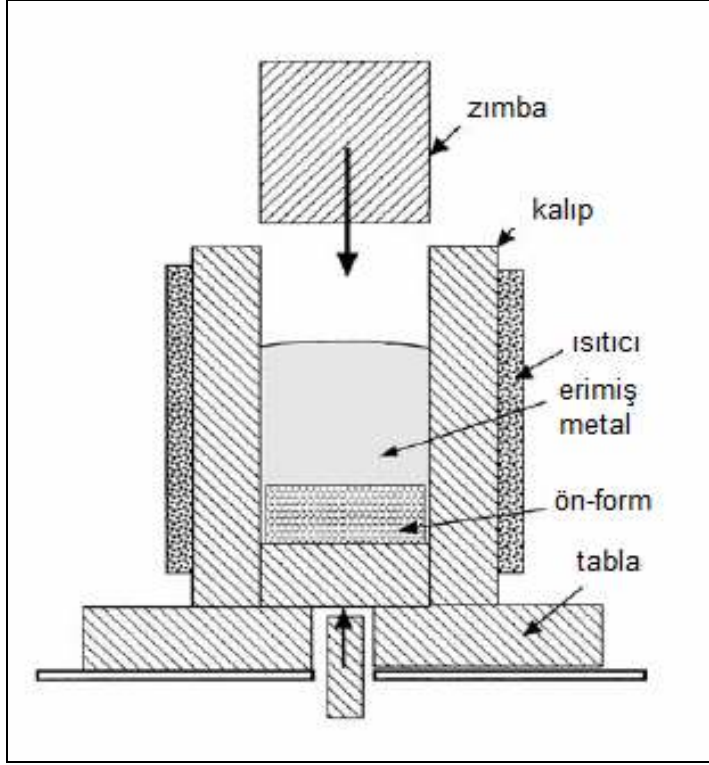
Şekil 3.1. Metal matriks kompozit fabrikasyon yöntemleri

Bu yöntemlerin basitleştirilmiş sınıflandırılması katı faz, sıvı faz, gaz fazı ve in-situ metodlarıdır (Şekil 3.1.). Bazı metal matriksli kompozitlerin işleme yöntemleri bu sınıflamaların hiçbirisine uymamaktadır.

3.1.1. Basınç sızdırma (infiltrasyon) yöntemi ile döküm

Önceden ısıtılmış ön-form fiber veya partiküller, önceden ısıtılmış bir kalıbın içerisine alınırlar. Erimiş metal bir kalıbın içerisine yavaşça dökülerek bir pres yardımı ile ön formun matriksin içerisine sızması (infiltrasyonu) gerçekleştirilir ve soğuma sistem basınç altında iken gerçekleştirilir (Şekil 3.2.). Bu yöntem ile, metal ile fiber arasındaki temas açısı 90° 'den fazla ise iyi bir takviye elde

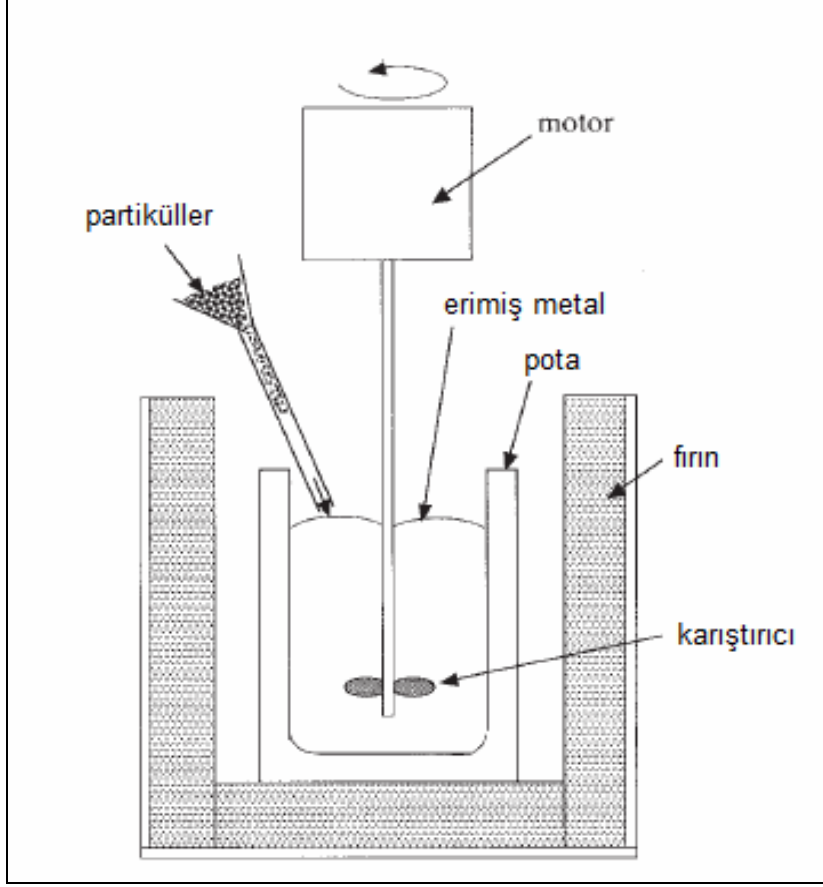
edilmiş olur. Takviye maddesi bu yöntemde her tarafından erimiş metal ile temas edebilir.



Şekil 3.2. Basınç sızdırma (infiltrasyon) yöntemi için tipik bir aparat

3.1.2. Vorteks oluşturarak döküm

Sıvı faz üretim yöntemine bir diğer örnekte vorteks oluşturma yöntemi ile dökümdür. Erimiş metal, bir karıştırıcı yardımı ile karıştırılır. Takviye maddesi bu sırada eklenir ve takviye maddesi karışmakta olan erimiş metal ile etkileşime girer (Şekil 3.3.). Bu yöntemin dezavantajı takviye maddesinin her tarafından erimiş metal temas etmesi mümkün olmayabilir. Karıştırmaya devam etmek bu teması artırır ancak genellikle magnezyum, kalsiyum ve lityum ilavesi veya takviye maddesinin işlem öncesi kaplanması veya okside edilmesi temasın artırılmasına yardımcı olur.

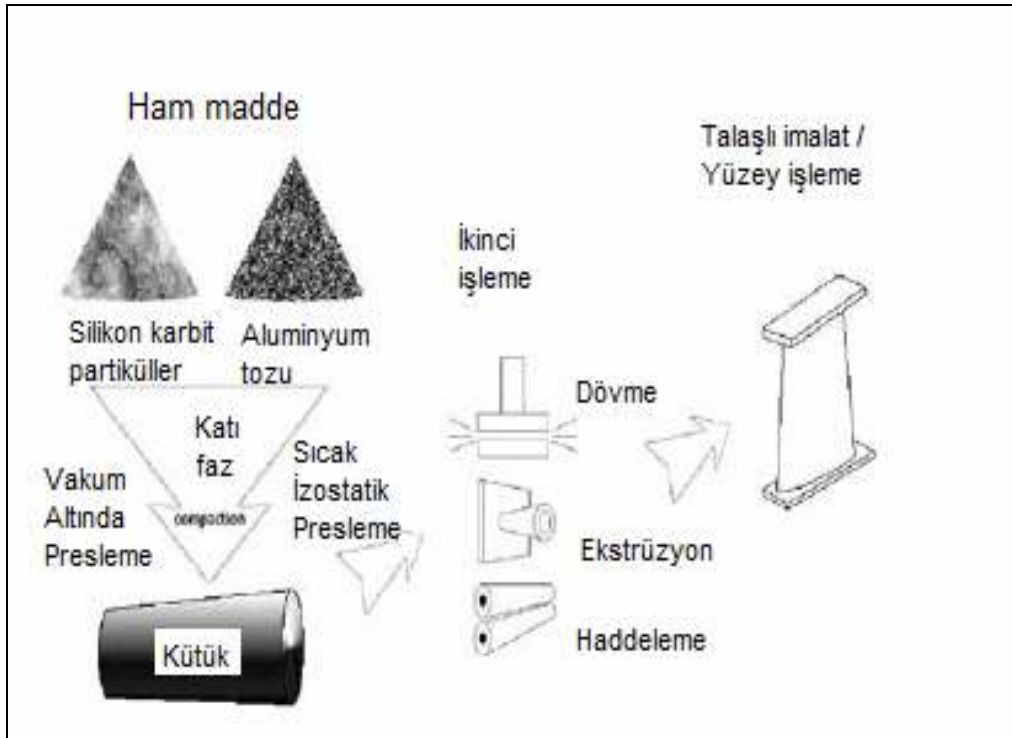


Şekil 3.3. Vorteks oluşturma yöntemi için şematik gösterim

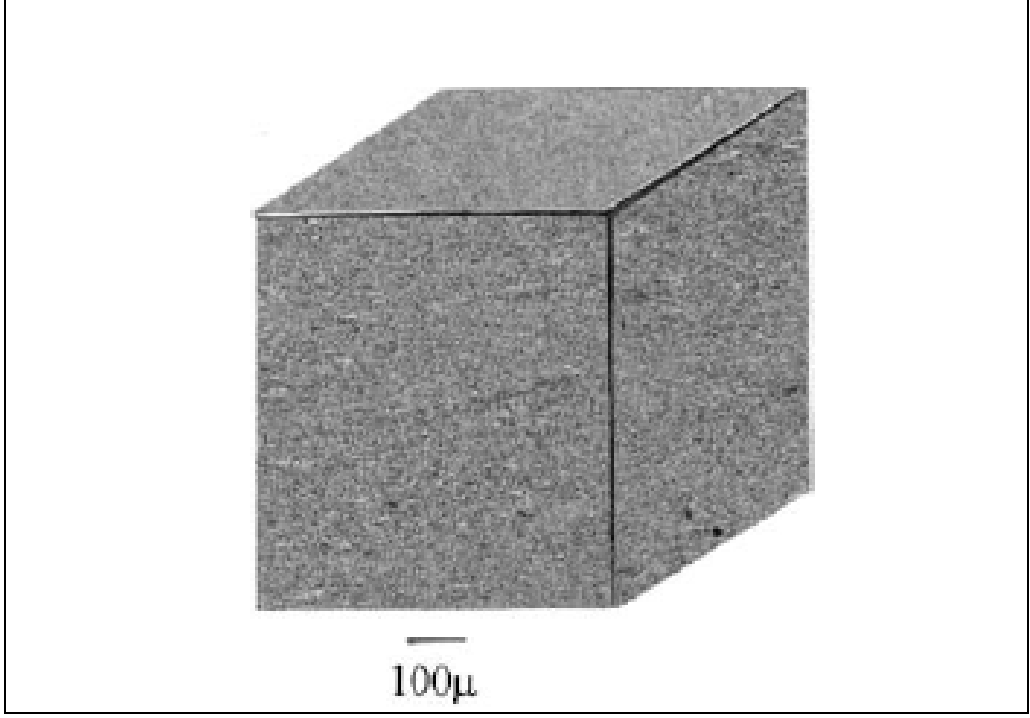
4. METAL MATRİKS KOMPOZİTLERİN ÖZEL UYGULAMA ALANLARI

4.1. Hava Taşıt Motorları için Metal Matriks Kompozitler

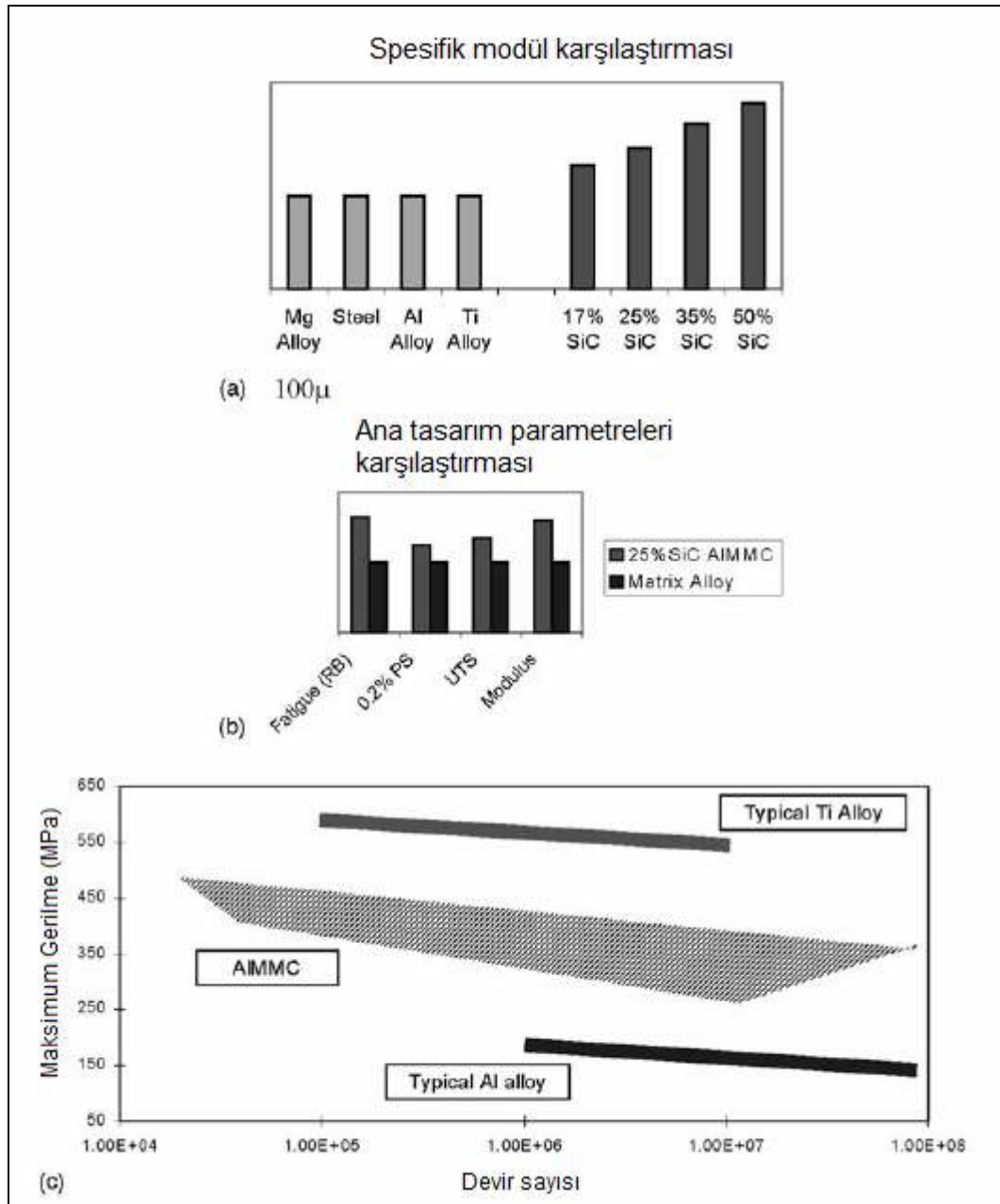
Günümüzde, silikon karbit ($\sim 12 \mu\text{m}$ 'den küçük) partikül takviye edilmiş alüminyum metal matriks kompozitler, hava taşıt motorları için en iyi potansiyeli oluşturmaktadır. Kullanılan alüminyum 2000 ve 6000 serisi arasından seçilir. Metal tozları sıcak izostatik presleme veya vakum altında sıcak presleme yöntemleri kullanılarak kütük haline getirilirler. Daha sonra, ikinci işleme uygulanır ve istenilen şekil verilir (Şekil 4.1.). İnce tozların kullanılması, iyi bir tane yapısı oluşmasını ve özelliklerin izotropik hale gelmesini garanti eder (Şekil 4.2.). Sonuçta elde edilen komponentin özellikleri, proses sırası ve işçilik zamanına bağlı olarak değişir (Şekil 4.3.). Alüminyum metal matriks kompozitler, uçak motoru üzerinde 150°C 'den düşük sıcaklıktaki bölgelerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Şekil 4.4.).



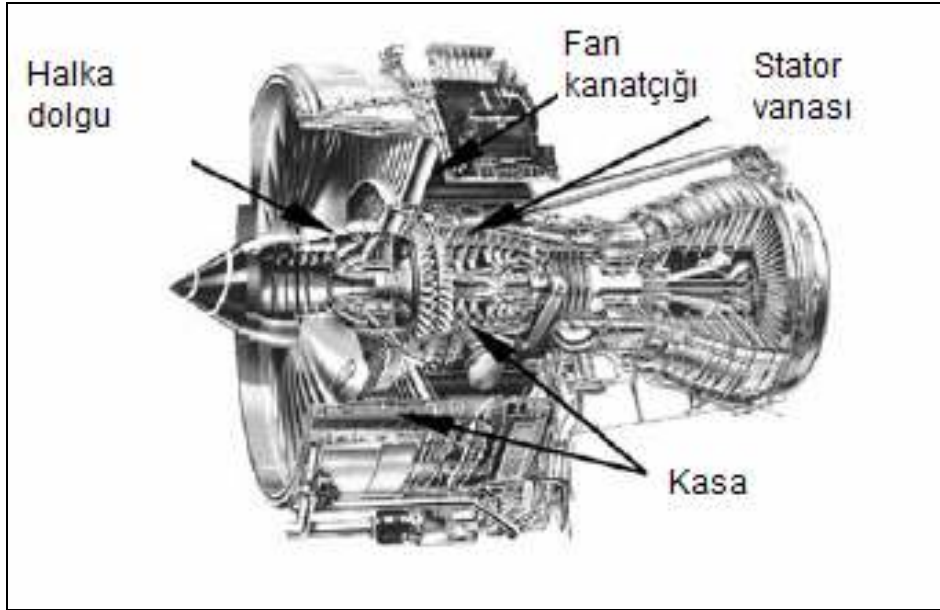
Şekil 4.1. Alüminyum metal matriks kompozit işleme sırası



Şekil 4.2. Aluminyum metal matriks kompozitin izotropik mikro yapısı



Şekil 4.3. Alüminyum metal matriks kompozit mekanik özellikleri. (a) Spesifik modül karşılaştırması, (b) Matriks özellik karşılaştırması, (c) Yorulma özelliklerinin karşılaştırılması (Aerospace Metal Composites Ltd.)



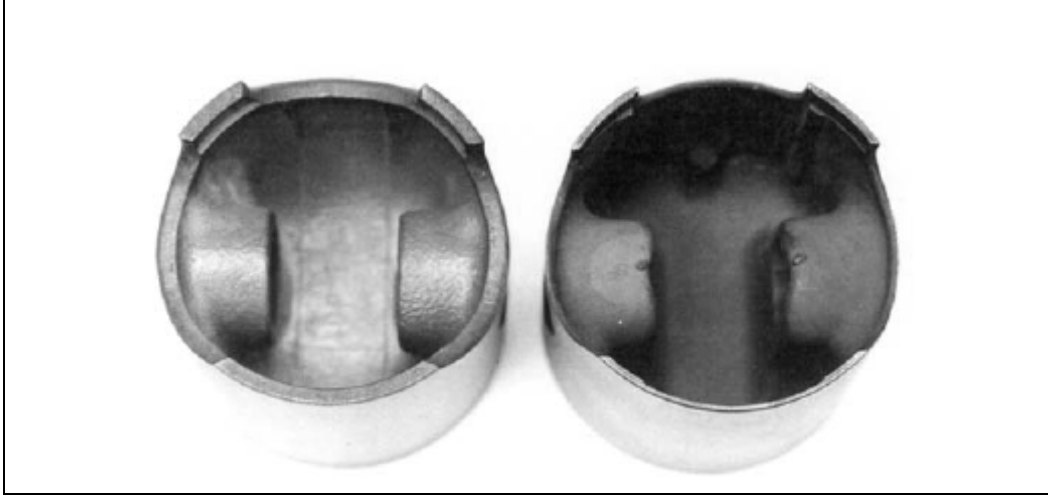
Şekil 4.4. Alüminyum metal matriks kompozitin uçak motoru üzerindeki muhtemel kullanım uygulamaları (yaklaşık 150°C'yi geçmeyen yerlerde)

4.2. Motorbisikletler için Metal Matriks Kompozitler

Metal matriks kompozitleri motorbisikletler üzerinde kullanıldığı yerler Çizelge 4.1.'de özetlenmiştir.

Çizelge 4.1. Motor bisikletler üzerinde metal matriks malzemelerin kullanıldığı parçalar

Motor parçası	Malzeme	Üretim yöntemi	Son ürün üreticiler
Piston	Ekstrüze edilmiş PM-Al alaşımlar	Dövme	Yamaha
Piston – piston kafası ve üst segman kanalının takviyelendirilmesi	SiC whisker veya alüminyum borat whisker + yüksek Si Al döküm alaşım	Basınç altında kalıpta döküm	Suzuki
Piston – üst segman kanalının takviyelendirilmesi	Alumina fiber + yüksek Si Al alaşım	Basınç altında kalıpta döküm	Toyota
Egsoz valfi	Ekstrüze PM-Ti alaşım	Dövme	Toyota
Silindir gömleği	Çeşitli tip kompozit	Basınç altında kalıpta döküm	Çeşitli
Bağlantı çubuğu	Paslanmaz fiber + Al döküm alaşım	Basınç altında kalıpta döküm	Honda
Krank mili kasnağı	Alsilon fiber + Al-12Si-1Cu-1Mg alaşım	Yüksek basınç altında kalıpta döküm	Toyota
Motor gövde parçaları	Alumina partikül + Al6061	Döküm ingotun ekstrüzyonu	GM
Valf yay koruyucu	Alumina, zirkonia ve silika partiküller + PM-Al alaşım	Ekstrüzyon	Honda



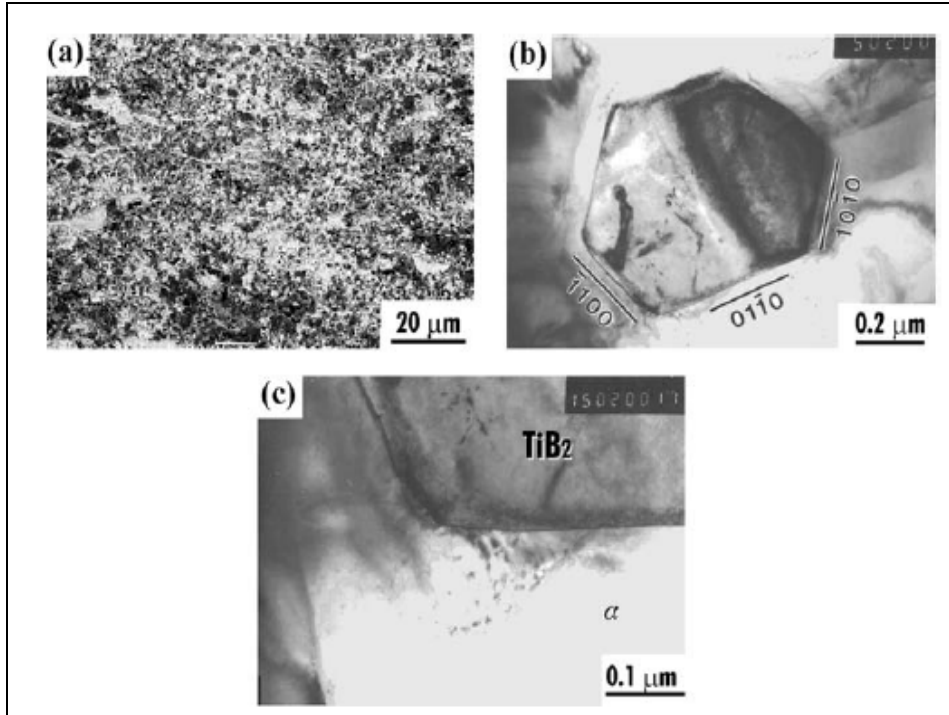
Şekil 4.5. Dökülmüş(sol) ve dövülmüş kompozit(sağ) karşılaştırma

Dövülmüş kompozit parçalar ile üretilen parçaların ağırlıklarında tasarruf edilmesi mümkün olmaktadır (Şekil 4.5.).

4.3. Otomobil Parçaları için Yüksek Modüllü Çelik Matriks Kompozitler

190-210 Gpa arası Young modülü değerleri uzun süre demir ve neredeyse tüm çelik türleri için doğal değer olarak kabul görmüştür. Makina parçalarını tasarlariken, malzemenin elastik davranışı genellikle malzemenin en yüksek gerilme dayanımı değerinden daha fazla bir öneme sahiptir. Vibrasyon karakteristikleride kullanılan malzemenin elastik davranışına bağlı olarak şekillenmektedir. Yüksek hızla dönen parçalar için dönme hızı parçanın doğal frekansına eşit olduğunda rezonans meydana gelir. Eğer parçanın spesifik modülü (yoğunluk başına Young modülü) yüksek ise parçanın doğal frekansı normal şartlarda kullanılan devirlerin üzerinde bir frekansa kaymakta ve tolere edilebilecek en yüksek devirlerinde yükselmesine ve güvenli bölgenin genişlemesine ve gürültünün azaltılabilmesine olanak sağlamaktadır.

Yukarıdaki bilgiler ışığında, çelik kompozitlerin geliştirilmesi (Örneğin, 30TiB2/Fe-17Cr) (Şekil 4.6.) yüksek performanslı (Şekil 4.7.), hafif ve geliştirilmiş titreşim özellikleri olan makinalar geliştirmek için çok büyük bir önem taşımaktadır.



Şekil 4.6. (a).30TiB₂/Fe-17Cr'nin elektron mikroskobunda görülen mikroyapısı, (b) 30TiB₂ partikül görüntüsü, (c) Demir - TiB₂ partikül arayüzü



Şekil 4.7. Yüksek modül çelik kompozitten üretilmiş deneme otomobil motoru parçaları

5. LİTERATÜR TARAMASI

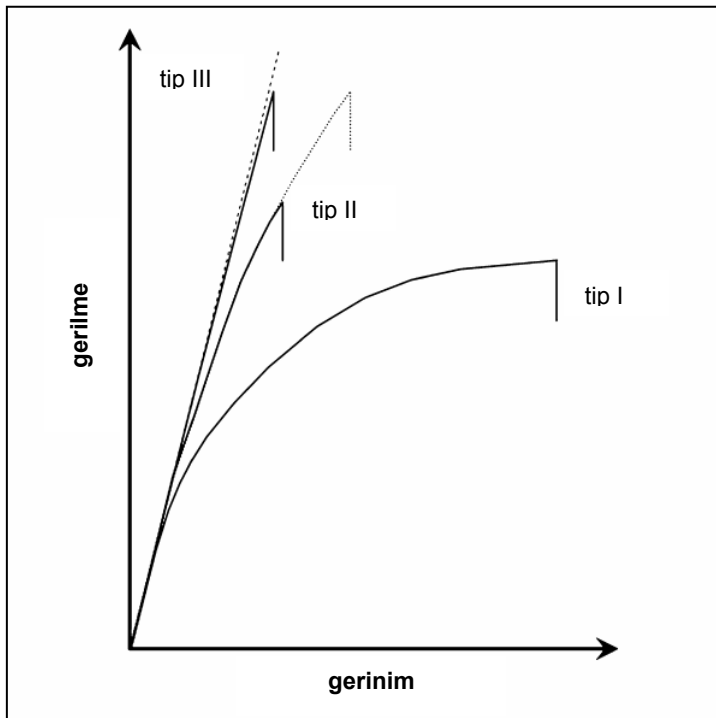
Nano boyuttaki güçlendiriciler takviye edilmiş kompozit malzemelerin üretilmesi, termal ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi pek çok çalışmaya konu olmuştur.

Ticari üreticiler, mali nedenlerle partikül takviyeli kompozitlere konsantre olmuşlardır. Firmalar, toz metalurji, döküm, püskürtme gibi üretim teknikleri kullanmaktadırlar. Harrigan [1], laboratuvar boyutunda geliştirilen üretim metodlarından çok daha düşük maliyet ile üretimi amaçlayan rafine teknikler üzerine odaklanmıştır. Soğuk izostatik presleme ve vakum altında sinterleme yöntemi ile üretilen kompozitlerin mekanik özelliklerinin vakum altında sıcak presleme işleminin de olduğu üretim metodundan elde edilen kompozitlerle aynı olduğunu tespit etmiştir. Vakum altında sıcak presleme işlemi olmadığından, daha az üretim adımı olan soğuk izostatik presleme - sinterleme ile üretilen kompozitlerin daha az maliyetli olacağını göstermiştir.

Soğuk presleme ve yüksek sıcaklıklarda sinterleme, sıcak presleme ve sıcak izostatik presleme gibi geleneksel kuvvetlendirme yöntemlerinde, işleme sırasında oluşan tane büyümesi nedeniyle tane büyüklüklerinin nano boyutlarda tutulmaması kuvvetli bir kısıt oluşturmaktadır. Viswanathan ve arkadaşları [2], nano kompozit üretim sırasında malzeme özelliklerinin iyileştirilebildiği ve tane büyüklüklerinin nano boyutlarda kalabildiği (tane büyümesinin görülmediği) çeşitli üretim metodları üzerine yapılmış çok sayıdaki çalışmanın sonuçlarını detaylı bir şekilde incelemişler ve güncel çalışmalar ve gelişmeleri birarada özetlemişlerdir.

Beffort ve arkadaşları [3], matriks alaşımları ve ısıtma işlem prosedürleri ile likit metal infiltrasyonu (sıkıştırma döküm) yöntemi ile üretilmiş yüksek SiC hacimli (%50p - %75p) Alüminyum matriksli metal matriks kompozitlerin mekanik özelliklerinin değişimlerini incelemişlerdir. Alüminyum matriks alaşımının ve T6 ısıtma işlem metodunun, kompozitin elastik modülü üzerinde herhangi bir

etkisinin olmadığını ve elastik modül değerlerinin 200 ile 210 GPa arasında değiştiğini ve kullanılan iki farklı ölçüm yöntemi ile elde edilen ölçüm değerlerinin uyumlu olduklarını göstermişlerdir. Elastik modülden farklı olarak, sertliğin Alüminyum alaşımı ve uygulanan T6 ısıt işleminde açıkça etkilendiğini tespit etmişlerdir.



Şekil 5.1. Farklı AlXX/SiC/60p kompozitlerin gerilme – gerinim davranışlarının şematik gösterimi (tip I: Al99.99/SiC/60p ve AlZn6/SiC/60p, tip II: AlMg4/SiC/60p, AlCu3/SiC/60p-F&T6 ve AlZn6Mg1/SiC/60p-F, tip III: AlZn6Mg1/SiC/60p-T6)

Alüminyum matriksli ve yüksek SiC hacimli metal matriks kompozitleri alüminyum alaşımı ve uygulanan ısıt işleme göre üç farklı tipe ayırmışlar ve gerilme – gerinim davranışlarını belirlemişlerdir (Şekil 5.1.).

Baron ve arkadaşları [4], sinterlenmiş metal partiküller ile kuvvetlendirilmiş alüminyum metal matriks kompozitlerin sıkıştırma döküm yöntemi ile üretilmesi ve karakterlerinin tespit edilmesine çalışmışlardır. Dört çeşit metal tozu kullanmışlardır: sade karbon çeliği, 409 paslanmaz çelik, A6 takım çeliği ve aşınma dayanımı yüksek paslanmaz çelik. Tüm kompozitler benzer

şartlarda dökülmüşlerdir. Sadece sade karbon çeliğinin reaksiyon süresi diğerlerine göre bariz bir fark göstermiştir. Çekme testinde, 409 paslanmaz çelik dışındaki kompozitler çok az bir süneklik göstermişlerdir. En yüksek süneklik, kuvvetlendiricinin matrikse göre olan yüksek göreceli yoğunluğuna ve reaksiyon fazının az oluşuna bağlanmıştır.

Laha ve arkadaşları [5], plazma püskürtme metodu ile üretilmiş Al – Karbon nano tüp nano kompozitin mekanik özellikleri belirlemek üzere çok eksenli çekme testi metodu geliştirmişlerdir. Çekme testi sonuçları, plazma püskürtme metodu ile üretilmiş Alüminyum alaşımına göre plazma püskürtme metodu ile üretilmiş Al – Karbon nano tüp nano kompozitin elastik modülünde %78'lik bir iyileşme, ancak kırılma geriniminde %46 oranında azalma tespit etmişlerdir.

Guden ve Hall [6], tamamen farklı üç metal matriks kompozit ile yaptıkları çalışmalarda her bir kompozitin yüksek gerinim oranı tepkisini (a) matriksin herhangi bir kuvvetlendirici olmaksızın ve (b) deformasyon sırasındaki hasar oluşumu ve birikimi için tespit etmişlerdir. Kısa fiberli kompozitin yüksek gerinim oranı davranışı matriksin düşük gerinimleri tarafından belirlenirken, yüksek gerinimlerde fiber hasarı ile belirlenmekte olduğunu tespit etmişlerdir. Whisker kuvvetlendirici kullanılmış kompozitin davranışı her gerinim için matriks tarafından belirlenmektedir. Sıcaklığın artırılması bölgesel gerinimlerin stabilitesini bozmakta ve kompozitin kopmasını hızlandırmaktadır.

Huber ve arkadaşları [7], termal mekanik analiz ekipmanı kullanarak değişik oranlarda SiC partikül ile kuvvetlendirilmiş alüminyum metal matriks kompozitlerin 500 °C'ye kadar olan termal genleşme davranışını incelemişlerdir. Değişik alüminyum matriks kompozisyonlarını (Al99.5, A356, A359) ve değişik SiC oranlarını (10p, 20p, 55p, 70p) incelemişlerdir. Silisyumun Alüminyum içerisindeki çözünürlüğünün sıcaklığa bağlılığının Al-Si matriks alaşımının doğrusal genleşme katsayısını etkilediğini tespit etmişlerdir.

Salzar [8], otofretajın silindirik silah namlusu üzerindeki etkilerini simüle eden bir analitik model kullanarak, bası kalıcı gerilmelerini hesaplamış ve değişik malzemeleri, bu malzemelerin tekrar eden iç basınç yükü altındaki kırılma dirençlerini dikkate alarak denemiştir. Yüksek sıcaklık SiC/titanyum alaşımı metal matriks kompozitin değişik hibrit kombinasyonları, gerekli kalıcı gerilme ve elastik olmayan gerinim durumları incelenmiştir. İç bölümü düşük alaşımlı silah çeliği ve dış bölümü Sic/Ti-24Al-11Nb kompozit olan namlunun homojen çelik namlu ile benzer bası kalıcı gerilmeleri oluşturduğu ve orjinal namlu ölçülerinde kalınması ile beraber %37'lik bir ağırlık kazanılabileceğini tespit etmiştir.

Khoeve ve arkadaşları [9], sıkı geçme ile monte edilmiş bir kabuğun kalınlığının optimizasyonunu genetik algoritma ve birinci derece metodu ile gerçekleştirmişlerdir. Genetik algoritma ile tespit edilen kalınlığın birinci derece metoduna göre daha az olduğunu belirlemişlerdir.

5.1. Malzeme Bilgileri (Literatür Taraması)

Çizelge 5.1. Boralyn kompozitleri için çekme testi verisi [1]

Malzeme	Elastik modül (Gpa)	Akma mukavemeti (Mpa)
Boralyn H-15	98	372
Al6092/SiC/17.5p	106	434
Boralyn H-25	120	400
Al6092/SiC/25p	123	427
Boralyn E-5 (T6 ¹)	77	621
7075 Aluminum (T6)	72	510

Çizelge 5.2. AlXX/SiC/60p kompozitleri için mekanik özellikler [3]

Malzeme	Elastik modül (Gpa)	Akma mukavemeti (Mpa)
Al99.99 (F ²)	199.7	477.2 ± 16
AlMg4 (F)	202.1	502.8 ± 27
AlZn6 (F)	199.1	493.7 ± 20.1
AlCu3 (F)	207.2	493.9 ± 63.1
AlCu3 (T6)	205.4	563.7 ± 56.3
AlZn6Mg1 (F)	206.0	532.8 ± 25.5
AlZn6Mg1 (T6)	210.4	562.0 ± 19.8

¹ T6 tipi işleme tabi tutulmuş.

² F tipi işleme tabi tutulmuş.

Çizelge 5.3. Çizelge 380 Alüminyum alaşımı ve 380 Alüminyum alaşımı matrisli kompozitlerin çekme testi verisi [4]

Malzeme	Elastik modül (Gpa)	Akma mukavemeti (Mpa)
380 Al – karbon çeliği (Anchorsteel 1000)	--	--
380 Al – 409 paslanmaz çelik	157.0	245.5
380 Al – A6 takım çeliği (Deltacrome 6347)	140.9	--
380 Al – aşınma dayanımlı paslanmaz çelik (HC _x tozu)	--	--
380 Al kuvvetlendiricisiz	68.43	123.4

Çizelge 5.4. Alüminyum matris ve çeşitli Si kuvvetlendiricili kompozitlerin sıcaklığa bağlı elastik modül ve poisson oranı değişimleri [7]

Malzeme	Sıcaklık (°C)	50	100	200	300	400	500
Al99.5	Elastik Modül (Gpa)	69.2	67.6	64	59.8	54.9	49.9
	Poisson Oranı (ν)	0.33	0.33	0.33	0.34	0.36	0.38
Al-Si7Mg (T5)	Elastik Modül (Gpa)	74.4	71.2	67.3	62.7	58.4	54.4
	Poisson Oranı (ν)	0.33	0.33	0.33	0.34	0.36	0.38
Al-Si	Elastik Modül (Gpa)	163	162	161	160	156	157
	Poisson Oranı (ν)	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22
Al-SiC	Elastik Modül (Gpa)	450	450	450	450	450	450
	Poisson Oranı (ν)	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18

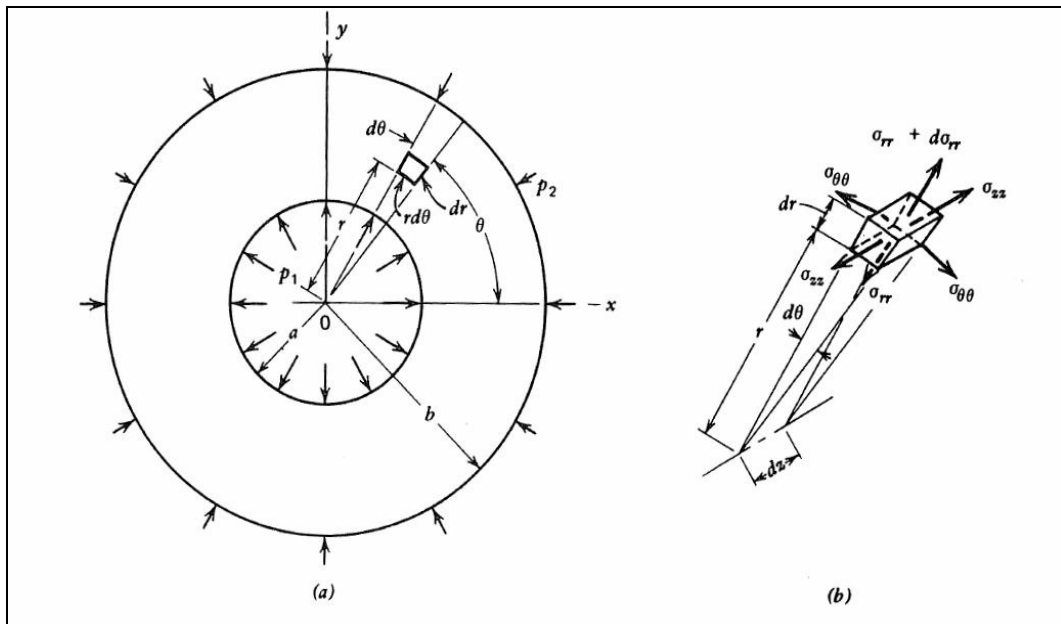
Çizelge.5.5. Değerlendirilmeye alınan kompozit malzemeler ve özellikleri

Malzeme	Elastik modül (Gpa)	Akma Mukavemeti (Mpa)
Al6092/SiC/17.5p	106	434
AlMg4/Sic/60p	202.1	502.8
Al7075	72.0	510.0
AlCu3/Sic/60p	205.4	563.7
Boralyn E-5	77	621.0

6. KALIN DUVAR SİLİNDİR

Kalın duvar silindirler endüstride basınçlı kap, borular, silah namlusu vb. alanlarda yaygın olarak kullanılırlar. Pek çok uygulamada silindirin et kalınlığı sabit ve silindir düzgün dağılmış bir iç basınç p_1 'e, dış basınç p_2 'ye, eksenel bir kuvvet P 'ye ve sıcaklık değişimi ΔT 'ye (düzgün dağılmış bir başlangıç referans sıcaklığına göre ölçülmüş) maruz bırakılmıştır. Genellikle, sıcaklık değişimi ΔT sadece radyal koordinat r 'nin bir fonksiyonudur. Bu durumda silindir deformasyonları, silindirin eksenine göre simetrik. Pratik anlamda, silindir kesitinin deformasyonları eksenel koordinat z 'den bağımsızdır. Özelde ise, eğer silindirin iki ucu açık ve sınırlandırılmamış ise silindir, iç basınç p_1 'e, dış basınç p_2 'ye ve sıcaklık değişimi $\Delta T = -\Delta T(r)$ 'ye göre değişen eksen simetrik bir deformasyona uğrar. Tüm bu değişkenler z 'den bağımsızdır.

Kalın duvar silindir hesaplarında r (radyal koordinat), θ (çevresel koordinat), z (eksenel koordinat) silindirik koordinat sistemi kullanılır (Şekil 6.1.).



Şekil 6.1. Kalın duvar silindirdeki gerilmeler (a) z ekseninin düzleme dik olduğu gösterim (b) Kalınlık dz 'nin silindirik hacim elemanı

6.1. Formüller

Düzlem gerilme durumu için ($\sigma_z = \text{sabit}$, $\varepsilon_z = 0$)

Sınır Şartlar

$$\sigma_0 = \sigma_r|_{r=a} \quad (6.1)$$

$$U_0 = U_r|_{r=a} \quad (6.2)$$

Yerdeğiştirme

$$u = \frac{u_0[(G\nu/\lambda)(r/a) + a/2r]}{1-\nu} + \frac{\sigma_0\nu(r-a^2)}{2(1-\nu)\lambda r} + F_u \quad (6.3)$$

Radyal Gerilme

$$\sigma_r = \frac{u_0 G[r^2 - a^2]}{(1-\nu)a r^2} + \frac{\sigma_0[1/2 + (G\nu/\lambda)(a/r)^2]}{1-\nu} + F_\sigma \quad (6.4)$$

Çevresel Gerilme

$$\sigma_\theta = \frac{4G(\lambda+G)}{\lambda+2G} \frac{u}{r} + \frac{\lambda}{\lambda+2G} \sigma_r - \frac{E\alpha T}{1-\nu} \quad (6.5)$$

Eksen Boyunca Gerilme

$$\sigma_z = \frac{2\lambda G}{\lambda+2G} \frac{u}{r} + \frac{\lambda}{\lambda+2G} \sigma_r - \frac{E\alpha T}{1-\nu} \quad (6.6)$$

6.2. Yükleme Formülleri

$$\langle r - a \rangle^0 = \begin{cases} 0 & r < a \\ 1 & r > a \end{cases} \quad (6.7)$$

Çizelge 6.1. Değişik yükleme durumları için formüller

	$F_u(r)$
Herhangi bir r değeri için radyal basınç	$\frac{-P\nu}{2(1-\nu)\lambda} \frac{r^2 - a^2}{r} \langle r - a \rangle^0$
Sabit Sıcaklık Değişimi T_1 (Çaptan bağımsız)	$\frac{r^2 - a^2}{2r} \frac{1 + \nu}{1 - \nu} \alpha T_1$
Silindirin Ω açısal hızı ile dönmesi durumu	$\frac{-\rho\Omega^2}{8} \frac{(r^2 - a^2)^2}{r} \frac{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}{E(1 - \nu)}$
Değişken sıcaklık değişimi $T(r)$	$\frac{1 + \nu}{1 - \nu} \frac{\alpha}{r} \int_a^r T(\xi) \xi d\xi$
	$F_\sigma(r)$
Herhangi bir r değeri için radyal basınç	$\frac{-P}{(1 - \nu)} \left[\frac{1}{2} + \frac{G\nu}{\lambda} \left(\frac{a}{r} \right)^2 \right] \langle r - a \rangle^0$
Sabit Sıcaklık Değişimi T_1 (Çaptan bağımsız)	$-\frac{r^2 - a^2}{2r^2} \frac{\alpha E}{1 - \nu} T_1$
Silindirin Ω açısal hızı ile dönmesi durumu	$\frac{-\rho\Omega^2}{4} (r^2 - a^2)^2 \left(2 - \frac{1 - 2\nu}{1 - \nu} \frac{r^2 - a^2}{2r^2} \right)$
Değişken sıcaklık değişimi $T(r)$	$-\frac{E}{1 - \nu} \frac{\alpha}{r^2} \int_a^r T(\xi) \xi d\xi$

6.3. Başlangıç Parametreleri

$$\overline{F_u} = F_{u|r=b} \quad (6.8)$$

$$\overline{F_\sigma} = F_{\sigma|r=b} \quad (6.9)$$

Çizelge 6.2. İç ve dış çapın kısıtlarına göre başlangıç parametre formülasyonları

	Dış Çap Sabit	Dış Çap Serbest
İç Çap Sabit	$\sigma_0 = \frac{-\overline{F_u}}{\nabla}$ $\nabla = \frac{\nu}{2(1-\nu)\lambda} \frac{b^2 - a^2}{b}$	$\sigma_0 = \frac{-\overline{F_\sigma}}{\nabla}$ $\nabla = \frac{1}{1-\nu} \left[\frac{1}{2} + \frac{G\nu}{\lambda} \left(\frac{a}{b} \right)^2 \right]$
İç Çap Serbest	$u_0 = \frac{-\overline{F_u}}{\nabla}$ $\nabla = \frac{1}{1-\nu} \left[\frac{G\nu}{\lambda} + \frac{b}{a} + \frac{a}{2b} \right]$	$u_0 = \frac{-\overline{F_u}}{\nabla}$ $\nabla = \frac{G}{1-\nu} \frac{b^2 - a^2}{ab^2}$

7. NAMLU DİZAYNI

Namlu dizaynında ilgilenilen konu, en az ağırlığa sahip yani en az radyal çapı olan ve mühimmatın güvenle ateşlenebildiği yapısal dayanıma sahip malzemenin belirlenmesidir. Bu nedenle namlu dizayn edilirken mühimmatın namlu içerisinde aldığı yolun her bir noktasında gerilme dağılımı oluşturan en yüksek basıncın bilinmesi gereklidir. Bu basınçlar istasyon yüksek basınçları olarak anılırlar ve genelde en ağır mermi ve en fazla barut haklarında oluşurlar. Bu basınçların namlu içerisinde defalarca uygulanması ile oluşacak yorulma durumu dizayn için en önemli parametredir.

Watervliet, Frankford ve Picattiny Arsenal'de “denenmiş ve doğrulanmış” el hesaplama yöntemleri geliştirilmiş ve halen kullanılmaktadır. Silahın ağırlığının ve sonlu elemanlar yazılım kodlarındaki gelişmelerin önemli konular haline gelmesi ile sonlu elemanlar yazılımlarının namlu benzetimlerinde kullanılmasının yaygınlaşmaktadır.

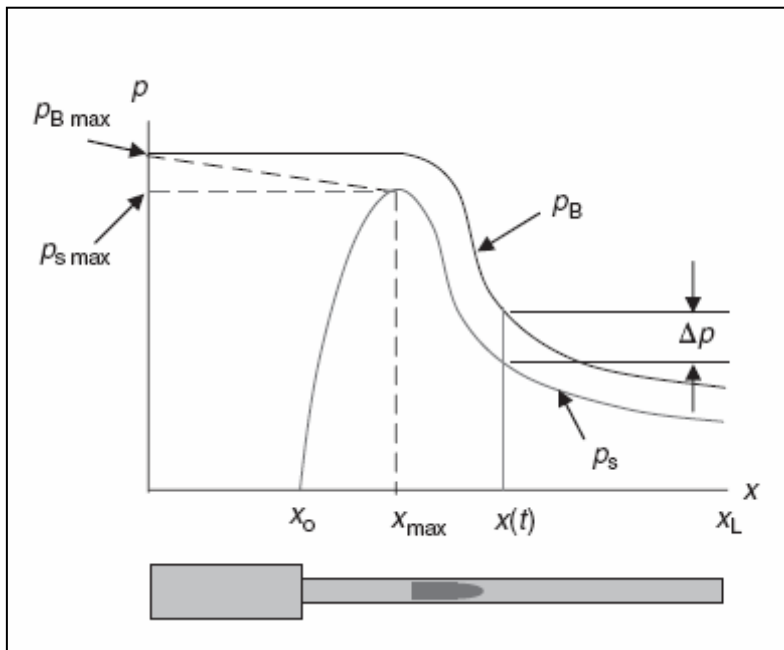
Namlu dizaynındaki bir diğer konu da sıcaklık değişimi ile namlu malzemesinde oluşacak malzeme dayanımının azalmasıdır. Silahın, Barutun hazne içerisinde yanması ile defalarca ateşlenmesi sonucunda büyük bir ısı açığa çıkmaktadır. Topçu ve tank namlularında oluşabilecek sıcaklıklar malzeme özelliklerini ters yönde etkileyebilecek değerlere ulaşabilmektedir. Hafif ve hızlı atım yapan silahlarda ise bu daha da önemli hale gelmekte, namlu ve hazne malzeme özelliklerini olumsuz yönde etkileyen ve gerilme analizlerinde daha fazla dikkate alınması gereken bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır.

Pek çok namlu dizayn yöntemi bulunmaktadır. Tek bir metal malzemedan üretim yöntemi, farklı katmanlardan oluşan namlu üretim yöntemi, otofretaj veya kendinden ceketli namlu üretim yöntemi, basınçlandırılmış silindir bir metale bir iç silindir geçirilmesi ile namlu üretim yöntemi, kablo sarılmış namlu üretim yöntemi. Bu yöntemlerden yaygın olarak kullanılanı otofretaj yöntemidir.

Namlu dizaynına başlanırken iç balistikçi, 21 °C ortam sıcaklığında ateşlenmiş ve en yüksek gerilmeyi oluşturacağı düşünülen mühimmat için ortalama basınç – konum ve basınç – zaman eğrilerini hesaplar. Burada hesaplanan en yüksek basınç silah için nominal basınçtır.

Namlu malzemesi 21 °C düşünülür ve namlu içerisinde malzemenin elastik limitine ulaşılan ve akmanın başladığı yeterli gerilme değerini oluşturan basınç değeri tespit edilmeye çalışılır. Bu değer namlunun elastik dayanım basıncıdır. Daha yüksek sıcaklıklarda sıcaklığa bağlı olarak malzemede oluşan dayanım düşümüne bağlı olarak bu değerin ayrıca belirlenmesi gereklidir.

En yüksek gerilme değerini oluşturacak mühimmatın namlu içerisindeki hareketi sırasında hazne arkası en yüksek basıncının ($p_{b \max}$) olduğu yer $x_{\max}$ 'tir. Aynı anda mühimmatın arkasındaki basınçta en yüksek değerine ulaşır. Ancak bu değer hiç bir zaman $p_{b \max}$ değerini aşmaz ($p_{s \max} < p_{b \max}$). Namlu boyunca, silahın arka basınç değeri ile mühimmat arkası basınç değeri arasında bir fark vardır (Şekil 7.1.).



Şekil 7.1. Bir namlu için basınç – konum eğrisi

Namlu dizaynı, namlunun gerilme halinin bilinmesini ve gerilme durumunda yetmezliğe karar verilmesini gerektirir. Bu nedenle von Misses kriteri, gerilme durumunda yetmezlik için yazılırsa;

$$\sigma_v^2 = (\sigma_r - \sigma_\theta)^2 + (\sigma_\theta - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_r)^2 \quad (7.1)$$

Yükleme durumu için hesaplanan gerilmeler yerine konularak Von Misses (Eşdeğer) gerilme değeri hesaplanır ve malzemenin akma sınırının, Von Misses akma kriterinden az veya fazla olması karşılaştırılarak yetmezlik durumu değerlendirilir.

8. BÖLÜMLER

Bilinen bir tasarım referans alınarak, yeni tasarımın ilk duruma göre kıyaslanması ve sonuçların tartışılması hedeflenmiştir.

8.1. Birinci Bölüm

Tamamen çelikten üretilmekte olan ve ölçüleri bilinen namlu haznesi için analitik yöntem ve sonlu elemanlar yöntemi çözümlemelerinin gerçekleştirilmesi.

Analitik yöntem ve Sonlu elemanlar yöntemi çözümlemelerinin karşılaştırılması.

8.2. İkinci Bölüm

Çelik bir iç silindir ve buna sıkı geçme olarak sarılmış metal matriks kompozit malzemenin sıkı geçme oluşumu ve iç basınç uygulanması durumundaki sonlu elemanlar çözümlemelerinin gerçekleştirilmesi.

8.3. Üçüncü Bölüm

Yazılan bir python kodu yardımı ile değişik çaplar için çelik bir iç silindir ve buna sıkı geçme olarak sarılmış metal matriks kompozit malzemenin sıkı geçme oluşumu ve iç basınç uygulanması durumundaki sonlu elemanlar çözümlemelerinin gerçekleştirilmesi.

Elde edilen sonuçların ölçüleri bilinen namlu ile karşılaştırılması ve bir optimum çap belirlenmesi.

Değişik metal matriks kompozitler için çözümlemelerin tekrarlanması ve değişik malzemeler için sıkı geçme toleransları ve optimum çaplar belirlenmesi.

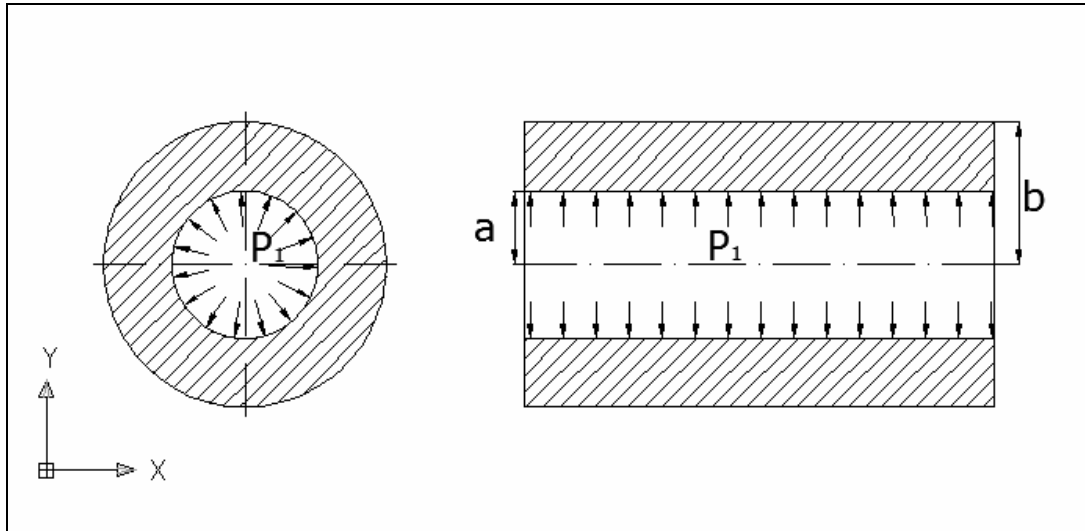
9. BİRİNCİ BÖLÜM

9.1. Analitik Hesaplama Modeli

Namlu haznesi, p_1 iç basıncına maruz bırakılmış, a iç ve b dış yarıçaplarına sahip, iç ve dış çapları sınırlandırılmamış, uçlarından sınırlandırılmış bir silindir olarak değerlendirilmiştir (Şekil 9.1.).

Testlerde her bir atım sonrası namlu hazne sıcaklığı lineer olarak artmaktadır. Tek bir atım düşünüldüğünde sıcaklık değişiminin gerilme dağılımına etkileri ihmal edilmiştir. Çoklu atımlar için termal etkiler ayrıca değerlendirilmelidir.

Hesaplamalar düzlem gerilme durumu için ($\sigma_z = \text{sabit}$, $\varepsilon_z = 0$) gerçekleştirilmiştir.



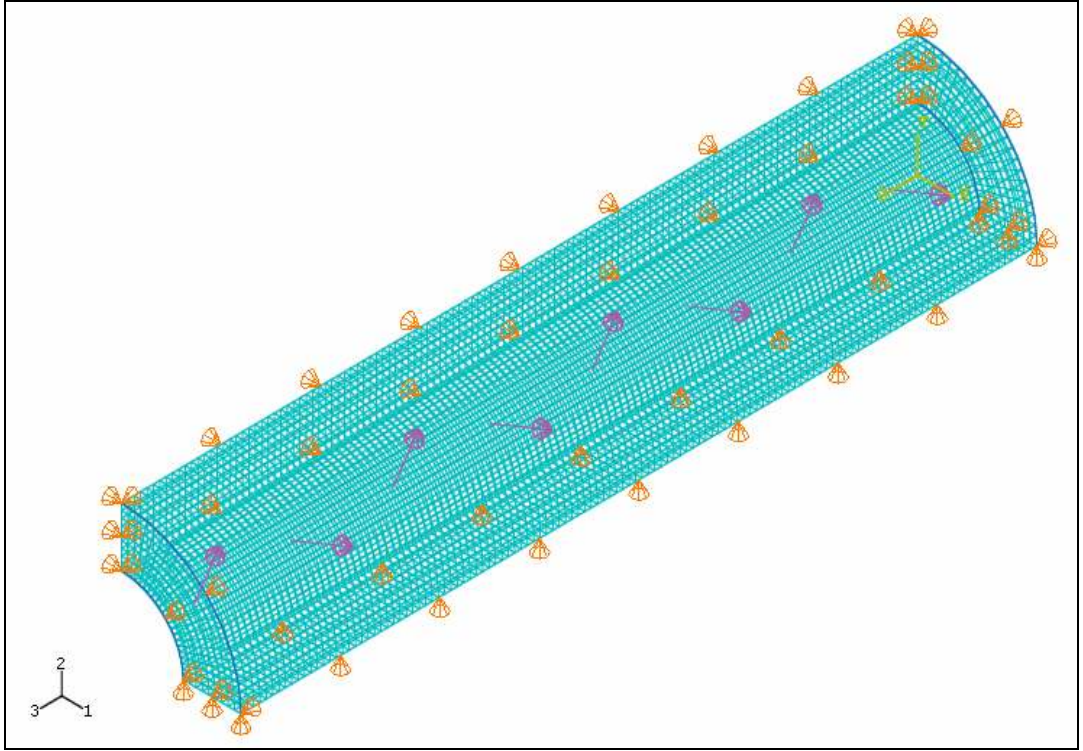
Şekil 9.1. Analitik hesaplama çözümleme modeli

+63 °C'ye şartlandırılmış test barutu ve 155 mm Uzun Menzilli Tahrip Mühimmatı kullanılarak gerçekleştirilen tasarım mukavemet testlerinde 4450 Bar basınç değerine ulaşılmıştır. Burada elde edilen basınç ulaşılabilecek en fazla iç basınç değeri (p_1) olarak alınmıştır. Dıştaki hava basıncı iç basınca göre çok küçük olduğundan sıfır kabul edilmiştir.

İç çap $a=77.5$ mm, dış çap $b=150$ mm olarak alınmıştır. Metal matriks kompozit sarılmış namlu haznesi içinde bu çapların değişmediği kabul edilmiştir.

9.2. Sonlu Elemanlar Modeli (Çelik Namlu Haznesi için)

Parçanın sonlu elemanlar modeli, Abaqus/CAE ön işleme programı yardımı ile oluşturulmuştur. İç ve dış çaplar tanımlanmış, namlu haznesinin boyu 1000 mm olarak tanımlanmıştır. Çelik malzemenin elastiklik modülü 210 Gpa ve poisson oranı 0.29 olarak tanımlanmıştır. Malzeme, izotropik malzeme özelliklerine sahiptir. Silindir $\frac{1}{4}$ simetrik olarak modellenmiştir. Simerik yüzeyler, sırayla 1 ve 2 yönlerinde serbest bırakılmış, 3 yönünde sınırlandırılmıştır. Silindirin iki ucu 3 yönünde sınırlandırılmış, 1 ve 2 yönündeki hareketi serbest bırakılmıştır (Şekil 9.2.). Silindirin iç yüzeyinin bütününe 4450 Bar'lık bir basınç tanımlanmıştır. Problemin çözümü tek bir adımda gerçekleştirilmiştir. Uygun elemanların köşe nodlarında proplar tanımlanmış ve bu nodlarda oluşan gerilme ve yerdeğıştirmeler çıktı olarak istenmiştir. Çözüm ağı için 24750 adet yapısal hexahedral elemanlar kullanılmış ve 8 nodlu lineer eleman tipi (C3D8R) tanımlanmıştır. Problem doğrusal olmayan durağan olarak tanımlanmıştır. Çözümlemeler Abaqus/STANDART çözücüsünde koşturulmuş ve sonuçlar Abaqus/CAE ortamında değerlendirilmiştir.



Şekil 9.2. Çelik namlu haznesi sonlu elemanlar modeli (Sınır şartlar, yükleme koşulları ve çözüm ağı)

9.3. Analitik Hesaplama ve Sonlu Elemanlar Hesaplama Sonuçlarının Karşılaştırılması

Analitik hesaplamalar sonucunda elde edilen çapa bağlı yerdeğiştirme ve gerilme değerleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 9.1. Namlu haznesine 4450 bar basınç uygulanması durumunda hesaplanan çapa bağlı gerilme bileşenleri ve yerdeğiştirme değerleri (Analitik hesap yöntemi)

Çap (mm)	$U_{ana}(r)$ (mm)	$\sigma_{rana}(r)$ (Mpa)	$\sigma_{\theta ana}(r)$ (Mpa)	$\sigma_{Zana}(r)$ (Mpa)
77.500	0.331	-450.909	777.647	94.483
79.759	0.324	-416.563	745.242	95.044
84.277	0.311	-355.955	684.634	95.044
88.798	0.299	-304.347	633.026	95.044
93.319	0.288	-260.044	588.723	95.044
97.841	0.278	-221.731	550.411	95.044
102.365	0.270	-188.377	517.056	95.044
106.889	0.262	-159.162	487.842	95.044
111.414	0.256	-133.430	462.109	95.044
115.940	0.249	-110.648	439.327	95.044
120.466	0.244	-90.383	419.062	95.044
124.992	0.239	-72.277	400.957	95.044
129.519	0.234	-56.035	384.715	95.044
134.047	0.230	-41.410	370.089	95.044
138.575	0.227	-28.193	356.872	95.044
143.103	0.223	-16.210	344.889	95.044
147.631	0.220	-5.312	333.991	95.044

Sonlu Elemanlar Yöntemi ile yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen çapa bağlı yerdeğiştirme ve gerilme değerleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

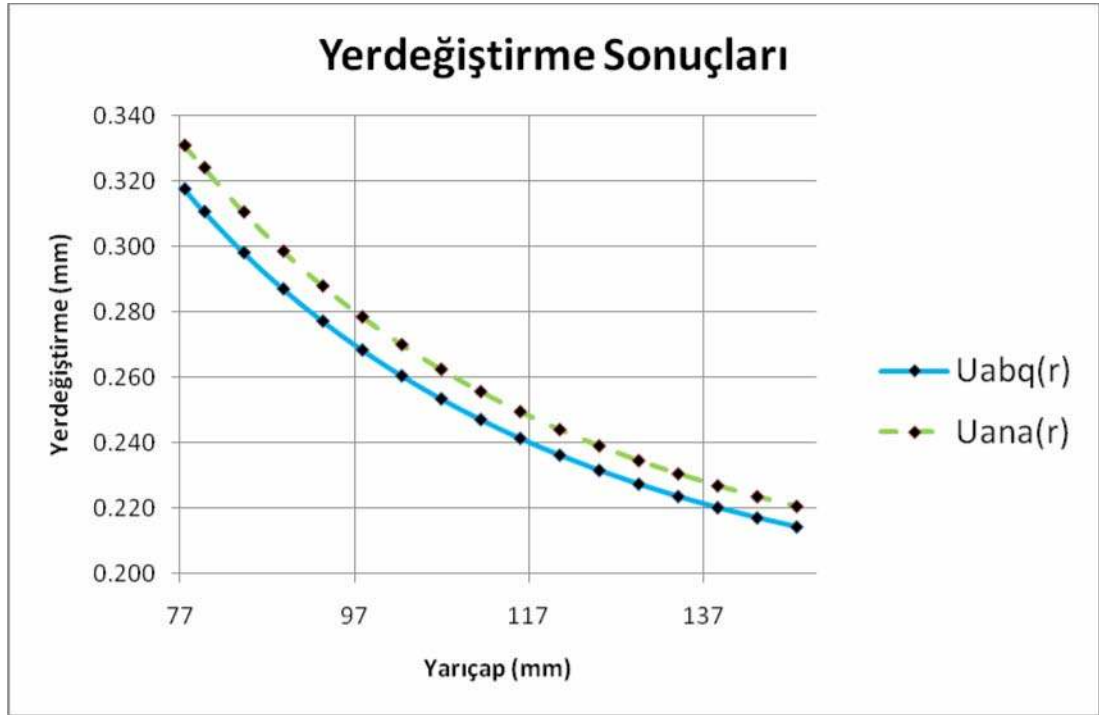
Çizelge 9.2. Namlu haznesine 4450 bar basınç uygulanması durumunda hesaplanan çapa bağlı gerilme bileşenleri ve yerdeğiştirme değerleri (Sonlu elemanlar yöntemi)

Çap (mm)	$U_{abq}(r)$ (mm)	$\sigma_{rabq}(r)$ (MPa)	$\sigma_{\theta abq}(r)$ (MPa)	$\sigma_{zabq}(r)$ (MPa)
77.500	0.318	-417.336	745.076	95.045
79.759	0.311	-384.623	712.361	95.044
84.277	0.298	-328.765	656.503	95.044
88.798	0.287	-281.036	608.774	95.044
93.319	0.277	-239.917	567.655	95.044
97.841	0.268	-204.245	531.982	95.044
102.365	0.261	-173.097	500.835	95.044
106.889	0.254	-145.741	473.479	95.044
111.414	0.247	-121.585	449.323	95.044
115.940	0.241	-100.148	427.886	95.044
120.466	0.236	-81.039	408.777	95.044
124.992	0.232	-63.931	391.669	95.044
129.519	0.228	-48.554	376.292	95.044
134.047	0.224	-34.683	362.421	95.044
138.575	0.220	-22.129	349.867	95.044
143.103	0.217	-10.720	338.459	95.044
147.631	0.214	-0.189	327.926	95.044

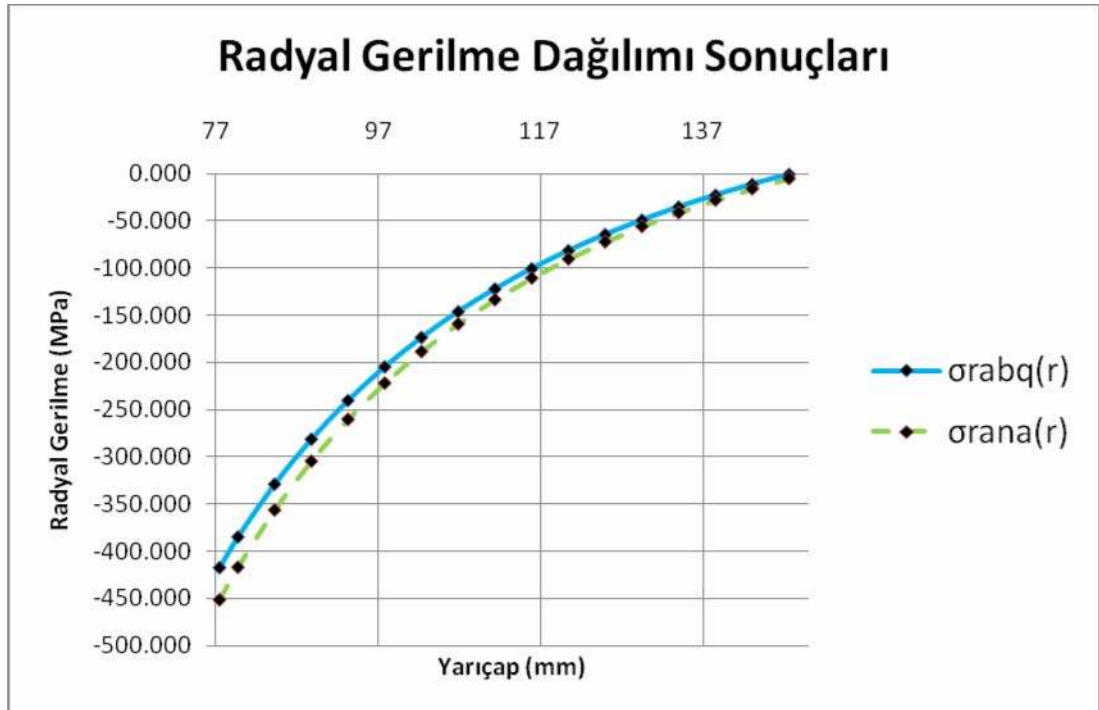
Analitik hesaplama yöntemi ile Sonlu elemanlar yönteminden elde edilen sonuçların birbirine yakınlıkları % cinsinden ifade edildiğinde;

Çizelge 9.3. Sonlu elemanlar sonuçlarının analitik yöntem sonuçları ile yakınlıkları

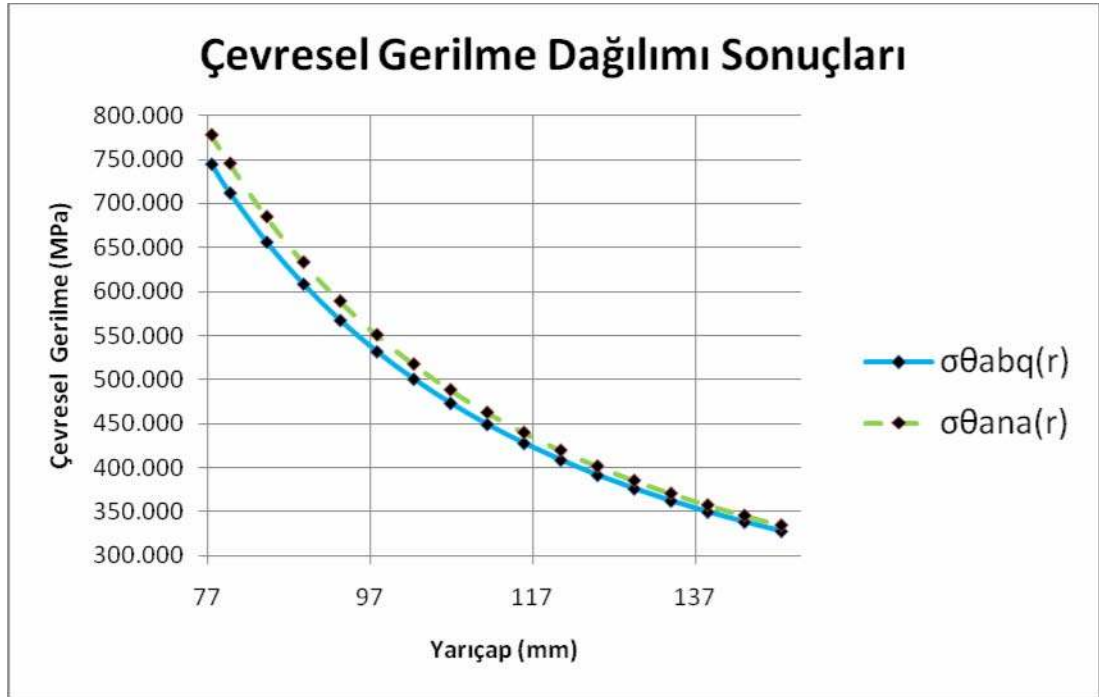
Çap (mm)	$U(r)$ (% yakınlık)	$\sigma_r(r)$ (% yakınlık)	$\sigma_\theta(r)$ (% yakınlık)	$\sigma_z(r)$ (% yakınlık)
77.500	95.999	92.554	95.812	100.594
79.759	95.885	92.333	95.588	100.000
84.277	96.036	92.361	95.891	100.000
88.798	96.174	92.341	96.169	100.000
93.319	96.300	92.260	96.421	100.000
97.841	96.416	92.114	96.652	100.000
102.365	96.524	91.889	96.863	100.000
106.889	96.623	91.567	97.056	100.000
111.414	96.715	91.123	97.233	100.000
115.940	96.800	90.510	97.396	100.000
120.466	96.879	89.662	97.546	100.000
124.992	96.952	88.452	97.684	100.000
129.519	97.020	86.649	97.811	100.000
134.047	97.084	83.757	97.928	100.000
138.575	97.143	78.491	98.037	100.000
143.103	97.199	66.136	98.136	100.000
147.631	97.251	3.553	98.184	100.000



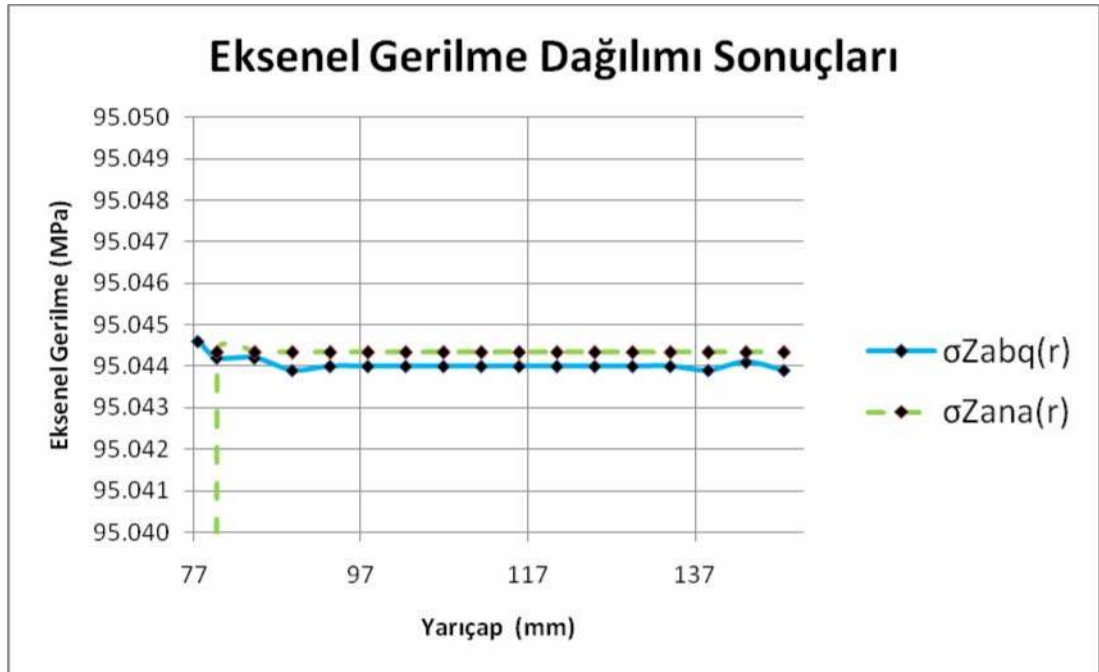
Şekil 9.3. Analitik ve sonlu elemanlar yerdeğiştirme sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 9.4. Analitik ve sonlu elemanlar radyal gerilme sonuçlarının karşılaştırılması

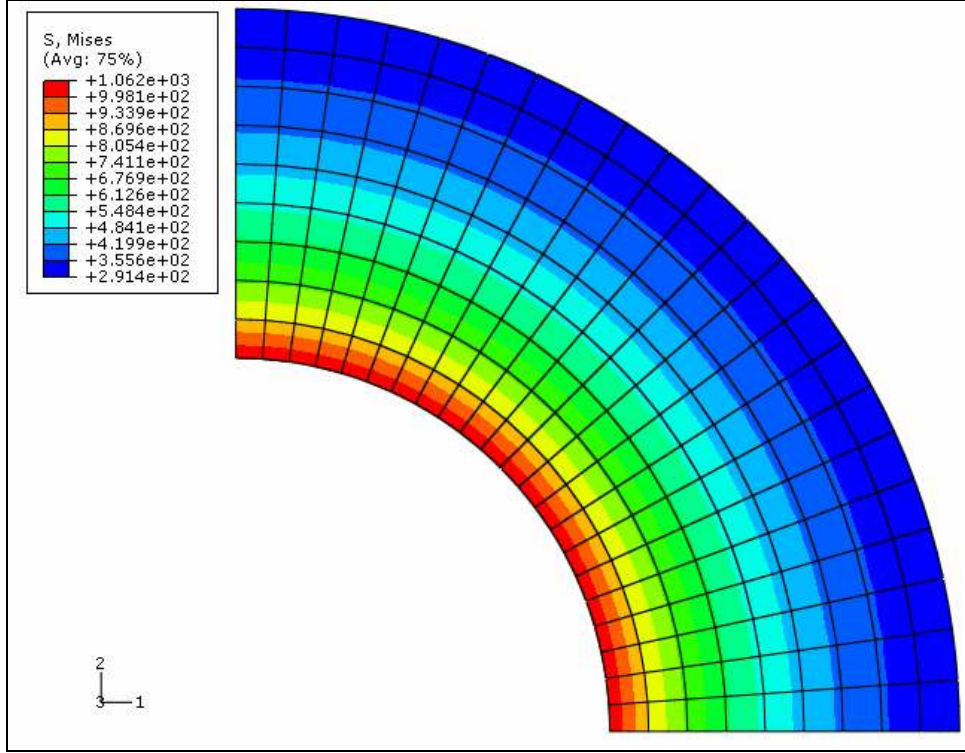


Şekil 9.5. Analitik ve sonlu elemanlar çevresel gerilme sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 9.6. Analitik ve sonlu elemanlar eksenel gerilme sonuçlarının karşılaştırılması

9.4. Von Misses Gerilmesi (Çelik Namlu Haznesi için)



Şekil 9.7. 4450 bar iç basınca maruz bırakılmış çelik namlu haznesi Von Misses gerilmesi

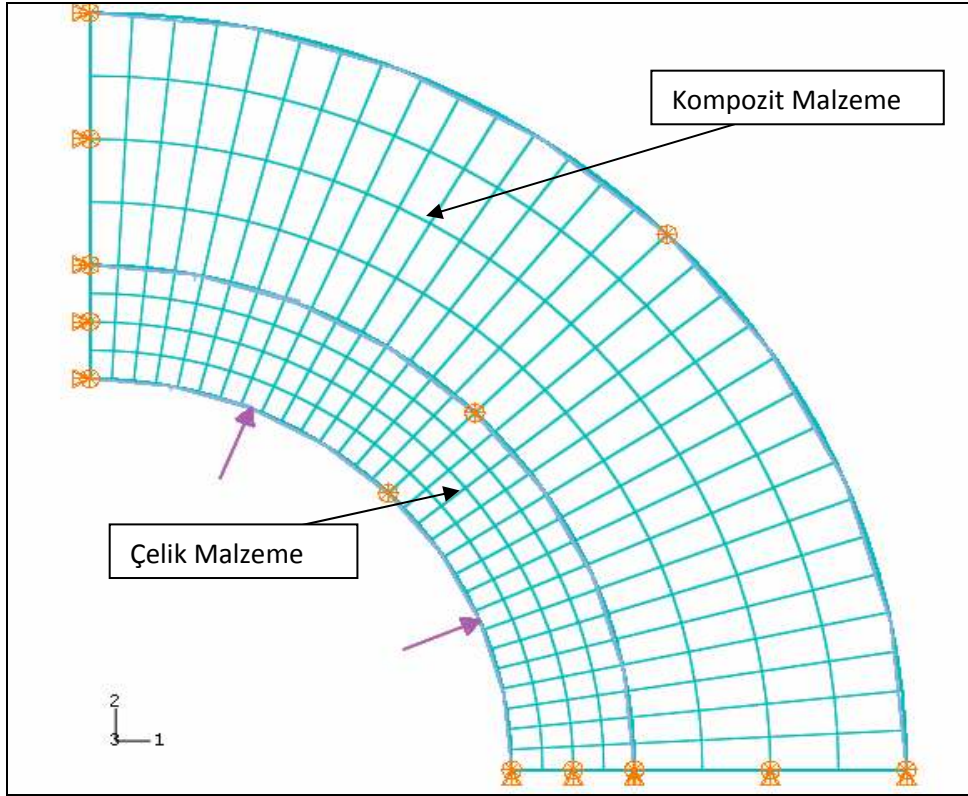
Yapılan hesaplamalarda elde edilen sonuçlar, analitik hesaplama yöntemi ile sonlu elemalar yönteminde elde edilen sonuçların birbirine çok yakın olduğunu ve doğruladığını göstermiştir.

Bahse konu olan yükleme koşullarında çelik namlu haznesi için hesaplanan en yüksek Von Misses gerilmesi değeri 1062 MPa olmuştur (Şekil 9.7.). Bu değer üçüncü bölüm hesaplar için referans veri olacaktır.

10. İKİNCİ BÖLÜM

10.1. Sonlu Elemanlar Modeli (Çelik Üzerine Metal Matriks Kompozit Sıkı Geçirilmiş Namlu Haznesi için)

Parçanın sonlu elemanlar modeli, Abaqus/CAE ön işleme programı yardımı ile oluşturulmuştur. Çelik malzemeden üretilmiş silindir üzerine ISO toleranslarına göre geçirildiği öngörölmüş metal matriks kompozit yine silindir olarak modellenmiştir. Namlu haznesinin boyu tekrar 1000 mm olarak tanımlanmıştır. Çelik malzemenin elastiklik modülü 210 Gpa ve poisson oranı 0.29 olarak tanımlanmıştır. Kompozit malzemenin malzeme özellikleri literatür taramasından elde edilen değerler olarak tanımlanmıştır. Çelik ve kompozit malzeme, izotropik malzeme özelliklerine sahiptir. Sıkı geçmenin oluşabilmesi için çelik silindir ve kompozit silindir arasında bir sıkı geçme toleransı tanımlanmıştır. Silindirler $\frac{1}{4}$ simetrik olarak modellenmiştir. Simerik yüzeyler, sırayla 1 ve 2 yönlerinde serbest bırakılmış, 3 yönünde sınırlandırılmıştır. Silindirlerin iki ucu 3 yönünde sınırlandırılmış, 1 ve 2 yönündeki hareketi serbest bırakılmıştır. Sıkı geçme sonucu oluşacak öngerilme durumu, problemin birinci aşaması olarak tanımlanmıştır. İkinci aşama için çelik silindirin iç yüzeyinin bütününe 4450 Bar'lık bir basınç tanımlanmıştır. Uygun elemanların köşe nodlarında proplar tanımlanmış ve bu nodlarda oluşan gerilme ve yerdeğiştirmeler çıktı olarak istenmiştir. Çözüm ağı için 30000 adet çelik için 30000 adet kompozit için toplam 60000 adet yapısal hexahedral elemanlar kullanılmış ve 8 nodlu lineer eleman tipi (C3D8R) tanımlanmıştır (Şekil 10.1.). Problem doğrusal olmayan durağan olarak tanımlanmıştır. Çözümlemeler Abaqus/STANDART çözücüsünde koşturulmuş ve sonuçlar Abaqus/CAE ortamında değerlendirilmiştir.



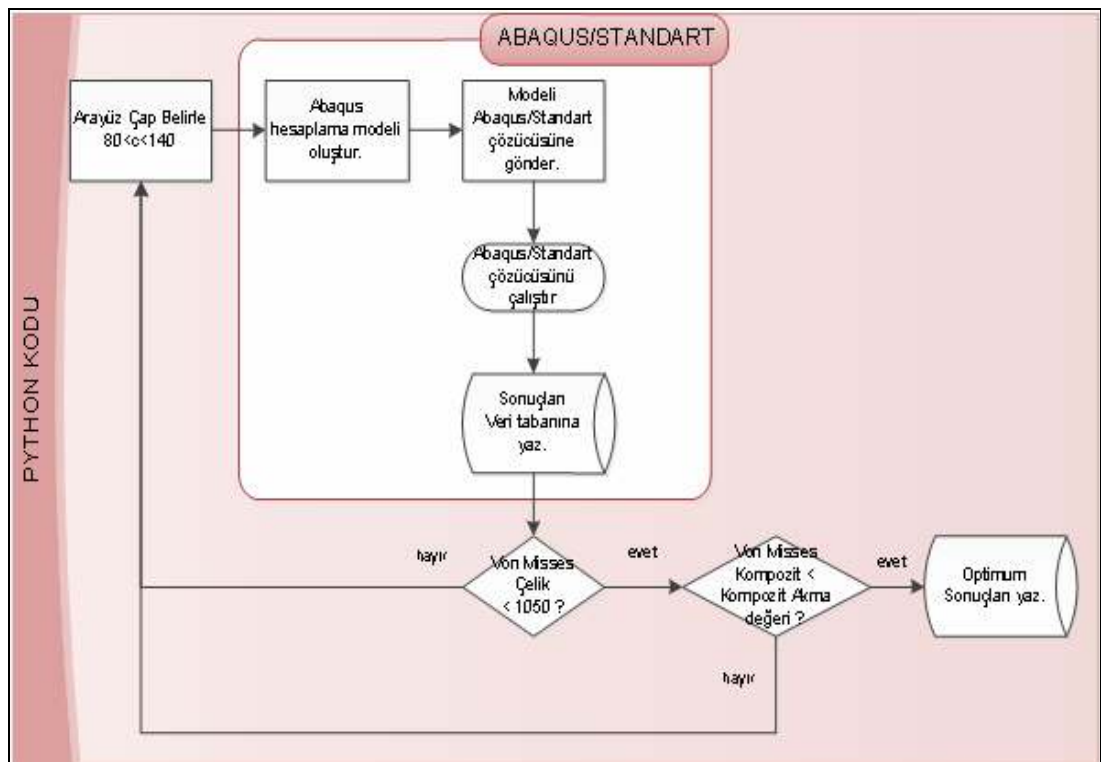
Şekil 10.1. Çelik üzerine metal matriks kompozit geçirilmiş namlu haznesi sonlu elemanlar modeli (Sınır şartlar, yükleme koşulları ve çözüm ağı)

11. ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

11.1. Optimizasyon Modeli (Çelik Üzerine Metal Matriks Kompozit Sıkı Geçirilmiş Namlu Haznesi için)

Yazılan bir python kodu yardımı ile ikinci bölümde oluşturulan sonlu elemanlar modelinin Abaqus/CAE ön işleme programı kullanılmadan oluşturulması ve çözümleme dosyasının direkt olarak Abaqus/STANDART çözücüsüne gönderilmesi ve sonuç dosyasının otomatik olarak okunması sağlanmış, böylelikle birden fazla çözümün otomatik olarak yapılabilmesi ve elde edilen birden fazla sonucun tartışılabilmesine olanak oluşturulmuştur.

Bu bölümde uygulanmış olan çözüm modeli Şekil 11.1.'de verilmiştir.



Şekil 11.1. Optimizasyon modeli (Çelik üzerine metal matriks kompozit sıkı geçirilmiş namlu haznesi için)

Kod (Şekil 11.2.), ilk olarak sıkı geçmenin oluşacağı c arayüz çapını 80 değerinden büyük ve 140 değerinden küçük olacak şekilde rastgele belirlemektedir. Abaqus programı python kodu içerisinde tanımlanmış modeli

otomatik olarak oluşturmaktadır. Bu bölümde çelik bölüm ve metal matriks kompozit bölüm silindir ölçüleri(a, b, l) ile arayüz çap ölçüsü(c) kullanılmaktadır (Şekil 11.3.). Kod içerisinde ISO Toleranslarına göre tanımlanan sıkı geçme tolerans değeri, oluşturulan geometrilere tanımlanmakta, sonlu elemanlar modeli sıkı geçme işlemi sonrasında oluşacak öngerilmeleri hesaplayacak şekilde parçalar birbirine montaj edilmektedir.

```

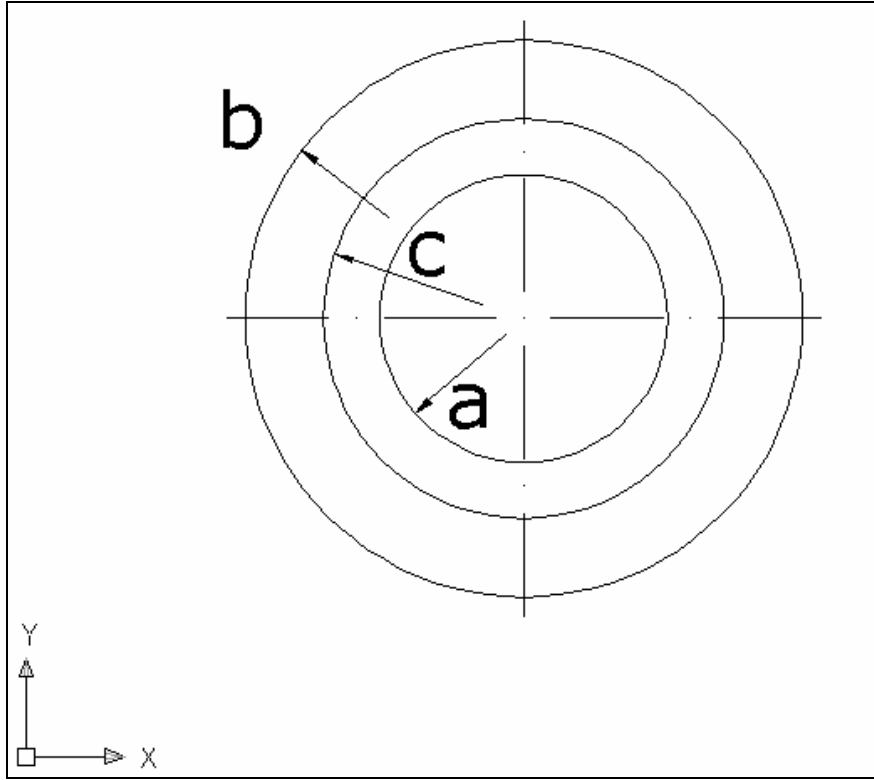
1  #Sıkı Geçme Optimizasyon Problemi
2  from abaqus import *
3  from abaqusConstants import *
4  from caeModules import *
5  from driverUtils import executeOnCaeStartup
6  executeOnCaeStartup()
7  Mdb()
8  g, v, d, c = s.geometry, s.vertices, s.dimensions, s.constraints
9  from arakesitcap import ri
10 rii=ri+0.3
11 s.setPrimaryObject(option=STANDALONE)
12 s.CircleByCenterPerimeter(center=(0.0, 0.0), point1=(0.0, 60.0))
13 s.RadialDimension(curve=g[2], textPoint=(35.0681037902832, 16.3424072265625),
14 radius=77.5)
15 s.CircleByCenterPerimeter(center=(0.0, 0.0), point1=(0.0, 100.0))
16 s.RadialDimension(curve=g[3], textPoint=(54.0055414970467, 55.5846335565034),
17 radius=rii)
18 s.Line(point1=(0.0, rii), point2=(0.0, 77.5))
19 s.VerticalConstraint(entity=g[4])
20 s.PerpendicularConstraint(entity1=g[3], entity2=g[4])
21 s.Line(point1=(77.5, 0.0), point2=(rii, 0.0))
22 s.HorizontalConstraint(entity=g[5])
23 s.PerpendicularConstraint(entity1=g[4], entity2=g[5])
24 s.autoTrimCurve(curve1=g[2], point1=(0.0, -77.5))
25 s.autoTrimCurve(curve1=g[3], point1=(0.0, -rii))
26 p = mdb.models['Model-1'].Part(name='quartcylinderclk', dimensionality=THREE_D,
27 type=DEFORMABLE_BODY)
28 p = mdb.models['Model-1'].parts['quartcylinderclk']
29 p.BaseSolidExtrude(sketch=s, depth=1000.0)
30 s.unsetPrimaryObject()
31 p = mdb.models['Model-1'].parts['quartcylinderclk']
32 s1 = mdb.models['Model-1'].ConstrainedSketch(name='__profile__',
33 sheetSize=1000.0)
34 g, v, d, c = s1.geometry, s1.vertices, s1.dimensions, s1.constraints

```

Şekil 11.2. Python kodunun bir bölümü

Yükler ve sınır şartları, birinci ve ikinci bölümde kullanılan şartlardır. Problem iki aşamalı olarak tanımlanmakta, ilk aşamada sıkı geçme sonrasında oluşan gerilme ve yerdeğiştirmeler, ikinci aşamada 4450 Bar basıncın uygulanması sonucu oluşacak gerilme ve yerdeğiştirmelerin hesaplanması istenmektedir. Çelik ve Metal matriks için en yüksek Von Misses gerilmesinin oluşacağı nodlara ve uygun elemanlara problemler yerleştirilmesi ve problemlerin okuduğu değerlerin veritabanına yazdırılması istenmiştir. Tüm bu tanımlamalar

yapıldıktan sonra çözüm dosyası Abaqus/STANDART çözücüsünde çözdürülmekte ve elde edilen sonuçlar veritabanında biriktirilmektedir.



Şekil 11.3. Namlu haznesi ölçüleri, a iç çap, b dış çap, c arayüz çapı, l=1000 mm alınmıştır (Çelik üzerine metal matriks kompozit sıkı geçirilmiş namlu haznesi için)

Sonuçlar çelik malzeme ve metal matriks kompozit için iki ayrı filtreleme işlemine tabi olmaktadır. Bu filtrelerden ilki birinci bölümde çelikten üretilmiş namlu haznesi için hesaplanan ve namlu haznesinin metal matriks kompozit ile sarılması durumunda da aşılmaması istenen Von Misses kriteri değeridir (Şekil 9.7.). Bu değer her ne kadar 1062 MPa hesaplanırsa da daha emniyetli olması açısından 1050 MPa değeri kullanılmıştır. Bu değeri aşan arayüz çap değerleri “ilk şartı sağlamadı” şeklinde değer kazanmıştır. Buna ilaveten ikinci filtre değeri, kullanılması düşünülen metal matriks kompozitin akma sınır değeridir. İlk şartı sağlayan numuneler bu filtreden de olumlu şekilde geçtikleri taktirde “uygun” kabul edilmişlerdir. Kod, problemi sağlamaya başlayan en küçük çap değeri için ve bu değere yakın değerler için daha fazla analiz gerçekleştirmekte ve bu değerlerin tekrarlanabilirliği de kontrol edilmektedir. Bu

şekilde her bir metal matriks kompozit için yaklaşık 150 farklı çap değeri denenmiş, 150 farklı sonlu elemanlar hesabı gerçekleştirilmiştir. Beş farklı metal matriks kompozitin denenmesi sonucunda elde edilen değerler değerlendirmeye alınmıştır.

12. SIKI GEÇME TOLERANSLARI

Çelik ile Metal matriks kompozit malzemenin sıkı geçme toleransları belirlenirken ISO toleransları [14] kullanılmıştır. H8 x8 toleransı kalıcı olarak parçaların birbirlerine sıkı geçme olarak tutturulabilmeleri için kullanılmaktadır. Toleransa ait tablolar incelenerek, sıkı geçme toleransı 0.457 mm olarak kabul edilmiştir (Şekil 12.1.).

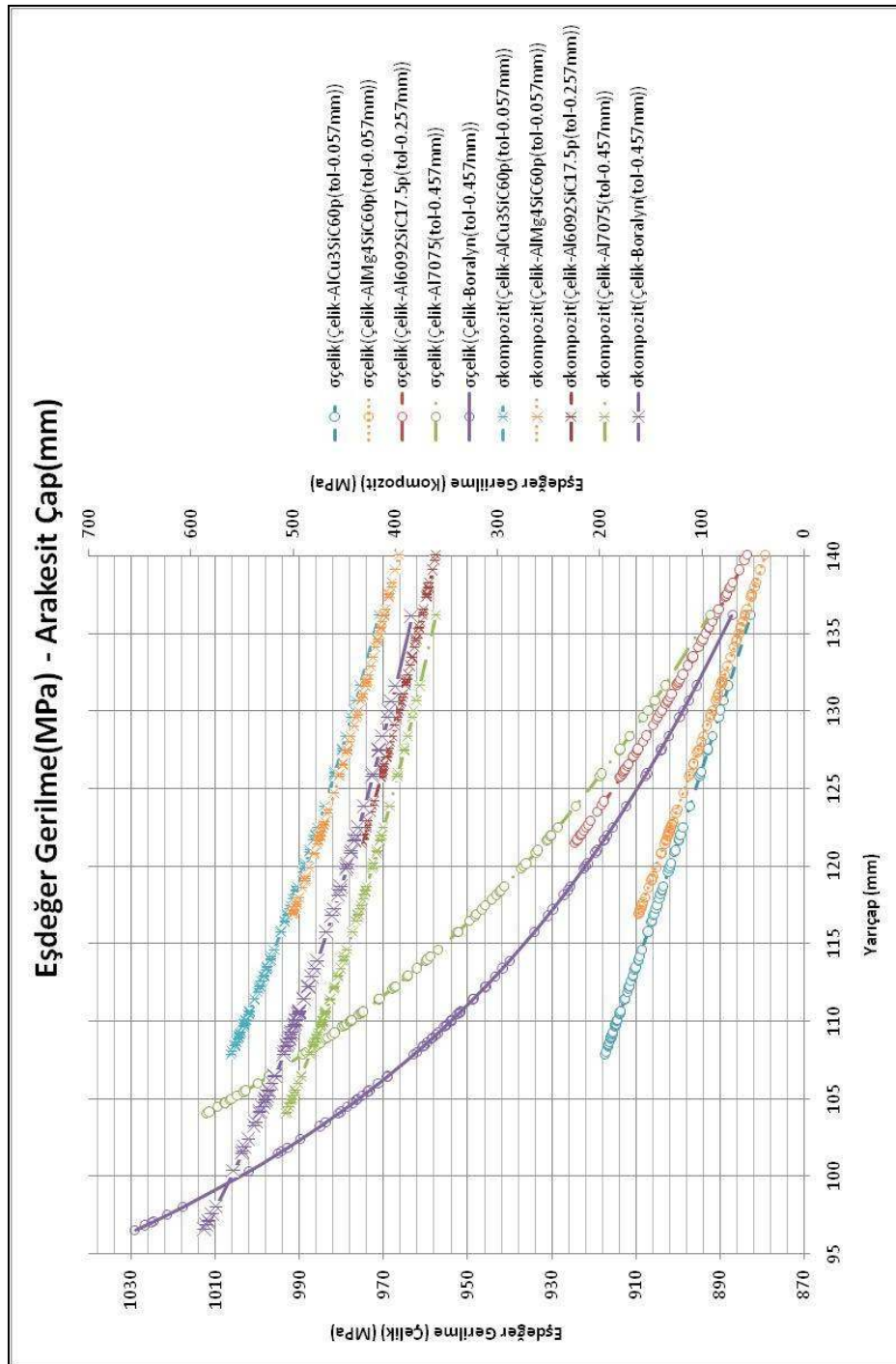
ISO-Toleransları										DIN 7154 T1 (8.66)		
Tek tip delik sistemi							Sınır ölçüsü μm (1 μm = 0,001 mm)					
Nominal ölçü alanı ... üzerinde ...e kadar mm	İç tolerans yüzeyi H8	Dış tolerans yüzeyleri					İç tolerans yüzeyi H11	Dış tolerans yüzeyi				
		Boşluk		Büyük ölçü				Boşluk		Büyük ölçü		
		tolerans sahaları						tolerans sahaları				
		d9	e8	h9	u8	x8		a11	c11	d9	h11	h9
180...200	+72	-170	-100	0	+308	+422	+290	-660	-240	-170	0	0
200...225					+236	+350		-950	-530			
225...250	0	-285	-172	-115	+258	+385	0	-1030	-550	-285	-290	-115
250...280	+81	-190	-110	0	+396	+556	+320	-920	-300	-190	0	0
280...315					+315	+475		-1240	-620			
	0	-320	-191	-130	+431	+606	0	-1050	-330	-320	-320	-130
					+350	+525		-1370	-650			

Şekil 12.1. ISO sıkı geçme toleransları [14]

Hesaplamalar sırasında bu tolerans değerinin, değerlendirmeye alınan tüm metal matriks kompozitler için kullanılamayacağı ortaya çıkmıştır. Bu nedenle Al7075 ve Boralyn için 0.457 mm, Al6092SiC17.5p için 0.257 mm, AlCu3SiC60p ve AlMg4SiC60p için 0.057 mm tolerans değerleri kullanılmıştır.

13. SONUÇLAR

Hesaplamalarda, Al7075, Boralyn, Al6092SiC17.5p, AlCu3SiC60p ve AlMg4SiC60p metal matris kompozitlerinin çelik üzerine sıkı geçme olarak sarılması durumunda elde edilebilecek optimum c arakesit çapı belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 13.1.ve Çizelge 13.1.'de verilmiştir.

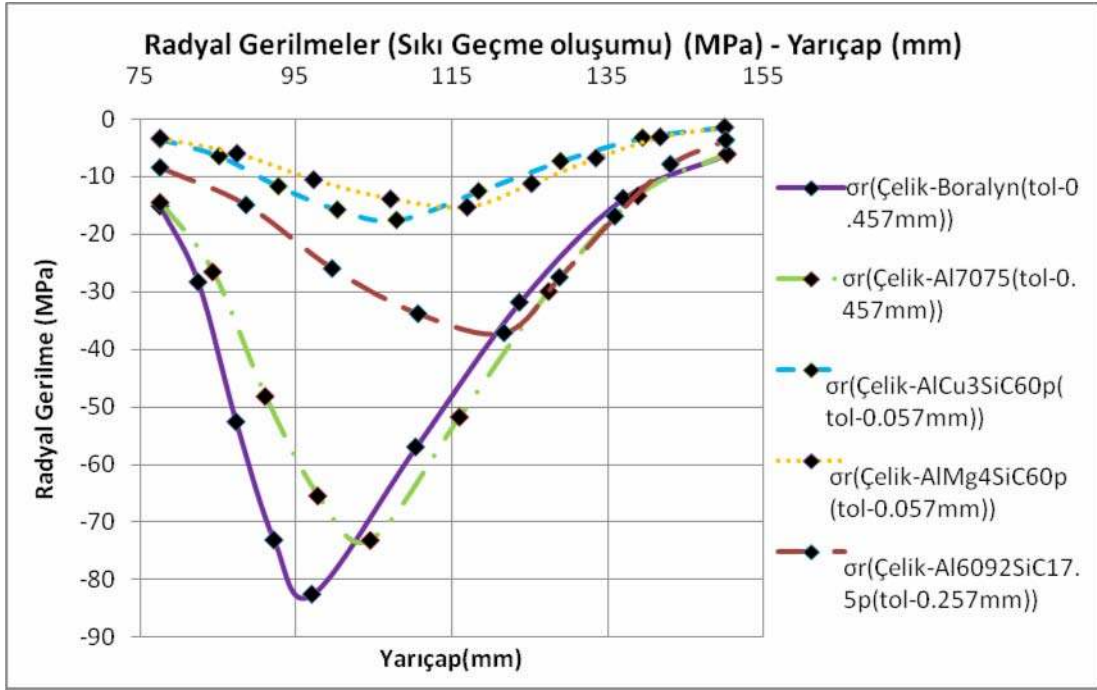


Şekil 13.1. Beş farklı metal matris kompozit malzeme için yapılan hesaplama sonucu elde edilen eşdeğer gerilmeler

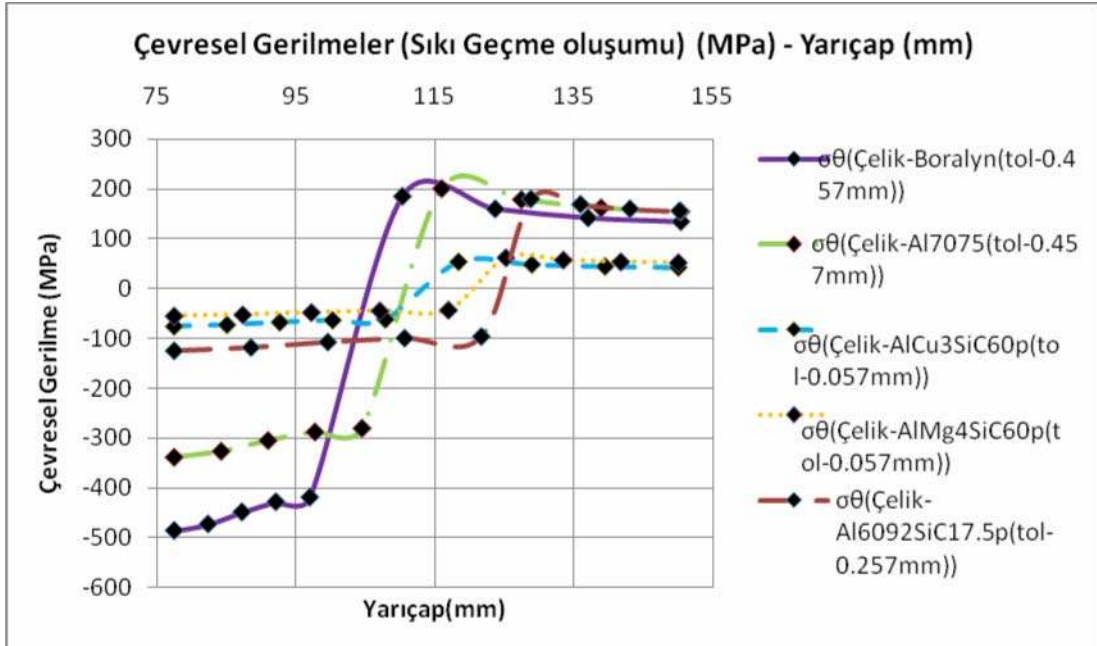
Çizelge 13.1. Optimum arayüz çapları ve bu çap değerleri için çelik ve kompozit malzeme üzerindeki en yüksek gerilme değerleri

c (Çelik-Boralyn (tol-0.457mm))	$\sigma_{\text{çelik}}$ (Çelik-Boralyn (tol-0.457mm))	σ_{kompozit} (Çelik-Boralyn (tol-0.457mm))
Optimum arayüz çapı (c) (mm)	Çelik için en yüksek Von Misses değeri (MPa)	Kompozit için en yüksek Von Misses değeri (MPa)
96.53	1029.06	588.11
c (Çelik-Al7075 (tol-0.457mm))	$\sigma_{\text{çelik}}$ (Çelik-Al7075 (tol-0.457mm))	σ_{kompozit} (Çelik-Al7075 (tol-0.457mm))
Optimum arayüz çapı (c) (mm)	Çelik için en yüksek Von Misses değeri (MPa)	Kompozit için en yüksek Von Misses değeri (MPa)
104.05	1012.12	507.16
c (Çelik-AlCu3SiC60p (tol-0.057mm))	$\sigma_{\text{çelik}}$ (Çelik-AlCu3SiC60p (tol-0.057mm))	σ_{kompozit} (Çelik-AlCu3SiC60p (tol-0.057mm))
Optimum arayüz çapı (c) (mm)	Çelik için en yüksek Von Misses değeri (MPa)	Kompozit için en yüksek Von Misses değeri (MPa)
107.83	917.38	561.36
c (Çelik-AlMg4SiC60p (tol-0.057mm))	$\sigma_{\text{çelik}}$ (Çelik-AlMg4SiC60p (tol-0.057mm))	σ_{kompozit} (Çelik-AlMg4SiC60p (tol-0.057mm))
Optimum arayüz çapı (c) (mm)	Çelik için en yüksek Von Misses değeri (MPa)	Kompozit için en yüksek Von Misses değeri (MPa)
116.92	909.41	500.36
c (Çelik-Al6092SiC17.5p (tol-0.257mm))	$\sigma_{\text{çelik}}$ (Çelik-Al6092SiC17.5p (tol-0.257mm))	σ_{kompozit} (Çelik-Al6092SiC17.5p (tol-0.257mm))
Optimum arayüz çapı (c) (mm)	Çelik için en yüksek Von Misses değeri (MPa)	Kompozit için en yüksek Von Misses değeri (MPa)
121.45	924.38	433.52

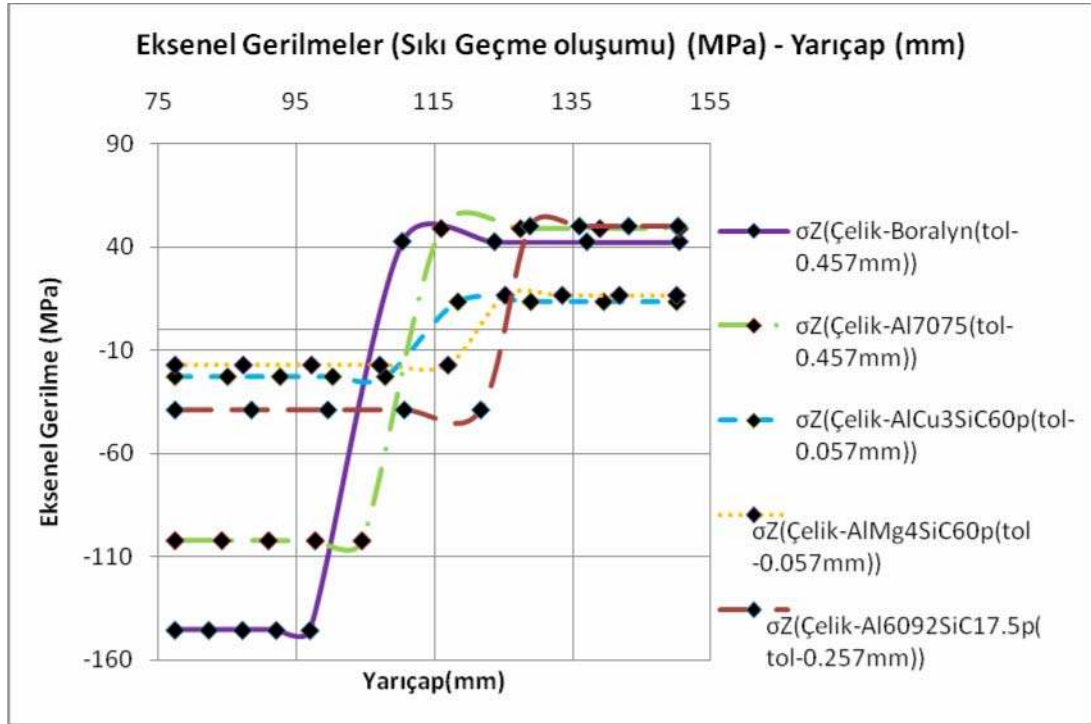
13.1. Birinci Aşama (Sıkı Geçme Oluşumu) (Optimize Edilmiş Çap Değerleri için)



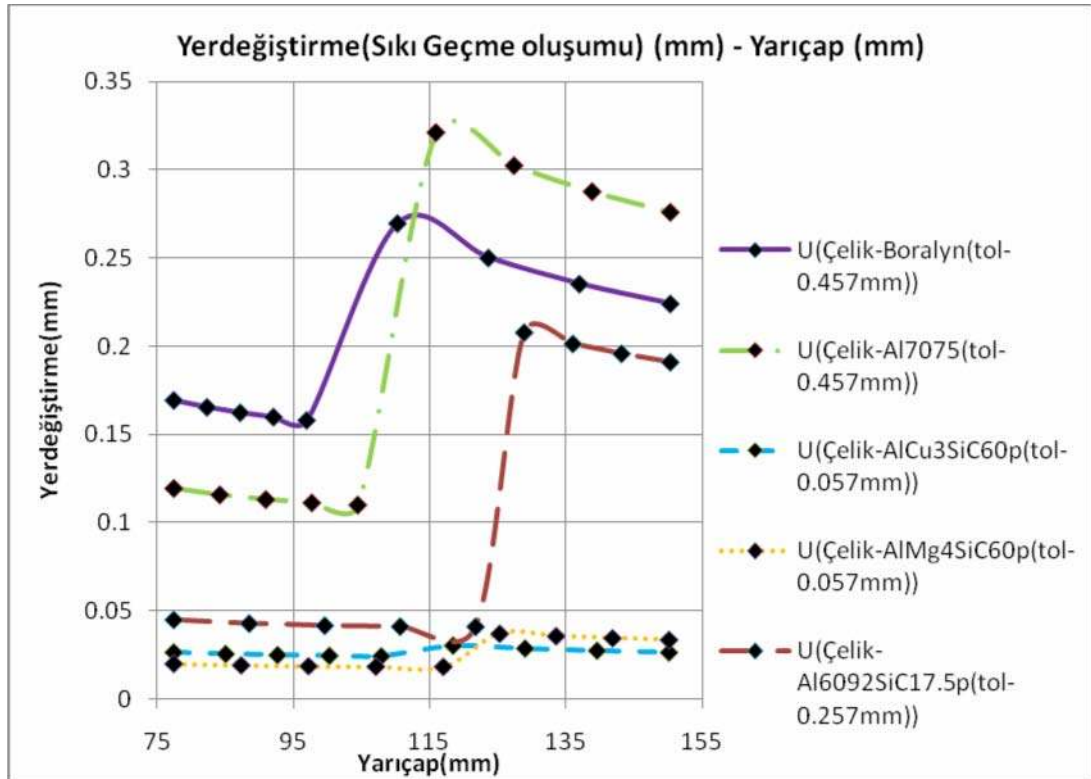
Şekil 13.2. Sıkı geçme oluşumu sonrası kalıcı radyal gerilmeler



Şekil 13.3. Sıkı geçme oluşumu sonrası kalıcı çevresel gerilmeler

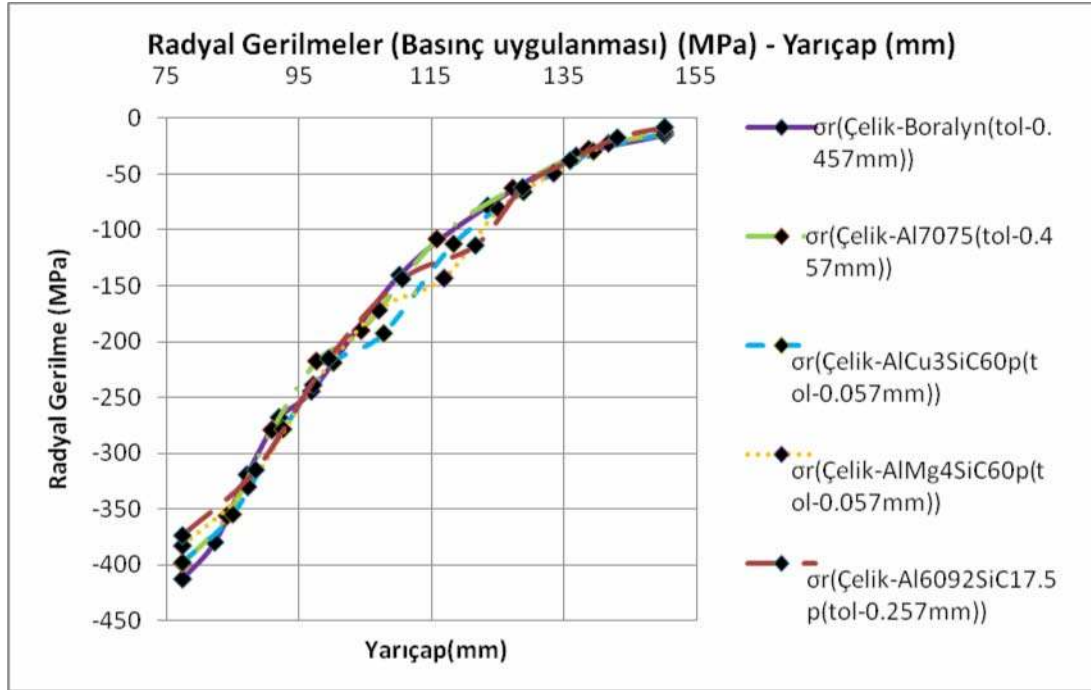


Şekil 13.4. Sıkı geçme oluşumu sonrası kalıcı eksenel gerilmeler

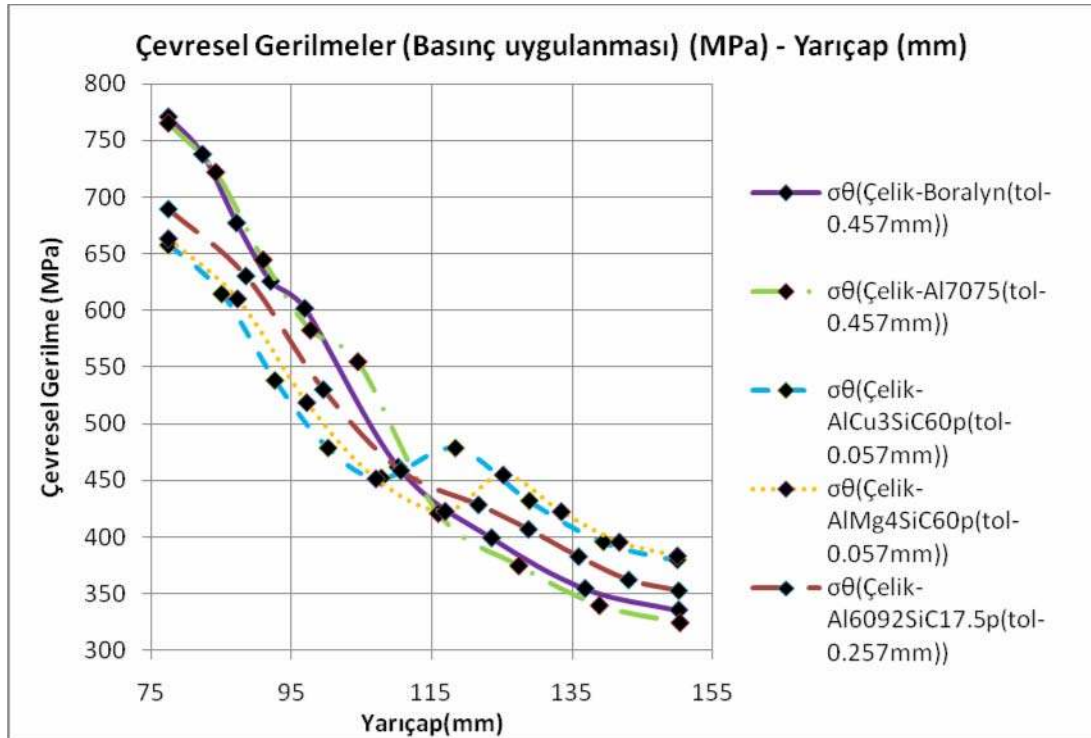


Şekil 13.5. Sıkı geçme oluşumu sonrası yerdeğiştirmeler

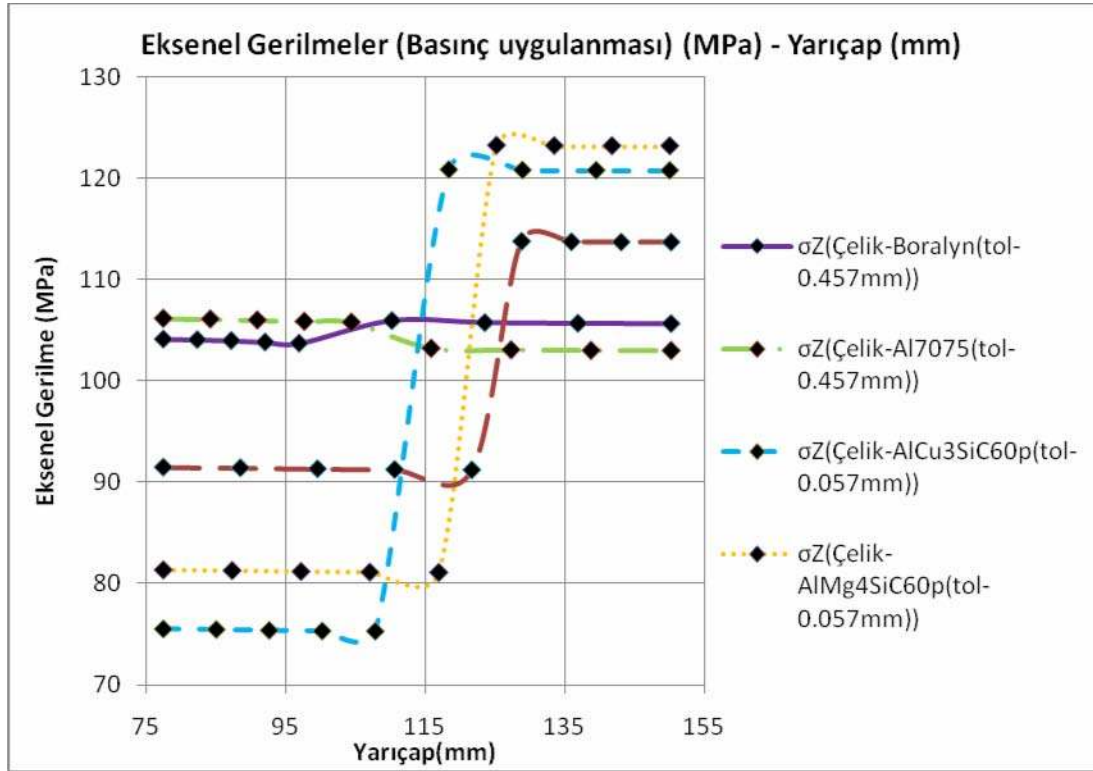
13.2. İkinci Aşama (Basınç Uygulanması) (Optimize Edilmiş Çap Değerleri için)



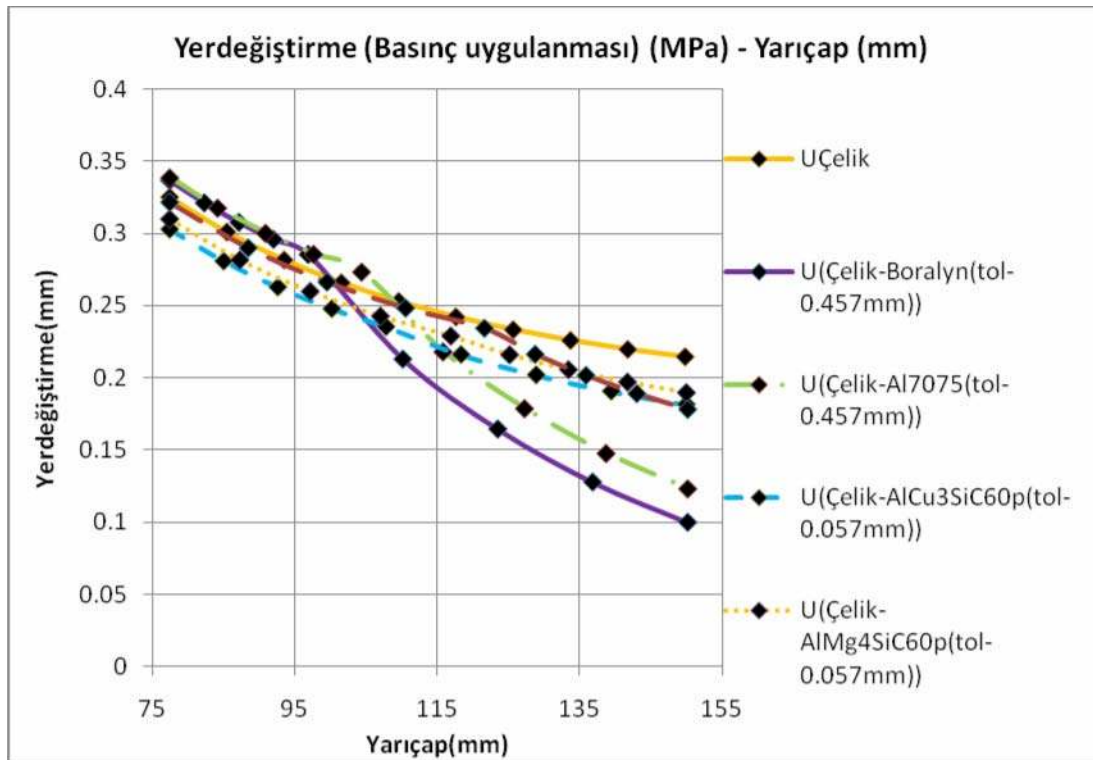
Şekil 13.6. Basınç uygulanması sonrası radyal gerilmeler



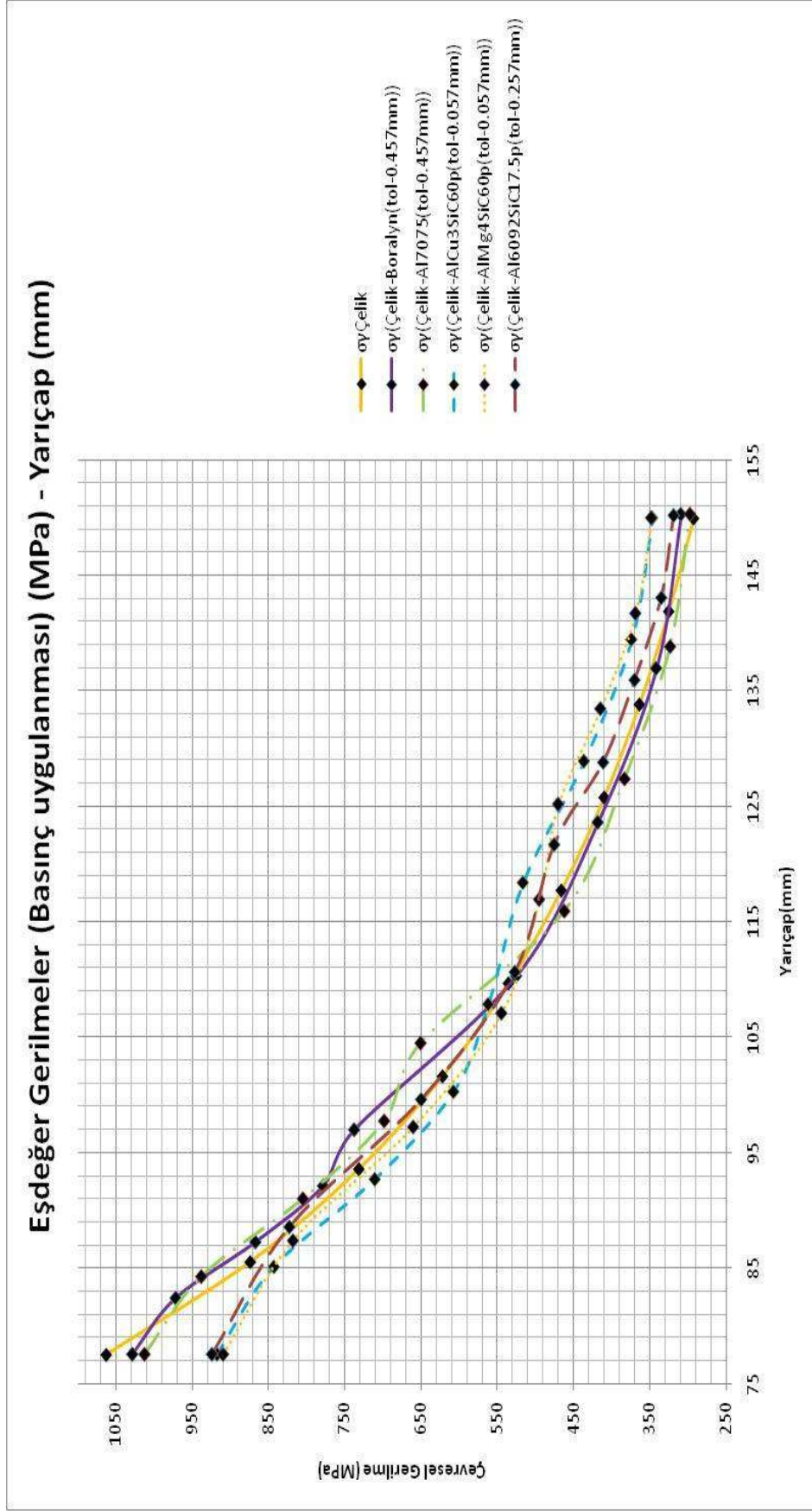
Şekil 13.7. Basınç uygulanması sonrası çevresel gerilmeler



Şekil 13.8. Basınç uygulanması sonrası eksenel gerilmeler

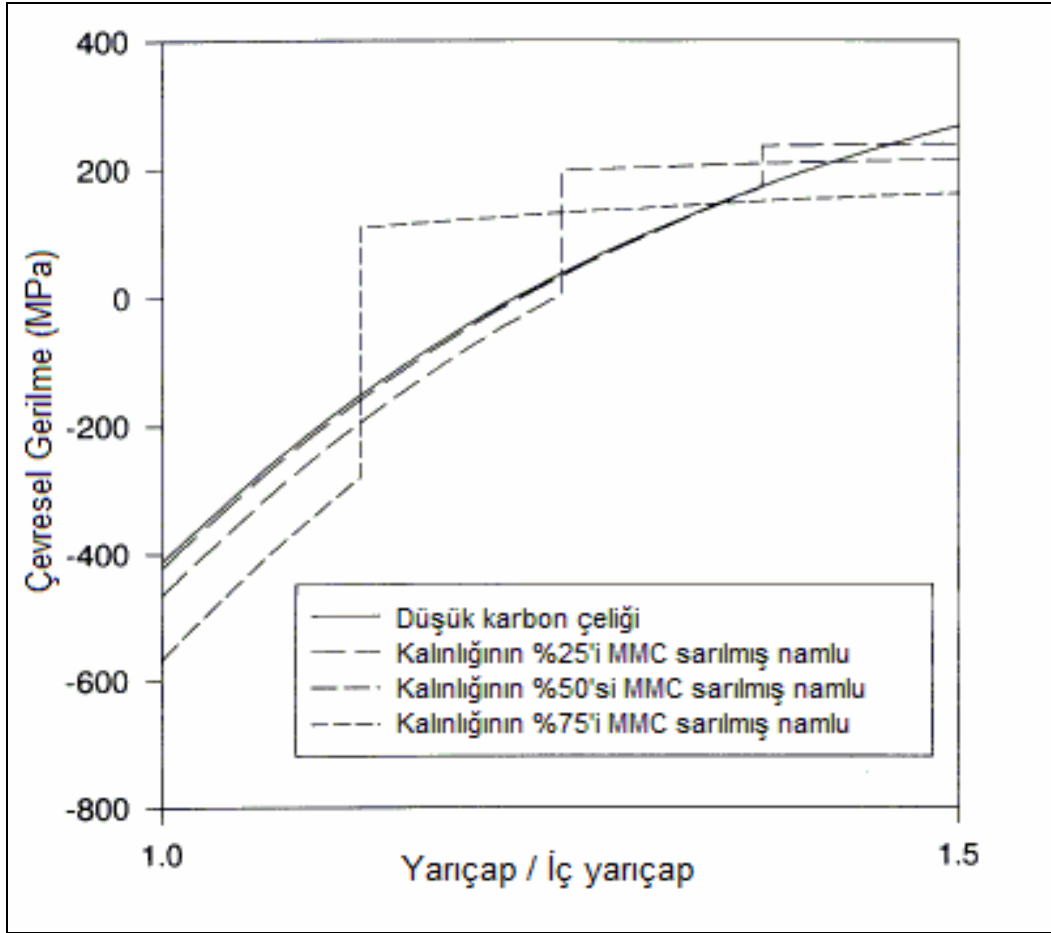


Şekil 13.9. Basınç uygulanması sonrası yerdeğiştirme değerleri

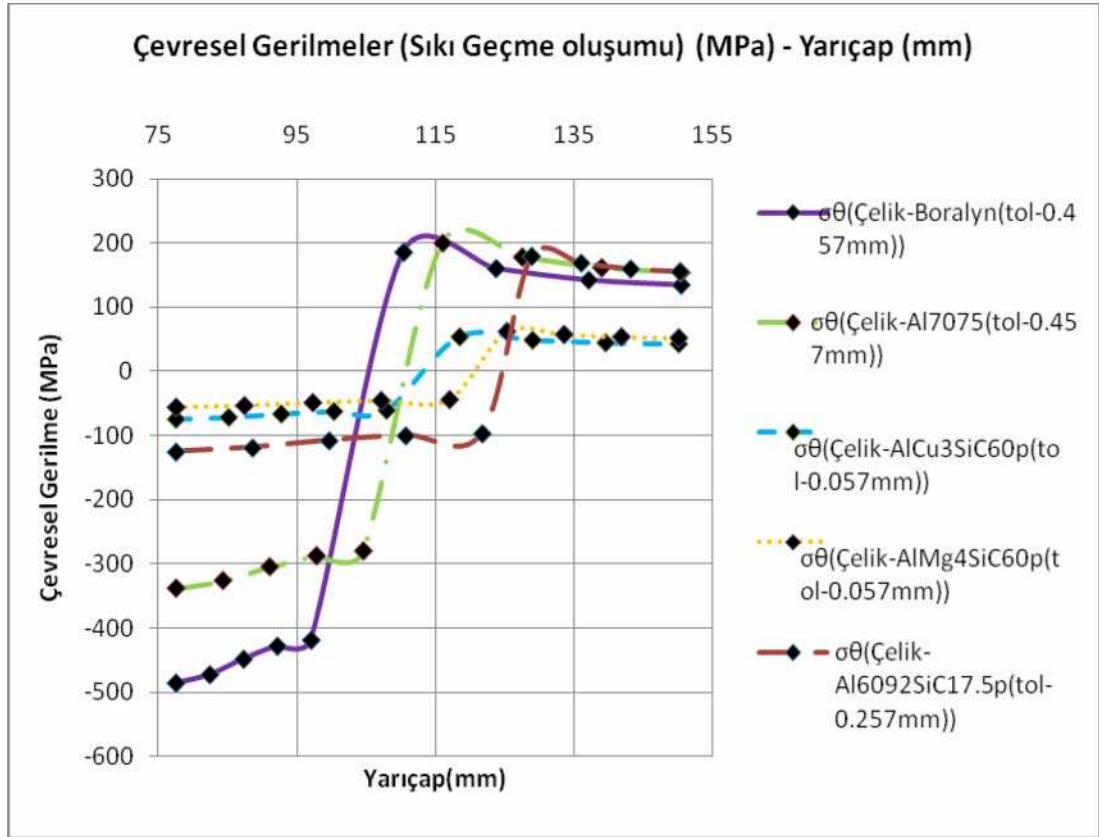


Şekil 13.10. Çelikten üretilmiş ve metal matriks kompozit sarılmış namlu haznelerinin eşdeğer gerilme değerlerinin karşılaştırması

Salzar [8], etrafına, 90° çevresel doğrultuda SiC/Ti-24Al-11Nb fiber takviye edilmiş metal matriks kompozit sarılmış namlu haznesinin toplam kalınlığının %25, %50, %75'i oranlarındaki kalınlıklarda sarılması ve otofretaj işlemi uygulanması durumunda oluşacak kalıcı çevresel gerilme dağılımlarını analitik olarak hesaplamıştır (Şekil 14.1.). Partikül takviyeli metal matriksli kompozitlerin optimize edilmiş çapları için sıkı geçme oluşumu sırasında oluştuğunu hesapladığımız kalıcı çevresel gerilmeler (Şekil 14.2.) ile bu sonuçları karşılaştırırsak;



Şekil 14.1. Salzar'ın [8], kalınlığının %25, %50 ve %75'i metal matriks kompozit sarılması ve otofretaj uygulanması sonrası oluşan kalıcı çevresel gerilme durumu



Şekil 14.2. Optimize edilmiş çaplar için değişik metal matriks kompozitler için sıkı geçme oluşumu sonrası kalıcı çevresel gerilmeler

Otofretaj sonrası oluşan kalıcı çevresel gerilme durumu ile sıkı geçme oluşumu sonrası oluşan kalıcı çevresel gerilme değerleri, kullanılan malzemelerin farklılığı nedeni ile birbirlerinden farklı değerlerde olmalarına karşılık çelik ve kompozitin benzer davranış sergilemesi hesaplamaların uyumlu olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, boralyn maddesinin optimize edilmiş çap değeri için elde edilen sonuçlarının, kalınlığının %75'i SiC/Ti-24Al-11Nb fiber takviye edilmiş metal matriks kompozit sarılmış ve ofofretaj uygulanmış namlu ile çok yakın olduğu görülmektedir.

15. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sıkı geçme toleransı, tasarımda önemli bir rol oynamaktadır. Sıkı geçme tolerans değeri ve dolayısı ile öngerilme miktarının artırılması haznenin dayanımını artırıcı bir etki olarak değerlendirilmiştir. Ancak metal matriks kompozitin akma sınırı, öngerilme miktarının artırılmasında bir engel olarak ortaya çıkmaktadır.

Metal Matriks Kompozit malzeme ile çelik için çapa bağlı optimum sıkı geçme toleransının ve çap ve tolerans miktarı arasında bir katsayı belirlenmesi, ayrıca çelik – metal matriks kompozit sıkı geçme tolerans tabloların oluşturulması bir gereksinim olarak değerlendirilmiştir.

Elastik modülü yüksek metal matriks kompozitler ile yüksek sıkı geçme tolerans değerlerinin kullanılması durumunda metal matriks kompozit bölgesindeki gerilme değerleri, metal matriks kompozitin akma sınırını aşabilmektedir. Bu nedenle yüksek elastik modülüne sahip metal matriks kompozitlerde daha az sıkı geçme toleranslarının kullanılması gerektiği değerlendirilmiştir.

Boralyon metal matriks kompozitin namlu haznesine sıkı geçme yöntemi ile monte edildiği durum ile Salzar'ın [8] gerçekleştirdiği, kalınlığının %75'i SiC/Ti-24Al-11Nb fiber takviye edilmiş metal matriks kompozit sarılmış ve otofretaj uygulanmış namlu için oluşan kalıcı çevresel gerilme değerlerinin birbiri ile çok yakın olduğu görülmektedir. Salzar [8], kalınlığının %75'i SiC/Ti-24Al-11Nb fiber takviye edilmiş metal matriks kompozit sarılmış ve otofretaj uygulanmış namlu için ağırlıktaki tasarruf oranının %38 olacağını belirtmiştir. Benzer şekilde, bu çalışmada belirlenmiş optimum arayüz çaplarının ve ilgili metal matriksli kompozitlerin kullanılması durumunda namlu haznesi ve namlu ağırlıklarında ciddi tasarruf edilmesi olanaklı olacaktır.

Namlu ısınmasına ve metal matriks kompozit ile sağlanan hızlı soğumaya bağlı optimum atım sayısının tespit edilmesi başka bir çalışma konusu olarak değerlendirilmiştir.

Sürtünme etkilerinin de eklenerek namlu boyunca kompozit malzeme kullanımının değerlendirilmesi başka bir çalışma konusu olarak değerlendirilmiştir.

Mühimmatın namlu boyunca hareketi neticesinde oluşan titreşimler ile yorulma durumu ayrı bir çalışma konusu olarak değerlendirilmiştir.

KAYNAKLAR

1. Harrigan W.C., "Commercial processing of metal matrix composites", ***Materials Science and Engineering***, A244: 75–79 (1998).
2. Agarwal A., Balani K., Laha T., Seal S., Viswanathan V., "Challenges and advances in nanocomposite processing techniques", ***Materials Science and Engineering***, R 54: 121–285 (2006).
3. Beffort O., Buffat P., Cayron C., Kuebler J., Long S., "Alloying effects on microstructure and mechanical properties of high volume fraction SiC-particle reinforced Al-MMCs made by squeeze casting infiltration", ***Composites Science and Technology***, 67: 737–745 (2007).
4. Baron R.P., Jones C., Wawner F.E., Wert J.A., "Mechanical properties of aluminum matrix composites reinforced with sintered ferrous compacts", ***Materials Science and Engineering***, A259: 308–313 (1999).
5. Agarwal A., Chen Y., Laha T., Lahiri D., "Tensile properties of carbon nanotube reinforced aluminum nanocomposite fabricated by plasma spray forming", ***Composites***, Part A 40: 589–594 (2009).
6. Guden M., Hall I.W., "Dynamic properties of metal matrix composites: a comparative study", ***Materials Science and Engineering***, A242: 141–152 (1998).
7. Degischer H.P., Huber T., Lefranc G., Schmitt T., "Thermal expansion studies on aluminium-matrix composites with different reinforcement architecture of SiC particles", ***Composites Science and Technology***, 66: 2206–2217 (2006).
8. Salzar R.S., "Influence of autofrettage on metal matrix composite reinforced gun barrels", ***Composites Part B***, 30: 841–847 (1999).
9. Abolbashari M.H., Khoei O.K., Noei S.J., Tabasian R., "Thickness optimization of cylindrical shell in shrink fit", Master Thesis, ***Ferdowsi University of Mashhad***, Mashhad, 1-5 (2009).

10. Boresi A.P., Schmidt R.J., Sidebottom O.M., "The thick wall cylinder", *Advanced Mechanics of Materials*, 5th edition, **John Wiley and Sons**, New York, 440-468 (1993).
11. Carlucci D.E., Jacobson S.S., "Tube design", *Ballistics Theory And Design Of Guns And Ammunition*, 1st edition, **CRC Press**, New York, 163-173 (2007).
12. Ren Z., "Mechanical properties of aluminum matrix composites reinforced by nanometric silicon carbide particules", Master Thesis, **University of New South Wales**, Sydney, 49-50 (2007).
13. Kang Y.C., "Mechanical properties of nanometric particulate reinforced aluminum composites", PhD Thesis, **National Tai Wan University**, Taipei, 137 (2004).
14. Kulaksız Ö. "ISO toleransları", *Metal Mesleğinde Tablolar*, **M.E.B. Yayınları**, 86 (1995).
15. Özel, S. Temiz, M.D. Aydın, S. Sen, "Stress analysis of shrink-fitted joints for various fit forms via finite element method", **Materials & Design Journal**, 26 (4), 281-289 (June 2005).
16. Gamer U. and Lance R.H., "Residual stress in shrink fits", **International Journal of Mechanical Sciences**, 25 (7), 465-470 (1983).
17. Carderelli F., "Composite materials", *Materials Handbook*, 2nd edition, **Springer**, New York, London, 1019-1032 (2000).
18. Pilkey W., "Thick shells and disks", *Formulas For Stress, Strain And Structural Matrices*, 2nd edition, **John Wiley and Sons**, New Jersey, 1131-1151 (2005).
19. Cormen T.H., Leiserson C.E., Rivest R.L., Stein C., "Linear programming" *Introduction to Algorithms*, 2nd edition, **Mc Graw and Hill and MIT Press**, Cambridge, Boston, 675-721 (2001).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı :GÜNGÖR, Onur
 Uyruğu :T.C.
 Doğum Tarihi ve Yeri :17.08.1976, Tekirdağ
 Medeni Hali :Evli
 Telefon :+90 532 643 32 88
 e-mail :onur.gungor@mkek.gov.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Y.Lisans	Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı	2010
Lisans	Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü	1998
Lise	Tekirdağ Malkara Lisesi	1993

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2006	MKEK Mühimmat Fabrikası	Ar-Ge Müd. Proje Müh.
1999	MKEK Mühimmat Fabrikası	Bakım Onarım Müd. Bak. Onr. Müh.

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Müzik, Resim, Bilgisayar